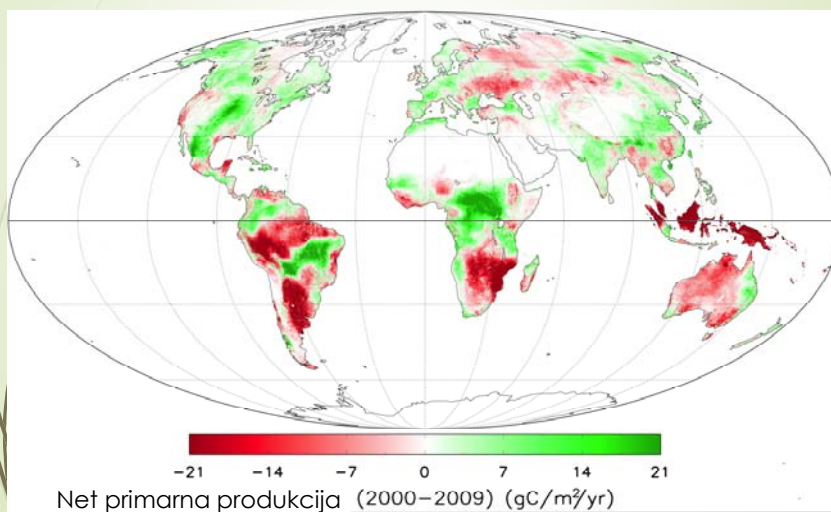


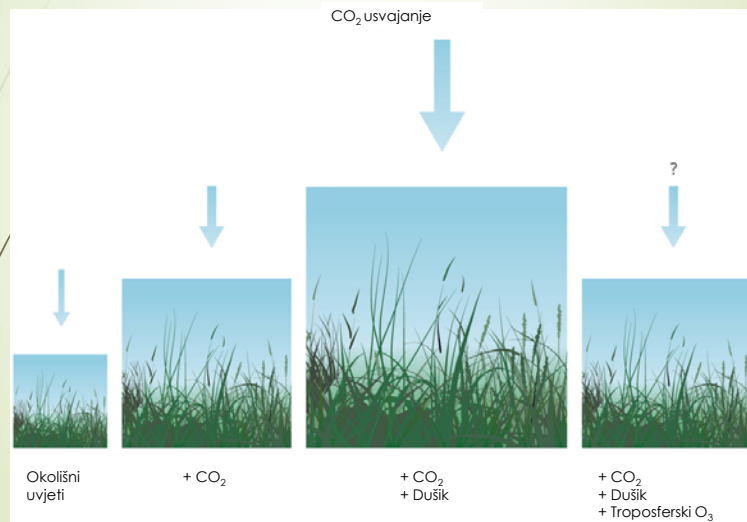
Produktivnost biljaka

Doc.dr.sc. Boris Đurđević

Produktivnost biljaka ograničena je genetskim potencijalom vrste, sorte ili hibrida, naravno uz uključivanje i čimbenika sredine koji značajno utječe na navedenu produktivnost

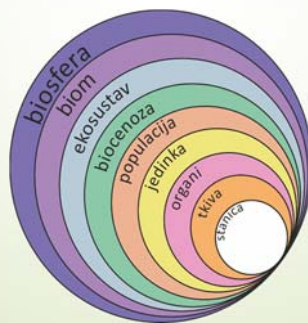


Rast prinosa iskazan je velikim brojem pravila ili zakona čiji je karakter najprije statistički jer vrijede upravo onoliko koliko se precizno može definirati djelovanje nekog čimbenika rasta, odnosno prinosa.



Ekologija - proučava odnose među živim organizmima, kao i njihov utjecaj na okoliš u kojem rastu i razvijaju se ali i također i utjecaj tog okoliša na njih.

Ekofiziologija je znanstvena disciplina koja proučava interakciju između biljaka i njihovog okoliša povezujući biljnu fiziologiju s ekologijom.

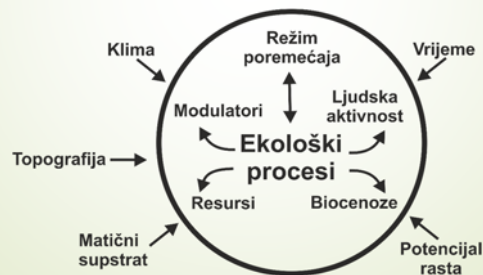



Najveći izazov biljne proizvodnje je pronalaženje novih ili boljih pristupa, odnosno metoda, koje mogu biti uspješno korištene u primarnoj produkciji hrane ili predviđanju učinka ambijenta na promjene prirodnih sustava, kao i modalitete njihove adaptacije na konkretne agroekološke uvjete.

Stupanj prilagodljivosti pojedinih biljnih vrsta na uvjete okoliša promjenom morfoloških svojstava i fizioloških mehanizama utječe na opstanak i rast biljaka, njihovu produktivnost i međusobne odnose kao što su kompeticija, alelopatija i dr.

Rast biljaka je pod djelovanjem **biotičkih i abiotičkih** čimbenika, koji podliježu prirodnim zakonitostima.


Životnu sredinu čini kompleks **biotskih i abiotičkih čimbenika** koji djeluju na biljke ili životinje koje žive na tom mjestu/staništu. Te čimbenike označavamo kao životne ili ekološke faktore; najčešće ih nazivamo vanjski čimbenici ili **faktori okoliša**.





Vanjsku sredinu reprezentira kompleks ekoloških faktora čije je osnovno svojstvo promjenjivost po vremenu (dan – noć, jutro, podne, godišnja doba itd.) i prostoru (geografska širina i duljina, nadmorska visina, udaljenost kopna od mora i dr.).

Živi organizmi reagiraju na promjene vanjskih faktora ekološkim prilagodbama (**adaptacije**) što doprinosi izraženoj dinamici unutar ekološkog sustava. Adaptacije pojedinih vrsta na neku ekološku akciju mogu biti vrlo različite, što sukladno njihovim mogućnostima (promjena intenziteta ili smjera fizioloških procesa => morfološke promjene) rezultira posebnom **ekološkom formom** (npr. *xerofite, halofite* i dr.).



Abiotski čimbenici

Okolišni čimbenici su vanjske sile (živog ili neživog podrijetla) koji utječu na život organizama.

Okolišni čimbenici su tvari (**tlo, stijene, voda, zrak**), uvjeti (**svjetlo, temperatura, vlaga, oborine**), sile (**vjetar, gravitacija**) i organizmi (**biljke, životinje, mikroorganizmi, ljudi**).

U neživi okoliš dodatno se mogu svrstati

- atmosfera,**
- litosfera**
- hidrosfera,**

Čimbenici okoliša	Detalji	Primjeri
Svjetlost	<ul style="list-style-type: none"> • intenzitet • kvalitet (spektralni sastav) • dužina osvjetljenosti 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dužina dana ▪ oblačnost, zasjenjenost ▪ IC (crvena/tamnocrvena) UV (ultravioletna)
Voda u tlu	<ul style="list-style-type: none"> • količina • kvaliteta 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ potencijal vode ▪ oblici vode u tlu ▪ anoksija ▪ zaslanjenost
Oborine	<ul style="list-style-type: none"> • ukupne oborine • sezonska distribucija • intenzitet 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ visoke/niske ▪ zimske ▪ nevrijeme
Atmosferska suša	<ul style="list-style-type: none"> • suh zrak (interakcija temperature i zraka) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ niska relativna vlaga zraka ▪ visoka evapotranspiracija
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • akumulacija aktivne temperature • ekstremi 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ organogeneza ▪ oštećenja mrazom ili visokom temperaturom
Tlo	<ul style="list-style-type: none"> • struktura (fizikalna svojstva) • organska tvar • hraniva • pH • zaslanjenost • aeracija 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mehanički sastav ▪ tekstura, struktura ▪ referencija vode ▪ raspoloživost hraniva ▪ oksidoredukcija
Biljna hraniva	<ul style="list-style-type: none"> • makroelementi (N, P, K, S, Mg, Ca) • mikroelementi (Fe, Mn, Zn, B, Cu, Mo, Cl, Ni) • korisni elementi 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ proteini (enzimi) ▪ transport energije ▪ ionski transport i ravnoteža ▪ prenositelji iona ▪ struktura klorofila
Vjetar	<ul style="list-style-type: none"> • brzina vjetra • turbulencija • vjetrozaštita 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ poljeganje ▪ abrazija ▪ polinacija
Biotski efekti	<ul style="list-style-type: none"> • kompeticija • životinje • patogeni • antropogeni učinak 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ odnosi između biljaka ▪ ispaša ▪ bolesti
Ostalo	<ul style="list-style-type: none"> • vatra • uznemiravanje • snježni prekrivač • onečišćenja 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zemljotres ▪ kisele kiše

Klimatski čimbenici

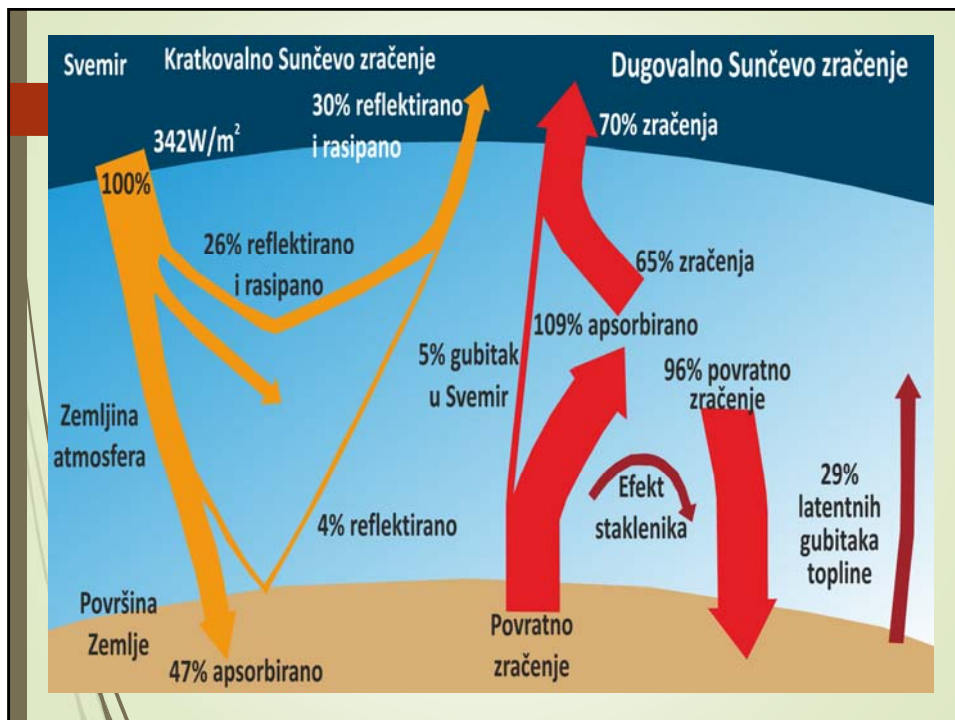
Klima je produkt vremena, odnosno svakodnevnog stanja svjetla, temperature, oborina, vlage, vjetra i tlaka zraka na nekom staništu ili širem području.



Svjetlost

Bez Sunca i njegovog zračenja život na Zemlji ne bi postojao. Ono omogućuje potrebnu toplinu, održava vodu u tekućem stanju, omogućuje fotosintezu, tvorbu organskih tvari itd.

Gotovo ukupno ultraljubičasto zračenje se apsorbira u gornjim slojevima atmosfere koja raspršuje kraće valne duljine i zaslužna je za plavu boju neba. Biljke apsorbiraju veći dio vidljivog spektra (400-700 nm), kao i dio UV (ultraljubičastog) zračenja, dok klorofil reflektira zeleno svjetlo. Nagib Zemljine osi i promjena udaljenosti Zemlje od Sunca izaziva sezonske varijacije solarne energije koja dopiže na površinu Zemlje.

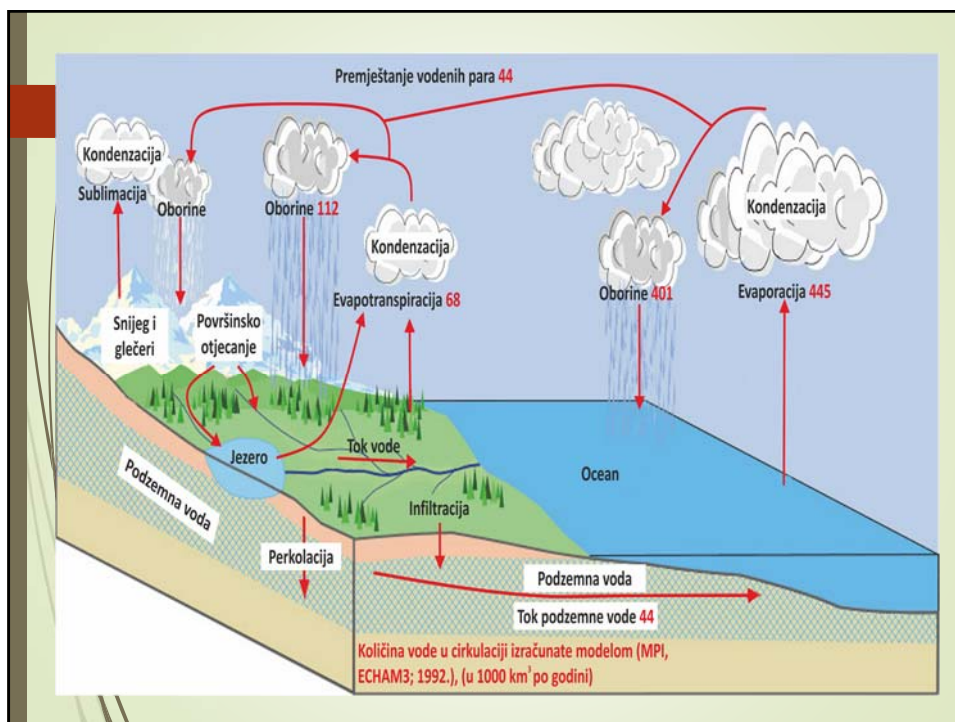


Voda

Voda je, odmah iza Sunca, najvažniji čimbenik okoliša koji omogućava postojanje života na Zemlji, a manjak slatke vode jedna od najvećih briga čovječanstva.

Oceani pokrivaju 71 % površine Zemlje i sadrže 97 % cjelokupne vode, dok slatkovodni resursi čine tek 3 % ukupne vode. Uz to, 75 % slatke vode čine ledenjaci i polarni led što ostavlja manje od 1 % dostupne slatke vode u tekućem obliku.

Obnovljivi izvori pitke vode na Zemlji procjenjuju se na $7 \times 10^6 \text{ km}^3$.



Vjetar

Važan je okolišni čimbenik koji snažno utječe na intenzitet gubitka vode iz biljaka transpiracijom, raznosi sjemenke i oprašuje biljke.

Brzina vjetra varira na različitim zemljopisnim pozicijama, a osim nadmorske visine i reljefa, vegetacija značajno utječe na brzinu vjetra. Ugrijane zračne mase, posebice u ekvatorijalnom pojasu podižu se do stratosfere i kreću se prema polovima gdje se hlade, postaju teže i spuštaju se prema površini Zemlje.

Sezonski vjetrovi su također važni jer suhi pušu od kontinenta prema oceanima tijekom ranog ljeta, a zimi nose vlagu s oceana na kopno.

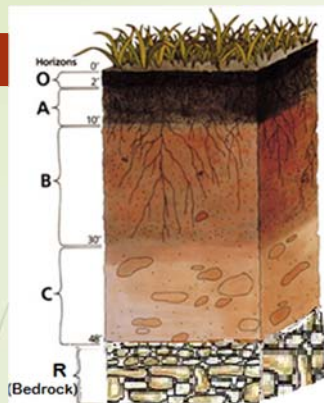


Edafski čimbenici

Tlo je rastresit sloj smješten između litosfere i atmosfere, supstrat biljne ishrane i biljno stanište koje čine kruta, tekuća, plinovita i živa faza.

Formiranje tla je složen proces na koji utječe niz pedogenetskih čimbenika (matični supstrat, organizmi, klima, reljef i vrijeme).

Proces formiranja tla započinje mehaničkim, kemijskim ili biološkim trošenjem stijene. Vertikalni presjek tla naziva se pedološki profil, a čine ga slojevi ili horizonti različitih fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava.

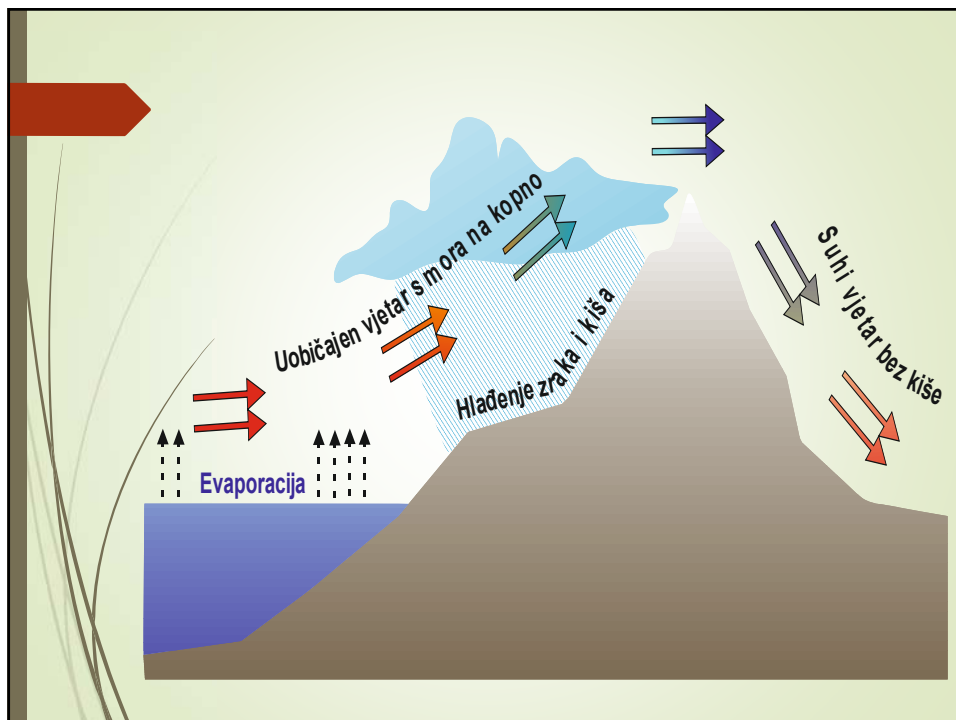


Fiziografski (orografski) čimbenici

Geografska širina, nadmorska visina, nagib Zemljine osi, revolucija Zemlje, položaj regije unutar kontinentalnih kopnenih masa, blizina većih vodenih površina i zemljopisne značajke kao što su planine, doline, prevoji i dr. imaju znatan utjecaj na klimu i vegetaciju područja.

Planine utječu na dva načina: mijenjaju količinu i raspored oborina te čine klimatsku granicu između pojedinih područja.

Nailaskom na planine zračne se mase uzdižu i hlade što uzrokuje kondenzaciju vodene pare, odnosno padaline u obliku kiše ili snijega. Planinska područja pokazuju ogromne razlike u klimi jer temperatura pada za 1,5 - 3 °C na svakih 300 m porastom nadmorske visine



Biotski čimbenici

Na rast i razvitak agrofitocenoza djeluju, jednako kao i na prirodne biocenoze, svi ekološki faktori, premda su unutar „njegovane“ biljne zajednice oni potpun specifični.

Biljke unutar takve zajednice ispoljavaju specifičnu konkurenciju na čimbenike okoliša (*kompeticija* prema svjetlu, vodi, hranivima i dr.) jer su potpomognute antropogenim djelovanjima (obrada tla, gnojidba, sklop, zaštita od bolesti, štetnika i herbivora itd.). Stoga je kod agrofitocenoza jedino važno kakva je primarna produkcija organske tvari cijele agrofitocenoze, odnosno usjeva, a ne pojedinih biljaka.

Hijerarhija čimbenika rasta

Čimbenici rasta	Čimbenici rasta + limitirajući čimbenici	Čimbenici rasta + limitirajući čimbenici + čimbenici redukcije
1. CO ₂	1. voda	1. korovi
2. svjetlost	2. hraniva a) N b) P c) K d) Ca e) Mg	2. pesticidi
3. temperatura		3. bolesti 4. polutanti



Potencijal
rodnosti

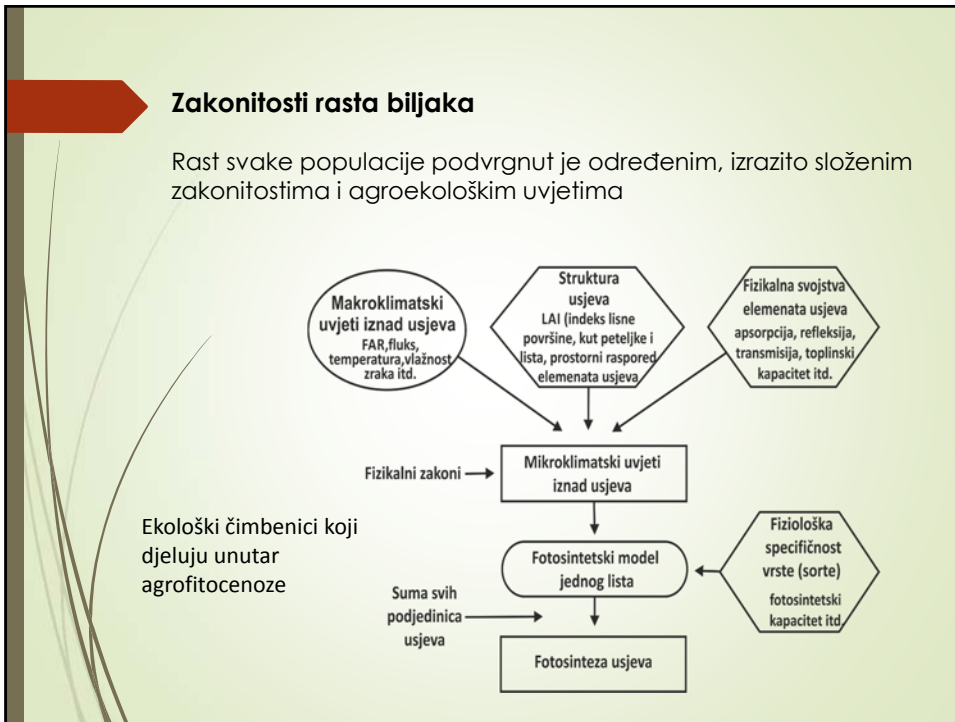


Ograničenje vode
i/ili hraniva



Aktualna
rodnost

Pokazatelj	Prirodni ekosustav	Održivi agroekosustav	Konvencionalni agroekosustav
Proizvodnja	niska	niska/ srednja	visoka
Produktivnost	srednja	srednja/ visoka	niska/ srednja
Biološka različitost	visoka	srednja	niska
Elastičnost	visoka	srednja	niska
Stabilnost	srednja	niska/ srednja	visoka
Prilagodljivost	visoka	srednja	niska
Ljudska interakcija	niska	srednja	visoka
Ovisnost o vanjskim inputima	niska	srednja	visoka
Autonomija	visoka	visoka	niska
Održivost	visoka	visoka	niska

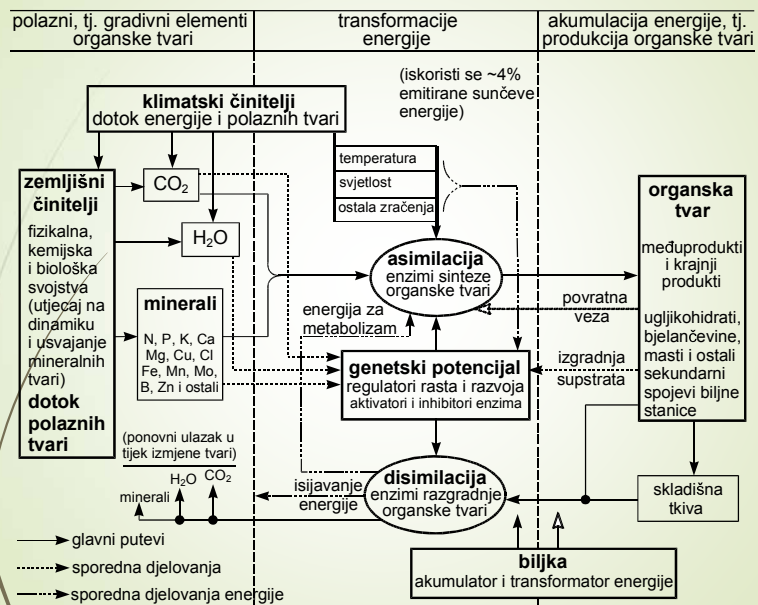


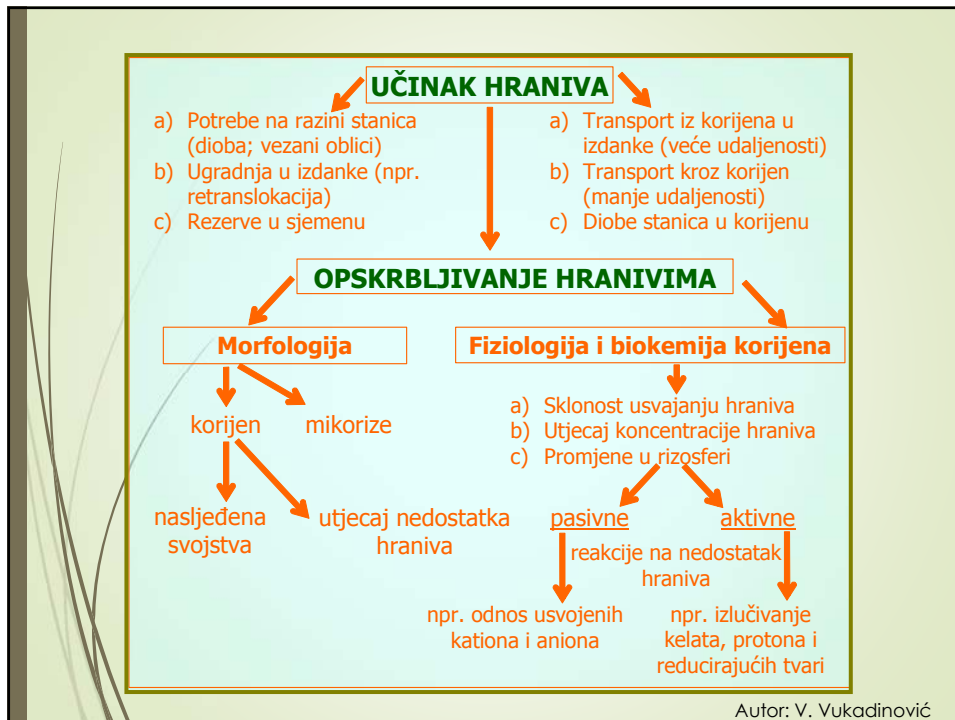
U literaturi je opisan veliki broj jednadžbi (gotovo stotinu) za analizu rasta agrofitecenoza, ali tek se njih nekoliko koristi u praksi.

Važno je naglasiti da su jednadžbe vrlo pojednostavljeni, generalizirani modeli rasta te se u suvremenoj znanosti koriste uglavnom vrlo složeni kompjutorski modeli kojima se mogu vrlo točno simulirati i analizirati rast biljaka i tvorba prinosa.

Krivulja prinosa raste kao funkcija svih čimbenika do veličine genetskog potencijala proporcionalno s prinosom koji nedostaje do maksimalnog. Rast prinosa iskazan je velikim brojem pravila ili zakona čiji je karakter najprije statistički jer vrijede upravo onoliko koliko se precizno može definirati djelovanje nekog čimbenika rasta, odnosno prinosa.

Utjecaj vanjskih i unutarnjih činitelja rasta i tvorbe prinosa





Dvije zakonitosti imaju opći i globalni značaj u razumijevanju primarne produkcije organske tvari:

Liebigov zakon minimuma: rast (ili širenje populacije) ovisi o čimbeniku koji najviše nedostaje (faktor minimuma)

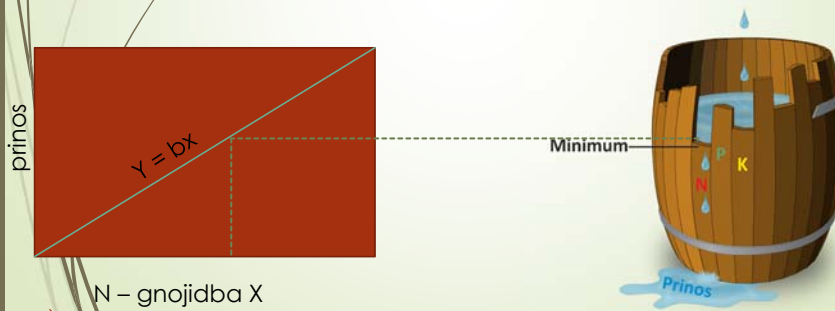
Shelfordov zakon tolerancije: svaka biljna vrsta može opstati i uspješno se razmnožavati samo unutar određenih uvjeta okoliša (klimatski i edafski čimbenici).

Libigov zakon minimuma:

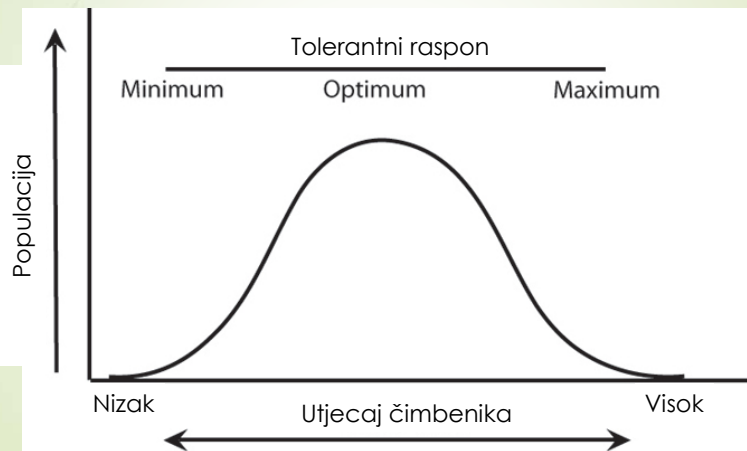
Prinos kulture ovisi o onom čimbeniku koji je u **minimumu**

Matematički prikazano to je jednačina pravca:

$$Y = b_0 + b_1x$$



Shelfordov zakon tolerancije koristan je pri razumijevanju relativne gustoće i predviđanju strukture zajednice. Na temelju niza biotskih i abiotskih čimbenika zakon objašnjava toleranciju vrsta na stres.

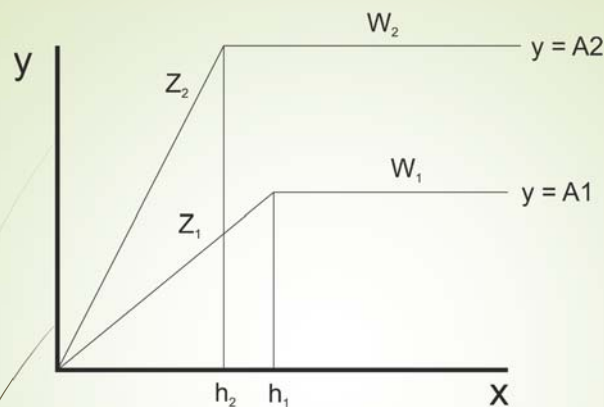


Također, postoji niz izvedenih i „dorađenih” jednažbi kao naprimjer:

Libscherov zakon optimuma:

DeVrijes (1939) sugerira da oblik krivulje raspoloživosti određenog (proučavanog) hraniva ovisi o drugim hranivima u tlu tj. koliko su ona blizu optimuma. Drugim riječima učinkovitost hraniva je međuovisna.

Libscherov zakon optimuma predviđa povećanje raspoloživosti hraniva što su druga hraniva bliže optimumu.



Libscherov zakon optimuma predviđa povećanje raspoloživosti hraniva **X** što je drugo hranivo **W** bliže optimumu uz prinos **Y**. Raspoloživost hraniva **X** određuje se pomoću nagiba **Z** (linije minimuma gdje je $Z_2 > Z_1$). Grafikon prikazuje dvije različite visine hraniva **W1** i **W2**, dok **A1** i **A2** predstavljaju maksimalne prinose kod određene razine hraniva. Vrijednosti **h1** i **h2** predstavljaju količinu hraniva **X** koja je potrebna za ostvarivanje pola maksimalnog prinosa pri različitim razinama raspoloživosti hraniva **W1** i **W2**.

Kalibracijski pokusi

Primjena ekstrakcijskih kemijskih metoda analize tla, kao mjerila potreba u gnojidbi, zahtijeva njihovu **kalibraciju** jer se u praksi često događa da između ocjene opskrbljenosti tla hranivima i primjene gnojiva nema čvrste veze. Naravno, to ne znači kako je rezultat kemijske analize tla loš već uglavnom nije dobro protumačen. Stoga je zadatak kalibracije ustanoviti što za biljku znači utvrđen sadržaj hraniva nekom od kemijskih ekstrakcijskih metoda, ovisno o svojstvima tla i biljne vrste.

Kalibracija se općenito svodi na utvrđivanje granica raspoloživosti nekog hraniva pri čemu se tlo svrstava u **siromašno, srednje ili dobro opskrbljeno, a često i u više klasa opskrbljenosti.**

Kalibracijski pokusi uglavnom omogućavaju ispravnu interpretaciju rezultata kemijske analize tla kao i utvrđivanje optimalne doze gnojiva. Ovisno o klasi opskrbljenosti tla hranivima, utvrđene su značajne korelacije između gnojidbe i visine prinosa (na tlima niske opskrbljenosti hranivima) kao i između količine pristupačnih hraniva u tlu i koncentracije tih elemenata u biljci (na tlima koja pripadaju klasi srednje i dobre opskrbljenosti pristupačnim hranivima).



Mjerilo opskrbljenosti tla pristupačnim hranivim predstavljeno je količinom iznesenih biogenih elemenata te je stoga kalibracijske pokuse potrebno postavljati na različitim tipovima tala za svako proizvodno područje čime se povećava točnost rezultata.

Kalibracijski pokus može obuhvatiti više elemenata pri čemu se utvrđuje najpovoljnija količina i omjer hraniva. Na primjer, za glavne hranidbene elemente shema pokusa je najčešće:

1.	0	7.	$N_3P_2K_2$	13.	$N_2P_2K_3$
2.	N_2P_2	8.	$N_4P_2K_2$	14.	$N_2P_2K_4$
3.	N_2K_2	9.	$N_2P_1K_2$	15.	$N_3P_3K_2$
4.	P_2K_2	10.	$N_2P_3K_2$	16.	$N_3P_2K_3$
5.	$N_1P_2K_2$	11.	$N_2P_4K_2$	17.	$N_3P_3K_3$
6.	$N_2P_2K_2$	12.	$N_2P_2K_1$		

Mitscherlichov zakon o opadajućem porastu prinosa

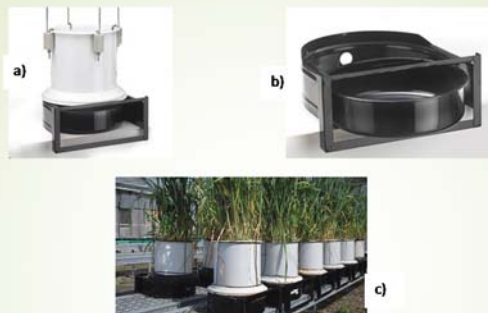
Nakon provođenja niza laboratorijskih – poljskih pokusa utvrđeno je da se krivulja rasta priroda povija na kraju. Za objašnjenje ove pojave predloženo je niz matematičkih modela kao što su Mitscherlichov logaritamski i Spillmannov hiperbolični.

Mitscherlichov zakon uvažava eksperimentalno utvrđene činjenice da na visinu priroda utječe niz **biotskih čimbenika** (vrsta, kultivar, produktivnost fotosintetskog aparata i drugo) i **abiotske prirode** (klimatski i zemljišni uvjeti).

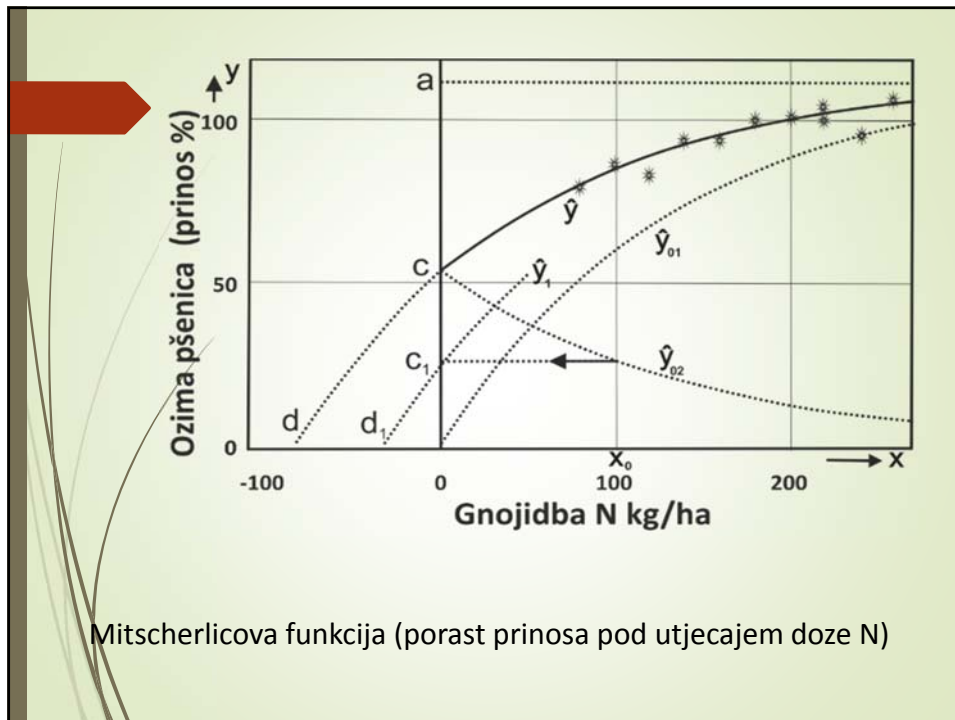
Vegetacijski pokus u Mitscherlichovim posudama

Već spomenuti čimbenici okoliša značajno utječu na visinu prinosa stoga je razvijena metoda uzgoja biljaka u kontroliranim uvjetima kako bi se utvrdio utjecaj pojedinih elemenata biljne ishrane na visinu prinosa anulirajući značajan utjecaj čimbenika okoliša.

Vegetacijski pokusi u Mitscherlichovim posudama temelje se na uzgoju biljaka s gnojidbom po točno određenom planu omogućavajući utvrđivanje utjecaja svakog od istraživanih elemenata biljne ishrane kao i izračun potrebne gnojidbe.



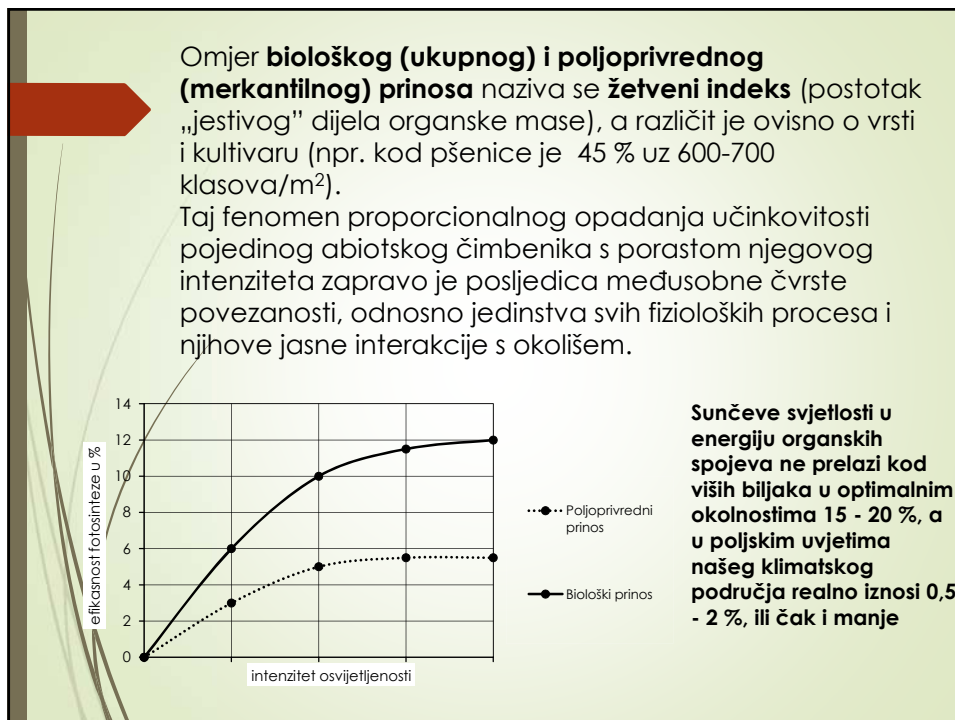
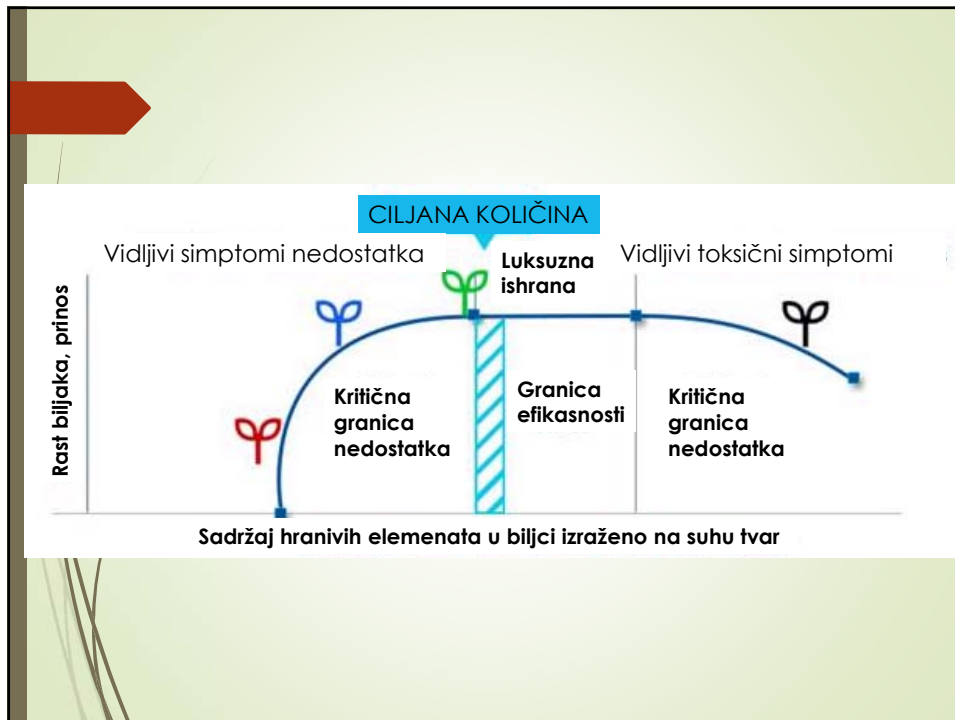
Vegetacijski pokus u Mitscherlich-ovim loncima : a - primjer Mitscherlichovog lonca; b - posuda za hvatanje procijeđene vode; c - primjer postavljenog pokusa sa zasijanom kulturom



Intenzitet djelovanja nekog **abiotskog čimbenika iznad optimalnog** u agronomiji se označava kao **luksuzno djelovanje (npr. luksuzna gnojidba označava primjenu veće doze gnojiva od potrebne u konkretnim agroekološkim uvjetima)**.

Optimizacija faktora prinosa, sukladno ekološkim uvjetima i potencijalu rodosti najznačajnije je pitanje primarne organske produkcije.

Naime, povećanje intenziteta osvjetljenosti čvrsto i pozitivno korelira s ukupnom masom akumulirane organske tvari (biološki prinos) i nešto slabije s veličinom prinosa (poljoprivredni prinos), odnosno porast poljoprivrednog prinosa uz porast intenziteta osvjetljenosti prati samo do određene granice porast ukupne biološke mase.



Procjena visine mogućeg prinosa vrlo je složena zbog karaktera i brojnosti čimbenika koji djeluju na tvorbu organske tvari.

Najčešće se procjena temelji na potencijalu produktivnosti biljaka, odnosno usjeva.

Prema tom načelu, agronomska produktivnost može biti različita, ovisno o **agroekološkim i klimatskim uvjetima** i može se izračunati uz pomoć **računalnih simulacija**.

