

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Ana CAMLOH

**INDEKS LISTNE POVRŠINE KOT PARAMETER
PRIMARNE PRODUKCIJE SIRKA (*Sorghum bicolor* (L.)
Moench)**

MAGISTRSKO DELO

Magistrski študij - 2. stopnja

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Ana CAMLOH

**INDEKS LISTNE POVRŠINE KOT PARAMETER PRIMARNE
PRODUKCIJE SIRKA (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)**

MAGISTRSKO DELO
Magistrski študij - 2. stopnja

**LEAF AREA INDEX AS A PARAMETER OF PRIMARY PRODUCTION
OF SORGHUM (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)**

M. SC. THESIS
Master Study Programmes

Ljubljana, 2016

Magistrsko delo je zaključek Magistrskega študijskega programa 2. stopnje agronomije. Delo je bilo opravljeno na Katedri za aplikativno botaniko, ekologijo, fiziologijo rastlin in informatiko.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja magistrskega dela imenovala prof. dr. Dominika VODNIKA.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Gregor OSTERC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Dominik VODNIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Darja KOCJAN AČKO
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Podpisana izjavljam, da je naloga rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Ana Camloh

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du2
DK	UDK 633.174: 581.14(043.2)
KG	indeks listne površine/primarna produkcija/sirek/spremljanje rasti
AV	CAMLOH, Ana
SA	VODNIK, Dominik (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2016
IN	INDEKS LISTNE POVRŠINE KOT PARAMETER PRIMARNE PRODUKCIJE (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench)
TD	Magistrsko delo (Magistrski študij - 2. stopnja)
OP	XI, 46, [3] str., 6 pregl., 28 sl., 2 pril., 26 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Primarno produkcijo lahko vrednotimo na več načinov. Poleg neposrednih, destruktivnih metod uporabljamo tudi nedestruktivne metode, ki so posebej uporabne, ko vrednotimo dinamiko rasti. Eno takšnih metod predstavlja vrednotenje indeksa listne površine (LAI) s ceptometrom. V času rasti in razvoja rastline se indeks listne površine do določenega obdobja povečuje, nato pa ob zorenju in kasneje odmiranju rastline zmanjšuje. V nalogi smo z meritvami LAI in neposrednimi meritvami biomase spremljali rast sirka. Preučili smo sezonsko spreminjanje LAI. Raziskavo smo opravili na laboratorijskem polju Biotehniške fakultete. V času intenzivne rasti smo s ceptometrom LAI-2200 tedensko merili LAI. Vzoredno smo vsake štirinajst dni vzorčili in nato tehtali svežo ter suho biomaso. Indeks listne površine in biomasa bila pričakovana skozi rast in razvoj rastlin. Korelacija med indeksom listne površine in biomaso je linearna. Indeks listne površine ni dosegel vrednosti, ki jo navaja literatura. Vzrok za to so neoptimalne rastne razmere to je zelo mokro poletje, ki so preprečile potencialni razvoj.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Du2

DC UDC 633.174: 581.14(043.2)

CX leaf area index/primary production/sorghum/growth evaluation

AU CAMLOH, Ana

AA VODNIK, Dominik (supervisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy

PY 2016

TI LEAF AREA INDEX AS A PARAMETER OF PRIMARY PRODUCTION OF
SORGHUM (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

DT M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)

NO XI, 46, [3] p., 6 tab., 28 fig., 2 ann., 26 ref.

LA sl

Al sl/en

AB Primary production can be evaluated in many ways. It can be estimated by direct, destructive and indirect, non-destructive methods. Leaf area index (LAI) evaluation is one of non-destructive methods that are especially advantageous for evaluating growth dynamics. LAI increases in the course of plant growth to a certain value and later decreases, during the phase of flowering and withering. We studied growth of sorghum by direct biomass measurements and by non-destructive LAI measurements. We observed seasonal patterns of LAI. The experiment was carried out on field owned by Biotechnical faculty. Throughout intensive growth we measured LAI in week intervals, with ceptometer LAI-2200. Biomass (wet and dry) was sampled and weighed every second week. Results have shown linear correlation to some degree between LAI and biomass. Measurements of leaf area index have not reached values stated in the literature. That has happened because of the non-optimal conditions in the field (very wet summer) that were the reason for growth standstill of sorghum.

KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	X
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XI
1 UVOD	1
1.1 NAMEN MAGISTRSKEGA DELA	1
1.2 DELOVNI HIPOTEZI:	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 PRIMARNA PRODUKCIJA RASTLIN Z VIDIKA RASTI IN RAZVOJA LISTOV	2
2.1.1 Rast in razvoj rastlin	2
2.1.2 Razvoj listov	3
2.1.3 Faze rasti lista, ki vplivajo na površino listov	4
2.2 SPREMLJANJE FENOLOŠKEGA RAZVOJA RASTLIN	6
2.2.1 Fenološki razvoj sirka	7
2.3 KVANTITATIVNO SPREMLJANJE RASTI RASTLIN	8
2.3.1 Indeks listne površine	8
2.4 POMEN INDEKSA LISTNE POVRŠINE	12
2.4.1 Ekološki pomen LAI	12
2.4.2 Merjenje LAI kot metoda spremljanja rasti	14
2.4.3 LAI in primarna produkcija	14
2.5 MERJENJE INDEKSA LISTNE POVRŠINE	16
2.5.1 Načini ocene LAI	16
3 MATERIALI IN METODE	20
3.1 MATERIAL	20
3.1.1. Sirek	20
3.1.2 Pridelovanje sirka v Sloveniji	21
3.2 PODATKI O SETVI IN OBDELAVI	22

3.3 PROSTORSKI NAČRT DELA	22
3.4 ČASOVNI POTEK DELA	24
3.5 MERITVE LAI	25
3.5.1 Merjenje LAI z merilnikom LAI-2200C	25
3.6 SPREMLJANJE BIOMASE	28
3.7 OBDELAVA REZULTATOV	28
4 REZULTATI	29
4.1 VREMENSKE RAZMERE V LETU 2014	29
4.2 REZULTATI MERITEV	30
4.2.1 Rezultati meritev indeksa listne površine	32
4.2.2 Rezultati merjenja biomase	35
5 RAZPRAVA	40
5.1 RAST SIRKA NA POSKUSNEM POLJU BIOTEHNIŠKE FAKULTETE	40
5.2 INDEKS LISTNE POVRŠINE	40
5.2.1 Možnosti napak pri merjenju LAI	41
5.3 SPREMLJANJE BIOMASE	41
5.4 KORELACIJA LAI IN BIOMASE	42
5.5 LAI IN FAZE RASTI	42
5.6. PREGLED HIPOTEZ	42
6 SKLEPI	43
7 POVZETEK	44
8 VIRI	45

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Primerjave posameznih merilnikov za merjenje LAI (Jonckheere in sod., 2004)	19
Preglednica 2: Termini opravljanja meritev	24
Preglednica 3: Primerjava vremenskih dejavnikov zadnjih desetih let (Meteo.si ..., 2016)	29
Preglednica 4: Izmerjene vrednosti indeksa listen površine tekom rasti na določenem merilnem mestu	32
Preglednica 5: Povprečja LAI posamezne polovice polja in primerjava z mesti okoli lizimetrov	33
Preglednica 6: Rezultati merjenja biomase (za oznake glej materiale in metode)	35

KAZALO SLIK

Slika 1: Potek spreminjanja sveže mase, števila celic in površina listov v odvisnosti od časa pri sončnici. Puščice označujejo trenutek ko se list razvije. (Hay in Porter, 2006: 38).....	3
Slika 2: Površina osmega lista pri krompirju v odvisnosti od časa ob različnih odmerkih gnojenja z dušikom (Hay in Porter, 2006: 47)	5
Slika 3: Razvojne faze pri sirku (Besancon, 2014)	7
Slika 4: Spremembe (a) v suhi snovi; (b) indeksu listne površine (LAI) pri pšenici ob petih variantah gostote setve (1,4; 7; 35; 154 in 447 rastlin m ⁻²) (Atwell in sod., 1999) 9	9
Slika 5: Prodiranje sončnega sevanja skozi rastlinski sloj na primeru koruze (Larcher, 1980: 7).....	10
Slika 6: Spremembe v (a) indeksu listne površine (LAI) v odvisnosti od časa, (b) prestrezanjem svetlobe v odvisnosti od časa in (c) povezava med prestrezanjem svetlobe in LAI za vse tri vrste skupaj, sirek, koruzo in riž (Atwell in sod., 1999)	11
Slika 7: Letni vzorci spreminjanja vrednosti LAI pri različnih poljščinah (Hay in Porter, 2006).....	12
Slika 8: Sezonski potek indeksa listne površine koruze (a) pri različnem dognojevanju z dušikom (0 kg/ha, 68 kg/ha in 135 kg/ha) ter (b) primerjava dognojevanih koncentracij med namakano in nenamakano koruzo (Boedham in sod. 2001: 1238).....	13
Slika 9: Dihanje in fotosinteza ob naraščajočem LAI (označen kot L), (P _g označuje bruto fotosintezo, P _n neto fotosintezo in R dihanje.), (McCree in Troughton, 1966: 1615).....	15
Slika 10: Model časovnega poteka indeksa listne površine in suhe snovi rastline pri zgodnjem (- - -) in poznemu krompirju (—) (Hay in Porter, 2006)	16
Slika 11: Površine za pridelovanje sirka in nekaterih drugih poljščin od leta 2003 do 2014 v Sloveniji (SURs, 2015)	21
Slika 12: Merilna mesta na poskusnem polju.....	22
Slika 13: Načrt merjenja LAI in odvzema biomase za merjenje mase na eni od polovic polja (razdalja a je 5 m, razdalja d 4 m, površina B 1 kvadratni meter), svetlo modra pika označuje merilni jašek, temno modri piki predstavljata nameščena lizimetra; površina parcele: 1,6 ar	23
Slika 14: Merilnik LAI-2200C	26
Slika 15: Sestava merilne palice merilnika LAI-2200 (Instruction ..., 2010: 1-6)	26

Slika 16: Potek meritev LAI za (Instruction ..., 2010)	27
Slika 17: Primerjava padavin v Ljubljani med preteklimi leti in letom 2014 (SURS, 2016)	29
Slika 18: Fotografije polja in sirka v času rasti; a) - polovica poskusnega polja s posevkom sirka, b) - sirek v začetku rastne dobe; višina 20-30 cm (27.6.2014), c) - Poskusno polje v intenzivni fazi rasti sirka (17.7.2014), d) - Sirek tekom vegetativne faze (17.7.2014), e) - Sirek v fazi cvetenja (8.8.2014), f) - Sirek v fazi zorenja (3.9.2014), g) - Opazna razlika med poljem in gostejšim predelom na območju lizimetrov (3.9.2014)	31
Slika 19: Sezonske spremembe LAI posevka sirka (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench) na posameznih merilnih mestih.....	33
Slika 20: Sezonske spremembe LAI posevka sirka (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench). Prikazana so povprečja.	33
Slika 21: LAI: primerjava med povprečjem meritev vsake polovice polja (K, N) in predelom z nameščenimi lizimetri (L1, L2)	34
Slika 22: Razpršenost rezultatov meritev LAI (program R).....	34
Slika 23: Biomasa sirka tekom rasti – meritve sveže mase	35
Slika 24: Biomasa tekom rasti sirka - meritve suhe mase	36
Slika 25: Primerjava povprečij meritev suhe in sveže biomase v času rasti sirka.....	36
Slika 26: Spreminjanje suhe snovi rastlin v času rasti	37
Slika 27: Korelacija LAI in biomase v dveh variantah: kot linearna in kot eksponentna korelacija	38
Slika 28: Umestitev posameznih faz rasti v potek LAI tekom rasti	39

KAZALO PRILOG

Priloga A: BBCH lestvica za sirek (BBCH code sorghum, 2014)

Priloga B: Sliki ostankov v programu R za linearno korelacijo med LAI in biomaso

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

BBCH – kratica za lestvico za določanje fenofaz (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie)

CO₂ – ogljikov dioksid

cm - centimeter

e – osnova za naravi logaritem (= 2,718)

ha - hektar

I – intenziteta sončnega sevanja

I₀ – intenziteta sevanja, ki doseže rastlinski pokrov

k – koeficient (v našem primeru koeficient ekstinkcije)

kg - kilogram

l - liter

LAI – indeks listne površine (leaf area index)

m – meter

m² – kvadratni meter

N - dušik

O₂ – molekula kisika

PAR – fotosintetsko aktivno sevanje (photosynthetically active radiation)

r² – koeficient determinacije (statistično)

1 UVOD

Življenje na Zemlji je odvisno od rastlin. Rastline so primarni producenti, ki omogočajo bivanje drugim organizmom z več vidikov. V procesu fotosinteze CO_2 vgrajujejo v organske molekule, ki so hrana heterotrofom, hkrati pa tudi proizvajajo kisik, ki omogoča življenje aerobnih organizmov.

Rast rastlin je dinamičen proces in je močno odvisna od dejavnikov okolja. Dinamika rasti rastlin nam lahko tudi poda informacije o stanju nekega dejavnika okolja, na primer o stanju tal, o stanju ekosistema... V času razvoja rastlina razvije določeno površino listov. Ta je pomembna spremenljivka za analizo interakcij med atmosfero in rastlinami, za določanje količine sprejetega sončnega sevanja. Načeloma velja, da večja površina listov sprejme več sončnega sevanja. Večja listna površina torej predstavlja tudi večjo fotosintetsko aktivno površino, ta pa je lahko osnova za večjo primarno produkcijo rastlin. Na osnovi slednje lahko v kmetijstvu pogosto sklepamo na pridelek. Ob dobri primarni produkciji rastlin, ki odraža ustrezne dejavnike okolja, lahko pričakujemo tudi ustrezno velik pridelek. V kmetijstvu spremljamo rast in razvoj rastlin, da lahko napovemo pridelek in da lahko po potrebi izvajamo ustrezne agrotehnične ukrepe. Za spremljanje rasti rastlin obstaja v študijskih poskusih več metod, posrednih in neposrednih. Metode moramo prilagoditi značilnostim rastlinske vrste, ki jo spremljamo.

1.1 NAMEN MAGISTRSKEGA DELA

Namen magistrskega dela je bil preučiti povezanost neposrednih (tehtanje mase vzorca rastlin) in posrednih metod (merjenje indeksa listne površine, LAI) za oceno biomase. Ovrednotiti smo želeli tudi sezonsko spreminjanje LAI.

1.2 DELOVNI HIPOTEZI

- Pričakujemo veliko povezanost proučevanih parametrov primarne produkcije sirka, to je LAI in suhe mase nadzemnih delov.
- Predvidevamo, da bo LAI do prehoda v reproduktivno fazo naraščal, nato pa bo ustaljen.

2 PREGLED OBJAV

2.1 PRIMARNA PRODUKCIJA RASTLIN Z VIDIKA RASTI IN RAZVOJA LISTOV

Rastline v svojem življenju prehajajo skozi različne stopnje rasti in razvoja. Neprekinjeno nastajanje listnih zasnov in listov je značilnost rastlinskega sveta. Rastlina vzorec nastajanja listov vzdržuje večji del življenjske dobe (Dermastia, 2007).

Primarna produkcija je po definiciji organska snov izražena kot masa suhe snovi na kvadratni meter površine tal oziroma sestoja. Ločimo bruto in neto primarno produkcijo. Bruto primarna produkcija je količina organske snovi, ki jo sintetizirajo rastline na določeni površini v posameznem vegetacijskem obdobju ali letu, z upoštevanjem med letom odpadlih rastlinskih delov in pri dihanju porabljene snovi. Definicija za neto primarno produkcijo je podobna, le da ne upošteva pri dihanju porabljene snovi (Botanični terminološki slovar, 2011).

Primarna produkcija rastline je v poljedelstvu osnova za pridelek, ki je uporaben del proizvedene organske snovi. Količina pridelka je močno odvisna od rasti rastline in njenega razvoja (Bueno, 1979).

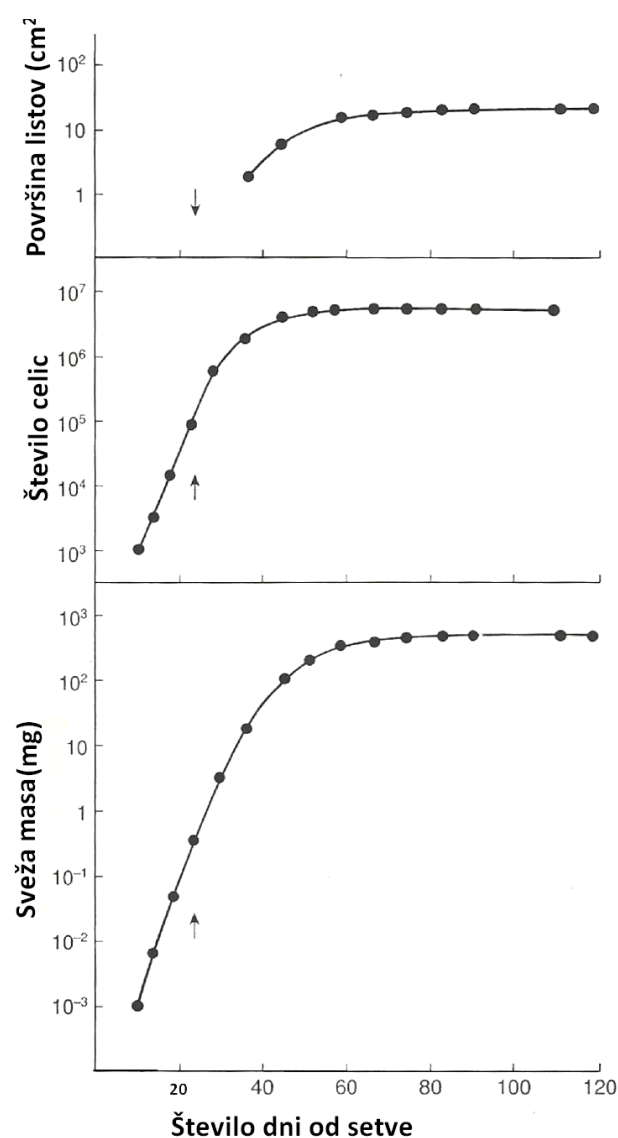
2.1.1 Rast in razvoj rastlin

Živali praviloma rastejo difuzno, kar pomeni enakomerno in sočasno rast celega organizma. Rastline rastejo drugače, in sicer lokalno. To pomeni, da v nekem trenutku rastejo le posamezni rastlinski organi. Tako rast rastlinam omogočajo meristemi. Celice meristemov so trajno sposobne mitotske delitve. Določene rastlinske vrste posledično lahko v idealnih razmerah neprestano rastejo. Končna rastlinska morfologija je rezultat genetskih in okoljskih dejavnikov (Dermastia, 2007).

Meristemi se nahajajo na različnih delih rastlin. Poleg glavnih ali apikalnih imajo rastline še stranske meristeme, ki so lahko zalistni ali aksilarni in interkalarni (se pojavijo med kolenci enokaličnic). Meristemsko območje sestavljajo izvirne celice in njihove potomke. V ustreznih razmerah se potomke izvirnih celic diferencirajo in dozoriijo v različne tipe celic ki tvorijo različna tkiva. Poleg zagotavljanja potomk izvirnih celic meristem tudi nadzoruje vzorce rasti v rastlinskem telesu na primer določa urejenost listov po stebelu. Za vsako rastlinsko vrsto je značilna specifična filotaksija, razporeditev listov po stebelu. Listi se med vrstami razlikujejo tudi po obliki (Dermastia, 2007; Langer, 1979). Posebne oblike listov za posamezno vrsto so genetsko pogojene, nastanejo pa glede na lego in aktivnost meristemov.

2.1.2 Razvoj listov

Listi se razvijajo iz primordija na strani vrhnjega dela vršička vegetativnega poganjka. Tako na rast in razvoj lista, kot na rast in razvoj rastline, vplivajo različni dejavniki. Ti so genetski in okoljski. Po oblikovanju primordija list preide v fazo, ko se celice listov intenzivno delijo do trenutka, ko se list začne odvijati. V tej fazi se posamezne celice še ne povečujejo, saj poteka diferenciacija. V tem času se število celic, dolžina lista in masa sveže rastline povečujejo skoraj eksponentialno. Rast ni eksponentialna le primeru, ko dejavniki okolja preveč nihajo. Ko se list odvija, se celice že nekoliko manj intenzivno delijo, čeprav se delitve nadaljujejo, dokler listna površina ne doseže 30-50 % svoje končne velikosti. Omenjeno velja za dvokaličnice, katerih listi imajo tudi obrobne meristeme (Hay in Porter, 2006). Časovni potek povečevanja biomase, števila celic in listne površine dvokaličniškega lista, je razviden iz grafov na sliki 1.



Slika 1: Potek spreminjanja sveže mase, števila celic in površina listov v odvisnosti od časa pri sončnici. Puščice označujejo trenutek ko se list razvije (Hay in Porter, 2006)

Liste enokaličnic, med katere spada tudi sirek, sestavljajo listno dno, listna ploskev in psevdopecelj. Listno dno je pritrjeno na steblo s širokim delom in navadno oblikuje listno nožnico. Listna baza ima lahko poleg nožnice številne modifikacije. Iz zgornje povrhnjice lahko izraščata jeziček ali lingula in ušesce ali aurikula (Dermastia, 2007).

Rast enokaličniškega lista je enostavnejša kot pri dvokaličnicah. Čas, ko se večina celic deli, je nekoliko krajši, delitve pa so omejene na osnovne interkalarne meristeme. Izvorne celice teh meristemov so opazne že v zgodnji fazi razvoja posameznega lista. Celice se večajo že v zgodnjem razvoju lista. Zrel, funkcionalen list je tisti, ki ga interkalarni meristem potisne na rob stebela in je dolg 35 - 60 % svoje končne dolžine. Tudi zrel list nadaljuje rast in povečevanje svoje ploskve (Hay in Porter, 2006).

Razvoj poganjka povzroči, da se list, ki ga ovija, odvijje do konca. To se ponavlja na vseh členkih enokaličnic. Interval med pojavoma dveh listnih zasnov se imenuje plastokron in se kot biološki parameter za časovno komponento uporablja v fizioloških raziskavah. List je končno oblikovan, ko postane viden jeziček (Langer, 1979).

Staranje in propad lista sta prav tako del življenja rastline, pogojena pa sta genetsko. Pri hitro rastočih rastlinah se staranje začne takoj zatem, ko list doseže svojo končno velikost. Pokaže se z manjšanjem fotosintetskega potenciala, odvajanjem organskih oblik dušika v novonastajajoče liste, starajoči se list izgublja barvo in se nato posuši. Tudi okoljski dejavniki, kot so pomanjkanje hranil, bolezni, senčenje,... lahko pospešijo staranje listov (Hay in Porter, 2006).

2.1.3 Faze rasti lista, ki vplivajo na površino listov

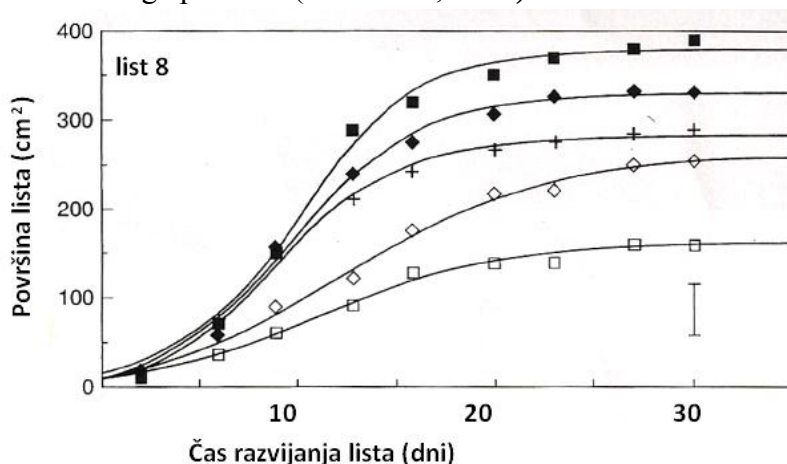
Površino listov rastline ob določenem času določajo: čas od vznika rastline, količina nastalih listov, hitrost povečevanja listnih ploskev po pojavu lista, trajanje povečevanja listne ploskve, nastajanje novih poganjkov in razvejanje rastline, hitrost staranja listov in odpadanje le teh. Na vse naštetje vplivajo genetski in okoljski dejavniki. Temperatura vpliva tudi na nastanek in razvoj listov, predvsem na povečevanje listov. Če preučujemo ta vpliv, je potrebno temperaturo v sestoji rastlin izmeriti z natančnejšimi meritvami na različnih delih in različnih višinah sestoja. Na nastajanje listov poleg temperature pomembno vpliva še dostopnost vode in hranil. Končno število listov na stebelu je produkt števila in trajanja procesa nastajanja oz. razvoja listov. Pri žitih konec podaljševanja listov in nastajanja novih določa fotoperiodični signal (podaljšanje dneva), na katerega postanejo rastline dovzetne po vernalizaciji (po tem, ko preživijo določeno obdobje nizkih temperatur). Glede na okoljske razmere žita razvijejo različno število listov. Zastavičar pri pšenici, je na primer, lahko šesti ali do osemnajsti list rastline. Kar se tiče hranil, pa rast listov najbolj omejuje pomanjkanje dušika (Hay in Porter, 2006).

2.1.3.1 Vznik in nastajanje prvih listov

V primeru, da seme ni podvrženo dormanci, je čas kalitve odvisen od temperature tal, dostopnosti vode in globine setve. Vznik rastlin lahko predvidimo z enostavnimi modeli, ki vključujejo datum setve in temperature tal (Hay in Porter, 2006). V začetni fazi razvoja lista sestavlja listno zasnovo ali listni primordij le 100 do 300 celic. Zasnova se oblikuje s celičnimi delitvami na robovih apikalnega meristema poganjka v vzorcu, ki je značilen za posamezno vrsto. Primordiji se začnejo razvijati, ko se majhna skupina celic v bočnem območju apikalnega meristema poganjka spremeni iz nedeterminiranih splošnih celic v determinirane. Rast poteka z delitvijo in povečevanjem celic (Dermastia, 2007).

2.1.3.2 Povečanje listov

Vsaka vrsta ima značilen potek razvoja listov do njihove končne velikosti, nanj pa vplivajo tudi okoljski dejavniki. Tudi površina listov je pogojena z okoljskimi in genetskimi dejavniki, ki so značilni za posamezno vrsto oziroma sorto. Kako veliki so listi, je odvisno tudi od števila listov na posamezno steblo. Kot vsi procesi ima tudi povečevanje listov svoj temperaturni minimum, optimum in maksimum. V optimalnih razmerah in ob ustaljenih temperaturah je trajanje povečevanja sosednjih listov na steblo podobno. Listi, ki nastajajo v za rastlino stresnih razmerah (na primer ob suši), so manjši, koliko pa je odvisno od tega, kako hud je stres. Pri nekaterih vrstah ima stres manjši vpliv. Pomemben vpliv na povečevanje listov ima tudi gnojenje z dušikom (slika 2), predvsem je tu opazno pomanjkanje dušika (Hay in Porter, 2006). Celične delitve v primordiju potekajo dokler list ne doseže polovice do treh četrtin končne velikosti. Nato se začne stopnja širitve lista, v kateri se oblikuje večina medceličnega prostora (Dermastia, 2007).



Slika 2: Površina osmega lista pri krompirju v odvisnosti od časa ob različnih odmerkih gnojenja z dušikom (Hay in Porter, 2006)

Pomembno je tudi poudariti, da na rast posamezne rastline posevka vpliva rast sosednjih rastlin, ki do določene mere senčijo druga drugo. To včasih privede do tega, da rastline hitreje nastavljajo nove liste, čeprav so zato nastajajoči listi manjši (Hay in Porter, 2006).

2.1.3.3 Razvejanje stebila

Za skupno površino listov je pomembno tudi razvejanje stebila. Rastline v določeni stopnji rasti lahko na vsakem členku začnejo tvoriti sekundarna stebila ali še naprej stebila višjega reda, kar prav tako poveča površino listov rastline. Obseg razvejanja je odvisen od vrste in sorte rastline, gostote posevka in stopnje gnojenja z dušikom. Nekatere rastline se ne razvejajo (na primer koruza), medtem, ko je pri travah travne ruše razvejanje rastlin odvisno od košnje ali paše. Na nastajanje novih stebel pri poljskih rastlinah vpliva gostota setve. Pri gosti setvi ima novonastali poganjek možnost, da hitro raste in porablja hranila ali pa zaradi pomanjkanja prostora odmre. Pri ozimni pšenici, na primer, so osamljene rastline, ki niso rasle v tekmovalnem okolju, razvile tudi do 30 poganjkov na rastlino, od katerih je večina (80 %) preživela in prešla v generativno fazo, medtem ko so rastline na polju ob visoki gostoti setve (800 rastlin/m²) razvile le glavno steblo. Rastline za kmetijsko pridelavo (pšenica), kjer zraste od 200 do 300 rastlin/m², navadno poženejo dva ali tri plodne poganjke. Potencial za razvejanje na višjih členkih je značilnejši za dvokaličnice. Tu je klasifikacija stebel zahtevnejša (Hay in Porter, 2006). Sirek je rastlina, ki oblikuje stranske poganjke. Lahko ima do štiri plodne stranske poganjke; razvije jih lahko še več, vendar ti niso plodni (Lafarge in Hammer, 2002).

2.1.3.4 Staranje listov

Različne vrste rastlin se zelo razlikujejo v tem, kako dolga je življenjska doba posameznega lista. Pri koruzi na odmiranje spodnjih listov najbolj vpliva razvoj naslednjih listov. Tudi pri drugih travah in žitih je število naslednjih listov tisto, ki pogojuje odmiranje spodnjih listov. Tendencia je, da je skupno število listov v določenem obdobju rasti neke trave ali žita ves čas enako; kolikor listov nastane, toliko jih odmre. Pri dvokaličnicah je lahko število listov na stebelu zelo različno. Na splošno se pri rastlinah hranila iz odmirajočih listov reciklirajo v mlajše liste. Znanstveniki so pri nekaterih hibridih koroze dosegli počasnejše staranje listov. Obseg stresa, ki so mu izpostavljene rastline, ima pomemben vpliv na življenjsko dobo in hitrost staranja listov. Tu so pomemben dejavnik škodljivci in rastlinske bolezni (Hay in Porter, 2006).

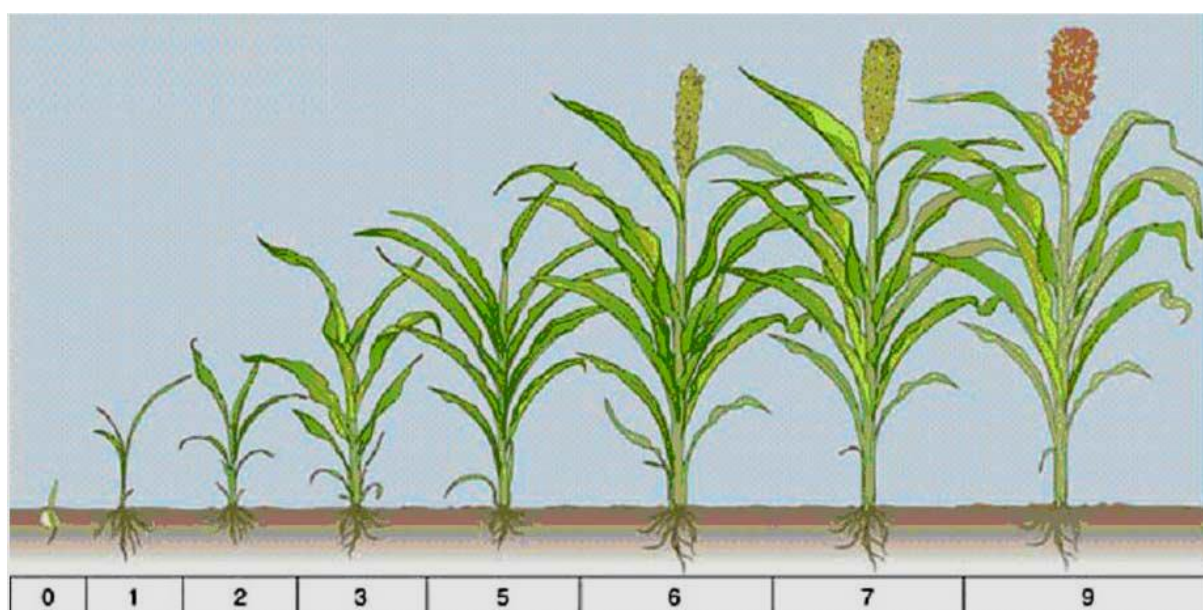
2.2 SPREMLJANJE FENOLOŠKEGA RAZVOJA RASTLIN

Razumevanje rasti in razvoja se začne s poznavanjem delov rastline. Temu se priključi znanje o razvoju rastline. Spremljanje razvoja in rasti rastlin je pomembno zato, da vemo kako ravnati s pridelkom, da bo rezultat optimalen. V grobem lahko rast rastlin opišemo le z nekaj fazami, lahko se omejimo na vegetativno rast in generativni razvoj (Čop, 2009; Dermastia 2007), pri čemer vegetativna rast pomeni rast poganjka in nastajanje novih poganjkov, generativni razvoj pa označuje rast in nastajanje cvetov oziroma reproduktivnih organov. V kmetijski praksi pa fenološki razvoj navadno opišemo z več fazami.

Poznavanje fenološkega razvoja rastlin je pogoj za izboljšanje kmetijske pridelave, ki stremi h kvalitetnemu in stabilnemu pridelku. Fenološki podatki so pomembni tudi za določanje časa izvajanja agrotehničnih ukrepov kot so namakanje, gnojenje, varstvo rastlin pred boleznimi in škodljivci ter spravilo pridelka. V začetkih opazovanj so opazovanja rastlin zajemala le natančen opis, po katerem je opazovalec ugotovil nastop fenološke faze. Kasneje se je pokazala potreba po poenotenju opisov fenoloških faz. Obstaja več lestvic, ena najbolj znanih je BBCH lestvica, ki je sistem za enotno kodiranje eno- in dvokaličnic. Koda je sestavljena iz desetih glavnih stadijev (vznik, listi, stranski poganjki, cvetenje...) in devetih sekundarnih razvojnih faz (kode 0-9). Torej vsako fazo določa dvomestna koda (Fenologija v Sloveniji, 2015).

2.2.1 Fenološki razvoj sirka

Čas od setve do vznika je pri sirku pet do deset dni. Na čas do vznika vplivajo dejavniki okolja, predvsem temperatura in količina vode. Vpliva tudi globina sejanja. Faze rasti so razvidne iz slike 3, pri čemer je faza 1 do pojava treh listov, faza 2 do pojava petih listov, faza 3 se začne, ko je vidna točka, kjer se začne oblikovati generativni del rastline, faza 4 se prične z razvijanjem zadnjega lista. BBCH lestvica (priloga A) faze razmejuje nekoliko drugače, Fazo 2 opredeljuje kot razvoj stranskih poganjkov. Vendar BBCH lestvica v grobem razvoj rastline prav tako loči v 9 glavnih faz. Pri sirku moramo omeniti, da vsak list raste iz svojega kolenca. Zadnji list, ki se razvija, je zastavičar in je manjši kot ostali listi. V fazi 5 (pri obeh opisanih lestvicah) so vsi listi razviti in predstavljajo največjo površino celega obdobja razvoja rastline. Socvetje, ki ga imenujemo metlica, že doseže svojo končno velikost. Faza 6 se prične, ko cveti polovica vseh rastlin na polju. Faza 7 predstavlja zgodnjo zrelost, faza 8 voščeno zrelost in faza 9 mrtvo zrelost semen (Vanderlip ..., 1993). Sirek lahko na posameznem steblu razvije 7 do 25 listov (Kramberger, 1999).



Slika 3: Razvojne faze pri sirku (Besancon, 2014)

2.3 KVANTITATIVNO SPREMLJANJE RASTI RASTLIN

V grobem ločimo destruktivne in nedestruktivne metode spremljanja rasti. Pri destruktivnih metodah gre navadno oceno rasti na vzorcu. Preko lastnosti vzorcev nato sklepamo na lastnosti celotnega posevka. Osnova destruktivnih metod je tehtanje sveže in suhe mase rastlin. Lastnosti rastlinskega vzorca določamo direktno. Pri nedestruktivnih metodah gre navadno za posredne meritve. Te meritve zahtevajo mnogo modeliranja, v literaturi se pojavljajo izdelani matematični modeli za posamezne poljščine. Ti upoštevajo arhitekturo rastline, ki vključuje obliko listov, njihovo razporejenost po stebelu, njihovo številčnost... (Atwell in sod., 1999).

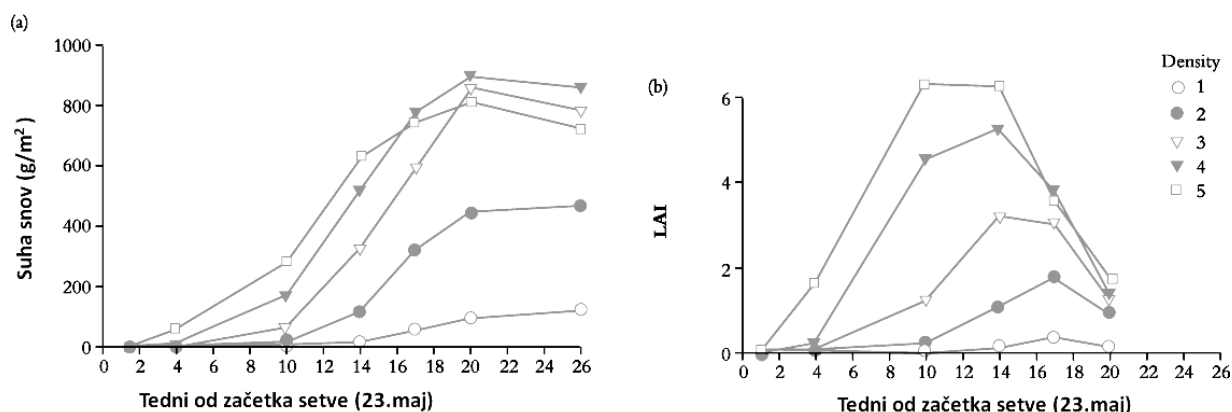
2.3.1 Indeks listne površine

Prestrežanje fotosintetsko aktivnega sevanja v rastlinskih slojih je močno povezano s površino listov rastlinskega sloja. Poljščina, ki bo prestregla več svetlobe (PAR), bo hitreje rasla in hitreje razvila svoje liste do konca. Indeks listne površine (LAI) je celotna površina listov na enoto tal. Povezavo opisuje enačba 1. Sloj, kjer je LAI enak 1, ima skupno površino listov tako veliko, kot je območje, na katerem rastline tega sloja rastejo. To pa ne pomeni, da so listi enakomerno razporejeni po površini in prestrezajo celotno fotosintetsko aktivno sevanje. Poljščina v dobrih razmerah hitro poveča LAI do maksimuma, ki je od tri do sedem (odvisno od vrste) (Atwell in sod., 1999).

$$\text{LAI} = \text{skupna površina listov/površina tal} \quad \dots (1)$$

Na indeks listne površine najbolj vplivajo naslednji dejavniki: temperatura, ki vpliva na rastlino že od kalitve naprej in ima vpliv tudi na nastajanje listov, razvejanje rastlin in njihovo staranje; količina dušika v tleh, ki vpliva na velikost in življenjsko dobo listov ter razvoj in obstojnost novih poganjkov, gostota setve, dostopnost vode, ki prav tako vpliva na velikost in dolgoživost listov (Hay in Porter, 2006).

Iz slike 4 je razvidno, kako se v času rasti povečuje suha snov rastlin in kako se spreminja indeks listne površine. Razviden je tudi vpliv gostote posevka na indeks listne površine, pri čemer je potrebno vedeti, da prevelika gostota setve lahko povzroči propad določenega dela rastlin.



Slika 4: Spremembe (a) v suhi snovi; (b) indeksu listne površine (LAI) pri pšenici ob petih variantah gostote setve (1,4; 7; 35; 154 in 447 rastlin m^{-2}) (Atwell in sod., 1999)

2.3.1.1 Prodiranje svetlobe skozi rastlinske sloje

Več kot polovica sončnega sevanja, ki dosega zemljo, se na ob prehodu skozi atmosfero odbije nazaj v vesolje. Sevanje, ki doseže zemljino površino, imenujemo globalno sevanje, sestavljata pa ga direktno in difuzno sevanje (Goswami in sod., 2000).

Kakšno sevanje doseže rastlina je odvisno od zemljepisne širine in lokalne topografije. Rastlina del sevanja ki jo doseže, absorbira, del ga odbije in določen del prepusti. Pri prehodu skozi rastlinske sloje se spremeni jakost sevanja in spektralna sestava sevanja. Del sevanja ki ga rastline absorbirajo je fotosintetsko aktivno sevanje. Fotosintetsko aktivno sevanje (PAR – photosynthetically active radiation) predstavlja sevanje v območju valovnih dolžin 380-710 nm. To spektralno območje omogoča fotosintezo vseh zelenih rastlin. Nekatere druge valovne dolžine imajo vpliv na obliko in razvoj rastlin, nekatere celo zavirajo razvoj rastlin (fotokibernetski učinek). Sončno sevanje spremlja tudi energija, ki se izraža kot toplota. Temperatura pa je eden od osnovnih dejavnikov okolja, ki imajo vpliv na rast in razvoj rastlin (Larcher, 1980).

Rastlinsko odejo sestavlja več nivojev listov, ki se med seboj delno prekrivajo in senčijo. Rastlinska odeja del vpadne svetlobe prestreže in absorbira, del pa jo prepusti do nižjih slojev. Do tal pride le toliko svetlobe, kot je prepustijo rastline, porazdelitev svetlobe po različnih višinah rastlinskih slojev je prikazana na sliki 5. Sevanje doseže notranjost sestoja s prodiranjem skozi vrzeli med listi ali od strani, s sipanjem od površine listov in tal ter prehodom skozi višje ležeče liste. Koliko sevanja prehaja skozi rastlinski sloj, je odvisno od površine listov, njihove usmerjenosti in kota glede na vpadno sevanje, pomemben vpliv ima tudi gostota rastlin. Vplive posameznih komponent opisuje enačba 2, kjer I predstavlja intenziteto sončnega sevanja na določeni višini rastlinskega sloja, I_0 je intenziteta sevanja nad rastlinskim slojem, k je ekstinkcijski koeficient, ki opisuje prodiranje svetlobe skozi posamezen rastlinski sloj. LAI je površina listov nad višino merjenja v rastlinski odeji (Larcher, 1980).

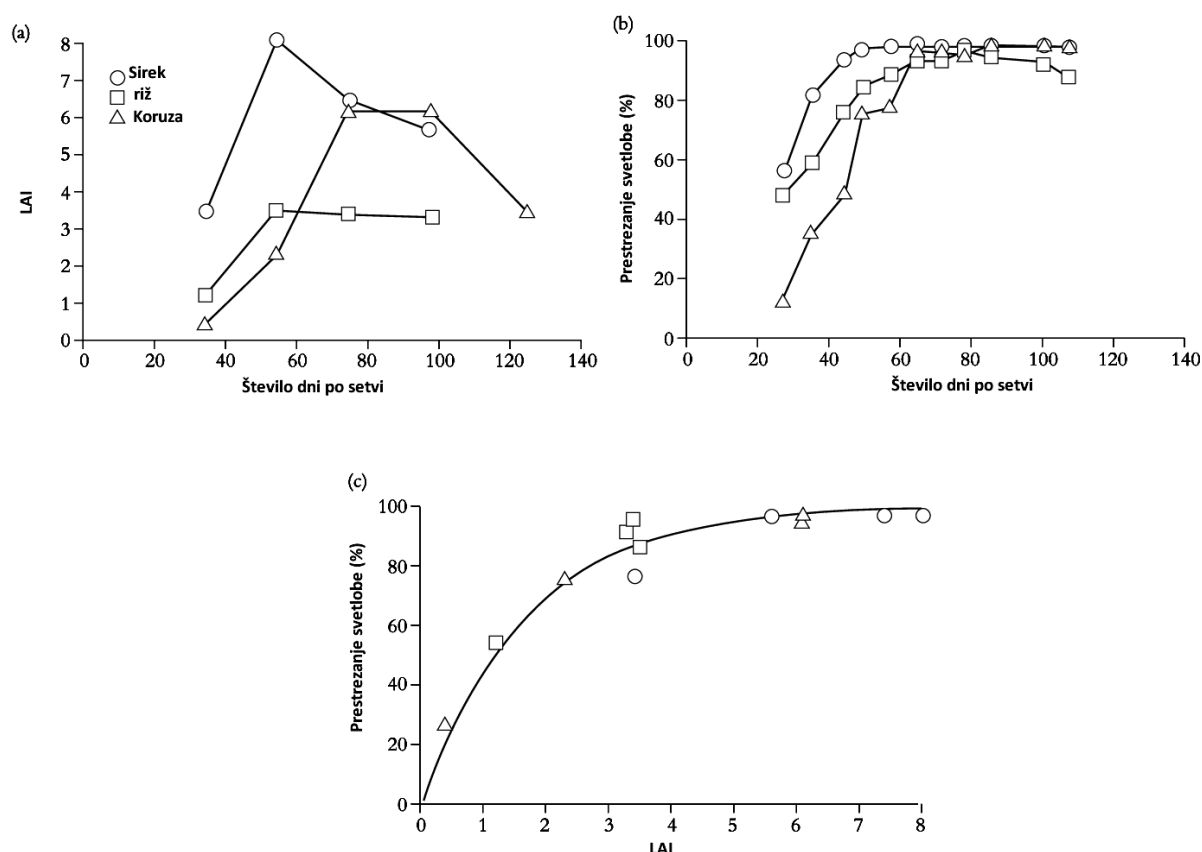
$$I = I_0 \cdot e^{-k \cdot LAI} \quad \dots (2)$$



Slika 5: Prodiranje sončnega sevanja skozi rastlinski sloj na primeru koruze (Larcher, 1980: 7)

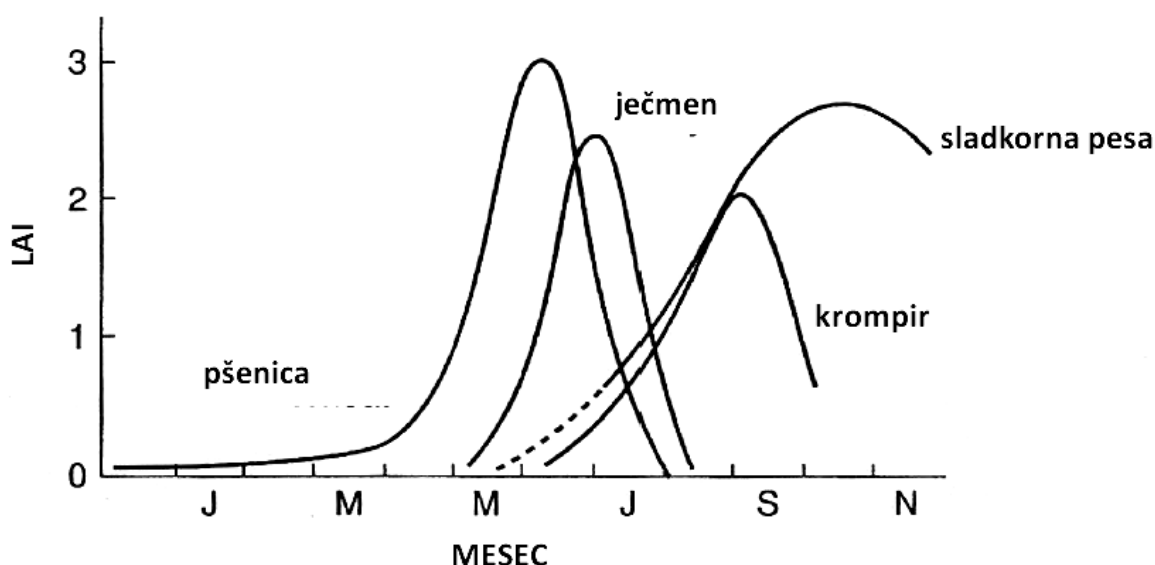
2.3.1.2 Spreminjanje vrednosti LAI

Na splošno je LAI tekom rasti določene rastline (velja za žita) največji tik pred cvetenjem. Do te faze rastlina povečuje listno maso, potem pa svojo energijo usmeri v cvetenje in dozorevanje semen. Nekatere vrste tekom polnjenja zrnja celo izgubijo liste in LAI se zmanjša. Pomemben vpliv na LAI ima gostota setve, ki vpliva na površino listov, hkrati pa rastline senčijo ena drugo in si odvezemajo hranila in svetlobo. Zato je potrebno za vsako poljščino predvideti optimalno gostoto setve (Atwell in sod., 1999). Rastlinske vrste različno hitro povečujejo površino svojih listov. Na sliki 6 vidimo, da sirek hitreje kot korusa poveča indeks listne površine, s starostjo posevka pa LAI tudi hitreje upade. LAI riža je opazno manjši, saj je riž tudi precej manjša rastlina.



Slika 6: Spremembe v (a) indeksu listne površine (LAI) v odvisnosti od časa, (b) prestrežanjem svetlobe v odvisnosti od časa in (c) povezava med prestrežanjem svetlobe in LAI za vse tri vrste skupaj, sirek, koruzo in riž (Atwell in sod., 1999)

Če želimo, da rastlina do polnosti razvije svoje liste, je pomembno, da se letni cikel indeksa listne površine ujema z razporeditvijo sončnega sevanja tekom leta. Treba je upoštevati, kdaj je v določenem klimatskem pasu, na danem območju sončno sevanje najintenzivnejše in temu prilagoditi datume setev rastlinskih vrst. Enoletne rastline težko podaljšajo in povečajo površino listnega sloja na več kot 3, saj jim to navadno onemogočajo okoljske razmere. Rastline ne prestrežejo vsega fotosintetsko aktivnega sevanja, saj njihovi listi niso povsem vodoravno usmerjeni, pa tudi ker se med seboj nekoliko zakrivajo. Povezanost med prestrežanjem PAR in LAI lahko vidimo na sliki 6 c. Kasneje v času rasti pri poljščinah spodnji listi pogosto odmrejo. Rastlina ohranja neko določeno površino listov, ki ji omogoča, da se razvija naprej. Kdaj je ta površina optimalna in bo omogočala največji možni pridelek, je težje določiti. Razlike niso le med vrstami, pač pa tudi že med sortami (Hay in Porter, 2006). Primer razvoja indeksa listne površine tekom letne rasti rastline je tako na sliki 7. Rast različnih vrst je tekom leta različna, nekatera žita prezimijo, medtem ko nekatere poljščine začnejo svojo rast šele pozno poleti. Gibanje vrednosti indeksa listne površine je lahko zelo raznoliko.



Slika 7: Letni vzorci spreminjanja vrednosti LAI pri različnih poljščinah (Hay in Porter, 2006)

2.4 POMEN INDEKSA LISTNE POVRŠINE

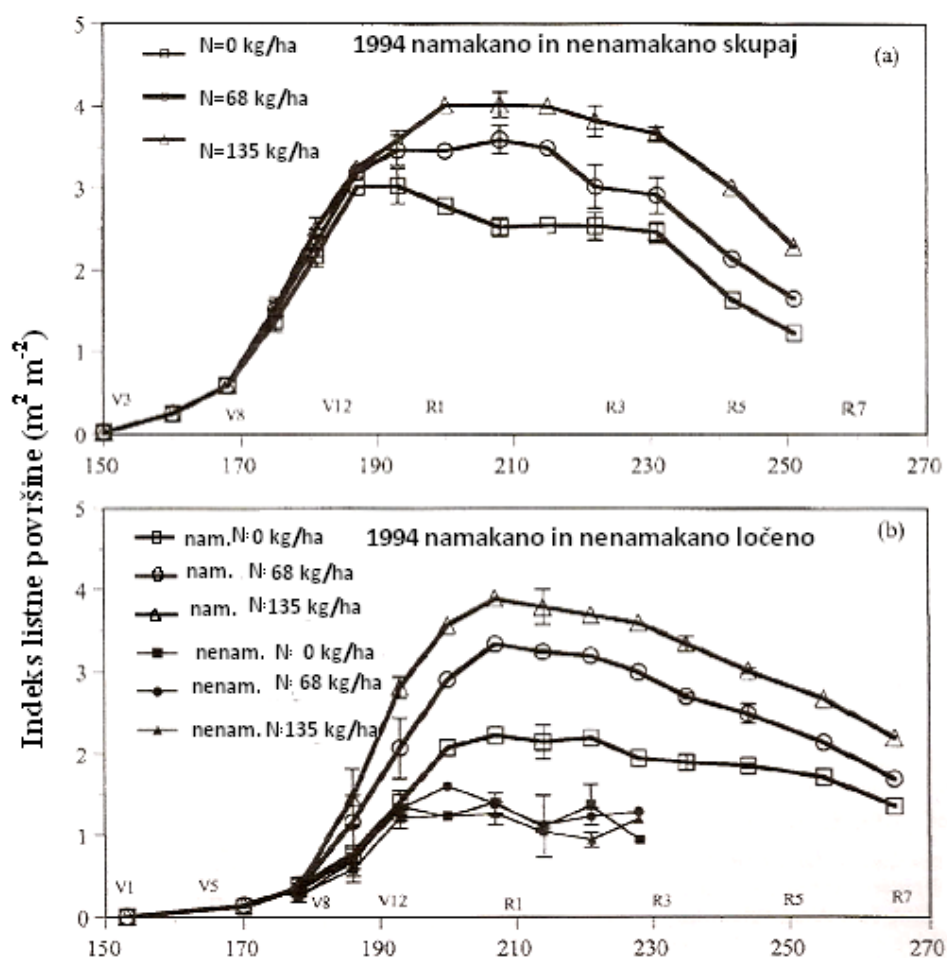
2.4.1 Ekološki pomen LAI

Ekologija je veda, ki preučuje odnose med organizmi in okoljem. V ekoloških študijah pogosto zasledimo LAI kot metodo za spremljanje stanja rastlinskih sestojev oziroma spremljanje stanja določenega ekosistema. Rast in razvoj listov sta optimalna, ko ima rastlina dobre razmere za rast. Slabša rast in razvoj rastline navadno označuje slabe razmere za rast določene rastlinske vrste. LAI lahko kot ekološki parameter spremljamo na več ravneh. Na ravni posamezne rastline, na ravni nekega rastlinskega sestoja, na ravni ekosistema ali celo globalno. Obstaja mnogo ekoloških modelov in študij, ki upoštevajo LAI kot enega ključnih parametrov, saj pomembno vpliva na izmenjavo energije, vodni tok in izmenjavo plinov med ekosistemom in atmosfero.

Rastlinska odeja je mesto, kjer se dogajajo fiziološki in biokemični procesi ekosistema. Tako funkcionalne kot strukturne značilnosti rastlinskega sloja določajo mikroklimatski dejavniki, dostopnost hranil, prisotnost herbivorov ter mnogo drugih dejavnikov. Stanje rastlinske odeje je pomemben indikator stanja nekega ekosistema, ki poveže vse dejavnike znotraj njega. Površina slojev listov služi kot pomemben kazalnik primarne produkcije ekosistema (fotosinteze), transpiracije, izmenjave energije in drugih snovi (Asner in sod., 2003).

Struktura rastlinskega sloja posamezne vrste določa specifično okolje z lastno mikroklimo. V rastlinskih slojih se temperatura spreminja drugače kot na prostem, načeloma se spreminja počasneje. Rastlinska odeja prestreza poleg sončnega sevanja tudi padavine. Preko listov potekata tudi izmenjava plinov z okoljem (O_2 in CO_2) in transpiracija. (Lachner, 1980).

LAI ima torej v za rastlinsko vrsto idealnih razmerah svojo optimalno vrednost. Nizek LAI pomeni, da določen dejavnik okolja za rastline na tistem območju ni optimalen. Za oceno, kateri dejavnik je za neko rastlino omejujoč, sama vrednost LAI ni dovolj, potrebna so še druga opazovanja. Primer, kako se preko LAI izraža nek dejavnik okolja, je na primer dostopnost različnih koncentracij dušika v okolju. Kot vemo, ima dušik pomembno vlogo pri nastajanju listov. Kot je razvidno iz slike 8, ima koncentracija dostopnega dušika vpliv na vrednost LAI. V opisanem poskusu so poleg dognovanja opazovali tudi sočasni vpliv namakanja. Oba dejavnika sta med seboj povezana, saj je dušik rastlinam bolj dostopen, če je na razpolago tudi ustrezna količina vode.



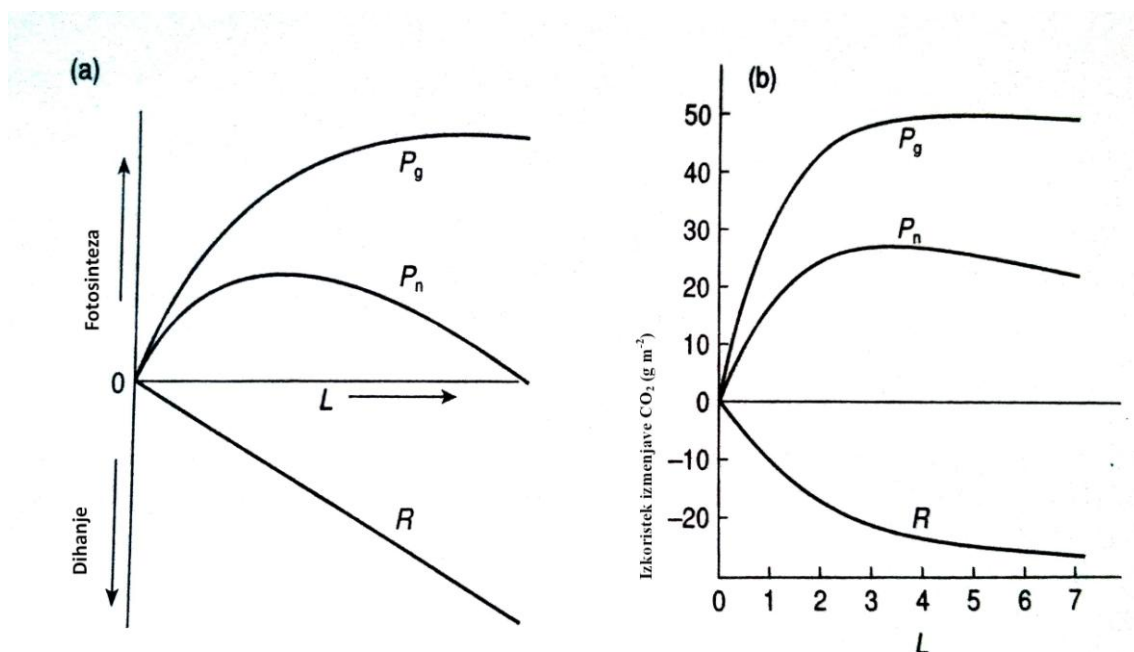
Slika 8: Sezonski potek indeksa listne površine koruze (a) pri različnem dognovanju z dušikom (0 kg/ha, 68 kg/ha in 135 kg/ha) ter (b) primerjava dognovanih koncentracij med namakano in nenamakano koruzo (Boedham in sod., 2001)

2.4.2 Merjenje LAI kot metoda spremljanja rasti

Merjenje LAI se lahko uporablja kot metoda za spremljanje rasti rastlin. Poda nam pomembne informacije o preskrbljenosti pridelka, hkrati pa je nedestruktivna in ne vpliva na rast pridelka. Poleg tega rezultate dobimo hitro, kar nam omogoča hitro ukrepanje. Vendar za ukrepanje ni dovolj le vrednost LAI, pomembne so tudi druge informacije, saj je za nizek LAI lahko odgovornih več različnih dejavnikov. Uporabnost meritve pa poleg za raziskave, kaže predvsem čas izvajanja agrotehničnih ukrepov, kot je dognovanje z dušikom. Merjenje LAI se pogosto poveže z drugimi meritvami, na primer pri oljni ogrščici so pri testiranju vrst in sort poleg merjenja LAI (Canola ..., 2015) spremljali še suho maso rastlin, fenofaze in ob koncu pridelek, ter ugotavljali povezave.

2.4.3 LAI in primarna produkcija

Primarna produkcija je vsa suha snov, ki jo proizvede vegetacija. Na primarno produkcijo vpliva izkoriščanje hranil in učinkovitost fotosinteze posamezne vrste. Izkoristek primarne produkcije je izražen kot organska snov nastala v določenem času. Za posamezni sloj je izpeljan iz izkoristka posameznega lista in indeksa listne površine. Izkoristki se razlikujejo med vrstami. Opazna je že razlika med C_4 in C_3 rastlinami. Z večanjem indeksa listne površine se povečuje površina, ki omogoča fotosintezo. Pričakovali bi torej, da z večjim indeksom listne površine narašča tudi primarna produkcija. Vendar to velja le za manjše vrednosti LAI, dokler ta ne doseže vrednosti, pri kateri je primarna produkcija največja (Larcher, 1980). Trditev potrjuje slika 9, ki prikazuje model, kjer je opisano dihanje in fotosintezo ob naraščajočem indeksu listne površine. Vidimo, da se fotosinteza in s tem primarna produkcija ter njen izkoristek znatno povečujeta le do določenega indeksa listne površine, v določeni točki pa se krivulja izravna, dihanje lahko celo preseže fotosintezo.



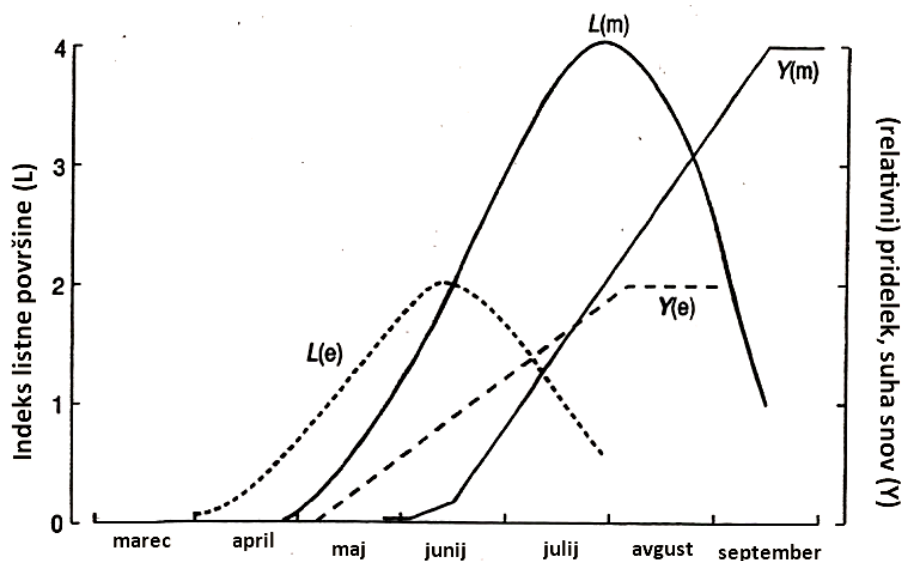
Slika 9: Dihanje in fotosinteza ob naraščajočem LAI (označen kot L), (P_g označuje bruto fotosintezo, P_n neto fotosintezo in R dihanje.); (McCree in Troughton, 1966)

Učinkovitost izkoriščanja sončnega sevanja v fotosintezi izražamo kot RUE_{Ph} ki pomeni »radiation use efficiency« in izraža delež absorbirane sončne energije, ki jo rastlina pretvori v kemično energijo fotosintetskih produktov. Za izkoriščanje fotosinteze imajo rastline različne strategije, kako uskladiščijo energijo. Najpreprostejše enocelične alge v dobrih razmerah hitro dosežejo končno velikost ter se nato delijo. Določene rastline (enoletnice) investirajo z ogljikom pridobljeno energijo v zelene dele in kasneje v generativni fazi v semena. Večletne rastline energijo skladiščijo. Te rastline navadno tudi počasneje rastejo (Larcher, 1980).

Primarno produkcijo določamo pogosto tudi za ekosisteme. Primarna produkcija nam poda podatek o ogljikovi bilanci ekosistema. Bruto primarna produkcija pomeni fotosintezo celotnega ekosistema. Neto primarna produkcija je bruto primarna produkcija, ki ji odštejemo dihanje rastlin. Ekosistemom lahko določimo tudi ekosistemsko produkcijo, ki pa od neto primarne produkciji odšteje še dihanje heterotrofov. Ekosistemsko produkcijo določamo na letni ravni (Larcher, 1980). Primarna produkcija je tudi v tem primeru odvisna od površine listov, ki je na razpolago v določenem ekosistemu.

2.4.3.1 LAI in pridelek

Kadar je pridelek pri poljščinah zelena listna masa, sta LAI in pridelek tesno povezana in tudi naraščata sorazmerno. Ko je pridelek zrnje ali podzemni del rastline, povezava ni tako očitna. Na sliki 7 lahko vidimo, da je, tudi kadar pridelek ni zeleni del rastline, le-ta močno odvisen od indeksa listne površine. Linearna faza rasti pri poljščinah kaže veliko povezavo med LAI in končnim pridelkom.



Slika 10: Model časovnega poteka indeksa listne površine in suhe snovi rastline pri zgodnjem (---) in poznem krompirju (—) (Hay in Porter, 2006)

2.5 MERJENJE INDEKSA LISTNE POVRŠINE

Večina sončnega sevanja, ki ga absorbira rastlinski sloj prestrežejo listne ploskve, kljub temu, da znatni delež lahko prestrežejo tudi listne nožnice, listni peclji, peclji rastline in reproduktivni deli. Definicija LAI je opisana v prejšnjem poglavju. Ne glede na definicijo je LAI bolj stvar celotnega posevka kot posameznih rastlin. S pomočjo tega parametra lahko z razumevanjem nekaterih dejavnikov spremljamo rast, razvoj in staranje posameznih listov in rastlin (Hay in Porter, 2006).

Z različnimi postavitvami listov se že takoj pojavijo težave pri določanju površine, ki prestreže sončno sevanje. Listi v rastlinskih slojih senčijo drug drugega, predvsem pa običajno niso postavljeni vzporedno s površino tal. Navadno izraščajo pod različnimi koti, so raznolikih oblik in do določene mere zakrivajo sosednje liste. Z razvojem znanosti so se razvili različni modeli in načini merjenja LAI, ki pa danes temeljijo na merjenju svetlobe, ki jo prepušča nek rastlinski sloj (Jonckheere in sod., 2004).

2.5.1 Načini ocene LAI

Pri merjenju LAI poznamo neposredne in posredne metode meritev LAI. Direktne metode so načeloma bolj točne, slabost pa je, da so destruktivne, zamudne in zahtevajo več dela. Težave se pojavljajo tudi pri povečanju vzorca, upoštevanju arhitekture listnih slojev in pri ponovitvah poskusov. Te metode so težje uporabne za dolgotrajno spremljanje, saj težko prikažejo časovni razvoj listov. Direktne metode so osnova in omogočajo kalibracijo in razvoj posrednih metod merjenja (Jonckheere in sod., 2004).

2.5.1.1 Neposredno določanje LAI

Neposredno lahko LAI določimo destruktivno z rezanjem listov, pri čemer lahko merimo površino posameznih listov ali skupka listov posamezne rastline. Destruktivno vzorčenje vključuje prenos v večje merilo in predvideva homogenost rastlinskega sestoja. Model za drevesa vključuje destruktivno vzorčenje majhnega dela reprezentativnih dreves sestoja, kjer površino in strukturo merimo preko posameznih listov. V enakomernih sestojih je dovolj že vzorčenje treh do petih dreves. Metoda je primernejša (ker manj uničujoče vpliva na rastline) za populacije z velikimi drevesi. Uporabljamo jo tudi za kmetijske rastline. LAI lahko ocenimo tudi z meritvijo listov, ko ti odpadejo v za ta namen nameščene zabojnike ustreznih dimenzij. LAI ocenimo s tehtanjem mase odpadlega listja. Ko imamo zbrane vzorce listov, lahko LAI določimo s pomočjo ravninske geometrije ali gravimetrično s tehtanjem. Pri prvi od omenjenih metod navadno uporabljajo za določitev površine različne skenerje. Gravimetrična metoda poveže suho maso lista s pomočjo izračuna. Pri tej metodi je potrebno predhodno določiti korelacijo med suho maso in površino listov (Jonckheere in sod., 2004).

2.5.1.2 Posredno določanje LAI

Posredno določanje indeksa listne površine kjer površino lista določimo s pomočjo merjenja drugih parametrov, je navadno hitrejše in bolj avtomatizirano kot direktne metode, navadno pa tudi zajema večji vzorec. Tudi tu ločimo dva načina meritev: kontaktne meritve LAI in nekontaktne meritve. Metode iz zraka in vesolja ki spadajo med posredne metode, omogočajo podatke o LAI za večje površine kot so gozdovi, njive ali travinje. Te metode temeljijo na razlikah v spektralnem odboju svetlobe med površinami z vegetacijo in drugimi površinami (Asner in sod., 2003; Jonckheere in sod., 2004).

Kontaktne metode vključujejo merjenje prodiranja sevanja skozi rastlinski sloj. Za gozdove se za merjenje LAI uporabljajo alometrične metode, kjer LAI določimo z merjenjem katerega drugega parametra na primer z geometrijo rastlinske odeje. Upošteva se, na primer premer debla in višina drevesa, obseg drevesne krošnje. Pri tej metodi je potrebnega veliko modeliranja. Nekonтактne posredne metode so optične metode, ki temeljijo na merjenju presevanja svetlobe skozi rastlinske sloje. Te metode temeljijo na Beer-Lambertovem zakonu in predvidevajo, da je svetloba sončnega sevanja tik nad tlemi razlika med vpadno svetlobo in svetlobo, ki jo prestrezajo rastlinski sloji. Nanjo vpliva struktura listnega sloja in optične lastnosti tega sloja. Navadno merimo vpadno in prepuščeno jakost svetlobe in iz tega sklepamo na količino, ki jo je prestregel rastlinski sloj. Pri teh metodah merimo vpadno svetlobo nad in pod danim rastlinskim slojem. Pri nekaterih površinah se pojavijo z rastlinami manj pokriti predeli. Za določanje teh lukenj v rastlinski odeji največkrat uporabljajo hemisferično fotografiranje. Zaradi pojavljanja različnih vrzeli med rastlinami so nastali različni modeli za upoštevanje teh napak pri optičnih meritvah (Jonckheere in sod., 2004).

2.5.1.3 Optični merilniki za določanje LAI

Sončno sevanje merimo z radiometri. Globalno sevanje, ki je sestavljeno iz difuznega in direktnega sevanja, merimo s piranometri. Ti merilniki ne prepuščajo dolgovalovnega sevanja. Merilniki, ki merijo kvaliteto svetlobe, so sprektoradiometri in merijo sevanje v vidnem spektru (Goswami, 2000).

V nadaljevanju je opisanih nekaj izvedb merilnikov svetlobe, ki jih uporabljamo za oceno LAI. Glavne lastnosti so zbrane v preglednici 1. Demon je merilnik, ki direktno meri vpadanje sončne svetlobe. Meri intenziteto svetlobe nad in pod listnim slojem. Meri direktno sončno sevanje in prepuščene žarke pri 430 nm. Meritve potekajo na soncu, kar je lahko problem za meritve pozno popoldne ali zgodaj dopoldne, ko sonce sveti na zemljo pod kotom. Drugi v vrsti merilnikov za merjenje indeksa listne površine je ceptometer. Meri porazdelitev sončnega sevanja (natančneje PAR sevanja) in sicer frakcijsko nad in pod rastlinskim sestojem. Senzorji so različno razporejeni na merilniku. Rezultat je skupek meritev več senzorjev. LAI novejša variante preračunajo avtomatsko. Največji problem teh meritev je senčenje in premikanje senc, ki vplivajo na rezultate meritev. Naslednji je LAI 2000 merilnik, ki meri difuzno sevanje in omogoča širok kot merjenja (5 variant). S senzorjem izmerimo vpadno svetlobo pod sloje in svetlobo na čistini. Senzor meri radiacijo pri 490 nm. Program avtomatsko izračuna LAI upoštevajoč dejstvo, da so rastlinski deli tisti, ki vpijejo svetlobo in da so ti deli enakomerno razporejeni po površini. Merilnik je uporaben za homogene rastlinske sloje, manj primeren je za rastlinske sloje, ki niso homogeni. TRAC (*Tracing Radiation and Architecture of Canopies*) je instrument, ki upošteva tako razporeditev kot velikost neporaščenega prostora. Primeren je predvsem za mešane sestoje in neenakomerno razporeditev rastlin. Hemisferično fotografiranje je tehnika, ki opazuje in računa LAI preko fotografij narejenih s hemisferično lečo. Tudi ta tehnika omogoča predvsem opazovanje in lokalizacijo neporaščenih delov rastlinskih sestojev. Omogoča prepoznavanje razlik v starosti rastlin, razlik med vrstami in v arhitekturni sestavi rastlin (Jonckheere in sod., 2004).

Preglednica 1: Primerjave posameznih merilnikov za merjenje LAI (Jonckheere in sod., 2004: 30)

Merilnik	Vrsta sevanja	Spektralno območje	Število zenitnih kotov	Porazdelitev vrzeli
DEMON	direktno	430 nm	-	NE
Ceptometer	difuzno, direktno	PAR	-	DA
LAI 2000	difuzno	< 490 nm	5	NE
TRAC	direktno	PAR	-	DA
Hemisferično fotografiranje	Difuzno, direktno	mogoče določiti	celotno območje, mogoče določiti s programsko opremo	DA

3 MATERIALI IN METODE

Poskus je potekal na Laboratorijskem polju Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani, na delu kjer so nameščeni lizimetri (slika 13). Na tej površini je bil v rastni sezoni 2014 posejan sirek (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

Tekom rasti sirka smo za namene magistrske naloge opravljali meritve indeksa listne površine in spremljali biomaso. Spremljanje je vključevalo tudi opazovanje fenološkega razvoja sirka.

3.1 MATERIAL

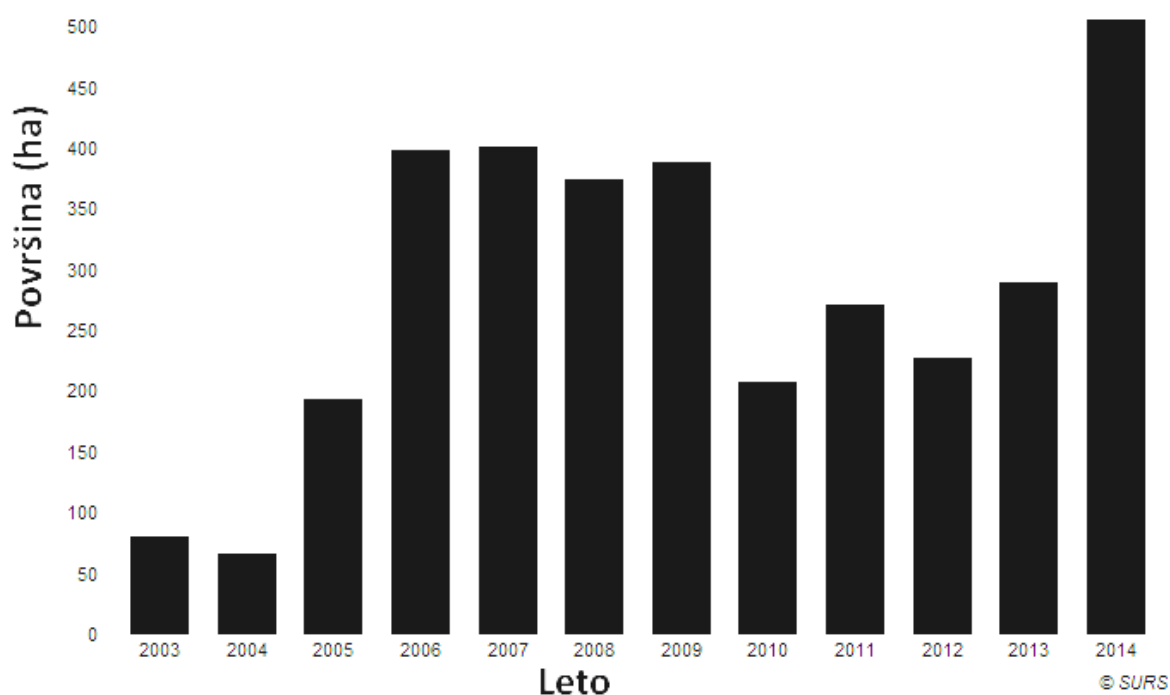
3.1.1. Sirek

Sirek izvira iz Azije, kjer so ga sejali Kitajci že v tisočletjih pred našim štetjem, njegova domovina pa je tudi Afrika. V rod sirkov (*Sorghum*) spada okoli trideset tropskih ali subtropskih, eno- ali večletnin rastlin. Iz kmetijskega vidika so za srednjo Evropo pomembni divji sirek (*Sorghum halepense* (L.) Pers.), sudanska trava (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), navadni sirek (*Sorghum bicolor* (L.) Moench var. *bicolor*), sladkorni sirek (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohl. , *Sorghum saccharatum* Moench.) in tehnični sirek (*Sorghum bicolor* var. *tehticum* Stapf.). Tehnični sirek je uporaben za izdelovanje metel, krtač in drugih izdelkov, zrnje pa lahko uporabimo za krmo. Iz navadnega in sladkornega sirka ter sudanske trave lahko pridelujemo silažo iz celotnih rastlin. Sudanska trava in nekateri hibridi med sirkom in sudansko travo so primerni tudi za svežo krmo (kot paša ali kot klaja) (Kramberger, 1999; Kocjan Ačko 2015) .

Rastline iz rodu *Sorghum* podobno kot koruza razvijejo zelo razvejene adventivne korenine. Tudi videz rastline nekoliko spominja na koruzo. Nadzemni del rastline v času ko korenine še niso razvite, raste zelo počasi. Število poganjkov je večje v stresnih razmerah. Zaradi posebne zgradbe listov, z malo listnimi režami in ozke dolge oblike je rastlina sirka sposobna preživeti pomanjkanje vode. Poleg tega list pokriva kutikula, list pa se v primeru pomanjkanja vode zvije. Na vrhu stebel je socvetje, ki ga imenujemo metlica. Socvetje je sestavljeni grozd, ki ima na posameznih vejicah klaske. Cvetovi so dvospolni in samoprašni. Zrna v primerjavi s koruznimi vsebujejo več beljakovin (8-15%) in manj maščob (2-3%). V Sloveniji rastline dosežejo višino od 1 do 4 metre. Stebla sirkov za zrnje so nekoliko krajša. Pomembni lastnosti rodu sirkov sta sposobnost regeneracije po paši ali košnji in sposobnost razraščanja oziroma tvorbe več poganjkov na eni rastlini. Sveže rastline lahko vsebujejo glikozid durin, ki ga encimi v živalskih prebavilih preoblikujejo v strupeno cianovodikovo kislino. Durin se v pokošanih rastlinah razgradi v neškodljive sestavine, enako v procesih vrenja v silaži. V novem času so vzgojili tudi hibride brez durina in tudi breztaninski sirek, ki je lažje prebavljiv (Kramberger, 1999; Kocjan Ačko 2015).

3.1.2 Pridelovanje sirka v Sloveniji

Sirek lahko sejemo kot glavni ali strniščni posevek, potrebuje več toplote in manj vode kot koruza in lažje od nje prenaša sušo in višje temperature. Bolje uspeva na lahkih, celo zasoljenih tleh, način pridelovanja je zelo podoben pridelovanju koruze. Najboljši prejšnji posevki so strna žita, stročnice, sladkorna pesa in krompir (Kocjan Ačko, 2015). Pridelava sirka v Sloveniji ni splošno razširjena. Prideluje se sicer nekaj sirka in njemu podobnih rastlin, vendar pridelava v večjem obsegu trenutno ni razširjena. Sirek so kmetje preizkušali kot alternativo koruzi, toda zaradi manjšega pridelka ji sirek trenutno še ni enakovreden. Pfeifer (2013) omenja sirek kot alternativo koruzi v kolobarju tudi za primer, ko bi bilo določeno območje močno napadeno s koruznim hroščem. Gibanje količine površin na namenjenih pridelavi sirka in podobnih poljščin od leta 2003 do leta 2014 je vidno na sliki 11. Če primerjamo na primer s pšenico, ki zaseda nad 30.000 ha površine ali silažno koruzo, ki prav tako dosega površino 30.000 ha, je pridelava sirka in njemu podobnih rastlin v Sloveniji zelo majhna (SURs ..., 2015).



Slika 11: Površine za pridelovanje sirka in nekaterih drugih poljščin od leta 2003 do 2014 v Sloveniji (SURs ..., 2015)

3.2 PODATKI O SETVI IN OBDELAVI

Sirek v našem poskusu je zasedal površino 1,6 ara. Na parceli so preteklo zimo namestili lizimetre, zaradi česar so bila tla premešana. Tla na parceli smo najprej obdelali z vrtavkasto brano v globini od 5 do 10 cm. Pred tem smo izvedli temeljno gnojenje s 650 kg NPK 15:15:15=650 kg/ha (16. 5. 2014). Za poskus smo uporabili italijansko sorto 'Mustangg'. Sirek smo posejali 19. maja 2014 s sejalnico Wintersteiger plottman. Gostota setve je bila 350.000 rastlin/ha, medvrstna razdalja 75 cm, razdalja v vrsti pa 4,7 cm.

Za varstvo proti plevelom po vzniku smo uporabili herbicid Dual gold 1,3 l/ha (proti ozkolistnim plevelom), proti širokolistnim plevelom pa Banvel 0,5 l/ha (18. 6. 2014). Ker so bili pleveli, zlasti kostreba preveliki, je bilo potrebno medvrstno škropljenje z herbicidom Touchdown z odmerkom 2 l/ha (24. 6. 2014). Sirek smo tudi dognojili in sicer z mineralnim gnojilom KAN, 50 kg na celo površino (24. 6. 2014). Dognojevanje je bilo ročno vzdolž vrste.

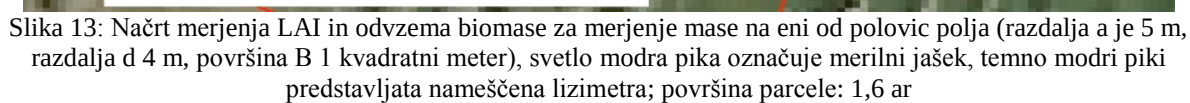
3.3 PROSTORSKI NAČRT DELA

Poskus je potekal na parceli BF, kjer je postavljena lizimeterska postaja. Parcela je razdeljena na dve polovici, ki ju ločuje pas travinja. Na sredini tega pasu je jašek za vzorčenje odcednih voda in merilnik sončnega sevanja. Na vsaki od njivskih parcel je nameščen lizimeter. Površina poskusnega polja je bila 1,6 ar, kar je 1600 m².

Na vsaki polovici polja smo imeli 4 merilna mesta. Ena polovica je označena s črko K, druga pa s črko N, številke ob črkah označujejo ponovitev merilnega mesta vzdolž parcele. Na mestih, kjer je oznaki merilnega mesta dodana še črka B, smo v robnih vrstah proti sredini polja vzorčili tudi biomaso. Natančneje je potek meritve prikazan na sliki 12.

N1 BN1		K1 BK1
N2		K2
N3		K3
N4 BN2		K BK2

Slika 12: Merilna mesta na poskusnem polju



3.4 ČASOVNI POTEK DELA

Merjenje LAI je potekalo enkrat tedensko, tehtanje biomase pa vsake 14 dni. Ob vsakem merjenju smo rastline fotografirali ali skicirali in s pomočjo tabel določili fenofazo. Dan meritve smo nekoliko prilagajali vremenskim razmeram (LAI ne smemo meriti direktno na soncu ali v dežju). Merjenje je potekalo v zgodnjih jutranjih urah, ko še ni direktnega sonca in je sevanje svetlobe difuzno. Datum setve je bil 19. 5. 2014, z meritvami smo začeli približno mesec dni po setvi.

Preglednica 2: Termini opravljanja meritev

Opravljene meritve (LAI/ biomasa)		Datum meritve
LAI	/	23.6.2014
LAI	/	27.6.2014
LAI	/	4.7.2014
LAI	Biomasa	11.7.2014
LAI	/	17.7.2014
LAI	Biomasa	25.7.2014
LAI	/	4.8.2014
LAI	Biomasa	8.8.2014
LAI	/	18.8.2014
LAI	Biomasa	3.9.2014
LAI	/	18.9.2014
LAI	Biomasa	15.10.2014

3.5 MERITVE LAI

LAI smo merili s ceptometrom LAI-2200 (LiCor, Lincoln, NE) (slika 14). Vsako polovica polja, je imela 4 ponovitve merjenja LAI. Mesta meritev so bila stalna in označena na polju.

3.5.1 Merjenje LAI z merilnikom LAI-2200C

LAI-220 merilnik preračuna indeks listne površine iz meritev modre svetlobe (320-490 nm) narejenih z optičnim senzorjem, ki deluje na tako imenovanem principu ribjega očesa v prtih različnih zenitnih kotih (pogled 148°). Meri svetlobo nad in v rastlinskem sloju. Merilnik sestavljata dve merilni palici in merilna konzola. Na vsaki od merilnih palic so nameščeni svetlobni senzor, različni filtri in leča. Lečo za merjenje zakrijemo z eno od pokrival, ki omejijo pogled leče in odstranijo moteče elemente, kot je na primer vpliv človeka, ki opravlja meritve.

Merjenje z merilnikom LAI-220 moramo upoštevati štiri domneve, ki omogočajo lažji izračun vrednosti LAI:

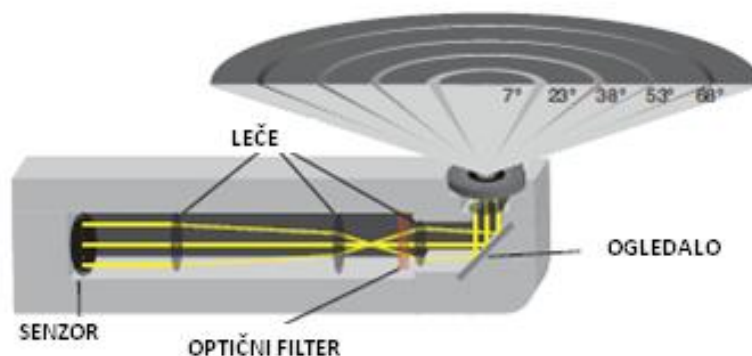
- listi so črni, predvidevamo, da odčitki pod rastlinskim slojem ne vključujejo svetlobe, ki jo vpije in odbije rastlinski sloj,
- listi so po površini enakomerno razporejeni kot predvidevajo vzorci za način merjenja,
- posamezni listi so majhni v primerjavi s celotno vzorčno površino merjenja in
- listi so orientirani horizontalno.

Te domneve v praksi ne držijo v celoti, omogočajo pa enostavnejše modeliranje. Pri merjenju z LAI-2200 navodila za merjenje odsvetujejo meritve na direktnem soncu, bolj priporočljivo je merjenje zgodaj zjutraj ali pozno zvečer, ko še ni senc, ki vplivajo na rezultat meritve. Oblačno nebo je primernejše za merjenje v primeru enakomernih oblakov. Pri merjenju je treba paziti tudi, da na lečo ne pada dež ali kapljice rose in megle (Instruction ..., 2010).



Slika 14: Merilnik LAI-2200C (Camloh, 2014)

Senzor zajame kot 74° od navpične osi (slika 15), zato je treba iz okolice odstraniti elemente ki bi motili meritve. Hkrati pa to dejstvo zahteva dovolj veliko površino poraslo z rastlinami. Razdalja od mesta merjenja do konca rastišča mora biti vsaj trikratnik višine rastlin (Instruction ..., 2010).

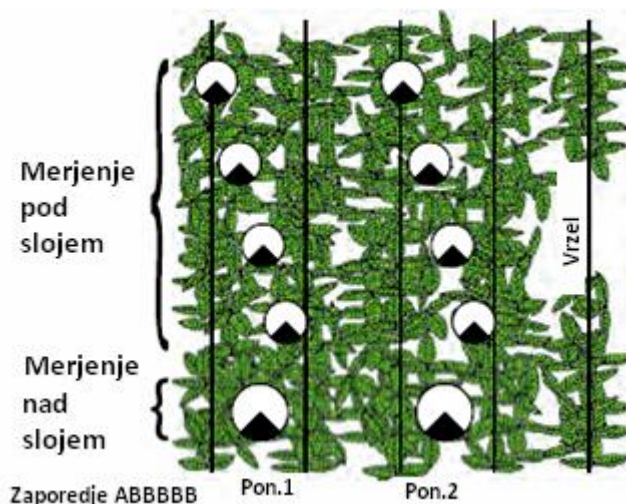


Slika 15: Sestava merilne palice merilnika LAI-2200 (Instruction ..., 2010)

Z merilnikom je treba ravnati previdno, posebno so občutljive leče. Merilnik je sestavljen iz dveh merilnih palic (X in Y) in merilne konzole. Meritev lahko poteka z eno ali dvema palicama. V primeru merjenja z eno palico je pri merjenju več zaporednih meritev pod rastlinskim slojem med merjenjem potrebnih tudi nekaj meritev nad slojem. Določanje meritve (ali je nad ali pod slojem) nam omogoča tipka A/B, kjer A pomeni meritve nad slojem (*above*), B (*below*) pa meritve na izbrani višini v sloju. Če se meri z obema palicama, ena ves čas meri A – meritve, z drugo merimo B, vmes lahko tudi dodamo kakšno A meritev, potrebno je paziti, da merimo na pravi višini (spodaj ali pa nad, da ne pomešamo meritev). Za

namen našega poskusa smo merili z dvema palicama. Na senzor smo namestili maski za merjenje območja 270° gledano tlorisno (kot je na sliki 16). Maska zakrije le območje, kjer stoji oseba, ki opravlja meritev.

Posamezna meritev LAI je potekala v sredinskih 5 vrstah, znotraj polovice polja (slika 13). Za eno vrednost LAI smo znotraj petih vrst, na način kot je prikazano na sliki 16, naredili za eno meritev 20 LAI posnetkov pod rastlinskim slojem. Merjenje je potekalo diagonalno skozi vseh pet vrst, tudi v medvrstnem prostoru. Istočasno smo z drugo palico nekaj metrov stran od polja merili vpadno svetlobo. Po nekaj merjenjih je postala nadvse opazna razlika med sirkom ki je rasel okoli nameščenih lizimetrov in preostalo parcelo, zato smo naknadno postavili dodatno meritev LAI na mestih okoli lizimetrov. Sirek okoli lizimetrov je bil zaradi drugačnih tal (pripeljanih od drugod) na oko bujnejši.



Slika 16: Potek meritev LAI za (Instruction ..., 2010)

Po opravljenih meritvah smo podatke uskladili in naložili na računalnik. Za posamezno meritev smo v programu Li-cor združili posamezna merjenja, zato da smo pridobili posamezne vrednosti LAI.

3.6 SPREMLJANJE BIOMASE

Na manjšem delu polja smo vzorčili biomaso. Enkratno vzorčenje bo obsegalo površino 1 kvadratnega metra. Vzorčili smo na mestih, ki jih na sliki 13 označuje črka B. Na tej površini smo poželi rastline in izmerili svežo in suho biomaso. Vzorčenje biomase je potekalo v intervalu 14 dni. Delo je potekalo tako, da smo najprej na določeni površini poželi rastline (za večjo natančnost smo zapisali število poganjkov). Nato smo rastline stehtali z visečo tehtnico UWE CCS-60K (capacity: 60 kg x 0,2 kg). Za smo rastline sušili v sušilniku do konstantne mase in jih ponovno stehtali. Po tehtanju rastlin smo stehtali tudi maso vreče, v kateri smo stehtali rastline in taro odšteli od bruto mase.

3.7 OBDELAVA REZULTATOV

Odčitke meritev LAI smo najprej vnesli v programsko opremo merilnika LAI-2200 (FV2200 ver 2.1.1), ki iz odčitkov samodejno preračuna vrednosti odčitkov v vrednost LAI.

Rezultate smo nato pregledovali in urejali v programu Microsoft Office Excel 2007, pri iskanju korelacij med rezultati ocene LAI in biomase ter pri analizi variance ocene LAI na različnih merilnih mestih, smo uporabili statistični program R.

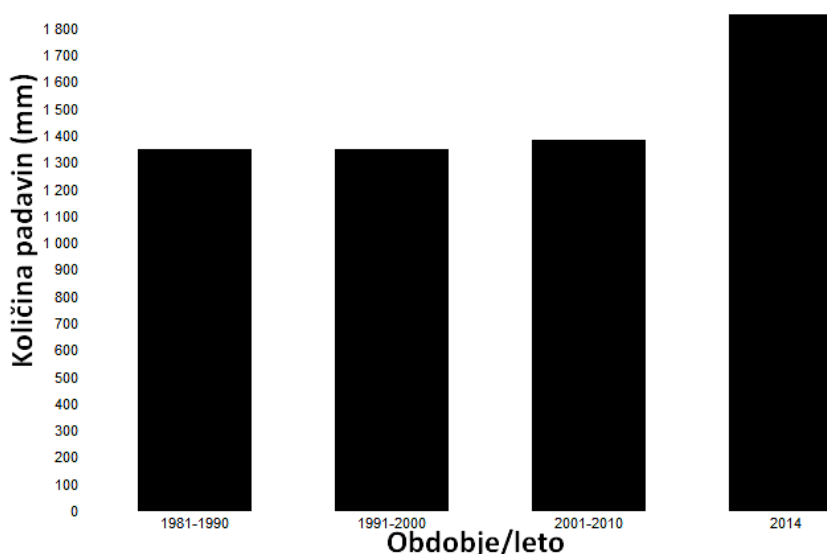
4 REZULTATI

4.1 VREMENSKE RAZMERE LETA 2014

Vsak poljski poskus je odvisen od vremenskih dejavnikov. Ti vplivajo na rast in razvoj posevka. V preglednici 3 so prikazani nekateri vremenski parametri (povprečna letna temperatura, povprečna maksimalna in minimalna dnevna temperatura, količina padavin in število dni s padavinami) za leto 2014 v primerjavi s preteklimi desetimi leti. Na sliki 17 je posebej prikazana količina padavin za leto 2014 primerjalno s preteklimi leti. Opazimo, da je bilo leta 2014 v primerjavi z drugimi leti očitno več padavin.

Preglednica 3: Primerjava vremenskih dejavnikov zadnjih desetih let za vremensko postajo Bežigrad (Meteo.si ..., 2016)

Leto	Povprečna temperatura (°C)	Povprečna maksimalna temperatura (°C)	Povprečna minimalna temperatura (°C)	Količina padavin (mm)	Povprečna oblačnost (%)	Število dni s padavinami
2004	10,7	15,5	6,5	1696,1	66	151
2005	10,4	15	6,3	1403,3	64	162
2006	11,4	16,2	7	1140,8	60	133
2007	12	17,1	7,4	1195,9	60	136
2008	11,6	16,2	7,4	1490,2	63	158
2009	11,7	16,5	7,1	1405,5	62	165
2010	11,7	14,8	6,9	1797,9	68	186
2011	11,8	16,8	7	998,1	57	120
2012	12	17,1	7,4	1339,2	57	147
2013	11,6	16	7,6	1530,5	67	177
2014	12,6	17,3	8,6	1850,5	68	189

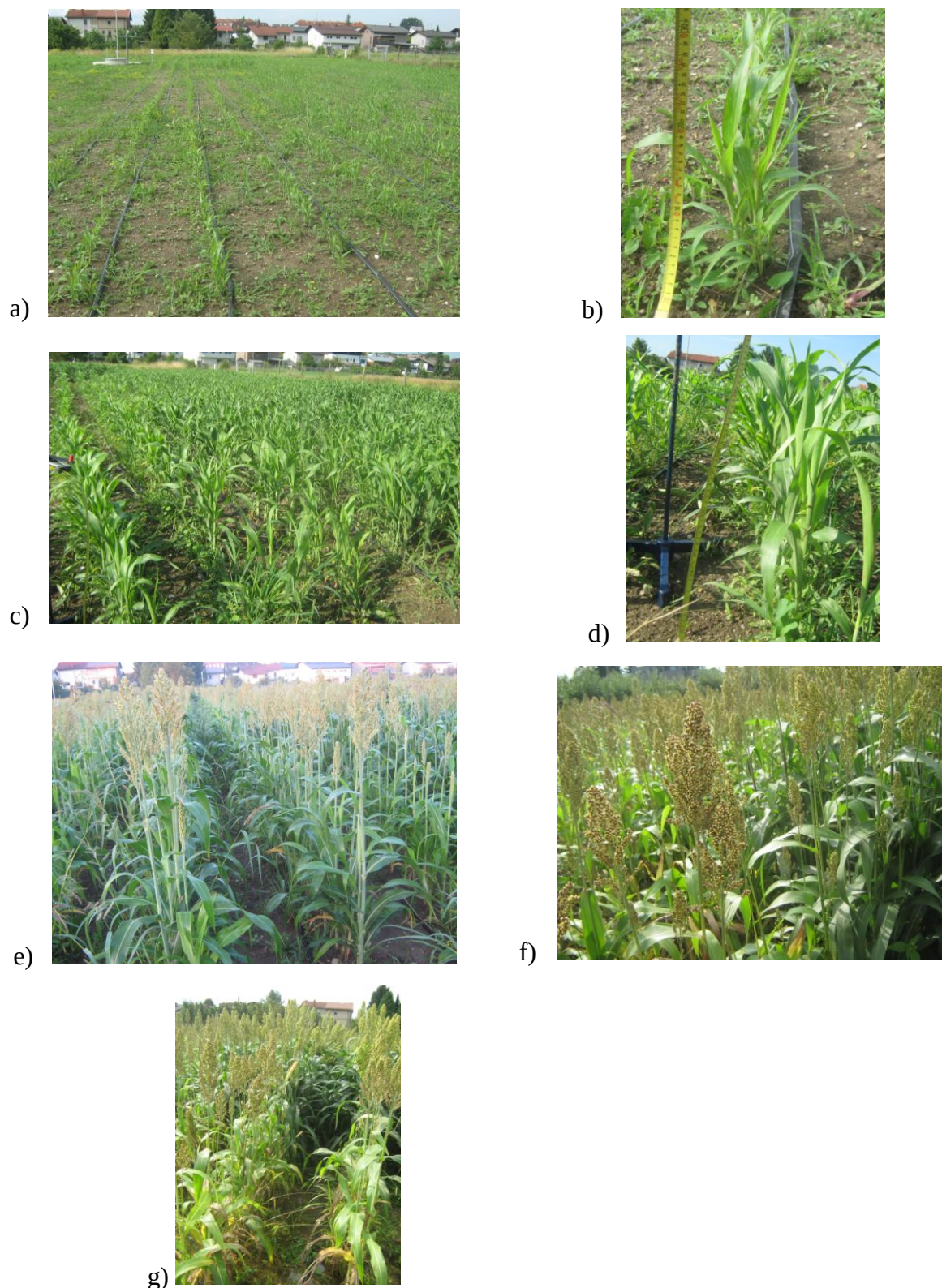


Slika 17: Primerjava padavin v Ljubljani (Bežigrad) med preteklimi leti in letom 2014 (SURs, 2015)

4.2 REZULTATI MERITEV

Rezultati meritev so preračunane vrednosti LAI, meritve suhe in meritve sveže biomase. Pri rezultatih dela so prikazane tudi slike poskusnega polja. Kot vidimo na sliki 14, je bilo poskusno polje tekom začetka rasti precej zapleveljeno. Po 38 dneh je (kot kaže slika 17b) sirek meril v višino med 20 in 30 cm. V juniju in juliju je sirek intenzivno rasel v višino in povečeval svojo zeleno maso. To je lepo opazno na slikah 17c in 17d. Med posameznimi rastlinami na polju so bile opazne razlike v rasti. Sliki 17e in 17f prikazujeta generativno rast; slika 17e prikazuje cvetenje, kjer ima cvetove približno polovica latov. Na sliki 17f opazimo dozorevanje zrn.

Slika 17g prikazuje nehomogenost polja. Na mestih z lizimetri je bila zemlja pripeljana od drugod in očitno primernejša za sirek kot zemlja preostalega dela polja. Poleg tega so bila tla na poskusnem polju zaradi namestitve lizimetrov premešana in zato nehomogena. Sirek v bližnji okolici lizimetrov je bil opazno bujnejši. Zato smo dodatno merili LAI še na območju lizimetrov. Merilni mesti imata oznako L. Statistično razlike smo z HSD testom in Duncanovim testom vrednotili med posameznimi mesta meritev LAI, vendar je bilo glede na navodila za merjenje z merilnikom LAI-2200 merilno območje L1 in L2 okoli premajhno za povsem relevantno meritev.



Slika 18: Fotografije polja in sirka v času rasti; a) - polovica poskusnega polja s posevkom sirka, b) - sirek v začetku rastne dobe; višina 20-30 cm (27.6.2014), c) - Poskusno polje v intenzivni fazi rasti sirka (17.7.2014), d) - Sirek tekom vegetativne faze (17.7.2014), e) - Sirek v fazi cvetenja (8.8.2014), f) - Sirek v fazi zorenja (3.9.2014), g) - Opazna razlika med poljem in gostejšim predelom na območju lizimetров (3.9.2014)

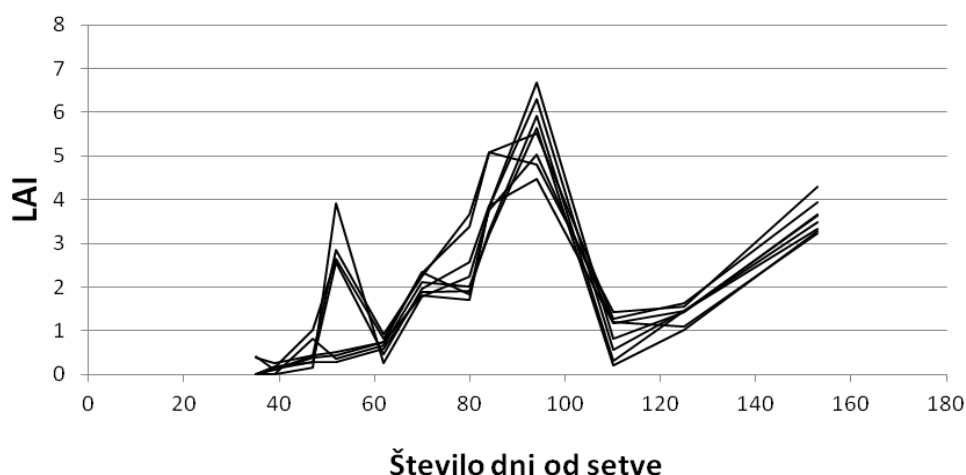
4.2.1 Rezultati meritev indeksa listne površine

V preglednici 4 so zbrani rezultati meritev indeksa listne površine. LAI je izračunan po postopku merjenja svetlobe z dvema merilnima palicama, kjer ena meri vpadno svetlobo nad slojem, druga svetlobo pri tleh. Merilna mesta so označena s črkama K in N (glej materiale in metode) kjer vsaka črka predstavlja polovico polja. V preglednici 4 je tudi povprečje vseh meritev.

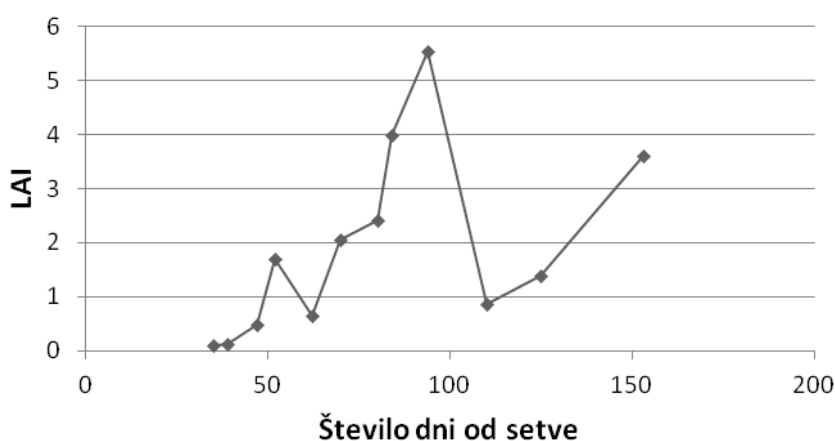
Preglednica 4: Izmerjene vrednosti indeksa listne površine tekom rasti na določenem merilnem mestu.

Datum	23.6.	27.6.	4.7.	11.7.	17.7.	25.7.	4.8.	8.8.	18.8.	3.9.	18.9.	15.10.
Št. dni od setve	35	39	47	52	62	70	80	84	94	110	125	153
Merilno mesto												
K1	0	0	0,82	0,35	0,66	2,11	2,01	3,2	5,65	0,22	1,01	3,28
K2	0	0,18	0,29	0,28	0,58	1,89	1,92	3,28	5,91	0,3	1,45	3,64
K3	0,42	0,11	0,38	0,43	0,75	2,35	1,83	3,83	6,31	0,56	1,46	3,49
K4	0,39	0,27	0,43	0,51	0,75	1,82	1,71	3,85	6,69	0,81	1,43	3,65
N1	0	0,12	0,44	2,84	0,92	2,25	3,65	5,09	4,81	1,44	1,56	4,3
N2	0	0,15	1,03	2,64	0,82	2,31	3,39	5,09	5,52	1,27	1,63	3,94
N3	0	0,13	0,28	2,58	0,46	1,97	2,57	3,87	4,48	1,18	1,46	3,33
N4	0	0	0,17	3,91	0,27	1,78	2,25	3,77	5,03	1,19	1,1	3,24
Povprečje	0,1	0,12	0,48	1,69	0,65	2,06	2,42	4	5,55	0,87	1,39	3,61

Sezonski potek našega spremljanja LAI je prikazan na slikah 19 in 20. Na sliki 19 so zbrani podatki vseh merilnih mest N in K, na sliki 20 pa je prikazano povprečje vseh merilnih mest rezultatov ocene LAI.



Slika 19: Sezonske spremembe LAI posevka sirka (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na posameznih merilnih mestih

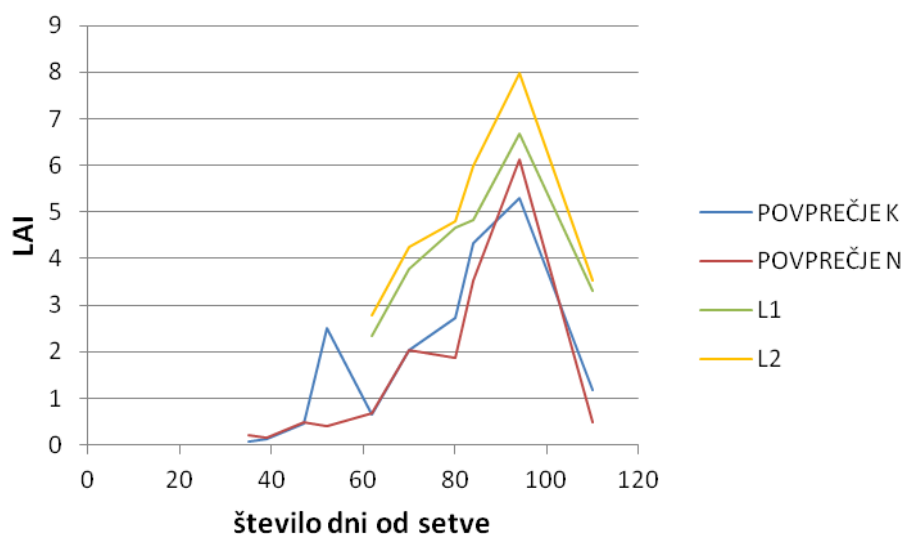


Slika 20: Sezonske spremembe LAI posevka sirka (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Prikazana so povprečja.

Kot smo že omenili, je v času rasti postalo opazno, da je bil sirek na območju kjer so bili nameščeni lizimetri in je bila na ta mesta pripeljana druga zemlja, bujnejši. Podatki so predstavljeni v preglednici 5, razlika pa je nakazana tudi na sliki 21. Merilno mesto L1 je bilo na isti polovici polja, kot so potekale meritve K, mesto L2 pa na isti polovici polja kot merilna mesta N.

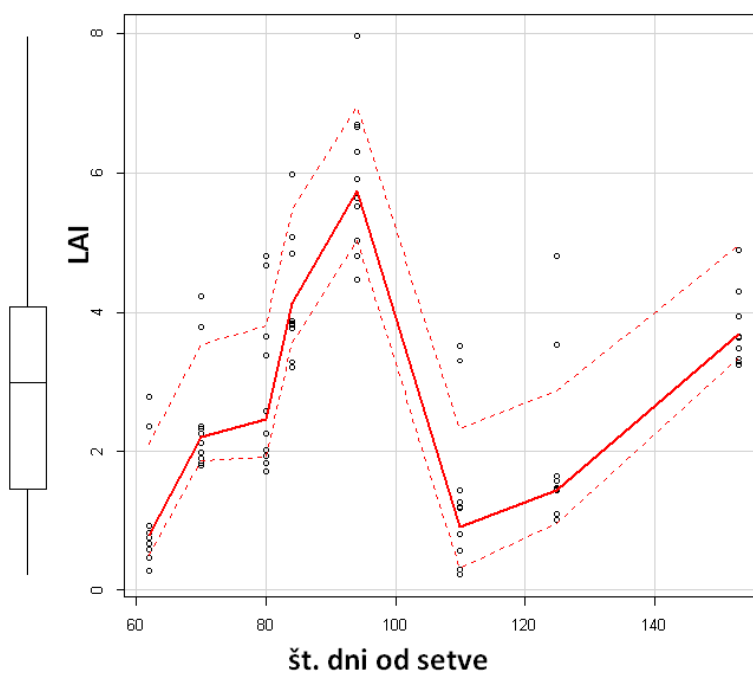
Preglednica 5: Povprečja LAI posamezne polovice polja in primerjava z mesti okoli lizimetrov

Št. dni	35	39	47	52	62	70	80	84	94	110
Povprečje K	0,078	0,134	0,47	2,496	0,644	2,026	2,714	4,334	5,306	1,178
Povprečje N	0,2025	0,14	0,48	0,3925	0,685	2,0425	1,8675	3,54	6,14	0,4725
L1	/	/	/	/	2,35	3,79	4,67	4,84	6,67	3,3
L2	/	/	/	/	2,77	4,24	4,81	5,98	7,97	3,52



Slika 21: LAI: primerjava med povprečjem meritev vsake polovice polja (K, N) in predelom z nameščenimi lizimetri (L1, L2)

Rezultate ocene LAI smo med posameznimi meritvenimi mesti med seboj tudi statistično primerjali v programu R, kjer se je izkazalo (95-odstotna stopnja zaupanja), da so variance izmerjenih vrednosti LAI med merilnimi mesti enake. To je pogoj za nadaljnje primerjave. HSD test je pokazal, da med povprečnimi LAI izmerjenimi na posameznih merilnih mesti ni statistično značilne razlike, medtem ko je Duncanov test pokazal, da se mesti L1 in L2 v oceni LAI statistično značilno razlikujeta od ostalih merilnih mest. Slika 22 kaže razpršenost izmerjenih ocen vrednosti LAI za posamezen dan opravljanja meritev.



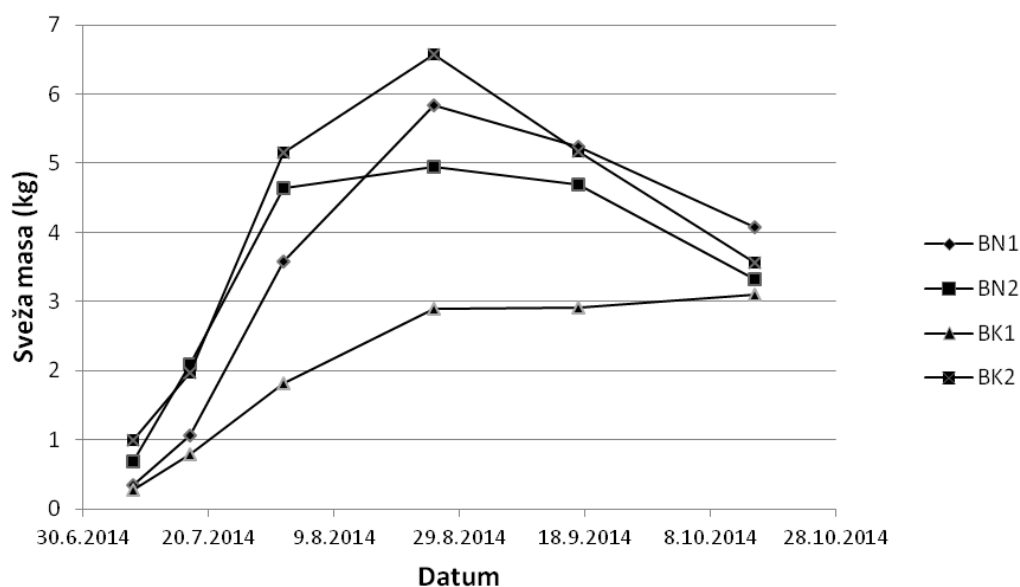
Slika 22: Razpršenost rezultatov meritev LAI (program R)

4.2.2 Rezultati merjenja biomase

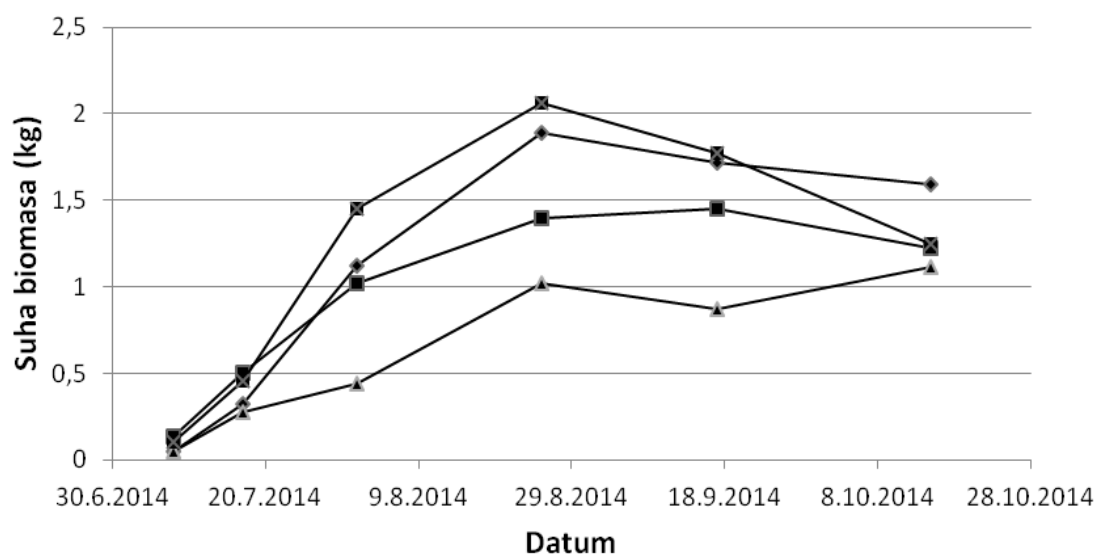
Podatki izmerjene biomase so zbrani v preglednici 6. Sliki 23 in 24 prikazujeta časovni potek spreminjanja biomase rastlin.

Preglednica 6: Rezultati merjenja biomase (za oznake glej materiale in metode)

	Št. dni od setve	51	62	76	101	124	153
Meritev	datum	8.7.2014	17.7.2014	1.8.2014	25.8.2014	17.9.2014	15.10.2014
Sveža biomasa (kg)	BN1	0,348	1,059	3,587	5,843	5,239	4,07
	BN2	0,69	2,094	4,635	4,948	4,689	3,328
	BK1	0,277	0,785	1,823	2,89	2,908	3,104
	BK2	0,992	1,972	5,155	6,569	5,17	3,554
Suha biomasa (kg)	BN1	0,047	0,32	1,122	1,888	1,719	1,596
	BN2	0,137	0,5	1,018	1,393	1,449	1,2249
	BK1	0,05	0,28	0,437	1,018	0,868	1,111
	BK2	0,102	0,46	1,453	2,066	1,77	1,25

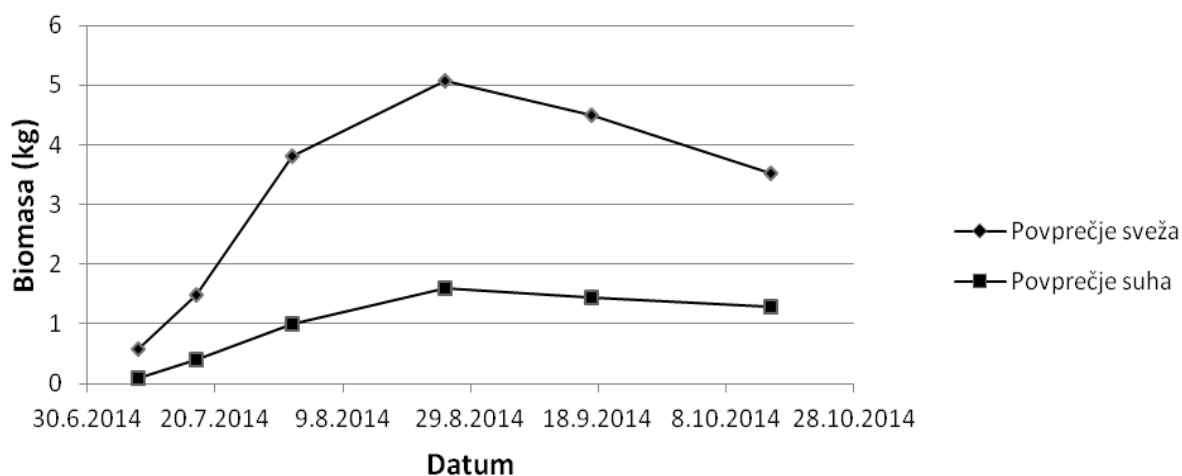


Slika 23: Biomasa sirka tekom rasti – meritve sveže mase

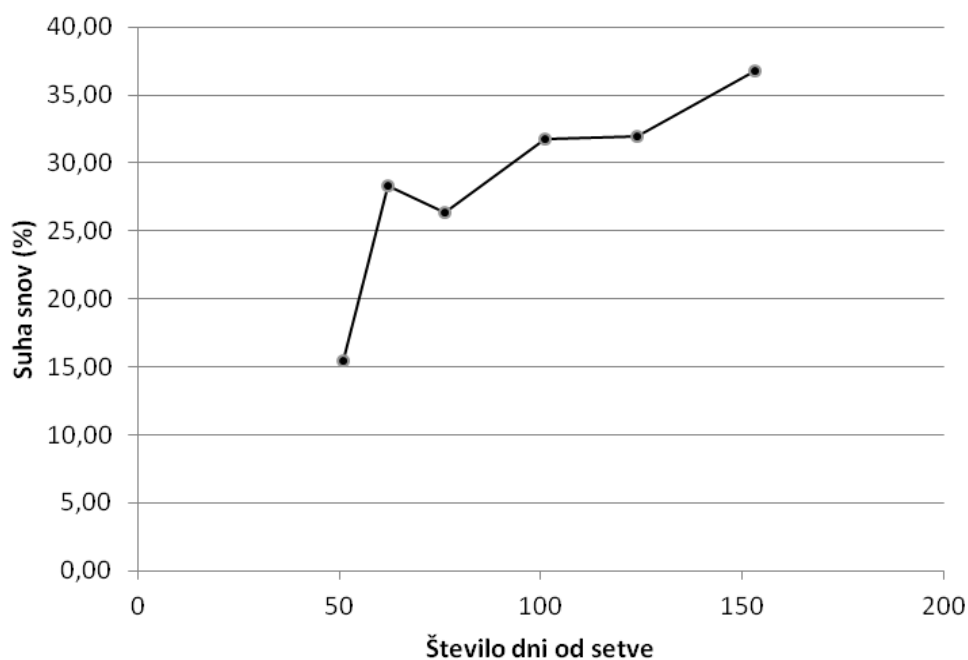


Slika 24: Biomasa tekom rasti sirka - meritve suhe mase

Tudi za meritve biomase smo grafično prikazali povprečje v gibanju meritev v času rasti (slika 25). Lepo je opazna razlika med suho in svežo biomaso, iz katere smo tudi izračunali in nato grafično prikazali spremembe deleža suhe snovi v času rasti sirka (slika 26).



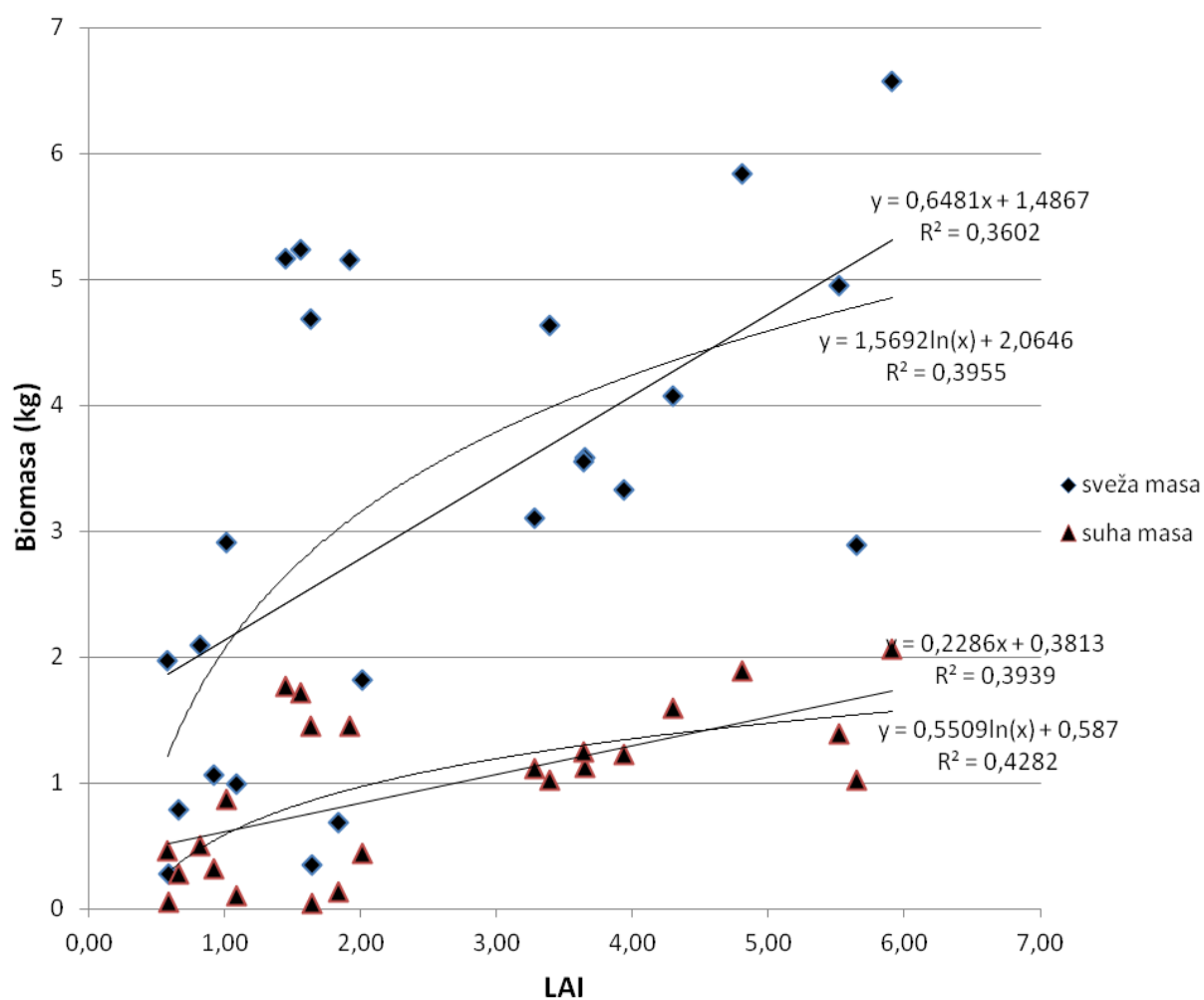
Slika 25: Primerjava povprečij meritev suhe in sveže biomase v času rasti sirka



Slika 26: Spreminjanje suhe snovi rastlin v času rasti

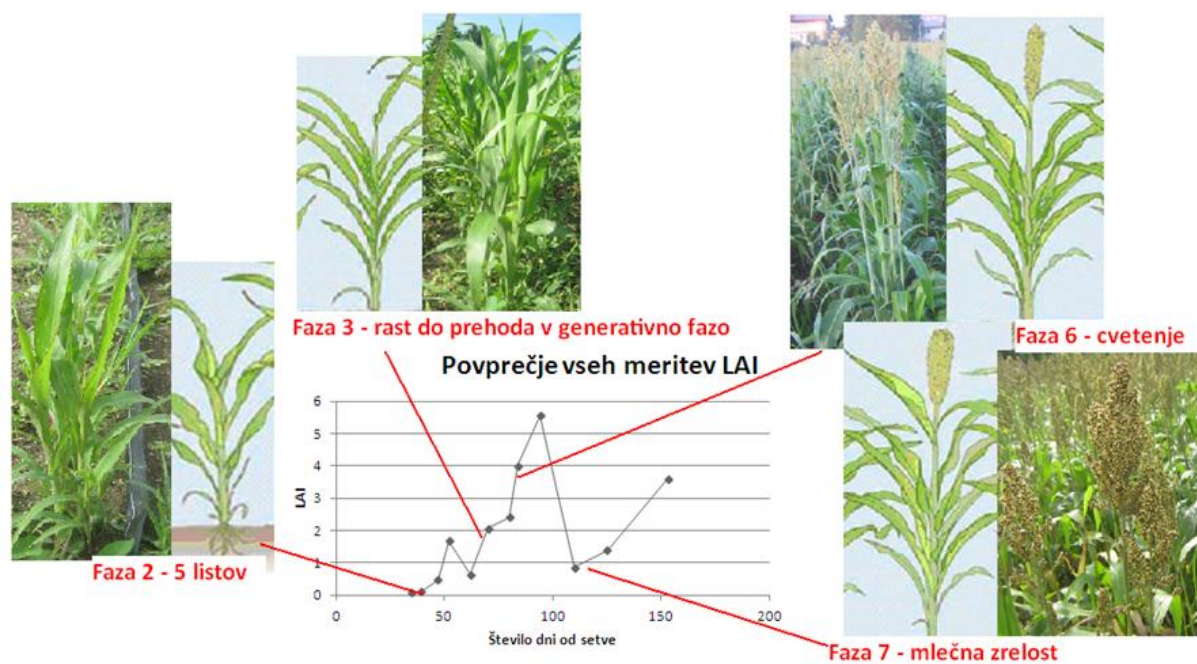
Statistično smo pregledali korelacijo med LAI in biomaso. Kot nakazuje slika 27, je lahko korelacija med LAI in biomaso predstavljena kot linearna ali kot eksponentna. Če pogledamo vrednost r^2 (koeficient determinacije) vidimo, da eksponentni model razlaga za približno 3 % več variabilnosti. Razlika ni velika, zato lahko zaradi enostavnosti za naše rezultate izberemo tudi linearni model, ki je glede na analizo ostankov zadovoljiv.

Sliki priloga B1 in priloga B2, ki prikazujeta analizo ostankov v programu R, sta si zelo podobni. Prvi kvadrat (zgoraj desno) prikazuje ostanke. Ker krivulja gladilnika relativno pokriva os x lahko rečemo da je model primeren. Tudi drugi kvadrat (desno zgoraj) potrjuje primernost modela in pokaže, da so ostanki razdeljeni po normalni porazdelitvi. Kvadratni koren standardiziranih ostankov (levo spodaj) nam slika sicer nekoliko pokvari vendar ne bistveno. Glede Cookove razdalje lahko vidimo, da so vse točke znotraj območja. V splošnem lahko rečemo, da model ustreza, ostanki ne nakazujejo potrebe po nadgradnji modela.



Slika 27: Korelacija LAI in biomase v dveh variantah: kot linearna in kot eksponentna korelacija

Časovni potek LAI tekom rasti sirka smo povezali s slikami faz rasti rastlin, da smo sklepali do katere faze LAI narašča (slika 28). Naši rezultati so nekoliko drugačni kot v literaturi, ki navaja, da je LAI pri sirku največji v fazi 6 .



Slika 28: Umestitev posameznih faz rasti v potek LAI tekom rasti

5 RAZPRAVA

Poskus je potekal na polju, kar pomeni, da nismo imeli vpliva na določene vremenske dejavnike. Leto (predvsem poletje) je bilo deževno, kar lahko vidimo iz količine padavin, ki jih je bilo glede na pretekla leta več (slika 17). Na določenih delih polja, predelih, kjer je lokalna depresija, je nekajkrat zastajala voda. Deževno vreme in kapljice rose na listih so oteževali merjenje indeksa listne površine, saj vsaka kapljica na leči merilne palice vpliva na rezultat meritev. Meritve smo tako zaradi vremenskih razmer po potrebi glede na prvotno načrtovane termine zamaknili za dan ali dva.

5.1 RAST SIRKA NA POSKUSNEM POLJU BIOTEHNIŠKE FAKULTETE

Tla polja, na katerem je potekal poskus, glede na naše rezultate, niso najbolj ustrezala sirku. Pfeifer (2013) v svojem diplomskem delu omenja, da so v vlažnih obdobjih pridelki sirka na težkih tleh veliki, vendar so bile rastline v našem poskusu opazno šibke. Tla so bila zaradi namestitve lizimetrov v preteklem letu, premešana, kar pomeni da je bila na nekaterih predelih zgornja plast tal (živica) uničena in zakopana. Pri sirku je bila heterogenost poskusnega polja opazna v vidnih razlikah pri rasti na različnih delih polja. Določeni predeli so vidno zastajali v rasti. V začetku rasti je bilo tudi polje precej zapleveljeno, zato smo polje poškropili s herbicidom za širokolistne plevelce. Vpliv herbicida se je ob prvih dveh merjenjih vidno poznal tudi na sirku. Morda je tudi to eden od razlogov za njegovo slabšo rast. Na večjem delu njive sirek zagotovo ni rasel v optimalnih razmerah, saj je bila njegova rast na območju lizimetrov opazno bujnejša. Na tej površini je posevek razvil LAI, kot ga navaja literatura. Razliko med omenjenimi deli polja smo prvič očitno opazili 4.7., to je 47 dni po setvi. Poleg neoptimalnih talnih lastnosti je na rast gotovo vplivala tudi velika količina padavin. Sirek je C4- rastlina. Zaradi takšne fotosintezne presnove je dobro prilagojen na pomanjkanje vode, zato ga v literaturi pogosto navajajo kot alternativo za sušna območja. Pri našem poskusu je na polju nekajkrat zastala voda, ki zaradi nekoliko glinenega tipa tal ni odtekala. Tla so bila zbita. Sirek tega poskusa je tekom rasti dosegel končno višino približno 1,3 m.

5.2 INDEKS LISTNE POVRŠINE

Indeks listne površine smo merili na stalnih označenih mestih, zato lahko spremljamo sezonske spremembe LAI na posameznih merilnih mestih, povprečen LAI pa predstavlja oceno tega parametra za celo proučevano polje. Pri merjenju LAI smo morali paziti, da so meritve potekale dovolj zgodaj, ko je svetloba še difuzna. Kot že omenjeno je merjenje motila rosa in vlaga na rastlinah. Merjenje svetlobnega sevanja nad sestojem je potekalo samodejno, medtem ko smo meritve ob tleh opravljali ročno. Rezultati med posameznimi merilnimi mesti so primerljivi. V poskusu, ki ga navajajo Atwell in sod. (1999; slika 6 v tej nalogi) je sirek dosegel maksimalni LAI približno 50 dni po setvi. V naši raziskavi pa sirek doseže najvišji LAI šele približno 90 dni po setvi. Razlika je kar 40 dni. To je lahko posledica zastoja v rasti

v našem poskusu, do katerega je najverjetneje prišlo zaradi okoljskih dejavnikov na polju. Največja vrednost LAI je v našem poskusu, če gledamo povprečje za več kot dve stopnji manjša kot je navedeno v literaturi (Atwell in sod. 1999), kjer dosega posevek sirka LAI tudi do 8. Tej vrednosti se približa le merilno mesto L2 (slika 24). Poleg zastale rasti predvidevamo, da je lahko na dosežene vrednosti LAI vplivala tudi sorta. Gledano vso rastno sezono tudi potek vrednosti LAI kaže drugačno sliko. Pri povprečju lahko opazimo pred zgornjo vrednostjo na grafu še en manjši vrh nekje v petdesetem dnevu rasti. Kot se izkaže pri rezultatih je bilo to izraženo le pri meritvah na K polovici polja. Pri merjenju na območju z lizimetri in pri N polovici polja tega vrha ni opaziti. Sklepamo, da gre za napako v meritvi pri merjenju na K polovici polja. Po vsej verjetnosti je napake kriva kapljica vode na leči merilnika. Časovni potek LAI za N polovico polja in mesti z lizimetri je bolj podoben pričakovanemu in po obliki ujema z navedbami v literaturi. Razlika je le v časovnem zamiku. Padca LAI po stotem dnevu rasti ne znamo razložiti.

5.2.1 Možnosti napak pri merjenju LAI

Ker je merjenje na polju potekalo ročno in ne avtomatsko, je verjetnost napak nekoliko večja. Pri merjenju je treba paziti da je del merilne palice z lečo, povsem vodoraven na podlago. Vsi odmiki in zamiki z roko lahko teoretično vplivajo na meritev. Druga napaka, ki lahko vpliva na rezultat meritev je, kako sledimo načrtu meritev na označenem območju. Kljub označitvi mesta in načrtu merjenja merilno palico ročno postavimo na mesto, kjer bomo izmerili LAI. Tu se lahko pojavi težava natančnosti, saj je bilo merilno območje relativno veliko. Poleg tega gumb za zajem meritve pritismo ročno, pri čemer lahko palico nekoliko premaknemo. Problem predstavlja tudi zadnja meritev, ki je bila oktobra. Takratni podatek za LAI z vidika fotosintetsko aktivne listne površine ni povsem relevanten, saj so bile rastline takrat že suhe in niso imele več nobenega zelenega lista. Ob komentiranju možnih napak lahko omenimo, da Jonckheere (2004) navaja, da je pri optičnih metodah izračunani LAI na splošno manjši kot pri direktnih metodah.

5.3 SPREMLJANJE BIOMASE

Količino biomase smo v poskusu ocenjevali glede na površino. Druga možnost je da bi upoštevali biomaso določenega števila rastlin, toda glede na to, da smo želeli podatke povezati z LAI, ki govori o površini, biomasa števila rastlin ni smiselna. Površina posameznega vzorca biomase je znašala 1,5 m treh vrst, kar znese 2,25 m². Rezultati časovnega poteka meritev biomase (tako sveže kot suhe) so pričakovani, izstopa le merilno mesto K1, kjer je sveža masa znatno manjša od ostalih treh merilnih mest, pa tudi sam časovni potek je nekoliko drugačen. O vzroku za to razhajanje lahko samo predvidevamo. Kot že omenjeno so bile rastline na določenih obrobni delih polja slabše. Poleg tega smo vzorčili vsakič druge rastline in zaradi nehomogenosti tal na polju smo lahko v času vzorčenja prišli do rastlin v drugi fazi rasti.

Iz rezultatov meritev biomase smo lahko izračunali tudi delež suhe snovi. Časovni potek spreminjanja deleža suhe snovi v biomasu sirka narašča (slika 25). To se sklada z navedbami v literaturi (Atwell in sod., 1999).

5.4 KORELACIJA LAI IN BIOMASE

Če primerjamo časovni potek rezultatov meritev LAI in biomase spremenljivki ne delujeta povezani, vendar statistična analiza pokaže določen del korelacije (slika 27). V našem poskusu je korelacija med LAI in biomaso opisana kot linearna in model je glede na naše rezultate zadovoljiv. Vendar Tavakoli in sod. (2014), ki so v svojem poskusu pri ozimni pšenici povezali različne metode spremljanja rasti, to korelacijo predstavljajo kot eksponentno. Morda je v našem poskusu nekoliko velika razpršenost točk pri sveži biomasu, toda glede na analizo ostankov (priloga 2) model linearne regresije zadovoljivo opiše povezavo med LAI in biomaso; tako svežo, kot suho. Povezava je v resnici precej logična, saj so večji del rastne dobe pri sirku večino biomase predstavljali listi, ki pa so hkrati osnova za merjenje LAI. Poleg tega je pri obeh meritvah zraven tudi vpliv drugih zelenih delov t.j. stebela. Velika razpršenost točk na omenjeni sliki je lahko posledica tega, da so se robne vrste posevka razlikovale od sredinskih vrst v bujnosti. LAI smo merili v sredinskih vrstah, biomaso pa v robnih vrstah.

5.5 LAI IN FAZE RASTI

Dokumentirane faze rasti sirka smo časovno povezali s povprečjem izmerjenega LAI. Povezava je prikazana na sliki 28. Besancon in sod. (2014) pri opisu rasti sirka navajajo, da se LAI najintenzivneje povečuje do konca faze kolenčenja, tik pred cvetenjem. V našem poskusu je bil LAI največji v času cvetenja. Omenjeni vir navaja, da v fazi cvetenja rastlina glede na okoljske dejavnike kompenzira svojo velikost, LAI, število poganjkov in pridelek. V našem primeru se je LAI v času cvetenja še povečeval, nato pa se zelo zmanjšal v fazi zorenja. Nenavadno je, da se po tem velikem zmanjšanju LAI spet povečuje. Tak potek težko razložimo drugače kot z napakami pri opravljanju meritev.

5.6. PREGLED HIPOTEZ

Naši delavni hipotezi sta bili:

1. Pričakujemo veliko povezanost proučevanih parametrov primarne produkcije, to je LAI in suhe mase nadzemnih delov,
2. Predvidevamo, da bo LAI do prehoda v reproduktivno fazo naraščal, nato pa bo ustaljen.

Z analizo korelacije rezultatov meritev LAI in biomase smo potrdili prvo hipotezo. Povezanost LAI in biomase je bila linearna. Druge hipoteze naši rezultati ne potrjujejo, saj obdobju naraščanja LAI sledi strm padec in nato ponovno obdobje naraščanja. Tu se naši rezultati razlikujejo od pričakovanj in rezultatov navedene literature.

6 SKLEPI

Pri poskusu na laboratorijskem polju Biotehniške fakultete smo dokazali povezanost dveh parametrov primarne produkcije pri sirku: biomase in indeksa listne površine. Težave pri poskusu je predstavljala predvsem velika nehomogenost poskusnega polja, pri meritvah LAI pa so nas ovirale tudi vremenske razmere. Kot predvideno smo časovnemu vzorcu LAI dodelili nekaj slik posameznih rastnih faz. Dokazali smo povezanost LAI in biomase. Ugotovili smo, da samo en merjeni parameter ne poda zadostnega podatka o stanju pridelka.

Za spremljanje rasti rastlin je v razvoju in preizkušanju mnogo različnih metod, od katerih mnoge vključujejo določanje LAI. Trend pa predstavljajo posredne, nekontaktne metode daljinskega zaznavanja vegetacije, med katerimi nekatere vključujejo tudi satelitske slike in višinske posnetke iz zraka s pomočjo katerih se nato določa stanje, količina in celo vrsta vegetacije.

Z agronomskega vidika nam ocena LAI lahko pokaže enega od vidikov stanja posevka; ali rastlina raste v optimalnih razmerah, ali morda zaradi določenega dejavnika zastaja v rasti. V tem primeru nam je navadno cilj čim večji pridelek, zato je vrednost spremljanja LAI predvsem v možnosti za ukrepanje v primeru zastoja rasti rastlin. Veliko poskusov temelji na določanju LAI preko modeliranja iz zračnih posnetkov, ki omogočajo ukrepe na točno določenih manjših mestih. LAI je pomemben indikator za študije različnih dejavnikov na posamezno rastlinsko vrsto ali sorto in skupaj z drugimi podatki omogoča natančnejši vpogled na vpliv posameznega dejavnika na posevek.

Določanje in spremljanje indeksa listne površine na različne načine ostaja osnova za študije vegetacije. Tako študije poraščenosti določenih območij kot podrobneje za stanje neke vegetacije in posledično stanja ekosistema. Z ozaveščanjem o pomenu varovanja okolja lahko pridobijo na veljavi tudi nekatere od metod spremljanja LAI, saj omogočajo monitoring stanja in količine rastlinskih sestojev.

7 POVZETEK

Listi so ključni za prestrezanje fotosintetsko aktivnega sevanja. Od njihove površine je odvisno v kolikšni meri bo rastlina izrabila sevanje, ki je na voljo. LAI (indeks listne površine) je parameter, ki izraža skupno površino listov na površino tal. Na LAI določene poljščine vplivajo različni dejavniki, ki so: temperatura, količina hranil v tleh, gostota setve, dostopnost vode... LAI v času razvoja rastline v ustreznih razmerah, po določenem vzorcu narašča do določene faze rasti, nato se ustali ali celo zmanjša.

V okviru magistrskega dela smo v času rasti spremljali indeks listne površine pri sirku (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Namen dela je bil preučiti povezanost parametrov primarne produkcije, to je LAI in biomase, ter povezati posamezne faze rasti z meritvami LAI v času rasti sirka.

Poskus je potekal na poskusnem polju Biotehniške fakultete v Ljubljani, na parceli s površino 1,6 ara. Tu smo 19.5.2014 posejali sirek. Poskusna parcela je bila razdeljena na dva dela, ki ju je ločeval pas travinja. Na vsaki od polovic smo na štirih stalnih mestih merili LAI, ter na dveh mestih vzorčili biomaso. LAI smo ocenili z merilnikom LAI-2200 Li-cor, biomaso smo tehtali svežo in suho. Rezultate smo urejali in analizirali s programoma Microsoft Office Excel 2007 in statističnim programom R.

Leto 2014 je bilo neobičajno deževno, tako da ni bilo suše, ki smo jo pričakovali. Tekom rasti smo opazili, da je sirek na polju nehomogen in da so rastline na območju okoli lizimetrov opazno bujnejše. Tako smo dodatno LAI sirka spremljali še na dveh mestih.

Rezultate ocene LAI smo med mesti primerjali. Pri 95-odstotni stopnji zaupanja je HSD test pokazal, da med izmerjenimi mesti ni bilo statistično značilne razlike, medtem ko je Duncanov test pokazal da se mesti okoli lizimetrov statistično značilno razlikujeta od ostalih merilnih mest; LAI je bil na omenjenih dveh mestih statistično značilno višji.

Stehtano biomaso v času smo poskusili povezati z meritvami LAI. Našli smo korelacijo, ki je v našem primeru linearna, vendar model zaradi velike razpršenosti podatkov opisuje le približno 40 % variabilnosti. Tudi analiza ostankov v programu R je pokazala, da za naš poskus korelacijo med rezultati meritev biomase in LAI zadovoljivo opiše linearni model.

Časovni potek LAI smo povezali tudi s posameznimi fazami rasti rastlin. Rastline v našem poskusu so pozno dosegle maksimalni LAI.

Tekom poskusa smo ugotovili več pomanjkljivosti opisanih metod. Največja težava je bila velika heterogenost tal na polju, ki je bilo sicer majhno. Težava je bilo tudi deževno leto, ki je vplivalo tako na termin meritev, kot na rast našega posevka. Poleg tega so bile vse meritve ročne in zato dolgotrajne.

Trendi v meritvah, ki spremljajo stanje vegetacije, so posredne, nekontaktne metode, ki vključujejo daljinsko zaznavanje vegetacije. Spremljanje rasti rastlin v posevku nam omogoča pravočasno izvajanje agrotehničnih ukrepov, pogosto pa je tudi osnova za ekfiziološke študije.

8 VIRI

- Asner G.P., Scurlock J. M. O., Hicke J.A. 2003. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. *Global Ecology & Biogeography*, 12: 191–205
- Atwell B. J., Kriedemann P. E., Turnbull C.G.N. 1999. *Plants in action: Adaptation in nature performance in cultivation*. Australian society of plant scientists in New Zealand Society of Plant Biologists in New Zealand Institute of Agricultural and Horticultural Science. Macmillan Education Australia Pty Ltd, Melbourne: 664 str.
- BBCH code sorghum. 2014. Technologie und Förderzentrum, Bayern
https://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiWzfyJu6bJAhWKn3IKHWf9C64QFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.tfz.bayern.de%2Fmam%2Fcms08%2Frohstoffpflanzen%2Fdateien%2Fmb_p_ze_sorghum_bbch_2012.pdf&usg=AFQjCNHxVpaeyoGIqWXUwQRpXDwNo3_iXg&sig2=e2zw7rdywSWOQPz5ZboMcg&bvm=bv.108194040,d.bGQ (julij 2014)
- Besancon T., Heiniger R., Everman W., Weisz R. 2014. *Sorghum growth and development*. Department of crop science, North Carolina State University.
https://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj iq664t6bJAhUok3IKHVArDEEQFggiMAA&url=http%3A%2F%2Famarillo.tamu.edu%2Ffiles%2F2010%2F11%2Fsorghum_growth_development.pdf&usg=AFQjCNGIPRtDyt hnHmXXBTBG0D2We1qdQA&sig2=06DQBdds17NqkuiGp2KESg&bvm=bv.108194040,d.bGQ&cad=rja (julij 2014)
- Boedham N., Arkebauer T. J., Batchelor W. D. 2001. Season-long Characterization of vertical distribution of leaf area in corn. *Agronomy Journal*, 93: 1235-1241
- Botanični terminološki slovar. 2011. Ljubljana, Založba SRC, SAZU: 650 str.
- Bueno A. 1979. Leaf area estimation, growth analysis and yield evaluation in grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.), Dissertation. Iowa State University: 246 str.
- Canola Council of Canada (november 2015)
<http://www.canolacouncil.org/crop-production/canola-grower's-manual-contents/chapter-3-growth-stages/growth-stages> (november 2015)
- Čop J. 2009. Evolucijska prilagoditev rasti trave na defoliacijo in njen pomen za travništvo. *Naše travinje*, 5:8-9
- Dermastia M. 2007. *Pogled v rastline*. Ljubljana, Nacionalni inštitut za biologijo: 237 str.
- Fenologija v Sloveniji: Priročnik za fenološka opazovanja. 2015. Sušnik A. (ur.). Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje in prostor: 104 str.
- Goswami D. Y., Kreith F., Kreider J. F. 2000. *Principles of Solar Engineering*. 2nd ed. Philadelphia, Taylor and Francis: 706 str.

- Hay R.K.M., Porter J. 2006. The physiology of crop yield. 2nd ed. Blackwell publishing: 330 str.
- Instruction manual LAI-2200 plant canopy analyzer. 2010. Li-cor bioscience. Lincoln, Li-cor, Inc. 209 str.
- Jonckheere I., Flecks S., Nackaerts K., Muys B., Coppin P., Weiss M., Baret F. 2004. Review of methods for in situ leaf area indeks determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology* 121: 19-35
- Kocjan Ačko D. 2015. Poljščine: pridelava in uporaba. Ljubljana, Kmečki glas: 187 str.
- Kramberger B. 1999. Krmni dosevki. Maribor, Univerzitetna knjižnica Maribor: 134 str.
- Lafarge T. A., Hammer G. L. 2002. Tillering in grain sorghum over wide range of population densities: modelling dynamics of tiller fertility. *Annals of Botany* 90: 99-110
- Langer R. H. M. 1979. How grasses grow: Studies in Biology no.34. 2nd ed. London, Edward Arnold: 66 str.
- Larcher W. 1980. Physiological plant ecology. 2nd ed. Berlin, Springer-Verlag: 303 str.
- McCree K. J., Troughton J. H. 1966. Non-existence of an optimum leaf area index for the production rate of white clover grown under constant conditions. *Plant Physiology* 41: 1615-1622
- Meteo.si – uradna vremenska napoved za Slovenijo. 2016. Agencija republike Slovenije za okolje (ARSO), Ministrstvo za okolje in prostor, Ljubljana
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/#webmet==8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGcw9ydlJWblR3LwVnaz9SYtVmYh9iclFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZXZulWYnwCchJXYtVGdlJnOn0UQQdSf> (februar, 2016)
- Pfeifer A. 2013. Primernost sirka (*Sorghum spp.*) za zamenjavo koruze (*Zea mays* L.) v kolobarjih. Diplomski projekt (UN). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 17 str.
- SURS – Statistični urad republike Slovenije. 2015. Pridelovanje poljščin.
<http://www.stat.si/StatWeb/> (december 2015)
- Tavakoli H., Mohtasebi S.S., Alimardani R., Gebbers R. 2014. Evaluation of different sensing approaches concerning to nondestructive estimation of leaf area index (LAI) for winter wheat. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*: 7, 1: 337-359
- Vanderlip R.L. 1993. How sorghum plant develops. Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, Kansas State University
<https://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwjJuz5u6bJAhWIIKHdu5AOIQFggMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.bookstore.ksre.ksu.edu%2Fpubs%2Ffs3.pdf&usg=AFQjCNERJuIXs6kKsqBWYYIMCJsdMhfU9A&sig2=CMeGsGhK3Tdj6j3DKD7h2A&cad=rja> (julij 2014)

ZAHVALA

Pri nastanku magistrskega dela je sodelovalo mnogo oseb, ki so prispevale vsaka svoj delež in tako omogočile dokončanje dela.

Največja zahvala gre mojemu mentorju prof. dr. Dominiku Vodniku. Hvala za vso pripravljenost in pomoč, za ves čas, razlage in nasvete. Hvala za ekstremno hitre popravke oddanih osnutkov, za vse spodbudne besede in da ste verjeli, da bom delo opravila kot je treba.

Lepo se zahvaljujem tudi recenzentki doc. dr. Darji Kocjan Ačko, ki je delo hitro pregledala in poleg strokovnih nasvetov označila tudi nekaj tehničnih popravkov. Za vse popravke in komentarje se zahvaljujem prof. dr. Gregorju Ostercu.

Za pomoč pri izvedbi poskusa se zahvaljujem tudi vsem trem tehničnim sodelavcem: Marjani, Petru in Boštjanu, ki so veliko prispevali k sami izvedbi poskusa.

Iskreno se zahvaljujem tudi svojim domačim, ki so me ves čas pisanja spodbujali in namesto mene tudi opravili kakšno fizično delo, da sem se sama lahko posvetila nalogi. Hvala za vse besede spodbude in tolažbo, kadar se je zataknilo.

Hvala tudi vsem neimenovanim prijateljem in znancem s katerimi smo o delu kakorkoli razpravljali in se medsebojno spodbujali.

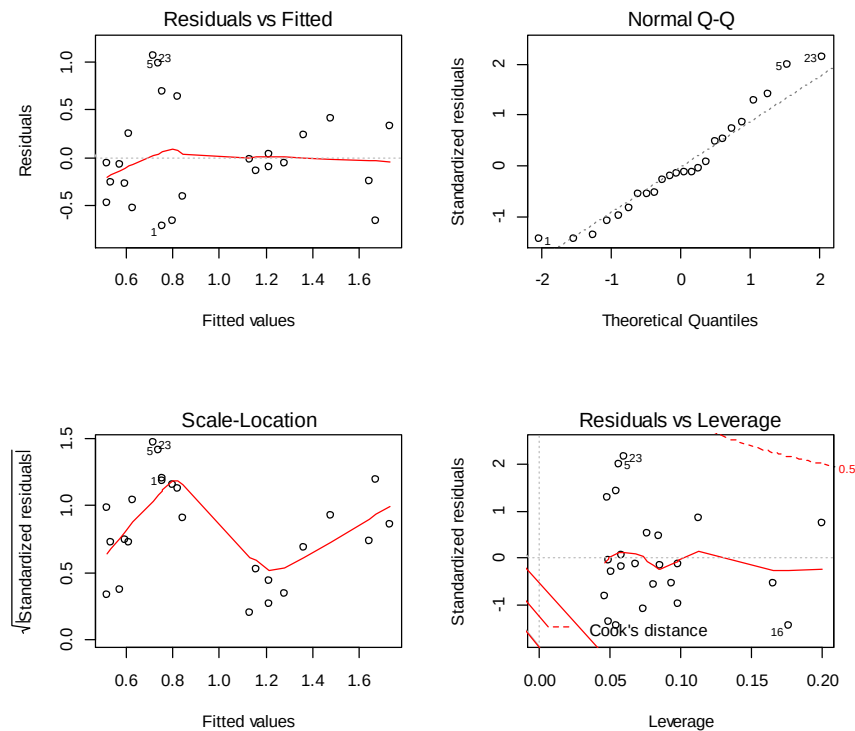
PRILOGA A

Fenofaze po BBCH lestvici pri sirku (BBCH ..., 2014)

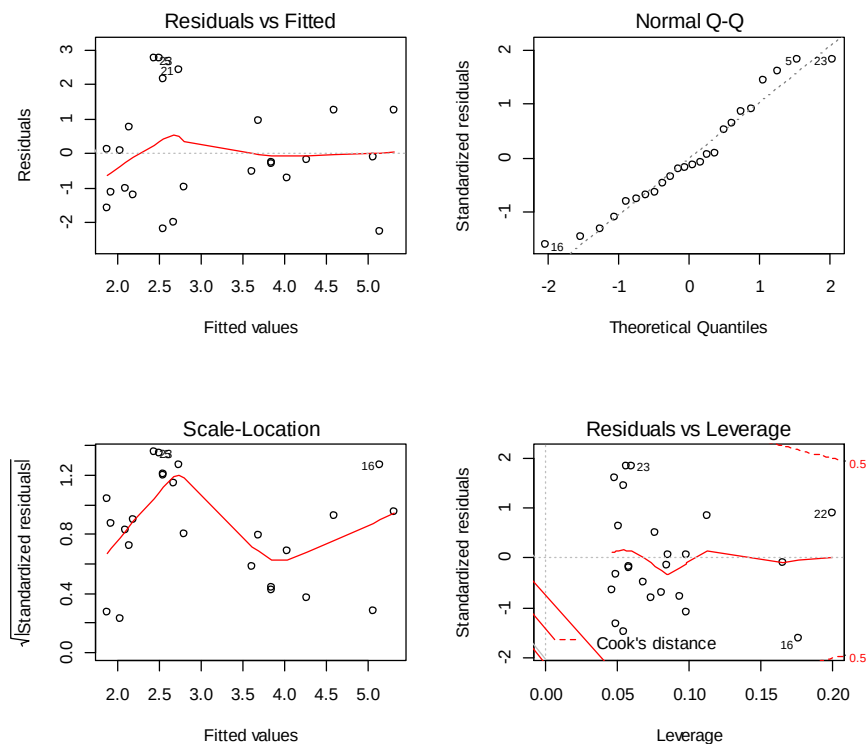
Koda	Definicija
0	Kalitev
0	Suho seme
1	Začetek nabrekanja semena
3	Konec nabrekanja semena
5	Kalček predre semensko ovojnico
9	Vznik, koleoptila prodre iz tal
1	Razvoj listov
10	Prvi pravi list izstopi iz koleoptile
11	Faza enega lista – razvitje prvega lista
12	Faza dveh listov – razvitje dveh listov
13	Faza treh listov – razvitje tretjega lista
19	Razvitje devetega in še vseh naslednjih listov
2	Razvoj stranskih poganjkov
21	Pojavitev prvega stranskega poganjka
22	Pojavitev drugega stranskega poganjka
23	Pojavitev tretjega stranskega poganjka
29	Pojavitev devetega in vseh naslednjih stranskih poganjkov
3	Kolenčenje
30	Začetek kolenčenja, začetek podaljševanja prvega internodija
31	Prvo kolence vsaj 1 cm nad mestom razraščanja
32	Drugo kolence vsaj 2 cm nad prvim kolencem
33	Tretje kolence vsaj 2 cm nad drugim
37	Viden zastavičar, vendar je še zavrt
39	Stopnja zastavičarja; razvit zastavičar
5	Latenje
51	Začetek nastavljanja lata
55	Sredina nastavljanja lata
59	Konec latanja
6	Cvetenje
61	Začetek cvetenja, vidni prvi cvetovi
65	Sredina cvetenja; 30% cvetov razvitih
69	Konec cvetenja
7	Razvoj semen
71	Začetek razvoja zrnja, zrnje v vodeni zrelosti
73	Mlečna zrelost
79	Skoraj vse zrnje doseglo končno velikost
8	Dozorevanje
83	Zgodnja voščena zrelost
85	Voščena zrelost
89	Fiziološka zrelost
9	Staranje
97	Rastline propadajo in odmirajo
99	Pobran pridelek (enako fazi 00 – suho seme)

PRILOGA B

Slika ostankov v programu R za linearno korelacijo LAI in biomase



Priloga B1: Analiza ostankov v R za linearno korelacijo med LAI in biomaso (suha biomasa)



Priloga B2: Analiza ostankov v R za linearno korelacijo med LAI in biomaso (sveža biomasa)