

- RADNA VERZIJA -



Serbia for Excell

**PROJEKAT JE FINANSIRAN OD STRANE EVROPSKE UNIJE IZ
HORIZONT 2020 ISTRAŽIVAČKOG I INOVACIONOG PROGRAMA,
UGOVOROM BROJ 691998**

Knjiga je rezultat radnog paketa 1 "Capacity building" zadatak "Preparation of teaching book/material in Agroclimatology and Agrometeorology for students of BOKU, UNIFI and PFNS in English and native languages".

Sadržaj

Osnove	6
1 Poreklo i sastav atmosfere	7
1.1 Atmosfera i Zemlja.....	7
1.2 Uticaj sastava atmosfere na biljke	12
1.3 Uticaj biljaka na sastav atmosfere	13
2 Energetski bilans atmosfere	15
2.1 Kratkotalasno i dugotalasno zračenje u atmosferi	15
2.2 Energetski bilans	20
2.3 Uticaj zračenja na vegetaciju	23
2.4 Uticaj vegetacije na zračenje	27
3 Temperatura zemljišta i vazduha	30
3.1 Toplota, termičke karakteristike tela i temperatura	30
3.2 Zagrevanje i hlađenje zemljišta.....	31
3.3 Zagrevanje i hlađenje vazduha.....	34
3.4 Uticaj temperature zemljišta i vazduha na biljke	36
3.5 Uticaj vegetacije na temperaturu zemljišta i vazduha	43
4 Vlažnost vazduha	46
4.1 Elementi vlažnosti vazduha	46
4.2 Procesi koji čine vodni ciklus	49
4.3 Isparavanje i kondenzacija u atmosferi.....	50
4.4 Uticaj vlažnosti vazduha na biljke	52
4.5 Uticaj biljaka na vlažnost vazduha	55
5. Oblaci i padavine	60
5.1 Adijabatski procesi i atmosferska stabilnost	60
5.2. Oblaci i njihovo formiranje	63
5.2.1 Niski oblaci.....	65
5.2.2 Oblaci srednjeg sloja.....	66
5.2.3 Visoki oblaci	68
5.3 Rast kapi vode u oblacima.....	69
5.4. Hidrometeori	71
5.4.1. Padavine	72
5.4.2 Hidrometeori nastali depozicijom čestica	76

5.4.3 Čestice nošene vetrom	77
5.5 Uticaj oblaka i padavina na biljke	78
5.6 Uticaj biljaka na oblake i padavine	82
6. Atmosferska cirkulacija i vetrovi	84
6.1 Sile koje dovode do kretanja u atmosferi	84
6.2. Razmere atmosferskog kretanja	86
6.2.1. Opšta cirkulacija atmosfere - globalni vetrovi	86
6.2.2 Vetrovi sinoptičkih razmera	88
6.2.3 Lokalni vetrovi	89
6.2.3 Periodični vetrovi	91
6.3 Uticaj vetra na biljke	93
6.3.1. Poljozaštitni pojasevi	94
7 Zemljište i voda	98
7.1 Komponente vodnog bilansa u sistemu usev - zemljište	98
7.2 Faktori koji određuju kretanja vode iz zemljišta i unutar zemljišta	102
7.2.1 Kapacitet zadržavanja vode dostupne usevima	103
7.3 Ekstrakcija vode iz zemljišta preko korenovog sistema	106
7.4 Isparavanje zemljišta i transpiracija (evapotranspiracija)	108
7.4.1 Pojednostavljeni pristup izračunavanju stvarnog vodnog bilansa u sistemu zemljište - biljka koji omogućava agrometeorološku primenu (metod FAO)	109
7.5 Osnovni pristupi proračunu vodnog bilansa zemljišta	111
Primena	113
8 Fenologija	114
8.1 Uvod	114
8.2 Vegetacioni period i fenološke faze	116
8.2.1 Klasifikacija fenofaza	118
8.3 Fenologija štetočina i bolesti	119
8.3.1 Izračunavanje razvoja useva/štetočina na osnovu fenoloških modela ...	121
8.4 Uticaj niske temperature na fenologiju	122
8.5 Fenologija useva kao važan izvor podataka za upravljanje poljoprivrednom proizvodnjom	125
8.6 Fenologija kao agroklimatski indikator	128
8.6.1 Mapiranje klimatske pogodnosti useva na osnovu fenoloških modela ...	128

9 Ekstremne vremenske prilike	130
9.1 Suša	130
9.1.1 Poljoprivredna suša.....	130
9.2 Toplotni talasi.....	136
9.2.1 Metodi zaštite od toplotnih talasa	140
9.3 Mraz.....	142
9.4 Oluje, grad i vetar	145
9.4.1 Gräd	145
9.4.2 Vetar i oluje	147
9.5 Poplave i obilne padavine	151
9.6 Sistemi ranog upozorenja u poljoprivredi.....	155
10 Upravljanje rizicima	162
10.1 Rizik.....	163
10.2 Opasnost, izloženost i ranjivost: tri komponente rizika	163
10.2.1 Opasnost.....	163
10.2.2. Izloženost i ranjivost.....	164
10.3 Procena i upravljanje rizikom	165
10.4 Adaptacija i ublažavanje	167
11 Agrometeorološki modeli	172
11.1 Pristupi modeliranju	172
11.2 Tipovi modela	172
11.2.1 Problem prostornih i vremenskih skala modela.....	174
11.3 Karakteristike modela	175
11.3.1 Struktura modela.....	175
11.3.2 Ulazni parametri modela	177
11.3.3 Simulacije nivoa proizvodnje	178
11.4 Kalibracija i validacija modela biljne proizvodnje	179
11.5 Osetljivost modela biljne proizvodnje na ekstremne vremenske uslove i sa tim povezane neizvesnosti	181
11.6 Primena modela biljne proizvodnje	183
11.7 Modeli ili algoritmi za praćenje štetočina i bolesti	184
11.8 Agroklimatski indeksi i algoritmi	185
12 Klima, klimatske promene i poljoprivreda	190
12.1 Uvod	190

12.2 Klasifikacija i regionalizacija klime	191
12.3 Klimatske promene –	196
12.4 Uticaji klimatskih promena na poljoprivredu.....	201
12.5 Rešavanje nesigurnosti u studijama uticaja klimatskih promena na poljoprivredu	212
12.6 Stručne procene kao dodatni izvor informacija	213
12.7 Adaptacija poljoprivrede klimatskim promenama.....	215
12.7.1 Optimizacija poljoprivrednih tehnologija u odnosu na poljoprivredni sistem	217
12.7.2 Mere adaptacije vezane za vodne resurse.....	218
12.7.3 Mere adaptacije vezane za resurse zemljišta.....	220
12.7.4 Mere adaptacije vezane za klimatske resurse.....	222
12.7.5 Mere adaptacije vezane za genetičke resurse biljaka/useva.....	223
12.7.6 Mere adaptacije za bolju primenu agrotehničkih mera	223
12.8 Mere ublažavanja efekata klimatskih promena u poljoprivredi.....	225
Agrometeorološka merenja	229
13 Metodi merenja u agrometeorologiji.....	230
13.1 Osnovne tehnologije senzora - kratki uvod.....	230
13.2 Metode merenja.....	231
13.2.1 Primene u naučne svrhe	231
13.2.2 Senzori, metodi i tehnike merenja za primenjenu agrometeorologiju (praktična primena)	234
13.2.3 Instalacija agrometeorološke stanice	250
14 Daljinska merenja u poljoprivredi	253
14.1 Uvod	253
14.2 Daljinska detekcija na polju fenologije i vegetacione dinamike	255
14.2.1 Ostali vegetacioni indeksi.....	260
14.3 Sateliti sa mikrotalasnom opremom za procenu vlažnosti zemljišta	264
14.4 Primeri primene daljinskog merenja u poljoprivrednoj praksi.....	265
Numerički primeri.....	268
Literatura i dodatni materijal	292

Osnove

1 Poreklo i sastav atmosfere

Priča o atmosferi, uzrocima i posledicama njenog sastava, stanja i ponašanja mora početi od samog nastanka atmosfere. Uzrok današnjeg sastava atmosfere treba tržiti u načinu na koji je nastala planeta Zemlja.

Zajedno sa dolazećim sunčevim zračenjem i karakteristikama zemljine površine, sastav atmosfere je uzrok različitog grejanja i hlađenja površine Zemlje što je pokretačka sila gotovo svih atmosferskih procesa.

1.1 Atmosfera i Zemlja

Zemlja, naša planeta, je stvorena pre, otprilike 4.5 milijarde godina. Puna vulkana i vrela, Zemlja je rotirala i hladila se. U vulkanskim erupcijama emitovani su gasovi kao što su ugljen-dioksid, ugljen-monoksid, azotni oksidi i vodena para. Pored toga, neke komponente atmosfere, uključujući i vodenu paru, dolazile su na površinu planete tokom njenog bombardovanja od strane meteora i kometa. Nakon što je formirana čvrsta površina Zemlje čija temperatura je pala ispod 100 °C, voda u tečnom stanju je mogla da se zadrži na zemljinoj površini i da incira nastajanje Svetskog okeana.

Prvi okean je bio jedino mesto na mladoj Zemlji na kome su mogli da se održe prvi oblici života. Na dnu okeana pre, otprilike, 3.5 milijarde godina (ali sigurno ne manje od 2.7 milijardi) pojavile su se cianobakterije, odnosno plavo-zelene alge. One su bile prvi mikroorganizmi koji su mogli da stvaraju kiseonik u procesu fotosinteze. Kao rezultat različitih geoloških i hemijskih procesa, kiseonik koji je stizao u tu prvu atmosferu je dodatno smanjivao intenzitet UV zračenja koje je dolazilo do površine okeana. To je pomoglo da prve forme, nastale u okeanu, mogu da prežive u sve plićoj vodi te su se tako ove forme života uspinjale ka površini okeana. Nakon oko 2 milijarde godina veoma sporog uzdizanja prve biljke su se pojavile na kopnu pre oko 700 miliona godina.

Tabela 1.1 Prosečni sastav "suve" atmosfere ispod 80 km visine (Barry and Chorley, 1998).

Komponenta	Simbol	% u zapremini	% u masi
Azot	N ₂	78.08	75.51
Kiseonik	O ₂	20.95	23.15
Argon	Ar	0.93	1.28
Međuzbir		99.96	99.94
Neon	Ne	0.0018	
Helijum	He	0.0005	
Kripton	Kr	0.0011	
Vodonik	H ₂	0.00005	
Ksenon	Xe	0.00009	

Danas se zemljina atmosfera uglavnom sastoji od istih gasova kao što je to bilo u vreme kada su se prve biljke pojavile na kopnu, ali u sasvim drugačijem odnosu od onog koji mi mislimo da je postojao u prošlosti.

Tabela 1.2 Sastojci atmosfere koji imaju promenljiv sadržaj (Thompson, 1998).

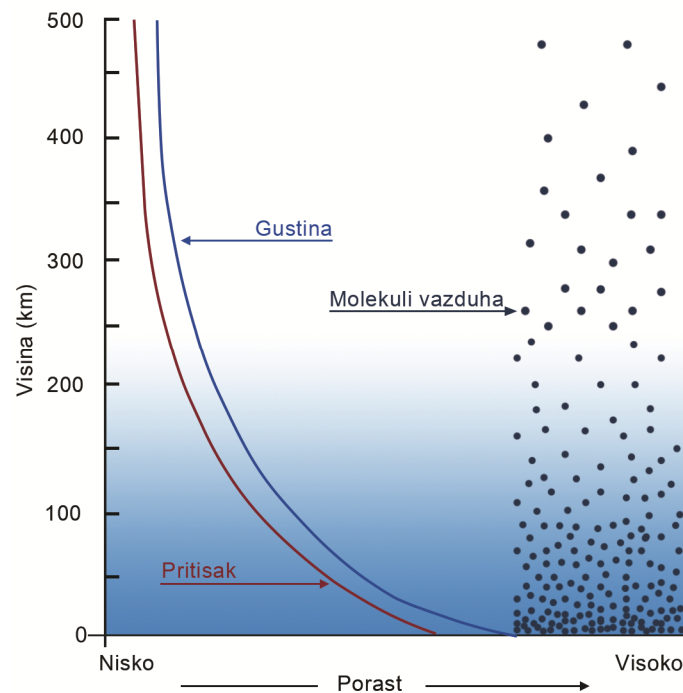
Komponenta	Simbol	% u zapremini	Koncentracija (ppm)
Vodena para	H ₂ O	0 to 4	
Ugljen-dioksid	CO ₂	0.035	355
Metan	CH ₄	0.00017	1.7
Ozotni oksid	N ₂ O	0.00003	0.3
Ozon	O ₃	0.000004	0.04
Čestice i aerosoli		0.000001	0.01
Hlorofluorokarbonati	CFC's	0.00000001	0.0001

Atmosfera danas je smeša stalnih gasova, aerosola i gasova koji se nalaze samo u tragovima, kao i nekih čvrstih i tečnih čestica. Stalni sastojci atmosfere koji imaju gotovo konstantnu koncentraciju su: azot (N), kiseonik (O₂) i argon (Ar) (Tab.1.1), dok su vodena para, ugljen-dioksid i ozon gasovi sa promenljivom koncentracijom (Tab.1.2). Štaviše, vodena para je sastojak atmosfere čiji se sastav najviše menja i tokom vremena i u prostoru.

Na ovom mestu istaknimo ulogu još jednog gasa koji je zastupljen samo u pojedinim delovima atmosfere ali igra odlučujuću ulogu u zaštiti živih bića na Zemlji od štetnog uticaja UV zračenja - ozona. Ovaj troatomni molekul kiseonika ima svoju dobru i lošu stranu te se obično tako i naziva u zavisnosti od toga u kom delu atmosfere se javlja i koju ulogu obavlja. Stratosferski ozon je "dobar". On ima sposobnost da u fotohemijskim reakcijama apsorbuje zračenje iz UV dela spektra dolazećeg sunčevog zračenja obezbeđujući da njegov samo mali deo stigne do Zemlje. Međutim, u prizemnom sloju atmosfere, ozon nastaje kao rezultat kompleksnih fotohemijskih reakcija koje uključuju NO₂ i ugljovodonike od koji se većina ubraja u isparljiva organska jedinjenja (engl. VOC). Kao snažan oksidant u direktnom kontaktu ozon je opasan i za biljke i za ljude. Zato se troposferski ozon naziva "loš" ozon. Kada je vazduh jako zagađen, ozon će izazvati veća oštećenja na biljkama nego svi drugi gasovi zajedno. Ulazeći u biljku kroz stome, ozon izaziva oksidacione procese na ćelijskom nivou. Vidljivi simptomi izloženosti biljaka su lezije na površini lista, umanjen rast i moguće smanjenje preraspodele ugljenih hidrata u zoni korena što sve može imati značajan uticaj na razvoj biljke i prinos. Delovi atmosfere u kojima je smanjena koncentracija "dobrog" ozona u odnosu na normalnu naziva se ozonska rupa.

Na kraju, značajan sastojak atmosfere koji se javlja u vidu malih čestica ili kapljica su aerosoli. Iako su njihove dimenzije relativno male (0,01 ppm), aerosoli mogu značajno da utiču na fizičke i hemijske procese u atmosferi. Ukoliko im se

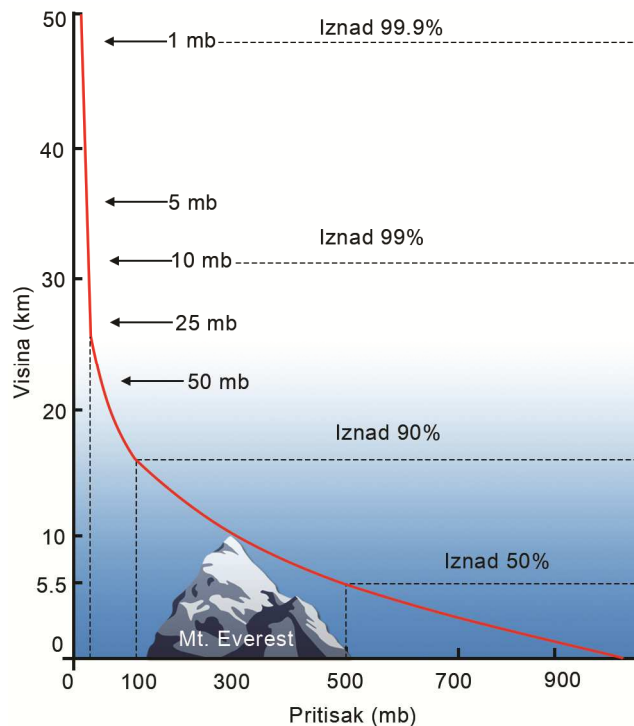
dimenzije ili koncentracija dovoljno povećaju, aerosoli mogu da utiču na prozračnost atmosfere prouzrokujući efekte kao da su prisutni tanki oblaci ili magla.



Slika 1.1 Vertikalna raspodela atmosferskog pritiska i gustine.

Gustina i pritisak atmosfere. Usled prisustva izvora i ponora različitih komponenata atmosfere, njihov sadržaj se značajno menja. Koncentracija većine gasova se smanjuje sa visinom, međutim, usled fotohemijskih procesa u delu atmosfere iznad 10 km, koncentracija ozona i jednoatomskog kiseonika je na visini veća nego u nižim slojevima atmosfere. Više od 50% mase atmosfere je locirano u najnižih 5,5 km, dok se 99% njene mase može naći u sloju debljine 30 km (Sl. 1.1 i 1.2). Prikazani primeri su u skladu sa rezultatima eksperimenata koji pokazuju da se gustina atmosfere smanjuje sa visinom.

Kako bi bolje objasnili atmosferski pritisak, zamislimo stub vazduha čija je osnovica površine 1 m^2 a visina odgovara debljini atmosfere, tj. stub se prostire od tla do vrha atmosfere. Vazduh u ovom stubu pritiska tlo svojom težinom. Odnos težine vazduha u stubu i površine površi koju pritiska naziva se *atmosferski pritisak*. Sa povećanjem visine se smanjuje gustina vazduha, kao što smo već primetili, ali se i skraćuje stub vazduha koji pritiska tlo. Dakle, na većim nadmorskim visinama je sve manje vazduha koji vrši pritisak pa je i atmosferski pritisak manji (Sl. 1.2).

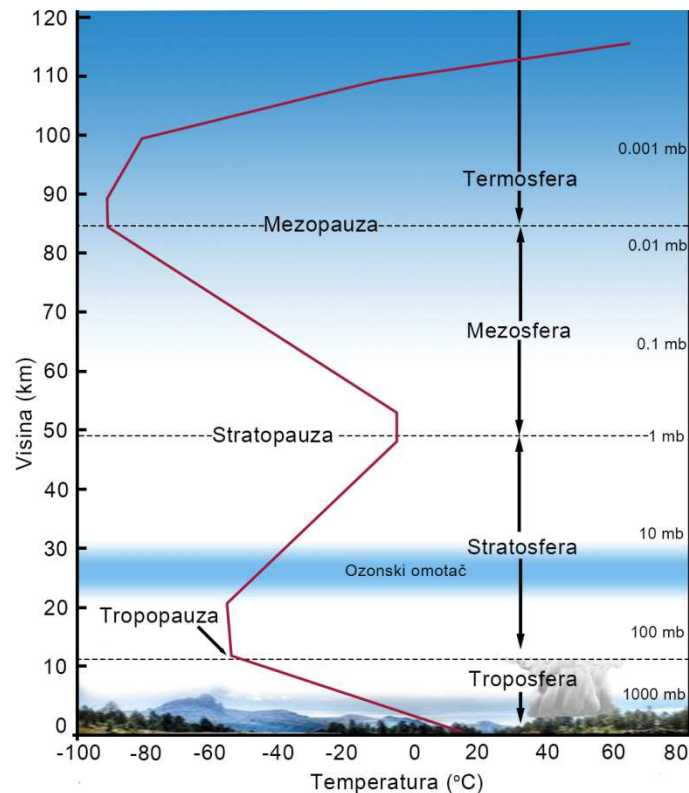


Slika 1.2 Vertikalna raspodela atmosferskog pritiska i mase (u procentima).

Stratifikacija atmosfere. Masa i pritisak atmosfere se naglo smanjuju u prizemnom sloju debljine oko 20 km, dok je iznad ove visine opadanje znatno sporije. Međutim, temperatura kao jedna od najznačajnijih karakteristika atmosfere se ne menja uniformno sa visinom (Sl. 1.3). Rezultati merenja pokazuju da, polazeći od površine Zemlje, temperatura vazduha opada, u proseku, za 6,5 °C/1000 m sve do 11 km visine. Ovaj deo atmosfere se naziva *troposfera*. Debljina troposfere se menja sa geografskom širinom, ali i tokom godine. Najizraženija je varijacija između polova (7 km) i Ekvatora (20 km). Imajući u vidu da je najznačajniji izvor toplote za atmosferu upravo Zemljina površina, a dodajući tome i smanjenje gustine atmosfere sa visinom (sa kojim smo se upoznali u prethodnoj sekciji) - opadanje temperature sa udaljavanjem od površine je očekivana posledica. U troposferi se nalazi 75-80% mase atmosfere koja formira vreme ili utiče na njega. Na gornjoj granici troposfere nalazi se tanki sloj vazduha - tropopauza, za koji se obično kaže da se u njemu temperatura vazduha ne menja sa visinom. Ovo nije sasvim tačno. Na početku tropopauze temperatura vazduha opada za 6,5 °C/1000 m, ali se ova promena smanjuje sve do 2 °C/1000 m ili još manje u narednih nekoliko kilometara formirajući sloj vazduha skoro konstantne temperature (WMO, 1992). Zavisno od geografske širine, "nekoliko" može da bude 2 ili 4 km. Iz termodinamičkih razloga, konstantna temperatura sloja prigušuje sva vertikalna kretanja. Zato se tropopauza ponaša kao nesavršen krov troposfere koji je odvaja od ostatka atmosfere.

Porast temperature vazduha sa visinom siguran je znak prelaska iz tropopauze u *stratosferu*. Ovaj sloj atmosfere svoj temperaturni profil "duguje", pre svega, sadržaju pojedinih gasova. Na visini od oko 20 km najveća je koncentracija

ozona koji intenzivno apsorbuje UV zračenje povisujući temperaturu ovog dela atmosfere. Porast temperature sa visinom, tzv. stabilna stratifikacija atmosfere (vidi



Slika 1.3 Slojevi atmosfere definisani preko vertikalnog gradijenta temperature.

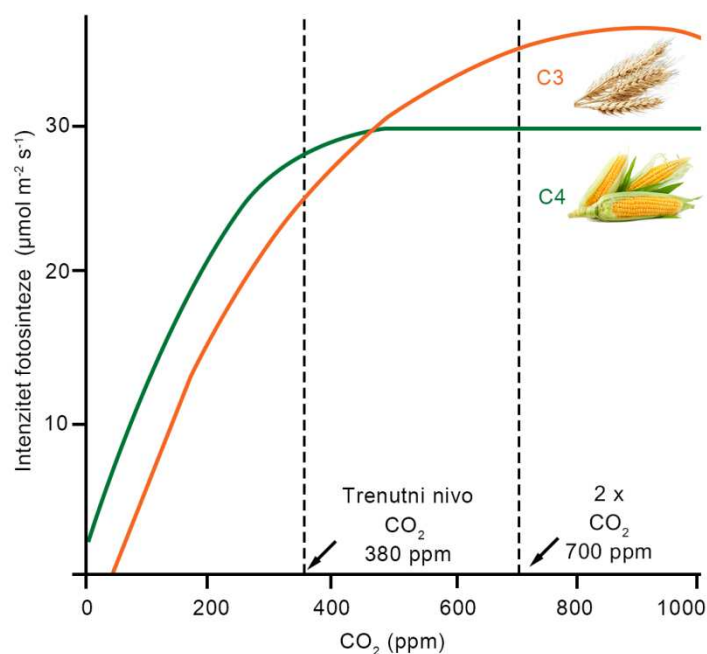
Glavu 5), ne dozvoljava uzdizanje vazduha te su vertikalno mešanje i konvekcija praktično zanemarljivi. Čestice koje stignu do ovog dela atmosfere mogu ostati u njemu decenijama. To je razlog zašto u stratosferi može da se pronađe materijal nastao u snažnim erupcijama vulkana ili nuklearnim akcidentima koji su se odigrali pre mnogo godina. Takođe, stratosfera je veoma suva. Najveći deo vodene pare ostaje u troposferi dok je 20% njene mase raspoređeno u sloju čija je debljina veća od 30 km. Na visinama između 50 i 55 km nalazi se gornja granica troposfere na kojoj počinje *stratopauza*. Prosečna temperatura na ovoj visini je $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, dok atmosferski pritisak od 100 Pa (1 mb) ukazuje na činjenicu da se 99,9% atmosfere nalazi ispod ovog nivoa. Stratopauza je tanak sloj atmosfere u kome je promena temperature sa visinom zanemarljiva.

Na visini iznad 50 km (ili 55 km), temperatura vazduha ponovo počinje da opada dostižući svoj apsolutni atmosferski minimum od $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ na visini od oko 85 km. Ovaj sloj atmosfere, bogat UV zračenjem u kome je gustina gasova veoma mala i u kome gotovo da nema kiseonika nazvan je *mezosfera*. Zbog male gustine vazduha apsorpcija sunčevog zračenja je mala u ovom sloju atmosfere, dok stratosfersko grejanje intenzivno opada sa visinom. Inače, zbog svog specifičnog položaja (previsoko za istraživačke avione i balone i prenisko za satelite) mezosfera je do danas ostala najmanje istraženi deo atmosfere. Na gornjoj granici mezosfere

nalazi se *mezopauza* koja je odvađa od najvišeg sloja atmosfere - *termosfere*. U ovom sloju vazduha, koji se prostire do 100 km visine, vazduh je toliko razređen da su čak i sudari atoma i molekula retka pojava. Sastav i temperatura termosfere su u velikoj meri posledica Sunčeve aktivnosti, pa su tako su višim delovima glavni sastojci azot, kiseonik i helijum u atomskom stanju. Iako se smatra da temperatura raste sa visinom u ovom delu atmosfere, ovaj stav nikako nebi trebalo shvatiti na isti način kao, recimo, u slučaju stratosfere. Naime, u ovom delu atmosfere sadržaj gasova je toliko mali da njegovu temperaturu treba shvatiti, bukvalno, kao srednju kinetičku energiju prisutnih molekula.

1.2 Uticaj sastava atmosfere na biljke

Atmosfera i zemljište čine životnu sredinu biljaka. Sastav atmosfere i uslovi koji vladaju u njoj imaju ključni uticaj na razvoj biljaka. Bilans i balans atmosferskih gasova je, praktično, glavni pokretač fizioloških i hemijskih procesa u biljci kao i njenog kompletnog rasta i razvoja. Značaj porasta CO₂ u atmosferi na razvoj biljaka predmet je brojnih studija još od poslednjih decenija XX veka. U centru pažnje je uticaj CO₂ na proces fotosinteze (Sl. 1.4) i transpiracije (Sl.1.5). Nema sumnje da postoji značajna razlika u reakciji C₃ i C₄ biljaka¹ (i fotosinteze koja se odvija u njima) na porast CO₂ u uslovima kada ne postoji manjak vlage.



Slika 1.4 Intenzitet fotosinteze C₃ i C₄ biljaka u odnosu na promene koncentracije CO₂.

¹C₃ biljke su biljke umerenih klimata kao što su pšenica, suncokret, soja i ječam, dok su C₄ biljke aridnih klimatskih zona (kukuruz, sirak) u kojima preovlađuje toplo ili tropsko vreme.

Pri promeni koncentracije ugljen-dioksida od 180 ppm do 700 ppm intenzitet fotosinteze se promeni za 30% kod C_4 biljaka ali čak za 142% kod C_3 biljaka. Pri fotosintetski aktivnom zračenju (FAZ) od $279,12 \text{ W m}^{-2}$, neto bilans fotosinteze kod pšenice (C_3) iznosi, u proseku, $15,9 \text{ mol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ($4,42 \cdot 10^{-3} \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) dok je u slučaju kukuruza (C_4) taj iznos $12,5 \text{ mol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ($3,47 \cdot 10^{-3} \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Takođe, fotosinteza može da dođe u stanje "saturacije" kada se radi o uticaju CO_2 na intenzitet procesa, odnosno da dalje povećanje koncentracije ne dovodi do povećanja intenziteta. Korisno je zapaziti da se ovo odigrava kod kukuruza na mnogo nižim koncentracijama CO_2 (450 ppm) nego u slučaju pšenice (850ppm). Uticaj povećane koncentracije CO_2 na intenzitet transpiracije odigrava se na nivou stoma, gde dolazi do povećanja stomatarnog otpora i usled toga do smanjenja intenziteta transpiracije. U zavisnosti od izloženosti stresu, prihrane ili genetskih karakteristika, ista biljna vrsta može različito reagovati na istu promenu sadržaja CO_2 što unosi dodatnu neodređenost u predviđanja u ovom pogledu i potencijalne mere adaptacije.

U Evropi je, tokom XX veka, SO_2 bio najznačajniji fitotoksični zagadivač atmosfere. Tokom 1990ih njegova emisija je značajno smanjena dok su NO_x (NO i NO_2) i O_3 postali mnogo značajniji zagadivači. Visoka koncentracija atmosferskog SO_2 tokom kratkog vremenskog perioda može proizvesti značajna oštećenja na biljkama, naročito kada se radi o funkcionalnosti stomatarnog aparata. Sa druge strane kumulativni efekti, koji su posledica dugotrajne izloženosti, mogu značajno da utiču na otpornost biljaka prema stresu i smanjenje rasta bez prethodnih jasnih simptoma. U kombinaciji sa troposferskim ozonom koji ima slično štetno dejstvo, čak i vrlo niske koncentracije SO_2 i NO_x mogu značajno da oštete biljke.

1.3 Uticaj biljaka na sastav atmosfere

Usled prirodnih ali i antropogenih procesa sastav atmosfere se stalno menja u vremenu i prostoru. Počev od prve industrijske revolucije (XVIII vek) antropogeni procesi (proces koji izaziva čovek) dobijaju na značaju. Ipak, do kraja poglavlja pažnja će biti posvećena fizičkim, hemijskim i fiziološkim procesima, za koje su odgovorne biljke i zemljište.

Počecemo sa jednim od najznačajnijih procesa, a to je balans u produkciji i razlaganju azota i kiseonika u atmosferi. Azot nastaje i oslobađa se iz zemljišta tokom procesa nitrifikacije (biološka oksidacija amonijaka do nitrata) i denitrifikacije mikrobiološki proces redukcije, odnosno nestajanja nitrata, u kojima dolazi do oslobađanja N_2 , N_2O , NO and NH_4 . Nasuprot tome, biološka aktivnost koja se odigrava u zemljištu (pre svega fiksacija azota) je naročito odgovorna za uklanjanje azota iz atmosfere. Najznačajniji izvor atmosferskog kiseonika je proces fotosinteze koji se odvija u biljkama. Sa druge strane, ponori kiseonika su svi procesi oksidacije organske (biljaka, životinja i respiracija bakterija) i neorganske materije kao i aerobno razlaganje organske materije.

Biljke utiču na sastav atmosfere u mehaničkom i na fiziološkom smislu. Biljni sklop, a naročito šumski biljni sklop, povećava hrapavost površine, menja tok vazdušnih masa iznad šuma i produkuje razmenu gasova između atmosfere i šumskog sklopa. Atmosferski gasovi kao što su O_2 , CO_2 i H_2O su stalni učesnici značajnih fizičkih i fizioloških procesa koji se vezuju za rast i razvoj biljaka i interakciju biljnog sklopa sa okruženjem. Neki drugi gasovi mogu biti asimilirani od strane biljaka (O_3) ili deponovani na njihovoj površini (NO_x , SO_x, \dots). Prisustvo biljaka utiče na bilans ugljenika preko procesa distribucije biomase, respiracije, asimilacije ugljen-dioksida, dekompozicije organske materije i mineralizacije nutrienata. U slučaju vode i vodene pare, vegetacija uvek povećava vlažnost vazduha preko procesa evapotranspiracije i umanjuje transport vodene pare od površine zemlje ka atmosferi. To je razlog zašto se biljni sklop smatra značajnim izvorom ali i ponorom većine gasova koji čine gasne komponente atmosfere.

2 Energetski bilans atmosfere

Tri najznačajnija mehanizma kojima se obavlja transfer energije u prirodi su: provođenje, konvekcija i zračenje. Energija se *provođenjem* prenosi kroz čvrste materijale i to se dešava kada atomi ili molekuli međusobno interaguju prenoseći deo svoje kinetičke ili vibracione energije od čestica koje imaju veću energiju (topliji deo sistema) do čestica sa nižom energijom (hladniji deo sistema). *Konvekcija* je karakteristična za transfer energije u fluidima odnosno kroz granicu između čvrstog tela i fluida koji protiče. Elektromagnetno *zračenje* je mehanizam kojim se energija transportuje putem elektromagnetnih talasa koji se prostiru brzinom svetlosti kroz vazduh, vakuum ili neke druge dijametne materijale.

2.1 Kratkotalasno i dugotalasno zračenje u atmosferi

Talasna dužina, λ i frekvencija, ν su karakteristike talasa koje se najčešće koriste za opisivanje elektromagnetnog zračenja. S obzirom da su elektromagnetni talasi samo specijalan način prenosa energija putem talasa, kao i kod svih drugih talasa može da se uspostavi veza između talasne dužine i frekvencije u obliku

$$c = \lambda \cdot \nu \quad (2.1)$$

gde je c brzina prostiranja talasa. U slučaju elektromagnetnih talasa u vazduhu ili vakuumu, ova veličina je dobro poznata *brzina svetlosti*, koja iznosi $3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$. U skladu sa Plankovom kvantnom teorijom, energija se niti emituje niti apsorbuje kontinualno već u vidu kvanata. U slučaju elektromagnetnog zračenja, ovi paketi energije se nazivaju fotoni i njihova energija, E je proporcionalna frekvenciji a obrnuto proporcionalna talasnoj dužini zračenja

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (2.2)$$

Svako telo na temperaturi iznad 0 K emituje zračenje. Energija elektromagnetnog zračenja, emitovana sa jednog m^2 površine tela u svakoj sekundi, u skladu sa Štefan-Bolcmanovim zakonom je proporcionalna četvrtom stepenu apsolutne temperature tog tela, T

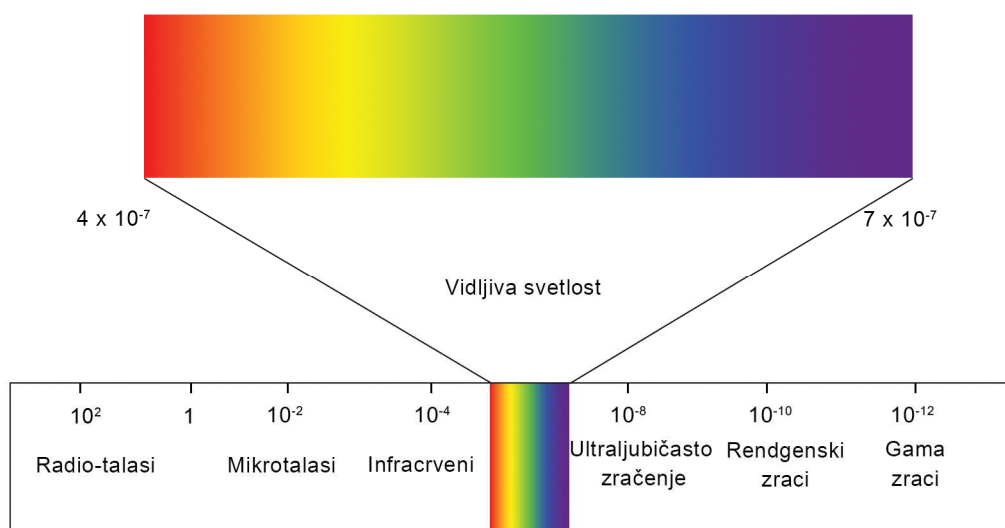
$$B = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (2.3)$$

gde je σ Štefan-Bolcmanova konstanta ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$), a ε emisivnost površine. Brojni eksperimenti su pokazali da na istoj temperaturi različita tela različito zrače. Očigledno, energija koju telo emituje ne zavisi samo od temperature nego i od karakteristika tela. Emisivnost površine može da varira od 0, kod apsolutno belih tela, do 1 kod apsolutno crnih. Naravno, u prirodi ne postoje ni apsolutno crna ni apsolutno bela tela ali neke prirodne površine se ponašaju slično ovim, idealizovanim, telima (Tab. 2.1).

Tabela 2.1 Srednji godišnji albedo (vidi 2.2) i emisivnost različitih pokrivača (Thompson, 1998).

Tip pokrivača	Albedo	Emisivnost
Tropska šuma	0.13	0.99
Šuma	0.14	0.98
Njive i pašnjaci	0.20	0.95
Polupustinja i kamena pustinja	0.24	0.92
Suvi pesak	0.37	0.89
Vodena površina	<0.08	0.96
Okeanski led	0.25-0.60	0.90
Vegetacija pokrivena snegom	0.20-0.80	0.88
Led prekriven snegom	0.80	0.92

Talasna dužina, odnosno frekvencija, i spektar su najznačajnije karakteristike elektromagnetnog zračenja nekog tela. S obzirom da je energija elektromagnetnog zračenja obrnuto proporcionalna njegovoj talasnoj dužini, izraz *kratkotalasno* je rezervisan za zračenje velike energije, a *dugotalasno* za niskoenergetsko zračenje. Spektar elektromagnetnog zračenja nekog tela predstavlja distribuciju monohromatske iradijance odnosno intenziteta zračenja po talasnim dužinama (Sl. 2.1). U zavisnosti od talasne dužine koja odgovara maksimumu u spektru, elektromagnetno zračenje nekog tela se smatra kratkotalasnim ili dugotalasnim. Najznačajniji izvor kratkotalasnog zračenja za Zemlju je Sunce (maksimum u emisionom spektru je na 500 nm), dok svi drugi oblici elektromagnetnog zračenja koji dolaze sa mnogo hladnije zemljine površine odgovaraju dugotalasnom delu spektra.

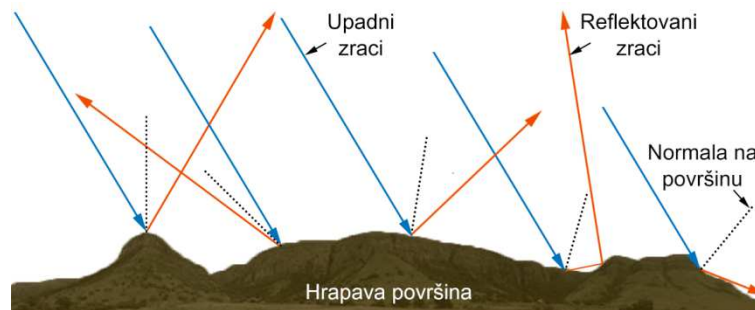


Slika 2.1 Spektar elektromagnetnog zračenja.

Sunce je zvezda. To je lopta užarenih gasova i plazme, čija površina zrači kao površina apsolutno crnog tela na temperaturi oko 6000 °C. Atmosferski gasovi ne apsorbuju sunčevo zračenje u vidljivom delu spektra (380 nm - 760 nm) već

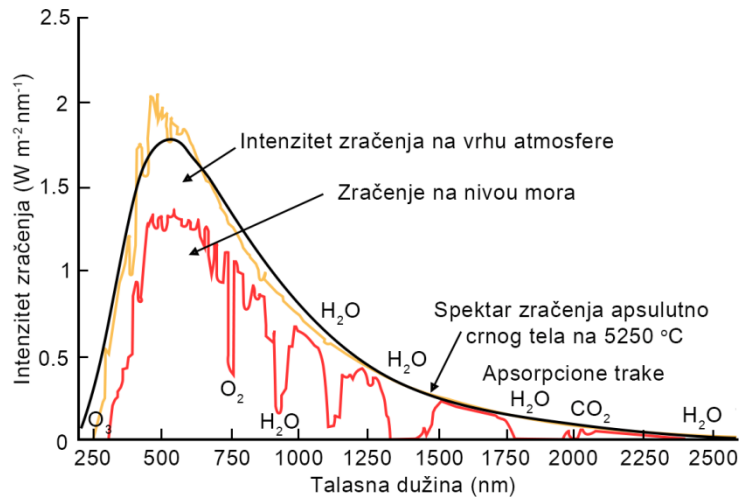
omogućavaju visoko energetskom zračenju, da od Sunca stigne na Zemljinu površinu i na taj način odigra ulogu najznačajnijeg pokretača svih procesa u atmosferi. Naravno, apsorpcija nije jedini mehanizam slabljenja sunčevog zračenja u atmosferi. *Difuzna refleksija* i *selektivna apsorpcija* su procesi koji mogu značajno da promene i kvalitet i kvantitet Sunčevog zračenja koje dolazi do Zemljine površine.

Difuzna refleksija se odigrava kada se zračenje reflektuje od površine koja nije glatka. U atmosferi je to česta situacija kada zračenje dospeva do delova oblaka, kapljica ili čestica koje se nalazi u atmosferi. U tom slučaju, upadni snop paralelnih zraka, nakon rasejanja prestaje da bude paralelan i formira difuzno zračenje (Sl. 2.2). Razlog tome je činjenica da se hrapava površina sastoji od mnogo malih, ravnih površina koje su postavljene pod nekim uglom jedna u odnosu na drugu. Na svaku od površina paralelni zraci padaju pod istim uglom ali se zbog njihove orijentacije različito reflektuju formirajući reflektovani snop ne-paralelnih zraka.



Slika 2.2 Difuzna refleksija zračenja sa hrapave površine.

Selektivna apsorpcija je proces pri kom se zračenje različitih talasnih dužina apsorbuje različitim intenzitetom od strane nekog molekula. Za ovaj događaj odgovoran je apsorpcioni spektar molekula koji pokazuje na kojim talasnim dužinama posmatrani molekul apsorbuje elektromagnetno zračenje. Specifičan apsorpcioni spektar gasova koji čine atmosferu je odgovoran za selektivnu apsorpciju sunčevog zračenja. Oni gasovi koji su više zastupljeni u atmosferi će obezbediti veću apsorpciju na talasnim dužinama karakterističnim za njihov apsorpcioni spektar što će dovesti do smanjenja intenziteta sunčevog zračenja na tim talasnim dužinama nakon njegovog prolaska kroz atmosferu. Dakle, prisustvo pojedinih gasova dovodi do selektivne apsorpcije a njihova veća ili manja koncentracija u pojedinim delovima atmosfere formira spektar sunčevog zračenja koji će biti registrovan na površini Zemlje (Sl. 2.3).



Slika 2.3 Spektar sunčevog zračenja na vrhu atmosfere i površini Zemlje.

Planeta Zemlja je telo čija temperatura i emisivnost nisu jednake na svim delovima površine. Intenzitet zračenja emitovanog sa Zemljine površine, B_z može da se izračuna korišćenjem jedn. (2.1) i uzimajući u obzir, naravno, temperaturu površine Zemlje i njenu emisivnost.

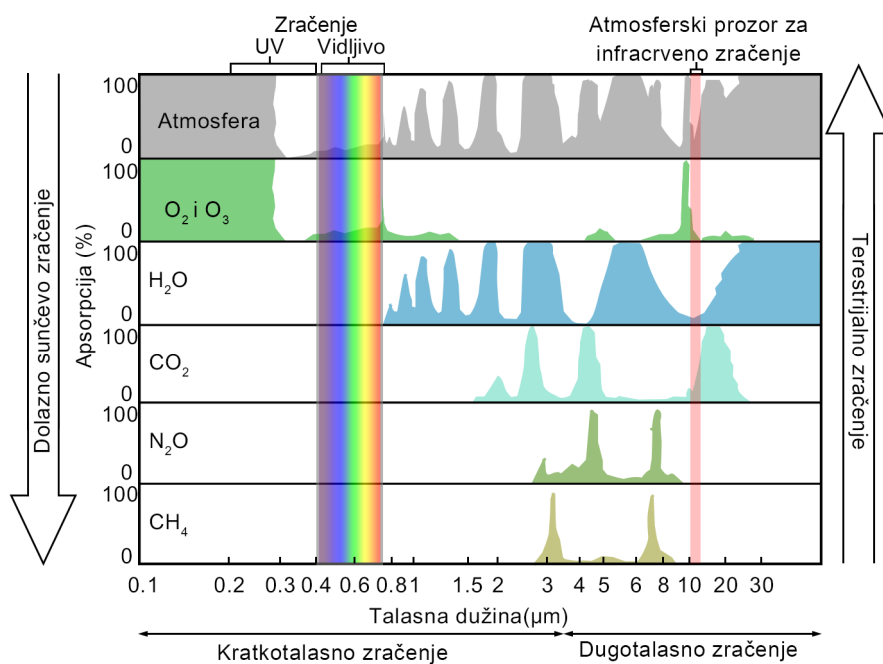
Elektromagnetno zračenje atmosfere je mnogo kompleksnije od Zemljinog izračivanja. Naime, svaka gasna komponenta atmosfere, svaka čestica ili delić oblaka mogu biti izvori toplotnog zračenja koji emituju, u skladu sa Štefan-Bolcmanovim zakonom, elektromagnetno zračenje čiji je intenzitet srazmeran njihovoj temperaturi. S obzirom da je svaki delić mnogo manji od oklonog vazduha, on za ove deliće predstavlja beskonačan toplotni rezervoar. Zbog toga možemo smatrati da je temperatura svakog od ovih gasova (ili kapljica vode) praktično jednaka temperaturi vazduha koji ga okružuje. U tom slučaju je opravdana pretpostavka da je intenzitet dugotalasnog zračenja emitovanog od strane sastojaka atmosfere, B_a proporcionalno četvrtom stepenu temperature vazduha i sadržaju ovih malih izvora zračenja u atmosferi. Očigledno, egzaktnu relaciju za izračunavanje atmosferskog zračenja je gotovo nemoguće formulisati. Međutim, postoji mnogo empirijskih relacija od kojih svaka daje prednost određenim sastojcima atmosfere. Često korišćena je Brentova empirijska formula, koja može biti napisana u obliku

$$B_a = \sigma T_a^4 (0.625 + 0.056 \cdot e^{1/2}), \quad (2.4)$$

gde je e - pritisak vodene pare izražen u hPa (1 mb = 1 hPa = 100 Pa), a T_a je temperatura vazduha. S obzirom da se temperatura površine Zemlje i površinskog sloja atmosfere nalaze u intervalu 200 K - 300 K, emitovano zračenje pripada tzv. infracrvenom delu spektra elektromagnetnog zračenja (4 μm - 10 μm) sa maksimumom intenziteta na talasnoj dužini od 10 μm - dugotalasno zračenje (Sl. 2.4). U literaturi, uobičajeni naziv za dugotalasno zračenje koje emituje Zemlja je Zemljino izračivanje, dok se dugotalasno zračenje koje na Zemlju stiže iz pravca atmosfere, naziva protivzračenje atmosfere ili atmosfersko zračenje. Često se Zemljino izračivanje i protivzračenje atmosfere nazivaju i terestrijalnim zračenjem (Sl.

2.4). Razlika između protivzračenja atmosfere i Zemljinog izračivanja naziva se *efektivno izračivanje*. Ovo zračenje je odgovorno za hlađenje i grejanje Zemljine površine i atmosfere tokom noći. Ukoliko je pozitivno, onda je bilans dugotalasnog zračenja pozitivan i tlo će se grejati tokom noći, u protivnom tlo će se hladiti. Prisustvo oblaka može povećati bilans dugotalasnog zračenja na površini tla. Naime, Zemljino izračivanje i deo protivzračenja atmosfere usmeren naviše, mogu da se odbiju od oblaka i vrata ka površini Zemlje značajno usporavajući njeno hlađenje tokom noći.

Većina gasova koji čine atmosferu apsorbuje elektromagnetno zračenje ali u različitom opsegu talasnih dužina (Sl. 1.3). Možda najmoćniji apsorber elektromagnetnog zračenja na talasnim dužinama manjim od $0,4 \mu\text{m}$ (UV zračenje) je stratosferski ozon. Sa apsorptivnošću za UV zračenje koja iznosi skoro 1, "dobri" ozon je praktično čuvar života na Zemlji. Dodatno, azot i kiseonik takođe apsorbuju elektromagnetno zračenje ali na talasnim dužinama manjim od $0,1 \mu\text{m}$ (N_2) i na $0,245 \mu\text{m}$ (O_2). Interesantno je da gotovo nijedan gas u atmosferi ne apsorbuje na talasnim dužinama između $0,39 \mu\text{m}$ i $0,70 \mu\text{m}$ pa se ovaj deo spektra naziva "atmosferski prozor" (Sl. 2.4). Njegovo postojanje omogućuje sunčevom zračenju u



Slika 2.4 Apsorpcioni spektar najznačajnijih „gasova staklene bašte“.

vidljivom delu spektra da stigne do Zemlje. Uz izvesno smanjenje intenziteta, do površine Zemlje stiže sunčevo zračenje u nešto širem opsegu talasnih dužina ($0,3\text{-}3,0 \mu\text{m}$) koji uključuje i blisko ultra violentno, vidljivo i blisko infracrveno, jednom rečju – kratkotalasno zračenje. Apsorpcija ovog zračenja u najvećoj meri zavisi od prisustva vodene pare i ugljen – dioksida u atmosferi (Sl. 2.4).

Odlazeće Zemljino izračivanje pripada dugotalasnom delu spektra sa talasnim dužinama većim od $4 \mu\text{m}$. U apsorpciji dugotalasnog zračenja u atmosferi, najvažniju

ulogu igraju gasovi koje obično zovemo "gasovi staklene bašte"² (GHG). U ove gasove se ubrajaju: vodena para, ugljen-dioksid, ozon, natrijumovi oksidi i metan. GHG u atmosferi su odgovorni za apsorpciju zračenja u tzv. „infracrvenom prozoru“ između 2 μm i 10 μm . Jedino ugljen-dioksid ima značajnu apsorpciju dugotalasnog zračenja iznad 13 μm .

2.2 Energetski bilans

Sučevo zračenje stiže na zemljinu površinu u vidu *direktnog* i *difuznog* zračenja. Direktno zračenje je deo sunčevog zračenja koji dolazi na horizontalnu površinu Zemlje u vidu snopa paralelnih zraka u vrlo malom prostornom uglu (do 5°). Međutim, ako na putu direktnog Sunčevog zračenja kroz atmosferu dođe do njegove difuzne refleksije i rasejanja u atmosferi, Sunčevo zračenje stiže na površinu Zemlje u vidu *difuznog* zračenja. Mera direktnog Sunčevog zračenja koje stiže do Zemljine površine je takozvano *globalno* zračenje, definisano kao zbir intenziteta direktnog i difuznog zračenja. Naravno, podela globalnog zračenja na direktno i difuzno zračenje je uglavnom posledica prisustva oblaka u atmosferi i ugla pod kojim stižu Sunčevi zraci. U slučaju bezoblačnog neba, na površini Zemlje biće prisutno i direktno i difuzno zračenje. Naravno, ukoliko je na nebu prisutan debeo sloj oblaka koji ga u potpunosti prekriva tako da se Sunce i ne vidi, onda će svo direktno Sunčevo zračenje biti apsorbovano ili rasejano i jedino će difuzno zračenje stizati na Zemljinu površinu. Slična situacija se javlja kad se Sunčevi zraci prostiru pod vrlo velikim zenitnim uglom, odnosno kada se Sunce nalazi blizu zalaska iza horizonta. U području centralne Evrope, tipična vrednost dnevne sume globalnog zračenja, u zavisnosti od doba godine i geografske širine, varira od 5 MJ m⁻² zimi do 30 MJ m⁻² leti.

Kada stigne do površine Zemlje, globalno zračenje može biti apsorbovano na njenoj površini, ili pak reflektovano nazad u atmosferu. Apsorpcija kratkotalsnog zračenja na površini Zemlje varira u zavisnosti od geografske širine, godišnjeg doba i karakteristika površine do koje je došlo ovo kratkotalsno zračenje. Iznos globalnog zračenja koje će biti reflektovano od površine Zemlje - *reflektovano* zračenje, zavisi od karakteristika površine, a u prvom redu od njenog albeda. Vrednost albeda prirodnih površina varira od 0,13 za tropske šume do 0,8 za snegom pokrivenu ledenu površinu (Tab. 2.1). Albedo površine, može da se izračuna, kao količnik intenziteta reflektovanog i globalnog zračenja. Ova veličina u velikoj meri zavisi od

²Naziv "gasovi staklene bašte" je zadržan iz istorijskih razloga iako efekat na koji se odnosi nema nikakve veze sa staklenom baštom. Naime, glavni razlog više temperature u staklenoj bašti nego u njenoj okolini jeste sprečavanje provođenja toplote iz bašte zbog prisustva staklenih zidova. Kada se radi o grejanju koje se povezuje sa GHG, uzrok porasta temperature je povećana apsorpcija dugotalasnog zračenja od strane ovih gasova. Dakle radi se o dva potpuno različita fizička procesa. Prvi je izolacija, odnosno sprečavanje provođenja, a drugi je apsorpcija dugotalasnog zračenja i njegova reemisija ka zemljinoj površini.

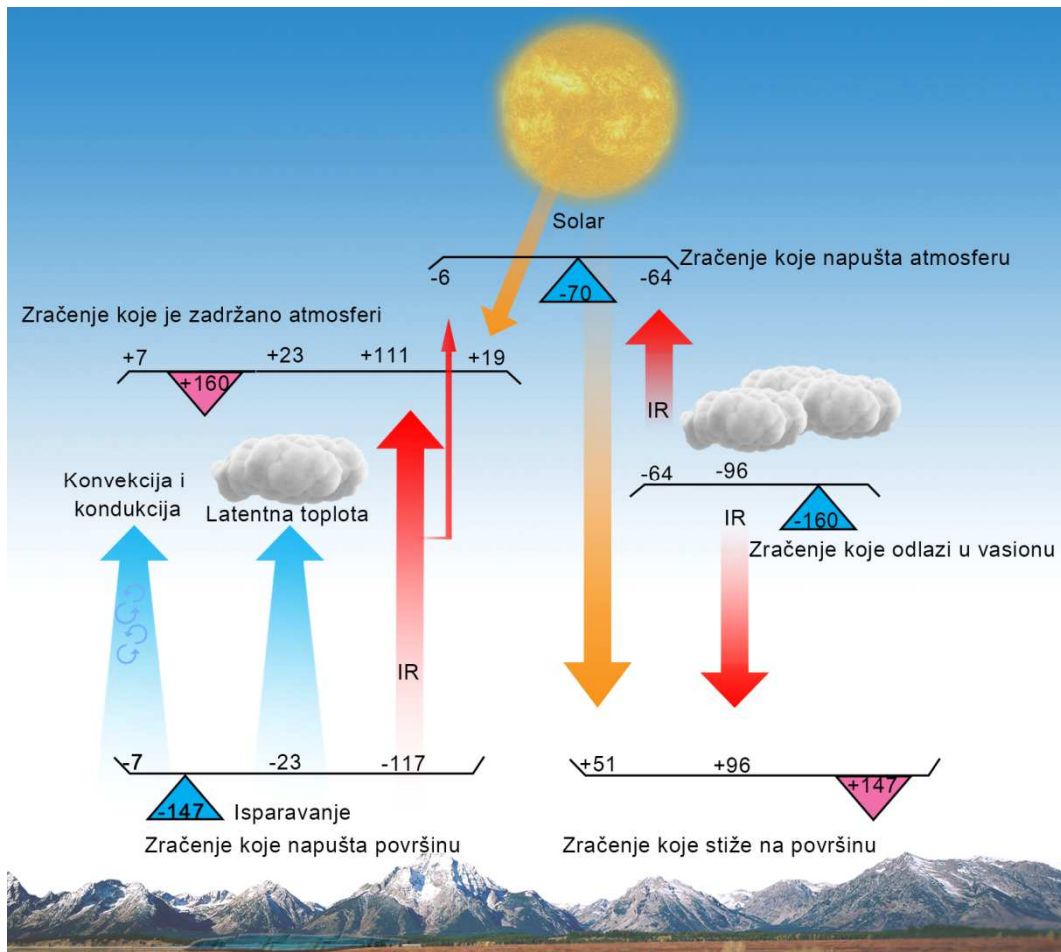
boje, vlažnosti, strukture i pokrivenosti površine, odnosno od karakteristika njenog pokrivača. Tamna i vlažna površina, bez biljnog pokrivača i nakon dubokog oranja ima mali albedo jer svaka od ovih karakteristika ponaosob povećava intenzitet apsorpcije sunčevog zračenja. Naime, tamna površina bolje apsorbira zračenje nego svetla, dok prisustvo vode u zemljištu povećava njen toplotni kapacitet jer je vazduh, koji ima manji toplotni kapacitet, sada zamenjen vodom koja ima veći toplotni kapacitet. Sa druge strane, dubokim oranjem se povećava broj površina koje reflektuju pod različitim uglom, što dovodi do višestruke refleksije Sunčevog zračenja u rastresitom, površinskom sloju zemljišta. Na taj način se mnogo više energije zadržava u zemljištu. Dakle, jedna vrlo bitna komponenta energetskog bilansa Zemljine površine - reflektovano zračenje, zavisi od karakteristika površine koje mogu biti promenjene. Mnogo više o uticaju vegetacije na albedo biće rečeno u poglavlju 2.3.

Pre detaljnije analize energetskog bilansa, recimo nešto više, o značajnim izvorima i ponorima energije u atmosferi, *osetnoj* i *latentnoj* toploti, koje se prenose putem konvekcije i turbulencije. Osetna toplota predstavlja energiju prenesenu sa toplijeg na hladnije mesto posredstvom fluida, izazivajući promenu temperature svih tela koja su u kontaktu. Pred kraj XIX veka (1884.) Džul je ovo opisao kao energiju na koju ukazuje termometar. Latentna (skrivena) toplota je energija uključena u fazne prelaze pri konstantnoj temperaturi. Na Zemljinoj površini i u atmosferi ova energija je povezana sa prelaskom vode iz vodene pare u tečnu vodu i led. Fluks osetne toplote je pozitivan ako je usmeren od površine prema atmosferi dok je fluks latentne toplote pozitivan ako površina isparava. Ova konvencija ima smisla zato što u oba slučaja atmosfera postaje toplija.

Na ovom mestu ćemo se pozabaviti još jednim problemom koji često unosi konfuziju kod čitalaca kada se radi o tome koliko energije Zemlja, ili njena jedinična površina, zaista dobija od Sunca. Treba razmatrati dva aspekta ovog problema. Jedan se odnosi na energiju sunčevog zračenja koja u jednom trenutku pada na 1 m^2 površine normalne na pravac upadnih zraka. U proseku, ova energija iznosi $1367 \text{ J po m}^2 \text{ u s}$, tj. odgovara joj zračenje intenziteta 1367 W m^{-2} i naziva se *solarna konstanta*. Drugi aspekt se odnosi na energiju koja, u proseku, stiže od Sunca do 1 m^2 površine gornje granice atmosfere u 1 s. Ova energija pokazuje koliko bi energije dobio svaki deo atmosfere kad bi se ona ravnomerno raspoređivala u svakom trenutku. Kratak proračun pokazuje da intenzitet ovog zračenja iznosi oko $\frac{1}{4}$ solarne konstante, odnosno 342 W m^{-2} .

Energetski bilans kratkotalnog zračenja na Zemljinoj površini i u atmosferi kao i vrednosti pojedinih flukseva zračenja se često izražava u odnosu na intenzitet upadnog Sunčevog zračenja (normirano na 100 jedinica). U daljoj analizi ćemo sve komponente bilansa izražavati kao procenat od ovog upadnog zračenja. Na svom putu kroz atmosferu (Sl. 2.5), Sunčevo zračenje prolazi kroz procese: a) *apsorpcije* u stratosferi (2) i troposferi (17); b) *refleksije* od oblaka (20) i Zemljine površine (4) uključujući i rasejavanje u atmosferi (6) i c) *transmisiju* u vidu direktnog (28) i difuznog (23) zračenja. Svi ovi procesi dovode do zajedničkog efekta refleksije 30 jedinica zračenja što odgovara planetarnom albedu od 0,3. Uzimajući u obzir sve

„dolazne“ i „odlazne“ flukseve dolazi se do zaključka da atmosfera apsorbuje tek 19% od upadnog Sunčevog zračenja dok oko 51% dođe do Zemljine površine.



Slika 2.5 Energetski bilans kratkotalasnog i dugotalasnog zračenja na Zemljinoj površini i u atmosferi.

Apsorpcija sunčevog zračenja od strane atmosfere i Zemljine površine uzrokuje njihovo zagrevanje. Pretpostavimo da je Zemljina površina pri temperaturi od $18,55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($291,7\text{ K}$) i sa emisivnošću od 0,95 u termodinamičkoj ravnoteži sa atmosferom. Prema Štefan-Bolcmanovom zakonu ovakva površina emituje 390 W m^{-2} što je otprilike 114 % od upadnog Sunčevog zračenja (Liou, 2002).

Ako nastavimo sa raspodelom flukseva na način na koji je to urađeno kod kratkotalasnog zračenja (Sl. 2.5), fluksevi dugotalasnog zračenja na Zemljinoj površini i u atmosferi su sledeći. Od 117 jedinica dugotalasnog Zemljinog izračivanja 111 će biti apsorbovano od strane atmosferskih gasova dok će 6 jedinica biti izgubljeno u svemiru. Dodatno, u proseku 30 jedinica dolazi sa površine Zemlje u atmosferu u vidu latentne (23) i osetne (7) toplote. Dakle, atmosfera dobija 19 jedinica od sunčevog zračenja, 111 od Zemljinog izračivanja i 30 od flukseva osetne i latentne toplote. To ukupno čini 160 jedinica zračenja. Ali, atmosfera takođe i emituje zračenje. Prema njenoj trenutnoj prosečnoj temperaturi i trenutnoj

zastupljenosti gasova, protivzračenje atmosfere iznosi 96 jedinica dok su 64 jedinice izgubljene u Svemiru. Ovih 96 jedinica reemitovane energije (tj. 111 jedinica apsorbiranog Zemljinog izračivanja) produkuje, takozvani, "efekat staklene bašte". Naravno, u slučaju veće koncentracije gasova koji apsorbuju dugotalasno zračenje, apsorpcija Zemljinog izračivanja će biti preko 111 jedinica, što će povećati ravnotežnu temperaturu a time i protivzračenje atmosfere.

Globalni efekat svih navedenih procesa najbolje može da se sagleda preko neto zračenja Zemlje koje predstavlja razliku ukupnog dolaznog i odlaznog zračenja na gornjoj granici atmosfere. Kako bi temperatura planete, bar globalno, ostala konstantna, suma neto zračenja Zemlje tokom godine mora biti jednaka 0. Sa Slike 2.6 se vidi da neto zračenje značajno varira tokom sezone i u odnosu na geografski položaj mesta.

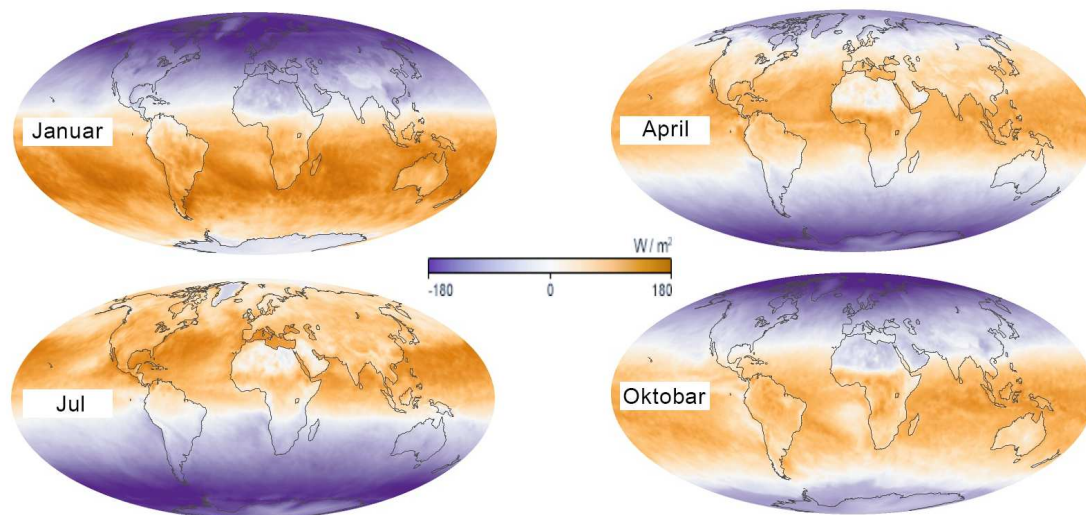
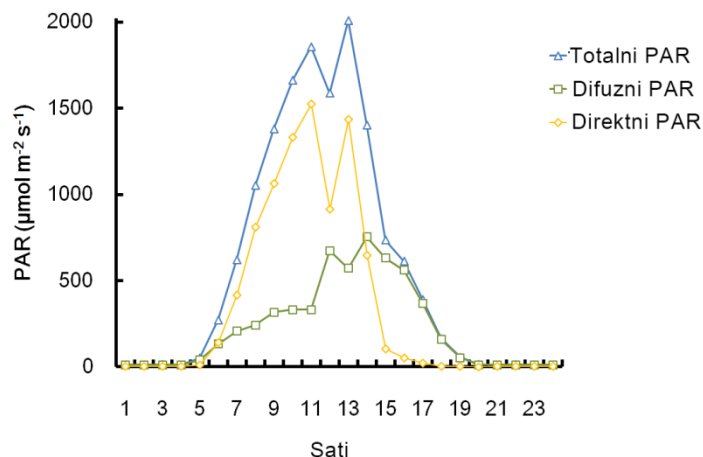


Figure 2.6 Srednja mesečna vrednost neto zračenja planete Zemlje za 2006. (https://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=CERES_NETFLUX_M)

2.3 Uticaj zračenja na vegetaciju

Zračenje utiče na biljke svojom energijom, talasnom dužinom i trajanjem. Iz ugla fiziologije biljaka, najznačajniji delovi elektromagnetnog spektra su vidljivi, poznatiji kao *svetlost* i UV-B deo (280-315 nm). Svetlost je odgovorna za formiranje hlorofila, funkcionisanje stoma, fotosintezu, rast, oblik i kvalitet biljke i, u slučaju šuma, stratifikaciju vrsta kao i veličinu i strukturu listova. Sa stanovišta fotosinteze je najznačajniji opseg talasnih dužina od 400 nm do 700 nm koji se zato i zove fotosintetski aktivno zračenje (FAZ). Dnevne varijacije ovog zračenja, kao i varijacije njegove direktne i difuzne komponente su značajne. Sa Sl. 2.7 može da se uoči da je intenzitet direktnog FAZ, u šumi posle 14 h gotovo zanemarljiv i da fotosinteza u potpunosti zavisi od difuznog zračenja.



Slika 2.7 Dnevna varijacija ukupnog, direktnog i difuznog FAZ (na slici eng. PAR) iznad šumskog sklopa izmerena 01/06/2012 na Prospekt Hil Traktu u Harvardskoj šumi u SAD (Prospect Hill Tract, Harvard Forest, Petersham, USA)³ (Munger and Wofsy, 2017).

UV zračenje, a naročito UV-B (280-315 nm), ima negativan efekat na fotosintezu redukujući veličinu biljke uz istovremeno razaranje enzima i DNA, što dovodi do oštećenja tkiva i povećane osetljivosti na biljne bolesti. Dodatno, UV-B zračenje utiče na produktivnost fitoplanktona koji su zaduženi za skladištenje ugljenika u okeanu.

Infracrveno zračenje (IC) je elektromagnetno zračenje talasnih dužina između 700 nm i 1 mm. Svako zagrejano telo emituje IC zračenje. Apsorpcijom IC zračenja telo se greje pa je to bio razlog da se za ovo zračenje koristi i izraz – *termičko zračenje*. S obzirom da je emisija i apsorpcija IC zračenja povezana sa promenom vibracione energije molekula, analiza odgovarajućih spektara kod različitih biljaka može doprineti boljem poznavanju njihove molekularne strukture.

Temperatura (njen gornji i donji prag) je faktor koji pokreće ili ograničava gotovo sve fiziološke i biohemijske procese koji su važni za rast i razvoj biljaka. Intenzitet procesa je, često, proporcionalan efektivno uloženoj energiji, odnosno energiji razmenjenoj između organizma i okoline na temperaturama između biološkog minimuma i maksimuma. Iako je fotosinteza najvažniji fiziološki proces koji uključuje zračenje, samo 50% upadnog zračenja je angažovano od strane biljke za potrebe fotosinteze. Korisno je znati da se od energije koja dospe do listova, samo 5% pretvori u biomasu, 60% se izgubi na neapsorbovane talasne dužine, 8% na refleksiju i transmisiju, 8% na toplotne gubitke i 19% na metaboličke procese. U zavisnosti od toga kako se obavlja fiksacija ugljen-dioksida tokom fotosinteze, biljke su svrstane u tri grupe: C3, C4 i CAM. CAM biljke su one biljke kod kojih je evoluirao tzv. 'crassulacean acid metabolism' (metabolizam organskih kiselina kod biljaka iz roda *Crassula*) kao adaptacija na uslove suše. Za ove biljke je karakteristično da

³ Toranj na lokalitetu Prospekt Hil Trakt u harvardskoj šumi je instaliran 1989. Njihove vremenske serije izmerenih turbulentnih flukseva predstavljaju najduži neprekinuti niz merenja neto razmene ugljenikovih oksida između šumskog ekosistema i atmosfere u Severnoj Americi.

stome ostaju zatvorene tokom dana kako bi bila smanjena evapotranspiracija ali se otvaraju noću kako bi biljka mogla da usvoji ugljen-dioksid. Inače, C₃ biljke se smatraju manje produktivnim nego C₄ zbog manje efikasnosti u asimilaciji CO₂. One se takođe razlikuju u pogledu optimalne temperature za postizanje maksimalnog intenziteta fotosinteze - C₄ biljke imaju višu optimalnu temperaturu.

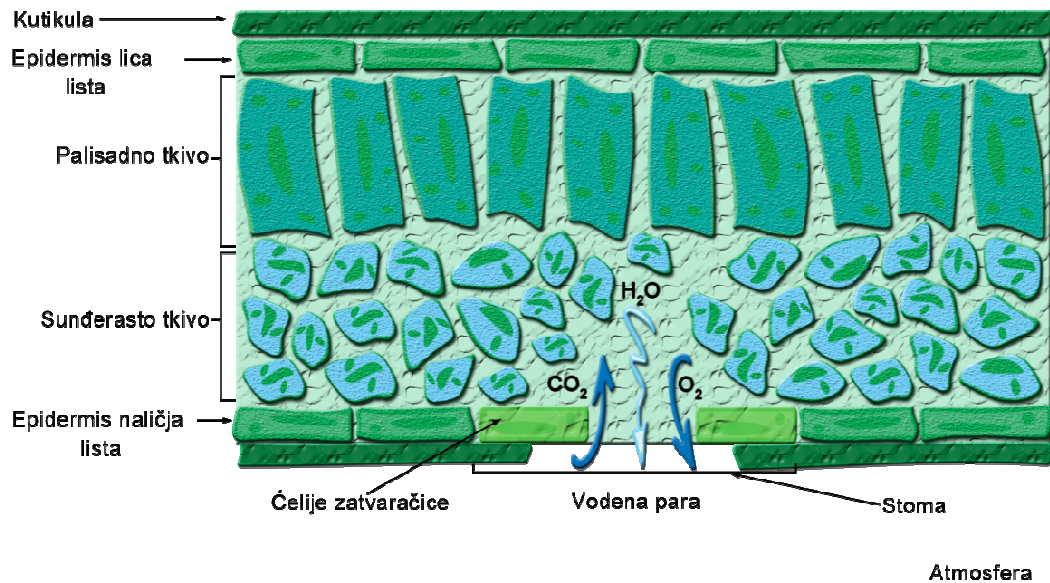
Biljka kao fizički sistem je uvek u energetske ravnoteži sa svojom okolinom. Čak i ako neki organizmi mogu autonomno da promene svoju temperaturu, dugoročno je njihova temperatura stabilna i rezultat je razmene energije sa okolinom. Pretpostavka koja se često koristi je da je ukupno zračenje (Q*) koje stiže do površine biljke utrošeno na turbulentne flukseve latentne (Q_E) i osetne (Q_H) toplote, kao i toplotu uskladištenu u podlozi (Q_G) i biomasi (Q_S).

$$R_{\text{net}} = LE + H + Q_G + Q_S. \quad (2.5)$$

Energija uskladištena u biljkama, koja se troši za neke male, autonomne regulacije temperature i unutrašnje procese ne premašuje 20-30 W m⁻². Stoga se obično smatra da su prva tri člana sa desne strane jednačine bilansa odgovorna za utrošak više od 95 % ukupnog zračenja.

Biljni sklop veoma efikasno apsorbira zračenje. Od zračenja koje stigne do biljnog sklopa, nakon što je deo reflektovan od gornje granice sklopa, manje od 10% stigne do tla. *Fluks latentne toplote* sa površine lista, LE_l je proporcionalan intenzitetu evapotranspiracije (E_l). Koeficijent proporcionalnosti je latentna toplota isparavanja, L koja zavisi od temperature tečnosti koja isparava. U slučaju listova, temperatura vode unutar listova i na njihovoj površini je jednaka temperaturi lista, T_l i može se smatrati da je latentna toplota isparavanja funkcija temperature lista (L=f(T_l)). Za vodu, L = 2,43·10⁶ J kg⁻¹ na 30 °C i L = 2,501·10⁶ J kg⁻¹ na 0 °C. Evapotranspiracija je kompleksan proces koji uključuje fizičke procese isparavanja sa površine lista i fiziološki proces transpiracije vode iz unutrašnjosti biljke. Pošto voda potencijalno isparava sa površine lista samo tokom kratkog perioda nakon padavina ili formiranja rose, u analizi energetskog bilansa lista fluks latentne toplote LE uključuje samo proces transpiracije.

Često korišćena parametrizacija transpiracije je zasnovana na Fikovom zakonu difuzije i otpornoj reprezentaciji vegetacije. Prema Fikovom zakonu, fluks vodene pare između unutrašnjosti lista i okolnog vazduha je direktno srazmeran razlici koncentracija vodene pare u ove dve sredine, a obrnuto srazmeran otporu koji vazduh pruža kada se vodena para transportuje kroz njega. Sličan pristup može da se primeni na difuziju CO₂ između biljke i okolnog vazduha koristeći razliku u koncentraciji gasa unutar i izvan stoma i otpor transportu gasa. To je jedan od razloga zašto su usvajanje CO₂ i oslobađanje vode iz biljke tesno povezani procesi. U tu svrhu se često koristi koeficijent transpiracije koji daje vezu između transpiracije i intenziteta fotosinteze.



Slika 2.8 Šematski prikaz stomatarnog aparata.

Razumna pretpostavka je da je vodena para unutar lista u saturaciji na temperaturi lista i stoga koncentracija vodene pare može biti izražena koristeći pritisak pare u saturaciji na temperaturi lista, $e_s(T_l)$. Ako je relativna vlažnost vazduha, r poznata, pritisak pare okolnog vazduha može biti izražen kao $r \cdot e_s(T_a)$ gde je sa T_a označena temperatura vazduha. S obzirom da se vodena para prenosi kroz stome biljke i kroz vazduh, postoje dva otpora koja treba uzeti u obzir prilikom računanja fluksa vodene pare između biljke i atmosfere: stomatarni (r_s) i aerodinamički (r_a) te ovaj fluks može biti izražen i preko latentne toplote u obliku

$$L(T_l)E_l = \frac{\rho c_p}{\gamma} \frac{e_s(T_l) - r e_s(T_a)}{r_s + r_a}, \quad (2.6)$$

gde je ρ gustina vazduha, c_p je specifična toplota pri konstantnom pritisku, a γ je psihrometerska konstanta.

Fluks osetne toplote, H sa površine lista je posledica temperaturne razlike između lista i okruženja. Primenom Fikovog zakona i otporne reprezentacije na transport osetne toplote, ovaj fluks može biti napisan u sledećem obliku

$$H = \rho c_p \frac{T_l - T_a}{r_a}. \quad (2.7)$$

U tankom sloju vazduha koji dodiruje površinu lista, kao i na graničnoj površini između tla i atmosfere, odnosno tla i biljke, molekularno provođenje je dominantan mehanizam transporta energije. Ovaj iznos energije je veoma teško izračunati tako da je uobičajeno da se izražava kao deo neto zračenja.

Trajanje zračenja je vremenski period u toku dana kada postoji merljivo sunčevo zračenje. Fotoperiod je period u toku dana kada su živa bića izložena svetlosti i njegovo trajanje se menja sa geografskom širinom. Na Ekvatoru je

fotoperiod konstantan (12 sati traje dan i 12 sati noć), ali sa približavanjem polovima dan i noć postaju sve duži. Mnogo biljaka je osetljivo na dužinu fotoperioda i mogu da cvetaju, recimo, samo kada je svetlost određenog intenziteta i trajanja. U zavisnosti od reakcije na dužinu fotoperioda biljke su klasifikovane u tri grupe: biljke kratkog dana, biljke dugog dana i biljke koje su indiferentne u odnosu na fotoperiod. Biljke kratkog dana imaju fiziološku reakciju kada je dan kraći od noći, dok za biljke dugog dana važi obrnuto.

Naravno, deo godine sa određenom dužinom dana je povezan i sa drugim karakteristikama životne sredine kojima su ove biljke morale da prilagode svoj celokupan razvoj. Biljke detektuju svetlost (svetlosni signal) preko lista apsorpcijom fotona od strane hromoproteina fitohroma i produkuju signal koji pokreće procese u biljki koji vode ka sledećoj fazi razvoja. Najznačajnije faze razvoja za koje je svetlost „okidač“ su cvetanje, tuberizacija i zametanje pupoljaka.

2.4 Uticaj vegetacije na zračenje

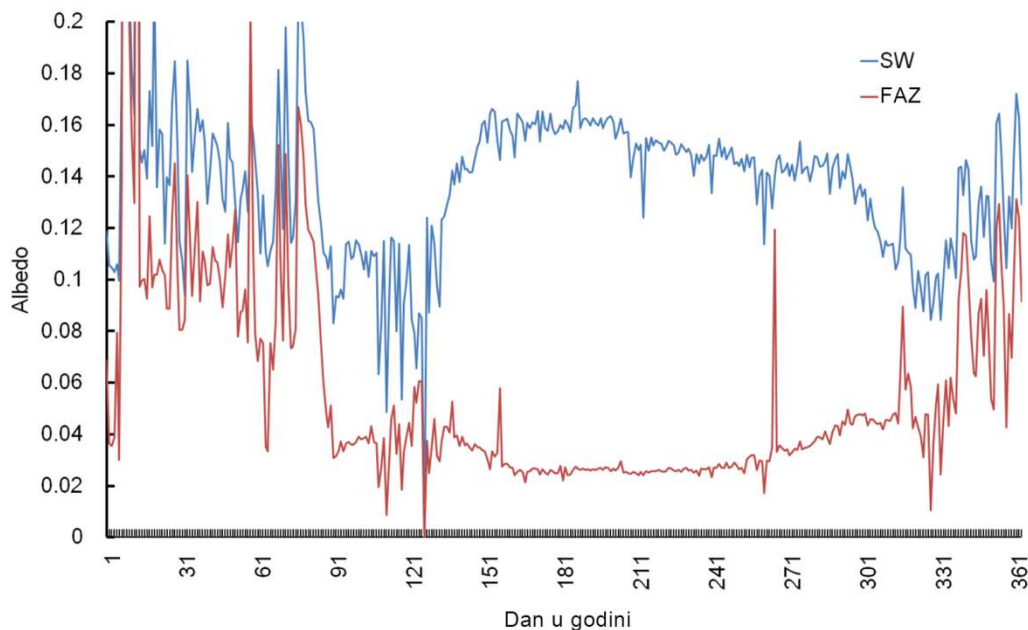
Prisustvo vegetacije može značajno da utiče na spektar zračenja i energetsom bilansu Zemljine površine. Apsorpcioni, reflektivni i transmisioni spektri vegetacije su u mnogome zavise od njenih morfoloških i fizioloških karakteristika koje se menjaju, manje ili više, tokom godine. Biljke apsorbuju 90% upadnog zračenja u fotosintetski aktivnom delu spektra (FAZ) (0,4 μm – 0,7 μm), a samo 15-20% u bliskom infracrvenom (IC) (0,7-2,5 μm). Refleksivnost listova biljaka se menja usled prisustva vode na površini biljke (u opsegu 1,5 – 1,9 μm) ili prisustva vode u listu i biljnom sklopu (u opsegu 0,7 – 1,5 μm). Promene u apsorpcionom i reflektivnom spektru biljaka je dobar pokazatelj sadržaja vode u biljci, različitih vidova stresa i zdravstvenog stanja biljke što je ukazalo na mogućnost primene daljinskih i satelitskih merenja u poljoprivredi. Optička svojstva zelenih listova za FAZ, blisko IC i sunčevo kratkotalasno zračenje su prikazani u Tabeli 2.2.

Tabela 2.2 Tipične optičke karakteristike zelenih listova.

	FAZ	Blisko IC	Sunčevo kratkotalasno
Refleksivnost	0.09	0.51	0.30
Transmitivnost	0.06	0.34	0.20
Apsorptivnost	0.85	0.15	0.50

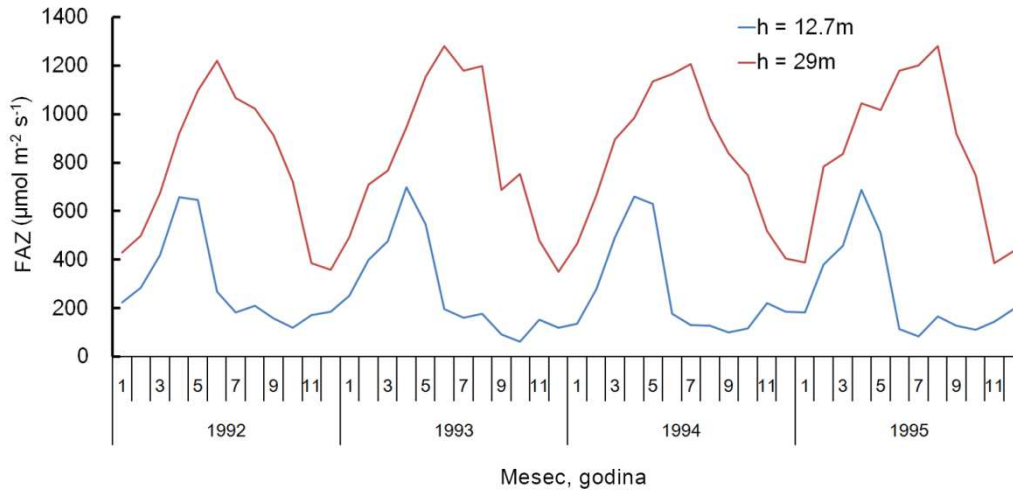
Kako bi sagledali uticaj biljaka na energetske bilans Zemljine površine potrebno je pomeriti fokus i analizirati procese na nivou celog biljnog sklopa umesto samo jednog lista ili biljke. Primera radi, pri istim atmosferskim uslovima, emisivnost i temperatura golog zemljišta se prilično razlikuju od temperature zemljišta pod vegetacijom, što dovodi do razlike u emitovanom dugotalasnom zračenju sa ove dve površine. Takođe, intenzitet sunčevog zračenja reflektovanog od površine se menja u prisustvu vegetacije usled promenjenog površinskog albeda. Nasuprot mnogim drugim površinama vegetacija menja albedo autonomno tokom godine dovodeći do

razlike u reflektovanom FAZ i sunčevom zračenju (Sl. 2.9). Karakteristika biljnog sklopa često korišćena da opiše ovu pojavu je indeks lisne površine (LAI) koji je definisan kao površina svih listova po jedinici površine zemlje pokrivene biljkama na kojima su ti listovi. Posmatranje promena LAI omogućava praćenje površinskog albeda tokom godina i obrnuto. Lep primer može da se vidi iz merenja sunčevog i FAZ albeda u Harvardskoj šumi (USA) (Sl. 2.9). Slične vrednosti globalnog i FAZ albeda su tipične za periodeu toku godine kada nema lišća. Nagli skokovi u



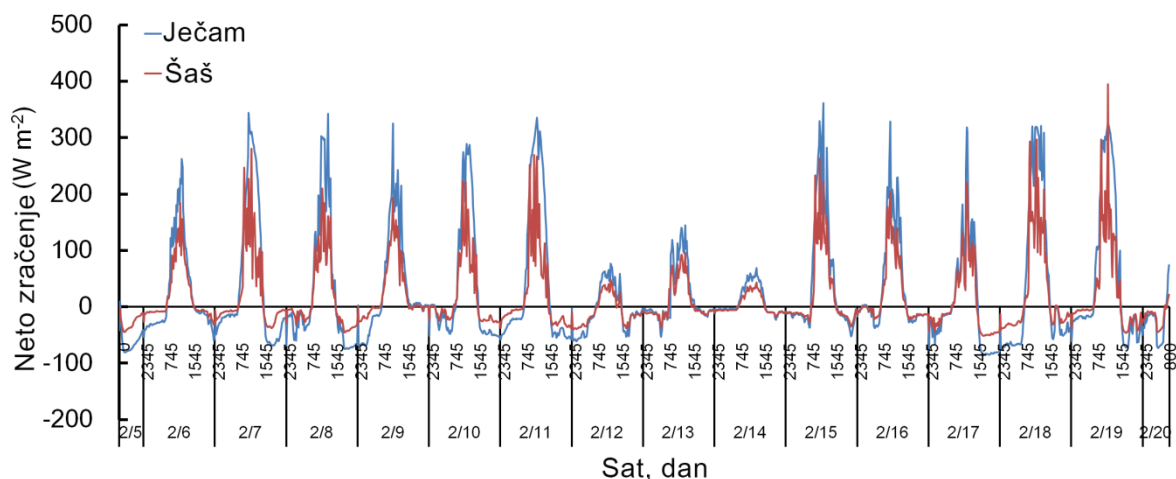
Slika 2.9 Srednje dnevne (samo sredina dana je analizirana 10 - 14h) vrednosti globalnog (SW) i FAZ albeda merenog tokom 2004. iznad šumskog sklopa na Prospekt Hil Traktu u Harvardskoj šumi u SAD (Munger and Wofsy, 2017).

vrednostima albeda u ovom periodu su, najverovatnije, uzrokovani prisustvom snega. U aprilu, kada se listovi pojave, FAZ albedo se smanjuje zato što je apsorpcija FAZ povećana. U isto vreme, albedo globalnog zračenja se povećava zato što se povećava površina listova koji reflektuju zračenje. Tokom leta kada su stabla potpuno olistala i krošnja zatvorena, oba albeda su manje-više konstantna. Ova situacija se zadržava sve do septembra kada lišće počne da opada. Tada se povećava albedo globalnog zračenja, a smanjuje PAZ albedo jer se površina listova i intenzitet fotosinteze smanjuju. Biljni sklop veoma efikasno apsorbuje zračenje. Od zračenja koje stiže na gornju granicu biljnog sklopa, nakon sto se jedan deo reflektuje, manje od 10% stiže do površine tla (Sl. 2.10). Naravno, iznos zračenja koji će biti apsorbovan u biljnom sklopu u mnogome zavisi od vrste vegetacije, njene gustine i strukture ali i od površine listova i njihove orijentacije. Intenzitet apsorbovanog PAZ se, kao što smo videli, značajno menja tokom vegetacionog perioda. Kada je LAI maksimalan šumska krošnja, recimo, može da apsorbuje 80% sunčevog zračenja.



Slika 2.10 Srednje mesečne vrednosti FAZ merene iznad i unutar krošnje na Prospekt Hil Traktu u Harvardskoj šumi u SAD (Munger and Wofsy, 2017).

Pri istom intenzitetu upadnog sunčevog zračenja, vrsta biljke i struktura biljnog sklopa mogu značajno da utiču na energetski bilans Zemljine površine (Sl. 2.11). Čak i tokom zime kada su biljke u stanju mirovanja, svojim prisustvom i strukturom biljke utiču na komponente energetskog bilansa. Recimo, u slučaju miskantusa (kineski šaš) energetski bilans meren tokom februara 1998 (Sl. 2.11) je tokom dana manji nego u slučaju ječma dok je tokom noći situacija obrnuta. Razlog je zemljište potpuno prekriveno vegetacijom, kod sklopa miskantusa, što smanjuje dnevna kolebanja energetskog bilansa dok u slučaju ječma postoji značajan fluks toplote u zemljište koji dodatno povećava dnevno kolebanje neto zračenja.



Slika 2.11 Dnevna kolebanja neto bilansa zračenja na površini tla u prisustvu trske i ječma u Marčfeldu (Marchfeld) u Austriji u periodu 5/2-20/2/1998. (Izvor: BOKU)

3 Temperatura zemljišta i vazduha

Temperatura tela je mera prosečne kinetičke energije njegovih molekula. Zagrevanje i hlađenje su rezultat razmene energije koja dovodi do rasta ili snižavanja temperature. Brzina i veličina promene temperature zavise ne samo od apsorbirane ili emitovane energije, već i od toplotnih karakteristika tela.

Zemljište i atmosfera čine okruženje u kojem biljka raste i u kojem se odvija životni ciklus biljke. Temperatura biljke je rezultat bilansa zračenja na površini biljke i razmene energije sa okolnim vazduhom – najčešće konvekcijom i emisijom zračenja, a sa zemljištem – kondukcijom (provođenjem).

3.1 Toplota, termičke karakteristike tela i temperatura

Toplota je oblik energije. Toplotu telo može apsorbirati ili emitovati, što dovodi do promene temperature.

Termičke karakteristike se uglavnom odnose na fizičke veličine koje opisuju ponašanje tela pod dejstvom toplote: kad telo skladišti toplotu, govorimo o *toplotnom kapacitetu*; kada prenosi toplotu, reč je o *toplotnoj provodnosti*; a kada telo prenosi temperaturne promene, radi se o *toplotnoj difuzivnosti*.

Toplotni kapacitet, C je merljiva fizička veličina brojno jednaka energiji koju treba dodati telu ili je oduzeti od tela da bi ono promenilo svoju temperaturu za 1 K. S obzirom na to da ova definicija zavisi od samog tela, prilično ju je teško koristiti. Zbog toga se uvode konkretnije karakteristike, kao što su *molarni*, C_n , i *specifični* C_n , *toplotni kapacitet* kako bi se kvantifikovala toplota potrebna da se 1 molu, odnosno 1 kg supstance, temperatura poveća za 1 K. Količina energije potrebna za određenu promenu temperature zavisi od toga da li se energija dodaje ili oduzima pod konstantnim pritiskom ili konstantnom zapreminom. U slučaju idealnog gasa, sva energija koja se dodaje pri konstantnoj zapremini pretvara se u kinetičku energiju molekula gasa, što dovodi do povećanja temperature. S druge strane, ako se energija dodaje pri konstantnom pritisku, ona će biti podeljena na rad utrošen za povećanje zapremine gasa (kako bi se održao konstantan pritisak) i na kinetičku energiju molekula gasa, tj. povećanje temperature. Prema tome, da bi se postigao isti porast temperature, pri konstantnom pritisku je potrebno više energije nego pri konstantnoj zapremini; drugim rečima, *toplotni kapacitet pri konstantnom pritisku*, C_p , veći je od *toplotnog kapaciteta pri konstantnoj zapremini*, C_v . Odnos ova dva toplotna kapaciteta obično se označava sa γ , što je kod idealnog gasa jednako $5/3$. U slučaju realnih gasova, γ se blago menja sa temperaturom.

Tabela 3.1. Tipične vrednosti gustine, ρ , specifičnog toplotnog kapaciteta, C_h , toplotne provodnosti, K_h i toplotne difuzivnosti, D_h , pojedinih komponenata zemljišta i geoloških formacija.

	ρ (10^3 kg m^{-3})	C_h ($10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	K_b ($\text{J m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	D_h ($10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)
Vazduh	0,00116	1,007	0,025	21,4
Kvarc	2,65	0,84	8,8	3,95
Humus	1,4	1,9	0,25	0,094
Voda	1,00	4,22	0,57	0,14
Led	0,91	2,11	2,2	1,15

Toplotna provodnost, K_h je karakteristika kojom se opisuje sposobnost supstance da provodi toplotu. Brojno je jednaka energiji prenetoj za 1 s kroz element zapremine jedinične površine (1 m^2) po jedinici dužine (1 m) kada je temperaturna razlika između krajeva tela 1 K. Termička svojstva određenih materijala, kao što je zemljište, zavise od njihove vlažnosti jer voda ima mnogo veći specifični toplotni kapacitet od ostalih komponenti zemljišta (Tab. 3.1). Među različitim vrstama zemljišta, peskovito zemljište ima najveću toplotnu provodnost.

Toplotna difuzivnost, D_h je mera termičke inercije. To je toplotna karakteristika specifična za određeni materijal kojom se meri sposobnost tog materijala da provodi toplotnu energiju u odnosu na njegovu sposobnost da skladišti energiju. Može se izračunati kao odnos toplotne provodnosti, K_h i *zapreminskog toplotnog kapaciteta*, VHC koji je zapravo proizvod gustine, ρ i specifičnog toplotnog kapaciteta, C_h .

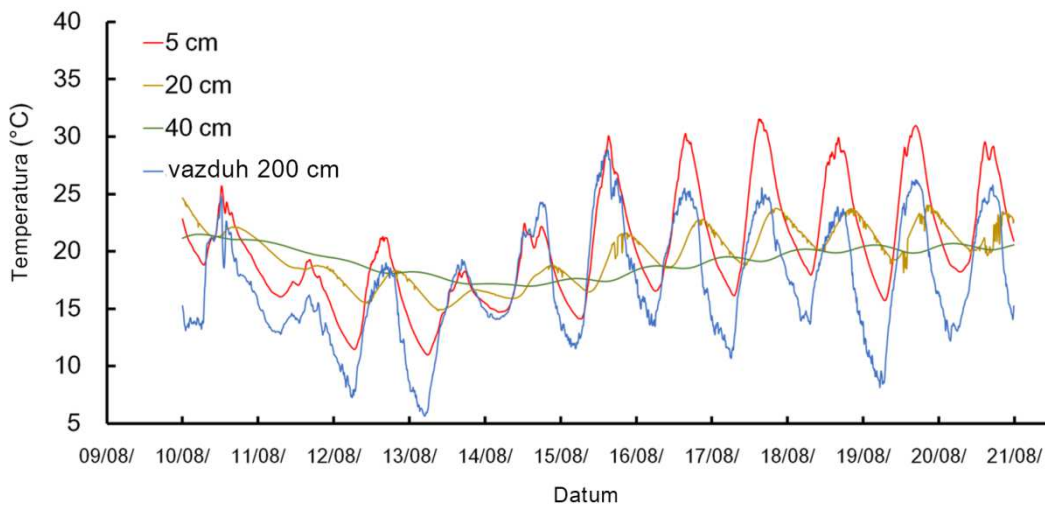
3.2 Zagrevanje i hlađenje zemljišta

Zagrevanje i hlađenje zemljišta je rezultat energetskog bilansa površine zemlje (vidi Poglavlje 2.2). Pošto elektromagnetno zračenje ne prolazi kroz zemlju, deo energije koja ostaje na površini nakon refleksije, transformiše se u toplotu. Intenzivno zagrevanje površinskog sloja zemljišta i provođenje energije određuju profil temperature zemljišta. Na apsorpciju i provođenje toplote značajno utiču karakteristike površine i zemljišta, kao što su *boja* i *hrapavost*, *specifični toplotni kapacitet* i *toplotna provodnost*.

- *Boja* i *hrapavost*: tamna površina ima veliku sposobnost apsorpcije, što smanjuje njen albedo. Hrapava površina ima niži albedo u odnosu na glatku površinu istog zemljišta zbog intenzivne apsorpcije zračenja izazvane višestrukom refleksijom i apsorpcijom zračenja na elementima hrapavosti (vidi Glavu 2).
- *Specifični toplotni kapacitet*: U odnosu na vodu, zemljište ima manji toplotni kapacitet, što dovodi do bržeg zagrevanja i hlađenja površine zemljišta. Međutim, vlaženjem zemljišta povećava se njegov toplotni kapacitet.

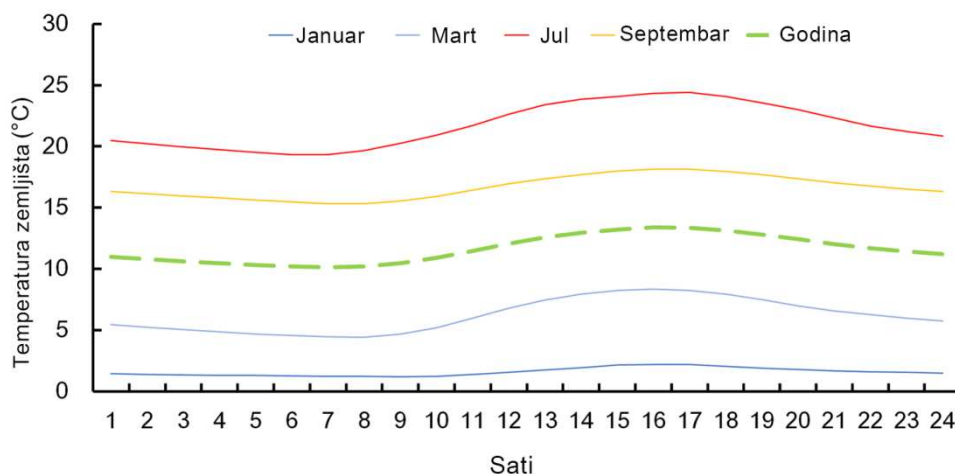
- *Toplotna provodnost:* Vlažnost zemljišta utiče na toplotnu provodnost. Prenos energije od površine do dubljih slojeva zemljišta i obrnuto, efikasniji je u vlažnom nego u suvom zemljištu.

Temperatura površine, ili takozvana površinska temperatura, ključni je faktor koji utiče na temperaturu tankog površinskog sloja atmosfere, odgovornog za stvaranje rose i mraza. Temperatura dubljih slojeva zemljišta zavisi od zagrevanja površinskog sloja i karakteristika zemljišta koje utiču na prenos toplote. I zagrevanje i karakteristike zemljišta menjaju se tokom dana i tokom godine, proizvodeći dnevni i godišnji hod temperaturnog profila zemljišta.



Slika 3.1 Dnevno kolebanje temperature zemljišta pod travnatim pokrivačem i temperature vazduha tokom leta 2016. u Gogendorfu (Goggendorf) (Austrija) (Izvor: BOKU-Met).

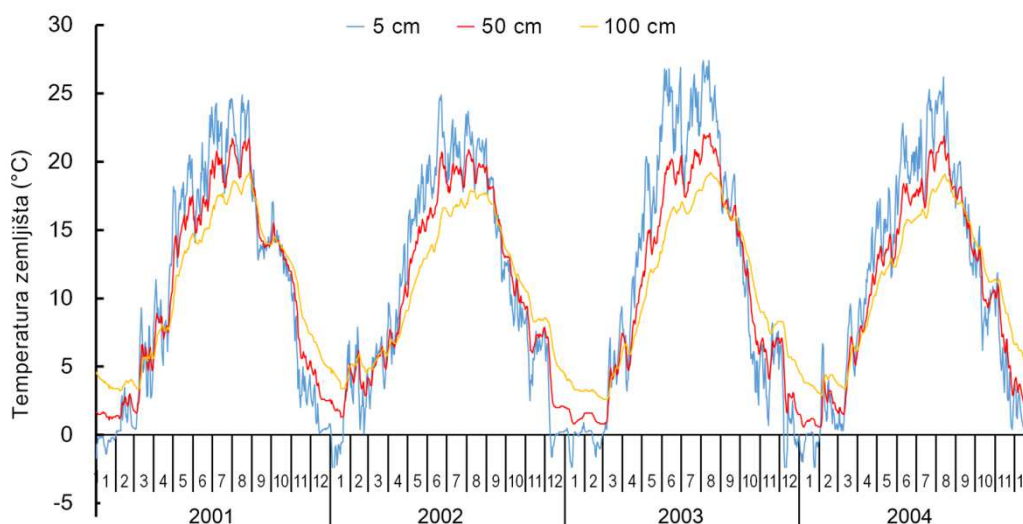
Tokom dana, površinski sloj zemljišta dostiže maksimalnu temperaturu približno jedan sat nakon postizanja maksimuma intenziteta sunčevog zračenja, dok se minimalna temperatura postiže neposredno pre izlaska Sunca. Međutim, vremensko zaostajanje u javljanju maksimalne i minimalne temperature zemljišta povećava se sa dubinom. To je vreme potrebno da se zagreje površinski sloj i da se toplota prenese kroz posmatrani stub zemljišta, što u velikoj meri zavisi od njegovog toplotnog kapaciteta. Dnevno kolebanje temperature zemljišta se smanjuje sa dubinom dok se ne dostigne dubina konstantne (Sl. 3.1). U proseku, ovaj nivo javlja se na dubini od 1 m, mada zavisi od vrste zemljišta i vlažnosti, godišnjeg doba i geografske širine. Dnevni hod temperature zemljišta je sezonski uslovljen, što je posebno vidljivo u površinskom sloju (Sl. 3.2).



Slika 3.2 Sezonsko kolebanje dnevnog hoda temperature zemljišta na dubini od 10 cm u Ridjici (Srbija) (2013-2017). (Izvor: PIS Vojvodina, Srbija)

Zimi su površinsko zagrevanje tokom dana i hlađenje tokom noći manji nego leti, usled kraćeg trajanja i manjeg intenziteta sunčevog zračenja. Tokom zime je dnevno kolebanje temperature zemljišta manje dok je leti veće. Takođe, dnevno kolebanje temperature se povećava na manjim geografskim širinama, zbog intenzivnog dnevnog zagrevanja i noćnog hlađenja do kojih dolazi kako se približavamo Ekvatoru. Prema tome, na manjim geografskim širinama je dubina na kojoj se ostvaruje konstantna dnevna temperatura zemljišta veća tokom leta.

Temperatura zemljišta (Sl. 3.3) na severnoj hemisferi dostiže godišnji minimum u januaru, a maksimum u julu. Tokom godine, kolebanje temperature zemljišta se smanjuje sa dubinom dok se ne dostigne nivo konstantne temperature. Godišnje promene su kumulativni efekat dnevnih promena temperature i zato prodiru značajno dublje u zemljište nego dnevne varijacije.

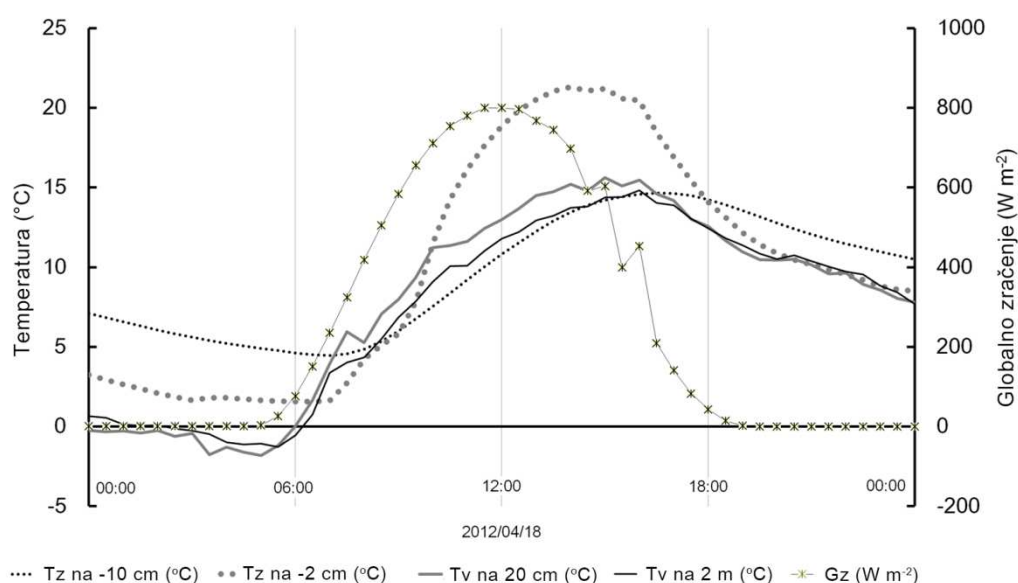


Slika 3.3 Godišnje kolebanje temperature zemljišta pod travnatim pokrivačem u periodu 2001-2004 u Doksani (Doksany) (Češka Republika). (Izvor: Mendel University, Brno)

3.3 Zagrevanje i hlađenje vazduha

Mehanizmi koji regulišu zagrevanje i hlađenje vazduha su:

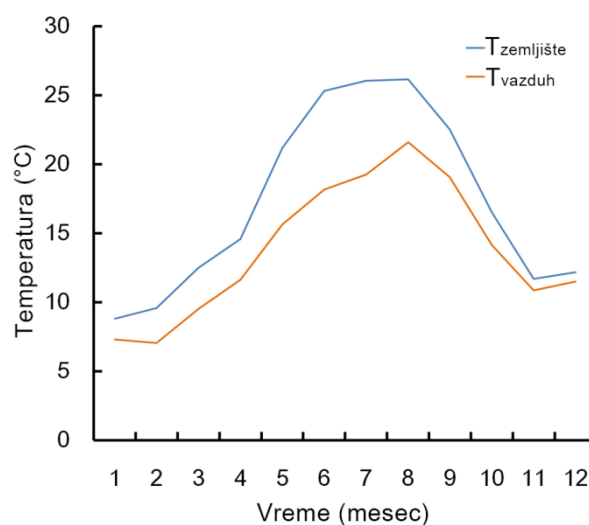
- *kondukcija* – proces razmene energije na molekularnom nivou između površine zemljišta i atmosfere preko tankog sloja vazduha (obično samo nekoliko mm);
- *turbulentno mešanje* – razmena energije (i supstance) između površine zemljišta i atmosfere i između različitih atmosferskih slojeva turbulentnim vrtlozima unutar graničnog sloja atmosfere. Debljina ovog sloja varira tokom dana, sa tipičnom vrednošću od 1 km;
- *konvekcija* – uzdizanje toplijeg i spuštanje hladnijeg vazduha, koje se obavlja pod dejstvom sile potiska;
- *zračenje* – prenos energije elektromagnetnim talasima, kojima u slučaju atmosfere dominira apsorpcija sunčevog zračenja i zemljinog izračivanja (vidi Poglavlje 2.2). Sastav atmosfere može značajno uticati na zagrevanje atmosfere zračenjem;
- *advekcija* – u atmosferi, ovaj vid prenosa energije je posledica duvanja vetra iz jedne oblasti u drugu, donoseći vazduh drugačije temperature;
- *isparavanje i kondenzacija* – promene agregatnog stanja vode u atmosferi, nakon čega sledi oslobađanje ili vezivanje energije u obliku fluksa latentne toplote. Ovaj prenos toplote je važan izvor i ponor energije za atmosferu (23% solarne konstante).



Slika 3.4 Dnevno kolebanje intenziteta globalnog zračenja, temperature vazduha i zemljišta u Grosenzersdorfu (Groß-Enzersdorf) (Austrija). (Izvor: BOKU-Met)

Tokom dana, na visini od nekoliko metara iznad tla, temperatura vazduha dostiže svoj maksimum 2-3 sata nakon maksimuma intenziteta sunčevog zračenja i 1-2 sata nakon postizanja maksimalne temperature površine zemljišta (Sl. 3.4). Ovo kašnjenje je posledica činjenice da je potrebno vreme da bi došlo do zagrevanja

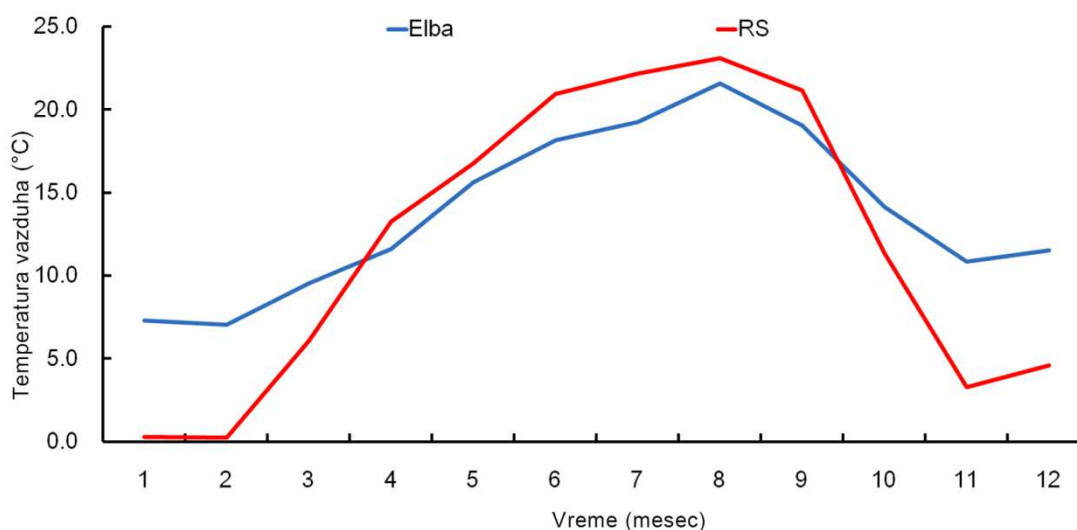
zemljišta sunčevim zračenjem i, potom, zagrevanja vazduha zemljinim izračivanjem. Dnevno kolebanje temperature vazduha zavisi od: geografske širine (veće je bliže ekvatoru), godišnjeg doba (najveće je leti), vrste podloge (najveće je kod peskovitog neobraslog zemljišta ili stena), reljefa (veće je u nizijama), nadmorske visine (veće je na manjoj nadmorskoj visini), oblačnosti (veće je pod vedrim nebom) i vegetacionog pokrivača (veće je u slučaju neobraslog zemljišta). Međutim, dnevno kolebanje temperature vazduha niže je iznad vode (nikad ne prelazi $1,7^{\circ}\text{C}$) nego iznad kopna. Godišnji hod temperature vazduha prati godišnji hod temperature podloge (Sl. 3.5). Najveće godišnje kolebanje u maritimnom vazduhu je do 20°C , dok u kontinentalnim oblastima dostiže i 60°C . Godišnje kolebanje temperature vazduha zavisi od: geografske širine (manje je bliže ekvatoru), vrste podloge (najveće je kod



Slika 3.5 Godišnje kolebanje srednje mesečne temperature vazduha i zemljišta za period 2005-2011 na Elbi (Elba) (Italija). (Izvor: Regionalni hidrometeorološki zavod Toskane)

peskovitog neobraslog zemljišta ili stena), nadmorske visine (veće je na nižoj nadmorskoj visini), oblačnosti (veće je pod vedrim nebom) i vegetacionog pokrivača (veće je u slučaju neobraslog zemljišta).

Prisustvo velikih vodenih površina može značajno uticati na dnevno i godišnje kolebanje temperature vazduha. Usled većeg toplotnog kapaciteta vode, okeani tokom godine akumuliraju 16 puta više energije nego kopna. Zbog toga se voda sporije zagreva tokom proleća i leta, a sporije hladi u jesen i zimu. Tokom zime, temperatura vazduha iznad vode i iznad kopnenih područja koja su pod uticajem vode uvek je viša nego temperatura vazduha iznad područja koja su u unutrašnjosti; s druge strane, temperatura vazduha iznad vode i područja pod uticajem vode niža je leti, sa mnogo manjim dnevnim i godišnjim kolebanjima (Sl. 3.6).



Slika 3.6 Godišnje kolebanje mesečne temperature vazduha tokom 2011. na Elbi (Italija) i Rimskim Šančevima (Srbija). (Izvor: Regionalni hidrometeorološki zavod Toskane i Republički hidrometeorološki zavod Srbije)

3.4 Uticaj temperature zemljišta i vazduha na biljke

Temperatura zemljišta i rast. Od setve do žetve, toplota i/ili temperatura su katalizatori mnogih fizioloških procesa od kojih zavisi razvoj biljaka. Temperatura zemljišta utiče na rast biljaka kako direktno tako i indirektno. Kod useva, direktan uticaj se javlja kroz uticaj temperature okoline na klijanje i kasnije nicanje useva. Minimalna temperatura za klijanje žitarica je 4 °C, dok je optimalna temperatura 20 °C. Indirektni uticaj je rezultat uticaja temperature zemljišta na rast korena i uzimanje vode i hranjivih materija iz zemljišta. Hlađenje zemljišta usporava fiziološke procese, a povećava rizik da buduće biljke neće biti dovoljno snažne. Zajedničkim dejstvom temperature i vlažnosti zemljišta otpočinje klijanje useva, stvaranje pupoljaka na drveću i pojavljivanje lišća u šumi. Donje granične temperature za klijanje pojedinih useva prikazane su u Tabeli 3.2.

Tabela 3.2 Granične temperature za klijanje najvažnijih useva

Vrsta	Min. temp. (°C)	Optim. temp. (°C)	Max. temp. (°C)
Ječam	3-4	20	28-30
Raž	1-2	25	30
Pšenica	3-4	25	30-32
Suncokret	3	28	35
Kukuruz	8-10	32-35	40-44

Temperatura vazduha i rast. U skladu sa tipičnim razvojnim procesima, životni ciklus živih organizama podeljen je na faze rasta. Generalno, temperatura utiče na otpočinjanje ovih faza, i određuje njihovo trajanje. Tipične temperature, koje se obično povezuju sa biljnom proizvodnjom, ali su potpuno primenljive na sve žive organizme, su kardinalna (minimalna, optimalna i maksimalna) i letalna (minimalna i maksimalna) temperatura. Razlika između ova dva opsega se odnosi na potencijal biljke da se oporavi. Kada je reč o rasponu kardinalnih temperatura, biljka može da oživi čak i ako je van optimalnog opsega. Nasuprot tome, ako temperatura prelazi letalne granice, oporavak nije moguć. I kardinalne i letalne temperature specifične su za svaku vrstu, fazu rasta i lokalitet. U nastavku ovog poglavlja biće reči o biljkama, ali se isti principi mogu primeniti na sve žive organizme.

Tabela 3.3 Granične vrednosti temperature vazduha (°C) za pšenicu. Sa indeksom "b" su označene, izuzetno uzete vrednosti temperature zemljišta (Porter and Gawith, 1999).

Temperatura	Komponente				Fenofaze				
	Letalni limiti	Početak razvoja lista	Rast izdanka	Rast korena	Od setve do nicanja	Vernalizacija	Vršni klasić	Cvetanje	Nalivanje zrna
Letalni minimum	-17.2			-20					
Letalni maksimum	47.5								
Kardinalna		-1.0	3.0	2.0 ^b	3.5	-1.3	1.5	9.5	9.2
Optimalna		22.0	20.3	<16.3 ^b	22.0	4.9	10.6	21.0	20.7
Maksimalna		24.0	>20.9	>25.0 ^b	32.7	15.7	>20.0	31.0	35.4

Kardinalne temperature (Tab. 3.3 i 3.4) su definisane na sledeći način:

- bazična temperatura* (ili temperatura biološkog minimuma) je najniža temperatura pri kojoj metabolički procesi dovode do povećanja neto mase biljke;
- optimalna temperatura* se nalazi u opsegu temperatura između gornje i donje granične vrednosti (temperaturnog praga) i predstavlja temperaturu koja pruža optimalne uslove za razvoj biljaka. Donja granična vrednost je minimalna temperatura potrebna za otpočinjanje određene fenološke faze. Na temperaturama ispod donje granice, rast biljaka se prekida. Nakon što temperatura poraste iznad ovog minimuma, biljka nastavlja sa rastom bez oštećenja ili gubitka prinosa;
- maksimalna temperatura* je gornja granična temperatura pri kojoj prinos zrna pada na nulu (Hatfield et al., 2008). Ova temperatura je iznad optimalne temperature, ali ispod maksimalne letalne temperature.

Tabela 3.4 Granične vrednosti temperature (°C) za različite biljke. Indeks “a” se odnosi na kardinalne temperature koje mogu da se primene i na druge fenofaze.

Biljka	Letalni minimum	Kardinalna	Optimalna	Maksimalna
Ječam	-17.3 ~ -12.9			
Kukuruz		33 ~ 38 (intenzitet fotosinteze)	35 (održivost polena)	
Paradajz		7 (intenzitet pojave listova, intenzitet napredovanja do cvetanja) 6-8 (fotosinteza) 5.7 (razvoj i sazrevanje ploda)	22 (intenzitet pojave listova, intenzitet napredovanja do cvetanja) 30 (fotosinteza) 26 (razvoj i sazrevanje ploda) 22 ~ 25 (tempo razvoja individualnih plodova) 17 ~ 18 (dimenzija ploda)	35 ^a (vegetativni rast)
Soja		6 (period do cvetanja) 13.2 (klijanje polena) 12.1 (rast polenove cevi)	26 (period do cvetanja) 23 (period posle cvetanja, prinos) 30.2 (klijanje polena) 36.1 (rast polenove cevi)	39 (tempo rasta pojedinih zrna, dimenzije zrna, žetveni indeks) 47.2 (klijanje polena) 47.0 (rast polenove cevi)

Letalne maksimalne i minimalne temperature (Tab. 3.4) odnose se na kritične temperature iznad i ispod kojih se određena biljka ne može oporaviti. Ako temperatura vazduha, tj. temperatura biljke, prelazi jedan ili drugi prag, biljka će uvenuti ili pretrpeti značajnu štetu. Stres prouzrokovan niskim temperaturama, bilo da se radi samo o temperaturama ispod bazične (0-15 °C) ili o mrazu (ispod 0 °C), jedan je od glavnih faktora okruženja koji utiču na rast i produktivnost useva. Za sve biljke, temperature ispod 0°C su kritične zbog zamrzavanja vode u biljnom tkivu. Kako jedino voda povećava svoju zapreminu pri mržnjenju, led ima veću zapreminu od vode. Kada se stvori, led oštećuje tkivo biljke. Međutim, kod nekih biljaka, čak i temperature znatno iznad 0°C mogu biti kritične i uzrokovati oštećenja od hladnoće. Više o uticaju niskih temperatura na biljke može se pronaći u Poglavlju 9.3, u kom se govori o mrazu i štetama od mraza.

Pri temperaturama iznad gornje granične vrednosti, razvoj biljke se prekida i u nekim slučajevima mogu se očekivati oštećenja. Stres prouzrokovan visokom temperaturom definisan je kao porast temperature iznad kritične vrednosti (maksimalne temperature) koji traje dovoljno dugo da izazove nepopravljiva oštećenja u rastu i razvoja biljke. Stepenn oštećenja u velikoj meri zavisi od faze razvoja biljke, trajanja visokih temperatura, kolebanja dnevne temperature i brzine promene temperature. Brojna eksperimentalna istraživanja utvrdila su da je uticaj visokih temperatura veći ukoliko je biljka izložena velikom kolebanju dnevne temperature i uz naglo (npr. 6 °C h⁻¹) a ne postepeno povećanje temperature. Efekat

visokih temperatura u odnosu na fazu rasta zavisi od same biljke. U slučaju pšenice, na primer, efekat izloženosti visokoj temperaturi na prinos zrna veći je u periodu pre cvetanja nego posle cvetanja. U ekstremnim slučajevima, čak 97% varijacije prinosa može se pripisati razlikama u broju zrna po kvadratnom metru, što je usko povezano sa maksimalnom temperaturom tokom perioda od 4 dana kada kada se odigra i 50% cvetanja. Temperatura vazduha iznad 30 °C je posebno opasna za kukuruz 8-10 dana nakon cvetanja, jer smanjuje kapacitet zrna za asimilative i prinos zrna. Rast soje pri visokim temperaturama vazduha (30-38 °C) u poređenju sa režimom nižih temperatura (22-30 °C) može dovesti i do 34% smanjenja u produkciji polena, 56% smanjenja u klijanju polena i 33% smanjenja u elongaciji polenovog kanala. Prinos semena soje pri punoj zrelosti je posebno osetljiv na visoke temperature u fazi kasnog cvetanja i nalivanja zrna. U nekim istraživanjima je dobijeno smanjenje prinosa od 29% pri povećanju temperature za 10 °C tokom osam dana ovog perioda. Ako je paradajz izložen visokim temperaturama (26-32 °C) u toku vegetacije, broj plodova po biljci može se smanjiti za 90% u poređenju sa rastom pri umerenim temperaturama (22-28 °C).

Tabela 3.5 Akumulisani stepen dani tokom vegetacionog perioda različitih biljnih vrsta (Ahrens, 2010).

Biljna vrsta (lokacija)	T_b	Akumulisani stepen dani tokom vegetacionog perioda
Pasulj (Južna Karolina)	10	650-705
Kukuruz šećerac (Indiana)	10	1200-1500
Pamuk (Arkanzas)	15,5	1040-1380
Grašak rani (Indiana)	4,4	600-650
Pirinač (Arkanzas)	15,5	930-1150
Pšenica (Indiana)	4,4	1150-1320

Akumulisani stepen-dani (DD) ili stepen-dani potrebni za rast (GDD) se uobičajeno koriste za opisivanje potreba živog organizma za toplotom, ali i za procenu brzine razvoja organizma pod određenim termičkim uslovima. Za određenu biljku i fazu rasta, stepen-dani su jednaki energiji potrebnoj da se obavi „čitav komplet“ procesa karakterističnih za datu fazu razvoja. Ova veličina predstavlja zbir temperaturnih razlika između srednje dnevne temperature i temperature biološkog minimuma (Tab. 3.5). U proizvodnji i zaštiti bilja, stepen-dani su uobičajen način za procenjivanje dinamike razvoja biljaka i štetnih organizama, za planiranje aktivnosti kao što su navodnjavanje, đubrenje i praćenje razvoja štetočina i bolesti, kao i za preduzimanje zaštitnih mera. Glava 15 pruža detaljnija objašnjenja o izračunavanju stepen dana.

Temperatura i rast biljaka. Energetski bilans biljnog sklopa i temperatura biljaka, kao njegova posledica, zavise od vrste biljke i faze rasta, kao i od morfoloških i aerodinamičkih karakteristika biljnog sklopa: indeksa lisne površine –

LAI, vegetacionog pokrivača (udeo zemljišta pokriven biljkama), visina hrapavosti, visina ravni nultog pomeranja (poslednje dve veličine su objašnjene u Glavi 6).

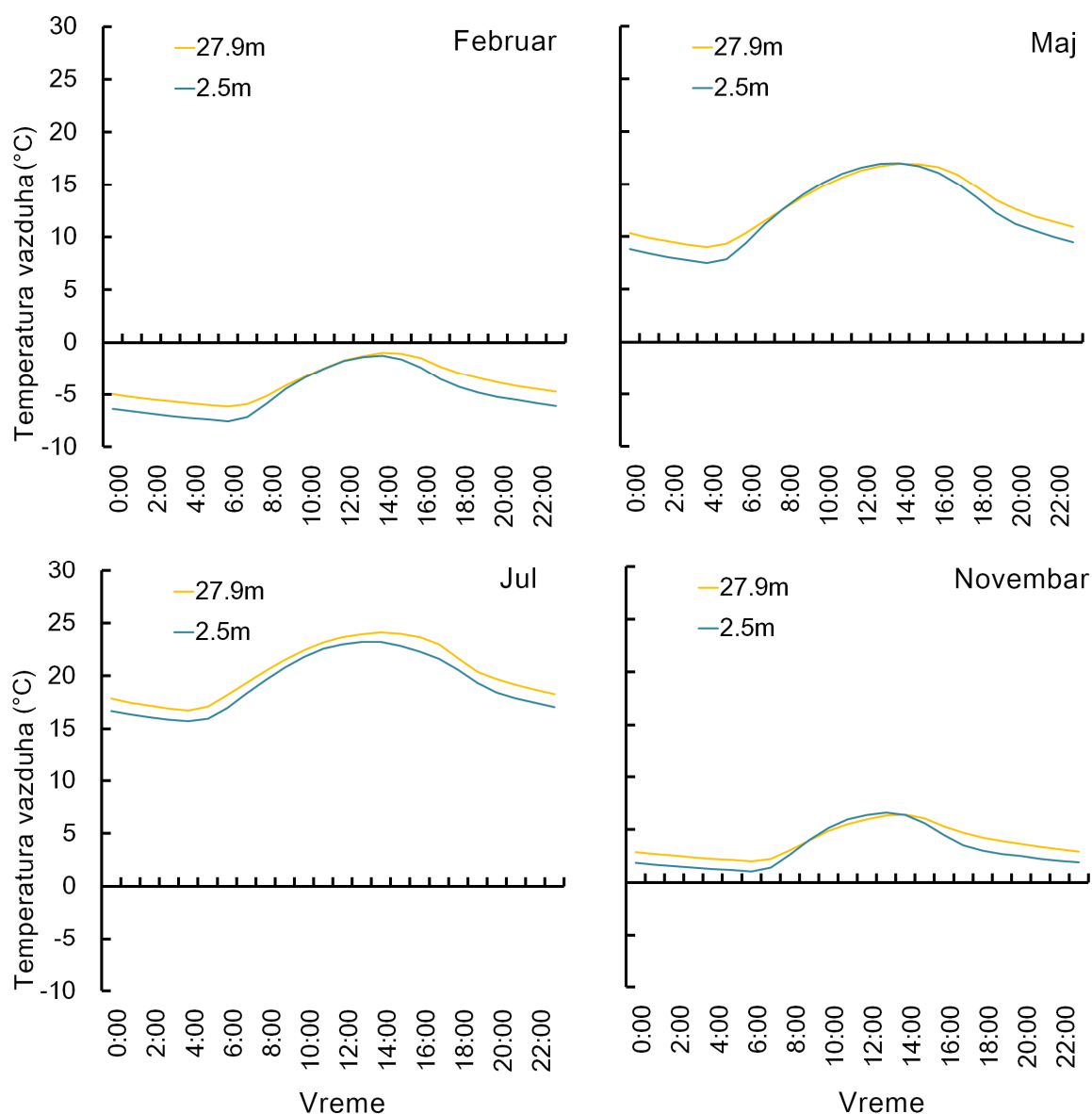
Tip biljke i faza razvića utiču na temperaturu biljke uglavnom preko flukseva osetne i latentne toplote (intenzitet evapotranspiracije). Prilagođavajući se svom okruženju, biljka razvija veličinu i nagib lišća (koji utiču na upadno sunčevo zračenje i odlazni fluks osetne toplote), kao i otpornost stoma (utičući na transpiraciju). Sve ove karakteristike biljke mogu značajno da izmene energetski bilans biljnog sklopa. Pored toga, tokom faze intenzivnog rasta i proizvodnje biomase, biljka teži da poveća brzinu svih procesa razmene, a posebno transpiracije.

Morfološke i aerodinamičke karakteristike biljnog sklopa, kao što su indeks lisne površine i vegetacioni pokrivač, utiču na raspodelu energije povećavanjem flukseva sa golog zemljišta za male vrednosti LAI i vegetacionog pokrivača. S druge strane, velike vrednosti LAI povećavaju fluks latentne toplote u jednačini energetskog bilansa.

U slučaju različitih struktura biljnih sklopova i samih biljaka, pri istom upadnom sunčevom zračenju se mogu očekivati različite temperature biljaka. Još važnija je činjenica da se temperatura biljke može značajno razlikovati od temperature vazduha unutar i iznad biljnog sklopa. Tokom dana, razlike u temperaturi vazduha unutar i iznad biljnog sklopa mogu biti još izraženije. Razvoj lisne površine tokom godine značajno utiče na ove razlike u temperaturi (Sl. 3.7). Tokom zime, kada su stabla bez lišća, razlika u temperaturi je rezultat tipične promene temperature vazduha sa visinom. U julu, kada je krošnja u potpunosti olistala i krošnja se ponaša kao barijera između biljnog sklopa i atmosfere, krive koje opisuju dnevnu varijaciju temperature vazduha su gotovo paralelne ilustrujući zanemarljivo mešanje vazduha između ove dve sredine.

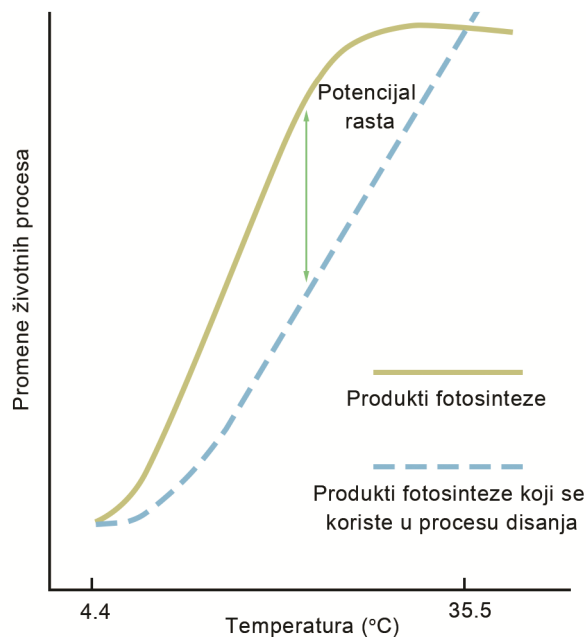
Fiziološki procesi i temperatura biljaka. Prema Van Hofovom pravilu, sa svakim povećanjem temperature za 10°C, brzina hemijskih procesa se udvostručuje. U slučaju biljaka, ovo pravilo važi sve dok se ne dostigne gornja granična temperatura. Iznad ove temperature, neki procesi slabe a neki se prekidaju. Najvažniji fiziološki procesi biljaka regulisani temperaturom su fotosinteza, disimilacija, transpiracija i asimilacija hranljivih materija.

Fotosinteza. Odvija se u hloroplastu. Koristeći vodu i hranjive materije iz zemlje i CO₂ iz vazduha, u prisustvu hlorofila i sunčevog zračenja (FAZ deo), biljka proizvodi šećere, skrob, ugljene hidrate i proteine, a oslobađa O₂. Intenzitet fotosinteze je u značajnoj meri uslovljen temperaturom i intenzitetom FAZ-a. Važna karakteristika ovog procesa je zasićenost. Pri određenom intenzitetu FAZ-a, dostiže se granična temperatura koja znači da više ne dolazi do povećanja brzine. Povećanje temperature vazduha iznad granične vrednosti uzrokuje smanjenu brzinu fotosinteze.



Slika 3.7. Dnevno kolebanje srednje časovne temperature vazduha unutar i iznad biljnog sklopa u periodu 1991-2005 na Prospekt Hil Traktu u Harvardskoj šumi u SAD (Munger and Wofsy, 2017).

Respiracija. Koristeći O_2 iz vazduha, biljka pretvara šećere u energiju, otpuštajući CO_2 i vodu. Respiracija se odvija u mraku, kao i na svetlosti, a brzina respiracije povećava se sa temperaturom. Potrošnja proizvoda fotosinteze tokom respiracije smanjuje potencijal rasta biljaka. Tokom dana, fotosinteza nadmašuje respiraciju ako je temperatura vazduha ispod kritične temperature (Sl. 3.8). Iznad ove temperature, utrošak produkata fotosinteze prevazilazi proizvodnju, što prekida rast biljke i smanjuje biomasu.



Slika 3.8. Primer uticaja temperature na intenzitet fotosinteze i respiracije.

Asimilacija hranljivih materija. Temperatura zemljišta može značajno uticati na kretanje vode i hranljivih materija iz zemljišta kroz korenski sistem, odražavajući se na hidrauličnu provodnost zemljišta i propustljivost korena. Najvažnije funkcije korena- apsorpcija vode i hranljivih materija uslovljene su temperaturom. Temperatura utiče i na pasivnu i na aktivnu apsorpciju vode, povećavajući kako propustljivost ćelijske membrane tako i metaboličku aktivnost. Porastom temperature od 13°C do 28°C, apsorpcija vode putem korena se udvostručava. Porast temperature od 5°C do 22°C kao rezultat ima sedmostruko povećanje unošenja vode kod graška. Povećanje korena useva smanjuje hidraulički otpor; to takođe povećava unošenje vode, kao i izlučivanje osmotski aktivnih supstanci. Istraživanja o uticaju temperature na unošenje azota ukazuju na to da se amonijum apsorbuje lakše od NO_3^- na niskim temperaturama. Povećanje sadržaja K javlja se sa povećanjem temperature. Isto važi i za fosfor i druge hranjive materije.

Transpiracija. Upravlja procesom razmene vode između unutrašnjosti biljke i atmosfere kroz stome koje kontrolišu unošenje i transport minerala, turgor pritisak i hlađenje biljaka. Svaki korak u ovom procesu u velikoj meri je uslovljen temperaturom zemljišta ili vazduha. Međutim, najveći uticaj je povezan sa otpornošću stoma i nedostatkom vode u okolnom vazduhu. Na visokim temperaturama biljke i u uslovima suvog vazduha, biljne stome su obično zatvorenije i povećavaju svoju otpornost kako bi biljka smanjila gubitke vode. Ova tema biće detaljnije razmatrana u Glavi 4, koja je posvećena vodnom bilansu.

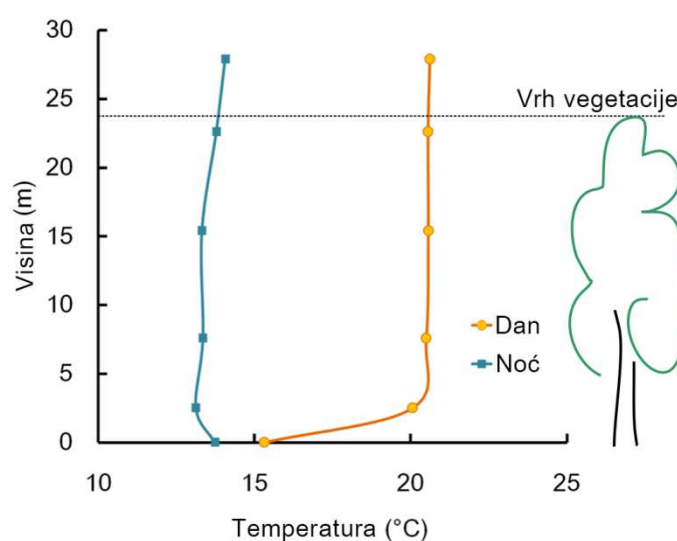
3.5 Uticaj vegetacije na temperaturu zemljišta i vazduha

Vegetacija utiče na strukturu zemljišta i površinskog sloja atmosfere, kao i na energetske bilans površine zemlje, a time i na temperaturu zemljišta i vazduha. Korenov sistem biljaka menja strukturu zemljišta, a samim tim i njegove termičke i hidrauličke karakteristike. Pojava i rast vegetacije tokom sezone uvodi novi entitet u atmosferski površinski sloj – vazdušni prostor biljnog sklopa. Menjajući svakodnevno svoje morfološke i aerodinamičke karakteristike, vazdušni prostor biljnog sklopa je donja granica atmosfere, sa specifičnim energetskim i turbulentnim transferom koji se u velikoj meri razlikuje od onog koji se obavlja u ostatku atmosfere iznad biljnog sklopa. Vazduh unutar biljnog sklopa je značajan izvor i ponor toplote, vodene pare i količine kretanja, čije prisustvo utiče na energetske i vodni bilans u atmosferi, povećava trenje podloge i potisak.

Sa aspekta temperature zemljišta i vazduha, najvažniji uticaj vazduha unutar biljnog sklopa na energetske bilans obavlja se sledećim mehanizmima:

- promenom komponenti energetskog bilansa tako što prisustvo biljnog sklopa menja fluks toplote u zemljište i intenzitet reflektovanog zračenja (albedo zavisi od fenološke faze),
- uvođenjem kratkotalnog i dugotalasnog zračenja koje biljke odbijaju i apsorbuju, kao i dugotalasnog zračenja koje biljke emituju u energetske bilans površine, i
- razmenom fluksa osetne i latentne toplote između površine biljaka i okolnog vazduha.

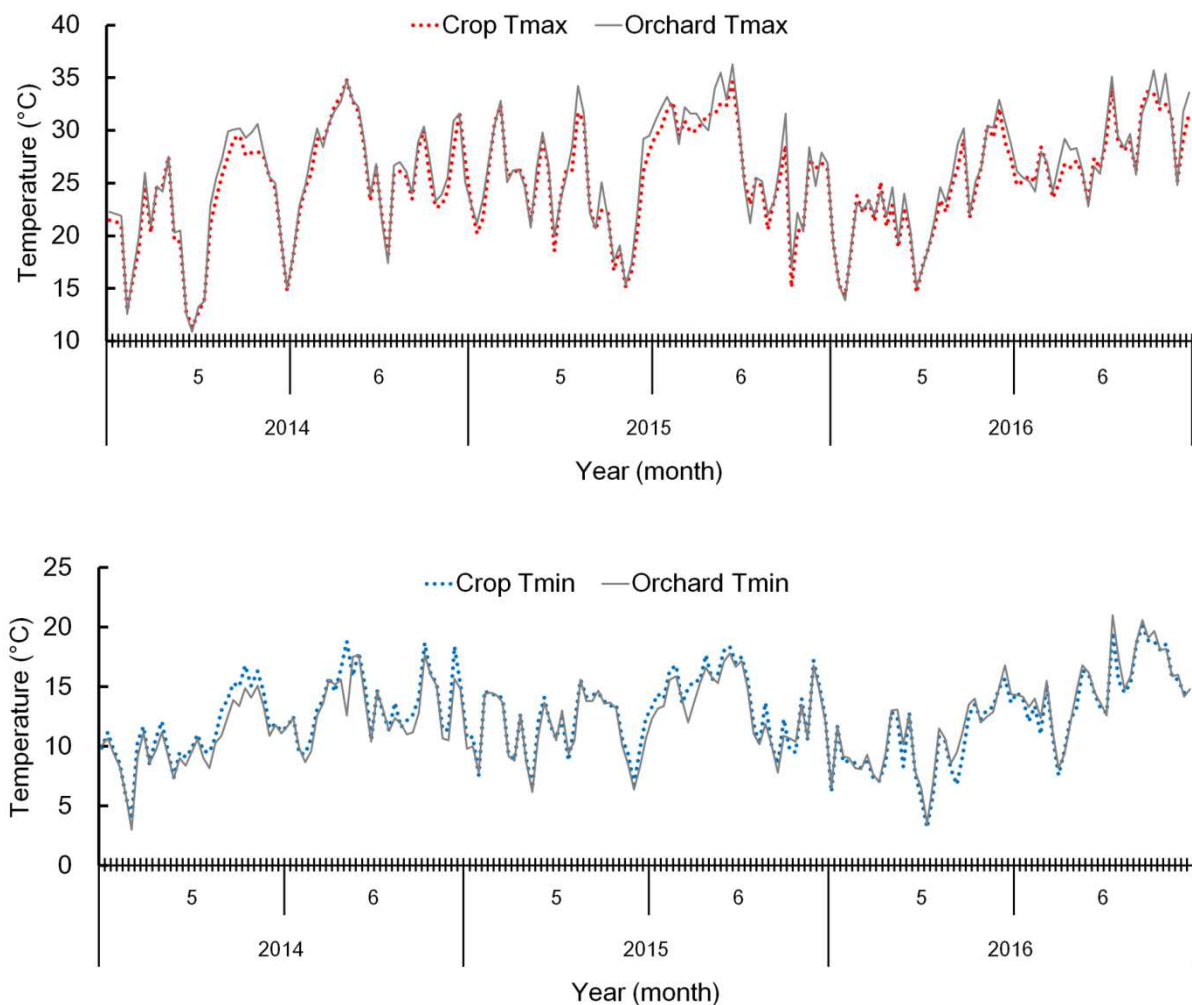
Temperatura zemljišta, biljaka i vazduha unutar biljnog sklopa rezultat su energetskog bilansa na površini biljnog sklopa, vazduha unutar biljnog sklopa i površine zemlje. Elektromagnetno zračenje može prodreti kroz površinu biljnog



Slika 3.9 Vertikalni profil srednje časovne temperature vazduha tokom dana (06:00-18:00) i noći (21:00-04:00) u junu u periodu 1991-2015 na Prospekt Hil Traktu u Harvardskoj šumi u SAD (Munger and Wofsy, 2017).

sklopa, što nije slučaj sa zemljištem. Intenzivno oslabljen na putu do tla, samo 2-10% dolaznog sunčevog zračenja stiže do površine zemljišta unutar sklopa i zagreva je. Značajno je da smanjeni fluks toplote u zemljište (u poređenju sa neobraslim zemljištem) u kombinaciji sa strukturom zemljišta koja se neprestano menja i uslovima vezanim za vegetaciju na površini zemlje, smanjuje temperaturu zemljišta kao i njeno dnevno i godišnje kolebanje.

Unutar biljnog sklopa, najveći deo sunčevog zračenja apsorbira vegetacija, koristeći ga za zagrevanje biljaka i procese fotosinteze. Ova apsorpcija zračenja dovodi do opadanja temperature vazduha od vrha sklopa do tla. Noću, kada samo dugotalasno zračenje doprinosi energetskom bilansu, dugotalasno zračenje Zemlje obično prevladava u odnosu na atmosfersko zračenje, stvarajući temperaturni profil suprotan onom koji se sreće tokom dana. Više temperature javljaju se bliže tlu, dok na površini biljnog sklopa temperatura vazduha dostiže svoj minimum, usled intenzivnog izračivanja.



Slika 3.10 Varijacija maksimalne i minimalne temperature vazduha u zasadu jabuke (Čenej, Srbija) i pšenice (Kać, Srbija). (Source: PIS Vojvodina)

Prisustvo vegetacije smanjuje dnevno i godišnje kolebanje temperature vazduha. Smanjenje gustine i visine vegetacije povećava godišnje kolebanje temperature zemljišta, stvarajući mnogo manji uticaj na amplitudu temperature vazduha. Međutim, izvesne razlike mogu da se uoče kada se radi o ekstremnim temperaturama. Primera radi, tokom dugogodišnjih merenja je uočeno da su veća dnevna kolebanja temperature merena u voćnjacima nego u usevima (Sl. 3.10). Razlog tome je manja gustina sklopa i prekrivenost tla vegetacijom u voćnjacima koja ostavlja mogućnost bolje razmene energije između tla i atmosfere a time i intenzivnije grejanje tla i vazduha tokom letnjih meseci.

4 Vlažnost vazduha

Vlažnost vazduha je posledica kruženja vode u prirodi. U brojnim faznim prelazima koji se smenjuju, voda prelazi iz leda u tečnost, od tečne faze u vodenu paru i obrnuto, obezbeđujući izvore i ponore atmosfertske vlage. Uloga biljaka u kruženju vode u prirodi je isto toliko važna kao i uloga vode u životnom ciklusu biljaka.

4.1 Elementi vlažnosti vazduha

Veličine koje se obično koriste za opisivanje vlažnosti vazduha su: (i) pritisak vodene pare, (ii) pritisak zasićene vodene pare, (iii) deficit vodene pare, (iv) tačka rose, (v) relativna vlažnost vazduha, (vi) specifična vlažnost vazduha i (vii) apsolutna vlažnost vazduha.

Pritisak vodene pare (e). U smeši gasova kao što je atmosfera, pritisak vodene pare je parcijalni pritisak vodene pare u vazduhu koji je u ravnotežnom stanju sa ledom ili vodom. Ovaj pritisak zavisi od količine vodene pare u atmosferi, temperature i atmosferskog pritiska i izražava se u paskalima (Pa). U starim izvorima podataka pritisak je izražen u milibarima (mb) te je korisno znati da je $1 \text{ mb} = 100 \text{ Pa}$.

Pritisak zasićene vodene pare (E) ili maksimalni pritisak vodene pare. Ako je količina vodene pare u vazduhu dovoljna da pokrene kondenzaciju na datoj temperaturi, onda je vazduh zasićen, a pritisak vodene pare u vazduhu dostiže svoju maksimalnu vrednost. Ova vrednost zavisi isključivo od temperature. Ukoliko je temperatura viša vazduh može da primi više vodene pare pre nego što postane zasićen. Više o ovom fenomenu možete pronaći u publikaciji sa materijalom za dodatno čitanje koja prati ovu knjigu⁴.

Deficit vodene pare (d). Razlika između pritiska zasićene i nezasićene vodene pare na datoj temperaturi obično se koristi za opisivanje suvoće vazduha, tj. koliko dodatne vodene pare (izraženo u jedinicama pritiska) može usvojiti vlažni vazduh pre nego što postane zasićen.

Tačka rose (T_d). Ako je vazduh zasićen vodenom parom, njegova temperatura se naziva tačka rose jer dalji pad temperature dovodi do kondenzacije i formiranja rose. Ova temperatura varira u zavisnosti od atmosferskog pritiska i vlažnosti vazduha.

Relativna vlažnost vazduha (r). Obično se koristi za opisivanje vlažnosti vazduha u odnosu na stanje zasićenja. Definiše se kao odnos pritiska vodene pare i maksimalnog pritiska vodene pare na datoj temperaturi izražava u procentima.

Specifična vlažnost (q) i apsolutna vlažnost (a) vazduha. Masa vodene pare u jedinici mase ili jedinici zapremine vlažnog vazduha koristi za se definisanje specifične (g kg^{-1}) ili apsolutne (kg m^{-3}) vlažnosti vazduha.

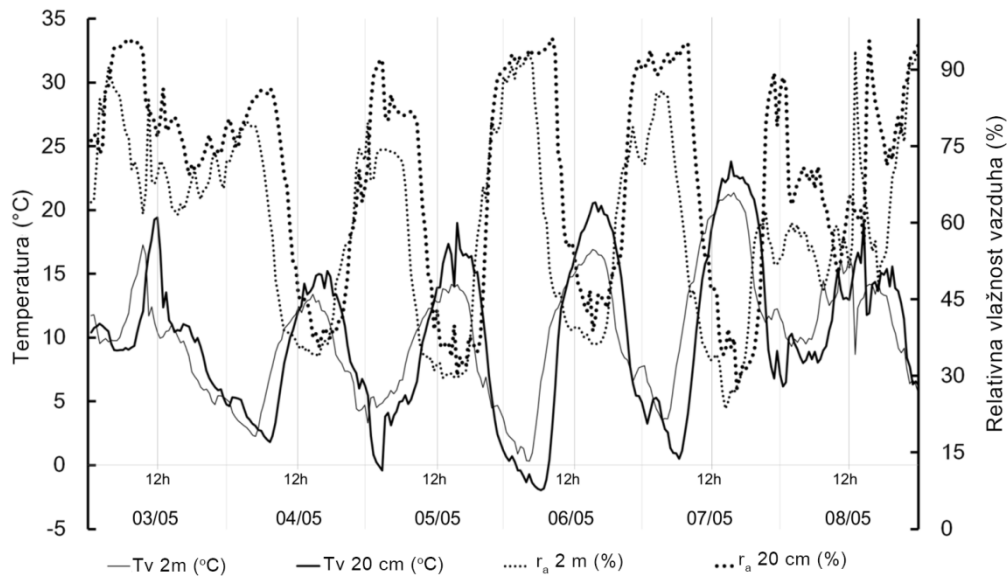
⁴ "Метеорологија и климатологија за агрономе - за оне који желе да знају више"

Godišnje i dnevne varijacije energetskog bilansa, kao i temperature vazduha i tla utiču na vodni ciklus a time i na kolebanje vlažnosti vazduha. Obično se kolebanje pritiska vodene pare i relativne vlažnosti analiziraju na različitim vremenskim i prostornim razmerama.

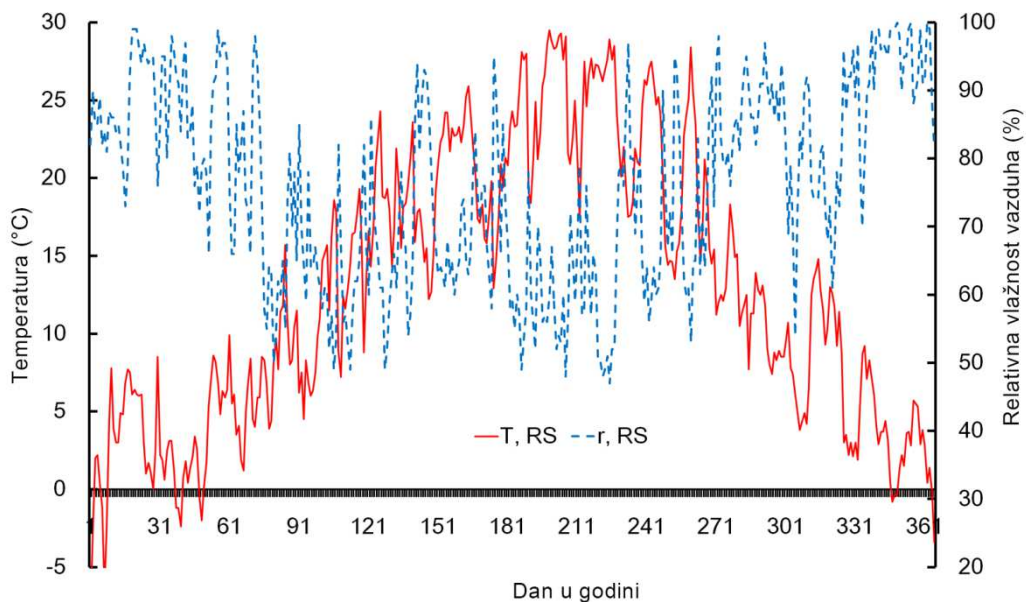
Lokacija, u zavisnosti od toga da li je primorska ili kontinentalna, određuje dnevno kolebanje pritiska pare. Iznad slobodne vodene površine, koja je neograničen izvor vodene pare, dnevno kolebanje pritiska pare je u skladu sa kolebanjem temperature vazduha koja reguliše "dotok" vodene pare preko procesa isparavanja. Shodno tome, u primorskim uslovima (i kontinentalnim tokom zime) vodena para u vazduhu dostiže maksimalni pritisak u 14 sati, a minimalan pri izlasku sunca. Tokom leta, duboko u kontinentu na srednjim geografskim širinama, dnevno kolebanje pritiska vodene pare ima dva minimuma (u 4 i 15 sati) i dva maksimuma (u 9 i 21 sat). Šta dovodi do toga? Ujutru, neposredno pre izlaska sunca (4 sata), energetski bilans Zemljine površine i temperatura vazduha su na dnevnom minimumu, što vodi do minimalnog isparavanja i minimalnog "dotoka" vodene pare u atmosferu. Kako se nakon izlaska Sunca povećava energija koja stiže do površine Zemlje, povećavaju se i intenzitet isparavanja i količina vodene pare u vazduhu iznad površine koja se isparava. Tokom prvih nekoliko sati posle izlaska Sunca, kada je vertikalni transfer u atmosferi još uvek prilično slab, akumulacija vodene pare u prizemnom sloju vazduha se nastavlja i pritisak vodene pare se povećava do (jedne) svoje maksimalne dnevne vrednosti koju dostiže obično oko 9 sati. Tokom dana, temperatura zemljišta i vazduha raste uzrokujući vertikalni (turbulentni) transfer vodene pare od tla ka višim slojevima atmosfere. Ovim se smanjuje njena količina u površinskom sloju atmosfere sve do (jedne) minimalne vrednosti u rano popodne (15 sati) što se poklapa sa maksimumom turbulentnog transporta. Kako se vertikalni transport smanjuje kada sunce počne da zalazi, akumulacija vodene pare u površinskom sloju vazduha se ponovo intenzivira, stvarajući drugi maksimum pritisak vodene pare (21 sat) u toku dana. Zanimljivo je da sadržaj vodene pare u vazduhu dostiže svoj maksimum iako se intenzitet isparavanja smanjuje zbog smanjenja intenziteta dolaznog zračenja i temperature zemljišta i vazduha. Očigledno da je smanjeno odvođenje vodene pare nadmašuje efekat smanjenog dovođenja. Na godišnjem nivou, pritisak vodene pare je u skladu sa kolebanjem temperature vazduha.

Dnevno kolebanje relativne vlažnosti vazduha direktna je posledica načina na koji je relativna vlažnost definisana i činjenice da pritisak zasićene vodene pare zavisi isključivo od temperature vazduha. S obzirom da je relativna vlažnost vazduha obrnuto proporcionalna pritisku zasićene vodene pare, i da je uvek veća od pritiska vodene pare, jasno je da će dnevno (Sl. 4.1) i godišnje (Sl. 4.2) kolebanje relativne vlažnosti uvek biti obrnuto proporcionalno kolebanju temperature. Slika 4.1 ilustruje neke od argumenata koji su izneseni prilikom objašnjenja dnevnog kolebanja pritiska vodene pare. Noću, razlike u vlažnosti vazduha unutar i iznad biljnog sklopa nisu značajne. Nakon izlaska Sunca, relativna vlažnost vazduha na 2 m visine počinje da opada zbog porasta temperature; nasuprot ovome, na 20 cm od tla relativna vlažnost vazduha nastavlja da raste iako je temperatura i na ovoj visini počela da

raste. Ovaj efekat je posledica intenzivnog isparavanja sa površine tla (i mogućeg formiranja rose) koje može značajno da poveća vlažnost vazduha u biljnom sklopu ujutru prevazilazeći, na taj način, uticaj temperature na relativnu vlažnost vazduha.



Slika 4.1 Dnevno kolebanje temperature i relativne vlažnosti vazduha unutar i iznad travnatog sklopa tokom maja 2011. u Großenzersdorfu (Groß-Enzersdorf) (Austrija). (Izvor: BOKU-Met)



Slika 4.2 Godišnje kolebanje temperature i relativne vlažnosti vazduha tokom 2015. g. na Rimskim Šančevima (Srbija). (Izvor: Republički Hidrometeorološki zavod Srbije)

Globalna raspodela vlažnosti vazduha određena je globalnim zagrevanjem Zemlje i atmosferskom cirkulacijom. Zbog visokog intenziteta isparavanja na malim geografskim širinama blizu Ekvatora, relativna vlažnost vazduha je visoka tokom godine i smanjuje se do 30° geografske širine prema severu i jugu. Na polovima, zbog niskih temperatura, maksimalni pritisak vodene pare je veoma nizak i zato je relativna vlažnost visoka.

4.2 Procesi koji čine vodni ciklus

Molekul vode je troatomni polarni molekul. Da li će se naći u obliku leda, tečne vode ili pare zavisi od ravnoteže privlačnih sila među molekulima i njihove kinetičke energije. Privlačne međumolekularne sile nastoje da drže molekule na okupu, kao što je to slučaj kod leda. Međutim, porast kinetičke energije (direktno proporcionalan temperaturi) omogućuje molekulima da se kreću većim brzinama, udaljavaju se jedan od drugog i prelaze iz čvrste u tečnu ili gasovitu fazu.

Isparavanje je fizički proces u kom molekuli tečnosti uspevaju da savladaju privlačne međumolekularne sile i počinju da se slobodno kreću u prostoru iznad površine tečnosti. Isparavanje se stalno odvija na temperaturama iznad apsolutne nule ($0 \text{ °K} = -273.15 \text{ °C}$). Intenzitet ovoga procesa je manji ili veći u zavisnosti od raspoložive kinetičke energije, tj. temperature tečnosti. Energija potrebna za isparavanje 1 kg vode pri konstantnoj temperaturi naziva se latentna toplota isparavanja i u slučaju vode varira od $2264,76 \text{ kJ kg}^{-1}$ (na 100 °C) do 2500 kJ kg^{-1} (na 0 °C). Intenzitet isparavanja vode često je povezan sa deficitom vodene pare, odnosno sa sposobnošću okolnog vazduha da prihvati dodatne molekule vode. Opšti je zaključak da isparavanja nema u slučaju kada je vazduh zasićen a deficit vodene pare jednak nuli - što nije sasvim tačno. Naime, u slučaju kada je vazduh iznad površine tečnosti zasićen, molekuli se ipak mogu odvojiti od površine tečnosti i ispariti, ali će neki drugi molekuli, čija je energija niža i koji se nalaze blizu površine tečnosti, biti zahvaćeni od strane površinskih molekula i transformisani u tečnost. Tako dolazi do *kondenzacije*. To znači da se isparavanje i kondenzacija dešavaju istovremeno, a razlika između broja molekula koji napuštaju i onih koji se vraćaju u tečnost određuje da li će se proces smatrati isparavanjem ili kondenzacijom.

Pri konstantnom pritisku i zapremini, verovatnoća molekularnih sudara i zahvata molekula od strane drugih molekula gasa se povećavaju kako se prosečna kinetička energija (temperatura) smanjuje. To objašnjava zašto maksimalni pritisak pare, tj. koncentracija molekula potrebnih za kondenzaciju na određenoj temperaturi, opada sa temperaturom i zavisi isključivo od temperature. Nasuprot tome, pri konstantnoj temperaturi, povećanje atmosferskog pritiska smanjuje srednju dužinu slobodnog puta molekula i povećava verovatnoću sudara, odnosno intenzitet kondenzacije. Naravno, isti efekat se javlja i ako se pri konstantnoj temperaturi vazduha i konstantnom atmosferskom pritisku povećava sadržaj vodene pare.

Zavisno od mehanizma koji dovodi do transformacije vodene pare u tečnost, kondenzacija može da se odvija kao homogena ili heterogena. Homogena

kondenzacija se javlja u čistom, superzasićenom vazduhu. Heterogena kondenzacija, koja se i najčešće sreće u atmosferi, počinje na malim česticama (na primer prašina, čađ, morska so, vulkanski pepeo, fitoplanktoni, aerosoli), obično prečnika 0.2 μm , koje se nazivaju kondenzaciona jezgra. Ova jezgra kondenzacije imaju različitu strukturu ali su uvek higroskopna što znači da mogu da vezuju vlagu iz vazduha pri uslovima koji su značajno ispod saturacionih. Kapljice vode formirane na jezgrima kondenzacije igraju ključnu ulogu u formiranju magle u uslovima kada je relativna vlažnost vazduha ispod 70%.

Topljenje. Čvrsto stanje supstance karakterišu međumolekularne sile koje su mnogo snažnije od kinetičke energije molekula koja je na raspolaganju za obavljanje rada na savladavanju ovih sila. Ove sile održavaju fiksni oblik i zapreminu čvrstih tela. Topljenje je fizički proces pri kome se energija dovedena telu troši na savladavanje međumolekularnih sila i prelazak tela u tečno stanje. Obrnuti proces je *mržnjenje* kada se, kao posledica odvođenja energije iz tečnosti, kinetička energija molekula smanjuje a privlačne međumolekularne sile postaju dominantne, stvarajući čvrsto stanje. Kada telo direktno iz čvrstog agregatnog stanja pređe u gasovito, ovaj fizički proces se naziva sublimacija. Isti izraz, međutim, može se naći u literaturi i za suprotan proces.

4.3 Isparavanje i kondenzacija u atmosferi

Zemljina površina je stalni izvor i ponor energije i vlage za atmosferu. Isparavanje sa slobodne vodene površine je posledica neto zračenja na površini, temperature i vlažnost vazduha. Prisustvo vetra smanjuje vlažnost vazduha i intenzivira uklanjanje molekula vode sa površine, tj., povećava intenzitet isparavanja.

Na isparavanje sa golog zemljišta utiču isti meteorološki uslovi koji utiču na isparavanja sa slobodne vodene površine, ali i karakteristike zemljišta kao što su: sadržaj vlage u zemljištu, vrsta i struktura zemljišta, zaslanjenost, kao i prisustvo i nivo podzemne vode. Ako je zemljište zasićeno vlagom, intenzitet isparavanja u datim meteorološkim uslovima je maksimalan i naziva se *potencijalno isparavanje* (evaporacija).

Vegetacija otpušta vodu u atmosferu kao rezultat dva procesa: fizičkog procesa isparavanja sa površine vegetacije i fiziološkog procesa *transpiracije*, koji predstavlja difuziju vodene pare iz unutrašnjosti biljke u okolni vazduh kroz stome. Uobičajeni naziv za isparavanje vode sa površine biljke i transpiraciju iz njene unutrašnjosti je – evapotranspiracija, koja će biti detaljnije razmotrena u narednim poglavljima. Ako je površina zemljišta potpuno pokrivena biljkama, i u zemljištu nema deficita vlage, evapotranspiracija će dostići maksimalan intenzitet pri datim meteorološkim uslove i naziva se *potencijalnom evapotranspiracijom*.

Kondenzacija praćena oslobađanjem latentne toplote kondenzacije moćan je izvor energije za atmosferu. Kondenzacija vodene pare u atmosferi se odvija pri sledećim uslovima:

- a) kada vlažni vazduh prelazi preko hladnije površine intenzivno se hladeći u dodiru sa hladnim predmetima;
- b) kada se vazduha hladi zbog intenzivnog izračivanja naležuće površine;
- c) kada se mešaju topla i hladna vazдушna masa;
- d) kada je vazduh prisiljen da se uzdiže, intenzivno se hladeći zbog smanjenja pritiska dok zadržava početnu količinu vodene pare i ostaje u nezasićenom stanju. U određenom momentu vazduh će se ohladiti do tačke rose za datu količinu vodene pare.

Proizvodi kondenzacije - magla. Magla je rezultat kondenzacije vodene pare u sloju vazduha neposredno iznad površine tla. Kada su male kapljice vode ili kristalići leda suspendovani u vazduhu vidljivost je smanjena do: 1000 m u slučaju slabe magle, 180 m u slučaju umereno guste magle i 50 m u slučaju vrlo guste magle. Maglu nekad nazivaju i oblak (stratusni) na površini Zemlje, jer je mehanizam njenog nastajanja vrlo sličan mehanizmu formiranja oblaka.

U zavisnosti od toga da li procesi koji se odvijaju dovode do kondenzacije ili uslova bliskih kondenzaciji (razlika između temperature vazduha i tačke rose manja od 2,5 °C) mogu nastati različite vrste magli.

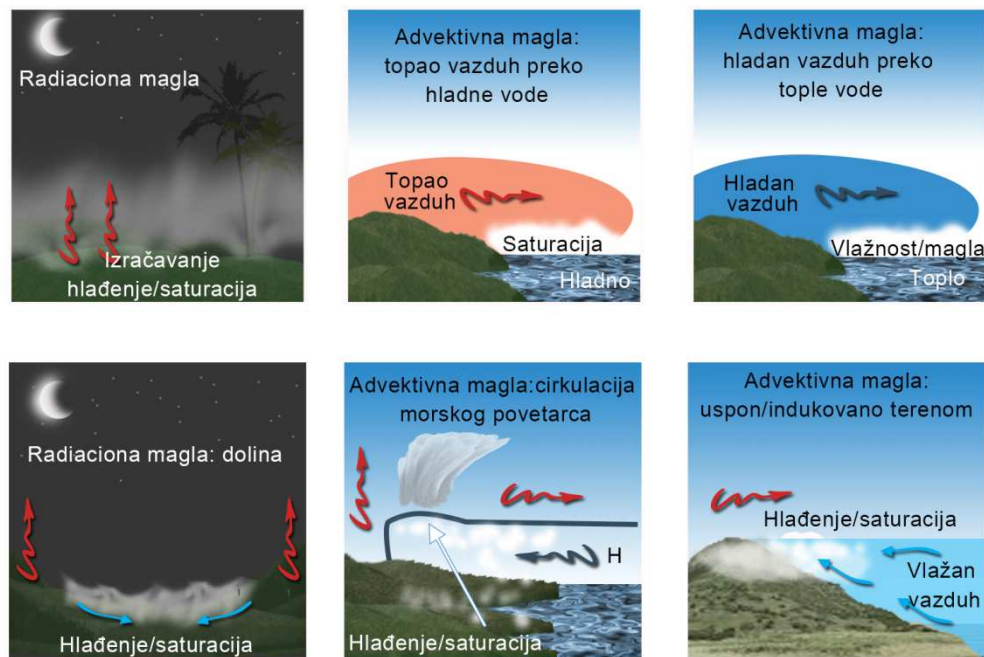
Advektivna magla (Sl. 4.2) je rezultat horizontalnog kretanja toplog i vlažnog vazduha preko mnogo hladnijeg površine tla ili vodene površine što dovodi do hlađenja tog vazduha ispod njegove tačke rose. Često se zapaža iznad hladne površine vode. Dodatno, kada se hladan vazduh kreće iznad tople i vlažne (obično vodene) površine formira se magla koja podseća na dim ili paru. U nekim delovima sveta, advektivna magla je značajan izvor vode što je dovelo do razvoja nove tehnike sakupljanja vode od magle ("fog harvesting").

Magla isparavanja se javlja kada hladni vazduh miruje iznad toplije vodene površine. U tome slučaju voda isparava u hladan vazduh i povećava njegov sadržaj vodene pare, što dovodi do još povoljnijih uslova za kondenzaciju.

Radijaciona magla (Sl. 4.2) je rezultat kondenzacije do koje dolazi u sloju vazduha neposredno iznad površine tla zbog njegovog intenzivnog noćnog hlađenja koje obično nastaje u uslovima vedrog neba i mirnih zimskih noći. Ova vrsta magle nestaje posle izlaska Sunca kada se zemljište dovoljno zagreje. Prisustvo inverzije produžava trajanje radijacione magle.

Frontalna magla se javlja usled promena atmosferskih uslova za kondenzaciju zbog prisustva frontalnih zona ili prolaska fronta. Magla koja se javlja pre nailaska toplog fronta i posle prolaska hladnog fronta naziva se *padavinska* ili kišna magla. Ona je povezana sa slabim padavinama koje se javljaju u hladnom, stabilnom vazduhu u frontalnoj zoni što povećava sadržaj vodene pare u vazduhu a time i tačku rose. Tokom prolaska fronta, mešanje toplih i hladnih vazdušnih masa stvara povoljne uslove za kondenzaciju.

Magla uzdizanja se formira kada je vlažni vazduh prisiljen da se diže uz brdo ili greben. Kao rezultat takvih uslova, vazduh se hladi do tačke rose što dovodi do pojave magle i oblaka na navetrenoj strani planine.



Slika 4.3 Tipovi radijacione i advektivne magle

4.4 Uticaj vlažnosti vazduha na biljke

Biljke su veoma osetljive na promene temperature i vlažnosti vazduha. Visoka kao i niska vlažnost vazduha utiče na razvoj biljaka, oprašivanje, otpornost na bolesti i konačni prinos.

Visoka relativna vlažnost smanjuje intenzitet transpiracije i čak je može zaustaviti. Naravno, najmanje smanjenje vlažnosti uzrokovano lakim vetrom, na primer, ponovo pokreće ovaj proces. Mala transpiracija dovodi do povećanja turgora u biljnim ćelijama, što dovodi do povećanja pritiska na elastične ćelijske zidove i širenje ćelija. To je jedan od razloga intenzivnog rasta listova tropskih biljaka. Oplodnja je veoma osetljiva na vlagu vazduha. Visoka relativna vlažnost može smanjiti širenje polena do udaljenih lokacija. Topli i vlažni uslovi su idealno okruženje za razvoj različitih biljnih bolesti, kao i za neke štetočine i korove.

Niska relativna vlažnost vazduha povećava stomatarni otpor čime se smanjuje razmena gasova između biljke i njenog okruženja, a to smanjuje intenzitet nekih od najvažnijih fizioloških procesa kao što su fotosinteza i transpiracija. Niska vlažnost vazduha smanjuje čak i efekte navodnjavanja. Naime, pod istim uslovima u pogledu temperature vazduha i intenziteta FAZ, dobija se niži prinos ako se voda potrebna za rast biljaka obezbeđuje navodnjavanjem umesto padavinama. Razlog za to je vlažnost vazduha. Uticaj navodnjavanja na vlažnost vazduha je mnogo manje izražen nego što je slučaj sa padavinama. Dakle, čak i ako navodnjavanje obezbediti dovoljnu količinu vode za normalan rast biljaka, negativni efekti suvog vazduha i dalje će ostati prisutni.

Suša je fenomen (ne samo vremenska pojava) koji je prouzrokovan manjkom vode (u vidu pare ili tečnosti) u vazduhu i/ili zemljištu i ima izrazit uticaj na rast biljaka. Suša se javlja nakon dužeg perioda u kome nije bilo padavina ili su one bile nedovoljne što je dovelo do stvaranja deficita vlage u vazduhu i zemljištu i dramatičnog narušavanja vodnog bilansa. Suša nije isto što i manjak vode (eng. water scarcity) koji se odnosi na situaciju kada potrebe za vlagom prevazilaze raspoložive količine vode (Donald A. Wilhite, 2000).

Ozbiljnost suše je teško odrediti jer on zavisi ne samo od trajanja, intenziteta, vremena pojave i površina zahvaćenih sušom već i od potreba za vodom koje su rezultat ljudskih aktivnosti i gajenja biljaka u posmatranom regionu (Blain, 2012).

Suša se razlikuje od drugih prirodnih nepogoda i katastrofa (poplave, tropski cikloni i zemljotresi) na mnogo načina. Pre svega, to je pojava čiji se efekti šire na mnoge grane privrede i ispoljavaju se na različitim vremenskim razmerama (Gillete, 1950). Efekti suše se obično sporo akumuliraju te je teško proceniti kada je zaista počela a kada se završila jedna sušna epizoda. Ovo je jedan od zadataka sistema za monitoring suše.

U zavisnosti od karakteristika regiona (pre svega klimatskih) i prirode ljudskih aktivnosti moguće su različite definicije suše. Postoje različite klasifikacije suše zasnovane na: a) sistemu ili aktivnosti u odnosu na koji se posmatra suša (meteorološka, hidrološka, poljoprivredna, socioekonomska), b) vremenu pojave i trajanju (stalna, sezonska, povremena) i c) sredini preko koje se suša dominantno ispoljava (atmosferska i zemljišna).

Meteorološka suša se odnosi na odstupanja temperature vazduha i padavina od normalnih vrednosti (tridesetogodišnji proseki) tokom određenog perioda (mesec, godišnje doba ili godina). Međutim, izbor parametara i kriterijumi odabrani za definisanje meteorološke suše zavise od klimatskih karakteristika određenog regiona. Ako je bitno klimatsko obeležje sezonska distribucija padavina onda su odstupanje u količini, intenzitetu i raspodeli padavina mera za deficit padavina i sušu. Međutim, u regionima u kojima su padavinama redovne, kao što je zapadna obala Škotske recimo, sa prosečnom godišnjom količinom padavina od 3000 mm tokom 250 kišnih dana, povećan broj uzastopnih dana bez padavina je mera suše. Što se tiče intenziteta, meteorološka suša se klasifikuje prema rekordnim padavinama u posmatranom periodu kao što je: blaga (11-25% manje od dugoročnog proseka), umerena (25 - 50% manje od dugoročnog proseka) i jaka (više od 50% manje od višegodišnjeg proseka).

Hidrološka suša je rezultat uticaja meteorološke suše na vodni ciklus zemljišta. Ovaj tip suše se ispoljava preko smanjene količine vode u rekama, vodotocima i jezerima, kao i smanjenja podzemnih voda. Javlja se sa određenim vremenskim zakašnjenjem u odnosu na meteorološku sušu i utiče na proizvodnju energije i poljoprivredu. Zbog vremenskog kašnjenja ponekad je veoma teško proceniti efekte hidrološke suše za razliku od, recimo, poljoprivredne. Naime, dok se efekti suše na biljke vide u roku od nekoliko dana, kada su podzemne vode ili akumulacije u pitanju ponekad je potrebno da prođe nekoliko meseci da bi se uočili prvi efekti.

Poljoprivredna suša je situacija kada su vlažnost vazduha i zemljišta nedovoljni za zadovoljavanje tekućih potreba biljaka za vodom. Zahtevi biljaka za vodom zavise od meteoroloških uslova, vrste i faze rasta biljke i karakteristika zemljišta (fizičke, hemijske i mikrobiološke), pa se zbog toga poljoprivredna suša treba smatrati specifičnom za biljku. Više o poljoprivrednoj suši i različitim indeksima koji se obično koriste za opisivanje intenziteta suše može se naći u Glavi 9.

Socioekonomska suša je rezultat meteorološke, hidrološke i poljoprivredne suše (jedne od njih ili njihova kombinacija) i ona se javlja kada potražnja za određenim ekonomskim dobrom prevaziđe ponudu.

Prema Torntvajtu (Thorntwaite), suša se prema vremenu pojave i dužini trajanja može klasifikovati kao: a) *trajna* - javlja se u područjima sa sušnom klimom, gde je zbog nedovoljne količine padavina poljoprivredna proizvodnja zasnovana na navodnjavanju; b) *sezonska* - obično uzrokovana velikim sezonskim varijacijama u područjima sa jasno definisanim vlažnim i suvim periodima u godini (na primer, područja sa monsunskom klimom); c) *povremena* – ova vrsta suše rezultat je velike varijabilnosti u količinama i intenzitetu padavina, tipična za regione humidne i subhumidne klime. Ako se podudara sa vegetacionim periodom useva, može izazvati značajno smanjenje prinosa.

Suša se takođe može klasifikovati i kao atmosferska i zemljišna. *Atmosferska suša* je situacija kada je vlažnost vazduha vrlo niska. Najčešće je posledica visokih temperatura i smanjene količine padavina, ali to nisu isključivi uzroci. U slučaju normalnog rasporeda padavina, ova vrsta suše može se pojaviti usled toplog, snažnog vetra koji povećava deficit vodene pare u vazduhu. Dobar primer ovakvog vetra je Suhovej koji obično duva u Kaspijskom regionu i Kazahstanu. To je vetar umerene brzine ($5-20 \text{ m s}^{-1}$), visoke temperature vazduha ($20 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$) i male relativne vlažnosti (manje od 30%). Ako se javi u toku vegetacionog perioda, može izazvati prekomernu evapotranspiraciju i značajan vodni stres u biljkama. Ako atmosferska suša potraje dovoljno dugo, ona dovodi do velikog smanjenja sadržaja vlage u zemljištu, u početku u površinskom sloju, a kasnije prodire dublje u zemljište i dospeva do zone korena poljoprivrednih kultura – to je *zemljišna suša*.

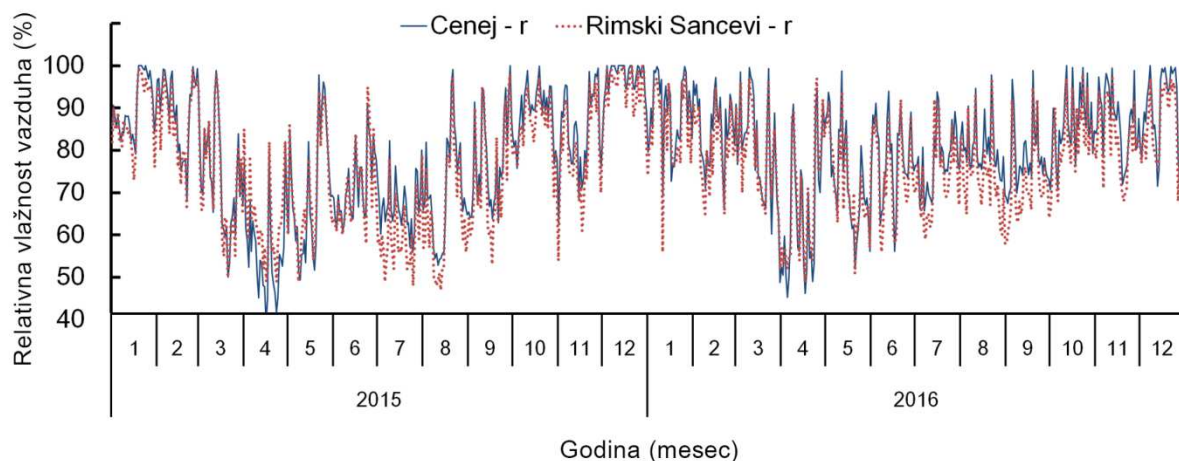
„Vlaženje lista“ je izraz koji se odnosi na prisustvo vode u tečnom stanju na površini listova. Postoje tri izvora vode na površini listova: (i) zadržavanje vode od padavina (intercepcija), (ii) navodnjavanje orošavanjem i (iii) rosa. Tri veličine koje se obično koriste za opisivanje vlaženja lista su: količina zadržane vode po jedinici lisne površine, površina dela lista pokrivenog vodom i trajanje vlaženja lista. Navedene karakteristike vlaženja listova zavise uglavnom od specifičnih osobina biljke (površina lista i ugao, sposobnost površine lista da zadrži vlagu) i meteoroloških uslova, a mogu značajno uticati na vodni bilans pojedinačnih biljaka i biljnog sklopa. Maksimalna količina vode koja se može zadržati po jedinici lisne površine pre nego što počne da kaplje sa lista kreće se u zavisnosti od biljne vrste od $0,1$ do 500 ml m^{-2} . Biljke mogu imati koristi i od male i od velike količine zadržane vode, tj. vlažnosti listova. Na primer, mala sposobnost zadržavanja vode poboljšava vodni bilans u suvim uslovima jer olakšava vodi da stigne do zemljišta pre nego što ispari sa površine biljke. Sa druge strane, u slučaju jake kiše, intercepcija može usporiti priliv

vode od padavina u zemljište i obezbediti optimalan vodni bilans. Kod mnogih patogenata (krastavost ploda kod jabuka, kasna plamenjača krompira, rana plamenjača paradajza itd.), trajanje vlaženja lista igra ključnu ulogu u određivanju intenziteta zaraze.

S obzirom da voda isparava sa površine lista kao i sa bilo koje druge slobodne vodene površine, temperatura i vlažnost vazduha, kao i brzina vetra najviše utiču na uklanjanje vode sa površine lista. Važno je napomenuti i da površina biljke pokrivena vodom nije dostupna za transpiraciju, jer zadržana voda pokriva stome i time utiče na razmenu gasova između biljke i njene okoline.

4.5 Uticaj biljaka na vlažnost vazduha

Biljke utiču na vlažnost vazduha direktno i indirektno. Direktno, biljke deluju kao izvor vodene pare koja dolazi iz unutrašnjosti (transpiracija) ili sa površine biljke (isparavanje vode zadržane na površini). Otud je relativna vlažnost merena, recimo leti, unutar biljnog sklopa veća od one merene iznad golog zemljišta ili u meteorološkom zaklonu (Sl. 4.4).



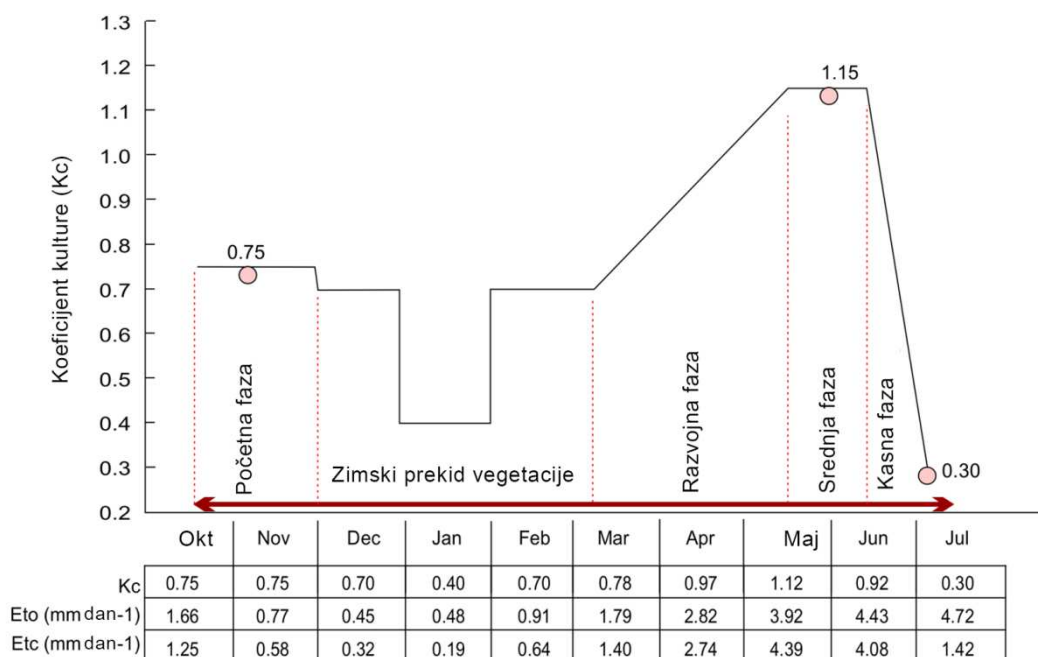
Slika 4.4 Dnevno kolebanje relativne vlažnosti vazduha u meteorološkom zaklonu (Rimski Šančevi, Srbija) i u voćnjaku jabuke (Čenej, Srbija). (Izvor: Republički Hidrometeorološki zavod Srbije i PIS Vojvodina).

U Poglavlju 4.2 su objašnjeni procesi transpiracije i evapotranspiracije. Ovi procesi su toliko važni kako za biljke tako i za atmosferu, da zaslužuju više pažnje. S obzirom da je, u praksi, prilično teško razlikovati deo fluksa vodene pare koji potiče samo od transpiracije od onog koji je posledica isključivo isparavanja, u daljem tekstu će biti razmatrana samo evapotranspiracija (ET) kada se radi o vodenoj pari koja od biljnog sklopa stiže u atmosferu.

Meteorološki uslovi, karakteristike zemljišta i biljke kao i agrotehničke mere, utiču na intenzitet evapotranspiracije. U zavisnosti od nivoa složenosti, tj. broja parametara uključenih u analizu, obično se razmatraju tri vrste evapotranspiracije: a) referentna ET, b) potencijalna ET i c) stvarna ET (Allen et al., 1998).

Referentna evapotranspiracija, ET_0 je evapotranspiracija sa optimalno vlažne površine zemljišta, u potpunosti pokrivena referentnom vegetacijom za koju je odabrana niska trava. Intenzitet referentne ET zavisi isključivo od meteoroloških uslova.

Potencijalna evapotranspiracija, ET_c je proces koji se odvija sa optimalno vlažne površine zemljišta, u potpunosti pokrivena odabranim usevom koji je otporan na bolesti i optimalno nađubren. Pored meteoroloških uslova, intenzitet ove vrste evapotranspiracije u velikoj meri zavisi od karakteristika zemljišta (tip, struktura, zaslanjenost, plodnost) i useva (sorta, faza rasta, broj, raspodela i otvorenost stoma). Izračunavanje ET_c najčešće se zasniva na koeficijentu useva, K_c pod pretpostavkom da se potencijalna evapotranspiracija sa bilo koje vegetacijom pokrivena površine može izraziti u odnosu na referentnu ET ($ET_s = K_c ET_0$). Koeficijent useva (K_c) je vremenski zavisna promenljiva (Sl. 4.5) koja unosi specifične karakteristike useva u izračunavanje potencijalne evapotranspiracije i koju treba eksperimentalno odrediti za najmanje tri najvažnija perioda u toku sezone rasta: početnu, srednju i kasnu fazu.

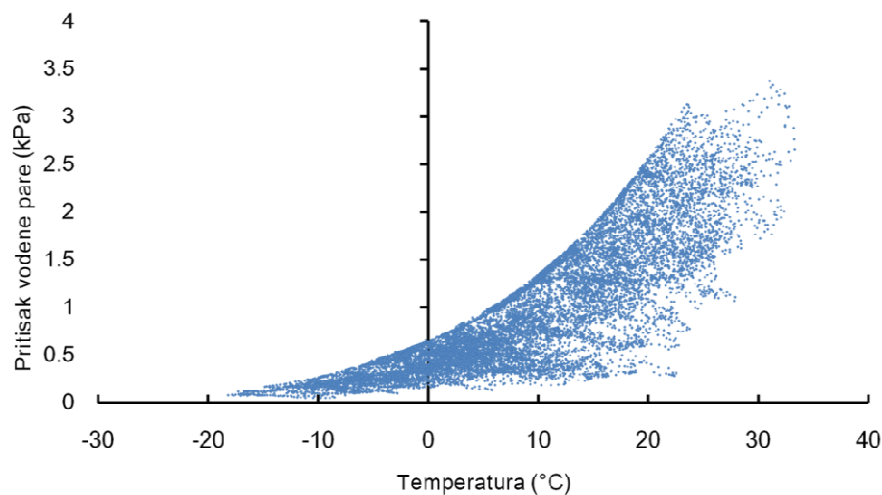


Slika 4.5 Koeficijent useva, K_c za ozimu pšenicu tokom vegetacionog perioda (Jaćimović, 2010).

Stvarna evapotranspiracija, ET_p je količina vodene pare koja zaista dospe od posmatranog biljnog sklopa u atmosferu pri datim meteorološkim, zemljišnim i biljnim uslovima. Intenzitet stvarne ET određuje se primenom koeficijenta useva, pri čemu se uzimaju u obzir efekti odstupanja od potencijalne evapotranspiracije množenjem sa faktorom prilagođavanja (K_{ad}) koji je uvek manji od 1. Tipične situacije kada je

važno dobro proceniti vrednost ovog parametra su: nepotpuna prekrivenost zemljišta vegetacijom, nedovoljan sadržaj vlage u zemljištu i deficit vodene pare u vazduhu.

U slučaju visokog deficita vodene pare ili male količine dostupne vlage u zemljištu, biljke mogu zatvoriti stome (povećati stomatarni otpor) i smanjiti ET_p . Međutim, to nije brz proces. Ako do visokog deficita vodene pare dođe iznenada, kao u slučajevima suvog vetra *suhoveja*, stome nemaju vremena za zatvaranje i biljka gubi vodu brzo.

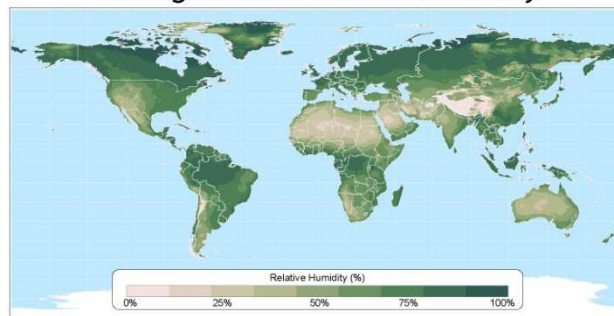


Slika 4.6 Izmerene vrednosti pritiska vodene pare u vazduhu tokom 2006. Na Hemlok tornju, Prospekt Hil Trakt, Harvardska šuma (SAD) (Munger and Hadley, 2018.).

Na svim vremenskim i prostornim razmerama, vegetacija je važan izvor vodene pare za atmosferu. Ona povećava specifičnu vlažnost vazduha, ali njen uticaj na relativnu vlažnost zavisi i od temperature i kapaciteta vazduha za zadržavanje vodene pare.

Merenja pritiska vodene pare i temperature na Hemlok tornju (Prospekt Hil Trakt, Harvardska šuma, SAD) tokom 2006. (Sl. 4.6) ukazuju da postoji jasna gornja granica pritiska vodene pare na datoj temperaturi, što je zapravo definicija pritiska zasićene vodene pare i govori u korist stava (Poglavlje 4.1) da maksimalni pritisak vodene pare zavisi samo od temperature. Ako se spoje najveće vrednosti pritiska vodene pare za datu temperaturu u funkciji od temperature, bila bi dobijena eksponencijalna kriva, koja opisuje zavisnost pritiska zasićene vodene pare od temperature. Matematička formulacija ove relacije je dobro poznata Klauzijus-Klapeyronova (Clausius-Clapeyron) jednačina (vidi više u Glavi 15).

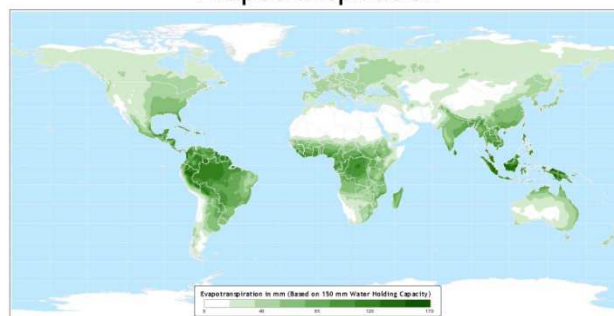
Average Annual Relative Humidity



Data taken from: OFU 0.5 Degree Dataset (Blair, et al.)

Atlas of the Biosphere
Center for Sustainability and the Global Environment
University of Wisconsin - Madison

Evapotranspiration

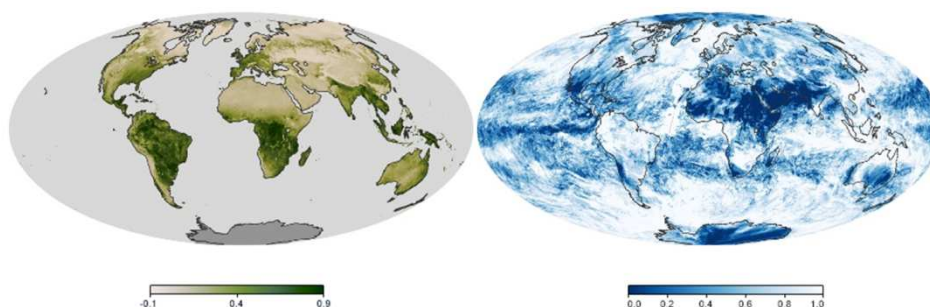


Data taken from: Willmott and Matsuura (2001)

Atlas of the Biosphere
Center for Sustainability and the Global Environment
University of Wisconsin - Madison

Slika 4.7 Globalna raspodela godišnje relativne vlažnosti i evapotranspiracije

Vegetacija koja zauzima velike prostorne razmere, kao što su kišne šume u Brazilu, ima preovlađujući uticaj (oko 50 - 75%) na godišnju relativnu vlažnost i evapotranspiraciju (Sl. 4.7) i formiranje padavinskih oblaka (Sl. 4.8).



Slika 4.7 Globalna raspodela vegetacionog pokrivača i oblačnosti u februaru 2000. (NASA Earth Observatory).

Uticaj različitih tipova biljaka na vlažnost vazduha može značajno da se razlikuje. Kada u zemljištu ima dovoljno vlage, intenzitet noćne transpiracije utiče na vlažnost vazduha i tačku rose u biljnom sklopu i okolnom vazduhu. Dobri primeri su C_3 biljke umerenog pojasa, kao što je pšenica i C_4 tropske biljke kao što je kukuruz. Za pšenicu je karakteristično da tokom noći zatvara stome kako bi smanjila transpiraciju. Bez advekcije vlažnog vazduha tokom noći, tačka rose se smanjuje za nekoliko stepeni $^{\circ}C$. Rosa se može formirati u usevu pšenice samo ako temperatura vazduha padne do ove temperature. Nasuprot tome, kukuruz je tropska biljka koja nastavlja transpiraciju tokom noći povećavajući vlažnost vazduha u biljnom sklopu što dovodi do toga da je tačka rose ujutro samo 1-2 $^{\circ}C$ niža od vrednosti zabeležene u vreme zalaska sunca. To stvara povoljne uslove za čestu pojavu rose u usevu kukuruza.

5. Oblaci i padavine

Bilo da su tanki kao paukova mreža i visoko na nebu ili olovno sivi i, naizgled, tako nisko da se mogu dotaći rukom, oblaci su najimpresivniji vidljivi proizvod kondenzacije vodene pare kao i drugih procesa koji definišu njihov tip, sadržaj, visinu i veličinu. Svako prisustvo oblaka utiče na energetski bilans atmosfere i površine zemlje. Kao sneg beli kumulusi prouzrokuju višestruku refleksiju sunčevog zračenja, stvarajući veći intenzitet sunčevog zračenja u poređenju sa vrhom atmosfere.

Padavine su rezultat kondenzacije vodene pare koja se odvija u atmosferi a njeni produkti potom stižu na površinu zemlje u čvrstom ili tečnom agregatnom stanju. Pre nego što se upustimo u detaljniju analizu formiranja oblaka i padavina, važno je reći nešto više o adijabatskom uzdizanju vazduha i atmosferskoj stabilnosti.

5.1 Adijabatski procesi i atmosferska stabilnost

U Poglavlju 4 smo razmatrali kako vazduh koji se diže utiče na dnevne varijacije pritiska vodene pare i formiranja magle; vidjeli smo i kako radijaciona magla može potrajati nekoliko sati, održavajući uslove visoke vlažnosti blizu površine zemlje. Međutim, iz svega dosad rečenog, nije sasvim jasno zašto se to dešava. Da bi objasnili zašto se vazduh podiže u nekim prilikama ali ne i u drugim, neophodno je upoznati atmosferske adijabatske procese i objasniti koncepte "delića vazduha" i atmosferske stabilnosti.

Delić vazduha je element zapremine vazduha koji dovoljno dobar reprezent vazduha u nekoj sredini da može da se upotrebi za objašnjavanje ponašanja ovog vazduha. On je dovoljno mali da se može smatrati homogenim i uniformnim u celoj svojoj zapremini, a da pritom održava sve osnovne termodinamičke i dinamičke osobine vazduha koje reprezentuje.

Adijabatski proces je proces koji se odvija bez razmene materije (energije i supstance) između termodinamičkog sistema i njegove okoline. U skladu sa Prvim principom termodinamike, energija dovedena u termodinamički sistem (Q) može se potrošiti na promene unutrašnje energije sistema (ΔU), tj. promene temperature i rad koji obavlja sistem (A), kao što je širenje, recimo. Ovo može da se izrazi u obliku

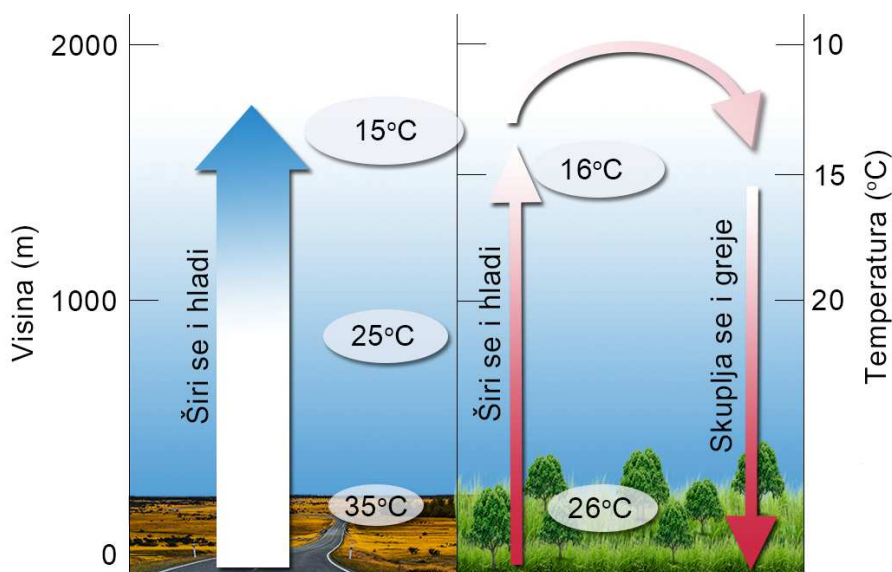
$$Q = \Delta U + A. \quad (5.1)$$

U slučaju adijabatskih procesa ($Q = 0$ J i $A = -\Delta U$), nema razmene energije sa okolinom. Ako je izvršen bilo kakav rad, on je obavljen na račun smanjenja unutrašnje energije sistema, što će se ispoljiti u obliku smanjenja temperature.

U svetlu definicije adijabatskih procesa, postavlja se pitanje da li se stvarni delić vazduha može smatrati adijabatskim sistemom, a njegovo kretanje adijabatskim procesom? Odgovor na ovo pitanje je potvrđan. Čak i ako nije izolovan

od okolnog vazduha ali se dovoljno brzo kreće, delić vazduha se može uzdizati uz zanemarljivu razmenu energije sa okolinom.

Kako se to manifestuje u atmosferi? Pretpostavimo da se javlja sila potiska koja deluje na delić vazduha usled prisustva hladnijeg i gušćeg vazduha u njegovoj okolini. Potisak prisiljava delić vazduha da se uzdiže sve dok je topliji i ređi od okolnog vazduha. Priliko uzdizanja, zbog smanjenja atmosferskog pritiska sa visinom, delić vazduha biva izložen sve manjem atmosferskom pritisku što dovodi do njegovog širenja, a sami tim i do smanjenja temperature. Na nižoj temperaturi, početna količina vodene pare će proizvesti povećanu relativnu vlažnost (zbog smanjenja maksimalnog pritiska vodene pare sa temperaturom) i delić vazduha će postajati sve zasićaniji kako se bude uzdizao sve više u atmosferi (vidi Glavu 4). Sve dok je relativna vlažnost delića vazduha manja od 100%, njegovo uzdizanje se naziva *suvoadijabatskim*, dok se smanjenje temperature sa visinom naziva *suvoadijabatski temperaturni gradijent* ($\Gamma_s = 1 \text{ K}/100 \text{ m}$). Ako se delić vazduha ohladi do tačke rose, dolazi do kondenzacije, a latentna toplota kondenzacije zagreva delić smanjujući njegovo hlađenje sa visinom. Ovakav uzdizanje vazduha u atmosferi se naziva *vlažnoadijabatskim*. Konkretno, *vlažnoadijabatski temperaturni gradijent* (Γ_w) je uvek manji od *suvoadijabatskog*, ali u velikoj meri zavisi od početnog sadržaja vodene pare u deliću vazduha. Najčešće korišćene vrednosti se nalaze u intervalu 0,4-0,8 K/100 m.



Slika 5.1 Uzdizanje delića vazduha u statički nestabilnoj (levo) i statički stabilnoj (desno) atmosferi.

Statička stabilnost bilo kog fizičkog sistema, uključujući i delić vazduha, definisana je u odnosu na statičku ravnotežu - stanje u kom su sve sile u ravnoteži. Ravnoteža može biti stabilna, kada delić teži da se vrati u početno stanje nakon prestanka dejstva sila ili nestabilna, kada mali poremećaj može da proizvede značajne promene tako da vraćanje u početno stanje više nije moguće.

Ako je gradijent temperature okolnog vazduha manji od suvoadijabatskog onda će delić vazduha koji je primoran da se uzdiže (na primjer, strmim brdom) (Sl. 5.1) biti stalno hladniji i gušći od okolnog vazduha i težiće da se vrati u početnu poziciju. Ta vrsta *atmosfere je apsolutno stabilna*. Mali temperaturni gradijent okolnog vazduha se javlja kada se vazduh pri površini hladi ili se vazduh iznad njega zagreva. Do hlađenja površinskog sloja vazduha najčešće dolazi zbog advekcije hladnog vazduha ili intenzivnog noćnog hlađenja, koji uglavnom proizvodi najstabilniji vazduh neposredno pre izlaska Sunca, kada temperatura dostiže svoj minimum. Pošto stabilna atmosfera pruža snažan otpor bilo kakvom vertikalnom kretanju, ona omogućava magli da se zadrži u blizini površine zemljišta u ranim jutarnjim časovima (Sl. 5.2). Zagrevanje gornjeg sloja vazduha je rezultat tople advekcije ili sporog spuštanja vazduha i njegovog zagrevanja pritom (što je upravo suprotno od hlađenju zbog dizanja), što može dovesti do stvaranja inverzije. U stabilnim uslovima, inverzija se ponaša kao atmosferski plafon, sprečavajući bilo kakav vertikalni transfer i zadržavajući sve produkte kondenzacije, ali i sve zagađujuće materije blizu tla.



Slika 5.2. Stabilna atmosfera ujutro drži maglu blizu tla.

Ako je gradijent temperature okolnog vazduha veći od suvoadijabatskog gradijenta, delić vazduha koji se uzdiže hladiće se sporije od okruženja (Sl. 5.1). Dakle, kada delić vazduha jednom počne da se penje, on će nastaviti da se penje u toj apsolutno *nestabilnoj atmosferi* jer je stalno topliji i lakši od okolnog vazduha. Atmosferska nestabilnost raste kako se povećava temperaturni gradijent okolnog vazduha, što je uobičajena pojava kada se vazduh pri površini zagreva ili se vazduh iznad njega hladi. Temperatura površinskog vazduha se povećava kao rezultat tople

advekcije ili dnevnog zagrevanja zemljine površine, što uzrokuje intenzivno vertikalno mešanje atmosfere. Shodno tome, atmosferska stabilnost se menja od stabilne do nestabilne u toku dana.

Stabilna atmosfera koja uspeva da zadrži vlagu, naročito ujutro pre sušnog dana, predstavlja važan izvor vlage za biljke i životinje. Međutim, u slučaju mraza, stabilnost povezana sa radijacionom inverzijom dovodi do oštećenja od mraza, čija ozbiljnost zavisi od intenziteta inverzije i nivoa stabilnosti (koji određuju trajanje mraza) i od toga koliko je temperatura pala ispod 0 °C (što određuje intenzitet mraza).

Nestabilna atmosfera podstiče vertikalni transfer toplote i vodene pare sa zemlje i biljnog pokrivača u atmosferu, što značajno utiče na vodni i energetski bilans površine. Ovim može da se poveća intenzitet evapotranspiracije i razmena gasova između biljnog sklopa i površinskog sloja vazduha, čime se istovremeno povećava intenzitet svih fizioloških procesa povezanih sa ovom razmenom.

5.2. Oblaci i njihovo formiranje

Oblaci su vidljivi produkti kondenzacije i sublimacije vodene pare u atmosferi koji se mogu formirati blizu zemlje ili na velikim nadmorskim visinama; oni mogu biti tanki ali sa velikim horizontalnim razmerom ili visoki do vrha planetarnog graničnog sloja atmosfere ali veličine omanje njive sa kukuruzom u pogledu horizontalnih razmera.

Kondenzacija vodene pare (vidi Glavu 4) i formiranje oblaka u atmosferi uglavnom se javljaju kada: a) se topli vazduh uzdiže usled konvekcije, b) kada je topli vazduh prisiljen da se uzdiže zbog nailaska na planinske prepreke ili atmosferske frontove i c) kada se topli i hladni vazduh sudare i mešaju u atmosferi. Da li se oblaci formiraju usporenim rastom u stabilnoj atmosferi ili brzom konvekcijom u nestabilnoj određuje njihov izgleda i vrstu padavina koje se formiraju u njima.

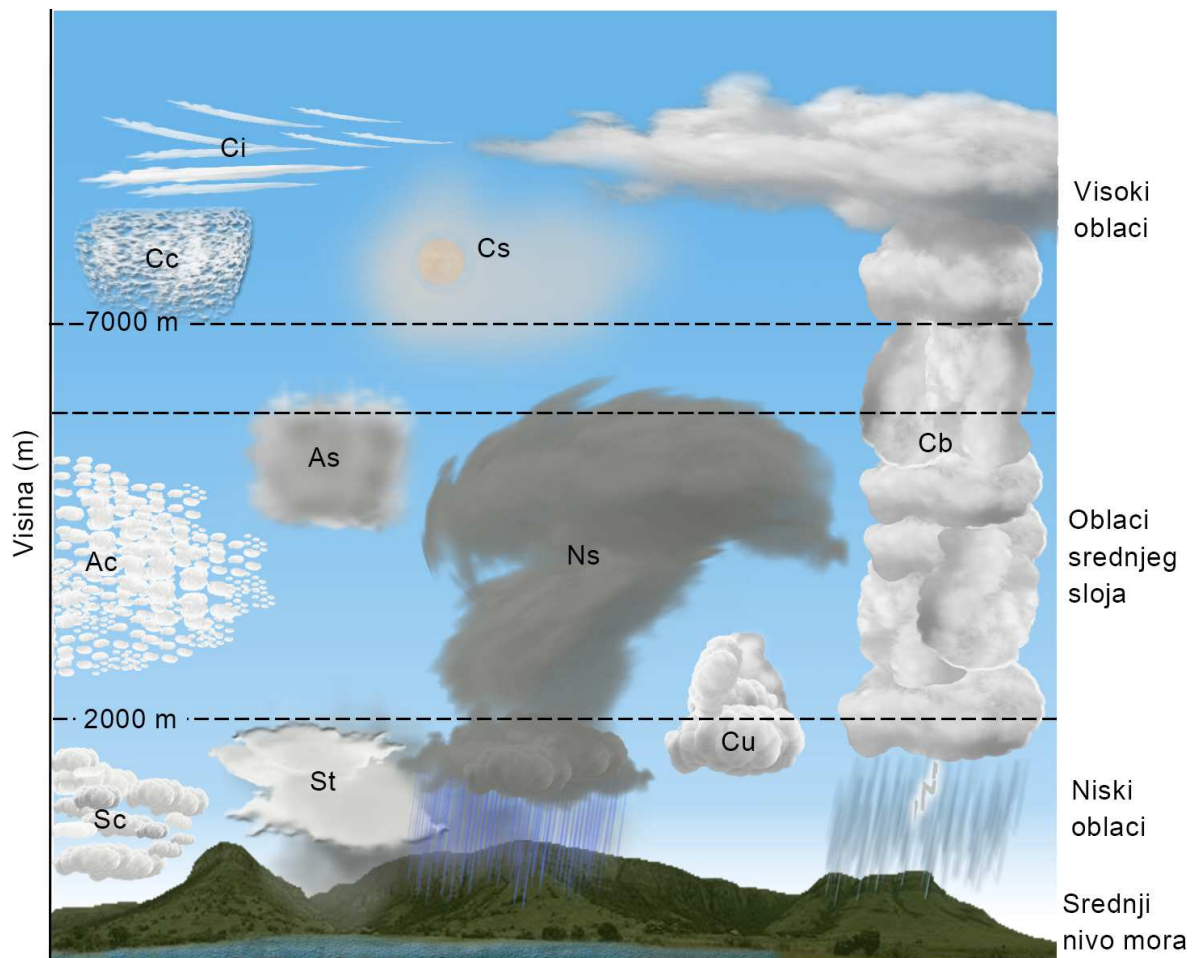
Slojeviti (stratusni) oblaci se formiraju u uslovima jake statičke stabilnosti i laganog formiranja slojeva velikih horizontalnih razmera. Konvektivni oblaci su obično rezultat zagrevanja atmosfere i konvektivnog uzdizanja vlažnog vazduha od zemlje ka vrhu atmosfere ili brzog premeštanja hladnog fronta koji prouzrokuje uzdizanje vazduha na frontu. Kombinacija ova dva tipa oblaka je moguća ako se, recimo u slojevitim oblacima pojave konvektivni elementi usled lokalne nestabilnosti. Za razliku od velikog horizontalnog razmera slojastih oblaka, konvektivne oblake karakteriše njihov vertikalni razmer. Što je intenzivnija konvekcija i što je više vodene pare uneseno u oblak, vertikalne dimenzije oblaka će biti izraženije.

Pošto se stalno menjaju, oblaci se javljaju u brojnim oblicima, što je dovelo do potrebe za njihovom klasifikacijom. Prvu klasifikaciju oblaka napravio je britanski farmaceut i meteorolog amater Lûk Hauard (Luke Howard), koji je objavio svoj "Esej o modifikacijama oblaka" 1803. godine. Njegova klasifikacija je zasnovana na deset klasa oblaka; ona je kasnije proširena i prihvaćena od strane Svetske meteorološke

organizacije (SMO) kao osnova za deset glavnih grupa, ili vrsta, oblaka: cirusi (Ci), cirostratusi (Cs), cirokumulusi (Cc), kumulonimbusi (Cb), altokumulusi (Ac), altostratusi (As), nimbostratusi (Ns), stratokumulusi (Sc), stratusi (St) i kumulusi (Cu). Dalja klasifikacija je zasnovana na delu atmosfere (troposfere), odnosno visini na kojoj se niski, srednji i visoki oblaci obično pojavljuju (Fig. 5.3).

Imena oblaka obično dolaze od latinskih reči koje opisuju njihov izgled. Da bi preciznije opisali karakteristike oblaka, dodaje se prefiks *alto-* za visoke oblake i *nimbo-* za kišne oblake.

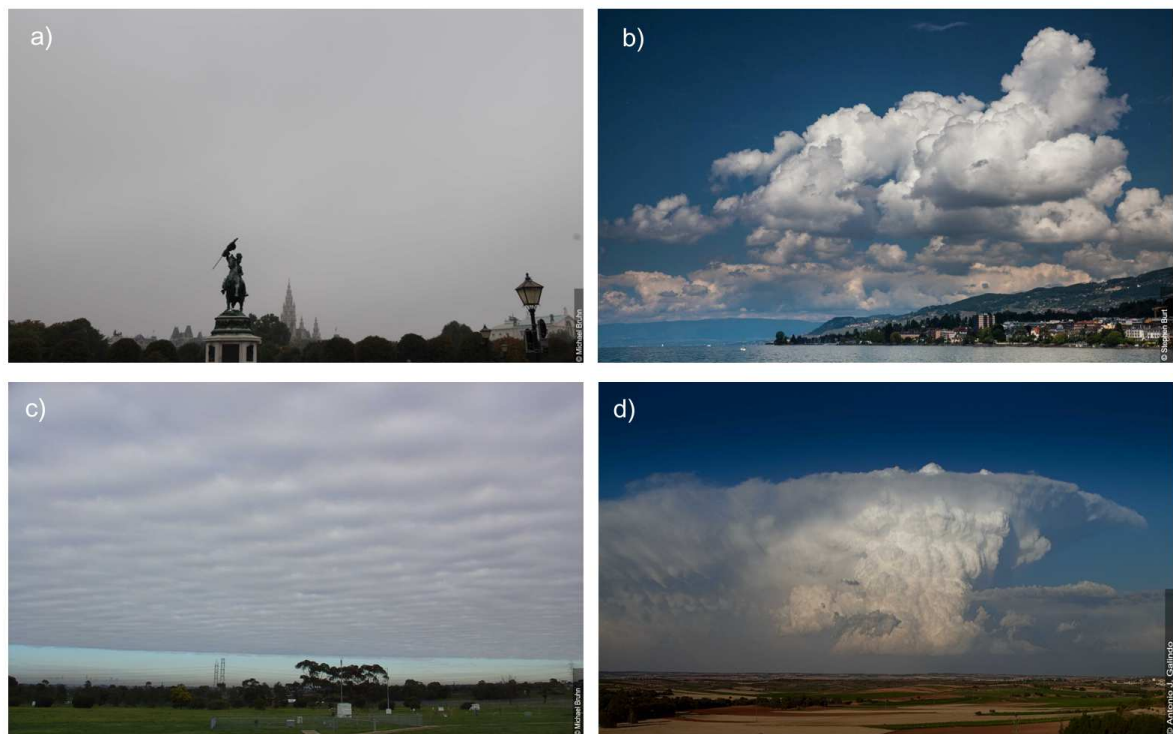
Sadržaj oblaka zavisi od visine, mesta i mehanizama njegovog formiranja; karakteriše ga različit sadržaj ledenih kristala, snega i kišnih kapi različitih veličina kao i razne kombinacije svih ovih elemenata. Prema temperaturi i sadržaju, oblaci se definišu kao *topli* ili *hladni*. Samo ako je temperatura celokupne zapremine oblaka iznad 0 °C i ako se sastoji od tečnih kapljica oblak se može smatrati toplim – takvi oblaci su karakteristični za tropske i subtropske oblasti. Međutim, ako vrh oblaka doseže visine na kojima su temperature daleko ispod 0 °C, njegov sadržaj je određen mešavinom ledenih kristala i tečnih kapljica. Ovakva formacija, tipična za srednje i visoke geografske širine, naziva se hladnim oblakom.



Slika 5.3 Klasifikacija oblaka: vrsta, nivo, visina, simbol.

5.2.1 Niski oblaci

Ako se osnova nekog oblaka nalazi ispod 2000 m, onda se on obično klasifikuje kao niski oblak. Iako su uglavnom sastavljeni od kapljica vode, niski oblaci mogu sadržavati i deliće leda i sneg kada su temperature dovoljno niske. Tipovi niskih oblaka su: stratusi, kumulusi, stratokumulusi i kumulonimbusi.



Slika 5.4 Niski oblaci: a) stratusi, b) kumulusi, c) stratokumulusi i d) kumulonimbusi.
(Izvor: Cloud Atlas, WMO, 2018)

Stratusi su niski oblaci bez jasnog oblika koji se sastoje od slojeva sive do bele boje i uniformne baze (Sl. 5.4a). U zavisnosti od temperature okoline, oni se mogu sastojati od kapi vode, prehladenih kapi vode ili ledenih kristala. Atmosferski uslovi pogodni za formiranje stratusnih oblaka povezani su sa: a) radijacionim hlađenjem čistog, vlažnog atmosferskog sloja; b) toplom advekcijom i c) prisilnim uzdizanjem vlažnog vazduha u blizini atmosferskog fronta ili u područjima sa strmim brdima. Treba istaći da advekcija toplog vazduha preko hladnije površine može dovesti do formiranja magle. Vetar može značajno podići donju granicu sloja magle, što dovodi do formiranja stratusa. Oni se često javljaju po lepom vremenu, ali povremeno mogu proizvesti kišu u vidu spreja ili slab sneg.

Kumulusi oblika karfiola nastaju kao rezultat lokalne konvekcije toplih, vlažnih delića vazduha u uslovno nestabilnoj atmosferi (Sl. 5.4b). Uobičajeni oblik ovih oblaka obično se kombinuje sa upadljivo ravnom bazom oblaka na visinama koje nisu mnogo iznad 1000 m, dok vrhovi ovih oblaka mogu dosegnuti tropopauzu. Javljaju se pojedinačno ili u grupama i nizovima oblaka. U zavisnosti od temperature

na visini vrha oblaka, mogu se sastojati od vodene pare, kapljica vode, superrashlađene vode ili kristala leda. Kumulusi su vesnici lepog vremena i ne proizvode padavine, ali se lako mogu razviti u tip *cumulus congestus* ili čak u kumulonimbase koji donose jaku kišu, jake vetrove i grmljavinu.

Stratokumulusi su sivi-do-tamni oblaci čija slojevita struktura je isprekidana kumulusnim elementima jer se ovi oblaci često javljaju kao prelazne forme od kumulusa ili stratusa (Sl. 5.4c). Uslovi pogodni za formiranje stratokumulusa su povezani sa spuštanjem gušćeg vazduha na velikim horizontalnim razmerama i snažnom statičkom stabilnošću u donjim delovima troposferi. Dinamika oblaka, odgovorna za njihov vertikalni razvoj, je dominantno pokretana konvektivnom nestabilnošću koja je prouzrokovana radijacionim hlađenjem gornje granice oblaka. Stratokumulusni oblaci obično sadrže različite oblike kondenzovane vodene pare u tečnom stanju. Led može biti prisutan ukoliko je vrh oblaka dovoljno hladan. Debljina ovih oblaka je obično 200-400 m unutar atmosferskog sloja debljine 500-2000 m. Povezani su sa lepim vremenom i padavine nisu uobičajene za ove oblake. Izuzetno, mogu se javiti slaba kiša ili sneg. Ipak, stratokumulusi često najavljuju približavanje oluje.

Kumulonimbusi - "kraljevi oblaka" - predstavljaju jednu od najimpresivnijih i najuočljivijih vremenskih pojava (slika 5.4d). Sivi ili tamni, gusti sa izrazitom vertikalnom strukturom (toranj), ovi oblaci mogu da se pojave sami ili da formiraju niz ovakvih oblaka koji ima potencijal da razvije superćelijsku nepogodu. Prvobitno u obliku dobro razvijenih kumulusa sa intenzivnim vertikalnim razvojem od čak 93 km h^{-1} , ovi oblaci mogu da se protegnu sve do vrha troposfere. Njihova se baza obično nalazi na visinama od 200 m do 4000 m, dok vrh oblaka obično dostiže 7600 m, a u nekim slučajevima čak i 12000 m. Uslovi pogodni za njihovo formiranje su povezani sa jakom atmosferskom nestabilnošću uzrokovanom velikim padom temperature u donjoj troposferi. Vodena para koja se javlja u zoni donje baze oblaka se uzdiže zahvaćena snažnom uzlaznom strujom. Na većim visinama, u sadržaju oblaka dominiraju prehlađene kapljice i čvrsta faza vode u obliku kristala snega i leda. Kumulonimbusi su po pravilu uzrok oluje praćene snažnim vetovima, munjama, intenzivnim padavinama, a ponekad i gradom. U nekim regionima, kao što je srednji zapad SAD-a, najavljuju dolazak tornada. Obično se javljaju u letnja popodneva, posle snažnog razvoja atmosferske konvekcije koja je posledica zajedničkog efekta zagrevanja površine zemlje sunčevim zračenjem i konvergencije vlažnog vazduha u nižim slojevima atmosfere.

5.2.2 Oblaci srednjeg sloja

Oblaci se klasifikuju kao srednji oblaci ili oblaci srednjeg nivoa ako je njihova baza na visinama između 2000 i 6000 metara. Sadržaj ovih oblaka čine prvenstveno vodene kapljice, ali kada su temperature dovoljno niske, mogu biti prisutni i ledeni kristali. Srednji oblaci uključuju sledeće tipove: altokumuluse, altostratuse i nimbostratuse.



Slika 5.5 Srednji oblaci: a) altokumulusi, b) altostratusi i c) nimbostratusi (Izvor: Cloud Atlas, WMO, 2018)

Altokumulusi (Sl. 5.5a) su beli i/ili sivi oblaci i javljaju se u obliku slojeva, linija ili pramenova oblačnih delića. Oni se formiraju na nadmorskoj visini od 2000 m do 7000 m i sastoje se od prehladenih kapljica vode (čak i do $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$), a ponekad i od kristala leda. Formiraju se konvekcijom u nestabilnom sloju atmosfere na velikoj visini. Ovi oblaci ne stvaraju kišu, ali mogu uticati na promene vremena. Na primjer, u letnje jutro oni najavljuju visok rizik od oluje sa grmljavinom popodne. Ako su povezani sa Fenom, oni ukazuju na pogoršanje vremena u narednih pola dana ili sledećeg dana.

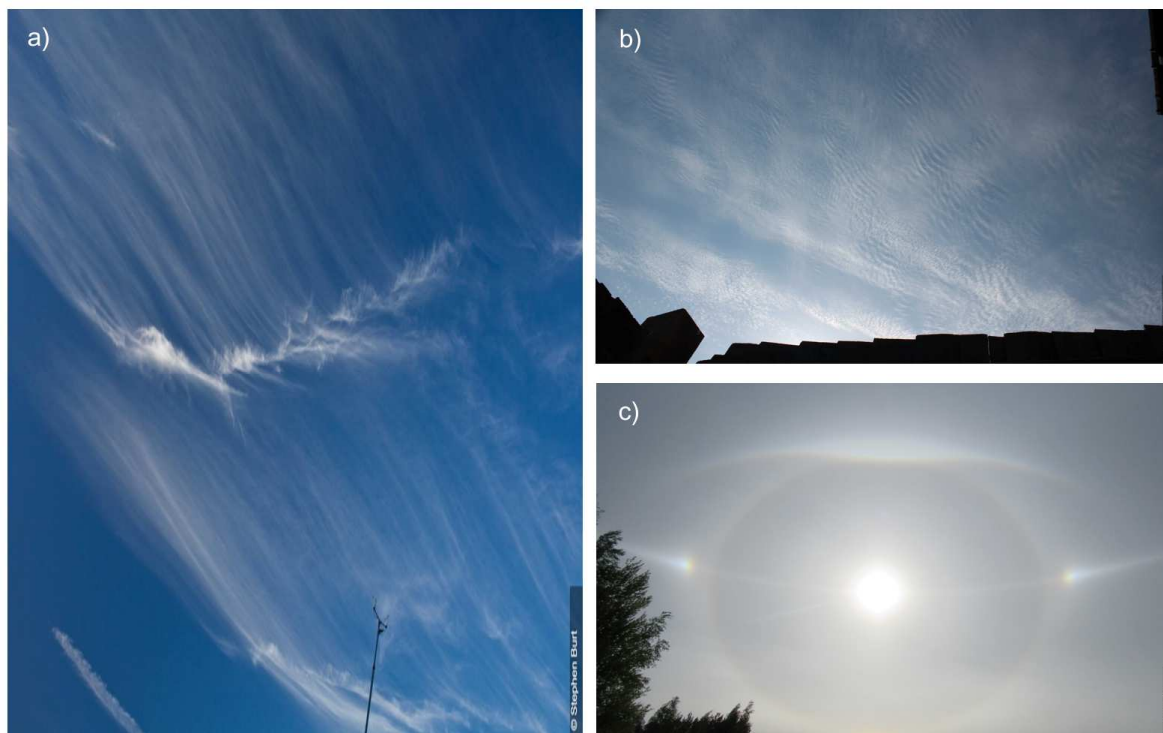
Altostratusi (Sl. 5.5b) su sivi ili plavo-sivi tanki slojevi oblaka, nedefinisanog oblika, koji postaju sve deblji kako im se povećavaju horizontalne razmere. Pošto debljanje sloja nije ujednačeno po celoj njegovoj širini, u nekim su delovima altostratusi dovoljno tanki da propuštaju sunčane zrake. S obzirom da se altostratusi formiraju kao rezultat spuštanja cirostratusa sa većih visina, oni se sastoje od kapljica vode i kristalića leda koji često doprinosi stvaranju optičkih efekata u atmosferi (korone). Altostratusi nisu kišni oblaci, ali se često formiraju kao prethodnica toplog ili okludovanog fronta. Prolazak fronta pretvara altostratusu u kišne nimbostratusu. Zbog toga njihovo prisustvo često najavljuje promenu vremena.

Nimbostratusi (Sl. 5.5c) imaju oblik i sadržaj koji odgovaraju njihovom imenu - nimbus ili "tamni oblak". To su niski, slojeviti, kišni oblaci izrazito ravne baze. Nemaju definisan oblik, sivi ili tamno sivi i značajne debljine; oni ne dozvoljavaju prolazak sunčevih zraka (zbog toga su i tamni), a sadrže kapljice vode ili sneg. Nimbostratusi se formiraju u nižim ili srednjim slojevima atmosfere zgušnjavanjem altostratusa.

Često su povezani sa oblačnim sistemima ciklona srednjih (geografskih) širina koji donose padavine.

5.2.3 Visoki oblaci

Na visinama iznad 6000 m, temperature su toliko niske da se ovi oblaci uglavnom sastoje od ledenih kristala. Otuda su visoki oblaci obično tanki i beli, međutim, oni mogu uticati na energetski bilans. Tipovi visokih oblaka su: cirusi, cirokumulusi i cirostratusi.



Slika 5.6 Visoki oblaci: a) cirusi, b) cirokumulusi i c) cirostratusi (Izvor: Cloud Atlas, WMO, 2018)

Cirusi (Sl. 5.6a) su visoki, obično beli, tanki oblaci paperjastog izgleda. Oni se sastoje od ledenih kristala formiranih mrežnjem kapljica vode. Njihovo prisustvo obično najavljuje lepo vreme, dok njihovo kretanje ukazuje na pravac vetra na visini oblaka. Iako su vrlo tanki i na velikoj visini, cirusi sa svojim kristalnim ledenim površinama (idealnim za refleksiju sunčevog zračenja) mogu uticati na energetski balans na površini zemlje; njihov prolaz i/ili prisustvo može jasno da se vidi na piranometrima (vidi Glavu 13).

Cirokumulusi (Sl. 5.6b) su obično beli, visoki, tanki oblaci koji se javljaju u obliku dugih redova ili slojeva kondenzovane vodene pare čiji oblik je kombinacija raznih paperjastih formi i oblika karfiola. Sastoje se od prehlađenih kapljica vode koje nastaju kao rezultat uzdizanja usled plitke konvekcije u tankom i nestabilnom sloju koji se nalazi visoko u atmosferi. Na umerenim (geografskim) širinama obično se

javljaju zimi, najavljujući lepo ali hladno vreme, dok u tropskim krajevima često najavljuju dolazak uragana.

Cirrostratus (Sl. 5.6c) su veoma visoki, tanki, prozirni, slojeviti oblaci koji se sastoje od ledenih kristala, koji se obično pojavljuju kao rezultat uzdizanja sloja vazduha velikih horizontalnih razmera. Ako se približava topli front, cirrostratusi postaju deblji i transformišu se u niži i mnogo gušći tip oblaka. Oni pokrivaju nebo potpuno ili delimično i obično proizvode halo efekat⁵.

Zasejavanje oblaka je rasejavanje čestica u atmosferi (AgI - srebro jodid, KI - kalijum jodid i suvi led) koji mogu delovati kao jezgra kondenzacije ili kristalizacije u oblacima, kako bi se promenio njihov izgled, tip ili intenzitet produkovanih padavina. Obično je cilj zasejavanja oblaka smanjiti zrna grada i/ili ih pretvoriti u kišu ili, pak, povećati padavine. Važno je naglasiti da zasejavanje oblaka dovodi do padavina na određenoj lokaciji samo ako su stratusi ili stratokumulusi već prisutni. Efikasnost ove tehnike u modifikovanju vremena nikada nije u potpunosti dokazana, a njene prednosti i mane su kontraverzna tema već dugi niz godina.

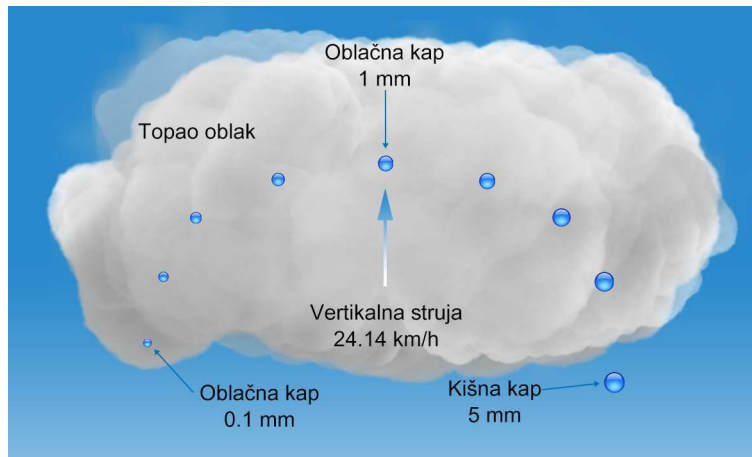
5.3 Rast kapi vode u oblacima

Rast kapi vode u oblacima počinje od jezgra kondenzacije (obično 0,2 μm u prečniku) a završava se ili kao oblačna kapljica (tipična = 20 μm , velika = 100 μm), kišna kap (2000 μm) ili ledeni kristal (pahuljica). Formiranje kapi većih od 20 μm uključuje procese difuzije, sudaranja i spajanja, kao i procese formiranja ledenih kristala.

Brzina rasta oblačne kapljice kondenzacijom u prezasićenom okruženju je spor proces – kapi je potrebno nekoliko dana da se formira – a taj proces se dodatno usporava sa povećanjem radijusa kapljice. Očigledno, manje kapi rastu brže. Zato je kondenzacija dominantan mehanizam rasta u slučaju kapi manjih od 0,1 mm, kada je brzina padanja veoma spora (zbog skoro potpune ravnoteže između težine, trenja i sile potiska). Dalji rast kapi u oblaku, do veličine dovoljne da kap padne kroz donju bazu oblaka i stigne na zemlju, zavisi od temperature oblaka: u toplim oblacima (Sl. 5.7) tj. oblacima sa maksimalnom temperaturom iznad -15°C , određen je sudarima i spajanjem dve ili više kapi u jednu, dok su u hladnim oblacima ovde dodatno uključeni i procesi formiranja ledenih kristala (Sl. 5.8).

Brzina rasta oblačne kapljice sudaranjem i spajanjem se povećava na račun: visokog sadržaja tečne vode (što povećava efikasnost sudaranja), raspon veličina kapi (što povećava efikasnost sudaranja i verovatnoću da se kapi posle sudara sjedine), velika brzina uzlazne struje i debljina oblaka (koji povećavaju dužinu puta koji kapljice prelaze pre sudara i vreme provedeno u oblaku). Zbog toga, relativno tanki stratusni oblaci sa slabom uzlaznom strujom mogu proizvesti samo sipeće padavine (vrlo slabu kišu), dok veliki kumulusi sa intenzivnim vertikalnim razvojem mogu lako stvoriti kišne kapi od 5 mm u prečniku.

⁵ Halo efekat je specifična optička pojava u atmosferi. Usled prelamanja sunčevih zraka pri prolasku kroz oblake i ostale sastojke atmosfere, posmatrač sa Zemlje vidi prstenove oko Sunca.



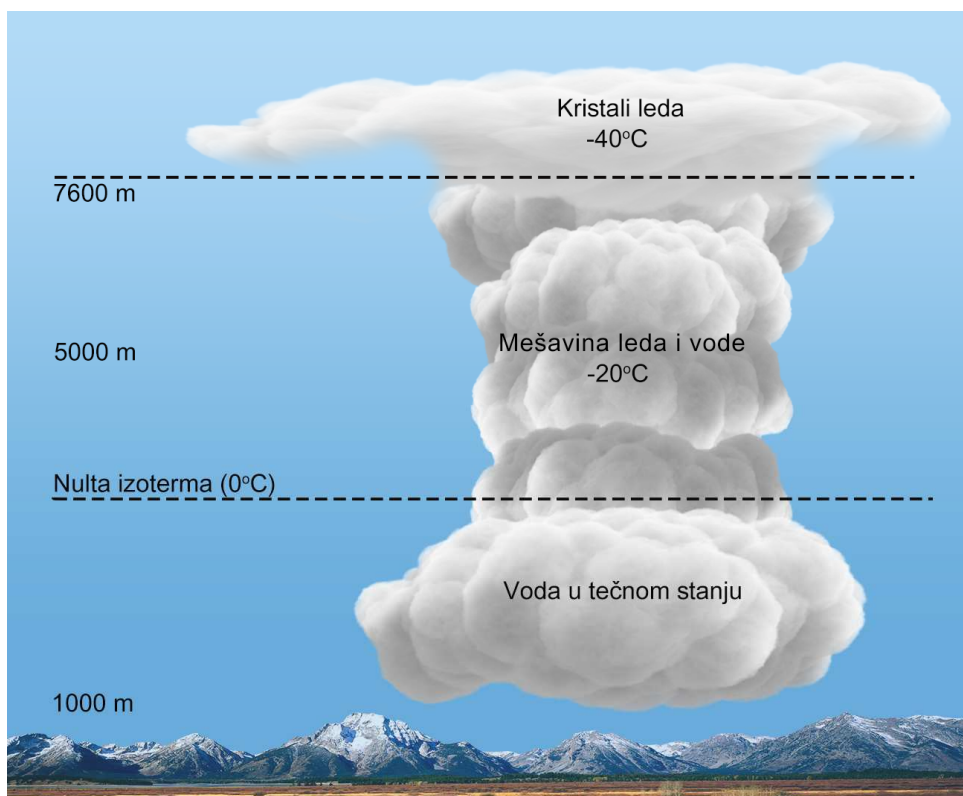
Slika 5.7 Rast kapi u toplom oblaku.

Procesi stvaranja ledenih kristala sreću se u hladnim oblacima gde je deo oblaka na temperaturama daleko ispod 0°C . U toplom delu hladnog oblaka, sudaranje i spajanje oblačnih kapljica su dominantni mehanizmi rasta kapi.

U vazduhu koji je tik iznad nivoa mržnjenja, prehlađene oblačne kapljice su i dalje u tečnom stanju. One dominiraju u smeši sa kristalima leda, i još uvek se mogu naći u velikim delovima oblaka u kojima se temperature kreću između 0°C i -40°C . Uzrok ovog, sigurno iznenađujućeg zapažanja (Zar niste uvek smatrali da na temperaturi ispod 0°C voda mora da se smrzne?) leži u činjenici da se temperatura mržnjenja vodenih kapi smanjuje sa porastom njihovih dimenzija. Zašto se ovo dešava? Jezgra kondenzacije su obično higroskopna i rastvaraju se prilikom formiranja kapi. Kada se ovo desi, rastvor će imati veću koncentraciju ukoliko je kap manja. Rastvori obično imaju nižu tačku mržnjenja nego čista voda. Otud, što je kap manja to će biti hladnija pre nego što se spontano smrzne na -48°C .

Kapljice vode mogu, takođe, sadržati i jezgra kondenzacije u vidu kristalića leda koji imaju molekularnu strukturu vrlo sličnu vodi. Oni mogu biti deo složenog jezgra kondenzacije na kome se kapljice formiraju ili mogu biti pokupljene iz vazduha tokom padanja kapi. Kada se ovo desi kapljice sadrže neku vrstu "ledenog nukleusa" i dalje mržnjenje se može odigravati relativno brzo.

Sa druge strane, ako postoje ledena jezgra, kristali leda se mogu formirati na temperaturama ispod temperature mržnjenja. S obzirom da je maksimalni pritisak vodene pare iznad površine vode veći nego iznad ledene površine, koncentracija molekula vode neposredno iznad površine kapi je veća nego iznad površine delića leda. Ova razlika u koncentracijama stvara fluks molekula vodene pare od kapljice vode ka površini ledenog kristala (od mesta veće ka mestu manje koncentracije) dovodeći do daljeg isparavanja kapi i rasta ledenih kristala tokom procesa koji se naziva Bergeronov proces formiranja ledenih kristala. Padajući, ledeni kristali se sudaraju sa prehladenim kapljicama koje se zamrzavaju na njihovoj površini, što povećava rast kristala formiranjem novih ledenih slojeva. Tipični procesi formiranja ledenih kristala sreću se u kumulonimbusima.



Slika 5.8 Rast kapi u hladnom oblaku.

5.4. Hidrometeori

Prema Pojmovniku Američkog meteorološkog društva (Glossary of the American Meteorological Society), hidrometeor je svaki produkt kondenzacije ili depozicije vodene pare u atmosferi, bilo da je formiran u slobodnoj atmosferi ili na

površini Zemlje, kao i svaka kapljica vode podignuta vetrom sa površine. Hidrometeor (ne uključujući oblake) nastali od različitih formi vode mogu se sastojati od:

- a) ansambla padajućih čestica, tj. padavina (kiše, sipećih padavina, snega, krupe, grada),
- b) depozicije čestica (kapljice magle, rose, inja, slane),
- c) ansambla čestica nanesenih vetrom (nanosi snega ili sipeće kiše),
- d) vrtloga čestica i
- e) suspenzije čestica u atmosferi (magla, ledena magla, izmaglica).

U ovom poglavlju će se posebno razmatrati padavine, depozicija čestica i hidrometeor nošeni vetrom.

5.4.1. Padavine

Padavine su produkti kondenzacije vodene pare u tečnom ili čvrstom agregatnom stanju koji padaju iz oblaka i stižu do tla. Prema poreklu i mehanizmu nastajanja, padavine mogu biti: a) *stratusne* i *konvektivne* i b) *ciklonske* (frontalne) i *orografske*.

Odnos brzine padajućih čestica i brzine vertikalnog uzdizanja vazduha utiče na mehanizam formiranja kapi, leda i snega u oblaku. Stratusne padavine se javljaju kada je brzina padanja ledenih kristala i snega relativno velika u odnosu na brzinu vertikalnog uzdizanja vazduha. U slučaju konvektivnih padavina situacija je obrnuta što utiče na uobičajeno vreme potrebno za formiranje padavina: 1-3 h u stratusnim oblacima i 0,5 h u slučaju konvektivnih. Nimbostratusi su uobičajeni izvor stratusnih padavina (padavine slabog do umerenog intenziteta u vidu kiše ili snega), dok čak i stratusi i stratokumulusi mogu da proizvedu slabu ili sipeću kišu (vidi dole).

Frontalne (ciklonske) padavine se obično formiraju u nimbostratusima u zoni fronta između tople i vlažne i hladne i suve vazdušne mase. Takođe, frontovi koji se brzo premeštaju mogu takođe proizvoditi kumulonimbusne oblake. Kada je vlažan vazduh prinuđen da se uzdiže, pri nailasku na planinske prepreke, u takvom vazduhu dolazi do kondenzacije i izlučivanja padavina na navetrenoj strani planine.

Padavine se mogu klasifikovati prema obliku, karakteru, intenzitetu i tipu.

Prema *obliku* padavine se klasifikuju kao tečne (kiša), prehladene (ledena kiša, susnežica) i čvrste (sneg, zrnasti sneg, ljutina, krupa, grad, sugradica).

Karakter padavina može biti sa prekidima (manje od jednog sata) ili neprekidan (više od jednog sata). To ukazuje ne samo na trajanje padavina već i na zahvaćeno područje.

Intenzitet padavina je odnos njihove količine (zapremina vode od padavina koja dospeva na 1 m²) i trajanja. Za opis intenziteta padavina obično se koriste tri termina: slabe (manje od 2,5 mm h⁻¹), umerene (2,5-7,6 mm h⁻¹) i jake (više od 7,6 mm h⁻¹) padavine (AMS Glossary, 2018). Pljuskovi (kiše ili snega) su padavine specifične po karakteru i intenzitetu koje obično nastaju u konvektivnim oblacima. Obično počinu i završavaju se naglo uz rapidno povećanje i smanjenje intenziteta.

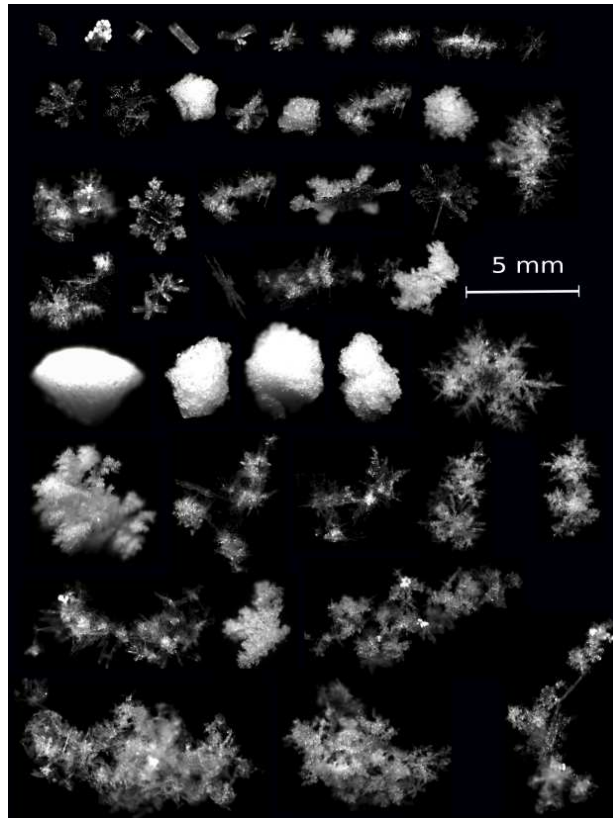
Pored brojnih, već pomenutih, oblika padavina na ovom mestu će naročita pažnja biti posvećena kiši, snegu i gradu.

Kiša (Sl. 5.9) se sastoji od kapljica vode (prečnika većeg od 0,5 mm) koje padaju iz oblaka i čija se gustina i dimenzije (prečnik) značajno razlikuju u zavisnosti od porekla i intenziteta padavina (slabe stratusne: 0,5-2,0 mm; umerene stratusne: 1,0-2,6 mm, jake pljuskovite sa grmljavinom: 1,2-4,0 mm). Oblaci iz kojih uvek pada kiša su nimbostratusi i kumulonimbusi. Intenzitet kiše varira od 1 mm h⁻¹ za slab pljusak do 25 mm h⁻¹ u slučaju jakih pljuskova.



Slika 5.9 Kiša

Sneg (Sl. 5.10) se sastoji od kristala leda (pojedinačni ili splepljeni zajedno) koji padaju iz oblaka i čiji se oblik, koncentracija i spektar dimenzija značajno razlikuju u zavisnosti od temperature i supersaturacionih uslova u kojima se razvijaju. U toku jedne jedine snežne epizode možemo videti gotovo sve tipove kristala. Na temperaturama iznad -5 °C, kristali, zamrznute kapljice i otopljeni (pa smrznuti) delovi kristala drže se zajedno formirajući tipične pahuljice. Na većim geografskim širinama (bliže polovima), sneg pada isključivo u obliku ledenih kristala. Visoki stratusi, tj. nimbostratusi, čiji se veći deo nalazi iznad nulte izoterme, odgovorni su za stvaranje snežnih padavina (niži stvaraju kišu). Definicija intenziteta padavina, koja je već spominjana, potpuno može da se primeni i na snežne padavine; međutim, postoji dodatna definicija intenziteta ovih padavina na osnovu njihovog uticaja na vidljivost. U tom slučaju se intenzitet snega opisuje kao slab (ako je vidljivost 1 km ili više), umeren (između 0,5 i 1 km) ili jak (manje od 0,5 km).



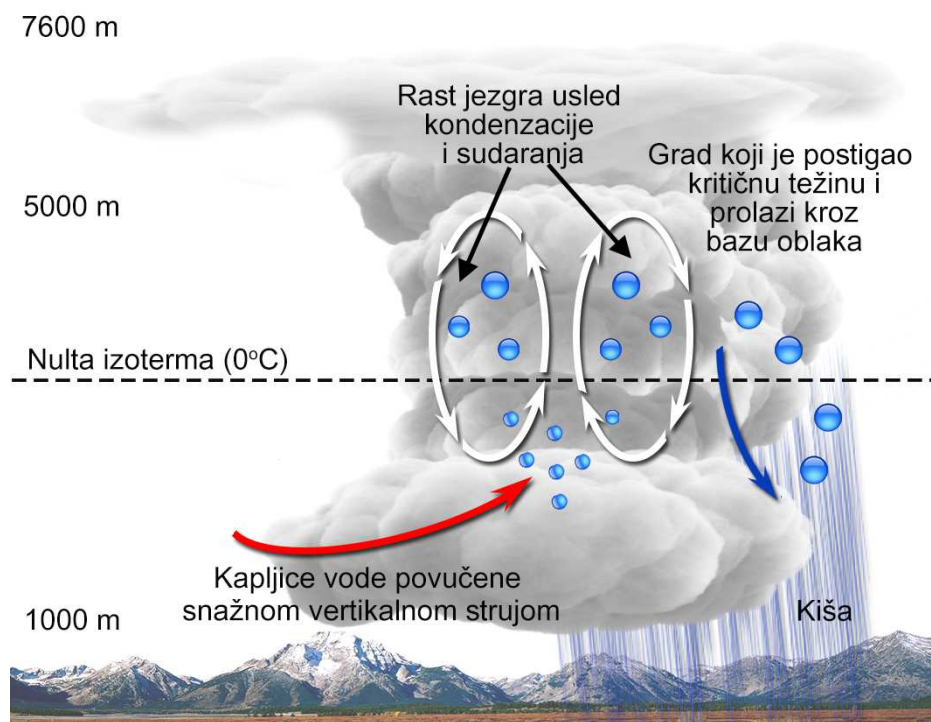
Slika 5.10 Sneg (Garett et al., 2012)

Grād su komadići leda koji su providni, delimično neprozirni ili potpuno neprozirni; oni imaju sferni, konusni ili nepravilan oblik, sa prečnikom od 5 mm do 50 mm (Sl. 5.11). Širok dijapazon veličina i oblika grada može se naći čak i u samo jednoj padavinskoj epizodi. Svaki komad grada sastoji se od centralnog jezgra (komadić leda prečnika do 1 cm) obično okružena sa pet slojeva neprozirnog i/ili providnog leda. Okruženje koje je potrebno za formiranje grada su kumulonimbusi sa intenzivnim



Slika 5.11 Grad

vertikalnim razvojem i velikim sadržajem tečne vode: to podrazumeva da postoji snažno vertikalno uzdizanje unutar oblaka (35 m s^{-1}) i da je značajan deo oblaka daleko iznad nulte izoterme (Sl. 5.12). Zahvaćeno uzlaznim kretanjem, jezgro se kreće naviše i raste usled kondenzacije na njegovoj površini i sudaranjem sa oblačnim kapljicama i kapima kiše (ispod izoterme od $0 \text{ }^\circ\text{C}$), snežnim pahuljama i ledom (iznad izoterme od $0 \text{ }^\circ\text{C}$), sve dok njegova težina ne nadvlada silu koja dovodi do uzlaznog kretanja. Nakon toga, grad koji je nastao kreće se nadole i počinje da se topi kada pređe nultu izotermu. Kada stigne do donje baze oblaka, formirani komad grada može proći kroz bazu oblaka i početi da pada ka Zemlji ako je njegova težina veća od sile uzlaznog kretanja. U protivnom, on će biti zahvaćen inercijom i krenuti u naredni krug kroz kumulonimbus u kome će rasti pri uzdizanju i smanjivati se pri padanju. U svakom ciklusu, grad stiže do donjih delova oblaka i formira još jedan ledeni sloj. Nakon što postigne kritičnu težinu grad prolazi kroz bazu oblaka. Na putu ka Zemlji, grad isparava i udara u zemlju u vidu smanjenog komada leda ili kiše. Grad je uvek praćen padavinama velikog intenziteta, ako se jave i pljuskovi oni će biti praćeni grmljavinskom nepogodom.



Slika 5.12 Formiranje grada.

Prostorna raspodela padanja grada je često u obliku uskog i dugačkog pojasa. Pošto je povezan sa kumulusnom konvekcijom, grad se obično javlja u popodnevним satima (od 12:00 do 15:00 časova u 20% slučajeva, od 15:00 do 20:00 časova u 50% slučajeva), dok se ređe javlja u jutarnjim i večernjim satima (od 20:00 do 01:00 časova u 13% slučajeva).

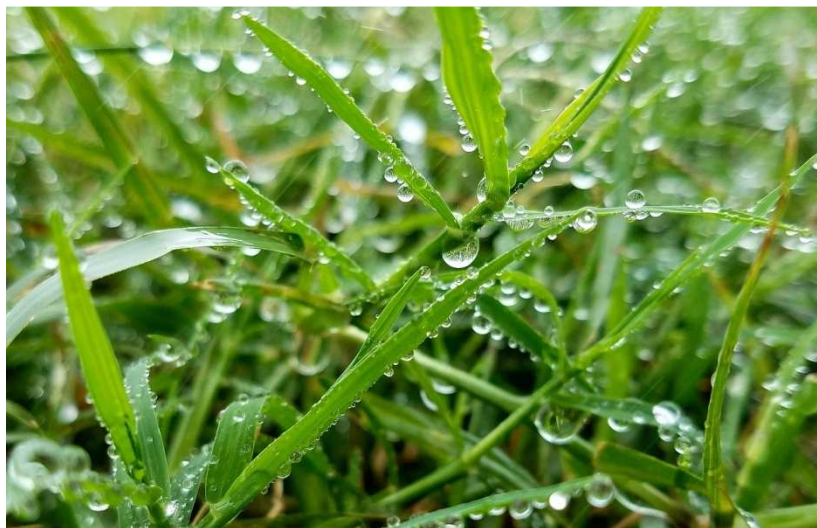
Ukoliko produkti kondenzacije vodene pare u vidu kiše ili snega prođu kroz donju bazu oblaka, na putu do Zemlje ispare i nikada ne stignu do tla ova pojava se naziva – *virga*. *Virga* je tipična za leto kada kišne kapi padaju kroz topao i suv vazduh u kome isparavaju i nestanu u atmosferi.

5.4.2 Hidrometeori nastali depozicijom čestica

Depozicija tečne ili smrznute vode na nekoj podlozi ili objektu može uticati na njihovu vlažnost i trenje. Ponekad se ovi produkti nazivaju i „niske padavine“ ili „padavine pri tlu“ i u njih se ubrajaju: *rosa*, *rosulja*, *slana*, *inje* i *poledica*. U nekim regionima Južne Amerike i Bliskog Istoka, sakupljanje *rose* i *magle* je važan izvor vode.

Kapljice magle mogu da se deponuju na površinama čija je temperatura iznad 0 °C.

Rosa je rezultat direktne kondenzacije vodene pare koja se nalazi u atmosferi na površinama čija je temperatura iznad 0 °C (Sl. 5.13). Količina sakupljene *rose* retko prelazi 0,5 mm, mada teoretski može biti i 0,8 mm. Na niskim temperaturama, *rosa* se smrzava stvarajući *inje*.



Slika 5.13 Rosa.

Rosulja se sastoji od kapljica vode prečnika manjeg od 0,5 mm koje iz vrlo niskog stratusnog oblaka kroz, često prisutnu, maglu stižu do površine tla.

Slana je rezultat sublimacije vodene pare iz atmosfere na različitim površinama u obliku kristala (Sl. 5.14).

Poledica je rezultat smrzavanja prehladene rosulje ili kiše na površinama čija je temperatura ispod 0 °C. Ovo dovodi do stvaranja ledene glazure na tlu ali i objektima i biljkama.



Slika 5.14 Slana.

5.4.3 Čestice nošene vetrom

Čestice vode u tečnom ili čvrstom stanju koje podiže vetar, često na malim prostornim razmerama, mogu značajno uticati na vlažnost vazduha i zemljišta, prisustvo i dubinu snega i vidljivost.

Snežni nanosi su posledica vetra koji podiže sneg sa tla (Sl. 5.15). Udaljenost do koje će sneg biti prenesen i visina snežnih nanosa zavise od brzine, intenziteta i gustine



Slika 5.15 Snežni nanosi.

vetra i stanja i starosti snega. Mnogo dana posle padanja snega, jak vetar može izazvati ozbiljne probleme i stvoriti značajne snežne nanose na putevima, posebno u ravnici.

5.5 Uticaj oblaka i padavina na biljke

Oblaci i padavine snažno utiču na energetske i vodni bilans zemljišta, vazduha i biljnog pokrivača. Stratokumulusi pokrivaju 20% površine Zemlje godišnje, više iznad okeana (23%) nego iznad zemlje (12%). U slučaju stratusa, srednja godišnja oblačnost iznosi oko 10%. Iako su horizontalne razmere kumulusa obično mnogo manje od onih koje imaju stratusi, ovi oblaci mogu uticati na energetske i vodni bilans lokalno, tj. na neposrednu lokaciju ispod oblaka, intenzivnom apsorpcijom (zbog svojih značajnih vertikalnih razmera) i visokom reflektivnošću sunčevog zračenja.

Uticaj oblaka na energetske bilans. Uticaj oblaka na energetske bilans je dvostruk: a) apsorbovanjem i reflektovanjem oni smanjuju intenzitet upadnog sunčevog zračenja na njegovom putu kroz atmosferu i b) povećavaju dugotalasno zračenje u atmosferi tako što povećavaju protivzračenje atmosfere i reflektovano Zemljino izračivanje. Primetan je čak i uticaj tankih cirusa i cirostratusa na temperaturu zemljišta. Pored toga, mogu se očekivati značajne promene temperature zemljišta i vazduha u prisustvu stratusa i stratokumulusa zbog njihovih značajnih horizontalnih razmera, debljine i prosečnog vremena zadržavanja. Leti, prisustvo ovih oblaka snižava temperaturu, pošto efekti smanjenja upadnog sunčevog zračenja prevazilaze efekte povećanog dugotalasnog zračenja. Zimi, a posebno u rano proleće, kada je intenzitet upadnog sunčevog zračenja smanjen, povećanje dugotalasnog zračenja može značajno povećati energetske bilans Zemljine površine. Poznato je da prisustvo oblaka tokom hladne, mrazne noći može povećati temperaturu vazduha za nekoliko stepeni i ublažiti gubitke uzrokovane niskim temperaturama.

Prisustvo kumulusa, a naročito stratokumulusa i nimbokumulusa, može izazvati značajan pad temperature zemljišta i vazduha. Efekti visoke reflektivnosti ovih oblaka, posebno u slučaju kada su snežno beli kumulusi razasuti širom neba, ne treba potcenjivati. Ponašajući se kao savršene reflektivne površine, ovi oblaci mogu prouzrokovati značajno povećanje intenziteta sunčevog zračenja na malom prostoru, čak premašujući solarnu konstantu (intenzitet sunčevog zračenja na vrhu atmosfere). Ovakav kratkotrajan spot sunčevog zračenja visokog intenziteta može izazvati ožegotine i ozbiljno oštetiti biljke.

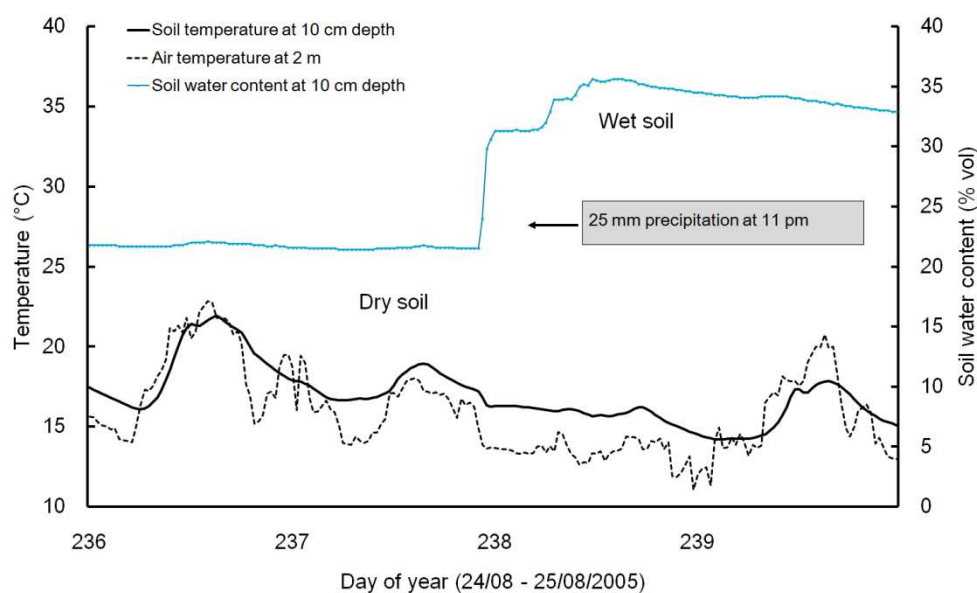
Uticaj oblaka na vodni bilans. Čak i kada ne dođe do padavina, prisustvo oblaka može uticati na vlažnost vazduha i zemljišta. Ovo se najbolje može uočiti kroz njihov uticaj na promenu intenziteta isparavanja i evapotranspiracije kao posledicu: a) promene temperature zemljišta i vazduha usled stvaranja senke na površini zemljišta i b) povećanja vlažnosti površinskog sloja atmosfere, što je posledica smanjenog vertikalnog transporta vodene pare sa površine tla u slobodnu atmosferu.

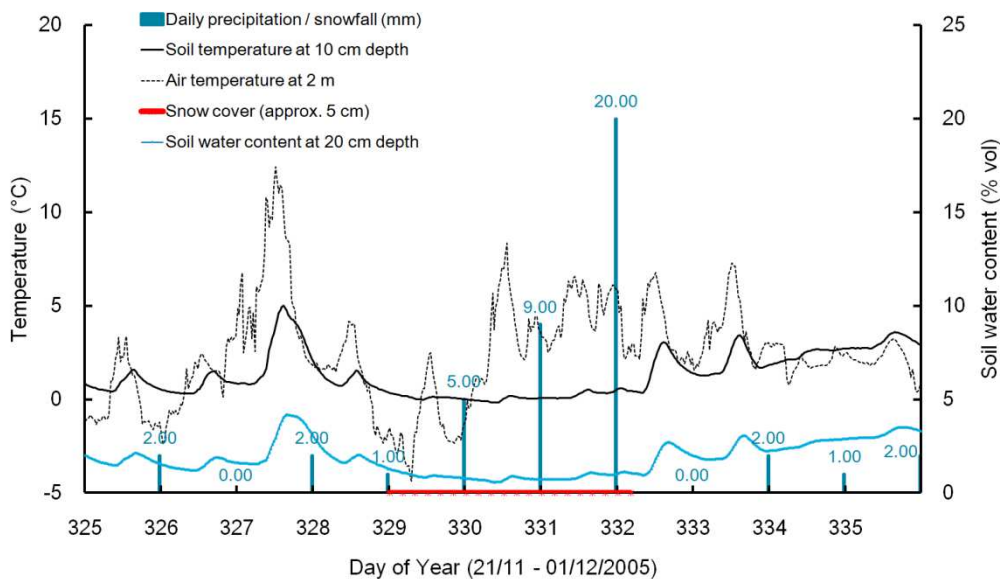
Uticaj padavina na energetski bilans. Efekat padavina na energetski bilans se manifestuje kroz: a) promene toplotnih karakteristika zemljišta, b) povećanje intenziteta isparavanja i evapotranspiracije sa zemljišta i biljnog sklopa i c) njihovu ulogu toplotnog izolatora, u slučaju snega, koji štiti zemljište i biljke.

Povećana vlažnost zemljišta, uzrokovana padavinama, povećava toplotni kapacitet i provodljivost zemljišta, što značajno utiče na energetski bilans zemljišta. Smanjenje temperature nakon kiše (Sl. 5.16, gore) je značajnije i izraženije kod vazduha nego kod zemljišta. Ovaj efekat je posebno važan u jesen, kada vlažno zemljište akumulira više energije od suvog zemljišta, i provodi je dublje u zemlju. Tokom zime i ranog proleća, kada temperatura zemljišta raste sa dubinom, povećana provodljivost zemljišta povećava prenos energije prema površini, čime se povećava temperatura površinskog sloja zemljišta i vazduha, a to smanjuje štete na biljkama uzrokovane niskim temperaturama.

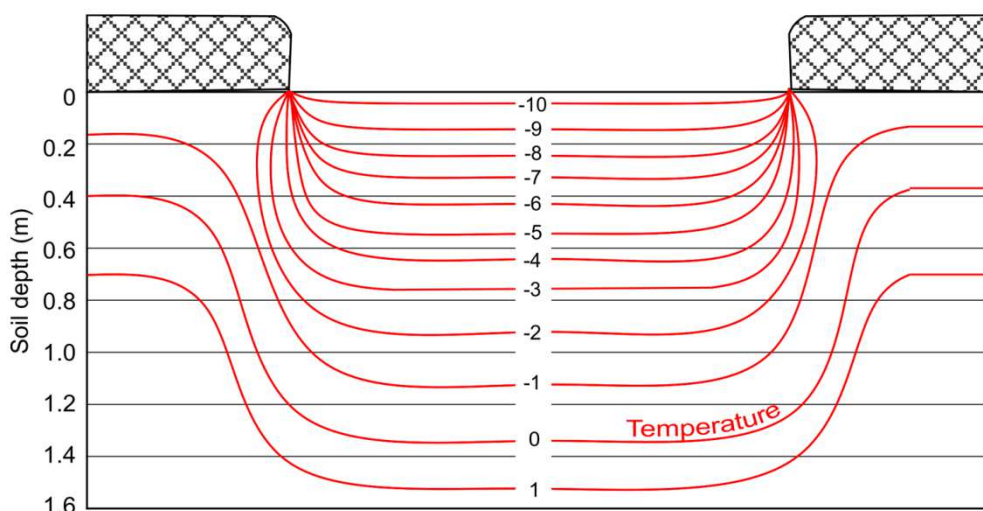
Isparavanje padavina zadržanih na površini biljke obavlja se na isti način kao isparavanje sa slobodne vodene površine (naravno, ako su tečne padavine). Energija potrebna za isparavanje oduzima se od biljke, a rezultat je smanjenje njene temperature. Povećanje vlage u zemljištu obično povećava isparavanje sa golog zemljišta i evapotranspiraciju sa površina pod vegetacijom, smanjujući temperaturu obe sredine.

Kada je prisutan na tlu ili na površini biljke, sneg može igrati ulogu izolatora tokom mraznih dana, posebno u rano proleće, sprečavajući hlađenje biljaka ispod 0°C. Kada je tokom zime zemljište bez vegetacije, snežni pokrivač smanjuje energetske gubitke i dnevne varijacije temperature zemljišta (Sl. 5.16, dole). Ako zemljište nije bilo smrznuto pre nego što je pao sneg, temperatura zemljišta u blizini površine pod zatvorenim snežnim pokrivačem ostaje na približno 0 °C, što je važno za zaštitu ozimih useva od mraza (Sl. 5.17).





Slika 5.16 Dnevno kolebanje temperature zemljišta pre i posle kiše (gore) i snežnih padavina (dole).



Slika 5.17 Idealizovani profil temperature zemljišta sa i bez snežnog pokrivača.

Uticaj padavina na vodni bilans. Padavine u tečnom stanju koje direktno ulaze u zemljište povećavaju njegov sadržaj vlage, isparavanje i površinsko oticanje. Međutim, povećanje vlage u zemljištu nije uvek proporcionalno količini vode koja stiže na površinu zemlje. U slučaju golih zemljišta, njihov tip i struktura kao i intenzitet padavina mogu značajno uticati na tok povećavanja vlage u zemljištu.

Čak i u slučaju zemljišta sa velikim vodnim kapacitetom, kao što je černo zem, padavine velikog intenziteta će vrlo umereno povećati nivo vlage ako je zemljište vrlo sabijeno i ako je dugo bilo suvo, sa pokoricom i pukotinama na površini. Izgleda da se, zbog gubitaka površinskim oticanjem i premeštanjem u dublje slojeve zemljišta, samo deo dodane vode zapravo upotrebi za povećavanje vlažnosti zemljišta. U slučaju optimalno vlažnih i dobro strukturisanih zemljišta, njihov tip i struktura kao i

faza razvoja gajenih useva takođe mogu uticati na apsorpciju vode od padavina. Na primer, u slučaju žitarica, posle bokorenja, slaba kiša od $3,8 \text{ mm h}^{-1}$ će biti apsorbovana u iznosu od $1,8 \text{ mm h}^{-1}$, dok se kiša visokog intenziteta od $24,3 \text{ mm h}^{-1}$ absorbuje u količini od $10,4 \text{ mm h}^{-1}$. Nekoliko meseci kasnije, nakon cvetanja, iste intenziteti padavina će biti apsorbovani u iznosima od 0 mm h^{-1} i $16,6 \text{ mm h}^{-1}$.

Snežni pokrivač se obično topi polako, odvedeći vlagu u površinski sloj zemljišta i obezbeđujući produženo vlaženje zemljišta.

Prisustvo vegetacije može narušiti uticaj padavina na vodni bilans zemljišta zaklanjajući obraslu površinu do te mere da kiša uopšte ne može doći do zemlje jer biva zadržana na površini biljke, što se obično naziva *intercepcija (zadržavanje)* vode. Efekat zaklanjanja i odgovarajuća neravnomerna raspodela vlage u površinskom sloju zemljišta, zavise od vrste vegetacije, faze rasta i strukture i gustine biljnog sklopa (Sl. 5.18). Zadržavanje vode na biljci dodatno zavisi od količine padavina. U slučaju kada je, recimo palo 1 mm kiše možemo smatrati da će sva kišnica će biti zadržana na površini biljaka. Kako se intenzitet kiše povećava, količina vode koja stiže do zemljišta proporcionalno se povećava. Uopšteno gledano, maksimalna stopa intercepcije može biti do 50%. Listovi listopadnog drveća, na primer, mogu zadržati 20% do 30% od pale kiše. Efekat zadržavanja vode na površini biljke nije važan samo zbog smanjenja količine vode koja stiže do zemljišta tokom padavinske epizode, već i zbog slivanja vode sa listova, koje traje dugo posle prestanka padavina. Ovaj efekat može ponekad dovesti u pitanje tačnost merenja padavina unutar biljnog sklopa. Dok će deo zadržane vode ispariti, značajna količina će ipak doći do zemljišta; posebno u slučaju velikog intenziteta padavina i suvog zemljišta, zadržana voda može da obezbedi vlaženje zemljišta dugo nakon prestanka padavina.

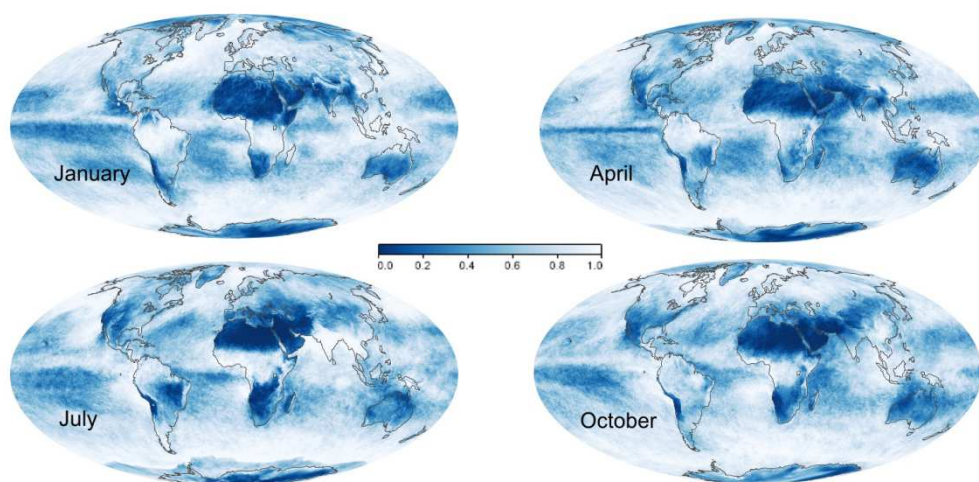


Slika 5.18 Uticaj vegetacije na raspodelu padavina na površini zemljišta.

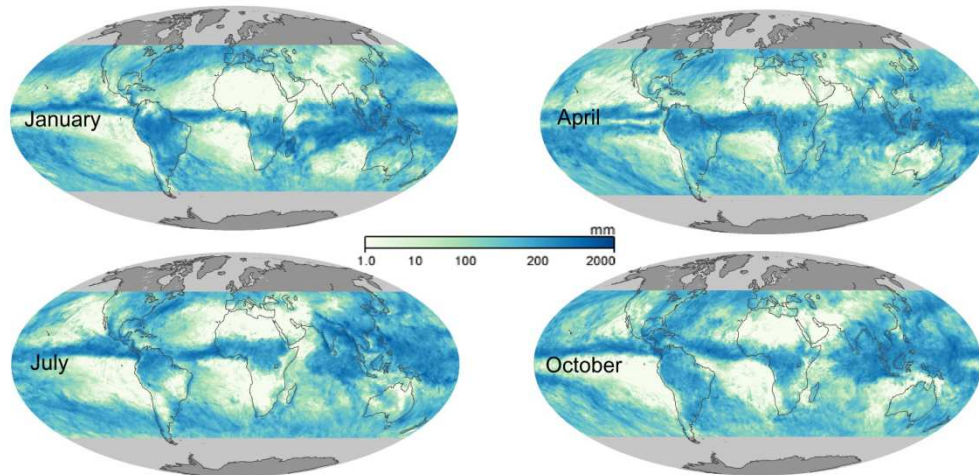
5.6 Uticaj biljaka na oblake i padavine

Prisustvo vegetacije igra važnu ulogu u energetsom i vodnom bilansu Zemljine površine, u razmerama od mikro razmera (kao što je njiva) do planetarnih. Nedavno istraživanje je pokazalo da, u delovima sveta kao što je afrički region Sahel, prisustvo vegetacije može promeniti godišnju količinu padavina do 30%. Pošto biljke pokrivaju više od 20% površine Zemlje, uloga biljnog pokrivača kao modifikatora klime je jasna, čak i ako je njegov neposredni uticaj na vremenske prilike možda manje evidentan.

Prisustvo biljaka menja albedo površine kao i toplotne i hidrološke karakteristike zemljišta. Biljke utiču na: a) razmenu energije između površine zemlje i atmosfere, koja je značajan pokretač atmosferske cirkulacije; b) razmenu vlage između atmosfere i površine zemlje; c) uobičajene pravce prostiranja vazdušnih masa i d) turbulentni transfer toplote, količine kretanja i vlage između vegetacije i atmosfere. Zato što menja temperaturu i vlažnost zemljišta i vazduha, intenzitet isparavanja i transpiracije, brzinu vetra i efikasnost prenosa vlage od površine u atmosferu, vegetacija značajno utiče na procese kondenzacije u atmosferi, a time i na formiranje oblaka i padavina. Uticaj vegetacije na ove meteorološke elemente razrađen je u prethodnim poglavljima, dok ćemo u sledećem poglavlju razmotriti atmosfersku cirkulaciju i uticaj vegetacije na nju.



Slika 5.19 Globalna distribucija oblačnosti za 2001 (Izvor: NASA Earth Observatory, https://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MODAL2_M_CLD_FR).



Slika 5.20 Srednja mesečna globalna raspodela padavina za 2001 (Izvor: NASA Earth Observatory, https://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=TRMM_3B43M).

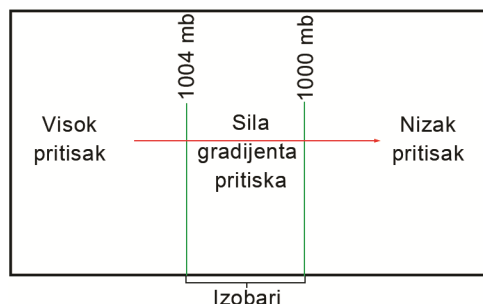
6. Atmosferska cirkulacija i vetrovi

Vetar ima mnogo oblika, od vazduha koji neprekidno cirkuliše oko Zemlje do lokalnih povetaraca koji nestaju sa prvim zrakama sunca. Vetrove pokreću "snage prirode", a modifikuje ih priroda terena iznad koga duvaju, prenoseći toplotu, vlagu i količinu kretanja sa jednog kontinenta na drugi ili sa jedne njive na drugu. Iako nevidljivi, na njihovo prisustvo podsećaju nas bezbrojni efekti, bilo da se radi o promicanju padajućeg lista ili o čupanju starog drveća iz korena.

Razlike u pritisku, od globalnih do lokalnih, prisiljavaju vazduh da se kreće. Tokom kretanja na vazduh deluju i centrifugalna i Koriolisova sila koje su posledice rotacije Zemlje i koje doprinose formiranju atmosferske cirkulacije kako je mi danas poznajemo. Ovo poglavlje se bavi horizontalnim kretanjem vazduha (vetrom) - upravljajućom silom i modifikatorom svih atmosferskih procesa.

6.1 Sile koje dovode do kretanja u atmosferi

Sila gradijenta pritiska. Vetar je vazдушna struja koja se kreće skoro horizontalno iznad Zemljine površine, od višeg ka nižem atmosferskom pritisku. Efekte vetra je lako uočiti, ali šta stvara ovaj fenomen? Potsetimo se da je atmosferski pritisak sila kojom vazduh deluje na jediničnu horizontalnu površinu. Ako je sila koja deluje na neku zamišljenu vertikalnu površinu na jednom mestu veća nego na drugom, to znači da postoji promena ove sile duž posmatranog horizontalnog pravca i sa njom povezanog pritiska.



Slika 6.1 Sila gradijenta pritiska.

Tada kažemo da postoji horizontalni gradijent (promena duž pravca) pritiska. Neto sila, koja obezbeđuje kretanje vazduha usmerena je sa mesta višeg pritiska ka mestu nižeg pritiska što je suprotno od orijentacije gradijenta pritiska (∇p) [Trebalo bi imati na umu da je, *prema definiciji*, gradijent uvek usmeren u pravcu povećanja posmatrane veličine]. Sila koja dovodi do kretanja vazduha kao rezultat prisustva gradijenta pritiska naziva se *sila gradijenta pritiska* i po jedinici mase vazduha može se izraziti u obliku

$$\vec{F}_p = \frac{1}{\rho} \nabla p, \quad (6.1)$$

gde je ρ gustina vazduha. Bez obzira šta je uzrok razlike pritiska (neto neravnoteža zračenja, uzlazni ili silazni vazduh), ona je glavna upravljačka sila koja stvara vetar.

Sila trenja. U atmosferi, sila trenja stvara otpor kretanju vazduha i javlja se između slojeva vazduha ili u kontaktu sa čvrstom površinom. Ona uvek deluje u smeru suprotnom od smera kretanja vazduha. Zato se može izračunati kao

$$\vec{F}_{tr} = -k\vec{v} \quad (6.2.)$$

gde je k koeficijent trenja, a \vec{v} brzina vazduha. Pošto vazduh nije naročito viskoznan, trenje koje je povezano sa kretanjem na molekularnom nivou, od značaja je samo u vrlo tankom sloju vazduha koji se nalazi u blizini čvrste površine, i koji se obično naziva viskozni sloj a ovaj vid trenja viskozno trenje.

Centrifugalna sila. Sva tela na površini Zemlje, uključujući i atmosferu, nalaze se pod uticajem centrifugalne sile koja je rezultat rotacije planete i koja je usmerena od centra rotacije. Njen intenzitet zavisi od brzine tela i njegove udaljenosti od ose rotacije, r što se obično izražava u obliku

$$|\vec{F}_{cf}| = \frac{v^2}{r}. \quad (6.3.)$$

U atmosferi, kružno kretanje delića vazduha, često povezano sa depresijama koje prate centre niskog pritiska (kao u slučaju tornada), je rezultat ravnoteže sile gradijenta pritiska i centrifugalne sile.

Koriolisova sila. Ponekad nazivana i „prividna“, Koriolisova sila je posledica rotacije Zemlje i utiče samo na atmosferska kretanja čije su prostorne razmere od nekoliko stotina kilometara do planetarnih razmera. Uticaj geografske širine na intenzitet Koriolisove sile je značajan. Kako bi ga direktno izrazili, posmatračemo nezavisno zonalnu (u pravcu zapad-istok, F_{cx}) i meridionalnu (u pravcu sever-jug, F_{cy}) komponentu Koriolisove sile što se može izraziti u obliku

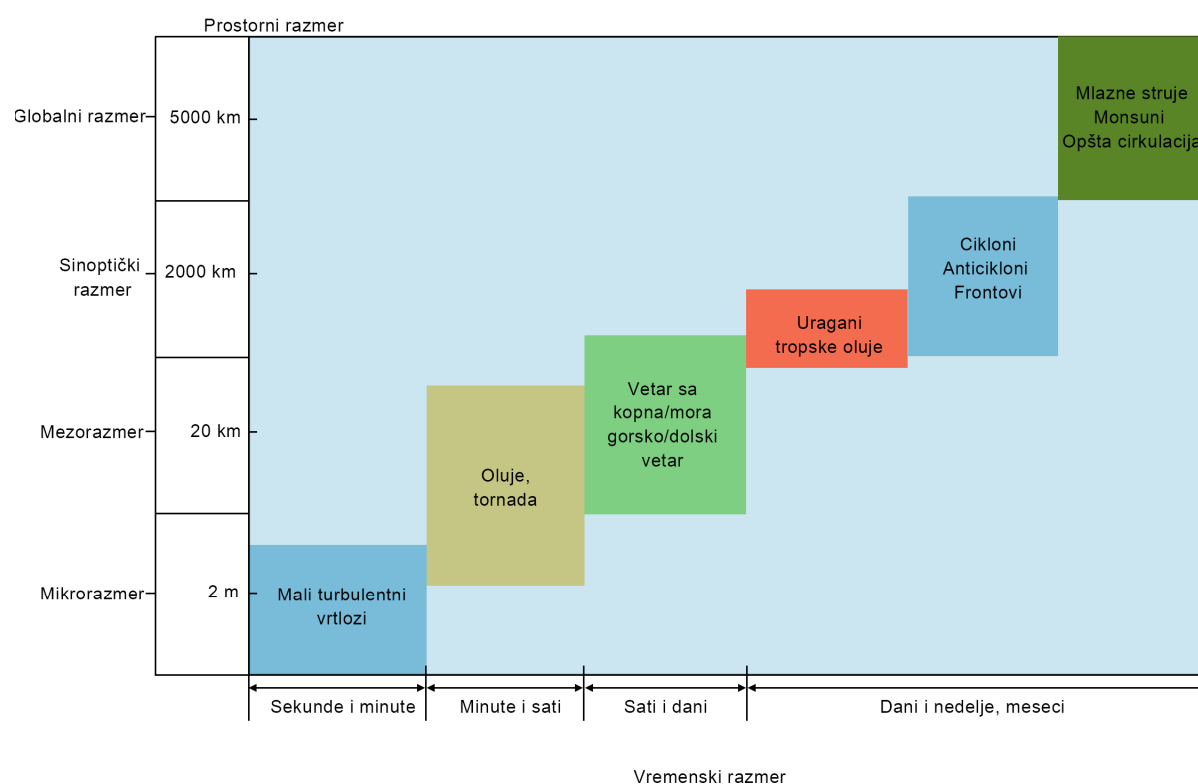
$$F_{cx} = 2 \Omega v \sin \varphi \text{ i } F_{cy} = -2 \Omega u \sin \varphi, \quad (6.4.)$$

gde su u i v zonalne i meridionalne komponente brzine vetra, Ω je ugaona brzina Zemlje ($7,27 \cdot 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$), a φ je ugao geografske širine u odnosu na Ekvator. Na osnovu definicije Koriolisove sile i jednačine (6.4), možemo zaključiti da Koriolisova sila ima najveću vrednost na polovima i da se ova vrednost smanjuje prema Ekvatoru ($\varphi = 0 \text{ rad}$). Iz tog razloga, vazduh koji se kreće sa severa na jug (od pola ka Ekvatoru) na severnoj hemisferi skreće udesno (ka zapadu) a na južnoj u levo.

6.2. Razmere atmosferskog kretanja

Vetar je "pokretačka snaga" vremena. On upravlja cirkulacijom vazduha na obe hemisfere, pokreće vazdušne mase sa jednog kontinenta na drugi, ili jednostavno obezbeđuje lagani vetar sa planine nakon vrelog letnjeg dana. "Hijerarhija" atmosferskih kretanja od globalnih do lokalnih razmera i njihovo tipično trajanje određuje razmere atmosferskih kretanja (Sl. 6.2). Pored toga, neka atmosferska kretanja su periodična na različitim prostornim i vremenskim razmerama i mogu da utiču na vreme i klimu čak i na kontinentalnim razmerama.

U nastavku ovog poglavlja, pažnja će biti posvećena globalnoj cirkulaciji atmosfere i delimično kretanjima sinoptičkih razmera. Čitalac treba da ima u vidu da će se izraz "lokalni" koristiti za vetrove koji su karakteristični za određeni region bez namere da se pretpostave njihove (male) razmere.



Slika 6.2. Tipične razmere atmosferskih kretanja.

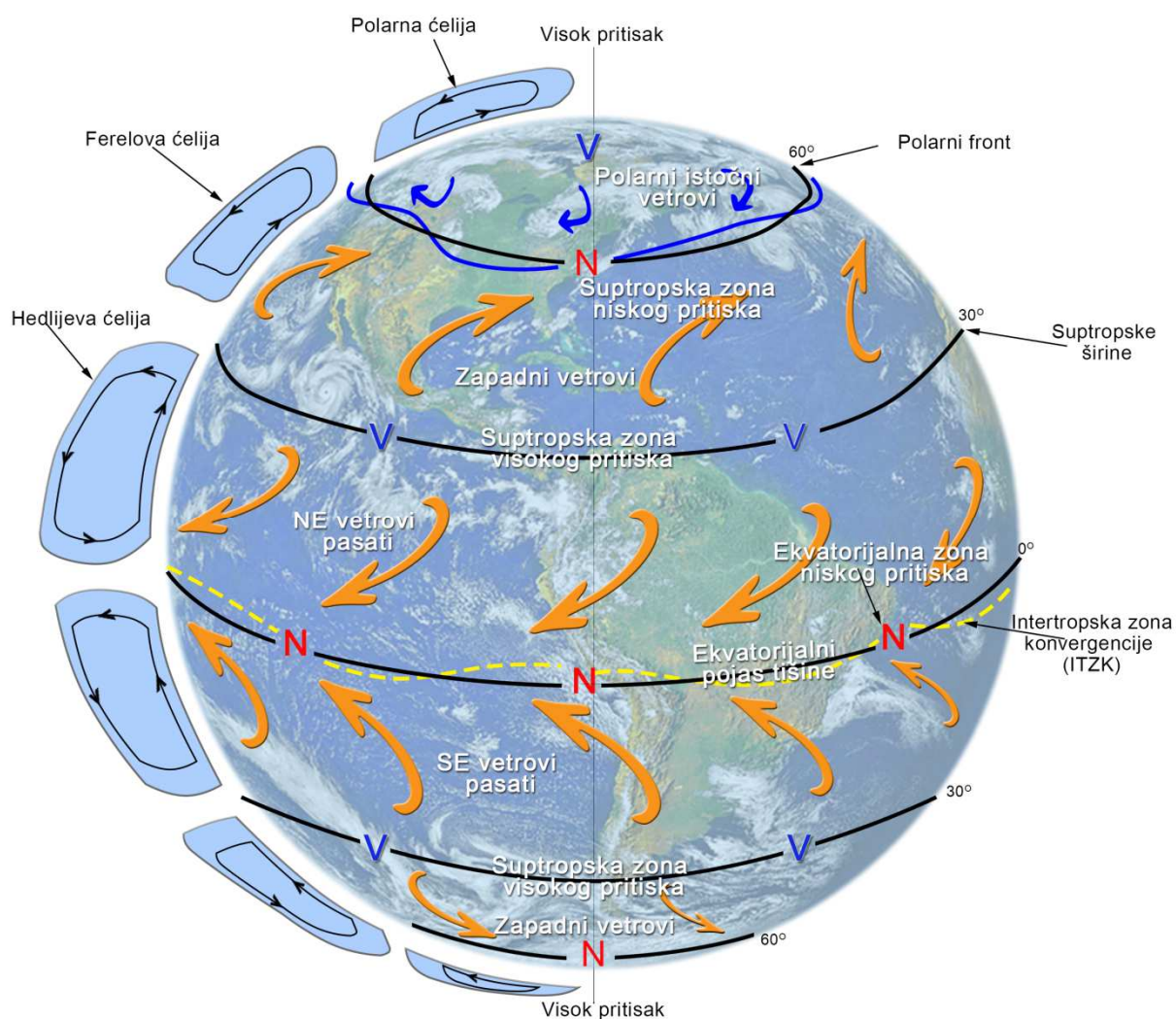
6.2.1. Opšta cirkulacija atmosfere - globalni vetrovi

Vetrovi koji čine opštu cirkulaciju atmosfere duvaju preko cele hemisfere, a njihov životni vek premašuje dane, pa čak i sedmice. Ovi vetrovi i njihove tipične trajektorije povezani su sa globalnom raspodelom atmosferskog pritiska na nivou mora, koja je rezultat neravnoteže u energetskom bilansu Zemlje, odnosno njenom neravnomernom zagrevanju. Sa druge strane, tako proizvedena globalna cirkulacija

smanjuje efekte ovog energetskog debalansa, prenoseći hladni vazduh prema Ekvatoru a topli prema polovima.

Da bi se bolje razumela horizontalna raspodela atmosferskog pritiska i rezultujuća opšta cirkulacija atmosfere, poći ćemo od idealizovane raspodele pritiska na nivou mora i fenomena stalnih (preovlađujućih) vetrova (Sl. 6.3). Pritom, važno je imati na umu da lokalni faktori mogu značajno uticati na promenu preovladavajućih vetrova.

Tokom godine, najveća količina sunčevog zračenja stiže u oblasti u okolini ekvatora. Zagrevanje zemljine površine i vazduha stvara intenzivnu termičku konvekciju koja dovodi do uzdizanja vazduha čak do tropopauze, ostavljajući područje *niskog pritiska* na površini. Tropopauza se ponaša kao barijera koja primorava vazduh da se kreće duž meridijana prema polovima do, oko, 30° geografske širine. Ovo dovodi do povećanja mase vazduha na subtropskim širinama i stvaranja područja *visokog pritiska* u ovom regionu.



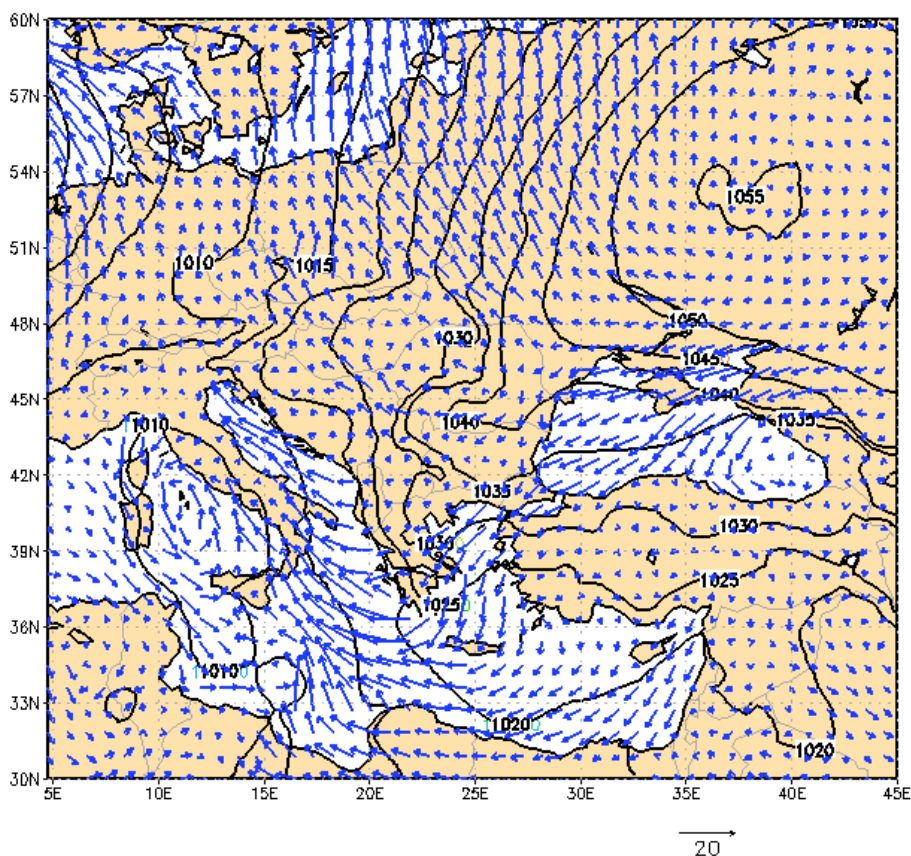
Slika 6.3. Idealizovana raspodela površinskog pritiska i stalnih vetrova.

Kakve vremenske prilike prate atmosfersku cirkulaciju koja je posledica ovakve raspodele pritiska? Uzdizanje toplog i vlažnog vazduha u ekvatorijalnoj zoni dovodi do kondenzacije vodene pare i formiranja kumulusa, dok oslobođena latentna toplota kondenzacije pojačava uspostavljenu cirkulaciju, formirajući zonu intenzivne konvektivne aktivnosti praćene grmljavinom u blizini Ekvatora - intertropska zonu konvergencije (ITZ). Uspostavljeni gradijent pritiska između 30° i 0° geografske širine uzrokuje vetrove u pravcu Ekvatora koji, zbog Koriolisove sile, skreću ka zapadu na severnoj hemisferi i ka istoku na južnoj hemisferi. Ti vetrovi nazvani su trgovački vetrovi jer su u prošlosti oni nosili trgovačke brodove prema istočnoj obali Južne Amerike.

Nasuprot ekvatorijalnoj zoni, manjak zračenja na polovima stvara područje hladnog, gustog vazduha i *visokog pritiska* i uspostavlja cirkulaciju vazduha od polova ka srednjim širinama (50° - 70° geografske širine), gde se nalazi tzv. subpolarna zona *niskog pritiska*. Kao rezultat uspostavljene raspodele površinskog pritiska, zapadni vetrovi kreću iz suprotnske zone visokog pritiska i duvaju u pravcu zapad - istok na severnoj hemisferi, između 30° i 60° geografske širine. Istovremeno, polarni istočni vetrovi - suvi i hladni - duvaju između zona visokog pritiska (na severnom i južnom polu) i područja niskog pritiskom na srednjim geografskim širinama.

6.2.2 Vetrovi sinoptičkih razmera

Atmosferska cirkulacija sinoptičkih razmera uključuje fenomene čiji je životni vek od 1-2 dana do jedne sedmice. Prostorne razmere od nekoliko stotina do hiljadu kilometara su karakteristične za atmosferske pojave kao što su cikloni, anticikloni i frontovi. Ove pojave često prate uragani i tropske oluje, ali i vetrovi sinoptičkih razmera koji su posledica specifične raspodele polja visokog i niskog pritiska. Jedan primer je dat na Sl. 6.4 koja ilustruje sinoptičku situaciju iznad Mediterana, jugoistočne i istočne Evrope 1. februara 2014. Na sinoptičkoj karti su prikazani: polje atmosferskog pritiska, prisutni frontovi i pravac i smer duvanja vetra (plave strelice). Polje visokog pritiska iznad istočne Evrope i niskog pritiska u području zapadnog Mediterana formira veliki gradijent pritiska koji se proteže preko Balkanskog poluostrva. Ovo dovodi do uspostavljanja cirkulacije i stvaranja vetrova koji duvaju iz područja visokog ka području niskog vazdušnog pritiska. Na svom putu preko istočne Evrope vetar nailazi na Karpate. Na prelasku preko planinskog masiva, brzina vetra se značajno povećava (iznad 11 m s^{-1}) a on dolazi u Srbiju dolinom Dunava kao jugoistočni vetar poznat pod nazivom Košava.

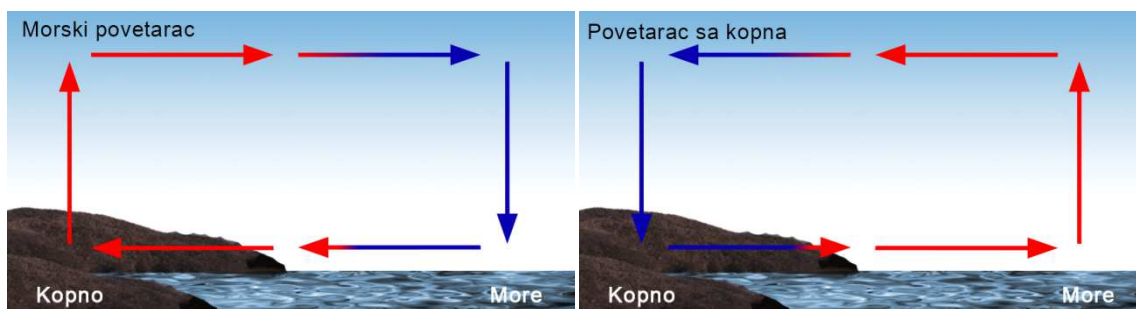


Slika 6.4 Sinoptička situacija iznad Evrope za 1. februar 2014.

6.2.3 Lokalni vetrovi

Lokalni vetrovi su malih do srednjih prostornih razmera (od desetak do stotinak kilometara) koji traju nekoliko sati ili dana, i koji su uglavnom uzrokovani regionalnim reljefom. U zavisnosti od izvorišta, lokalni se vetrovi se mogu podeliti na: vetrove s mora i s kopna, planinske i dolinske, anabatske i katabatske vetrove, monsune i fenove.

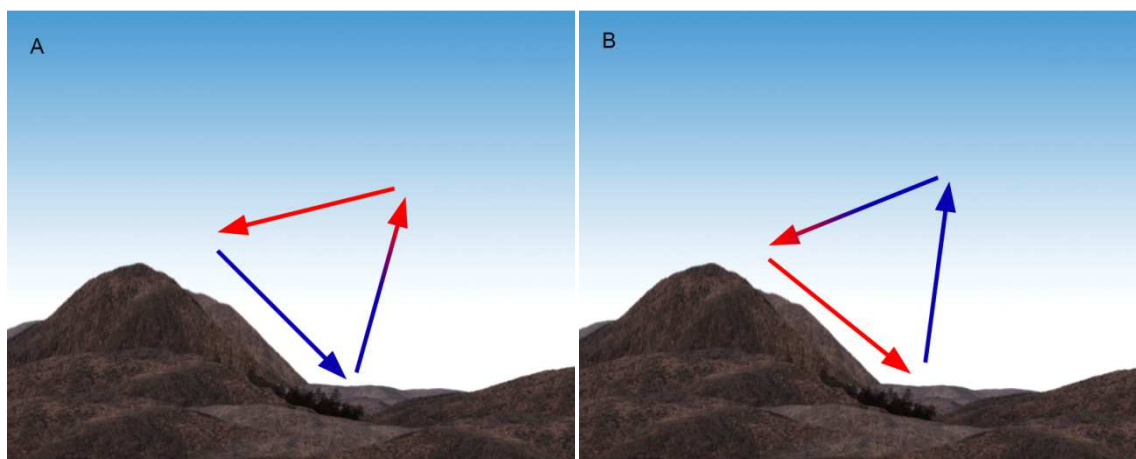
Vetar s mora i *vetar s kopna* (Sl. 6.5) je rezultat razlike u toplotnom kapacitetu između kopna i vode i može se zapaziti kao vetar koji duva iz pravca velike vodene površine ka kopnu i obrnuto. Sa mnogo većim kapacitetom da apsorbuje dolazeće sunčevo zračenje, voda se sporije greje i sporije hladi od kopna. Iz tog razloga, tokom leta, vazduh iznad mora je hladniji nego iznad kopna tokom dana, a topliji noću. Iznad hladnije površine, hladniji i gušći vazduh formira veći atmosferski pritisak. Razlika u pritisku pokreće vazduh iznad mora da krene ka kopnu (*vetar s mora*) tokom dana, a od kopna ka moru (*vetar s kopna*) noću.



Slika 6.5 Vetar s mora i vetar s kopna.

Planinski i dolinski vetar se obično javljaju u brdsko-planinskim predelima (Sl. 6.6). Ovi vetrovi su rezultat razlike u zagrevanju između planinskih vrhova, padina i dolina tokom 24 sata. Tokom dana, najintenzivnije se zagrevaju planinski vrhovi, dok hladniji vazduh duže ostaje u dolinama formirajući područje visokog pritiska. Tako stvorena razlika pritisaka proizvodi vetrove koji duvaju uzbrdo i čija snaga raste od izlaska sunca do podneva: to su *dolinski vetrovi*. Nasuprot tome, *planinski vetrovi* obično duvaju tokom večeri i noću, kada planinski vrhovi postaju hladniji; tada sila gradijenta pritiska uz pomoć gravitacije produkuje vetar koji duva niz padinu. Ova vrsta vetra se takođe naziva i drenažnim vetrom. Planinski i dolinski vetar se javljaju periodično sa dnevnim ciklusom.

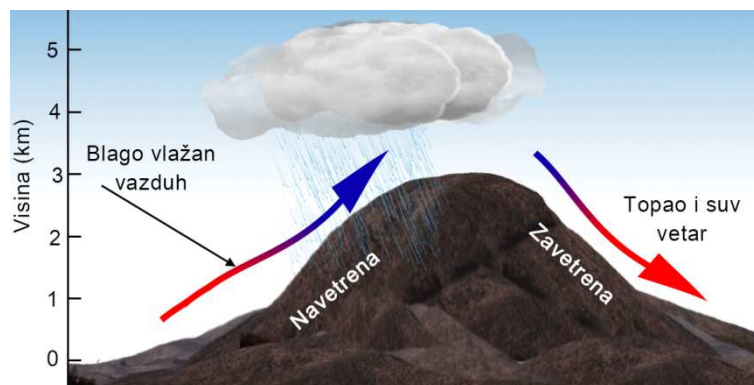
Slično prethodnim, *anabatski i katabatski vetrovi* se kreću niz i uz padine, ali su ovi izrazi rezervisani za vetrove jačeg intenziteta od planinskih i dolinskih vetrova. Na primer, katabatski vetrovi mogu dostići uraganske brzine dok duvaju niz padinu.



Slika 6.6 Anabatski (a) i katabatski (b) vetrovi.

Fen je generičko ime koje se u početku koristilo za suve, tople i često jake vetrove koje se javljaju u alpima i duvaju niz planinske padine (Sl. 6.7). Danas se ovaj izraz koristi za sve vetrove koji imaju isti mehanizam nastanka. Fen se javlja kada se vazduh uzdiže uz strme padine visokih planina. Na početku vazduh se uzdiže suvoadijabatski ($\sim 1 \text{ }^\circ\text{C}/100\text{m}$). Kada se uzdigne dovoljno visoko hlađenje će dovesti do kondenzacije i formiranje oblaka. U oblacima (ili bar u vazduhu u kome je

otpočela kondenzacija), dalje uzdizanje i hlađenje se obavlja vlažnoadijabatski ($\sim 0.6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$), često praćeno padavinama i značajnim gubitkom vlage unutar vazduha koji se uzdiže na navetrenoj strani planine. Nakon prelaska planinskog vrha ovaj, mnogo suvlji vazduh, se brzo spušta i zagreva zbog spuštavanja. I to prvo sporije, vlažnoadijabatski, dok kapljice vode ne ispare i vlažnost se ne smanji ispod saturacione, a zatim, brže - suvoadijabatski. Ukoliko je zbog padavina na navetrenoj strani planine vazduh izgubio vlagu, na zavetrenoj strani će donja baza biti na većoj visini. Vazduh će se, zato, na zavetrenoj strani duže spuštati suvoadijabatski nego na navetrenoj što će dovesti do njegovog bržeg zagrevanja pri spuštanju nego što je bilo hlađenje pri uzdizanju. Otud, vazduh koji je bio hladan i vlažan na navetrenoj strani može biti suv i topao na istoj visini na zavetrenoj strani planine.



Slika 6.7 Fen.

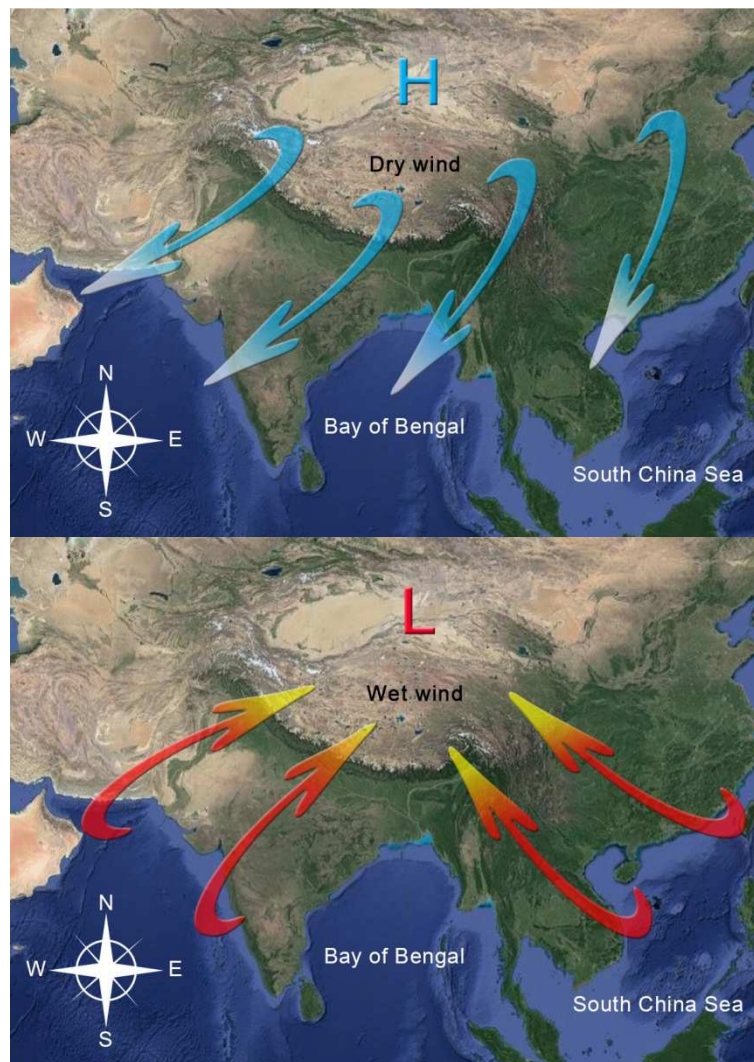
6.2.3 Periodični vetrovi

Sezonski vetrovi su vetrovi koji menjaju pravac u zavisnosti od godišnjeg doba. Prema ovoj definiciji, vetar s kopna i vetar s mora su takođe sezonski vetrovi. Konkretno, slobodna vodena površina je u toku dana hladnija od kopna samo leti. Zimi je vodena površina toplija, što znači da su raspodela pritiska i pravac vetra suprotni od onih koji se javljaju leti.

Najznačajniji sezonski vetar je *monsun*. Ovaj vetar je posledica razlika u atmosferskom pritisku između kontinenta i okeana tokom leta i zime, a „životni ciklus“ monsuna liči na vetar s mora i vetar s kopna velikih razmera. Obično se javlja u istočnoj i jugoistočnoj Aziji, ali cirkulacija slična monsunu često se može videti i u širim priobalnim područjima Australije, Afrike i Severne i Južne Amerike. Vreme pojave, intenzitet i trajanje monsuna i vremenskih prilika povezanih s njim - prvenstveno padavina - utiče na poljoprivrednu i egzistenciju više od 900 miliona ljudi.

Područje visokog pritiska koje se tokom zime formira iznad kontinenta (Sl. 6.8) donosi lepo vreme istočnoj i južnoj Aziji. Takvo vreme karakteriše vedro nebo (ukoliko vazduh nije jako zagađen) i vetar - zimski monsun - koji duva sa kontinenta prema okeanu. Tokom leta, područje visokog pritiska se premešta iznad hladnijeg okeana, što pokreće cirkulaciju vazduha od okeana prema kontinentu. Ova

cirkulacija donosi vlagu na kontinent, što dovodi do kišnog vremena praćenog vetrom iz pravca okeana - letnjeg monsuna. Sezona letnjeg monsuna u istočnoj i južnoj Aziji obično traje od juna do septembra, ali sa samo 15 do 40 kišnih dana.



Slika 6.8 Kretanje vetra povezano sa zimskim i ljetnim monsunima.

6.3 Uticaj vetra na biljke

Fiziološki i fizički procesi koji se odigravaju u biljkama i na graničnoj površini između biljke i vazduha predstavljaju sponu između biljke i atmosfere u kojoj vetar igra važnu ulogu, kako pozitivnu tako i negativnu. Prisustvo vetra pospešuje turbulentni prenos između atmosfere i biljnog pokrivača i povećava mešanje površinskog sloja atmosfere. Poboljšana razmena vodene pare, ugljen-dioksida i drugih gasova između atmosfere i biljaka, do određene mere povećava brzinu svih procesa koji uključuju ove gasove, prvenstveno evapotranspiraciju, disanje i fotosintezu. Direktni fiziološki uticaj vetra na biljke jasno može da se vidi, recimo, kod ječma i pirinča gde se proizvodnja etilena i koncentracija azota povećavaju sa povećanjem brzine vetra. Pored toga, vetar može da utiče i na ravnotežu hormona kod nekih biljaka.

Snažni vetrovi i oluje uzrokuju eroziju zemljišta i značajna mehanička oštećenja biljaka – lomljenje grana i izdanaka, otkidanje cvetova i čupanje useva plitkog korena. Vetar uzrokuje advekciju toplog ili hladnog vazduha, koji je vlažniji ili suvlji od okoline, što može značajno uticati na energetski i vodni bilans zemljišta, biljaka i vazduha unutar i iznad biljnog sklopa. Vrući i suvi vetrovi mogu izazvati intenzivno isparavanje iz zemljišta i evapotranspiraciju kod biljaka, što dovodi do značajnog vodnog stresa za biljke. Ekstremni primer je *suhovej*, vetar koji je karakterističan za Kazahstan i kaspiski region. Njegova uobičajena brzina je od 5 do 20 m s⁻¹, temperatura iznad 20 °C i niska relativna vlažnost od 30% (ili manje), što uzrokuje trenutni stres kod biljaka. Naime, zbog naglog pojavljivanja i velike brzine vetra, stome biljaka obično ne uspeju da se zatvore što ostavlja otvoren "komunikacioni kanal" između biljke i atmosfere koji dozvoljava okolnom vazduhu da apsorbuje gotovo celokupnu vodu iz biljke.

Laki do umereni vetrovi omogućavaju širenje polena i smanjuju vlagu u zemljištu, što u rano proleće može pomoći uklanjanju viška vode nastalog topljenjem snega i omogućiti pripremu polja za setvu. Ako ovi vetrovi donesu i dodatnu vlagu, oni mogu pojačati formiranje rose, što je važan element vodnog bilansa u nekim regionima.

Tokom zime i ranog proleća, hladni vetrovi mogu izazvati oštećenja od mraza, naročito kada su uključeni sistemi za zaštitu od radijacionog mraza orošavanjem. U slučaju atmosferske inverzije praćene temperaturama ispod 0 °C, topliji vetrovi mogu narušiti inverziju i omogućiti mešanje hladnog vazduha neposredno iznad površine tla sa toplijim vazduhom iznad njega.

The main aspects of air flow and windbreaks which affect the microclimate of a sheltered area are:

6.3.1. Poljozaštitni pojasevi

Negativni uticaji vetra na biljke mogu se značajno smanjiti poljozaštitnim pojasevima koji se često zovu i vetrozaštitni pojasevi. Zaštitni pojasevi koji se koriste u poljoprivredi načinjeni su od drveća postavljenim normalno na pravac duvanja najučestalijeg vetra. Kada vetar koji duva naiđe na poljozaštitni pojas (Sl. 6.9) to će uticati na mikrometeorološke karakteristike vazduha delimično ispred, a naročito iza pojasa. Faktori koji su u tom procesu najznačajniji su:

a) izmena karakteristika turbulentnog transporta i brzine vetra koji se približava poljozaštitnom pojasu, što utiče na dinamiku protoka vazduha i veličinu *zaštićene zone*, a posebno na širinu *zone mešanja*;

b) visina poljozaštitnog pojasa (H_{wb}), koja se obično definiše u odnosu na prosečnu visinu drveća, i predstavlja visinu na kojoj započinje sloj turbulentnog mešanja;

c) propustljivost poljozaštitnog pojasa, koja se sa aerodinamičke tačke gledišta definiše kao odnos brzine vetra iza i ispred prepreke. S obzirom da je ovaj odnos vrlo teško odrediti eksperimentalno, često se umesto njega koristi optička propustljivost kao odnos površine otvora na poprečnom preseku pojasa i ukupne površine poprečnog preseka.

Na zavetrinskoj strani, vazduh koji prolazi preko i kroz poljozaštitni pojas stvara zone sa specifičnim mikrometeorološkim karakteristikama: i) zonu prilaznog toka, ii) propusnu zonu, iii) zonu "pomerenog" profila, iv) zonu tišine, v) zonu mešanja i vi) ravnotežnu zonu.

Zona prilaznog toka se obično nalazi na udaljenosti od $5H_{wb}$ od poljozaštitnog pojasa na navetrenoj strani, gde se na visinama ispod H_{wb} brzina vetra sve više smanjuje i skreće sa prvobitnog pravca kako se približava pojasu.

Propusna zona se nalazi neposredno iza zaštitnog pojasa na visini manjoj od H_{wb} . Brzina vetra u ovoj zoni zavisi od propustljivosti pojasa i znatno je smanjena zbog otpora koji pruža lišće.

Kako se približavaju prepreci, strujnice vetra se zgušnjavaju u zoni neposredno iznad poljozaštitnog pojasa ($1.5 H_{wb}$) što povećava brzinu vetra. Zajedno sa vazduhom iz propusne zone ova struja formira, *zonu "pomerenog" profila* neposredno iza prepreke, u kojoj se profil brzine vetra dramatično menja sa visinom. Zapravo, promene profila su male od tla do gornje granice pojasa, na visinama oko H_{wb} se brzina intenzivno menja sa visinom da bi iznad pojasa profil bio približno logaritamski.

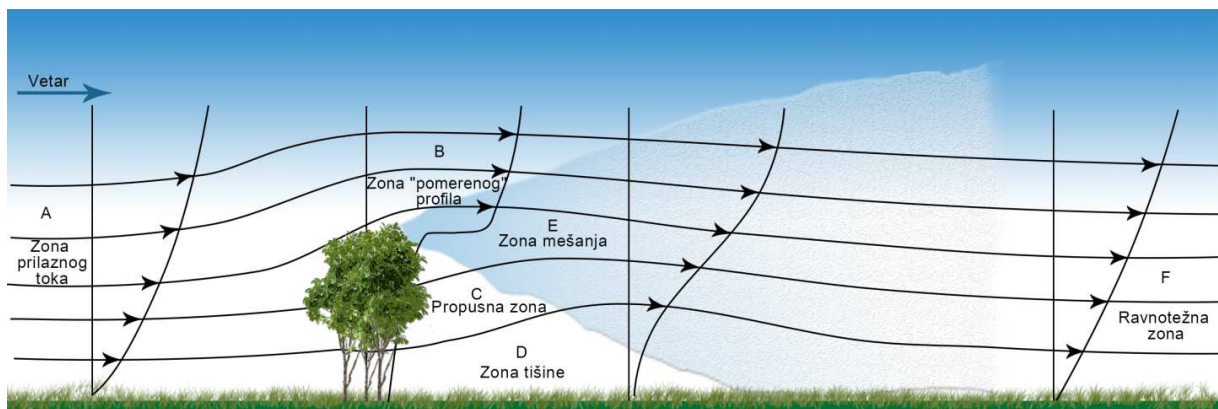
Iza poljozaštitnog pojasa, između površine tla i zone mešanja nalazi se *zona tišine*. U ovoj zoni vetar ima najmanju brzinu, a dužina ove zone niz vetar dostiže udaljenost od $5 H_{wb}$ do $8 H_{wb}$ od pojasa. Veličina mirne zone zavisi od propustljivosti pojasa i brzine vetra na navetrenoj strani, dok su profil vetra i turbulencija u ovoj zoni uglavnom određeni tokom u propusnoj zoni.

Zona mešanja se formira iza zaštitnog pojasa, počinje od vrha pojasa i stiže do tla na udaljenosti od $5H_{wb}$ do $8H_{wb}$. Na udaljenostima mnogo većim od $10H_{wb}$,

zona mešanja prelazi u ravnotežnu zonu, u kojoj se ponovo uspostavlja logaritamski profil vetra.

U zaštićenoj zoni iza pojasa, zona tišine se odlikuje najslabijim turbulentnim transportom i najmanje izraženim profilima toplote, vodene pare i CO₂. U zoni tišine tokom dana, mali intenzitet turbulentnog transporta osetne toplote sa zemlje u atmosferu dovodi do viših temperatura vazduha u blizini površine u odnosu na one u zoni mešanja recimo. Obrnuto se dešava noću, kada intenzivno površinsko hlađenje i slabo turbulentno mešanje proizvode niže temperature u zoni tišine. Neki eksperimenti su pokazali su da prisustvo poljozaštitnog pojasa blago smanjuje koncentraciju CO₂ tokom dana i povećava je tokom noći u zoni tišine, ali bez značajnog uticaja na intenzitet fotosinteze.

Pošto poljozaštitni pojas smanjuje brzinu vetra u zaštićenoj zoni, možemo očekivati da evapotranspiracija i gubici vode generalno budu smanjeni i u zemljištu i u biljnom sklopu naročito u zoni tišine. Ovaj način razmišljanja je podržan eksperimentima u kojima su korišćene velike posude napunjene vodom ili dobro zalivene biljke iza poljozaštitnih pojaseva. Iako smanjena brzina vetra smanjuje intenzitet isparavanja sa zemljišta i evapotranspiraciju biljaka, drugi faktori na koje utiče prisustvo poljozaštitnog pojasa takođe igraju važnu ulogu. Neki od njih su: a) smanjenje upadnog sunčevog zračenja zbog senčenja; b) povećanje temperature zemljišta i vazduha u zoni tišine i c) promene stomatarnog otpora na koje utiču upadno sunčevo zračenje, temperatura i vlažnost vazduha i koje su različite kod različitih biljaka. Očigledno je da poljozaštitni pojasevi utiču na gubitak vode, ali je proces isuviše složen da bi se mogli doneti jednoznačni zaključci.

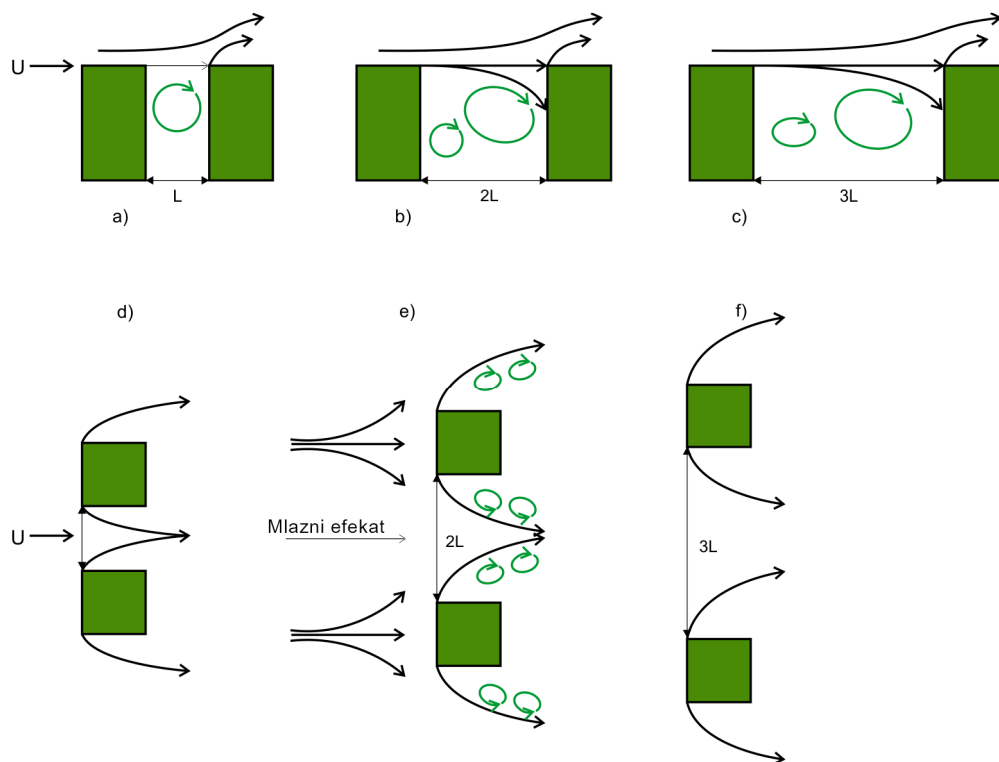


Slika 6.9 Kretanje vetra u prisustvu vetrobrana.

6.4 Uticaj biljaka na vetar

Biljke se često nalaze na površini iznad koje duva vetra. Njihovo prisustvo utiče na vetar direktno, povećavajući trenje između vazduha i zemljišta i indirektno, menjanjem energetskog bilansa površine Zemlje.

Tip, visina i gustina biljnog pokrivača određuju uticaj biljaka na kretanje vazduha. U slučaju kada je površina potpuno pokrivena vegetacijom, možemo očekivati da višlja vegetacija sa višim indeksom lisne površine stvarati veće trenje. Tokom vegetacionog perioda, rast biljaka i razvoj indeksa lisne površine smanjuju hrapavost Zemljine površine. Kada površina nije ravnomerno pokrivena vegetacijom, visina i rastojanje između biljaka mogu značajno uticati na kretanje vazduha (Sl. 6.10).



Slika 6.9. Kretanje vazduha preko biljnih pokrivača različite strukture

Brzina vetra iznad horizontalne površine menja se sa visinom. U slučaju golog zemljišta, obično se koristi logaritamski profil vetra kako bi se opisala promena brzine vetra sa visinom

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0}, \quad (6.5)$$

gde je $u(z)$ brzina vetra na visini z iznad zemlje, u_* je brzina trenja, z_0 je visina hrapavosti, a k je fon Karmanova konstantna, koja iznosi 0,41. Visina hrapavosti se odnosi na visinu iznad površine na kojoj molekularni transport dominira procesima razmene između zemlje i atmosfere (Tab. 6.1).

Prisustvo vegetacije utiče na promenu brzine vetra sa visinom pa se za opisivanje ove promene obično koristi relacija oblika

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z-d}{z_0}, \quad (6.6)$$

gde je d visina ravni nultog pomeranja. To je visina unutar biljnog sklopa na kojoj se turbulentni transfer smatra najintenzivnijim, odnosno na kojoj je najintenzivnija razmena energije, gasova i količine kretanja između biljnog sklopa i atmosfere. Visina hrapavosti i visina ravni nultog pomeranja su aerodinamičke karakteristike površine tla i vegetacije koje mogu da se menjaju u toku vegetacionog perioda zbog promena visine biljaka i indeksa lisne površine. Neke studije daju vrlo grubu procenu ovih parametara, i to $0.6h-0.8h$ za ravni nultog pomeranja i $0.1d$ za dužinu hrapavosti. Međutim, novija istraživanja su pokazala da su to vrlo nesigurne pretpostavke.

Tabela 6.1 Vrednosti visine hrapavosti za različite tipove površina.

Površina	$z_0(m)$
More, pesak, sneg	0.0002
Beton, pustinja	0.0002 – 0.0005
Ravan snežni pokrivač	0.0001 – 0.0007
Neravan snežni pokrivač	0.001 – 0.012
Golo zemljište	0.001 – 0.004
Niska trava	0.008 – 0.03

7 Zemljište i voda

7.1 Komponente vodnog bilansa u sistemu usev - zemljište

Pokretačka snaga čitavog vodnog ciklusa na Zemlji je energija čiji je izvor sunce. Energija se kroz prostor između Sunca i Zemlje prenosi putem elektromagnetnih talasa. Biljke apsorbiraju tu energiju i koriste je za generisanje biomase, odnosno rast i razvoj. Bilans zračenja na površini Zemlje obezbeđuje energiju za komponente energetskog bilansa, gde je evapotranspiracija direktna veza sa vodnim bilansom na površini zemlje (jednačine 7.1-7.3).

Pretpostavka da je neto zračenje (R_{net}) na biljnom sklopu ili bilo kojoj drugoj površini izbalansirano turbulentnim fluksevima latentne toplote (LE) i osetne toplote (H), toplote transportovane u dublje slojeve tla (Q_g) i energije potrošene u procesu fotosinteze (Q_s). Energija koja se troši u procesu fotosinteze (energija sačuvana u biomasi) najčešće se zanemaruje jer su ostale komponente energetskog bilansa više puta veće (oko 1% od R_{net} biljnog sklopa). Energetski bilans se može napisati u sledećem obliku

$$R_{net} = LE + H + Q_g + Q_s \quad (7.1)$$

$$L = 2.45 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1} \quad (7.2)$$

gde se turbulentni fluks latentne toplote izražava preko L - latentna toplota i E - količina vode u kg. Jedinice u kojima su izraženi članovi energetskog bilansa su W m^{-2} ili ako se izražavaju kao suma energetskog fluksa po jedinici površine u toku određenog perioda $\text{MJ m}^{-2} \text{ dan}^{-1}$.

Vodni bilans je povezan sa energetskim bilansom preko člana koji opisuje evapotranspiraciju (LE) bilo koje podloge. Vodni bilans definisane zapremine zemljišta u osnovnom obliku može se zapisati kao

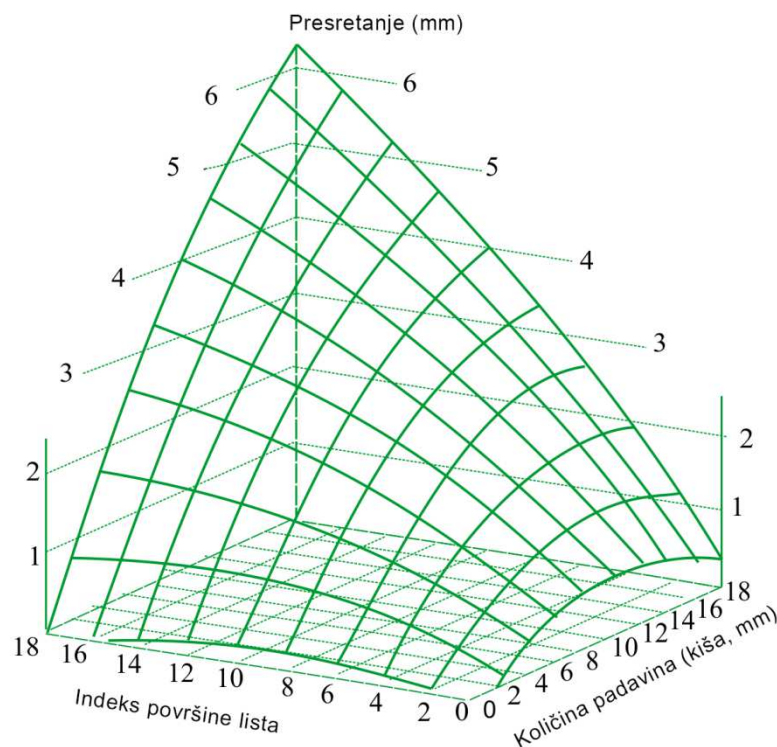
$$P = LE + R + D - K + Q_{sw} \quad (7.3)$$

gde su P padavine ili bilo koji drugi oblik vode koja ulazi u sistem (navodnjavanje), R površinsko oticanje, D drenaža (iz posmatrane zapremine u podzemnu vodu), K kapilarno uzdizanje iz podzemne vode ili horizontalni dotok, Q_{sw} je voda sadržana u zemljištu. Članovi vodnog bilansa dati su kao fluks vode (l m^{-2}) ili kao suma fluksa vode (mase) u određenom vremenskom intervalu (mm dan^{-1} , ako se l m^{-2} izrazi kao 1 mm)

Padavine su prirodan način snabdevanja biljaka i zemljišta vodom iz atmosfere (jedina alternativa je navodnjavanje). Međutim, padavine samo delimično stižu do tla u prisustvu biljnog pokrivača koji prekriva zemljište. Voda se na biljkama zadržava i sa njih može ponovo da se vraća u atmosferu procesom isparavanja. Zadržavanje vode na biljkama i oticanja vode sa površine zemljišta, odnosi na onaj deo vode koji se neće infiltrirati u zemljište. Količina vode koja neće stići do zemljišta

u velikoj meri zavisi od stanja biljaka, strukture biljnog pokrivača i karakteristika samih padavina. Što se tiče režima centralnoevropskih padavina, potpuno razvijeni usevi prosečno zadržavaju 20% od ukupnih padavina, a šume i do 80%. Zato gubitke zbog zadržavanja ne bi trebalo zanemarivati prilikom obračuna vodnog bilansa zemljišta zasnovanog na izmerenim podacima o padavinama.

Količina zadržane vode se može proceniti kao kombinacija indeksa listne površine i količine padavina (Slika 7.1), ali ona takođe zavisi i od struktura biljnog pokrivača (npr. šume nasuprot kultura sa homogenim pokrivačem nasuprot kultura sejanih u redove). Uopšteno govoreći, što je veća količina padavina (intenzitet padavina), to je manje relativna količina zadržane vode u odnosu na ukupne padavine. Međutim, apsolutna količina zadržane vode je manje-više konstantna za određeni biljni sklop. To znači da *raspored padavina po kišnom periodu*, koji je često karakterističan za određene klimatske uslove, u velikoj meri određuje ukupne gubitke zbog zadržavanja vode za duže vremenske periode.



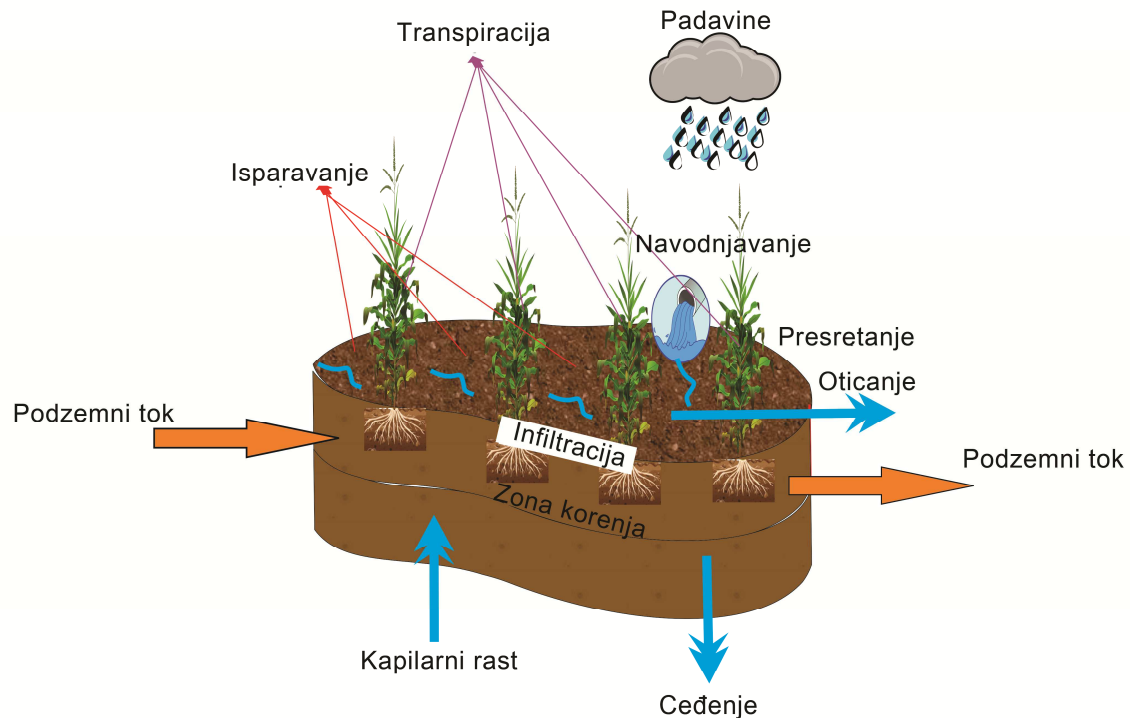
Slika 7.1 Količina zadržane voda kao funkcija padavina i indeksa lisne površine (adaptirano od Hoyningen-Huene, 1980)

Ako voda od padavina stigne na površinu zemljišta, *infiltracija* u zemljište i *oticanje* zavise u velikoj meri of karakteristika zemljišta (fizičke i hemijske osobine zemljišta). Ključnu ulogu za veličinu infiltracije vode u zemljište igraju raspored i veličine pora na površini zemljišta, struktura površine zemljišta, uključujući i aspekte kao što su biotske pore (posebno one od kišnih glista), sadržaj humusa i stabilnost pora tokom kiše. Osim toga, naprsline uzrokovane sušenjem glinovitih zemljišta mogu značajno

izmeniti karakteristike infiltracije (količina vode koja se može infiltrirati u zemljište u toku određenog vremenskog intervala).

Vodni bilans biljnog sklopa može se povezati i sa zapreminom korena (korenska zona) useva, što uvodi dodatne komponente za izračunavanje, kao što je podzemni protok vode, koji je često prisutan na brežuljkastim terenima (Slika 7.2).

Iz određene zapremine zemljišta (npr. zona korena) voda se može procediti ili perkolirati u dublje slojeve (npr. doći do nivoa podzemne vode) ili se može dići uz pomoć kapilarnih sila u zonu korena iz vlažnijih slojeva zemljišta ili iz podzemne vode.



Slika 7.2 Komponente vodnog bilansa sistema usev – zemljišne (izvor: BOKU-Met)

Ukupna zapremina pora određuje ukupnu količinu vode koju neko zemljište može preuzeti. Međutim, u prosečnim poljskim uslovima, zemljište je uglavnom delimično zasićeno vodom (Tabela 7.1). Srednje mineralizovano zemljište (uobičajeno poljoprivredno zemljište) ima sledeći prosečan sastav kao na primeru u tabeli 7.1.

Tabela 7.1 Sastav srednje mineralizovanog zemljišta (u zapreminskim procentima)

Mineralne supstance	45 %
Zapremina vazduha	25 %
Zapremina vode	23 %
Organske supstance – od toga:	7 %
• Humus	85 %
• Korenje biljaka	15 %

Suva težina zemljišta po jedinici zapremine (zapreminska gustina) može se značajno razlikovati u zavisnosti od sastava zemljišta (Tabela 7.2).

Tabela 7.2 Zapreminska gustina zemljišta različitih sastava (u g cm⁻³).

Površinski sloj zemljišta (sa humusom)	0,9 - 1,3
Organska zemljišta	0,2 - 0,8
Mineralna zemljišta	1,4 - 1,5
Sabijena mineralna zemljišta	>1,5

Zapreminska gustina se može izračunati na osnovu suve mase i zapremine iz zemljišne sonde na sledeći način:

$$BD = SM / V \quad (7.4)$$

gde je BD zapreminska gustina (g cm⁻³), SM suva masa iz zemljišne sonde (g) i V zapremina zemljišne sonde (najčešće u obliku malih metalnih cilindara) u cm³.

Pore u zemljištu su važan deo funkcije zemljišta, a mogu biti ispunjene vodom ili vazduhom (Tabela 7.1). Udeo ukupne zapremine pora u odnosu na ukupnu zapreminu zemljišta zavisi u velikoj meri od vrste zemljišta (Tabela 7.3). Ako neko zemljište postane gušće (npr. zbog sabijanja), doći će do povećanja zapreminske gustine i smanjenja ukupne zapremine pora (u kombinaciji sa promenom raspodele veličine pora u zemljištu). Odnos između zapreminske gustine i zapremine pora zavisi, međutim, od mineralnog sastava zemljišta i raspodele veličine pora.

Tabela 7.3 Udeo čvrstih čestica u ukupnoj zapremini zemljišta (obrnuto u odnosu na ukupnu zapreminu pora).

Manje organska mineralna zemljišta (tipično za obradiva zemljišta)	50%
Zemljišta sa višim sadržajem organskih materija (tipično za zemljišta pod šumom, pašnjakom)	40 - 45%
Zemljišta sa veoma visokim sadržajem organskih materija (npr. močvare)	10 - 35%
Sabijena mineralna zemljišta	60 - 65%
Peskovito zemljište	44 - 64%
Praškovito zemljište	45 - 70%
Glinovito zemljište	30 - 65%

Zapremina zemljišnih pora može se izračunati na sledeći način

$$PV = 1 - (BD / SD) * 100 \quad (7.5)$$

gde je PV zapremina zemljišnih pora (zapreminski %), BD zapreminska gustina (g cm^{-3}), SD specifična masa čvrstih čestica zemljišta (g cm^{-3}).

Ukupna zapremina pora u nekom zemljištu određuje koliko vode to zemljište može sadržati. Međutim, to u velikoj meri zavisi od distribucije veličine pora, koja određuje kapilarne sile, odnosno snagu kojom zemljište može držati vodu, odnosno vodni potencijal

Ovo, a posebno raspodela pora po veličini u zemljištu, utiče direktno na skladištenje i kretanje vode u zemljištu (smer, brzina i količina u jedinici vremena), na usvajanje vode iz zemljišta od strane korena, na oticanje vode u dublje slojeve zemljišta i na infiltraciju vode u zemljište. Raspodelu veličine pora u zemljištu nije lako proceniti, npr. ceđenjem vode iz uzorka vlažnog zemljišta pri različitim nivoima vazdušnog pritiska, dobija se vrednost zapremine pora u spektru određenih veličina pora.

Prema vodnom potencijalu zemljišta, voda sadržana u zemljištu može se deliti na sledeći način:

- Podzemna voda: Voda sadržana u dubljim slojevima zemljišta, gdje su sve pore popunjene vodom
- Drenažna voda: Voda koja teče odozgo na dole pod uticajem gravitacije.
- Dostupna voda: Deo vode koji zemljište zadržava usprkos gravitacije i koji je dostupan biljkama.
- Mrtva voda: Voda koja je snažno vezana za zemljište i može se odvojiti od njega isključivo isparavanjem (tj. zagrevanjem uzorka zemljišta u peći).

7.2 Faktori koji određuju kretanja vode iz zemljišta i unutar zemljišta

U slučaju padavina, deo vode koji ne otekne ili ne ispari će se infiltrirati u zemljište. Brzina kojom se ovaj proces odvija je stopa infiltracije sa površine zemljišta, koja je presudno određena protokom vode u samom zemljištu. U slučaju jednostavnog (jednodimenzionalnog) pristupa, to se može izračunati prema Darcijevom zakonu:

$$Q_w = k_w \cdot \left(\frac{d\Phi}{dl} \right) \quad (7.6)$$

ili

$$V_w = k_w \cdot \left(\frac{h_w}{dl} \right) \quad (7.7)$$

gde je Q_w fluks (protok) vode ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$), k_w je empirijska konstanta fluksa, V_w je brzina protoka (cm s^{-1}), $d\Phi$ je razlika u pritiscima (MPa), h_w je hidraulični pritisak, dl je razdaljina između dve tačke u zemljištu (cm).

Veliki raspon protočnog kapaciteta vode (ili sa njim u vezi kapaciteta infiltracije) kroz zemljište (ili bilo koju površinu koju je čovek modifikovao) vodi,

prema Darsijevom zakonu, ka važnim karakteristikama zemljišta koje se odnose na celokupni vodni bilans kao funkcije ekosistema (Tabela 7.4).

Tabela 7.4 Opseg karakteristika protoka vode u zemljištima.

Konstanta protoka k	Provodljivost vode u zemljištu (u cm po danu)	Vreme potrebno protok od 10 mm (= 100m ³ ha ⁻¹)	Provodljivost vode za (poroznost)
10 ⁻¹	8640	10 s	Visoka - brz protok
10 ⁻²	864	1 min. 40 s.	
10 ⁻³	86	16 min. 40 s.	
10 ⁻⁴	8,6	2 h. 46 min.	Srednja
10 ⁻⁵	0,86		
10 ⁻⁶	0,086	11 dana	Niska - spor protok
10 ⁻⁷	0,0086		
10 ⁻⁸	0,00086	1 godina	

7.2.1 Kapacitet zadržavanja vode dostupne usevima

U slučaju jakih padavina ili posle otapanja snega, potrebno je određeno vreme da se višak vode infiltrira u zemljište. Zemljište može primiti i zadržati onoliko vode koliko je sposobno da je drži protiv sile gravitacije. Ovaj nivo sadržaja vode pri određenom vodnom potencijalu zemljišta (pF 1.8-2) naziva se **poljski vodni kapacitet** (FC) (Tabela 7.5).

Sa druge strane, biljka može da usvaja vodu iz zemljišta samo dok postoji razlika u vodnom potencijalu između vode koju su usvojile korenske ćelije i okolne vode u zemljišnim porama. Ako to nije slučaj, i kada je sadržaj vlage u zemljištu već

Tabela 7.5 Karakteristike napona vode (vodni potencijal) u zemljištu.

Vodni zemljišta (u cm vodenog stuba)	potencijal pF vrednost	Vrednost u barima	Klasa
15 000 – 10 000	Pri određenom koji zavisi od tipa	sadržaju vode zemljišta	Stalna tačka
	4,2 – 4,0	15 – 10	

1 000	3,0	1,0	venjenja Sporo pokretna voda
100	2,0 1,8 – 2,0	0,1	Pokretna voda Poljski vodni kapacitet
10	1,0	10^{-2}	Drenažna voda
1	0,0	10^{-3}	Proceđena voda

znatno smanjen (povećani broj pora ispunjenih vazduhom), voda se više ne može premeštati ka korenu i ne može se izvući iz zemljišta, a to se zove *stalna tačka venjenja* (PVP) (Tabela 7.5). Koren takođe može gubiti vodu u zemljište ako se vodni potencijal zemljišta poveća, ali biljke imaju određene mehanizme za zaštitu od ovog procesa (kao što su smanjenje prečnika korena ili pružanje otpora gubitku vode).

Biljka može usvajati vodu iz zemljišta od tačke poljskog kapaciteta do tačke venjenja. Količina vode između ovih granica naziva se *voda dostupna biljkama* (Slika 7.3). Međutim, jasno je da se sadržaj vlage u zemljištu, poljski vodni kapacitet i tačka venjenja značajno razlikuju od jednog tipa zemljišta do drugog, što umnogome zavisi od *rasporeda veličina pora*.

To znači da postoji određeni odnos, koji je specifičan za svaki tip zemljišta, između vodnog potencijala (pritisak vode ili napona) i sadržaja vlage u zemljištu, koji se izražava/iskazuje pF krivom (Slika 7.3).

Sadržaj vode u zemljištu može se prikazati kao udeo mase (npr. g / g) ili kao udeo zapremine (npr. cm³ / cm³) i povezano sa raspoloživim metodom merenja:

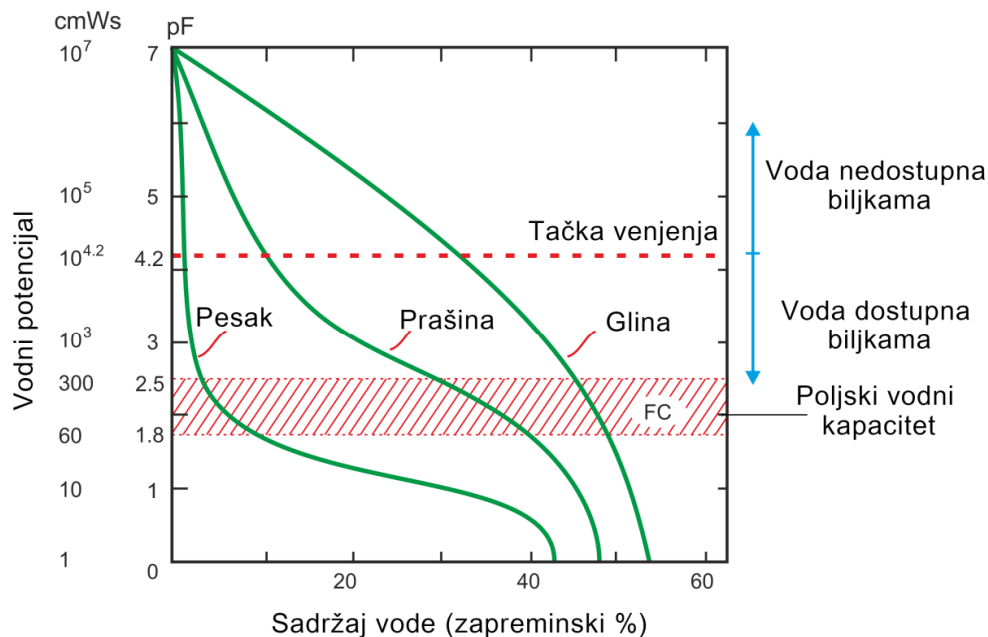
Gravimetrijski metod (merenje uzorka zemljišta pre i posle sušenja u peći na 100°C)

$$SWC_G = 100 \cdot \left(\frac{Soil_{wet} - Soil_{dry}}{Soil_{dry}} \right) \quad (7.8)$$

gde je SWC_G sadržaj vlage u zemljištu (maseni %), $Soil_{wet}$ masa vlažnog uzorka (g), $Soil_{dry}$ masa uzorka posle sušenja u rerni (g).

Volumetrijski metod (merenje sadržaja vlage u zemljištu metodima određivanja zapremine vode u uzorku zemljišta elektronskim putem kao što je Time Domain reflektometrija). Volumetrijski sadržaj vlage u zemljištu može se izračunati na osnovu gravimetrijske jedinice, kada je zapreminska gustina zemljišnog uzorka poznata, na sledeći način (pod pretpostavkom da je gustina vode $D_w = 1 \text{ g cm}^{-3}$)

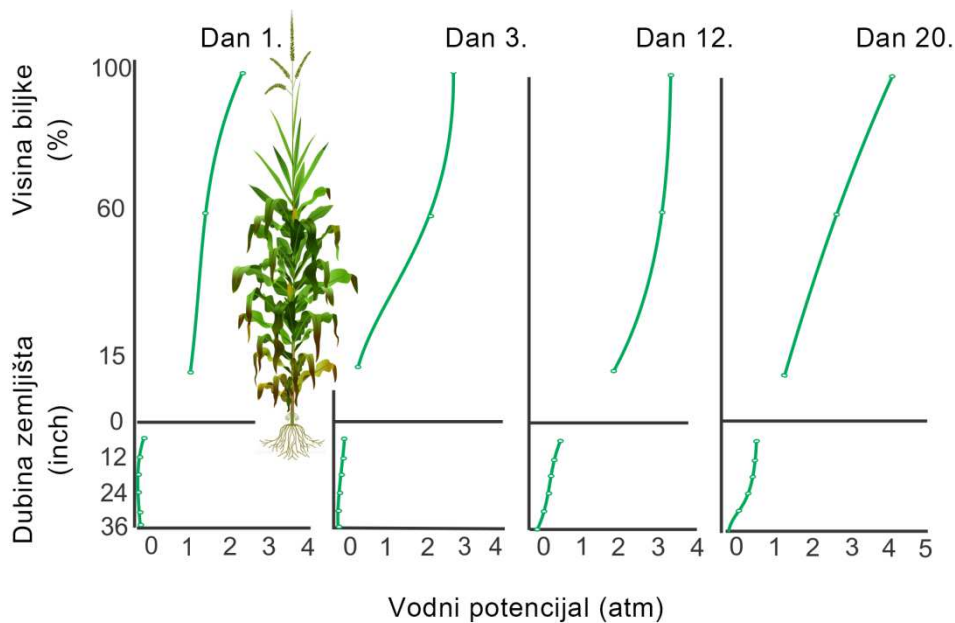
$$SWC_V = SWC_G \cdot \left(\frac{BD}{D_w} \right) \quad (7.9)$$



Slika 7.3 Šema zavisnosti vodnog potencijala od sadržaja vlage u različitim tipovima zemljišta; FC poljski vodni kapacitet, PWP stalna tačka venjenja; cmWS centimetara vodenog stuba (jedinica pritiska vode ili potencijala); pF logaritamska vrednost cmWS (adaptirano od Scheffer und Schachtschabel, 1982).

Vodni potencijal se menja od zemljišta do useva i atmosfere kao i unutar same biljke. Na primer, tačka venjenja u zemljištu je 15 bara (~1520 kPa), dok u vazduhu pri 20°C i 50% vlažnosti napon vode iznosi 2000 bara (~2027 MPa), što stvara ogromnu potencijalnu razliku od zemljišta do atmosfere, sa biljkom kao medijumom za prenos vode između ta dva sistema.

Ova potencijalna razlika od korena do listova (Slika 7.4) takođe je glavna sila koja omogućava protok sokova kroz ksilem biljnih organa usprkos gravitaciji, gde voda takođe prenosi hranljive materije i minerale delovima biljke koji rastu i razvijaju se.



Slika 7.4 Razvoj vertikalnog gradijenta zemljišnog i biljnog vodnog potencijala u biljkama kukuruza tokom maksimalnog isparavanja prilikom razvoja suše posle navodnjavanja (adaptirano od Shinn and Lemon, 1962).

7.3 Ekstrakcija vode iz zemljišta preko korenovog sistema

Prilikom transporta vode iz zemljišta u atmosferu, biljka stvara "prečicu" i transportuje vodu iz zemljišta u atmosferu efikasnije nego iz golog zemljišta, bez ikakvog useva. U tom smislu prisustvo rastućih biljaka značajno smanjuje otpor vode prema transportu od zemljišta do atmosfere. To takođe dovodi do bržeg preuzimanja vode iz zemljišta, što ima praktičnu važnost u gajenju useva u sušnim područjima. Na primer, rotacije useva u sušnim područjima bez mogućnosti navodnjavanja često uključuju godine bez useva (golo zemljište) kako bi se obnovile vodne rezerve zemljišta.

Usvajanje vode (i hranjivih materija) od strane korena biljke uglavnom se obavlja na nivou ćelija korenskih dlačica, koje se nalaze na vrhu rastućih korenova.

Generalno, potencijalna ekstrakcija vode od strane korena može se izračunati Gardnerovom formulom, uzimajući da su potencijalna razlika i otpor vodenog toka između korena i zemljišta kako sledi:

$$W_A = EA : \left(\frac{\Phi_{soil} - \Phi_{root}}{\Sigma r} \right) \quad (7.10)$$

gde su W_A potencijalna količina vode koju usvaja koren, EA aktivna površina korena (u $\text{cm}^2 \text{ cm}^{-3}$), Φ je hidraulički potencijal korena / zemljišta, r otpor vodenog toka u zemljištu i između zemljišta i korena.

Međutim, treba uzeti u obzir da je usvajanje vode i hranjivih materija veoma dinamičan i složen proces na koji dodatno utiču faktori kao što su temperatura

zemljišta, arhitektura korena, dubina korena i gustina korena u zemljištu, bolesti korena, itd.

Apsolutna količina vode dostupna biljkama može se proceniti tako što se kombinuje kapacitet zemljišta da skladišti vodu dostupnu biljkama sa dubinom ukorenjavanja tipičnom za posmatrani tip zemljišta (Tabela 7.6). Na primer, korenje teško prodire kroz pesak zato što nedostaju stabilne pore, što nije slučaj sa bolje strukturisanim zemljištima koja poseduju stabilne pore (koje su često rezultat biotičkih aktivnosti, kao što je aktivnost kišnih glista).

Tabela 7.6 Efektivna dubina korena i pristupačna vode kao funkcija tipa zemljišta (srednje zapreminske gustine).

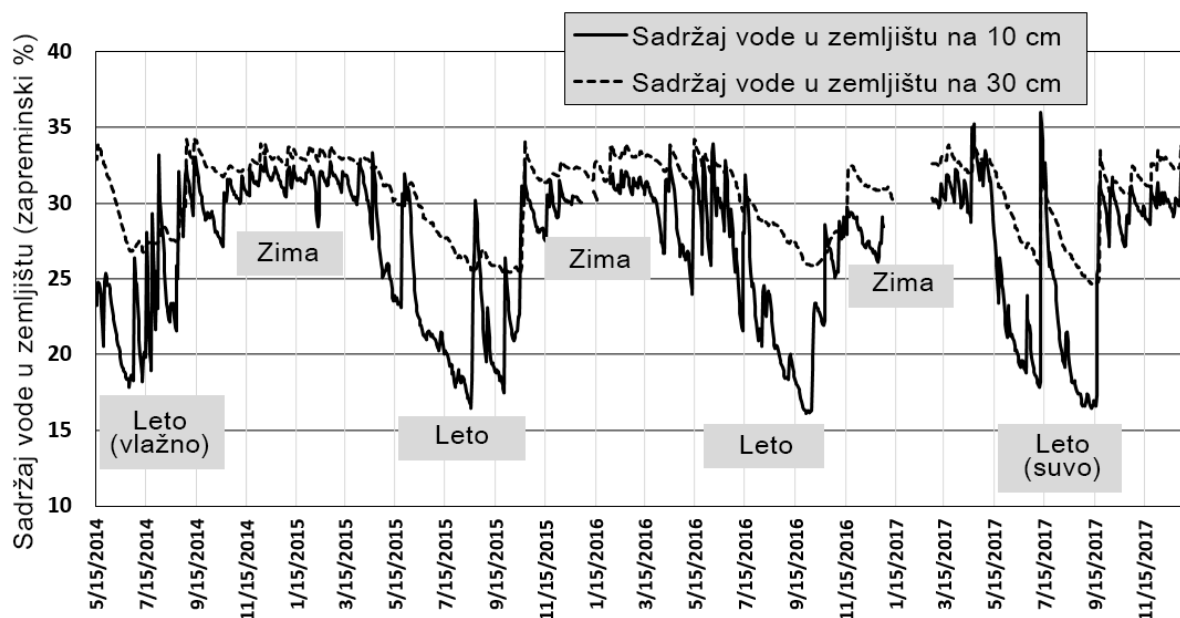
Tip zemljišta	Srednja efektivna dubina korena kod strnih žita (dm)	Voda u zemljištu dostupna biljkama (mm)
Krupan pesak	5	30
Pesak srednje veličine	6	55
Sitan pesak	7	80
Ilovasti pesak	7	115
Praškasti pesak	8	140
Ilovasti prah	11	220
Peskovita ilovača	9	155
Praškasta ilovača	10	190
Glinovita ilovača	10	165
Ilovasta glina	10	140

Potrebe za vodom useva koji je u fazi rasta kreću se u opsegu od 200 do 600 kg vode po 1 kg suve biomase. Prema tome, za optimalne prinose useva potrebno je da u periodu rasta useva količina padavina (više ili manje redovno raspoređena) bude oko 300-500 mm. Potražnja vode za akumulaciju biomase kod jedne biljke određuje se *koeficijentom transpiracije*. Za razliku od toga, ukupna potrošnja vode u polju pod usevom (uključujući neproduktivno isparavanje) potrebna da se dobije određeni prinos definiše se pojmom "*otisak vode*" (*eng. water footprint*) u usevu ili *produktivnost vode* (gde je zeleni "otisak" voda koja dolazi od padavina, a plavi voda

od navodnjavanja). Dodatne informacije o uticaju "otiska vode" mogu se naći u poglavlju o klimatskim promenama i adaptaciji (poglavlje 12.7.2).

Pošto biljke efikasno usvajaju vodu uskladištenu u zemljištu svojim korenskim sistemom, sadržaj vlage u glavnoj zoni korena generalno će se smanjivati tokom glavnog vegetacionog perioda u leto (Slika 7.5), često se približavajući tački venjenja tokom sušnih leta (što zavisi od toga koliko je zemljišna vlaga dostupna biljkama).

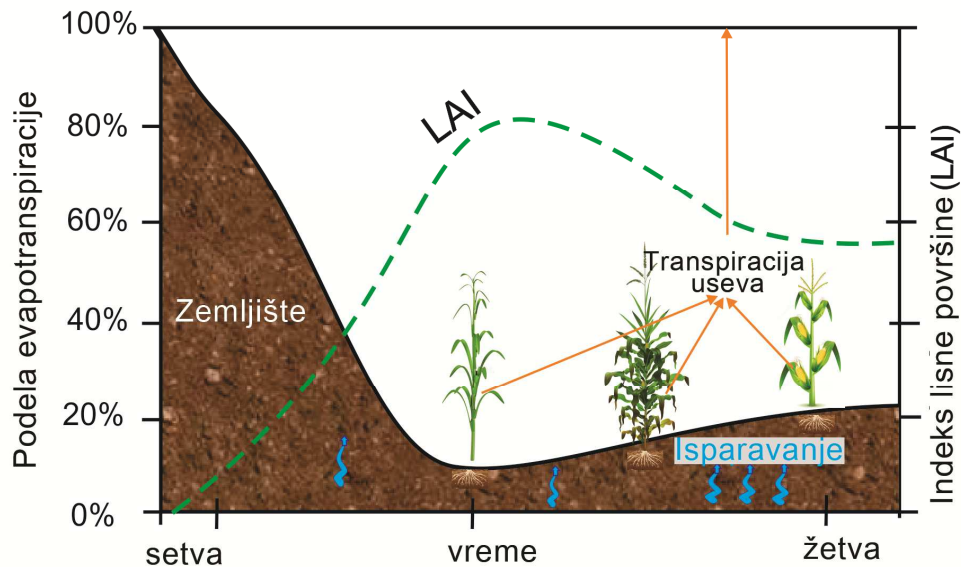
Kako se sadržaj vlage u zemljištu pod rastućom kulturom približava tački venjenja, smanjivanje vlažnosti se usporava po jedinici vremena (npr., leto 2017 na Slici 7.5), jer korenu treba više vremena za usvajanje vode zbog povećanja otpora protoku vode kroz zemljište. Ako se to desi, biljke su već pod stresom od sušenja, pokazujući tipične reakcije kao što je zatvaranje stomata dana ili sušenje listova.



Slika 7.5 Izmereni sadržaji vlage za dve dubine zemljišta u periodu od 4 godine (2014-2017) na jednoj centralnoevropskoj lokaciji (Maršfeld, Istočna Austrija) koja je pod mešavinom trajnih useva. Povećanja sadržaja vlage u zemljištu izazvana su padavinama.

7.4 Isparavanje zemljišta i transpiracija (evapotranspiracija)

Kada se razmatra dinamično promenljivi vegetacioni pokrivač (koji raste i razvija se) u okviru izračunavanja vodnog bilansa nekog useva, pre svega je potrebno proceniti udeo isparavanja zemljišta u odnosu na udeo transpiracije u ukupnoj evapotranspiraciji.

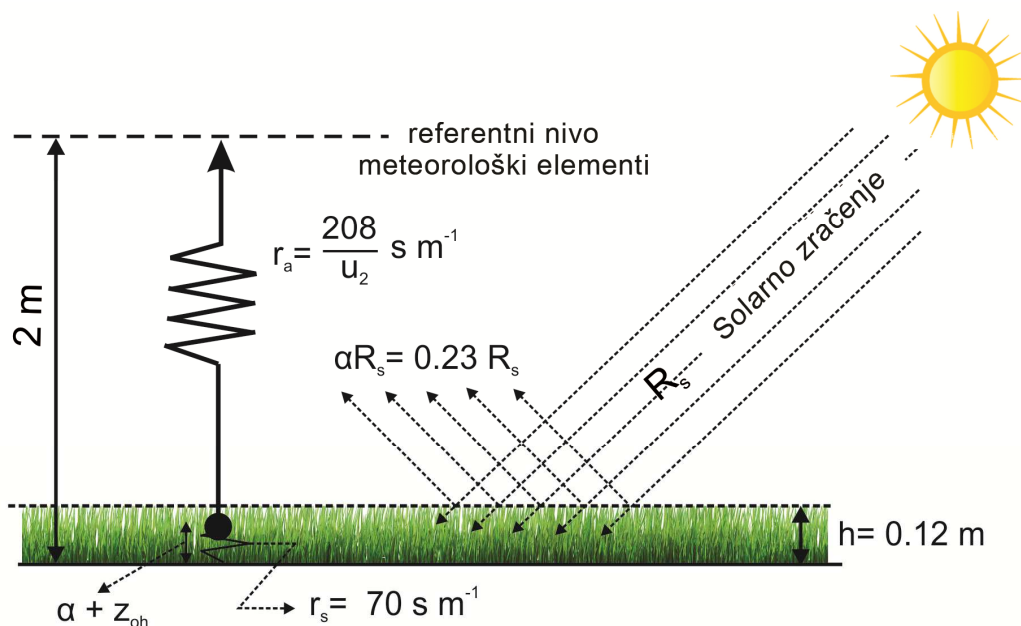


Slika 7.6 Podela evapotranspiracije na isparavanje zemljišta i transpiraciju za vegetacioni period neke jednogodišnje poljoprivredne kulture (Alen i sar., 1998).

7.4.1 Pojednostavljeni pristup izračunavanju stvarnog vodnog bilansa u sistemu zemljište - biljka koji omogućava agrometeorološku primenu (metod FAO)

FAO (Alen i sar., 1998) je razvio praktičan pristup za simulaciju bilansiranja vode u sistemu zemljište - biljka, koji je posebno primenljiv kod planiranja navodnjavanja useva (Slika X9). Ovaj pristup se zasniva na pojednostavljenom izračunavanju stvarne evapotranspiracije useva, metod koji su prvobitno definisali Penman i Monteith (Penman Monteith) (pogledati i poglavlje 15 Numerički primeri). Ovaj pristup se takođe koristi u softveru "AQUACROP" koji je dostupan na sajtu FAO i koji je ispitan za mnoge useve i regione širom sveta.

Metod započinje parametrizacijom (Slika 7.7) referentne evapotranspiracije trave (Jednačina 7.11) za period od jednog dana. Metod zahteva upotrebu izmerenih meteoroloških elemenata koji se mogu preuzeti sa lokalnih meteoroloških stanica.



Slika 7.7 Šema FAO Penmana i Montita metoda izračunavanja referentne evapotranspiracije trave (Allen i sar., 1998)

Panel eksperata preporučio je da se kombinovani metod Penmana i Montita usvoji kao novi standard za referentnu evapotranspiraciju i dao sugestije o procedurama za izračunavanje različitih parametara. Penman i Montit definišu referentnu kulturu kao hipotetički usev sa pretpostavljenom visinom od 0,12 m, koji ima površinsku otpornost od 70 s m^{-1} i albedo od 0,23, što je vrlo slično isparavanju sa veće površine pod zelenom travom koja je ujednačene visine i koja aktivno raste i adekvatno se zaliva. Ovaj metod prevazilazi nedostatke prethodnog FAO metoda Penmana i daje vrednosti koje su u skladu sa stvarnim podacima o utrošku vode iz raznih delova svetau.

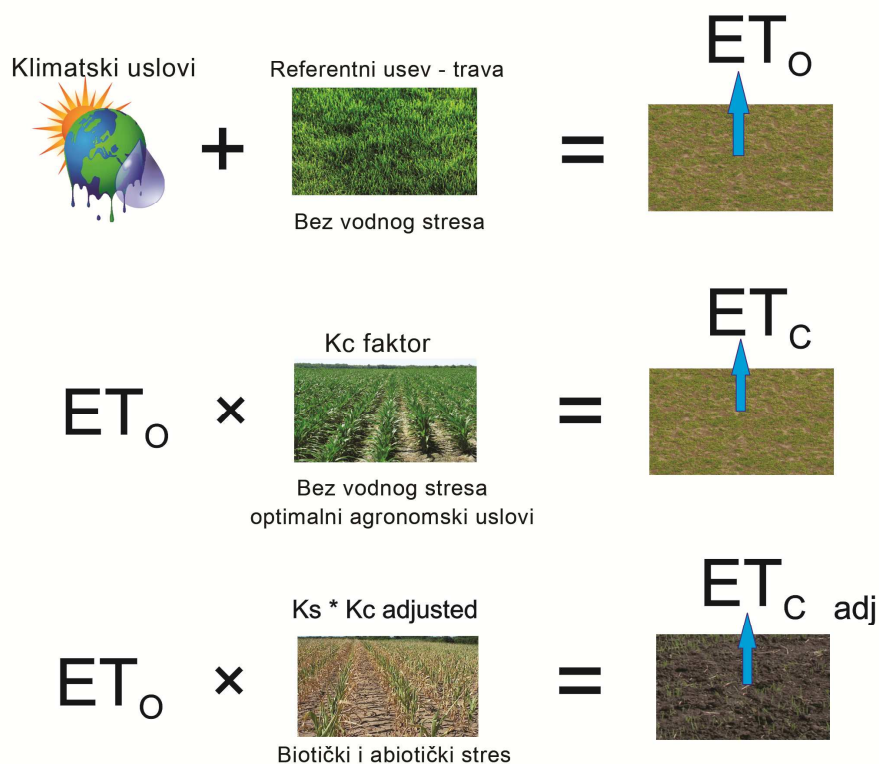
Na osnovu originalne jednačine Penmana i Montita i jednačina aerodinamičnog i površinskog otpora, FAO metod Penmana i Montita za procenu referentne evapotranspiracije (ET_o) se izražava kao

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_{net} - Q_G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \quad (7.11)$$

gde je ET_o referentna evapotranspiracija (mm dan^{-1}), R_{net} neto zračenje na površini useva ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dan}^{-1}$), Q_G gustina fluksa toplote u zemljište ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dan}^{-1}$), T srednja dnevna temperatura vazduha na visini od 2m ($^{\circ}\text{C}$), u_2 brzina vetra na visini od 2m (m s^{-1}), e_s pritisak zasićene vodene pare (kPa), e_a stvarni pritisak vodene pare (kPa), $e_s - e_a$ deficit pritiska zasićene pare (kPa), Δ - nagib krive pritiska vodene pare ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$), γ psihrometrijska konstanta ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

U sledećem koraku (Slika 7.8), primenjuje se faktor Kc koji je specifičan za svaki usev, a opisuje fenološki razvoj i pokrovnost useva u toku perioda rasta i razvića. Ovaj faktor se koristi da se referentne vrednosti trave prevedu na stvarne vrednosti ispitivanih useva. Obe ove vrednosti, referentna i stvarna, izračunavaju se

za uslove bez vodnog stresa. U poslednjem koraku, vodni stres se dodatno uključuje kao faktor smanjenja stvarne evapotranspiracije, koristeći stvarne vrednosti sadržaje vlage u zemljištu od prethodnog dana. Stvarni dnevni gubitak vlage izračunat na osnovu stvarne evapotranspiracije će se zatim upotrebiti da se ažurira sadržaj vlage za konkretni dan.



Slika 7.8 Referentna evapotranspiracija (ET_o), evapotranspiracija useva pod standardnim (ET_c) i nestandardnim uslovima (ET_c adj) koje se koriste za izračunavanja vodnog bilansa (Allen i sar., 1998)

7.5 Osnovni pristupi proračunu vodnog bilansa zemljišta

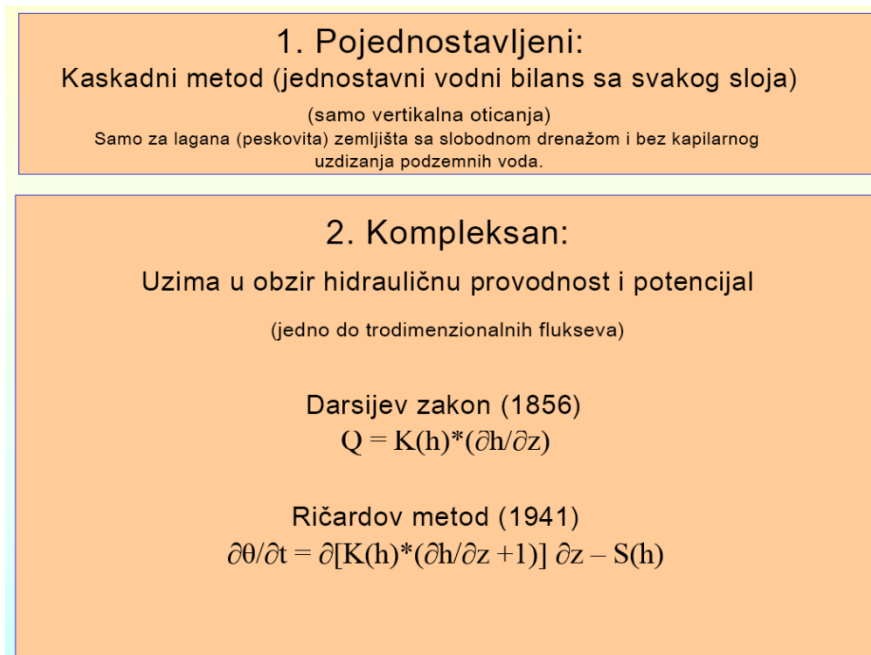
Postoje razni pristupi izračunavanju sadržaja vlage u različitim slojevima zemljišta (Slika 7.9), koji zavise od specifične primene, kao i od raspoloživih fizičkih podataka o zemljištu.

Procedura koja zahteva manje ulaznih podataka je *jednostavan, jednodimenzionalni pristup za izračunavanje bilansa vode u pojedinačnim slojevima zemljišta, koji se naziva i kaskadni pristup*. Kaskadni pristup pretpostavlja da ulazna voda dotiče samo vertikalno, od površinskog sloja zemljišta ka dubljim slojevima. U ovom pristupu, veštački definisani slojevi zemljišta se pune vodom do svog poljskog vodnog kapaciteta, a kada je neki sloj već "pun", onda voda prelazi u sledeći dublji sloj i popunjava ga do poljskog vodnog kapaciteta.

U ovom pristupu potrebno je znati "samo" sposobnost zemljišta da zadržava vodu do poljskog vodnog kapaciteta (ili zasićenja), da bi izračunali vertikalno kretanja vode u zemljištu i sa tim povezane promene sadržaja vlage u slojevima zemljišta posle kiše. Ako se ovaj pristup primeni za dnevni obračun, on radi relativno dobro u homogenim zemljištima sa srednjim vrednostima vodopropustljivosti (Tabela 7.5).

U sledećem, složenijem pristupu, koristi se vodopropustnost (prema **Darsijevom pristupu**) od jednog sloja do drugog. Međutim, što su slojevi zemljišta slabije definisani, to se traži više podataka za tačniji proračun, a ti podaci obično nisu dostupni za agrometeorološke potrebe. Međutim, ovaj pristup se često koristi u agrometeorološkim modelima i modelima za procenu visine prinosa ili količina vode potrebnih za navodnjavanje. Sa druge strane, u tim pristupima ponekad se uvodi vertikalni kapilarni dotok vode iz nižih slojeva.

Najsloženiji i fizički ispravni pristupi uzimaju u razmatranje trodimenzionalni protok vode u zemljišnoj matrici, tj., razlike potencijala zemljišne vlage u trodimenzionalnoj matrici koja uključuje ulazne i izlazne vrednosti (zasnovano na Richardovoj jednačini) i Van Genuhtenov metod koji uključuje proračun retencione krive zemljišne vlage u razmatranje procesa vlaženja i sušenja zemljišta. Samo takvi složeni pristupi koji obuhvataju fizičke heterogenosti zemljišta, pod uslovom da su relevantni fizički podaci o zemljištu poznati ili procenjeni mogu sa velikom tačnošću da procene količinu vlage u zemljištu.



Slika 7.9 Osnovni pristupi izračunavanju vodnog bilansa zemljišta za agrometeorološke primene, gde su Q - količina vode/vreme/površina, θ sadržaj vode, t vreme, S izvor/ponor, K hidraulična provodnost, h vodni potencijal, z vertikalno rastojanje (izvor: BOKU-Met).

Primena

8 Fenologija

8.1 Uvod

Izraz “fenologija” je izvedena iz grčke reči *phainesthai* (pojaviti se). Ona opisuje pojave koje se dešavaju tokom životnog ciklusa biljaka i životinja pod uticajem periodičnih promena u okolini, posebno svetlosnih uslova (dužina dana i sunčevo zračenje), temperature i padavina, koje mogu delovati u različitim kombinacijama. Temperatura je najvažniji parametar fenologije biljaka koje rastu u uslovima umerenog klimata, gde povećane temperature dovode do bržeg razvoja useva. Već je Reaumur (1735) pisao o visokoj korelaciji između razvoja biljaka i temperature vazduha (verovatno pod uticajem visoke korelacije između temperature i sunčevog zračenja). On je bio prvi koji je predložio metodu sume temperatura za izračunavanje fenološkog razvoja. Otada, njegovo zapažanje je bilo osnova za sve kasnije fenološke modele. Međutim, fenološka opažanja su poznata još od drevnih vremena, kao što su ona iz Kine od pre 2000 godina, ili ona iz Japana, gde je početak cvetanja višnje tradicionalno beležen još pre mnogo vekova (Nejedlik and Orlandini, 2008). . Sezonske promene vremenskih uslova su primarni mehanizmi koji pokreću fenologiju biljaka i životinja (naročito insekata). Godišnja doba su manje ili više ponovljene godišnje varijacije klime, prvenstveno uzrokovane godišnjim varijacijama sunčeve energije koju apsorbuje površina zemlje i sa tim povezanih uticaja na ravnotežu površinske energije na određenoj geografskoj širini. Drugi faktori, kao što su udaljenost od okeana, uticaj regionalnih sistema vetrova i okeanskih struja, kao i opšta topografija takođe utiču na sezonsku klimu na regionalnom nivou.

Fenološki događaji i njihove međusezonske i međugodišnje varijacije imaju značajan uticaj na kopnene ekosisteme i ljudska društva preko menjanja globalnih ciklusa ugljenika, vode i azota, poljoprivrednu proizvodnju, trajanja sezone oprašivanja ili pojave bolesti i štetočina. Fenologija useva je zato osnova za razumevanje unutar- i među-godišnjih varijacija procesa koji se dešavaju u agroekosistemima. Shodno tome, mnogi modeli koji se primenjuju u poljoprivredi, kao što su upozorenja na rizike po useve, upozorenja na štetočine i bolesti, prognoza prinosa ili modeli rasta i razvoja useva, moraju sadržati fenološke modele kao ključni element (vidi poglavlje 11).

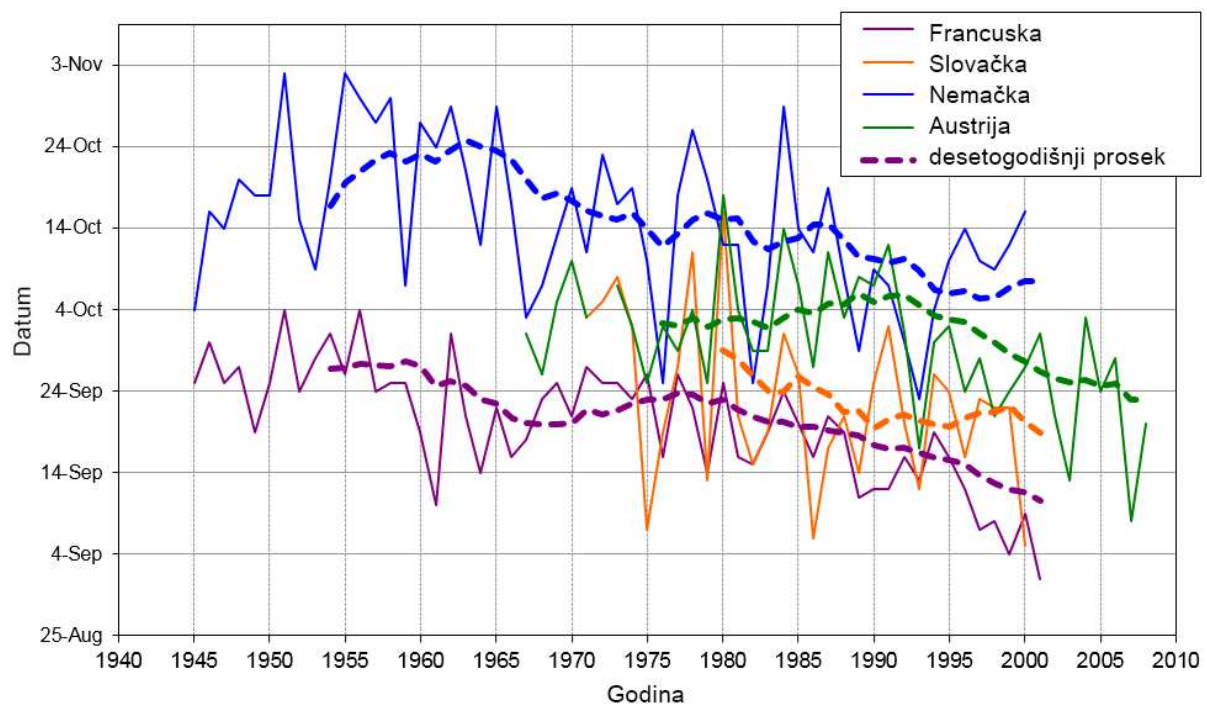
Sve vrste su reagovala na klimatske uslove okruženja tokom svoje evolucione istorije. Stoga se fenologija biljaka takođe koristila u prošlosti kao klimatski indikator u metodama klimatskog mapiranja (npr., zbog poklapanja klimatske klase sa tipičnom vrstom vegetacije u nekom regionu). Ipak, klimatske promene iz prošlosti najčešće se opisuju kao relativno spori i postepeni procesi, što je omogućilo nesmetano evoluciono prilagođavanje ili smenu. Sada međutim postoji zabrinutost kako će različite vrste i ekosistemi reagovati na nedavno utvrđenu brzu stopu *klimatskih promena*. Mnoge biljne vrste iz određenog ekosistema prilagodile su se ekološkim nišama datog ekosistema zahvaljujući dugotrajnoj izloženosti klimatskim uslovima; te upravo te biljne vrste i mogu biti prilično osetljive čak i na skromne brze

promene klime. Rastuće temperature u kombinaciji sa prostorno promenljivim trendovima padavina utiču ne samo na biljke koje prirodno rastu u nekom okruženju i na to samo okruženje, već one takođe utiču na useve u kultivisanim ekosistemima, direktno ili indirektno.

Povećanje temperature i dalje promene u klimatskim uslovima već su uticale na ekosisteme na svim kontinentima. Uočene promene uključuju povećanje ukupnog vegetacionog perioda i promene uslova za prezimljavanje u umerenim klimatima. U kombinaciji sa ovim vremenskim pomeranjima uslova za rast i razvoj biljaka, prostorne promene klime i odgovarajućih ekoloških zona utiču na proizvodne uslove u poljoprivredi, kao što su promene u geografskoj širini i nadmorskoj visini.

Fenološka opažanja različitih biljnih vrsta potvrđuju da je razvoj (fenologija) useva ubrzan zbog klimatskog zagrevanja, na primer kod grožđa (Slika 8.1). Prema tome, praćenje fenologije služi kao indikator životnog ciklusa koji odražava uticaj vremenskih prilika na vegetaciju, što se u mnogim zemljama sprovodi stalnim posmatranjem, npr. u fenološkim vrtovima ili redovnim posmatranjima u prirodi. Klimatsko zagrevanje izazvalo je značajan porast interesovanja za fenološke procese kao indikatore uticaja klimatskih promena.

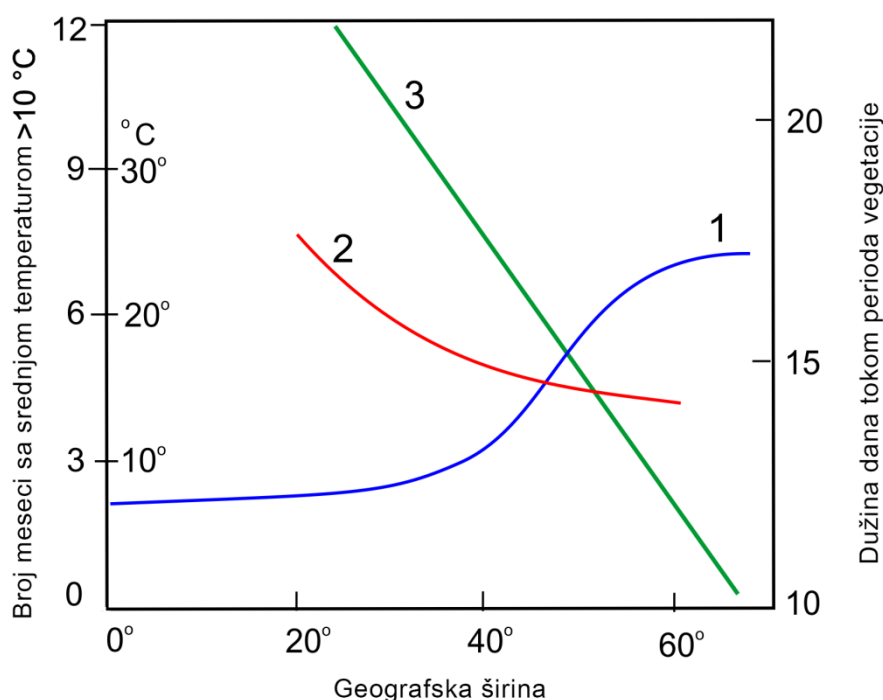
Vremensko određivanje fenoloških događaja takođe je od značaja za planiranje odgovarajuće tehnologije gajenja, kao što su vreme đubrenja, vreme berbe, vreme primene mera zaštite, itd. Sa druge strane, na fenološki razvoj useva na određenoj lokaciji mogu uticati različite mere, npr. datum setve, žetve, navodnjavanja, obrade zemljišta, đubrenja, oplemenjivanje i selekcija itd. Fenološki podaci takođe igraju ključnu ulogu pri kalibraciji i validaciji mnogih modela ekosistema.



Slika 8.1 Trendovi dospevanja grožđa za berbu u različitim vinogradarskim područjima Evrope (Francuska, Nemačka, Austrija, Slovačka) potvrđuju da je došlo do zagrevanja u toku proteklih decenija (based on Eitzinger et al., 2009)..

8.2 Vegetacioni period i fenološke faze

Na različim geografskim širinama *dužina vegetacionog perioda* može se povezati sa temperaturom i sunčevim zračenjem. Kada povežemo srednje mesečne temperature $>10^{\circ}\text{C}$ kao indikator vegetacionog perioda, može se uočiti povećanje dužine dana tokom vegetacionog perioda, posebno između 40° i 60° geografske širine (Slika 8.2). Shodno tome, vegetacioni period od 12 meseci na ekvatoru smanjuje se prema polovima na samo nekoliko meseci. Srednja temperatura za vegetacioni period takođe se smanjuje od ekvatora ka višim geografskim širinama.

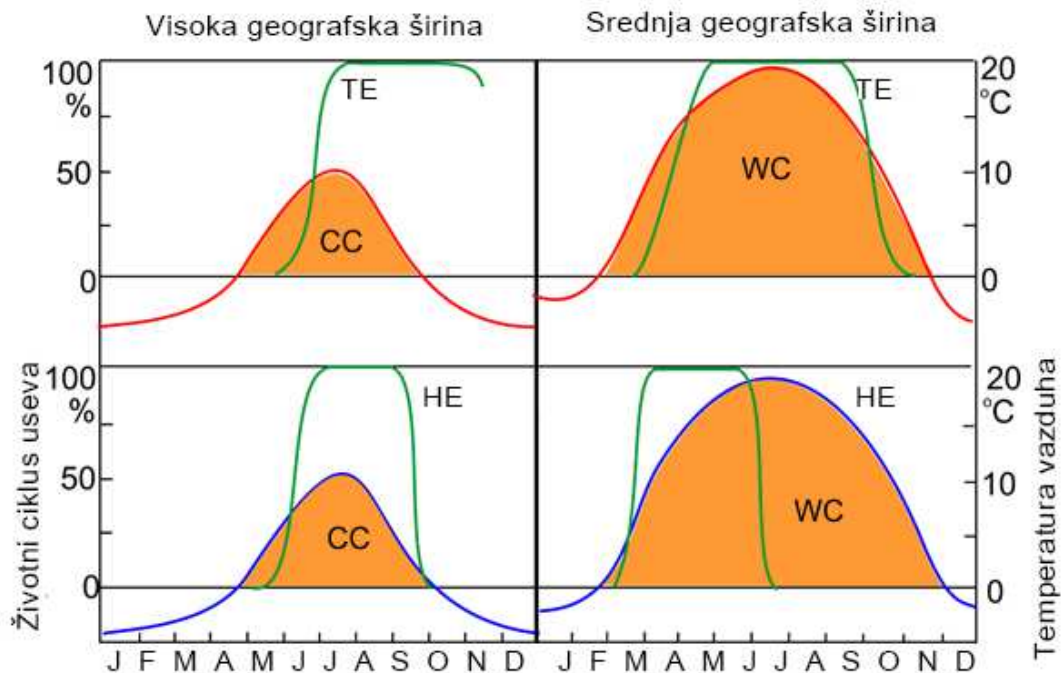


Slika 8.2 Dužina vegetacionog perioda (definisana kao srednja mesečna temperatura iznad 10°C) i dužine dana u časovima u odnosu na geografsku širinu.

Autohtone biljke su obično dobro prilagođene lokalnim klimatskim uslovima kao posledica evolucionih procesa, i njihovi sezonski zahtevi se dobro uklapaju u srednje sezonske promene lokalne klime (npr., sezonske vrednosti sunčevog zračenje i temperature). *Ako se biljke premeste u drugu klimu i geografsku širinu sa drugačijim sezonskim karakteristikama, taj sklad između biljaka i okoline može se izgubiti, što znači da se lokalni uslovi više ne mogu koristiti na optimalan način.* Zbog toga će biljka izgubiti svoju produktivnost i postati manje konkurentna u odnosu na prilagođene lokalne biljne vrste.

Na primer, ako se biljka prilagođena toplim srednjim geografskim širinama premesti na hladniju lokaciju na visokim geografskim širinama usled temperaturnog ograničenja, ona bi mogla kasnije započeti svoj razvoj i ne dovršiti ga na vreme zbog suviše kratkog vegetacionog perioda (Slika 8.3, gore). Nasuprot tome, usevi koji su prilagođeni niskim temperaturama, prerano počinju svoj razvoj u toplijim uslovima na

nižim geografskim širinama, brže se razvijaju i završavaju svoj period rasta prerano (Slika 8.3, dole), gubeći time produktivnost (zbog kraćeg vremena dostupnog za akumulaciju biomase). Ovaj efekat je dobro poznat kod nekih žitarica kao što je zimska pšenica, koja ima najveću produktivnost u severnim evropskim klimatima, a smanjuje produktivnost na nižim geografskim širinama zbog srednjih temperatura iznad optimalnog nivoa.



Slika 8.3 Zahtevi ekotipova useva prema sezonskim temperaturim uslovima u poređenju sa sezonskim temperaturama na višim i srednjim geografskim širinama. Gore levo: topli ekotip prilagođen toploj klimi niske geografske širine. Gore desno: topli ekotip prenet u hladnu klimu visoke geografske širine. Dole levo: hladni ekotip prilagođen hladnoj klimi visoke geografske širine. Dole desno: hladni ekotip prenet u toplu klimu niske geografske širine. Isprekidana linija: sezonske promene temperature; podebljana linija: fiziološka aktivnost useva (šematski).

Sa druge strane, biljke (pa čak i sorte) čiji je fenološki razvoj dodatno određen dužinom dana (fotoperiodična reakcija biljaka kratkog i dugog dana), možda neće moći da dostignu svoju generativnu fazu pod promenjenim uslovima dužine dana, tj., u uslovima umerenog klimata (vidi i poglavlje o sunčevom zračenju XX).

Primeri takvih poljoprivrednih kultura su soja (tipična biljka kratkog dana - potrebni su joj kratki dani da dostigne generativne faze cvetanje i formiranje semena) ili različite vrste povrća kao što je zelena salata (kojoj su potrebni dugi dani kako bi se održavala vegetativna faza potrebna za proizvodnju listova kao finalnog proizvoda). Takođe, druge kulture kao što su hrast, šećerna repa ili krompir pokazuju slične reakcije na dužinu dana, koje su, međutim, specifične za svaku pojedinačnu kulturu i optimizovane selekcijom tih kultura za određene geografske širine.

Rezimirano, sezonske fenološke promene uglavnom su uslovljene sledećim ekološkim varijablama:

- Varijacije u dužini dana ili trajanju sunčeve svetlosti
- Temperatura (uključujući i njene ekstreme)
- Padavine i sušne epizode (naročito u pogledu njihovog rasporeda)
- Ostali faktori od životne važnosti (stresovi bilo koje vrste)

8.2.1 Klasifikacija fenofaza

Da bi se opisale fenološke faze biljaka, razvijeno je nekoliko klasifikacionih šema koje se koriste za fenološka opažanja. Samo ako postoji fenološka klasifikaciona šema moguće je sistematično upoređivati rezultate fenoloških posmatranja iz različitih godina ili lokacija i moguće je nezavisno tumačiti fenološke podatke koje je sakupio bilo koji posmatrač.

U poslednjoj deceniji preporučuje se korišćenje tzv. proširene *BBCH skale* (Faze rasta biljaka, monografija BBCH) (Majer, 1997). Baziran na Zadoksovoj skali za žitarice (Zadoks i sar., 1974), BBCH sistem se može koristiti za uniformno kodiranje fenološki sličnih faza rasta svih mono- i dikotiledonih biljnih vrsta.

BBCH sistem (Tabela 8.1) koristi opštu skalu koja se može primeniti i na one biljke za koje još nije definisana posebna skala. Jasne i lako prepoznatljive spoljne morfološke karakteristike koriste se za opisivanje glavnih (dugotrajnijih) fenoloških faza rasta i razvoja. Sekundarne faze rasta definisane su kraćim razvojnim periodom.

Table 8.1 BBCH kod za žitarica (based on Meier, 1997).

Stadijumi	Opis
0	Klijanje/izdanak/razvitak pupoljka
1	Razvitak listova (glavni izdanak)
2	Formiranje bočnih izdanaka/bokorenje
3	Produženje članaka ili razvitak rozete/razvitak stabla (glavnog stabla)
4	Razvitak žetvenih delova biljaka ili vegetativnih organa za razmnožavanje/ booting (glavno stablo)
5	Pojava delova cveta (glavno stablo)/ klasanje
6	Cvetanje (glavno stablo)
7	Razvoj ploda
8	Sazrevanje ili zrenje plodova i semena
9	Starenje, početak mirovanja

Agroklimatski indeksi (vidi poglavlje 11) se koriste za kvantitativnu procenu raspoloživih resursa za različite potrebe poljoprivrede i sa njima povezane procene rizika ili alate za upozorenja. Potrebe za resursima određene su fiziološkim procesima biljaka i životinja, koji opet u velikoj meri zavise od njihovog fenološkog ili razvojnog statusa.

Kao što je već pomenuto, glavni pokretači razvoja biljkaka (fenologije) su temperatura i dužina dana, dok dostupnost fotosintetički aktivnog zračenja, vode i

hraniva ograničava akumulaciju biomase biljaka (rast). Indeksi koji karakterišu razvoj biljke mogu dati indirektno informacije o uticaju klimatske varijabilnosti, kao i o uslovima za dalji rast biljke. Kao dodatak standardnim indeksima, specifični indeksi se fokusiraju na reakcije useva na vremenske uslove koji su rezultat kalkulacije u okviru statističkih ili simulacionih modela. Svi osnovni principi fenoloških indeksa i modela zasnivaju se na tesnoj vezi između temperature na jednoj i rasta i razvoja biljaka na drugoj strani.

Fenološki razvoj biljaka može se upoređivati kako na prostornoj tako i na vremenskoj skali. Poređenja na prostornoj skali u istom vremenskom periodu mogu pomoći da se utvrde varijacije u regionalnim klimatskim uslovima na većim ili manjim površinama (vidi sledeće poglavlje).

Poređenja na vremenskim skalama pružaju važne informacije o reakciji useva, što na primer može biti od koristi oplemenjivačima prilikom identifikacije otpornosti na abiotički stres.

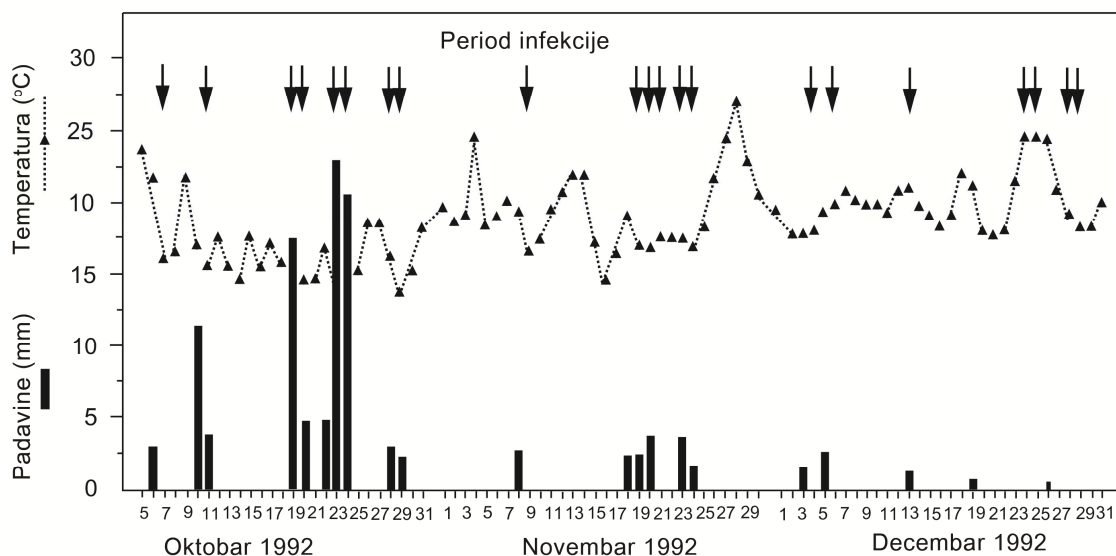
Upoređivanje pojedinačnih godina ili perioda od više godina može pružiti uvid u važne reakcije useva kao što su prinos i kvalitet (npr. sadržaj i kvalitet proteina kod žitarica ili godišnja varijabilnost u kvalitetu vina) ili trendove fenoloških promena od značaja za tehnologiju proizvodnje (npr. određivanje vremena đubrenja, kontrole štetočina ili žetve).

Godišnje varijacije u lokalnoj klimi i sa njima povezana fenologija useva može biti posledica različitih faktora, uključujući antropogene faktore kao što su mikroklimatske manipulacije pokrenute ljudskim aktivnostima (npr., navodnjavanje, zasnivanje vetrobrana, itd.).

Osim toga, praćenje dužine vegetacionog perioda preko praćenja fenoloških promena pomaže naučnicima da bolje dokumentuju i shvate našu promenljivu klimu koja se kako menja od jedne do druge godine, tako i tokom više decenija.

8.3 Fenologija štetočina i bolesti

Bolesti, kao što su one uzrokovane gljivama, imaju životne cikluse koji su često usklađeni sa fenologijom domaćina, tj., fenologijom poljoprivredne kulture. Međutim, razvoj bolesti odvija se takođe i u skladu sa meteorološkim i klimatskim faktorima kao što su vlažnost, svetlost i temperatura. To je omogućilo kreiranje različitih algoritama i modela razvoja štetočina i bolesti, koji se široko koriste za upozoravanje i kontrolu štetočina i bolesti u poljoprivrednoj praksi (Slika 8.4).



Slika 8.4 Sistem praćenja i prognoze pojave pepelnice zasnovan na fenološkom algoritmu bolesti u kome su temperature i padavine pokretači infekcije.

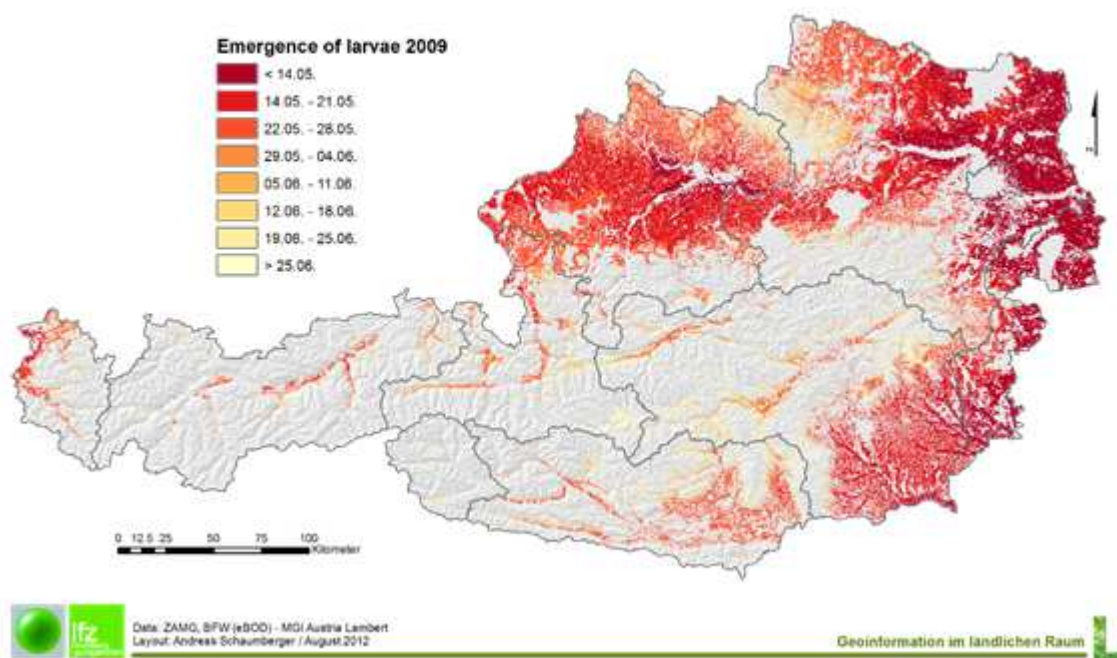
Na dinamiku populacija *štetočina i insekata* utiče širok spektar biotičkih i abiotičkih faktora. Tokom svojih životnih ciklusa termofilni insekti posebno snažno reaguju na temperaturu. Međutim, u poređenju sa bolestima i biljkama, oni mogu da se kreću i pronađu pogodnije okruženje za njihov razvoj, na primer larve zemljišnih štetočina mogu preći u dublje slojeve tla tokom zime ili tokom hladnih vremenskih perioda tokom vegetacije. Insekti kao što su komarci mogu da prežive zimu na toplim mestima, na primer u zgradama itd.

Zbog klimatskih promena, klimatske niše se pomeraju i to omogućava novim štetočinama, onim sa višim temperaturnim zahtevima, da uspostave svoje populacije na većim geografskim širinama.

Postoje mnogobrojni primeri *štetočina koji uzrokuju značajne štete u poljoprivredi* i koji snažno reaguju na promenjene temperaturne uslove i na taj način povećavaju rizike u poljoprivrednoj proizvodnji.

Na primer, kukuruzna zlatica (*Diabrotica virgifera virgifera*) je jedna od najopasnijih štetočina kukuruza širom sveta. Ona je slučajno unešena u Evropu 1993. godine, a u Austriji je prvi put pronađena 2002. godine. Pošto se celokupan proces razvoja jaja, larvi i lutaka odvija ispod zemlje, ova štetočina je veoma osjetljiva na temperaturu zemljišta. Zbog toga je ona idealna za izračunavanje povoljnih temperatura zemljišta na osnovu matematičkih modela i izračunavanje povoljnih suma temperatura (vidi sledeće poglavlje) na osnovu fenološkog modela (Slika 8.5).

Entry dates of phenological phases for *Diabrotica virgifera virgifera*



Slika 8.5 Ulazni datumi za pojavu larvi kukuruzne zlatice zasnovani na modelu sume temperature zemljišta, kalibrisani za austrijske uslove (osnovna temperatura 11,7°C na dubini zemljišta od 6 cm i suma temperatura od 280°C).

8.3.1 Izračunavanje razvoja useva/štetočina na osnovu fenoloških modela

Glavni pristup koji se koristi za izračunavanje razvoja useva (fenologije) je primena primena akumulisanih toplotnih jedinica, nazvanih i akumulisani stepen dani. Prema ovom pristupu, srednja dnevna temperatura iznad utvrđene osnovne temperature (na kojoj počinje rast biljaka) sabira se u toku perioda rasta biljaka. Za većinu useva utvrđena je osnovna temperatura koja se kreće između +5°C i +10°C. Za pojavu određenih fenoloških faza (kao što je početak cvetanja ili fiziološke zrelosti) odlučujuća je suma temperatura (iako mogu doprineti i drugi faktori, kao što su dužina dana ili stresni faktori okoline). Osnovna jednačina za izračunavanja sume temperature je:

$$GDD = \sum (T_a - T_b) \quad (8.1)$$

gde je suma temperatura GDD - temperature sum, T_a - srednja dnevna temperatura i T_b - bazna ili granična temperatura temperature.

Treba uzeti u obzir da su efekti temperature na fenološki razvoj različiti u zavisnosti od faze u kojoj se biljke nalaze – vegetativnoj ili generativnoj. Takođe postoje razlike između biljnih ekotipova i kultivisanih biljaka, što znači da se fenološki modeli moraju kalibrirati na osnovu fenoloških posmatranja i merenja temperature vazduha tokom nekoliko godina (> 10°C) pre nego što se mogu primeniti.

Zato jednostavni, gore navedeni oblik formule za izračunavanje sume temperatura, ima nekoliko nedostataka:

- Ne može se koristiti za slučajeve $T < TS$.
- Osnovna temperatura se mora kalibrisati za različite biljne vrste, sorte, okruženja.
- Ne uzima u obzir promene u dinamici fenološkog razvoja kao odgovor biljke na temperaturne promene u toku perioda rasta.
- Ne uzima u obzir uticaj maksimalnih i minimalnih dnevnih temperatura i amplitude dnevne temperature.
- Uticaj visokih temperatura često je precenjen (postepeno smanjenje reakcije biljaka kako temperature rastu).
- Ne uzimaju se u obzir sezonski efekti kao što je uticaj hladnih ili toplotnih talasa i različitih kombinacija hladnih i toplih perioda.
- Ne razmatraju se drugi uticaji na fenologiju useva kao što su suša ili stres zbog nedostatka hraniva.

S obzirom na visok stepen pojednostavljenosti osnovne jednačine, razvijeno je nekoliko složenijih jednačina za izračunavanje sume temperatura (kao što je ona koja uključuje uticaj ekstremnih temperatura) kao i posebne jednačine za određene kulture (kao što je vinova loza).

Poznati primer indeksa za određenu kulturu je HAGLINOV indeks (Haglin, 1958), koji razmatra sumu srednjih dnevnih i maksimalnih temperatura, tokom vegetacionog perioda vinove loze, a uzima $+10^{\circ}\text{C}$ kao osnovnu temperaturu. Ovaj indeks, na primer, može biti dobro usaglašen sa potrebama različitih sorti vinove loze. Takođe treba imati na umu da ovaj indeks ne uzima u obzir meteorološke uslove tokom perioda prezimljavanja niti rizike od izmrzavanja biljaka vinove loze. Haglinov indeks se izračunava na sledeći način:

$$IH = \sum_{\text{September 30th}}^{\text{April 1st}} KL \frac{(T_a - 10) + (T_{max} - 10)}{2} \quad (8.2)$$

gde je IH vrednost Haglinovog indeksa izračunata za period od 1. aprila do 30. septembra, K faktor geografske širine (uticaj dužine dana) ($K(40^{\circ}) = 1,02$; $K(60^{\circ}) = 1,06$), T_a srednja dnevna temperatura ($^{\circ}\text{C}$), T_{max} maksimalna dnevna temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

8.4 Uticaj niske temperature na fenologiju

Tokom perioda prezimljavanja, mnoge biljke ili usevi umerenih regiona imaju potrebu za niskim temperaturama. Ova potreba je rezultat složenih, genetski zasnovanih fizioloških mehanizama *regulacije dormantnosti* tokom hladnog zimskog perioda, kada rast nije moguć, a otpornost na mraz neophodna. Period dormantnosti je često povezan sa *povećanom otpornošću na mraz i niske temperature*, koja je neophodna da bi ti usevi ili biljke uspešno preživele zimu.

U zavisnosti od tipa biljaka, zahtevi sa niskim temperaturama nazivaju se periodom hlađenja, jarovizacije kod višegodišnjih vrsta kao što su voćke ili periodom vernalizacije/jarovizacije kod jednogodišnjih ozimih kultura kao što su žitarice.

Ovi zahtevi za niskim temperaturama posebno su važni za određivanje vremena prekida mirovanja u proleće (iniciranje aktivnog rasta kao što je elongacija stabljike kod jednogodišnjih useva - žitarica, kretanje semena i pupoljenje voćaka u proleće), kao i za pokretanje cvetanja u narednoj fazi rasta i razvića. Ovde treba spomenuti da je dužina dana (fotoperiodični efekat) takođe povezana sa ovim procesima.

Zahtevi useva za niskim temperaturama tokom zimskog perioda kreću se uglavnom između 0°C i 10°C tokom određenog vremenskog perioda, a u pogledu potrebe za temperaturom tokom perioda rasta postoje velike razlike između različitih tipova biljaka, ekotipova i sorti.

Zahtev za niskim temperaturama takođe se izračunava metodama sume temperatura, a za voćnjake se izražava u satima (hladne jedinice) dok se za druge useve kao što su žitarice vernalizacija izražava u danima (koristeći srednje dnevne temperature ispod 10°C).

Dormantnost se može prekinuti toplim periodima tokom zime i ponovo se uspostavlja nailaskom sledećeg hladnog perioda. Međutim, kada se pokrene pupoljenje (u voćnjacima i vinogradima) ili započne aktivni rast u proleće (kod zimskih useva), mirovanje se više ne može povratiti. Od tog momenta pa nadalje, može se primenjivati metod sume temperatura (indukcioni metod) za izračunavanje vremena do početka narednih fenoloških faza, kao što je vreme cvetanja.

Fenološki modeli za voćnjake kombinuju algoritme "hlađenja (jarovizacije) i indukcije" sa različitom parametarizacijom neophodnih suma hladnih (CU) i toplotnih jedinica (GDH) radi dobijanja boljih rezultata. Period jarovizacije se procenjuje sumom hladnih jedinica (CUs) tokom zime, počevši od 1. Septembra (na severnoj hemisferi) i zasnovan je na podacima o časovnim temperaturama (UTAH metod, tabela 8.1). Datiranje prekida endodormantnosti (t1) zasnovano je na hladnim jedinicama kalibrisanim za specifičan usev. Nadalje ide akumulacija toplotnih jedinica počevši od prekida endodormantnosti (t1) kako bi se izračunao moment početka cvetanja (t2) (Anderson et al., 1986; Luedeling et al., 2009).

Na osnovu podataka o časovnoj temperaturi mogu se primeniti i model hladnih jedinica (CU) (Richardson i sar., 1974) i model toplotnih jedinica GDH (Anderson i sar., 1986; Ludeling i sar., 2009). Hladne jedinice u toku zimskog perioda izračunavaju se od 1. septembra (severna hemisfera).

Dnevne toplotne jedinice za dan K se računaju kao:

$$GDH(k) = \sum_{i=1}^{i=24} \text{Max}[0, (T(i) - 4.5)] \quad (8.3)$$

Za svaki dan GDH vrednosti po časovima akumuliraju se od t(1) do t(2) i nazivaju se GDH(f) kao što je prikazano dole:

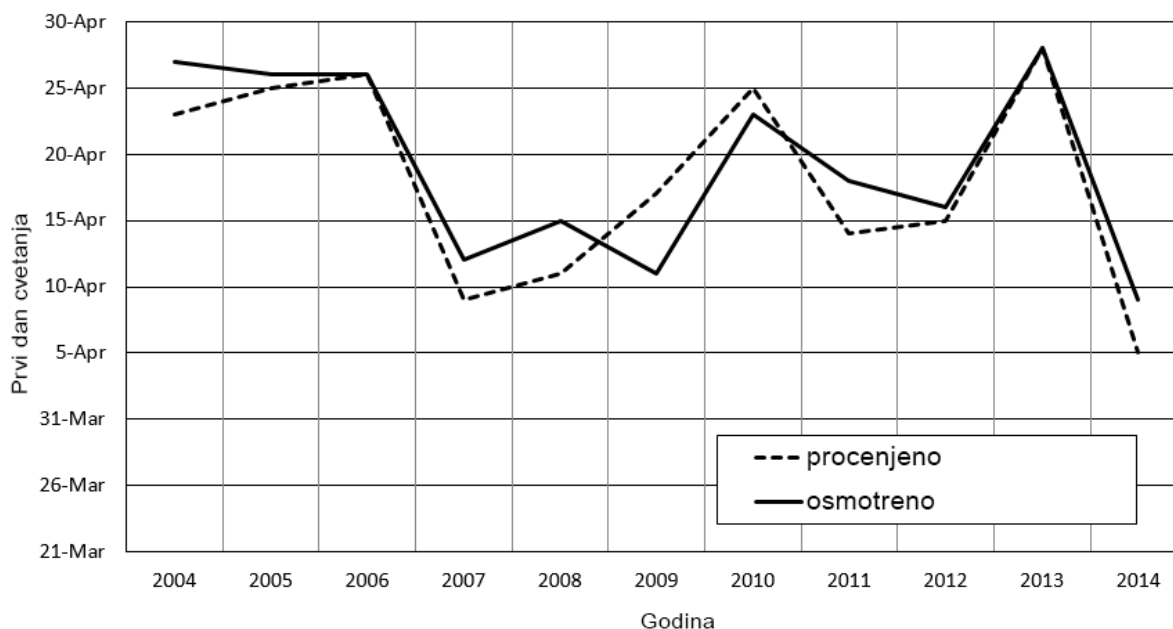
$$GDH(f) = \sum_{k=t_1}^{k=t_2} GDH(k) \quad (8.4)$$

gde je GDH (f) indukcija cvetanja, i je sat u toku datog dana, a k je broj dana od t1 do t2.

Tabela 8.2 Vrednosti CU kao funkcija temperature po satima (Ričardson i sar., 1974)

Temperatura	CU
$T < 1.4$	0
$1.5 < T < 2.4$	0.5
$2.5 < T < 9.1$	1
$9.2 < T < 12.4$	0.5
$12.5 < T < 15.9$	0
$16 < T < 18$	-0.5
$T > 18$	-1

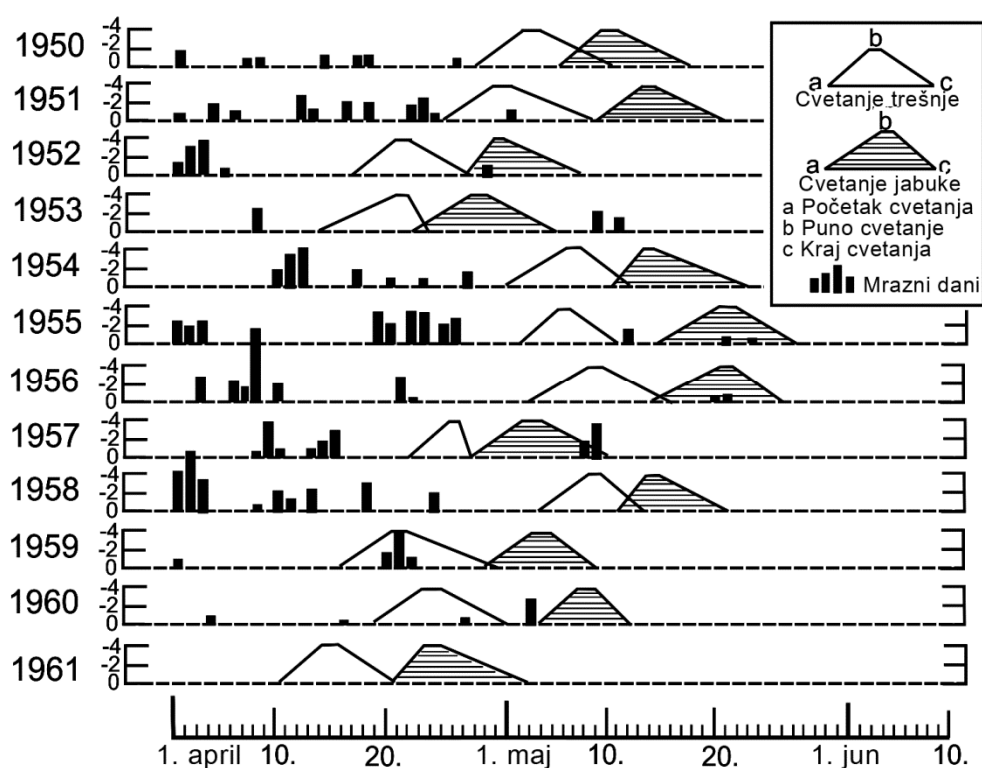
Da bi se postigli odgovarajući rezultati, vrednosti CU i GDH treba kalibrisati prema utvrđenim datumima cvetanja i izmerenim temperaturama za određene lokacije i sorte. Na primer, CUs i GDHs su korišćeni za procenu datuma cvetanja (t2) jabuka u Austriji (Slika 8.6).



Slika 8.6 Posmatrani i procenjeni datumi cvetanja jabuke u Austriji primenom kombinovanog UTAH modela jarovizacije i indukovanja

8.5 Fenologija useva kao važan izvor podataka za upravljanje poljoprivrednom proizvodnjom

Fenološki razvoj useva, naročito početak i trajanje važnih faza kao što su mirovanje (dormantnost), klijanje, izduživanje (elongacija) stabljike, cvetanje, nalivanje zrna i fiziološka zrelost, presudno određuju optimalni vremenski period za izvođenje agrotehničkih mera ili tehnologije proizvodnje (obrada zemljišta, zaštita od bolesti i štetočina, mere zaštite useva od abiotičkih ekstrema, đubrenje, žetva ili berba) kako bi dobili maksimalnu količinu i kvalitet prinosa. Tako fenologija useva u kontekstu sezonskih vremenskih uslova ima veliki ekonomski značaj za uzgoj poljoprivrednih kultura. Na primer, vreme i trajanje različitih fenoloških faza useva kao i prisustvo štetočina i bolesti uglavnom se razlikuju od godine do godinu zahvaljujući kratkoročnim vremenskim uslovima. Prilagođavanje tehnologije proizvodnje useva veoma varijabilnim uslovima koji se menjaju svake godine, a sa ciljem smanjenja rizika u proizvodnji i osiguranja stabilnih i visokih prinosa gajenih kultura, glavni je izazov u poljoprivredi i proizvodnji hrane širom sveta. Kao primer se može navesti slučaj kada se spletom okolnosti pozni mrazevi podudare (vidi poglavlje XX) sa periodom cvetanja voćaka, iako obe pojave pokazuju visoku varijabilnost iz godine u godinu (učestalost mrazeva i vremenski okvir perioda cvetanja), ali što na kraju ipak određuje jačinu štete od mraza (Slika 8.7).



Slika 8.7 Preklapanje poznih mrazeva i perioda cvetanja jabuka i trešanja u periodu od 1936. do 1961. godine na jednom nemačkom lokalitetu, što određuje jačinu oštećenja od mraza (prilagođeno od Šnelea, 1962).

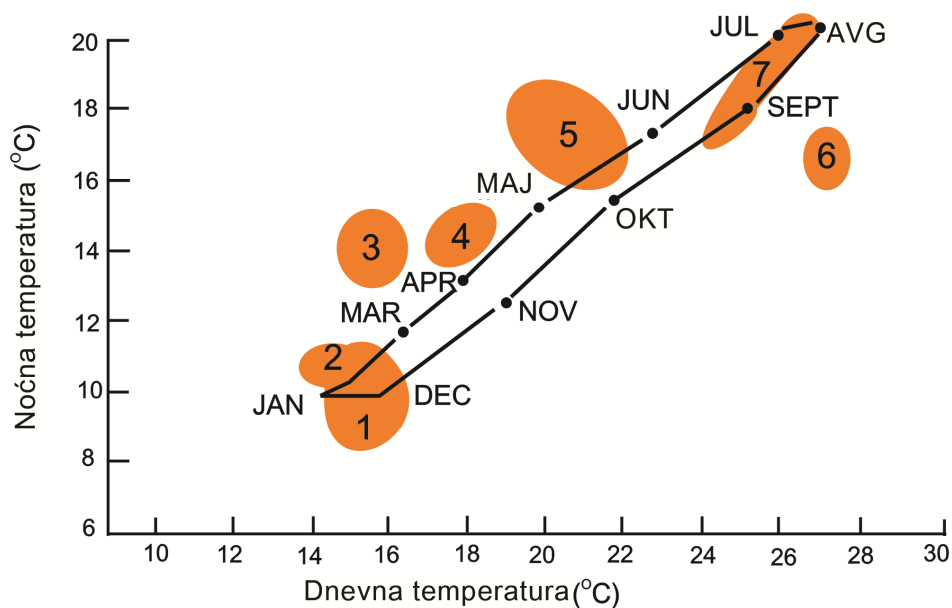
Predviđanje glavnih fenoloških događaja povezano je sa poljskim operacijama kao što su utvrđivanje šeme navodnjavanja, vremena setve, đubrenja, kontrole štetočina i vremena žetve, a sve te mere imaju važne ekonomske implikacije na poljoprivredne proizvođače zbog optimizacije troškova rada i mehanizacije. Zbog toga se fenološki modeli sa prihvatljivim nivoom tačnosti (+/- 3 dana) koriste u praksi za predviđanje mnogih praktičnih poljskih operacija.

Za specijalne namene, fenološki modeli se dalje razrađuju, kao što je dodatno razmatranje *noćnih temperatura*, koje imaju važne fiziološke efekte (Slika 8.8).

Na primjer, niske noćne temperature smanjuju disanje biljaka tokom perioda mraka i utiču na faktore povezane sa prinosima poljoprivrednih kultura (npr. sadržaj šećera i skroba u ubranom prinosu) posebno kada su u pitanju paradajz, krompir, zelenu paprika, duvan, šećerna repa i druge kulture.

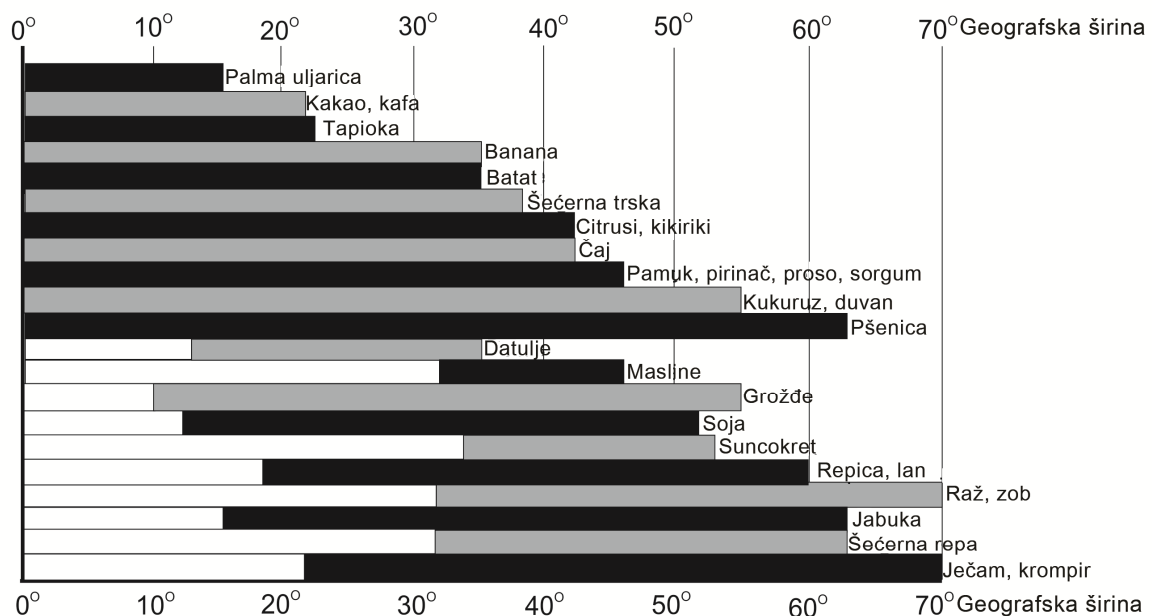
Dnevne temperature određuju aktivnost fotosinteze i akumulaciju biomase u odnosu na odgovarajuće temperaturne optimume fizioloških procesa kod svake specifične kulture useva. Takođe, fertilnost useva tokom cvetanja može biti osetljiva na dnevne temperature, naročito na ekstremno visoke temperature, npr. kod graška, jagode, kukuruza, i žitarica kod kojih visoke temperature negativno utiču na oprašivanje. Sa druge strane, niske dnevne temperature mogu imati pozitivan uticaj na aromatične sastojke, na primer, tako temperature $<10^{\circ}\text{C}$ pozitivno utiču na ukus jagode.

Zapravo, za svaki tip biljke može se definisati optimalna kombinacija dnevnih i noćnih temperatura u odnosu na specifične fiziološke procese u tim biljkama. Kombinovanjem klimatologije dnevnih i noćnih temperatura na specifičnim lokacijama sa optimalnim odgovorom biljke mogu se utvrditi optimalna mesta (regioni) za gajenje određene biljne vrste ili sorte.



Slika 8.8 Šema potencijalne koincidencije između kombinacije dnevnih i noćnih temperatura određenog lokaliteta na mesečnom nivou i optimalnih zahteva nekog useva.

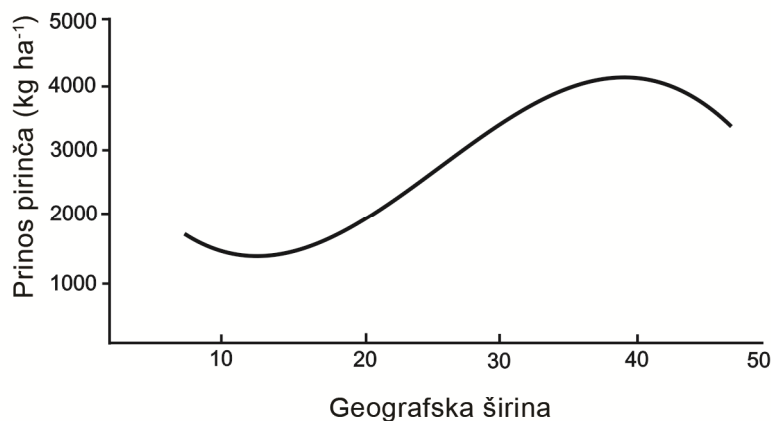
Kombinovanjem svih glavnih klimatskih uticaja (uključujući dužinu dana, dnevne i noćne temperature, itd.) na fenologiju useva i sa njom povezanih uslova rasta na globalnom nivou, može se napraviti klasifikacija geografskih širina i nadmorskih visina glavnih proizvodnih područja za taj usev (Slika 8.9).



Slika 8.9 Geografska širina i nadmorska visina glavnih proizvodnih područja osnovnih poljoprivrednih kultura na globalnom nivou.

Najzad, i same temperature zemljišta utiču na fiziološke procese u poljoprivrednim kulturama, iako uvek postoji određena korelacija sa temperaturama vazduha. Na primer, istraživanja su pokazala postojanje korelacije između temperature zemljišta i akumulacije suve materije (rast) kod kukuruza. Druge studije su utvrdile da temperatura zemljišta direktno utiče na fenologiju useva, kao što je slučaj sa vinovom lozom. Uključivanje temperature zemljišta u fenološke modele moglo bi dalje povećati tačnost fenoloških predviđanja, ali to je ipak još uvek u fazi istraživanja.

U vezi sa fenologijom useva i srednjim temperaturama vezanim za geografsku širinu, može se prikazati zanimljiv bazičan odnos između godišnje sume temperatura sa jedne i prinosa specifičnog (datog) useva sa druge strane. Zahvaljujući dužem periodu rasta pirinča u umerenoj klimi (zbog nižih temperatura), srednji prinosi pirinča povećavaju se sa povećanjem geografske širine (Slika 8.10), slično onome što je već pokazano za ozimu pšenicu gajenu između srednje i visoke geografske širine. Međutim, na niskim geografskim širinama, pirinač se može uzgajati 2-4 puta godišnje (zbog dugog vegetacionog perioda i kratkog perioda rasta kod pirinča) čime se postiže viši prinos na godišnjem nivou.



Slika 8.10 Srednji prinosi pirinča od niskih do srednjih geografskih širina (Uexküll, 1965)

8.6 Fenologija kao agroklimatski indikator

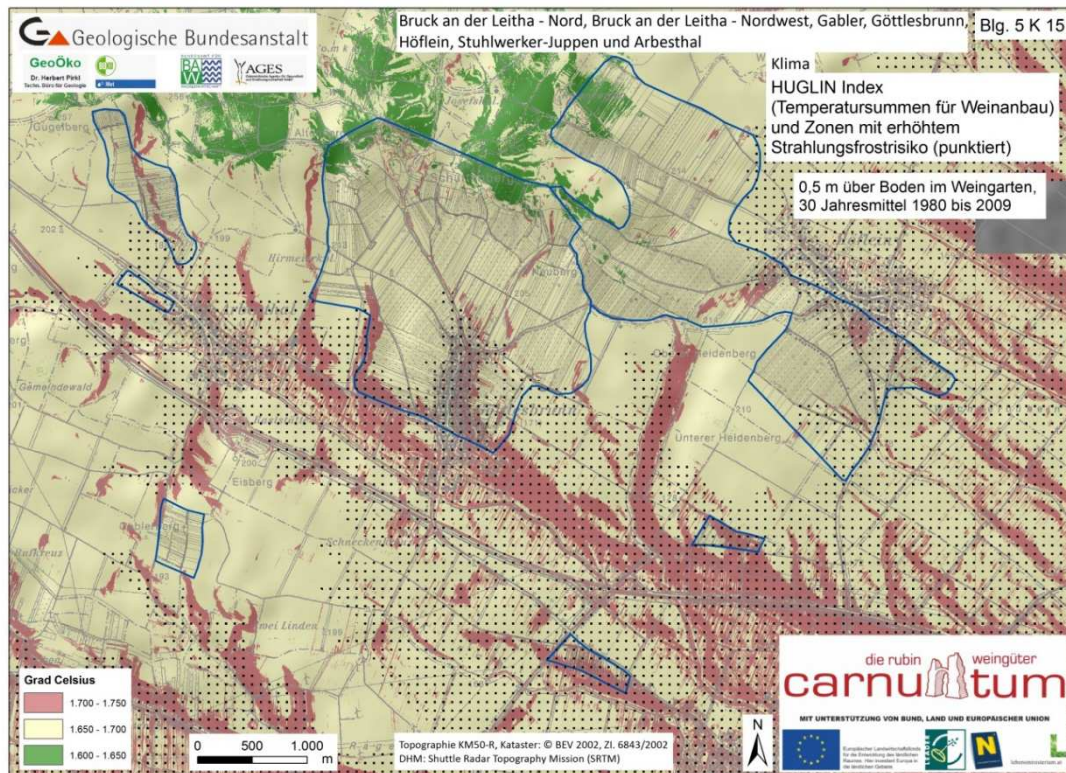
Ako se posmatraju fenološke faze iste biljne sorte (ekotipa) na prostornoj skali, mogu se primetiti klimatske varijacije malih razmera, kao na primer u područjima sa kompleksnom topografijom. Varijacije lokalne klime malih razmera usled uticaja nadmorske visine, nagiba padine, zaleđenih mikrodepresija (mesta akumulacije, džepovi) i sl. mogu se opisati na osnovu sistematskih i višegodišnjih fenoloških opažanja. U planinskim područjima, na primjer, mogu se primetiti specifični fenomeni. Normalno, temperatura opada sa povećanjem nadmorske visine (oko 0,5°C/100m), što usporava fenologiju biljaka zbog smanjene sume temperatura u datom vremenskom intervalu. Međutim, opadanje temperature sa većom nadmorskom visinom može se obrnuti tokom inverzija, pri čemu će se unutar inverzionog sloja (vidi poglavlje 3) udaljavanjem od dna doline (npr., mikrodepresije, ledenog džepa) temperatura povećavati sa povećanjem nadmorske visine. Pod ovakvim uslovima, naročito tokom proleća, ovaj efekat može uticati na fenologiju biljaka, npr. biljke će cvetati ranije na višoj nadmorskoj visini nego na dnu doline, gde su u godišnjem proseku temperature (i sume temperatura) najčešće najviše.

Na velikoj prostornoj skali, zapažena fenologija nekog tipa biljaka takođe može biti pokazatelj prostornih varijacija klimatskih uslova, npr., zakasnele fenološke faze sa većom geografskom širinom kao i nadmorskom visinom. Ovaj fenomen se takođe može pratiti i satelitom (ozelenjavanje glavnog vegetacionog pokrivača na velikim površinama u proleće).

8.6.1 Mapiranje klimatske pogodnosti useva na osnovu fenoloških modela

Kada se uspostave ili kalibriraju fenološki modeli za određene biljke ili useve, može se vršiti fenološko mapiranje korišćenjem vremenskih podataka na različitim prostornim skalama. Na primer, mogu se napraviti mape pogodnosti nekog useva na

osnovu metode sume temperatura, kao što je za grožđe korišćen HAGLIN indeks za prostorne skale visoke rezolucije (Slika 8.11), kao i za veće skale.



Slika 8.11 HAGLIN indeks i područja rizika od mraza (raštrkane površine) za vinogradarski region u Austriji u klimatskom periodu 1980-2009.

(izvor: BOKU-Met; interaktivna mapa:

<http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=5fbb85508f7d49fdab74c8e255ef40>).

9 Ekstremne vremenske prilike

9.1 Suša

Suša je prirodni fenomen koji se javlja zbog nedostatka padavina tokom dužeg vremenskog perioda - obično jednog godišnjeg doba ili duže - što dovodi do nedostatka vode potrebne za neku aktivnost, grupu ili sektor životne sredine koji uzrokuje, na primer, oštećenja useva (vidi Poglavlje 4.4). Ova pojava mora biti stavljena u kontekst kako bi se mogla objasniti: ona je promenljiva po svom tipu, intenzitetu, trajanju, vremenu pojave i prostoru koji zahvata. Važno je da se pojam suše ne meša sa pojmom aridnost, koja je stalna karakteristika neke određene klime i ograničena na područja sa malom količinom padavina i učestale toplotne talase: tipična vremenska dimenzija povezana sa toplotnim talasom je nedelja dana, dok suša može potrajati mesecima ili čak godinama. Efekti suše mogu se takođe razlikovati i u zavisnosti od perioda kada se ona javi. Velike štete su povezane sa jakim sušama koje se javljaju kada usevi imaju veliku potrebu za vodom.

Uticaj suše je nestrukturnalan, za razliku od poplava, uragana i većine drugih prirodnih neprilika. Njeni efekti se osećaju na većim geografskim područjima od onih na kojima deluju druge prirodne neprilike. Pored toga, za razliku od drugih prirodnih katastrofa, nejasno je kada zapravo započinje period suše. Na primer, niko ne zna pouzdano kolika će suša trajati - sve dok se kiše ne vrate. Međutim, suše mogu uzrokovati veće štete od drugih prirodnih katastrofa. Iz tih razloga, kada je u pitanju suša, utvrđivanje veličine njenog uticaja i pružanje pomoći predstavljaju teže zadatke nego što je to slučaj sa bilo kojom drugom prirodnom nepogodom (Wilhite, 2005). Štaviše, postoji nekoliko vrsta suše, a faktori ili parametri koji definišu vrste suše razlikuju se međusobno, kao što je objašnjeno u Poglavlju 4.4.

Suša se mora posmatrati kao integralni deo prirodnog klimatskog ciklusa, čak iako ekstremne suše mogu imati katastrofalne posledice, dovodeći do takvih prirodnih katastrofa kao što su dezertifikacija, kao i do neuspeha u proizvodnji useva, nedostatka hrane, neuhranjenosti, gladi i raznih epidemija. Klimatske promene postepeno čine fenomen suše sve težim i težim, čineći njenu pojavu sve češćom i ozbiljnijom u mnogim delovima sveta. Zbog toga je u mnogim slučajevima vrlo važno razviti adekvatne mere za upravljanje rizicima koje ta nepogoda nosi.

9.1.1 Poljoprivredna suša

Za svaku pojavu suše moguće je odrediti njen prostorni obim, trajanje i razvoj tokom vremena. Na primer, važno je razumeti promene u varijabilnosti na godišnjem nivou za svaki region posebno, odnosno trendove u pogledu prosečnih količina padavina ili drugačijeg rasporeda padavina tokom godine. Osim toga, od presudnog je značaja da se uzimaju u obzir kako povećanje korišćenja vode u okviru ekonomskih sektora kao što su poljoprivreda, industrija i turizam, tako i moguće posledice takvih povećanja na bilans i kvalitet vode. Istovremeno, moramo ispitati mogućnosti razvoja

adekvatnih agronomskih tehnologija za optimizaciju korištenja vode. Dok je za jednog poljoprivrednika vremenski razvoj jednog sušnog perioda možda najvažniji faktor, prostorni okvir i vremenski razvoj suše su ključni faktori za regionalnu politiku upravljanja vodama.

Do sada su razvijeni najrazličitiji indeksi za praćenje suše i padavina u poljoprivredne svrhe; neki od njih su objašnjeni u nastavku:

Standardizovani indeks padavina (eng. *The Standardized Precipitation Index SPI*) je meteorološki indikator suše koji pokazuje intenzitet suše zbog nedostatka padavina u poređenju sa normalnim klimatskim uslovima. Matematički gledano, SPI se zasniva na kumulativnoj verovatnoći da će do padavina doći na nekoj određenoj lokaciji. To znači da analitičar, na osnovu istorijskih podataka o padavinama, može odrediti da je verovatnoća pojave kiše manja ili jednaka određenoj vrednosti (Svetska meteorološka organizacija, 2012) (Tabela 9.1).

Izračunavanje SPI (jednačina 9.1 a, b) za bilo koji lokalitet zasniva se na dugoročnom praćenju padavina na određenom području. Ovi dugoročni podaci služe za izračunavanje raspodele verovatnoće koja se onda preračunava za normalnu distribuciju, tako da je srednja vrednost SPI za lokaciju i željeni period jednaka nuli (Van Loona and Laahab, 2015).

$$SPI = \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right); t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{H(P)^2} \right)} \text{ if } 0 < H(P) < 0.5 \quad (9.1a)$$

$$SPI = \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right); t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(1-H(P))^2} \right)} \text{ if } 0.5 < H(P) < 1 \quad (9.1b)$$

gde su P akumulisane padavine za dati vremenski period, H (P) je kumulativna raspodela verovatnoća posmatranih padavina, a C₀, C₁, C₂, d₀, d₁, d₂, i d₃ su konstante.

Izračunavanje može biti zasnovano na različitim vremenskim intervalima, na primer od jednog do šest meseci. U slučaju područja gde postoje istorijski podaci o padavinama,

Tabela 9.1 Klasifikacija prema SPI indeksom i verovatnoćama koju indeks ima u svakoj klasi.

SPI	Klasifikacija	Verovatnoća (%)
2.00 >	eksternno vlažno	2.3
1.50 to 1.99	vrlo vlažno	4.4
1.00 to 1.49	srednje vlažno	9.2
0 to 0.99	malo vlažno	34.1
0 to -0.99	malo suvo	34.1
-1 to -1.49	srednje suvo	9.2
-1.50 to -1.99	vrlo sušno	4.4

-2.00 < ekstremno sušno 2.3

analitičar može pokazati da se verovatnoća da padavine budu manje ili jednake prosečnim padavinama za to područje iznosi oko 0,5 (računato sa gama raspodelom). Prema tome, ako određena količina kiše ima minimalnu verovatnoću prema kumulativnoj funkciji distribucije verovatnoće, onda je to ekstremna vrednost, npr. suviše suvo ili suviše vlažno. Nasuprot tome, količina kiše koja ima veliku verovatnoću prema kumulativnoj funkciji distribucije verovatnoće blizu je normalnog stanja.

Palmerov indeks intenziteta suše (eng. The Palmer Drought Severity Index, PDSI) je indikator intenziteta suše, a izveden je na osnovu podataka o temperaturi i padavinama. To je agrometeorološki indeks u čijoj osnovi je jednostavan model vodnog bilansa u zemljišta. Ovaj model meri potrebe zemljišta za vodom na skali od -10 (maksimalna suša) do +10 (maksimalna vlažnost). Određena vrednost ovog indeksa često je signal da se započnu ili prekinu radnje predviđene u slučaju suše. Ovaj indeks i njegove varijacije široko se koriste za praćenje suše i za donošenje operativnih odluka o upravljanju vodom. Hidrološki obračun za određeni vremenski period se sumira kako bi se dobili koeficijenti koji zavise od klimatskih uslova analiziranog područja. Serije podataka se zatim reanalizuju pomoću izvedenih koeficijenata da bi se odredila količina vlage za normalne vremenske uslove po mesecima. Mesečna odstupanja od normalnih uslova pretvaraju se u indekse anomalija vlažnosti. Konačno, ovi se indeksi pretvaraju u indeks suše (Guttman, 1998) (Tabela 9.2).

Tabela 2 Klasifikacija prema PDSI indeksu

PDSI	Uslovi vlažnosti
4.0 i više	Ekstremno vlažno
3.0 to 3.99	Veoma vlažno
2.0 to 2.99	Umereno vlažno
1.0 to 1.99	Blago vlažno
0.5 to 0.99	Početno vlažno
0.49 to -0.49	Normalno
-0.5 to -0.99	Početno suvo
-1.0 to -1.99	Blaga suša
-2.0 to -2.99	Umerena suša
-3.0 to -3.99	Jaka suša
-4.0 manje	Ekstremna suša

Indeks snabdevanja površinskom vodom (The Surface Water Supply Index, SWSI) "dizajniran je tako da bi mogao da posluži kao indikator dostupnosti vode u nekom regionu, najčešće u planinskim regijama, koristi se u predviđanju i za poređenje uslova snabdevenosti vodom između regiona kako bi se procenio relativni intenzitet suše" (Shafer and Dezman, 1982). Ovaj indikator se koristi u slučajevima kada Palmerov indeks suše ne odražava realne uslove u regionima u kojima

prevladava sneg. Indeks SWSI se zasniva se na raspodeli verovatnoće mesečnih serija vremenskih podataka za pojedinačnih komponenti. Originalni SWSI indeks je formulisan kao preračunata ponderisana suma verovatnoća ispod granične vrednosti četiri hidrološke komponente: sabijenosti visine snežnog pokrivača, padavina, vodnih tokova i stanja vodnih rezervi. Indeks se izračunava počevši od jednačine 9.2:

$$SWSI = \frac{aP_{snow} + bP_{prec} + cP_{strm} + dP_{resv} - 50}{12} \quad (9.2)$$

gde su a, b, c i d faktori težine za svaku hidrološku komponentu; $a + b + c + d = 1$; P je verovatnoća ispod granične vrednosti (u procentima) za komponentu i; a snow, prec, strm i resv su vidsina snežnog pokrivača, padavine, vodotokovi i stanje rezervi vode.. Ako oduzmemo 50, SWSI vrednosti se centriraju oko nule, a deljenje sa 12 sužava opseg vrednosti između -4,17 i + 4,17.

Sledeći indeksi koji se koriste za praćenje suše zasnovani su na podacima daljinskog merenja (za detalje vidi poglavlje 13).

Indeks stanja vegetacije (eng. The Vegetation Condition Index) je fokusiran pružanje detaljnije informacije o uticaju početka, trajanja i intenziteta suše na vegetaciju tako što posmatra promene vegetacije u odnosu na osmotrene vrednostima. Za određivanje VCI indeka koristi se *indeks normalizovane razlike vegetacije (NDVI) koji opisuje uslove vlažnosti* (Kogan, 1995) za poslednjih 16 dana, a u odnosu na granične minimalne i maksimalne vrednosti ekosistema. On pokazuje stres nastao zbog vremenskih uslova tj. zbog suše ili prekomerne vlage.

$$VCI = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})) \cdot 100 \quad (9.3)$$

Drugi indikatori suše koji se često koriste za praćenje stanja su vlaga u zemljištu, gustina snežnog pokrivača, površinski vodotokovi, nivo podzemnih voda, nivo vode u akumulacijama i jezerima, zdravstveno stanje vegetacije i kratkoročne, srednjeročne i dugoročne prognoze. Daljinska merenja nude inovativne mogućnosti za praćenje suše na manjim prostornim razmerima zahvaljujući povećanoj rezoluciji. Tehnike daljinskih merenja su posebno pogodne za regione u kojima ne postoji odgovarajuća mreža meteoroloških stanica.

Istraživanje upotrebe indeksa za prognozu suše ili vlažnosti korišćenih operativno (za prošlost, sadašnjost i predviđanja) u poljoprivredi u Evropi izvršeno je u okviru projekta COST734 i prikazano je u tabeli 9.3.

Tabela 9.3 Prijavljena operativna upotreba agroklimatskih indeksa uključujući statističke modele koji procenjuju dostupnost vode i stanja suše (Orlandini et al., 2008)

Indeks/model	Tip upotrebe	Vremenski korak	Prostorni korak	Upotreba	Zemlja
Suša					
Sadržaj vode u zemljištu u 10 cm	F	5 dana	regionalni	procena regiona zahvaćenih sušom	CH
Indeks hidrometeorološke suše	N	nedeljno	nacionalni	procena regiona zahvaćenih sušom	CZ
Evapotranspiracija	N, P	dan	nacionalni	procena useva i regiona zahvaćenih sušom	AT
Komponente vodnog bilansa	N, P	dan, nedelja, mesec, godina	od pojedinačne lokacije do nacionalnog nivoa	procena useva i regiona zahvaćenih sušom	CZ, F, I, NO, PL, SI, SK, SR
Sadržaj vode u zemljištu	P	dan, nedelja, mesec	10x10 km do nacionalnog	procena površina zahvaćenih sušom	DE, FI, IT, RO, SI, SR
VHI	P, N	mesec	nacionalni	procena useva i regiona zahvaćenih sušom	GR
PDSI	P	prema zahtevu	nacionalni	procena regiona zahvaćenih sušom	HR, SR, GR
dubina podzemnih voda	P	mesec	regionalni	procena regiona zahvaćenih sušom	I
Upotrebljiva voda	P	nedelja	nacionalni	snabdevanje vodom	CZ
Palfai Aridity Index	P	godina	nacionalni	procena regiona zahvaćenih sušom	HU, SI
Sume padavina i anomalije	P	nedelja, mesec, godina	regionalni, nacionalni,	procena površina zahvaćenih sušom	AT, I, PL, SI, SR

Percentili padavina	P	mesec	nacionalni	procena mesečnih padavina u odnosu na normalne vrednosti	HR
SPI	P	mesec	regionalni	deficit padavina	ES, I, SI, SR, GR
WOFOST model biljne proizvodnje	P	dan	regionalni	sušni dani	NL, SK
Ekstremne padavine					
Suma padavina	F	sat, dan	nacionalni, regionalni, lokalni	procena zahvaćenih regiona	All countries
Intenzitet padavina	F	sat	nacionalni-lokalni	procena zahvaćenih regiona	AT, DE, PL, SK
5-day probability forecast of 1,0 mm+	F	dan	regionalni	procena zahvaćenih regiona	CH
Daily forecast of 25,0 mm+ precipitation	F		nacionalni	procena zahvaćenih regiona	GR
Rainfall regime classes	F		regionalni	procena zahvaćenih regiona	RO
SPI mape	P	dan, mesec, 60 dana, 90 dana	regionalni, nacionalni	procena zahvaćenih regiona	I, SI, SR, HR
Anomalije sume padavina	P	mesec	regionalni	procena zahvaćenih regiona	AT, I, SI
Palmer's index	Z P	dekada	nacionalni, mreža stanica	procena zahvaćenih regiona	SR

(F) prognoza, (N) trenutna prognoza, (P) računanje za prošlost

Gledajući u budućnost, klimatske promene povećavaju verovatnoću pogoršavanja fenomena suše u mnogim zemljama, što stvara dodatni pritisak na snabdevanje vodom i poljoprivredu (takođe vidi poglavlje 12 o uticaju klimatskih promena). Gledano na globalnom nivou, suša 2012. godine pogodila je istovremeno nekoliko glavnih poljoprivrednih regiona, što je dovelo do nestabilnosti cena hrane. U zemljama koje se već suočavaju sa nesigurnošću u obezbeđivanju hrane, skokovi cena mogu dovesti do socijalnih nemira, migracija i oskudica.

Suša se može nastaviti zahvaljujući ciklusu "pozitivnih povratnih sprega", u kojem vrlo suva zemljišta i smanjeni biljni pokrivač mogu dodatno potisnuti padavine na već sušnom području (preko smanjene evapotranspiracije i samim tim smanjenog transporta vodene pare u atmosferu). U takvoj situaciji, moguća rešenja uključuju efikasnije korišćenje vode, stvaranje sorti i hibrida sa povećanom otpornošću na sušu (vidi poglavlje 10.4), kao i zasnivanje zelene infrastrukture za upravljanje akumulaciju bujičnih voda koje su posledica olujnih epizoda ili za povećanje energetske efikasnosti u zgradama.

9.2 Toplotni talasi

Temperatura je primarni faktor koji utiče na život i rast biljaka (Hatfield and Prueger, 2015). Konkretno, rast biljaka može se izraziti kao količina ćelijske diferencijacije, povećanja biomase i dostizanje reproduktivne faze. U svakoj fazi, temperatura igra ključnu ulogu tokom celog perioda rasta i razvića i utiče na razne aspekte rasta biljaka u zavisnosti od godišnjeg doba i fenološke faze. Temperaturni trendovi tokom godine su osnovni uslov za setvu i organizovanje drugih poljoprivrednih radova. U tom smislu, a na osnovu njihovih termičkih zahteva, biljke se mogu deliti na trave iz hladnije klime i trave iz toplije klime.

Da bi se izbegle štete na usevima i gubici u prinosu, utvrđeni su temperaturni opsezi

- Optimalne temperature predstavljaju opseg u kojem je rast biljaka najintenzivniji;
- Osnovne minimalne i maksimalne temperature su one ispod i iznad kojih se rast biljke zaustavlja, a zatim ponovo započinje kada temperatura dostigne povoljniji nivo
- Kritične maksimalne i minimalne temperature predstavljaju granične vrednosti za preživljavanje biljaka.

Generalno gledano, povišene temperature povećavaju stopu fenološkog razvoja biljaka. Biljka tipično zahteva višu optimalnu temperaturu za vegetativni razvoj nego za reproduktivni razvoj. Međutim, sa fiziološke tačke gledišta, povećanje temperatura iznad kritičnih nivoa može dovesti do povratnih ili nepovratnih promena u metabolizmu biljaka (Blumental i sar., 1991), a koje se odnose na:

- rast biljke i ometanje fotosinteze;
- nekontrolisano povećanje ćelijskog disanja;
- akumulaciju toksina;
- ometanje proizvodnje proteina;
- proteolizu;

- degradaciju ćelijske membrane;
- fiziološke promene biljaka;
- sušenje listova.

Međutim, prilično je teško razlikovati oštećenja koje uzrokuje temperatura od oštećenja uzrokovanih nedostatkom vode ili visokim intenzitetom zračenja. Ipak, simptomatologija temperaturnog stresa obuhvata nekontrolisano opadanje listova, ožegotine na listovima, nekrozu i metaboličku neuravnoteženost (Baisi et al., 1999; Ceccon et al., 2017). Listovi i izdanci su najosetljiviji delovi biljaka (kako za zeljaste tako i za višegodišnje biljke) zbog njihove intenzivne transpiracije i visokog sadržaja vode. Intenzivno sušenje tih delova biljke zbog temperaturnog stresa, smanjena metabolička aktivnost biljaka i - u najtežim slučajevima - apopleksije, može dovesti do venjenja biljaka. Listovi menjaju boju i postaju hlorotični. Ako se stres produži, nekroza može zahvatiti svo lišće. U uslovima ekstremnog stresa, mogu se pojaviti ožegotine kao posledica nekroze, a zahvaćeni listovi otpadaju posle nekoliko dana. Ožegotine na listovima obično uzrokuje interakcija visoke transpiracije, nesposobnost korenovog sistema da obezbedi dovoljne količine vode i visoke temperature. Plodovi biljaka su takođe osetljivi na temperaturu i sunčevo zračenje. U takvim slučajevima, plodovi pokazuju opekotine na pokožici, posebno one vrste plodova koje imaju tanku pokožicu (paradajz, grožđe, jabuke, kruške i breskve).

Ako su biljke izložene visokim temperaturama tokom ranih faza rasta, mogu se desiti i dodatna odložena oštećenja. U ovim slučajevima stabiljike se nekontrolisano izdužuju, cvetanje je prerano i proređeno, dok plodovi stvaraju žilavu pokožicu, a njihov prinos je smanjen.

U tom smislu, ekstremni događaji koji se javljaju tokom letnjeg perioda imaju dramatičan uticaj na produktivnost biljaka. Ovo se dešava uglavnom zbog oštećenja koja su uzrokovana tokom reproduktivne faze što utiče na proizvodnju polena, oplodnju i formiranje zrna ili ploda.

Posebno treba istaći da je *fenološka faza najosetljivija* na ekstremne temperature *oprašivanje*, sa nižim kritičnim temperaturom u poređenju sa drugim fiziološkim procesima. Niža kritična temperatura u toku oprašivanja karakteristična je za sve vrste biljaka. Dugotrajna izloženost ekstremnim temperaturama tokom faze oprašivanja i formiranja zrna ili plodova značajno smanjuje potencijal prinosa biljke. *U kontekstu klimatskih promena*, očekuje se da će pojava ekstremno visokih temperatura postati intenzivnija, češća i da će trajati duže u odnosu na osmatranja iz poslednjim nekoliko decenija (vidi poglavlje 12). Ekstremne temperature su opasnije za jednogodišnje useve, koji imaju kraću sezonu rasta i brži vegetativni razvoj, nego za višegodišnje useve. Ekstremni vremenski uslovi koji se javljaju tokom leta, koje karakterišu temperature veće od uobičajenih vrednosti i koje traju danima ili nedeljama, definišu se kao toplotni talasi.

Svetska meteorološka organizacija (eng. World Meteorological Organisation, WMO) nije formulisala standardnu definiciju toplotnog talasa. U nekoliko zemalja, definicija se zasniva na prekoračenju definisanih graničnih vrednosti temperatura. Date granične vrednosti izražene su iz zabeleženih u istorijskih podataka za

određeno područje (Tabela 9.4). Toplotni talas se definiše u skladu sa klimatskim uslovima određenog područja i zbog toga nije moguće predložiti apsolutni temperaturni prag koji bi važio za sve geografske širine.

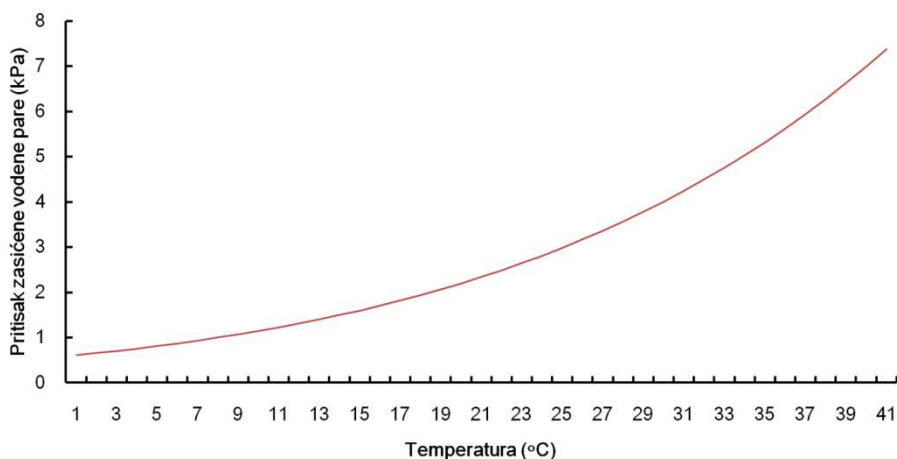
Tabela 9.4 Registrovana operativna upotreba indeksa vezanih za visoke temperature za poljoprivredne svrhe u Evropi (Orlandini et al., 2008).

Indeks/model	Upotreba	Vremenski korak	Prostorni korak, nivo	Upotreba	Zemlja
Temperaturni stres					
Temperaturni indeks	F	dan	regionalno	dani sa temperaturnim stresom	HU
Maksimalna temperatura površine zemljišta, viših delova biljnog sklopa i ispod plastičnog pokrova	P	mesec, vegetacioni period	nacionalna mreža stanica	indikator temperaturnog stresa za useve	AT, DE
Suma temperatura	P	prema potrebi	nacionalni	određivanje zahvaćenih regiona	HR, SI
Temperaturni percentili	P	mesec	nacionalni	određivanje srednjih mesečnih vrednosti i odnos sa normalnim vrednostima	HR
Suma dnevnih	P		nacionalni	dani sa temperat	RO

maksimalnih temperatura koje prevazilaze 32 °C				urnim stresom	
Broj dana sa maksimalnom dnevnom temperaturom iznad 30 i 35 °C	P	mesec	nacionalna mreža stanica	broj dana sa temperaturnim stresom	AT, HR, SI, SR
Odstupanje dnevne maksimalne temperature od klimatološke normalne vrednosti	P	dan, dekada, mesec	nacionalna mreža stanica	broj dana sa temperaturnim stresom	AT, I, SR

Jedan aspekt ekstremno visokih temperatura, koji se često zanemaruje, je njihov uticaj na potreba za atmosferskom vodenom parom. Konkretno, postoji pozitivna korelacija između temperature vazduha i pritiska zasićene vodene pare (maksimalnog pritiska vodene pare) (Slika 9.1). Povećanje potrebe za vodenom parom dovodi do povećane transpiracije sve dok se ne pojavi nedostatak vode koji dovodi do smanjenja stomaterne provodnosti. Ovo stanje dovodi do povećanja temperature lista što smanjuje intenzitet fotosinteze. Ako su usevi izloženi ekstremno visokim temperaturama, može brzo doći do vodnog stresa zbog visoke potražnje za atmosferskom vodom i ograničene sposobnosti useva da usvaja vodu iz zemljišta. Ako vodni deficit traje ograničeni vremenski period, usevi mogu biti sposobni da se vrate u normalno stanje. U slučaju da u vodni stres postane hroničan, usevi mogu pretrpeti značajna oštećenja (IPCC 2007).

Konačno, visoke temperature dovode do toga da se suša razvija brže i postaje ozbiljnija zbog intenzivnog isparavanje i sa njim povezanog povećanja stope stvarne evapotranspiracije.



Slika 9.1 Veza između pritiska zasićene vodene pare i temperature vazduha.

9.2.1 Metodi zaštite od toplotnih talasa

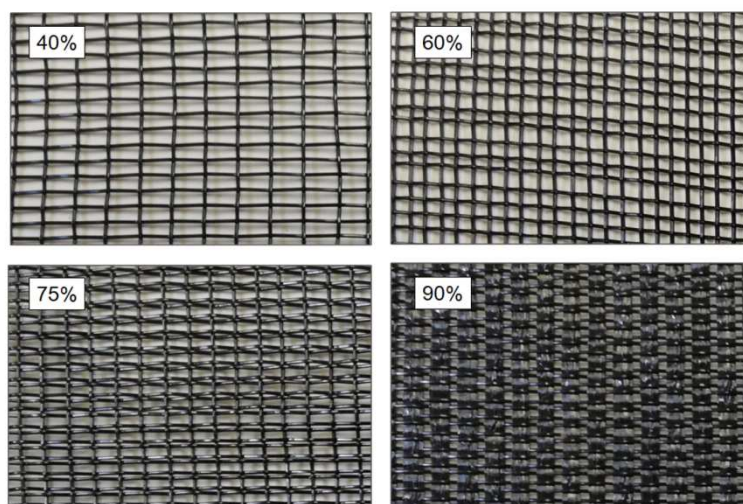
Kratki periodi visokih temperatura mogu imati štetan uticaj na prinos useva (niži prinos zrna, sterilnost, smanjenje kvaliteta zrna, itd.). Zbog toga su neophodne promene u agronomskoj praksi, da se osigura adaptabilnost useva i očuva njihov potencijal za prinos. Metodi zaštite mogu se definisati kao indirektni i direktni.

Indirektni metodi:

- korišćenje biljnih vrsta koje imaju visoku morfološku i fiziološku tolerantnost prema visokim temperaturama;
- rana setva i korišćenje sorti kratke vegetacije da bi se izbegle kritične letnje temperature.

Direktne mere:

- izbor proizvodnih parcela na osnovu izloženosti i nagiba;
- usejavanje između redova visokovrednih useva i korišćenje useva koji prave senku (široko se koriste u tropskim i subtropskim područjima);
- agrošumarski sistemi (takođe vidi poglavlje 10.4)
- korišćenje specijalnih pokrova (npr. plastičnih mreža za senčenje, drvenih zaklona) da bi se smanjila izloženost sunčevom zračenju;
- vetrobrani za smanjenje uticaja dominantnih vetrova;
- hlađenje površinskog sloja zemljišta navodnjavanjem (hlađenje isparavanjem);
- sistemi za hlađenje staklenih bašta (prirodna i veštačka ventilacija, mreže ili boje za senčenje, reflektivni paneli, sistemi za pravljenje veštačke magle).



Slika 9.2 Mreža za senčenje sa različitim procentom propuštanja zračenja.

Pokrivači za senčenje koriste se za smanjenje uticaja direktnog sunčevog zračenja na različitim visinama na otvorenim poljima i u plastenicima. Oni smanjuju apsorpciju energije na listovima, a time i zagrevanje celokupnog biljnog pokrivača. Koriste se razne strategije pokrivanja, u zavisnosti od zahteva useva i klimatskih uslova. Mreže za senčenje su najčešće korišćeni pokrivači: prema dimenzijama mrežnih otvora, mogu se postići različiti nivoi zasenjivanja (pokrivenost od 30 - 50 - 70 - 90%). Generalno, mreže za senčenje su crne ili zelene, mada se mogu koristiti i bele mreže za povećanje refleksije sunčevog zračenja. Na otvorenom polju potrebno je postaviti šipke i nosači mreža.

Protivgradne mreže imaju sličnu strukturu i mogu se koristiti u obe svrhe. Smanjenje temperature se takođe može postići hlađenjem u procesu isparavanja uz pomoć sistema za navodnjavanje (idealno kombinovano sa samim navodnjavanjem). Navodnjavanje prskalicama predstavlja najefikasniju strategiju za smanjenje temperature u usevu i koristi se tokom toplotnih talasa ili tokom fenoloških faza osetljivih na visoke temperature (pre cvetanja, cvetanje, sazrevanje zrna). Pri visokim temperaturama i visokim nivoima evapotranspiracije, navodnjavanje obezbeđuje vodu koja povećava vlažnost vazduha i usporava transpiraciju. Sa druge strane, ova strategija povećava ukupnu evapotranspiraciju i potražnju vode za navodnjavanje. Iz tog razloga, korišćenje sistema za navodnjavanje u svrhu hlađenja je preporučljivo samo kada talas ekstremne toplote pretili da izazove velika oštećenja na usevu.

Prskanje se široko koristi na sportskim terenima i ukrasnim travnjacima. U ovom pristupu koristi se fino raspršena voda tokom najtoplijeg dela dana kako bi se smanjila temperatura biljaka i očistili listovi od izlučenih materija (aminokiselina i ugljenih hidrata) koje biljke proizvode kada su izložene stresu. Pored toga, smanjenje količine izlučenih materija na listovima smanjuje rizik od napada gljiva (*Pythium* spp.) koje se razmnožavaju uz pomoć tih supstanci.

Biljke koje su izložene dugotrajnim stresnim temperaturama mogu razviti neke vrste otpornosti na visoke temperature. Te vrste otpornosti najčešće su posledica eko-

fiziološke adaptacije biljaka koja uključuju morfološku strukturu ćelija i druge fiziološke modifikacije kao što su:

- povećanje koncentracije citoplazme, čija posledica je podizanje temperature ključanja;
- modifikacija hemijskih veza vode u ćelijama;
- smanjenje veličine listova;
- stvaranje posebnih organa za čuvanje vode.

Ove strategije prilagođavanja omogućavaju biljkama da smanje uticaj temperaturnog stresa. Međutim, u zavisnosti od vrste useva, određeni štetni procesi i dalje mogu da se razviju kada temperature pređu određeni nivo. Tabela 5 daje pregled kritičnih maksimalnih temperatura osnovnih poljoprivrednih kultura.

Tabela 5 Kritične maksimalne temperature (T_{ml}) za osnovne poljoprivredne kulture (Luo, 2011).

Usev	T _{ml} (°C)
Pšenica	47.5
Ječam	35
Pirinač	40
Kukuruz	35
Šećerna trska	44
Paradajz	35
Soja	39
Pamuk	35

9.3 Mraz

Termin "mraz" se obično koristi za opisivanje meteorološkog događaja kada usevi i druge biljke doživljavaju povrede usled izmrzavanja. Uopšteno uzevši, ovaj termin se odnosi na stvaranje ledenih kristala na površini biljke bilo zbog zamrzavanje rose ili sublimacije vodene pare. Mraz se definiše kao temperatura vazduha ispod tačke smrzavanja (0 °C) na velikom području i u dovoljnom vremenskom periodu (najmanje jedan ili dva dana), mereno na visini između 1,25 m i 2,0 m iznad površine zemljišta, u meteorološkom zaklonu.

Mnoge studije nude definiciju mraza: pojava temperature manje od ili jednake 0 °C izmerene u "Stevenson-screen" zaklonu na visini između 1,25 m i 2,0 m;• pojava temperature vazduha manje od 0 °C, bez opisa vrste skloništa i visine merenja;• odsustvo podataka o formiranju leda dok površinska temperatura pada ispod 0 °C.

Ova vremenska pojava se deli na beli i crni mraz. Beli mraz se javlja kada se atmosferska vlaga zamrzne i formira male kristale na čvrstoj površini, dok crni mraz

uključuje stvaranje malobrojnih ledenih kristala, jer je vazduh isuviše suv. Posledice obe vrste mraza za vegetaciju su iste.

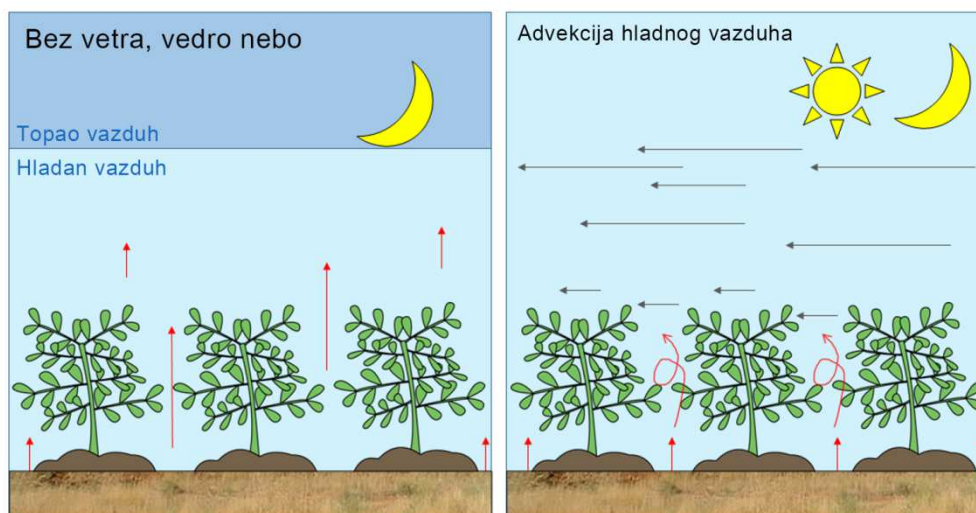
Pored toga, mraz se obično dodatno kategoriše u dva tipa: radijacioni i advektivni mraz (ili njihova kombinacija). Radijacioni mraz se razvija noću i rezultat je intenzivneog, dugotalasnog radijacionog hlađenja (izračivanja) u mirnim, vedrim i suvim atmosferskim uslovima. Jake površinske inverzije javljaju se u mirnoj atmosferi koja se povezuje sa radijacionim mrazom. Advektivni mraz je rezultat snažnog prodora hladnog vazduha, temperature ispod 0 °C, umerenih do jakih vetrova i vrlo uzburkane atmosfere. Ponekad se ove dve vrste mraza mešaju: na primer, neki region može doći pod uticaj hladne vazdušne mase (advektivni mraz), praćen sa nekoliko dana mirnih uslova i vedrog neba (radijacioni mraz).

Radijacioni mraz. Radijacioni mraz je prouzrokovan gubitkom toplote sa površine zemljišta preko noći, putem zračenja. Ova vrsta mraza traje uglavnom nekoliko sati, a zatim sledi sunčano jutro i vedro nebo. Iako su temperature vazduha, u periodu javljanja mraza, iznad 0°C u toku dana, one uglavnom padaju ispod 0°C noću, počevši od momenta kada sunce zađe.

Ova vrsta mraza javlja se zimi ili u proleće. Radijacioni mraz se često javlja posle prolaza fronta suvog i hladnog vazduha, koji prethodi dolasku hladne vazdušne mase. U takvim uslovima, temperatura vazduha se povećava sa visinom u mikro sloju u blizini površine zemljišta. Što se tiče zaštite useva od izmrzavanja, temperaturna inverzija se smatra jakom kada je temperatura na 12-15 metara iznad zemlje -10°C. U suprotnom, tj., kada je razlika u temperaturi manja od -15°C, inverzija se smatra slabom. Dešava se često u slučaju radijacionog mraza da do najvećeg pada temperature dolazi oko zalaska sunca. Neto zračenje se brzo menja od pozitivnog do negativnog nivoa, što je posledica smanjenja sunčevog zračenja od njegove najveće vrednosti u podne do nule na zalasku sunca, uzdugotalasnog zračenja Zemlje koje je uvek negativno.

Šematski, ovaj fenomen se može objasniti na sledeći način: zemaljske površine kao što su listovi su u direktnom kontaktu sa nebom; budući da su relativno topli, oni počinju da zrače toplotu prema hladnom nebu. Ako je vazduh između neba i lista suv i nepomućen i ako nema vetra, list gubi toplotu prema nebu brže nego što može usvajati toplotu iz okolnog vazduha. U ovim uslovima list može da dostigne 0°C čak i ako je temperatura vazduha i dalje 2-3°C. Kako mraz nailazi brzo, on može biti rizičan za biljke iako nije smrtonosan: ivice listova postaju smeđe i smežurane, kao da su listovi bile oštećeni herbicidom (FAO, 2005) (Slika 9.3a).

Advektivni mraz. Za ovu vrsta mraza je karakteristično da hladan vazduh zamenjuje topli na određenom području. On je povezan sa vedrim noćnim uslovima, umerenim do jakim vetrovima, bez prisustva temperaturne inverzije i niskom vlagom. Pošto nema inverzije, teško je zaštititi useve od ove vrste mraza. Advektivni mraz može se javiti u uslovima mediteranske klime, a uobičajena je i u istočnim delovima Severne Amerike, npr. na Floridi, subtropskom području u koje povremeno nadiru hladne kontinentalne vazdušne mase iz arktičkih regiona (FAO, 2005) (Fig. 9.3b).



Slika 9.3 Radijacioni (a) i advektivni (b) mraz.

Oštećenja od mraza povezana su sa različitim situacijama i raznim biljnim vrstama. Na primer, možemo razmotriti tropske biljke koje su često podložne ozbiljnim oštećenjima od mraza kada se izlože temperaturama ispod nule. Različite biljne vrste ili sorte trpe različite stepene oštećenja od mraza pri istoj temperaturi i istoj fenološkoj fazi, a u zavisnosti od prethodnih vremenskih uslova kao i "otvrdnjavanja", što je njihov način prilagođavanja niskim temperaturama pre nailaska hladne noći. Oštećenja od mraza se javljaju kada se led formira u biljnom tkivu i tako povredi biljne ćelije. Razlikuju se dva tipa oštećenja, direktno (kada se ledeni kristali formiraju unutar ćelijske protoplazme) i indirektno (kada se led formira unutar biljaka, ali izvan ćelija) (FAO, 2005). Problem je u tome što formiranje leda izaziva "mehanička oštećenja strukture protoplazme" (Levitt, 1980). Štaviše, možemo razlikovati oštećenja od hladnoće koja se javljaju kada su biljke izložene temperaturama od $+5^{\circ}\text{C}$ do -2°C ; oštećenja usled desikacije, do kojih dolazi kada se led kreće po površini listova na temperaturama od 0°C do -2°C , i oštećenja od smrzavanja, koja se dešavaju na temperaturama ispod -2°C kada se, zbog brze ledene nukleacije, formiraju ledeni kristali u tkivu biljaka.

Intenzitet oštećenja zavisi od brzine kojom temperatura pada, a ne toliko od trajanja niske temperature. Čini se da je brzina odmrzavanja nakon zamrzavanja takođe delimično povezana sa intenzitetom oštećenja.

Temperatura pri kojoj se očekuje određeni nivo oštećenja od smrzavanja naziva se "kritična temperatura", koja se razlikuje u zavisnosti od biljne vrste i sorte, fenološke faze i mnogih faktora stvrdnjavanja (FAO, 2005).

Biljke se suprotstavljaju niskim temperaturama pomoću mehanizama izbegavanja ili tolerancije. Faktori koji omogućavaju biljkama da se odupru niskim temperaturama uključuju zadržavanje snega tokom zime, koji štiti kako nadzemne tako i podzemne delove biljaka; biofizički efekat gustih sklopova; stvaranje krupnih organa sa visokim toplotnim kapacitetom (Turel i Ostin, 1969), kao i metode veštačke zaštite od mraza koje modifikuju mikroklimu biljnog sklopa. Osim toga, tolerantnost prema niskim temperaturama može se postići snižavanjem tačke zamrzavanja. Tolerantnost prema

vanćelijskom smrzavanju stvara se smanjivanjem količine formiranog leda zbog povećanja koncentracije materija rastvorenih u protoplazmi. Tolerantnost prema većem stepenu isušivanja omogućena je zahvaljujući plazmolizi protoplazme. Konačno, unutarćelijsko smrzavanje izbegava se povećavanjem permeabilnosti (propusnosti) ćelijske membrane.

Kiša može biti od važnosti za diferencijaciju intenziteta oštećenja od mraza: zapravo, blago navlažen sklop biljaka može pretrpeti oštećenja od mraza na višim temperaturama u poređenju sa suvim. To se dešava zato što voda sadrži jezgre koji podižu tačku zamrzavanja vode (Christner et al 2008).

Indeksi mraza. Mnogi indeksi koriste se za opisivanje uticaja mraza na prirodne i upravljane ekosisteme. Takvi indeksi uključuju podatke kao što su datum poslednjeg mraznog dana u proleće i prvog mraznog dana u jesen, broj uzastopnih mraznih dana, broj bezmraznih dana i dužina vegetacionog perioda. Mnogi od ovih indeksa izračunavaju se na osnovu minimalne dnevne temperature vazduha (T_{min}) (Anandi A. i sar., 2013). U nastavku su navedeni neki primeri:

- Mrazni dan se definiše kao dan sa minimalnom temperaturom (T_{min}) nižom od bazne temperature (T_b).
- Broj mraznih dana (nFD) definisan je kao broj dana sa mrazom. Ovaj parametar se određuje na mesečnom, sezonskom i godišnjem nivou.
- Broj bezmraznih dana (nFFD) definisan je kao broj dana bez mraza. I ovaj parametar određuje se na mesečnom, sezonskom i godišnjem nivou.
- Poslednji prolećni mraz (LSF) je poslednji dan u periodu od marta do maja sa $T_{min} < 0^{\circ}C$. Prvi jesenji mraz (FFF) je dan u periodu od septembra do novembra sa $T_{min} < 0^{\circ}C$.
- Dužina vegetacionog perioda (GSL) računa se od početka proleća do jeseni. Ukoliko nas interesuje rast vegetacije, a ne njena otpornost, viši temperaturni pragovi ($10^{\circ}C$ i $6,1^{\circ}C$) se koriste za početak proleća i kraj jeseni. Broj dana od poslednjeg prolećnog mraza i prvog jesenjeg mraza u okviru iste godine koristi se za određivanje dužine vegetacionog perioda.

Ovi indeksi su veoma važni: na primer, broj bezmraznih dana u toku godine odražava ukupni trend zagrevanja u okviru klimatskog sistema. Kao što se može videti iz priloženog grafikona, u poređenju sa prosekom za 1979-2014, u poslednjih 30 godina došlo je do povećanja dužine bezmraznog perioda na teritoriji od Sjedinjenih Država do Aljaske. Ovaj indikator može uticati na donošenje odluka vezanih za upravljanje poljoprivrednim i prirodnim resursima, uključujući planiranje setve i procenu rizika od šumskog požara (Globalchange.gov).

9.4 Oluje, grad i vetar

9.4.1 Gràd

Kada temperatura oblaka dostigne -5 do -20°C , može doći do još jedne štetne pojave, a to je oluja sa gradom (vidi poglavlje 5). Pored oluje, grad nanosi dodatne štete usevima. Konkretno, grad uzrokuje povrede na peteljci i pokožici plodova voća, opadanje cvetova i plodova, kao i lomljenje zeljastih i drvenastih delova biljaka. Kao sekundarni uticaj, patogene gljive mogu koristiti oštećena tkiva kao puteve invazije i naneti značajne gubitke prinosa kako u smislu kvaliteta tako i kvantiteta.

Jake oluje sa gradom mogu uticati na poljoprivrednu proizvodnju, nanoseći značajne a često i totalne direktne gubitke prinosa. Poljoprivredni usevi se mogu štititi uz pomoć aktivnih i pasivnih strategija.

Aktivne strategije imaju za cilj sprečavanje oluja sa gradom upotrebom hemijskih jedinjenja. Takvi postupci koriste srebrni jodid ili higroskopna jedinjenja da bi se smanjila veličina kišnih kapi, podstakle rane padavine i sprečilo stvaranje zrna grada. Danas se uglavnom koriste tri metoda za tretiranje tim hemijskim jedinjenjima:

- direktno sa zemlje (jeftino ali neefikasno);
- protivgradne rakete se ispaljuju sa zemlje i pomoću njih se hemijska jedinjenja ubacuju u gradonosne oblake (najčešće korišćeno);
- avioni koji lete unutar oblaka i tamo ispuštaju hemijska jedinjenja (najefikasnije, ali skupo).

-



Slika 9.4 Protivgradni top (Izvor: Source: Massimo Telò – Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19250054>).

Protivgradni top spada među aktivne strategije. On stvara udarne talase koji stižu do oblaka i razbijaju kišne kapi, putem kavitacije, što zatim proizvodi padavine. Međutim, uopšteno gledajući, protivgradni top nije efikasno sredstvo za zaštitu useva u odnosu na druge aktivne strategije.

Pasivne strategije uključuju mreže za zaštitu od grada koje se široko koriste u proizvodnji voća. Presretanje zrna grada je obezbeđeno pasivnom zaštitom, pomoću mreža postavljenih iznad biljaka. Mreže su obično izrađene od polietilena, sa kvadratnim ili pravougaonim rupama od 2 do 11 mm. Mreže se oslanjaju na stubove

i sistem žica koji je postavljen pod specifičnim nagibom kako bi se obezbedilo da se zrna grada mogu ukloniti iz mreža.

Kao veoma važna mera za zaštitu od ekonomskih gubitaka, osiguranje od grada je postalo sasvim uobičajeno za poljoprivrednike iz opasnih područja, kao što su ona u blizini Alpa. U Austriji, na primer, više od 40% poljoprivrednika ima osiguranje za sve vrste useva, a posebno za voćnjake. Takođe, premija osiguranja može biti smanjena ako poljoprivrednici instaliraju mreže za zaštitu grada.



Slika 9.5 Mreže za zaštitu od grada u voćnjaku.

9.4.2 Vetar i oluje

Vetar igra određenu ulogu u nekoliko osnovnih aspekata poljoprivrednih proizvodnih sistema, kao što je razmena gasova na različitim atmosferskim nivoima, eolska erozija i prenos polena. Međutim, kada vetrovi postignu preveliku brzinu (oluje), njihovo delovanje može izazvati negativne posledice za kratko vreme, kao što su poleganje useva, lomljenje grana, opadanje cvetova i plodova, eradikacija i erozija zemljišta. Posebno štetna je eolska erozija, tj. erozija zemljišta uzrokovana vetrom. Eolska erozija pogađa širok spektar područja u svetu i smanjuje globalne poljoprivredne površine iz godine u godinu tako što intenzivira proces dezertifikacije. Eolska erozija se javlja u specifičnim klimatima (određenim vetrom, padavinama i temperaturom), sa specifičnom vlažnošću i strukturom zemljišta i specifičnim uslovima zemljišne površine i vegetacije. Brzina i smer vetra i vazdušne turbulencije mogu ukloniti značajne količine čestica zemljišta. Turbulencija je najizazovniji faktor za merenje, jer se smanjuje u skladu sa smanjenjem brzine vetra, a povećava sa hrapavošću terena. Brzina vetra od 15 km h^{-1} na visini od 30 cm iznad površine zemljišta je kritična za početak erozije zemljišta. Padavine smanjuje eroziju zemljišta vetrom tako što poboljšavaju koheziju čestica zemljišta i pomažu rasprostiranje biljaka.

Eolska erozija se češće javlja u kombinaciji sa:

- suvim i peskovitim zemljištem sastavljenim od malih čestica;

- ravnim zemljištem bez vegetacije ili drugog pokrovnog materijala;
- velikim poljima bez ikakvih prepreka (stene, ostaci useva, pokrovni usevi) koje bi delovale kao vetrobran.

Eolska erozija se može proceniti, na primer, na osnovu jednačine Vudrafa & Sidoveja (1965):

$$E = f (I + K + C + L + V) \quad (9.4)$$

gde je E godišnji gubitak zemljišta ($t \text{ ha}^{-1} \text{ godina}^{-1}$), I je indeks erozije ($t \text{ ha}^{-1} \text{ godina}^{-1}$) u nezaštićenom, otvorenom, ravnom polju bez vegetacije, K je hrapavost zemljišta, uzimajući u obzir nepravilnosti površine zemljišta, C je klimatski faktor ispitivanog područja, L je maksimalna dužina polja izložena dominantnim vetrovima bez zaštite, a V označava efikasnost vegetacije koja se suprotstavlja eolskoj eroziji. Procena eolske erozije zahteva kumulativno dodavanje prethodnih faktora, a ne jednostavno množenje.

Na raspolaganju je nekoliko strategija za zaštitu useva od negativnih uticaja vetra. Najefikasnija je korišćenje vetrobrana. Vetrobrani se sastoje od jednog do nekoliko redova drveća ili grmlja, u zavisnosti od zahteva useva i klimatskih uslova. Vetrobrani se obično postavljaju oko ivica polja koja su okomita u odnosu na pravac glavnih vetrova.

Vetrobrani takođe uključuju veštačka rešenja kao što su suvi zidovi, drvene ili plastične ograde, kao i polietilenske mreže koje nose stubovi i sistem žica. Ako dominantni vetrovi dolaze iz jednog pravca, vetrobrane treba postaviti pod pravim uglom u odnosu na taj pravac. Vetrobrani se mogu organizovati u jednom redu ili u nekoliko paralelnih redova, što zavisi od brzine vetra. U slučaju da dominantni vetrovi dolaze iz različitih pravaca, vetrobrani se postavljaju u obliku slova L, polukružno ili - u slučaju turbulentnih vetrova – sa mrežastom strukturom koja štiti polje sa svih strana; ovo poslednje rešenje se često koristi u agroforestrijskim poljoprivredno-šumarskim sistemima.

Svrha vetrobrana je da smanji brzinu vetra i da ga skrene sa pravca u kome duva. Kada vetar udari u vetrobran, jedan deo vazdušne mase prolazi kroz prepreku uz značajno smanjenje brzine, dok se glavni udar preusmerava iznad vetrobrana. Na osnovu svojih karakteristika, dužina područja zaštićenog vetrobranom može biti duža ili kraća. Na području zaštićenom vetrobranom dolazi do promena u mikroklimatskim i meteorološkim uslovima:

- smanjenje brzine vetra;
- smanjenje erozije zemljišta uzrokovane vetrom;
- povećanje noćnih temperatura;
- povećanje količine i trajanja rose;
- povećanje temperature zemljišta, što obezbeđuju raniju setvu i rano klijanje useva;

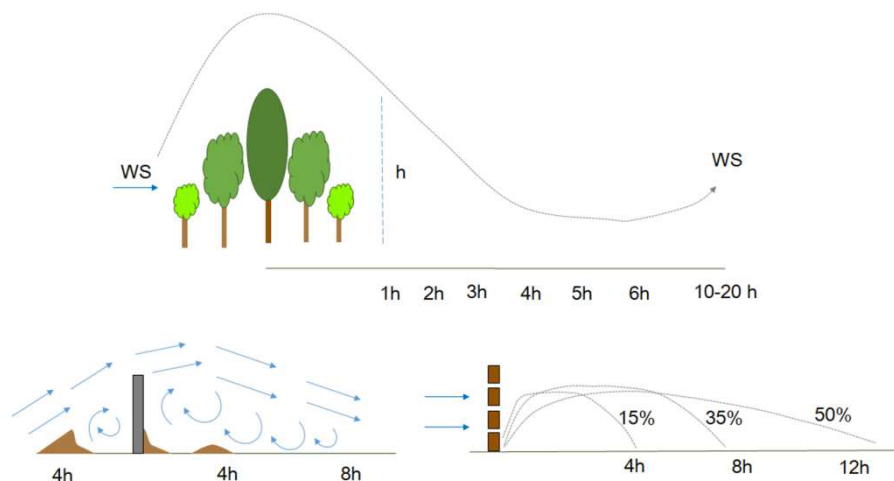
- povećanje atmosferske vlage od 2-4% (iako preterana gustina vetrobrana može prouzrokovati povećanu vlažnost listova i zemljišta što povećanje rizik od pojave bolesti);
- manji gubici vlage isparavanjem i srazmerno manji stres od suše za useve;
- više akumulacije snega tokom zime, što obezbeđuje dodatnu vlagu prolećnim kulturama.

Visina vetrobrana (H) je najvažniji faktor za njegov uticaj. Uopšteno govoreći, polja su zaštićena vetrobranom na udaljenosti od pet do osam puta H, u zavisnosti od njegove strukture. Vetar postiže svoju prvobitnu brzinu na udaljenosti od otprilike 10-20 puta H. Gustina vetrobrana je dodatni faktor koji znatno utiče na njegovu efikasnost. Gustina vetrobrana naročito utiče na protok i turbulenciju vetra. Gust vetrobran značajno smanjuje protok vetra i preusmerava ga iznad sebe. Zbog zone niskog pritiska koja se stvara iza vetrobrana, vetar se brzo preusmerava ka zemlji, što može uzrokovati poleganje useva.

Sa druge strane, vetrobran osrednje gustine smanjuje brzinu vetra, ali je preusmeravanje vetra manje, pa se turbulencija smanjuje. U tom slučaju, atmosferski pritisak je manje-više konstantan iza vetrobrana, a zaštićeno područje se produžava u pravcu niz vetar.

Veštački vetrobrani imaju različite gustine. Montažni zaštitni zid, na primer, preusmerava vetar iznad sebe i stvara jak turbulentni vetar, u kome slučaju se dužina zaštićenog područja smanjuje. Plastične mreže su najefikasnije rešenje među veštačkim vetrobranima. Mreže zaustavljaju 50% vetra, što značajno smanjuje njegovu brzinu vjetera tako da se javlja samo slaba turbulencija. Tok vetra se preusmerava preko vetrobrana; međutim, zaštićeno područje se povećava zbog slabe turbulencije. Prirodni vetrobrani mogu imati različite gustine u zavisnosti od rastojanja prilikom sadnje i gustine krošnje. *Gustina krošnje od 40-60% daje najbolje rezultate*, dok gustina iznad 80% stvara previše turbulencije, a gustina niža od 20% nema efekta. Pored toga, efikasnost vetrobrana je usko povezana sa njegovom debljinom. Kod prirodnih vetrobrana, deset redova se obično koristi na spoljnim granicama, a jedan do tri reda između svake parcele (Slika 9.7).

Međutim, vetrobrani zauzimaju plodno zemljište i imaju negativne efekte na rast useva koji se nalaze u njihovoj blizini (senčenje, konkurencija za vodu i hranljive materije u zemljištu). Ipak, njihovi pozitivni ekonomski efekti prevazilaze negativne, naročito u regionima podložnim sušama i visokim temperaturama. Osim toga, oni imaju pozitivne efekte na biodiverzitet, zadržavanje vode i neke druge ekosistemske prednosti, koje možda nisu očigledne u proračunima kratkoročnih ekonomskih uticaja koje prave poljoprivrednici.



Slika 9.6 Uticaj prirodnih (A) i veštačkih (B, C) vetrobrana. Veštački vetrobrani imaju drugačije efekte na pravac i brzinu vetra i turbulencije koje izaziva (Izvor: Ceccon et al. 2017).

Efikasnost vetrobrana zavisi od interakcija između njegove strukture, sastava i debljine. To znači da vetrobrani različite strukture i debljine mogu obezbediti isti stepen zaštite. Potrebno je preduzeti određene mere kako bi prirodni vetrobran bio u stanju da obezbedi visok potencijal zaštite:

- korišćenje zimzelenih vrsta kako bi se obezbedila zaštita proizvodnih parcela tokom cele godine (ovaj uslov nije neophodan u umerenim klimatima gde su usevi dormantni tokom zimskog perioda);
- korišćenje biljnih vrsta koje poseduju visoku toleranciju prema štetočinama, bolestima i ekstremnim vremenskim uslovima;
- korišćenje vrsta koje razvijaju snažnu krošnju;
- visoka tolerancija na orezivanje (proizvodnja drveta može predstavljati dodatnu ekonomsku aktivnost);
- korišćenje vrsta sa jakim centralnim korenom kako bi se smanjila konkurencija sa glavnim usevom i povećala otpornost na iskorenjivanje;
- uzimati u obzir efekte biodiverziteta (npr., cvetajuće vrste za pčele).

Uopšteno govoreći, *Eucalyptus* spp., *Cupressus arizonica*, *Pinus radiata*, *Acacia melanoxylon*, *Thuja gigantea*, *Chamaecyparis lawsoniana*, *Opuntia* spp., *Juniperus* spp., *Tamarix* spp. and *Ligustrum japonicum* se najčešće koriste u područjima sa blagim zimama (npr. Mediteranska klima). S druge strane, *Cedrus* spp., *Platanus orientalis*, *Alnus* spp., *Ulmus pumila*, *Robinia pseudoacacia* i *Populus* spp. su najčešće korišćene biljne vrste u kontinentalnim područjima sa hladnim zimama. U umerenim podnebljima kao što je centralna Evropa, lokalne vrste otporne na zimske uslove koriste se u kombinacijama grmlja i drveća (uglavnom topole). Pored toga, u područjima gde prevladavaju jaki vetrovi, potrebno je zasnovati nekoliko redova vetrobrana. Pošto takva intenzivna upotreba vetrobrana dovodi do smanjenja

poljoprivrednog zemljišta, vetrobrani se u mnogim slučajevima postavljaju na ivice polja ili na neproduktivne trake između parcela.

Oluje su kombinacije ekstremno teških vremenskih uslova kao što su snažan vetar, obilne padavine, grmljavina, munje i grad, kao i tornada, uragani i tajfuni. U zavisnosti od klimatskog područja, efekti oluje mogu biti manje ili više intenzivni; u osetljivim zonama kao što je Centralna Amerika, oluje mogu prouzrokovati ozbiljne probleme za stanovništvo i poljoprivredu, uključujući olujne poplave, plimske talase, jake pljuskove i eroziju zemljišta. Uticaj oluja na useve i oporavak useva zavisi od nekoliko faktora, kao što su vrsta useva, faza rasta, vremenski uslovi odmah posle oluje i prisustvo štetnih organizama. Jaki vetrovi koji se javljaju tokom oluja mogu prouzrokovati poleganje poljoprivrednih useva, a u ekstremnim slučajevima mogu uništiti useve i obarati stabla. Pored toga, obilne padavine tokom oluja mogu izazvati značajnu eroziju zemljišta ili, još gore, mogu pokrenuti klizišta sa značajnim gubicima poljoprivrednog zemljišta i useva. Generalno, oluje uključuju i pogoršavaju negativne efekte vetra i jakih padavina kako na useve, tako i na ljude. Pored toga, štetni efekti oluja mogu se dalje pogoršati ako se topli i vlažni uslovi produže, što mogu dovesti do pojave bolesti (Kovats i sar., 2014).

Oluje se često javljaju u tropima. Međutim, zbog klimatskih promena, oluje se sve češće javljaju u umerenim ili kontinentalnim područjima.

9.5 Poplave i obilne padavine

Padavine kao meteorološki faktor karakteriše veoma visoka varijabilnost u svim klimatskim uslovima u svetu, što generalno dovodi do problema u upravljanju poljoprivredom. U posljednjim decenijama, zbog klimatskih promena, vlažna područja su postala još vlažnija, a suve područja još suvlja. U severnoj Evropi, Severnoj i Južnoj Americi i severnoj Aziji, padavine su povećane. Sa druge strane, u tropskim i subtropskim predelima izvan monsunskog pojasa (Mediteran, južna Afrika i južna Azija) padavine se smanjuju. Pored toga, u mnogim regionima je zabeležen povećani intenzitet padavina: čak i u područjima gde su ukupne padavine smanjene zabeleženo je značajno povećanje obilnih padavina.

Promene dinamike padavina su takođe pod uticajem temperaturnih promena na globalnom nivou. Povećanje temperature dovodi do povećanja kapaciteta zadržavanja vode u atmosferi i dovodi do pojave obilnijih, ali ređih padavina. Drugim rečima, povećani kapacitet atmosfere za zadržavanje vodene pare povećava šanse za intenzivnije, ali manje česte kiše, pošto je atmosferi potrebno više vremena da popuni svoje kapacitete vodenom parom.

Povećanje intenziteta padavina predstavlja ozbiljan problem za poljoprivredu. Treba naglasiti da obilne padavine povećavaju stepen oštećenja useva i zemljišta, a naročito eroziju zemljišta. Težina kišnih kapi koje padaju na biljke povećava rizik od fizičkog oštećenja u obliku poleganja, opadanja listova, cvetova i plodova i lomljenje grana. Takva oštećenja su ozbiljnija ako se dese tokom vegetativne faze razvoja biljaka i ako su pogoršana jakim vetrom.

Negativni uticaj obilnih kišea može uzeti ove oblike:

- Poleganje biljaka: ako se obilne kiše jave u ranim fazama razvoja biljaka, stabljike biljaka su savijene, pa se smanjuje negativan uticaj poleganja. Biljke mogu lako da se vrate u normalan položaj. Bez obzira na to, poleganje predstavlja ozbiljan problem koji može dramatično smanjiti prinose. Takođe, poleganje biljaka po veoma vlažnom zemljištu stvara uslove za pojavu gljivičnih obolenja.
- Oštećenje vegetativnih delova biljaka: ovo se normalno javlja u ranim fazama rasta biljaka i može smanjiti razvoj biljaka i prinos. Kod drveća, lomljenje vegetativnih delova ugrožava godišnju proizvodnju; kod osetljivih vrsta, to može dovesti do drugog plodonošenja. Intenzivno opadanja listova značajno smanjuje fotosintetsku aktivnost i fiziološke procese.
- Lomljenje grana stabla: oštećenja ove vrste utiču na godišnju proizvodnju i fiziološku aktivnost biljaka, što može povećati njihovu podložnost napadima gljiva. U tom slučaju opet može doći do drugog plodonošenja.
- Opadanje cvetova: kada cvetovi opadnu, razvoj plodova, a time i prinosi su znatno smanjeni.
- Oštećenja plodova: oštećenje pokožice čine plodove voća osetljivijim na štetočine i bolesti. Ekstremni vremenski uslovi mogu dovesti do dalje opadanja plodova, čime se ugrožava prinos. Čak i ako plodovi sa oštećenom pokožicom uspeju da se zadrže na biljkama, proizvodnja je smanjena jer se smanjuje kvalitet prinosa.

Obilne padavine negativno utiču na poljoprivredna zemljišta, čak i više nego što utiču na useve. *Osnovni negativni efekat obilnih padavina na zemljište je erozija.* Erozija uzrokovana vodom utiče na zemljište direktno, kao erozija spiranjem, a indirektno, kao erozija koju uzrokuje stvaranje kanalčića i jaruga. Eroziju rasprskivanjem izazivaju kišne kapi svojim padom na zemljište. Ovaj tip erozije se javlja kada je kinetička energija kišnih kapi dovoljno velika da može da odvoji i pomeri čestice zemljišta. Ipak, iako je erozija rasprskivanjem u stanju da pokrene znatne količine zemljišta, pomeranje zemljišta je ograničeno na samo nekoliko centimetara, tako da se površina zemljište vrlo brzo konsoliduje. To je razlog zbog koga intenzitet i trajanje padavina, pokrivenost zemljišta, njegova tekstura i nagib terena u velikoj meri utiču na stepen erozije.

Indirektna erozija zemljišta uzrokovana vodom odnosi se na spiranje zemljišta koje vrše kanalčići, tj., mali kanali koji se mogu ukloniti obradom zemljišta, i stvaranjem jaruga, tj., velikih kanala koji su previše široki da bi se mogli ukloniti uz pomoć oranja. Količina padavina koju zemljište ne može primiti sliva se nizbrdo pod dejstvom gravitacije. Do slivanja dolazi iz dva razloga: (i) intenzitet padavina je veći od zemljišnog potencijala za infiltraciju (slivanje viška vode koji ne stiže da se infiltrira), i (ii) zemljište je već apsorbavalo svu vodu koju može da zadrži (slivanje viška vode koji zemljište ne može da upije).

U početku, slivanje nije u stanju da pokrene čestice zemljišta, jer vodena prevlaka štiti zemljište od erozije prskanjem. Pored toga, voda koja se već infiltrirala u zemlje poboljšava koheziju između čestica zemljišta i smanjuje eroziju. Međutim, kako voda teče nizbrdo, a kiša se nastavlja, ona stiže kinetičku energiju i nakuplja se u morfološke depresije u zemljištu. Ako kiša nastavi da pada samo kratko vreme,

nakupljanje čestica zemljišta u depresijama sprečava nastanak erozije. Međutim, ako su padavine obilne i intenzivne, vodena prevlaka se spušta u dubinu, tako da voda na površini može početi da odvaja čestice tla koje nisu u mogućnosti da se deponuju, pa čak i da ih odnosi. Mali kanalčići povećavaju protok i spajaju se tako da stvaraju veće kanale koji imaju veći potencijal erozije. Kako se protok vode nastavlja, nagib zemljišta se povećava, a površina mu se spušta. U nižim područjima stvaraju se veći kanali koji nastavljaju da se erodiraju. Između tih većih erozionih kanala, formiraju se područja preko kojih voda ne teče, ali to zemljište je podložno eroziji usled kišnih kapi. Količina zemlje koju se može preneti erozionim kanalima je značajna i ona se deponuje u najnižem delu polja gde se nagib završava.

Zaštita zemljišta od erozije spiranjem može se postići obradom zemljišta i zasnivanjem biljnog pokrivača. Obično je moguće iskopati nekoliko plićih kanala pod pravim uglom u odnosu na nagib zemljišta (drljačom ili plugom). Na taj način, voda koja teče nizbrdo tokom jakih padavina planirano se sakuplja na nekoliko mesta i time se smanjuje erozioni potencijal. U osetljivim oblastima, međutim, preporučuje se periodično održavanje drenažnih kanala. Redovno uklanjanje nanesenog materijala osigurava funkcionalnost kanala i smanjuje dodatne rizike od poplave.

Procena godišnje stope erozije zemljišta je osnovni faktor za procenu rizika i organizovanje strategije zaštite. Procena erozije zemljišta uzrokovane vodom se obično vrši modelom koji se naziva revidirana univerzalna jednačba gubitka zemljišta (RUSLE model):

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (9.5)$$

gde A predstavlja godišnji gubitak zemljišta ($t \text{ ha}^{-1} \text{ godina}^{-1}$), R je faktor padavina koji predstavlja erozioni potencijal padavina ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ godina}^{-1}$), K predstavlja gubitak zemljišta na standardnim parcelama dužine 22,13 m sa nagibom od 9%, podrjanim u pravcu nagiba i koja se obrađuje po sistemu ugara, L je faktor dužine polja i predstavlja odnos između gubitaka zemljišta u ispitivanim poljima i na standardnoj parceli (22,13 m), S je faktor nagiba koji razmatra gubitke zemljišta u proučavanim poljima i na standardnoj parceli (9%), C je faktor useva koji razmatra gubitke zemljišta na istraživanom polju i na standardnoj parceli koje se obrađuje po sistemu ugara, P je faktor mera konzervacije zemljišta koji ukazuje na odnos između gubitaka zemljišta u poljoprivrednim sistemima koji uključuju mere konzervacije zemljišta (poljoprivredni hidraulički sistemi) i gubitaka na polju koje se obrađuje u pravcu nagiba zemljišta i bez poljoprivrednih hidrauličkih sistema. Uzimajući u obzir da su faktori L, S, C i P nedimenzionalni, jedinice za gubitak zemljišta (A) biće proizvod faktora R i K. U svakom slučaju, najefikasnija strategija za smanjenje erozije zemljišta je upravljanje vodama preko hidrauličkih sistema i oranja.

Nadalje, štetni uticaji obilnih kiša na zemljište uključuju degradaciju strukture zemljišta i zbijanja kao posledica padanja kišnih kapi. U tom smislu, najosetljivija područja su ravna zemljišta, priobalna područja i glinovita zemljišta. *Sabijanje zemljišta smanjuje potencijal infiltracije vode* koja se nalazi na površini, zajedno sa

smanjenjem količine kiseonika. Smanjenje dotoka kiseonika dovodi do nastajanja anaerobnog stanja, koje zauzvrat smanjuje populaciju aerobnih mikroorganizama u zemljištu.



Slika 9.7 Različiti tipovi erozija zemljišta nakon velikih padavina podripanje (a), rasedanje (b), hidrogeološka nestabilnost (c) and klizišta (d)

U ovim okolnostima, plodnost zemljišta je u velikoj meri ugrožena zbog delovanja sledećih faktora:

- Potrošnja azota od strane anaerobnih bakterija (denitrifikacija). Proces denitrifikacije transformiše azot iz jedinjenja koja su dostupna biljkama (nitrati) u isparljiva jedinjenja. Isparljiva jedinjenja koja proizvode anaerobne bakterije su elementarni azot (N_2) i azot-suboksid (N_2O). Više od smanjenja plodnosti, emisije N_2O predstavljaju opasnost za životnu sredinu zbog svog visokog potencijala globalnog zagrevanja (GWP), koji je 265-298 puta više od vrednosti CO_2 za vremenski period od 100 godina. Osim toga, anaerobni uslovi značajno utiču na rast i produktivnost useva zbog smanjenja respiracije korenovog sistema.
- Smanjeno disanje. U odsustvu disanja, ugljen-dioksid i neka druga jedinjenja kao što su etanol i buterna kiselina akumuliraju u blizini korenja biljaka koji zbog toga postaju nefunkcionalni i na kraju umiru. Bez funkcionalnog korena, biljke nisu u stanju da usvajaju vodu, čak i kada su u nju potopljene, a ni hranjive materije. U vlažnom zemljištu povećava se pojava bolesti korena i nadzemnog dela biljaka, kao što je *Pithium* spp. Pored toga, kretanje površinske i podzemne vode uzrokuju ispiranje hranljivih materija iz zemljišta, što povećava nedostatak hranljivih materija u zemljištu (posebno katjona). Ispiranje hraniva (nitrata i fosfora) iz zemljišta jedan je od glavnih uzroka zagađenja izdani (akvifera) i vodotokova što u ekstremnim slučajevima može dovesti do eutrofikacije. Eutrofikacija podstiče nekontrolisano povećanje sadržaja biljaka i algi u vodenom telu praćeno brzim smanjenjem sadržaja kiseonika kao i smanjenjem biodiverziteta.

Da bi se ublažili uslovi anaerobnog stresa, usevi razvijaju više površinskog korenja ili dodatnog korenja iz stabljike. Površinski korenovi, međutim, smanjuju stabilnost biljaka kao i usvajanje vode i hranljivih materija. Takvi uslovi negativno utiču na rast useva, podstičući razvoj korova sa višom anaerobnom tolerancijom.

Da bi se smanjila zasićenost zemljišta vodom u ravničarskim područjima, uglavnom se primjenjuju dva rešenja:

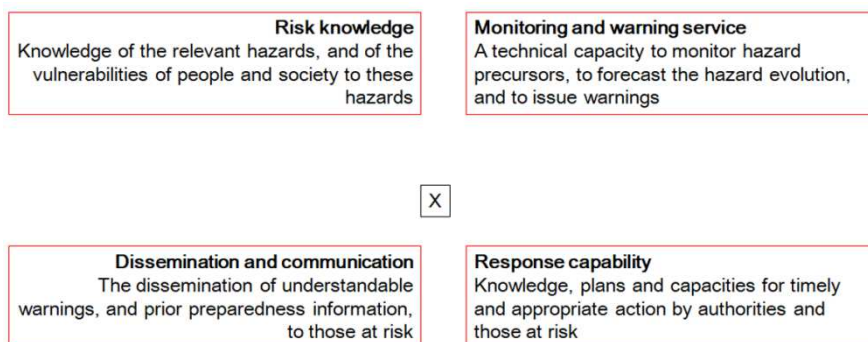
- Duboko oranje. Oranjem se može napraviti blagi nagib od središnjeg dela polja do ivica, zajedno sa odvodnim kanalima. U prisustvu takvih korita, voda koja dospeva na površinu zemljišta polako otiče, pod uticajem gravitacije, u okolne odvodne kanale, uz zanemarljiv erozioni rizik. Što se ove agrotehničke mere tiče, osnovno je da se nagib obnavlja svake godine pre početka vegetacione sezone. Uređivanje odvodnih kanala je takođe važno kako bi se osigurala maksimalna efikasnost upravljanja vodama.

- Podzemna drenaža. Treba napomenuti da je ova strategija efikasna samo u oblastima gde zasićenost zemljišta izaziva podzemna voda koja potiče od površinske vode. Osnovni koncept je da se pod zemlju postavi sistem perforiranih cevi koje sakupljaju vodu i odvede je u spoljašnje odvodne kanale.

9.6 Sistemi ranog upozorenja u poljoprivredi

Sistem ranog upozorenja se obično definiše kao sistem koji omogućava predviđanje predstojećih ekstremnih događaja. To se postiže tako što se formulišu upozorenja na osnovu naučnih saznanja, praćenja i razmatranja faktora koji utiču na težinu i učestalost prirodnih nepogoda. Cilj sistema ranog upozorenja je da pripremi ljude za rizike koji može izazvati neki štetni događaj. Upozorenja služe za obaveštavanje ljude i pripremanje na brzu reakciju u slučaju potrebe. Potrebno je razmotriti brojne aspekte koji su uključeni u stvaranje i usavršavanje sistema upozorenja, ti uspekti uključuju određivanje vremena objave upozorenja, poboljšavanje tačnosti i preciznosti upozorenja; potrebu za probabilističkim prognozama, poboljšavanje sredstava komunikacija i širenja upozorenja, korišćenje novih tehnologija za upozoravanje javnosti, i usmeravanje sistema upozoravajućih poruka prema određenim i relevantnim korisnicima. Danas postoje mnogi tipovi sistema upozorenja za industrijske, geofizičke i biološke opasnosti, kao i rizike za lično zdravlje čoveka. Razvijeno je nekoliko sistema upozoravanja na rizike koje može uzrokovati širok spektar prirodnih procesa (WMO, 2010).

Sistemi ranog upozoravanja moraju u sebi uključivati četiri prepoznatljiva elementa: znanje o rizicima, sistem nadzora i upozoravanja, sistem prenošenja i širenja obaveštenja i sposobnost reagovanja.



Slika 9.8 Elementi sistema za rano upozorenje koncipiranih za efikasnu upotrebu od strane korisnika.

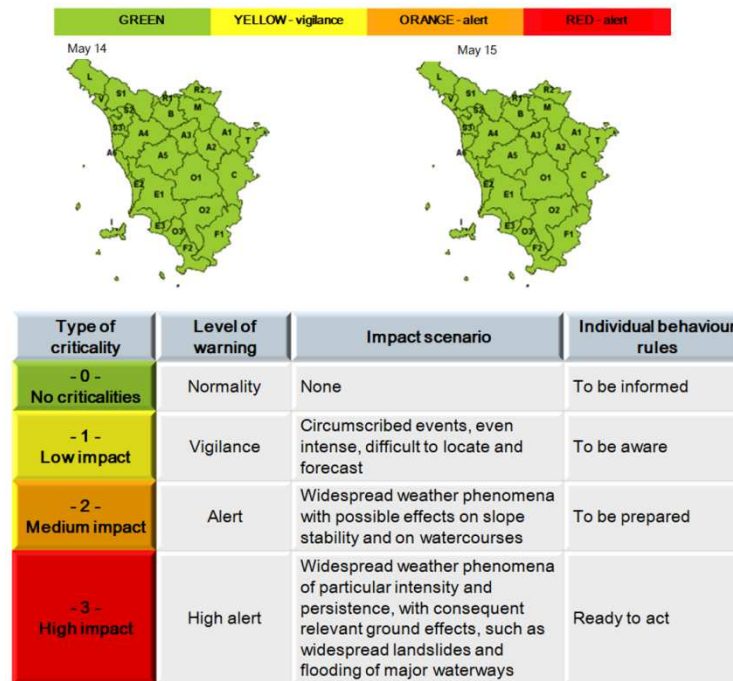
Određeni rizik obično se sastoji od niza povezanih faktora. Ti faktori se uglavnom odnose na životnu sredinu, ali mogu uključivati i društvene, političke i druge aspekte. Zbog toga, neku prirodnu nepogodu treba pratiti ne samo u smislu njenih kratkoročnih posledica, već i u svetlu njenih potencijalnih dugoročnih efekata, kao što su političke promene ili poremećaji u društvenim odnosima. Zato upravljanje prirodnim rizicima mora biti zasnovano na integralnom pristupu (ili pristupu sa mnogostrukim hazardima) (Basher, 2006).

Najčešći metod korišćen u okviru sistema ranog upozoravanja je lanac upozorenja, koji počinje sa analizom rizika i nastavlja se sa obaveštavanjem korisnika.

Sistemi ranog upozoravanja uključuju različite aspekte ljudskih aktivnosti, počev od meteorologije. Primer sistema ranog upozoravanja koji počinje meteorologijom nudi Službu za regionalnu tehničku preventivnu, koja je uspostavila operativni centar koji radi 24 časa, Štab za prirodne nepogode (SSRN), za predviđanje opasnosti od poplava u Pijemontu (Italija). SSRN izrađuje dnevne izveštaje o posmatranoj i očekivanoj meteorološkoj situaciji, obraćajući posebnu pažnju na prognozu padavina. Zajednica učestvuje u izradi lokalnog plana za slučaj opasnosti od poplave, tako što prati i proučava lokalnu dinamiku poplava i nagiba brda i razmenjuje informacije i savete sa nacionalnim i regionalnim agencijama. Jednom kada poplava krene i kada se proceni da je situacija opasna, šalje se upozorenje javnosti. Informacioni sistemi koji se koriste u SSRN-u uključuju automatsku mrežu za meteorološko i hidrometrijsko posmatranje, meteorološki radar, automatsko snimanje situacije u gornjim slojevima atmosfere dva puta dnevno, numeričko modelovanje za potrebe meteorološkog prognoziranja na globalnom i lokalnom nivou i numeričko modelovanje za prognoziranje poplava.

Postoje dva različita metoda za procenjivanje nivoa rizika: jedan upoređuje kvantitativnu prognozu padavina sa predefinisanim pragovima padavina, dok druga koristi numeričke simulacije u realnom vremenu. Te simulacije se rade putem sistema za praćenje poplava FloodWatch, koji obezbeđuje podršku za odlučivanju u okviru prognoziranja protoka vode u realnom vremenu. ArcView grafikoni automatski prikazuju i kontinuirano ažuriraju trenutno stanje na terenu kao i prognoze. Na kraju, tim stručnjaka izrađuje bilten predviđanja o očekivanim rizicima od hidroloških opasnosti (A, B ili C) i utvrđuju nivo opasnosti (1, 2 ili 3) za svaku osmatranu zonu.

Još jedan primer je sistem upozorenja Toskane (Italija), koji građane obaveštava o potencijalnim rizicima vezanim za meteorološke pojave. Pored objava sistem pruža i informacije o mogućim akcijama koje treba preduzeti u kriznim situacijama. Rizici koji su uvršteni u sistem su poplave (vodni rizik), klizišta (hidrogeološki rizik), jake oluje, vetrovi, sneg i led (Slika 9.10).



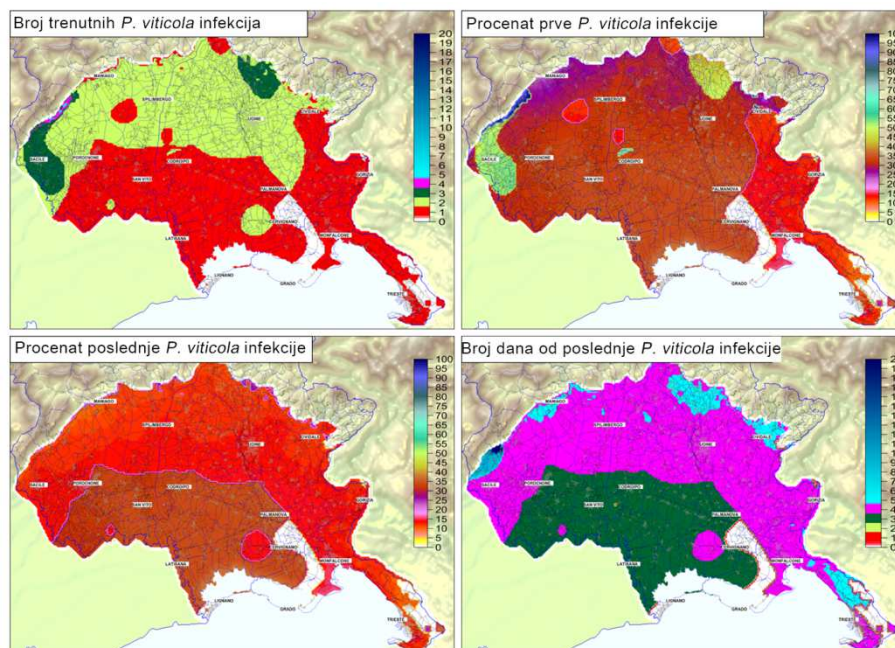
Slika 9.9 Sistem upozorenja Lamma – regiona Toskane.

Servisi za upozoravanje su važni za predviđanje parametara rizika. Procene rizika moraju biti koordinisane gde god je to moguće, da bi se izvlačila korist od institucionalnih, proceduralnih i zajedničkih komunikacionih mreža. Obaveštenja o rizicima moraju se efikasno prenositi putem mreže koja se razvija na regionalnom, nacionalnom i globalnom nivou. Stanovništvo mora biti unapred obavešteno o nailazećoj opasnosti kako bi se odbranilo i razvilo plan akcije u slučaju katastrofe. Cilj zasnivanja institucionalne osnove je razvoj nacionalnih, institucionalnih, zakonodavnih i političkih okvira koji podržavaju primenu i održavanje efikasnih sistema ranog upozoravanja.

Centralna tačka sistema ranog upozoravanja, kao što smo videli, su modeli koji reprodukuju rizične karakteristike nekog događaja. To mogu biti modeli biofizičkih procesa (kao što je model suše u kome se nedostatak zemljišne vlage može javiti tokom nekoliko meseci) ili procesa reakcije (kao što je dinamika procesa evakuacije stanovništva). U odsustvu podataka, modeli se zasnivaju na probabilističkim vrednostima nastanka štetnog događaja, što može dovesti do izazivanja lažne uzbune. Mogu se razlikovati četiri tipa sistema ranog upozoravanja: pred-naučni sistemi za rano upozoravanje, ad hoc naučno zasnovani sistemi ranog upozorenja, holistički sistemi ranog upozoravanja i integrisani sistemi ranog upozorenja.

Sistemi ranog upozoravanja široko se koriste i za zaštitu građana u urbanim sredinama kada meteorološki uslovi postanu ozbiljan izazov za ljudsko zdravlje. U tom pogledu, primer sistema za rano upozoravanje predstavlja projekat Heat Shield (Horizon 2020), koji ima za cilj da osigura zdravlje radnika tako što sprečava rizike od uticaja toplote tako što procenjuje uticaj toplote na radnike tokom letnjeg perioda. Na osnovu prognoze ECMVF verovatnoće, projekat je u mogućnosti da dâ prognozu o verovatnoći toplotnih rizika za rok od 45 dana kao i detaljne informacije o strategiji sprečavanja toplotnih rizika za period od 5 dana. Informacije se uglavnom odnose na nivo obezbeđenja vode i perioda odmora za svaku pojedinu kategoriju radnika. Koristeći specifične podatke o osobi kao što su starost, visina, težina, vrsta posla, oprema za ličnu zaštitu (PPE), sistem je u stanju da ponudi personalizovane podatke (Watts et al., 2017).

Sistemi ranog upozoravanja su široko rasprostranjeni u poljoprivrednom sektoru. Razlog tome je to što je za ratare važno unapred saznati o pojavi biljne bolesti, pre nego što ona počne da utiče na useve. Prevažodni zadatak svakog poljoprivrednika je da nadgleda parametara životne sredine koji mogu izazvati bolesti u poljoprivrednim kulturama. Interesantan primer predstavlja jednostavan sistem ranog upozorenja koji je razvijen za plamenjaču vinove loze (*Plasmopara viticola*) u oblasti Friuli Venezia Giulia (Italija) i dela Slovenačke teritorije. Meteorološki i epidemijološke informacije su generisane na lokalnom nivou i integrisane preko radarskih podataka. Osmotreni meteorološki podaci su korišćeni za kreiranje polja veličine 500x500m, dok su specifični modeli korišćeni za svaku ćeliju mreže. Izlaz iz sistema su dnevne epidemijološke i meteorološke karte koje se objavljuju na internetu (Slika 9.11).



Slika 9.10 Sistem upozorenja za plamenjaču vinove loze
(<http://www.meteo.fvg.it/agro.php>)

Još jedan primer sistema ranog upozorenja je onaj koji je razvijen u Kini za bolesti krastavaca u staklenicima. Podaci su bili sakupljeni i preneseni kako bi se razvio model predviđanja pojave bolesti. Model uključuje sledećih pet koraka. Prvi je prethodni alarm koji se zasniva na stepenu proširenosti obolenja. U konkretnom slučaju razvijena su dva indeksa: indeks opasnosti i indeks bolesti. Drugi korak se odnosi na analizu indikatora koji upozoravaju na verovatnoću pojave bolesti, kao što su relativna vlažnost vazduha, trajanje vlage na listovima i temperatura vazduha. Treći korak je traženje izvora koji uzrokuju ili povećavaju rizik od bolesti, kao što su prekomeran broj navodnjavanja ili previsoki dnevni opseg temperata. Nakon pojave bolesti, upozorenja se upućuju putem zvučnog alarma i svetlosnog upozorenja. Svetlosno upozorenje uključuje različite boje od kojih svaka odgovara jednoj od pet klasa intenziteta bolesti. Konačno, korisnici mogu unositi informacije u realnom vremenu, što je korisno za donošenje odluka. Ovaj sistem ranog upozoravanja koristi tehnike donošenja zaključaka prenete iz mašina za veštačku inteligenciju i ekspertske sisteme kako bi obezbedio bolje informiranu podršku za donosiocce odluka (Li i sar., 2008).

Dostupne tehnologije za praćenje i upozoravanje su:

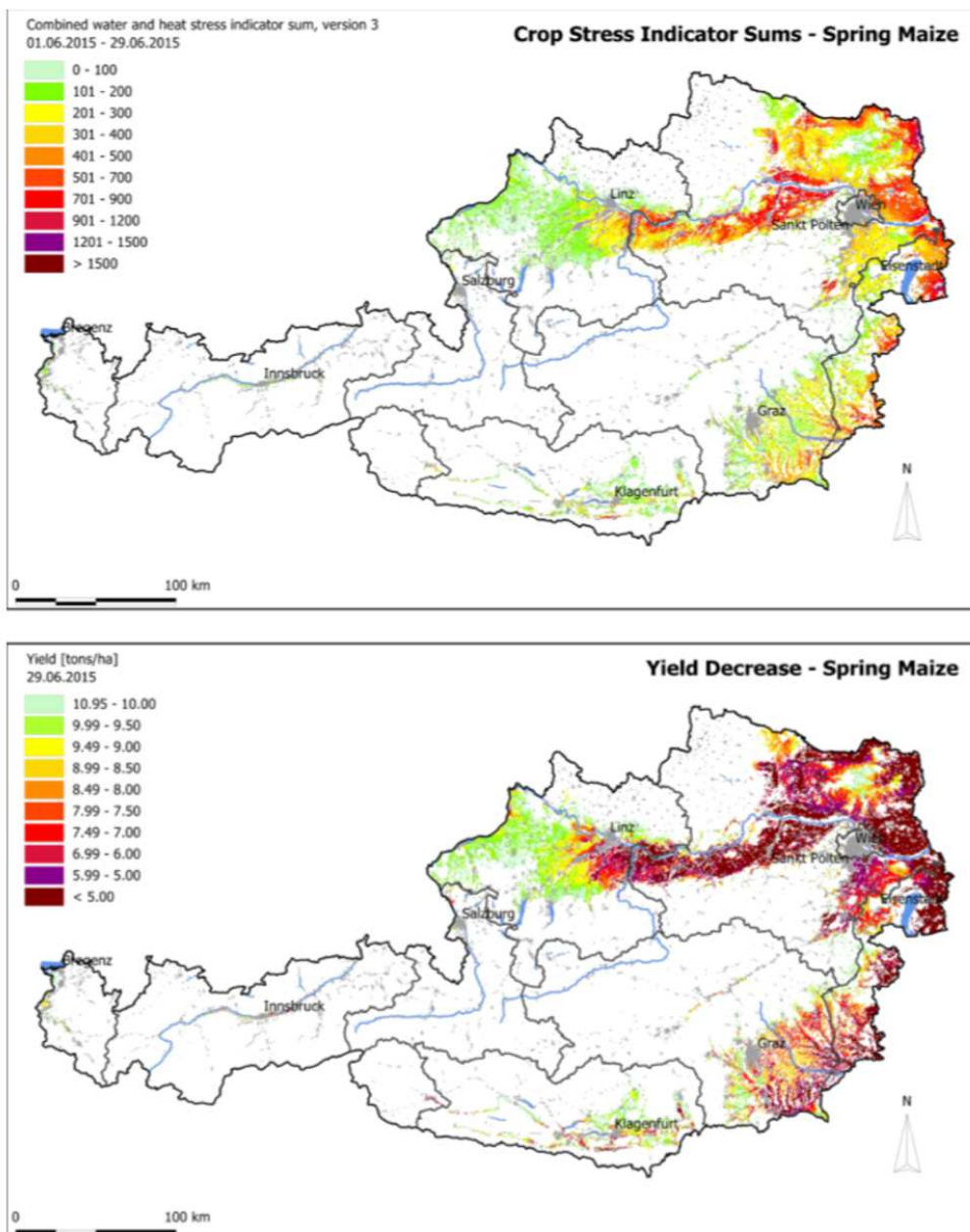
- tehnologija predviđanja, koja počinje sa podacima o temperaturi i padavinama da bi se razvio prognostički model;
- aplikacije daljinske detekcije i geografskog informacionog sistema (GIS), čije su prednosti sistematičan pristup prikupljanju podataka, smanjenje troškova prikupljanja podataka, dostupnost podataka širem krugu donosilaca odluka i mogućnost analize prostornih podataka;
- tehnologija satelitske komunikacije;
- tehnologija mobilne telefonije, pri čemu su telefoni automatski podešeni za besplatna bežična obaveštenja o vanrednim okolnostima koja šalju državne agencije. "App stores" uključuju brojne besplatne i plaćene vremenske programe koji pružaju hitna upozorenja;
- CTs za grupni rad. Opšta arhitektura aplikacija za grupni rad zasnovana je na organizatoru kampanje koja prati prikupljanje ciljanih prostornih podataka. Učesnici doprinose geoprostornoj kampanji tako što distribuiraju geoprostorne podatke koristeći sopstvene mobilne uređaje. Krajnji korisnici zatim obrađuju podatke koje su prikupili učesnici kampanje u skladu sa svojim potrebama;
- mapiranje kriznih područja, koje koristi lokacije iz uličnih mapa i dobrovoljno ustupljenih geografskih informacija (VGI) za područja kojima prete katastrofa i upoređuje ih sa geo-analiziranim tokovima podataka u realnom vremenu.

Globalna mreža Svetske meteorološke organizacije (WMO) koja uključuje specijalizovane regionalne meteorološke centre (RSMC) i svetske centre podataka (WDC) obezbeđuje kritične podatke, analize i prognoze koji omogućavaju nacionalnim meteorološkim i hidrološkim službama (NMHS) da obezbeđuju rano upozoravanje i smernice za postupanje u slučaju različitih prirodnih opasnosti, kao što su hladni talasi, zimske oluje, tropski cikloni, toplotni talasi, poplave i suše. Na

primer, WMO mreža se pokazala veoma efikasnom tokom 2004. godine, tokom jedne od najintenzivnijih sezona uragana u regionima Atlantika i Kariba. Atmosferski podaci prikupljeni na licu mesta kao i podaci sa meteoroloških satelita prenošeni su u Nacionalni centar za uragane Sjedinjenih Država u Majamiju, odakle su prognoze i upozorenja o uraganima izdavana 24 časa dnevno. Ova obaveštenja prenošena su putem globalnog telekomunikacionog sistema (GTS), telefaksa i Interneta u intervalima od 3-6 sati nacionalnim meteorološkim i hidrološkim službama ugroženih zemalja. Meteorolozi iz nacionalnih službi koristili su primljena upozorenja da bi napisali vlastita upozorenja o opasnosti of uragana na nacionalnom nivou, koja su odmah prosleđivana novinama, radio i televizijskim stanicama, hitnim službama i drugim medijima. Kao rezultat ovih informacija, mnogi životi su spašeni blagovremenim evakuacijama.

Od ključnog je značaja da se obezbedi da sve zemlje, posebno one manje razvijene, imaju sisteme, infrastrukturu, stručne kapacitete i organizacione strukture za stvaranje i korišćenje sistema ranog upozoravanja radi smanjenja šteta od prirodnih katastrofa (WMO, 2012).

Još jedan primer operativnog monitoringa i sistema ranog upozoravanja u poljoprivredne svrhe je Informacijski sistem poljoprivrednih rizika (ARIS), koji koristi mrežu visoke rezolucije (1x1 km) i izdaje dnevna obaveštenja, kao i desetodnevne prognoze. ARIS identifikuje potencijalne meteorološke rizike u poljoprivrednim područjima u austrijskim poljoprivrednim regionima koristeći odgovarajuće agro-klimatske indikatore kao što su uticaj suše, temperature i snabdevenost vodom glavnih kultura (Slika 9.11). Korisnici ovog sistema operativnog praćenja meteorološke situacije su poljoprivrednici, poljoprivredni istraživački i savetodavne servisi i osiguravajuća društva.

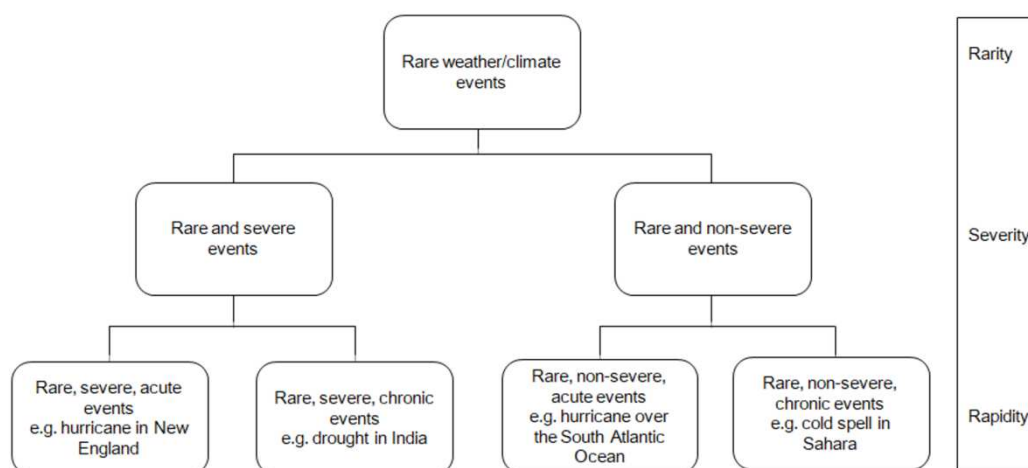


Slika 15 Akumulirani sušni i toplotni stres za kukuruz (gore) i očekivani prinos zrna (dole) za Austriju u 2015. godini (operativni sistem dostupan na: <https://warndienst.lko.at/mais+2500+++6577?typ=YIELDCLASS>).

10 Upravljanje rizicima

U mnogim delovima sveta vremenski i klimatski ekstremi predstavljaju najvažnije rizike koji utiču na proizvodnju, produktivnost i upravljanje poljoprivrednim sistemima. Konkretno, ekstremne vremenske prilike kao što su suše, poplave, cikloni, ekstremne temperature i jaki vetrovi znatno otežavaju održivi razvoj poljoprivrede.

Klimatski ekstremi su događaji koji su abnormalni po učestalosti svoje pojave ili trajanju (retko). Definicije izraza 'retko' variraju, ali ekstremni vremenski događaj bi obično ulaze u 10 ili 90 percentila na distribuciji funkcije verovatnoće izražene iz osmotrenih vrednosti meteoroloških elemenata (Klimatske promene u Australiji - Biro za meteorologiju Odeljenja za životnu sredinu). Ne postoji generička definicija ekstremnih klimatskih događaja, jer ekstremi na jednoj lokaciji mogu biti normalni u drugoj. Štaviše, ekstremni klimatski događaji su višedimenzionalni, jer se mogu opisati na osnovu više osobina kao što su brzina (verovatnoća u jedinici vremena) pojave, intenzitet pojave, trajanje i vreme pojave, prostorni razmer i multivarijantne zavisnosti. Iz ovih razloga (dokaza o postojanju razlika) neophodno je uneti lokalne definicije: na primer, t toplotni talas je period neobično toplog vremena (maksimalne, minimalne i prosečne dnevne temperature) u nekom regionu, koji traje najmanje dva uzastopna dana tokom godišnjeg doba koje se smatra vrućim na osnovu lokalnih klimatskih uslova, a čiji su zabeleženi termički uslovi iznad datih graničnih vrednosti. Ovaj događaj se posebno može definisati intenzitetom, trajanjem, prostornim razmerom i stepenom pojave (WMO, 2016).



Slika 10.1 - Genealoško drvo retkih klimatskih događaja (izvor: Stephenson et al., 2008).

Tokom prethodnih decenija, a kao posledica klimatskih promena, ovi događaji se povećavaju po broju, trajanju i intenzitetu (WMO, 2006). Mnoge strategije

prilagođavanja imaju za cilj da procene koje bi promene karakteristika vremenskih i klimatskih događaja mogle da imaju ekstremno uticaj na ljudsko društvo. Pored ekstremnih klimatskih i vremenskih događaja i opasnosti koje oni nose, stepen izloženost ovim opasnostima i osetljivost na njih uzimaju se u obzir prilikom utvrđivanja rizika. To znači da strategije prilagođavanja i mere koje se koriste kod upravljanja rizicima zavise od striktnog shvatanja kolike su dimenzije čovekove izloženosti i ranjivosti, kao i od pravilne procene kako se te dimenzije menjaju (Cardona et al., 2012).

Da bi se bolje razumeli međusobni odnosi koji postoje između koncepata opasnosti, ranjivosti, izloženosti i rizika, potrebne su neke definicije.

10.1 Rizik

Iako u literaturi postoji niz definicija (Bruks N., 2003), rizik se često predstavlja kao verovatnoća ili mogućnost nastanka opasnih događaja ili trendova pomnoženo sa posledicama do kojih dolazi ako se ovi događaji ili trendovi jave (Cardona et al., 2012).

Na primer, u ISO Vodiču stoji: "Rizik je kombinacija verovatnoća da će do nekog događaja doći kao i do njegovih posledica" (ISO, 2002). Rizik definisan na ovaj način odnosi se na stvarni rizik i zato se može objektivno proceniti na osnovu naučnih podataka. Ipak, stvari su komplikovanije i opasan događaj nije jedini pokretač rizika, pošto se nivo negativnih uticaja delimično određuje ranjivošću i izloženošću društva i društveno-ekološkog sistema (Cardona et al., 2012).

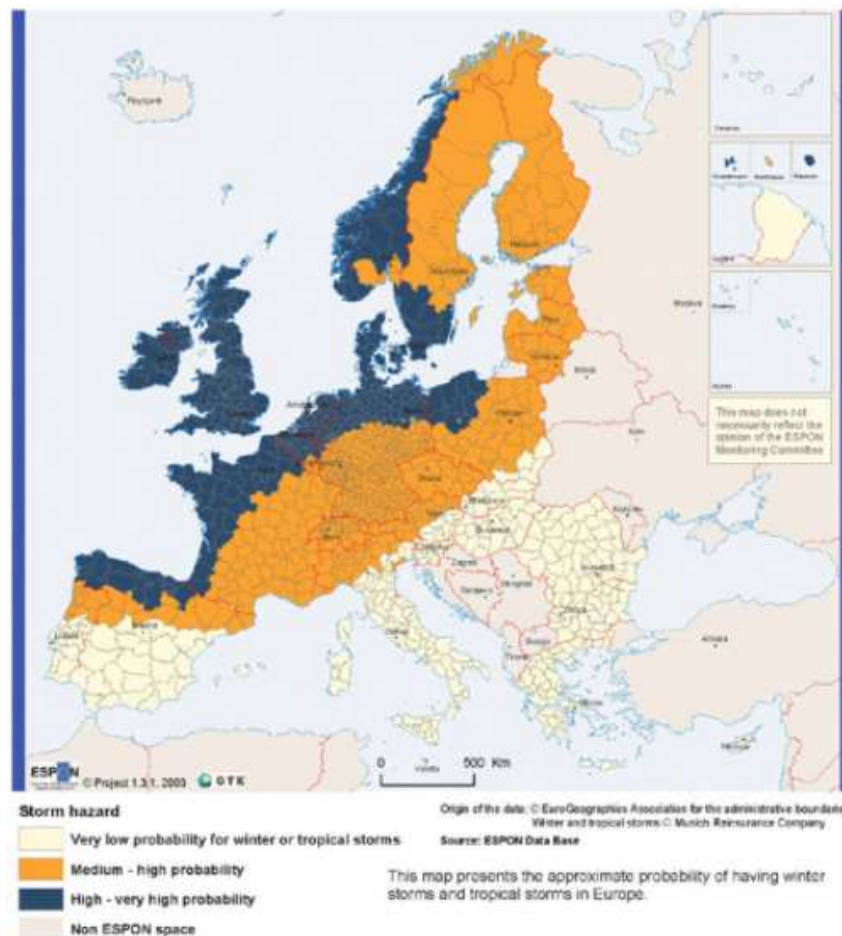
Dakle, rizik je složen koncept i on se u krajnjoj instanci određuje na osnovu interakcije društvenih i ekoloških procesa, kao i kombinacije fizičkih opasnosti i ranjivosti elemenata koji se nalaze na udaru (vidi Poglavlje 1) (Cardona et al., 2012).

10.2 Opasnost, izloženost i ranjivost: tri komponente rizika

10.2.1 Opasnost

U četvrtom izveštaju IPCC (IPCC, 2007) opasnost se definiše kao "moguća pojava prirodnog ili od strane čoveka izazvanog fizičkog događaja, ili trenda, ili fizičkog uticaja koji može dovesti do gubitka života, povrede ili drugog uticaja na zdravlje čoveka, kao i oštećenja ili gubitka imovine, infrastrukture, sredstava za život, usluga, ekosistema i životnih resursa". U kontekstu klimatskih promena, pojam opasnost obično se odnosi na fizičke događaje ili trendove vezane za klimatske uslove ili njihove fizičke uticaje. Pojmovi ekstremni klimatski ili vremenski događaji, kao što su suša, velike padavine i poplave, mraz i toplotni talas, i tornado ili jak vetari su klimatske opasnosti koje su nasumični, potencijalno destruktivni faktori. Ovakvi događaji uglavnom zavise od prirodnih faktora i karakteriše ih relativno dobro poznati zakon verovatnoće (Guilard, 2016).

Iako se u svakodnevnom govoru rizik i opasnost često koriste kao sinonimi, trenutno je široko prihvaćeno da je opasnost jedna od komponenti rizika, a ne sam rizik (Cardona et al., 2012).



Slika 10.2 - Evropa: područja u kojima pretil opasnost od oluje (izvor: Source: European Spatial Planning Observation Network, ESPON).

10.2.2. Izloženost i ranjivost

Izloženost i ranjivost se često, ali pogrešno, koriste kao sinonimi. *Izloženost* se može definisati kao "prisustvo ljudi, sredstava za života, ekoloških usluga i resursa, infrastrukture ili ekonomskih, socijalnih ili kulturnih dobara na mestima koja bi mogla biti pogođena štetom", dok je *ranjivost* "sklonost ili predispozicija da se bude izložen negativnom uticaju" (Cardona et al., 2012). Znači, izloženost je više povezana sa fizičkim karakteristikama, kao što je lokacija, dok ranjivost može biti (bio)fizička i socio-ekonomska i ona je povezana ne samo sa osetljivošću i slabošću sistema, već i sa nedostatkom sposobnosti da se ublažavaju negativni uticaji na elementima koji su na udaru.



Slika 10.3 - Tri komponente rizika: opasnost, izloženost i ranjivost.

Na osnovu ovih definicija, moguće je biti izložen, ali ne i ranjiv, međutim, da bi bili ranjivi u odnosu na neki opasan događaj neophodno je da budete izloženi. Na primer, ako živite u plavnoj ravnici, to znači da ste izloženi ekstremnim događajima vezanim za padavine, ali to nužno ne znači da ste ranjivi ukoliko se primjenjuju efikasne mere za smanjenje potencijalnih gubitaka. Sa druge strane, ako niste izloženi, rizik ne postoji, tako da biti ranjiv podrazumeva da ste izloženi.

Na kraju, ranjivost je takođe u funkciji osjetljivosti sistema, što podrazumeva "stepen do koga na određeni sistem utiču, negativno ili pozitivno, faktori vezani za klimu. Uticaj može biti direktan (npr., promena prinosa useva kao odgovor na promenu srednje vrednosti, ekstremnih vrednosti ili varijabilnosti temperature) ili indirektan (npr., štete prouzrokovane povećanom učestalošću plavljenja priobalja zbog porasta nivoa mora)".

10.3 Procena i upravljanje rizikom

Procena rizika odnosi se na kvalitativni ili kvantitativni pristup utvrđivanju prirode i obima rizika analizom potencijalnih opasnosti i procenom postojećih uslova izloženosti i ranjivosti koji, delujući zajedno, mogu naneti štetu ljudima, imovini, uslugama, srestvima za život i njihovom okruženju. Da bi se procenio rizik, prvi korak je identifikovanje opasnosti i njihovih glavnih karakteristika (verovatnoća pojave, intenziteta, itd.); posle toga potrebno je analizirati izloženost i ranjivost. Na kraju treba proceniti efikasnost materijalnih kapaciteta potrebnih za uspešno suprotstavljanje identifikovanim scenarijima rizika.

Termin "upravljanje rizicima" podrazumeva razvoj i primenu strategija za smanjenje i prevenciju rizika, što doprinosi povećanju otpornosti i smanjenju gubitaka. Postoje mnogi izazovi, koji zavise od različitih faktora kao što su zanemarivanje stalne spremnosti, loše upravljanje i neodgovarajuće strategije odgovaranja na izazove. Ovo naročito važi za područja u kojima su uslovi za degradaciju životne sredine znatno uznapredovali, a tehnologija i inovacije su suviše

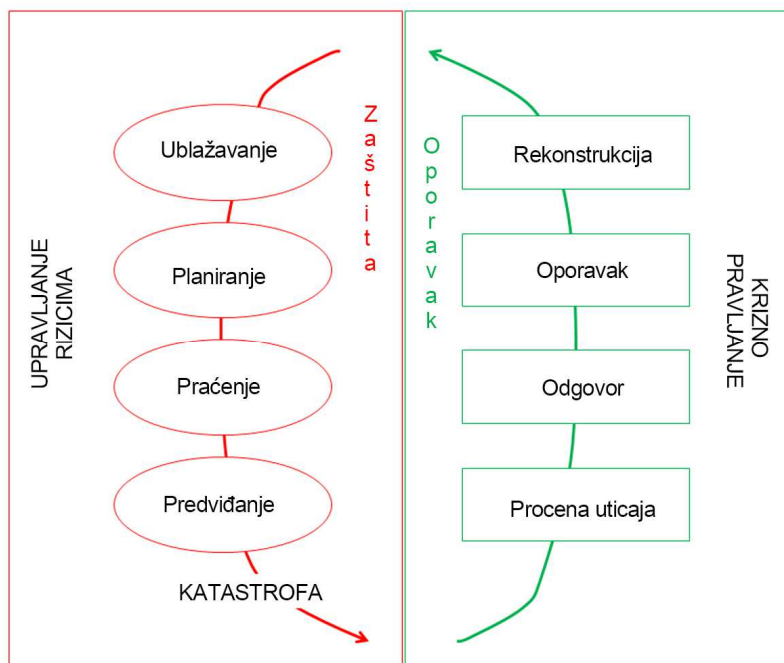
spori da bi ublažili posledice takvog stanja (kao što je to slučaj u mnogim zemljama u razvoju).

Na primer, intenzivne padavine mogu pogoršati proces ispiranja hranljivih materija, površinsko oticanje vode i, konačno, eroziju zemljišta zbog loše agrotehnike na poljoprivrednim površinama u brdskim krajevima (npr., vinogradima); neadekvatno upravljanje zemljištem u suvom ratarenju i pojava ozbiljnih suša mogu uzrokovati brzu degradaciju tih zemljišta: antropogeni faktori kao što su suviše intenzivna obrada, prekomerno napasanje stoke i drugi oblici neadekvatnog korišćenja zemljišta, kada se praktikuju u suvom ratarenju, mogu dovesti do značajne degradacije vegetacionog pokrivača, ispiranja hraniva iz zemljišta i, na kraju dezertifikaciju.

Kao što izveštava WMO (WMO, 2006), postoje mnogobrojne mogućnosti koje mogu pomoći da se efikasno suočavamo sa meteorološkim rizicima. Jedna od najvažnijih strategija je unapređeno korišćenje znanja i tehnologija povezanih sa klimom, koji uključuju razvoj mehanizama za praćenja i reagovanje na tekuće vremenske prilike. Pružajući informacije o okruženju u okviru koga deluju farmeri ili o mogućim ishodima alternativnih ili interventnih agromera moguće je smanjiti neizvesnosti u proizvodnji useva. Kvantifikacija je od suštinskog značaja, a računarske simulacije mogu pomoći u pružanju takvih informacija. Simulacije mogu biti naročito korisne za kvantitativno upoređivanje alternativnih opcija upravljanja zemljištem i interventnih mera u područjima gde je sezonska klimatska varijabilnost visoka i/ili je sklona ekstremima.

Da bi se smanjio uticaj varijabilnosti klimatskih faktora (uključujući ekstreme) na proizvodnju poljoprivrednih kultura, moguće je koristiti kako strukturne tako i nestrukturne mere. Strukturne mere obuhvataju navodnjavanje, prikupljanje vode, vetrobrane, zaštitu od mraza, veštačke i kontrolisane klimatske uslove (staklene bašte), upravljanje i manipulacija mikroklimom i druge mere vezane za strukturalnu spremnost. Nestrukturne mere uključuju korišćenje prilagođenih kratkoročnih agrometeoroloških prognoza, poboljšanu primenu srednjeročnih vremenskih prognoza, sezonskih do interannualnih klimatskih simulacija, i osiguravanja proizvodnje useva. Osiguravanje proizvodnje useva može se primeniti samo ako postoji dovoljna prostorna varijabilnost stresa po životnu sredinu (npr., grada) i ako se on retko ponavlja. Osiguravanje je izuzetno teško primeniti u slučaju nekih od najvećih rizika, kao što je suša, koja obično utiče na velike površine. Jedna od tehnika koja je usvojena zajedno sa praksom kreditiranja i osiguravanja poljoprivredne proizvodnje je da se poljoprivredni proizvođači uslove da prihvataju mere koje smanjuju rizike u proizvodnji, kao što su rana setva ili sadnja. S tim u vezi, u Srbiji je tokom 2017. godine "KfV Razvojna Banka" predstavila projekat poljoprivrednog osiguranja u saradnji sa "Generali Insurance Serbia". Ovaj projekat obuhvata obuku o prilagođavanju gubitaka za proizvođače koji su uzeli osiguranje. Obuka je usmerena na razvitak sposobnosti da se osigura i prilagode gubitci u proizvodnji šest odabranih poljoprivrednih kultura: pšenice, ječma, kukuruza, suncokreta, soje i šećerne repe. Obuka je zasnovana na lokalnim iskustvima i praksi koja se primenjuje u Srbiji, a regulisana je u skladu sa najboljim međunarodnim

praksama (Kanada, Sjedinjene Američke Države, Nemačka, Švajcarska, Austrija i Turska). Planiranje nepredviđenih događaja je važan deo takvih strategija, jer se moraju iznaći načini kako da se izbegnu, smanje ili prihvate rizici. U nekim sušnim područjima u raznim delovima sveta, planiranje nepredviđenih događaja često koriste vlade kao efikasnu strategiju za suočavanje sa rizicima (WMO, 2006).



Slika 10.4 - Primer ciklusa upravljanja rizicima.

Uticaj klimatskih promena na poljoprivredne sisteme naročito je zabrinjavajući u pogledu rizika vezanih za pad proizvodnje, koji se očekuje za skoro sve useve, i ekonomske i socijalne posledice toga pada. U tom kontekstu naučna zajednica je razvila dva različita pristupa problemu kako se suočiti sa rizicima vezanim za klimatske promene. Ovi pristupi se razlikuju kako u pogledu vremenskog okvira tako i u pogledu ciljeva, a nazivaju se adaptacija i ublažavanje.

10.4 Adaptacija i ublažavanje

Svrha mera adaptacije⁶ u poljoprivredi je da upravljaju potencijalnim rizicima povezanim sa klimatskim promenama u narednim decenijama (tj., kako se suprotstaviti negativnim uticajima ili kako iskoristiti pozitivne uticaje). Mera adaptacije su usmerene na smanjenje uticaja klimatskih promena na useve i životinje, a samim tim i na očuvanje njihovog proizvodnog statusa.

Tokom poslednjih decenija, brojne naučne studije fokusirale su se na razvoj poljoprivrednih strategija koje mogu biti efikasne u borbi protiv gubitaka prinosa

⁶ Adaptacija je prilagođavanje organizma okolini.

izazvanih klimatskim promenama. Adaptacije se mogu smatrati primenljivim u različitim vremenskim i na različitim prostornim skalama. Kratkoročna i dugoročna adaptacija može se razviti na nivou farme, regionalnom ili nacionalnom nivou. Neke od adaptacija primenjene u proizvodnji useva navedene su u nastavku.

Kratkoročne strategije adaptacije pokrivaju različite aspekte. Na primer, pomeranje datuma setve i upotreba različitih sorti dozvoljava da se prolećnim kulturama produži period rasta ili da se podesi dinamika rasta, tako da se najosetljivije faze razvoja odvijaju tokom perioda u kojima postoji manji rizik od vodnog ili temperaturnog stresa. Takođe je važna i različita dubina setve, koja pomaže da se obezbedi bolje klijanje semena. Još jedan primer je primena mera za očuvanje vlažnosti zemljišta. Ove mere se mogu kombinovati sa najuobičajenijim agronomskim merama kao što su obrada zemljišta i navodnjavanje.

Konkretno, dok je cilj obrade zemljišta da sačuva biljne ostatke iz prethodne godine kako bi se povećao sadržaj organske materije u zemljištu i kako bi zaštitili zemljište od erozije i sušenja, navodnjavanje omogućava pravilno upravljanje i korišćenje vode zasnovano na stvarnim potrebama useva.

Dugoročne strategije adaptacije koje obezbeđuju strukturalne promene u celokupnom proizvodnom sistemu odnose se na promene u sistemu korišćenja zemljišta, uvođenje otpornih sorti, korišćenje efikasnijih sorti i razvoj i korišćenje svrsishodnijih agrotehničkih mera. Najefikasnija upotreba zemljišta osigurava se



Slika 10.5 - Sistem gajenja više kultura kao oblik adaptacije.

rotacijama između useva sa varijabilnim proizvodnim rezultatima, na višegodišnjem nivou (npr., pšenica), i kultura sa stabilnijim prinosima. Pored toga, genetska poboljšanja nude širok izbor faktora otpornosti na biljne bolesti i stres, dok zamena

useva pomaže u održavanju visokih prinosa tako što se koriste kulture koji mogu bolje očuvati vlagu u zemljištu (npr., zamena kukuruza šećernom trskom, koja je otporniji na visoke temperature). Na kraju, nove agrotehničke mere kao što su precizna poljoprivreda, minimalna obrada i malčovanje, međuusevi, rotiranje useva i korišćenje inovativnih strategija, upravljanje navodnjavanjem i praćenje stanja vlažnosti zemljišta mogu se smatrati dugoročnim strategijama adaptacije koje su sposobne da poboljšaju efikasnost korišćenja vode.

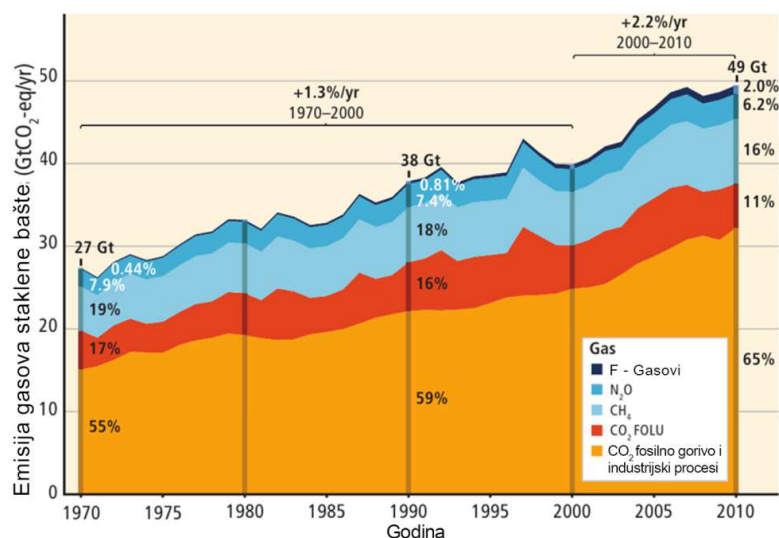
Strategije ublažavanja deluju na uzroke klimatskih promena i njihov cilj je da smanje ili stabilizuju emisiju gasova staklene bašte (eng. green house gases, GHG) poljoprivrednog porekla u atmosferu. Globalno, poljoprivreda doprinosi globalnoj emisiji štetnih gasova sa 10 %, gde na ugljen-dioksid (CO₂) otpada 50 %, na metan (CH₄) 27.5 %, a na azot-suboksid (N₂O) 22.5 % (FAOSTAT, podaci iz 2016. godine). Emisija N₂O dolazi iz procesa nitrifikacije i denitrifikacije koji se u najvećoj meri javljaju posle upotrebe mineralnog đubriva i stajnjaka. Metan se stvara i emituje gajenjem pirinča i ishranom preživara u procesu varenja.

Varijacije u emisijama zemalja Evropske unije su značajne. Udeo Irske u ukupnoj emisiji gasova staklene bašte iz poljoprivrede je najveći (32.2%, 18.7MtCO₂e), dok je udeo Malte najniži (3%, 0.088 MtCO₂e).

U apsolutnim vrednostima, najveći doprinos emisiji gasova staklene bašte iz poljoprivrednog sektora imaju Francuska (18%, 79 MtCO₂e), Nemačka (15%, 66.1 MtCO₂e) i Velika Britanija (10%, 44.6 MtCO₂e). Zajedno ove tri zemlje odgovorne su za 44% ukupne emisije gasova staklene bašte iz poljoprivrednog sektora u Evropskoj uniji (28 zemalja, EU-28).

Podaci iz baza podataka EDGAR (Emissions Database for Global Atmospheric Research - <http://edgar.jrc.ec.europa.eu>) i FAOSTAT (www.fao.org/faostat) pokazuju da je najveći izvor emisije štočarstvo (fermentacija), dok se u bazi US EPA (United States Environmental Protection Agency - <https://www.epa.gov>) kao glavni izvor emisije navodi zemljište. Zaključak koji se izvodi iz sve tri baze je da fermentacija i emisija iz zemljišta zajedno čine 70 % ukupne emisije, dok 9-11 % dolazi iz proizvodnje pirinča, 6-12 % iz sagorevanja biomase i 7-8 % iz upotrebe organskog i neorganskog đubriva. Globalna emisija iz đubrenja porasla je u periodu od 1961. do 2010. godine sa 0.57 na 0.99 GtCO₂e⁷ / godišnje. Emisije su u proseku porasle za 1.1% godišnje. Emisija iz sintetičkih đubriva povećala se u proseku za 3.9 % godišnje, u periodu od 1961. do 2010. godine, što u apsolutnim vrednostima iznosi povećanje od 9 puta, od 0.07 do 0.68 GtCO₂e / godišnje.

⁷ CO₂ek - Ekvivalent ugljen-dioksida predstavlja jedinicu zasnovanu na potencijalu globalnog zagrijavanja (PGZ) različitih gasova staklene bašte. Jedinica CO₂ek meri uticaj jedne tone gasova staklene bašte na životnu sredinu u odnosu na uticaj jedne tone CO₂.



Slika 10.6 - Ukupna godišnja antropogena emisija gasova staklene bašte (GtCO₂ ek/god.) prikazana za različite grupe gasova i za period 1970.-2010. Podaci uključuju CO₂ poreklom od sagorevanja fosilnih goriva i industrijskih procesa, iz šumarstva i drugih načina upotrebe zemljišta, metan (CH₄), i azot-suboksid (N₂O) (izvor: Cardona et al., 2012).

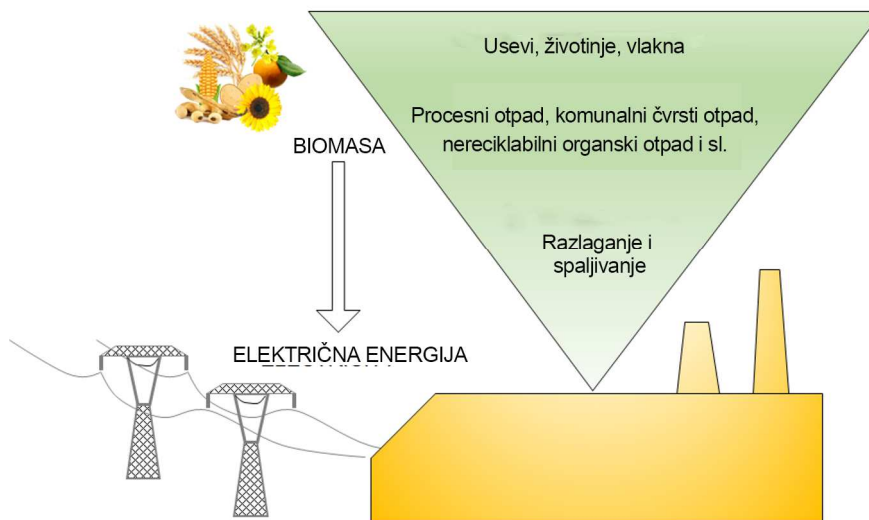
Strategije ublažavanja se razlikuju od strategija prilagođavanja jer deluju dugoročno, a njihova efikasnost uglavnom zavisi od njihovog nivoa koordinacije koji može biti nacionalni ili globalni. Trenutno, međunarodna naučna zajednica prepoznaje tri glavna načina za smanjenje i stabilizaciju emisija i koncentracija gasova staklene bašte: smanjenje emisije, povećano uklanjanja i sprečavanje emisije.

Smanjenje emisije se uglavnom postiže povećavanjem efikasnosti upravljanja glavnim tokovima gasova (u obliku CO₂, CH₄ i N₂O) iz ciklusa ugljenika i azota poreklom iz poljoprivrednih sistema.

Uspeh se obezbeđuje direktnim delovanjem na komponente koje najviše utiču na razmenu gasova u sistemu biljka-atmosfera, na primer kroz upravljanje đubrenjem, glavnim izvorom metana, i smanjenjem đubrenja azotom, kao glavnog izvora emisije N₂O. Ovaj drugi aspekt može se dodatno poboljšati tako što bi se, pored količine đubriva, takođe vodilo računa o tipu i metodu njegove distribucije.

Povećanje uklanjanja gasova je pristup koji je povezan sa povećanjem efikasnosti upravljanja zemljištem. U stvari, zemljište treba smatrati najvažnijim skladištem atmosferskog ugljenika, odmah iza okeana. Zbog toga, sve prakse upravljanja usmerene ka povećanju fotosintetskih ulaza ili usporavanju procesa povratka ugljenika organskog porekla (npr., preko respiratornih procesa, požara ili erozije zemljišta) doprinose uspešnijem skladištenju ugljenika. Ovakve prakse mogu se primeniti u šumskim sistemima kao i na poljoprivrednom zemljištu (livade, pašnjaci i oranice).

Treći način je sprečavanje emisije gasova i on se bavi proizvodnjom energije i mogućom zamenom postojećih oblika energije alternativnim oblicima kao što je bioenergija, koja zatvara ciklus prirodnog ugljenika. Činjenica je da je poljoprivredne ostatke moguće koristiti kao izvor energije. Ostaci se mogu koristiti direktno (npr., kao ogrevni materijal) ili indirektno, na primer kroz preradu i pretvaranje u gorivo kao što je etanol ili dizel. Glavna prednost ove akcije je vezana za činjenicu da CO₂ koji se oslobađa sagorevanjem biljnih ostataka ne menja zalihe ugljenika prisutne u zemljištu i ne dodaju ugljenik u atmosferu, kao što je to slučaj sa fosilnim oblicima energije (ugalj, gas, motorna goriva).



Slika 10.7 – Poljoprivredni ostaci i biomasa mogu se koristiti za proizvodnju energije (prilagođeno sa www.followgreenliving.com).

Da bi se smanjila proizvodnja gasova staklene bašte u oblasti poljoprivrede, neophodno je zaustaviti ili bar ograničiti praksu kao što je neselektivna seča šuma na velikim površinama pod vegetacijom (posebno prašumama) i uklanjanje druge ne-poljoprivredne vegetacije.

Smanjenje ovih aktivnosti može značajno povećati sekvestraciju ugljenika i njegovo skladištenje u drvetu na duži vremenski period, čime se izbegava dalja emisija ugljenika u obliku CO₂ i drugih gasova staklene bašte u atmosferu.

Iako ova tri načina predstavljaju osnovne tačke strategije ublažavanja, oni zahtevaju čitavu seriju specifičnih akcija koje imaju značajan uticaj na prihvatni kapacitet analiziranog sistema. Od njih možemo spomenuti:

- oporavak organskih i degradiranih zemljišta, što će obezbediti povećanje njihove plodnosti sa pozitivnim posledicama u smislu skladištenja ugljenika;
- bolje upravljanje poljoprivrednim kulturama, livadama i pašnjacima (hranjive materije, tehnike setve, korišćenje biljnih ostataka, navodnjavanje);
- obratiti veću pažnju na upravljanje aktivnostima kao što su selekcija i proizvodnja pirinča, kao glavnim faktorima unošenja CH₄ i N₂O u atmosferu;
- štednja energije kroz izgradnju zgrada sa većom energetsom efikasnošću i poklanjaju više pažnje problemima životne sredine.

11 Agrometeorološki modeli

11.1 Pristupi modeliranju

Tokom proteklih decenija razvijeno je nekoliko softverskih alata za potrebe istraživanja i donošenja odluka u poljoprivredi. Modeli mogu opisivati systemske procese koristeći kako jednostavne tako i veoma složene pristupe, uzimajući u obzir samo delove kompleksnog sistema (kao što su temperatura zemljišta ili ravnoteža vode u zemljištu) ili složenije, interaktivne sisteme (kao što je rast useva, uzimajući u razmatranje sve relevantne interakcije u okviru sistema zemljište - biljka - atmosfera). Nadalje, ti se pristupi mogu ograničiti na fizičke procese, bio-fizičke interakcije ili mogu proširiti svoj domen razmatranja na interakcije sa čovekom, npr., povezujući biofizičke sa socio-ekonomskim modelima (od modela farmi u poljoprivredi do modela promene načina korišćenja zemljišta na globalnom nivou).

U poljoprivredi, stvaranje modela gajenja useva ili rada celokupne farme, modela/programa za upozoravanja na štetočine i bolesti, modela za planiranje navodnjavanja, i agroklimatskih indeksa ili programa može značajno pomoći poljoprivrednicima pri donošenju odluka u vezi upravljanja usevima ili primeni srodnih tehnologija na farmi.

Za istraživačke svrhe, modeli se mogu koristiti za simulaciju i analizu složenih interakcija u okviru sistema zemljište-biljka-atmosfera. Na primer, modeli se mogu primenjivati za analizu uticaja klimatskih promena na bilans vode u biljkama i prinose useva. Bez obzira na sve te mogućnosti, ti modelovani sistemi uključuju u sebi mnoge nejasnoće i ograničenja koja proizlaze iz nepoznavanja trendova budućih tehnologija i ljudskih aktivnosti, pojednostavljenog prikazivanja realnosti, nedostatka znanja o funkcionisanju upotrebljenih sistema ili nedostatka podataka za proces kalibracije modela.

11.2 Tipovi modela

U suštini, moguće je razlikovati dva glavna tipa modela – one koji su deskriptivno orijentisani (empirijski, statistički) i one koji su mehanicistički orijentisani (dinamički, procesni) (Slika 11.1).

Deskriptivni modeli se oslanjaju na prinos sa posmatrane lokacije i informacije o fenologiji. Prema tome, izlazi iz modela se oslanjaju na trendovima koji dolaze iz osmotrenih meteoroloških podataka i korelacije između, na primer prinosa ili fenoloških faza sa jedne strane i najznačajnijeg faktora sredine koji na njih utiče sa druge strane (meteorološki elementi, agrotehičke mere). Glavni nedostatak ovih modela je što se statističke relacije na kojima se modeli baziraju mogu primeniti samo na lokaciji sa koje su podaci korišćeni za izradu modela. Drugim rečima nije ih moguće koristiti za modeliranje drugih biljnih kultura na istoj lokaciji ili za istu kulturu na drugoj lokaciji gde vladaju drugačiji agroekološki uslovi.

Mehanicistički ili procesno orijentisani modeli sastoje se od diferencijalnih jednačina koje se koriste za izračunavanje veličina od značaja za rast i razvoj biljke u vremenu (npr. intenzitet fotosinteze, produkcija biomase). Međutim, mehanicistički modeli (useva) uvek sadrže i empirijske delove koji se odnose na procese koji nisu dobro poznati ili su isuviše složeni da bi se simulirali na procesnom nivou (kao što je fenologija useva).

Mehanicistički ili procesno orijentisani modeli useva primenjuju se u istraživanju već više od 50 godina. Tri najvažnije "škole modelovanja useva", iz Australije, Holandije i Sjedinjenih Američkih Država, uključuju:

- APSIM modeli (Keating et al., 2003),
- Modele zasnovane na SUCROS-u (kao što je WOFOST) iz "De Vitove škole" (van Ittersum et al., 2003),
- DSSAT familija modela useva (kao što je CERES) (Jones et al., 2003).

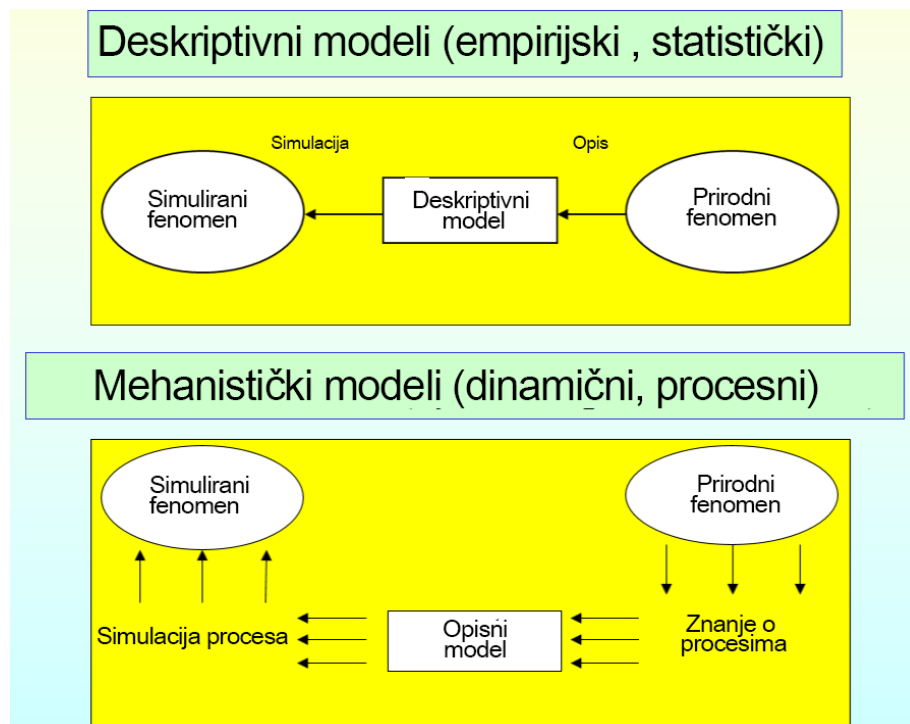
Ovde treba napomenuti da postoje veze između ovih škola modeliranja.

Međutim, niz drugih modela (često povezanih sa jednim od navedenih "škola modeliranja") primjenjuje se u studijama uticaja klimatskih promena na različite useve i životnu sredinu na različitim prostornim i vremenskim skalama. U Nemačkoj, na primer, AGROSIM model (Kersebaum i sar., 2007) je primjenjen da bi se procenili efekti na prinos i vodni bilans na nivou polja, dok je HERMES (Kersebaum, 2007) upotrebljen za procenu efekta na prinos, ispiranje azota, adaptaciju, đubrenje i MONICA prošireni model zasnovan na HERMES-u i danskom modelu DAISI algoritama (Nendel i sar., 2011), za studije uticaja klimatskih promena. Ostali modeli biljne proizvodnje i životne sredine razvijeni u SAD su, na primer, CROPSIST (Stockle et al., 2003), EPIC (Cabelguenne et al., 1999) i DAICENT (Parton et al., 1998). DAISI je model biljne proizvodnje razvijen u Danskoj (Abrahamsen and Hansen, 2000). U Evropi, model SIRIUS (Jamieson et al., 1998) korišćen je za procenu smanjenja potencijalnog prinosa pšenice zbog suše, dok je SIRIUS-QUALITY (Martre et al., 2006) korišćen za procenu kvaliteta zrna.

Primer iz Francuske je STICS model koji široko koristi INRA i druge organizacije za nekoliko poljoprivrednih kultura (Brisson et al., 2003). Poslednji prijavljeni rezultati se uglavnom odnose na primenu modela biljne proizvodnje u okviru modela poljoprivrednih sistema na farmama i prostornih aplikacija u kombinaciji sa GIS-om i metodama daljinskih merenja. Na Institutu Makolej u Škotskoj, na primjer, sistem integrisanog modeliranja modela LADSS (eng. Land Association Decision System) i PALM model sastoje se od biofizičkih simulacionih modela u osnovi, koji su obuhvaćeni modulima za obračun finansijskih, društvenih i ekoloških aspekata (Matthews et al., 1999, 2006). Na Državnom univerzitetu u Vašingtonu razvijena je verzija modula za useve na osnovu modela CROPSIST. Model koji je posvećen hidrologiji je SWAT (Arnold et al., 1998) model u kom je vegetacija opisana isto kao i u EPIC modelu.

Najčešće korišćeni procesni modeli za istraživanje ili operativne primene u Evropi su CERES, WOFOST i STICS, ali oni se razlikuju po broju aplikacija od jedne

zemlje do druge (detaljnije pogledajte kod Nejedlik and Orlandini, 2008). WOFOST je jedini model koji je integrisan na evropskom nivou za evropski sistem predviđanja prinosa (MARS) koji pokriva sve zemlje.



Slika 11.1 Osnovni koncepti modela za agrometeorološko modeliranje (izvor: BOKU-Met)

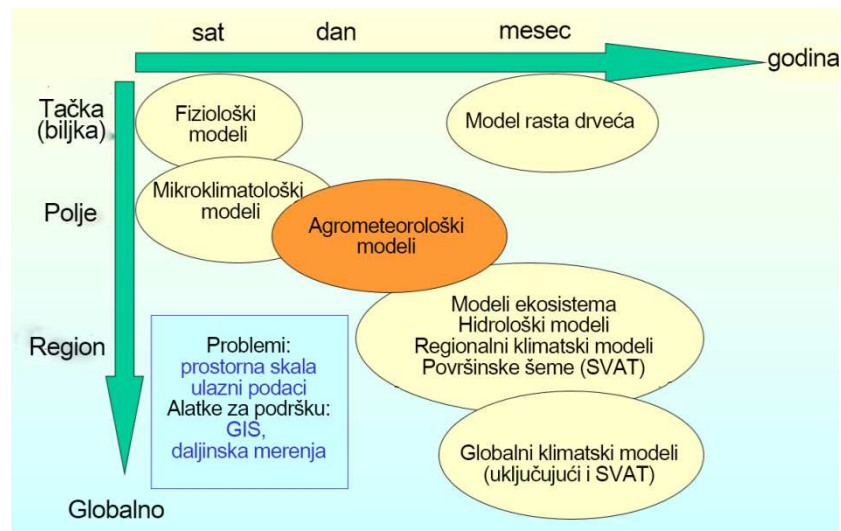
11.2.1 Problem prostornih i vremenskih skala modela

Prvi osnovni uslov za bilo koji pristup modeliranju ekosistema je određivanje vremenske i prostorne skale modela. Izbor optimalnih skala određuje:

- cilj primene modela;
- postavljeni detalji simuliranih procesa;
- poznavanje simuliranih procesa;
- zahtevana prostorna reprezentativnost modela;
- dostupnost ulaznih parametara za vremenske i prostorne skale.

Slika 11.2 prikazuje različite primere primene modela ekosistema u pogledu njihovih optimalnih skala. U zavisnosti od cilja primene, modeli mogu zahtevati visoke prostorne i vremenske rezolucije simuliranih procesa (kao što je slučaj sa fiziološkim modelima biljaka) ili, naročito kada se primenjuju na velikoj razmeri, niske prostorne i vremenske rezolucije (kao što su modeli globalna klime ili interakcije u sistemuzemljište-vegetacija-atmosfera. Opšti problem, naročito što se tiče aplikacija

na velikim prostornim razmerima, je dostupnost ulaznih podataka, koji moraju biti u okviru željene skale modela. Zbog toga je model uvek kompromis između dostupnih ulaznih podataka i zahteva skaliranja koji moraju biti u skladu sa procesima koje model opisuje.



Slika 11.2 Prostorne i vremenske skale u modelima ekosistema.

11.3 Karakteristike modela

11.3.1 Struktura modela

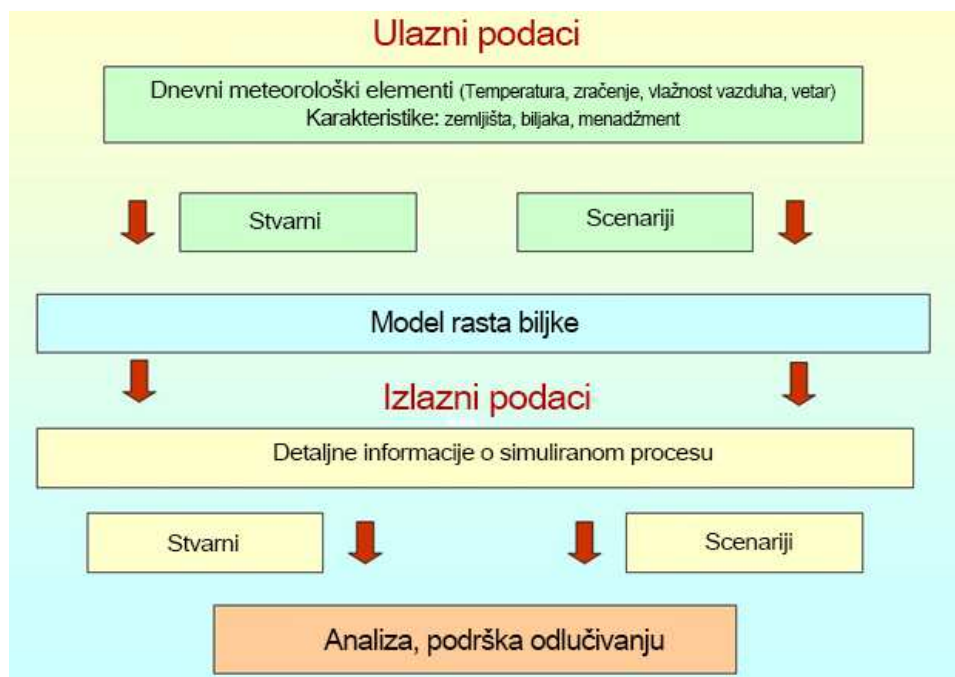
Agrometeorološki procesi modeli, kao što su modeli rasta useva, uključuju u sebi sve dinamičke procese od značaja za rast i razvoj biljaka useva u određenom okviru, kao što su vrsta, uslovi okoline, agronomski uslovi i agrotehničke mere.

Jedan od važnih aspekata modela biljne proizvodnje koji su bili razvijeni u posljednjih nekoliko godina je da ti modeli simuliraju efekte primenjenih agrotehničkih mera i klimatskih uticaja na rast i prinos gajenih kultura. Međutim, njihova primena za predviđanje prinosa na velikim područjima ograničena je teškoćama u dobijanju pouzdanih podataka o lokalnim poljskim uslovima ili karakteristikama useva na bilo kojoj željenoj tački. Neke karakteristike useva ili zemljišta mogu se smatrati konstantnim (npr. za grupu genotipova ili tipova zemljišta u nekom regionu), ali druge zavise od lokalnih vremenskih uslova promenljivih vremenu (Guerif and Duke, 1998).

Testiranje modela biljne proizvodnje u nizu različitih agroekoloških uslova (nazvano kalibracija i validacija - provera) potrebno je da bi se steklo poverenje u primenu modela (Goudriaan and Van Laar, 1994). Modeli biljne proizvodnje dostupni su za praktično sve ekonomski važne useve i oni su u više navrata uspešno korišćeni u istraživačke svrhe. U budućnosti, modeli bi mogli biti od korisni za poboljšanje efikasnosti poljoprivrednih sistema, a mogli bi biti i koristan alat za poljoprivrednike koji pokušavaju da poboljšaju profitabilnost svojih farmi (Jacobson et al., 1995). Ipak, pre nego što to postane moguće, modeli moraju biti kalibrisani i

procenjeni u svakoj klimatskoj oblasti za koju su namenjeni za korištenje u okviru pomoći pri donošenju odluka.

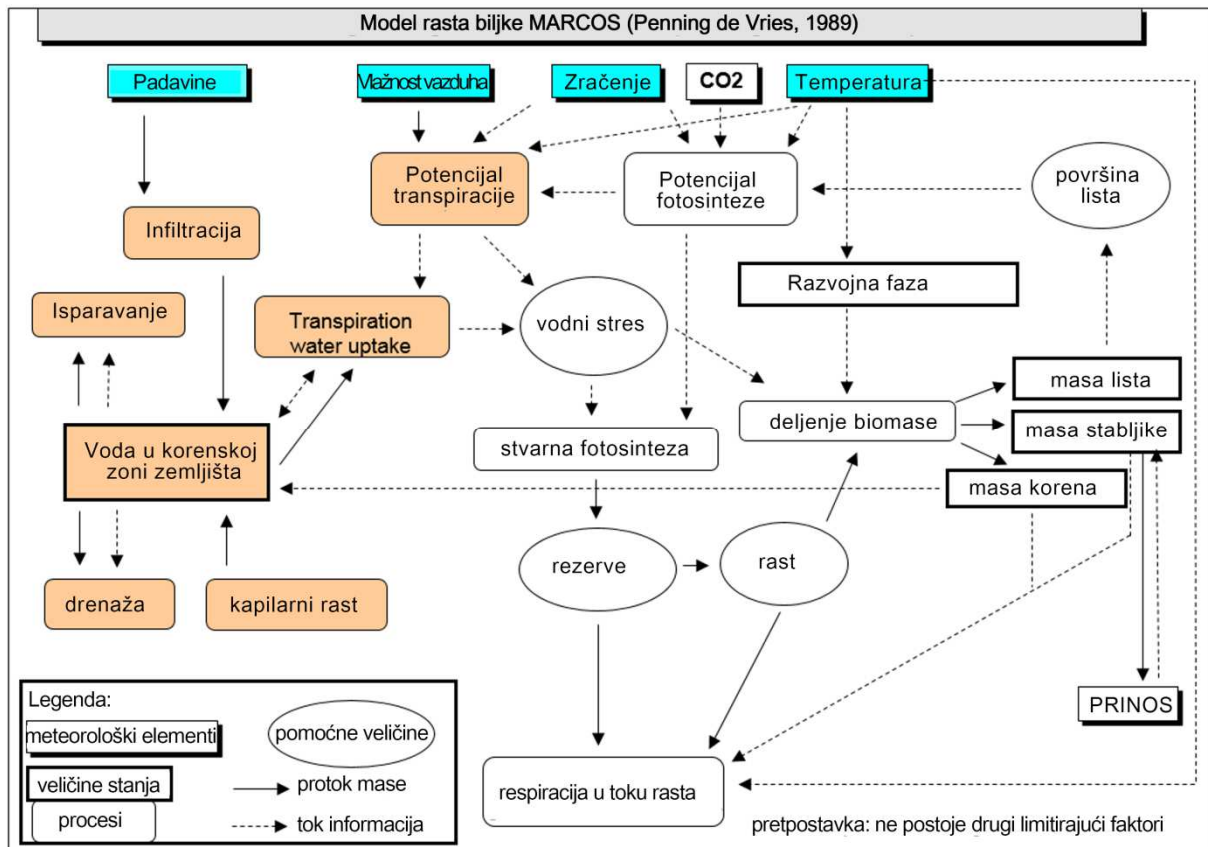
Modeli biljne proizvodnje predstavljaju rezime naučnih saznanja o biološkim procesima koji regulišu rast biljaka, iz tog razloga oni zahtevaju kontinuirano poboljšavaju i testiranje. Objedinjavanjem rad stručnjaka iz različitih oblasti u kreiranju modela biljne proizvodnje stvara se veoma moćni alati koji omogućavaju da se napravi simulacija najrazličitijih scenarija zamenom ulaznih podataka (Slika 11.3). Povoljna cena i ušteda vremena su njihove velike prednosti u odnosu na poljske eksperimente, iako poljski eksperimenti i dalje ostaju neophodni za prikupljanje novih podataka kao i za dalje poboljšavanje samih modela, njihovu parametrizaciju i kalibraciju. Modeli simuliraju konačne varijable ciklusa rasta i razvića useva, kao što je prinos zrna, ali oni takođe simuliraju evoluciju mnogih intermedijarnih varijabli. Modeli se obično prave sa nekom analitičkom svrhom. Zbog toga se oni često koriste kao prognostički alati, koji se primenjuju u okviru primene npr. klimatskih ili agrotehničkih scenarija.



Slika 11.3 Ulazni i izlazni podaci modela biljne proizvodnje koji omogućavaju stvaranje raznih vrsta scenarija

Pojednostavljena osnovna šema modela biljne proizvodnje prikazana je na Slici 11.4. Ovakva osnovna šema interakcija u sistemu zemljište-biljka-atmosfera prisutna je u svim modelima biljne proizvodnje, koja se razlikuje samo u detaljima o simuliranim procesima u odnosu na vrstu useva, svrhu primene ili naučnoj pozadini programera koji su razvili model. Mnogi od simuliranih procesa prikazanih na Slici 11.4, koji opisuju uticaj klimatskih elemenata na biološke procese u biljkama, već su spominjani u prethodnim poglavljima (kao što je uticaj temperature i sunčevog

zračenja na intenzitet fotosinteze, metode proračuna vodnog bilansa u zemljištu, itd.).



Slika 11.4 Generička šema simulacije rasta useva u dinamičkim modelima rasta useva prema MACROS pristupu (prilagođena iz Penning de Vries, 1989).

11.3.2 Ulazni parametri modela

Svim modelima biljne proizvodnje potrebni su kao pokretački faktori (uglavnom na dnevnom nivou) **ulazni parametri koji opisuju promene vremenskih uslova** tokom simuliranog perioda (rasta) useva. Najvažniji meteorološki elementi su temperatura vazduha, sunčevo zračenje i padavine (koji se nazivaju i minimalni potrebni podaci o vremenu). U zavisnosti od metode koja se primenjuje za izračunavanje evapotranspiracije, potrebni su i dodatni podaci o vlažnosti vazduha i brzini vetra. Još jedan važan faktor je stvarna koncentracija ugljen-dioksida (CO₂) u atmosferi, u slučaju da model uključuje i direktno izračunavanja intenzitet fotosinteze (koja se uglavnom predstavlja kao konstanta tokom odabranih decenija ili sa postupima povećanja tokom određenih vremenskih perioda u budućnosti).

Drugi ulazni podaci modela biljne proizvodnje (koji se smatraju konstantnim, a ne varijabilnim tokom perioda simulacije) su fizičko-hemijske karakteristike zemljišta specifične za određene slojeve (bar nešto više od maksimalne dubine korena), posebno kapacitet zadržavanja vode dostupne biljkama kao minimalnog zahteva (međutim, neki modeli omogućavaju izračunavanje ovoga parametra na osnovu

teksture zemljišta). Osim toga, dodatne potrebne ulazne vrednosti su karakteristika useva (koje se odnose bilo na vrstu useva ili specifične sortne karakteristike), koje opisujući reakciju useva (specifične fiziološke procese) na uslove okoline, a posebno na vremenske parametre koji se unose u model.

Za modeliranje poljoprivredne proizvodnje određene biljne kulture potrebni su i ulazni podaci za koji opisuju agrotehničke mere, posebno datum setve, režimi đubrenja i navodnjavanja (vremenski raspored i primenjene količine), metod obrade zemljišta i drugi parametri, u zavisnosti od mogućnosti modela i ciljeva primene. Mnogi modeli omogućavaju simulaciju automatskog upravljanja, koristeći optimizacione algoritme za opcije agrotehničkih mera kako bi dobili optimalan prinos useva (što znači da se modeli takođe mogu koristiti za planiranje, npr., optimizacionu navodnjavanja, đubrenja, itd.).

Kada je model kalibrisan i kalibracija potvrđena za određenu poljoprivredu kulturu ili sortu, može se primeniti u prognozne svrhe.

11.3.3 Simulacije nivoa proizvodnje

Modeli biljne proizvodnje mogu se projektovati od jednostavnih do složenih, što zavisi od broja uključenih procesa koji su povezani sa unapred ograničenim brojem faktorima koji utiču na rast i razviće useva. U tom kontekstu, u modelima uglavnom se primenjuju tri nivoa proizvodnje, pri čemu se prvim smatra onaj u kome su vremenski dinamički ograničavajući faktori samo temperatura i sunčevo zračenje (što se može postići u kontrolisanim uslovima, staklenih bašta ili na poljima sa optimalnim navodnjavanjem). Sa tim povezani procesi rasta nalaze se na gornjoj desnoj strani šeme modela na Slici 11.4 (beli deo). Drugi nivo proizvodnje dodatno uključuje uticaj raspoložive vode na rast useva, gde treba dodati obračun vodnog bilansa (obojeni deo na Slici 11.4). Ovaj uslov se može zadovoljiti već u uslovima gajenja sa prirodnim padavinama, bez ikakvih drugih ograničenja za rast useva. Treći nivo proizvodnje uključuje obračun bilansa hraniva kao ograničavajući faktor za rasta useva, posebno bilans azot, fosfora i kalijuma (nije prikazano na Slici 11.4). Ovaj nivo je naročito potreban u uslovima ograničenih hranljivih materija kao i za utvrđivanje optimalnih režima đubrenja ili za izračunavanje ispiranja azota u dublje slojeve zemljišta.

Dalji nivoi se mogu dodavati, na primer uticaj štetočina i bolesti na rast i konačni prinos useva, itd. Međutim, kontrola štetočina i bolesti uglavnom nisu integrisane u modele za biljnu proizvodnju, već se uglavnom koriste odvojeno ili u kombinaciji sa njima. Uopšteno govoreći, mora se imati u vidu da se sa složenošću modela povećava i broj potrebnih ulaznih parametara, što potencijalno povećava nesigurnost pri interpretaciji rezultata modeliranja kao i broj podataka potreban za kalibraciju i validaciju (testiranje modela na osnovu skupova podataka koji ne zavise od skupova kalibracionih podataka).

11.4 Kalibracija i validacija modela biljne proizvodnje

Uopšteno govoreći, kalibracija modela povezana je sa podešavanjem procesa unutar sistema zemljište-usev-atmosfera, kako je matematički opisano u modelu gajenja useva, na kvalitativnim skupovima podataka, kao što su oni iz kontrolisanih eksperimenata izvedenih u poljskim uslovima tokom nekoliko godina ili, idealno, na različitim lokalitetima. Parametri modela gajenja koje treba kalibrisati posebno se odnose na vrstu kulture ili specifične reakcije simuliranih procesa prema uslovima okoline (npr., brzina razvoja u odnosu na temperaturu i mnogi drugi uslovi, čiji broj zavisi od složenosti modela), koji se uglavnom definišu kao kalibracioni koeficijenti u ulaznim ili osnovnim vrednostima modela (kao što su genetski koeficijenti useva, itd.).

Za razliku od toga, validacija modela je testiranje kalibrisanog modela (i njegovih simuliranih izlaznih vrednosti) uz pomoć skupova podataka koji ne zavise od kalibracionog skupa podataka, na primer, podataka iz različitih godina sa lokacije gde je vršena kalibracije ili sa različitih lokacija. Validacija modela treba da pokaže da li model i dalje ima zadovoljavajuće performanse kada se koristi u uslovima koji se razlikuju od uslova u kojima je izvršena kalibracije. To omogućava primenu modela u širem spektru sličnih uslova, pod kojima možemo verovati da će model dati pouzdane rezultate. Međutim, naše poverenje mora imati određena ograničenja, posebno ako je model proveren samo u ograničenom broju lokaliteta.

Da bi testirali ili ocenili performanse modela putem provere, npr. upoređivanjem izmerenih parametara sa simuliranim izlaznim parametrima, razvijen je niz statističkih testova koji se koriste u studijama primene modela gajenja useva. Svaka izlazna vrednost iz modela može se teoretski kalibrisati proveriti na osnovu upoređivanja sa izmerenim vrednostima, ako su takve vrednosti dostupne. Najvažnije od tih vrednosti su prinos ili biomasa (u žetvi), unešeni datumi fenoloških parametara, nivo vode i sadržaj azota u zemljištu i indeks lisne površine. Ovi parametri su često dostupni iz prethodnih poljskih eksperimenata obavljenih u različitim godinama i na različitim lokacijama. Da bi kompenzovali uticaj klimatske varijabilnosti na određenim lokacijama, preporučuje se upoređivanje sa rezultatima osmatranja iz najmanje tri do deset godina, naročito ulaznih podataka za glavne fenološke datume i konačne prinose useva (Grassini et al., 2015).

Najčešće primenjeni statistički metodi za validaciju modela gajenja useva su:

- Srednja apsolutna greška meri srednju apsolutnu razliku između procenjenih vrednosti koju je dao model i izmerenih vrednosti (takođe izračunata kao srednja apsolutna greška u procentima).
- Srednja kvadratna greška (MSE), ili ekvivalentno njen kvadratni koren, koren srednje kvadrata greške (RMSE). Kako MAE tako i RMSE izražavaju prosečnu prognostičku grešku modela u jedinicama varijable od interesa. Oba ova merna

standarda su indiferentni prema pravcu grešaka. To su negativno orijentisani rezultati, što znači da su niže vrednosti zapravo bolje. Pošto su greške kvadrirane pre nego što su uprosečene, RMSE daje relativno veliku težinu velikim greškama.

- Standardna devijacija ($\bar{\sigma}$) osmatrane ($\bar{\sigma}_o$) i simulirane vrednosti ($\bar{\sigma}_s$). Simulacija se smatra dobrom ako: i) $RMSE < \bar{\sigma}_o$; ii) $\bar{\sigma}_s < \bar{\sigma}_o$.
- Relativna vrednost korena srednje kvadrata greške (RRMSE). Tačnost modela smatra se odličnom ako je $RRMSE < 10\%$, dobrom ako je $10\% < RRMSE < 20\%$, zafovoljavajućom ako je $20\% < RRMSE < 30\%$, a lošom ako je $RRMSE > 30\%$.
- Indeks slaganja (d) je nedimenzionalna mera performansi modela (Vilmot i sar., 1985). Simulacija se smatra dobrom ako je indeks slaganja blizu 1.
- Srednje odstupanje (MB) ili srednja greška odstupanja (MBE), je srednja razlika između procene modela i opservacija. Može prenositi korisne informacije, ali ga treba pažljivo tumačiti jer se pozitivne i negativne greške potiru (što nije slučaj kod MAE).
- Linearna regresija između procenjenih i posmatranih vrednosti (ili obrnuto) ima neka ograničenja i zahteva pažljivu interpretaciju. Hipoteza je da linija regresije prolazi kroz koordinatni početak i ima nagib jedinstva. Koeficijent r (koeficijent korelacije) i njegov par r^2 (koeficijent najmanjih kvadrata), kada se gledaju izolovano, ipak ne ukazuju na tačnost modela i ne podrazumevaju da je procenjena linija regresije dobro uklopljena u procenu modela (Bellocchi et al., 2006).
- Upoređivanje distribucije posmatranih i procenjenih vrednosti takođe je korišćeno da se utvrdi pogodnost modela za stohastičke i determinističke upotrebe. Na primer, uobičajeni D-test Kolmogorova-Smirnova korišćen je za procenu verovatnoće da dva skupa podataka (posmatrani i simulirani) imaju istu distribuciju.

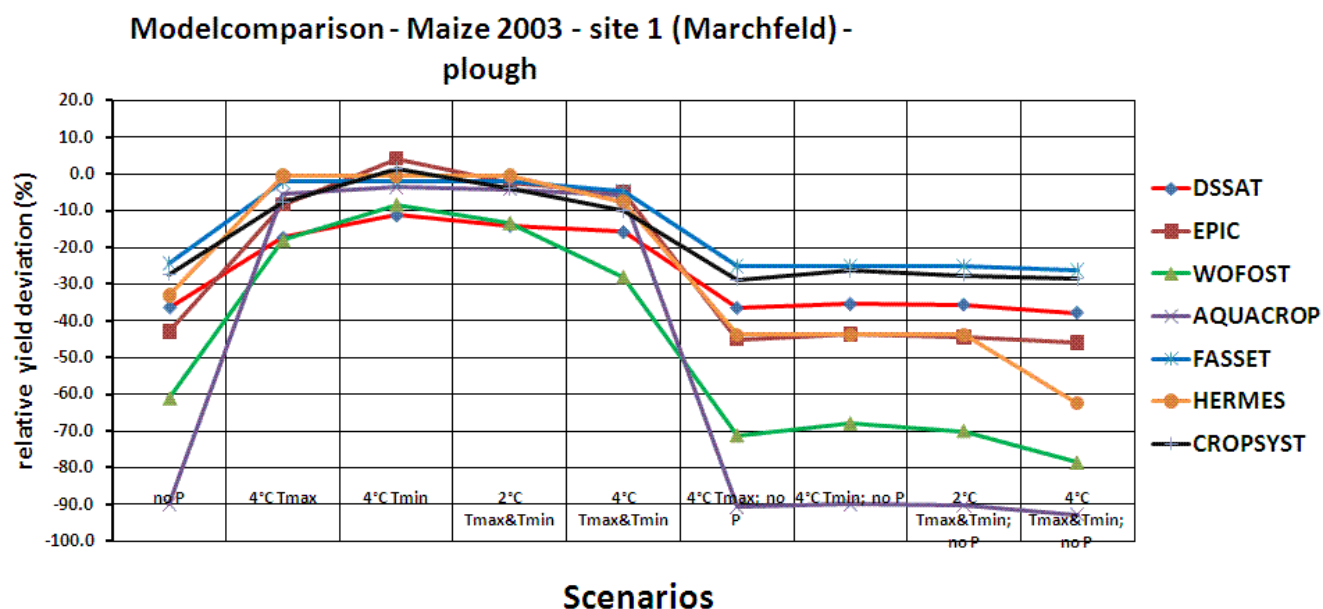
Da zaključimo, mnogi autori smatraju da ne postoji dovoljno snažan statistički ili grafički prikaz koji bi se mogao koristiti za izvlačenje zaključaka pri ocenjivanju modela i zato je potrebno koristiti nekoliko metoda zajedno da bi se uradila sveobuhvatna provera (Yang *et al.*, 2000). Mnoge od ovih statistika mogu se izračunati uz pomoć standardnog statističkog softvera, kao što su "Eksel", "R" i drugi. Korišćenje višestrukih metrika (kao što je navedeno gore) preporučuje se za merenje performansi modela, jer različite statistike opisuju "performansu" iz različitih uglova (vidi dodatnu literaturu).

11.5 Osetljivost modela biljne proizvodnje na ekstremne vremenske uslove i sa tim povezane neizvesnosti

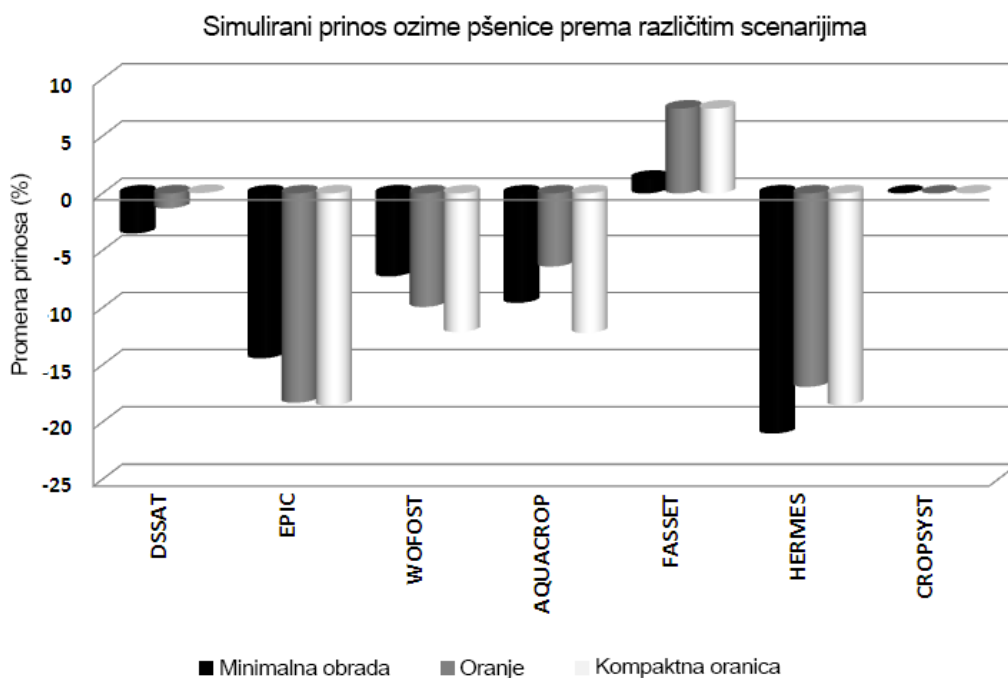
Kako različiti modeli biljne proizvodnje koriste različite pristupe za simuliranje određenih procesa, tako se razlikuju i rezultati simulacije (kao što je konačni prinos useva). Analiza osetljivosti modela i upoređivanje modela mogu ukazati na slabosti modela ili ograničenost njihove primene, kao i aspekte u kojima će modelima možda biti potrebna dodatna poboljšanja.

Slika 11.5 prikazuje odstupanja simuliranih prinosa kod 7 različitih modela primenjenih na kukuruz. Ta odstupanja su posledica značajne suše i toplotnog talasa od maja do avgusta na lokaciji koja se nalazi u semiaridnom regionu u Austriji. Značajne razlike između razmatranih modela mogu se videti u konačnim simuliranim prinosima u slučaju sušnog stresa tokom leta, dok su razlike u osetljivosti modela bile mnogo manje u slučaju ekstremnih temperatura. Ovo ide u prilog pretpostavke da je simulacija sadržaja vode u zemljištu i stres zbog suše kod useva i dalje glavni faktor neizvesnosti u rezultatima simulacije. Razlozi za ovakvo ponašanje su mnogostruki. To se možda događa zbog slabe reprezentativnosti simuliranih procesa rasta ili sadržaja vode u zemljištu ili zbog razlike u parametrizaciji modela (npr. utvrđivanja kritične granice suše ili toplotnog stresa za procese rasta useva).

Karakteristike zemljišta (kao što su zapreminska gustina i kapacitet zemljišta za skladištenje vode dostupne biljkama) mogu značajno uticati na rezultate simulacije. Na primer, obrada zemljišta utiče na njegovu zapreminsku gustinu i kapacitet skladištenja vode. Osetljivost modela na promene uslova u scenarijima sa uticajem suše prikazana je na Slici 11.6 za već spomenutih 7 modela gajenja useva.



Slika 11.5 Simulirana reakcija prinosa kukuruza na sušne i tople uslove tokom cvetanja kod modela biljne proizvodnje u uslovima semiaridne lokacije u Austriji (Tekst u kolonama označava primenjene promene vremenskih parametara tokom dve nedelje cvetanja u poređenju sa stvarnim vremenskim prilikama: noP = bez padavina, T = povećanje dnevnih temperatura).



Slika 11.6 Reakcija simuliranog prinosa ozime pšenice kod različitih modela gajenja useva u uslovima semiaridne lokacije u Austriji 2003. godine u odnosu na razne metode obrade zemljišta. Primenjeni scenario je izostavio padavine tokom dve nedelje cvetanja ozime pšenice.

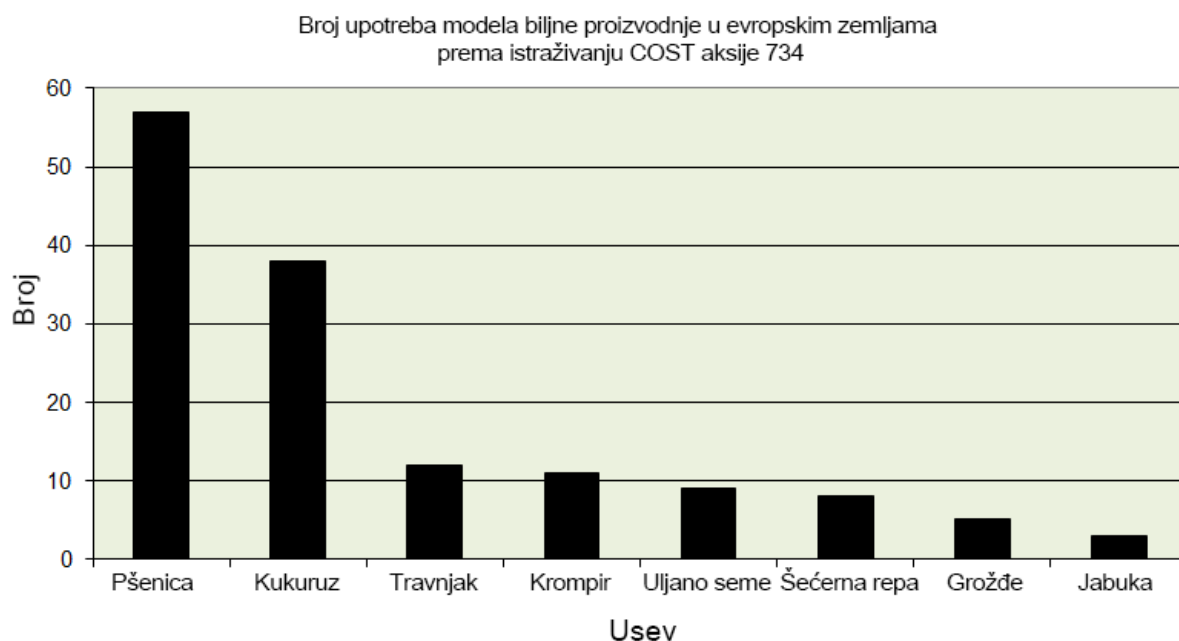
U nekim slučajevima, modeli gajenja useva reaguju različito na primenjeni metod obrade zemljišta. U slučaju ozime pšenice, nije postojala ujednačena reakcija ispitivanih modela. Osim jednog, svi modeli su pokazali opšti pad prinosa u scenariju sa izostavljenim padavinama tokom cvetanja. Međutim, veličina pada prinosa se menjala u zavisnosti od primenjenog metoda obrade zemljišta. S jedne strane, može se zaključiti da se modeli ponašaju veoma različito u pogledu simuliranog smanjenja prinosa kao rezultata nedostatka vode, dok je uticaj ekstremnih temperatura u datim uslovima bio mnogo manji. Sa druge strane, u uslovima malog stresa zbog nedostatka vode, kao što je slučaj sa ozimim usevima (ili navodnjavanim usevima), uticaj ekstremne temperature na simulirani prinos može biti dominantan. Zato treba biti pažljiv prilikom primene modela gajenja useva u studijama uticaja klimatskih promena, posebno u slučaju lokalnih ili regionalnih studija gde su ispravna kalibracija i validacija osnovni preduslovi. Na primer, upoređivanje studija uticaja klimatskih promena zasnovanih na različitim modelima gajenja useva samo je ograničeno pouzdano, tj. samo ako se ograničenja ne uzimaju u obzir prilikom tumačenja rezultata.

11.6 Primena modela biljne proizvodnje

Modeli biljne proizvodnje mogu se primeniti u istraživanju kao i u agronomskoj praksi. Međutim, glavno područje primene je u oblasti istraživanja, posebno za procenu uticaja klimatskih promena na buduće prinose useva i potencijalne prinose, na uticaj na životnu sredinu, različite rizike u uzgoju ili korišćenje vodnih resursa za proizvodnju ratarskih kultura. Primeri praktične primene mogu se naći uglavnom na kratkoročnom nivou, npr. pri planiranju navodnjavanja i đubrenja ili kratkoročnom do srednjeročnom prognoziranjem prinosa.

Međutim, modeli se retko koriste za rano upozoravanje ili ublažavanje šteta od ekstremnih meteoroloških pojava i procesa, gde su dominantni agrometeorološki indeksi (vidi dole). Primeri primene rezultata modela gajenja useva mogu se naći u poglavlju (uticaji klimatskih promena na poljoprivredu).

Većina simulacionih modela gajenja useva primenjuje se u Evropi za jednogodišnje useve, posebno žitarice i kukuruz, koji su ekonomski najvažniji usevi (Slika 11.7). Međutim, trajni travnjaci, krompir, šećerna repa, uljane kulture i drugi usevi takođe igraju važnu ulogu na regionalnom nivou, što dovodi do specifične upotrebe modela.



Slika 11.7 Prijavljene primene modela (operativne i istraživačke, jedinica mere po modelu i zemlji) prema istraživanju COST734 (Nejedlik i Orlandini, 2008).

Na primenu modela gajenja useva utiču neke neizvesnosti koje ograničavaju njihovu upotrebu u istraživanju i praksi (Eitzinger et al., 2008). Glavno ograničenje za primenu modela gajenja useva u Evropi odnosi se na ulazne podatke. Najčešće prijavljivani problemi su dostupnost ili nizak kvalitet ulaznih podataka o zemljištu

(posebno kod primene prostornog modela), nedostatak dugoročnih biofizičkih podataka o usevima koji su potrebni za kalibraciju i validaciju modela i, u nekim slučajevima, dostupnost ili troškovi meteoroloških podataka. Ovo je povezano sa razlikama u socio-ekonomskim uslovima i lokalnim administriranjem podataka koje postoje među različitim regionima Evrope. Pouzdanost podataka za klimatske scenarije ili sezonske prognoze je još jedan ključni moment za korišćenje takvih modela u operativne svrhe ili za donošenje dugoročnih strateških odluka.

11.7 Modeli ili algoritmi za praćenje štetočina i bolesti

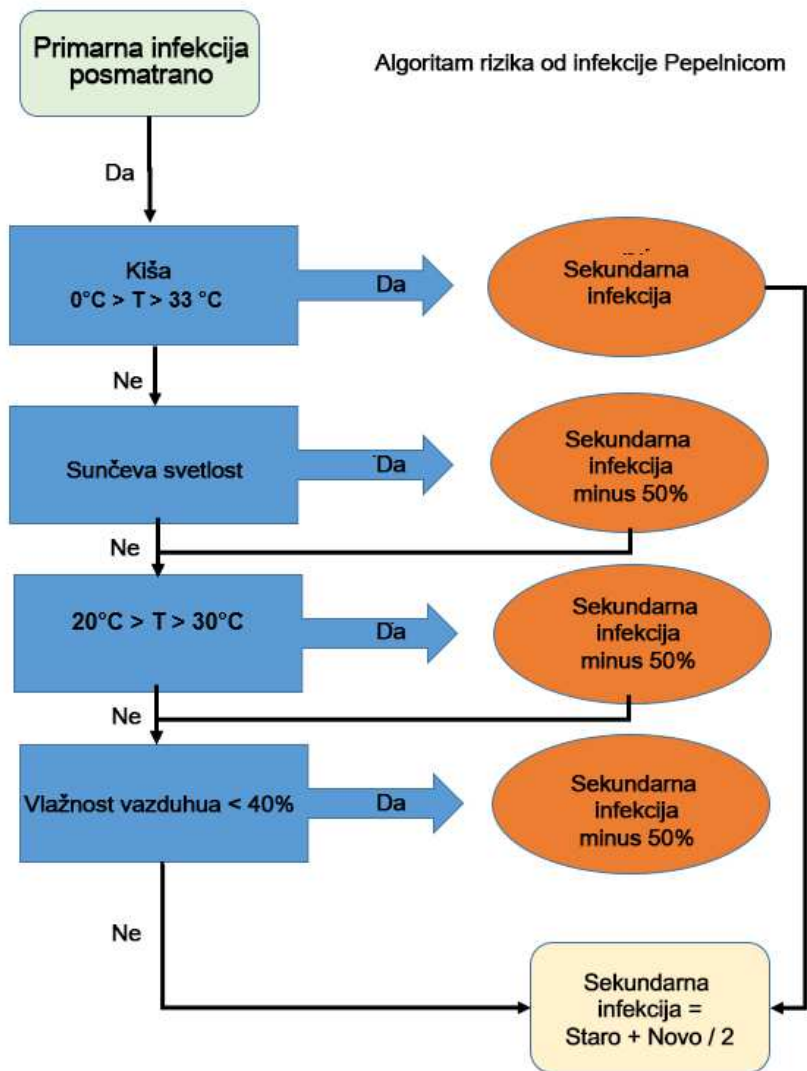
Modeli za praćenje štetočina i bolesti su specifični algoritmi koji opisuju uslove za razvoj štetočina i bolesti kako bi se utvrdile kritične tačke za primenu mere zaštite na farmama. Modeli za praćenje štetočina često koriste sumu temperatura za izračunavanje fenologije štetočina (vidi poglavlje 8). Modeli za praćenje bolesti su često kompleksniji i multivarijantni, i oni uzimaju u razmatranje više uslova prilikom izračunavanja razvojnih ciklusa bolesti. Primer takvog algoritma i utvrđivanja vremena zaražavanja pepelnicom je dat u nastavku (Slika 11.8). Primer jedne takve aplikacije predstavljen je u poglavlju 8 (Fenologija).

Tabela 11.1 prikazuje primere najvažnijih štetočina, bolesti, i dostupnost algoritmi za predviđanje i upozoravanje. Postoji nekoliko softverskih paketa, kao što je PESTCLIM koji koristi već proverene algoritme ECAMON (Trnka et al., 2007) i CLIMEX (Svobodová et al., 2014) kao i novi efikasni postupak obrade i izračunavanja podataka koji omogućava naprednu optimizaciju i poboljšane performanse. Program koji se testira za Srbiju naziva se PIS-V. Ovaj program je razvijen i testiran u prognozno-izveštajnoj službi zaštite bilja (PIS), a predviđen je za agroekološke uslove Vojvodine (Severna Srbija).

Tabela 1: Primeri algoritama koji se primjenjuju za kontrolu štetočina i bolesti u poljoprivrednoj praksi.

Algoritmi	primenjeni za	Bolest
Bolest	Krompir:	-Plamenjača krompira (<i>Phytophthora infestans</i>)*
	Jabuka:	-Crna pegavost krompira (<i>Alternaria solani</i>)
	Vinova loza:	-Čađava krastavost (<i>Venturia inaequalis</i>)*
		-Bakteriozna plamenjača (<i>Erwinia amylovora</i>) -Plamenjača vinove loze (<i>Plasmopara viticola</i>)*
Štetočina	Ratarski usevi	-Kukuruzni plamenac (<i>Ostrinia nubilalis</i>)
	Voćnjaci	-Kukuruzna zlatica (<i>Diabrotica virgifera virgifera</i>)*
		-Krompirova zlatica (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>)*
		-Skočibube (<i>Coleoptera, fam. Elateridae</i>)*
		-Jabukin smotavac (savijač) (<i>Cydia pomonella</i>)* -Šljivin smotavac (<i>Grapholita funebrana</i>)

* najznačajnije bolesti i štetočine obeležene su indeksom



Slika 11.8 Šema algoritma za zaražavanje pepelnicom

11.8 Agroklimatski indeksi i algoritmi

Agroklimatski indeksi, specifični za određeni usev ili ne, široko se koriste za operativno predviđanje da bi se opisali agroklimatski rizici vezani za određene vremenske pojave. Dobro poznati primeri su rizik od mraza, predviđanje suše, uslovi za setvu i žetvu. Takođe, u istraživačke svrhe, agroklimatski indeksi već su korišćeni da se opišu uslovi nastali klimatskim promenama, kao što su ekstremne suše i vrućine.

Rizici u poljoprivrednoj proizvodnji povezani sa vremenskim uslovima (abiotiski) značajno se razlikuju po svojoj prirodi i sezonskoj učestalosti. Ovi rizici

moгу obuhvatati sve vremenske parametre i pojave koje direktno i indirektno utiču na uslove za rast i razvoj useva, kao i potencijalne prinose i štete. Na primer, agroklimatski indeksi opisuju efekte suše i toplote na procese asimilacije ili formiranje prinosa, uslove za prezimljavanje ozimih useva (posebno velike temperaturne varijacije i stanje snežnog pokrivača), rizike od mraza u različitim fenološkim razama, rizike za setvu i klijanje (erozija, stvaranje pokorice, niske temperature zemljišta), loše uslove za žetvu koji dovode do gubitaka u prinosu, pojavu grada, vlažne periode, jake vetrove i oluje (koje dovode do poleganja biljaka, ispiranja azota, erozije), visoke vlažnosti vazduha i vlažnosti listova (što izaziva pojavu bolesti), visoke temperature (što izaziva napade štetočina) i mnoge druge faktore (Tabela 11.2). Osetljivost useva na intenzitet i trajanje ovih pojava razlikuje se od vrste do vrste i od sorte do sorte, fenološkom stanju ili paralelnoj pojavi drugih opterećujućih faktora. Zbog toga se specifični uticaji na useve moraju kalibrirati za odgovarajući indeks ili algoritam.

Na primer, u toku sezone nekog useva, nekoliko meteoroloških rizika može se javiti u različita vremena, u isto vreme ili se mogu preklapati. Do sada su timovi za modelovanje gajenja useva uložili velike napore u okviru projekata MACSUR i AgMIP (www.macsur.eu, www.agmip.org) kako bi rešili kombinovane efekte suše i toplotnog stresa, koji se smatraju glavnim rizicima za proizvodnju poljoprivrednih useva pod uslovima klimatskih promena u Evropi. Međutim, i dalje postoji veliki jaz u pogledu razmatranja mnogih drugih vremenskih prilika u modelima gajenja useva pre svega zbog složenosti tih procesa, gde indeksi mogu poslužiti kao komplementarni izvor informacija kako bi se bolje procenili uticaji loših vremenskih uslova na poljoprivredu uopšte.

AGRICLIM je primer dostupnog softvera za izračunavanje agroklimatskih indikatora. To je alat koji omogućava izračunavanje više od 200 agrometeoroloških parametara i indeksa, a posebno je dizajniran da omogući obradu velikog broja podataka (Trnka et al, 2011). Posebno je pogodan za analizu pojave neželjenih agrometeoroloških događaja koji su u stanju da značajno utiču na prinos, iako ih dinamički modeli gajenja useva često ne uzimaju u obzir zbog čega su zanemareni u srodnim studijama uticaja klimatskih promena i prilagođavanja na njih.

Tabela 2: Pregled prethodno odabranih tipova indikatora i algoritama štetočina/oboljenja koje će se razmatrati u studiji i u bazi podataka koja će biti zasnovana. Konačna selekcija useva zavisice od utvrđene raspoložive baze podataka koja će se moći koristiti za statističku analizu.

Indikator	Primenjeno za	Rizični regopni
Suša	Svi usevi	Svi regioni u kojima je srednja količina padavina manja od 800 mm i sa temperaturama i vetrom relevantnim za pojavu stresa, bolesti i štetočina
Temperatura	Jari usevi	Uglavnom nizije centralne, istočne i južne Evrope; temperaturni stres i uticaj na plodnost različitih kultura; povećani nivo ozona koji dovodi do smanjenja prinosa
Karakteristike zemljišta	Jari usevi	Svi regioni sa glinovitim zemljištem (kritične temperature i vlaga) i peščana zemljišta (suša)
Obilne padavine	Ratarski usevi	Vlažni regioni (planinski regioni); relevantni za plavljenje i otrdnjavanje gornjih slojeva zemljišta
Snežni pokrivač	Ozimi usevi	U svim regionima sa pojavom eksremnih visina snežnog pokrivača i njegove varijacije
uslovi prezimljavanja	Izabrane useve	Frekvencija i trajanje mrazeva, hladnih i toplih perioda
Vlažnost vazduha i vlaženje listova	Izabrane useve	Vlažni regioni; značajno zbog razvoja mnogih bolesti
Uslovi pri žetvi	Izabrane useve	Specifično za datu kulturu, uključuje i sve meteorološke elemente
Obrađenost zemljišta	Obradivi	Za obradu zemljišta i agrotehniku; opasnost od sabijanja tla
Povoljni uslovi za upravljanje usevima	Izabrani useve	npr. broj ili frekvencija suvih mirnih dana, specifično za biljnu kulturu
Sušni uslovi	Jari usevi	Sušnost; relavantno za kvalitet prinosa i pojavu biljnih bolesti
Frekvencija padavina	Izabrani usevi	Relevantno za pojavu biljnih bolesti i štetočina; akumulacija biomase (koju određuje intenzitet zračenja smanjen zbog prosustva oblaka)

Štete od mraza	Izabrane useve i vožnjake	Kombinacija pojave mraza sa procenom osetljivosti (fenološki model); jari usevi i voćnjaci; snažan uticaj orografije
Erozija zemljišta	Izabrane useve sa periodom golog zemljišta	Direktna šteta i dugoročni efekti na plodnost zemljišta (hranljive materije i zapacitet zadržavanja vode)
Ispiranje azota	Jari usevi	Žitarice i usevi sa visokom produkcijom kao što je kukuruz; snažan uticaj na zemljište i upravljanje proizvodnjom; velika prostorna varijabilnost

Primer prostorne primene agroklimatskog pokazatelja za operativni praćenje i prognoziranje zasnovanog na GIS-u prikazan je na Slikama 11.9 i 11.10 za radne dane na terenu za period žetve jarog ječma. Ovaj indikator se izračunava na sledeći način:

Field Working Days Indicator

Accumulation of days with meteorological and soil conditions suitable for field work.

if ($p_{n-3} < p_{\text{thresh3}}$ & $p_{n-2} < p_{\text{thresh2}}$ & $p_{n-1} < p_{\text{thresh1}}$ & $p_n < p_{\text{thresh}}$ & $rss_n < rss_{\text{thresh}}$): $fwd_n = 1$
 else: $fwd_n = 0$

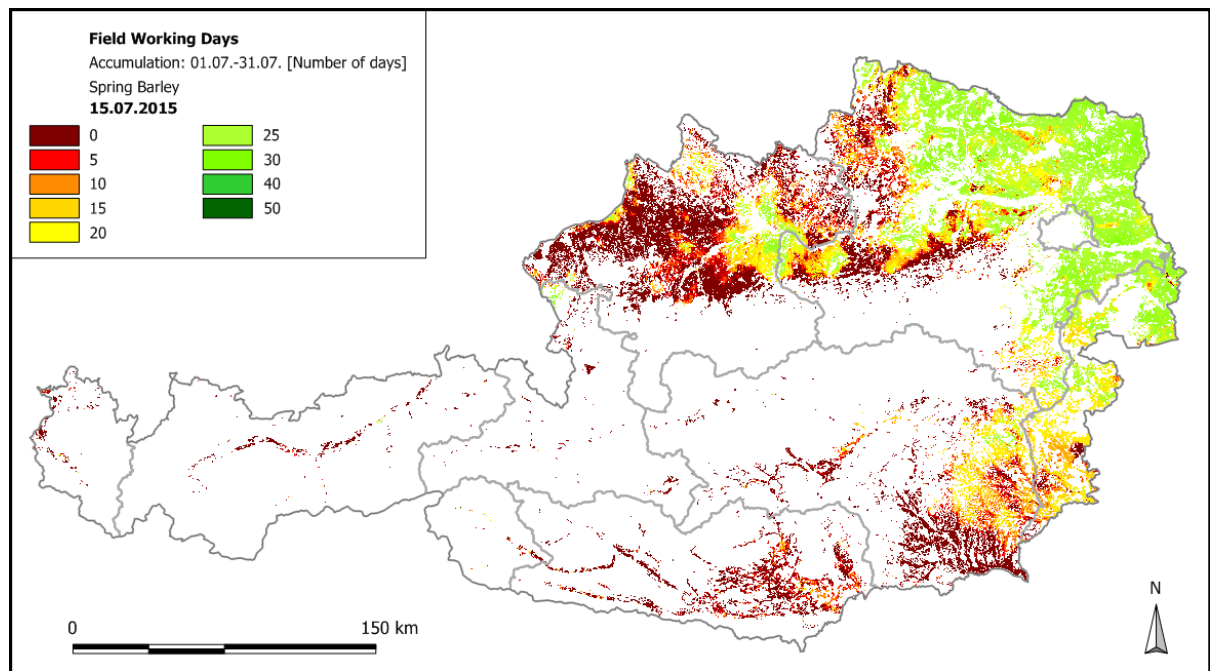
Version1 : accumulation of fwd from June 1st to June 30th

Version2 : accumulation of fwd from July 1st to July 31st

fwd_n	day n with meteorological and soil conditions suitable for field work [0,1]
p_n	sum of precipitation at day n [mm]
p_{thresh}	threshold value of the precipitation sum at day n [mm]
rss_n	relative soil saturation at day n [%]
rss_{thresh}	threshold value of the relative soil saturation [%]

Variable	Threshold value
rss_{thresh}	70 % of maximum soil water holding capacity
p_{thresh3}	20 mm
p_{thresh2}	10 mm
p_{thresh1}	5 mm
p_{thresh}	0,5 mm

Slika 11.9 Procedura proračunavanja indikatora radnih dana na terenu za periode žetve



Slika 11.10 Terenski radni dani potrebni za uzorkovanje zemljišta tipa CLC 2012 vrste zemljišta "obradivo zemljište" (Komisija Evropske zajednice, 1995) u Austriji. Simulacija za fenologiju jarog ječma u prostornoj rezoluciji od 500 m. Slika prikazuje dane akumulirane od 1. jula do 15. jula 2015 (u okviru perioda akumulacije od 1. jula do 30. jula) sa uslovima zemljišta pogodnim za žetvu.

12 Klima, klimatske promene i poljoprivreda

12.1 Uvod

Klima, prema definiciji, predstavlja skup meteoroloških elemenata, atmosferskih procesa koji definišu srednje fizičko stanje atmosfere određenog područja. Razlikuje se od "vremena" koje je isključivo vezano za kratkoročne promene meteoroloških elemenata posmataranog regiona (npr. dnevne promene). Drugim rečima, klima predstavlja spoj generalno preovladavajućih vremenaskih uslova regiona (temperatura, atmosferski pritisak, vlažnost vazduha, padavine, osunčanost, oblačnost, vetrovi) kroz godine osrednjeno na dugačak niz godina. Prostorne razmere na kojima se definiše klima kreću se od kontinentalnih, prema regionalnim (npr. klima Panonske nizije), lokalnim (npr. klima nizija ili gradova) čak i mikro skalama (npr. mikroklima biljnog sklopa vinograda ili voćnjaka).

Karakteristike klime vezane su za statistički obradu izmerenih meteoroloških elemenata, kao što je računanje srednje vrednosti (srednja godišnja temperatura vazduha), sume (srednja mesečna količina padavina), frekvencija (srednji broj toplotnih talasa u godini), verovatnoća (verovatnoća padavina), percentili (verovatnoća odstupanja od srednje vrednosti, normalne vrednosti), itd. Prema tome klima predstavlja statistiku meteoroloških elemenata (vremena) izraženu za gugački vremenski period.

Važan preduslov za definisanje klime je vremenski interval odgovarajuće dužine, koji treba da obuhvati statističke distribucije meteoroloških elemenata. Međutim, dužina posmatrane vremenske serije koja se koristi za definisanje klime zavisi i od karakteristika same klime. Da bi rezultati bili uporedivi za računanje normalnih vrednosti, klimatoloških srednjaka uzima se niz od 30 godina (npr. 1961-1990, 1981-2010) kako je definisala Svetska meteorološka organizacija (eng. World Meteorological Organization - WMO) (http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS_1.php)

Climatološki srednjaci ili kako ih često nazivamo, normalne vrednosti, koriste se kao referentne vrednosti (posebno trenutnih i budućih uslova) i kao opis vrednosti koje se mogu očekivati sa najvećom verovatnoćom za datu lokaciju. Posebno su značajni u istraživanjima uticaja klimatskih promena kada se porede različiti rezultati u odnosu na isti referentni klimatološki period.

Dok se termin klima odnosi na srednje stanje klimatološkog sistema ili statistiku vremena, klimatske promene se odnose na promenu upravo te statistike u toku vremena. Prema tome klimatske promene se definišu kao promena klimatskih obrazaca na globalnom ili regionalnom nivou. Do zaključka da se klima menja dolazi se poređenjem rezultata statistične obrade klimatoloških elemenata u dva različita perioda od po 30 godina. U poslednjim godinama kao najznačajniji indikator promene klime izdvojio se porast temperature vazduha osmotren na različitim prostornim razmerima (npr. promena globalne temperature vazduha za 3 ili 4,5 °C).

12.2 Klasifikacija i regionalizacija klime

Tokom istorije, počev još od helenističkih vremena, a posebno nakon što su meteorološka merenja postala dostupna na globalnom nivou, razvijen je veliki broj klasifikacija klime.

Uloga klasifikacije klime je da organizuje, klasifikuje klimatološke podatke u cilju povećanja efiksnosti poređenja i identifikovanja regiona sa istimo ili sličnim klimatskim karakteristikama. Postoje tri osnovna tipa klasifikacije klime koje se koriste u klimatologiji za identifikaciju klimatskih zona:

- Empirijske klasifikacije klime (zasnovane na osmotrenim meteorološkim elemenatima, iskustvu, tipu vegetacije, reka i njihovog odgovora na klimu). Kepenova (Köppen) klasifikacija, opisana u daljem tekstu, je jedan od primera empirijske klasifikacije zasnovane na temperaturi i padavinama.
- Generičke klasifikacije klime (zasnovane na uzrocima formiranja različitih tipova klime kao što su: geografske karakteristike, energetski bilans površine i vazdušne mase). Ova klasifikacija se unapređuje u skladu novim podacima o klimi.
- Kombinovane (primenjene) klimatske klasifikacije proistekle su iz problema vezanih za klimu i mogu imati empirijske i/ili generičke osnove. Klasifikacija Torntvajtja (Thornthwaite) je zasnovana na potencijalnoj evapotranspiraciji i često se koristi u oceni vodnog bilansa regiona ili potencijalne količine vode koja se koristi u ljudskim aktivnostima.

Po pravilu, klimatske zone se prikazuju na geografskim kartama. Karte najčešće prikazuju i srednje vrednosti klimatoloških elemenata na kojima se bazira prikazana klasifikacija.

Parametri i njihove kombinacije koji se koriste za izvođenje klimatoloških klasa su mnogobrojni. Na primer:

- upadno sunčevo zračenje (polarne, umerene i tropske zone) (empirijski/generički tip)
- geografske regioni sa „sličnom“ klimom (empirijski tip)
- hidrološke karakteristike (npr. vrsta sezonskog toka reka) (empirijski/kombinovani tip)
- potencijalna evapotranspiracija (npr. Thornthwaite, 1931; Budyko, 1948) (empirijski/primenjeni/generički tip)
- glavni sistemi atmosferske cirkulacije (npr. Flohn, 1950, Alissow, 1954) (generički tip)
- kombinacija meteoroloških elemenata i vrste vegetacije (kao indikator klime); (npr. Köppen, 1900) (empirijski tip)
- kombinacije isključivo meteoroloških elemenata, kao što su sezonska (mesečna) temperatura i padavine (npr. Walter and Lieth, 1958) (empirijski tip)

- posebne šeme mapiranja klime za upotrebu u agrometeorologiji i poljoprivredi (kao što su dužine vegetacionih perioda ili perioda gajenja određenih useva, srednje i ekstremne mesečne temperature, srednje trajanje snežnog pokrivača itd.) (kombinovani tip)

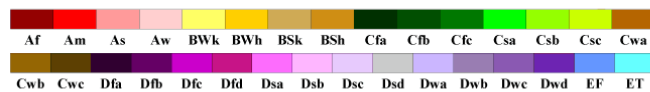
Prilikom klasifikacije klime često se koriste indikatori, izračunati iz meteoroloških i klimatoloških elemenata, kao osnova za definisanje, zoniranja i mapiranje tipa klime (kao što su tropska, semi-humidna itd.) ili se tip klime određuje direktno iz srednjih vrednosti meteoroloških elemenata, kao što su srednje godišnje ili mesečne temperature vazduha i sume padavina, izračunate na osnovu podataka dobijenih sa meteoroloških stanica.

Različite klasifikacije klime često su crtane kao karte sa različitim rezolucijama i štampane za klimatološke atlase, ili pridružene podacima sa meteoroloških stanica kao klimatski dijagrami. Međutim, od vremena digitalizacije, upotrebom računara, mogućnosti i opcije za pravljenje klimatskih dijagrama i mapa postale su beskonačne.

Ipak, danas se i dalje koriste neke od „starih“ (ali ažuriranih) klasifikacija klime kao zajednički standard, kao što su Kepen-Gajgerova (Köppen-Geiger) klasifikacija klime (Slika 12.1) i klimatski dijagrami lokaliteta prema Volteru i Litu (Walter and Lieth) (Slika 12.2).

World Map of Köppen–Geiger Climate Classification

updated with CRU TS 2.1 temperature and VASCLIM v1.1 precipitation data 1951 to 2000



Main climates

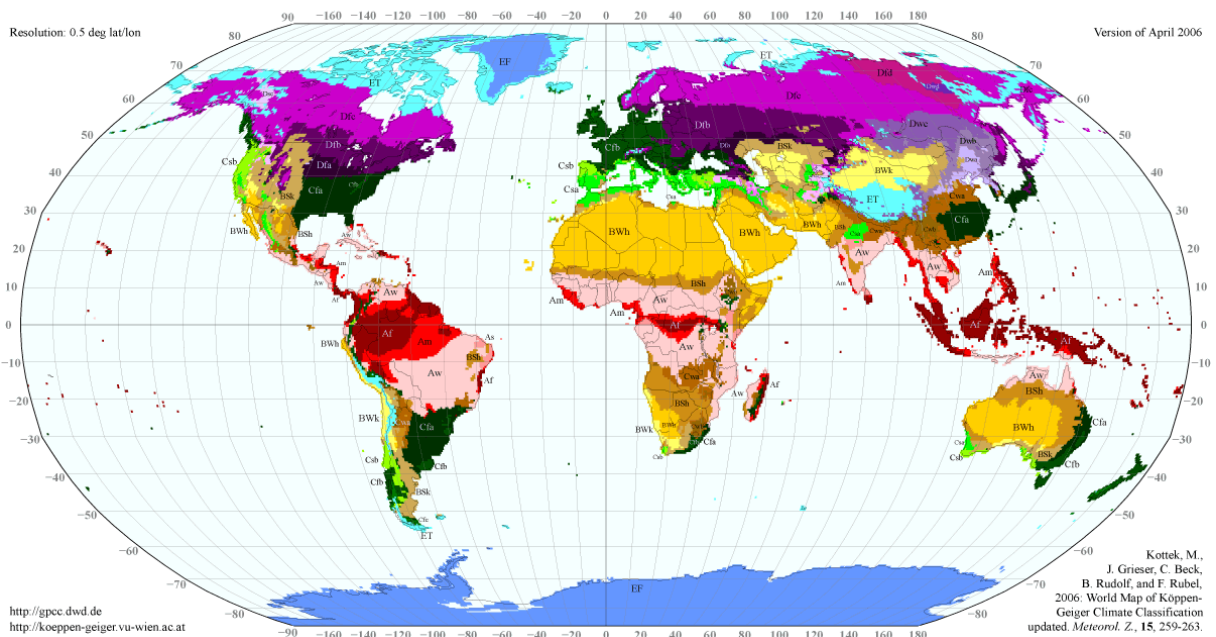
A: equatorial
B: arid
C: warm temperate
D: snow
E: polar

Precipitation

W: desert
S: steppe
f: fully humid
s: summer dry
w: winter dry
m: monsoonal

Temperature

h: hot arid
k: cold arid
a: hot summer
b: warm summer
c: cool summer
d: extremely continental
F: polar frost
T: polar tundra

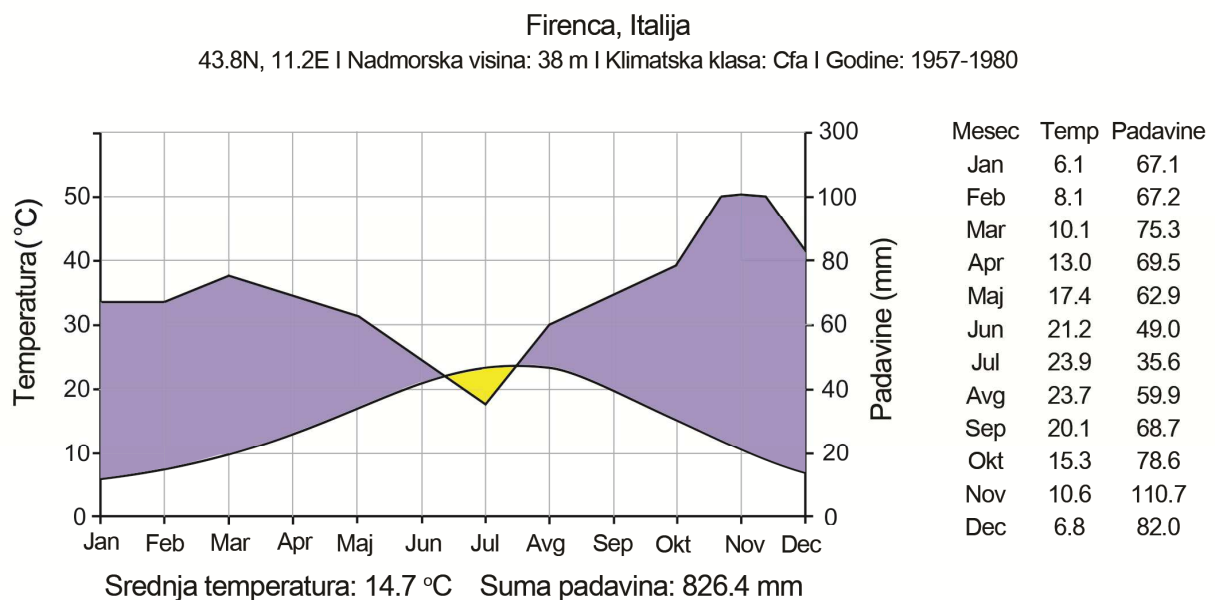


Slika 12.1 Kepen-Gajgerova klimatska mapa sveta za period 1953-2000. Izvor: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/> (uključuje i animiranu kartu, koja pokazuje razvoj prema budućim klimatskim scenarijima)

Alternativni izvor Kepen-Gajgerove klimatske mape sa bazama podataka mogu se naći na internet stranici svetske Organizacije za hranu i poljoprivredu (FAO): http://www.fao.org/nr/climpag/globgrids/KC_classification_en.asp.

Volterovi dijagrami (Walter and Lieth, 1967) zasnovani su na srednjoj mesečnoj temperaturi i količini (sumi) padavina, pri čemu je skaliranje od 1°C jednako sa 2 mm padavina, što ukazuje na negativan vodni bilans (sušnu sezonu) kada se linija padavina nalazi ispod linije temperature. Originalni dijagrami su dizajnirani tako da mogu sadržati i niz dodatnih informacija, kao što su godišnje padavine ili ekstremne vrednosti u različitim mesecima itd. (za detalje, vidi <http://www.zoolex.org/walter.html>).

Pojednostavljeni Volterovi dijagrami sa meteoroloških stanica širom sveta mogu se pronaći na internetu na <https://climatecharts.net/>. Na primer, na Slici B2 prikazano je suvo leto mediteranske klime Firence u Italiji.



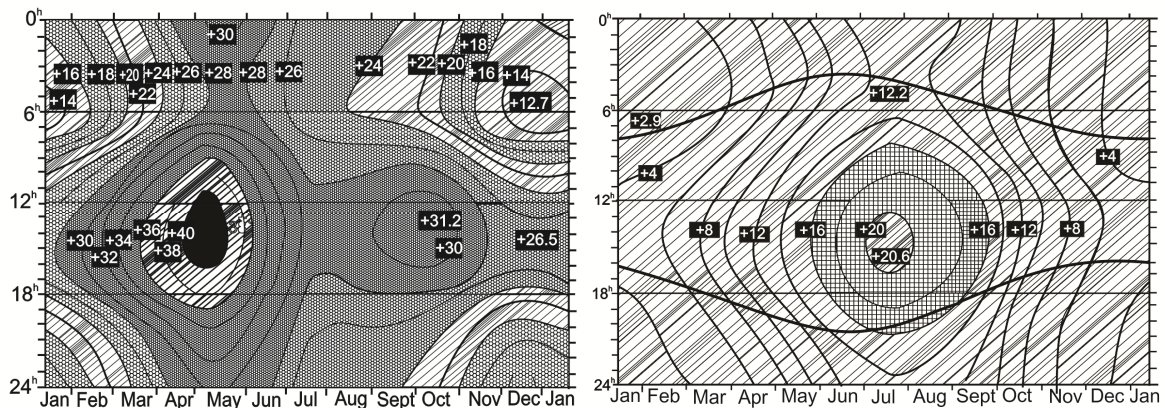
Slika 12.2 Klimatski dijagram (prema Walter and Lieth) za Firencu, Italija (modifikovano, izvor: <https://climatecharts.net/>)

Čak i jednostavni klimatski dijagrami, kao što je dijagram prema Volteru i Litu, mogu pružiti vredne informacije o sezonskim karakteristikama klime koje su od posebnog značajne za poljoprivrednu proizvodnju.

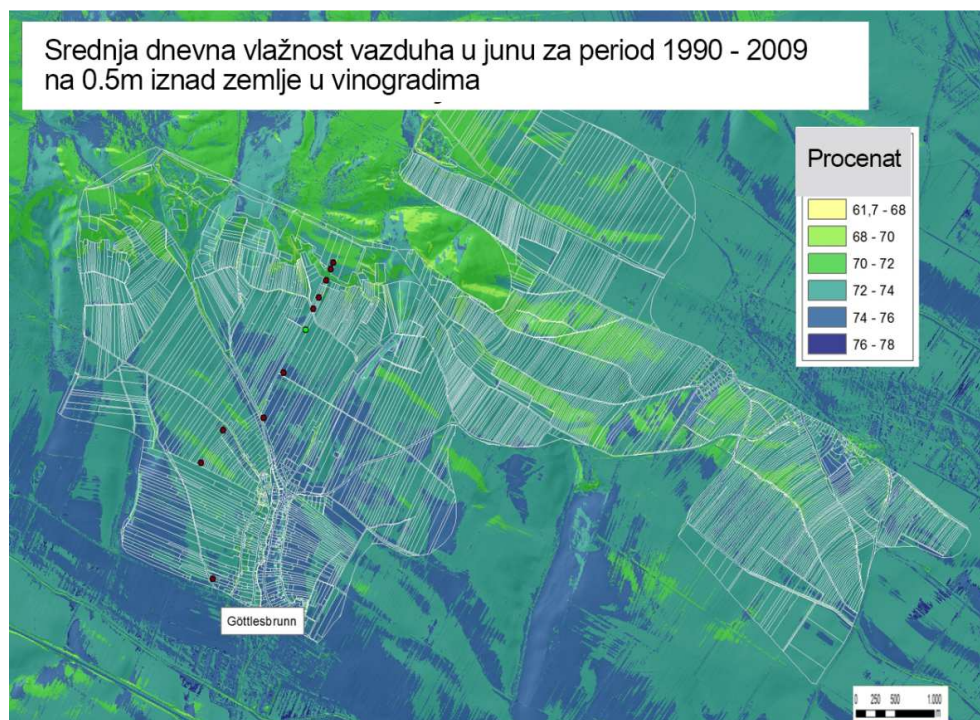
Drugačiji tipovi klimatskih dijagrama mogu kombinovati i druge klimatske elemente značajne za poljoprivredu. Na primer, na Slikama 12.3 predstavljena je kombinacija srednjih dnevni i godišnjih temperatura, uključujući dužinu dana, na dva različita lokaliteta, ukazujući na vidljivo različite uslove gajenja.

Međutim, u mnogim slučajevima poljoprivrednicima su potrebni lokalni klimatski uslovi visoke prostorne rezolucije, koji se usled, na primer, uticaja orografije i vrste podloge, mogu znatno razlikovati od podataka iz udaljenih meteoroloških stanica ili vrednosti dobijenih mapiranjem na velikoj razmeri. Ovakve potrebe javljaju se recimo kod proizvodnje vina, da bi se definisali regioni koji su sa stanovišta klime

pogodni za proizvodnju. U ovakvom slučaju, potrebno je uložiti dodatne napore da se generišu podaci i utvrdi topografski uticaj na lokalnu klimu. Mogu se primenjivati različiti pristupi, na primer, horizontalna gradijentna merenja mikroklimatskih elemenata na ograničenom području, uključujući podatke dobijene daljinskim merenjima (engl. *remote sensing*) i izvođenje algoritama za odnose između npr. promene temperature vazduha na maloj razmeri u zavisnosti od nivoa mora, nagiba i orijentacije nagiba brda.

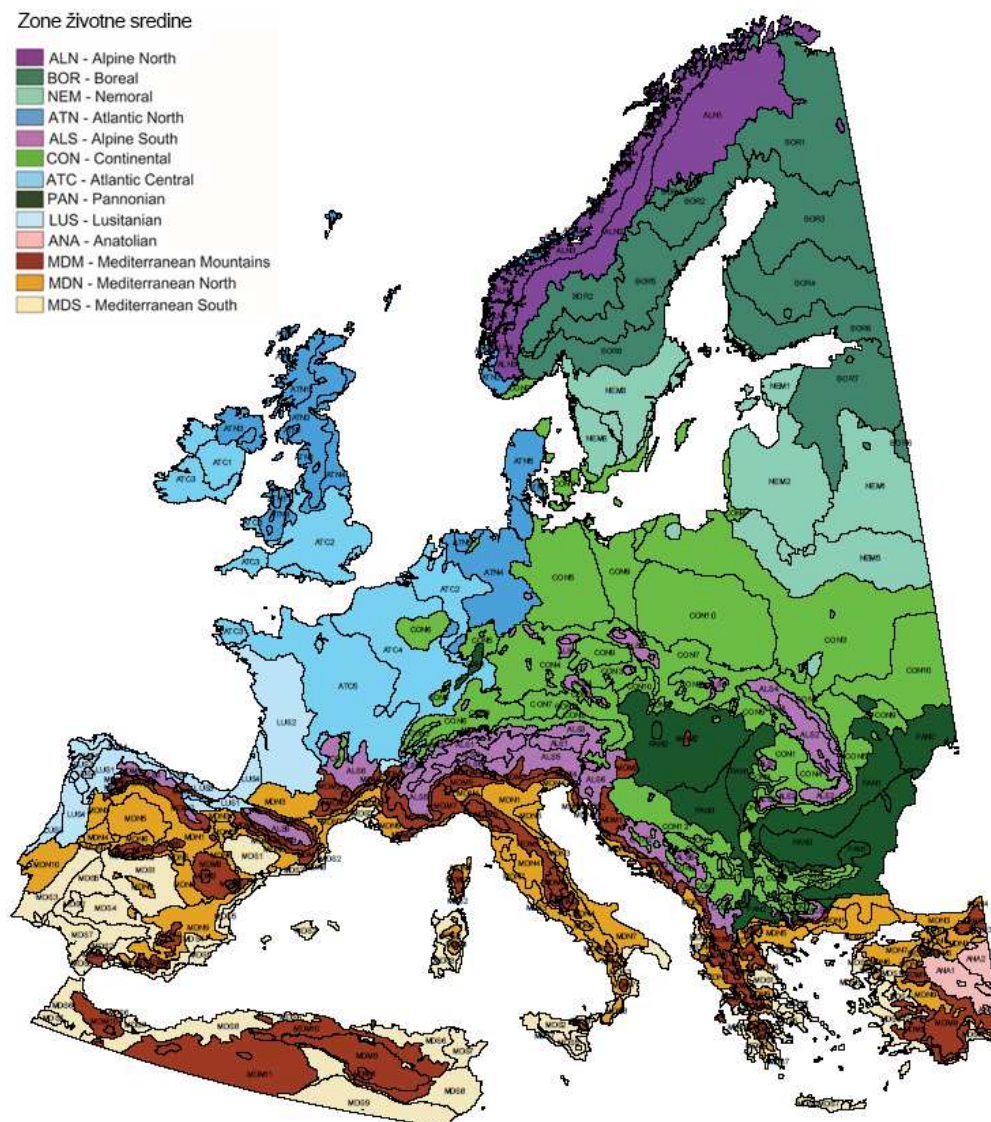


Slike 12.3 Kombinacija dnevnog i godišnjeg hoda temperature i dužine dana za Nagpur (tropska klima) i Oksford (atlantska klima) kao važnih faktora za gajenje useva.



Slika B3: Prikaz srednje vrednosti vlažnosti vazduha u maloj razmeri (parametrisano na mikroklimatske uslove u vinogradima) u junu u vinogradarskoj regiji Austrije (bele linije predstavljaju vinograde) (izvor: BOKU-Met)..

Jedno od istraživanja je sprovedeno u vinogradarskom regionu Karnuntum u Austriji sa ciljem izrađivanja karte sa karakteristikama teroara (klima, zemljište, podloga) kao glavnim funkcijama vinogradarstva. Kao ishod istraživanja, kroz različite tematske slojeve i analize geografskih podataka opisane su geokološke karakteristike i varijabilnost ovog vinogradskog regiona i izdvojene su homogene višeslojne mapirane jedinice pomoću Geografskog informacionog sistema (Geographic Information System - GIS). Rezultati su pretvoreni interaktivne internet mape (<http://www.geologie.ac.at/en/research-development/mapping/substrate-floor/natural-region-carnuntum/>).



Slika 12.5 Stratifikacija zona životne sredine u Evropi (izvor: Metzger et al., 2005).

Nedavno su objavljene sofisticirane karte životne sredine u koje je uvršćen veći broj parametara, i ove karte se mogu koristiti kao referenca prilikom izrade studije uticaja klimatskih promena. Primer je mapa stratifikacije životne sredine Evrope (Metzger et al., 2005), u kojoj je uz klimatološke faktore (mesečne temperature, količine

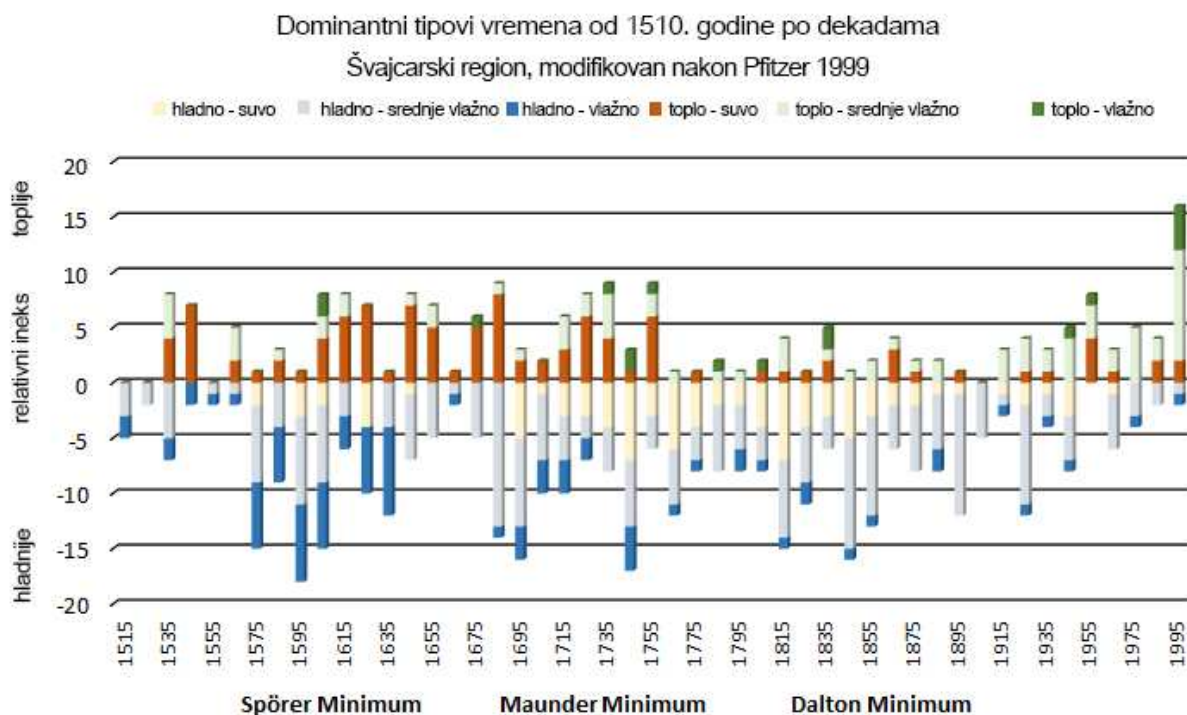
padavine i osunčanost), uzeta u obzir i geomorfologija, geologija, zemljište, vegetacija i fauna kao glavne komponente ekosistema. Po ovoj mapi (Slika 12.5) rađena je Tabela 12.1 u ovom poglavlju.

12.3 Klimatske promene –

Klimatski sistem Zemlje je dinamički sistem koji obuhvata atmosferu, hidrosferu, kriosferu, biosferu i litosferu, a karakterišu ga varijacije koje nisu u potpunosti predvidljive. Neophodno je naglasiti da su globalne klimatske promene proces koji se neprestano odvija pod uticajem kako prirodnih, tako od nedavno, i ljudskih faktora. Varijacije i promene u zemljinoj klimi vidljive su u rasponu od nekoliko miliona godina pa do jedne ili dve godine (IPCC, 2013).

Dugoročno gledano (npr. u periodu od više hiljada godina, vremenski period koji određuje glavna ledena doba, pored ostalih fenomena), glavni pokretači klimatskih promena su biogeochemijski ciklusi zemlje i tri faktora Zemljine orbite (npr. Milankovićeve ciklusi). Ovi *prirodni faktori utiču pre svega na distribuciju i količinu energije koju površina zemlje apsorbuje*, koja za uzvrat pokreće (i menjaja) globalnu atmosfersku cirkulaciju, okeanske struje, kriosferu itd., a samim tim utiču i na klimu i njenu varijabilnost i promene. Tokom perioda od nekoliko godina, uobičajene su fluktuacije globalne površinske temperature od nekoliko desetina jednog stepena. Neke od ovih fluktuacija vezane su za aktivnost sunca, velike erupcije vulkana, El Niño – južnu oscilaciju (ENSO), severnoatlantsku oscilaciju (NAO) i druge prirodne pojave. Pored antropogenih faktora, solarna i vulkanska dejstva su dva dominantna prirodna faktora koja doprinose globalnim klimatskim promenama tokom industrijske ere (IPCC, 2013).

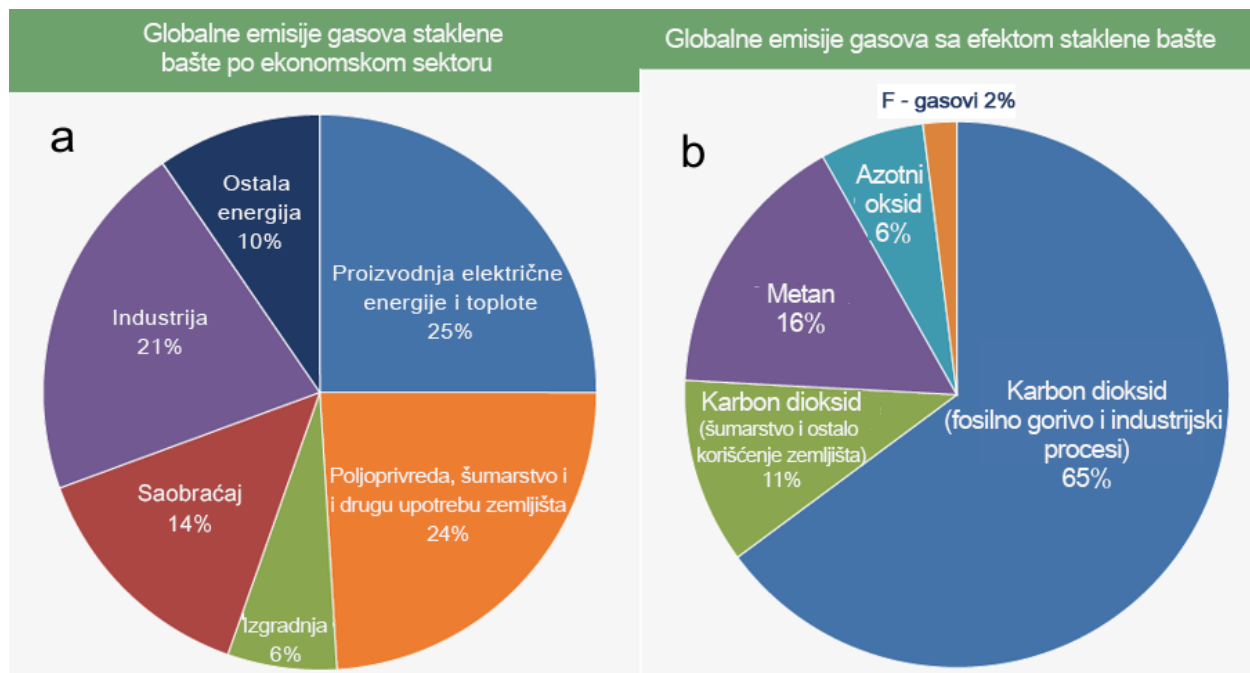
Primer prirodnih klimatskih promena tokom proteklih 500 godina prikazan je na Slici 12.6. Ove klimatske promene obuhvataju „malo ledeno doba“ tokom srednjeg veka u Evropi (tri perioda sa povećanim brojem veoma hladnih godina – nazvani Sporerov (Spörer), Maunderov (Maunder) i Daltonov (Dalton) minimum). Počev od 19. veka (početak industrijalizacije), vidljiv je izuzetan dodatni signal zagrevanja usled čovekovih aktivnosti vezanih za sagorevanja velike količine fosilnih goriva. Sa sigurnošću se tvrdi da je srednje godišnje površinsko zagrevanje nastalo u 20. veku promenilo dugoročne trendove hlađenja koji su postojali tokom proteklih 5000 godina na srednjim i visokim geografskim širinama severne hemisfere, što navodi i IPCC (2013). To ne znači da ljudi nisu uticali na klimu i u ranijim vremenima, na primer, krčenjem šuma i promena namene zemljišta, ali su te promene ostajale uglavnom na regionalnom nivou (npr. promena regionalne klime) i svakako nisu bile glavni faktor u izazivanju globalnih klimatskih promena.



Slika C1: Godišnji vremenski uslovi po dekadama tokom perioda 1505-2000 (opis klasifikovanja: toplo-suvo (crveno); toplo vlažno (tamnozeleno); toplo (svetlozeleno), hladno-suvo (žuto); hladno-vlažno (tamnoplavo); hladno (svetloplavo); prema Pfister 1999, iz Eitzinger et al., 2009).

Osnovni problem je u tome što zagrevanje, koje je relativno brzo (mada ne i jedinstveno u klimatskoj istoriji), utiče na mnoge ekološke procese i što u kombinaciji sa drugim ljudskim aktivnostima može direktno i indirektno izuzetno negativno uticati na životne uslove ljudskog društva na zemlji u budućnosti.

Većina naučnika smatra da su emisije ugljen-dioksida (CO_2), metana (CH_4) i azot-suboksida (N_2O) i drugih tzv. gasova staklene bašte (engl. *greenhouse gases* - *GHG*) glavni pokretači današnjeg trenda globalnog zagrevanja. Ovi gasovi staklene bašte (Slika 12.7b) emituju se u atmosferu kao posledica ljudskih aktivnosti u različitim privrednim delatnostima (Slika 12.7a) i mogu izazvati trajne klimatske promene (Slika C1a). Vrlo je verovatno da su ljudske aktivnosti izazvale više od polovine uočenog porasta globalne površinske temperature u periodu 1951-2010. godine, o čemu temeljno svedoče rezultati mnogobrojnih istraživanja dobijeni različitim naučnim metodama (IPCC, 2014).



Slika C1a-b: Udeli u stvaranju globalnih emisija gasova staklene bašte (zasnovani na ekvivalentu CO₂) prema privrednim delatnostima (levo) i udeli različitih gasova staklene bašte u ukupnom sadržaju gasova staklene bašte (desno) (Izvor: IPCC, 2014)

Koncentracija CO₂ u atmosferi porasla je za oko 33% od predindustrijskog vremena (do oko 407 ppm u 2017. godini, sa trendom rasta do danas) uglavnom usled sagorevanja fosilnih goriva i promene namene podloge (npr. krčenje šuma). Povećanje koncentracije gasova staklene bašte od 1750. godine dovela je do povećane apsorpcije dugotalasnog zračenja (razlika između dolaznog i odlaznog zračenja povećala se za 2,2 W m⁻²) sa tendencijom zagrevanja površine i stvaranja klimatskih promena.

Pokazalo se da su neki od evropskih agroekosistema i privrednog sektora posebno osetljivi na nove trendove promene temperature i (u manjoj meri) padavina (Alexandrov et al., 2011). Fenomeni koji su proučavani uključuju (izvor: IPCC, 2013; APCC, 2014; Eitzinger et al., 2009)

- Pomeranje linije drveća prema gore;
- Fenološke promene (raniji početak prolećne vegetacije i produženje vegetacionog perioda);
- Povećanje produktivnosti i ponora ugljenika u šumama; • Promene u tipovima visokoplaninske vegetacije i pojave nove alpske vegetacije na visokim vrhovima;
- Severna Evropa: povećan stres kod useva tokom toplijih, sušnijih leta; povećani rizik od grada;
- Nemačka: raniji početak sezone gajenja voćaka; • Britanija, južna Skandinavija: povećana površina silažnog kukuruza – povoljniji uslovi usled viših letnjih temperatura;

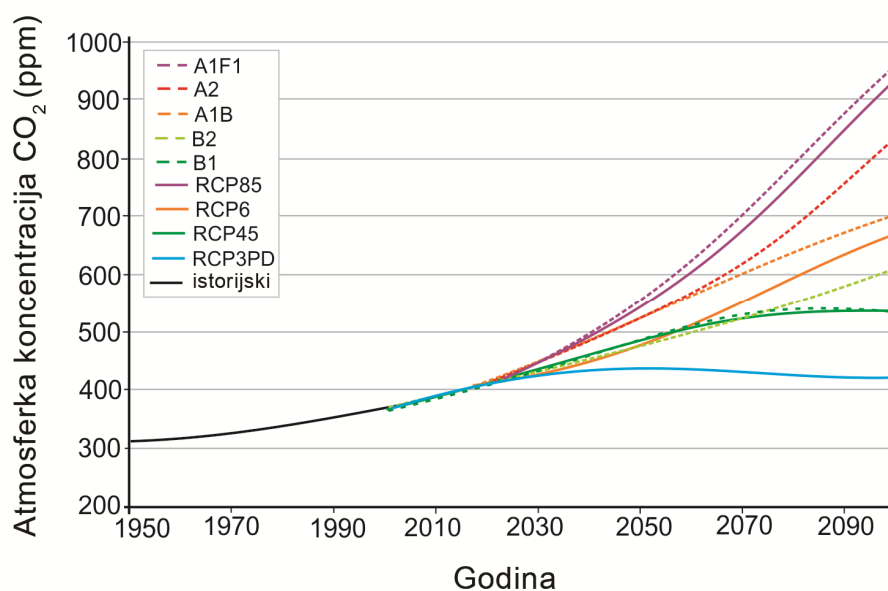
Francuska: produžena sezona gajenja vinove loze; promene kvaliteta vina.

Globalne klimatske promene imaju uticaja na sve privredne delatnosti, ali poljoprivredna proizvodnja je verovatno najosetljivija i najugroženija, jer je klima primarni faktor koji utiče na produktivnost. Svetska poljoprivreda, kako u zemljama u razvoju tako i u razvijenim zemljama, i dalje u velikoj meri zavisi od klimatskih resursa. Iako, poljoprivreda u Evropi čini samo mali deo bruto domaćeg proizvoda (BDP), tako da privreda uopšteno posmatrano nije u velikoj meri pogođena uticajima klimatskih promena na poljoprivredu; lokalni uticaji na društvo može biti veoma veliki. Pitanje globalne i regionalne klimatske varijabilnosti i promena, kao i njihovih uticaja na ekosisteme, nepobitno je jedno od najvažnijih pitanja vezanih za očuvanje životne sredine sa kojima se suočavamo na početku 21. veka (npr. IPCC, 2013).

Razvoj klime u budućnosti može se izračunati za datu vremensku evoluciju faktora koji utiču na bilans dolaznog i odlaznog zračenja (emisija i promena namene podloge) pomoću planetarnih modela (klasičnim klimatskim modelima koji simuliraju atmosferu i okeane pridodati su modeli biogeohemijskih procesa). Rezultati ovih izračunavanja, koja izvode različite istraživačke grupe koristeći različite modele, predstavljeni su u 5. izveštaju IPCC (APCC, 2014, IPCC, 2013).

Pored toga što postoje različiti modeli, početni uslovi su modifikovani posebno za okean da bi se obezbedio ansambl projekcija koji omogućava procenu nesigurnosti.

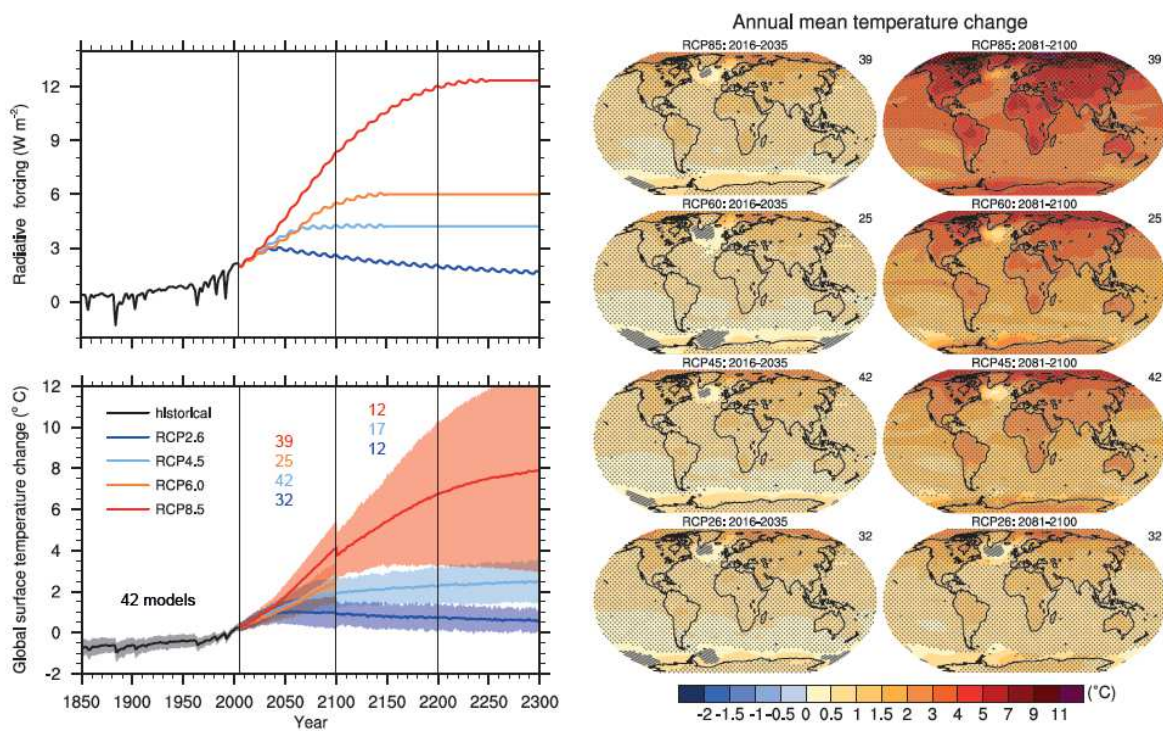
Četiri različite „representativne putanje koncentracija“, vezane za scenarije socio-ekonomskog razvoja, date su u 5. Izveštaju o oceni promene klime (nazvanom RCP – engl. *Representative Concentration Pathways*). RCP scenariji su na sličani onima iz 4. Izveštaju o oceni promene klime (SRES – engl. *Special Report on Emissions Scenario*), najveće razlike se javljaju nakon 2040. godine (Slika 12.8).



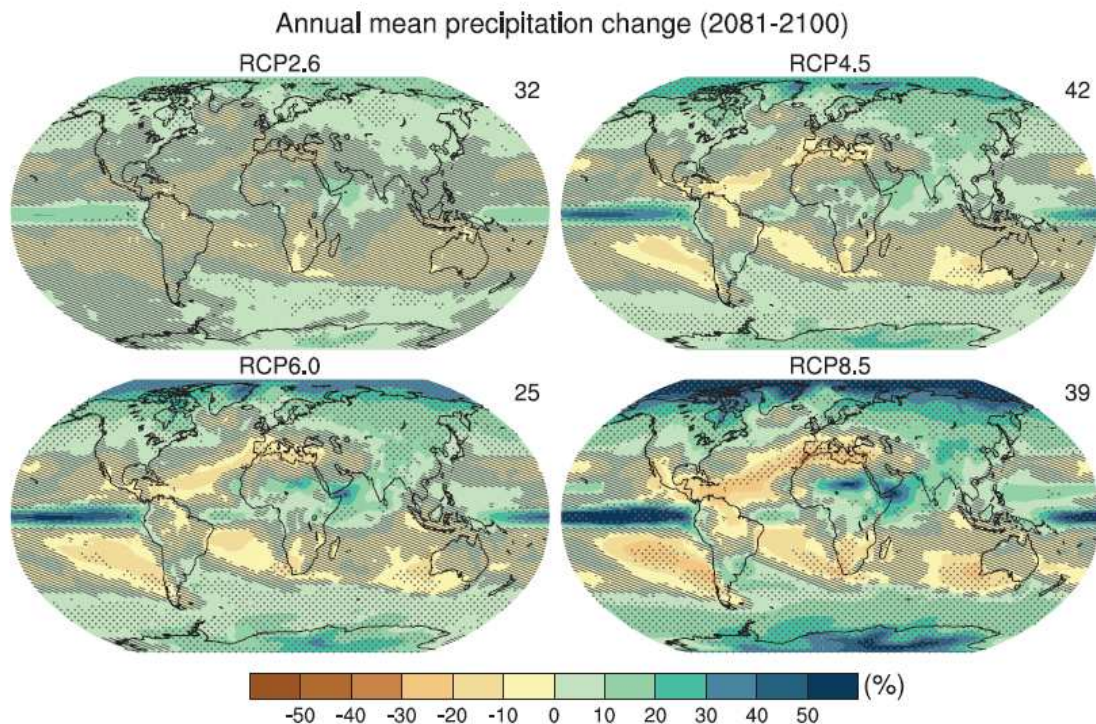
Slika 12.8 Atmosferska koncentracija CO₂ iz SRES scenarija (4. IPCC izveštaj) i aktuelnih RCP scenarija (5. Izveštaja o oceni promene klime) (modifikovano, prema Kotlarski and Truhetz, 2016)

Samo kod najniže od ovih putanja, *globalno zagrevanje* bi najverovatnije ostalo u okviru politički definisanog cilja maksimalnog zagrijavanja od 2°C. Ova putanja podrazumeva brzo i masovno smanjenje emisije gasova staklene bašte. Najviša putanja vodi do porasta temperature za oko 4,5°C (globalna srednja vrednost) od druge polovine 19. veka do 2100. godine (sa tendencijom daljeg rasta). Do približno 2040. godine, razlike između putanja su manje od integracionog perioda različitih scenarija. Zagrevanje se razlikuje regionalno, ali i globalno posebno između površine zemljišta i okeana (Slika C3).

Promene u padavinama su takođe neujednačene: vlažni regioni i godišnja doba će verovatno primiti više padavina, a suvi manje (Slika C4). Suvi regioni će se možda širiti prema polovima. Zagrevanja okeana i topljenje leda sa kopna vodi ka povećanju nivoa mora, za koje se očekuje da bude u rasponu od 0,25 m do 1,0 m 2100. godine. Takođe, nivo mora će svakako rasti u narednim vekovima zbog inercije okeana i ledenih štitova.



Slika 12.9 Forsirajuće zračenje različitih scenarija emisija (levo gore) i odgovarajući simulirani trendovi srednje globalne površinske temperature do 2100. godine prema ansamblu planetarnog modela (osenčena površina sa rasponom rezultata modela), (levo dole). Raspodela simuliranih promena srednje površinske temperature prema ansamblu u svetu za 2 perioda i četiri različita klimatska scenarija (desno). (IPCC, 2013)



Slika 12.10 Raspodela simuliranih promena srednjih površinskih padavina prema ansamblu u periodu 2081-2100 i četiri RCP klimatska scenarija (IPCC, 2013).

Klimatske simulacije se generišu na osnovu kolimatskih scenarija koji uvrštavaju scenarije emisija. Rezultati simulacija dostupni su u obliku ansambl podataka (numerički podaci) više planetarnih modela (tj. ansambla planetarnih modela). Međutim, samo promene temperature, i u manjoj meri promene padavina, smatraju se dovoljno pouzdanim da bi se dalje koristile u bilo kojoj vrsti studija uticaja i za modela uticaja (npr. za modele biljne proizvodnje u cilju predviđanja uslova za rast i razvoj biljaka u budućnosti).

Nesigurnosti simuliranih rezultata globalnih klimatskih modela značajne su na lokalnom nivou. Globalni klimatski modeli predstavljaju površinu zemlje na velikim razmerama (npr. >100 km) i često ne mogu sadržati važne informacije jer su topografija ili vrsta podloge loše predstavljeni. Zbog toga su razvijeni statistički modeli skaliranja na manji prostorni razmer (engl. *downscaling models*) i regionalni klimatski modeli veće prostorne rezolucije, da bi se smanjile nesigurnosti budućih predviđanja za manje regione. Ovi modeli su od posebnog značaja kod određivanja uslova za bolji razvoj u ekstremnim vremenskim prilikama. Međutim, u budućnosti će i planetarni modeli imati bolju prostornu rezoluciju kako budu rasli računarski kapaciteti, npr. prelazak sa mreže od 100 km na mrežu od 10km.

12.4 Uticaji klimatskih promena na poljoprivredu

Tokom poslednjih decenija, uočeni su i prikazani mnogi uticaji aktuelnih klimatskih promena na evropskom i globalnom nivou. Uočene promene su u skladu sa projekcijama uticaja antropogenih faktora. Trend zagrevanja i prostorna promena

padavina već su imale uticaja na ekosisteme (npr. Orlandini et al., 2008; IPCC, 2013).

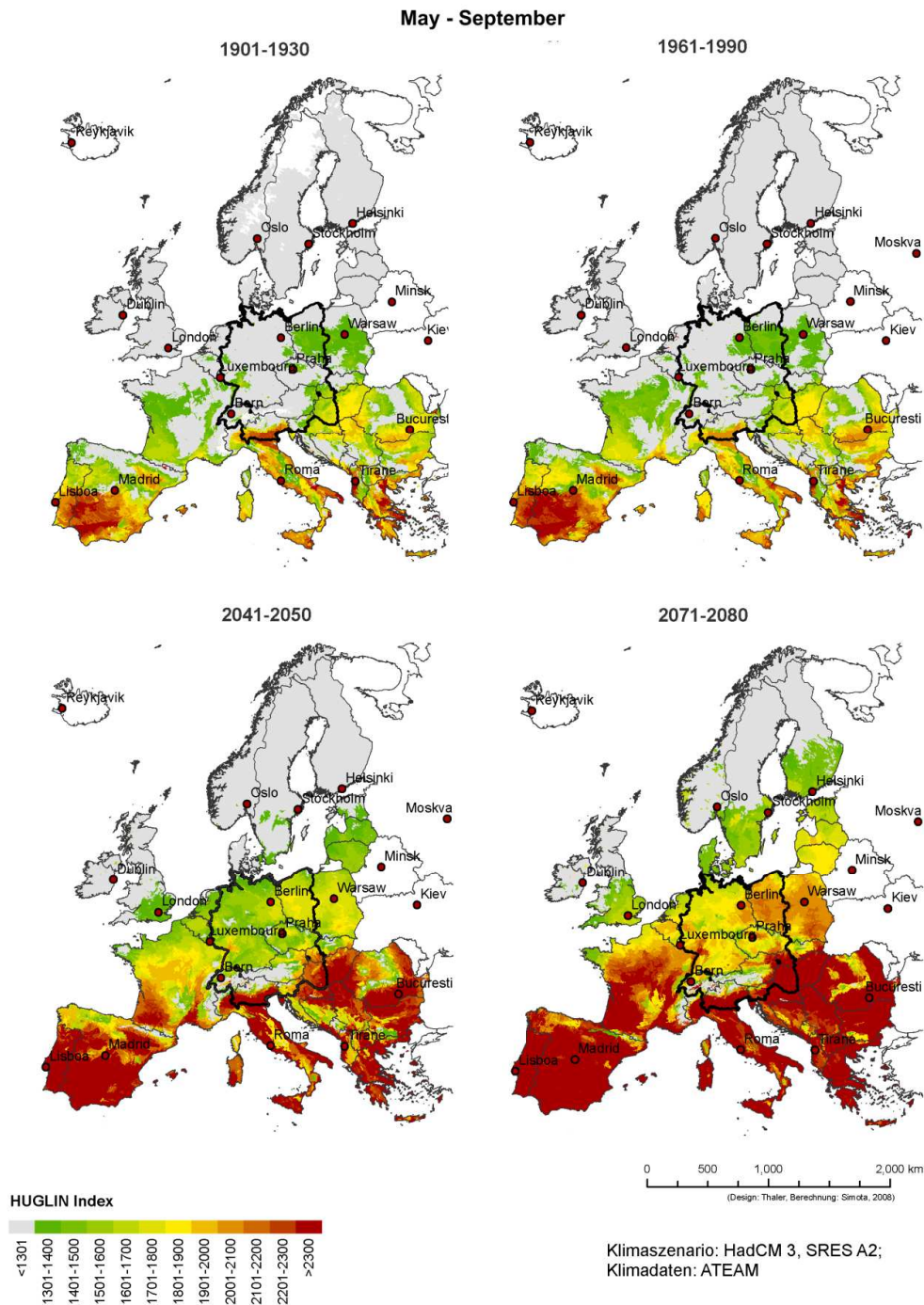
U očima javnosti često se javlja pitanje: "Zašto je povećanje temperature od 3 °C u periodu od 30 godina problem, kada se iste promene redovno javljaju tokom jednog dana?" Odgovor na ovo pitanje je vezan za prostornu skalu klime koja kaže da povećanje globalne temperature zapravo nije vezano ni za jednu specifičnu lokaciju. Prema tome porast globalne temperature od 2 °C znači da će na jednom mestu temperatura porasti za 1 °C dok na drugom može porasti i za 5 °C. Značajno je naglasiti da je ova pojava zapravo ekvivalent količini energije koja se zadrži u atmosferi i potroši na različite procese (topljenje leda, isparavanje sa slobodne vodene površine, povećanje temperature morskih struja, itd.) a koja ima visoku prostornu varijabilnost i utiče na klimatski sistem u celosti. Male promene temperature u određenim periodima mogu da utiči na žive organizme preko kumulativnih efekata, kao što su akumulisani stresni dani ili sume temperatura koje definišu fenologiju.

Međutim, potencijalni uticaji budućih klimatskih promena na poljoprivrednu proizvodnju i proizvodnju hrane su, generalno gledano, složeni i sadrže mnogo nesigurnosti. Pored agroklimatskih indikatora, procesno orijentisani numerički modeli (vidi poglavlje 11) predstavljaju najnaprednije alate za izradu studije uticaja klimatskih promena i stoga se uglavnom koriste za procenu složenih interakcija sistema zemljište-usev-atmosfera u različitim razmerama. Međutim, i procesno orijentisani modeli takođe predstavljaju samo pojednostavljenje različitih procesa i oslanjaju se na definisane granične uslove (vidi poglavlje 11). Zbog toga je primenljivost rezultata studija klimatskih simulacija ograničena. U poljoprivredi su, primenom agroklimatskih modela različite složenosti, istraživani uglavnom specifični aspekti uticaja klimatskih promena, na primer, visina prinosa ili rizici po prinose u definisanim graničnim uslovima, koje čine klimatski scenariji, vrste podloge i obrada zemljišta.

Generalno gledano, rezultati ovih studija uticaja pokazuju da bi u mnogim regionima srednje i južne Evrope sve češći i dugotrajniji letnji sušni periodi u većini scenarija klimatskih promena mogli uticati na visinu prinosa usled smanjenja raspoloživih rezervi vode u zemljištu, posebno u uslovima lošeg zemljišta (npr. kod niskog vodnog kapaciteta zemljišta). S druge strane, doći će do negativnog uticaja na prinose usled povišene temperature i skraćivanja perioda gajenja na mnogim lokalitetima, što će se delimično moći nadoknaditi efektom porasta nivoa CO₂ u atmosferi kroz povećanje intenziteta fotosinteze i efikasnosti korišćenja vode. U regionima sa povećanjem količinama padavina ili na područjima koja nemaju ograničenu količinu vode za useve, povišene temperature mogu povećati proizvodni potencijal za mnoge useve (npr. produženim vegetacionim periodom za višegodišnje useve ili otklanjanjem ograničavajućih temperaturnih faktora za rast useva).

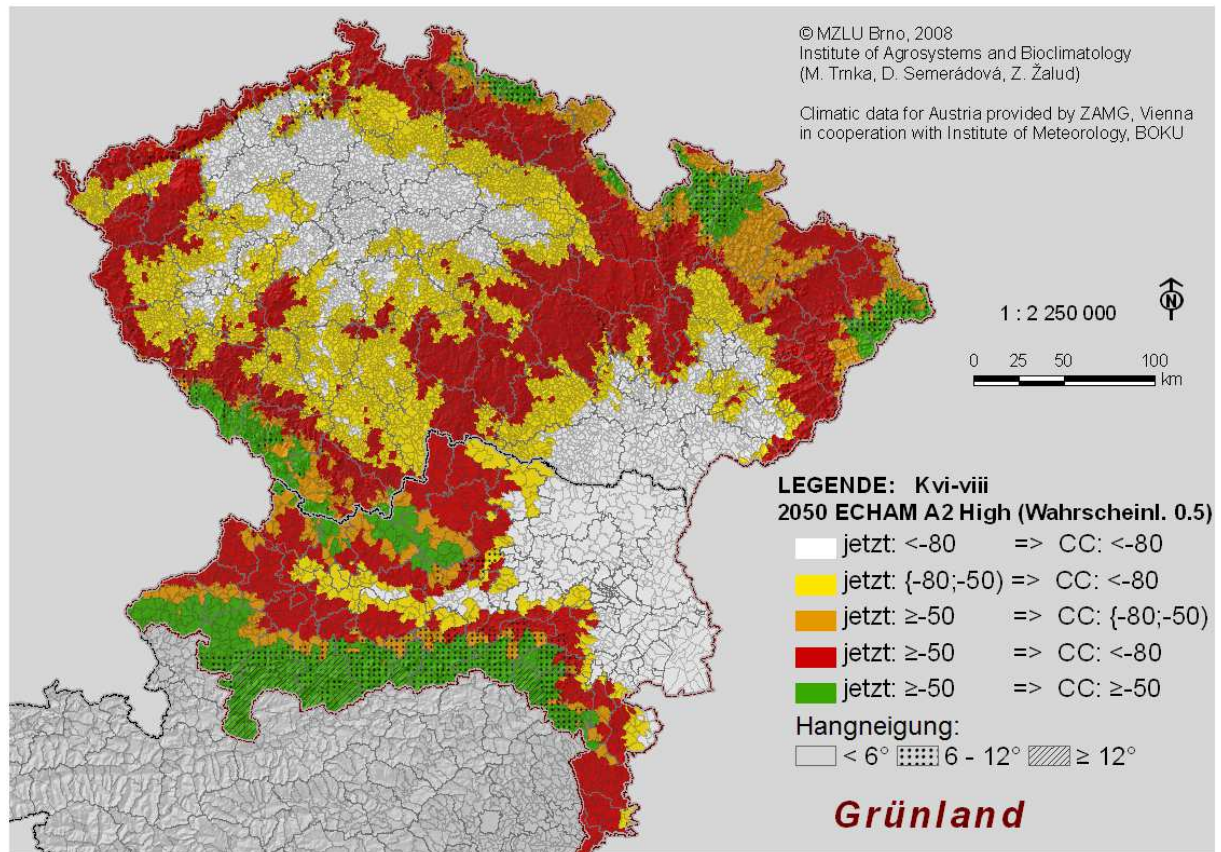
Agroklimatski indikatori (vidi poglavlje 11) ukazuju na promene specifičnih uslova gajenja ili abiotske/biotske rizike, kao što su potencijalna promena akumulisanih stepen dana, uticaji na fenologiju useva, učestalost rizika od mraza ili rizika od erozije zemljišta. Na Slici 12.11, na primer, prikazana je promena

Huglinovog (eng. HUGLIN) indeksa (na osnovu suma temperatura, vidi poglavlje 8) u Evropi, i dati su prošli i budući klimatski uslovi za gajenje grožđa u toku letnje sezone. Vidimo da će opšti trend zagrevanja tokom narednih decenija pomeriti potencijalnu klimatsku podobnost područja za gajenje grožđa na više geografske širine u Evropi. Slični rezultati istraživanja dobijeni su, na osnovu procesno orijentisanih modela, i za druge useve koji zahtevaju višu temperaturu, kao što su silažni kukuruz i semenski kukuruz, soja ili suncokret.



Slika 12.11 Huglinovov (eng. HUGLIN) indeks (za grožđe) mapiran za Evropu za različite prošle i buduće klimatske periode (zeleno: niže sume temperatura, crveno: više sume temperatura) (prilagođeno od Eitzinger et al., 2009).

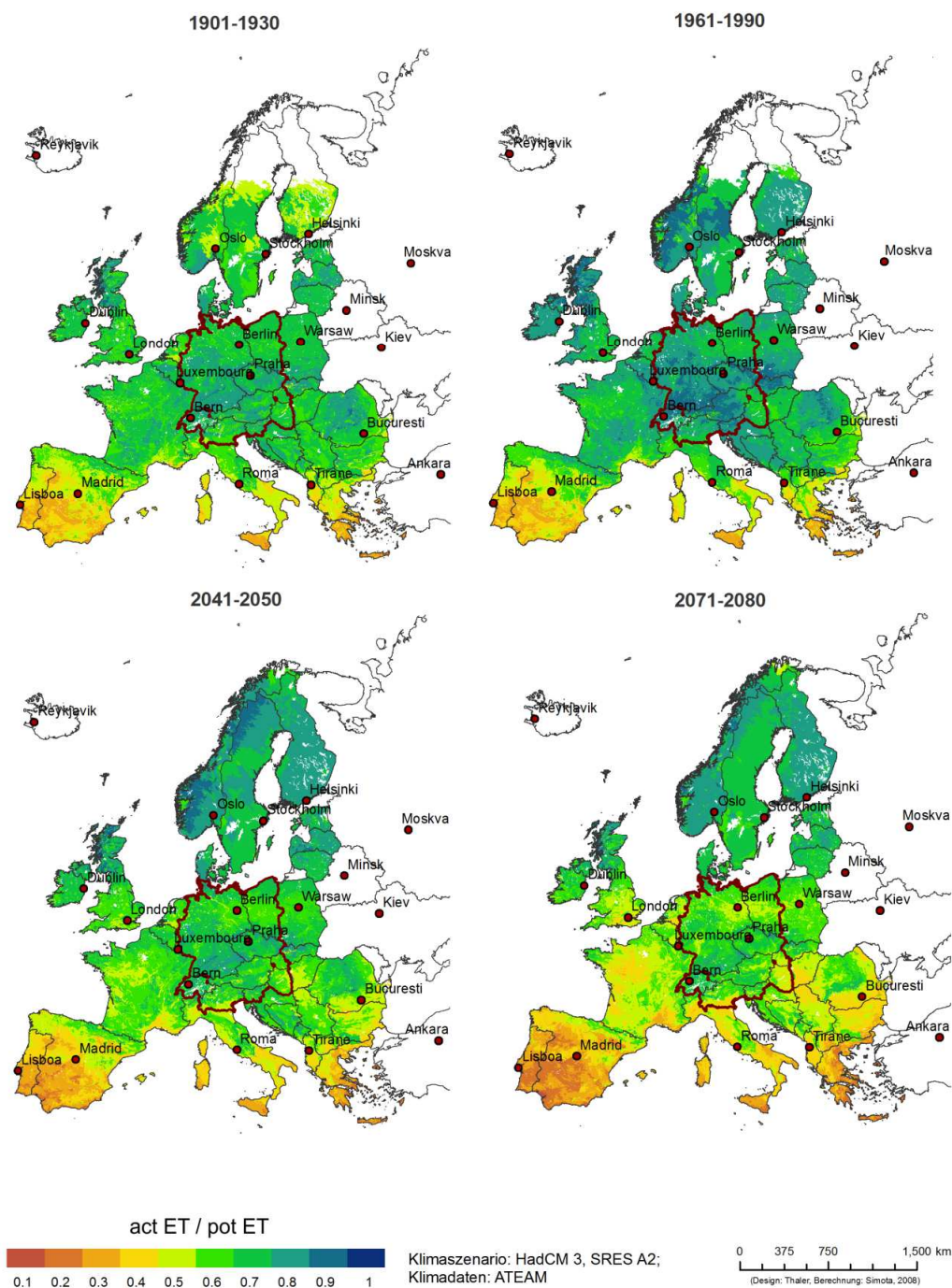
Agroklimatski indeksi se takođe mogu kombinovati da bi se opisala kritična klimatska ograničenja za određene useve pri optimalnim sezonskim uslovima gajenja. Takav primer (kombinovanje uticaja temperature i padavina pri vodnom bilansu karakterističnom za određeni usev) prikazan je na slici 12.12, koja pokazuje optimalne uslove gajenja prema A2 (pesimističnom) klimatskom scenariju za proizvodni potencijal višegodišnjih travnjaka.



Slika 12.12 Promena vodnog bilansa prema indikatorima za period gajenja višegodišnjih travnjaka usled klimatskih promena (A2 scenario za 2050. godinu) u Austriji i Češkoj (zelena= bez promena ili poboljšani uslovi; druge boje: povećanje negativnog vodnog bilansa tokom leta što vodi ka opadanju potencijala prinosa) (prilagođeno od Eitzinger et al., 2009)

Na Slici 12.13 prikazan je, sa sličnim pristupom i u većoj razmeri za celu Evropu, srednji broj sušnih dana za hipotetičku površinu pod travom pri uticaju klimatskih promena. U Evropi se jasno izdvajaju regioni sa trendom da postanu suvlji / vlažniji kako tokom proteklog veka tako i za buduće klimatske uslove, pri čemu će posebno južno-evropski (sredozemni) regioni postati značajno suvlji.

May - September

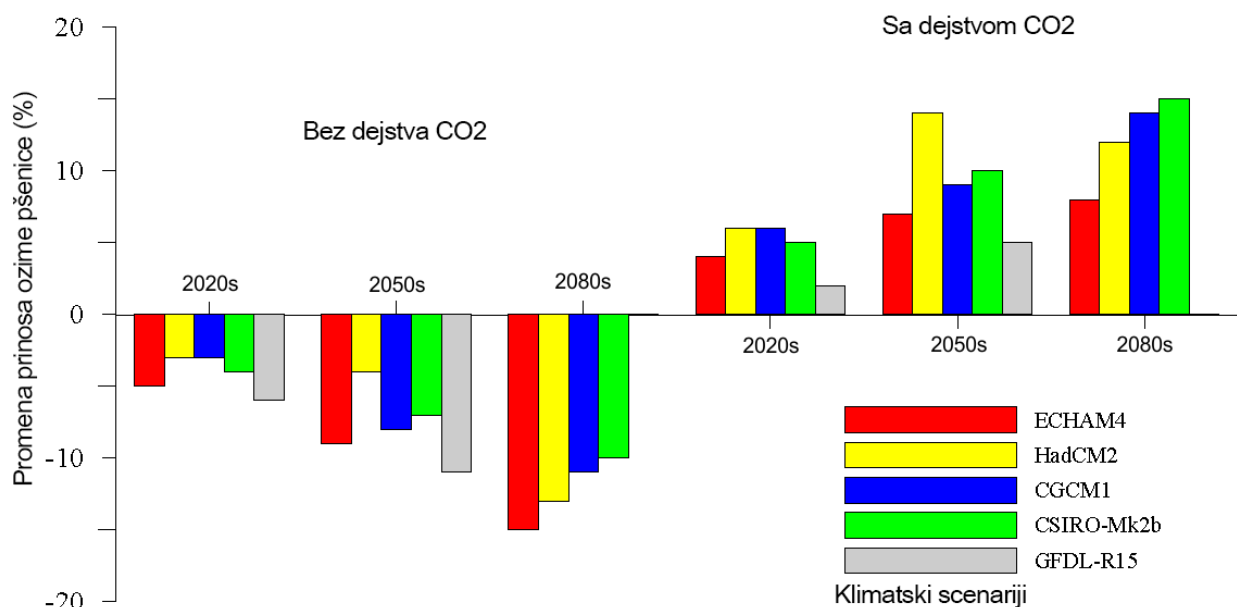


Slika 12.13: Odnos stvarne i potencijalne evapotranspiracije stalnih travnjaka u periodu od maja do septembra kao indikatora sušnosti (1-vlažno, 0,1-veoma suvo) u uslovima prošle i buduće klime za teritoriju Evrope (prilagođeno od Eitzinger et al., 2009)

Uticaj klimatskih promena na poljoprivrednu proizvodnju u Evropi ispitivan je uz pomoć procesno orijentisanih modela u mnogim istraživanjima sa različitim

prostornim razmerama, za različite klimatske scenarije i načina poljoprivredne proizvodnje (White et al, 2011; Olesen et al., 2011). U većini studija razmatraju se uticaji klimatskih elemenata, uključujući ekstremne vremenske prilike, kao što su efekti suše i temperature, koji se mogu predvideti kroz procesno orijentisane modele biljne proizvodnje. Međutim, neke uticaje ekstremnih vremenskih prilika, kao što je uticaj mraza, grada ili poplava (Rötter et al., 2018), teže je izraziti i zbog toga često nisu uključeni u procesno orijentirane modele. Pored toga, mnoge studije se oslanjaju na aktuelnu tehnologiju proizvodnje, kao što su sorte koje se trenutno koriste. Takođe, efekat povećanja nivoa CO₂ na rast biljaka se često ne uzima u obzir ili je neizvestan u zavisnosti od sorte. Ostali gasovi kao što je npr. ozon mogu značajno da utiču na prinos u narednim godinama (npr. Fuhrer, 2003).

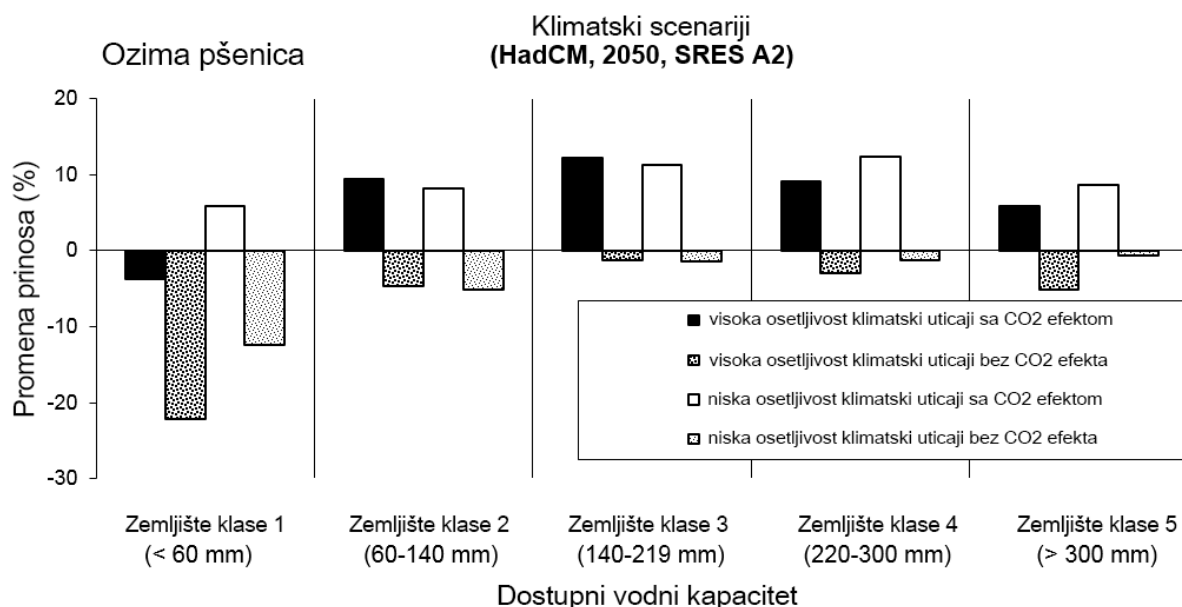
Međutim, efekat povećanja nivoa CO₂ može značajno promeniti simuliranu reakciju useva. Na primer, studija simulacije uticaja klimatskih promena na ozimu pšenicu (Alexandrov et al., 2002) pokazuje povećanje prinosa u budućim klimatskim scenarijama u Austriji samo ako se uzme u obzir efekat "atmosferskog đubrenja" sa CO₂ i ako ne dođe do promene proizvodne tehnologije (Slika 12.14). Kako je efekat povećanja nivoa CO₂ neizvestan, jer zavisi od sorte, dugoročnih efekta i stanja životne sredine (npr. Manderscheid et al., 2014), moguće je i odsustvo reakcije. U tom slučaju, u semi-humidnoj klimi Austrije (Slika 12.14) i sam efekat promene klime doveo bi do nižih prinosa, uglavnom zbog skraćenog vegetacionog perioda određene sorte, čak i ako se uzmu u obzir raniji datumi setve. Međutim, u mediteranskoj klimi koja je leti suva, skraćeni vegetacioni period može dovesti i do povećanja prinosa za žitarica, jer će usevi izbeći značajan temperaturni stres i sušu koja se javlja u krajem proleća i početkom leta.



Slika 12.14 Simulirani uticaj scenarija klimatskih promena na prinos ozime pšenice u semi-humidnoj istočnoj Austriji sa efektom i bez efekta "atmosferskog đubrenja" sa CO₂, uz nepromenjenu tehnologiju proizvodnje i konstante datume setve (prilagođeno od Alexandrov et al., 2002)

Efekatom klimatskih promena na parametre vodnog bilansa i vodni stres kod useva na teritoriji Evrope bavilo se više istraživačkih grupa. Na primer, u klimatskim uslovima centralne Evrope ispitivana je proizvodnja ozime pšenice u severoistočnoj Austriji (e.g. Thaler et al., 2012) pomoću modela CERES-Wheat, koji uključuje i efekat "đubrenja" sa rastućim nivoima CO₂. Rezultati su pokazali da je, uprkos većim nivoima prinosa, transpiracija useva opala u odnosu na trenutno stanje, kroz simulirano povećanje efikasnosti korišćenja vode i smanjenu ukupnu potencijalnu evapotranspiraciju (što je rezultat skraćanja vegetacionog perioda) pri primenjenim klimatskim scenarijama zasnovanim na povećanju koncentracije CO₂ od dva puta. Kao krajnji rezultat, došlo je do manjeg vodnog stresa za datu kulturu.

Analize osetljivosti pokazuju da vodni kapacitet zemljišta može imati jak uticaj na potencijalni prinos pri klimatskim promenama, posebno na lokalitetima gdje je voda ograničavajući faktor tokom perioda gajenja, kao što je slučaj u severoistočnoj Austriji. Slika 12.15 pokazuje rezultate simulacije za ozimu pšenicu za isto područje, prikazujući niz potencijalnih reakcija prinosa uzimajući u obzir različite klimatske scenarije, tipove zemljišta i direktan efekat CO₂. Primetno je da su simulirani trendovi prinosa negativni uglavnom na zemljištu sa niskim vodnim kapacitetom, ali i da će se negativni trend prinosa znatno povećati pod uticajem nižeg CO₂. Slični rezultati pretežno pozitivnih uticaja na prinose (osim na peščanim zemljištima i suvim oblastima) predstavljeni su u drugim istraživanjima na žitaricama u Evropi, uglavnom pri simuliranom efektu poboljšanih nivoa atmosferskog ugljen-dioksida (e.g. Kersebaum and Nendel, 2014). Slični rezultati dale su i simulacije kultura koje nisu žitarice, npr. krompira.

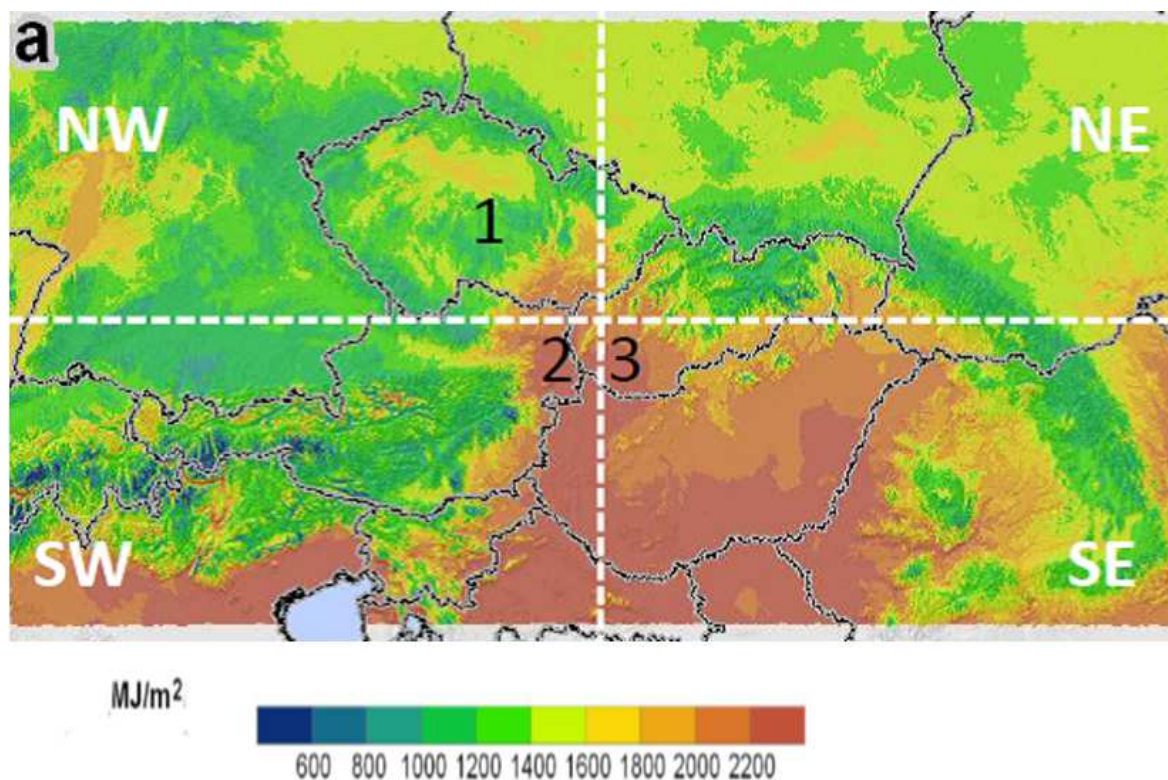


Slika 12.15: Simulirana odgovora prinosa ozime pšenice pri različitim klimatskim scenarijama, efektima "đubrenja" sa CO₂ i vrstama zemljišta različitih vodnih kapaciteta zemljišta u severoistočnoj regiji Austrije Marchfeld (izvor: BOKU-Met)

U poređenju sa C3 kulturama C4 biljke, kao što je kukuruz, imaće samo malu reakciju na dalje povećanje nivoa CO₂ (efekat đubrenja). Većina istraživanja na kukuruzu ukazuju stoga na povećanje potencijala prinosa u hladnijim i/ili vlažnim regionima usled povišenih temperatura (npr. severna Evropa, alpska regija) i na smanjenje proizvodnog potencijala u većini regiona južne Evrope, uglavnom zbog povećanja učestalosti letnjih suša i uslova temperaturnog stresa. Međutim, eksperimentalni podaci dobijeni sa oglednih polja kukuruza pokazuju da pozitivan uticaj povećanja koncentracije CO₂ koji se ogleda kroz povećanje efikasnosti iskorišćenja vode još uvek nije dobro opisana u modelima za biljnu proizvodnju (Durand et al. 2017). Značajni negativni uticaji na prinos i dodatna potreba za vodom za navodnjavanje mogu se generalno očekivati i za još nekoliko drugih useva u južnoj Evropi ili u regionima sa slabom dostupnošću vode iz zemljišta (Lobell and Field, 2007).

Jare kulture koje se ne navodnjavaju generalno imaju veći rizik po prinose zbog povećanja letnjih suša i temperaturnog stresa u većini klimatskih scenarija. Ove kulture će biti još ugroženije i više će zavisiti od rezervi vode u zemljištu, pošto tokom zimskog perioda neće moći koristiti vodu iz zemljišta ili viših podzemnih voda kao što je to slučaj sa zimskim kulturama. Gubici usled evapotranspiracije tokom leta bi se znatno povećali zbog viših temperatura. Takođe, mnoge studije zaključuju da ako se poveća učestalost i trajanje suše, kao što to ukazuju novija istraživanja (Lobell et al., 2009), ili se smanje rezerve vode u zemljištu i rezerve podzemnih voda (npr. smanjenim rečnim tokovima iz alpske regije tokom leta), nestašice vode bi leti postale češće, što bi na regionalnom nivou takođe moglo ograničiti dostupnost vode za navodnjavanje useva.

Na osnovu simulacija izvedenih različitim pristupima u modeliranju, jedno istraživanje (Eitzinger et al., 2013) dalo je pregled uticaja klimatskih promena za centralnu Evropu. Slika 12.16 predstavlja referentne vrednosti efektivnog globalnog zračenja kao primarnog faktora proizvodnje, a Tabela 12.1 predstavlja simulirane promene prema scenarijama klimatskih promena za ovaj i nekoliko drugih agrometeoroloških indikatora, uključujući i prinos useva.



Slika 12.16 Mapa srednjeg godišnjeg efektivnog globalnog zračenja za period 1961-1990 (a = Sektori posmatranog domena simulacije NW = severozapad; NE = severoistok; SW = jugozapad; SE = jugoistok, 1 = Republika Češka, 2 = Austrija – Marfeld, 3 = Slovačka – Dunavska i Zagorska nizija) (prilagodjeno iz Eitzinger et al., 2013).

Tabela 12.1 Prikaz uticaja klimatskih promena na poljoprivrednu proizvodnju u centralnoj Evropi, izvedenih iz studija agroklimatskih indikatora, modela štetočina i studija simulacije biljne proizvodnje (prilagođeno od Eitzinger et al., 2012).

Faktor koji reaguju	na usevi	Scenarij klimatskih promena i vremenski interval	Sektor domena simulacije ^a	Usevi	Trend (+/0/-)	Komentari
Efektivno globalno zračenje	Svi	2050	severozap.	Svi	++	Uticaj će biti negativan pogotovo u Panonskoj niziji
			severoistok		+	
			jugozapad		-	
Suša / vodni stres	Svi		jugoistok		-	Povećava se nestašica vode tokom leta širom domena.
			severozap.	Svi	+	
			severoistok		-	
			jugozapad		+	

Huglinov indeks		jugoistok		-		
		Svi	grožđe	+	Poboljšani uslovi gajenja.	
Zimski uslovi		Svi	ozimi usevi i višego d. biljke	+	Poboljšanje zimskih uslova. Mala promena za uslove vernalizacije i rizik od kasnog mraza. Povećan rizik od erozije zemljišta.	
		jugoistok severozap. severoistok jugozapad	Svi usevi	+ - ++ -	Prolećni uslovi se poboljšavaju ili pogoršavaju u zavisnosti od regiona. Jesenji i žetveni uslovi će se uglavnom poboljšati širom domena.	
Ispiranje nitrata (model biljne proizvodnje)	Svi	Austrija – Marhfeld	ozima pšenica	++	Posebno na peskovitom zemljištu	
	2035		prolećni ječam	+	Posebno na peskovitom zemljištu	
Štetočine kukuruzni moljac	– Svi	severozap.	kukuruz	--	Veća najezda na kukuruz zbog novog prisustva štetočina na još neutvrđenim područjima. Pored toga, porast broja generacija štetočina u regionima sa dugoročnim prisustvom štetočina.	
					--	Slično kao u severozapadnom regionu.
					-	Mali rast broja generacija.
					-	Slično kao u jugozapadnom regionu.
					--	Porast broja generacija.
Štetočine krompirova zlatica	– Svi	severozap.	krompir, paradajz	--		
			severoistok		--	Slično kao u
	2050					

					severozapadnom regionu.
		jugozapad		+	Hrvatska i sever Italije – povlačenje štetočina kao reakcija na visoki temperaturni stres.
		jugoistok		+	Srbija i Mađarska – slično kao u jugozapadnoj oblasti.
Visina prinosa (indirektni uticaj)	SRES-A2 2050 visok ECHAM SRES-A2 2050 visok	Republika Češka – obradivo zemljište	ozimi ječam, ozima raž, ozima repica	-	Uglavnom negativan uticaj u nizijama
	HadCM SRES-A2 2050 visok			-	
	NCAR Svi 2050		prolećni ječam, prolećna pšenica, ovas	--	Posebno u regionima podložnim sušama (npr. Južnomoravski kraj, Češka)
Visina prinosa (kombinovani uticaji procenjeni modelima biljne proizvodnje)	Svi 2050	Republika Češka – obradivo zemljište (1) ^b	ozimi ječam, ozima raž, ozima repica	++	Pozitivan uticaj posebno u regionima na većim nadmorskim visinama sa kvalitetnim zemljištem
				+	Stalan pozitivan uticaj na svim ispitivanim nadmorskim visinama
	Svi 2035	Austrija-Marhfeld (2) ^b	ozima pšenica	+	Zavisi od tipa zemljišta (najizrazitiji prinos na srednjim zemljištima); dodatna potreba za vodom 30-40 mm.

		prolećn i ječam	0	Najviše ograničeno na peskovitom zemljištu; dodatna potreba za vodom
SRES A1B	Slovačka – Dunavska i Zagorska	ozima pšenica	+	Zavisí od tipa zemljišta (najstabilniji prinosi na černozemu)
ARPEG E	nizija (3) ^b	prolećn i ječam	+	Zavisí od tipa zemljišta (najstabilniji prinosi na černozemu); Veća varijabilnost prinosa u periodu 2010-2051.
2021- 2051				
2071- 2100		semen ski kukuruz	-	Periodi suša tokom sezone gajenja smanjili prinos na svim posmatranim zemljištima; Veća varijabilnost prinosa u periodu 2010-2051.

a = Sektori posmatranog domena simulacije u ovoj Tabeli odnose se na Sliku 12.16.

b = odnosi se na regione prikazane na Slici 12.16

12.5 Rešavanje nesigurnosti u studijama uticaja klimatskih promena na poljoprivredu

U izvođenju studija uticaja često je, usled nedostatka podataka ili metoda, nemoguće uzeti u obzir sve potencijalno značajne faktore životne sredine i informacije vezane za agrotehničke mere ili socio-ekonomske okvire, što predstavlja izvor nesigurnosti pri procenjivanju uticaja klimatskih promena u budućnosti. Izvori nesigurnosti mogu se naći na svim nivoima primene modela, uključujući nesigurnosti zasnovane na a) predstavljanju posmatranih procesa u modelu, kao i na b) ulaznim podacima modela. Primer za prvu vrstu nesigurnosti na nivou biljne proizvodnje je već pomenuti potencijalni efekat povećanja koncentracije atmosferskog ugljen-dioksida na rast biljaka i prinos ili nesigurnost u predstavljanju rasta korena u modelima. Nesigurnosti vezane za ulazne podatke mogu se zasnivati na greškama merenja ili nesigurnostima ulaznih podataka (pogotovo ukoliko su zasnovane na rezultatima drugih modela, kao što su klimatoliški scenariji izračunati globalnim klimatskim modelima).

U osnovi, primena modela je uvek kompromis između pojednostavlivanja modela (nesigurnost rezultata simulacije raste sa povećanjem pojednostavlivanja simuliranih procesa) i potrebom za ulaznim podacima (u složenijim modelima

nesigurnost simuliranih rezultata raste sa povećanjem broja ulaznih parametara, koji nisu uvek dostupni ili postoji visok stepen nesigurnosti u samim podacima).

Generalno posmatrano, mnoge nesigurnosti su povezane sa problemom skaliranja, kada recimo postoje značajne razlike između ulaznih podataka modela i njihove regionalizacije na nivou poljoprivrednog polja – na primer, kada se za simulacije na nivou polja koriste ulazni podaci o zemljištu iz mape zemljišta niske rezolucije ili ulazni podaci o vremenu dobijeni iz udaljenih stanica ili iz klimatskih modela. Drugi problem je to što se za pokretanje modela biljne proizvodnje sa klimatskim scenarijima koriste samo promene srednje vrednosti klimatoloških elemenata (npr. temperature i padavina), pri čemu se često zanemaruju potencijalne promene u varijabilnosti klime. Takođe, mnoge ekstremne vremenske pojave, kao što je grad, koje mogu imati dodatni negativni uticaj na visinu prinosa, nisu direktno predstavljene u klimatskim modelima. Simulacije regionalnih klimatskih modela se znatno razlikovati od simulacija globalnih klimatskih modela i mogu mnogo bolje predstavljati lokalne uslove (npr. sezonska kolebanja temperature i padavina), mada često sa većim stepenom nesigurnosti. Zbog toga bi za regionalne simulacije visine prinosa trebalo koristiti metode skaliranja na manji prostorni razmer, ako su pouzdane i dostupne. Često je izlaze i regionalnih modela neophodno proveriti i korigovati u odnosu na istoriske podatke o meteorološkim elementima. Međutim, ovakva korekcija mora da uključi i vezu između meteoroloških elemenata.

12.6 Stručne procene kao dodatni izvor informacija

Da bi se smanjile navedene nesigurnosti i nedostaci u rezultatima simulacija, potrebno je koristiti komplementarne izvore informacija. Prva opcija je da se za procenu uticaja kombinuju rezultati modela izvedeni iz različitih pristupa modeliranja (kao što su agroklimatski modeli/indeksi, modeli za štetočine i bolesti i procesno orijentisani modeli, kao što je prikazano u Tabeli 12.1). Druga ili dodatna opcija je prikupljanje stručnih procena za određenu ciljnu oblast, da bi se obezbedilo ili poboljšalo prikazivanje simuliranih rezultata ili otklonila njihova ograničenja. Na primer, na nivou Evrope izvršena je stručna procena u okviru akcije COST734, koja se bavi odabranim rizicima vezanim za gajenje useva na osnovu procena lokalnih stručnjaka (Slika 12.17).

a	Dužina rasta	Prezimljavanje	Mraz	Odgovara-juća žetva	Sezonske varijacije	Suša	Temperatu-rni stres	Grad	Bolesti i štetočine	Korov	Erozija	Gubitak azota
ALN												
BOR	1.0											
NEM	0.0		-1.0	0.5	1.0	1.0	0.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.5
ATN	1.3		-1.0	0.0	0.5	0.3	0.0	1.0	1.5	0.0	1.0	-1.0
ALS	0.0		0.0	1.0	1.0	1.7	1.3	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5
CON	-0.9		-0.8	0.4	0.7	1.2	0.6	0.3	1.3	0.6	1.0	0.6
ATC	0.3		-1.0	1.0	0.7	0.7	0.3	0.7	0.7	0.7	1.3	0.3
PAN	0.0		0.0	0.4	1.7	2.0	1.5	1.0	1.0	1.5	0.8	0.5
LUS	-2.0		-1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0
MDM	-1.0			0.0	0.0	-1.0	-1.0	-2.0	0.0	0.0	0.0	1.0
MDN	-0.8		-0.7	-0.3	0.3	1.3	1.0	-0.1	0.5	0.8	0.8	0.8
MDS	-1.0		-0.3	0.3	0.0	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3
b	Dužina rasta	Prezimljavanje	Mraz	Odgovara-juća žetva	Sezonske varijacije	Suša	Temperatu-rni stres	Grad	Bolesti i štetočine	Korov	Erozija	Gubitak azota
ALN	2.0	-2.0	0.0	-1.0	2.0	0.0	1.0	0.0	-1.0	1.0	0.0	1.0
BOR	2.0	0.5	0.0	0.3	1.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.8
NEM	1.3	-1.0	-0.3	0.5	1.0	1.0	0.5	0.3	0.8	0.0	0.0	0.3
ATN	1.6	-0.6	0.0	0.5	0.6	1.0	0.4	0.0	0.3	1.0	0.3	0.5
ALS	1.1	0.0	0.0	1.1	1.3	1.3	1.3	0.5	1.0	0.3	0.5	0.7
CON	0.7	-0.4	-0.1	0.6	0.6	1.2	1.0	0.0	0.5	0.6	0.3	0.4
ATC	0.8	0.0	-0.3	0.0	1.0	0.5	-0.3	0.0	-0.3	0.3	0.0	0.3
PAN	0.7	0.0	0.0	0.3	1.5	1.3	1.0	0.5	0.7	0.0	0.0	0.3
LUS	1.0		0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MDM	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MDN	0.5	-0.3	0.0	0.3	0.8	0.8	0.0	0.3	0.0	0.5	0.5	0.5
MDS	0.5	0.0	0.0	0.3	0.3	0.8	0.0	0.0	-0.3	0.2	-0.3	0.0
c	Dužina rasta	Prezimljavanje	Mraz	Odgovara-juća žetva	Sezonske varijacije	Suša	Temperatu-rni stres	Grad	Bolesti i štetočine	Korov	Erozija	Gubitak azota
ALN												
BOR												
NEM												
ATN	1.5	-1.0	-1.0	1.0	1.0	0.5	0.0	1.0	1.5	0.0	1.0	1.0
ALS	0.0	-0.5	0.0	0.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.5	1.0	0.0	0.0
CON	-0.2	-0.8	-0.3	-0.2	1.3	0.6	0.4	0.5	1.0	0.3	1.2	1.0
ATC	0.3	0.0	-0.3	0.3	1.0	0.7	0.3	1.0	1.0	0.5	1.0	0.5
PAN	0.3	-0.7	0.0	0.4	1.7	0.4	0.5	1.0	0.8	1.0	0.8	0.5
LUS	-1.0		1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0
MDM	-1.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	-1.0	-2.0	-2.0	0.0	0.0	1.0
MDN	-1.0	-0.3	0.3	-0.3	0.3	1.0	0.8	0.3	0.0	0.8	0.8	0.8
MDS	-0.3	0.3	0.8	0.5	0.3	0.6	0.4	0.8	-0.3	-0.1	0.5	0.3

Slika 12.7 Očekivani uticaji klimatskih promena na spektar ograničavajućih faktora biljne proizvodnje za 3 odabrana useva u glavnim evropskim zonama životne sredine (vidi Sliku 12.5): a) semenski kukuruz; b) travnjaci; c) vinova loza. Skala boja označava stepen pozitivnih uticaja (zelena) ili negativnih uticaja (crvena). Siva boja predstavlja površinu bez podataka (Nejedlik i Orlandini, 2008).

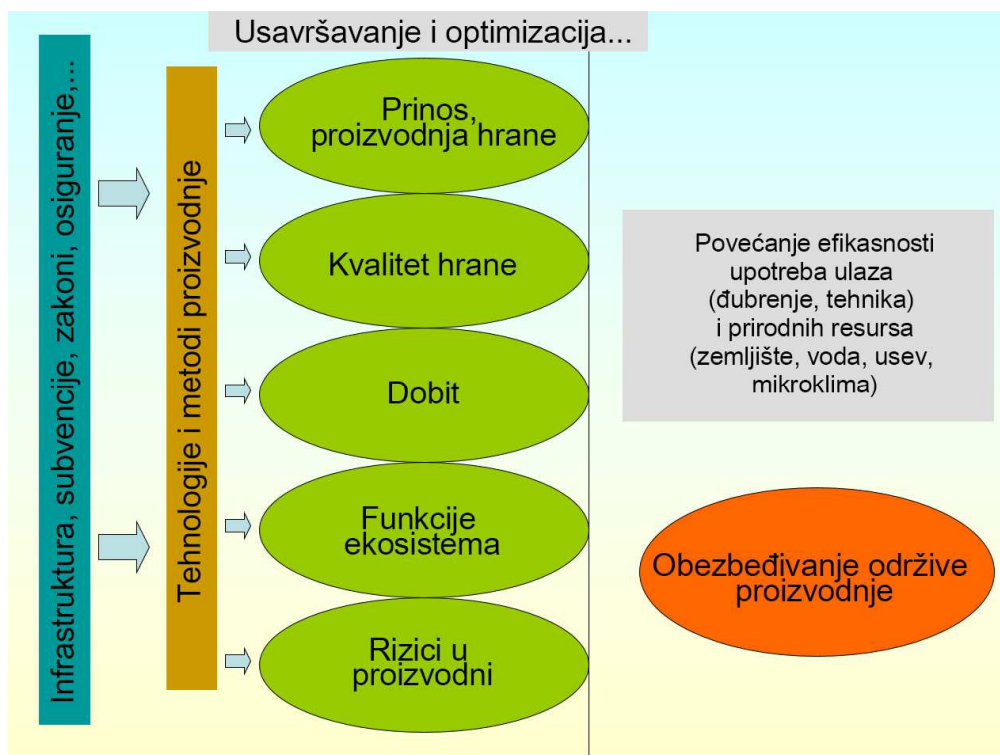
Kao što se može videti u prikazanoj stručnoj proceni, najveći rizici kod gajenja useva usled klimatskih promena u svim zonama životne sredine za ove 3 vrste useva su sezonske promene (varijabilnost klime), rizici od suše, temperature, štetočina i bolesti, erozija zemljišta i grad, ali sa jasnim razlikama među regionima. Pozitivni trendovi preovlađuju kod uslova prezimljavanja, rizika od mraza, trajanja perioda rasta i uslova žetve. Ako se ovakve stručne procene, koje se uglavnom zasnivaju na proučavanjima aktuelnih regionalnih trendova, budu slagale sa rezultatima simulacija, ove procene imaće sve veću težinu. One takođe mogu dopuniti delove simulacija o rizicima koji nisu uzeti u obzir ili mogu pružiti objašnjenja za odstupanja na regionalnom nivou.

Na kraju, procene uticaja čine osnovu za razvoj mera adaptacije u poljoprivredi, sa ciljem da se smanji osetljivost poljoprivrede na aktuelne klimatske promene i smanje rizici u proizvodnji, kao što je navedeno u nastavku teksta.

12.7 Adaptacija poljoprivrede klimatskim promenama

Vremenski i klimatski uslovi, kao najvažniji faktori poljoprivredne proizvodnje, u velikoj meri određuju mere u organizaciji poljoprivredne proizvodnje. Poljoprivrednici pokušavaju da se prilagode ovim uslovima da bi zadržali maksimalnu produktivnost i efikasnost korišćenja resursa, istovremeno smanjujući proizvodne rizike. Drugi važni ciljevi su održivost proizvodnje hrane, kako na nivou poljoprivrednih gazdinstva tako i na regionalnom nivou, i zaštita biodiverziteta i ekosistema. Metode i tehnologije poljoprivredne proizvodnje – bilo da su novo-razvijene ili već poznate, ili specifične prakse koje se na nekom području koriste vekovima – nude mnoge mogućnosti za adaptiranje postojećim klimatskim i vremenskim uslovima u proizvodnji. Poljoprivredne tehnologije optimizirane za odgovarajući socio-ekonomski okvir utiču na proces adaptacije kako kratkoročno tako i dugoročno.

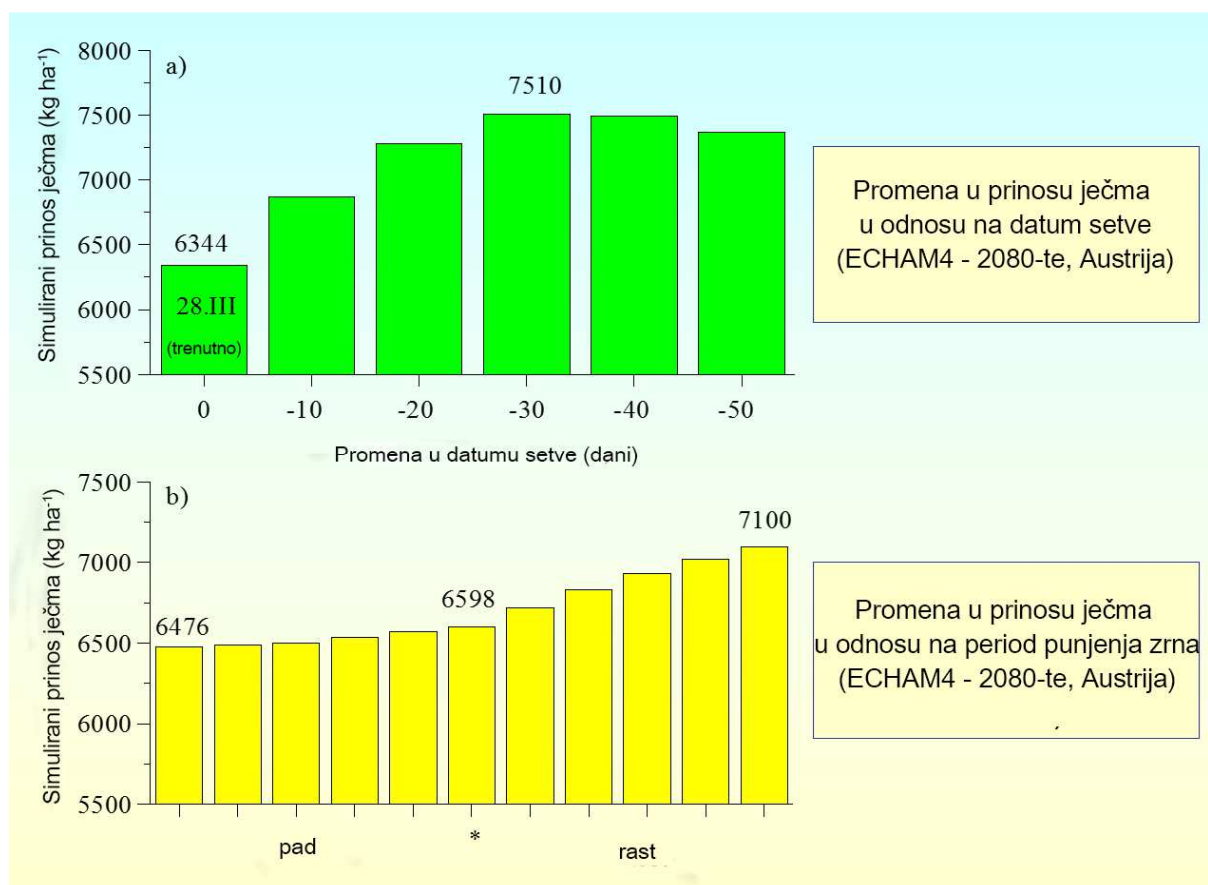
Usled aktuelnih klimatskih promena, optimizacija poljoprivrednih metoda i tehnologija postaje još važnija da bi se obezbedila održiva produktivnost različitih poljoprivredno-proizvodnih sistema sa različitim nivoima ulaganja u poljoprivrednu proizvodnju. Korišćenje raspoloživih poljoprivrednih tehnologija treba da obezbedi održivu proizvodnju u okviru datih klimatskih i vremenskih uslova kroz odgovarajuću organizaciju korišćenja prirodnih resursa ili uslova prilagođenih specifičnim poljoprivrednim sistemima, uključujući vodu, zemljište (kao i hranljive materije), useve i mikroklimatske uslove (Slika 12.18).



Slika 12.18 Interesi i zadaci poljoprivrednika vezani za optimizaciju i adaptaciju poljoprivredne proizvodnje i uticaja na okvirne uslove

Procenjivanje efekata mera adaptacije u poljoprivredi u budućim klimatskim scenarijima je još složenije usled uticaja ljudskog faktora i drugih nesigurnih faktora. Međutim, postoje takođe jednostavne i efikasne mere adaptacije koje se lako mogu sprovesti. Proizvodni potencijal se može održati pri toplijoj klimi prelaskom na useve ili kulture koje imaju više optimalne temperature rasta ili ranije vreme prolećne setve (Slika 12.9a). Još jedna mogućnost je uvođenje novih sorti, otpornih na stresne uslove indukovane klimatskim promenama (npr. suše i temperaturni stres, ozon, štetočine, bolesti itd.). Primeri su uzgajanje ili upotreba sorti kukuruza sa dužim periodom nalivanja zrna (Slika 12.9b) ili prelazak na sorte koje pri povećanim temperaturama imaju potrebu za povećanim akumulisanim stepen danima.

Buduće mere ne uključuju samo agrotehničke mere, već i dugoročnu adaptaciju korišćenja zemljišta i adaptaciju poljoprivrednih sistema. Pored toga, ruralni socio-ekonomski uslovi i drugi granični uslovi izvan nivoa poljoprivrednog gazdinstva, kao što su infrastruktura, raspoložive tehnologije proizvodnje, mogućnosti osiguranja i agrarna politika, igraju značajnu ulogu u izvođenju mera adaptacije. Nekoliko istraživanja, na primer, ističu da uticaji organizacije proizvodnje i socio-ekonomski uslovi mogu nadmašiti uticaj samih klimatskih promena.



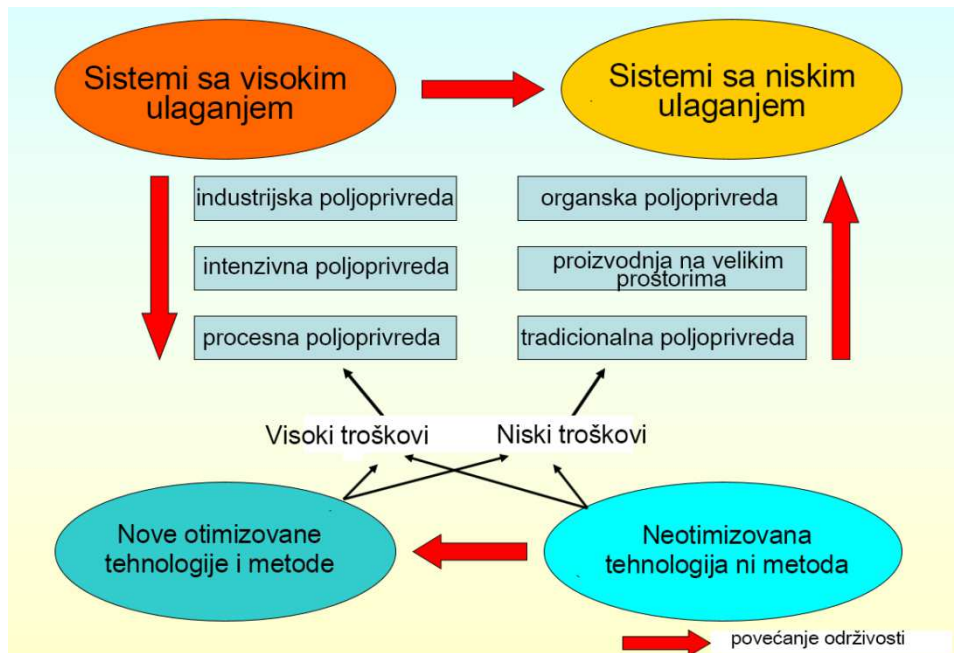
Slika 12.19 Uticaj promene termina setve i genetski određenog perioda nalivanja zrna ječma na prinos zrna ječma, simuliran modelom biljne proizvodnje DSSAT (prilagođeno od Alexandrov et al., 2001)

U svim agroekosistemima, poljoprivrednici su vekovima razvijali specifične strategije, uglavnom primenom različitih poljoprivrednih tehnologija i odgovarajućih mera organizacije proizvodnje da bi opstali u datom okruženju, ali iz različitih razloga koji nisu uvek usmereni ka održivosti proizvodnje. Razvoj i unapređenje poljoprivrednih metoda i tehnologija zaslužni su za najveći deo porasta produktivnosti i prinosa u poljoprivrednoj proizvodnji tokom proteklih decenija, posebno u razvijenim zemljama. Postoji i dalje veliki potencijal za rast prinosa, posebno u manje razvijenim zemljama i poljoprivrednim regionima. U tom smislu, adaptacija na uticaj klimatskih promena u poljoprivredi nema za cilj samo obezbeđivanje postojećih prinosa već i povećanje nivoa prinosa u održivom smislu u manje razvijenim poljoprivrednim sistemima.

12.7.1 Optimizacija poljoprivrednih tehnologija u odnosu na poljoprivredni sistem

Da bi se analizirale strategije optimizacije u različitim poljoprivrednim sistemima, treba uzeti u obzir najvažnije prirodne poljoprivredne resurse uslovljene klimom, kao što su voda, zemljište (uključujući hranljive materije), usevi (uključujući agrotehničke mere) i mikroklimatski uslovi u odnosu na poljoprivredne sisteme sa malim, srednjim i velikim ulaganjima u proizvodnju (Slika 12.20).

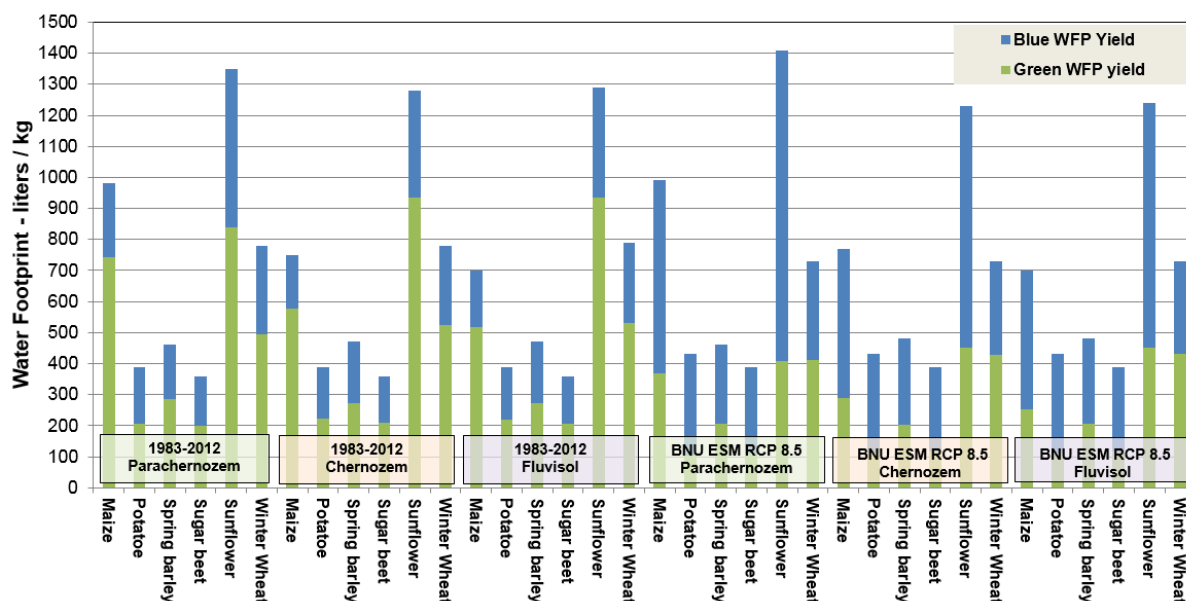
Sistemi sa malim ulaganjima u proizvodnju (engl. *low-input systems*) mogu se okarakterisati kao male poljoprivredne strukture, sa niskim ili obimnim intenzitetom proizvodnje u slabije razvijenom socio-ekonomskom okruženju, koje se javljaju u zemljama u razvoju (dostupna su samo marginalna finansijska sredstva za ulaganje u poljoprivredne tehnologije). Ovakva gazdinstava imaju najveći udeo u proizvodnji hrane na globalnom nivou (udeo od oko 75% u globalnoj proizvodnji hrane prema Organizaciji za hranu i poljoprivredu – FAO) i imaju važnu socio-ekonomsku ulogu u mnogim zemljama zbog značajnog intenziteta rada po jedinici površine. Sistemi sa velikim ulaganjima u proizvodnju (engl. *high-input systems*) mogu se okarakterisati kao gazdinstva sa visokim intenzitetom proizvodnje u bilo kom socio-ekonomskom okruženju, gde teoretski nema ograničenja vezanih za ulaganja u poljoprivredne tehnologije i sredstva za proizvodnju. Organska poljoprivreda, kao manje intenzivan oblik poljoprivrede, mogla bi se definisati kao sistem sa malim ili srednjim ulaganjima u proizvodnju pod bilo kojim socio-ekonomskim uslovima. I sistemi sa velikim i sistemi sa malim ulaganjima u proizvodnju (npr. ekstenzivna proizvodnja u odnosu na intenzivnu proizvodnju) imaju prednosti i nedostatke u svom specifičnom socio-ekonomskom okruženju, i oba sistema su prinuđena da optimizuju svoje metode rada da bi obezbedila održivu poljoprivrednu proizvodnju i proizvodnju hrane (vidi Sliku 12.20). Nivo održivosti poljoprivrednih praksi vezan je za nekoliko indikatora, kao što su održavanje ili poboljšavanje lokalnih prirodnih resursa, funkcije ekosistema, socio-ekonomski uslovi i manja zavisnost od spoljnih ulaganja u proizvodnju (npr. lokalno zatvaranje ciklusa hranljivih materija).



Slika 12.20 Opšta šema poljoprivrednih sistema sa malim i velikim ulaganjima u proizvodnju i odnos njihovih poljoprivrednih praksi prema ukupnom nivou održivosti.

12.7.2 Mere adaptacije vezane za vodne resurse

Dostupnost vode mogao bi u budućnosti biti najznačajniji ograničavajući faktor u poljoprivredi Sredozemlja kao i u mnogim drugim poljoprivrednim regionima širom sveta. U ovom kontekstu, procene efikasnosti korišćenja vode za odgajanje useva, npr. „vodni otisak“ za useve (engl. *crop water footprints*), simuliran uz pomoć modela biljne proizvodnje, sve se više koriste za razvijanje mera adaptacije (Höckstra et al., 2009, Kroes et al., 2016). Na primer, istraživanja o "vodnom otisku" za useve (koji se izražava kao potrošnja vode po jedinici proizvedenog i prikupljenog prinosa useva) pokazala su da će se plavi vodeni otisak (potreba useva za vodom koja će biti podmirena iz navodnjavanja) povećati u mnogim semi-humidnim regionima ili regionima sklonim sušama usled klimatskih promena (Slika 12.21), što će dovesti do smanjenja raspoložive vode od padavina (zeleni "vodni otisak"). Prema tome, mere za efikasniju upotrebu vode u poljoprivrednoj proizvodnji i navodnjavanju biće ključne u zaštiti prirodnih vodnih resursa.



Slika 12.21: Zeleni i plavi "vodni otisci" navodnjavanih useva, u zavisnosti od uslova zemljišta i klimatskog scenarija RCP 8.5 za 2050. u semi-humidnom regionu Austrije.

Tokom proteklih decenija, uspešno su uvedene mnoge nove tehnologije kojima je poboljšano korišćenje vode u poljoprivredi i povećana poljoprivredna produktivnost. Na primer, moderni sistemi prskalica za navodnjavanje i sistemi navodnjavanja kap-po-kap, koji mogu značajno smanjiti potrošnju vode, uvedeni su uz velike troškove u nekim sredozemnim regionima u Evropi. Istraživanja koja se bave adaptacijama pokazala su da samo mali broj regiona može proširiti navodnjavano zemljište u uslovima izmenjene klime usled nedostatka vode za navodnjavanje. Zbog toga će biti potrebno uvoditi prilagođene sorte, tehnologije navodnjavanja i odvodnjavanja. Uvođenje deficitarnog navodnjavanja i sličnih metoda za poboljšanje efikasnosti navodnjavanja potrebno je prilagoditi lokalnim uslovima, uzimajući u obzir varijabilnost klime.

Investicije u organizaciju korišćenja voda za navodnjavanje uključuju optimizaciju konstrukcija kanala, sistema za distribuciju vode i pumpi. Takođe, savetodavne službe zadužene za navodnjavanje traže od država da ulažu u edukaciju radnika, kao i u laboratorijsku infrastrukturu i pomoćne tehnološke objekte. Ukupna potrebna suma, međutim, veoma je visoka, što ove potencijalne mere čini pristupačnim samo u razvijenim zemljama.

U zemljama u razvoju skupe nove tehnologije uglavnom nisu pristupačne bez spoljne pomoći i stoga nisu primenjive u poljoprivrednim sistemima sa malim ulaganjima u proizvodnju, koji imaju lošu infrastrukturu i loše socio-ekonomske uslove. U ovim slučajevima, preporučuje se adaptacija i upotreba tradicionalnih metoda. Osim obnavljanja nekadašnjih ili modifikovanih tradicionalnih ili lokalnih metoda, nove jeftine tehnologije su opcija koja ima sve više izgleda za poljoprivredne sisteme sa malim ulaganjima u proizvodnju, posebno za zemlje u tranziciji, kao što su Indija i Kina. Čak i jednostavne jeftinije tehnologije mogle bi značajno poboljšati

planiranje navodnjavanja i korišćenje vode za useve, u poređenju sa, na primer, navodnjavanjem plavljenjem.

Metode i tehnologije zasnovane na jednostavnim merenjima (npr. količine padavina) i algoritmima za procenu potreba za vodom za navodnjavanje zahtevaju mere obuke i edukacije, po mogućnosti organizovane kroz pristup „odozdo nagore“ (engl. *bottom-up approach*). Takođe, treba da postoji ili da se izgradi osnovna i stabilna infrastruktura za lokalne kompanije i tehnička podrška, što nije slučaj u mnogim regionima zemalja u razvoju, posebno u Africi. Inicijative u pogledu tehnoloških promena trebale bi da budu vođene ciljevima zaštite životne sredine i inovacijama poljoprivrednika kroz tržište.

Važna mera u organizaciji proizvodnje za poljoprivredne sisteme sa malim (i ostalim nivoima) u pogledu vodenih resursa je prelazak na metode gajenja koje efikasnije koriste vodu, kao i na useve sa boljom tolerantnošću na sušu. Ovo je posebno značajno u regionima u kojima se povećava pritisak na rezerve vode usled ljudskih aktivnosti, klimatskih promena i varijabilnosti klime, kao što je slučaj tokom sezone suša u Indiji. Na primer, prelazak sa pirinča odgajanog u uslovima stalnog potapanja slojem vode vodi na pirinač koji se gaji bez potapanja ili druge useve može imati ogromne uticaje na rezerve vode, kao što se pokazalo u severnoj Kini.

12.7.3 Mere adaptacije vezane za resurse zemljišta

Tipovi zemljišta razvijani su vekovima i određeni su, između ostalog, klimatskim uslovima. Uslovi i funkcije zemljišta, uz primenu odgovarajućih agrotehničkih mera, u stalnoj su interakciji sa klimom i klimatskim varijacijama. U tom smislu, poljoprivredne tehnologije i agrotehničke mere moraju se adaptirati da bi se održale važne funkcije zemljišta te da bi se obezbedila održiva poljoprivredna proizvodnja, koja je osnova za bezbednost hrane mnogih zemalja. Na primer, u mnogim regionima sa ekstremnim vremenskim uslovima funkcije zemljišta mogu vrlo brzo reagovati na poljoprivrednu praksu. Nažalost, to može dovesti i do brzog i nepovratnog degradiranja funkcija zemljišta i dalje do dezertifikacije (proces pretvaranja Zemlje u pustinju), što je postalo značajan problem u mnogim agroekosistemima u svetu.

Kada je reč o metodama navodnjavanja, neadekvatan plan navodnjavanja i upotreba slane vode za navodnjavanje mogu dovesti do povećanja saliniteta zemljišta, čineći ga neupotrebljivim za poljoprivrednu proizvodnju. Drugi primeri su prakse koje ugrožavaju zemljišta ili funkcije zemljišta, kao što je prekomerna ispaša, koja dovodi do eolske erozije i procesa dezertifikacije. Proizvodnja useva u toplim semi-aridnim zonama sa čestim i jakim vetrovima može lako dovesti do eolske erozije izazvane degradacijom zemljišta. U tropskim oblastima, visoke temperature zemljišta u kombinaciji sa visokom količinom padavina dovode do velikog stepena razlaganja organske materije i ispiranja, a neadekvatne namena zemljišta za poljoprivrednu proizvodnju mogu dovesti do brze degradacije zemljišta. U klimatskim uslovima sa čestim pojavama ekstremnih padavina, kao što su azijske monsunske

oblasti, erozija zemljišta vodom je, pogotovo na brdovitim terenima, već prouzrokovala ogromnu degradaciju zemljišta. Ovaj ishod se javlja kada površina zemljišta nije prekrivena ili nisu postavljeni terasni sistemi. U uslovima klimatskih promena i promenljive klimatske varijabilnosti, ovi problemi će postati značajnija pretnja za zemljište u mnogim agroekosistemima, ukoliko se u poljoprivredi ne budu primenjivale navedene mere. Višegodišnji usevi u različitim klimatskim oblastima, kao što su vinogradi, voćnjaci, čaj ili kafa, koji se često uzgajaju u brdovitim regionima, takođe su podložni eroziji vodom, naročito tokom pojave ekstremnih padavina. Tehnologije malčiranja, kao što su malčiranje travom ili slamom ili drugim ostacima od useva, često se primenjuju a ponekad su i obavezni. U nekim slučajevima se čak i terasni sistemi, koji su skuplji ili zahtevaju više čovekovog rada, ponovno uspostavljaju da bi se zaustavila dugoročna erozija zemljišta.

Prvi važan cilj obrade zemljišta je suzbijanje korova i optimizacija uslova za rast korena. Ovo i dalje predstavlja značajan argument da se primenjuje oranje zemljišta u mnogim poljoprivrednim oblastima i ekološkoj poljoprivredi. Međutim, pošto je obrada zemljišta važan faktor troškova, razvijene su manje intenzivne metode, kao što su sistemi redukovane obrade zemljišta ili sistemi minimalne obrade od sistema direktne setve. Ove metode takođe smanjuju rizik od ispiranja i eolske erozije. Takođe, one mogu povećati vodni kapacitet zemljišta i infiltraciju vode. Eksperimentalno je pokazano da povećanje vodnog kapaciteta zemljišta redukcijom obrade zemljišta u kombinaciji sa malčiranjem dovodi do značajnog pozitivnog efekta na prinos. Međutim, postoje i oprečna viđenja, jer se u sistemima minimalne obrade zemljišta često koriste herbicidi za suzbijanje korova, što može dovesti do povećane emisije hemikalija.

I dok klimatske promene i varijabilnost klime direktno utiču na eroziju zemljišta, promene u tipovima gajenih useva ili plodoredu nastale usled klimatskih promena mogu indirektno uticati na rizik od erozije zemljišta u ugroženim regionima. Na primer, povećanje padavina i smanjenje pokrivenosti zemljišta usled povećanog udela kukuruza u poljoprivrednoj proizvodnji su značajni faktori povećanja erozije zemljišta u mnogim regionima, kao što je centralna Evropa. U svakom slučaju, erozija zemljišta na kraju vodi do smanjenja plodnosti zemljišta, a time i do smanjenja produktivnosti useva usled gubitka organske materije, hranljivih sastojaka i smanjenog vodnog kapaciteta zemljišta. Ovo može biti početak samoizazvanog procesa dezertifikacije i trajne degradacije plodnog zemljišta.

U poljoprivrednim sistemima sa velikim ulaganjima u proizvodnju često se koristi teška mehanizacija. U kombinaciji sa previsokim sadržajem vode u zemljištu, to može doprineti sabijanju zemljišta, čime se smanjuje infiltracija vode, a povećava oticanje a samim tim i erozija vodom. U vlažnim regionima Evrope, ovi problemi su приметni kod letnjih useva kao što su šećerna repa i kukuruz, gde zemljišta nedeljama nisu prekrivena ili su samo delimično prekrivena biljnim sklopom u ranoj sezoni rasta. U slučaju kasne žetve, teška mehanizacija ima razarajući i često trajan uticaj na strukturu zemljišta u periodu žetve u vlažnim uslovima u jesen. Ovaj problem postaje sve ozbiljniji sa povećanjem nagiba tla, što je česta pojava u Evropi.

Planiranje i predviđanje upotrebe mehanizacije zasnovano na vremenskim uslovima može biti korisna mera kojom se mogu izbeći ovakve štete na zemljištu.

12.7.4 Mere adaptacije vezane za klimatske resurse

Promene u klimatskoj varijabilnosti i klimi utiču na mikroklimatske uslove na različite načine. Međutim, dizajn i organizacija useva može u velikoj meri modifikovati ove uticaje. Na primer, u semi-aridnim sistemima sa malim ulaganjima u proizvodnju poznati su primeri ne samo poboljšanja vodnih resursa, već i optimizacije režima temperature i svetlosti. Klasičan primer su agroekosistemi oaza sa složenim kombinacijama i rasporedima useva, pomoću kojih se omogućava efikasno korišćenje zračenja na malom prostoru, sa ciljem da se poveća vlažnost vazduha za useve koji su zasenjeni i izbegnu ekstremne varijacije dnevne temperature vazduha. Vetrozaštitni pojasevi ili žive ograde se često koriste na semi-aridnim područjima Evrope da bi se smanjila brzina vetara i evapotranspiracija.

Agrošumski sistemi (Slika 12.22) su široko rasprostranjena mera u poljoprivrednoj proizvodnji, ne samo radi smanjenja vetra i evapotranspiracije, nego i radi poboljšanja mikroklimatskih uslova. Najčešće se primenjuju u suptropskim i tropskim klimatskim uslovima gde vladaju ekstremne temperature vazduha i/ili visoka vremenska varijabilnost. Kako usevi najviše reaguju na ekstremne meteorološke uslove, svaka mera da se ekstremi smanje u većini slučajeva ima akumulirajući pozitivan uticaj na visinu prinosa. Na primer, temperaturni stres se može smanjiti zasenjivanjem, što se pokazalo kao značajan faktor prinosa za mnoge kulture. U literaturi postoje opisani različiti tipovi agrošumskih sistema proisteklih iz specifičnosti agroekosistema (klima, zemljište, proizvodnja, nivo ulaganja u poljoprivrednu proizvodnju, socio-ekonomski okvir).



Slika 12.22 Agrošumski sistem sa topolama u semi-aridnom regionu Kine (izvor: Eitzinger et al., 2009).

Zasenjivanje drvećem takođe može sprečiti štete na usevima izazvane mrazom i smanjiti noćno izračivanje tla. Druge metode zaštite od mraza, kao što su pokrivanje biljaka tkaninom ili folijom, koriste se na malim parcelama u sistemima sa malim ulaganjima u proizvodnju (vidi poglavlje 9). U voćnjacima ili na velikim poljima, metode za zaštitu od mraza poput orošavanja, pokrivanja folijom ili primene aerosola su skupe i stoga se koriste uglavnom u poljoprivrednoj proizvodnji sa srednjim gazdinstvima sa velikim ulaganjima i to najčešće za proizvodnju visoko komercijalnih useva (eng. cash crops). Izbor lokacije u odnosu na orografiju (izbegavanje jezera sa hladnim vazduhom) je veoma važno za zaštitu useva od radiacionog mraza. Ove mere se često zanemaruju, pogotovo kada se mraz javlja retko, ali posledice mraza na višegodišnje useve mogu biti značajnije od oštećenja gradom, jer cele plantaže mogu biti uništene.

12.7.5 Mere adaptacije vezane za genetičke resurse biljaka/useva

Prinos i proizvodnja useva na određenoj teritoriji može se posmatrati kao interakcija mnogih faktora. Međutim, usevi prilagođeni određenim uslovima su važan lokalni resurs za produktivnost koji može značajno da utiče na rizik. Fiziološki procesi biljaka obično reaguju nelinearno na promene uslova gajenja (naročito na promene temperature), pokazuju granične reakcije i često su pod uticajem više stresnih faktora (vidi prethodna poglavlja XX). Veća varijabilnost temperature i padavina povećava rizik od nižeg prinosa, kao što su pokazala mnoge eksperimentalna istraživanja i simulacije.

Poljoprivrednici su tokom vekova odabrali najbolje sorte, stvarajući lokalno dobro adaptirane useve, od kojih su neki još u upotrebi u poljoprivrednim sistemima i predstavljaju važan genetički resurs za savremeno gajenje useva. Zemljoradnici svake godine imaju mogućnost da odaberu vrstu i sortu useva, ali takođe i da modifikuju agrotehničke mere (npr. datum setve u skladu sa očekivanim sezonskim vremenskim prilikama).

12.7.6 Mere adaptacije za bolju primenu agrotehničkih mera

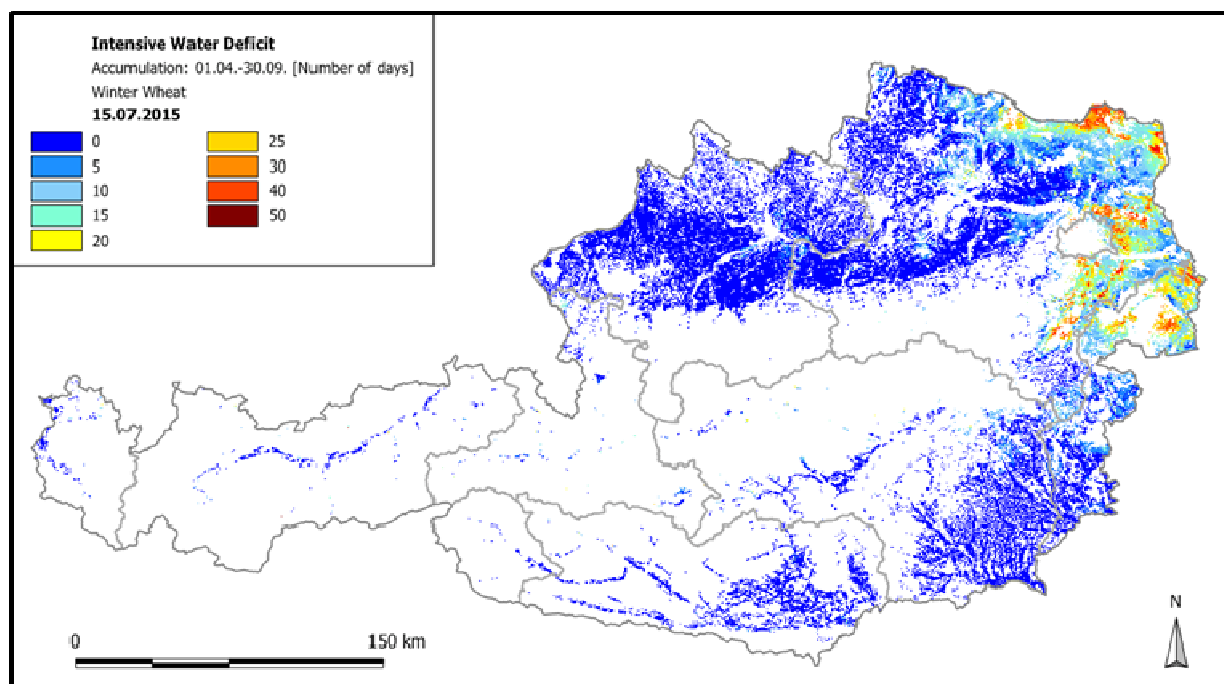
Vremenska prognoza je jedna od najvažnijih informacija za poljoprivrednike kod planiranja rada i planiranja primene agrotehničkih mera. Iako Kratkoročne standardne prognoze vremenske dostupne su širom sveta, ali dalje postoje mnoge mogućnosti za poboljšanja. U budućnosti će veliki potencijal imati naročito sezonska vremenska prognoza, imajući u vidu napretke u numeričkim modelima i bazama podataka.

U subtropskim regionima se sezonske vremenske prognoze već uspešno primenjuju. Na primer, sezonski raspored padavina (početak pojave kiše, trajanje kišne sezone,

raspodela kiše tokom perioda gajenja biljaka) jedna je od najvažnijih informacija za poljoprivrednike u monsunskim tipovima klime gde se usevi ne navodnjavaju. Takvi klimatski uslovi često se javljaju u sistemima sa malim ulaganjima u proizvodnju u zemljama u razvoju. Efikasna sezonska prognoza padavina i vremenskih prilika kao i prenošenje informacija ili upozorenja lokalnim poljoprivrednicima omogućavaju im da prilagode datume setve i selekciju useva. Iako se ovakva praksa već uspešno primenjuje u razvijenim zemljama, kao što je Australija, informacije su i dalje nedovoljno dostupne poljoprivrednicima u zemljama u razvoju.

Međutim, buduće nove tehnologije („precizna poljoprivreda“) i savremene komunikacione tehnologije omogućiće značajan napredak u razvoju novih posebno prilagođenih proizvoda za prognoziranje u poljoprivredi, uključujući prenošenje informacija poljoprivrednicima efikasno i u stvarnom vremenu. Na primer, tehnologije poput daljinskog nadgledanja (sa zemlje, iz satelita, drona, i metode poput GPS-a i GIS-a) omogućiće praćenje uslova za gajenje useva na mnogo manjim razmerama, kao što je nivo polja i manje. Zbog još uvek relativno visokih troškova, tehnologije precizne poljoprivrede primenjuju se na nivou gazdinstava samo kod poljoprivredne proizvodnje sa velikim ulaganjima. Međutim, specifične aplikacije, kao što je praćenje prostornih varijabilnosti uslova za rast useva na poljima, ili sadržaj azota u listovima za optimizaciju đubrenja na nivou polja, postaju sve češće.

Metoda koja se sve više koristi je kombinacija agrometeorološkog nadzora i prognoziranja, ne samo za određene lokalitete, već i kao prostorne GIS aplikacije, sa prostornim rezolucijama od nekoliko metara, kojim je dobro pokriven nivo poljoprivrednog polja. Praktični primeri su posmatranje stanja sušnosti za planiranje navodnjavanja, ili posmatranje pojave bolesti / štetočina za bolje suzbijanje štetočina. Drugi primeri su praćenje rizika od suše i drugih rizika vezanih za gajenje useva primenom različitih algoritama rizika (vidi poglavlje 11). Upotrebom posmatranih informacija, poljoprivrednici mogu primeniti mere na osnovu stvarnog stanja vezanog za dati lokalitet. Ovo može značajno pomoći poljoprivrednicima u donošenju odluka, smanjiti troškove navodnjavanja, đubriva i hemikalija i povećati prinos i produktivnost useva. Primer operativnog praćenja / predviđanja rizika za specifične useve primenjen u Austriji prikazan je na slici 12.23.



Slika 12.23 Primer austrijskog operativnog Sistema za informisanje o rizicima u poljoprivredni (ARIS) koji se ažurira na dnevnoj bazi, na slici je prikazan broj akumuliranih dana intenzivnog vodnog deficita za ozimu pšenicu (prostorna rezolucija: 1x1 km) (izvor: BOKU-Met).

Ukratko, adaptacija u smislu uvođenja sistema za rano prepoznavanje rizika kratkoročno (upozorenja) i dugoročno (saveti) presudna je za sve strane uključene u lanac proizvodnje hrane. Dokazano je da je adaptacija koja se bazira na predviđanju i merama predostrožnosti efikasnija i jeftinija od adaptacije koja je prinudna, koja se radi u poslednjem momentu i u slučaju nužde ili naknadnih modifikacija. Istraživanja koja se bave uticajem klimatskih promena i adaptacijama klimatskim promenama na regionalnom nivou pokazuju veliku prostornu varijabilnost potencijalnih uticaja, u zavisnosti od specifičnih agroekosistema, stanja zemljišta, klimatskih regiona i poljoprivrednih sistema, što ukazuje na značaj regionalno prilagođenih mera adaptacije.

Adaptacija poljoprivrede na globalnom nivou uslovljena je brojnim faktorima koji prevazilaze nivo poljoprivrednog gazdinstva. Osim toga, poljoprivreda mora takođe i da doprinese ublažavanju efekata klimatskih promena, tako da sve izvodljive mere adaptacije treba da zadovolje i ove ciljeve (smanjenje emisije gasova staklene bašte).

12.8 Mere ublažavanja efekata klimatskih promena u poljoprivredi

Emisije gasova staklene bašte izazvane ljudskim aktivnostima (vidi Sliku 12.7a-b, EEA, 2018) su glavni uzročnik antropogenih klimatskih promena. Poljoprivredne aktivnosti značajno doprinose globalnoj emisiji gasova staklene bašte (eng.

greenhouse gases - GHG), posebno emisiji ugljen-dioksida (CO_2), metana (CH_4) i azot-suboksida (N_2O). U svrhu pojednostavljenja izračunavanja (vidi IEEP, 2017), sve emisije različitih gasova staklene bašte pretvaraju se, prema njihovoj relativnoj efikasnosti da apsorbuju dugotalasno zračenje, u takozvani jedinični ekvivalent CO_2 .

Pre nego što stigne do naših tanjira, hrana se proizvodi, skladišti, prerađuje, pakuje, transportuje, priprema i servira. U svakoj fazi snabdevanja hranom, oslobađaju se gasovi staklene bašte u atmosferu. Konkretno, poljoprivreda oslobađa značajnije količine CH_4 i N_2O , dva snažna gasa staklene bašte. Metan uglavnom proizvodi stoka, tokom varenja usled unutrašnje fermentacije i oslobađa se podrigivanjem, i kroz proizvodnju pirinača u uslovima stalnog potapanja (i drugim vlažnim poljoprivrednim zemljištima). Metan se takođe može osloboditi sa odloženog stajnjaka i organskog otpada na deponijama. Emisije N_2O su indirektan proizvod organskih i mineralnih azotnih đubriva (EEA, 2016).

Na osnovu jediničnog ekvivalenta CO_2 (na osnovu procena za 2010. godinu), poljoprivredne aktivnosti na globalnom nivou proizvode 24% ukupne globalne emisije gasova staklene bašte, pri čemu je značajan deo (oko 10%) vezan za spaljivanje šuma (promenom korišćenja zemljišta prirodne šume pretvaraju se upoljoprivredno zemljište, čime su najviše zahvaćene tropske prašume), gajenje pirinča i proizvodnju stoke (uglavnom emisije metana). Ova procena ne obuhvata CO_2 koji ekosistemi uklanjaju iz atmosfere vezivanjem ugljenika u biomasu, i organsku materiju u zemljištu, čime se poništava oko 20% emisija iz poljoprivrednog sektora.

U evropskim zemljama, poljoprivreda ima manji udeo u ukupnoj emisiji gasova staklene bašte, oko 10%. Oko 4% emisija potiče od unutrašnje fermentacije (emisije metana koje proizvode životinje, pogotovo preživari), 1,5% od upotrebe stajnjaka, a još oko 4% od emisije iz poljoprivrednog zemljišta (uglavnom CO_2 i N_2O). Sagorevanje fosilnih goriva od poljoprivrednih mašina ili saobraćaja imaju marginalnu ulogu.

U poljoprivredi, međutim, osim gasova staklene bašte, i drugi faktori, kao što su emisije amonijuma (NH_4) nastale iz stajnjaka, mogu imati značajne negativne uticaje na životnu sredinu.

Značajno smanjenje broja stoke, efikasnija primena đubriva i bolja upotreba stajnjaka smanjili su emisije EU iz poljoprivrede za 24% u periodu između 1990. i 2012. godine.

Međutim, poljoprivreda u ostalim delovima sveta kreće se u suprotnom smeru. U periodu između 2001. i 2011. godine, globalne emisije iz ratarske i stočarske proizvodnje porasle su za 14%. Povećanje se javilo uglavnom u zemljama u razvoju, usled povećanja ukupne poljoprivredne proizvodnje (EEA, 2016).

Gotovo sve mere za smanjenje emisija gasova staklene bašte ili za adaptiranje klimatskim promenama u ovim sektorima imaju, osim predviđenih, i druge socio-ekonomske ili ekološke posledice. Ovakve povratne informacije takođe mogu uticati na potencijalno smanjenja gasova staklene bašte primenom mera za ublažavanje efekata klimatskih promena. Jedan primer je smanjenje emisija gasova staklene bašte upotrebom bioenergije umesto fosilnih goriva, na šta su značajno uticale direktne i indirektno sistemske povratne informacije vezane za korišćenje

zemljišta, kao što su promene u šumskim područjima nastale verovatno usled promena na područjima sa obradivim zemljištem.

U poljoprivrednom sektoru postoji veliki broj mera za smanjivanje emisije gasova staklene bašte, konkretno, u ishrani preživara, upotrebi stajnjaka, smanjenju gubitaka azota i povećanoj efikasnosti azota. Povećana proizvodnja bioenergije u poljoprivredi može doprineti smanjenju emisije gasova staklene bašte, posebno kada se sprovodi nakon integrisane optimizacije proizvodnje hrane i energije, kao i višestruke upotrebe biomase.

Usled visokog sadržaja ugljenika u šumama, sektor šumarstva je ključni faktor za strategije ublažavanja efekata gasova staklene bašte koje su vezane za korišćenje zemljišta. Šumarstvo može doprinijeti ublažavanju efekata klimatskih promena vezivanjem ugljenika, kao i obezbeđivanjem resursa sa niskim sadržajem ugljenika (materijala, energije). Potrebno je razmotriti sistemske međuzavisnosti između funkcija proizvodnje i vezivanja ugljenika u šumama, kao i pružanja drugih usluga ekosistema. Socio-ekonomski, kao i ekološki i klimatski efekti mogu se poboljšati kroz integrisanu optimizaciju proizvodnje u šumama i višestruku upotrebu biomase.

Danas je dostupan širok spektar aktivnosti za ublažavanje efekata klimatskih promena u poljoprivrednom sektoru, ali ove mere tek treba da se usvoje u razmeri i intenzitetu potrebnim za trajno smanjenje emisija.

Najvažniji primeri mera ublažavanja efekata klimatskih promena u poljoprivredi za razvijene zemlje predstavljeni su u nastavku (EPA, 2018):

- Obrada zemljišta i agrotehničke mere

- Prilagođavanje metoda obrade zemljišta i gajenja useva (npr. prilagođavanje metoda i vremena primene agrotehničkih mera, plodored).
- Đubrenje useva sa preciznom količinom azota potrebnog za proizvodnju useva, jer prekomerna primena azota može dovesti do većih emisija N_2O bez porasta u proizvodnji useva.
- Drenaža vode iz močvarnog zemljišta pod pirinčem tokom sezone gajenja da bi se smanjile emisije CH_4 .
- Izbegavanje drenaže močvarnog zemljišta

- Organizacija stočarske proizvodnje

- Prilagođavanje načina ishrane stoke i drugih metoda organizacije uzgoja da bi se smanjila količina CH_4 kao rezultat unutrašnje fermentacije.
- Poboljšanje kvaliteta ispaše da bi se povećala produktivnost životinja, što može smanjiti količinu emisije CH_4 po jedinici životinjskog proizvoda. Takođe, poboljšani uslovi uzgoja mogu dovesti do povećanja produktivnosti u stočarskoj proizvodnji.

- Upotreba stajnjaka

- Kontrolisanje načina na koji se stajnjak raspada da bi se smanjile emisije N_2O i CH_4 .

- Usvajanje CH₄ nastalog od dekompozicije stajnjaka za proizvodnju obnovljive energije.
- Rukovanje stajnjakom kao čvrstom materijom ili odlaganje na pašnjacima umesto skladištenja u sistemu tečnog stajnjaka, kao što je laguna. Ovakva praksa bi verovatno smanjila emisije CH₄, ali može povećati emisije N₂O.
- Čuvanje stajnjaka u anaerobnim uslovima da bi se što više povećala proizvodnja CH₄, a zatim vezao CH₄ da bi se koristio kao energetska zamena za fosilna goriva.

Ukratko, najvažniji globalni zadaci adaptacije i ublažavanja efekata klimatskih promena (prema Organizaciji za hranu i poljoprivredu – FAO) mogu biti grupisani na sledeći način:

- sezonske promene i datumi setve useva
- različite / nove sorte ili vrste, plodoredi
- sistemi za snabdevanje vodom i navodnjavanje
- upravljanje ulaganjima u proizvodnju (đubrenje, metode obrade zemljišta, sušenje žitarica, druge operacije u zemljoradnji)
- suzbijanje štetočina i bolesti
- modifikacije na mikroklimatskom nivou: stimulisanje razvoja agrošumarstva
- smanjenje rizika po bezbednost hrane
- identifikovanje trenutno ugroženih oblasti poljoprivrede
- prilagođavanje / jačanje prioriteta u poljoprivrednim istraživanjima
- jačanje poljoprivrednih savetodavnih i komunikacionih sistema
- poboljšanje obuke i obrazovanja (u ruralnim područjima)
- adaptacije u robnim i trgovinskim politikama
- poboljšanje ruralne infrastrukture i pristupa tržištu za poljoprivrednike
- borba protiv (ruralnog) siromaštva

Agrometeorološka merenja

13 Metodi merenja u agrometeorologiji

13.1 Osnovne tehnologije senzora - kratki uvod

Mehanički senzori. U prošlosti, mehanički senzori, tj, oni bez elektronskih komponenti, su korišćeni za određena merenja, na primer, mehanički satovi su merili vreme, a konvencionalni termometri su pokazivali temperaturu. Takvi instrumenti se i danas koriste za specifične primene: oni mogu doći u obliku ručnih instrumenata ili takvih svakodnevnih uređaja kao što su termometri i higrometri koji se koriste za jednostavne i ekonomične primene u domaćinstvu.

Vrednosti merene pomoću mehaničkih senzora mogu se prikazati na skali (kao kod termometra). U slučaju stalnog posmatranja u meteorološkim stanicama, na primer, oni mogu biti upisani i od strane nekog ko vrši opažanja ili se automatski ispisuju na papir (na primer, termohigrografom). Ove vrste merenja se takođe zovu *analogna merenja*.

Pre 1980-ih, najveći broj meteoroloških stanica širom sveta radilo je sa mehaničkim sensorima, uključujući i nacionalne mreže meteoroloških stanica. U mnogim zemljama u razvoju ove vrste merenja se i dalje koriste u meteorološkim stanicama. U tom slučaju posmatrač mora očitati podatke sa senzora tri puta dnevno u određeno vreme ujutro, popodne i uveče, a vrednosti upisati u tabele, kao što to propisuje WMO (Svetska meteorološka organizacija). Mnogi istorijski hidrometeorološki zapisi su dostupni u toj formi. Do danas, međutim, ti podaci su uglavnom već digitalizovani i stoga dostupni kao elektronske vrednosti.

Primeri konvencionalnih mehaničkih senzora za atmosferske veličine:

- Termometri na bazi širenja zapremine različitih tečnosti (živa, alkohol, itd.) u staklenoj kapilari.
- Psihrometri koriste kombinaciju vlažnog i suvog termometra gde se vlažnost vazduha vrlo precizno izračunava preko efekta hlađenja isparivanjem, izraženog temperaturnom razlikom između termometara. Ovi senzori se zbog svoje tačnosti još uvek koriste u modernim meteorološkim stanicama za merenje pritiska vodene pare u vazduhu ili za kalibraciju elektronskih senzora za merenje vlažnosti vazduha.
- Termohigrografi mere temperaturu vazduha preko istežanja bimetala, a vlažnost vazduha na osnovu promene dužine dlake. Vrednosti merenja se mehanički upisuje kao grafik na papiru za period od nedelju dana. Ovi aparati su se koristili u analognim meteorološkim stanicama.
- Mehanički merači vetra su instrumenti sa pokretnim kalotama pogonjenim vetrom koje stvaraju električni signal ili pokazuju signal na skali.
- Mehanički instrumenti za merenje vazdušnog pritiska (barometri) vrše merenje na osnovu dizanja živinog stuba u staklenoj kapilari.
- Kišomer sakuplja kišnicu, a količina se očitava sa skale.
- Trajanje osunčavanja (Campbell Stokes). Staklena kugla fokusira snop svetla na papirnu traku i spaljuje liniju koja pokazuje dnevno kretanje sunca.

- Za detaljnije informacije o mehaničkim sensorima pogledajte preporučenu literaturu.

Elektronski senzori. Elektronski senzori se šire koriste u meteorološkim stanicama od osamdesetih godina prošlog veka, u kontekstu razvoja računara, elektronskih sistema za čuvanje podataka i sistema prenosa. U konkretnom slučaju, analogni električni signal se digitalizuje pa se može elektronski skladištiti (kao digitalna vrednost) i prenositi putem savremene komunikacione tehnologije. To znači da meteorološke stanice mogu da rade automatski i da više nisu potrebni posmatrači za očitavanje podataka sa konvencionalnih instrumenata. Međutim, tim uređajima je potrebna energija (električna energija), koja se obezbeđuje iz mreže, baterija ili solarne energije ako mreža nije dostupna. Praktično sve savremene meteorološke stanice rade danas na taj način, što će biti detaljnije opisana u sledećim poglavljima.

13.2 Metode merenja

Agrometeorološka merenja obično se odnose na specifična mikroklimatska okruženja i zbog toga ne moraju obavezno uzimati u obzir standarde WMO za klimatske meteorološke stanice koje se koriste u nacionalnim mrežama meteoroloških stanica. Ovi standardi uključuju unapred definisane zahteve za visinu merenja temperature i vetra, površinske karakteristike lokacija meteoroloških stanica i minimalne tehničke zahteva senzora, da navedemo samo neke od njih (WMO, 2008, 2011). Međutim, preporučuje se organizacijama i istraživačima koji kontinuirano prikupljaju podatke i sprovode naučna istraživanja da koriste senzore u skladu sa WMO standardima kada obavljaju poljoprivredna meteorološka merenja.

Pre započinjanja bilo kakvih lokalnih merenja potrebno je imati na umu dva osnovna zahteva:

- merenja se moraju obavljati na takav način da je njihov uspeh osiguran a njihov cilj postignut;
- proces merenja mora biti što efikasniji u pogledu troškova, vremena i truda.

Karakteristike senzora (vreme odziva, drift, rezolucija, itd.) treba odabrati u skladu sa metodom koja će se koristiti i očekivanim kvalitetom podataka.

Treba razlikovati dve osnovne svrhe agrometeoroloških merenja:

- za naučne primene
- za praktične ili operativne primene (primenjena agrometeorologija)

13.2.1 Primene u naučne svrhe

Da bi rešavali naučna pitanja merenjem, mernih sistemi generalno zahtevaju veću tehničku fleksibilnost i veći tehnički kvalitet (tj., tačnost) nego što to imaju unapred projektovane agrometeorološke stanice za praktičnu primenu, koje su specifično pripremljene za određene primene (npr., za planiranje navodnjavanja, merenje

mikroklimatskih uslova unutar biljnog sklopa za kontrolu bolesti, što će biti izloženo u sledećem poglavlju).

U skladu sa postavljenim naučnim ciljem, potrebno je razmotriti sledeće aspekte da bi "unapred projektovani" odgovarajući merni sistem:

- broj i tip parametara koje želite meriti,
- minimalna tehnička tačnost senzora za merenje željenih parametara,
- vremenske jedinice merenja (npr., sekunde, sati, dani),
- broj stanica kada su potrebne informacije sa veće prostorne skale,
- vremenski period merenja (kratkoročni ili dugoročni eksperimenti),
- zahtevi u pogledu čuvanja i prenosa podataka (npr., memorijski kapacitet instrumenta, troškovi "online" prenosa podataka),
- potrebe mernog sistema u pogledu izvora i količina energije,
- potrebe mernog sistema u pogledu održavanja,
- potrebe u vezi rukovanja dobijenim podacima i analize podataka (stručnost, troškovi rada),
- izbor lokaliteta u kome će se merenja obavljati.

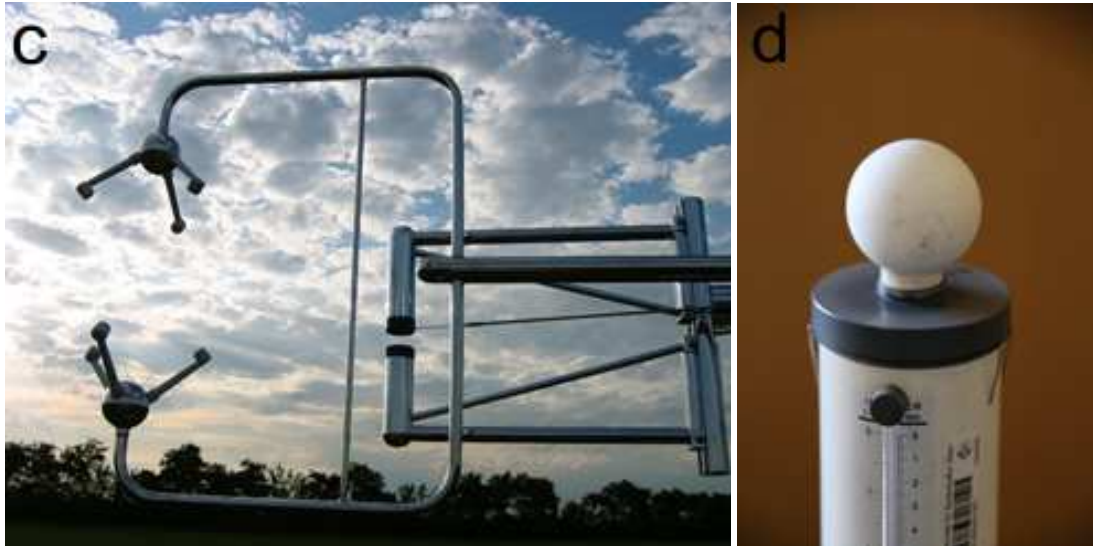
Postoje mnogobrojni primeri naučne primene agrometeoroloških merenja, kao što pokazuju primeri dati u nastavku:

● Merenje mikroklimatskih uslova u usevima (takođe pogledajte odeljak "Dodatna literatura" za detaljnije informacije):

Primeri:

- merenja evapotranspiracije (zemljišta i atmosfere), flukseve toplote i vode, i bilansa zračenja (Slika M1a-c), metodima kao što su metod energetskog bilansa na osnovu Bovenovog odnosa (BREB), metod vrtložne korelacije, scintilatorski metod, itd.
- Merenje flukseva gasova (npr., emisije gasova sa efektom staklene bašte iz zemljišta)





Slika 13.1 a-d Merenje profila vlage i temperature na različitim dubinama zemljišta (gore levo); senzor za merenje bilansa zračenja (kratkotalasnog i dugotalasnog) (gore desno); merenja vrtložne korelacije koja se rade pomoću ultrazvučnog senzora visoke frekvencije (levo), i senzora vodene pare i temperature (dole).

● Merenje lokalnih klimatskih pojava

Primeri:

- Merenje preseka, detektovanje klimatskih varijacija malih razmera, kao što su uticaji živica ili zaštitnih drvoreda, poljo-šumarski sistemi ili uticaj topografije na mikroklimatske uslove u usevu (Slika M2-M3).
- Strujanja vazduha, kao što su tokovi hladnog vazduha, inverzije u jezerima hladnog vazduha.



Slika 13.2 Stanica za merenje preseka klime vinograda (temperature vazduha i zemljišta, vlažnost vazduha, isparavanja) na brdovitom terenu u Austriji (uporediti rezultate izvedene na osnovu Slike XX i Slike XX u drugim poglavljima)



Slika 13.3 Merenja preseka vetra i isparavanja niz vetar od živice u Austriji

13.2.2 Senzori, metodi i tehnike merenja za primenjenu agrometeorologiju (praktična primena)

Prvo pitanje u vezi praktične primene mernih tehnika u agrometeorologiji je povraćaj troškova (analiza troškova/koristi), npr., da li se meteorološka stanica, koju poljoprivrednici kupuju za određenu svrhu, isplati? Pored pitanja "vrednosti" agrometeoroloških informacija kao što je vremenska prognoza za agrometeorološke svrhe, isplativost je ispitivana u nekoliko studija slučaja. Čest zaključak je da se, posebno u oblastima upozorenja i prognoze pojave štetočina i bolesti i rasporeda navodnjavanja useva, metode agrometeoroloških merenja na terenu mogu isplatiti u roku od nekoliko godina, ako se pravilno primjenjuju.

Na primer, od 1992. godine, mreža agrometeoroloških stanica koja obezbeđuje podatke Adcon addVANTAGE sistemu za podršku pri donošenju odluka koristi različite modele za praćenje plamenjače i pepelnice. Stanice pokrivaju područje od preko 1.500 ha. Prikupljanje i obradu podataka vrši lokalna kancelarija Agencije za poljoprivredu Austrije, čiji službenici šalju upozorenja putem faksa i elektronske pošte. Za ovu uslugu, članovi plaćaju vrlo nisku godišnju naknadu od samo 10 evra. Iskustvo poslednjih 16 godina pokazalo je da poljoprivrednici koji koriste ovu uslugu mogu postići prosečno smanjenje broja prskanja od 35%. Broj tretmana u proseku iznosi 5-6, a u nekim godinama sa niskim intenzitetom napada bolesti čak i do 3 tretmana, dok standardni postupci prema planu zaštite preporučuju 8-12 tretmana po sezoni. Čak i bez trajne podrške proizvođača od strane Poljoprivredne komore, kupovina opreme bi se brzo vratila, jer bi čak i mala farma od 5 ha mogla ostvariti godišnju uštedu od cca. 600 evra ili 200 evra po tretmanu, tako da se troškovi nabavke stanice vraćaju za manje od 4 godine.

Dok se sa tehničke tačke gledišta praćenje mikro-klimatskih parametara pomoću automatske meteorološke stanice može smatrati najsavremenijom praksom, ona je daleko od toga da bi se mogla smatrati široko prihvaćenom. U oblasti rasporeda navodnjavanja, čak i u zemljama u kojima je suša česta pojava kao što je Australija, manje od 10% od ukupnog broja poljoprivrednih proizvođača koristi meteorološke stanice i senzore za merenje vlažnosti zemljišta kako bi poboljšali svoju dnevnu praksu navodnjavanja. Iako većina poljoprivrednika rado koristi ažuriranu vremensku prognozu kada odlučuje o prskanju i navodnjavanju, samo mali procenat farmera zapravo koristi meteorološke stanice na gazdinstvu i senzore za merenje vlažnosti zemljišta.

Postoje dva osnovna agrometeorološka metoda koji unapređuju upotrebu vode u poljoprivrednoj proizvodnji, koji su ovde sortirani po popularnosti odnosno distribuciji:

- meteorološke stanice za obračunavanje evapotranspiracije,
- senzori za direktno praćenje vlage u zemljištu.

Obe ove tehnika imaju svoje prednosti i mane, i svaka ima svoje navijače i protivnike. Ipak, kada se pažljivije pogleda, nije teško shvatiti da ih treba posmatrati kao komplementarne tehnologije, a ne kao alternative. Da bi sistematski pristupili ovom predmetu moramo klasifikovati ovu opremu iz različitih uglova gledanja, uključujući i korišćenje te opreme za druge svrhe osim raspolaganja vodom (npr., za kontrolu štetočina i bolesti).

Meteorološke stanice. Poljoprivredno okruženje kao takvo pokazalo se kao izazov za instrumente koji se koriste u meteorološkim stanicama. Instrumenti nisu izloženi samo vremenskim prilikama, što je već kao takvo prilično stresno za elektroniku i senzore. Takođe su izloženi agrohemijskim sredstvima kao što su pesticidi i fungicidi, a podvrgnuti su povremenom tuširanju od strane nadzemnih sistema za navodnjavanje. Osim toga, na njih utiču prašina i pesak, koji ne samo da deluju abrazivno, već i formiraju slojeve koji ometaju rad senzorskih površina i dalje ubrzavaju pogoršavanje stanja tako što dodaju još hemikalija kao što su đubriva u tu nepoželjnu mešavinu. Efekat svega ovoga će se kasnije obraditi u odjeljku 1.1 koji razmatra probleme u svakodnevnom radu.

Iskustvo pokazuje da osim gore navedenih faktora, opremi takođe nedostaje održavanje. Kalibracija senzora vrši se retko, provere pouzdanosti podataka su još ređe, pa čak je i prosto čišćenje opreme daleko od toga da je redovna pojava. Osim toga, kako vlasnici tako i operateri meteoroloških stanica često ne poseduju tehničke veštine potrebne za vođenje sofisticirane meteorološke stanice, za programiranje novih kalibracionih faktora ili za prevezivanje senzora.

Ove faktore treba uzeti u obzir pri projektovanju poljoprivredne meteorološke stanice (Slika M4). Na osnovu ovih razmatranja, preduslovi za efikasnu stanicu mogu se sumirati na sledeći način:

- Oprema mora biti veoma robusna, ali ipak dovoljno precizna;
- Oprema mora biti sposobna da izdrži ekstremne vremenske prilike do kojih dolazi tokom godine;
- Oprema mora biti otporna na agrohemijske;

- Oprema mora obezbediti dugotrajnu stabilnost, uz mali drift izmerenih vrednosti tokom eksploatacije;
- Senzori moraju da mogu da se zamenjuju brzo i lako, čak i kada je u pitanju neobučeno osoblje.

Ovde takođe treba dodati da je neophodno ne samo tražiti vrlo nisku nabavnu cenu, već i povoljan odnos cene i performansi, a posebno ukupne troškove posedovanja u početnom periodu od 10 godina. Tu se uzima u obzir koliko puta je neophodno običi aparate na lokaciji, koliko rekalkibracija uraditi, koliko senzora zameniti, itd. Skuplja visoko-efikasna oprema može se na dugi rok dokazati povoljnijom od jeftinijih uređaja.



Slika 13.4 Primer komercijalne automatske agrometeorološke stanice na solarni pogon za merenje standardnih meteoroloških parametara i “online” prenos podataka

Senzori koji se koriste u agrometeorološke svrhe navedeni su u daljem tekstu. Prema tome, treba odabrati prave senzore za pravu namenu. Kao smernice za kvalitet senzora, kupci treba da provere sledeće karakteristike senzora:

- rezolucija: najmanja jedinica u kojoj se informacije mogu prikazati (ovo ne treba pomešati sa tačnošću)
- tačnost
- ukupna tačnost, uzimajući u obzir sve potencijalne greške, kao što su histereza i zavisnost od temperature
- histereza: sposobnost senzora da očita isti rezultat kada se ponovi eksperiment pod istim uslovima
- vreme odziva i potrošnja energije, koji su direktno povezani: što je reakcija senzora brža, to je potrošnja energije manja
- drift senzora na godišnjoj osnovi i tokom početnog perioda od 5 godina

Temperaturu vazduha. Dok su NTC (Negative Temperature Coefficient – veća toplotna provodljivost sa povećanjem temperature) termistori (THERMally-sensitive resISTOR) dostupni po veoma niskoj ceni, senzori zasnovani na platini, pt100, pt500 ili pt1000, su definitivno bolji izbor. Ovi senzori nude linearni izlaz u punom temperaturnom opsegu i pokazali su se prilično robusnim čak i pod teškim uslovima, čime se izbegava česta potreba za rekaliciranjem zbog drifta senzora. Raspon temperature ovih senzora treba izabrati tako da bude dovoljno širok da pokrije i druge primene kao što su upozorenje za mraz, praćenje niskih temperatura potrebnih za kontrolu štetočina, i druge svrhe. Uobičajeni raspon temperature se kod mnogih proizvođača kreće od -40°C do $+60^{\circ}\text{C}$. Tačnost treba da bude jednaka ili bolja od $0,5^{\circ}\text{C}$, a idealna vrednost je $0,1^{\circ}\text{C}$.

Senzor za merenje temperature mora biti zaštićen od direktne sunčeve svetlosti tako što se stavljanja iza rebraste zaštite koja je obično ne-ventiliranog tipa, kao što je prikazano na slici 1.9.



Slika 13.5 Pasivna zaštita od direktne sunčeve svetlosti

Većina proizvođača montira svoje temperaturene sonde zajedno sa senzorom za relativnu vlažnost da bi smanjili troškove ugradnje uređaja za modifikovanje i pojačanje signala. Za svakodnevnu upotrebu aparature, ovo ima ne samo pozitivan uticaj u pogledu cene, već olakšava montiranje i čini nepotrebnim ugrađivanje zaštite za drugi senzor.

Vlažnost vazduha. Većina formula o kojima se govori u ovom dokumentu zahtevaju za svoje izračunavanje vrednost pritiska pare. Ovaj se parametar obično meri dovoljno precizno pomoću standardnog senzora za relativnu vlažnost vazduha. Većina elektronskih senzora koristi kondenzatorske elemente za ovu svrhu. Svi takvi elementi imaju tendenciju da gube tačnost pri punom opterećenju. Pošto se većina meteoroloških stanica ne koristi samo za navodnjavanje, već i za kontrolu bolesti, posebnu pažnju treba obratiti izboru senzoru za vlažnost vazduha.

Kondenzatorski elementi senzora su veoma osetljivi na promene vremenskih uslova i na njih negativno utiču slojevi prašine, a posebno agrohemijske. Ovi aparati su uopšte podložni odstupanju, i obično teže da pokazuju više vrednosti vlažnosti

nego što je to zapravo slučaj. Trebno voditi računa da u okviru početnog perioda od pet godina posle instalacije maksimalno odstupanje ne prelazi 5%.

Ako je nekom senzoru potrebna česta rekalkibracija, krivac za to je vlažnost vazduha. Budući da je od velikog značaja ne samo za izračunavanje evapotranspiracije već i za modele bolesti, treba ga često rekalkibrirati ili zamenjivati, u idealnom slučaju svake druge godine. Slika 1.10 prikazuje tipični kapacitivni/kondenzatorski čip za merenje vlažnosti vazduha.



Slika 13.6 Kondenzatorski čip za merenje vlažnosti vazduha

Kao što je već spomenuto, senzori temperature i vlažnosti obično se montiraju zajedno u istom kućištu, zbog čega je potreban samo jedan pojačivač, kabel i zaštita od sunca. Da bi zaštitili osetljive senzorske elemente od direktnog izlaganja uslovima okoline, ugrađuje se zaštitna kapica koja je bilo od guste žičane mrežice (gore) ili specijalnog filter papira (dole), kao što je prikazano na slici 13.7



Slika 13.7 Zaštitne kapice: mreža / papir

Zaštitne kapice senzora treba često menjati jer imaju osobinu da nakupljaju prašinu, agrohemičarije i vlagu, pa zato često stvaraju sopstvenu mikroklimu, što opet može znatno uticati na tačnost merenja. Ovo je od posebnog značaja kada je u pitanju relativna vlažnost, što će uticati da se dobijaju netačne (obično previsoke) vrednosti očitavanja senzora koji je smešten u vlažan ili čak plesniv filter papir, što obično dovodi do pokazivanja manje vrednosti evapotranspiracije i veće vrednosti pritiska bolesti.

Vlažnost listova. Senzori za praćenje vlažnosti listova su relativno jednostavni i oni treba da prate trajanje i stepen vlažnosti listova tako što skeniraju različite tipove površina. Informacije o trajanju vlažnosti listova su ključne za mnoge modele gljivičnih bolesti.

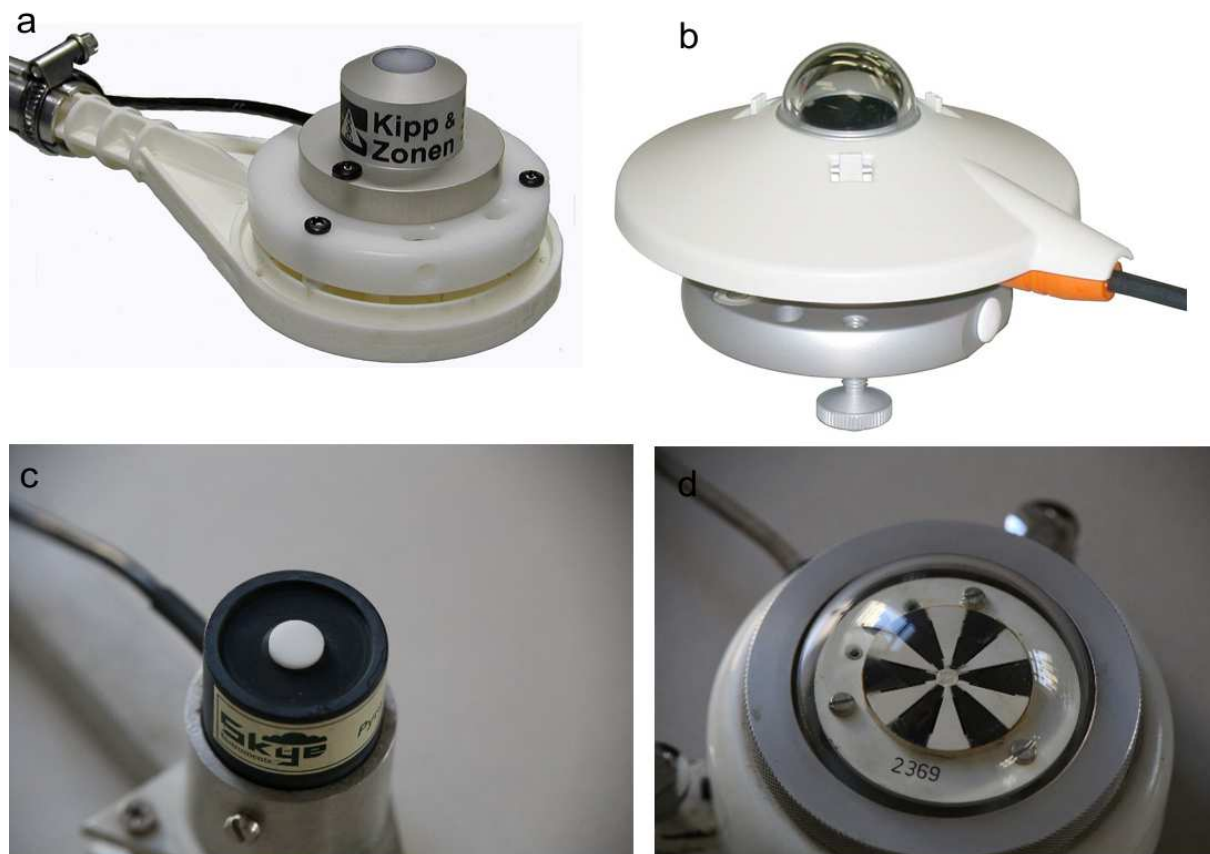


Slika 13.8 Senzor za kontrolu vlažnosti listova (izvor: BOKU-Met)

Solarno zračenje. Profesionalna meteorologija zahteva upotrebu vrlo preciznih piranometara za merenje ukupnog opsega sunčevog zračenja, odnosno, talasnih dužina od 300 do 3000 nm, kako je definisano međunarodnim standardom ISO 9060. Standardne formule koje se koriste za izračunavanje evapotranspiracije takođe se zasnivaju na ovom tipu senzora. Standardni princip merenja, apsorpcija toplotne energije i njeno pretvaranje u električni signal, obično se vrši ili termopilnim senzorom (serijom od nekoliko termoelemenata) ili tzv. crno-belim senzorom. Obe ove vrste senzora su veoma tačne, ali i prilično skupe, što je dovelo do toga da je tzv. silicijumski piranometar postao osnovni izbor za korišćenje u poljoprivredi. Silicijumski piranometri nisu sposobni da obuhvate čitav spektar talasnih dužina, već samo od nekih 300 do 1100 nm, ali oni ipak obezbeđuju aproksimativne vrednosti koje su dovoljno blizu i mogu da posluže željenoj svrsi. Njihova proizvodna cena je mnogo niža, a pružaju dobru alternativu u poljoprivredi.

Ovde treba pomenuti tipičnu grešku pri izboru senzora. Često se dešava da se koriste PAR senzori, koji mere samo fotosintetički aktivno zračenje, umesto silicijumskih piranometara. Pošto se PAR spektar kreće samo od 400 do 700 nm, količina izmerene energije je u velikoj meri smanjena. Zbog toga ti senzori nisu pogodni u ovu svrhu.

Piranometri bi u idealnom slučaju trebali da poseduju čvrsto sočivo otporno na abraziju (otvor kroz koji zračenje prolazi do senzornog elementa) kao i dovoljnu tačnost da zahtevaju recalibraciju ne češće od svakih 5-7 godina. Slika 13.9 prikazuje tipičan silicijumski piranometar (levo) i termopilni piranometar klase 2 (desno).



Slika 1.12. Silicijumski piranometar (a. gore levo, c. dole levo) i termopilni piranometar klase 2 (desno), termofilni piranoetar klase 2 (b. gore desno) i zvezdasti piranometar (d. dole desno) (izvor: Pacher (a,b); BOKU-Met (c,d)).

Piranometri moraju biti postavljeni apsolutno vodoravno kako bi se izbegle greške izazvane senzorskim površinama nagnutim od ili ka suncu. Idealno je da je piranometer usmeren tačno na jug na severnoj hemisferi i tačno na sever na južnoj hemisferi. Treba ga postaviti tako da nikakva prepreka ne može zakloniti sunce tokom njegovog dnevnog kruga.

Brzina i smer vetra. Meteorološke stanice služe raznim namenama u poljoprivredi, a jedna od značajnih aktivnosti je praćenje brzine vetra. Sistemi nadzemnog navodnjavanja moraju biti isključeni kada je vetar prejak, primena fungicida i pesticida u takvim uslovima nije moguća (kako zbog efikasnosti, tako i zbog povećane opasnosti po zdravlje ljudi usled zanošenja hemikalija vetrom), ventilacioni otvori na plastenicima i staklenicama moraju da budu zatvoreni. Brzina vetra je od izuzetne važnosti za izračunavanje evapotranspiracije jer vetar zamenjuje vlažni vazduh iznad zemljišta i useva suvim vazduhom, čime se povećava evapotranspiracija.

U izgradnji senzora za merenje brzine vetra koristi se nekoliko konstruktivnih tipova, a najčešći su anemometar sa kalotama, sa propelerom i ultrazvučni senzor. Iako ultrazvučni senzori nadmašuju druge tipove svojim ekstremno niskim početnim pragom i nepostojanjem inercije zato što nema pokretnih mehaničkih delova, i dalje

su prilično skupi i zahtevaju značajnu količinu energije za rad. Zbog toga se u poljoprivredi pretežno koriste anemometri sa kalotama i senzori sa propelerima. Što se poljoprivredne svrhe tiče, merni opseg senzora za merenje brzine vjetra može ostati znatno ispod maksimalne brzine od 75 m/s koja je navedena u standardnim smernicama WMO. Za sve primene u poljoprivredi, najveća brzina vetra kreće se u opsegu od 35 do 55 m/s. Ono što je od većeg značaja je početni prag senzora koji bi trebao da bude znatno ispod 1 m/s, jer čak i takve niske brzine vjetra mogu povećati evapotranspiraciju biljaka.

Pošto je brzina vetra od tako velike važnosti (veoma popularni metod FAO56, kao što je opisano u nastavku, u velikoj meri se oslanja na brzinu vjetra), jednako je važno odabrati tačan instrument kao i onaj koji se neće brzo pohabati. Mikro čestice koje se redovno nalaze u pesku, đubrivima i agrohemijskim sredstvima prirodni su neprijatelji kugličnih ležajeva u sensorima za merenje brzine vetra. Dok čvrste čestice koje se skupljaju unutar instrumenta usporavaju rotaciju, agrohemijska sredstva što povećava habanje mehaničkih delova. Zbog toga senzore za merenje brzine vetra treba često kontrolisati pomoću referentnog instrumenta kako bi bili sigurni da pravilno funkcionišu.

Sa druge strane, smer vetra nije od značaja u ovome slučaju, pa zbog toga poljoprivredne meteorološke stanice često nemaju odgovarajući senzor u svom inventaru. Kao i u slučaju senzora za merenje solarnog zračenja, od najveće je važnosti da se pri montaži pridržavamo uputstava proizvođača. U svim delovima sveta senzor za određivanje smeru vetra mora biti podešen tačno prema severu, jer je to početna tačka kruga od 0° do 360°. Čak i ultrazvučni senzori imaju na kućištu oznaku koju treba usmeriti ka severu.



Slika 13.10 Razni tipovi senzora za merenje brzine vetra

Padavine. Možda najstariji instrument koji se koristi za meteorologiji, značaj preciznog i pouzdanog sredstva za merenje količine kiše u poljoprivredne svrhe ne

može se ceniti dovoljno. Bez obzira da li se radi o poljoprivredi sa ili bez navodnjavanja, od najvećeg je značaja da se pravilno prate padavine.

Kišomeri su dostupni u svim veličinama i materijalima i zasnovani su na velikom broju principa merenja, od kantice koja se prazni kada se napuni do prepoznavanja zvučnog uzorka i laserske tehnologije. Mehanička rešenja su dominantna u agrometeorologiji iz očiglednih razloga. Oni nude zadovoljavajuću tačnost po relativno niskim cenama i zahtevaju vrlo malo energije.

Najuobičajeniji tip kišomera je posuda sa pulsniim izlazom. Princip je jednostavan: voda puni kašiku ili posudu dok se ne dostigne određena količina koja prevrće i prazni posudu. Prilikom toga, posuda ne samo da se prazni, već pokreće i magnetski prekidač, čime se zatvara ili otvara električni kontakt koji stvara impuls koji registruje aparat za čuvanje podataka.

U praksi se mogu naći modeli sa jednom kao i sa dve kofice. Oni se uglavnom razlikuju po tome kako se ponašaju kada se suoče sa kišom visokog intenziteta. U takvim slučajevima, količina vode koja prolazi kroz levak merača i pada na merni element može biti toliko visoka da se određena količina vode gubi tokom presipanja. Ovo se odnosi ne samo na modele sa jednim koficom već i na izuzetno precizne modele sa dve kofice, u slučajevima kada intenzitet kiše prevaziđe kapacitet aparata koji je naveo proizvođač opreme (obično dat u mm/sat ili kao broj pražnjenja u minuti) Zato je veoma važno izabrati odgovarajući kišomer, koji je u skladu sa količinama padavina koje se mogu očekivati u lokalitetu gde je kišomer postavljen. U područjima sa umerenim do normalnim padavinama, mogu se instalirati modeli sa jednom ili dve kofice i sa kapacitetom od 0,1mm do 0,2mm po pražnjenju. U područjima gdje se mogu očekivati intenzivne kiše, kao što su monsunski regioni sveta, treba koristiti sisteme sa dvostrukim kanticama i kapacitetom od 0,2 mm ili 0,5 mm. Kišomere treba birati u skladu sa uslovima okoline i, ako je potrebno, aparate sa grejanjem treba birati za klimatske zone gde sa javja mraz. Koriste se i kišomeri koji imaju otežano postolje.

Izbor odgovarajućeg otvora kišomera je podjednako važan. Ne treba uzimati u razmatranje merače sa otvorima manjim od 200 cm². Proizvođači opreme za navodnjavanje često uz svoju opremu za navodnjavanje nude kišomere s malim otvorom. Međutim, glavna svrha ovih senzora nije precizno određivanje količine padavina, već da se korisniku opreme za navodnjavanje da signal da isključi opremu zbog nailaska kiše.

Slika 13.11 prikazuje različite mehaničke kišomere, od jednostavnih modela sa jednim kašikom do sistema sa dvostrukom kašikom i integrisanom funkcijom samonivelisanja.



Slika 13.11 Različiti tipovi mehaničkih kišomera (sa koficama koje se prazne)

Kod većine senzora, ispravna instalacija je ključ za dobijanje zadovoljavajućih rezultata. Očigledno je da model sa koficama koje se prazne prevrtanjem, koji se u velikoj meri oslanja na dobro izbalansiran rad kofica, ne sme da bude nagnut, nego mora biti postavljen u apsolutnu horizontalu. Ovo je takođe važno zbog toga što svaki milimetar bočnog odstupanja smanjuje sposobnost aparata da pravilno prihvati padavine.

U poljoprivrednim okruženjima posebno je preporučljivo da se odmah po instaliranju kišomera ugradi zaštita od ptica. Dok je uticaj ptica na očitavanje rezultata koji će se koristiti u naučne svrhe minimalan, njihov uticaj (ako ga uopšte ima) na praktičnu primenu je nevažan u poređenju sa prednostima koje ovaj uređaj donosi. Ptičiji izmet može postati ozbiljan problem kada zapuši levak, a ptice grabljivice vole da se hrane sedeći na kišomerima. Na slici 1.15 je prikazana je tipična zaštita od ptica, a na slici 1.19 je prikazana velika ptica grabljivica koja se odmara na kišomeru.



Slika 13.18. Zaštita od ptica



Slika 13.19. Ptica koja se odmara na kišomeru

Senzori za merenje vlažnosti zemljišta. Posljednjih nekoliko godina veliki broj kompanija je predstavio širok spektar različitih senzora za merenje vlažnosti zemljišta, koji su sada dostupni za bilo koji budžet, zemljište i usev, i koji su zasnovani na različitim tehnologijama. Ne postoji idealan senzor, sposoban da radi sve, koji je podjednako pogodan za pesak i glinu, za borovnice i grožđe, za travnjake i koštunjavo voće. Ali, u okviru dostupnih proizvoda, svako će moći da nađe aparat koji ispunjava kriterijume za odgovarajući zadatak.

Ideja direktnog praćenja vlažnosti zemljišta je jednostavna: umjesto određivanja količine vode za navodnjavanja obradom parametara koji se odnose na površinu zemljišta, direktno se prati stvarni status vode u aktivnoj zoni korena biljke, tako da smo u stanju da direktno procenjujemo potrebe biljke za vodom.

Međutim, senzori za merenje vlage u zemljištu pružaju mnogo širi uvid u ono što se dešava u zemljištu i u zoni korena od prostog utvrđivanja količine vlage u zemljištu. Oni ukazuju na stopu infiltracije vode od navodnjavanja i prirodnih padavina, dozvoljavaju procenjivanje variranja vodnog nivoa, pomažu pri određivanju agronomskih pragova kao što su tačka dopunjavanja/tačka venjenja i poljski kapacitet, i, konačno, pomaže da se pravilno odrede dimenzije aktivne zone korena i varijabilnost te zone u različitim fenološkim fazama. Kao što je poznato, nivo zemljišne vlage je takođe znak koji ukazuje na poljoprivrednu sušu.

Kada razmatramo merenje vlage u zemljištu, potrebno je razlikovati različite metode merenja koje se koriste za određivanje nivoa vlažnosti zemljišta, merenje na jednom ili više mesta, kao i učestalost sa kojom se vrši očitavanje.

Jedna od prvih tačnih metoda za praćenje vlage u zemljištu bila je metoda neutronske sonde, razvijena 1950. godine. Kada potrebna oprema nije samo bila skupa, nego je i zahtevala vrlo kvalifikovanog operatora ovlašćenog za rukovanje radioaktivnim materijalom, bilo je poželjno da se pruži usluga što većem broju klijenata i da se obave merenja u što većem broju polja sa jednim instrumentom. U to vreme bilo je moguće obaviti samo jedno očitavanje nedeljno, pri čemu su se praznine u merenju morale popunjavati metodima interpolacije.

U skorije vreme, međutim, oprema je postala manje skupa, i, u kombinaciji sa aparatom za skladištenje podataka, postalo je izvodljivo da se jedan instrument trajno ostavi na istoj lokaciji i da se očitavanja vrše svakih 15 do 30 minuta. Ako je taj aparat takođe povezan sa telemetrijskim uređajem, očitani podaci bi se mogli slati u kancelariju menadžera farme skoro u realnom vremenu. Kada dođemo do pitanja fleksibilnog prilagođavanja svakodnevne prakse navodnjavanja promenljivim vremenskim uslovima, sistem kontinualnog nadzora u kombinaciji sa telemetrijskim uređajem postaje očigledno rešenje. Stalno praćenje značajno će smanjiti vreme potrebno da se utvrde najvažniji agronomski pokazatelji svake pojedinačne njive, poljski kapacitet i tačke venjenja, a svakodnevno praćenje ponašanja biljaka vrlo je korisno za bolje razumevanje fizioloških promena koje se dešavaju u biljkama tokom različitih fenoloških faza.

Brz napredak u razvoju senzora doneo je višenamensku sondu, razvijenu početkom devedesetih godina, koja omogućava jednostavno postavljanje nekoliko senzora na jednoj lokaciji bez potrebe da se korenska zona biljaka remeti kopanjem profila. Ovakvi senzori se obično instaliraju kroz pristupnu cev koja se svrdlanjem ubacuje u zemljište i u koju je moguće ubaciti nekoliko senzora na razna rastojanja, gde se po jedan senzor može postaviti na svakih 10 cm. Tako postavljeni senzori mogu da šalju precizne podatke odmah posle instalacije, bez potrebe da se čeka nekoliko nedelja ili meseci dok se zemlja ponovo ne slegne posle ukopavanja pojedinačnih senzora. Međutim, pošto višestruki senzori montirani u pristupnoj cevi nužno moraju određivati sadržaj vode u zemljištu bez direktnog kontakta sa samim

medijumom, njihova aktivnost je takođe podložna određenim ograničenjima. Što se cena tiče, pojedinačni senzori su jeftiniji od višestrukih i oni se obično koriste za useve sa plitkim korenom.

Kako određivati sadržaj vlage u zemljištu pomoću in-situ senzora (Slika 1.22):

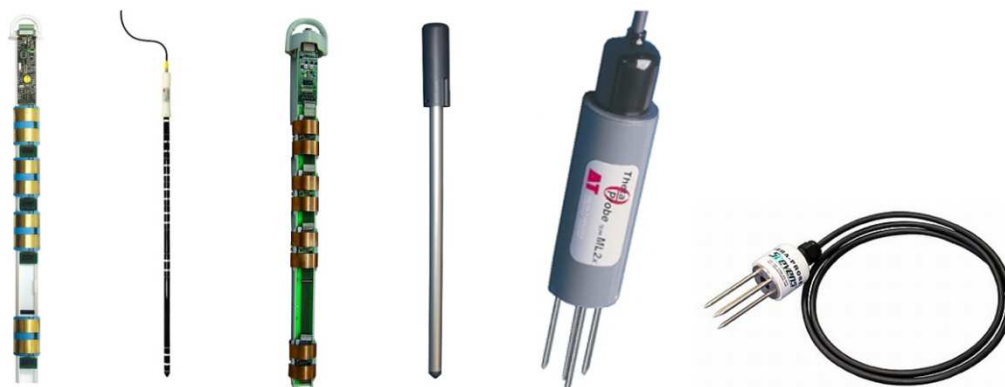
- Volumetrijske metode
- Praćenje vodnog potencijala zemljišta

Volumetrijske metode. Većina senzora koji su trenutno u upotrebi koristi neku vrstu volumetrijske metode. Oni direktno očitavaju status vode u zemljištu (jedinice vode po jedinici zemljišta, npr., ml vode/cm³ zemljišta, ili jednostavno izraženo u %), ali ne govore ništa o sposobnosti biljke da iskoristi vodu iz zemljište. Tehnologija je zasnovana na određivanju dielektrične konstante zemljišta, što ukazuje na sposobnost ne-provodnika (tj., zemljišta) da prenese elektromagnetni talas, kao što je onaj koji emituje senzor vlage u zemljištu. Sa poznatim dielektričnim vrednostima zemljišta (osušenog u peći) i vode, može se konstruisati kriva koja daje korelacije senzorskog odgovora na sadržaj vlage u zemljištu, gde suvo zemljište pokazuje vrlo niske vrednosti, a zasićeno zemljište vrlo visoke.

Danas imamo na raspolaganju dve vrste mernih sistema:

- Frekventno- domenska reflektometrija (FDR)
- Vremensko-domenska reflektometrija (TDR)

FDR senzori su dominantni na tržištu zbog svoje cene. Veliki broj proizvođača nudi takve senzore, koji se prodaju pod komercijalnim nazivima kao što su EnviroSMART, EnviroCheck, EnviroPro, AkuaCheck, AkuaSpi, Probe profila, Theta Probe, Hidra itd. Slika 1.22 prikazuje izbor takvih sonda.



Slika 13.14 Različite sonde za merenje vlage u zemljištu. Sa leva na desno: Sentek EnviroSmart, Delta-T Probe, Agrilink C-Probe, AkuaCheck, Delta-T Probe, Stevens Hidra Probe.

Praćenje vodnog potencijala u zemljištu. Ovaj metod, koji se takođe naziva metod matričnog potencijala, ili metod usisavanja iz zemljišta, meri napon, koji se odnosi na silu koju biljka mora primeniti kako bi usvojila vodu iz zemljišta. Jedinica mere je kilopaskal. Senzori koji rade na tom principu su prilično jeftini u poređenju sa

drugim, ali zahtevaju više pažnje i održavanja od volumetrijskih senzora. Njihova zajednička karakteristika je upotreba poroznih sredina kao što je gips, koji omogućavaju prolaz vode u instrument. Njihovi najčešći predstavnici su tenziometri, gipsani blokovi i Watermark senzori (Slika 13.15).

Ovi senzori se razlikuju u mernom opsegu vodnog potencijala zemljišta, a potrebna im je, posebno za merenje apsolutnog vodnog potencijala zemljišta, redovna kalibracija za relevantne tipove zemljišta. U zavisnosti od materijala koji se koristi, životni vek ovih senzora je ograničen, posebno u slučaju jeftinih gipsanih blokova.

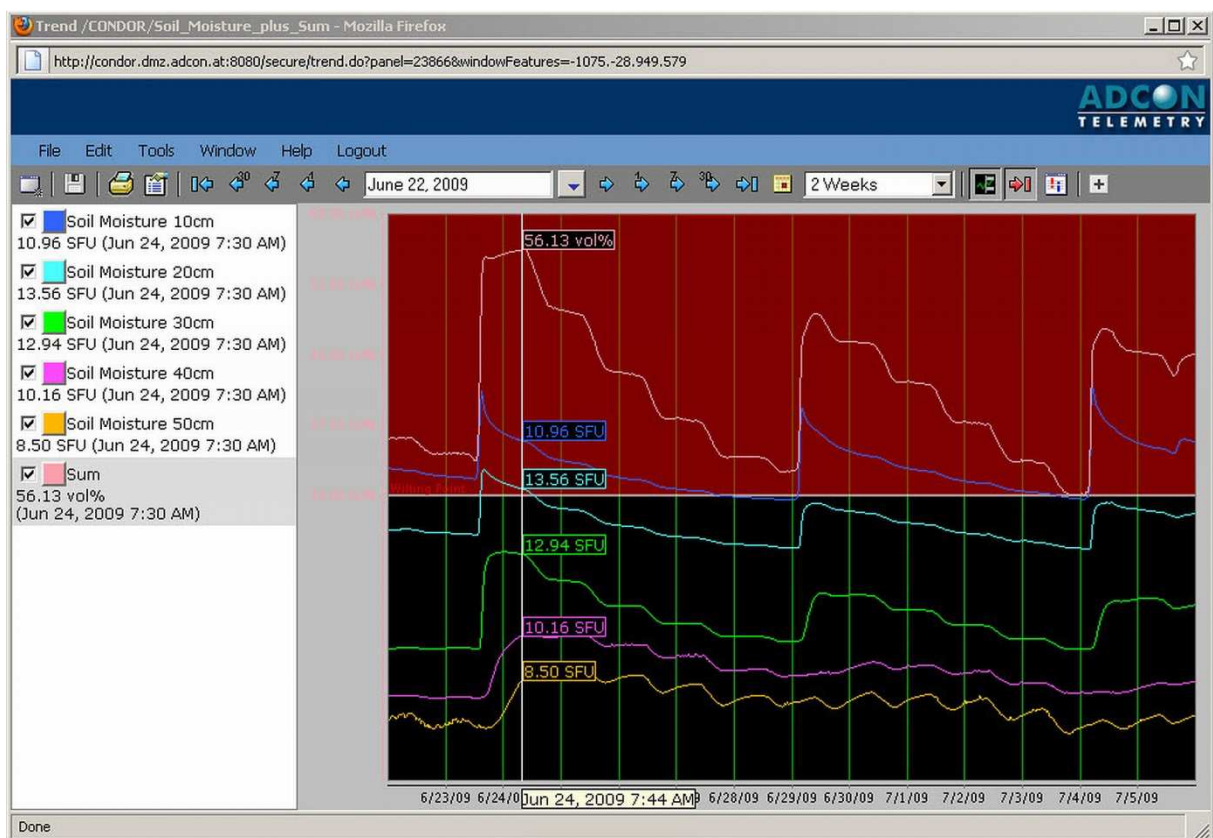


Slika 13.15 Senzor za merenje vodnog potencijala za agrometeorološku upotrebu (primer: Watermark)

Diskusija koji je senzor najbolji za koju poljoprivrednu kulturu i koje zemljište bi otišla daleko izvan obima ovoga rada. Svaki prodavac sigurno ima dobre argumente i prateće informacije prema kojima njegov proizvod najbolje odgovara potrebama kupca, i o ovoj temi postoji obimna literatura. Dakle, šta poljoprivredni proizvođač dobija? Lista potencijalnih prednosti je duga:

- Ušteda vode. U poređenju sa standardnim navodnjavanjem plavljenjem, postignute su uštede do 80%, ali čak i kod preciznijih sistemima poput kapanja i pivota moguće je uštedeti više od 50%.
- Ušteda energije. Voda koja nije pumpana je energija koja nije utrošena.
- Ušteda đubriva. Prekomerno navodnjavanje ispira hranljive sastojke, dok nedovoljno navodnjavanje onemogućava da hraniva stignu do aktivne zone korensku, gde su potrebna.
- Pобољšan kvalitet useva: Kod mnogih useva, pravilno navodnjavanje može pomoći u podizanju kvaliteta finalnog proizvoda, bilo da se to postiže time što se izbegava stres, bilo da se primenjuje poželjna količina stresa (navodnjavanje sa kontrolisanim deficitom, sušenje određenih zona korena).
- Povećan prinos useva: Većina poljoprivrednih proizvođača nije svesna katastrofalnih posledica prekomernog navodnjavanja, što je približno isto toliko loše kao i nedovoljno snabdevanje vodom. Vrlo malo usjeva može se nositi sa zabarivanjem, tj, prekomernom primenom vode, iznad poljskog kapaciteta. Posledica je gušenje biljke, gde voda zamenjuje kiseonik u zemljištu, što usporava usvajanje vode od strane biljke, a time i njen metabolizam, što opet značajno usporava rast i razviće biljke.

Slika 13.16 prikazuje ispis senzora za merenje vlage u zemljištu. U datom primeru vlažnost se prati u 5 različitih slojeva, sa po jednim senzorom na svakih 10 cm, a svaki senzor je označen linijom trenda u različitoj boji. Za bolje optičko prepoznavanje svakog sloja, linije trenda su odvojene malim pomakom na Y-osi tako da se podaci šire preko veće površine grafikona. Linija na vrhu je sumarni grafik/linija koji pokazuje kombinovanu vlagu svih 5 senzora. Dve velike agronomske tačke, tačka punog kapaciteta i tačka punjenja, već su prethodno uspostavljene, a oblast između njih je istaknuta crvenom bojom. Umetnost izvođača agromere navodnjavanja je da održi sumarnu liniju između te dve tačke, čime se izbegava prekomerno zalivanje sa jedne strane, što dovodi do prekomernog odvodnjavanja i površinskog oticanja vode, i nedovoljnog zalivanja sa druge, što uzrokuje preveliki stres kod biljaka.



Slika 13.16 Grafikon praćenja vlažnosti zemljišta

Uređaji za konverziju podataka. Da bi se automatski prikupljali i čuvali podaci, pomenuti senzori moraju biti povezani sa aparatom za čuvanje podataka. Na tržištu se nudi veliki broj takvih aparata, sa širokom paletom cena i sofisticiranosti. Kao i kod senzora, glavni kriterijum za izbor aparata u poljoprivredne svrhe neće biti preciznost, već "sposobnost za obavi posao" - zadovoljavajuća tačnost, u robusnom pakovanju, po pristupačnoj ceni.

Prema tome, lista uslova za ovaj tip uređaja izgleda ovako:

- robusan, kućište najmanje klase IP-65

- širok opseg radne temperature od -40°C do $+60^{\circ}\text{C}$
- kućište otporno na agrohemijske materije
- mala potrošnja energije, što omogućava rad na baterije i kompaktne solarne panele
- najmanje 3 nedelje rada na sopstvenim baterijama u uslovima slabog solarnog osvetljenja
- sistem povezivanja jednostavan za održavanje, kako bi čak i ne-tehničko osoblje moglo menjati neispravne komponente ili rutinski zamenjivati jedan senzorski element novim ili rekalibrisanim
- 10-bitna rezolucija ili viša
- kapacitet memorije do 2 nedelje
- jednostavan korisnički interfejs
- telemetrijski sistem koji je jednostavan za instalaciju i konfiguraciju

Kao što je gore rečeno, čini se preporučljivim da se žrtvuju vrhunska tačnost i bogatstvo funkcija u ime robusnosti i jednostavnosti rada. Za vrhunsku tačnost treba platiti cenu i čini se da je pametnije uložiti raspoloživa sredstva u opremu koja može da obavi posao bez velikih izdataka za tekuće održavanje nego kupiti najtačniju opremu i nikad ne uraditi potrebne rekalibracije jer su suviše skupe. Sa druge strane, takođe nije pametno kupiti najjeftiniju opremu i time kompromitovati kvalitet podataka.

Na slici 1.20 prikazani su razni aparati za čuvanje podataka, od kojih je većini potrebno dodatno zaštitno kućište da se sprečava oštećenje zbog uticaja okoline.



Slika 13.17 Razne vrste aparata za čuvanje podataka

Korišćenje telemetrije za prenos podataka. Dok se podaci kao takvi mogu prikupljati uređajem za čuvanje podataka kao što je gore opisano, oni se moraju svakodnevno očitavati bilo odlaskom na lokaciju i skidanjem podataka pomoću laptopa ili povezivanjem telemetrijskog uređaja na aparat za čuvanje podataka. Iskustvo pokazuje da ručno preuzimanje podataka nije održivo. U periodu posle kupovine i montiranja meteorološke stanice, podaci se skupljaju svakodnevno. Kako sezona

odmiče i ljudi postaju sve zauzetiji, kako se vremenski uslovi menjaju i postaje hladno i kišovito, tako razmaci od jedne posete do druge postaju duži i duži.

Zato je veoma preporučljivo odmah nabaviti telemetrijski uređaj koji će automatski prenositi podatke iz meteorološke stanice u centralnu stanicu. Ovo ne samo da obezbeđuje neprekidan priliv podataka, već omogućava da se prati "zdravstveno stanje" stanice i proverava da li su sama stanica i senzori u njoj još uvek operativni.

Postoji mnogo vrsta telemetrijskih uređaja i mnogo dostupnih tehnologija. Upotreba kablovskih telefonskih modema u poljoprivredne svrhe skoro da je sasvim nestala jer je kablovski uređaj najmanji poželjan deo opreme koji se može instalirati na terenu, koga lako mogu oštetiti ne samo mašine već i životinje.

Moguće opcije se dele u dve grupe: telemetriju koja koristi privatnu infrastrukturu i telemetriju koja koristi javnu infrastrukturu.

Pokrivenost javnom infrastrukturom. Brza provera da li je željeno mesto za instalaciju opreme pokriveno GSM ili ViMAKS mrežom pomaže da se utvrdi da li ta opcija postoji ili ne postoji. Ako je odgovor pozitivan, važno je saznati da li prisutni provajderi nude uslugu prenosa podataka ili samo usluge prenosa glasa i interneta. Ukoliko javna infrastruktura nije dostupna, rešenje se mora potražiti u privatnim mrežama ili satelitskim vezama.

Broj dnevnih prenosa. Ovo je važan podatak jer se na osnovu njega utvrđuje potrošnja energije stanice. Prenos podataka obično zahteva više snage nego samo prikupljanje i čuvanje podataka. Veliku razliku čini ako klijent zahteva jedan prenos dnevno ili prenos svakih 15 minuta (tj., 96 dnevnih prenosa). Posebno su zahtevni satelitski i GSM sistemi kojima je potrebna dodatna snaga akumulatora i veće solarne ploče ako se žele česti prenosi. VHF, UHF i ZigBEE radio aparati imaju prirodnu prednost u tom pogledu jer im treba mnogo manje vremena za uspostavljanje veze.

Količina prenesenih podataka. Posebno kada je u pitanju prenos podataka putem satelita, koji obično nudi samo veoma sporu vezu, apsolutno je ključno da se veličina podataka maksimalno smanji kako bi se smanjilo vreme trajanja prenosa (trajanje prenosa = novac plus snaga). Sa druge strane, prenos GPRS podataka se ne naplaćuju na osnovu trajanja prenosa, već po količini prenesenih podataka, a tu se dodaje i prenos preko limita. Što se više zahteva šalje stanici, to ona češće prenosi podatke, a to povećava obim saobraćaja. Veći saobraćaj = više podataka = veći troškovi. I opet, privatne radio mreže imaju prirodnu prednost u tom pogledu, jer nije bitno u pogledu cene da li stanica emituje jednom ili 100 puta dnevno.

Stalna ili zakazana veza. Posebno u slučaju metoda prenosa koji zahtevaju najveći utrošak energije, na primjer satelitske i GPRS komunikacije, poželjno je prebaciti stanicu na režim spavanja kada prenos nije potreban i buditi je samo jednom ili dva puta dnevno radi slanja podataka, a zatim je ponovo slati na spavanje. Ova procedura se naziva zakazanom vezom. Na drugoj strani, stalna veza zahteva značajne količine snage jer prijemnik mora biti uključen sve vreme, čekajući dolazne zahteve za komunikacijom. Ako se npr. traži da se podaci šalju svakih 5 minuta, a

stanica je stalno na mreži, GSM i satelit možda neće biti najbolje opcije za prenos podataka, jer bi to zahtevalo prilično veliki ili čak trajni izvor energije.

Jednosmerne ili dvosmerne veze. Takođe je važno znati da se mnoge satelitske veze, a posebno besplatne usluge koje vlada pruža vladinim i istraživačkim institucijama (npr., GOES), često dodjeljuju korisnicima uz fiksni vremenski okvir i samo satelitsku vezu, a ne dvosmernu vezu. U ovakvim slučajevima od najveće je važnosti da se pravilno konfiguriraju stanica i da se pravilno isplaniraju intervali prenosa, jer se konfiguracija ne može menjati na daljinu. Nedostatak jednosmerne veze je to što smanjuje mogućnosti za rešavanje problema sa uređajem i izmene konfiguracije.

Udaljenost do centralne stanice. Ključna pitanja su udaljenost meteorološke stanice od baze u kojoj će se podaci obrađivati, da li je potrebno postaviti samo jednu ili više stanica, i na kojoj udaljenosti te stanice treba da budu jedna od druge. U slučaju izolovanih, pojedinačnih stanica u udaljenim područjima, uglavnom je jeftinije koristiti javnu infrastrukturu kao što je GSM (obezbeđena pokrivenost) ili satelit, umjesto izgradnje lokalnih prijemnih stanica ili više repetitora. Tamo gde nema pokrivenosti ili nema opcije korišćenja satelita zbog cene ili energetskih potreba, a naročito ako je potrebno rasporediti nekoliko stanica u ograničenom krugu od nekoliko desetina kilometara, mogu se izgraditi privatne mreže, pri čemu svaka stanica koristi drugu kao relejnu stanicu.

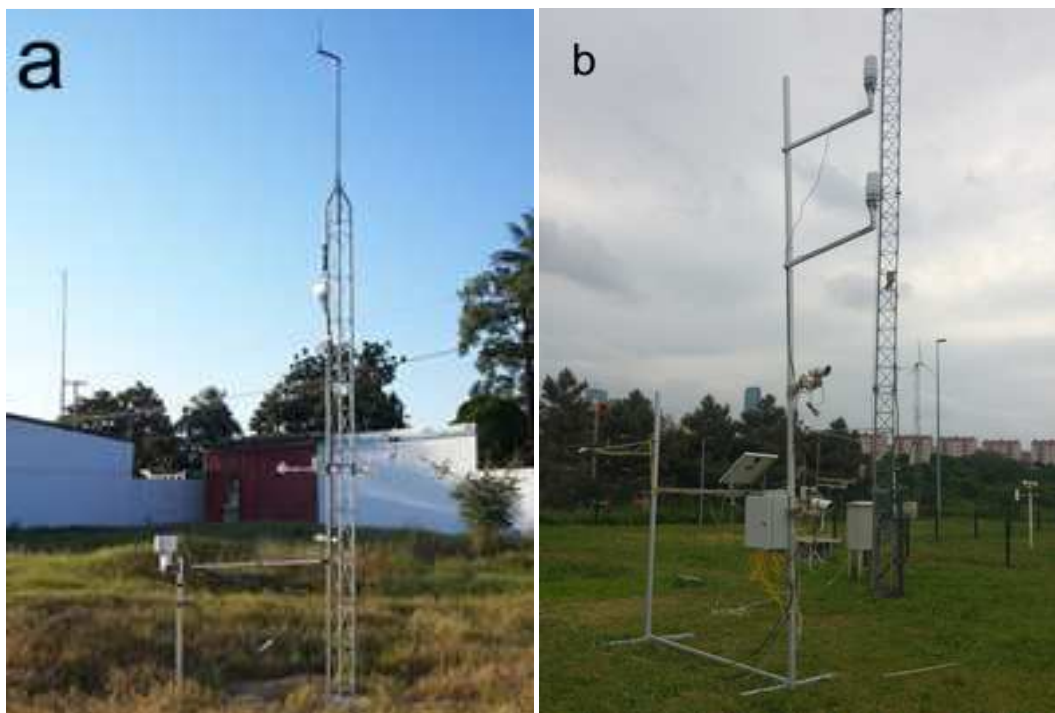
13.2.3 Instalacija agrometeorološke stanice

Tipična lokacija za postavljanje meteorološke stanice za poljoprivredne potrebe veoma se razlikuje od lokacije meteorološke ili hidrografske stanice. Meteorološke stanice se obično postavljaju na ivicama polja (što je slučaj sa kulturama koje zahtevaju obradu zemljišta) ili direktno unutar proizvodne površine (uglavnom u zasadima drveća i vinogradarima). U svakom slučaju, meteorološka stanica trebalo da zauzme što manje prostora kako ne bi ometala svakodnevne rutinske poslove oko useva kao što su prskanje, nega, orezivanje, navodnjavanje, itd. Drugim rečima, prostor potreban za idealno postavljanje meteorološke stanice često je nemoguće naći i zato treba da se nađe pogodna alternativa.

Neki od zahteva navedenih u odeljku o aparatima za čuvanje podataka sada imaju više smisla, kada se posmatraju iz perspektive postavljanja. Mali solarni panel obezbeđuje manju izloženost pritisku vetra, čime se smanjuju sile koje treba da apsorbuje stub na kome je montirana stanica, dok bi velikim solarnim panelima mogli biti potrebni sigurnosni kablovi koji bi pouzdano usidrili stanicu u zemljište. Manji solarni paneli su takođe manje vidljivi, a samim tim i manje privlačni za vandale i lopove, a i manje je verovatno da će biti meta vatrenog oružja (da, i ovo je problem!) Da bi se ispunili zahtevi aparata za merenje evapotranspiracije (detalji će se razmatrati u odeljku o primeni), FAO opisuje idealno mesto za instalaciju (pogledajte "Navodnjavanje i odvodnjavanje, dokument 56") kao "veliku površinu zasejanu travom koja štiti zemljište od sunca i kojoj ne nedostaje voda". Ostale publikacije

(kao što je "Priručnik za meteorološka osmatranja" holandske meteorološke službe, septembar 2000. godine) preporučuju površinu od 225 do 300m² ravnog zemljišta, "koje se kosi bar jednom nedeljno". Postoje brojne druge preporuke, ali u većini slučajeva obezbeđivanje zemljišta za tu svrhu je ograničavajući faktor.

Međutim, pravilan izbor lokacije za instalaciju je ključni faktor koji određuje ispravnost podataka i značaj izračunatih rezultata. Ovo je od posebnog značaja u planinskim područjima, koja, kao i svi alpski regioni, mogu da ponude malo ravnog zemljišta, gdje se poljoprivredno zemljište smenjuje sa šumom, gde su reke i jezera deo pejzaža. Svi ovi spoljni faktori, a naročito obližnje vodene površine, mogu u velikoj meri uticati na očitavanja meteorološke stanice i simulirati uslove okoline koji nisu stvarno prisutni na ispitivanom području. Pored toga, mnoge stanice, iz razloga pogodnosti, instalirane su u blizini stambenih objekata, koji ne samo što ometaju vetar, već vrlo često menjaju i rezultate svih drugih očitavanja. Slika 1.21 prikazuje ETo stanicu postavljenu u skladu sa dokumentom FAO56 na velikom travnjaku, sa kišomerom na posebnom stubu i telekomunikacionom antenom na vrhu tornja.



Slika 13.18 ETo stanica sa telemetrijom i stanica za bovenov količnik.

Preporučuje se da se fotografiše celokupna instalacija sa udaljenosti od oko 20 m i iz sva četiri pravca. Vrlo poželjan rezultat postavljanja meteorološke stanice je što se time dobija vremenska serija meteoroloških podataka specifičnih za datu lokaciju, što omogućava poljoprivrednom proizvođaču da prati reakciju useva na vremenske prilike. To zahteva da se u svakom trenutku može odrediti originalno stanje lokacije kada je meteorološka stanica prvobitno instalirana, što omogućava da korisnik stanica obnovi prvobitne uslove lokacije.

Prilikom fotografisanja veoma je korisno da se utvrde GPS koordinate meteorološke stanice - ne samo da biste mogli da povežete dobijene podatke sa

tačnom lokacijom, već i da omogućite vršenje takvih svakodnevnih zadataka kao što je pronalaženje opreme na terenu!



Slika 13.19 Agrometeorološka stanica u voćnjaku za praćenje pojave biljnih bolesti (source: PFNS).



Slika 13.20 Agrometeorološka stanica (sa raznim senzorima) u polju lucerke za određivanje sadržaja vode u zemljištu (izvor: BOKU-Met).

14 Daljinska merenja u poljoprivredi

14.1 Uvod

Daljinska merenja (bilo sa zemlje, avionom, bespilotnom letilicom ili satelitskim sensorima) je tehnika prikupljanja informacija o nekoj meti bez "dodirivanja". Može se podeliti na "aktivna" i "pasivna" daljinska merenja. Pasivni senzori prikupljaju zračenje koje emituje ili reflektuje objekat ili okolno područje. Aktivni senzori obezbeđuju sopstveni izvor energije (elektromagnetno zračenje) da osvetle objekte koje posmatraju. Aktivni sensor emituje zračenje u pravcu cilja koji treba ispitati. Sensor zatim otkriva i meri zračenje koje se reflektuje ili odbija od mete. Međutim, ovde je važno napomenuti da su za interpretaciju i kalibraciju signala u mnogim slučajevima potrebni istiniti osnovni podaci (npr., biomasa, sadržaj vlage u zemljištu, itd.) koji se direktno mere klasičnim metodima na lokaciji.

- Neke od aplikacija daljinske detekcije mogu uključivati:
- kartografsko mapiranje regija / sveta
- tematsko mapiranje
- identifikacija supstanci, struktura i regionalnih međusobnih odnosa
- prepoznavanje procesa i trendova
- praćenje regionalnog i sezonskog razvoja
- mapiranje poljoprivrednih i šumskih terena
- mapiranje karakteristika zemljišta, procena stanja useva i monitoring suše, prognoza vremena

Iz gorenavedenog proizilazi da su informacije koje tražimo delimično geometrijske, a delimično radiometrijske. Dok se geometrijske i kartografske informacije dobijaju u obliku crno-belih ili fotografija u boji, radiometrijske informacije se dobijaju preko:

- spektralne refleksije,
- raznih vrsta rasipanja/povratnog rasipanja
- emisivnosti kao funkcije materijala i supstanci,
- vremenskih varijacija,
- strukturalnih / teksturalnih karakteristika.

Satelitska daljinska detekcija može koristiti takve elektromagnetne intervale za osmatranje zemljine površine, za koje je atmosfera providna (vidi Sliku 2.4 u poglavlju 2 i tabelu 14.1). Za to su potrebni senzori koji se mogu grubo podeliti na dva tipa: optičke senzore i mikrotalasne senzore. Optički senzori služe za posmatranje vidljivih vrsta svetlosti i infracrvene svetlosti (vidljiva svetlost / bliska infracrvena svetlost, toplotna infracrvena svetlost). Mikrotalasni senzori primaju mikrotalase koji su je duže talasne dužine od vidljive svetlosti i infracrvene svetlosti; na takva osmatranje ne utiče dan, noć ili vreme.

Tabela 14.1 Spektralni intervali koji se koriste za daljinsku menjenja⁸.

Opički intervali	Talasna dužina	
UV i vidljiva svetlost	0,30-0,70 μm	
Bliska infracrvena	0,70-3,00 μm	
srednja infracrvena	3,00-6,00 μm	
toplotna infracrvena	6,00-20,00 μm	
daleka infracrvena	Longer than 20,00 μm	

Mikrotalasni intervali	Frekvencija u GHz	Talasna dužina
P-band	0,31	100 – 30 cm
L-band	1 – 2	15 – 30 cm
S-band	2 – 4	7,5 – 15 cm
C-band	4 – 8	3,75 – 7,5 cm
X-band	8 – 12	3,8 – 2,5 cm
K-band	18 – 27	1,1 – 1,7 cm
Q-band	33 – 50	0,6 – 0,9 cm
V-band	40 – 75	0,4 – 0,75 cm
W-band	75 – 110	0,27 – 0,4 cm
KU	12 – 18	1,7 – 2,5 cm
KA	27 – 40	0,75 – 1,1 cm

Najvažnije veličine koje se mogu meriti za zemljište su: solarno zračenje, dnevni globalni albedo (deo sunčeve svetlosti koji se reflektuje sa zemlje), vegetacioni indeksi, LAI (indeks lisne površine), površinska temperatura zemljišta, vlaga u zemljištu, padavine, skladištenje vode u prirodnim rezervoarima, pokrivenost oblacima, požari i spaljene oblasti, snežni pokrivač u obe hemisfere, digitalne mape nadmorske visine površine ledenih ploča, evolucija glečera i pokrivenost zemljišta.

Još veće količine korisnih spektralnih podataka obezbedili su geolozi sofisticirani svemirski senzori sa unapređenom sposobnošću detekcije. Ova oprema nudi veoma privlačne geospatialne podatke, koji zahtevaju dodatna istraživanja, posebno u oblastima u kojima su rezultati merenja na zemlji retki ili uopšte ne postoje. Pošto kvalitet spektralnih informacija zavisi od karakteristika senzora, razvoj senzora je od ključne važnosti za tehnike daljinske detekcije.

U ovom kontekstu, tabela 14.1 pokazuje da je nova generacija satelitskih senzora (npr. MODIS na TERRA platformi, VEGETATION na SPOTu, SEVIRI na MSGu, AVHRR-3 na EPS / NOAAu i nedavno Sentinel 1+2) obezbedila korisnicima/korisničkoj zajednici unapređene podatke iz oblasti daljinske detekcije zahvaljujući poboljšanoj prostornoj, vremenskoj, spektralnoj i ugaonoj pretrazi radijacionih polja koja se emituju sa površine Zemlje. Vremenska rezolucija i

globalnu pokrivenost koje obezbeđuju novi sateliti/instrumenti, zajedno sa velikim brojem merenja u ugaonom i spektralnom domenu, otvorili su put širokom spektru novih primena, posebno u analizi površinskih procesa i interakcije između zemljine podloge i atmosfere.

Na primer, nekoliko vegetacionih indeksa, kao što su VCI, VHI i TCI, koriste se pojedinačno ili u kombinaciji da bi se ustanovilo postojanje sušnih uslova u poljoprivredi (Tabela 14.2).

Tabela 14.2 Klimatske i biofizičke varijable koje se ispituju satelitskim senzorima

Meteorološki elementi	Biofizične veličine
Površinska temperatura	NDVI (definisano ispod)
Padavine	SAVI (vegetacioni indeks)
Snežni pokrivač	LAI (indeks lisne površine)
Sunčevo zračenje	VCI (Indeks stanja vegetacije)
Albedo	VHI (Indeks zdravlja vegetacije)
Pokrivenost oblaka i druge osobine	TCI (Indeks temperature)
Synthetic Aperture Radar (SAR)	EVI (Pojačani indeks vegetacije)
produkti (padavine, vlažnost zemljišta, sneg)	Vlažnost zemljišta
Stabilnost atmosfere	Pokrivenost vegetacijom
Detekcija oluja	Pokrivenost zemlje
Koncentracija ozona	Evapotranspiracija
Vetar	Stepen dani
	Požari

Osim toga, pošto postoji nekoliko sistema za posmatranje koji koriste satelitska merenja, logičan sledeći korak je da se kombinuju najbolje karakteristike svakog od ovih pristupa u jedinstvenu zajedničku procenu. Proizvodi ovog tipa često se nazivaju: multi-senzor, mešanje ili fuzija više izvora.

14.2 Daljinska detekcija na polju fenologije i vegetacione dinamike

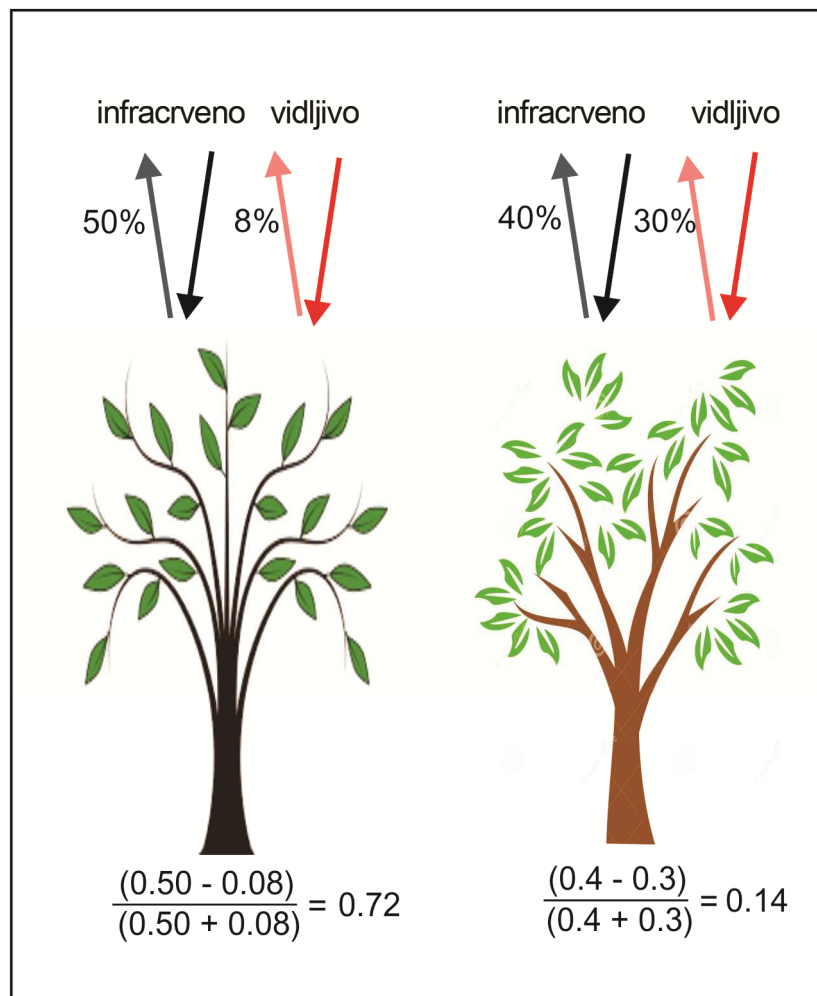
Najveće prednosti i koristi korišćenja satelitskih podataka su da oni kontinuirano pokrivaju velike delove zemlje. Vremenska serija podataka dobijenih daljinskom detekcijom predstavlja važan izvor informacija potrebnih za razumevanje dinamike zemljišnih pokrivača. Dinamika vegetacije se može definisati na osnovu nekoliko vremenskih skala. Tokom kraćeg vremenskog perioda, biljne zajednice imaju sezonsku fenologiju koja obično prati godišnje cikluse.

Od jedne godine do druge, fenološki markeri (npr. početak ozelenjavanja, dužine vegetacije) se mogu ponašati drugačije; ove promene se dešavaju pod uticajem kratkoročnih klimatskih fluktuacija (npr. temperature, padavina) i/ili antropogenog prisiljavanja (npr. eksploatacija podzemnih voda, urbanizacija) (Elmor

i sar., 2000). Tokom dužeg vremenskog perioda, godišnja fenologija se može promeniti kao rezultat klimatskih promena i velikog antropogenog poremećaja. Razlikovanje godišnjih, unutar-godišnjih i dugoročnih fenoloških obrazaca predstavlja važnu komponentu u praćenju i modeliranju globalnih ekosistema i ono može dovesti do boljeg razumevanja kako se i zašto zemljišni pokrivač menja tokom vremena. Najčešća mera i najkorišćeniji biofizički opis fotosintetičkog "zelenila" vegetativnog pokrivača zemljišta koja se koristi za utvrđivanje fenologije je normalizovani indeks vegetativnih razlika (NDVI) (npr. Leeuwen et al., 2006; Peters et al., 2002); detaljniji opis sledi u nastavku.

Normalizovana razlika indeksa vegetacije (NDVI). NDVI je indeks "zelenila" biljke koji se definiše kao odnos razlika između pojedinačnih vrednosti reflektanse/odbijanja blisko infracrvenog i crvenog zračenja i njihove sume (Slika R1a); piše se kao:

$$NDVI = (\text{blisko infracrveno} - \text{crveno}) / (\text{blisko infracrveno} + \text{crveno}) \quad (14.1)$$

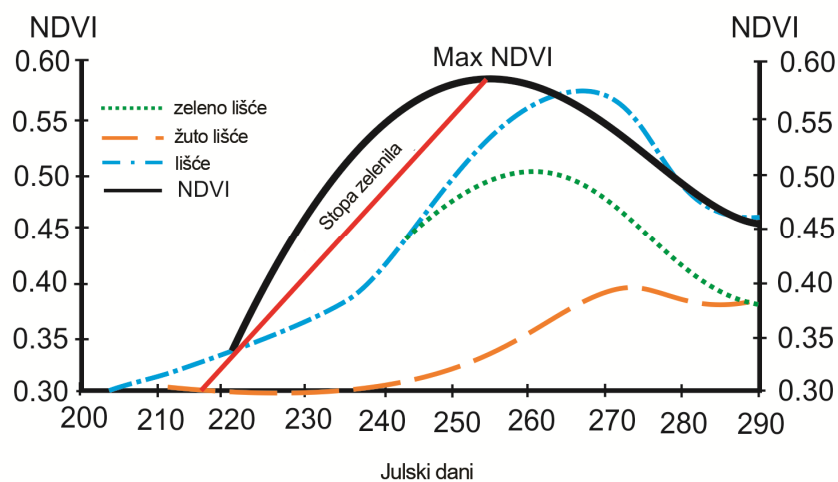


Slika 14.2 Šema NDVI detekcije

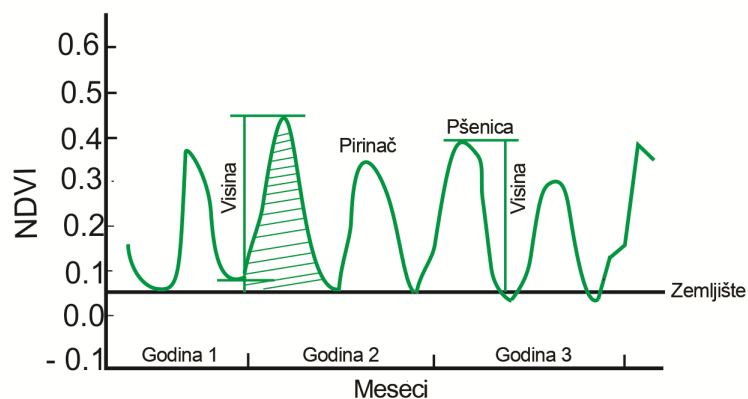
(source:https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php)

NDVI indeks se naziva normalizovanim zato što je podeljen sa sumom radijansi i na taj način nešto malo normalizovan zbog razlika u solarnim spektralnim iradijansama. Izračunavanje NDVI za određeni piksel daje broj koji se kreće od minusa jedan (-1) do plus jedan (+1). Negativne vrednosti se dobijaju ponekad, kada je crvena reflektansa veća od blisko infracrvene, što je slučaj kod nekih vrsta suvih zemljišta. Vrijednost NDVI je uglavnom određena razlikom između blisko infracrvenog odgovora – koji se povećava sa porastom vegetacije u ispitivanom lokalitetu - a crvenog odgovora - koji se smanjuje sa smanjenjem vegetacije.

Merenja na terenu su utvrdila da postoji odnos između zelene biomase i NDVI do određene vrednosti vegetacionog pokrivača, iznad koje NDVI ostane konstantan (to je nivo zasićenja) (Slike 14.2 i 14.3).



Slika 14.2 Razvoj NDVI za parcelu pod šećernom trskom u Maliju (prema Bartolom, 1987).



Slika 14.3 NDVI razvojna kriva za proizvodni sistem pšenice-pirinača u Pendžabu (Indija) (GVI podaci) (prema Malingreau, 1986).

Globalni NDVI podaci su bili mereni i prikupljeni od ranih 1980-ih putem satelita opremljenih naprednim radiometrom visoke rezolucije (eng. Advanced Very High Resolution Radiometer, AVHRR). Međutim, pun potencijal dugoročnih NDVI vremenskih serija često ugrožava loš kvalitet podataka uzrokovan problemima sa instrumentima, promenama ugla senzora, upadnim uglom sunca, atmosferskim (npr. oblaci i izmaglica) i zemljišnim faktorima (npr. snežni pokrivač) i starenjem satelitskih detektora. Ovi problemi uzrokuju odstupanje podataka (pogrešne, niske NDVI vrednosti u vremenskim serijama) ili nedostatak podataka što otežava identifikaciju fenoloških markera (Reed et al., 1994).

Kada govorimo o velikim razmerama, izuzetno je teško dobiti konzistentne rezultate fenoloških osmatranja vegetacionog pokrivača koji predstavljaju aktivnosti celokupnog ekosistema, a ne fenološka zapažanja na nivou biljne vrste. Da bi prevazišli ovu poteškoću, brojne studije su koristile rezultate visokofrekventnog snimanja zemaljske biosfere koje je preduzimala američka Nacionalna administracija za okeane i atmosferu (NOAA) koristeći napredni radiometar visoke rezolucije (AVHRR) za fenološku kvantifikaciju vegetacije u ekosistemu.

NDVI je vezan za nekoliko biofizičkih parametara uključujući gustinu hlorofila, procenat biljnog pokrivača, apsorbovano fotosintetički aktivno zračenje, indeks lisne površine i produktivnost (npr. Kogan i sar., 2003). U ranoj istoriji satelitskih fenoloških istraživanja, Džastis i sar. (1985) su koristili NDVI za kvalitativnu procenu globalne fenologije brojnih tipova biljnog pokrivača. Gauard i sar. (1985) su pokazali da je NDVI u saglasnosti sa sezonskim karakteristikama u kontinentalnom delu Sjedinjenih Država. Sateliti su se kasnije koristili da objasne fenologiju kao indikator promena biljnog pokrivača u Južnoj Americi i da utvrde fenološku dinamiku. Kvantitativno, korišćeni su različiti metodi za utvrđivanje datuma početka i završetka fenoloških faza na osnovu satelitskih podataka.

Senzori za vidljivu i skoro infracrvenu svetlost najčešće se koriste za određivanje i praćenje stvarnog stanja vegetacije. Najveća prednost i korist od upotrebe satelita je to što oni mogu pokrivati skoro celu površinu zemlje i atmosferu i što su opremljeni različitim tipovima senzora. Oni takođe posmatraju duge vremenske periode uz česta merenja. Drugo rešenje, koje se trenutno razvija, je korišćenje mikrotalasnih senzora. U nastavku su navedene najčešće korišćene serije podataka.

Satelitski senzori koji se koriste za fenološka proučavanja:

- AVHRR, prisutan od 1981.; (rezolucija 8-km) globalna pokrivenost, prisutan od 1989.; (rezolucija 1-km)
- SPOT Vegetation, prisutan od 1998.; rezolucija 1-km.
- MODIS, prisutan od 2000.; rezolucija 250m, 500m, 1-km.
- TM/ETM Landsat 1984.–2003. 16 dana, rezolucija 10–30 m
- SMMR podaci u periodu 1978.-1987., SSM/I podaci u periodu 1987.-2005.
- SENTINEL 1 and 2 products (prisutan od 2015.), visoka rezolucija (metara)

Sprovedena su brojna istraživanja kako bi se otkrili i procenili vegetacioni fenološki analozi na kontinentalnom ili regionalnom nivou. Oni uključuju:

- datum početka vegetacione sezone (SGS)
- datum završetka vegetacione sezone (EGS)
- dužinu vegetacione sezone (LGS)

Analiza vremenske varijabilnosti indeksa vegetacije omogućava utvrđivanje metrika koje se koriste za karakterizaciju fenološkog ciklusa i njegovih pojedinačnih komponenti (Slika 14.2).

Tabela 14.3 Indeksi dobijeni iz vremenske varijacije NDVI i njihovi odnosi sa vegetacionim ciklusom (Izvor: Pettorelli et al., 2005).

Indeks	Tip merenja	Definicija	Biološko značenje	Komentari
Integrirani NDVI	Produktivnost i biomasa	Suma pozitivnih vrednosti NDVI u određenom periodu	Godišnja produkcija biljne mase	Nije relevantan kada je kvalitet bitan koliko i kvantitet
Srednji godišnji NDVI	Produktivnost i biomasa	Maksimalna vrednost NDVI tokom godine	Godišnja produkcija biljne mase	Osetljivo na lažne maksimalne vrednosti i šum
Relativni godišnji raspon NDVI	Godišnja varijabilnost produkcije	(Max NDVI - Min NDVI)/INDVI Nagib između dve vrednosti NDVI u dva dana, ili nagib fitovane funkcije u NDVI vremensku seriju	Omogućava poređenje po godinama	Osetljiv na raspon
Stopa rasta ili pada NDVI	Fenološke mere	Datumi određeni iz fitovane funkcije ili pomerajućeg srednjaka	Face ozelenjavanja u prolece i odbacivanja lišća u jesen	Osetljivo na lažne maksimalne vrednosti i šum
Datumi početka i kraja vegetacionog perioda	Fenološke mere	Broj dana gde	Početak ozelenjavanja	Tačnost je vezana za vremensku skalu, s tim da podati visoke rezolucije vode ka lošijim rezultatima
Dužina	Fenološke	Broj dana gde	U sezonski	Osetljivo na

"zelenog" perioda	mere	je NDVI=0; broj dana između procenjenog ozelenjavanja i kraja veg. perioda	varijabilnim sredinama broja dana kad je hrana dostupna	lažne maksimalne vrednosti i šum
Vreme godišnjeg maksimuma NDVI	Fenološke mere	Dan max NDVI u toku godine	Vremen maksimalne vegetacije	Osetljivo na lažne maksimalne vrednosti i šum

Najčešće korišćeni indeksi dobijeni na osnovu vremenskih krivih NDVI-a su navedeni u Tabeli 14.3. Prikazana su i njihova biološka značenja i utvrđena ograničenja.

14.2.1 Ostali vegetacioni indeksi

NVDI je vegetacioni indeks koji je pokazao svoju korisnost u mnogim ekološkim i agronomskim studijama. Međutim, u nekim situacijama, drugi vegetacioni pokazatelji mogu biti prikladniji.

Validnost veze između NVDI i vegetacije može biti dovedena u pitanje u područjima sa slabom vegetacijom (na primjer, aridna do poluaridna područja u Australiji) ili gustom vegetacijom (npr. amazonske šume). U područjima sa slabom vegetacijom, gde je indeks lisne površine (LAI) manji od 3, na vrednosti NVDI uglavnom utiče refleksija zemljišta, dok područjima sa gustom vegetacijom (tj. LAI veći od 6) odnos između NVDI i NIR postaje zasićen (Asrar i sar., 1984; Ksie i sar., 2008). Zbog toga, za područja sa slabom vegetacijom, *indeks vegetacije prilagođen zemljištu (SAVI)* preporučuje se umesto NVDI. Međutim, SAVI *zahteva lokalnu kalibraciju* jer je teško predvidjeti kako se efekti zemljišta manifestuju kada piksel predstavlja veliko područje: u slučaju agregatnih zemljišta i različitih tipova vegetacije, svaki piksel, u principu, zahteva odvojenu kalibraciju.

Još jedan indeks se pojavio sa uvođenjem senzora MODIS, a to je poboljšani indeks vegetacije (EVI) (Huete et al., 2002). Ovaj indeks pruža dodatne informacije o prostornim i vremenskim varijacijama vegetacije, dok istovremeno minimizira mnoge probleme vezane za zagađenje koji su prisutni kod NDVI, kao što su problemi povezani sa pozadinom vegetacionog pokrivača i rezidualnim uticajima aerosola. Dok je NDVI osetljiv na hlorofil i uglavnom reaguje na RED varijacije, EVI je više osjetljiv prema NIR i varijacijama strukture vegetacionog pokrivača, uključujući LAI, tip i arhitekturu pokrivača. Ovaj indeks je ustvari trebao da u potpunosti iskoristi najsavremenije mogućnosti merenja koje su nudili MODIS i drugi sofisticirani senzori.

Pored toga, EVI ne postaje zasićen tako lako kao što je bio slučaj sa NDVI kada je korišćen za pregled kišnih šuma i drugih površina na zemlji sa velikim količinama zelenog materijala. Međutim, EVI je bio razvijen na osnovu podataka koje je obezbedio MODIS, tako da su ti podaci dostupni samo od 2000. godine pa nadalje. Dostupni indeksi vezani za fenološki ciklus, a zasnovani na MODIS-u, prikazani su u Tabeli 14.4.

Tabela 14.4: MODIS podaci koji mogu biti od korisni za fenološka proučavanja.

MODIS produkti	Spatial resolution	Description
MOD09GQK	250 m	Dnevna refleksija površine MODIS traka 1 (620-670 nm) i 2 (841-876 nm).
MOD13Q1 NDVI	250 m	NDVI izračunat iz MOD09GQK sačinjen od podataka iz 16 dana
MOD13Q1 EVI	250 m	Enhanced EVI izračunat iz MOD09GQK sačinjen od podataka iz 16 dana.
MOD15A2 LAI	1000 m	LAI (jednostrani) izračunat iz refleksivnosti tla rezolucije 1 km definisan preko radiacionog transfera ili empirijski, osmodnevno.
MOD15A2 FPAR	1000 m	Fracija Fotosintetski aktivnog zračenja (FFAZ) apsorbovanog od strane vegetacije izračunato na rezoluciji od 1 km površinske refleksije surface reflectance preko radiacionog transfera ili empirijski, osmodnevno.
MOD43B4	1000 m	Nadir BRDF-prilagodjen refleksivnost sačinjen od podataka iz 16 dana.

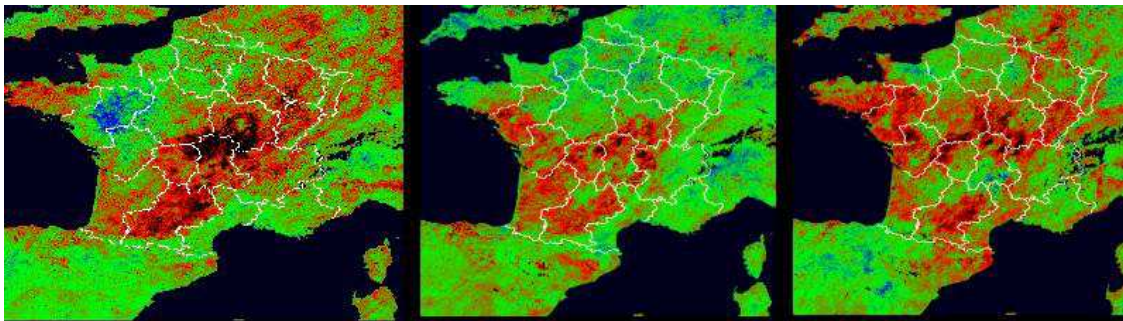
NDVI kompleti podataka su uglavnom dobro dokumentovani, kvalitetni izvori podataka koji su prethodno obrađeni da bi umanjili mnogi od navedenih problema.

Međutim, neka pozadinska buka je i dalje prisutna u skupovima podataka koji se mogu preuzeti, što znači da NDVI vremenske serije treba ujednačiti pre nego što se koriste. Ova pozadinska buka se uglavnom javlja zbog oblaka, vode, snega ili senki, tj. ostataka koji su izvor grešaka koje imaju tendenciju da smanjuju vrednost NDVI podataka.

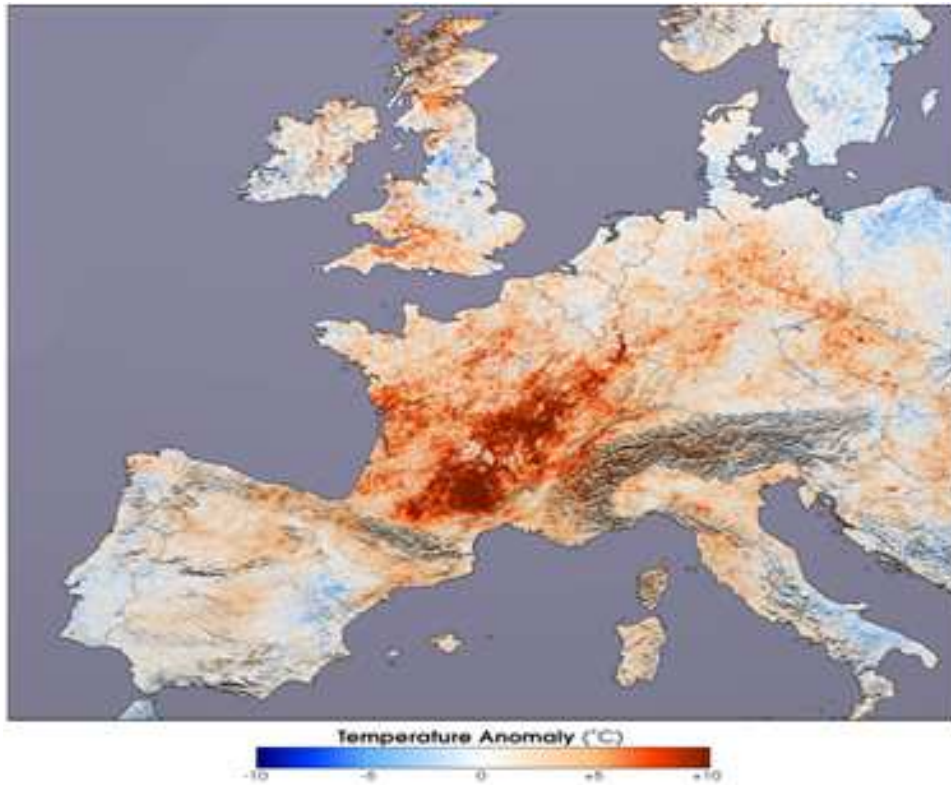
Satelitska fenologija - prednosti i ograničenja:

- sezonska i među-godišnja varijabilnost
- globalno praćenje više od 25 godina
- prostorno definisan uticaj klimatskih promjena
- nema podataka o atmosferskim smetnjama
- dijagnostika: nema informacija o budućnosti

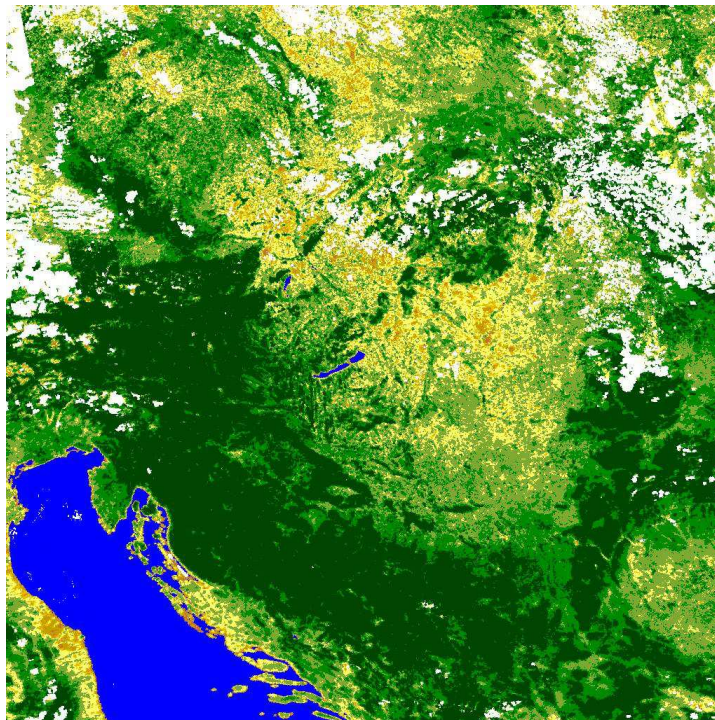
Praktični primeri iz prošlih posmatranja i događaja (Slike 14.4 - 14.6).



Slika 14.4 Letnje suše 2003., 2005. i 2006. godine u Francuskoj. NDVI odstupanja (avgust, srednja vrednost 2002-2004) na osnovu podataka VEGETATION/SPOT 5 (podaci CNES-a koje obrađuje O. Hagolle, u: Nejedlik and Orlandini, 2008).



Slika 14.5 Toplotni talas 2003. godine na evropskom nivou (juli 2003). Temperaturna karta zasnovana na podacima MODIS-a (izvor: NASA zemaljska opservatorija – VIDLJIVA ZEMLJA).



Slika 14.6 Atmosferski korigovana NDVI mapa Mađarske. NOAA/AVHRR kombinovana 10-dnevna slika za period od 1. do 10. septembra 1997 (izvor: Nejedlik and Orlandini, 2008).

Praćenje na osnovu NDVI podataka koristi danas FAO za predviđanje loših prinosa u raznim delovima sveta kao i za rano upozoravanje na krize zbog nestašice hrane.

14.3 Sateliti sa mikrotalasnom opremom za procenu vlažnosti zemljišta

Druge važne i komplementarne informacije za ovu aplikaciju obezbeđuje satelitsko praćenje vlage zemljišta radarskim satelitima opremljenim sa mikrotalasnim senzorima.

Tokom protekle dve decenije, mikrotalasno daljinsko osmatranje pokazalo se uspješnim za procenu dielektričnih svojstava zemljišta na osnovu emisije zemljane površine, što je omogućilo procenjivanje vlažnosti zemljišta. Ima nekoliko tipova satelitske opreme za merenje vlagu u zemljištu koji koriste mikrotalasne, optičke ili termičke senzore (Brocca et al. 2017).

U mikrotalasnom opsegu, niske frekvencije (X, C i L opsezi) obično su se koristile da bi se utvrdio sadržaj vlage u površinskom sloju golog ili vegetacijom prekrivenog zemljišta. Senzori C i X opsega (npr., AMSR-E, ASCAT, RADARSAT, VindSAT) ugrađeni u različite satelite pokazali su obećavajuće rezultate u globalnoj proceni sadržaja vode u zemljištu. Međutim, prostorna rezolucija trenutno dostupne satelitske opreme je i dalje previše gruba (25 km) i ograničava praktičnu primenu te opreme u poljoprivredne svrhe. Takođe treba imati na umu da postoji ograničenje za daljinsko utvrđivanje vlažnosti zemljišta a to je da dobijene informacije važe za sloj zemljišta do dubine od samo nekoliko centimetara ispod površine.

Iako i dalje postoje nejasnoće u pogledu dobijanja podataka, potvrđivanja njihove validacije i odstupanja zbog klimatskih specifičnosti, mikrotalasno daljinsko merenje vlažnosti zemljišta se poboljšalo tokom proteklih nekoliko godina (Mohanti i sar., 2017). Dok je ranije voda dostupna biljkama procenjivana isključivo in situ merenjem ili preko simulacionih modela, u posljednjih nekoliko godina daljinska detekcija je igrala sve važniju ulogu u obezbeđivanju podataka o površinskim uslovima zemljišta (Vagner et al., 2013).

Sateliti i radari se primenjuju u poljoprivredi na nekoliko načina:

- (1) upravljanje poljoprivrednim vodama (planiranje navodnjavanja) uključivanjem daljinski utvrđenog statusa vlage kao graničnog stanja za hidrologiju zemljišta i modele gajenja useva na raznim prostorno-vremenskim skalama (npr. Thaler i sar., 2018);
- (2) prognoziranje vremena i klime uključivanjem regionalnih i globalnih podataka o vlažnosti zemljišta u numeričke vremenske i klimatske modele;

(3) procena stanja vode u zemljištu (evapotranspiracija, obnavljanje podzemnih voda, površinsko oticanje) povezivanjem vrednosti protoka sa sadržajem vode na površini zemljišta i u zoni korena, što poboljšava prognoziranje suša ili poplava, i
(4) radarski senzori mogu obezbediti tačan pregled površina koje se obrađuju, pri čemu se pravi razlika među vrstama kultura i određuje njihovo zdravstveno stanje i zrelost.

Dalji primeri i informacije o praćenju vlažnosti zemljišta pomoću mikrotalasne opreme i aktuelnim globalnim mapama zemljišne vlage mogu se naći na: <http://rs.geo.tuvien.ac.at/data-viewers/>

14.4 Primeri primene daljinskog merenja u poljoprivrednoj praksi

Upotreba podataka dobijenih daljinskim detektovanjem u poljoprivrednim aplikacijama se stalno povećava. Podaci se prikupljaju putem satelita, bespilotnih letilica ili traktora opremljenih senzorima, i oni se sve više koriste za precizne poljoprivredne tehnike. U nastavku su kratki opisi samo nekoliko primera takvih aplikacija.

Satelitske aplikacije. Satelitski senzori pokrivaju velikih površina zemljišta, a posebno su korisni za praćenje korišćenja i mapiranje poljoprivrednog zemljišta, utvrđivanje veličine polja i stanja useva, izračunavanje gubitaka kao posledice loših vremenskih uslova i za procenu prinosa. U Evropi, na primer, poljoprivrednici prijavljuju faktičku upotrebu zemljišta kako bi dobili subvencije. Korišćenje zemljište kontroliše se putem satelita, a poljoprivrednici imaju web pristup aerofotografijama visoke rezolucije poreklom od satelitskih snimaka njihove farme i polja.

NDVI podaci koriste se u okviru evropskog sistema prognoziranja prinosa useva MARS (Monitoring Agricultural Resources System; <https://ec.europa.eu/jrc/en/mars>) koji se kombinuje sa modeliranjem useva i statističkom obradom podataka. Satelitski podaci kao što je NDVI takođe se koriste u okviru sistema za praćenje poljoprivredne suše (vidi Sliku R5 i linkove za praćenje suše o čemu se govori u drugim poglavljima), za posmatranje fenologije vegetacije ili useva (Slika 14.6) i za merenje temperature površine zemljišta (Slika 14.5).

Jedan od najznačajnijih događaja u poljoprivredi poslednjih godina bio je rast pametne poljoprivrede (eng. smart farming). Ona obuhvata praćenje, merenje i reagovanje na varijabilnost polja i useva sa ciljem optimizacije vraćanja uložениh sredstava uz istovremeno očuvanje resursa. Kombinovanje sistema zasnovanih na svemirskoj tehnologiji i zemaljskih resursa za potrebe pametne poljoprivrede ima veliki potencijal u pogledu optimizacije prinosa, upravljanja navodnjavanjem i regulativnog usaglašavanja (<https://business.esa.int/projects/showcases/smart-farming-satellites>).

Na primer, pošto su satelitski podaci visoke rezolucije dostupni, to omogućava da se operativno sprovode agrotehničke mere kao što je planiranje navodnjavanja useva (na osnovu podataka sa satelita MODIS i Sentinel 2) (Vuolo et al., 2015).

Međutim, mnoge potencijalne aplikacije su većinom nedostupne za praktičnu poljoprivredu zbog prostorne ili vremenske rezolucije satelitskih podataka daljinskog merenja i nemogućnošću da se direktno predviđa razvoj događaja kako bi se stvarno donosile odluke o upravljanju usevima na nivou farme (npr., Habudan i sar., 2004). Novi senzori visoke rezolucije (kao što su sateliti SENTINEL) ili metode (npr. Haboudane et al., 2004) mogu delimično prevazići takva ograničenja, ali još uvek ostoju problemi u pogledu efikasnog upravljanja podacima i skladištenja podataka, kasnijeg pronalaženja podataka i troškova posebnih usluga. Zbog toga se danas mnoge aplikacije za donošenje odluka u realnom vremenu sve više oslanjaju na tehnologije precizne poljoprivredne, gde se podaci dobijaju u realnom vremenu i vrlo su fleksibilni u pogledu promene ciljnog područja (vidi dole).

Aplikacije za preciznu poljoprivredu (bespilotne letilice, traktori, itd. kao nosači senzora). Senzori za direktnu upotrebu su ručni aparati, ili montirani na traktore i kombajne, ili se postavljaju u polju. Njihova uobičajena primena uključuje utvrđivanje nivoa hraniva radi primene određenih hemikalija ili hranljivih materija i merenje atmosferskih padavina ili sadržaja vlage u zemljištu. Poljoprivrednici pronalaze najkorisnije informacije bliže vidljivom spektru, jer se boja može koristiti za merenje nivoa hlorofila biljke, što omogućava uvid u zdravstveno stanje i dinamiku rasta biljaka. Jednostavni crveno-zeleno-plavi senzori mogu pružiti informacije o boji, ali dostupni su i sofisticiraniji senzori koji pokrivaju infracrvene i kratke infracrvene opsege spektra (<https://agfundernews.com/remote-sensing-powers-precision-agriculture.html>).

Konvencionalne aplikacije su zasnovane na vidljivim i blisko infracrvenim delovima spektra. Sve više se koriste elektromagnetne talasne dužine u rasponu od ultraljubičaste do mikrotalasne frekvencije, što omogućava napredne aplikacije kao što su utvrđivanje daljine pomoću svetlosti (LIDAR), fluorescentna spektroskopija i termička spektroskopija. Takođe, spektralni opseg je smanjen, što omogućava hiperspektralnu daljinsku detekciju, a to dozvoljava poboljšanu analizu specifičnih jedinjenja, molekularnih interakcija, stresa kod useva i biofizičkih i biohemijskih karakteristika useva. Hiperspektralna detekcija omogućava istovremeno dobijanje podataka o stotinama spektralnih opsega. Sada postoje veliki broj spektralnih indeksa za različite primene u poljoprivredi (Mulla, 2013).

Međutim, što je senzor sofisticiraniji, to mu je cena veća. Poljoprivrednici uvek moraju meriti potencijalno povećanje prinosa u odnosu na kapitalno ulaganje u svaku platformu za daljinsku detekciju. Tehnologija daljinske detekcije se razvija brzo. Poljoprivrednici su često primorani da koriste metodu pokušaja i pogreške da bi utvrdili koji će proizvod iz radnje biti ekonomski koristan u praksi.

Poljoprivredni dronovi su visokotehnološki sistemi koji mogu da rade stvari koje farmer ne može: skenirati zdravstveno stanje zemljišta, kontrolisati zdravstveno stanje useva, primeniti đubriva, navodnjavati polja, pa čak i pratiti vremenske prilike i procenjivati prinose. Nakon sakupljanja i analize podataka, ovi sistemi pružaju podatke za brzo delovanje. Ukratko, dronovi mogu mehanizovati svaki korak u poljoprivredi, eliminišući troškove ljudske greške i omogućavajući poljoprivrednicima da spremno reaguju na pretnje (kao što su suša i štetočine). Na kraju, bespilotne

letelice pomažu poljoprivrednicima da maksimiziraju svoje prihode i povrate uložene investicije (<http://www.businessinsider.de/commercial-drone-uses-agriculture-business-military-2017-8?r=US&IR=T>).

Dronovi takođe počinju da se koriste za primenu hraniva i pesticida na biljke, umjesto da se koriste radnici koji idu peške ili traktorom. Zapašivanje iz vazduha je mnogo brže i jeftinije od korištenja tradicionalnih metoda, kao što su traktori. Dronovi za zapašivanje useva se koriste u Japanu već duže od dve decenije rade i konačno počinju da se viđaju u preciznoj poljoprivredi širom sveta (<http://www.droneomega.com/drones-in-agriculture/>).

Trenutno, senzori koji se najčešće koriste za praktične primene na bespilotnim letelicama su:

- RGB (crvena, zelena, plava): za brojanje biljaka, modeliranje nadmorske visine i vizuelni pregled; oni takođe mogu utvrditi područje i obim oštećenja useva od štetočina, grada, mraza, itd.;
- NIR (blisko infra-crvena): za upravljanje vodama, analizu erozije, brojanje biljaka, analizu vlage u zemljištu i zdravlja useva;
- RE (crvena ivica): za brojanje biljaka, upravljanje vodom (otkrivanje vodnog stresa) i zdravstveno stanje useva (npr., stanje azota);
- Thermal infrared: za planiranje navodnjavanja, fiziologiju biljaka i prognozu prinosa; oni proizvode indekse stresa visoke rezolucije, itd.

Numerički primeri

U ovom poglavlju možete pronaći numeričke primene vezane za prvih sedam poglavlja knjige koja se bave teorijskom osnovom agrometeorologije i agroklimatologije. Pored ovog teksta primeri u Excell-u mogu se prevući sa internet stranice <http://serbiaforexcell.com/education/book/>

Tabela E1. SI prefiksi i simboli koji se koriste za množenje ili deljenje prilikom prikazivanja jedinica.

Faktor		Prefiks	Oznaka
1 000 000 000 000 000 000	10^{18}	Exa	E
1 000 000 000 000 000	10^{15}	Peta	P
1 000 000 000 000	10^{12}	Tera	T
1 000 000 000	10^9	Giga	G
1 000 000	10^6	Mega	M
1 000	10^3	Kilo	k
100	10^2	Hecto	h
10	10^1	Deka	da
0.1	10^{-1}	Deci	d
0.01	10^{-2}	Centi	c
0.001	10^{-3}	Mili	m
0.000 001	10^{-6}	Micro	μ
0.000 000 001	10^{-9}	Nano	n
0.000 000 000 001	10^{-12}	Pico	p
0.000 000 000 000 001	10^{-15}	Femto	f
0.000 000 000 000 000 001	10^{-18}	atto	a

E1 Poreklo i sastav atmosfere

E1.1 Jedinice

Pritisak. U SI sistemu, pritisak ima jedinicu paskal (Pa). Pritisak od jednog paskala javlja se kada sila od jednog njutna (N) deluje po jedinici površine od jednog metra (m^2). Definicija i opis atmosferskog pritiska nalazi se u glavi 1. Za merenje atmosferskog pritiska koriste se baromeri različitih konstrukcija. Prvi barometar je barometar sa živom koji pokazuje da standardni atmosferski pritisak odgovara visini stuba žive u barometru od 760 mm. Ostale jedinice koje se koriste za kvantifikaciju pritiska su bari (b) ili češće milibari (mb), atmosfere (atm), milimetri živinog stuba (mmHg). Standardni atmosferski pritisak definisan u različitim jedinicama iznosi

$$760 \text{ mmHg} = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 1013.25 \text{ mb}$$

Primer:

Ako je parcijalni pritisak CO₂ unutar tkiva lista 20 Pa, koliko je to milibara?

$$20 \text{ Pa} = 20 \times 10^{-2} \text{ hPa} = 0.2 \text{ mb}$$

Koncentracija. Koncentracija se može opisati na različite načine. Najčešće se upotrebljama jedinica ppm (eng. parts per million) koja predstavlja milioniti deo jedne celine ili ppb (eng. parts per billion) bilioniti deo celine (npr. zapremina jednog gasa u 10⁶ ili 10⁹ zapremini vazduha). Ako se prebacimo u SI sistem odnos zapremina je jednak odnosu količina supstance u molovima (μmol mol⁻¹ ili nmol mol⁻¹).

$$1 \text{ ppm} = \frac{\text{gas volume}}{10^6 \text{ air volume}} = \frac{\text{mol}}{\text{mol}} \times 10^{-6} \quad (\text{E1.1})$$

$$1 \text{ ppb} = \frac{\text{gas volume}}{10^9 \text{ air volume}} = \frac{\text{mol}}{\text{mol}} \times 10^{-9} \quad (\text{E1.2})$$

Koncentracija nekog gasa se može izraziti preko parcijalnih pritisaka. Daltonov zakon kaže da je ukupam pritisak smeše gasova jednak sumi pririsaka koji bi vladao u posmatranoj zapremini kada bi nju zauzimaao samo jedana gasna komponenta smeše, na jednoj temperaturi.

$$p = \sum_{i=1}^n p_i, \quad (\text{E1.3})$$

gde su p_1, p_2, \dots, p_n parcijalni pritisci svake gase komponente smeše. Prema tome parcijalni pritisak sve pojedinačne komponente može se izračunati kao $p_i = n_i \cdot p$, gde je n_i količina supstance u molima ite komponente smeše n gasova.

Primer:

Ako je koncentracija CO₂ u vazuhu koji zauzima biljni sklop 380 ppm, koliki je parcijalni pritisak (p_{CO_2}) ovog gasa ako je pritisak okoline standardni atmosferski pritisak.

$$C_{\text{CO}_2} = 380 \text{ ppm} = 380 \times 10^{-6} \text{ mol mol}^{-1}, \text{ if } p = 101325 \text{ Pa, then for CO}_2, \\ p_{\text{CO}_2} = 380 \times 10^{-6} \cdot 101325 \text{ Pa} = 38.5 \text{ Pa} = 0.385 \text{ mb}, 0.289 \text{ mmHg}$$

Fotosinteza. Modeli za procenu intenziteta fotosinteze mogu biti različite kompleksnosti. Najjednostavniji empirijski modeli razvijeni su u okviru prvih modela biljne proizvodnje (Monteith, 1977), a vremenom su napredovali do biohemijskih procesnih modela (Farquhar et al. 1980). U osnovi, proces fotosinteze može se opisati preko modela razmene gasova kada intenzitet fotosinteze zavisi samo od intenziteta transpiracije na nivou lista (Bierhuizen and Slatyer, 1965)

$$\frac{A_{LAI}}{E_{LAI}} = \frac{k_1}{VPD_{LAI}} \quad (E1.4)$$

gde su A_{LAI} neto asimilacija (usvajanje) CO_2 po jedinici lisne površine, E_{LAI} intenzitet isparavanja po jedinici lisne površine, k_1 konstanta izražena za posmatranu biljku i VPD_{LAI} deficit zasićenosti vlagom između vazduha biljnog sklopa i vazduha u listu. Kada su stome otvorene procesi asimilacije CO_2 i transpiracije odvijaju se simultano i njihov odnos je najčešće korišćeni parametar u modeliranju fotosinteze.

Autori jednostavnih modela, kao što je Montit (Monteith), iskoristili su odnos asimilacije i transpiracije na jednom listu i samo preko koeficijenta biljke k_c prešli sa računanja intenziteta fotosinteze jednog lista na intenzitet fotosinteze cele biljke

$$\frac{B_M}{T_M} = \frac{k_L}{VPD}, \quad (E1.5)$$

gde je B_M produkcija biomase (kg), T_M je transpiracija cele biljke izražena u masi vode (kg), k_L konstanta specifična za posmatranu biljku ili usev (Pa) and VPD deficit vodene pare (zamena VPD_{LAI} sa VPD može biti urađena samo ako je temperatura okolnog vazduha ista kao i temperatura lista). Odnos produkcije biomase i intenziteta transpiracije naziva se i efikasnost transpiracije i predstavlja količinu generisane biomase po jedinici transpirisane vode. Koeficijent k_L se najčešće dobija is odnosa koncentracija CO_2 izvan i unutar lista (biljke).

Primer:

Ako efikasnost transpiracije pšenice iznosi 4.93 g kg^{-1} , pritisak vodene pare 10 mb, a temperatura vazduha $20 \text{ }^\circ\text{C}$, izračunati koeficijent k_L za posmatranu kulturu.

Prvo moramo da izračunamo VPD , koji predstavlja razliku između pritiska vodene pare e i saturacionog pritiska vodene pare (e_s) na datoj temperaturi vazduha. Da bi izrazili e_s pogledajte primer u E4 poglavlju ove glave. Ovde ćemo koristiti već izračunate vrednosti

$$VPD = e_s - e = 23.29 - 10 = 13.29 \text{ hPa} = 1329 \text{ Pa}.$$

$$k_L = VPD \frac{B_M}{T_M} = 1329 \cdot 4.93 \times 10^{-3} = 6.551 \text{ Pa}$$

E2 Energetski bilans atmosfere

E2.1 Jedinice

Tabela E2.1 Faktori konverzije energije u džulima (J) koju primi jedinična površina (m) u jedinici vremena (s).

	MJ m ⁻² day ⁻¹	J cm ⁻² day ⁻¹	cal cm ⁻² day ⁻¹	W m ⁻²
1 MJ m ⁻² day ⁻¹	1	100	23.9	11.6
1 cal cm ⁻² day ⁻¹	4.1868 10 ⁻²	4.1868	1	0.485
1 W m ⁻²	0.0864	8.64	2.06	1

Najčešće intenzitet zračenja izvora je izražen u W m⁻². Međutim, u slučaju računanja intenziteta fotosinteze koji direktno zavisi od intenziteta zračenja, koristi se jedinica izražena iz energije jednog kvanta quanta mol m⁻² s⁻¹ koja se zove gustina fluksa fotona (eng. photosynthetic photon flux density, PPFD). Konverzije između ove dve jedinice započinje izražavanjem energije jednog fotona određene talasne dužine (E2.1)

$$E = 6.6262 \cdot 10^{-34} \frac{2.998 \cdot 10^8}{\lambda} \quad (\text{E2.1})$$

Iz jednačine E2.1 može se zaključiti da fotoni sa nižom talasnom dužinom poseduju veću energiju. Ako se talasna dužina nalazi u spektru fotosintetski aktivnog zračenja (FAZ), na primer 550 nm, tada će energija svakog fotona, ili kvanta, biti 3.61395×10^{-19} J. Ako je intenzitet zračenja $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, to znači da $1500 \mu\text{mol}$ na talasnoj dužini od 550 nm dolazi do 1 m^2 površine u svakoj sekundi. Množenjem tog broja sa Avogadrovim brojem (6.022×10^{23} kvanata mol⁻¹), dobija se broj kvanata m⁻² s⁻¹, i daljim množenjem sa već izračunatom energijom jednog kvanta dobija se intenzitet zračenja u J s⁻¹ m⁻² što je jednako W m⁻². Prema tome, faktor konverzije se najčešće prikazuje za srednje vrednosti talasnih dužina FAZ spektra, ne za sve talasne dužine između 400 i 700 nm (Campbell and Norman, 1998). U literaturi se najčešće sreće sledeća konverzija

$$1 \text{ W m}^{-2} \approx 4.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \quad (\text{E2.2})$$

Ako je intenzitet zračenja 450 W m^{-2} tada je PPFD

$$\text{PPFD} = 450 \text{ J m}^{-2} \text{s}^{-1} \cdot 4.6 \cdot 10^{-6} \text{ mol J}^{-1} = 2070 \cdot 10^{-6} \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$$

- Ostale konverzije:

$$MJ m^{-2} day^{-1} = W m^{-2} \cdot 3600 s h^{-1} \cdot 24 h day^{-1} \cdot 10^{-6} MJ W^{-1} = 0.0864 \cdot W m^{-2}$$

$$mol m^{-2} day^{-1} = \mu mol m^{-2} s^{-1} 3600 s h^{-1} \cdot 24 h day^{-1} \cdot 10^{-6} mol \mu mol^{-1} = 0.0864 \times \mu mol m^{-2} s^{-1}$$

E2.1 Prenos izmerenog intenziteta zračenja ($W m^{-2}$) u dnevni energetski bilans

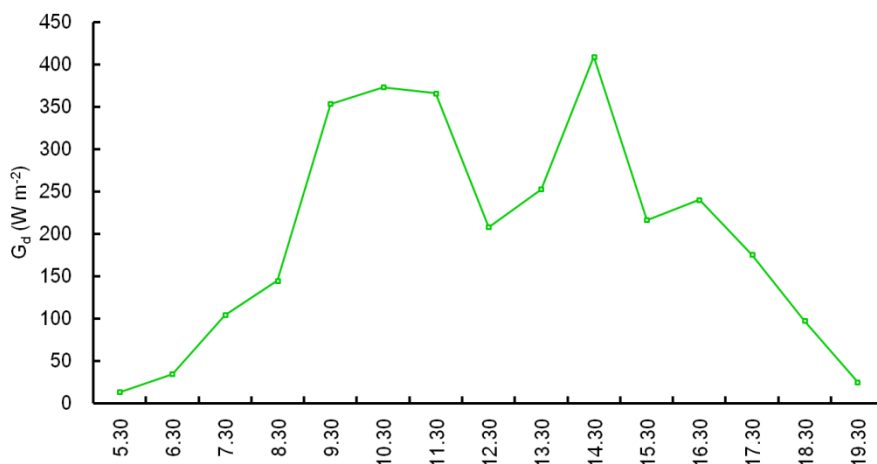
Metod1. Dnevna suma globalnog zračenja može se izračunati preko integrala funkcije koja predstavlja satne izmerene vrednosti intenziteta globalnog zračenja. Za računanje integrala najčešće se koristi trapezna formula numerične integracije

$$G_d = h \left(\frac{G_0 + G_N}{2} + \sum_{i=1}^{N-1} G_i \right), \quad (E2.3)$$

gde je h vremenski korak između dva merenja izražen u sekundama (ako su merenja izvršena na svakih sat vremena $h=3600s$), N ukupan broj merenja, G_0 i G_N su izmerene vrednosti u prvom i poslenjem satu merenja, redom.

Primer:

Merenje globalnog zračenja piranometrima izvršeno je na lokaciji Prospect Hill Tract, u harvardskoj šumi ($42^{\circ}32'N$, $72^{\circ}10'W$), Ujedinjene Države 26. juna 2006. godine (Fitzjarrald and Sakai, 2009). Izračunati sumu globalnog zračenja iz vrednosti datih u tabeli.



Slika E2.1 Dnevni hod globalnog zračenja.

Vreme														
5:3	6:3	7:30	8:30	9:30	10:3	11:3	12:3	13:3	14:3	15:3	16:3	17:3	18:3	19:3
0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$G_d (W m^{-2})$														
13.4	34.6	104.1	144.8	353.5	372.9	365.8	207.8	252.8	409.1	216.1	240.2	175.3	97.5	25.2

$$G_d = 3600 \left(\frac{13.4 + 25.2}{2} + (34.6 + 104.1 + 144.8 + 353.5 + 372.9 + 365.8 + 207.8 + 252.8 + 409.1 + 216.1 + 240.2 + 175.3 + 97.5) \right) = 1077.78 \times 10^4$$

Metod 2. Dnevna suma globalnog zračenja (G_d , MJ m⁻² day⁻¹) može se izračunati i preko empirijskih formula. Jedna od njih je Angstrom-Preskotova formula (Ångstrom-PreScott), u koja uzima u obzir zračenje koje dolazi na gornju granicu atmosfere (G_a , MJ m⁻² day⁻¹) i relativno trajanje direktnog sunčevog zračenja ($S_a \cdot S_p^{-1}$)

$$G_d = \left(a + b \frac{S_a}{S_p} \right) G_a, \quad (\text{E2.4})$$

gde je S_a stvarno trajanje direktnog sunčevog zračenja (sati), S_p je potencijalna (maksimalna) dužina trajanja direktnog sunčevog zračenja (sati). Koeficijenti a i b su empirijski i predstavljaju odnos zračenja koje stigne do površine po oblačnom danu i zračenja koje dospe na gornju granicu atmosfere. Vrednosti koeficijenata se menjaju u odnosu na geografsku širinu. Prikazani metod se najčešće koristi ukoliko direktna merenja nisu dostupna. Ukoliko nedostaju i koeficijenti vrednosti od $a = 0.25$ i $b = 0.5$ se mogu koristiti. Međutim, s obzirom da je ovaj metod veoma prisutan u praksi koeficijenti se često mogu pronaći u literaturi.

Metod 3. The Koluson (*Coulson*) metod je dodatni metod za procenu dnevne sume globalnog zračenja (G_d , MJ m⁻² day⁻¹). Ovaj metod je baziran na proceni sume globalnog zračenja koje stigne do tla po bezoblačnom danu (G_{d0} , MJ m⁻² day⁻¹), koja se redukuje dnevnom pojavom oblaka (n) i empirijskom konstantom ξ (Novi Sad, 45°15'18", 19°50'42", $\xi = 1.89$, Mihailović, 1988)

$$G_d = G_{d0} [1 + (1 - \xi)n]. \quad (\text{E2.5})$$

Primeri prikazanih modela nalaze se i u elektronskom materijalu.

E2.3 Protivzračenje atmosfere

Intenzitet atmosferskog zračenja je funkcija temperature vazduha i emisivnosti gasova i čestica prisutnih u vazduhu (za detaljan opis pogledati poglavlje 2). Za kvantifikaciju atmosferskog zračenja često se koristi jednostavna Brentova formula (Brunt, 1932)

$$B_a = \sigma T_a^4 (0.625 + 0.056 \cdot \sqrt{e}) . \quad (\text{E2.6})$$

U ovoj formuli vodena para je odgovorna za emisiju zračenja, a njena koncentracija je izražena pritiskom vodene pare u hPa (e) na datoj temperaturi vazduha T_a u K.

Primer:

Upotrebom Brentove formule izračunati protivzračenje atmosfere 20°C u kojoj je pritisak vodene pare 5 mb.

$$B_a = 5.67 \cdot 10^8 (20 + 273.15)^4 (0.625 + 0.056 \cdot \sqrt{5}) = 314.146 \text{ W m}^{-2}$$

Da bi izračunali srednju količinu energije koju površine zemlje primi svaki dan po cm^2 od protivzračenja atmosfere u $\text{J cm}^{-2} \text{ dan}^{-1}$ dobijenu vrednost moramo pomnožiti sa 8.64 kao što je dato u tabeli E2.5.

$$B_{ad} = 314.146 \cdot 8.64 = 2714.22 \text{ J cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$$

E2.4 Odlazno terestrijalno zračenje

Intenzitet odlaznog terestrijalnog zračenje, zemljinog izračivanja, zavisi od temperature zemljišta i emisivnosti tla. Jenačina koja se koristi je opisana u poglavlju 2, broj 2.3.

Primer:

Ako je temperatura tla 15°C i emisivnost zemljišta 0.95 izračunati intenzitet zemljinog izračivanja.

$$B_E = 0.95 \cdot 5.67 \cdot 10^8 (15 + 273.15)^4 = 371.35 \text{ W m}^{-2}$$

E3 Temperatura zemljišta i vazduha

E3.1 Jedinice

Table E3.1 Prelazak iz Kelvina u Celziju pa u Farenhajte

	Kelvin	Celzijus	Farenhajt
Kelvin, K	-	$1K - 273.15$	$(1K - 273.15) \cdot 9/5 + 32$
Celzijus, °C	$1^{\circ}C + 273,15$	-	$(1^{\circ}C \cdot 9/5) + 32$
Farenhajt, F	$(1F - 32) \cdot 5/9 + 273.15$	$(1F - 32) \cdot 5/9$	-

$$1^{\circ}C = 1 + 273.15 K = (1 \cdot 9/5) + 32 F$$

Specifična toplota pri konstantno pritisku C_p ($J kg^{-1} K^{-1}$), i specifična toplota pri konstantnoj zapremini C_v ($J kg^{-1} K^{-1}$), su često korišćene konstante. Njihov odnos za idealni gas iznosi

$$\dots\dots\dots \gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3} \quad (E3.1)$$

E3.3 Dnevna, godišnja temperatura, njene varijacije i ekstremi

Računanje ekstermnih vrednosti i varijacija dato je u elektronskom materijalu. Ekstremne vrednosti temperature, kao što su mrazni dani, definisani su određenim graničnim temperaturama (Tabela E3.2)

Table E3.2 Dnevni temperaturni ekstremi

	Maksimalna temperatura (°C)	Minimalna temperatura (°C)
Mrazni dan	-	≤ 0
Hladni dan	≤ 0	-
Snažan mrazni dan	-	≤ -10
Letnji dan	≥ 25	-
Tropski dan	≥ 30	-
Tropska noć	-	≥ 20

E3.3 Računanje akumuliranih stepen dana

Toplotne jedinice nazvane stepen-dan (eng. degree-days, DD) često se koriste u poljoprivredi za predviđanje fenologije, inkubacionog perioda biljnih bolesti, pojave štetočina, s obzirom da su pogodniji od kalendarskih dana. Suma stepen dana u određenom periodu, nazvana još i akumulirani stepen dani, ili stepen dani rasta (eng. growing degree days, GDD), predstavlja akumulaciju temperature iznad unapred određene granice. Granične temperature se određuju laboratorijski i neke od njih, raspoređene prema kulturama, su prikazane u glavi 3, tabela 3.4.

Za računanje DD razvijeni su različiti metodi.

Metod 1. Metod osrednjavanja (McMaster and Wilhelm, 1997):

$$DD = T_{average} - T_t = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_t \quad (E3.2)$$

gde su DD stepen dani, T_{max} i T_{min} su maksimalna i minimalna temperatura, a T_t temperaturna granica. Ako je rezultat negativan, pretpostavlja se da nema doprinosa, i $DD=0$. Ovaj metod se najčešće pronalazi u praksi, ali može da unese grešku u račun jer može da podceni DD kada se temperature menjaju oko granične temperature. U to vreme, biljka će da iskusi temperature iznad granice, ali to neće biti uračunato u DD.

Da bi se izbegla ova greška McMaster and Wilhelm (1997) su uveli sledeća pravila:

ako je $T_{min} > T_t$ onda

$$DD = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_t, \quad (E3.3)$$

ili ako je $T_{max} < T_t$

$$DD = 0, \quad (E3.4)$$

ili ako je $T_{max} > T_t > T_{min}$

$$DD = \varepsilon f(R) \quad (E3.5)$$

gde je koeficijent $\varepsilon = \frac{T_{max} - T_{min}}{2}$ i $R = \frac{T_t - T_{min}}{T_{max} - T_{min}}$, dok se vrednost funkcija $f(R)$ uzima iz tabele u odnosu na R.

Tabela E3.3 Vrednosti $f(R)$

R	$f(R)$	R	$f(R)$	R	$f(R)$
0.000	1.000	0.340	0.495	0.670	0.167

0.010	0.981	0.350	0.483	0.680	0.159
0.020	0.962	0.360	0.471	0.690	0.152
0.030	0.944	0.370	0.459	0.700	0.144
0.040	0.927	0.380	0.448	0.710	0.137
0.050	0.910	0.390	0.436	0.720	0.130
0.060	0.893	0.400	0.425	0.730	0.123
0.070	0.876	0.410	0.413	0.740	0.116
0.080	0.859	0.420	0.402	0.750	0.109
0.090	0.843	0.430	0.391	0.760	0.102
0.100	0.827	0.440	0.381	0.770	0.096
0.110	0.811	0.450	0.370	0.780	0.090
0.120	0.796	0.460	0.359	0.790	0.084
0.130	0.780	0.470	0.349	0.800	0.078
0.140	0.765	0.480	0.339	0.810	0.072
0.150	0.750	0.490	0.328	0.820	0.066
0.160	0.735	0.500	0.318	0.830	0.061
0.170	0.721	0.510	0.308	0.840	0.055
0.180	0.706	0.520	0.299	0.850	0.050
0.190	0.692	0.530	0.289	0.860	0.045
0.200	0.678	0.540	0.279	0.870	0.040
0.210	0.664	0.550	0.270	0.880	0.036
0.220	0.650	0.560	0.261	0.890	0.031
0.230	0.636	0.570	0.251	0.900	0.027
0.240	0.622	0.580	0.242	0.910	0.023
0.250	0.609	0.590	0.233	0.920	0.019
0.260	0.596	0.600	0.225	0.930	0.016
0.270	0.583	0.610	0.216	0.940	0.013
0.280	0.570	0.620	0.208	0.950	0.010
0.290	0.557	0.630	0.199	0.960	0.007
0.300	0.554	0.640	0.191	0.970	0.004
0.310	0.532	0.650	0.183	0.980	0.002
0.320	0.519	0.660	0.175	0.990	0.001
0.330	0.507			1.000	0.000

Metod 2. Metod Baskerville-Emin (BE) zahteva poznavanje sinusne ili kosinusne funkcije temperature, koja se može izraziti iz minimalne i maksimalne temperature. Iz krive se potom mogu izraziti temperature za svaki sat koje se nalaze iznad granične temperature i suma daje DD.

Metod 3. Upotreba izmerenih satnih vrednosti temperature je najtačniji metod jer predstavlja realne uslove, a ne matematički reprodukovane. Posle asimilacije podataka DD se racuna kao suma tazlika stvarne temperature i granične vrednosti.

Primer:

Izračunati stepen dan sa graničnom temperaturom 10 °C ako su temperature vazduha bile T_{max} 15 °C i 11 °C, a T_{min} 8 °C i 9 °C redom.

$$DD1 = \frac{15+9}{2} - 10 = 12.5 - 10 = 2.5$$

$$DD2 = \frac{11+8}{2} - 10 = 9.5 - 10 = -0.5, \quad DD2 = 0$$

Primer računanja akumulisanih stepena dana dat je u elektronskom materijalu.

E3.4 Aproksimacija časovnih vrednosti temeperature

U praksi često se dešava da izmerene vrednosti temperature nedostaju. Za popunjavanje nizova podataka vremenom su razvijeni različiti modeli. Uloga tih modela je da reprodukuju časovne vrednosti temperature iz osmortenih vrednosti u određenim trenucima u toku dana. Cesarikijev metod, ovde opisan, zahteva poznavanje maksimalne temperature (T_{max}), minimalne temperature (T_{min}) temperature (T_0) u momentu zalaska sunca (H_0) i vreme izlaska sunca sledećeg dana.

Simboli	Izlazak sunca (vreme i T_{min})	Vreme i T_{max}	Zalazak sunca	Izlazak sunca (vreme)
				→
Vreme	H_{min1}	H_{max}	H_0	H_{min2}
Temperatura	T_{min1}	T_{max}	T_0	T_{min2}

$$\dots\dots\dots T(t) = \begin{cases} T_{min1} + \alpha \sin \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{t - H_{min1}}{H_{max} - H_{min1}} \right) \right] & H_n < t \leq H_x \\ T_0 + R \sin \left[\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \left(\frac{t - H_{max}}{4} \right) \right] & H_x < t \leq H_0 \\ T_0 + b\sqrt{t - H_0} & H_0 < t \leq H_p \end{cases} \quad (E3.6)$$

$$\dots\dots\dots T_0 = T_{\max} - 0.39(T_{\max} - T_{\min 2}) \quad (\text{E3.7})$$

Koeficijenti α , R i b mogu se izračunati na sledeći način

$$\dots\dots\dots \alpha = T_{\max} - T_{\min}, \quad R = T_{\max} - T_0, \quad \text{and } b = \frac{T_{\min 2} - T_0}{\sqrt{H_0 - H_{\min 2}}} \quad (\text{E3.8}).$$

Primer:

Ekstremne vrednosti temperature osmotrene su na lokalitetu Rimski Šančevi 17. i 18. maja 2007. godine. U merenju nedostaju neke časovne vrednosti temperature. Izračunati temperature koje nedostaju ako se zna:

Simbol	Izlazak sunca (vreme i T_{\min})	Vreme i T_{\max}	Zalazak sunca	Izlazak sunca (vreme)
Vreme	$H_{\min 1}$	H_{\max}	H_0	$H_{\min 2}$
Temperatura	$T_{\min 1}$	T_{\max}	T_0	$T_{\min 2}$
Vreme	5.15	16.10	20.10	5.13
Temperatura	13.4	19.6	16.7	10.5

$$\alpha = T_x - T_n = 19.6 - 13.4 = 6.2 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$R = T_x - T_0 = 19.6 - 16.7 = 2.9 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$b = \frac{T_p - T_0}{\sqrt{H_0 - H_p}} = \frac{10.5 - 16.7}{\sqrt{20.1 - 5.13}} = \frac{-6.2}{3.869} = -1.6.$$

Datum	Čas	$H_{\min 1} < t \leq H_{\max}$	$H_{\max} < t \leq H_0$	$H_0 < t \leq H_{\min 2}$
17.5.2007	6	14.2		
17.5.2007	7	15.0		
17.5.2007	8	15.9		
17.5.2007	9	16.7		
17.5.2007	10	17.4		
17.5.2007	11	18.0		
17.5.2007	12	18.6		
17.5.2007	13	19.0		
17.5.2007	14	19.3		
17.5.2007	15	19.5		
17.5.2007	16	19.6		
17.5.2007	17		19.4	
17.5.2007	18		18.8	
17.5.2007	19		17.9	
17.5.2007	20		16.8	
17.5.2007	21			15.2
17.5.2007	22			14.5

17.5.2007	23			14.0
17.5.2007	24			13.5
18.5.2007	1			13.2
18.5.2007	2			12.8
18.5.2007	3			12.5
18.5.2007	4			12.2
18.5.2007	5			11.9

E3.5 Predviđanje mraza

Postoji nekoliko metoda za prognozu pojave mraza. U praksi, najčešće korišćen je FAO metod (Snyder and Paulo de Melo-Abreu, 2005) razvijen za predviđanje minimalne temperature u nastupajućoj noći i procene trajanja mraza i kritičnih temperatura. Metod je razvijen za potrebe pokretanja aktivne odbrane od mraza uz upotrebu prskalica za raspršivanje vode. Prema tome metod, koji možete pronaći na sajtu FAO daje i količinu vode, koju je potrebno iskoristiti u toku jednog sata, za odbranu od mraza.

Funkcija za predviđanje minimalne temperature dobija se iz osmotrenih vrednosti. Prvi korak je firmiranje linearnog regresionog modela da bi se dobili koeficijenti prave (a, b) iz temperature izmerene 2 sata posle zalaska sunca (T_{2h}) i osmotrene minimalne temperature u nastupajućoj noći (T_{min}) u toku mraznih noći, bez vetra i padavina. Koeficijenti prave se mogu potom koristiti za računanje minimalne temperature samo uz poznavanje temperature T_{2h}

$$\dots\dots\dots T_p^1 = b_1 T_{2h} + a_1 \quad (E3.9)$$

Ako želimo da povećamo tačnost modela, prelazi se na računanje faktora R_1 kao razlike između T_{2h} i T_{min} , a potom se uz tačku rose (T_d) koristi u novom modelu linearne regresije za dobijanje novih koeficijenata

$$\dots\dots\dots T_p^2 = b_2 T_d + a_2 \quad (E3.10)$$

Na kraju, minimalna temperatura se može predvideti sumom vrednosti iz prethodne dve jednačine

$$\dots\dots\dots T_p = T_p^1 + T_p^2 \quad (E3.11)$$

Proračun trenda pada temperature podrazumeva upotrebu stepene funkcije u periodu od 2 časa posle zalaska sunca do izlaska sunca sledećeg dana, odnosno kraja kritičnih temperatura. Faktor b' se računa iz predviđene minimalne temperature (T_p), T_{2h} i vremena koje je proteklo između temperatura $h = (24 - \tau_{2h}) + \tau_p$

$$b' = \frac{T_p - T_{2h}}{\sqrt{h}} \quad (E3.12)$$

$$T_i = T_{2h} + b' \sqrt{\tau_i} \quad (E3.13)$$

gde je τ_i bilo koji sat između momenta merenja T_{2h} i izlaska sunca narednog dana. Uz pomoć ove formule može se idrediti koliko dugo će trajati mraz (koliko dugo će temperatura vazduha biti ispod 0 °C) i koliko dugo će trajati kritične temperature.

Primer:

U tabeli E3.4 date su vrednosti meteoroloških elemenata zabeležene u toku ranog proleća 2015. godine na Rimskim Šančevima u Srbiji. Upotrebiti FAO model za prognozu minimalne temperature, ako je temperatura u 2 časa posle zalaska sunca bila 1 °C, a tačka rose 0.1 °C, i izračunati temperaturni trend u toku te noći. Iz dobijenih podataka proceniti dužinu trajanja kritičnih temperatura i mraza, ako je kritična temperatura -1.7 °C.

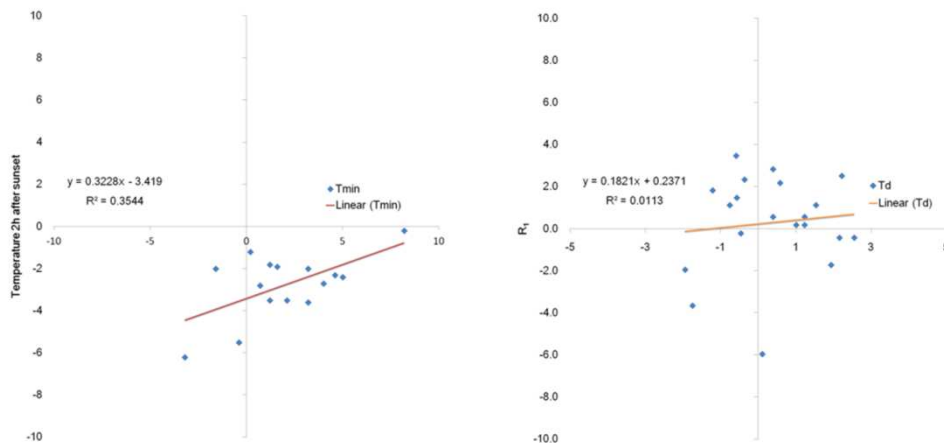
Tabela E3.4 Osmotrene vrednosti meteoroloških *elemenata* u toku mraznih epizoda 2015 on the location Rimski Sancevi.

T_{\min}	T_{2h}	e	T_d	vetar	padavine
(°C)	(°C)	(hPa)	(°C)	(m s ⁻¹)	(mm)
-6.2	-3.2	4.5	-3.7	0	0
-1.8	1.2	6.2	0.2	0.8	0
-2.3	4.6	7.4	2.3	0.8	0
-1.2	0.2	5.9	-0.4	0	1
-3.5	2.1	6.7	1.1	0.8	0
-5.5	-0.4	5.2	-1.9	0.8	0
-1.9	1.6	6.2	0.2	0.8	0
-3.5	1.2	6	-0.2	0.8	0
-0.2	8.2	7.3	2.2	0.8	0
-2.7	4	6.9	1.5	0	0
-3.6	3.2	7.1	1.8	0.8	0
-2.4	5	8.1	3.5	0.8	0
-2	3.2	7.7	2.8	0.8	0
-2.8	0.7	6.4	0.6	0.8	0
-2	-1.6	5.3	-1.7	0	0

-1	-0.4	5.9	-0.4	0.8	0
-0.3	2.8	7.5	2.5	0	0
-1.5	1.2	6.7	1.1	0.8	0
-2	0.6	6.4	0.6	0.8	0
-4.9	-4.9	3.7	-5.9	0.8	0

$$T_p^1 = 0.3228T_{2h} - 3.419$$

$$T_p^2 = 0.1821T_d + 0.2371$$



Slika E3.2 Linearna regresija minimalne temperature (levo) i tačke rose (desno).

Ako je $T_{2h} = 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ i $T_d = 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$, onda je T_p

$$T_p = 0.3228T_{2h} - 3.419 + 0.1821T_d + 0.2371$$

$$b' = \frac{2.8 - 1}{\sqrt{(24 - 21) + 5}} = -1.3435 \text{ } ^\circ\text{C h}^{-0.5}$$

$$T_i = 1 - 1.3435\sqrt{1} = -0.34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Upotrebom rednih brojeva za sate posle zalaska sunca mogu se izračunati vrednosti za svaki sat. Iz tabele možemo zaključiti da je temperatura pala ispod $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ već u 22h, i da su kritične temperature započele u 2h posle ponoći:

Hour	Ordinal number	Temperature
------	----------------	-------------

	21	0	1.00	
	22	1	-0.34	
	23	2	-0.90	
	24	3	-1.33	
	1	4	-1.69	
	2	5	-2.00	
	3	6	-2.29	
	4	7	-2.55	
	5	8	-2.80	

E4 Vlažnost vazduha

E4.1 Jedinice

e – pritisak vodene pare: mb, hPa, Pa

e_s - maksimalan pritisak vodene pare: mb, hPa, Pa

VPD - defizit zasićenosti: mb, hPa, Pa

T_d – tačka rose: °C, K, F

r – relativna vlažnost vazduha: %

q –specifična vlažnost vazduha: kg kg^{-1} (ili g kg^{-1})

a - apsolutna vlažnost vazduha (kg m^{-3})

E4.2 Kvantifikacija vlažnosti vazduha

Kvantifikacija vlažnosti vazduha započinje Klausijus-Klaperion-ovom jednačinom (Clausius–Clapeyron) za pritisak vodene pare u standardnoj atmosferi, ili u uslovim blizu standardnih (temperatura i pritisak)

$$\dots\dots\dots \frac{de_s}{dT} = \frac{L_v(T)e_s}{R_v T^2}, \quad (\text{E4.1})$$

kada se uradi izvod

$$\dots\dots\dots e_s = \frac{L_v(T)}{R_v} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \quad (\text{E4.2})$$

gde je e_s saturacioni pritisak vodene pare,

T temperatura, L_v specifična latentna temperatura vode, R_v gasna konstanta za vodenu paru $461 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ i T_0 je 273.15 K . S obzirom da je L_v isto funkcija temperature

$$\dots\dots\dots L_v(T) = 2501 - 2.361 \cdot (T + 273.15) \quad (\text{E4.3})$$

nekoliko metoda je razvijeno za pojednostavljenje jednačine E4.2

Specijalni oblik Klausijus-Claperion jednačine, često nazvana i Tetnesova (Tetens') empirijska formula, koristi se za računanje e_s iz temperature (Campbell and Norman, 1998)

$$\dots\dots\dots e_s = a \exp\left(\frac{bT}{T+c}\right) \quad (\text{E4.4})$$

gde su a , b , c konstante izračunate prema osmotrenim podacima i temperature u $^{\circ}\text{C}$.

Tetnesova formula kada je $T > 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, iznad vode

$$\dots\dots\dots e_s = 6.1078 \exp\left(\frac{17.27 \cdot T}{T + 237.3}\right) \quad (\text{E4.5})$$

Tetnesova formula kada je $T \leq 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, iznad leda

$$\dots\dots\dots e_s = 6.1078 \exp\left(\frac{21.875 \cdot T}{T + 265.5}\right) \quad (\text{E4.6})$$

gde je temperatura T u $^{\circ}\text{C}$ i e_s je izraženo u hPa (mb).

FAO upotrebljava malo izmenjeni oblik jednačine (Allen et al., 1998) iz praktičnih razloga. U većini slučajeva izmerene su samo maksimalna i minimalna temperatura. Iz tih vrednosti računa se srednja vrednost maksimalnog pritiska vodene pare upotrebom T_{max} i T_{min}

$$\dots\dots\dots e_{s,max} = 6.1078 \exp\left(\frac{17.27 \cdot T_{max}}{T_{max} + 237.3}\right) \quad i \quad e_{s,min} = 6.1078 \exp\left(\frac{17.27 \cdot T_{min}}{T_{min} + 237.3}\right) \quad (\text{E4.7})$$

$$\dots\dots\dots e_s = \frac{e_{s,max} + e_{s,min}}{2} \quad (\text{E4.8})$$

Stvarni pritisak vodene pare može biti određen iz razlike temperatura suvog (T_{dry}) i vlažnog (T_{wet}) termometra izmerene psihrometrom. Odnos se može izraziti iz sledeće relacije

$$\dots\dots\dots e = e_{s,wet} - p\gamma(T_{dry} - T_{wet}) \quad (\text{E4.9})$$

gde je p atmosferski pritisak, γ termodinamička psihrometerska konstanta $6.66 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Međutim, kako psihrometar nie adijabatski sistem, γ može da se razlikuje od teoretske vrednosti.

Drugi elementi vlažnosti, često korišćeni su, deficit zasićenosti vodene pare

$$\dots\dots\dots VPD = e_s - e \quad (E4.10)$$

i relativna vlažnost vazduha

$$\dots\dots\dots r = \frac{e}{E} \cdot 100\% \quad (E4.11)$$

Obe veličine su funkcija pritiska vodene pare i maksimalnog pritiska vodene pare.

Specifična vlažnost (q) predstavlja odnos mase vodene pare po jedinici mase vlažnog vazduha (g kg⁻¹).

$$\dots\dots\dots q = \frac{m_v}{m_d + m_v} \cdot \frac{1/V}{1/V} = \frac{\rho_v}{\rho} = \frac{R_d}{R_v} \frac{e}{p - \left(1 - \frac{R_d}{R_v}\right)e} \approx \frac{R_d}{R_v} \frac{e}{p} \quad (E4.12)$$

Apsolutna vlažnost (a) predstavlja masu vodene pare u jediničnoj zapremini vlažnog vazduha (kg m⁻³).

$$\dots\dots\dots a = \frac{m_v}{V} = \rho_v = \frac{e}{R_v T} \quad (E4.13)$$

U jednačinama E4.12 i E4.13 m_v je masa vodene pare, m_d je masa suvog vazduha, V je zapremina, p atmosferski pritisak, a R_d i R_v su gasne konstante suvog vazduha i vodene pare redom u J K⁻¹ kg⁻¹. Konstante se često i predstavljaju u obliku odnosa

$$\dots\dots\dots \varepsilon = \frac{R_d}{R_v} = \frac{287}{461} = 0.622. \quad (E4.14)$$

Primer:
 Izračunati elemente vlažnosti ako je temperatura 10 °C, a temperatura vlažnog termometra 5 °C. Upotrebiti standardan atmosferski pritisak u računu 1013.25 hPa.

a. Maksimalni pritisak vodene pare
 $T_{dry} = 10 \text{ °C}, T_{wet} = 5 \text{ °C}$

$$e_s = 6.1078 \exp\left(\frac{17.27 \cdot T}{T + 237.3}\right) = 6.1078 \exp\left(\frac{17.27 \cdot 10}{10 + 237.3}\right) = 12.28 \text{ hPa},$$

$$e_{s,wet} = 6.1078 \exp\left(\frac{17.27 \cdot T_{wet}}{T_{wet} + 237.3}\right) = 6.1078 \exp\left(\frac{17.27 \cdot 5}{5 + 237.3}\right) = 8.72 \text{ hPa}$$

b. Pritisak vodene pare

$$e = e_{s,wet} - p\gamma(T_{dry} - T_{wet}) = 8.72 - 1013.25 \cdot 6.66 \cdot 10^{-4} (10 - 5) = 5.35 \text{ hPa}$$

c. Relativna vlažnost

$$r = \frac{e}{e_s} \cdot 100\% = \frac{5.35}{12.28} \cdot 100\% = 43.57\%$$

d. Deficit vodene pare

$$VPD = e_s - e = 12.28 - 5.35 = 6.93 \text{ hPa}$$

e. Specifična vlažnost

$$q = 0.622 \frac{5.35}{1013.25} = 0.003284 \text{ kg kg}^{-1} = 3.284 \text{ g kg}^{-1}$$

f. Apsolutna vlažnost

$$a = \rho_v = \frac{e}{R_v T} = \frac{5.35 \cdot 10^2}{461(10 + 273.15)} = 0.0041 \text{ kg m}^{-3} = 4.1 \text{ g m}^{-3}$$

E5 Oblaci i padavine

E5.1 Jedinice

Padavine se definišu kao zapremina vode po jedinici površine. Najčešće se izražava u mm. Jedan mm padavina predstavlja 1 l (10^{-3} m^3) po metru kvadratnom.

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ l m}^{-2} = 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$$

E5.2 Uticaj oblačnosti na energetski bilans

Uticaj oblačnosti na količinu zračenja koje stigne do tla, zapravo je prikazan u empirijskim formulama za izračunavanje globalnog zračenja, kao što je Coulson metod opisan jednačinom E2.4. Drugi primer kako oblaci utiču na energetski bilans može se videti iz merenja. Na slici E5.1 prikazane su vrednosti globalnog zračenja za isti dan u tri godine.

Slika E5.1 Globalno zračenje izmereno u Harvard forest Fisher Meteorological Station, 1. juna u različitim godinama.

E5.3 Padavine

Padavine predstavljaju sumu količine vode u toku dana, nedelje, meseca ili godine. Srednja vrednost padavina za određenu vremensku jedinicu izražava se iz vremenske serije podataka. Prema tome, srednja vrednost padavina za vremensku jedinicu od j dana i k godina

$$\dots\dots\dots H_j^k = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k H_j^i. \quad (\text{E5.1})$$

E6 Atmosferska cirkulacija i vetar

E6.1 Jedinice

Vetar se definiše pravcem, brzinom i jačinom. U SI sistemu brzina vetra je data u m s^{-1} , ali u praksi postoji čitav niz različitih jedinica.

Table C6.1 Jedinice brzine vetra.

	m s^{-1}	čvorovi	km h^{-1}	Mph (milja na čas)
1 m s^{-1}	-	1.9	3.6	2.2
1 čvor	0.5	-	1.9	1.2
1 km h^{-1}	0.3	0.5	-	0.6
1 Mph (milja na čas)	0.4	0.9	1.6	-

Za razliku od ostalih meteoroloških elemenata vetar poseduje i deskriptivnu skalu Boforofu skalu (Beaufort) koja opisuje jačinu vetra. Boforova skala je funkcija brzine vetra.

$$\dots\dots\dots v = 0.836 \cdot B^{\frac{3}{2}} \quad (\text{E6.1})$$

Tabela E6.2 Boforova skala (WMO 2008).

Bofori	naziv vetra	v (m s^{-1})	opis pojava u prirodi
0	tišina	0,0 - 0,3	tiho; dim se diže uspravno
1	lak povetarac	0,3 - 1,5	pravac vetra se zapaža po kretawu dima, a ne po vetrokazu
2	povetarac	1,6 - 3,3	vetar se oseća na licu, lišće treperi, vetruqa se pokreće
3	slab vetar	3,4 - 5,4	lišće i grančice se stalno klate; razvijaju se lake zastave.

4	umeren vetar	5,5 - 7,9	vetar podiže prašinu i listove hartije; pokreće male grane tawa lisnata stabla počiwu da se wišu; obrazuju se mali talasi sa krestama na kopnenim vodama.
5	umereno jak vetar	8,0 - 10,7	pokreću se velike grane; čuje se zujawe telegrafskih žica; otežana upotreba košobrana.
6	jak vetar	10,8 - 13,8	Stable drveća se wišu; hodawe uz vetar je otežano.
7	vrlo jak vetar	13,9 - 17,1	vetar lomi grane na drveću; hodawe uz vetar je, uopšte uzev, nemoguće.
8	olujni vetar	17,2 - 20,7	nastaju laka oštećewa na zgradama (odkidawe oluka, rušewe dimwaka i skidawe crepa).
9	oluja	20,8 - 24,4	retko se javqa u unutrašwosti kopna; čupa drveće iz zemqe; nastaju velike štete na zgradama.
10	žestoka oluja	24,5 - 28,4	
11	orkanska oluja	28,5 - 32,6	vrlo retka pojava praćena razarawima velikih razmera.
12	orkan	32,7 - 36,9	---

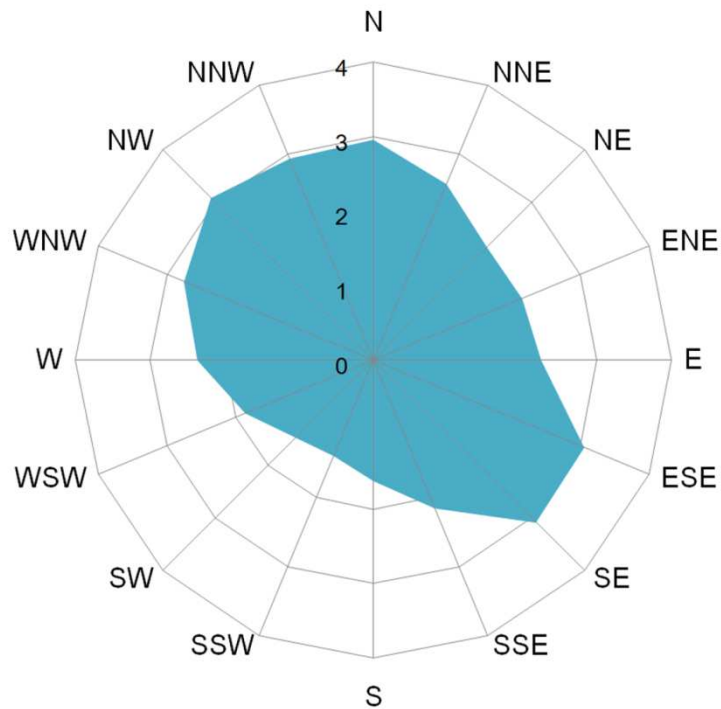
Primer:

Izračunati brzinu vetra ako je on okarakterisan sa 8 sa boforove skale.

$$v = 0.836 \cdot B^{\frac{3}{2}} = 0.836 \cdot 8^{\frac{3}{2}} = 18.92 \text{ m s}^{-1}$$

E6.2 Ruža vetra

Ruža vetra je grafički opis procenta zastupljenosti vetra iz različitih pravaca na posmatranom mestu i za posmatrani period, zajedno sa brzinama ili jačinama vetra i procentom tišine. Ruže sačinjavaju 4, 8, 16 ili 32 pravca, gde su najznačajniji sever (N-North), istok (E-East), jug (S-South) and zapad (W-West).



Slika E6.1 Ruža vetra.

E6.3 Energija i snaga vetra

Vetar je izvor energije koja se može eksploatirati za stvaranje električne struje. Da bi procenili da li je region pogodan za uspostavljanje "vetroparka" (veliki broj vetroturbin na jednoj lokaciji), važno je izračunati energiju vetra i snagu vetra. Sa gustinom vazduha ρ prazi normalno kroz površinu A sa brzinom v tokom vremena t , izračunava se energija vetra kao

$$\dots\dots\dots E_w = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(Avt\rho)v^2 = \frac{1}{2}(At\rho)v^3, \quad (E6.2)$$

odakle se snaga vetra izražava kao

$$\dots\dots\dots P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2}(A\rho)v^3. \quad (E6.3)$$

E7 Voda u zemljištu

E7.1 Evapotranspiracija

Jedan od značajnih aspekata procene vodnog bilansa je procena količine vode koja se sa površine tla oslobodi u procesu evapotranspiracije. Jedan od poznatih modela za računanje evapotranspiracije je svakako Penman-Monteith (Penman-Monteith) model (Allen et al. 1998)

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a C_p \frac{VPD}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad (E7.1)$$

gde je R_n neto zračenje, G fluks toplote u dublje slojeve zemljišta, VPD deficit vodene pare, ρ_a srednja gustina vazduha pri konstantnom pritisku, c_p specifična toplota pri konstantnom pritisku, Δ nagib prave odnosa temperature i pritiska, γ je psihrometerska konstanta, a r_s i r_a su stomatarni i aerodinamički otpori, redom.

Ako se u jednačinu E7.1 zamene konstantne vrednosti (procedura je data na <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm#Contents>) dobija se formula za određivanje referentne evapotranspiracije (E7.2, pogledaj i glavu 7)

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{t + 273} u_2 VPD}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (E7.2)$$

gde je R_n prebačeno sa 0.408 u jedinice mm day^{-1} i potreban je poznavanje brzine vetra na 2 m visine (u_2). U većini slučajeva G se zanemaruje ili se uzima kao procenat od R_n . Nagib krive se računa kao

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp\left(\frac{17.27 \cdot T}{T + 237.3}\right) \right]}{(T + 237.3)^2} \quad (E7.3)$$

gde je γ psihrometerska konstanta u funkciji pritiska (p)

$$\gamma = 0.665 \cdot 10^{-3} \cdot p. \quad (E7.4)$$

Sve u vezi sa transformacijom meteoroloških elemenata koji su potrebni za proračun može se pronaći na internetu (Allen et al. 1998).

Example. Izračunati potencijalnu evapotranspiraciju za pšenicu čiji je koeficijent kultura k_c 1.12, ako je temperatura vazduha 20°C , globalno neto zračenje $15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, VPD 0.6 kPa, brzina vetra 2 m s^{-1} . Smatrati da vlada standardan atmosferski pritisak.

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp\left(\frac{17.27 \cdot 20}{t + 237.3}\right) \right]}{(20 + 237.3)^2} = 0.1447 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\gamma = 0.655 \cdot 10^{-3} \cdot 101.325 = 0.0674 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot 0.1447 \cdot 15 + 0.0674 \left(\frac{900}{20 + 273} \right) 2 \cdot 0.6}{0.1447 + 0.0674(1 + 0.34 \cdot 2)} = 4.4 \text{ mm day}^{-1}$$

$$ET_c = ET_0 \cdot k_c = 4.4 \cdot 1.12 = 4.93 \text{ mm day}^{-1}$$

Literatura i dodatni materijal

Ch-1

- Barry, R.G.; Chorley, R.J.; 2003. Atmosphere, Weather and Climate, 8th Ed.; Routledge Taylor & Francis Group, p. 421, ISBN 0-203-42823-4.
- Bierhuizen, J.F.; Slatyer, R.O.; 1965. Effect of atmospheric concentration of water vapour and CO₂ in determining transpiration–photosynthesis relationships of cotton leaves. *Agric. Meteorol.* 2, 259–270, doi: 10.1016/0002-1571(65)90012-9.
- Farquhar, G.D.; von Caemmerer, S.; Berry, J.A.; 1980. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta* 149, 78–90, doi: 10.1007/BF00386231.
- Grantz, D.A.; Gunn, S.; Vu, H.-B.; 2006. O₃ impacts on plant development: a meta-analysis of root/shoot allocation and growth. *Plant Cell Environ.* 29, 1193–1209, doi:10.1111/j.1365-3040.2006.01521.x.
- Le Treut, H.; Somerville, R.; Cubasch, U.; Ding, Y.; Mauritzen, C.; Mokssit, A.; Peterson, T.; Prather, M. Historical overview of climate change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L., Eds.; Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007, pp. 95-122, ISBN 978-0-521-88009-1.
- NOAA, 2018. Earth system research laboratory (ESRL), Global Monitoring Division. Trends in atmospheric carbon dioxide. Available online: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/> (accessed on 28 May 2018).
- Salehi, A.; Fallah, S.; Abasi Sourki, A. Organic and inorganic fertilizer on soil CO₂ flux, microbial biomass and growth of *Nigella sativa* L. *Int Agrophy* 2017, 31, 103-116, doi: 10.1515/intag-2016-0032.
- Thompson, R.D.; 1998. *Atmospheric Processes and Systems.* Routledge, 11 New Fetter Lane, London, ISBN 978-0415171465.
- van de Geijn, S.C.; Goudriaan, J.; 1996. The effects of elevated CO₂ and temperature change on transpiration and crop water use. In: *Global Climate Change and Agricultural Production: Direct and Indirect Effects of Changing Hydrological Soil and Plant Physiological.* Bazzaz, F., Sombroek, W., Eds.; Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, John Wiley & Sons, ISBN 0-471-96927-3
- Ward, J.K.; Tissue, D.T.; Thomas, R.B.; Strain, B.R.; 1999. Comparative responses of model C₃ and C₄ plants to drought in low and elevated CO₂. *Glob. Change Biol.*, 5, 857-867, 10.1046/j.1365-2486.1999.00270.x.
- WMO - International Meteorological Vocabulary, 2nd Ed.; Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, 1992, p. 636, [ISBN 92-63-02182-1](#).

Ch-2

- Campillo, C.; Fortes, R.; del Henar Prieto, M.; 2012. Solar Radiation Effect on Crop Production, Solar Radiation, Babatunde, E.B. Ed., ISBN: 978-953-51-0384-4.

- Liou, K.N.; 2002. An Introduction to Atmospheric Radiation, 2nd Ed.; Academic Press, London, UK, p. 599, ISBN 0-12-451451-0
- Moore, K.E.; Fitzjarrald, D.R.; Sakai, R.K.; Goulden, M.L.; Munger, J.W.; Wofsy, S.C.; 1996. Seasonal variation in radiative and turbulent exchange at a deciduous forest in Central Massachusetts, *J. Appl. Meteorol.*, 35, 122-134.
- Munger and Wofsy, 2017 – Canopy-atmosphere exchange of Carbon, Water and Energy at Harvard Forest EMS tower since 1991. Harvard Forest data archive: HF004
- Thompson, R.D.; 1998. Atmospheric Processes and Systems. Routledge, 11 New Fetter Lane, London, ISBN 978-0415171465.
- Varlet-Grancher, C.; Bonhomme, R.; Sinoquet, H.; 1993. Crop Structure and Light Microclimate, INRA, Paris, p. 518, ISBN 2 7380 0448 2

Ch-3

- Munger and Wofsy, 2017 – Canopy-atmosphere exchange of carbon, water and energy at Harvard Forest EMS tower since 1991. Harvard Forest data archive: HF004
- Ferris, R.; Ellis, R.H.; Wheeler, T.R.; Hadley, P.; 1998. Effect of high temperature stress at anthesis on grain yield and biomass of field-grown crops of wheat. *Annal. Bot.* 82, 631–639.
- Porter, J.R.; Gawith, M.; 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *Eur. J. Agron.* 10, 23–36.
- Wahid, A.; 2007. Physiological implications of metabolites biosynthesis in net assimilation and heat stress tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum*) sprouts. *J. Plant Res.* 120, 219-228.
- Commuri, P.D.; Jones, R.D.; 2001. High temperatures during endosperm cell division in maize: a genotypic comparison under in vitro and field conditions. *Crop Sci.* 41, 1122–1130.
- Hatfield, J.H.; Prueger, J.H.; 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather Clim. Extremes* 10, 4–10, doi: 10.1016/j.wace.2015.08.001

Ch-4

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M.; 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, ISBN 92-5-104219-5.
- Blain G.C.; 2012. Revisiting the probabilistic definition of drought: strengths, limitations and an agrometeorological adaptation. *Bragantia*, 71, 1, 132-121.
- Gillette, H.P.; 1950. A creeping drought under way. *Water and Sewage Works*, 104-105.
- Jacimovic, G.; 2012. Optimisation of mineral nutrition of wheat depending on weather conditions during the year. University of Novi Sad. PhD dissertation, p. 164 (In Serbian).

- Monteith, J.L., Unsworth, M.H.; 2008. Principles of Environmental Physics. 3rd Ed. AP, Amsterdam
- Murray, F.W.; 1967. On the computation of saturation vapour pressure. *J. Appl. Meteorol.* 6, 203-204.
- Munger, W.; Hadley, J.; 2018. Microclimate at Harvard Forest HEM, LPH and EMS Towers since 2005. Harvard Forest Data Archive: HF206.
- Thornthwaite, C.W.; 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.*, 38(1), 55–94.
- Van Lanen, H.A.J.; 2006. Drought propagation through the hydrological cycle. In: *Climate Variability and Change Hydrological Impacts*. Demuth, S., Gustard, A., Planos, E., Scatena, F., Servat, E., Eds.; vol. 308, IAHS-AISH Publication, IAHS Press, Wallingford, UK, pp. 122-127
- Vidal, J.-P.; Martin, E.; Franchistéguy, L.; Habets, F.; Soubeyrou, J.-M.; Blanchard, M.; Baillon, M.; 2010. Multilevel and multiscale drought reanalysis over France with the Safran-Isba-Modcou hydrometeorological suite. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14, 3, 459-478, doi: [10.5194/hess-14-459-2010](https://doi.org/10.5194/hess-14-459-2010)
- Wilhite, D.A.; Glantz, M.H.; 1985. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water Int.* 10, 3, 111–120.
- Wilhite, D.A.; 2000. Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. In: *Drought: A Global Assessment, Vol. I*, D.A. Wilhite Ed., Drought Mitigation Center Faculty Publications. 69.
- Wilhite, D.A.; 2005. The Role of Disaster Preparedness in National Planning with Specific Reference to Droughts. In: *Natural Disasters and Extreme Events in Agriculture*, Sivakumar, M.V., Motha, R.P., Das, H.P. Eds.; Springer, Berlin, Heidelberg, ISBN 978-3-540-22490-7

Ch-5

- Faghri, A.; Zhang, Y.; 2006. *Transport Phenomena in Multiphase Systems*, Elsevier Inc., p. 1030, ISBN: 978-0-12-370610-2
- Garrett, T.J.; Fallgatter, C.; Shkurko, K.; Howlett, D.; 2012. Fallspeed measurement and high-resolution multi-angle photography of hydrometeors in freefall. *Atmos. Meas. Tech.*, 5, 2625-2633, doi:10.5194/amt-5-2625-2012
- International Cloud Atlas, WMO. Available online: <https://cloudatlas.wmo.int> (accessed on 28 May 2018)
- McDonald, J.E.; 1962. Homogeneous nucleation of vapor condensation. I. Thermodynamic Aspects. *Am. J. Phy.* 30, 870; doi: 10.1119/1.1941841
- Wood, R.; 2012. Stratocumulus Clouds. *Mon. Weather Rev.* 140, 2373-2423, doi: 10.1175/MWR-D-11-00121.1

Ch-6

- Caborn, J.M.; 1957. Shelterbelts and Microclimate, Forestry Commission Bulletin No. 29
- Cleugh, H.A.; 1998. Effects of the wind brakes on airflow, microclimates and crop yields. *Agroforest. Sys.* 41, 55-84.

NOAA 2018. How hurricanes form? National Ocean Service website. Available online: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/how-hurricanes-form.html> (accessed on 28 May 2018)

The Climate System, EESC 2100 Spring 2007. Available online: http://eesc.columbia.edu/courses/eesc/climate/lectures/atm_dyn.html (accessed on 03 June 2018)

Todey, D.; Taylor, E.; Shelterbelts, Agronomy 541. Available online: <http://agron-www.agron.iastate.edu/courses/Agron541/classes/541/lesson05a/541L5.pdf> (accessed on 03 June 2018)

Ch-7

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. und Smith, M.; 1998. Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Papers. Paper No 56, FAO, Rome, 326 S. Online available at: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>.

AQUACROP model: <http://www.fao.org/aquacrop>

Gobin, A.; Kersebaum, K.C.; Eitzinger, J.; Trnka, M.; Hlavinka, P.; Takac, J.; Kroes, J.; Ventrella, D.; Dalla Marta, A.; Deelstra, J.; Lalic, B.; Nejedlik, P.; Orlandini, S.; Peltonen-Sainio, P.; Rajala, A.; Saue, T.; Saylan, L.; Stricevic, R.; Vucetic, V.; Zoumides, C., 2017. Variability in the Water Footprint of Arable Crop Production across European Regions. WATER-SUI.9(2): 93; doi:[10.3390/w9020093](https://doi.org/10.3390/w9020093).

Hlavinka, P.; Trnka, M.; Balek, J.; Semerádová, D.; Hayes, M.; Svoboda, M.; Eitzinger, J.; Mozny, M.; Fischer, M.; Hunt, E.; Zalud, Z.; 2011. Development and evaluation of the SoilClim model for water balance and soil climate estimates. AGR WATER MANAGE. 2011; 98(8): 1249-1261.

Hoyningen-Huene, J. v.; 1980. Mikrometeorologische Untersuchungen zur Evapotranspiration von bewässerten Pflanzenbeständen. Ber Inst Meteorol Klimatol Univ Hannover Nr. 19:1-168.

Kroes, J.G.; Wesseling, J.G. and J.C. Van Dam; 2000. Integrated modelling of the soil-water-atmosphere-plant system using the model SWAP 2.0 an overview of theory and an application. Hydrological Processes, 14, 1993-2002. Available at: [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1099-1085\(20000815/30\)14:11/12%3C1993::AID-HYP50%3E3.0.CO;2-%23/abstract](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1099-1085(20000815/30)14:11/12%3C1993::AID-HYP50%3E3.0.CO;2-%23/abstract).

Lemon, E. R. 1963 after Shinn, J.H. and Lemon, E.R. 1963; IN: Evans, L.T. (ed); 1963. Environmental Control of Plant Growth, Symposium Proceedings, Canberra, Australia, Academic Press.

Marshall, T.J.; Holmes, J.W.; Rose, C.W.; 1996. Soil Physics. Cambridge Univ. Press, ISBN: 9780521457668; Information on this title: www.cambridge.org/9780521457668.

Moene, A.F.; Van Dam, J.C.; 2014. Transport in the Atmosphere-Vegetation-Soil Continuum. Cambridge Univ. Press, ISBN: 9780521195683; Information on this title: www.cambridge.org/9780521195683.

- Rose, C.W.; 2004. An Introduction to the Environmental Physics of Soil, Water and Watersheds. Cambridge Univ. Press, ISBN: 9780521829946; Information on this title: www.cambridge.org/9780521829946.
- Scheffer, F.; Schachtschabel, P.; 1982. Lehrbuch der Bodenkunde; Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart. ISBN 10: [3432847718](https://www.isbn-international.org/view/title/3432847718), ISBN 13: [9783432847719](https://www.isbn-international.org/view/title/9783432847719).
- Steduto, P.; Hsiao, C.; Fereres, E.; Raes, D.; 2012. Crop Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 66. ISBN: 978-92-5-107274-5. Online available at: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/c355da16-217c-555b-acbc-505d87bade00/>.
- SWAP model: <http://www.swap.alterra.nl/>
- Thaler, S.; Eitzinger, J.; Trnka, M.; Dubrovsky, M.; 2012. Impacts of climate change and alternative adaptation options on winter wheat yield and water productivity in a dry climate in Central Europe. Journal of Agricultural Science, Cambridge. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859612000093>.
- Xue, J.; Ren, L.; 2016. Evaluation of crop water productivity under sprinkler irrigation regime using a distributed agro-hydrological model in an irrigation district of China. Agricultural Water Management, 178, 350–365. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.003>.

Ch-8

- Anderson, J. L.; Richardson, E. A.; Kesner, C. D.; 1986. Validation of chill unit and flower bud phenology models for 'Montmorency' sour cherry. Acta Horti 184: 71-78.
- Bünning, E.; 1953. Entwicklungs- und Bewegungsphysiologie der Pflanzen. 3.Aufl. Springer, Berlin, 1953.
- Chang, Jen-Hu; 1968. Climate and Agriculture – An Ecological Survey. Aldine Transaction. ISBN 978-0-202-36249-6
- Eitzinger, J.; Kersebaum, K. C.; Formayer, H.; 2009. Landwirtschaft im Klimawandel - Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa. <http://de.agrimedia.com>, 320, Agrimedia, D-29459 Clenze, Deutschland; ISBN: 978-3-86037-378-1 (in german).
- Grigg, D.; 1984. An Introduction to Agricultural Geography. Routledge, ISBN: 0-203-41927-8.
- Hodges, T.; 1990. Predicting crop phenology. CRC press, ISBN 9780849367458
- Schwartz, M.D.; 2003. Phenology: An Integrative Environmental Science. Springer; ISBN: 978-1-4020-1580-9; DOI <https://doi.org/10.1007/978-94-007-0632-3>
- Huglin, P.; 1986. Biologie et écologie de la vigne. Lavoisier (Edition Tec & Doc), Paris 1986, ISBN 2-60103-019-4. S. 292 (371 S.).
- Larcher, W.; 2003. Physiological Plant Ecology - Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. Springer. ISBN 978-3-540-43516-7.
- Luedeling, E.; Zhang, M.; Luedeling, V.; Girvetz, H.; 2009. Sensitivity of winter chill models for fruit and nut trees to climatic changes expected in California's Central Valley. Agric Ecosyst Environ 133: 23-31 CrossRf.

- Manshard, W.; 1968. Agrargeographie der Tropen. English. Tropical agriculture. London ; New York : Longman, 1974
- Meier, U. (Ed.); 1997. BBCH-Monograph. Growth stages of plants. Entwicklungsstadien von Pflanzen. Estadios de las plantas. Stades de développement des plantes. Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin, Wien, 622 p.
- Meier, U.; 2003. Phenological growth stages, 269–283. In (Ed.) SCHWARTZ, M. D.: Phenology: An integrative science. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London, p 564.
- Meier, U.; Bleiholder, H.; Buhr, L.; Feller, C.; Hack, H.; Heß, M.; Lancashire, P.D.; Schnock, U.; Stauß, R.; van den Boom, T.; Weber, E.; Zwerger, P.; 2009. The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants – history and publications. Journal für Kulturpflanzen, 61 (2). s. 41–52, 2009, Issn 0027-7479, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. Online:
https://www.journal-kulturpflanzen.de/artikel.dll/meier-et-al_OTAyMjUy.PDF
- Nejedlik, P, Orlandini, S. (ed.); 2008. Impact of Climate Change and Variability on European Agriculture - Survey of agrometeorological practices and application in Europe regarding climate change impacts. Final report COST734. Online:
<http://www.cost734.eu/reports-and-presentations/SURVEY%20OF%20AGROMETEOROLOGICAL%20PRACTICES%20AND%20APPLICATIONS%20IN%20EUROPE%20%20REGARDINGCLIMATE%20CHANGE%20IMPACTS%20-%20COST%20734.pdf>
- Pan European Phenological database (PEP725): <http://www.pep725.eu/>
- Richardson, E.A.; Seeley, S.D.; Walker, D.R.; 1974. A model for estimating the completion of rest for Redhaven and Elberta peach trees. HortScience, 9(4), 331-332.
- Schnelle, F. (ed); 1963. Frostschutz im Pflanzenbau, vol 1: Die meteorologischen und biologischen Grundlagen der Frostsadensverhütung. Bayerischer Landwirtschaftsverlag, München.
- The plant phenological online database (PPODB): www.ppodb.de
- USA National Phenology Network (USANPN): www.usanpn.org
- Zadoks, J.C.; Chang, T.T.; Konzak, C.F.; 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research, 14, 415-421 and Eucarpia Bulletin, 7, 49-52.

Ch-9

- Anandhi, S., Perumal, P.H., Gowda, M., Knapp, S., Hutchinson, J., Harrington Jr., L., Murray, M.B., Kirkham, C.W., 2013: Rice. Long-term spatial and temporal trends in frost indices in kansas, USA. Clim. Change, 120, 169-181
- Baisi, F., Galligani, P.L., Pergola, V., 1999: Corso di Agronomia ed elementi di meccanizzazione agraria. Edagricole – Edizioni Agricole della Calderini s.r.l. - Bologna
- Basher, R., 2006: UN-ISDR Platform for the Promotion of Early Warning (PPEW), Goerresstrasse 30, 53113 Bonn, Germany, In “Global early warning systems for

- natural hazards: systematic and people-centred” - Phil. Trans. R. Soc. A (2006) 364, 2167–2182
- Blumenthal, C.S., Batey, I.L., Bekes, F., Wrigley, C.W., Barlow, E.W.R., 1991: Seasonal changes in wheat-grain quality associated with high temperatures during grain filling. *Australian Journal of Agricultural Research*, 42, 21 - 30
- Ceccon, P., Fagnano, M., Grignani, C., Monti, M., Orlandini, S., 2017: *Agronomia*. EdiSES S.r.l. - Napoli
- Christner, B.C., Cai, C., Morris, C.E., McCarter, K.S., Foreman, C.M., Skidmore, M.L., Montross, S.N., Sands, D.C., 2008: Geographic, seasonal, and precipitation chemistry influence on the abundance and activity of biological ice nucleators in rain and snow. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105:18854-18859.
- Edwards, D.C., McKee, T.B., 1997: Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report Number 97-2*, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins
- FAO - Frost protection: fundamentals, practice, and economics (2005) - Volume 1 - Produced by: Natural Resources Management and Environment Department
- Garen, D.C., 1993: Revised surface-water supply index for Western United States. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 119, 437–454
- Guttman, N.B., 1998: Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index”. *Journal of the American Water Resources Association*, 34, 113–121
- Hatfield, J.L., Prueger, J.H., 2015: Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4–10
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC
- Kogan, F.N., 1995: Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Adv. Space Res.*, 5. No. 11, pp. (11)91-(11)
- Kovats, R.S., Valentini, R., Bouwer, L.M., Georgopoulou, E., Jacob, D., Martin, E., Rounsevell, M., Soussana, J.F., 2014: Europe. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D.
- Levitt, J. 1980: “Responses of plants to environmental stresses”. Vol. 1.
- Li, M., Zhao, C., Li, D., Yang, X., Sun, C., Wang, Y., 2008: Towards developing an early warning system for cucumber diseases for greenhouse in china. *IFIP International Federation for Information Processing*, Volume 259; *Computer and Computing Technologies in Agriculture*, Vol. 2; Daoliang Li; (Boston: Springer), pp. 1375–1378.
- Luo, Q., 2011: Temperature thresholds and crop production: a review. *Climatic Change*, 109: 583-598
- Orlandini S., Nejedlik P., Eitzinger, J., Alexandrov, V., Toullos, L., Calanca, P., Trnka, M., Olesen, J.E., 2008: Impacts of Climate Change and Variability on European Agriculture. Results of Inventory Analysis in COST 734 Countries.

- Trends and Directions in Climate Research: Ann. N.Y. Acad. Sci. 1146: 338–353 (2008). doi: 10.1196/annals.1446.013C. New York Academy of Sciences
- Shafer, B. A. and L. E. Dezman (1982). Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. Proceedings of the Western Snow Conference, 164-175
- Van Loona, A.F. and Laahab, G., 2015: Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. Journal of Hydrology, 526, 3-14.
- Watts, N., Amann, M., Ayeb-Karlsson, S., Belesova, K., Bouley, T., Boykoff, M., 2017: The Lancet Countdown on health and climate change: From 25 years of inaction to a global transformation for public health. Lancet 2017.
- Wilhite, D.A., 2005: Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues
- WMO, 2010: Guidelines on early warning systems and application of nowcasting and warning operations.
- WMO, 2012a: Guide to Agricultural Meteorological Practices (GAMP).
- WMO, 2012b: Standardized Precipitation Index User Guide (M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood). (WMO-No. 1090), Geneva.
- Woodruff N. P., Siddoway F. H., 1965. A Wind Erosion Equation. Soil Science Society of America Journal Vol. 29, 5: 602-608

Ch-10

- Allen, B., Maréchal, A., 2017: Agriculture GHG emissions: determining the potential contribution to the Effort Sharing Regulation. In: Report prepared for Transport and Environment. Institute for European Environmental Policy, London.
- Asfaw, S., Lipper, L., 2016: Managing climate risk using climate-smart agriculture – Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Brooks, N., 2003: Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. Tyndall Centre for Climate Change Research and Centre for Social and Economic Research on the Global Environment (CSERGE) School of Environmental Sciences University of East Anglia.
- Cardona, O.D., M.K. van Aalst, J. Birkmann, M. Fordham, G. McGregor, R. Perez, R.S. Pulwarty, E.L.F. Schipper, and B.T. Sinh, 2012: Determinants of risk: exposure and vulnerability. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 65-108.
- FAO, 2013. Climate-Smart Agriculture: Sourcebook. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gilard, O., 2016: Hazards, Vulnerability and Risk. 19-29. 10.1007/978-94-017-7462-8_2. In: Pedrono, Miguel & Locatelli, Bruno & Ezzine-de-Blas, Driss

- & Pesche, Denis & Morand, Serge & Binot, Aurélie. (2016). Impact of Climate Change on Ecosystem Services. 348 pp. 10.1007/978-94-017-7462-8.
- IPCC Climate Change 2007 – “Impacts, Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC” (978 0521 88010-7 Hardback; 978 0521 70597-4 Paperback).
- Stephenson, D.B., 2008. Definition, diagnosis, and origin of extreme weather and climate events. In H. Diaz & R. Murnane (Eds.), *Climate Extremes and Society* (pp. 11-23). Cambridge: Cambridge University Press doi:10.1017/CBO9780511535840.004
- WMO, 2007: *Managing Weather and Climate Risks in Agriculture*. Sivakumar, M.V.K., Motha, R.P. (eds), Springer, Berlin, Heidelberg DOI <https://doi.org/10.1007/978-3-540-72746-0>
- WMO, 2016: “Guidelines on the definition and monitoring of extreme weather and climate events” Task Team on Definitions of Extreme Weather and Climate Events (TT-DEWCE).

Ch-11

- Abrahamsen, P.; Hansen, S.; 2000. Daisy: an open soil-crop-atmosphere system model. *Environmental Modelling & Software* 15/3, 313-330.
- Arnold, J. G.; Srinivasan, R.; Muttiah, R. S.; Williams, J.R.; 1998. Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development. *J. American Water Resour. Assoc.* 34(1):73-89.
- Asseng, S.; van Keulen, H.; Stol, W.; 2000. Performance and application of the APSIM Nwheat model in the Netherlands, *European Journal of Agronomy*, Volume 12, P: 37- 54.
- Austrian drought monitoring system for agriculture: <https://warndienst.lko.at/winterweizen+2500++1073299> (Austria, in german)
- Bellocchi, G.; Confalonieri, R.; Donatelli, M.; 2006. Crop modelling and validation: Intergration of Irene-DLL in the warm environment. *Italian Journal of Agrometeorology* 3.
- Brisson, N.; Gary, C.; Justes, E.; Roche, R.; Mary, B.; Ripoche, D.; Zimmer, D.; Sierra, J.; Bertuzzi, P.; Burger, P.; Bussiere, F.; Cabidoche, Y.M.; Cellier, P.; Debake, P.; Gaudillere, J.P.; Henault, C.; Maraux, F.; Seguin, B.; Sinoquet, H.; 2003. An overview of the crop model STICS. *Eur. J. Agron.*, 18, 309-332.
- Cabelguenne, M.; Debaeke, P.; Bouniols, A.; 1999. EPIC phase, a version of the EPIC model simulating the effects of water and nitrogen stress on biomass and yield, taking account of developmental stages: validation on maize, sunflower, sorghum, soybean and winter wheat. *Agricultural Systems* 60: 175-196.
- Connor, D.J.; Loomis, R.S.; Cassman, K.G; 2011. *Crop Ecology - Productivity and Management in Agricultural Systems*. Cambridge Univ. Press, ISBN: 9780521744034; Information on this title: www.cambridge.org/9780521744034
- COST734 crop modelling survey results - presentation: http://www.cost734.eu/reports-and-presentations/6th-management-committee-meeting-in-oscarborg/oscarborg_p6.pdf

- Donatelli, M.; Magarey, R.D.; Bregaglio, S.; Willocquet, L.; Whish, J.P.M.; Savary, S.; 2017. Modelling the impacts of pests and diseases on agricultural systems. *Agricultural Systems* 155: 213–224.
- Examples of operational drought monitoring systems worldwide: <https://combirisk.boku.ac.at/links.html>
- Gijsman, A.J.; Jagtap, S.S.; Jones, J.W.; 2002. Wadding through a swamp of complete confusion: how to choose a method for estimating soil water retention parameters for crop models. *Euro. J. Agron.* 18, 77–106.
- Grassini, P.; Lenny, G.J.; van Bussel; van Wart, J.; Wolf, J.; Claessens, L.; Yang, H.; Boogaard, H.; de Groot, H.; van Ittersum, M.K.; Cassman, K.G.; 2015. How good is good enough? Data requirements for reliable crop yieldsimulations and yield-gap analysis. *Field Crops Research* 177, 49-63.
- Jamieson, P.D.; Semenov, M.A.; Brooking, I.R.; Francis, G.S.; 1998. Sirius: a mechanistic model of wheat response to environmental variation. *European Journal of Agronomy*, 8: 161-179.
- Jones, J.W.; Hoogenboom, G.; Porter, C.H.; Boote, K.J.; Batchelor, W.D.; Hunt, L.A.; Wilkens, P.W.; Singh, U.; Gijsman, A.J.; Ritchie, J.T.; 2003. The DSSAT cropping system model, *European Journal Of Agronomy*, Volume 18 (3-4), P: 235-265.
- Keating, B.A.; Carberry, P.S.; Hammer, G.L.; Probert, M.E.; Robertson, M.J.; Holzworth, D.; Huth, N.I.; Hargreaves, J.N.G.; Meinke, H.; Hochman, Z.; McLean, G.; Verburg, K.; Snow, V.; Dimes, J.P.; Silburn, M.; Wang, E.; Brown, S.; Bristow, K.L.;
- Asseng, S.; Chapman, S.; McCown, R.L.; Freebairn, D.M.; Smith, C.J.; 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *Eur. J. Agron.* 18: 267-288.
- Kersebaum, K.C.; Boote, K.J.; Jorgenson, J.S.; Nendel, C.; Bindi, M.; Frühauf, C.; Gaiser, T.; Hoogenboom, G.; Kollas, C.; Olesen, J.E.; Rötter, R.P.; Ruget, F.; Thorburn, P.J.; Trnka, M.; Wegehenkel, M.; 2015. Analysis and classification of data sets for calibration and validation of agro-ecosystem models. *Env. Model. Software* 72, 402-417.
- Kersebaum, K.Ch.; Hecker, J.-M.; Mirschel, W.; Wegehenkel, M. (ed.); 2007. *Modelling Water and Nutrient Dynamics in Soil-Crop Systems*. Springer, ISBN:978-1-4020-4478-6.
- Kersebaum, K.Ch.; 2007. Modelling nitrogen dynamics in soil–crop systems with HERMES. *Nutr Cycl Agroecosyst* (2007) 77: 39. <https://doi.org/10.1007/s10705-006-9044-8>
- Martre, P.; Jamieson, P.D.; Semenov, M.A.; Zyskowski, R.F.; Porter, J.R.; Triboi, E.; 2006. Modelling protein content and composition in relation to crop nitrogen dynamics for wheat. *Eur. J. Agron.* 25: 138-154.
- Matthews, K.B.; Sibbald, A.R.; Craw, S.; 1999. Implementation of a spatial decision support system for rural land use planning: integrating geographic information system and environmental models with search and optimisation algorithms. *Comput. Electron. Agric.* 23(1):9-26.

- Matthews, R.B.; 2006. The People and Landscape Model (PALM): towards full integration of human decision-making and biophysical simulation models. *Ecol. Modelling* 194(4):329-343.
- Nendel, C. M.; Berg, K.; Kersebaum, K.Ch.; Mirschel, W.; Specka, X.; Wegehenkel, M.; Wenkel, K.O.; Wieland, R.; 2011. The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. *Ecological Modelling* 222/9, 1614-1625.
- Nejedlik, P.; Orlandini, S. (ed.); 2008. Impact of Climate Change and Variability on European Agriculture - Survey of agrometeorological practices and application in Europe regarding climate change impacts. Final report COST734; online: <http://www.cost734.eu/reports-and-presentations/SURVEY%20OF%20AGROMETEOROLOGICAL%20PRACTICES%20AND%20APPLICATIONS%20IN%20EUROPE%20%20REGARDINGCLIMATE%20CHANGE%20IMPACTS%20-%20COST%20734.pdf>
- Oerke, E-C.; Gerhards, R.; Menz, G.; Sikora, R.A.; 2010. Precision Crop Protection - the Challenge and Use of Heterogeneity. Springer, ISBN: 978-90-481-9276-2 <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9277-9>.
- Parton, W.J.; Hartman, M.; Ojima, D.; Schimel, D.; 1998. DAYCENT and its land surface submodel: description and testing. *Global and Planetary Change* 19:35-48.
- Penning de Vries, F.W.T.; Jansen, D.M.; ten Berge, H.F.M.; Bakema, A.; 1989. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. PUDOC, Wageningen. ISBN 90-220-1000-7. Available online: <http://edepot.wur.nl/108856>.
- Rötter, R.P.; Appiah, M.; Fichtler, E.; Kersebaum, K.Ch.; Trnka, M.; Hoffmann, M.P.; 2018. Linking modelling and experimentation to better capture crop impacts of agroclimatic extremes - a review. *Field Crops Research* 221, 152-156.
- Sadras, V.; Calderini, D.; 2014. Crop Physiology. Applications for Genetic Improvement and Agronomy. ELSEVIER, ISBN: 9780124171046.
- Stockle, C.O.; Donatelli, M.; Nelson, R.; 2003. CropSyst, a cropping system simulation model. *Europ. J. Agron.* 18: 289-307.
- Supit, I.; Hooijer, A.A.; van Diepen, C.A. (Eds.); 1994. System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS. Volume 1: Theory and Algorithms. Joint Research Centre of the European Commission, EUR 15956 EN, Luxembourg.
- van Ittersum, M.K.; Leffelaar, P.A.; van Keulen, H.; Kropff, M.J.; Bastiaans, L.; Goudriaan, J.; 2003. On approaches and applications of the Wageningen crop models. *Europ. J. Agron.* 18: 201-234.
- Willmott, C.J.; Ackleson, S.G.; Davis, R.E.; Feddema, J.J.; Klink, K.M.; Legates, D.R.; O'Donnell, J.; Rowe, C.M.; 1985. Statistics for the evaluation of model performance. *Journal of Geophysical Research* 90(C5): 8995–9005.
- Willmott, C.J.; Matsuura, K.; 2005. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research* 30: 79–82.

- Wu, L.; Kersebaum, K.-C.; 2008. Modeling water and nitrogen interaction responses and their consequences in crop models. In: Ahuja, L.R., Reddy, V.R., Saseendran, S.A., Yu, Q. (eds.) Response of crops to limited water: understanding and modeling water stress effects on plant growth processes. *Advances in Agricultural Systems Modeling 1*: 215-249; Madison, WI, USA (ASA, CSSA, SSSA).
- Yang, J.; Greenwood, D.J.; Rowell, D.L.; Wadsworth, G.A.; Burns, I.G.; 2000. Statistical methods for evaluating a crop nitrogen simulation model, N-ABLE. *Agricultural Systems* 64, 37-53.

Ch-12

- Alexandrov, V.; Eitzinger, J.; Cajic, V.; Oberforster, M.; 2002. Potential impact of climate change on selected agricultural crops in north-eastern Austria. *Global Change Biology*, 8, 4, 372-389.
- Alexandrov, V.; Eitzinger, J.; Hoogenboom, G.; 2011. Climate variability and change and related impacts on agroecosystems in southeast and central Europe as well as southeast USA. COST, European Science Foundation, 232, BOLID-INS, Sofia, Bulgaria; ISBN: 978-954-394-055-4.
- APCC; 2014. Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, 1096 Seiten. ISBN 978-3-7001-7699-2.
- Behringer, W.; 2010. A Cultural History of Climate. Verlag Polity, ISBN 0745645291.
- Bryant, C.R.; Sarr, M.A.; Delusca, K. (eds.); 2016. Agricultural Adaptation to Climate Change. Springer, ISBN 978-3-319-31392-4.
- Dinar, A.; Mendelsohn, R. (ed.); 2011. Handbook on Climate Change and Agriculture. Edward Elgar Publishing, ISBN: 978 1 84980 116 4.
- Durand, J.-L.; Delusca, K.; Boote, K.; Lizaso, J.; Manderscheid, R.; Weigel, H.-J.; Ruane, A.C.; Rosenzweig, C.; Jones, J.W.; Ahuja, L.; Anapalli, S.; Basso, B.; Baron, C.; Bertuzzi, P.; Biernath, C.; Deryng, D.; Ewert, F.; Gaiser, T.; Gayler, S.; Heinlein, F.; Kersebaum, K.C.; Kim, S.-H.; Müller, C.; Nendel, C.; Oliso, A.; Priesack, E.; Ramirez Villegas, J.; Ripoche, D.; Rötter, R.P.; Seidel, S.I.; Srivastava, A.; Tao, F.; Timlin, D.; Twine, T.; Wang, E.; Webber, H.; Zhao, Z.; 2017. How accurately do maize crop models simulate the interactions of atmospheric CO₂ concentration levels with limited water supply on water use and yield? *Europ. J. Agron.* (in press). Doi: 10.1016/j.eja.2017.01.002.
- EEA; 2018. Greenhouse gas emissions and trends, data, maps, trends: online at: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/greenhouse-gas-emission-trends-6>
- EEA; 2016. Agriculture and climate change: online at: <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2015/articles/agriculture-and-climate-change>
- Eitzinger, J.; Kersebaum, K. C.; Formayer, H.; 2009. Landwirtschaft im Klimawandel - Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in

- Mitteuropa. <http://de.agrimedia.com>, 320, Agrimedia, D-29459 Clenze, Deutschland; ISBN: 978-3-86037-378-1 (in german).
- Eitzinger, J.; Trnka, M.; Semerádová, D.; Thaler, S.; Svobodová, E.; Hlavinka, P.; Siska, B.; Takáč, J.; Malatinská, L.; Nováková, M.; Dubrovský, M.; Zalud, Z.; 2013. Regional climate change impacts on agricultural crop production in Central and Eastern Europe – hotspots, regional differences and common trends *The Journal of Agricultural Science* 151(6): 787-812.
- European Environmental Agency (EEA); 2005. Vulnerability and adaptation to climate change in Europe. EEA Technical Report No. 7. Copenhagen: EEA.
- European Environmental Agency (EEA); 2007. Climate change: the cost of inaction and the cost of adaptation. EEA Technical Report No. 13. Copenhagen: EEA.
- Eurostat information on greenhouse gas emissions from agriculture: available online at:
[http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Agriculture -
_greenhouse_gas_emission_statistics&oldid=273928](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Agriculture_-_greenhouse_gas_emission_statistics&oldid=273928)
- EPA; 2018. Global greenhouse gas emissions shares and trends:
<https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>
- Fuhrer, J.; 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone and global climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97, 1–20.
- Global Yield Gap Atlas, 2018: www.yieldgap.org
- Hoekstra A.Y.; Chapagain A.K.; Aldaya M.M.; Mekonnen M.M.; 2009. Water Footprint Manual: State of the Art 2009. Water Footprint Network, Enschede, The Netherlands.
- IEEP; 2017. Agriculture GHG emissions: Determining the potential contribution to the effort sharing regulation. Available online at:
[https://ieep.eu/uploads/articles/attachments/6882b42e-9769-43be-bb10-f83d06510b7d/Agriculture GHG emissions determining the potential contribution to the Effort Sharing Regulation. IEEP 2017 .pdf?v=63664510042](https://ieep.eu/uploads/articles/attachments/6882b42e-9769-43be-bb10-f83d06510b7d/Agriculture_GHG_emissions_determining_the_potential_contribution_to_the_Effort_Sharing_Regulation._IEEP_2017_.pdf?v=63664510042)
- IPCC; 2012. Summary for Policymakers. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge University Press).
- IPCC; 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Kersebaum, K.C.; Nendel, C.; 2014. Site-specific impacts of climate change on wheat production across regions of Germany using different CO₂ response functions. *Eur. J. Agronomy* 52: 22-32.
- Klik, A.; Eitzinger, J.; 2010. Impact of climate change on soil erosion and the efficiency of soil conservation practices in Austria. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 148, 529–541.

- Kroes J. et al.; 2016. Water Footprint of agricultural products: progress, challenges and solutions. Final EURO-Agriwat conference. Abstracts online access: <http://edepot.wur.nl/380126>.
- Lalic, B.; Francia, M.; Eitzinger, J.; Podrascanin, Z.; Arsenic, I.; 2015. Effectiveness of short-term numerical weather prediction in predicting growing degree days and meteorological conditions for Apple Scab appearance. *Meteorological Applications*.
- Lalic, B.; Firanj Sremac, A.; Eitzinger, J.; Stričević, R.; Thaler, S.; Maksimović, I.; Danicic, M.; Perišić, D.; Dekić, L.; 2018. Seasonal forecasting of green water components and crop yield of summer crops in Serbia and Austria. *J AGR SCI-CAMBRIDGE*.
- Lobell, D.B.; Field, C.B.; 2007. Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters*.
- Lobell, D.B.; Cassman, K.G.; Field, C.B.; 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources* 34, 179-204.
- Louise E.B.; Lassoie, J.P.; Fernandes, E.C.M.; 1998. *Agroforestry in Sustainable Agricultural Systems*. CRC Press, ISBN 9781566702942.
- Maharjan, K.L.; Joshi, N.P.; 2013. *Climate Change, Agriculture and Rural Livelihoods in Developing Countries* Springer. ISBN 978-4-431-54343-5.
- Manderscheid, R.; Erbs, M.; Weigel, H-J.; 2014. Interactive effects of free-air CO₂ enrichment and drought stress on maize growth. *EUROPEAN JOURNAL OF AGRONOMY* 52, 11-21.
- Metzger, M.J.; Bunce, R.G.H.; Jongman, R.H.G.; Múcher, C.A.; Watkins, J.W.; 2005. A climatic stratification of Europe. *Global Ecology and Biogeography*, 14, 549–563.
- Mueller, N.D.; Gerber, J.S.; Johnston, M.; Ray, D.K.; Ramankutty, N.; Foley, J.A.; 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature* 490, 254-257. doi:10.1038/nature11420.
- Nejedlik, P.; Orlandini, S. (Eds.); 2008. Survey of agrometeorological practices and applications in Europe regarding climate change impacts, 320 pages; COST 734 report, “Impact of climate change and variability on European agriculture - CLIVAGRI”; (available at : www.cost734.eu), Florence, Italy. Accessible as pdf online: <http://www.cost734.eu/reports-and-presentations/>.
- Olesen, J.E.; Trnka, M.; Kersebaum, K.C.; Skjelvag, A.O.; Seguin, B.; Peltonen-Sainio, P.; Rossi, F.; Kozyra, J.; Micale, F.; 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. - *European Journal of Agronomy*. 43 (2): 96-112.
- Orlandini, S.; Nejedlik, P.; Eitzinger, J.; Alexandrov, V.; Toullos, L.; Calanca, P.; Trnka, M.; Olesen, J. E.; 2008. Impacts of climate change and variability on European agriculture: results of inventory analysis in COST 734 countries. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1146, 338–353.
- Pfister, C.; Brazdil, R.; Glaser, R.; 1999. *Climatic Variability in Sixteenth-Century Europe and Its Social Dimension*. Springer. DOI 10.1007/978-94-015-9259-8.

- Peltonen-Sainio, P.; Jauhiainen, L.; Trnka, M.; Olesen, J. E.; Alanca, P.; Eckersten, H.; Eitzinger, J.; Gobin, A.; Kersebaum, K. C.; Kozyra, J.; Kumar, S.; Dalla Marta, A.; Micale, F.; Schaap, B.; Seguin, B.; Skjelvag, A.O.; Orlandini, S.; 2010. Coincidence of variation in yield and climate in Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139, 483–489.
- Peltonen-Sainio, P.; Rötter, R.; Iglesias, A.; Orlandini, S.; Dubrovsky, M.; Hlavinka, P.; Balek, J.; Eckersten, H.; Cloppet, E.; Calanca, P.; Gobin, A.; Vucetic, V.; Nejedlik, P.; Kumar, S.; Lalic, B.; Mestre, A.; Rossi, F.; Kozyra, J.; Alexandrov, V.; Semerádova, D.; Žalud, Z.; 2011. Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology*, 17: 2298–2318. doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02396.x.
- Rötter, R.P.; Höhn, J.; Trnka, M.; Fronzek, S.; Carter, T.R.; Kahiluoto, H.; 2013. Modelling shifts in agroclimate and crop cultivar response under climate change. *Ecol Evol* 3: 4197–4214.
- Rötter, R.P.; Appiah, M.; Fichtler, E.; Kersebaum, K.C.; Trnka, M.; Hoffmann, M.P.; 2018. Linking modelling and experimentation to better capture crop impacts of agroclimatic extremes - a review. *Field Crops Research* 221, 152-156. Doi: 10.1016/j.fcr.2018.02.023.
- Thaler, S.; Eitzinger, J.; Trnka, M.; Dubrovsky, M.; 2012. Impacts of climate change and alternative adaptation options on winter wheat yield and water productivity in a dry climate in Central Europe *J AGR SCI* 150(5): 537-555.
- Torquebiau, E. (Ed.); 2016. *Climate Change and Agriculture Worldwide*. Springer, ISBN 978-94-017-7462-8
- Trnka, M.; Eitzinger, J.; Semerádova, D.; Hlavinka, P.; Balek, J.; Dubrovsky, M.; Kubu, G.; Stepanek, P.; Thaler, S.; Mozny, M.; Zalud, Z.; 2011. Expected changes in agroclimatic conditions in Central Europe. *CLIMATIC CHANGE* 108(1-2): 261-289.
- Troll, C.; 1955. Der jahreszeitliche Ablauf des Naturgeschehens in den verschiedenen Klimagürteln der Erde. *Studium Generale* 8, 713-733.
- Walter, H.; Lieth, H.; 1967. *Klimadiagram-Weltatlas*, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- White, J.W.; Hoogenboom, G.; Kimball, B.A.; Wall, G.W.; 2011. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Research* 124, 357–368.

Ch-13

- Darnhofer, T.; 1985. Meteorological elements and their observation. Working paper Nr.14. 1st Revision. Pdf download: http://www.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/58_Working_paper_no_14.pdf
- Drlatief, A.; Raihana, H.K.; Sabah, P.; Syed, S.M.; 2017. *Experimental Agrometeorology: A Practical Manual*. 10.1007/978-3-319-69185-5.
- Emeis, S.; 2010. *Measurement Methods in Atmospheric Sciences - In situ and remote*. Borntraeger Science Publishers. ISBN 978-3-443-01066-9

- Foken, T.; 2017. *Micrometeorology*. Springer, ISBN 3642254403, 9783642254406
- Harrison, G.; 2015. *Meteorological Measurements and Instrumentation*. Wiley, ISBN: 978-1-118-74580-9. Info: <https://www.wiley.com/en-us/Meteorological+Measurements+and+Instrumentation-p-9781118745809>
- Strangeways, I.; 2003. *Measuring the Natural Environment*. Cambridge Univ. Press. Link: https://books.google.at/books?id=oTSJ6NGFSuQC&dq=book+measurement+techniques+in+meteorology&hl=de&source=gbs_navlinks_s
- TDR and FDR/capacitive soil water measurement method: <http://www.environmentalbiophysics.org/tdr-versus-capacitance-or-fdr/>
- WMO; 2008. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. ISBN 978-92-63-10008-5 Pdf download: <http://www.posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2016/09/MET-474-WMO-Guide.pdf>
- WMO; 2011. *WMO standards and best practices: presentation*: https://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/Meetings/GCW-IM1/Doc7.1_BestPractices.pdf

Ch-14

- Asrar, G.; Fuch, M.; Kanemasu, E.T. et al.; 1984. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agron J*, vol. 76, 300-306.
- Baghdadi, N.; Zribi, M.; 2016. *Land Surface Remote Sensing in Agriculture and Forest*. ELSEVIER, ISBN: 9781785481031
- Bartholome, E.; 1987. Radiometric measurements and crop yield forecasting: some observations over millet and sorghum experimental plots in Mali, *EarselSymp*, Noordwijkerhout; IN: Toselli, F. (ed) (1988). *Applications of Remote Sensing to Agrometeorology*. Proceedings; ISPRA courses on Remote Sensing, Luwer, ISBN 0-7923-0020-3.
- Binayak, P.; Mohanty, M.; Lakshmi, C.V.; Montzka, C.; 2017. Soil Moisture Remote Sensing:State-of-the-Science. *Vadose Zone J.*, doi:10.2136/vzj2016.10.0105
- Brocca, L.; Crow, W.T.; Ciabatta, L.; Massari, C; de Rosnay, P.; Enenkel, M; Hahn, S.; Amarnath, G; Camici, S; Tarpanelli, A. and Wagner, W.; 2017. A review of the applications of ASCAT soil moisture products. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 10, 2285–2306.
- Elmore, A. J., J. F.; Mustard, S.; Manning J. and Lobell, D.B.; 2000. Quantifying vegetation change in semiarid environments: Precision and accuracy of spectral mixture analysis and the normalized difference vegetation index. *Remote Sens. Environ.*,73,87–102.
- Haboudane, D.; Miller, J.R.; Pattey, E.; Zarco-Tejada, P.J.; Strachan, I.; 2004. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sens. Environ.*, 90, pp. 337-352.

Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E.P.; Gao, X.; Ferreira, L.G.; 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83 (2002) 195–213.

Kogan, F. N.; Gitelson, A.; Edige, Z.; Spivak, I.; Lebed L.; 2003. AVHRR-Based Spectral Vegetation Index for Quantitative Assessment of Vegetation State and Productivity: Calibration and Validation. *Photogramm. Engg. & Remote Sensing*, 69(8), pp. 899-906.

Krishna, K.R.; 2018. *Agricultural Drones: A Peaceful Pursuit*. Apple Academic Press, ISBN-10: 1771885955

Leeuwen, W.; Orr, B. J.; Marsh, S. E.; Herrmann, S. M.; 2006. Multisensor NDVI data continuity: uncertainties and implications for vegetation monitoring applications, *Remote Sens. Environ.*, vol. 100, pp. 67–81.

Links and examples of satellite remote sensing products for agrometeorology:

- www.esa.int/eo
- www.ceos.org
- www.ceos.org/pages/CEOSResponse_1010A.pdf
- www.eumetsat.int
- www.nesdis.noaa.gov,
- www.orbit.nesdis.noaa.gov,
- www.ncdc.noaa.gov
- www.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/
- <http://vegetation.cnes.fr>
- <http://rs.geo.tuwien.ac.at/data-viewers/>
- <https://glovis.usgs.gov/>
- <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>
- <https://landsat.usgs.gov/>
- Link on NDVI and EVI:
<https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/>
- Links on remote sensing applications in agriculture:
<https://agfundernews.com/4-things-know-remote-sensing-agriculture.html>
- Links on drones in agriculture: <http://www.droneomega.com/drones-in-agriculture/>

Malingreau, J.-P.; 1986. Global vegetation dynamics - Satellite observations over Asia. *International Journal of Remote Sensing*. 7. 10.1080/01431168608948914.

Mulla, D.J.; 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Bio-systems Engineering* 114/4, 358-371.

Pettorelli, N.; Vik, J.O.; Mysterud, A.; Gaillard, J.M.; Tucker, C.J.; Stenseth, N.C.; 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends EcolEvol*. 2005 Sep;20(9):503-10. Epub 2005 Jun 9. DOI: 10.1016/j.tree.2005.05.011

- Peters, A. J.; Walter-Shea, E. A.; Ji, L.; Vina, A.; Hayes, M.; Svoboda, M.D.; 2002. Drought Monitoring with NDVI-Based Standardized Vegetation Index, *Photogrammetric engineering and remote sensing*, vol. 68(1), pp. 71-76.
- Reed, B.C.; Brown, J.F.; Zee, D.V.; Loveland, T.R.; Merchant, J.W.; Ohlen, D.O.; 1994. Measuring phenological variability from satellite imagery. Wiley Online Library; <https://doi.org/10.2307/3235884>
- Thaler, S.; Eitzinger, J.; Trnka, M.; Možný, M.; Hahn, S.; Wagner, W.; Hlavinka, P.; 2018. The performance of Metop Advanced SCATterometer soil moisture data as a complementary source for the estimation of crop-soil water balance in Central Europe. *The Journal of Agricultural Science*. <https://doi.org/10.1017/S0021859618000011>
- Thenkabail, P.; Lyon, J.G.; Turrall, G.; Biradar, C.; 2018. Remote Sensing of Global Croplands for Food Security. CRC Press, ISBN 9781138116559
- Vuolo, F.; Urso, D.; De Michele, G.; Bianchi, C.; Cutting, B.; 2015. Satellite-based irrigation advisory services: A common tool for different experiences from Europe to Australia. *AGR WATER MANAGE* 147: 82-95.
- Wagner, W.; Hahn, S.; Kidd, R.; Melzer, T.; Bartalis, Z.; Hasenauer, S.; Figa-Saldana, J.; De Rosnay, P.; Jann, A.; Schneider, S.; Komma, J.; Kubu, G.; Brugger, K.; Aubrecht, C.; Züge, J.; Gangkofer, U.; Kienberger, S.; Brocca L.; Wang, Y.; Blöschl, G.; Eitzinger, J.; Steinnocher, K.; Zeil, P.; Rubel, F.; 2013. The ASCAT soil moisture product: a review of its specifications, validation results, and emerging applications. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 5–33.
- Xie, Y.; Sha, Z.; Yu, M.; 2008. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology*, Volume 1, Issue 1, Pages 9–23, <https://doi.org/10.1093/jpe/rtm005>

Numerical examples

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M.; 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, ISBN 92-5-104219-5
- Bierhuizen, J.F.; Slatyer, R.O.; 1965. Effect of atmospheric concentration of water vapour and CO₂ in determining transpiration–photosynthesis relationships of cotton leaves. *Agric. Meteorol.* 2, 259–270, doi: 10.1016/0002-1571(65)90012-9.
- Brunt, D.; 1932. Notes on radiation in the atmosphere. *Q. J. R. Met. Soc.* 58, 389-42, doi: 10.1002/qj.49705824704
- Campbell, G.S.; Norman, J.M.; 1998. *An Introduction to Environmental Biophysics*, 2nd Ed.; Springer, p. 306
- Farquhar, G.D.; von Caemmerer, S.; Berry, J.A.; 1980. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta* 149, 78–90.
- Fitzjarrald, D.; Sakai, R.; 2009. Radiation Measurements at Harvard Forest EMS Tower 1991-2007. Harvard Forest Data Archive: HF102.
- McMaster, G.S.; Wilhelm, W.W.; 1997. Growing Degree-Days One Equation, Two Interpretations. *Agric. Forest Meteorol.*, 87, 291-300.

- Mihailovic, D.; 1988. Basics of meteorological observations and data processing, Faculty of Agriculture. Institute of Field and Vegetable Crops, Novi Sad, p. 217 (in Serbian).
- Monteith, J.L.; 1977. Climate and Efficiency of Crop Production in Britain. Philosophical Transactions of the Royal Society London B, 281, 277-294.
- Snyder, R.L.; de Melo-Abreu, J.P.; 2005. Frost Protection: fundamentals, practice and economics. Vol 1, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p. 126
- WMO; 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. World Meteorological Organization, 2008, WMO-No. 8, p.716, ISBN 978-92-63-10008-5

Lista ljudi koji su pored autora doprineli sadržaju ovog izdanja

BOKU

Name	Affiliation	Country
Bernhard Pacher	Consultant	Austria
Piotr Strutzig	Institute of Meteorology and water Management	Poland
Christian Kersebaum	Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research, Muencheberg, ZALF	Germany
Pavol Nejedlik	Slovak Hydrometeorological Institute	Slovakia
Mirek Trnka	Mendel University Brno	Czech Republic
Aliyeh Salehi	Universität für Bodenkultur, Vienna, BOKU	Austria
Gerhard Kubu	Universität für Bodenkultur, Vienna, BOKU	Austria
Levent Saylan	Istanbul Technical University	Turkey
Erich Mursch-Radlgruber	Universität für Bodenkultur, Vienna BOKU	Austria
Sabina Thaler	Universität für Bodenkultur, Vienna BOKU	Austria

UNIFI

Leonardo Verdi	Department of Agrifood Production and Environmental Sciences University of Florence	Italy
Carolina Fabbri	Department of Agrifood Production and Environmental Sciences University of Florence	Italy