

ELKOSUN v sodelovanju z ERM centrom

Vpliv svetlobe na rast rastlin

Poročilo o rasti izbranih vrst zelenjave
v različnih svetlobnih okoljih

Avtorji:

ddr. Ana Vovk Korže

Janja Lužnik

Danijel Davidovič



UVOD

Naraščajoče potrebe po hrani zaradi večanja števila prebivalstva in zmanjšanje pridelovalnih površin zaradi degradacije okolja spodbujajo nove načine zagotavljanja kakovostne hrane. S tem namenom se v novem tisočletju razvija t. i. kmetijstvo v nadzorovanem okolju (ang. controlled-environment agriculture), pri katerem se optimalni rastni pogoji skušajo zagotoviti s tehnologijo v zaprtih prostorih. Tako se lahko nadzoruje svetloba, temperatura, vlažnost, količina CO₂, pH in hranila v rastni podlagi ter škodljivci. Tovrstna pridelava v zaprtih prostorih se lahko izvaja na velikih površinah v obliki vertikalnega kmetijstva v rastlinjakih ali pa v zasebnih domovih ljudi, ki bi želeli gojiti zelenjavo za lastno samooskrbo. Na ta način se lahko pridelava zadostna količina zdrave hrane z manjšim ekološkim odtisom.

Rastline se lažje prilagodijo večjim nihanjem toplote, vlage in hranil kot svetlobe, zato ima osvetlitev v zaprtih prostorih velik pomen. Ker je svetloba eden izmed najpomembnejših pogojev, so se v podjetju Elkosun, ki se tradicionalno ukvarja z raznovrstno razsvetljavo in izdelavo sestavnih delov luči, odločili za izdelavo LED svetil za optimalno fotosintezo za rast zelenjave.

Bela svetloba je namreč sestavljena iz posameznih barv mavrice, pri tem rastlina ne potrebuje vseh barv v enaki količini. Najpomembnejši barvi za fotosintezo sta rdeča in modra. S prilagojenimi LED svetili, ki oddajajo več rdeče in modre barve, lahko v zaprtih prostorih sami vzgajamo svojo zelenjavo. S tem namenom podjetje Elkosun podpira izvajanje več poskusov na različnih lokacijah, da bi ugotovili in potrdili pozitiven učinek izdelanih svetil na rast izbranih vrst rastlin.

POSKUS

Namen poskusa je dokazati, da uporaba prilagojenih LED svetil lahko spodbudi rast zelenjave in tako poveča samooskrbne sposobnosti posameznika na enostaven način. Eksperiment poteka v rastlinjaku in vsakdanjih prostorih, kjer bi se svetila lahko uporabljala tudi v prihodnje. Rastline so zasajene na štirih lokacijah:

1. kletni prostori na podjetju Elkosun,
2. pisarna Mednarodnega centra za ekoremediacije na FF UM,
3. kabinet na II. gimnaziji Maribor in
4. rastlinjak na Učnem poligonu za samooskrbo Dole.

Prvo sejanje rastlin, ki označuje začetek eksperimenta, je izvedeno 3. januarja 2019, predviden zaključek pa je junija. Vrsta posejanih rastlin je navedena v nadaljevanju, saj so na posameznih lokacijah uporabljene različne vrste zelenjave. Na posameznih lokacijah je sejanje novih rastlin izvedeno dvakrat ali trikrat.

Pri prvem sejanju je spremljan predvsem učinek dnevne svetlobe na rast rastlin brez dodatnih svetil, tako da so prve skupine rastlin kontrolne skupine za nadaljnje poskuse. Pri drugem sejanju so na posameznih lokacijah oblikovana različna svetlobna okolja s svetili kot so natrijevo svetilo, ki je v sedanosti najpogosteje uporabljano svetilo, LED svetilo z belo barvo, LED svetilo z rdečo in modro barvo ter LED svetilo z belo barvo in povečanim deležem rdeče in modre (več v preglednici 1).

Preglednica 1: Svetlobna okolja na štirih lokacijah.

Lokacija	Čas sejanja	Svetlobno okolje
Kletni prostori podjetja Elkosun	4. in 7. 1. 2019	Dnevna svetloba
		Dnevna svetloba in LED RB
		LED RB
		Svetilo Na in LED RB
	5. 2. 2019	LED W
		LED RB in LED RGBiR
Svetilo Na in LED RB		
Pisarna ERM centra na FF UM	3. 1. 2019	Dnevna svetloba
	14. 2. 2019	LED W
		LED RB
	14. 5. 2019	LED W
		LED RGBiR
	Kabinet II. gimnazije Maribor	3. 1. 2019
14. 2. 2019		Dnevna svetloba
		LED W
Rastlinjak Učnega poligona za samooskrbo Dole	2. 1. 2019	Dnevna svetloba

POGOJI

Poleg svetlobe, ki je predmet eksperimenta, je potrebno rastlinam zagotoviti rastno podlago, primerno temperaturo, vodo in zrak. Izbrane rastline so posejane v mešanico malo in močno kompostirane šote, gline in organskih dodatkov, ki zagotavlja osnovna hranila in vodo na začetni razvojni stopnji rastlin. Pri tem so uporabljeni standardni rastni podstavki in lončki iz vrtnarskih trgovin.

Temperatura je nadzorovana z grelnikom, vendar se je izkazalo, da so izolirani notranji prostori brez dodatnega gretja primerni za rast rastlin. Temperatura v prostorih je nihala med 23 in 25 °C.

Ker je količina vode, ki jo potrebuje rastlina za zdravo razvoj, odvisna od splošnih rasti pogojev v prostoru, svetil, lege gredic in vrste rastlin, so rastline zalivane po potrebi oziroma dva do trikrat na teden. Pri tem je uporabljena deževnica, saj ne vsebuje dodanih kemijskih snovi.

Podatka o temperaturi in vlažnosti se spremljata na dan meritev in se vpisujeta v preglednico.

MERITVE

Meritve so izvajane enkrat na teden.

Višina rastlin je merjena s tračnim metrom od površine rastne podlage do najvišje točke rastline oziroma lista. Poleg višine številčni podatki obsegajo tudi število listov, ki je ocenjeno tako, da je izbranih sedem rastlin iste vrste, na katerih se preštejejo vsi listi (veliki, majhni, delno razviti), se seštejejo in delijo s številom izbranih rastlin.

Tedensko je ocenjena tudi vitalnost rastlin z opisnimi podatki. Tako je spremljano stanje barve listov (rjave lise, bledi listi), njihova oblika (nepravilne oblike v primerjavi z drugimi rastlinami iste vrste, kodranje) in možni škodljivci (plesen, uši).

Rastline so po meritvah fotografirane, tako da je oblikovan GIF posnetek, ki nazorno prikazuje časovne spremembe v razvoju rastlin v različnih svetlobnih okoljih.

V nadaljevanju sledi predstavitev rezultatov poskusov na posameznih lokacijah.

Poskus na podjetju Elkosun



Stojala za rast zelenjave

1. poskus

DEJAVNIKI RASTI

Setev 4. in 7. januar

Temperatura: 20 °C

Substrat: mešanica malo in močno kompostirane šote, gline in organskih dodatkov

Zalivanje z deževnico 2-3 x na teden

Jakost osvetlitve: 10-200 $\mu\text{mol/s m}^2$

Kakovost: štiri različna svetlobna okolja

Trajanje: 15 ur/dan

POSEJANE RASTLINE

Kalitev 9. in 13. januar

Redkvica

Solata

Endivija

Čebula

Rukola

Blitva

Kreša

Koriander

Peteršilj

Dnevna svetloba

Redkvica	Solata	Endivija	B. čebula	Redkvica	Solata	Čebula	Blitva
Redkvica	Solata	Endivija	B. čebula	Redkvica	Solata	Čebula	Blitva
Redkvica	Solata	Endivija	B. čebula	Redkvica	Solata	Čebula	Blitva
Redkvica	Solata	Endivija	B. čebula	Redkvica	Solata	Čebula	Blitva
Radič	Blitva	Kreša	Koriander	Korenje	Peteršilj	Čebula	Solata
Radič	Blitva	Kreša	Koriander	Korenje	Peteršilj	Čebula	Solata
Radič	Blitva	Kreša	Koriander	Korenje	Peteršilj	Čebula	Solata
Radič	Blitva	Kreša	Koriander	Korenje	Peteršilj	Čebula	Solata

OKNO

Dnevna svetloba in LED RB

Kreša	Čebula	Blitva	Čebula
Kreša	Redkvica	Čebula	Solata

OKNO

Svetilo Na in LED RB

LED W

V
R
A
T
A

Kreša	Koriander	Radič	Redkvica	Blitva	Radič	Čebula	Solata
Kreša	Koriander	Radič	Redkvica	Blitva	Radič	Čebula	Solata
Kreša	Koriander	Radič	Redkvica	Blitva	Radič	Čebula	Solata
Kreša	Koriander	Radič	Redkvica	Blitva	Radič	Čebula	Solata
Solata	Blitva	Kreša	Koriander	Korenje	Peteršilj	Čebula	Solata
Solata	Blitva	Kreša	Koriander	Korenje	Peteršilj	Čebula	Solata
Solata	Blitva	Kreša	Koriander	Korenje	Peteršilj	Čebula	Solata
Solata	Blitva	Kreša	Koriander	Korenje	Peteršilj	Čebula	Solata

V
R
A
T
A

Kreša	Čebula	Blitva	Čebula
Kreša	Redkvica	Čebula	Solata

28. januar



Dnevna svetloba



Dnevna svetloba in LED RB



LED W

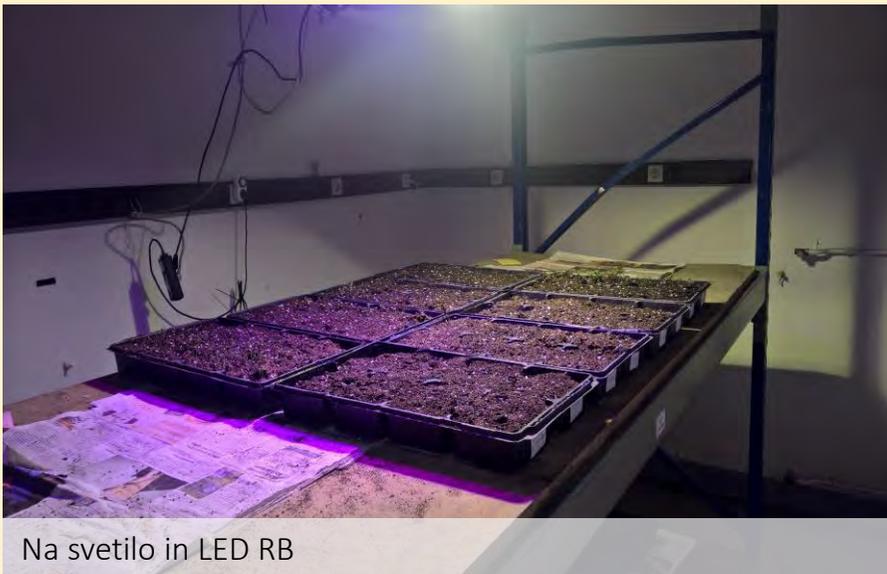


Svetilo Na in LED RB



Natrijevo in LED svetilo

Na svetilo in LED RB



Na svetilo in LED RB



Rastni podstavki



Setev na podjetju Elkosun

2. poskus

DEJAVNIKI RASTI

Setev 5. februar

Temperatura: 20 °C

Substrat: mešanica malo in močno kompostirane šote, gline in organskih dodatkov

Zalivanje z deževnico 2-3 x na teden

Jakost osvetlitve: 10-200 umol/s/m² *

Kakovost: tri različna svetlobna okolja

Trajanje: 15 ur/dan

POSEJANE RASTLINE

Kalitev 9. in 13. januar

Redkvice

Solata

Endivija

čebula

Radič

Blitva

Kreša

Koriander

Korenje

Peteršilj

***Jakosti posameznih svetil**

1. LED W 150 W

70, 80, 90, 100, 110, 150 $\mu\text{mol/s m}^2$

2. LED RB 1:5 50 W + LED RB 1:5 80 W

10, 40, 50, 70, 150, 200 $\mu\text{mol/s m}^2$

3. Natrij 150 W + LED RB 1:5 50 W

20, 50, 65, 75, 80, 110, 140 $\mu\text{mol/s m}^2$

V nadaljevanju so predstavljene izmerjene vrednosti in grafi višine posameznih rastlin.

Blitva

LED W 150 W		90 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
05-02-19		6	3
15-02-19		12	4
19-02-19		13	4
25-02-19		15	4
01-03-19		17	4
04-03-19		20	6
07-03-19		20	6
11-03-19		20	6
14-03-19		20	6
14-03-19		20	6
19-03-19		22	6

LED W 150 W		150 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
11-02-19		5	2
25-02-19		10	4
01-03-19		12	3
04-03-19		12	5
07-03-19		12	5
11-03-19		15	6
14-03-19		15	5
14-03-19		15	5
19-03-19		15	5

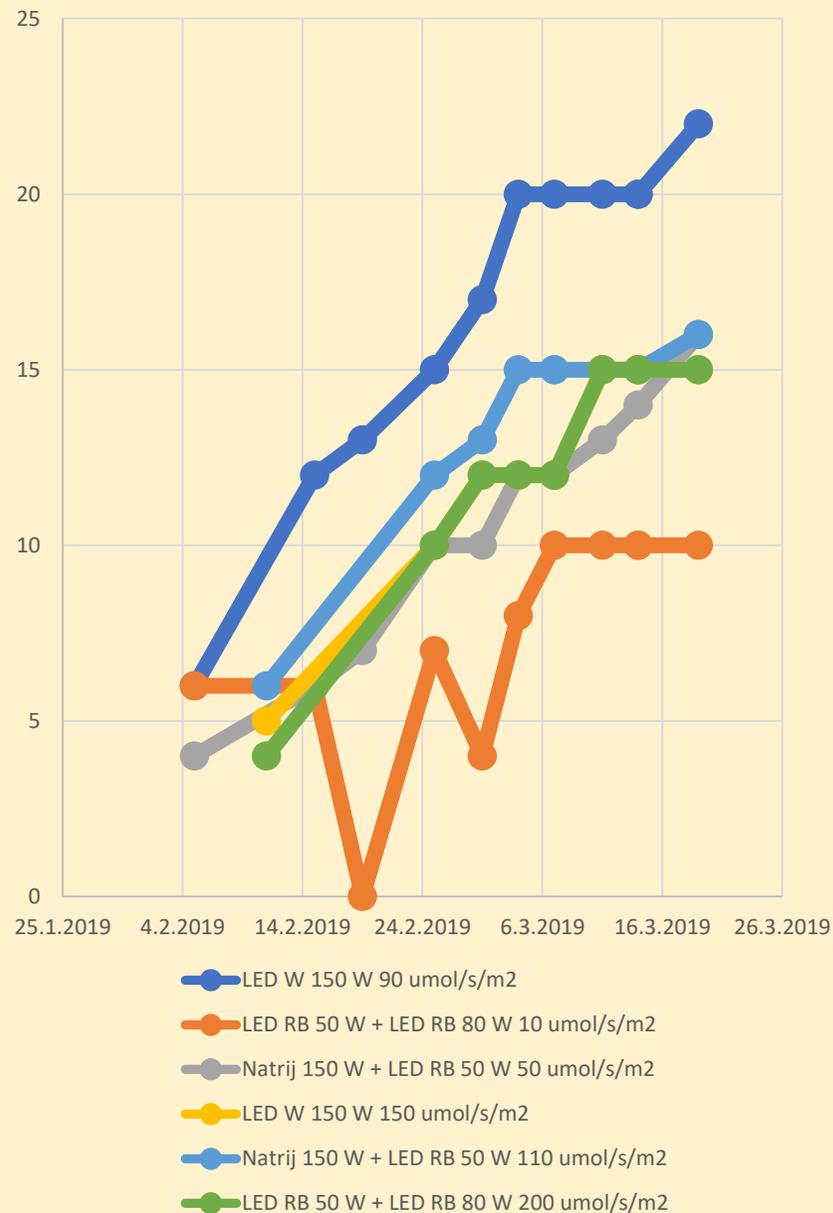
LED RB 50 W + LED RB 80 W		200 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
11-02-19		4	2
25-02-19		10	5
01-03-19		12	5
04-03-19		12	5
07-03-19		12	5
07-03-19		12	5
11-03-19		15	5
14-03-19		15	5
19-03-19		15	5

LED RB 50 W + LED RB 80 W		10 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
05-02-19		6	3
15-02-19		6	2
19-02-19		0	0
25-02-19		7	4
01-03-19		4	2
04-03-19		8	4
07-03-19		10	4
11-03-19		10	4
14-03-19		10	6
14-03-19		10	6
19-03-19		10	6

Blitva

Natrij 150 W + LED RB 50 W		110 umol/s m ²	
Datum	Višina	Število listov	
11-02-19	6	2	
25-02-19	12	4	
01-03-19	13	4	
04-03-19	15	5	
07-03-19	15	5	
07-03-19	15	5	
11-03-19	15	5	
14-03-19	15	5	
19-03-19	16	5	

Natrij 150 W + LED RB 50 W		50 umol/s m ²	
Datum	Višina	Število listov	
05-02-19	4	3	
15-02-19	6	4	
19-02-19	7	4	
25-02-19	10	5	
01-03-19	10	4	
04-03-19	12	5	
07-03-19	12	6	
07-03-19	12	6	
11-03-19	13	6	
14-03-19	14	6	
19-03-19	16	6	



Čebula

LED W 150 W		70 umol/s m ²	
Datum	Višina	Število listov	
05-02-19		30	4
15-02-19		30	4
19-02-19		40	5
25-02-19		40	5
01-03-19		40	5
04-03-19		40	6
07-03-19		45	6
11-03-19		50	6
14-03-19		50	5
14-03-19		50	5
19-03-19		50	5

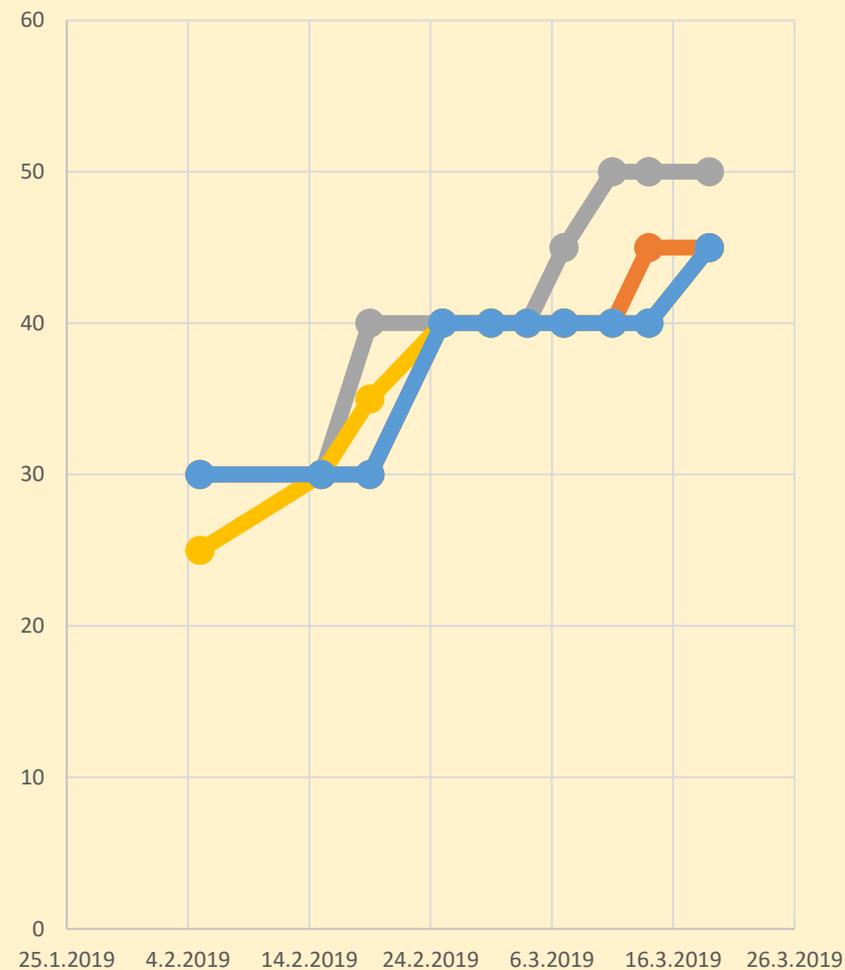
LED RB 50 W + LED RB 80 W		40 umol/s m ²	
Datum	Višina	Število listov	
05-02-19		30	3
15-02-19		30	4
19-02-19		30	5
25-02-19		40	5
01-03-19		40	5
04-03-19		40	5
07-03-19		40	5
11-03-19		40	5
14-03-19		40	6
14-03-19		40	6
19-03-19		45	5

LED RB 50 W + LED RB 80 W		50 umol/s m ²	
Datum	Višina	Število listov	
05-02-19		25	4
15-02-19		30	5
19-02-19		35	5
25-02-19		40	5
01-03-19		40	5
04-03-19		40	5
07-03-19		40	5
11-03-19		40	5
14-03-19		40	5
14-03-19		40	5
19-03-19		45	5

Natrij 150 W + LED RB 50 W		20 umol/s m ²	
Datum	Višina	Število listov	
05-02-19		25	5
15-02-19		30	6
19-02-19		35	5
25-02-19		40	5
01-03-19		40	5
04-03-19		40	5
07-03-19		40	5
11-03-19		40	5
14-03-19		40	5
14-03-19		40	5
19-03-19		45	5

Čebula

Natrij 150 W + LED RB 50 W		80 umol/s m ²	
Datum	Višina	Število listov	
05-02-19	30	4	
15-02-19	30	5	
19-02-19	30	5	
25-02-19	40	5	
01-03-19	40	5	
04-03-19	40	5	
07-03-19	40	5	
07-03-19	40	5	
11-03-19	40	5	
14-03-19	45	6	
19-03-19	45	6	



- Natrij 150 W + LED RB 50 W 20 umol/s/m²
- Natrij 150 W + LED RB 50 W 80 umol/s/m²
- LED W 150 W 70 umol/s/m²
- LED RB 50 W + LED RB 80 W 50 umol/s/m²
- LED RB 50 W + LED RB 80 W 40 umol/s/m²

Endivija

LED W 150 W		150 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
11-02-19		2	2
25-02-19		12	4
01-03-19		15	4
04-03-19		16	4
07-03-19		16	4
11-03-19		18	4
14-03-19		17	4
14-03-19		17	4
19-03-19		17	4

LED RB 50 W + LED RB 80 W		200 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
11-02-19		1	2
25-02-19		8	4
01-03-19		8	3
04-03-19		10	5
07-03-19		10	5
07-03-19		10	5
11-03-19		10	5
14-03-19		10	5
19-03-19		10	5

Natrij 150 W + LED RB 50 W		140 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
11-02-19		2.5	2
25-02-19		10	4
01-03-19		11	5
04-03-19		11	5
07-03-19		11	5
07-03-19		11	5
11-03-19		12	5
14-03-19		12	5
19-03-19		12	5

Koriander

LED W 150 W		90 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
05-02-19		7	3
15-02-19		10	5
19-02-19		10	5
25-02-19		15	5
01-03-19		15	5
04-03-19		20	5
07-03-19		20	5
11-03-19		20	6
14-03-19		20	6
14-03-19		20	6
19-03-19		22	6

LED W 150 W		100 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
11-02-19		0	0
25-02-19		9	2
01-03-19		12	3
04-03-19		12	4
07-03-19		18	4
11-03-19		18	5
14-03-19		18	6
14-03-19		18	6
19-03-19		18	6

LED W 150 W		110 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
19-02-19		0	0
25-02-19		0	0
01-03-19		5	2
04-03-19		6	3
07-03-19		8	3
07-03-19		8	3
11-03-19		10	5
14-03-19		13	5
19-03-19		15	5

LED RB 50 W + LED RB 80 W		10 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
05-02-19		6	3
15-02-19		8	3
19-02-19		8	3
25-02-19		8	3
01-03-19		8	3
04-03-19		8	3
07-03-19		10	3
11-03-19		10	4
14-03-19		10	5
14-03-19		10	5
19-03-19		0	0

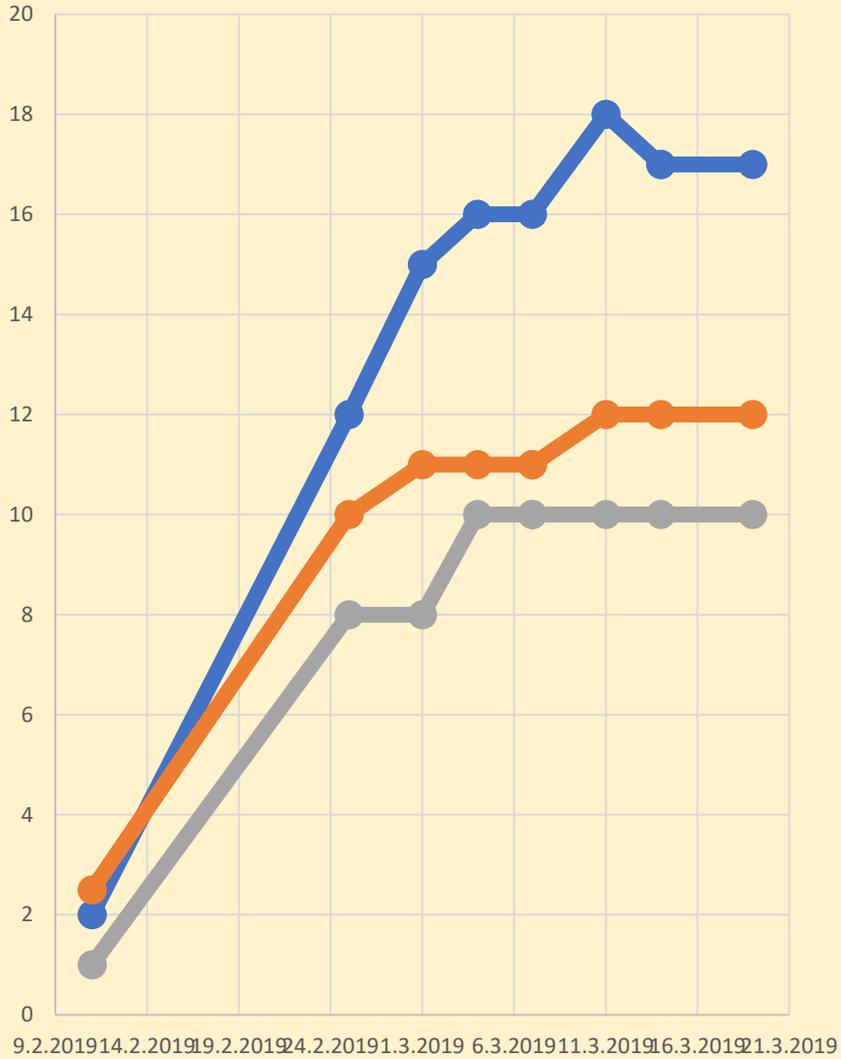
Koriander

LED RB 50 W + LED RB 80 W		70 umol/s m ²	
Datum	Višina	Število listov	
11-02-19		0	0
25-02-19		7	2
01-03-19		8	4
04-03-19		10	4
07-03-19		10	5
11-03-19		12	5
14-03-19		12	5
14-03-19		12	5
19-03-19		13	5

Natrij 150 W + LED RB 50 W		65 umol/s m ²	
Datum	Višina	Število listov	
11-02-19		0	0
25-02-19		10	3
01-03-19		10	4
04-03-19		13	4
07-03-19		14	4
07-03-19		14	4
11-03-19		15	5
14-03-19		16	5
19-03-19		18	5

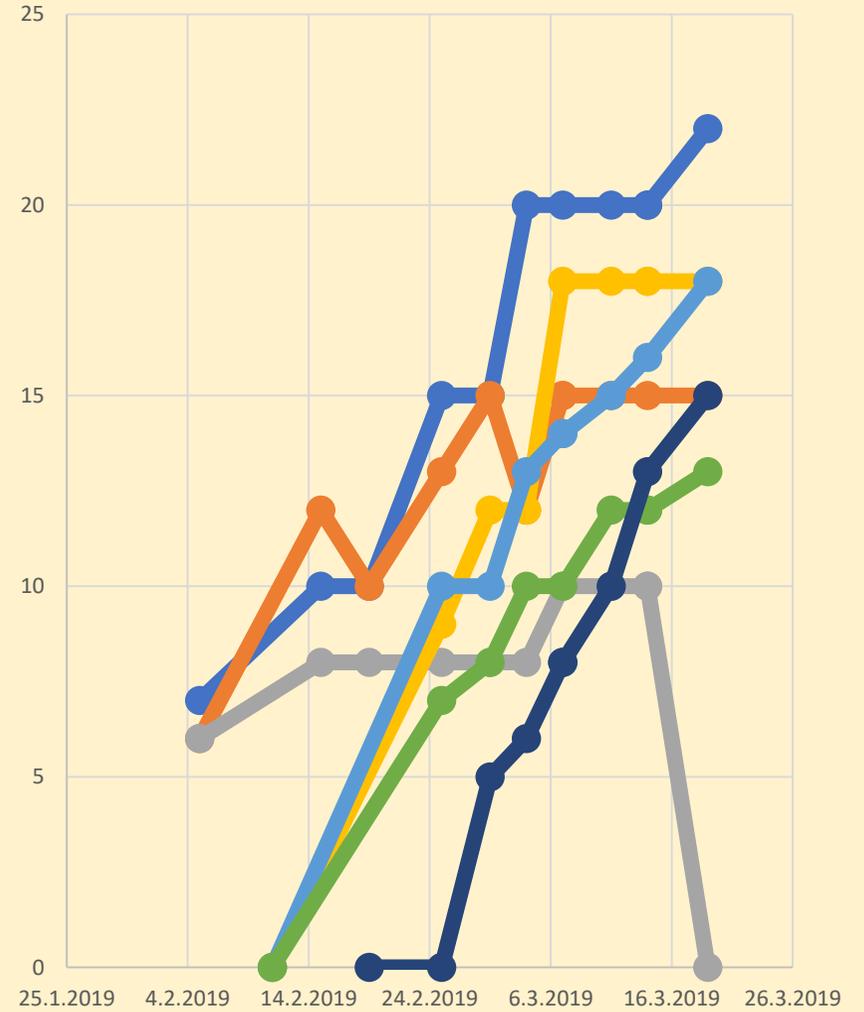
Natrij 150 W + LED RB 50 W		50 umol/s/m ²	
Datum	Višina	Število listov	
05-02-19		6	4
15-02-19		12	4
19-02-19		10	5
25-02-19		13	5
01-03-19		15	5
04-03-19		12	5
07-03-19		15	5
07-03-19		15	5
11-03-19		15	6
14-03-19		15	6
19-03-19		15	6

Endivija



- LED W 150 W 150 umol/s/m²
- Natrij 150 W + LED RB 50 W 140 umol/s/m²
- LED RB 50 W + LED RB 80 W 200 umol/s/m²

Koriander



- LED W 150 W
- Natrij 150 W + LED RB 50 W
- LED RB 50 W + LED RB 80 W
- LED W 150 W
- Natrij 150 W + LED RB 50 W
- LED RB 50 W + LED RB 80 W
- LED W 150 W

Redkvica

LED W 150 W		100 umol/s m ²	
Datum	Višina	Število listov	
19-02-19		1	2
25-02-19		12	2
01-03-19		12	3
04-03-19		13	4
07-03-19		15	4
07-03-19		15	4
11-03-19		15	4
14-03-19		15	4
19-03-19		16	4

Natrij 150 W + LED RB 50 W		140 umol/s m ²	
Datum	Višina	Število listov	
11-02-19		9	2
25-02-19		15	4
01-03-19		16	4
04-03-19		16	4
07-03-19		16	4
07-03-19		16	4
11-03-19		16	4
14-03-19		16	4
19-03-19		16	4

LED RB 50 W + LED RB 80 W		200 umol/s m ²	
Datum	Višina	Število listov	
11-02-19		6	2
25-02-19		10	4
01-03-19		12	4
04-03-19		15	4
07-03-19		15	4
07-03-19		15	4
11-03-19		15	4
14-03-19		15	4
19-03-19		15	5

Solata

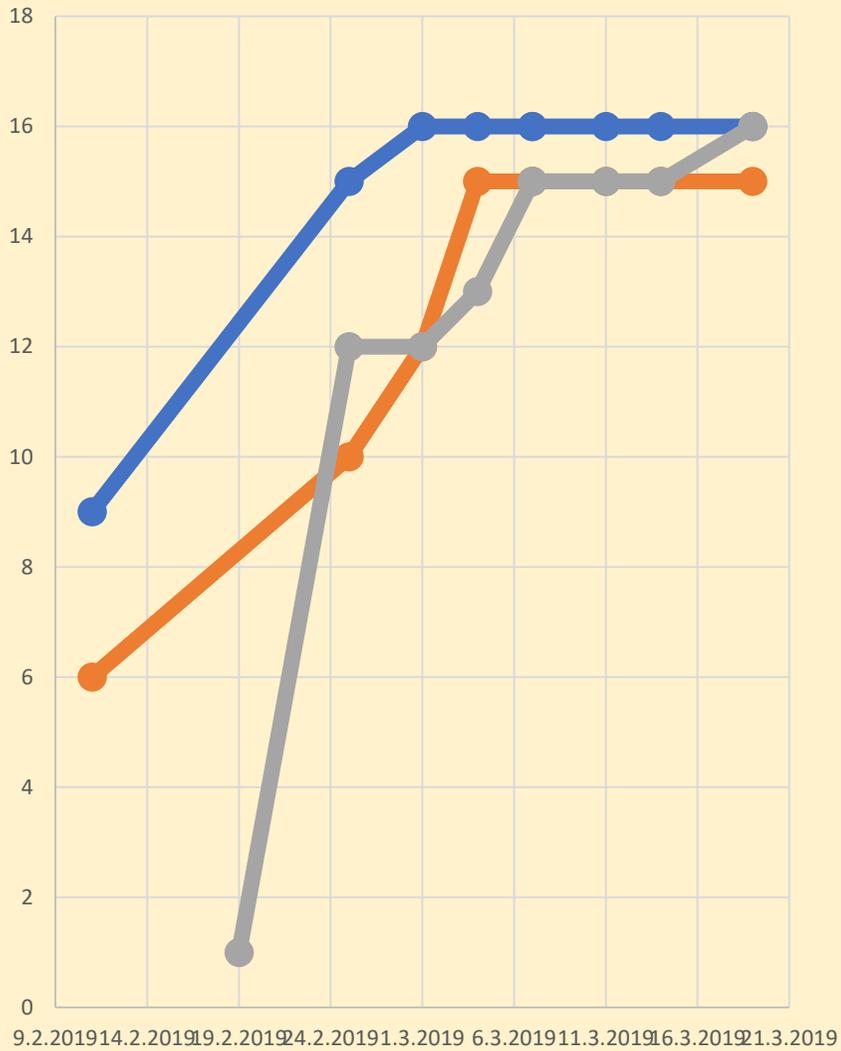
LED W 150 W		70 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
05-02-19		8	4
15-02-19		15	5
15-02-19		10	4
25-02-19		13	6
01-03-19		16	7
04-03-19		18	7
07-03-19		20	10
11-03-19		20	11
14-03-19		20	12
14-03-19		20	12
19-03-19		22	13

LED RB 50 W + LED RB 80 W		150 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
05-02-19		10	4
15-02-19		7	5
15-02-19		8	6
25-02-19		11	8
01-03-19		12	9
04-03-19		15	10
07-03-19		17	13
11-03-19		17	14
14-03-19		17	14
14-03-19		17	14
19-03-19		18	15

LED W 150 W		100 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
19-02-19		3	2
25-02-19		3	0
01-03-19		8	3
04-03-19		11	4
07-03-19		11	4
07-03-19		11	4
11-03-19		12	4
14-03-19		14	4
19-03-19		15	4

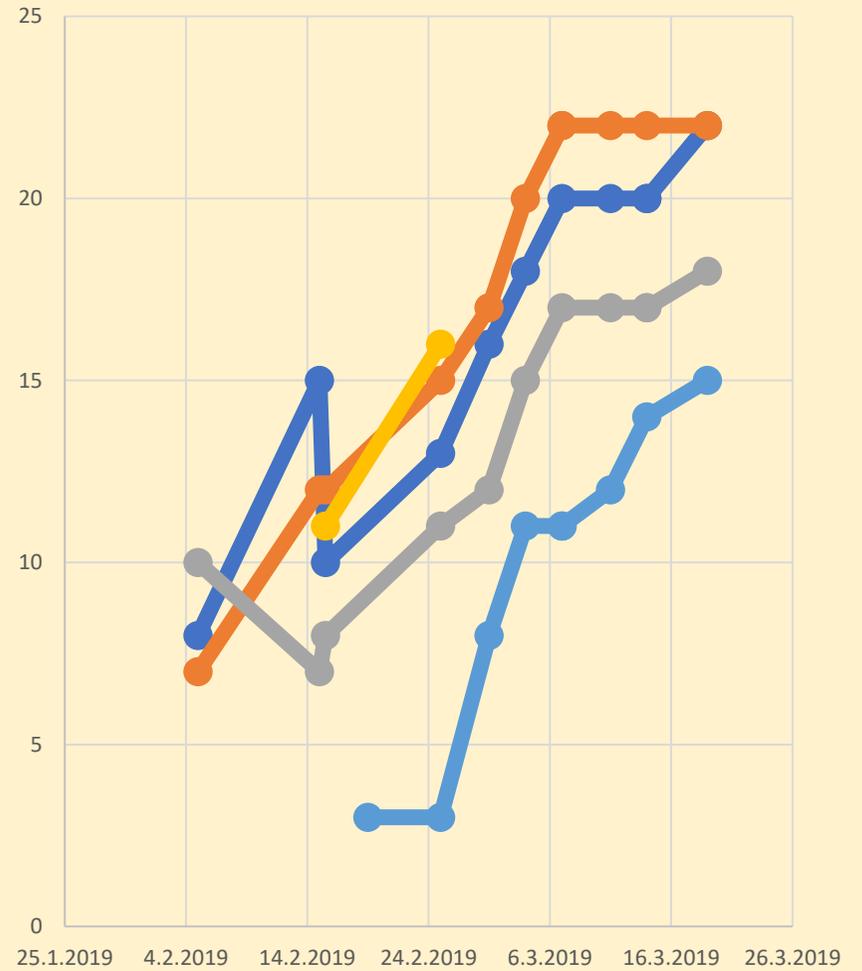
Natrij 150 W + LED RB 50 W		75 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
05-02-19		7	4
15-02-19		12	4
15-02-19		12	5
25-02-19		15	9
01-03-19		17	10
04-03-19		20	11
07-03-19		22	11
07-03-19		22	11
11-03-19		22	14
14-03-19		22	14
19-03-19		22	15

Redkvida



- Natrij 150 W + LED RB 50 W 140 umol/s/m2
- LED RB 50 W + LED RB 80 W 200 umol/s/m2
- LED W 150 W 100 umol/s/m2

Solata



- LED W 150 W 70 umol/s/m2
- Natrij 150 W + LED RB 50 W 75 umol/s/m2
- LED RB 50 W + LED RB 80 W 150 umol/s/m2
- LED W 150 W 80 umol/s/m2
- LED W 150 W 100 umol/s/m2

Vrtna kreša

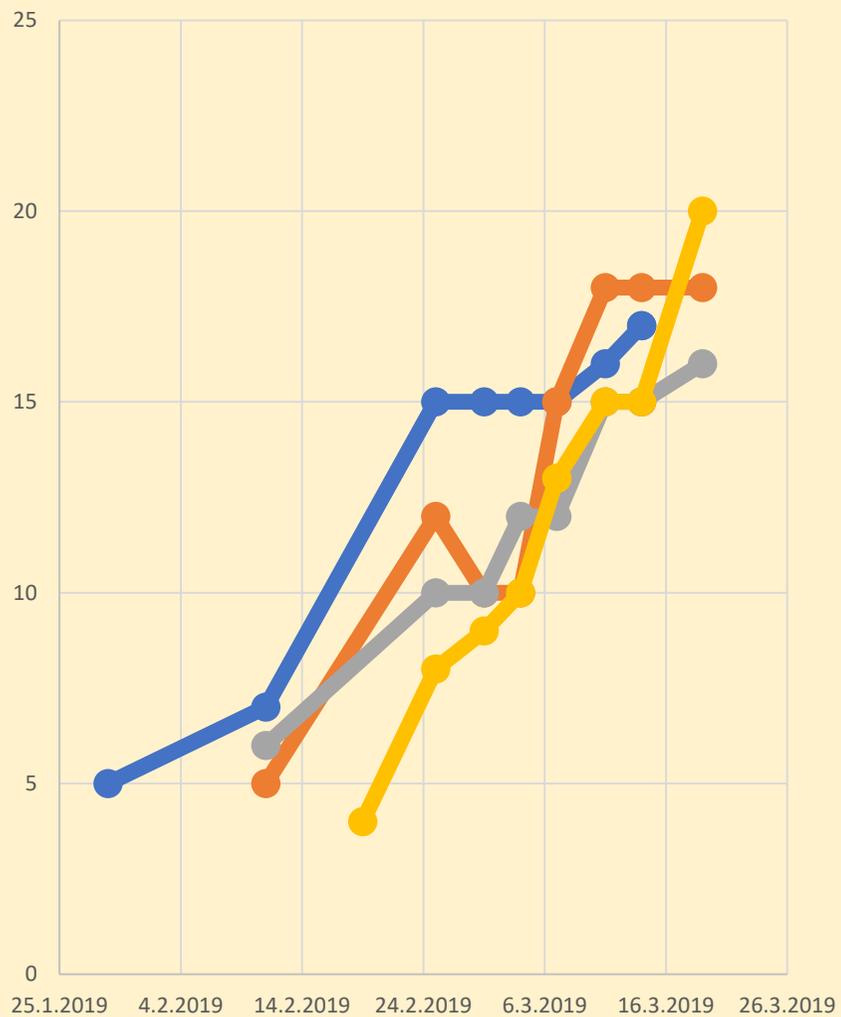
LED W 150 W		100 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
29-01-19		5	0
11-02-19		7	6
25-02-19		15	8
01-03-19		15	8
04-03-19		15	8
07-03-19		15	8
11-03-19		16	8
14-03-19		17	8
14-03-19		17	8

LED RB 50 W + LED RB 80 W		70 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
11-02-19		6	6
25-02-19		10	8
01-03-19		10	8
04-03-19		12	8
07-03-19		12	8
11-03-19		15	8
14-03-19		15	8
14-03-19		15	8
19-03-19		16	8

LED W 150 W		110 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
19-02-19		4	6
25-02-19		8	6
01-03-19		9	6
04-03-19		10	8
07-03-19		13	8
07-03-19		13	8
11-03-19		15	8
14-03-19		15	8
19-03-19		20	8

Natrij 150 W + LED RB 50 W		65 umol/s m2	
Datum	Višina	Število listov	
11-02-19		5	6
25-02-19		12	8
01-03-19		10	8
04-03-19		10	8
07-03-19		15	8
07-03-19		15	8
11-03-19		18	8
14-03-19		18	8
19-03-19		18	8

Vrtna kreša



- LED W 150 W 100 umol/s/m2
- Natrij 150 W + LED RB 50 W 65 umol/s/m2
- LED RB 50 W + LED RB 80 W 70 umol/s/m2
- LED W 150 W 110 umol/s/m2

SKRAJNE VREDNOSTI

Blitva

Največja višina: LED W 90 $\mu\text{mol/s m}^2$

Najmanjša višina: LED RB 50 W in LED RB 80 W 10 $\mu\text{mol/s m}^2$

Čebula

Največja višina: LED W 70 $\mu\text{mol/s m}^2$

Najmanjša višina: LED RB 50 W in LED RB 80 W 40 $\mu\text{mol/s m}^2$

Endivija

Največja višina: LED W 150 $\mu\text{mol/s m}^2$

Najmanjša višina: LED RB 50 W in LED RB 80 W 200 $\mu\text{mol/s m}^2$

Koriander

Največja višina: LED W 90 $\mu\text{mol/s m}^2$

Najmanjša višina: LED RB 50 W in LED RB 80 W 10 $\mu\text{mol/s m}^2$

Redkvica

Največja višina: Svetilo Na in LED RB 140 $\mu\text{mol/s m}^2$

Najmanjša višina: LED W 100 $\mu\text{mol/s m}^2$

Solata

Največja višina: Svetilo Na in LED RB 75 $\mu\text{mol/s m}^2$

Najmanjša višina: LED W 100 $\mu\text{mol/s m}^2$

Vrtna kreša

Največja višina: LED W 110 $\mu\text{mol/s m}^2$

Najmanjša višina: LED RB 50 W in LED RB 80 W 70 $\mu\text{mol/s m}^2$



LED W



LED W



LED RB



Svetilo Na in LED RB

NAJBOLJŠE SVETILO

Najvišje vrednosti višin so izmerjene za rastline, ki so rastle v svetlobnem okolju z večjo jakostno svetlobe, ne glede na kakovost svetlobe. Tako je lahko izpeljan sklep, da ima izmed treh najpomembnejših lastnosti svetlobe za rast rastlin v tem poskusu večji vpliv jakost svetlobe kot njena kakovost (trajanja je nespremenjena). Najpogosteje so največje višine rastlin izmerjene v svetlobne okolju z LED W z jakostjo med 90-150 $\mu\text{mol/s m}^2$.

Najnižje vrednosti višin so izmerjene za rastline, ki so rastle v svetlobnem okolju z jakostjo svetlobe med 10-70 $\mu\text{mol/s m}^2$. Glede na teoretična izhodišča je za primerno rast zelenjave primerna jakost med 100-200 $\mu\text{mol/s m}^2$, tako da jakost svetlobe v teh svetlobnih okoljih ni primerna.

Glede na meritve sta edivija in solata izjemi, saj je jakost svetlobe teoretično primerna. Ker je teoretično primerna jakost velika posplošitev in ker imajo posamezne vrste zelenjave specifične potrebe po svetlobi, je možno, da je bila jakost za omenjeni vrsti rastlin previsoka ali prenizka.

V nadaljevanju sledi predstavitev statističnega testa, ki je izveden z zbranimi podatki.

KRUSKAL-WALLIS TEST

Statistični test je postopek, pri katerem potrdimo ali zavrnamo ničelno hipotezo in nasprotno zavrnamo ali potrdimo alternativno hipotezo. Z ničelno hipotezo predpostavimo, da med dvema pojavoma ni odnosov oziroma da ni odnosa med svetilom in višino rastlin.

Pri analizi meritev je uporabljen Kruskal-Wallis test za neparametrično analizo variance. Varianca je mera statistične razpršenosti in pomeni odstopanje od srednje vrednosti. S testom preverjamo ali se aritmetične sredine vzorcev med seboj razlikujejo. Odstopanja lahko nastanejo zaradi različnih dejavnikov. V tem primeru je možen dejavnik, zaradi katerega lahko nastanejo odstopanja, svetilo oziroma svetlobno okolje.

Ker ne moremo izmeriti lastnosti celotne populacije (višine vsake posejane rastline), merimo lastnosti samo na vzorcu populacije (izbranih rastlinah).

POTEK K-W TESTA

1. Podatke združimo v stolpec in jim pripišemo skupino (1 za svetilo skupina 1, 2 za svetilo skupina 2, 3 za svetilo skupina 3)
2. Meritve razvrstimo po velikosti skupaj s pripisanimi skupinami
3. Rangiramo oziroma pripišemo vrednosti od 1 do N v novem stolpcu (če se vrednosti ponavljajo, je rang povprečje pripadajočih zaporednih števil rangov)
4. Razvrstimo skupine po velikosti vključno z rangi
5. Seštejmo range po skupinah (seštevek rangov skupine 1 je R1)
6. Določimo n oziroma število meritev po posameznih skupinah (število meritev skupine 1 je n1)
7. Določimo N oziroma število vseh meritev skupaj
8. Določimo K oziroma število primerjanih skupin
9. Izračunamo R^2/n za vsako skupino (za skupino 1 je $R1^2/n1$)

10. Izračunamo nekorigirano H statistiko

$$12/(N*N+1)\sum R_{123}^2/n_{123}-3*N+1$$

11. Določimo T oziroma število ponavljanj rangov

12. Izračunamo koeficient za korigirano H statistiko

$$cH=1-(\sum(T_{12}...N^3-T)/(N^3-N))$$

13. Izračunamo korigirano H statistiko

$$H=H_{nekorigiran}/cH$$

14. Izračunamo kritično vrednost = $\chi_{inv}(0.05, K-1)$

$H >$ kritična vrednost --> H_0 zavrjena (svetilo vpliva)

$H <$ kritična vrednost --> H_0 potrjena (svetilo ne vpliva)

15. Izračunamo p-vrednost = $\chi_{dist}(H, K-1)$

$p > 0.05$ --> H_0 potrjena (svetilo ne vpliva na rast)

$p < 0.05$ --> H_0 zavrjena (svetilo vpliva na rast)

Primer - Čebula

1.

Višina				
Skupina 1	Skupina 2	Skupina 3	Skupina 4	Skupina 5
25	30	30	25	30
30	30	30	30	30
35	30	40	35	30
40	40	40	40	40
40	40	40	40	40
40	40	40	40	40
40	40	45	40	40
40	40	50	40	40
40	40	50	40	40
40	45	50	40	40
45	45	50	45	45

2.

N	55
K	5

3.

Višina	Skupina	Rang	ID
25	1	1.5	1
25	4	1.5	2
30	1	7.5	3
30	2	7.5	4
30	2	7.5	5
30	2	7.5	6
30	3	7.5	7
30	3	7.5	8
30	4	7.5	9
30	5	7.5	10
30	5	7.5	11
30	5	7.5	12
35	1	13.5	13
35	4	13.5	14
40	1	30	15
40	1	30	16
40	1	30	17
40	1	30	18
40	1	30	19
40	1	30	20
40	1	30	21
40	2	30	22
40	2	30	23
40	2	30	24
40	2	30	25
40	2	30	26
40	2	30	27
40	3	30	28
40	3	30	29
40	3	30	30
40	3	30	31
40	4	30	32
40	4	30	33
40	4	30	34
40	4	30	35
40	4	30	36
40	4	30	37
40	4	30	38
40	5	30	39
40	5	30	40
40	5	30	41
40	5	30	42
40	5	30	43
40	5	30	44
40	5	30	45
45	1	48.5	46
45	2	48.5	47
45	2	48.5	48
45	3	48.5	49
45	4	48.5	50
45	5	48.5	51
50	3	53.5	52
50	3	53.5	53
50	3	53.5	54
50	3	53.5	55

4.

H statistika $(12/(N*N+1))\sum R_{123}^2/n_{123-3*N+1}$			
Število vzorcev	Seštevek rangov vzorcev	R ² /n	
n1	11 R1	70.5	451.8409
n2	11 R2	274.5	6850.023
n3	11 R3	330	9900
n4	11 R4	330	9900
n5	11 R5	535	26020.45
38.97007			

5.

Koefficient za korigirano H statistiko $cH=1-(\sum T_{12...N^3-T})/(N^3-N)$	
T1	2
T2	10
T3	2
T4	31
T5	6
T6	4
0.81342	

6.

Korigirana H statistika
47.90892

7.

Kritična vrednost
9.487729

H > Kritična vrednost

--> H0 zavrnjena (ni res, da ni razlik) - Svetilo vpliva na rast

Ostale H statistike in kritične vrednosti

Primerljivi podatki različnih rastlin so analizirani po opisanem postopku na primeru čebule. Kritična vrednost je za spodnje skupine opazovanih rastlin enaka: 5,99 ($H > \text{Kritična vrednost} \rightarrow H_0$ zavrnjena – svetilo vpliva na rast)

Blitva - Korigirana H statistika: 19.13 - Svetilo vpliva na rast

Endivija - Korigirana H statistika: 21.49 - Svetilo vpliva na rast

Koriander - Korigirana H statistika: 34.01 - Svetilo vpliva na rast

Solata - Korigirana H statistika: 28.89 - Svetilo vpliva na rast

Vrtna kreša - Korigirana H statistika: 18.75 - Svetilo vpliva na rast

Pri istih rastlinah v različnih svetlobnih okoljih obstajajo statistično značilne razlike v višini – ista vrsta zelenjave je v različnih svetlobnih okoljih dosegla različno višino. Tako je lahko izpeljano, da svetilo vpliva na rast rastlin.

Lastnosti svetlobnih okolij so se razlikovale po jakosti in kakovosti svetlobe, medtem je trajanje osvetljenosti enako za vsa svetlobna okolja. Tako ni možno ugotoviti ali so rastline dosegle večje višine zaradi jakosti ali kakovosti svetlobe. Če bi želeli preveriti kakovost oziroma vpliv prilagojenega spektra svetlobe, bi morali poleg enakega trajanja osvetlitve zagotoviti tudi enako jakost svetlobe.

Poskus v ERM pisarni



Setev v ERM pisarni

1. poskus – kontrolna skupina

DEJAVNIKI RASTI

Setev 3. januar

Temperatura: 24 °C

Zračna vlaga: pod 40 %

Substrat: mešanica malo in močno kompostirane šote, gline in organskih dodatkov

Zalivanje z deževnico 2-3 x na teden

Jakost osvetlitve: 3-7 $\mu\text{mol/s m}^2$

Kakovost: dnevna svetloba

Trajanje: povprečno 10 ur/dan

POSEJANE RASTLINE

Kalitev 7. januar

Blitva

Radič

Redkvica

Solata



Kalitev v ERM pisarni

OKNO

Blitva	Radič

a b

1 A

Redkvica	Solata

a b

1 B

Blitva	Radič

a b

2 A

Redkvica	Solata

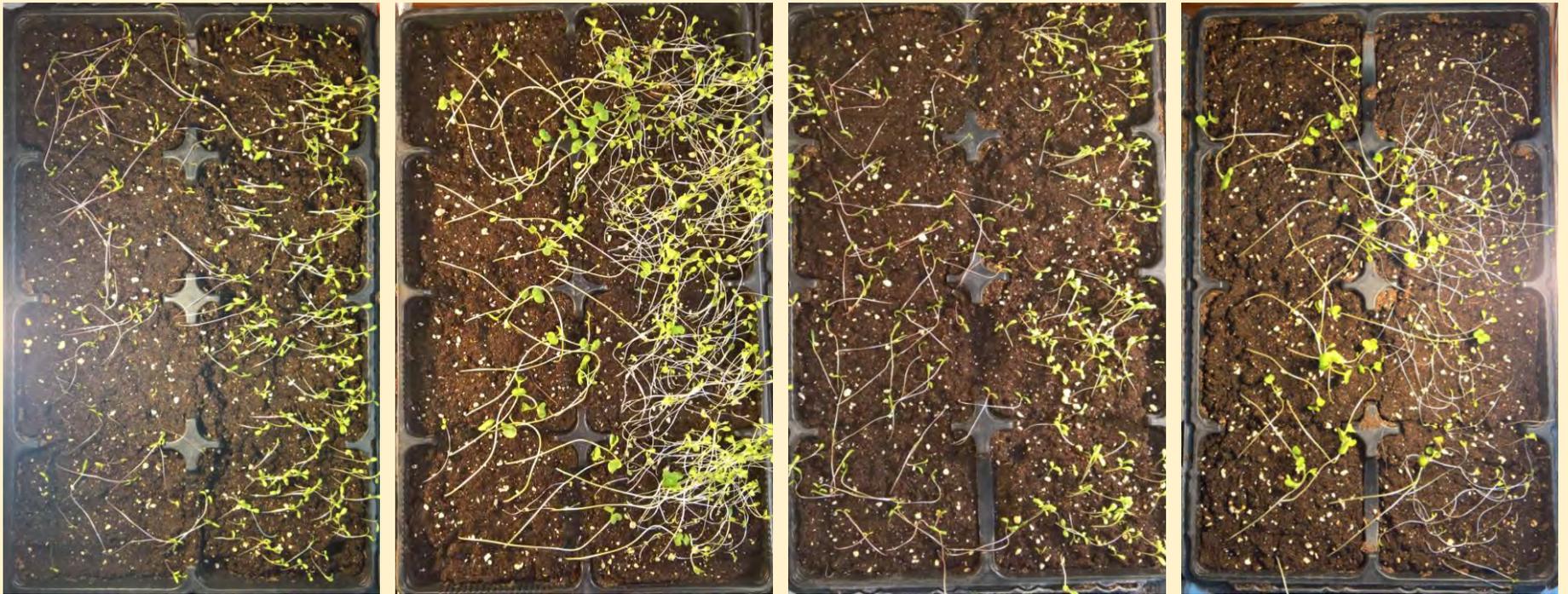
a b

2 B

11. januar



22. januar





23. januar

Vse tri najpomembnejše lastnosti svetlobe za rast rastlin, ki so jakost, kakovost in trajanje, so v prostoru neprimerne. V takšnih svetlobnih okoljih v rastlinah poteka proces *beg iz sence*. Tovrstno neprimerno svetlobo rastlina tolmači kot da raste v podrasti ali senci, zato skuša s pospešenim podaljševanjem stebela doseči bolj primerno svetlobo. Te rastline so blede oziroma manj zelene, imajo manjšo površino listov, manjšo razvejanost in podaljšano steblo.

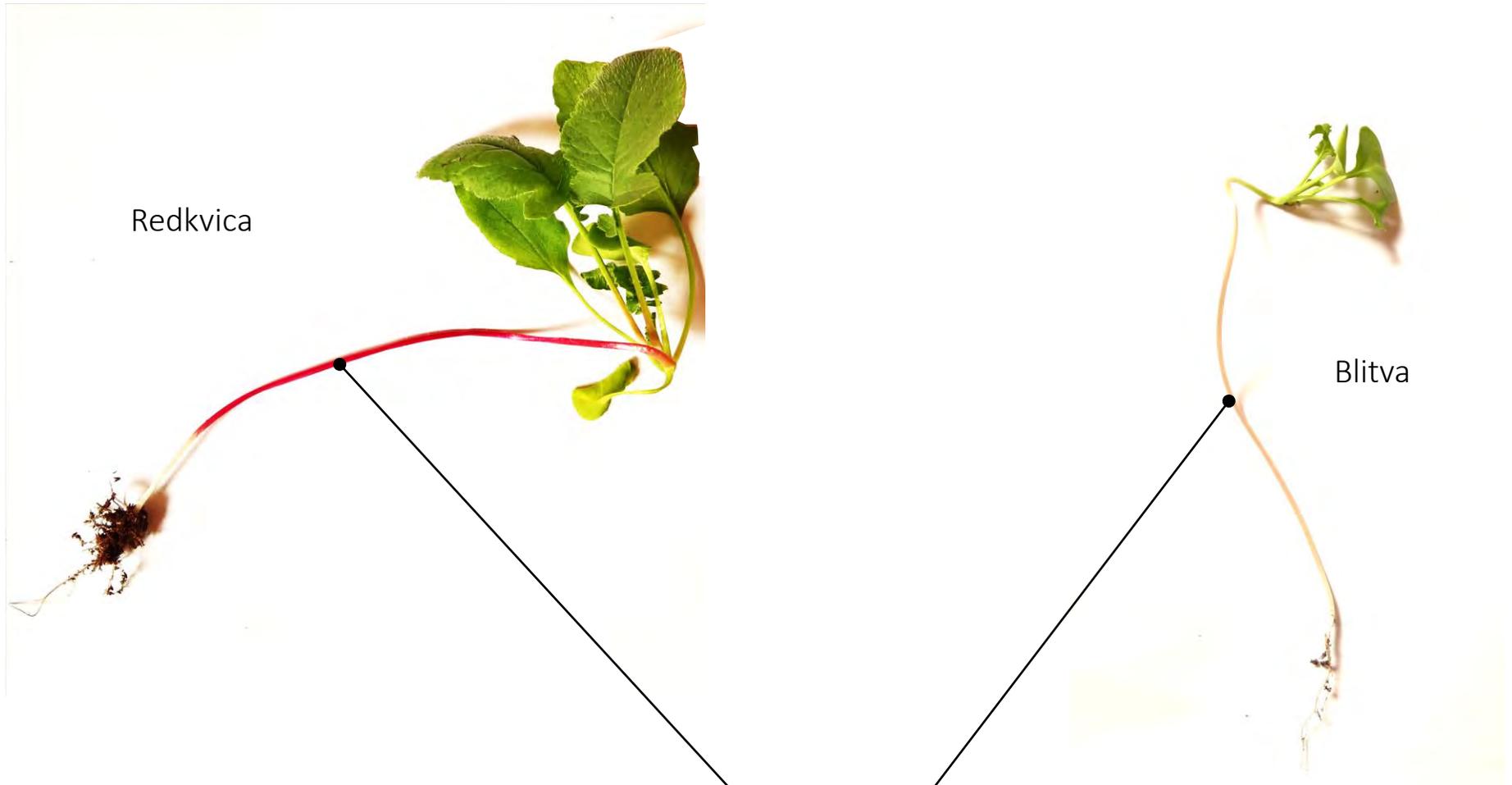
Lahko je izpeljana ugotovitev, da kljub temu, da je s človeškim očesom zaznano dovolj svetlobe, rastline rastejo na neprimeren način, predvsem zaradi nizke jakosti svetlobe.

Prvi poskus brez dodanih prilagojenih svetil je kontrolna skupina za preostale poskuse.



30. januar

22. januar



Redkvica

Blitva

Močno podaljšani stebli
(v primernih svetlobnih okoljih so korenine bližje listom)



2. poskus DEJAVNIKI RASTI

Setev 14. februar

Temperatura: 26 °C

Zračna vlaga: pod 30 %

Substrat: mešanica malo in močno kompostirane šote, gline in organskih dodatkov

Zalivanje z deževnico 2-3 x na teden

Jakost osvetlitve: 50-130 $\mu\text{mol/s m}^2$

Kakovost: LED RB in LED W

Trajanje: 15 ur/dan

POSEJANE RASTLINE

Kalitev 18. februar

Blitva

Radič

Redkvica

Solata

Kakovost in jakost LED W

16 % B 24 % G 55 % R 5 % fR 3000 K

60 $\mu\text{mol/s m}^2$

110 $\mu\text{mol/s m}^2$

50 $\mu\text{mol/s m}^2$

70 $\mu\text{mol/s m}^2$

130 $\mu\text{mol/s m}^2$

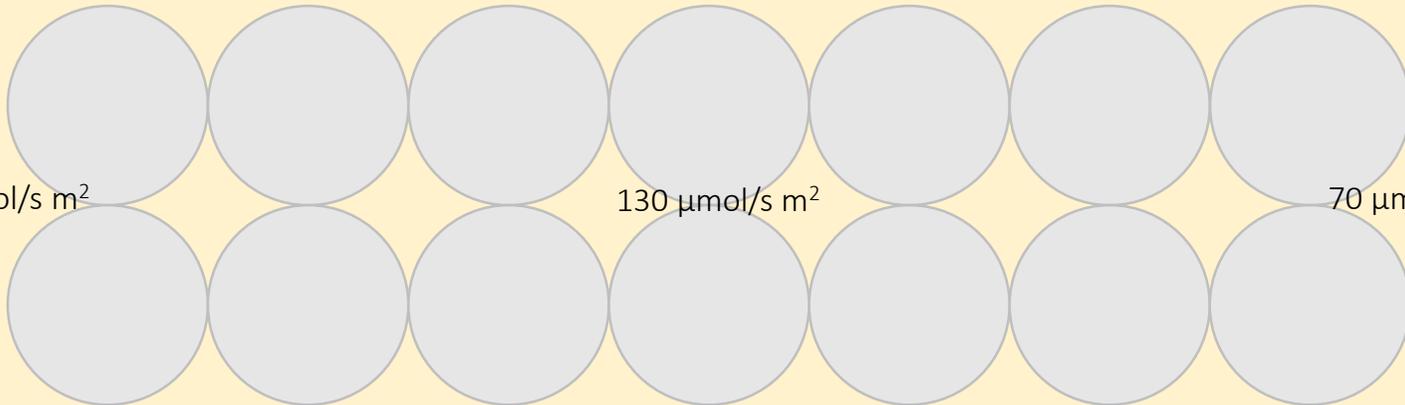
70 $\mu\text{mol/s m}^2$

60 $\mu\text{mol/s m}^2$

110 $\mu\text{mol/s m}^2$

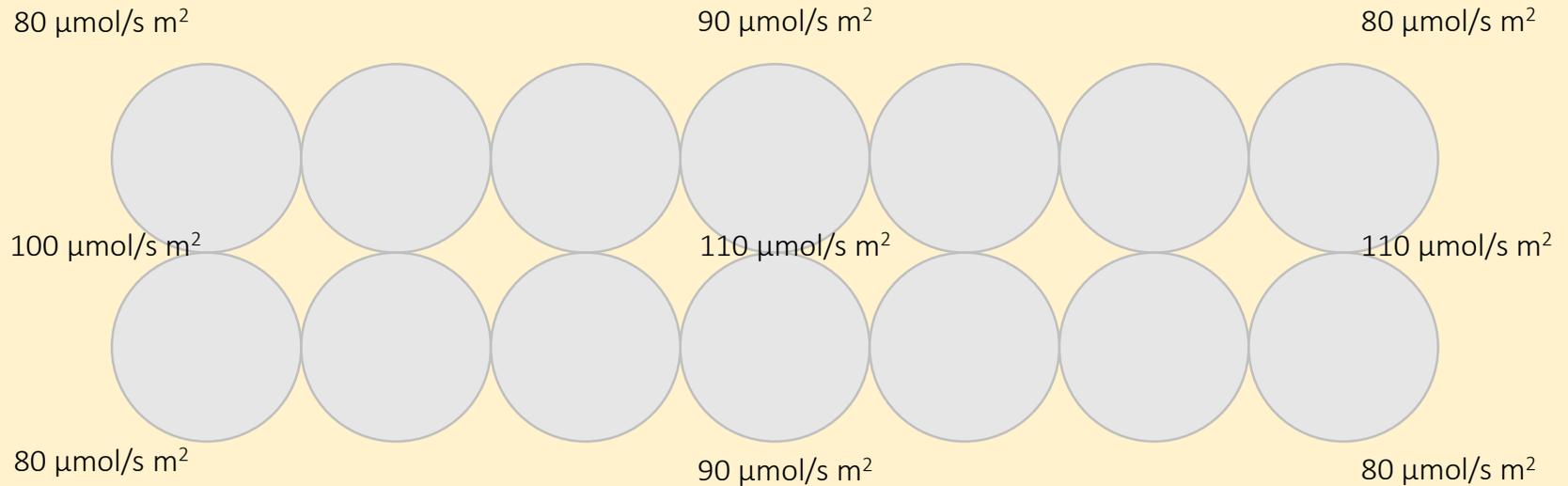
50 $\mu\text{mol/s m}^2$

povprečno 78 $\mu\text{mol/s m}^2$



Kakovost in jakost LED RB

15 % B 85 % R



povprečno 91 $\mu\text{mol/s m}^2$

LED RB



LED W



19. februar



25. februar



1. marec

LED RB



LED W



4. marec



7. marec



13. marec

LED RB

LED W

21. februar



25. februar



3. marec



5. marec





18. marec



1. marec



7. marec

KVALITATIVNA OPAZOVANJA

Pri prvem in drugem poskusu v ERM pisarni in na II. gimnaziji so spremljane fizionomske značilnosti rastlin, kar obsega barvo rastlin, obliko listov in bujnost.

ERM pisarna

Jakost svetlobe v vzpostavljenih svetlobnih okoljih je zasnovana tako, da je primerljiva (povprečno 78 $\mu\text{mol/s m}^2$ za LED W in 91 $\mu\text{mol/s m}^2$ za LED RB). Večje razlike se pojavljajo znotraj svetlobnega okolja LED W in svetlobnega okolja LED RB, ker se jakost svetlobe hitro zmanjšuje s kvadratom razdalje.

Kljub enaki jakosti svetlobe so med posameznimi svetlobnimi okolji opazne razlike. Glede na to, da sta trajanje osvetljenosti in jakost svetlobe enaki za obe svetlobni okolji, bi lahko razlike pripisali kakovosti svetlobe oziroma barvnemu spektru.

Rastline pod svetilom LED W, ki oddaja belo svetlobo, so sprva bolj bujne in zelene, vendar kasneje barva listov hitro preide v rumene in oranžne odtenke, kar nakazuje tvorjenje karotenoidov. Njihova naloga je sodelovanje pri fotosintezi, prav tako pa varujejo klorofil pred škodljivimi vplivi premočne svetlobe. Tako njihov razvoj nakazuje preveliko jakost svetlobe.

Medtem so rastline pod LED RB, ki oddaja rdečo in modro svetlobo, sprva nižje, bolj blede in manj bujne, vendar so nadalje v primerjavi z rastlinami pod LED W bolj zelene in bujne. Pri rastlinah pod LED RB je opazno tudi večje podaljševanje stebela, ki je hkrati bolj blede (npr. 5 marec – redkvice pod LED RB svetilom ima daljše in bolj zvito steblo kot redkvice pod LED W svetilom). Vzrok bi lahko pripisali premajhnemu deležu modre barve, ki zavira podaljševanje stebela rastlin.

V primerjavi s kontrolno skupino so rastline v obeh svetlobnih okoljih vizualno bolj zdrave. Glede na to, da je končno vizualno zdravje rastlin oziroma njihova barva in bujnost boljša v svetlobnem okolju LED RB, je to svetilo bolj primerno za rast rastlin. Ugotovitev poskusa je tako skladna s teoretičnimi izhodišči opredeljenimi v strokovni podlagi. Ob izboljšanju razmerja med rdečo in modro barvo (potreben je večji delež modre), bi LED RB svetilo bilo še bolj učinkovito, saj bi rastline imele krajše steblo ter dosegle večjo bujnost in bolj zeleno barvo.

II. gimnazija

Ker je bilo na II. gimnaziji zagotovljeno samo LED W svetilo, je na tej lokaciji spremljan vpliv bele svetlobe na rast rastlin. V nadaljevanju so predstavljene ugotovitve poskusa.

Poskus na II. gimnaziji



1. poskus – kontrolna skupina DEJAVNIKI RASTI

Setev 3. januar

Temperatura: 22 °C

Zračna vlaga: pod 40 %

Substrat: mešanica malo in močno kompostirane šote, gline in organskih dodatkov

Zalivanje z deževnico 2-3 x na teden

Jakost osvetlitve: 3-7 $\mu\text{mol/s m}^2$

Kakovost: dnevna svetloba

Trajanje: povprečno 10 ur/dan

POSEJANE RASTLINE

Kalitev 7. januar

Blitva

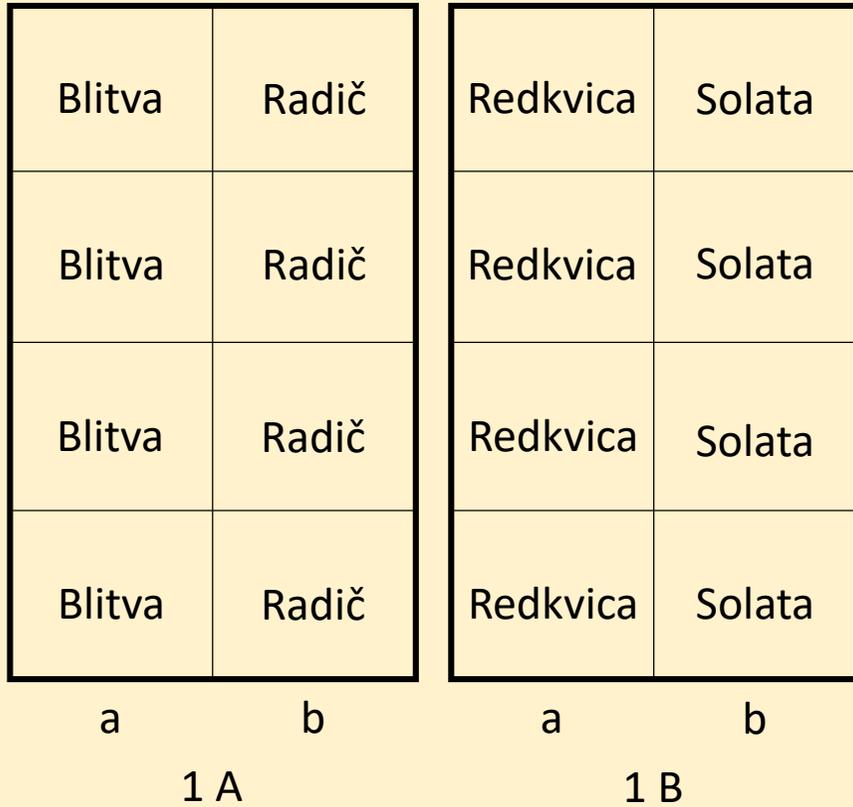
Radič

Redkvica

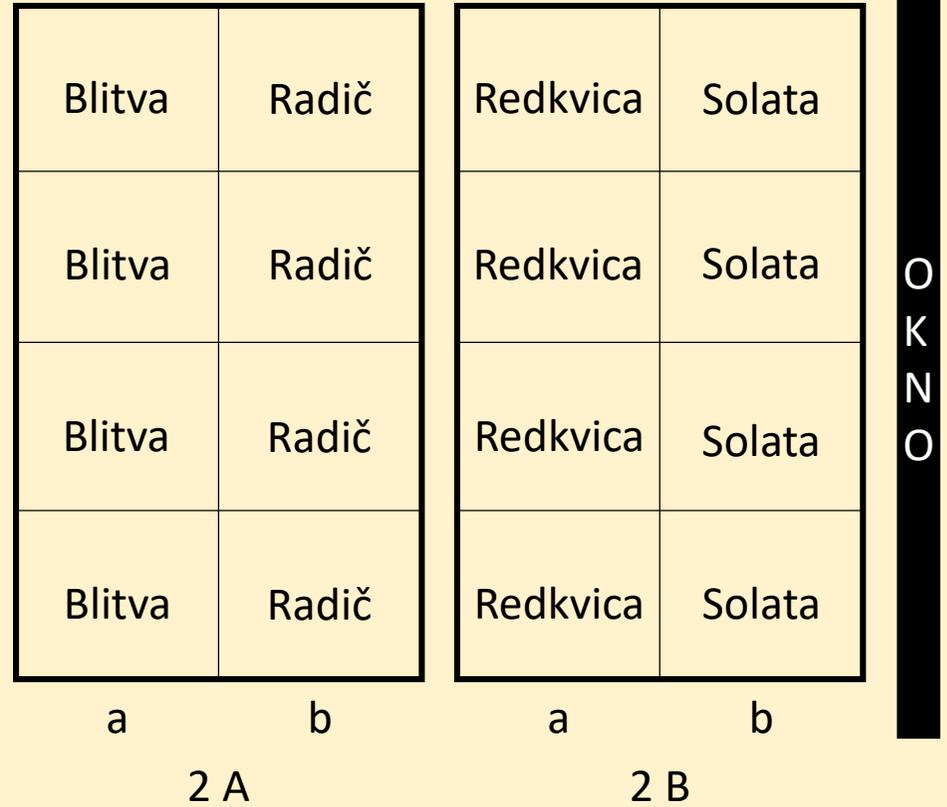
Solata



LED svetilo



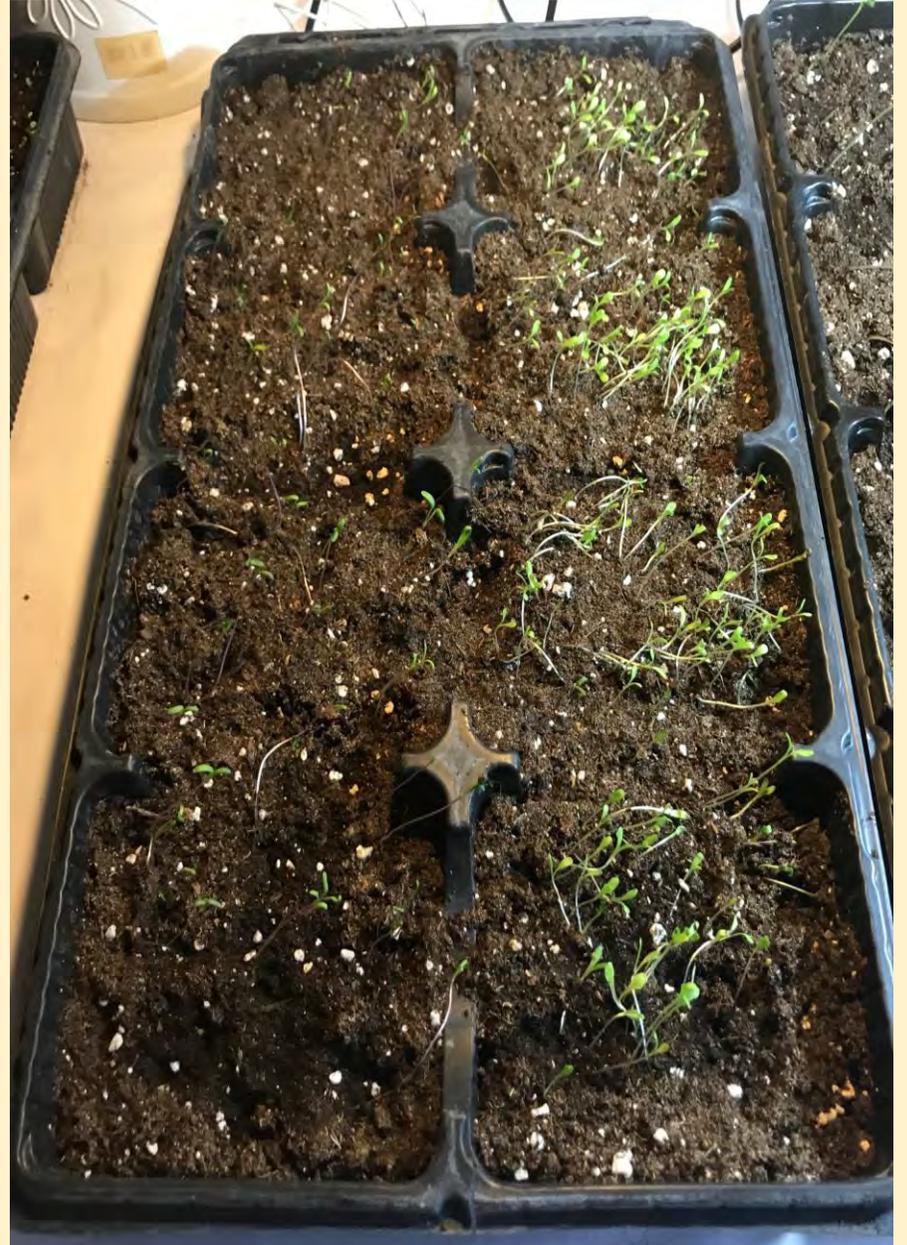
Dnevna svetloba



11. januar



18. januar



23. januar



30. januar



2. poskus



2. poskus DEJAVNIKI RASTI

Setev 14. februar

Temperatura: 21 °C

Zračna vlaga: pod 50 %

Substrat: mešanica malo in močno kompostirane šote, gline in organskih dodatkov

Zalivanje z deževnico 2-3 x na teden

Jakost osvetlitve: 1-5 $\mu\text{mol/s m}^2$ *

Kakovost: dnevna svetloba, LED W

Trajanje: 10 ur/dan

POSEJANE RASTLINE

Kalitev 18. februar

Blitva

Radič

Redkvica

Solata

* Zaradi nedostopnosti kvantnega merilnika svetlobe, je jakost svetlobe merjena z mobilno aplikacijo v lux, ki je potem pretvorjena v $\mu\text{mol/s m}^2$ s spletno aplikacijo. Vrednost je verjetno napačna, saj so rastline v tem poskusu bolj bujne, čeprav je vrednost nižja kot v kontrolni skupini

LED W



21. februar



25. februar



1. marec

Dnevna svetloba



LED W



5. marec



8. marec



12. marec

Dnevna svetloba



LED W



16. marec



19. marec



21. marec

Dnevna svetloba





Poskus na poligonu Dole

NARAVNA SVETLOBA

V rastlinjaku na Učnem poligonu za samooskrbo Dole so bile rastline zasejane, vendar so rastle pod vplivom sončne svetlobe in ne prilagojenih svetil. Tako ni možno izpeljati ugotovitev o vplivu svetil na tej lokaciji.

Ker so rastline na poligonu Dole dosegle največjo velikost, je lahko izpeljano, da je najboljša svetloba za rast rastlin naravna svetloba Sonca. Prilagojena svetila so tako bolj primerna samo v zaprtih prostorih, kjer je jakost naravne svetlobe manjša.



ZAKLJUČEK

Splošne ugotovitve poskusa so lahko strnjene:

1. Rast rastlin je boljša v svetlobnem okolju s primerno jakostjo svetlobe – rastline na Elkosun podjetju so rastle boljše pod večjimi jakostmi nad 70 $\mu\text{mol/s m}^2$. Ker je LED W svetilo skoraj edino dosegalo to vrednost, je imelo predvsem to svetilo najbolj ugoden učinek na rast rastlin. Jakost svetlobe pod LED RB svetilom je bila prenizka, zato lahko nižjo rast rastlin pripišemo nizki jakosti, ne nujno barvnemu spektru.
2. Rast rastlin je boljša pod prilagojenim LED RB svetilom – rastline v ERM pisarni so rastle boljše pod prilagojenim svetilom z rdečo in modro barvo. Ker je jakost svetlobe v obeh svetlobnih okoljih primerljiva, lahko večjo rast rastlin pripišemo prilagojenemu barvnemu spektru.
3. Rast rastlin je boljša pod naravno svetlobo Sonca – rastline na poligonu Dole, ki so rastle pod izključno naravno svetlobo, so dosegle največje višine in največjo bujnost.

PREDLOGI ZA NADALJNJE POSKUSE

Poskus bi lahko izboljšali tako, da bi na Elkosun podjetju oblikovali svetlobna okolja z različnimi barvnimi spektri, a z enako jakostjo svetlobe (nad 70 $\mu\text{mol/s m}^2$) in trajanjema osvetlitve (15 h). Na ta način bi lahko ugotovili vpliv barvnega spektra, ki je predmet poskusa.

Poskus v ERM pisarni in na II. gimnaziji bi lahko izboljšali tako, da bi zagotovili LED RB svetila z večjim deležem modre barve.