

Univerza v Mariboru
Fakulteta za naravoslovje in matematiko
Oddelek za biologijo

MAGISTRSKO DELO

Sabina POVHE

Maribor, 2020

Univerza v Mariboru
Fakulteta za naravoslovje in matematiko
Oddelek za biologijo

Sabina POVHE

Struktura populacije in značilnosti rastišča severne linejevke (*Linnaea borealis*
L.) v Sloveniji

MAGISTRSKO DELO

Population structure and habitat characteristics of twinflower (*Linnaea borealis*
L.) in Slovenia

Mentorica: doc. dr. Nataša Pipenbaher
Somentorica: izr. prof. dr. Sonja Škornik

Maribor, 2020

IZJAVA O AVTORSTVU IN ISTOVETNOSTI TISKANE IN ELEKTRONSKE OBLIKE MAGISTRSKEGA DELA

Ime in priimek študent-a/-ke: Sabina Povhe

Študijski program: Biologija in ekologija z naravovarstvom

Naslov zaključnega dela: Struktura populacije in značilnosti rastišča severne linejevke (*Linnaea borealis* L.) v Sloveniji.

Mentorica: doc. dr. Nataša Pipenbaher

Somentorica: izr. prof. dr. Sonja Škornik

Podpisan-i/-a študent/-ka Sabina Povhe

izjavljam, da je zaključno delo rezultat mojega samostojnega dela, ki sem ga izdelal/-a ob pomoči mentor-ja/-ice oz. somentor-ja/-ice;

- izjavljam, da sem pridobil/-a vsa potrebna soglasja za uporabo podatkov in avtorskih del v zaključnem delu in jih v zaključnem delu jasno in ustrezno označil/-a;
- na Univerzo v Mariboru neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico ponuditi zaključno delo javnosti na svetovnem spletu preko DKUM; sem seznanjen/-a, da bodo dela deponirana/objavljena v DKUM dostopna široki javnosti pod pogoji licence Creative Commons BY-NC-ND, kar vključuje tudi avtomatizirano indeksiranje preko spleta in obdelavo besedil za potrebe tekstovnega in podatkovnega rudarjenja in ekstrakcije znanja iz vsebin; uporabnikom se dovoli reproduciranje brez predelave avtorskega dela, distribuiranje, dajanje v najem in priobčitev javnosti samega izvirnega avtorskega dela, in sicer pod pogojem, da navedejo avtorja in da ne gre za komercialno uporabo;
- dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v zaključnem delu in tej izjavi, skupaj z objavo zaključnega dela;
- izjavljam, da je tiskana oblika zaključnega dela istovetna elektronski obliki zaključnega dela, ki sem jo oddal/-a za objavo v DKUM.

Datum in kraj:

Podpis študent-a/-ke:

IZVLEČEK

Severna linejevka (*Linnaea borealis* L.) je avto-inkompatibilna klonalna vrsta s cirkumborealno razširjenostjo. V Sloveniji ima samo eno znano rastišče na mrazišču v Soteski pri Bohinju. Zaradi redkosti je bila uvrščena na rdeči seznam Slovenije kot prizadeta vrsta. Kljub visoki stopnji zavarovanosti vrste, raziskav o njenem stanju primanjkuje. V letu 2014 smo celotno rastišče pregledali in določili lokacije posameznih zaplat genetov in rametov. Postavili smo 10 trajnih popisnih ploskev (1 m x 1 m), znotraj katerih smo dve sezoni zapored spremljali cvetenje, plodenje ter rast poganjkov. Na rastišču smo izmerili kemijsko reakcijo (pH) tal ter postavili štiri merilne postaje, ki so 15 mesecev zbirale podatke o temperaturi v tleh, na površini tal ter 12 cm nad tlemi. Peta postaja je bila postavljena v gozd v neposredni bližini rastišča. Popisali smo spremljevalne rastlinske vrste v drevesni, grmovni, zeliščni in mahovni plasti ter za popisane vrste poiskali vrednosti Ellenbergovih indeksov. Linejevka se na rastišču razrašča heterogeno, zaradi česar smo sklepali, da na njem obstajajo mikroklimatske razlike. S popisom rastlinskih vrst na rastišču in na osnovi Ellenbergovih indeksov smo dobili vpogled v abiotске ter biotske razmere rastišča, ki so podobne razmeram na drugih rastiščih te vrste. Glavna razlika je, da linejevka raste pri nas na nižji nadmorski višini v pasu bukovega gozda. Iz podatkov o številu cvetov ter plodov smo izračunali uspeh spolnega razmnoževanja. Linejevka še ni popolnoma izgubila možnosti spolnega razmnoževanja, vendar je uspeh izredno nizek (< 10 %). Slednje v kombinaciji s podatki o razrasti kaže na to, da se vrsta pri nas razmnožuje predvsem klonalno. Z meritvami temperature smo dobili vpogled v mikroklimatske razmere na rastišču ter na potencialni vpliv strukture rastišča na razrast linejevke po njem. Kaže se, da obstoj vrste pri nas pogojuje ravno tamkajšnje mrazišče, ki ji ustvarja ugodno mikroklimo. Zaradi okrnjenega spolnega razmnoževanja je prihodnost populacije severne linejevke v Sloveniji vprašljiva. Z našo raziskavo smo naredili podlago za nadaljnje študije ter sprejemanje naravovarstvenih ukrepov, ki bodo potencialno potrebni za ohranitev vrste pri nas.

Ključne besede: klonalnost, avto-inkompatibilnost, uspeh spolnega razmnoževanja, mikroklima, mrazišče, Soteska pri Bohinju

ABSTRACT

The northern twinflower (*Linnaea borealis* L.) is a clonal and self-incompatible plant species with a circumboreal distribution. Its only known habitat in Slovenia is on a frost hollow in a gorge Soteska near Bohinj. The species was classified as endangered in the Red List of Slovenia because of its rarity. Despite the high conservation status, there was almost no field research done so far, that would tell us more about the state of the species *in situ*. In 2014 we searched the habitat for the exact locations of the species patches of genets and ramets. We set up 10 permanent sample plots (1 m x 1 m), within which we've measured the number of flowers, fruits and shoot growth for two consecutive seasons. We measured the chemical reaction of the soil (pH) and set up four dataloggers, which measured the temperature under, on the surface and above the ground of the habitat for 15 months. The fifth datalogger was set up in the forest nearby. We surveyed the vegetation in the canopy, shrub, herb and moss layer and identified the Ellenberg indicator values for the listed species. The twinflower's growth was very patchy and heterogenic which indicated that there may be microclimatic differences in the habitat. We gained the information about the abiotic and biotic factors in the habitat, on the basis of the Ellenberg indicator values of the plant species we've listed. The factors showed very similar conditions to those under which the species grows in other habitats. The main difference was that the twinflower in Slovenia is found at lower altitudes in a beech forest. We calculated the success of sexual reproduction from the flowering and fruiting data and found out that the species has not yet completely lost its ability to reproduce sexually, but the success was very low (< 10 %) both years. We presumed that the species is depended mainly on clonal spread. The temperature measurements showed the microclimatic conditions in the habitat and a potential influence of the structure of the habitat on the species growth. It seems that the species survival in Soteska depends mainly on the frost hollow, which is creating the favorable microclimatic conditions. Because of the low success in sexual reproduction the future of the species in Slovenia is uncertain. We gained preliminary data, which will make an important ground for future research and can direct the decisions for the conservational measurements, should they be needed to ensure the survival of the species in Slovenia.

Keywords: clonal growth, self-incompatible, sexual reproduction success, microclimate, frost hollow, gorge Soteska near Bohinj

KAZALO VSEBINE

IZVLEČEK	III
ABSTRACT	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO SLIK.....	VII
KAZALO TABEL.....	IX
1 UVOD	1
2 PREGLED LITERATURE	2
2.1 KLONALNE RASTLINE IN SPOLNO RAZMNOŽEVANJE	2
2.2 POSLEDICE IZGUBE SPOLNEGA RAZMNOŽEVANJA PRI KLONALNIH RASTLINAH.....	3
2.3 SEVERNA LINEJEVKA (<i>Linnaea borealis</i> L.).....	5
2.3.1 Biologija in ekologija vrste	5
2.3.2 Naravovarstveni status vrste.....	8
3 NAMEN, CILJI IN DELOVNE HIPOTEZE RAZISKAVE.....	10
3.1 MOREBITNE OMEJITVE RAZISKAVE.....	10
4 MATERIALI IN METODE.....	11
4.1 OBMOČJE RAZISKAVE	11
4.1.1 Geomorfologija in pedologija	12
4.1.2 Klimatološke značilnosti	13
4.1.3 Vegetacija.....	14
4.1.4 Stanje mrazišča in rastišča severne linejevke.....	14
4.2 METODE ZBIRANJA PODATKOV	16
4.2.1 Floristična analiza raziskovalnega območja.....	16
4.2.2 Ellenbergovi indeksi.....	16
4.2.3 Spolno razmnoževanje severne linejevke	16
4.2.4 Razrast severne linejevke	17
4.2.5 Merjenje temperature na raziskovalnem območju	17
4.2.6 Kemijska reakcija (pH) podlage.....	18
4.2.7 Nomenklatura	18
4.3 METODE OBDELAVE PODATKOV	19
4.3.1 Floristična analiza raziskovalnega območja.....	19
4.3.2 Ellenbergovi indeksi.....	19
4.3.3 Spolno razmnoževanje severne linejevke	19
4.3.4 Razrast severne linejevke	20

4.3.5	Temperaturne razmere na raziskovalnem območju	20
4.3.6	Kemijska reakcija (pH) podlage.....	20
5	REZULTATI Z DISKUSIJO	21
5.1	FLORISTIČNA ANALIZA RAZISKOVALNEGA OBMOČJA.....	21
5.2	ELLENBERGOVI INDEKSI.....	27
5.2.1	Ellenbergovi indeksi severne linejevke (<i>Linnaea borealis</i> L.)	27
5.2.2	Ellenbergovi indeksi vrednosti spremljevalnih vrst	28
5.3	SPOLNO RAZMNOŽEVANJE SEVERNE LINEJEVKE	31
5.3.1	Fenofaze severne linejevke	31
5.3.2	Razmnoževalni uspeh severne linejevke.....	33
5.3.3	Naravovarstvene implikacije in ohranjanje ogroženih populacij	38
5.4	RAZRAST SEVERNE LINEJEVKE.....	39
5.5	TEMPERATURNE RAZMERE NA RAZISKOVALNEM OBMOČJU.....	41
6	ZAKLJUČKI.....	49
7	ZAHVALA	52
8	LITERATURA	53
9	PRILOGE.....	60
9.1	CELOTEN SEZNAM RASTLINSKIH VRST	60
9.2	WRABERJEV POPIS RASTLINSKIH VRST (1963)	62

KAZALO SLIK

Slika 1: Severna linejevka <i>Linnaea borealis</i> L v cvetu (levo) (foto: S. Povhe) ter skica sistema poganjkov vrste (desno).	6
Slika 2: Nahajališče severne linejevke (<i>Linnaea borealis</i> L.) v Sloveniji.	8
Slika 3: Rastišče severne linejevke <i>Linnaea borealis</i> L. – mrazišče Soteska pri Bohinju, slikano spomladi. Po odpadlem listju desno in spodaj se vidi oster prehod iz grmovnate subalpinske v okoliško gozdno združbo (foto: S. Povhe).	11
Slika 4: Pedološka karta Slovenije. Območje raziskovanja je označeno z rdečo, zraven so podatki o tipu prsti.	12
Slika 5: Klimatološke značilnosti območja v obdobju 1961-2011. Podatki o temperaturah (zgoraj) so pridobljeni iz postaje Bohinjska Česnjica, podatki o padavinah (spodaj) pa iz postaje Bohinjska Bistrica.	13
Slika 6 a in b: Mreža za varovanje cestnega in železniškega odseka pred valjenjem skal v gozdu na spodnjem delu mrazišča (foto: S. Povhe).	15
Slika 7: Označen cvetni poganjek (levo) ter glavni poganjek (desno) (foto: S. Povhe).	16
Slika 8: Lokacije merilnih naprav na rastišču (modro). Raziskovalno območje je označeno z rumeno barvo).	17
Slika 9: Merilna naprava (datalogger) za dolgoročno zajemanje podatkov – temperature, s prikazom položajev posameznih senzorjev (foto: S. Povhe).	18
Slika 10: Skica razrasti severne linejevke (<i>Linnaea borealis</i> L.) na raziskovalnem območju (z zeleno). Celotno raziskovalno območje je označeno z rumeno barvo, črta deli območje na spodnji in zgornji del.	21
Slika 11: Povprečne vrednosti Ellenbergovih indeksov vseh popisanih rastlinsh vrst (brez linejevke) na raziskovalnem območju. Legenda: skupno - vse rastlinske vrste na raziskovalnem območju; ploskev - rastlinske vrste popisane samo na trajnih popisnih ploskvah; najpogostejše - najpogostejše rastlinske vrste popisane na trajnih popisnih ploskvah.	30
Slika 12: Cvetenje in tvorba plodov v sezonah 2014 in 2015: a – primer cvetne osi z enim cvetom; b – plod v dozorevanju; c – primer cvetne osi s tremi cvetovi (levo); d – zrel plod, ki je ravno odpadel iz cvetne osi; e – več cvetnih poganjkov izrašča iz enega zalistja; f – neoplojeni plodnici (foto: S. Povhe).	32
Slika 13: Korelacija med številom cvetov ter številom plodov v letih 2014 a) in 2015 b).	34
Slika 14: Povprečne dolžine poganjkov v spodnjem (temno sivo) ter zgornjem (svetlo sivo) delu raziskovalna območja v različnih obdobjih leta.	40

Slika 15: Temperaturne razmere v spodnjem delu raziskovalnega območja – združeni podatki merilnih naprav 1 in 2, zajeti v obdobju od 20. 6. 2014 do 17. 8. 2015.....	41
Slika 16: Temperaturne razmere v zgornjem delu raziskovalnega območja – združeni podatki merilnih naprav 3 in 4, zajeti v obdobju od 20. 6. 2014 do 17. 8. 2015.....	42
Slika 17: Temperaturne razmere v gozdu v neposredni bližini raziskovalnega območja – podatki iz merilne postaje 5, zajeti v obdobju od 20. 6. 2014 – 17. 8. 2015.....	42
Slika 19: Primerjava temperaturnih razmer 6 cm pod površino tal (T1) med lokacijami.....	45
Slika 20: Primerjava temperaturnih razmer na površini tal (T2) med lokacijami.....	45
Slika 21: Primerjava temperaturnih razmer 12 cm nad površino tal (T3) med lokacijami.....	46

KAZALO TABEL

Tabela 1: Popis rastlinskih vrst na raziskovalnem območju severne linejevke ($N_{\text{tpp}} = 40$).	25
Tabela 2. Ellenbergovi indeksi vrednosti za preučevano vrsto (<i>Linnaea borealis</i> L.).	27
Tabela 3: Število cvetov in plodov ter razmnoževalni uspeh severne linejevke (<i>Linnaea borealis</i> L.) v Sloveniji v letih 2014 in 2015.	33
Tabela 4: Rezultati primerjav uspeha spolnega razmnoževanja s Fisherjevim testom. Legenda: df – stopnja prostosti, p^* – statistično signifikantna razlika ($p < 0,05$).	34
Tabela 5: Deskriptivna statistika (vzorčno povprečje, standardni odklon, minimum in maksimum) prirastka severne linejevke v različnih delih leta v obdobju med 5. 10. 2014 ter 6. 4. 2016. Legenda: N_{po} = število izmerjenih poganjkov; povprečje = povprečna dolžina poganjkov; SD = standardni odklon; Max = maksimalna dolžina poganjka; Min = minimalna dolžina poganjka.	39
Tabela 6: Povprečne vrednosti temperatur s standardnim odklonom ter minimalno in maksimalno vrednostjo v obdobju od 20. 6. 2014 do 17. 8. 2015.	44
Tabela 7: Rezultati primerjav povprečnih dnevni temperatur med lokacijami (spodaj, zgoraj, gozd) s Kruskal-Wallis testom na vseh treh nivojih merjenja. Legenda: df – stopnja prostosti, p^* – statistično signifikantna razlika ($p < 0,05$).	46
Tabela 8: Celoten seznam rastlinskih vrst (prisotnost/odsotnost = 1/0) na popisnih ploskvah ter na preostalem raziskovalnem območju.	60
Tabela 9: Wraberjev popis rastlinskih vrst na rastišču iz leta 1963.	62

1 UVOD

Rastline imajo zaradi sestavljene (modularne) rasti meristematske celice prisotne celo življenje, zato velja, da so vse rastline potencialno klonalne (Harper, 1977). Klonalne rastline definiramo v ožjem smislu kot tiste, pri katerih je dejansko prisotno vegetativno razmnoževanje (van Groenendael in sod., 1996). Vegetativno razmnoževanje se je razvilo večkrat v evoluciji rastlin in vrste, ki so ga sposobne, so si filogenetsko zelo različne (Klimeš in sod. 1997).

Vegetativno razmnoževanje je kot življenjska strategija v nasprotju s spolnim razmnoževanjem (Grime, 2001), kljub temu je večina trajnic dandanes sposobna združevati oba tipa (Richards, 1986). Ima številne prednosti, ki so še posebej izrazite na območjih, kjer spolno razmnoževanje ni mogoče ali je omejeno. Ta območja so zelo pogosta na obrobjih razširjenosti rastlinskih vrst (Eckert, 2002). Za dolgoročno preživetje vrst je spolno razmnoževanje pomembno, saj ohranja genetsko pestrost populacije. Popolna odsotnost spolnega razmnoževanja ima zato pomembne vplive na ohranjanje vrste na določenem območju (Wilcock in Jennings, 1999).

Fragmentacija habitata je proces, v katerem večji in sklenjeni habitat preide v več izoliranih fragmentov z manjšo skupno površino (Kryštufek, 1999). Populacijam, ki je zaradi tega zmanjšana efektivna velikost ter prekinjen genski pretok s preostalimi v arealu, preti nevarnost izumrtja. Vrste z mehanizmi preprečevanja samooplojevanja ter sposobnostjo klonalne rasti v fragmentiranih območjih začnejo vlagati v vegetativno razmnoževanje (Wroblevska, 2013). Problem nastane, ko zaradi velikega obsega vegetativnega razmnoževanja ter izolacije zaradi fragmentacije, spolno razmnoževanje v populaciji ni več mogoče.

Primer izolirane populacije avto-inkompatibilne klonalne vrste na robu svoje razširjenosti je tudi slovenska populacija severne linejevke *Linnaea borealis* L., arktično-alpinskega elementa, ki se je pri nas ohranil kot glacialni relik. Linejevka je bila na območju Slovenije najdena že leta 1907, prvi uradni zapis v slovenščini pa je iz leta 1963 (Wraber, 1963). Ker gre za majhno populacijo s samo enim znanim rastiščem, je vrsta uvrščena na rdeči seznam. Kljub karizmatičnosti in visoki stopnji ogroženosti, pa primanjkuje konkretnih podatkov o vrsti. Z našo raziskavo smo želeli pridobiti čimveč ključnih podatkov na terenu, saj bomo s tem dobili boljši vpogled v stanje vrste in usmeritev pri nadaljnjih ukrepih za njeno ohranitev ter ohranitev vrst, ki se soočajo s podobno problematiko.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 KLONALNE RASTLINE IN SPOLNO RAZMNOŽEVANJE

Klonalnost pri rastlinah je oblika rasti oz. vegetativnega (nespolnega) razmnoževanja, pri katerem nastajajo genetsko identični osebki, ki imajo potencial, da se odcepijo od materinske rastline in postanejo samostojni v preživetju in razmnoževanju. Pri tem je posamezen osebek poimenovan *ramet*, skupek vseh rametov, ki so z vegetativnim razmnoževanjem nastali iz ene zigote in so genetsko identični, pa imenujemo *genet* (Harper, 1977).

Klonalna rast ima številne ekološke prednosti, kot so: sposobnost širjenja rametov na območja z optimalnejšimi razmerami (svetloba, voda, hranila), sposobnost izmenjave snovi in delitve dela med rameti, porazdelitev tveganja za poškodbo ali smrti ter hitrejša kolonizacija novih območij in visoka kompetitivnost v njih. Za razliko od semen, rameti niso dormantni in se relativno hitro razmnožujejo, kar se lahko šteje tudi za evolucijsko prednost. Omogoča torej razmnoževanje, optimalno izkoriščanje virov in povečevanje fitnesa ter obstojnost vrst – rastline so potencialno neumrljive (Watkinson in White, 1986; Wikberg, 1995; Pan in Price, 2002; Klimešová in sod., 2017). Klonalne rastlinske vrste pogosto najdemo v območjih, neprimernih za spolno razmnoževanje in kalitev semen (npr. hude motnje, kratke vegetacijske sezone, pomanjkanje hranil), v kasnejših fazah primarne in sekundarne sukcesije ter v vodnih habitatih (Salisbury, 1942; Callaghan in sod., 1992; Barrett in sod., 1993; Grace, 1993; Oborny in Bartha, 1995; Grime, 2001). V zmernem pasu je vegetativna rast pogosta med visokimi zelišči ter lesnatimi vrstami tudi v relativno stabilnih okoljih, kot je gozdna podrast (Grime, 2001, van Groenendael in sod., 1996).

Spolno razmnoževanje pri kritosemenkah v splošnem pomeni združitev dveh spermalnih celic iz peloda z jedri zarodkovega mešička v semenski zasnovi oz. v plodnici pestiča. Ena spermalna celica se združi z jajčno celico (nastane zigota), druga pa se združi z diploidnim sekundarnim jedrom mešička, iz česar po nadaljnjih delitvah nastane triploidno hranilno tkivo (sekundarni endosperm). Zigota se razvije v kalček s kličnimi listi in skupaj s sekundarnim endospermom (ter semensko ovojnico) tvorita seme (Krajncič, 2001). Kot je značilno za spolno razmnoževanje, je potomec (seme) zaradi rekombinacije genetsko različen od starševskih osebkov. Produkcija semen je pri rastlinah kritična za pridobitev novih genotov, migracijo in disperzijo. Pomembna je za povečevanje genetske pestrosti, ki omogoča vrsti, da zasede več niš v heterogenem okolju ter je zmožna adaptacije tako v prostoru, kot tudi v času (Richards,

1986). Genetska pestrost med osebki iste vrste je torej nujno potrebna za obstoj in evolucijo vrste (Wiberg in sod., 2016).

Kritosemenke pogosto združujejo spolno in vegetativno razmnoževanje. Več kot 80 % vrst ima sposobnost klonalne rasti na takšen ali drugačen način (Klimeš in sod., 1997). Razširjenost vegetativnega razmnoževanja med različnimi kladi v kraljestvu rastlin kaže na njegove ekološke in evolucijske prednosti, medtem ko raznolikost mehanizmov tega tipa reprodukcije nakazuje, da nekateri prevladujejo glede na ekološke dejavnike. Ravnovesje med obema tipoma razmnoževanja zelo variira med populacijami in vrstami. (Eckert, 2002; Vallejo-Marín in sod., 2010; Barrett, 2015). Spolno in vegetativno razmnoževanje sta torej življenjski strategiji, ki sta si v močnem nasprotju. Hitra klonalna rast pomeni manj virov za produkcijo cvetov in plodov (Grime, 2001), veliki kloni pa dajejo vtis, da je učinkovita populacija ali število genotipov večje, kot je v resnici (Tepedino, 2012).

2.2 POSLEDICE IZGUBE SPOLNEGA RAZMNOŽEVANJA PRI KLONALNIH RASTLINAH

Do neuspeha spolnega razmnoževanja v populacijah lahko pride zaradi različnih ekoloških faktorjev, tako biotskih kot abiotskih. Ti so lahko: pomanjkanje opraševalcev ali peloda, pomanjkanje virov za produkcijo cvetov, plodov, predacija, neustrezni okoljski dejavniki za dozorevanje semen, kalitev in rast kalic ipd. (Campbell in Halama, 1993; Larson in Barrett, 2000; Eckert, 2002; Wilcock in Neiland, 2002). Negativen vpliv ekoloških dejavnikov na spolno razmnoževanje je še posebej izrazit v populacijah na obrobjih razširjenosti vrst, kjer so razmere v habitatih izven optimalnih (Salisbury, 1942; Eriksson, 1996). Obrobne populacije vrst, ki so sposobne združevati oba tipa razmnoževanja, zato pogostokrat vlagajo predvsem v vegetativno razmnoževanje (Eckert, 2002).

Klonalne vrste se torej s strategijo vegetativnega razmnoževanja lahko izognejo lokalnim izumrtjem populacij, vendar le za določen čas (Honnay in Bossyut, 2005). Dolgotrajno vegetativno razmnoževanje v odsotnosti spolnega namreč vodi v izgubo genetske pestrosti in zmanjša učinkovito velikost populacije (Wiberg in sod., 2016). V tem primeru govorimo o vplivu genetskih faktorjev na spolno razmnoževanje. Če je spolno razmnoževanje odsotno dalj časa, se lahko v populaciji pojavijo mutacije, ki ga potem popolnoma onemogočijo (Eckert, 2002; Honnay in Bossyut, 2005).

Genetsko osiromašene populacije so še posebej na udaru, če so izolirane. Do izoliranosti največkrat pride zaradi fragmentacije in izgube habitata, dveh poglavitnih vzrokov za izumiranje vrst ter upad biodiverzitete (Saunders in sod. 1991; Kryštufek, 1999). Vpliv obeh dejavnikov na rastlinske vrste je v največji meri odvisen od njihovega razmnoževalnega sistema (Wagenius in sod., 2007; Thrall in sod., 2014). Fragmentacija in izguba habitata imata namreč največji vpliv na vrste z mehanizmi preprečevanja samoopraševanja (avto-inkompatibilne vrste), ki so pri raznašanju genetskega materiala omejene z razdaljo (Young in sod., 2012; Thrall in sod., 2014). Zelo pogosto so to zelnote žužkocvetke, ki imajo potencial za močno klonalno rast (Wiberg in sod., 2016). Pri teh vrstah fragmentacija in izguba habitata prekinjata tok genov. Kot rezultat dobimo populacije, kjer so geneti preveč oddaljeni za uspešno opraševanje, oploditev ali prenos semen (Wilcock in Jennings, 1999). Prihaja do znotrajvrstne kompeticije, kjer rameti lokalno bolj prilagojenih genotipov izrinejo manj prilagojene. Proces, ki nato relativno hitro lahko pripelje do monoklonalnih populacij (Honnay in Bossyut, 2005).

V genetsko osiromašenih izoliranih populacijah avto-inkompatibilnih klonalnih vrst nato prihaja do zmanjšane fitnessa zaradi oplojevanja v ožjem sorodstvu (ang. *inbreeding*), kot posledice geitonogamije (opraševanje med različnimi cvetovi iste rastline) ter genetskega zdrsa (Charpentier, 2002; Wagenius in sod., 2007). Kopičijo se škodljive mutacije, ki še dodatno znižajo plodnost in na koncu lahko vodijo v popolno izgubo zmožnosti spolnega razmnoževanja (Eckert, 2002; Barrett, 2015). S tem populacija izgubi tudi evolucijski potencial ter zmožnost prilagajanja na spremembe v okolju.

Klonalnost, kot alternativni način reprodukcije, samo zakasni neizogibne posledice odsotnosti spolnega razmnoževanja, saj ne povečuje efektivne velikosti populacije, temveč jo kvečjemu zmanjša (Tepedino, 2012). Izguba genetske variabilnosti, ki se zaradi tega pojavi, bo v kombinaciji z okoljsko in demografsko stohastičnostjo slej kot prej pripeljala do izumrtja tovrstnih populacij (Kryštufek, 1991; Wilcock, 2002; Frankham, 2005). Slednje ima danes zaradi vedno večjih in predvsem hitrejših sprememb v okolju še posebej pomemben naravovarstveni pomen.

2.3 SEVERNA LINEJEVKA (*Linnaea borealis* L.)

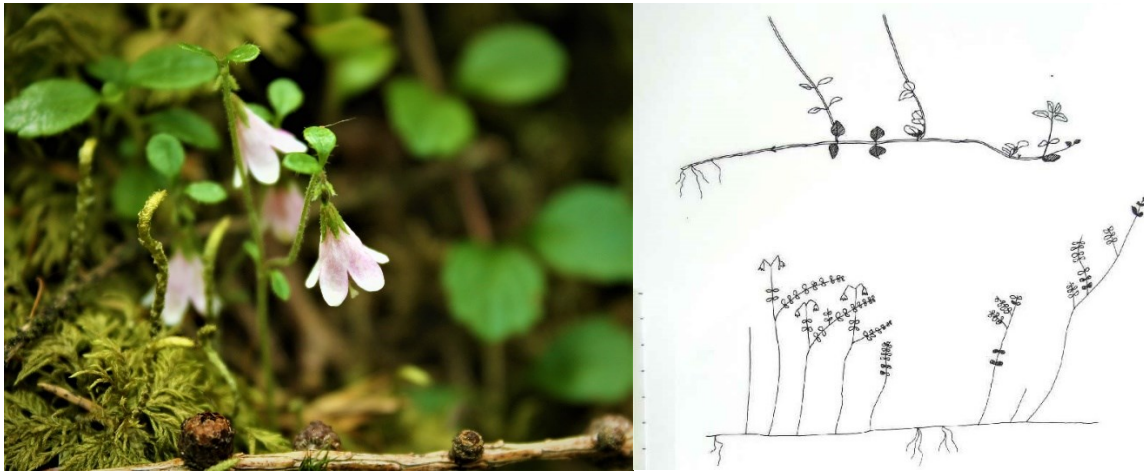
Severna linejevka *Linnaea borealis* L. je podrastni, plazeči grmiček iz družine kovačnikovk (Caprifoliaceae). Po določenih klasifikacijah je rod monotipičen, z eno samo vrsto (Martinčič in sod., 2007, Zhang in sod., 2014). Ponekod jo uvrščajo v novo družino Linnaeaceae (Backlund in Pyck, 1998), za rod pa je bila predlagana razširitev, da postane monofiletski in vključuje kar 16 vrst (Christenhusz, 2013). Rod je dobil ime po Carlu Linnaeusu, vrstno ime linejevke pa se nanaša na njeno severno razširjenost (Thiem in Buk-Berge, 2017).

2.3.1 Biologija in ekologija vrste

Severna linejevka tvori sistem poganjkov, ki se delijo na glavne (plazeči) in stranske (plazeči ali pokončni). Glavni poganjek tvori listne pare, listi so si nasprotni, okroglo-jajčasti, vednozeleni in obstanejo 12 do 14 mesecev, tudi do 2 leti (Eriksson, 1992; Niva in sod., 2003). Uvrščamo jo med hamefite (Martinčič in sod., 2007). Koreninski sistem je načeloma slabo razvit. Korenine rastejo na nodijih glavnih poganjkov in so večje na starejših delih (Antos in Zobel, 1984). Stranski poganjki zrastejo iz zalistij listov glavnega poganjka, navadno eno leto po nastanku listnega para. Po funkciji jih delimo na pokončne asimilacijske, pokončne cvetoče (spolno reproduktivne) in plazeče pomlajevalne oz. nove glavne (vegetativno reproduktivne). Asimilacijski poganjki dosežejo višino 4 do 6 cm, medtem ko cvetoči zrastejo tudi do 15 cm (Eriksson, 1988; 1992, Niva in sod., 2003). Glavnina rasti poganjkov poteka med aprilom in oktobrom. Sistem se lahko razraste v povprečju do 2 m. Starejši deli so navadno pokriti z mahom (Eriksson, 1988; 1992).

Linejevka tolerira senco in preferira zmerno osvetljenost. Predvideva se, da ima svetlobno kompenzacijsko in saturacijsko točko fotosinteze pri nizkih intenzitetah svetlobe, kar je značilno za vrste v podrasti (Pallardy, 2008). Sposobna je tudi plastičnih odzivov na spreminjanje določenih okoljskih razmer, vendar traja vsaj 2 leti, preden se popolnoma prilagodi (Niva in sod., 2006). Povečana izpostavljenost svetlobi povzroča krajše internodije ter večjo razvejanost oz. tvorbo rametov z več lateralnimi meristemi (Eriksson, 1988; Niva in sod., 2006). V kombinaciji z znižano dostopnostjo vode je razmerje korenina : poganjek zmanjšano oz. sploh ne pride do tvorbe korenin (Niva in sod., 2006). Zaradi slabo razvitega koreninskega sistema se predvideva, da je vrsta občutljiva na sušo (Eriksson, 1988, Youngblood in sod., 2006). Običajno uspeva na podlagah z večjim odstotkom peska, nizko vsebnostjo hranil ter nizkim pH (Thiem in Buk-Berge, 2017). Na nizko vsebnost hranil v okolju je prilagojena z

dolgoživimi in s hranili revnimi listi (Niva in sod., 2003), kar je značilno za vednozeleno vrsto v tovrstnih habitatih (Aerts, 1995).



Slika 1: Severna linejevka *Linnaea borealis* L v cvetu (levo) (foto: S. Povhe) ter skica sistema poganjkov vrste (desno) (vir: <http://clopla.butbn.cas.cz/image.php?pid=6717&type=all>, 3. 4. 2014).

Cvetoči poganjki tvorijo socvetje običajno z dvema belo-roza zvončastima cvetovoma, ki vsebujeta medovne žleze. Vonj cvetov spominja na mandlje in ga povzročajo predvsem derivati benzena (Bergström in sod., 2018). Linejevka cveti od zgodnjega junija do poznega julija, lahko tudi dlje. Ob preveč senčnih razmerah je cvetenje zmanjšano ali povsem odsotno. Zaenkrat še ni dokazov o povezavi med večjo svetlobno izpostavljenostjo ter povečano tvorbo cvetov (Eriksson, 1988; Niva, 2003; Martinčič in sod., 2007; Scobie in Wilcock, 2009). V cvetu je 4 - 5 prašnikov, ki so dvomočni ter pritrjeni na venčne liste (Wilcock in Jennings, 1999). Plodnica je podrasla in tridelna z več semenskimi zasnovami, od katerih je samo ena plodna (Barret in Helenurm, 1987, Wilcock in Jennings, 1999, Zhang in sod., 2014). Število kromosomov v celicah linejevke je $2n = 32$ (Packer, 1964; Wroblewska, 2013). Pelod je relativno velik ($42 \mu\text{m} \times 34 \mu\text{m}$), trožlebnat (trikolpaten), s tremi porami v steni, s prepoznavno eksino in ga zlahka razločimo od ostalega peloda značilnih okoliških vrst (Scobie in Wilcock, 2009). Opraševalci so predvsem iz redov dvokrilcev (Diptera) ter kožokrilcev (Hymenoptera) (Barret in Helenurm, 1987). V raziskavah na škotskih populacijah so bili najpogostejši opraševalci manjše muhe iz družine Muscidae. V splošnem gre za vrste, ki oprašujejo na krajše razdalje in učinkovito raznašanje peloda linejevke poteka samo do 30 m (Wilcock and Jennings, 1999; Scobie and Wilcock, 2009; Zhang in sod., 2014, Wiberg in sod., 2016). Edini opaženi opraševalci na daljše razdalje, so bili čmrlji vrste *Bombus vagans* pri kanadskih populacijah (Barret in Helenurm, 1987) oz. *Bombus spp.* pri švedskih populacijah (Niva, 2003). Cvetovi ostanejo do 7 dni (Thiem in Buk-Berge, 2017). Pri določenih vrstah lahko plodnice nabreknejo in izgledajo kot mlad

plod, čeprav se v njih ne razvija seme (Bawa in Webb, 1984). Slednje je bilo opaženo tudi pri linejevki. Med oplojeno in neoplojeno plodnico pride do jasne razlike šele po treh tednih po tem, ko cvet odpade (Wilcock in Jennings, 1999). Zrel plod je enosemnski orešek, obdan z dvema krovniima listoma z žleznimi trihomi, prilagojen na raznašanje z živalmi (zoohorija), predvsem s pticami (Ciosek in sod., 2015). Na dotik deluje bolj čvrst in poln kot nabrekla neoplojena plodnica. Kalice so redko opažene, prav tako linejevka naj ne bi imela obstojne talne semenske banke (Granström, 1982; Eriksson, 1992).

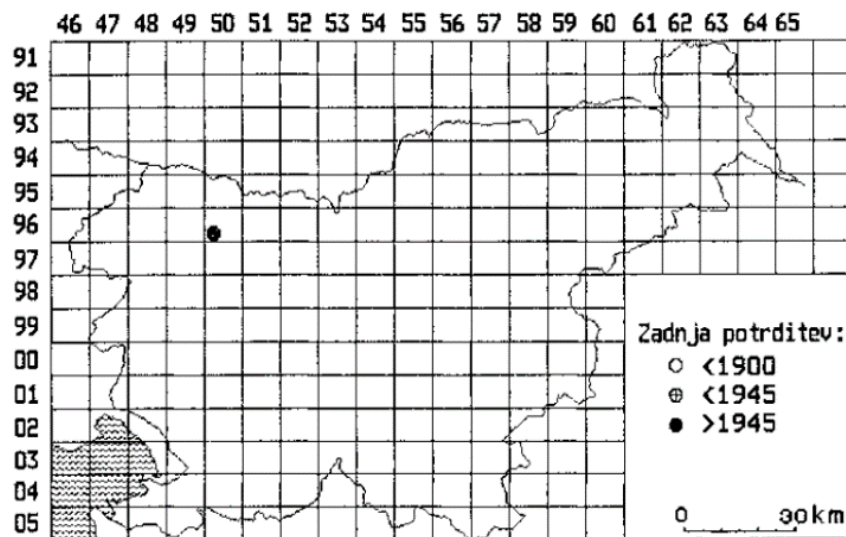
Za uspešno oploditev posamezen genet potrebuje pelod osebka, ki se na S-lokusu razlikuje vsaj za en alel. Spolno razmnoževanje torej lahko poteka samo med genetsko različnimi osebki ali geneti. Linejevka ima namreč mehanizme, ki preprečujejo samooprašitev in s tem samooploditev. Na vratu pestiča so opazili inhibicijo pelodne cevi (Wilcock in Jennings, 1999), kar pomeni, da gre za gametofitsko nezdružljivost (Richards, 1986).

Linejevka je izredno klonalna vrsta. Vegetativno razmnoževanje poteka s stoloni, ki ga omogočajo relativno hitro rastoči pomlajevalni poganjki (Antos in Zobel, 1984; Klimešová in Klimeš, 2014). Ti tvorijo velike zaplate t. i. klonov, ki so lahko stari tudi po več desetletij (Wilcock in Jennings, 1999). Posamezen genet lahko sestavlja na stotine rametov, ki se razprostirajo tudi do 74 m daleč (Wiberg in sod., 2016). Vegetativna razrast vrste je horizontalna, oportunistična in pod vplivom apikalnih meristemov (Niva, 2003), kar kaže na strategijo gverilca (Lovett Doust, 1981). Rameti imajo potencial, da postanejo neodvisni od materinske rastline. V povprečju 2 % vseh rametov v enem letu tvori tudi cvetoče poganjke in omogoča spolno razmnoževanje (Niva, 2003).

Linejevka je cirkumborealna vrsta, kar pomeni, da je razširjena na celotni severni polobli v višjih legah geografske širine (Allaby, 2010). Najdemo jo v subarktičnih, borealnih ali hladnih zmernih gozdovih (Hulten, 1968; Wilcock in Jennings, 1999, Wroblewska, 2013). Prepoznavajo se tri podvrste, ki se prekrivajo po geografskih območjih, razlikujejo pa se v morfologiji. *Linnaea borealis* subsp. *borealis* raste v Evropi, Aziji in na določenih delih SZ Severne Amerike. *Linnaea borealis* subsp. *americana* raste le v borealnih predelih Severne Amerike, *Linnaea borealis* subsp. *longiflora* pa je omejena na severno zahodno pacifiško regijo (Wroblewska, 2013). Podvrsta *longiflora* se od preostalih dveh razlikuje po bolj robustnem stebelu in listih, ki so eliptične oblike, čaša in venec pa sta ožja in bolj podolgovata (Hulten, 1968). Slovenija je območje razširjenosti podvrste *borealis*, ki raste predvsem v iglastih

gozdovih. Pojavlja se od nižin do nadmorskih višin nad gozdno mejo, v Alpah doseže tudi do 1800 m (Wroblewska, 2013).

V Sloveniji najdemo linejevko v Soteski pri Bohinju, ki je njeno edino znano rastišče pri nas. Za slovensko populacijo sklepamo, da je glacialni relikv na eni izmed najjužnejših točk razširjenosti v Evropi (Wraber, 1963). Tu se pojavlja na nadmorski višini 500 - 520 m, v pasu listnatega (bukovega) gozda skupaj s subalpinsko združbo sleča in slečnika z macesnom. Habitat je netipičen, v njem najverjetneje uspeva zaradi tamkajšnjega mrazišča (Wraber, 1963; Košutnik in Presetnik, 2014).



Slika 2: Nahajališče severne linejevke (*Linnaea borealis* L.) v Sloveniji (Wraber in Skoberne, 1989).

2.3.2 Naravovarstveni status vrste

Linejevka ni na IUCN rdečem seznamu ogroženih vrst, čeprav iz različnih območij njene razširjenosti poročajo o upadu populacij in genetske pestrosti. Upad populacij poteka predvsem na obrobni območjih njene razširjenosti (Wilcock in Jennings, 1999).

V Združenih državah je podvrsta *L. b. ssp. americana* ogrožena predvsem v državah južnega roba njenega areala (Iowa, Pennsylvania, Connecticut,...). Vrsta predvidoma velja za lokalno izumrlo v državah, kot so Indiana, Maryland, Ohio, Rhode Island in Tennessee (USDA NRCS).

V Veliki Britaniji je vrsta doživela precejšen padec in je danes skoraj v celoti omejena na SV Škotske (Wilcock, 2002). Na upad in izolacijo populacij sta vplivala izguba in fragmentacija habitata, neomejena paša borovih gozdov z jeleni in živino, mehansko spravilo lesa in regeneracija gozdov s pregosto nasajenimi drevesi (Scobie in Wilcock, 2009). Vrsta ima v Veliki Britaniji oznako "nacionalno redka" (*ang. nationally scarce*). Ta oznaka je specifična za regijo Velike Britanije in ne temelji na IUCN kriterijih. Linejevka je bila uvrščena tudi med prioritete vrste UK Biodiversity Action Plan (UK BAP, 2014). V Karpatih so njen upad pripisali izgubi habitata (Wilcock, 2002). Na Švedskem poročajo o obsežnem vegetativnem razmnoževanju ter o redkosti kalic (Eriksson, 1992). Na Poljskem je razširjena predvsem na severu države in je prav tako opredeljena kot ogrožena vrsta, ki je na določenih delih že izumrla, ogroža pa jo izguba habitata. Tudi tu naj bi se vrsta ohranila kot glacialni relik, ponekod pa jo označujejo kot psevdo-relik (Ciosek et al., 2015).

V Sloveniji je linejka na rdečem seznamu zaradi svoje redkosti klasificirana kot prizadeta vrsta (E - Endangered). Wraber in Skoberne (1989) sta pri uvrstitvi na seznam zapisala, da so takrat rekonstrukcija ceste, napeljava daljnovoda in izdelava interventnih vlek, že ogrozile ohranitev edinstvenega južnoalpskega nahajališča te vrste.

3 NAMEN, CILJI IN DELOVNE HIPOTEZE RAZISKAVE

Osnovni namen naše raziskave je bil pridobiti čim več terenskih podatkov o strukturi in stanju slovenske populacije severne linejevke (*L. borealis*) ter o značilnosti njenega edinstvenega rastišča pri nas. V skladu z našim namenom smo si zastavili naslednje cilje:

- S podrobnim pregledom raziskovalnega območja pridobiti podatek o vplivu strukture rastišča na razraščanje rastlinske vrste po njem.
- S popisom okoliških rastlinskih vrst na raziskovalnem območju pridobiti vpogled v abiotske in biotske razmere, v katerih rastlinska vrsta uspeva v Sloveniji.
- Dokazati, ali je spolna reprodukcija linejevke v Sloveniji prisotna in če je, v kakšni meri. Kakšen je njen spolni reproduktivni uspeh?
- Ugotoviti, kakšna je mikroklima rastišča vrste in kaj pogojuje obstoj linejevke na rastišču skozi daljše časovno obdobje.

Delovne hipoteze, ki smo jih testirali na podlagi ciljev, so bile sledeče:

1. Struktura ter abiotski dejavniki na rastišču imajo signifikanten vpliv na razraščanje ter obstoj vrste na njem.
2. Abiotski in biotski dejavniki, v katerih uspeva populacija severne linejevke v Sloveniji, ne bodo značilno različni od pogojev populacij te vrste drugod po svetu.
3. Populacija severne linejevke v Sloveniji se še vedno uspešno spolno razmnožuje.
4. Zaradi mehanizma preprečevanja samooploditve in izoliranosti populacije bo delež cvetov, ki bodo razvili plodove, manj kot 25 % .
5. Obstoj severne linejevke v soteski pri Bohinju je odvisen od mikroklime, ki jo ustvarja tamkajšnje mrazišče.

Rezultati raziskave bodo imeli pomembno uporabno vrednost za obstoj in varstvo vrste pri nas.

3.1 MOREBITNE OMEJITVE RAZISKAVE

Morebitne omejitve pri raziskavi bi lahko bile klimatske posebnosti sezone, ki bi vplivale na rezultate.

4 MATERIALI IN METODE

4.1 OBMOČJE RAZISKAVE

Območje raziskave je v Soteski pri Bohinju, ki leži v dolini reke Save Bohinjke med planotama Jelovico ter Pokljuko in predstavlja naravni mejnik Bohinjske kotline. Soteska je danes redko poseljena. Skoznjo sta speljani železnica in regionalna cesta Bled – Bohinj, edini večji razširitvi sta opuščena železniška postaja in zaselek. Rastišče severne linejevke se nahaja na manjšem mrazišču na severnem pobočju Jelovice, nekaj metrov od rečne doline ter regionalne ceste v bližini opuščene postaje. Rastišče ima po naših ocenah obseg okoli 175 m ter površino okoli 0,2 ha in zajema večji del mrazišča (glej sliko 8). Mrazišče naj bi se po novejših meritvah raztezalo v ožjem pasu še po pobočju, skoraj do sten (Košutnik in Presetnik, neobjavljeno). Sredi mrazišča se na območju rastišča nahaja manjša votlina, ki so jo v preteklosti uporabljali tudi kot skladišče živil in ima na vhodu vrata (Košutnik in Presetnik, 2014).



Slika 3: Rastišče severne linejevke *Linnaea borealis* L. – mrazišče Soteska pri Bohinju, slikano spomladi. Po odpadlem listju desno in spodaj se vidi oster prehod iz grmovnate subalpinske v okoliško gozdno združbo (foto: S. Povhe).

4.1.1 Geomorfologija in pedologija

Mrazišče se nahaja na matični podlagi iz debeloskladovitega apnenca, dolomitiziranega apnenca oz. dolomita iz zgornje triade ali spodnje liade (Dozet in Buser, 2009). V tem obdobju so v severni Sloveniji nastajale karbonatne usedline (Fridl in sod., 1998).



Slika 4: Pedološka karta Slovenije. Območje raziskovanja je označeno z rdečo, zraven so podatki o tipu prsti (vir: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso, 19. 11. 2017).

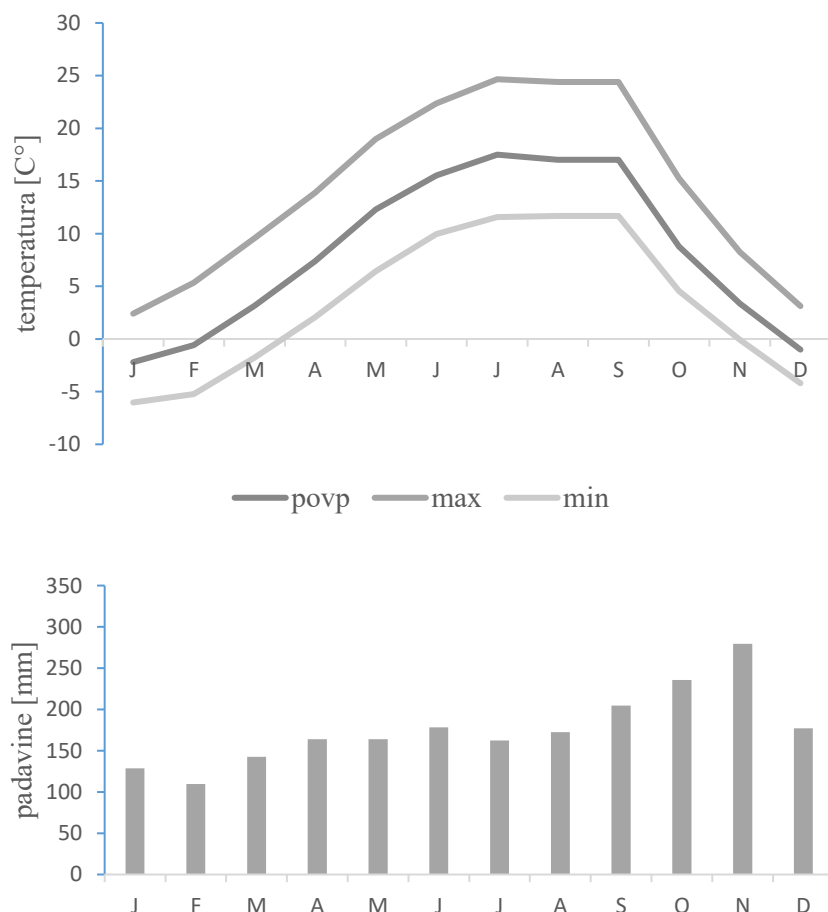
Površje je ledeniški relief, ki je nastal zaradi ledeniške erozije in akumulacije v hladnih obdobjih pleistocena. Učinki ledeniške erozije so najbolj izraziti v povirnih delih dolin Save Bohinjke (Fridl in sod., 1998). Prhninasta rendzina je najbolj zastopan tip prsti na tem območju. Tla so v razmerah z naravno vegetacijo večinoma pokrita z mahovi in drugimi rastlinami. V hladnih in vlažnih razmerah lahko na omenjeni matični podlagi nastaja prhninast ali celo surov humus, ki ga najdemo pod mahovi, vendar ga na rendzinah ni veliko. Tovrstna tla so zato kljub karbonatni podlagi lahko zelo kislja, saj se bazični kationi sproti izpirajo (Perko, 2001; Vidic in sod., 2015). Tu pogosto najdemo bujno rastočo borovnico (*Vaccinium myrtillus*), včasih pa tudi brusnico (*Vaccinium vitis-idaea*). Razkroj organskih snovi je zaradi hladno-vlažnih razmer zelo počasen (Perko, 2001; Urbančič in sod., 2005).

V tleh so številne špranje (grohasta tla), iz katerih tudi v topli polovici leta izhaja hladen zrak le nekaj stopinj nad ničlo in ustvarja mikroklimatske razmere mrazišča. Trenutno se raziskujeta dve teoriji nastanka mrazišča, ki sta povezani s poletno-zimskim kroženjem zraka. Bodisi gre

za kroženje zraka v pobočnem materialu (nesprijetem grušču) Jelovice, bodisi je mrazišče nastalo na območju zasutega spodnjega vhoda v dinamično ledeno jamo, ki ima zgornji vhod nekje na planoti Jelovice (Košutnik in Presetnik, 2014).

4.1.2 Klimatološke značilnosti

Soteska se nahaja na območju zmerno celinskega podnebja zahodne in južne Slovenije. Jeseni so toplejše od pomladi, povprečna aprilaska temperatura je nižja od oktobrske (Fridl in sod., 1998). Velja submediteranski padavinski režim z letno količino med 1300 ter 2800 mm. V primerjavi z ostalimi zmerno celinskimi podtipi izstopa po namočenosti. To je posledica lege v območju alpsko-dinarske pregrade ter dejstva, da večino padavin v Sloveniji prinašajo zračne mase, ki pridejo od zahoda in jugozahoda (Ogrin, 1996). Višek padavin je novembra, najmanj pa jih zapade februarja. Povprečno število dni s snežno odejo v sezoni 1971-2000 je bilo 75 (Atlas okolja, 2017).



Slika 5: Klimatološke značilnosti območja v obdobju 1961-2011. Podatki o temperaturah (zgoraj) so pridobljeni iz postaje Bohinjska Češnjica, podatki o padavinah (spodaj) pa iz postaje Bohinjska Bistrica (vir: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/diagrams/time-series/>, 4. 9. 2018).

4.1.3 Vegetacija

Okoliška vegetacija rastišča severne linejevke ter mrazišča je gozdna, prevladuje gozd tipa *Anemone trifoliae-Fagetum* var. *Helleborus niger*, ponekod je razvit tudi tip *Stellario glochidispermae-Fagetum* (Wraber, 1963, Fridl in sod., 1998). Rastišče je preraslo večinoma z grmovno vegetacijo ter redkimi rdeči bori (*P. slyvestris*), macesni (*L. decidua*), brezami (*B. pendula* ter *B. pubescens*) ter nizkimi smrekami (*P. abies*). Rastlinska združba na rastišču je združba dlakavega sleča in navadnega slečnika *Rhododendro hirsuti-Pinetum prostratae* (syn. *Rhodothamno-Rhododendretum hirsuti*). Združba je ekstraconalna in se normalno pojavlja na nadmorski višini 1400 - 1900 m. Vmes lahko najdemo tudi nekaj elementov drugih negozdnih združb, kot so: alpska vrba (*S. alpina*), kranjska smetlika (*E. cuspidata*) ter rušnata zvončica (*C. cespitosa*). Sklepa se, da hladna mikroklima mrazišča preprečuje, da bi rastišče prerasla okoliška gozdna vegetacija (Wraber, 1963; Košutnik in Presetnik, 2014).

4.1.4 Stanje mrazišča in rastišča severne linejevke

Mrazišče Soteska pri Bohinju je kot habitat ogrožene rastlinske vrste uvrščeno med Ekološko pomembna območja (EPO 29100) po merilu ekosistemske pomembnosti, saj prispeva k ohranjanju biotske raznovrstnosti v Sloveniji (Uradni list RS, št. 48/2004). Na mrazišču je od leta 2012 vzpostavljen monitoring temperatur z namenom preučevanja podrobnejših klimatskih in geomorfoloških značilnosti. Prav tako se naj bi z monitoringom dolgoročno sledilo stanju habitata linejevke in spremljalo morebitne spremembe ekosistema. Prvi rezultati so bili objavljeni leta 2014, zaenkrat je raziskava v mirovanju (Košutnik in Presetnik, 2014; Košutnik, neobjavljeno).

V letu 2018 so z naravovarstvenim soglasjem pristojne enote Zavoda za varstvo narave v Kranju na spodnjem delu rastišča/mrazišča v gozdu postavili zaščitno mrežo z namenom zavarovanja cestnega in železniškega odseka pred podorom in valjenjem skal s pobočja.



Slika 6 a in b: Mreža za varovanje cestnega in železniškega odseka pred valjenjem skal v gozdu na spodnjem delu mrazišča (foto: S. Povhe).

4.2 METODE ZBIRANJA PODATKOV

4.2.1 Floristična analiza raziskovalnega območja

Na raziskovalnem območju smo v juniju 2014 določili posamezne zaplate genetov oz. rametov severne linejevke. Po podrobnejšem pregledu rastišča, smo izbrali deset trajnih popisnih ploskev ($N_{tp} = 10$) v velikosti 1 x 1 m, ki so bile razdeljene še na štiri dele (pod-ploskve). Na pod-ploskvah ($N_{tpp} = 40$) smo popisali rastlinske vrste glede na prisotnost/odsotnost. Popisovali smo v drevesni, grmovni, zeliščni ter mahovni plasti. V letih 2014 in 2015 smo pregledali tudi celotno raziskovalno območje in posebej zabeležili vrste, ki jih v trajnih popisnih ploskvah nismo popisali, prav tako glede na prisotnost/odsotnost vrste.

4.2.2 Ellenbergovi indeksi

S pomočjo literature (Ellenberg in Leuschner, 2010; Ellenberg in sod., 1991) smo za popisane rastlinske vrste poiskali njihove indikatorske vrednosti (t.i. Ellenbergove indekse) za naslednje abiotične lastnosti habitata: svetlobne razmere (L), temperaturne razmere (T), vlažnost tal (F) in kemijsko reakcijo (pH) tal (R). Za vrsto severna linejevka pa smo poiskali še vrednost za oceno založenosti tal z dušikom, N_2 (N).

4.2.3 Spolno razmnoževanje severne linejevke

Spolno razmnoževanje linejevke smo spremljali dve vegetacijski sezoni: leta 2014 od konca julija do sredine novembra in leta 2015 od maja do konca avgusta. Na trajnih popisnih ploskvah smo prešteli nastale cvetove ter kasneje plodove. Štetje je bilo v posamezni sezoni potrebno večkrat ponoviti, saj linejevka tvori nove cvetne osi skozi celotno sezono. Na začetku vegetacijske sezone 2015 smo vse novo nastale cvetne osi označili in prešteli cvetove, nato pa smo prištevali cvetne osi oz. cvetove, ki so nastajali kasneje v sezoni. Sproti smo popisne ploskve pregledovali tudi za nastale plodove.



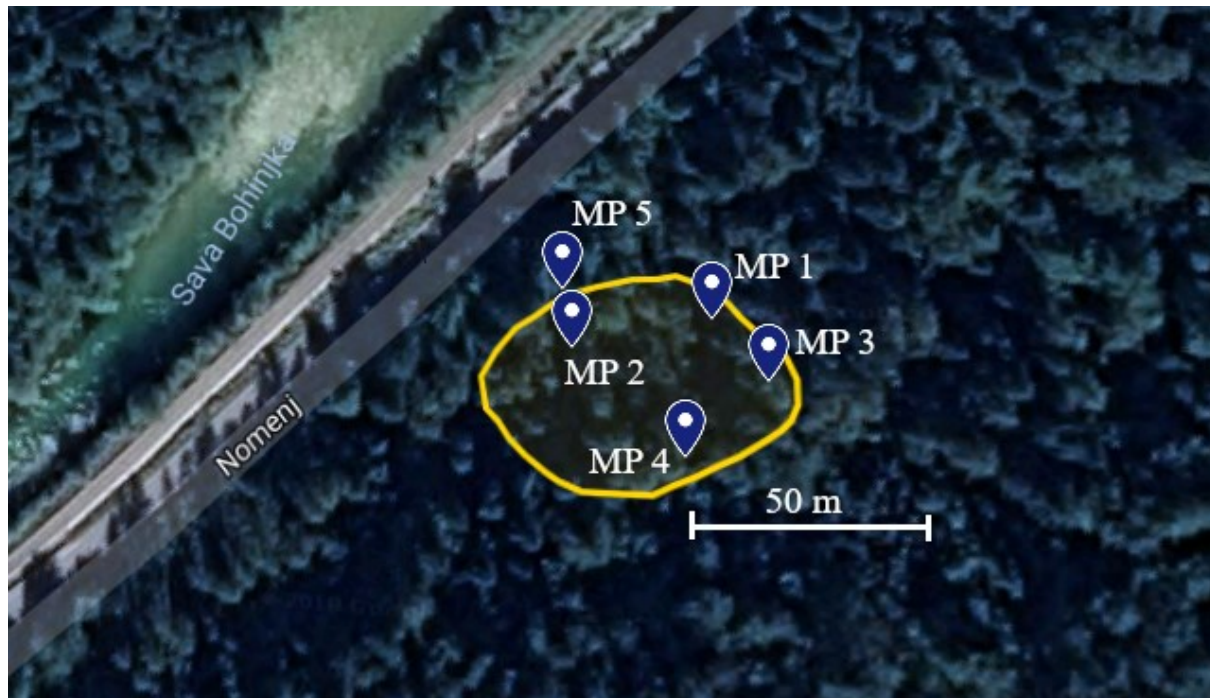
Slika 7: Označen cvetni poganjek (levo) ter glavni poganjek (desno) (foto: S. Povhe).

4.2.4 Razrast severne linejevke

Konec vegetacijske sezone 2014 smo na vsaki trajni popisni ploskvi ($N_{tp} = 10$) izbrali tri sisteme poganjkov ($N_{po} = 30$), katerih rast smo spremljali do aprila 2016. Sisteme smo označili ter izmerili dolžine glavnih, novih pomlajevalnih ter asimilacijskih poganjkov v centimetrih. Označevali smo na razvejitvah glavni-lateralni poganjek. V aprilu 2015 (začetek nove sezone), smo dolžine označenih poganjkov ponovno izmerili in izračunali njihov prirastek. Meritve smo ponovili v juniju ter avgustu 2015, zadnjo meritev pa smo opravili v začetku sezone 2016, ko smo s terenskim delom tudi zaključili. Vsakega izmed poganjkov v sistemu smo upoštevali kot posamezno enoto v vzorcu.

4.2.5 Merjenje temperature na raziskovalnem območju

V obdobju vegetacijskih sezon 2014 in 2015 smo imeli na raziskovalnem območju postavljenih pet merilnih naprav za dolgoročno zajemanje podatkov (TMS-3 dataloggers), ki so nam zbirale podatke o temperaturi (TOMST, 2014). Štiri naprave smo postavili na rastišču, ena pa je bila postavljena v gozd izven rastišča (slika 8). Na lokacijah naprav smo izmerili nadmorsko višino in zabeležili njihove koordinate z GPS-om. Nadmorske višine merilnih naprav (MP) so bile sledeče: MP 1 - 503 m, MP 2 - 499 m, MP 3 - 518 m, MP 4 - 522 m in MP 5 - 496 m.



Slika 8: Lokacije merilnih naprav na rastišču (modro). Raziskovalno območje je označeno z rumeno barvo (vir: <https://www.google.com/maps>, 2. 7. 2018).

Vsaka naprava je bila opremljena s senzorji za temperaturo MAXIM/DALLAS Semiconductor DS7505U+, ki so merili z natančnostjo ± 0.5 °C (TMS Handbook, 2017). Temperaturni senzorji so se na posamezni napravi nahajali na treh mestih: 6 cm v tleh (T1), 2 cm nad površino tal (T2) ter 12 cm nad površino tal (T3). Naprave so zajemale podatke vsakih 15 min.



Slika 9: Merilna naprava (datalogger) za dolgoročno zajemanje podatkov – temperature, s prikazom položajev posameznih senzorjev (foto: S. Povhe).

4.2.6 Kemijska reakcija (pH) podlage

V vegetacijski sezoni 2014 smo izmerili pH podlage na desetih lokacijah na rastišču, kjer smo imeli postavljene trajne popisne ploskve. Merili smo s prenosnim pH metrom Checker ® (Hanna instruments, 2019). Za vsak vzorec smo naredili pet meritev.

4.2.7 Nomenklatura

Nomenklaturu vseh rastlinskih taksonov višjih rastlin smo povzeli po Mali flori Slovenije (Martinčič in sod., 2007). Ker nimamo uradne slovenske nomenklature mahov ter lišajev, smo zanje podali samo latinska imena.

4.3 METODE OBDELAVE PODATKOV

4.3.1 Floristična analiza raziskovalnega območja

Za namen pregleda pojavljanja severne linejevke na raziskovalnem območju smo narisali skico, ki smo jo izrisali s programsko opremo ArcMap (ESRI ArcGIS 10.2.2). V nadaljevanju smo vsaki popisani rastlinski vrsti ($N_v = 39$) na trajnih popisnih ploskvah ($N_{tp} = 10$) določili frekvenco pojavljanja glede na to, v koliko pod-ploskvah ($N_{tpp} = 40$) smo jo popisali. S pomočjo teh podatkov smo izračunali najpogostejše vrste ter družine v neposredni bližini (spremljevalne vrste) severne linejevke. Izračunali smo tudi indeks vrstne pestrosti (število rastlinskih vrst v popisni ploskvi), ki smo ga s Studentovim t-testom primerjali med zgornjim ter spodnjim delom rastišča. Za spodnji del rastišča smo uporabili podatke iz popisnih ploskev 1, 7, 8, 9 ter 10, za zgornji del pa podatke iz popisnih ploskev 2, 3, 4, 5 ter 6. Analizo smo izvedli s programsko opremo SPSS (IBM Corp, 2013).

4.3.2 Ellenbergovi indeksi

Ellenbergove indekse preučevane vrste (*L. borealis*) smo primerjali z abiotskimi podatki, ki smo jih pridobili na terenu. Za analizo indeksov popisanih rastlinskih vrst na raziskovalnem območju smo izračunali povprečja za posamezni indeks ter jih grafično prikazali. Primerjali smo povprečja vrst v treh kategorijah: vse popisane vrste na raziskovalnem območju (skupno), popisane vrste samo v popisnih ploskvah (ploskev), ter najpogosteje popisane vrste na popisnih ploskvah (najpogostejše). Podatke smo obdelali s programsko opremo Microsoft Office Excel (2016).

4.3.3 Spolno razmnoževanje severne linejevke

Za analizo spolnega razmnoževanja severne linejevke smo izračunali razmerje med številom cvetov in številom plodov na posamezni popisni ploskvi ($N_{tp} = 10$) ter znotraj posamezne sezone. Število plodov glede na število cvetov v vzorcu predstavlja razmnoževalni uspeh severne linejevke in je izražen v odstotkih $\pm 95\%$ interval zaupanja. V nadaljevanju smo primerjali razmnoževalni uspeh severne linejevke med spodnjim in zgornjim delom območja ter med sezonama. Za analizo smo uporabili Fisherjev natančni test (ang. *Fisher's exact test*). Za izračun korelacije med številom cvetov in številom plodov smo uporabili Spearmanov korelacijski koeficient. Analize smo izvedli s programsko opremo SPSS (IBM Corp, 2013).

4.3.4 Razrast severne linejevke

Za izračun povprečnega prirastka poganjkov v različnih delih sezone smo uporabili podatke meritev glavnih ter pomlajevalnih poganjkov. V nadaljevanju smo primerjali povprečne dolžine poganjkov med zgornjim in spodnjim delom raziskovalnega območja s Studentovim t-testom pri normalno porazdeljenih podatkih ter Mann-Whitney testom pri podatkih, ki niso imeli normalne porazdelitve. Analize smo izvedli s programsko opremo SPSS (IBM Corp, 2013).

4.3.5 Temperaturne razmere na raziskovalnem območju

Za potrebe analiz smo podatke iz merilnih naprav o temperaturi na rastišču linejevke posamezne merilne naprave združili. Podatke iz merilnih naprav 1 in 2 smo uporabili za prikaz temperaturnega stanja v spodnjem delu raziskovalnega območja (območje spodaj), podatke iz merilnih naprav 3 in 4 pa za stanje v zgornjem delu (območje zgoraj). Podatke smo združili tako, da smo izračunali povprečje vsake posamezne meritve iz obeh naprav. Podatki iz merilne naprave 5 prikazujejo stanje v gozdu v neposredni bližini rastišča, kot kontrola. Primerjali smo povprečne enodnevne temperature med deli raziskovalnega območja (območje spodaj, območje zgoraj ter gozd) s Kruskal-Wallis testom. Naredili smo tudi parne primerjave med vsemi tremi deli območja na vseh treh nivojih merjenja temperature (T1, T2, T3) ter za vsak nivo izračunali velikost učinka (ang. *effect size*) razlik med deli območja. Analize smo izvedli s programsko opremo SPSS (IBM Corp, 2013).

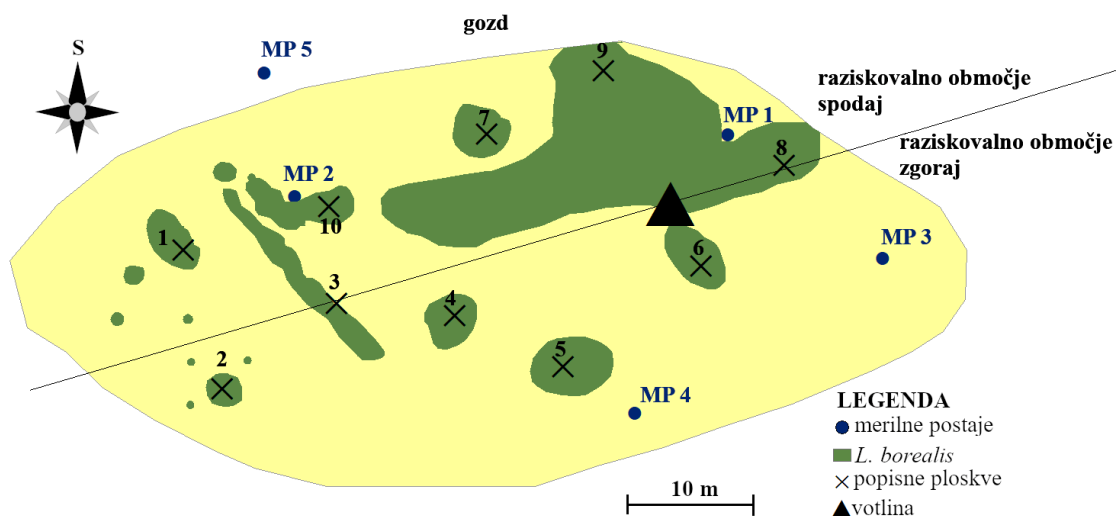
4.3.6 Kemijska reakcija (pH) podlage

Iz pridobljenih meritev na terenu smo izračunali povprečno vrednost na popisno ploskev ter povprečno vrednost vseh popisnih ploskev skupaj in to vrednost primerjali z Ellenbergovimi indeksi.

5 REZULTATI Z DISKUSIJO

5.1 FLORISTIČNA ANALIZA RAZISKOVALNEGA OBMOČJA

Majhna območja, kot je rastišče severne linejevke v Sloveniji, imajo zaradi hitro spreminjajočega okolja vedno večji naravovarstveni pomen. V luči tega smo vrsto podrobneje preučili in popisali prisotnost/odsotnost opazovane vrste ter ostalih vrst na edinem nahajališču pri nas.



Slika 10: Skica razrasti severne linejevke (*Linnaea borealis* L.) na raziskovalnem območju (z zeleno). Celotno raziskovalno območje je označeno z rumeno barvo, črta deli območje na spodnji in zgornji del.

Slika 10 prikazuje okvirno označeno celotno raziskovalno območje (z rumeno) na podlagi GPS koordinat lokacij merilnih naprav. Po podrobnem pregledu raziskovalnega območja smo ugotovili, da se linejevka razrašča predvsem v spodnjem delu rastišča, ki meji na cesto. V tem delu je bilo opaženih več odprtih v tleh, iz katerih piha hladen zrak kot pa v zgornjem delu območja. Na sredini se nahaja votlina, kjer se sneg in led zadržita dlje časa v letu kot v okolici. Vhod v votlino, od koder izhaja hladen zrak, je usmerjen proti spodnjem delu raziskovalnega območja. Prav tako se zaradi gravitacije hladen zrak useda na spodnjem delu pobočja mrazišča (Košutnik in Presetnik, 2014). Sklepali smo, da se pojavlja razlika v mikroklimi že na samem rastišču in da so pogoji za linejevko na spodnjem delu ugodnejši kot na zgornjem.

Najpogostejši popisani rastlinski vrsti zraven severne linejevke sta bili brusnica (*V. vitis-idaea*) ter dlakavi sleč (*R. hirsutum*), obe iz družine vresovk (Ericaceae). Njuna frekvenca je 40, kar pomeni, da sta bili na vseh desetih popisnih ploskvah najdeni v vsakem od štirih delov ploskve. Iz iste družine je bil pogosto popisani tudi slečnik (*R. chamaecistus*; frekvenca 10), ki skupaj z dlakavim slečom sestavlja tamkajšnjo združbo (Wraber, 1963). Slečnik se je predvsem pojavljal v spodnjem delu raziskovalnega območja, med tem ko je bila v zgornjem delu bolj pogosta borovnica (*V. myrtillus*; frekvenca 8). Gost sestoj borovnice je bil najden tudi v gozdu spodaj v neposredni bližini območja. V mahovni plasti so bile najpogostejše vrste *H. splendens* (frekvenca 39), *R. loreus* (frekvenca 18) ter *R. squarrosus* (frekvenca 9) iz družine Hylocomiaceae. Zelo pogost spremljevalec, predvsem v zgornjem delu raziskovalnega območja, je bil tudi brinolistni lisičjak (*L. annotinum*; frekvenca 23). Iz drugih družin so bile največkrat popisane skalna robida (*R. saxatilis*; frekvenca 13), okroglostna zelenka (*P. rotundifolia*; frekvenca 10) ter gozdni črnilec (*M. sylvaticum*; frekvenca 16). Lesne vrste na seznamu (*F. sylvatica*, *A. pseudoplatanus*, *A. alba* ter *S. aucuparia*) so bile na ploskvah najdene v obliki mladih rastlin (kalic), vključno z velikolistno vrbo (*S. appendiculata*), ki pa je bila sicer bolj razraščena v spodnjem delu območja. Na ploskvah je bilo vključno z linejevko popisanih 39 vrst iz 27 različnih družin. Najbolj pestra je bila zeliščna plast, kjer smo popisali 24 vrst ali 61 %, sledila ji je mahovna plast z 10 vrstami oz. 26 %, kalice petih lesnih vrst pa so predstavljale 13 % vseh popisanih vrst. Vresovke so prevladovali tudi po vrstni pestrosti, saj je družini pripadalo 5 vrst, kar je ena petina vrst v zeliščni plasti oz. 13 % od vseh popisanih vrst v ploskvah. V mahovni plasti so bili najpogostejši listnati mahovi (Bryopsida; 7 vrst), znotraj katerih je bila najbolj pestra družina Hylocomiaceae s štirimi vrstami, ki predstavljajo 40 % vrstne pestrosti te plasti oz. 10 % vseh popisanih vrst na ploskvah. Poleg listnatih mahov smo v tej plasti popisali še jetrenjake (*P. porelloides*) ter dve vrsti lišajev (*Cladonia* sp. in *Hypogymnia* sp.). Število vrst je bilo v povprečju večje v zgornjem delu (povprečje 15 vrst) območja kot v spodnjem (povprečje 12 vrst), vendar ta razlika ni bila statistično značilna ($p = 0,063$).

V prilogi (tabela 7) so zapisane še ostale vrste, ki smo jih popisali na raziskovalnem območju. Večino značilnih spremljevalnih lesnih vrst s popisnimi ploskvami nismo zaobjeli. Te vrste so navadni macesen (*L. decidua*), navadna smreka (*P. abies*), rdeči bor (*P. sylvestris*) ter breze (*B. pendula* in *B. pubescens*). V grmovni plasti smo poleg vrbe ter jerebike popisali še navadni brin (*Juniperus communis*). V zeliščni plasti smo našli kar nekaj vrst, ki se pri nas pojavljajo šele od montanskega pasu dalje in jih po navadi ne najdemo pod 800 m nadmorske višine. Te vrste so na primer: alpski srobot (*C. alpina*), planinski slanozor (*H. alpestre*), marjetičasta nebina (*A.*

belidiastrum) ter skalna špajka (*V. saxatilis*). Prav tako smo popisali tipične prebivalke nižinskih oz. listnatih gozdov, kot je na primer navadni jetrnik (*H. nobilis*). Pri nižinskih gozdnih vrstah bi omenili tudi dvolistni vimenjak (*P. bifolia*), ki je, tako kot vse kukavičevke v Sloveniji, zavarovana vrsta. V mahovni plasti bi omenili še prisotnost šotnega mahu (*Sphagnum*), ki sicer ni bil razširjen po celotnem raziskovalnem območju.

Rastlinske vrste na rastišču severne linejevke v Sloveniji je leta 1963 popisal že Wraber (1963). Večina najpogostejših vrst, popisanih na naših popisnih ploskvah (frekvenca ≥ 10), se ujema z njegovim popisom, razen mahu *R. loreus*. Iz rodu *Rhytidiadelphus* je Wraber popisal vrsto *R. triquetrus*, medtem ko smo mi popisali že omenjena *R. loreus* ter *R. squarrosus*. Wraber v mahovni plasti prav tako ni popisal mahu *Brachythecium* sp. ter lišaja *Hypogymnia* sp., ki sta bila tudi pri nas precej redka (frekvenca ≤ 2). V drevesni plasti na Wraberjevem seznamu ni zapisane bele jelke, prav tako ne omenja belega javorja, za katerega je verjetno, da se takrat še ni razširil na rastišče. Je pa Wraber popisal večjo pestrost trav (Poaceae) ter večjo pestrost vrb (*Salix*), med katerimi smo mi zagotovo potrdili prisotnost le velikolistne vrbe. Prav tako nismo potrdili prisotnosti prstastega šaša (*C. digitata*) ter alpske velese (*D. octopetala*), ki je bila po njegovem popisu po območju relativno pogosta. Pri tem bi poudarili, da naš popis izven popisnih ploskev ni bil sistematičen, ampak smo zapisali samo najbolj očitne vrste. Prisotnost vrst, ki jih nismo potrdili, zato ne moremo ovreči. Metoda popisa ter meje raziskovalnega območja pri Wraberju niso točno opredeljene. Na njegovem popisu sta na primer tudi vrsti lepi čeveljc (*C. calceolus*) ter zeleni sršaj (*A. viride*), ki smo ju mi opazili izven našega raziskovalnega območja – v obrobju gozda, kjer linejevke nismo našli. Oba popisa zato primerjamo samo opisno. Hkrati lahko sklepamo, da je med njima preteklo dovolj časa, da je medtem prišlo do sprememb bodisi v razširjenosti linejevke po raziskovalnem območju bodisi v razširjenosti njenih spremljevalnih vrst ali oboje.

Naš floristični popis vseeno potrjuje, da linejevko v Sloveniji najdemo v združbi dlakavega sleča in navadnega slečnika z rušjem *Rhododendro hirsuti-Pinetum prostrate* (syn. *Rhodothamno-Rhododendretum hirsuti*), kot je zapisal že tudi Wraber (1963). Od popisanih 61 rastlinskih vrst na območju (tabela 7) jih je 17 uvrščenih med diagnostično kombinacijo rastlinskih vrst te združbe (Marinček in Čarni, 2018). Združba dlakavega sleča in navadnega slečnika je prisotna v subalpinskem pasu na nadmorskih višinah 1400 do 1900 m in je prilagojena tamkajšnji makroklimi ter je odraz rastiščnih razmer na teh zemljepisnih območjih (Čarni, 2019). Nižje se navadno razvije na osojnih in strmih pobočjih, kjer je razvoj vegetacije

omejen zaradi plazov in snega (Marinček in Čarni, 2018). V našem primeru je združba torej ekstraconalna, saj se je pojavila v gričevnatem pasu na nadmorski višini 500 m. Zaradi nizke nadmorske višine ni popolnoma razvita. Tako kot Wraber (1963) tudi mi nismo popisali rušja (*P. mugo*), ki je za združbo precej značilen (Marinček in Čarni, 2018). Primešani elementi drugih negozdnih združb kot sta npr. kranjska smetlika (*E. cuspidata*) ter rušnata zvončica (*C. caespitosa*) so na ekstraconalnih rastiščih pogost pojav (Wraber, 1963). Združbo najdemo na slabo razvitih tleh, predvsem na skeletnih rendzinah s prevladujočim prhninastim humusom (Marinček in Čarni, 2018), kar drži tudi v našem primeru. Razlog, da se je razvila na tako nizki nadmorski višini, pa je najverjetneje ugodna mikroklima, ki se pojavlja zaradi mrazišča (Košutnik in Presetnik, 2014).

Vegetacijo okoli raziskovalnega območja je Wraber (1963) določil kot gozdno, kjer prevladuje bukov gozd združbe *Anemone trifoliae-Fagetum* var. *Helleborus niger*. Nekatere diagnostične vrste, kot sta že omenjena bukev, beli javor ter navadna zajčja deteljica (*O. acetosella*) in gozdni črnilec (*M. sylvaticum*), smo na popisnih ploskvah popisali tudi v naši raziskavi. Pri tem je bil gozdni črnilec relativno pogost (frekvenca 16). Tudi ta združba je conalna za predalpsko-alpsko fitogeografsko območje in uspeva predvsem na nadmorskih višinah od 900 m do 1500 m (Marinček in Čarni, 2018). Razlog, zakaj jo tu najdemo nižje, verjetno zopet leži v tamkajšnjem mrazišču. Po zadnjih meritvah naj bi se mrazišče raztezalo v ožjem pasu še po pobočju proti severu in naj bi bilo več kot dvakrat večje od našega raziskovalnega območja (Košutnik in Presetnik, neobjavljeno). Predvidevamo, da se vpliv mrazišča pozna tudi na vegetaciji okoli območja. Wraber je še zapisal, da se ponekod pojavlja tudi tip *Stellario glochidispermae-Fagetum*.

Najpogostejše popisane spremljevalne vrste slovenske populacije linejevke se več ali manj ujemajo s spremljevalnimi vrstami tujih populacij (Eriksson, 1988; Niva, 2003; Scobie in Wilcock, 2009; Ciosek in sod., 2015; Muller in sod., 2019). Glavna razlika je, da je bila drugod linejevka popisana v iglastih gozdovih in/ali na višjih nadmorskih legah, medtem ko se v Sloveniji pojavlja v nižini v pasu listnatega (bukovega) gozda.

Tabela 1: Popis rastlinskih vrst na raziskovalnem območju severne linejevke ($N_{\text{tpp}} = 40$).

Ime vrste	Frekvenca	Popisna ploskev										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
bela jelka	<i>Abies alba</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
beli javor	<i>Acer pseudoplatanus</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
trilistna vetrnica	<i>Anemone trifolia</i>	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Brachythecium sp.</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Cladonia sp.</i>	5	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0
šmarnica	<i>Convallaria majalis</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
navadna ciklama	<i>Cyclamen purpurascens</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	<i>Dicranum scoparium</i>	8	0	1	2	0	1	4	0	0	0	0
spomladanska resa	<i>Erica carnea</i>	7	0	3	0	0	0	0	0	4	0	0
navadna bukev	<i>Fagus sylvatica</i>	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
apnenka	<i>Gymnocarpium robertianum</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
hrastovka	<i>Gymnocarpium sp.</i>	3	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
	<i>Hylocomium splendens</i>	39	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4
	<i>Hypogymnia sp.</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
severna linejevka	<i>Linnaea borealis</i>	40	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
belkasta bekica	<i>Luzula luzuloides</i>	7	0	1	1	1	2	0	1	1	0	0
dlakava bekica	<i>Luzula pilosa</i>	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
gozdna bekica	<i>Luzula sylvatica</i>	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
brinolistni lisičjak	<i>Lycopodium annotinum</i>	23	4	4	4	4	4	0	0	0	0	3

gozdni črnilec	<i>Melampyrum sylvaticum</i>	16	2	0	0	0	0	4	3	0	3	4
mahovna popkoresa	<i>Moehringia muscosa</i>	5	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0
enostranska hruškolistka	<i>Orthilia secunda</i>	9	0	0	0	0	1	1	3	2	2	0
navadna zajčja deteljica	<i>Oxalis acetosella</i>	7	0	3	0	0	4	0	0	0	0	0
silj	<i>Peucedanum sp.</i>	4	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0
	<i>Plagiochila porelloides</i>	4	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0
	<i>Pleurozium schreberi</i>	8	0	0	0	1	4	3	0	0	0	0
	<i>Polytrichum sp.</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
okroglostna zelenka	<i>Pyrola rotundifolia</i>	10	3	0	0	0	0	3	2	0	0	2
dlakavi sleč	<i>Rhododendron hirsutum</i>	40	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
slečnik	<i>Rhodothamnus chamaecistus</i>	10	0	0	0	0	0	4	1	0	1	4
	<i>Rhytidadelphus loreus</i>	18	0	2	0	0	4	0	4	4	4	0
	<i>Rhytidadelphus squarrosus</i>	9	0	2	2	1	0	4	0	0	0	0
skalna robida	<i>Rubus saxatilis</i>	13	0	0	0	2	0	4	2	0	1	4
velikolistna vrba	<i>Salix appendiculata</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1
pisana vilovina	<i>Sesleria caerulea</i>	8	1	1	1	3	0	1	0	1	0	0
navadna zlata rozga	<i>Solidago virgaurea</i>	7	0	0	4	1	1	0	0	0	0	1
jerebika	<i>Sorbus aucuparia</i>	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
borovnica	<i>Vaccinium myrtillus</i>	8	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0
brusnica	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	40	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Št. vrst v posamezni popisni ploskvi			9	16	12	15	17	17	12	13	11	16

5.2 ELLENBERGOVI INDEKSI

5.2.1 Ellenbergovi indeksi severne linejevke (*Linnaea borealis* L.)

Ellenbergovi indeksi so bioindikatorske vrednosti rastlin, ki se nanašajo na abiotične dejavnike v okolju in so pokazatelji razmer, v katerih rastlinske vrste uspevajo (Ellenberg in Leuschner, 2010; Ellenberg in sod., 1991).

Tabela 2. Ellenbergovi indeksi vrednosti za preučevano vrsto (*Linnaea borealis* L.).

svetlobne razmere	temperaturne razmere	vlažnost tal	pH tal	založenost tal z N₂
5	x	5	2	2

Po Ellenbergovih indeksih je severna linejevka polsenčna vrsta, ki jo najdemo le izjemoma na polni svetlobi in se najpogosteje pojavlja na več kot 10 % osončenosti (tabela 2). Svetlobnih razmer na terenu nismo preverjali, vendar se podatek ujema s pregledano literaturo o raziskavah na tujih populacijah o vplivu svetlobe na rast (Eriksson, 1988; Broome in sod., 2004; Niva in sod., 2006; Ciosek in sod., 2015). Prevelika zasenčenost je zanjo škodljiva, prav tako naj bi prevelika svetlobna izpostavljenost zaustavljala cvetenje ter rast (Eriksson, 1988; Broome in sod., 2004). Polsenčna lega naj bi bilo torej optimalna. Raziskave na poljskih populacijah kažejo, da naj bi bilo zasenčevanje zaradi povečane gostote krošenj eno izmed glavnih dejavnikov ogrožanja vrste (Ciosek in sod., 2015). V Franciji vrsta sicer uspeva pod relativno gostimi krošnjami, pojavlja pa se tudi nad gozdno mejo. Tu jo deloma senčijo vresovke (vrste rodov *Rhododendron* in *Vaccinium*), poleg skal pa je bila opažena tudi v polni svetlobi (Muller in sod., 2019). Niva in sod. (2006) so opazili, da začne linejevka ob povečani svetlobni izpostavljenosti tvoriti več lateralnih (asimilacijskih) poganjkov za boljši izkoristek svetlobe. To pomeni, da je sposobna tudi fenotipske plastičnosti. Kaže, da ima vrsta relativno širok razpon tolerance glede na jakost svetlobe. Slovenska populacija raste na razmeroma odprtem terenu (jasa sredi gozda), vendar se ta nahaja na relativno strmem severnem pobočju planote Jelovice. Ekspozicija je severna z naklonom 30°. Dopoldansko sonce nima prave moči, popoldansko pa je razmeroma kratkotrajno (Wraber, 1963). Na jasi se predvsem v spodnjem delu pojavljajo drevesa (macesni, breze, vrbe), ki do določene mere zmanjšujejo svetlobno izpostavljenost in omogočajo bolj senčnate pogoje.

Glede na Ellenbergov indeks linejevki ustrezajo srednje vlažna tla. Wraber (1963) je zapisal, da je verjetno zaradi bližine reke precejšnja zračna vlaga, ki naj bi omogočala uspevanje šotnega

mahu (*Sphagnum* sp.). Konkretnih meritev vlage tal na raziskovalnem območju zaenkrat nimamo, o njej lahko sklepamo le iz popisa okoliških rastlin. Potrjena prisotnost šotnega mahu (tabela 7) nakazuje na vlažna tla (Andrus, 1986). Sklepa se, da naj bi bila zaradi slabo razvitega koreninskega sistema linejevka občutljiva na spremembe v vlagi (Eriksson, 1988) in naj ne bi prenašala suše (Youngblood in sod., 2006). V raziskavi na poljskih populacijah so trditev, da se velikost populacije v sušnih obdobjih zmanjša, ovrgli (Ciosek in sod., 2015). V raziskavi na švedski populaciji zmanjšana dostopnost vode ni signifikantno vplivala na rast rametov (Niva in sod., 2006). Kljub temu se kaže, da vrsta preferira podlago z večjo vsebnostjo vode.

Po Ellenbergu linejevka spada med kisloljube (na kisljih in izjemoma tudi nevtralnih tleh) ter vrste močno kisljih tal (vrste, ki se nikoli ne pojavljajo na rahlo kisljih ali bazičnih tleh). To potrjuje literatura (Niva in sod., 2006, Scobie in Wilcock, 2009, Zhang in sod., 2014, Muller in sod., 2019) ter naši terenski podatki. Povprečna vrednost pH raziskovalnega območja, ki smo ga izmerili v letu 2014, je bila 4,88. Nizek pH potrjuje tudi naš popis spremljevalnih vrst, med katerimi so bile najpogostejše predstavnice družine Ericaceae, za katere je značilno, da uspevajo predvsem na kisljih tleh (Marrs in Bannister, 1978).

Linejevka naj bi spadala med vrste tal, revnih z dušikom (najrevnejša območja) ter med vrste, ki jih pogosteje najdemo na tleh, revnih z dušikom (večinoma na revnih tleh in le redko na zmerno založenih tleh in tleh bogatih z dušikom). Preferira torej oligotrofne razmere (Muller in sod., 2019). Po življenjski obliki jo uvrščamo med lesnate hamefite z zimzelenimi listi, kar se sklada tudi s podatki iz slovenske literature (Martinčič in sod., 2007).

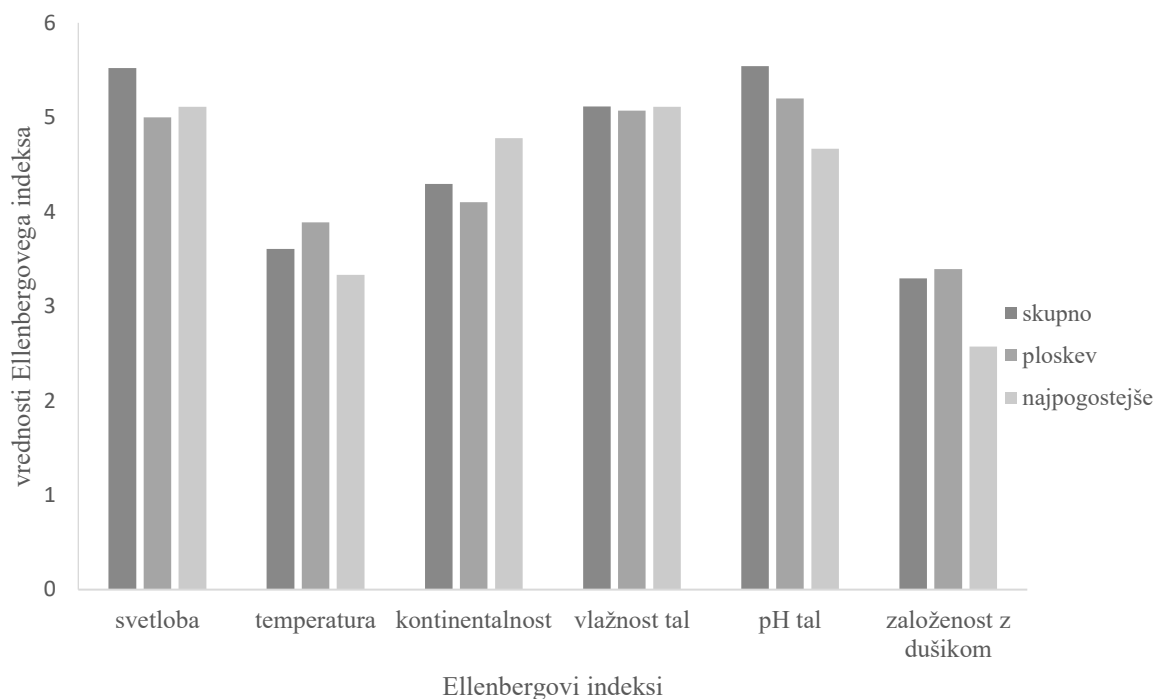
5.2.2 Ellenbergovi indeksi vrednosti spremljevalnih vrst

Spremljevalne vrste, ki smo jih popisali na popisnih ploskvah po Ellenbergovih indeksih uvrščamo večinoma med polsenčne rastline, tako kot linejevko. Če vključimo še preostale vrste, ki smo jih popisali na raziskovalnem območju, se povprečje indeksa za svetlobo nagiba že k polsenčnim do polsončnim, saj tu uspevajo tudi nekatere vrste, ki so izrazito sončne, kot na primer rušnata zvončica (*C. cespitosa*). Povprečje dvigujejo v glavnem negozdne vrste, kot so na primer skalna špajka (*V. saxatilis*) ter kranjska smetlika (*E. cuspidata*). Popisane vrste na območju so večinoma pokazateljice hladnejših razmer (subalpski pas) ter visokogorske in montanske vrste. Že omenjene tri sončne in negozdne vrste so hkrati glede na Ellenbergov indeks temperaturnih razmer tudi izrazito alpinske, prilagojene na nižje temperature in še dodatno nižajo povprečje. Rušnata zvončica in kranjska smetlika se pri nas pojavljata tudi v

nižinah (Martinčič in sod., 2007). Pričakovano je večina popisanih vrst značilnih za srednjo Evropo, s poudarkom na njen vzhodni del. Tako kot linejevki, tudi njenim spremljevalnim vrstam, v večini ustrezajo srednje vlažna tla, na mokrih pa jih ni. Kot že omenjeno, na bolj vlažna tla lahko sklepamo že po prisotnosti šotnega mahu, popisali pa smo tudi na primer močvirsko samoperko (*P. palustris*) in mahovno popkoreso (*M. muscosa*), ki sta prav tako bolj vlagoljubni (Martinčič in sod., 2007).

Tudi spremljevalne vrste po večini preferirajo oligotrofne razmere oz. revna tla in jih redko najdemo na tleh, bogatih z dušikom. V popisu izstopa samo beli javor (*A. pseudoplatanus*), ki preferira z dušikom bogatejša tla in je bil opažen bolj proti robu območja. Podatek o vrstah, ki nakazujejo bolj na revna tla, je bil pričakovan tudi iz naših meritev pH prsti, ki so pokazale na kislno podlago. Kljub temu povprečje Ellenbergovega indeksa za pH tal nakazuje bolj na vrste, ki imajo raje šibko kislila tla (vrednost med 5 in 6), saj smo na območju popisali kar nekaj vrst, ki uspevajo tudi na nevtralnih oz. bazičnih tleh, kot sta na primer navadna ciklama (*C. purpurascens*) ter apnenka (*G. robertianum*).

Prvi dve skupini (skupno in ploskev) na sliki 11 upoštevata pojavljanje vsake vrste enakovredno, saj smo pri tem določili samo prisotnost/odsotnost vrst. Kljub temu so bile določene vrste razširjene po celotnem rastišču, medtem ko smo pri nekaterih popisali samo po par osebkov. Dodali smo še tretjo kategorijo – najpogostejše – kjer smo izračunali povprečja najpogostejših vrst, ki smo jih popisali na popisnih ploskvah. To so vrste, ki so imele frekvenco enako ali večjo od 10. Najbolj očitni razliki sta pri indeksih pH tal ter založenost z dušikom, ki najpogostejše spremljevalne vrste uvrščata eno kategorijo nižje - predvsem kisloljube, ki rastejo na revnih tleh in le izjemoma nevtralnih. To se bolj sklada z našimi meritvami ter raziskavami na drugih populacijah (Niva in sod., 2006, Scobie in Wilcock, 2009, Zhang in sod., 2014, Muller in sod., 2019). Razlika je še vidna pri povprečju indeksa kontinentalnosti, ki uvršča vrste bolj med tiste, ki jim ustreza šibko oceansko do šibko kontinentalno območje. Povprečje je nižje tudi pri temperaturnih razmerah in določa, da gre za vrste predvsem iz subalpinskega pasu. Slednje se prav tako sklada z našimi podatki, saj kar 7 od 9-ih oz. 78 % najpogostejših spremljevalnih vrst spada med diagnostične vrste združbe *Rhododendro hirsuti-Pinetum prostrate* (syn. *Rhodothamno-Rhododendretum hirsuti*), ki je značilna za subalpinski pas (Marinček in Čarni, 2018).



Slika 11: Povprečne vrednosti Ellenbergovih indeksov vseh popisanih rastlinsh vrst (brez linejevke) na raziskovalnem območju. Legenda: skupno - vse rastlinske vrste na raziskovalnem območju; ploskev - rastlinske vrste popisane samo na trajnih popisnih ploskvah; najpogostejše - najpogostejše rastlinske vrste popisane na trajnih popisnih ploskvah.

5.3 SPOLNO RAZMNOŽEVANJE SEVERNE LINEJEVKE

5.3.1 Fenofaze severne linejevke

Največje število cvetov v sezoni 2015 smo prešteli konec maja oz. v začetku junija ($n = 474$). Večina cvetnih poganjkov je imelo namreč na cvetni osi takrat cvetne popke oz. že odprte cvetove. V sezoni 2014 smo prvo štetje cvetov (in plodov) opravili šele julija, ko so poganjki že večinoma odcveteli, vendar lahko glede na njihovo stanje v primerjavi z letom 2015 sklepamo, da je linejevka prav tako začela cveteti že v maju. Linejevka je v obeh letih tvorila nove cvetne poganjke skozi celotno sezono, le v manjši pogostosti, kot na začetku cvetenja. Cveteti je začela že konec maja, z glavnino cvetenja v začetku junija (sezona 2015, predvidoma tudi 2014), novo nastali cvetni poganjki pa so bili opaženi tudi vse do sredine novembra (sezona 2014). Naši podatki se tako deloma ujemajo s podatki v Mali flori Slovenije in s podatki o populacijah drugod po svetu, kjer je zabeleženo, da cveti od junija do poznega julija (Eriksson, 1988; Martinčič in sod., 2007; Scobie in Wilcock, 2009; Zhang in sod., 2014), vendar smo mi zabeležili daljši razpon cvetenja. V obeh sezonah smo v našem vzorcu opazili, da določen delež cvetnih poganjkov razvije samo en cvet (slika 12 a) ali pa cvetov sploh ne razvije.

V povprečju so cvetni poganjki po dveh tednih že razvili cvetne popke. Cvetovi so se odprli v roku 7-10 dni in ostali odprti dober teden. Večinoma so cvetne osi odcvetele po treh tednih od zabeleženih cvetnih popkov. Plodovi so dozoreli en mesec od razcveta (podatki predvsem iz sezone 2015). Če pride do uspešne oploditve, plodnica nabrekne in se poveča za nekaj milimetrov, zrel plod pa je na otip tudi trši in bolj čvrst od neoplojene plodnice (Scobie, neobjavljeno). Nekatere plodnice lahko rahlo nabreknejo in izgledajo kot nezreli plod, kljub temu da ni prišlo do oploditve (Wilcock in Jennings, 1999). Po naših podatkih je bilo potrebno počakati vsaj 2 – 3 tedne po tem, ko so cvetovi odpadli, da smo lahko zagotovo določili plodove. Na sliki 12 je prikazana razlika med zrelim plodom in neoplojeno plodnico (slika 12 b in f). Največ zrelih plodov sezone 2015 je bilo opaženih v začetku julija, s tem da smo nekatere lahko ločili od neoplojenih plodnic že v sredini junija.

Cvetne osi posamezne sezone lahko ostanejo čez zimo. Označene cvetne osi iz sezone 2014 smo našli še v začetku 2016, ko smo zaključili s terenskim delom, kar pomeni, da se lahko obdržijo tudi čez dve zimi.

Poleg cvetnih osi s samo enim cvetom smo opazili še nekaj morfoloških posebnosti, kot so: cvetne osi s 3 – 4 cvetovi (slika 12c), primere, ko iz enega zalistja izrašča več cvetnih poganjkov (slika 12e) ter primer, ko iz sredine cvetne osi poganjka tekoče sezone izrašča nov cvetni poganjek. Pogosto so tudi iz zalistja cvetnih poganjkov prejšnje sezone izraščale nove cvetne osi.



Slika 12: Cvetenje in tvorba plodov v sezonah 2014 in 2015: a – primer cvetne osi z enim cvetom; b – plod v dozorevanju; c – primer cvetne osi s tremi cvetovi (levo); d – zrel plod, ki je ravno odpadel iz cvetne osi; e – več cvetnih poganjkov izrašča iz enega zalistja; f – neoplojeni plodnici (foto: S. Povhe).

5.3.2 Razmnoževalni uspeh severne linejevke

V tabeli 3 so prikazana števila prešteti cvetov ter plodov na popisnih ploskvah v posamezni sezoni. Največ plodov in cvetov je bilo v obeh sezonah zabeleženih v spodnji polovici raziskovalnega območja, kar je bilo pričakovano glede na večinsko razrast linejevke v tem delu. V letu 2014 je bilo spodaj prešteti 85 % cvetov in vsi plodovi, v letu 2015 pa je bilo prešteti 93 % cvetov in 93 % plodov. V obeh sezonah je bil razmnoževalni uspeh nižji od 10 odstotkov, v letu 2014 celo nižji od 5 odstotkov na vseh popisnih ploskvah. V letu 2015 izstopa ploskev 5, kjer smo kljub majhnemu številu cvetov zabeležili 2 plodova (razmnoževalni uspeh je 20 %) in ga lahko štejemo kot izjemen primer.

Tabela 3: Število cvetov in plodov ter razmnoževalni uspeh severne linejevke (*Linnaea borealis* L.) v Sloveniji v letih 2014 in 2015.

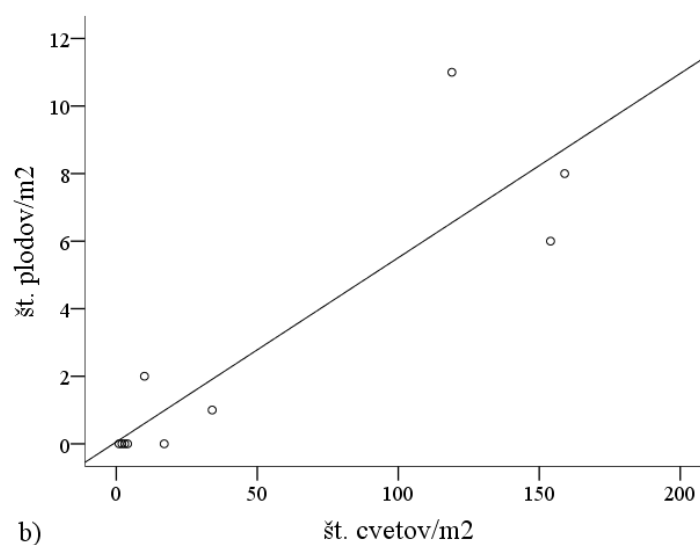
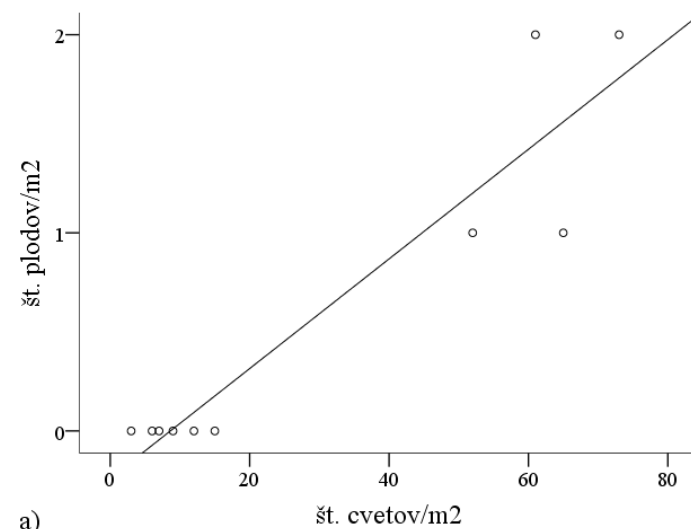
Popisna ploskev	2014			2015		
	Št. cvetov	Št. plodov	Razmn. uspeh (% ± 95% IZ)	Št. cvetov	Št. plodov	Razmn. uspeh (% ± 95% IZ)
1	52	1	1,9 ± 3,7	154	6	3,9 ± 3,1
2	7	0	0,0 ± 0,0	3	0	0,0 ± 0,0
3	3	0	0,0 ± 0,0	1	0	0,0 ± 0,0
4	9	0	0,0 ± 0,0	4	0	0,0 ± 0,0
5	15	0	0,0 ± 0,0	10	2	20,0 ± 24,8
6	12	0	0,0 ± 0,0	17	0	0,0 ± 0,0
7	73	2	2,7 ± 3,7	159	8	5,0 ± 3,4
8	65	1	1,5 ± 3,0	119	11	9,2 ± 5,2
9	61	2	3,3 ± 4,5	34	1	2,9 ± 5,7
10	6	0	0,0 ± 0,0	2	0	0,0 ± 0,0
	303	6	2,0 ± 1,6	503	28	5,6 ± 2,0

*95% IZ = 95% interval zaupanja.

Znotraj trajnih popisnih ploskev ni bilo statistično značilnih razlik v posamezni sezoni (tabela 4). Prav tako ni bilo statistično značilnih razlik v razmnoževalnem uspehu med spodnjim in zgornjim delom raziskovalnega območja v istem letu (2014: $p = 0,596$; 2015: $p = 1$). Statistično značilno razliko v razmnoževalnem uspehu smo dokazali med letoma ($p = 0,017$), pri čemer je bil uspeh v 2015 za 3,6 odstotka višji kot v letu 2014.

Tabela 4: Rezultati primerjav uspeha spolnega razmnoževanja s Fisherjevim testom. Legenda: df – stopnja prostosti, p* – statistično signifikantna razlika ($p < 0,05$).

primerjava	sezona	del rastišča	razmn.	± 95%	df	p (2-stranski)
			uspeh (%)	interval zaupanja		
med popisnimi ploskvami	2014	celotno območje	glej v tabeli 3		9	0,983
	2015		glej v tabeli 3		9	0,333
med leti	2014	celotno območje	2,0	1,6	1	0,017*
	2015		5,6	2,0		
med zgornjim in spodnjim delom rastišča	2014	zgoraj	2,3	1,8	1	0,596
		spodaj	0,0	0,0		
	2015	zgoraj	5,6	2,1	1	1
		spodaj	5,7	7,7		



Slika 13: Korelacija med številom cvetov ter številom plodov v letih 2014 a) in 2015 b).

Za leto 2014 smo izračunali Spearmanov korelacijski koeficient med številom cvetov in plodov v vrednosti $\rho = 0,853$ ($p = 0,002$) za leto 2015 pa $\rho = 0,834$ ($p = 0,003$). V obeh letih gre za pozitivno in močno korelacijo.

Večina plodov v letu 2015 je bila opažena že konec junija in julija. Prav tako je bilo realno število cvetov v letu 2015 verjetno večje, glede na to, da je linejevka v 2014 cvetela vse do novembra, mi pa smo s tereni v 2015 zaključili že konec avgusta. V letu 2014 po avgustu nismo sicer zabeležili nobenega plodu več. Tudi če primerjamo podatke zbrane samo do konca avgusta v obeh letih, dobimo podobne rezultate in statistično značilna razlika ostaja le med letoma.

Jakost cvetenja je bila v letu 2015 večja kot v letu 2014 za skoraj 67 %. Da linejevka ne cveti vsako leto enako, je opazil že Wraber (1963). Razlike v številu cvetov med sezonami so bile zabeležene tudi na škotskih populacijah (Scobie in Wilcock, 2009) ter švedskih (Eriksson, 1988; 1992). Medtem ko avtorji diskutirajo potencialni vpliv abiotskih dejavnikov na ta pojav, dejanskih raziskav, ki bi to potrjevale, še ni bilo. Hkrati je Eriksson (1988) s svojo raziskavo dinamike sistema poganjkov ugotovil, da variacije v cvetenju pri linejevki naj ne bi vplivale na fitnes samih poganjkov na dolgi rok. V primeru škotske populacije med letoma ni bilo statistično značilne razlike v razmnoževalnem uspehu kljub razliki v številu cvetov (Scobie in Wilcock, 2009).

Poleg večjega števila cvetov smo v letu 2015 našli tudi več plodov kot v letu 2014 (tabela 3). Prav tako je bilo največ plodov najdenih na ploskvah, kjer smo našli največ cvetov, zato smo preverili še povezavo med številom cvetov in številom plodov. V obeh sezonah smo dobili močno pozitivno korelacijo (slika 13), iz česar bi lahko sklepali na vpliv jakosti cvetenja na produkcijo plodov. Analize na škotskih (Scobie in Wilcock, 2009) ter kitajskih (Zhang in sod., 2014) populacijah te korelacije niso potrdile. Naše metode zbiranja in analize podatkov so primerljive z njihovimi, vendar sta imeli omenjeni študiji precej večje vzorce. Slednje je lahko razlog, da se pri nas kaže korelacija, pri njih pa ne. V sezoni 2015 je ploskev z največjim številom plodov (tabela 3, ploskev 8) šele tretja po številu cvetov. Večje število cvetov ne pomeni nujno tudi večjega števila plodov. Kljub korelaciji predvidevamo, da so tudi pri slovenski populaciji severne linejevke za nastanek plodov bolj ključni drugi dejavniki.

Naši rezultati prikazujejo velik neuspeh spolnega razmnoževanja slovenske populacije severne linejevke (*Linnaea borealis* L.). Tvorba plodov je bila manjša od 10 odstotkov v obeh

raziskovalnih sezonah. Neuspeh spolnega razmnoževanja v obliki nizke naravne produkcije plodov je bil pri vrsti opažen na različnih koncih areala (Helenurm in Barrett, 1987; Eriksson, 1992; Wilcock in Jennings, 1999; Scobie in Wilcock, 2009; Zhang in sod., 2014; Ciosek in sod., 2015). Pri iskanju razlogov za neuspeh so se v večini osredotočili na raziskovanje razmnoževalnega sistema vrste, opraševalcev ter genetske pestrosti. Najbolj podrobno so slednje preučili na škotskih populacijah (Scobie in Wilcock, 2009; Wiberg in sod., 2016), kjer so ugotovili, da je za razmnoževalni uspeh ključna bližina kompatibilnega partnerja. Tako kot večina ostalih raziskav na vrsti so tudi oni potrdili njeno visoko avto-inkompatibilnost, pri opraševalcih pa so opazili, da so učinkoviti, ampak oprašujejo predvsem na kratke razdalje. Poudarjajo, da poleg tega, da mora biti v populaciji dovolj veliko število genetov, ti za učinkovit prenos peloda ne smejo biti preveč oddaljeni med seboj. Zmanjšano produkcijo plodov pri velikih in razraščenihih rametih so opazili tudi na Kitajskem (Zhang in sod., 2014). Ti so hkrati odkrili, da večji kloni razvijejo tudi več cvetnih osi. Večji kot je klon, večja je verjetnost, da ima posamezen cvet v razdalji, ki še omogoča opraševanje, cvet istega osebka, zaradi česar pravijo, da je geitonogamija (samoopraševanje iz drugega cveta istega osebka) skoraj neizogibna. Zaradi mehanizmov, ki preprečujejo samooploditev, potem ne pride do razvoja plodu. Pri tem je potrebno omeniti, da kljub temu, da je večina raziskav potrdila visoko avto-inkompatibilnost vrste, so z laboratorijskimi poskusi ponekod s samoopraševanjem vseeno uspeli oploditi in razviti semena (Helenurm in Barrett, 1987; Scobie in Wilcock, 2009; Zhang in sod., 2014). Slednje nakazuje bodisi na sposobnost agamospermije (razvoj semena brez oploditve) pri vrsti ali pa vrsta ni popolnoma avto-inkompatibilna. Samoopraševanje pogosto privede do inbridne depresije (Hessing, 1988), ki se kaže tudi v zmanjšani kvaliteti oz. kaljivosti semen (Fischer in Matthies, 1997). Slabo kaljiva semena pri linejevki so opazili tudi na škotski populaciji (Scobie in Wilcock, 2009), kar so povezali ravno z zmožnostjo občasne samooprašitve in samooploditve. Slednje še doda negativen vpliv k reproduktivni izolaciji.

Pri študiji opraševalcev linejevke so ugotovili, da lahko že razdalje večje od 6 metrov med kompatibilnimi partnerji predstavljajo bariero za uspešen prenos peloda. Uspešnost razvoja plodov je bila 30 %, kadar so si bili kompatibilni partnerji oddaljeni 8 metrov ter komaj 5 %, kadar so si bili oddaljeni 30 metrov ali več (Scobie in Wilcock, 2009). Slovenska populacija po rastišču ni razraščena homogeno, temveč raste v zaplatah (slika 10). Celotno rastišče je po naših ocenah dolgo 55 metrov ter široko 45 metrov. Območje, kjer je linejevka najbolj zgoščena (slika 10 – zaplata okoli ploskev 7, 8 in 9) se razprostira približno 30 metrov v dolžino ter 20 metrov v širino. Najbolj oddaljeni ploskvi med seboj sta ploskvi 2 in 9, razdalja med njima je okoli 40

metrov. Sklepamo lahko, da že sama razkropljena razrast linejevke po rastišču potencialno predstavlja razlog za nizek uspeh produkcije plodov, saj so si nekatere zaplate, ki so potencialno lahko genetsko različni osebki, preveč oddaljene za uspešen prenos peloda. Največ plodov je bilo najdeno ravno v delu rastišča, kjer je linejevka najbolj zgoščena (tabela 3, ploskev 7, 8 in 9). Omeniti je potrebno, da smo tu merili tudi največjo razrast poganjkov (slika 14), prav tako so bili ti v povprečju najdaljši. Obstaja verjetnost, da je tu prihajalo do samoopraševanja in da je kakšen plod rezultat le-tega. Pomembnost bližine kompatibilnega partnerja je bila ugotovljena tudi na drugih klonalnih vrstah, kot sta skalna robida *R. saxatilis* (Eriksson in Bremer, 1993) ter bršljanasta grenkuljica (Widén in Widén, 1990), kjer je bila pri 10 metrov oddaljenosti med partnerjema uspešnost komaj 4 odstotna, za razliko od 2 metrov oddaljenosti, kjer je bila uspešnost 50 odstotna.

Vzporedno z našo raziskavo je potekala tudi genetska analiza slovenske populacije, kjer so določili zelo nizko genetsko diverziteto. V preučeni 15 vzorcih so našli samo 8 različnih genotipov. V raziskavo so vključili tudi vzorce iz avstrijske populacije v Gurtkalerskih Alpah, ki je naši populaciji najbližja in tudi ta je bila genetsko osiromašena. Zanimivo odkritje raziskave je bilo, da sta si populaciji kljub relativno majhni zračni razdalji genetsko zelo različni (Kelc, 2018). Genetska osiromašenost v kombinaciji s heterogeno razrastjo po rastišču in izoliranostjo populacije kaže, da vrsta v Sloveniji doživlja neuspeh v spolnem razmnoževanju iz enakih razlogov kot škotske populacije, tj. pomanjkanje kompatibilnih spolnih partnerjev in izolacija na rastišču, ki še dodatno onemogoča uspešen prenos peloda med njimi (Scobie in Wilcock, 2009). Na Škotskem je vrsto do takšnega stanja pripeljala fragmentacija in izguba naravnega habitata zaradi človeka (sekanje naravnih borovih gozdov) in posledice so drastične. 78 % vseh zaplat sestavlja samo en genotip in samo 16 % jih je zmožno razviti plod oz. seme (Wiberg in sod., 2016). V Sloveniji se po genetski analizi še vedno sklepa, da se je vrsta tu ohranila kot glacialni relikv (Kelc, 2018) in je bila včasih skupaj s preučevano avstrijsko del celotne alpske populacije. Vrsta je torej tudi tu utrpela fragmentacijo ter izgubo habitata, le da je bila ta naravna (otoplitev po zadnji ledeni dobi). Genetska diverziteta in trenutna sposobnost spolnega razmnoževanja slovenske populacije naj bi bila posledica efekta ozkega grla, ki je temu sledilo, ter dolgoročne izolacije. Gaudeul in sod. (2019), ki so izvajali genetske raziskave francoskih populacij linejevke v zahodnih Alpah, prav tako predvidevajo, da so alpske populacije relikvi kvartarnih poledenitev. Zanimivo je, da so tam opazili visoko genetsko diverziteto na regionalni ravni. Iz tega bi lahko sklepali na visok potencial spolnega razmnoževanja in na splošno ugodno stanje vrste na dani lokaliteti. Ker pa avtorji tekom

raziskave niso opazili skoraj nič kalic in v raziskavo ni bil vključen terenski pregled uspešnosti plodenja, obstaja možnost, da je visoka genetska diverziteta posledica spolnega razmnoževanja, ki se je dogajalo v preteklosti, sedaj pa se več ne.

Z našo terensko raziskavo smo v kombinaciji z genetsko analizo dobili dobršen vpogled v trenutno stanje vrste in deloma tudi v njeno preteklost. Linejevka v Sloveniji še ni čisto izgubila zmožnosti spolnega razmnoževanja, kaže pa, da gre njena prihodnost ravno v to smer. Da bi lahko slednje zagotovo trdili, bi bile potrebne še nadaljnje študije, ki bi nam pomagale tudi pri vzpostavitvi primernih ukrepov za ohranitev vrste pri nas. Predlagamo obširno raziskavo aktivnosti in efektivnosti opraševalcev, saj nam bi ta dala vpogled v povezanost zaplat genotov na rastišču. Prav tako bi bilo dobro preučiti, kolikšen del plodov je rezultat samooploditve oz. kakšna je nevarnost inbridne depresije.

5.3.3 Naravovarstvene implikacije in ohranjanje ogroženih populacij

Glede na zgornje rezultate nizkega uspeha spolnega razmnoževanja sklepamo da so tudi v slovenski populaciji kalice zelo redke. Tekom naše raziskave nismo opazili nobene. Brez semen in kalic je vrsta odvisna predvsem od klonalnega razmnoževanja, zaradi česar so njene migracijske sposobnosti ter genetska diverziteta okrnjene. Na dolgi rok je s tem vrsta izredno dovzetna na stohastične okoljske spremembe, iz katerih si brez intervencije ne bo opomogla. Slednje je v času klimatskih sprememb ter globalnega segrevanja lahko še posebej nevarno. V Veliki Britaniji so s simulacijami določili, da je vrsta potencialno občutljiva na klimatske spremembe. V Franciji so sicer opazili, da se vrsta pojavlja na različnih nadmorskih višinah in predvidevajo, da ima širok razpon tolerance pri temperaturi in padavinah. Kljub temu so populacije na nižjih nadmorskih višinah najbolj na udaru, ko bo prišlo do dviga temperatur (Muller in sod., 2019). Genetska diverziteta je pri vrstah kot je linejevka torej izredno pomembna za ohranjanje zmožnosti spolnega razmnoževanja in s tem zmožnosti prilagoditve na okoljske spremembe ter dolgoročni obstoj. Scobie in Wilcock (2009) predlagata introdukcijo kompatibilnih spolnih partnerjev v genetsko osiromašene populacije. To se lahko doseže z umetnim navzkrižnim opraševanjem oz. prenosom semen, kalic ali odraslih osebkov med skrbno izbranimi kompatibilnimi populacijami. Te populacije ne smejo biti preveč oddaljene, da pri introdukciji ne pride do avtbridne depresije in izgube lokalno prilagojenih genotipov. Naši populaciji je najbližja že omenjena avstrijska, ki lahko zaradi genetskih razlik potencialno predstavlja kompatibilno populacijo. Potrebne so nadaljnje raziskave, ki bi nam povedale, na

kakšne abiotične in biotične dejavnike je ta populacija prilagojena, da lahko to kompatibilnost zagotovo določimo.

5.4 RAZRAST SEVERNE LINEJEVKE

Tabela 5 prikazuje deskriptivno statistiko povprečnega prirastka preučevanih poganjkov v obdobjih med posameznimi meritvami njihovih dolžin. Pričakovano je bila največja rast izmerjena v topli polovici leta, med aprilom ter avgustom. Rast je v hladni polovici zmanjšana, vendar ni popolnoma zaustavljena.

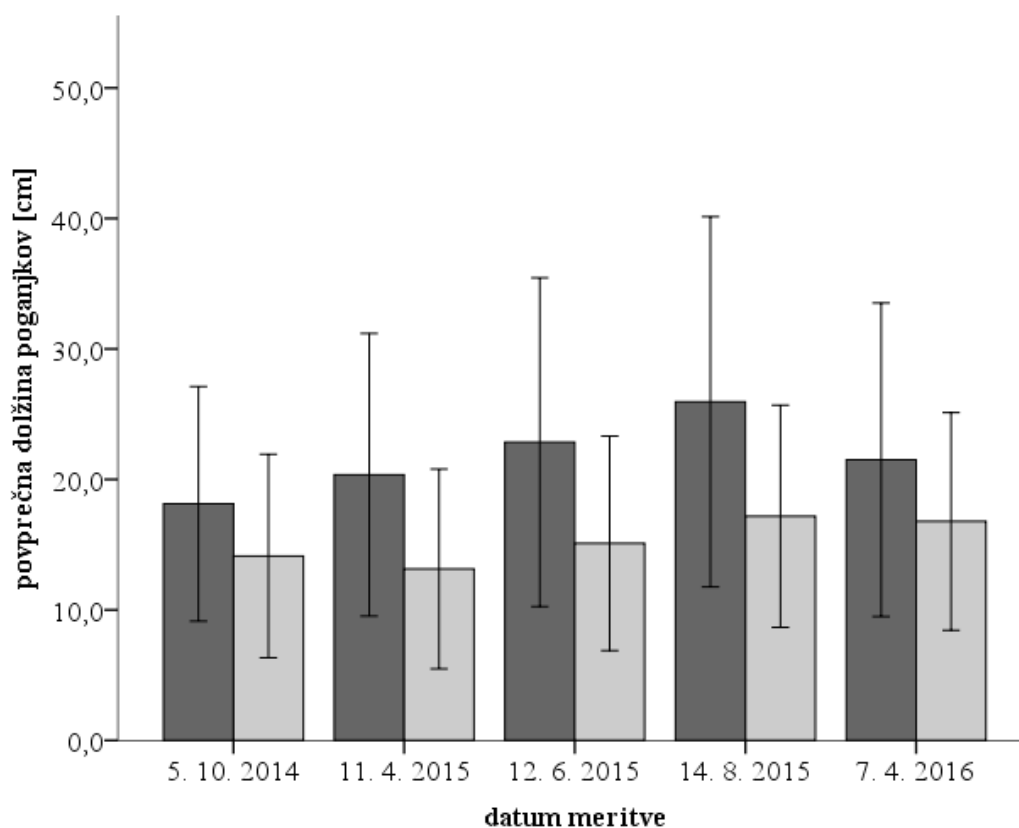
Tabela 5: Deskriptivna statistika (vzorčno povprečje, standardni odklon, minimum in maksimum) prirastka severne linejevke v različnih delih leta v obdobju med 5. 10. 2014 ter 6. 4. 2016. Legenda: N_{po} = število izmerjenih poganjkov; povprečje = povprečna dolžina poganjkov; SD = standardni odklon; Max = maksimalna dolžina poganjka; Min = minimalna dolžina poganjka.

Obdobje med dvema meritvama prirastka	5. 10. 14 – 11. 4. 15	11. 4. 15 – 12. 6. 15	12. 6. 15 – 14. 8. 15	14. 8. 15 – 6. 4. 16
N_{po}	37	40	46	39
Povprečje [cm]	1,16	4,24	4,22	1,73
SD [cm]	1,30	3,32	3,86	1,78
Max [cm]	5,1	11,3	12,9	7,3
Min [cm]	0	0,1	0	0

Slika 14 prikazuje povprečne dolžine poganjkov v spodnji ter zgornji polovici raziskovalnega območja. Poganjki v spodnjem delu raziskovalnega območja so bili v povprečju daljši pri vsaki meritvi. Razlike so statistično značilne ($p < 0,05$) samo v obdobju najbolj aktivne rasti, torej pri 2. (11. 4. 2015), 3. (12. 6. 2015) ter 4. meritvi (14. 8. 2015).

Merili smo rast tako glavnih kot tudi pomlajevalnih poganjkov. Iz meritev lahko sklepamo, da je klonalna rast precej močna v slovenski populaciji in da se linejevka tu vegetativno uspešno razmnožuje. Naši podatki ne potrjujejo teze, da velikost rameta signifikatno zniža produkcijo plodov in cvetov zaradi geitonogamije (Zhang in sod., 2014). Največ cvetov in plodov smo namreč našli ravno na ploskvah, kjer smo merili najdaljše poganjke. Je pa res, da naši poganjki v povprečju niso presegali 50 cm v dolžino. V omenjeni raziskavi na kitajski populaciji se je namreč statistično značilna razlika v produkciji plodov pokazala pri rametih, ki so bili daljši od

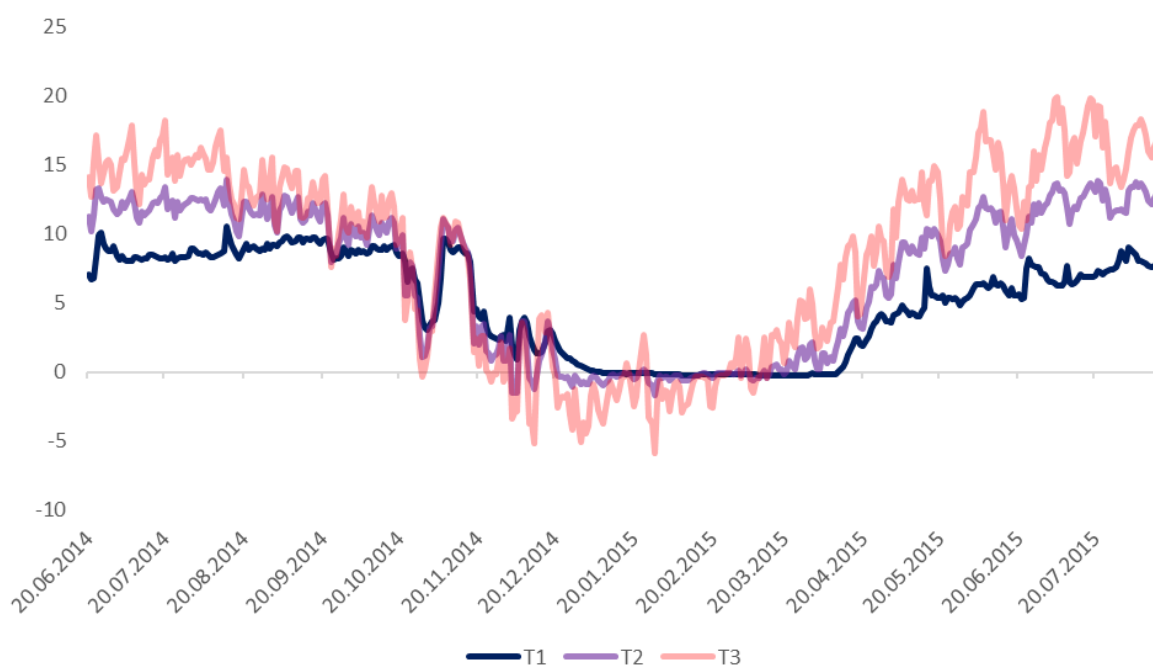
50 cm. Da bi lahko zagotovo izločili možnost geitonogamije, bi bilo potrebno v izmeriti tudi velikost oz. površino posameznih zaplat klonov.



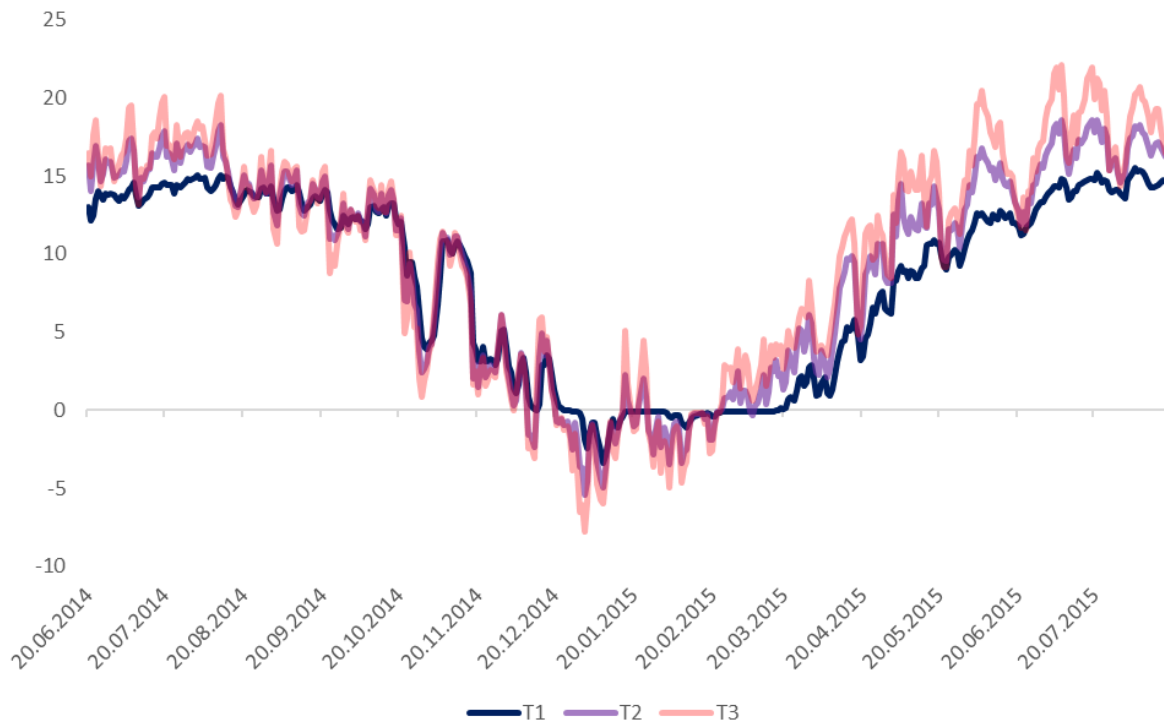
Slika 14: Povprečne dolžine poganjkov v spodnjem (temno sivo) ter zgornjem (svetlo sivo) delu raziskovalnega območja v različnih obdobjih leta.

5.5 TEMPERATURNE RAZMERE NA RAZISKOVALNEM OBMOČJU

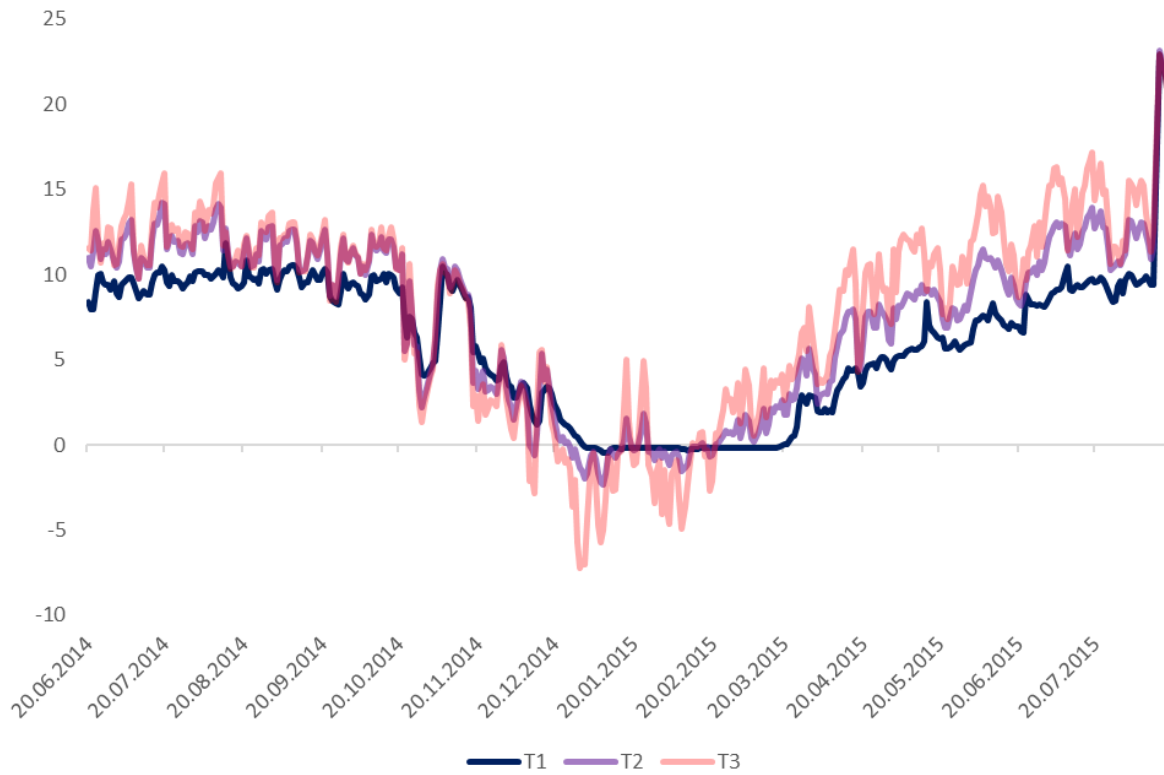
Spreminjanje temperaturnih razmer na raziskovalnem območju v obdobju od 20. 6. 2014 do 17. 8. 2015 smo prikazali na slikah 15-17. Na posameznem grafu je prikazano spreminjanje temperature na vseh treh nivojih merjenja – 6 cm pod površino tal (T1), na površini tal (T2) ter 12 cm nad površino tal (T3). V tabeli 6 je podana opisna statistika zbranih podatkov: povprečne vrednosti, standardni odklon, minimum ter maksimum za vse tri nivoje na zgornjem in spodnjem delu območja ter v gozdu v neposredni bližini območja.



Slika 15: Temperaturne razmere v spodnjem delu raziskovalnega območja – združeni podatki merilnih naprav 1 in 2, zajeti v obdobju od 20. 6. 2014 do 17. 8. 2015.



Slika 16: Temperaturne razmere v zgornjem delu raziskovalnega območja – združeni podatki merilnih naprav 3 in 4, zajeti v obdobju od 20. 6. 2014 do 17. 8. 2015.



Slika 17: Temperaturne razmere v gozdu v neposredni bližini raziskovalnega območja – podatki iz merilne postaje 5, zajeti v obdobju od 20. 6. 2014 – 17. 8. 2015.

Najvišje in najnižje temperature so bile na vseh treh lokacijah izmerjene 12 cm nad površino tal (T3). Najmanjše nihanje med najnižjo in najvišjo T pa je bilo izmerjeno v tleh (T1). Temperature v tleh so navadno najnižje in tudi najbolj konstantne. Tla imajo večjo toplotno kapaciteto v primerjavi z zrakom, po navadni tudi nižjo prevetrenost, pozimi se pojavlja led in ni neposrednega sončnega obsevanja. Vegetacija ter prst na površini pogostokrat predstavljata temperaturo izolacijo. Dnevne in sezonske spremembe talnih temperatur sledijo zračnim z zamikom, na določeni globini pa je temperatura celo konstantna (Florides in Kalogirou, 2005). Ta zamik sta komentirala tudi Košutnik in Presetnik (2014), ki sta pri svojih meritvah temperature tal mrazišča v letih 2012 in 2013 opazila izrazite razlike med poletnimi ter zimskimi temperaturami. Poletni režim sta poimenovala zaprt sistem, ko iz podornega gradiva izhaja hladen zrak, na katerega temperatura ozračja vpliva minimalno. Pozimi pa je bil viden t. i. odprt sistem, ko temperatura tal mrazišča sledi spremembam temperature ozračja. Opazila sta tudi vpliv taljenja ledu (ang. *zero curtain effect*) - v spodnjem delu mrazišča in v zaledju jame se je led stalil šele konec septembra (do takrat so bile temperature blizu ničle), medtem ko se v zgornjem delu mrazišča talne temperature dvignile že v aprilu. Pri naših meritvah omenjena sistema nista čisto jasno vidna pri temperaturi tal (T1) na nobenem delu rastišča. Na vseh treh lokacijah je sicer temperatura tal začela po zimi naraščati z zamikom v primerjavi z ostalima dvema (vpliv taljenja ledu). Slednje je najbolj vidno v spodnjem delu rastišča, kjer so razlike med tremi nivoji merjenja tudi najbolj očitne (slika 15). Vpliv taljenja ledu se v našem primeru pojavi že aprila. Razlog za te razlike med našimi meritvami ter njihovimi meritvami verjetno tiči v lokaciji samih senzorjev. Njihovi senzori v spodnjem delu rastišča so bili postavljeni v zaledju jame oz. malo nižje v liniji z jamo, medtem ko sta bili naši merilni postaji bolj ob robovih spodnjega dela rastišča.

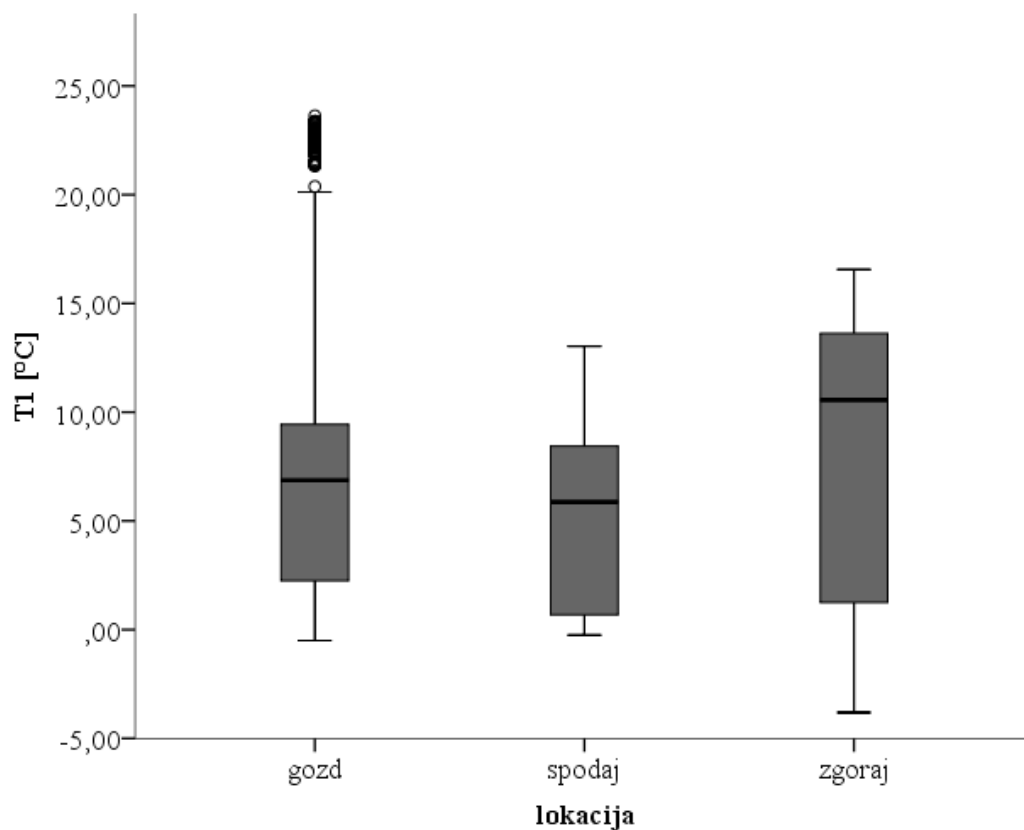
Temperatura vpliva na fenofaze posamezne vrste in linejevka pri tem ni izjema (Helenurm in Barrett, 1987). V sezoni 2015 je imela linejevka vrhunec cvetenja konec maja oz. začetek junija. Temperatura tal (T1) na rastišču (MP 1-4) je bila takrat v povprečju 8,2°C, temperatura ozračja (T3) pa v povprečju 13,54°C. Temperatura vpliva tudi na aktivnost opraševalcev, pri čemer mora biti ta dovolj visoka. Čmrlji, ki so bili opaženi med opraševalci linejevke (čeprav redki), na primer postanejo aktivni pri temperaturah nad 10°C. Večina opraševalcev potrebuje še višje temperature (Helenurm in Barrett, 1987). Največ zrelih plodov smo našli v juliju, ko so bile v povprečju temperature (v tleh ter v zraku) tudi najvišje v letu. V poglavju fenofaz smo omenili, da smo v sezoni 2014 našli cvetove tudi v novembru. Na sliki 15 in 16 lahko vidimo vrh v tem obdobju, kjer so se temperature tako v tleh kot v ozračju dvignile nad 10 °C v

povprečju. Sklepamo, da je bil to razlog, da je v tej sezoni linejevka cvetela še tako pozno. Po podatkih iz vremenološke postaje Bohinjska Češnjica, ki je našemu rastišču najbližja, je bil november 2014 hkrati tudi zelo deževen (ARSO Meteo, 2017). Vrsta je sicer bolj vlagoljubna, vendar lahko povečane padavine negativno vplivajo na dejavnost opraševalcev (Lawson in Rands, 2019). Predvidevamo, da je bilo opraševanje takrat malo verjetno. Isti podatki kažejo tudi, da je bila sezona 2015 bolj suha kot sezona 2014. Možno, da so bile v letu 2015 razmere za opraševalce bolj ugodne in smo zato takrat našli več plodov.

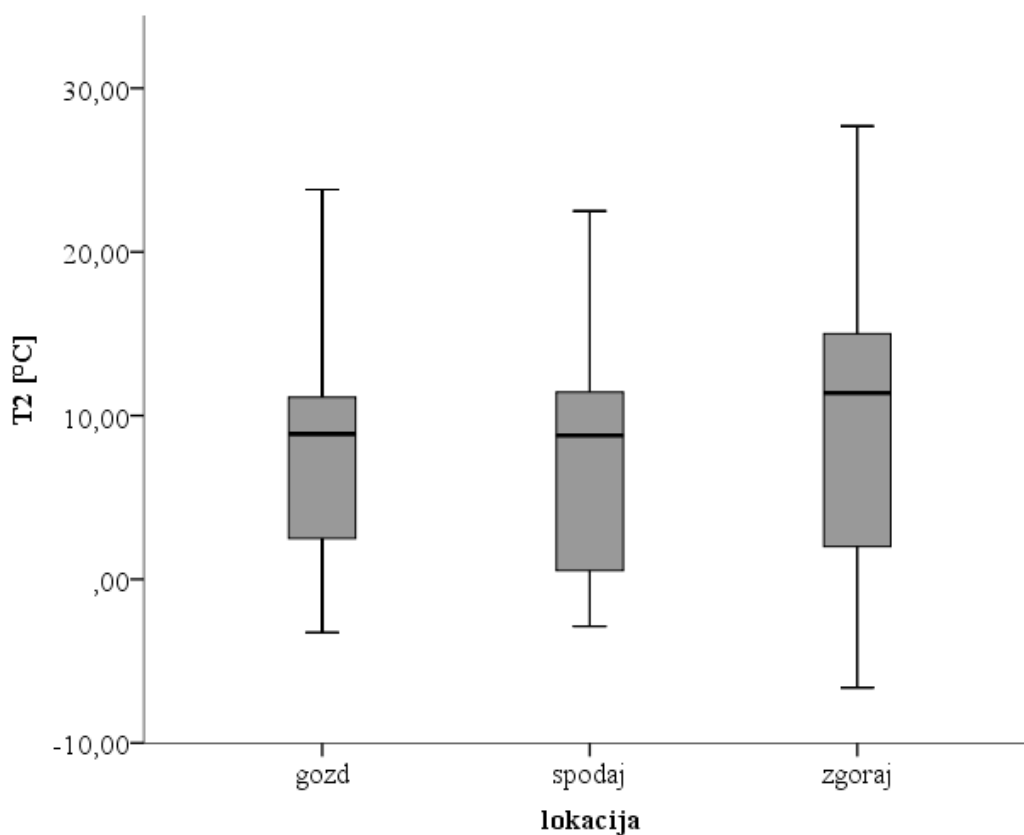
Primerjave temperaturnih razmer med lokacijami na posameznem nivoju merjenja so razvidne na slikah 19-21. Razlike med deli raziskovalnega območja so najbolj izražene v temperaturi tal (T1), pri čemer je stanje na spodnjem delu rastišča podobno gozdu v neposredni bližini rastišča. Na zgornjem delu rastišča je bila temperatura tal v povprečju najvišja (slika 20). Najmanj razlik je v temperaturah vidnih 12 cm nad tlemi (T3), kjer sta si povprečja v gozdu in na spodnjem delu rastišča še bližje, povprečje v zgornjem delu rastišča pa je zopet višje. V tabeli 6 vidimo, da so bile v splošnem temperature v zgornjem delu rastišča najvišje na vseh treh nivojih.

Tabela 6: Povprečne vrednosti temperatur s standardnim odklonom ter minimalno in maksimalno vrednostjo v obdobju od 20. 6. 2014 do 17. 8. 2015.

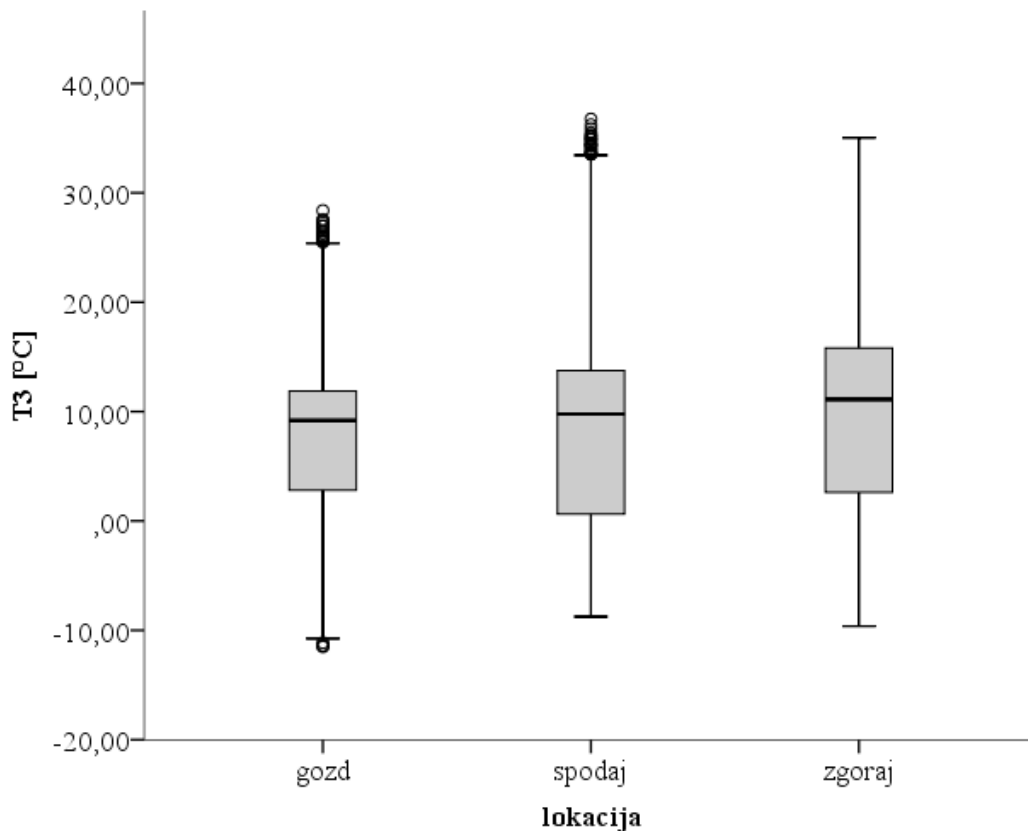
	Raziskovalno območje spodaj	Raziskovalno območje zgoraj	Gozd
T1 [°C]	4,99 ± 3,67 (-0,25 – 13,03)	8,14 ± 6,03 (-3,81 – 16,65)	6,00 ± 4,25 (-0,50 – 23,63)
T2 [°C]	6,99 ± 5,58 (-2,88 – 22,50)	9,22 ± 7,19 (-6,63 – 27,69)	7,40 ± 5,31 (-3,25 – 23,81)
T3 [°C]	8,60 ± 8,07 (-8,75 – 36,75)	9,87 ± 8,19 (-9,63 – 35,03)	8,06 ± 6,65 (-11,50 – 28,38)



Slika 18: Primerjava temperaturnih razmer 6 cm pod površino tal (T1) med lokacijami.



Slika 19: Primerjava temperaturnih razmer na površini tal (T2) med lokacijami.



Slika 20: Primerjava temperaturnih razmer 12 cm nad površino tal (T3) med lokacijami.

Tabela 7: Rezultati primerjav povprečnih dnevni temperatur med lokacijami (spodaj, zgoraj, gozd) s Kruskal-Wallis testom na vseh treh nivojih merjenja. Legenda: df – stopnja prostosti, p* – statistično signifikantna razlika ($p < 0,05$).

Temperaturni nivo	χ^2	df	p-vrednost	parna primerjava		velikost učinka
T1	105,981	2	p = 0,000*	spodaj-gozd	p = 0,000*	0,083
				spodaj-zgoraj	p = 0,000*	
				gozd-zgoraj	p = 0,000*	
T2	58,055	2	p = 0,000*	spodaj-gozd	p = 1,000	0,046
				spodaj-zgoraj	p = 0,000*	
				gozd-zgoraj	p = 0,000*	
T3	29,629	2	p = 0,000*	spodaj-gozd	p = 0,062	0,023
				spodaj-zgoraj	p = 0,000*	
				gozd-zgoraj	p = 0,006*	

Primerjava dnevni temperatur s Kruskal-Wallis testom je podala statistično značilno razliko med deli rastišča na vseh treh nivojih merjenja (tabela 7). Kot smo že omenili pri sliki 19, so te razlike najmočnejše v tleh (T1). Pri parni primerjavi med lokacijami vidimo, da do statistično značilnih razlik ne pride samo med gozdom in spodnjim delom rastišča pri temperaturi na površini tal (T2) ter nad tlemi (T3). Med deli rastišča torej obstajajo mikroklimatske razlike, ki so najbolj očitne v tleh. To je smiselno, saj lahko sklepamo, da mrazišče neposredno vpliva na mikroklimo na rastišču skozi grohasta tla, kjer je med gruščem ujet led. Razlog, da prihaja do razlik pa verjetno tiči v sami strukturi rastišča. Kot že omenjeno, je jasa pod naklonom. Gravitacijski tok hladnega zraka iz masiva povzroči, da se ta zadrži v spodnjem delu. Posledično se tu dlje časa zadrži tudi led (Košutnik in Presetnik, 2014). Predvidevamo, da ta vpliv gravitacijskega toka hladnega zraka sega tudi do lokacije naše merilne postaje v gozdu (slika 8, MP5). Tu smo sicer pričakovali višje temperature, saj naj bi bila ta lokacija merilne postaje izven mrazišča. Košutnik in Presetnik (2014) sta v svoji raziskavi v bukovem gozdu v tleh izven mrazišča namreč beležila v povprečju za več kot 4 stopinje višje temperature. Njihov senzor je bil postavljen v gozdu na desni strani rastišča (smer proti cesti), višje na pobočju. Kot smo že omenili, naj bi po zadnjih podatkih mrazišče obsegalo večje območje kot se je predvidevalo v času naše raziskave in meje naj bi šle tudi čez lokacijo naše gozdne merilne postaje (Košutnik in Presetnik, neobjavljeno). Upoštevajoč še gravitacijski tok zraka, ki je šel ravno v to smer, sklepamo da izbira lokacije postaje, ki naj bi nam dala vpogled v razmere izven vpliva mrazišča, ni bila primerna v ta namen.

Na podlagi primerjave mikroklimatskih razmer na različnih delih rastišča lahko sklepamo, da ima temperaturni dejavnik vpliv na razrast linejevke. Pri tem se kaže, da ima temperatura tal največji učinek, vrsti pa ustrezajo nižje temperature. Temperatura tal je neposredno pogojena z mraziščem, na razliko med spodnjim ter zgornjim delom pa verjetno vpliva sam naklon mrazišča. Iz tega sklepamo, da mrazišče pogojuje obstoj rastišča severne linejevke v Sloveniji in njeno razrast po njem. Slednje sta s svojo raziskavo potrdila tudi Košutnik in Presetnik (2014).

Zgornji sklepi so smiselni še posebej, če pri analizi naših podatkov upoštevamo samo rezultate Kruskal-Wallis testa. Omeniti je potrebno, da je bil naš nabor podatkov relativno velik, saj so merilne postaje zbirale podatke o temperaturah na vsako uro več kot eno leto. Če obstaja kakšen odnos med primerjanimi skupinami podatkov, je večja verjetnost, da bo pri velikih vzorcih statistično značilen, ne glede na jakost tega odnosa (Thiese in sod., 2016). Zato smo v našem

primeru preverili tudi velikost učinka (ang. *effect size*) razlik v temperaturah med različnimi deli rastišča, ki nam pove ravno, kako močne so te razlike. Vidimo, da na podlagi velikosti učinka (tabela 7), kljub majhnim p vrednostim, te razlike niso tako velike oz. njihov učinek ni velik (Mangiafico, 2016). Obstaja torej verjetnost, da na razrast linejevke vpliva tudi kakšen drug abiotski dejavnik. Dejavnika, ki bi potencialno lahko imela vpliv, sta svetlobna izpostavljenost ter vlaga v tleh (Niva in sod., 2006). Predlagamo, da se v nadaljnjih raziskavah izvede tudi te meritve. Dober vpogled v abiotske dejavnike, ki pogojujejo razrast linejevke, je lahko ključen pri uspešni izvedbi morebitnih naravovarstvenih ukrepov za ohranitev vrste, kot so introdukcija novih genotov. Pri tem ukrepu bo namreč pomembno, da so ti geneti na rastišče vnešeni tako, da se ne bodo razrašali preveč heterogeno (v zaplatah) ter v prevelikih razdaljah za uspešno spolno razmnoževanje med seboj.

6 ZAKLJUČKI

Z našo raziskavo smo pridobili prve konkretne terenske podatke o stanju slovenske populacije severne linejevke (*Linnaea borealis* L.) ter o strukturi in značilnostih njenega edinstvenega rastišča pri nas.

S podrobnim pregledom rastišča smo ugotovili, da se linejevka po njem razrašča zelo heterogeno. Vrsta je razraščena predvsem v spodnjem delu rastišča, iz česar smo sklepali o obstoju mikroklimatskih razmer na rastišču, ki potencialno vplivajo na razrast vrste po njem. Naše meritve temperatur na območju so slednje delno potrdile. V spodnjem delu rastišča naj bi bile te v povprečju nižje, kar povezujemo z naklonom ter gravitacijskim tokom hladnega zraka. Nižje temperature, predvsem v tleh, pa linejevki bolj ustrezajo. Ker temperaturne razlike med deli območja niso tako velike, je razlog za heterogeno razrast vrste lahko tudi drugje. S pregledom smo izpolnili prvi cilj raziskave ter deloma potrdili prvo hipotezo o statistično značilnem vplivu strukture ter abiotskih dejavnikov rastišča na razraščanje ter obstoj vrste na njem.

Najpogostejši spremljevalni vrsti severne linejevke v Sloveniji sta bili brusnica (*V. vitis-idaea*) ter dlakavi sleč (*R. hirsutum*), obe iz družine vresovk. Zelo pogosto je bil popisan tudi navadni slečnik (*R. chamaecistus*), ki skupaj s slečom sestavlja tamkajšnjo združbo *Rhododendro hirsuti-Pinetum prostrate* (syn. *Rhodothamno-Rhododendretum hirsuti*). Združbo je določil že Wraber (1963), mi pa smo jo z našim popisom rastlinskih vrst potrdili. Združba je na območju azonalna in jo običajno najdemo na nadmorskih višinah 1400 do 1900 m (Čarni, 2019). Tu se je razvila zaradi ugodne klime, ki jo povzroča mrzasišče. Naš popis rastlinskih vrst se ujema s popisi spremljevalnih vrst populacij linejevke drugod (Eriksson, 1988; Niva, 2003; Scobie in Wilcock, 2009; Ciosek in sod., 2015; Muller in sod., 2019), le da pri nas najdemo linejevko na nižji nadmorski višini v pasu bukovega gozdu, drugje pa običajno višje in/ali v iglastih gozdovih.

S popisom rastlinskih vrst smo preko Ellenbergovih indeksov dobili tudi vpogled v abiotske dejavnike na rastišču. Popisali smo namreč predvsem posenčne vrste, ki jih običajno najdemo v subalpinskem pasu in preferirajo srednje vlažna tla, ki so kislja in revna s substrati. V podobnih razmerah uspeva linejevka tudi na drugih območjih svoje razširjenosti (Niva in sod., 2006, Scobie in Wilcock, 2009, Zhang in sod., 2014, Muller in sod., 2019). Popis flore smo naredili

v sklopu drugega cilja in z njim potrdili drugo hipotezo, ki pravi da, se abiotski ter biotski dejavniki, pod katerimi raste linejevka v Sloveniji ne razlikujejo bistveno od pogojev populacij vrste drugod po svetu.

S spremljanjem cvetenja ter produkcije plodov smo dobili vpogled v fenofaze linejevke, pri katerih smo lahko videli neposreden vpliv temperature. Linejevka začne cveteti v maju oz. ko se temperatura tal dvigne nad 8°C. Če je temperatura ugodna lahko vrsta razvija cvetne poganjke tudi izven svojega običajnega časa cvetenja, kot smo mi opazili novembra 2014. Največ plodov je bilo najdenih v najtoplejšem obdobju leta, kadar so razmere najverjetneje tudi najbolj ugodne za opraševalce. Fenofaze se niso bistveno razlikovale od fenofaz populacij vrste, ki rastejo v borealnih iglastih gozdovih (Helenurm in Barrett, 1987). Iz podatkov o številu cvetov ter številu plodov smo lahko videli, ali je pri vrsti še prisotno spolno razmnoževanje in kolikšen je uspeh le-tega. Dokazali smo, da vrsta ni še popolnoma izgubila možnosti spolnega razmnoževanja, je pa uspeh izredno nizek (< 10 %). S tem smo potrdili hipotezo 3 in 4. Pri nas je bila vidna korelacija med številom cvetov in dolžino poganjkov ter številom plodov, nekaj, kar na škotskih ter kitajskih populacijah niso potrdili (Scobie in Wilcock, 2009; Zhang in sod. 2014). Sklepamo, da je slednje zaradi manjšega vzorca ter v splošnem manjše velikosti populacije pri nas. Iz podatka o uspehu spolnega razmnoževanja ter podatkov o razrasti poganjkov sklepamo, da se linejevka v Sloveniji razmnožuje predvsem klonalno.

Podatki o meritvah temperatur na rastišču so nam dali vpogled v mikroklimatske razmere na rastišču iz prve roke. V kombinaciji s podatki, ki sta jih pridobila Košutnik in Presetnik (2014) nekaj sezon pred nami, lahko sklepamo, da so temperature na rastišču v povprečju nižje kot v okolici in da je temperatura en izmed glavnih abiotskih dejavnikov, ki pogojuje obstoj linejevke na tem območju. Temperaturne razmere na rastišču pa ustvarja mrazišče, kar pomeni da je posredno obstoj linejevke v Sloveniji odvisen od le-tega. S tem smo potrdili tudi hipotezo 5. Po zadnjih podatkih naj bi mrazišče obsegalo večjo površino, kot nam je bilo znano v času naše terenske raziskave in naj bi se raztezalo tudi v del gozda poleg jase. V nadaljnjih raziskavah bi bilo vredno preveriti, če se linejevka razrašča tudi tam.

Severna linejevka je na rdečem seznamu Slovenije že par desetletij (Wraber in Skoberne, 1989), konkretnih terenskih raziskav pa do sedaj še ni bilo. Naša raziskava potrjuje upravičenost za uvrstitev na seznam ter ogroženo stanje vrste pri nas. Odvisnost od njenega edinstvenega rastišča, ki se kaže tudi v naši raziskavi, pa še poudarja potrebo po strogi zavarovanosti le-tega.

Z okrnjenim spolnim razmnoževanjem je prihodnost vrste vprašljiva, saj je s tem okrnjena tudi njena sposobnost prilagajanja na okoljske spremembe. Za dolgoročni obstoj linejevke pri nas bodo najverjetneje potrebni naravovarstveni ukrepi. Naši preliminarni podatki o abiotskih in biotskih pogojih, pod katerimi raste linejevka v Sloveniji ter primerjava le-teh z raziskavami na ostalih ogroženih populacijah vrste drugod po svetu, že lahko predstavljajo nekatere smernice za izbiro ukrepov. Za korektnije odločitve pri izbiri pa predlagamo še nadaljnje študije, kot npr. študija aktivnosti opraševalcev. Zaradi posebnosti razmnoževalnega sistema, vezanosti na dano rastišče ter visoke stopnje izoliranosti vrste pri nas, bodo lahko izbrani naravovarstveni ukrepi dober primer prakse tudi za vrste, ki trpijo podobno usodo zaradi fragmentacije in izgube habitata tudi drugod po svetu.

7 ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorici dr. Nataši Pipenbaher ter somentorici dr. Sonji Škornik za strokovno in tehnično pomoč pri izvedbi praktičnega dela ter usmeritve pri izdelavi pisnega izdelka. Iskrena hvala obema tudi za razumevanje in vso potrpežljivost, še posebej na koncu.

Zahvalila bi se še Branku Bakanu za pomoč pri določitvi mahov, Juretu Košutniku za podatke in informacije o mrazišču ter dr. Scobie-ju za vse strokovne nasvete pri interpretaciji pridobljenih podatkov.

Brez moralne podpore pa strokovna pomoč ne bi imela pravega učinka, za kar gre posebna zahvala vama, Tajda in Jaka, ker sta bila vedno tam ob ključnih trenutkih. Iz srca hvala tudi tebi, Aljaž, za pospešek in podporo v ciljni ravnini, ko sem ju najbolj potrebovala.

Za konec bi se toplo zahvalila še moji družini, ki mi je omogočila študij in mi v vseh teh letih nesebično stala ob strani.

Zakon ste!

8 LITERATURA

- Aerts, R. (1995). The advantages of being evergreen. *Trends in ecology and evolution*, 10(10), 402-407.
- Andrus, R. E. (1986). Some aspects of Sphagnum ecology. *Canadian Journal of Botany*, 64(2), 416–426.
- ARSO Meteo (2017). Pridobljeno 20. 12. 2017, iz <http://meteo.arso.gov.si/>.
- Allaby, M. (2010). *A dictionary of ecology*. Fourth edition. Oxford University Press Inc., New York.
- Antos, J. A., Zobel, D. B. (1984). Ecological implications of belowground morphology of nine coniferous forest herbs. *Botanical Gazette*, 145(4), 508-517.
- Atlas okolja (2017). Pridobljeno 20. 12. 2017, iz http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso
- Backlund, A., Pyck, N. (1998). *Diervllaceae* and *Linnaeaceae*, two new families of caprifolioids. *Taxon*, 47(3), 657-661.
- Bawa, K. S., Webb, C. J. (1984). Fruit and seed abortion in tropical forest trees: implications for the evolution of paternal and maternal reproductive patterns. *American Journal of Botany*, 71(5), 736-751.
- Barrett, S. C. H., Helenurm, K. (1987a). The reproductive biology of boreal forest herbs. I. Breeding systems and pollination. *Canadian Journal of Botany*, 65, 2036-2046.
- Barrett, S. C. H., Eckert, C. G., Husband, B. C. (1993). Evolutionary processes in aquatic plant populations. *Aquatic Botany*, 44(2-3), 105-145.
- Barrett, S. C. H. (2015). Influences of clonality on plant sexual reproduction. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(29), 8859-8866.
- Bergström, L. G. W., Bergquist, S., Stenhagen, G., Gahmberg C. G., Maia, A. C. D., Nordenstam, B. (2018). Floral scent chemistry within the genus *Linnaea* (Caprifoliaceae). *Nordic Journal of Botany*, 36(3), njb-01732.
- Broome, A., Quine, C., Trout, R., Poulson, E., Mayle, B. (2004). Research in support of the UK Biodiversity Action Plan: forest management and priority species, 112–125.
- Campbell, D. R., Halama, K. J. (1993). Resource and pollen limitations to lifetime seed production in a natural plant population. *Ecology*, 74(4), 1043-1051.
- Callaghan, T. V., Carlsson, B. Å, Jónsdóttir, I. S., Svensson, B. M., Jonasson, S. (1992). Clonal plants and environmental change: introduction to the proceedings and summary. *Oikos*, 63(3), 341-347.

- Charpentier, A. (2002). Consequences of clonal growth for plant mating. *Evolutionary Ecology*, 15, 521-530.
- Christenhusz, M. J. M. (2013). Twins are not alone: a recircumscription of *Linnaea* (Caprifoliaceae). *Phytotaxa*, 125(1), 25-32.
- Ciosek, M. T., Krechowski, J., Sikorski, R., Trębicka, A., Piórek, K., Przybylska, B. (2015). The Twinflower (*Linnaea borealis* L.) in the northern part of the Południowopodlaska Lowland. *Forest Research Papers*, 76(2), 113–121.
- Čarni, A. (2019). Pregled gozdnih združb Slovenije. Univerzitetna založba Univerze v Mariboru, Maribor.
- Dozet, S., Buser, S. (2009). Trias. V: Pleničar, M., Ogorelec, B., Novak, M. (ur.), *Geologija Slovenije (The geology of Slovenia)*, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana, str. 161-215.
- Eckert, C. G. (2002). The loss of sex in clonal plants. *Evolutionary Ecology*, 15, 501-520.
- Ellenberg, H., Weber, H. E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W., Paulissen, D. (1991). Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica*, 18, 1-248.
- Ellenberg, H., Leuschner, C. (2010). *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Ulmer, Stuttgart, 6. izdaja.
- Eriksson, O. (1988). Variation in growth rate in shoot populations of the clonal dwarf shrub *Linnaea borealis*. *Holarctic Ecology*, 11(4), 259-266.
- Eriksson, O. (1992). Population structure and dynamics of the clonal dwarf-shrub *Linnaea borealis*. *Journal of Vegetation Science*, 3(1), 61-68.
- Eriksson, O., Bremer, B. (1993). Genet dynamics of the clonal plant *Rubus Saxatilis*. *Journal of Ecology*, 81(3), 533–542.
- Eriksson, O. (1996). Regional dynamics of plants: a review of evidence for remnant, source-sink and metapopulations. *Oikos*, 77(2), 248-258.
- Fischer, M., in Matthies, D. (1997). Mating structure and inbreeding and outbreeding depression in the rare plant *Gentianella germanica* (Gentianaceae). *American Journal of Botany*, 84(12), 1685–1692.
- Florides, G., Kalogirou, S. (2005). Annual ground temperature measurements at various depths. 8th REHVA World Congress, Clima, June 2014, 1–6.
- Frankham, R. (2005). Genetics and extinction. *Biological Conservation*, 126, 131-140.
- Fridl, J., Kladnik, D., Orožen Adamič, M., Perko, D. (ur.) (1998). *Geografski atlas Slovenije - država v prostoru in času*. DZS, Ljubljana.

Gaudeul, M., Delahaye, T., Muller, S. (2019). AFLP markers show low levels of clonal propagation and high genotypic diversity in the rare, southernmost populations of *Linnaea borealis* L. (Caprifoliaceae) in the Western Alps. *Genetica*, 147(1), 79–90.

Grace, J. B. (1993). The adaptive significance of clonal reproduction in angiosperms: an aquatic perspective. *Aquatic Botany*, 44(2-3), 159-180.

Granström, A. (1982). Seed banks in five boreal forest stands originating between 1810 and 1963. *Canadian Journal of Botany*, 60(9), 1815-1821.

Grime, J. P. (2001). Regenerative strategies. V: Grime, J. P., Plant strategies, vegetation processes and ecosystem properties, 2nd ed, Wiley & Sons Ltd, Chichester.

Hanna instruments. (2019). Pridobljeno 9. 10. 2019, iz <https://www.hannaservice.eu/>

Harper, J. L. (1977). Population biology of plants. Academic press inc., London.

Helenurm, K., Barrett, S. C. H. (1987). The reproductive biology of boreal forest herbs. II. Phenology of flowering and fruiting. *Canadian Journal of Botany*, 65(10), 2047–2056.

Hessing, M. B. (1988). Geitonogamous Pollination and Its Consequences in *Gernium caespitosum*. *American Journal of Botany*, 75(9), 1324.

Honnay, O., Bossuyt, B. (2005). Prolonged clonal growth: escape route or route to extinction. *Oikos*, 108(2), 427-432.

Hultén E. (1968). Flora of Alaska and neighboring territories: a manual of the vascular plants. Stanford University Press, Stanford.

IBM Corp. (2013). IBM SPSS Statistic for Windows. Version 22.0. Armonk, New York.

Kelc, T. (2018). Vpliv genetske osiromašenosti na sposobnost preživetja majhnih populacij redkih rastlin: primer severne linejevke (*Linnaea borealis*). Mag. delo, Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor.

Klimesš, L., Klimesšová J., Hendriks, R. J. J., van Groenendael, J. M. (1997). Clonal plant architecture: A comparative analysis of form and function. V: de Kroon, H., van Groenendael, J-M. (ur.), The ecology and evolution of clonal plants, Backhuys, Leiden, str. 1-29.

Klimesšová J., Klimesš L. Clo-Pla3 – database of clonal growth of plants from Central Europe. Pridobljeno 3. 4. 2014 iz <http://clopla.butbn.cas.cz/>

Klimesšová, J., Danihelka, J., Chrtek, J., de Bello, F., Herben, T. (2017). CLO-PLA: a database of clonal and bud bank traits of Central European flora. *Ecology*, 98, 1179

Košutnik, J., Presetnik, P. (2014). Začetek podrobnejših klimatskih in geomorfoloških raziskav značilnosti mrazišča v Soteski – znamenitega in edinega rastišča severne linejke (*Linnaea borealis*) pri nas. 3. zborovanje slovenskih geomorfologov, ekskurzije in povzetki. Geomorfološko društvo Slovenije, Ljubljana.

Krajncič, B. (2001). Cvet. V: Krajncič, B. (ur), Botanika: razvojna in funkcionalna morfologija z anatomijo. Tretja, izpopolnjena izdaja. Fakulteta za kmetijstvo, Maribor.

Kryštufek, B. (1999). Osnove varstvene biologije. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana.
Larson, B. M. H., Barrett, S. C. H. (2000). A comparative analysis of pollen limitation in flowering plants. *Biological Journal of the Linnean Society*, 69, 503-520.

Lawson, D. A., in Rands, S. A. (2019). The effects of rainfall on plant–pollinator interactions. *Arthropod-Plant Interactions*, 13(4), 561–569.

Linnaea borealis. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service (USDA NRSC), pridobljeno 16. 11. 2014, iz <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=LIBO3>

Lovett Doust, L. (1981). Population dynamics and local specialization in a clonal perennial (*Ranunculus repens*) – I. The dynamics of ramets in contrasting habitats. *Journal of Ecology*, 69, 743-755.

Mangiafico, S. S. (2016). Kruskal-Wallis Test v Summary and Analysis of Extension Program Evaluation in R, version 1.18.1, pridobljeno 19. 10. 2019, iz https://rcompanion.org/handbook/F_08.html.

Marrs, R. H., Bannister, P. (1978). Response of several members of the Ericaceae to soils of contrasting pH and Base-Status. *Journal of Ecology*, 66(3), 829-834.

Marinček, L. Čarni, A. (2018). Komentar k vegetacijski karti gozdnih združb Slovenije, 1:400.000 karta, CD, Založba ZRC, Ljubljana. Pridobljeno 17. 10. 2018, iz <http://gis.zrc-sazu.si/zrcgis/doc/veg/VegSloAng.htm>

Martinčič, A., Wraber, T., Jogan, N., Podobnik, A., Turk, B., Verš, B., Ravnik V., Frajman, B., Strgulc Krajšek, S., Trčak, B., Babič, T., Fisher, M. A., Eler, K., Surina, B. (2007): Mala flora Slovenije. Ključ za določevanje praprotnic in semenk. Četrta, dopolnjena in spremenjena izdaja, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana.

Microsoft. (2016). Microsoft Office Excel. Washington.

Muller, S., Delahaye, T., Gaudeul, M., Pauthier, Y. (2019). La Linnée boréale (*Linnaea borealis* L.) dans le Parc national de la Vanoise : distribution, variabilité génétique, biologie. *Natureae* 2019(3).

Niva, M. (2003). Life history strategies in *Linnaea borealis*. *Acta universitatis Upsaliensis*, Uppsala. (Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 893).

Niva, M., Svensson, B. M., Karlsson, P. S. (2003). Nutrient resorption from senescing leaves of the clonal plant *Linnaea borealis* in relation to reproductive state and resource availability. *Functional Ecology*, 17, 438-444.

Niva, M., Svensson, B. M., Karlsson, P. S. (2006). Effects of light and water availability on shoot dynamics of the stoloniferous plant *Linnaea borealis*. *Ecoscience*, 13(3), 318-323.

Oborny, B., Bartha, S. (1995). Clonality in plant communities – an overview. *Abstracta Botanica*, 19, 115-127.

Ogrin, D. (1996). Podnebni tipi v Sloveniji. *Geografski vestnik*, 68, 39-56.

Packer, J. G. (1964). Chromosome numbers and taxonomic notes on western Canadian and Arctic plants. *Canadian Journal of Botany*, 42(4), 473-494.

Pallardy, S. G. (2008). Photosynthesis. V: Pallardy, S. G. (ur), *Physiology of woody plants* (3rd edition), Academic Press, str. 107-167.

Pan, J. J., Price, J. S. (2002). Fitness and evolution in clonal plants: the impact of clonal growth. *Evolutionary Ecology*, 15, 583-600.

Perko, D. (2001). Slovenija: pokrajine in ljudje. Mladinska knjiga, Ljubljana.

Richards, A. J. (1986). *Plant breeding systems*. George Allen & Unwin, London.

Salisbury, E. J. (1942). *The reproductive capacity of plants*. Bell, London.

Saunders, D. A., Hobbs, R. J., Margules, C. R. (1991). Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*, 5(1), 18-32.

Scobie, A. R., Wilcock, C. C. (2009). Limited mate availability decreases reproductive success of fragmented populations of *Linnaea borealis*, a rare, clonal self-incompatible plant. *Annals of Botany*, 103, 835-846.

Tepedino, V.J. (2012). Overestimating population sizes of rare clonal plants. *Conservation biology*, 26(5), 945-947.

Thiem, B., Buk-Berge, E. (2017). Twinflower (*Linnaea borealis* L.) - plant species of potential medicinal properties. *Herba Polonica*, 63(3), 56-64.

Thiese, M. S., Ronna, B., Ott, U. (2016). P value interpretations and considerations. *Journal of Thoracic Disease*, 8(9), E928–E931.

Thrall, P. H., Encians-Viso, F., Hoebee, S., Young, A. G. (2014). Life history mediates mate limitation and population viability in self-incompatible plant species. *Ecology and Evolution* 4(6), 673–687.

TMS Handbook (2017). Praga, Češka republika. TOMST s.r.o. Pridobljeno 15. 8. 2017, iz http://tomst.com/Download/TMS_manual.pdf

TOMST s.r.o. (2014). Pridobljeno 11. 8. 2014, iz <https://tomst.com/web/en/>

The UK Biodiversity Action Plan (UK BAP). Joint Nature Conservation Committee. (2014). Pridobljeno 16. 11. 2014, iz <http://jncc.defra.gov.uk/ukbap>.

Urbančič, M., Simončič, P., Prus, T., Kutnar, L. (2005). Atlas gozdnih tal Slovenije. Zveza gozdarskih društev Slovenije, Gozdarski vestnik in Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana.

Uredba o ekološko pomembnih območjih (2004). Uradni list RS, št. 48/2004, str. 6356. Pridobljeno 26. 5. 2018, iz: <https://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?sop=2004-01-2261>.

Vallejo-Marín, M., Dorken, M. E., Barrett, S. C. H. (2010). The ecological and evolutionary consequences of clonality for plant mating. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 41, 193-213.

van Groenendael, J. M., Klimeš, L., Klomešová, J., Hendriks, R. J. J. (1996). Comparative ecology of clonal plants. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 351(1345), 1331-1339.

Vidic, N. J., Prus, T., Grčman, H., Zupan, M., Lisec, A., Kralj, T., Vrščaj, B., Rupreht, J., Šporar, M., Suhadolc, M., Mihelič, R., Lobnik, F. (2015). Slovenska klasifikacija tal. V: Grčman, H., Vidic, N. J., Zupan, M., Lobnik, F., Jones, A., Montanarella, I. (ur.), Tla Slovenije s pedološko karto v merilu 1: 250 000, Evropska komisija, Skupni raziskovalni center (JRC), Luxembourg, str. 40-74.

Wagenius, S., Lonsdorf, E., Neuhauser, C. (2007). Patch aging and the S-Allee effect: breeding system effects on the demographic response of plants to habitat fragmentation. *The American Naturalist*, 169(3), 383-397.

Watkinson, A. R., White, J. (1986). Some life-history consequences of modular construction in plants. *Philosophical transactions of the royal society of London, series B, Biological Sciences*, 313(1159), 31-51.

Wiberg, R. A. W., Scobie, A. R., A'Hara, S. W., Ennos, R. A., Cottrell, J. E. (2016). The genetic consequences of long term habitat fragmentation on a self-incompatible clonal plant, *Linnaea borealis* L. *Biological Conservation*, 201, 405–413.

Widén, B., in Widén, M. (1990). Pollen limitation and distance-dependent fecundity in females of the clonal gynodioecious herb *Glechoma hederacea* (Lamiaceae). *Oecologia*, 83(2), 191–196.

Wikberg, S. (1995). Fitness in clonal plants. *Oikos*, 72(2), 293-297.

Wilcock, C. C., Jennings, S. B. (1999). Partner limitation and restoration of sexual reproduction in the clonal dwarf shrub *Linnaea borealis* L. (Caprifoliaceae). *Protoplasma*, 208, 76-86.

Wilcock, C. C. (2002). Maintenance and recovery of rare clonal plants: the case of the twinflower (*Linnaea borealis* L.). *Botanical Journal of Scotland*, 54(1), 121-131.

Wilcock, C. C., Neiland, R. (2002). Pollination failure in plants: why it happens and when it matters. *Trends in Plant Science*, 7(6), 270-277.

Wraber, T. (1963). *Linnaea borealis* L. Planta rediviva slovenske flore. *Biološki vestnik (Ljubljana)*, 11, 43-48.

Wraber, T., Skoberne, P. (1989) Rdeči seznam ogroženih praprotnic in semenk SR Slovenije. *Varstvo narave*, 14-15:9-428.

Wróblewska, A. (2013). The phylogeographical and population genetic approach to the investigation of the genetic diversity patterns in self-incompatible clonal and polyploid *Linnaea borealis* subsp. *borealis*. Botanical journal of the Linnean society, 173, 64-76.

Youngblood, A., Metlen, K. L., Coe, K. (2006). Changes in stand structure and composition after restoration treatments in low elevation dry forests of northeastern Oregon. Forest Ecology and Management, 234, 143-163.

Young, A. G., Broadhurst, L. M., Thrall, P. H. (2012). Non-additive effects of pollinator limitation and self-incompatibility reduce plant reproductive success and population viability. Annals of Botany, 109, 643-653.

Zhang, A-Q., Xiong Y-Z., Huang, S-Q., (2014). Maintenance of self-incompatibility in peripheral populations of circumboreal woodland subshrub. AoB PLANTS, 6, plu063.

9 PRILOGE

9.1 CELOTEN SEZNAM RASTLINSKIH VRST

Tabela 8: Celoten seznam rastlinskih vrst (prisotnost/odsotnost = 1/0) na popisnih ploskvah ter na preostalem raziskovalnem območju.

		območje	popisna ploskev
bela jelka	<i>Abies alba</i>	1	1
beli javor	<i>Acer pseudoplatanus</i>	1	1
trilistna vetrnica	<i>Anemone trifolia</i>	1	1
marjetičasta nebina	<i>Aster bellidiastrum</i>	1	0
	<i>Bartramia pomiformis</i>	1	0
navadna breza	<i>Betula pendula</i>	1	0
puhasta breza	<i>Betula pubescens</i>	1	0
	<i>Brachythecium sp.</i>	1	1
rušnata zvončica	<i>Campanula cespitosa</i>	1	0
	<i>Cladonia sp.</i>	1	1
planinski srobot	<i>Clematis alpina</i>	1	0
šmarnica	<i>Convallaria majalis</i>	1	1
navadna ciklama	<i>Cyclamen purpurascens</i>	1	1
navadni volčin	<i>Daphne mezereum</i>	1	0
	<i>Dicranum scoparium</i>	1	1
spomladanska resa	<i>Erica carnea</i>	1	1
kranjska smetlika	<i>Euphrasia cuspidata</i>	1	0
navadna bukev	<i>Fagus sylvatica</i>	1	1
apnenka	<i>Gymnocarpium robertianum</i>	1	1
hrastovka	<i>Gymnocarpium sp.</i>	1	1
planinski slanozor	<i>Heliosperma alpestre</i>	1	0
navadni jetrnik	<i>Hepatica nobilis</i>	1	0
gozdni planinšček	<i>Homogyne slyvestris</i>	1	0
	<i>Hylocomium splendens</i>	1	1
	<i>Hypogymnia sp.</i>	1	1
navadni brin	<i>Juniperus communis</i>	1	0
navadni macesen	<i>Larix decidua</i>	1	0
severna linejevka	<i>Linnaea borealis</i>	1	1

belkasta bekica	<i>Luzula luzuloides</i>	1	1
dlakava bekica	<i>Luzula pilosa</i>	1	1
gozdna bekica	<i>Luzula slyvatica</i>	1	1
brinolistni lisičjak	<i>Lycopodium annotinum</i>	1	1
jetrenjaki	Marchantiophyta	1	0
gozdni črnilec	<i>Melampyrum slyvaticum</i>	1	1
mahovna popkoresa	<i>Moehringia muscosa</i>	1	1
enostranska hruškolistka	<i>Orthilia secunda</i>	1	1
navadna zajčja deteljica	<i>Oxalis acetosella</i>	1	1
močvirna samoperka	<i>Parnassia palustris</i>	1	0
silj	<i>Peucedanum sp.</i>	1	1
navadna smreka	<i>Picea abies</i>	1	0
rdeči bor	<i>Pinus sylvestris</i>	1	0
	<i>Plagiochila porelloides</i>	1	1
dvolistni vimenjak	<i>Platanthera bifolia</i>	1	0
	<i>Pleurozium schreberi</i>	1	1
kapičar	<i>Polytrichum sp.</i>	1	1
okrogloolistna zelenka	<i>Pyrola rotundifolia</i>	1	1
dlakavi sleč	<i>Rhododendron hirsutum</i>	1	1
slečnik	<i>Rhodothamnus chamaecistus</i>	1	1
	<i>Rhytidiadelphus loreus</i>	1	1
	<i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>	1	1
skalna robida	<i>Rubus saxatilis</i>	1	1
velikolistna vrba	<i>Salix appendiculata</i>	1	1
klinolistni kamnokreč	<i>Saxifraga cuneifolia</i>	1	0
pisana vilovina	<i>Sesleria caerulea</i>	1	1
navadna zlata rozga	<i>Solidago virgaurea</i>	1	1
jrebika	<i>Sorbus aucuparia</i>	1	1
šotni mah	<i>Sphagnum sp.</i>	1	0
borovnica	<i>Vaccinium myrtillus</i>	1	1
brusnica	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	1	1
skalna špajka	<i>Valeriana saxatilis</i>	1	0
tripernata špajka	<i>Valeriana tripteris</i>	1	0

9.2 WRABERJEV POPIS RASTLINSKIH VRST (1963)

Tabela 9: Wraberjev popis rastlinskih vrst na rastišču iz leta 1963 (Wraber, 1963).

trilistna vetrnica	<i>Anemone trifolia</i>
zeleni sršaj	<i>Asplenium viride</i>
marjetičasta nebina	<i>Aster bellidiastrum</i>
navadna breza	<i>Betula pendula</i>
pisana šašulica	<i>Calamagrostis varia</i>
rušnata zvončica	<i>Campanula cespitosa</i>
prstasti šaš	<i>Carex digitata</i>
	<i>Cladonia pyxidata</i>
	<i>Cladonia rangiferina</i>
	<i>Cladonia sp.</i>
planinski srobot	<i>Clematis alpina</i>
šmarnica	<i>Convallaria majalis</i>
	<i>Ctenidium molluscum</i>
lepi čevljc	<i>Cypripedium calceolus</i>
	<i>Dicranum scoparium</i>
alpska velesa	<i>Dryas octopetala</i>
spomladanska resa	<i>Erica carnea</i>
kranjska smetlika	<i>Euphrasia cuspidata</i>
hrastovka	<i>Gymnocarpium dryopteris</i>
apnenka	<i>Gymnocarpium robertianum</i>
navadni jetrnik	<i>Hepatica nobilis</i>
gozdni planinšček	<i>Homogyne sylvestris</i>
	<i>Hylocomium splendens</i>
navadni macesen	<i>Larix decidua</i>
gozdna bekica	<i>Luzula sylvatica</i>
brinolistni lisičjak	<i>Lycopodium annotinum</i>
dvolistna senčnica	<i>Maianthemum bifolium</i>
gozdni črnilec	<i>Melampyrum sylvaticum</i>
previsna krasilka	<i>Melica nutans</i>
	<i>Mniobryum albicans</i>
mahovna popkoresa	<i>Moehringia muscosa</i>
	<i>Neckera crispa</i>
enostranska hruškolistka	<i>Orthilia secunda</i>
alpska mastnica	<i>Pinguicula alpina</i>
rdeči bor	<i>Pinus sylvestris</i>
	<i>Pleurozium schreberi</i>
	<i>Polytrichum attenuatum</i>

srčna moč	<i>Potentilla erecta</i>
	<i>Ptilidium pulcherrimum</i>
okroglostna zelenka	<i>Pyrola rotundifolia</i>
dlakavi sleč	<i>Rhododendron hirsutum</i>
navadni slečnik	<i>Rhodothamnus chamaecistus</i>
	<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>
skalna robida	<i>Rubus saxatilis</i>
alpska vrba	<i>Salix alpina</i>
velikolistna vrba	<i>Salix appendiculata</i>
Waldsteinova vrba	<i>Salix waldsteiniana</i>
klinolistni kamnokreč	<i>Saxifraga cuneifolia</i>
pisana vilovina	<i>Sesleria caerulea</i>
navadna zlata rozga	<i>Solidago virguarea</i>
	<i>Sphagnum acutifolium</i>
navanda žiljka	<i>Tofieldia calyculata</i>
borovnica	<i>Vaccinium myrtillus</i>
brusnica	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>
skalna špajka	<i>Valeriana saxatilis</i>
koprivolistni jetičnik	<i>Veronica urticifolia</i>
