

GDK 111:226(497.4Pohorje)(045)=163.6

Mikrorastiščne razmere kot pomemben dejavnik uspešnosti premene smrekovih monokultur na bukovih rastiščih na Pohorju

Microsite Conditions as an Important Factor of Successful Reintroduction of Broadleaf Species to Spruce Monocultures on Beech Sites on Pohorje

Urša VILHAR¹, Lado KUTNAR², Mihej URBANČIČ³, Primož SIMONČIČ⁴

Izvleček:

Vilhar, U., Kutnar, L., Urbanšič, M., Simončič, P.: Mikrorastiščne razmere kot pomemben dejavnik uspešnosti premene smrekovih monokultur na bukovih rastiščih. *Gozdarski vestnik*, 74/2016, št. 2. V slovenščini z izvečkom v angleščini, cit. lit. 41. Prevod avtorji, jezikovni pregled angleškega besedila Breda Misja, slovenskega pa Marjetka Šivic.

V Sloveniji in srednji Evropi so v preteklosti na rastiščih različnih gozdnih združb osnovali smrekove monokulture na velikih površinah. Posledica tega je 6 do 7 milijonov hektarov čistih smrekovih sestojev zunaj naravnega areala smreke, v Sloveniji pa je trenutno okoli 30 % gozdov s spremenjeno drevesno sestavo zaradi povečanega deleža smreke. V prejšnjih letih so bili glavni razlogi za povečano propadanje dreves v smrekovih monokulturah, osnovanih na rastiščih listavcev: osiromašena tla, daljinski transport onesnažil, suše ter namnožitve podlubnikov. Scenariji podnebnih sprememb kažejo, da se bodo zaradi globalnega segrevanja ozračja rastne razmere za smreke v večini primerov še poslabšale.

V prispevku ugotavljamo, da so se zaradi osnovanja smrekovih monokultur na rastiščih kisloljubnega bukovega gozda na Pohorju znatno spremenile talne in vegetacijske razmere, kar bi lahko vplivalo na uspešnost premene obravnavanih smrekovih monokultur. Podrobneje obravnavamo tudi podnebne, talne in vegetacijske razmere v ograjenem smrekovem sestoj s podsajeno bukvijo.

Ugotavljamo, da razkroj organske snovi najpočasneje poteka v sklenjenem smrekovem sestoj, najhitreje pa v ograjenem smrekovem sestoj s podsajeno bukvijo, predvsem na njegovem gozdnem robu in v vrzeli. Največja pestrost rastlinskih vrst je v sestoju smreke in bukve, najmanjša pa v bukovem sestoj, ki mu sledi smrekov sestoj. V ograjenem smrekovem sestoj s podsajeno bukvijo nismo ugotovili razlik v mikroklimi med sestojem in vrzeljo. Pač pa smo ugotovili najmanjšo vsebnost vlage v tleh in sušni stres na gozdnem robu, kjer je največja kompeticija za rastlinam razpoložljivo vodo v tleh.

Talne razmere in rastlinska vrstna pestrost izbranih sestojev na Pohorju nakazujejo ugodnejše razmere za uspešno premeno v primerjavi z nekaterimi drugimi smrekovimi gozdovi v Evropi.

Ključne besede: smreka, premena, podsadnja bukve, talne razmere, rastlinska vrstna pestrost, mikroklima, sušni stres

Abstract:

Vilhar, U., Kutnar, L., Urbanšič, M., Simončič, P.: Microsite Conditions as an Important Factor of Successful Replacement of Spruce Monocultures on Beech Sites. *Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry)*, 74/2016, vol. 2. In Slovenian, abstract in English, lit. quot. 41. Translated by authors, proofreading of the English text Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

In Slovenia as well as in Central Europe, large areas of Norway spruce monocultures were established on sites of different forest communities. This resulted in 6 to 7 million hectares of pure Norway spruce stands outside its natural areal, whereas in Slovenia there is currently around 30% of forests with antropogenically altered tree composition. In recent years, soil degradation, repeated droughts and bark beetle attacks were the main reason for the increased mortality of trees in spruce monocultures, established on originally deciduous sites. Scenarios of climate change show that growing conditions for Norway spruce in most cases might get worse due to global warming.

¹ dr. U. V., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, Ljubljana,

² dr. L. K., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, Ljubljana,

³ M. U., univ. dipl. inž. gozd., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, Ljubljana,

⁴ dr. P. S., univ. dipl. inž. les., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, Ljubljana

Results of this study demonstrate that soil properties and ground vegetation have changed due to establishment of Norway spruce monocultures on Pohorje, which might affect the success of reintroduction of broadleaf species. In addition, microclimate, soil properties and ground vegetation in fenced spruce stand with underplanted beech samplings are addressed.

Organic matter decomposition is slowest in a closed spruce stand and fastest in a fenced spruce stand with underplanted beech samplings, especially on its forest edge and in the gaps. The highest plant species diversity was found in mixed spruce and beech stand and lowest in beech stand, followed by spruce stand. We found no difference in microclimate between fenced spruce stand and gap with underplanted beech samplings. However, lowest soil water content and highest drought stress was found on the forest edge, where the competition of plants for available water in the soil is maximal.

Soil properties and plant species diversity of selected stands on Pohorje indicate more favorable conditions for reintroduction of broadleaf species compared to some other Norway spruce forests in Europe.

Key words: Norway spruce, reintroduction of broadleaf species, underplanting of beech, soil properties, plant species diversity, microclimate, drought stress

1 UVOD

1 INTRODUCTION

V Sloveniji in srednji Evropi so v preteklosti na rastiščih različnih gozdnih združb osnovali velike površine smrekovih monokultur. Posledica tega je 6 do 7 milijonov hektarov čistih smrekovih sestojev zunaj naravnega areala smreke, v Sloveniji pa je trenutno okoli 30 % gozdov s spremenjeno drevesno sestavo (Simončič in sod., 2005). V prejšnjih desetletjih so bila zračna onesnaževala (Rothe in sod., 2002), degradirana tla, ponavljajoče se suše (Klimo in sod., 2000) ter gradacije podlubnikov (Jurc in sod., 2006; Ogris in Jurc, 2010) glavni povzročitelji povečanega propadanja dreves v smrekovih monokulturah, osnovanih zunaj prvotnih smrekovih rastišč. Scenariji podnebnih sprememb kažejo, da se bodo zaradi globalnega segrevanja ozračja v večini primerov še poslabšale rastne razmere za smreko (Misson in sod., 2002). V srednji Evropi je zato postala premena smrekovih monokultur s podsajevanjem listavcev ena pomembnejših nalog, saj premena predstavlja možnosti za vzpostavitev naravnějšíh in hkrati odpornejših gozdnih ekosistemov (Ammer in sod., 2002; Diaci, 2002), pri čemer se je v Sloveniji aktivna premena nasadov smreke začela že v zgodnjih petdesetih letih prejšnjega stoletja (Diaci, 2006).

Pohorje je med območji z najbolj izrazito spremenjeno drevesno sestavo v Sloveniji (Breznikar in sod., 2006). Antropogeni smrekovi sestoji, med katere sodijo sestojne zgradbe s prevladujočim deležem smreke na bukovih in jelovih rastiščih, pokrivajo 27.000 ha oziroma 45 % skupne gozdne

površine na Pohorju. Negativne posledice tovrstnih gozdnogojitvenih odločitev se kažejo v ogroženi trajnosti teh gozdov, ki so podvrženi različnim stresnim dejavnikom: boleznim in škodljivcem, vetru, sušnim razmeram in podnebni spremenljivosti (Čater in Simončič, 2010). Vendar sta se načrtna sanacija spremenjenih sestojnih zgradb in usmerjeno gozdnogojitveno ukrepanje na mislinjskem delu Pohorja začela že v zgodnjih petdesetih letih prejšnjega stoletja in se postopno širila na njegovo celotno območje (Diaci, 2006).

Naravno pomlajevanje smrekovih monokultur z listavci je oteženo zaradi zakisanja tal, na kar vplivajo značilnosti sestoja, tal in podnebja (Fanta, 1997; Klimo, 2002). S tvorbo sestojnih vrzeli se pospešita razkroj organske snovi v tleh in sproščanje hranil (Rothe in sod., 2002), kar prispeva k pospešenemu razvoju pritalne vegetacije (Robič, 1985; Diaci, 2002). Poleg motenj v kroženju hranil pa k počasnemu in težavnemu naravnemu pomlajevanju prispeva tudi pomanjkanje semenskih dreves naravno prisotnih, na rastišča prilagojenih drevesnih vrst (Mansourian in sod., 2005).

V prispevku smo ugotavljali, ali so se zaradi osnovanja smrekovih monokultur na rastiščih kisloljubnega bukovega gozda na območju Bričke na Pohorju spremenile talne in vegetacijske razmere, kar bi lahko vplivalo na uspešnost premene obravnavanih smrekovih monokultur. Podrobneje smo analizirali tudi, v kolikšni meri se razlikujejo talne, vegetacijske in mikroklimatske razmere ter sušni stres vzdolž svetlobnega gradienta v omejenem smrekovem sestoji s podsajeno bukvijo.

Talne razmere in pestrost rastlinskih vrst izbranih sestojev na Pohorju smo primerjali z nekaterimi drugimi smrekovimi gozdovi v Evropi.

2 METODE

2 METHODS

2.1 Študijsko območje

2.1 Study area

Raziskave so potekale v območju Bričke na Pohorju (46° 29' N, 15° 16' E) na nadmorski višini od 1070 do 1100 m. Podnebje ekoregije Pohorje je prehodno celinsko z vplivi subpanonskega območja (Perko, 1998). Povprečna letna količina padavin v obdobju 2004 do 2013 je znašala 1327 mm, povprečna temperatura zraka pa 4,7 °C (Vilhar in sod., 2014). Matična podlaga je kisl silikatna kamnina iz muskovitno biotitnega gnajsa s prehodi v blestnik. Prevladujejo distrični ranker, tipična distrična rjava tla, humusna distrična rjava tla in humusna rjava opodzoljena tla (Urbanšič in Kutnar, 2006). Na območju Bričke je v 19. stoletju potekalo intenzivno golosečno gospodarjenje z gozdom (Cehner, 2002). Na rastiščih kisloljubnega bukovega gozda z jelko (*Luzulo-Fagetum Meusel 1937 var. geogr. Cardamine trifolia* (Marinček 1983) Marinček et Zupančič 1995 *abietetosum*) s prevladujočo bukvijo (*Fagus sylvatica* L.) so bile osnovane drugotne smrekove monokulture (Urbanšič in Kutnar, 2006). Prevladuje smreka (*Picea abies* (L.) Karst.) z 99 % lesne zaloge, medtem ko znaša delež bukve le 1 % lesne zaloge (Cehner, 2002).

Raziskave smo izvedli na štirih ploskvah, velikosti 15 x 15 metrov, v letih od 2002 do 2004. Ploskev 1 (ograjena smrekov sestoj s podsajeno bukvijo) je bila osnovana v 0,34 ha veliki ograjeni površini, ki jo porašča vrzelast smrekov debeljak s primesjo posameznih macesnov. V tem sestoju je v letu 1994 nastala večja vrzel kot posledica udara strele in namnožitve podlubnikov (Cehner, 2002). Spomladi 1995 so delavci Zavoda za gozdove Slovenije v ogradi posadili bukove puljenke lokalne proveniencie Mala kopa. Ploskev 2 (sklenjen smrekov sestoj) leži v sklenjenem sestoju smreke s primesjo posameznih macesnov. Ploskev 3 (sestoj smreke in bukve) leži v prehodnem pasu med smrekovo monokulturo in ohranjenim

bukovim sestojem. Ploskev 4 (bukov sestoj) je bila osnovana v ohranjenem bukovju. Ploskve 2, 3 in 4 niso ograjene.

2.2 Talne razmere

2.2 Soil properties

Na vseh štirih ploskvah smo ugotavljali talne lastnosti in vegetacijo popisali po enotni metodologiji projekta petega okvirnega programa Evropske unije SUSTMAN (Englisch, 2006; Urbanšič in Kutnar, 2006). Na vsaki ploskvi smo na devetih mestih sondirali tla za ugotavljanje talnih lastnosti. Tla smo razvrstili po klasifikaciji v Atlasu gozdnih tal (Urbanšič in sod., 2005). Na vsakem od teh mest smo s pomočjo lesenega okvirja, velikosti 25 cm x 25 cm, odvzeli vzorce organskih podhorizontov. S sondo premera 7 cm pa smo iz vnaprej določenih globin (0–5 cm, 5–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm, 40–80 cm) odvzeli vzorce mineralnega dela tal. Poleg tega smo izkopali, podrobneje opisali in vzorčili tudi reprezentančni talni profil. V laboratorju za gozdno ekologijo Gozdarskega inštituta Slovenije so talnim vzorcem določili kemijske lastnosti, teksturo tal ter vodnozračne lastnosti tal.

2.3 Vegetacijske razmere

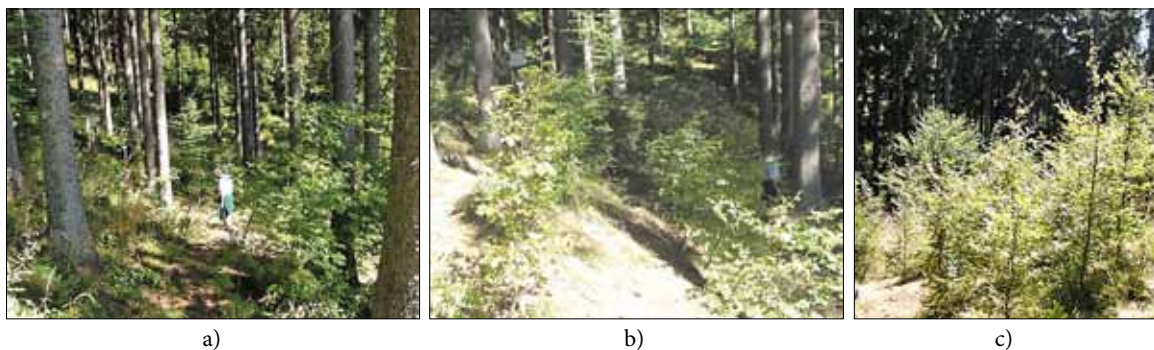
2.3 Vegetation properties

Vegetacijo smo popisali na vseh štirih ploskvah na površini 15 x 15 metrov. Stopnje zastiranja/obilja rastlinskih vrst smo ocenili, kot jih je opredelil Barkman s sod. (1964) ter za primerjavo pestrosti rastlinskih vrst v izbranih sestojih izračunali število vrst [N], Shannonov indeks vrstne pestrosti [H] ter Simpsonov indeks vrstne pestrosti [D].

2.4 Primerjava talnih, vegetacijskih in mikroklimatskih razmer ter sušnega stresa vzdolž svetlobnega gradienta v ograjenem smrekovem sestoju s podsajeno bukvijo

2.4 Comparison of ground, vegetation, and microclimatic conditions and drought stress along the light gradient in fenced spruce stand with underplanted beech

V ograjenem smrekovem sestoju s podsajeno bukvijo so bile oblikovane tri podploskve vzdolž svetlobnega gradienta od popolne zastrtosti



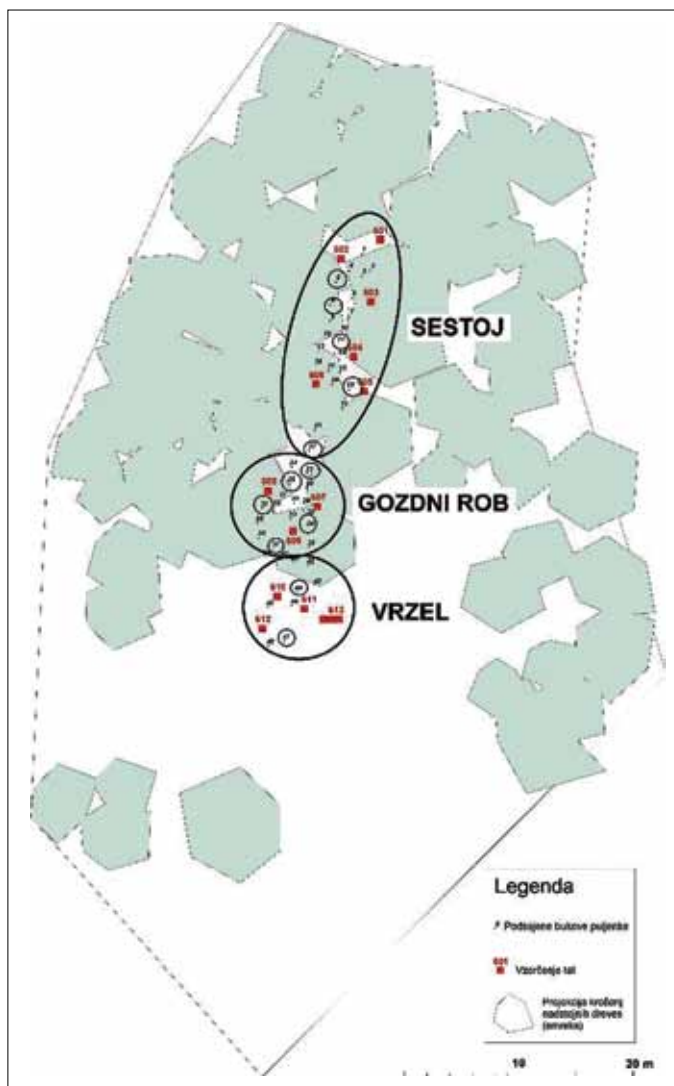
a)

b)

c)

Slika 1: Tri podploskve vzdolž svetlobnega gradienta v ograjenem smrekovem sestoju s podsajeno bukvijo: a) sklenjen sestoj; b) gozdni rob; c) vrzel (Foto: Arhiv GIS)

Figure 1: Three sub-plots along the light gradient in fenced spruce stand with underplanted beech: a) closed stand; b) forest edge; c) gap (Photo: Archive of GIS)



Slika 2: Tri podploskve vzdolž svetlobnega gradienta v ograjenem smrekovem sestoju s podsajeno bukvijo: sklenjen sestoj – gozdni rob – vrzel. Mesta vzorčenja tal in meritve vsebnosti vlage v tleh z metodo TDR so označene s kvadrati ■ (Vilhar in sod., 2006).

Figure 2: Three sub-plots along the light gradient in fenced spruce stand with underplanted beech: closed stand – forest edge – gap. Locations of sampling and measuring moisture content in the soil using TDR method are marked with squares ■ (Vilhar et al., 2006).

(sklenjen sestoj) preko gozdnega roba (gozdni rob) do vrzeli (vrzel) (Slika 1 in 2) (Čater in Simončič, 2009).

Na izbranih podploskvah smo v letu 2003 primerjali talne razmere s sondiranjem tal, določili debelino in obliko organskih podhorizontov ter globino mineralnih horizontov tal. V vegetacijskih obdobjih 2003 in 2004 smo na vsaki od podploskev merili urne vrednosti za temperaturo zraka in relativno zračno vlago na višini 2 m s samodejno vremensko postajo (Wireless Vantage Pro2™ Plus, Davis Instruments, ZDA). Ugotavljali smo razlike v dnevni temperaturi zraka in relativni zračni vlagi med podploskvami s pomočjo T-testa v programu STATISTICA (Statsoft Inc., 2011).

Za ugotavljanje sušnega stresa za obdobje od leta 1995, ko so bile posajene bukove puljenke, pa do leta 2004, smo uporabili hidrološki model WATBAL (Starr, 2004). Model kot ekofiziološki indeks za sušni stres poda razmerje med dejansko in potencialno evapotranspiracijo (AET/PET). Za kalibracijo in verifikacijo modela smo uporabili povprečne mesečne vrednosti za globalno sončno sevanje ter za referenčno potencialno evapotranspiracijo po Penman-Monteithu (Sumner in Jacobs, 2005), izmerjene oziroma izračunane za najbližjo meteorološko postajo Agencije RS za okolje (arhiv ARSO). Vhodne parametre modela

smo nato prilagodili za vsako od treh podploskev tako, da je bilo doseženo najboljše ujemanje med simulirano in merjeno vsebnostjo vlage v tleh z metodo TDR (Time Domain Reflectometry, TDR 100 naprava, Campbell Scientific Inc., USA in AutoTDR program, PRENART EQUIPMENT, Danska).

3 REZULTATI

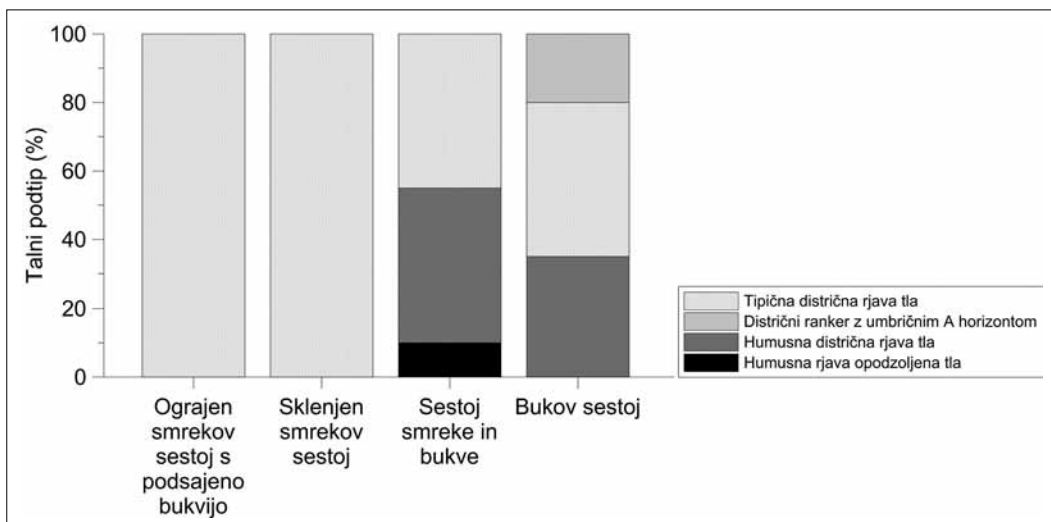
3 RESULTS

3.1 Talne razmere

3.1 Soil properties

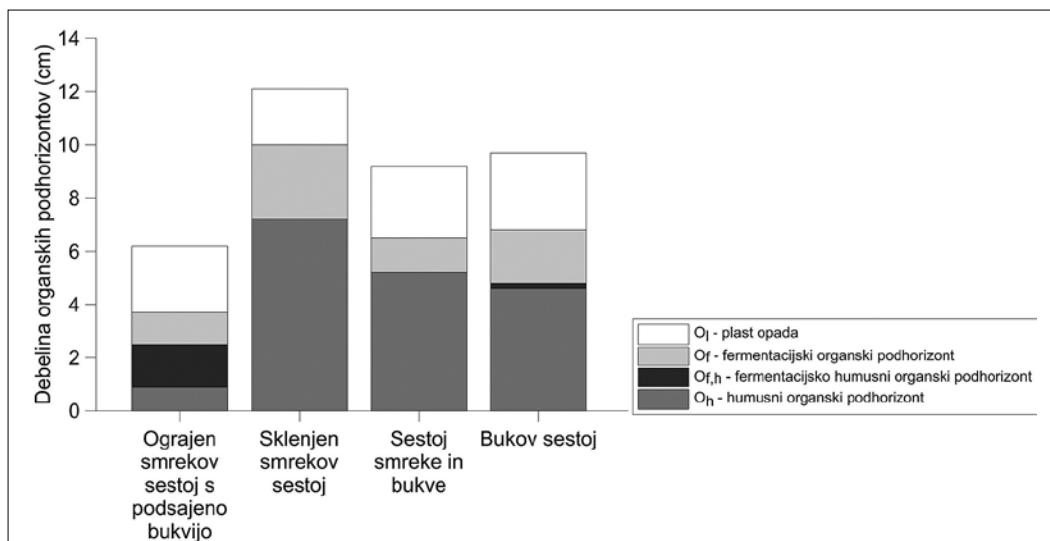
V ograjenem smrekovem sestoju s podsajeno bukvijo in v sklenjenem smrekovem sestoju so tipična distrična rjava tla (oziroma distrični kambisol) (Slika 3). V sestoju smreke in bukve ter v bukovem sestoju so tudi humusna distrična rjava tla, le v bukovem sestoju se pojavlja tudi distrični ranker z umbričnim horizontom A in le v sestoju smreke in bukve tudi humusna rjava opodzoljena tla (oziroma brunipodzol).

Tla so bila večinoma globoka do zelo globoka, le v bukovem sestoju srednje globoka. Izmerjena povprečna debelina organskega horizonta (O) je bila najmanjša v ograjenem smrekovem sestoju s podsajeno bukvijo in največja v sklenjenem smrekovem sestoju (Slika 4). Pod razmeroma tanko plastjo opada (O_1) je na vseh ploskvah

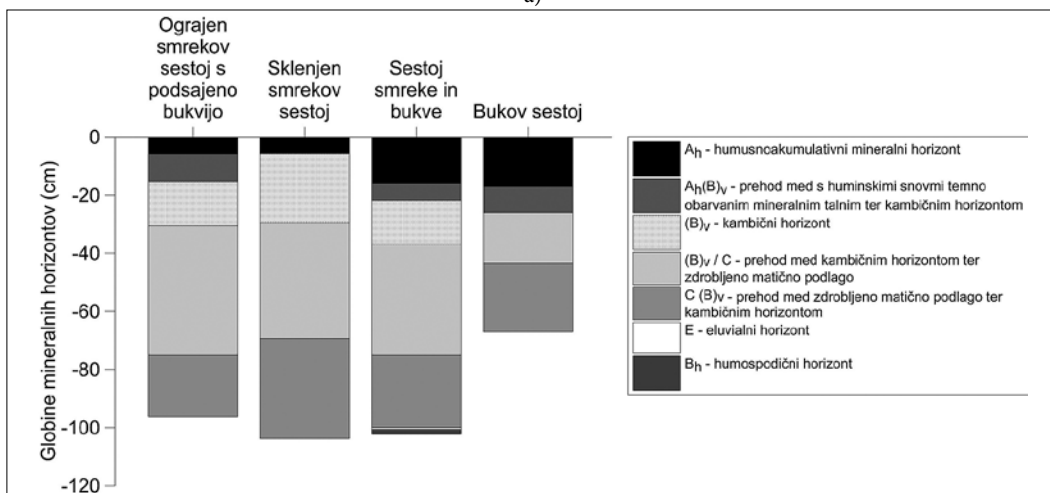


Slika 3: Talni podtipi v izbranih sestojih na območju Bričke na Pohorju

Figure 3: Soil sub-types in the selected stands in the area of Brička on Pohorje



a)



b)

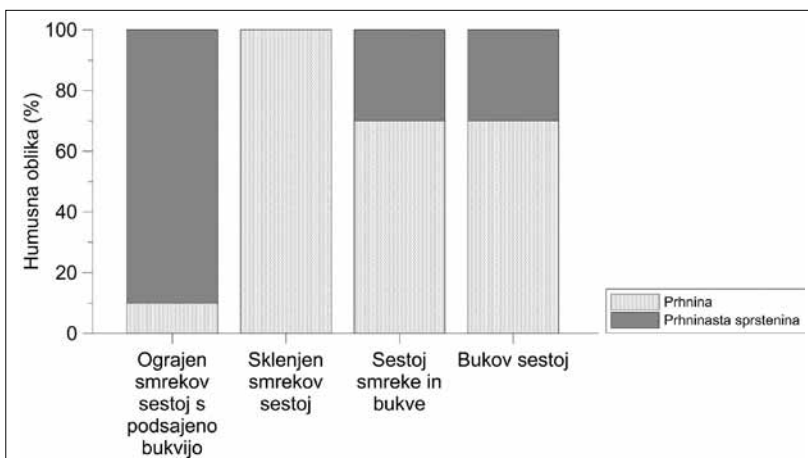
Slika 4: a) Debelina organskih podhorizontov in b) globine mineralnih horizontov v izbranih sestojih na območju Bričke na Pohorju

Figure 4: a) Thickness of organic sub-horizons and b) depths of mineral horizons in the selected stands in the area of Brička on Pohorje

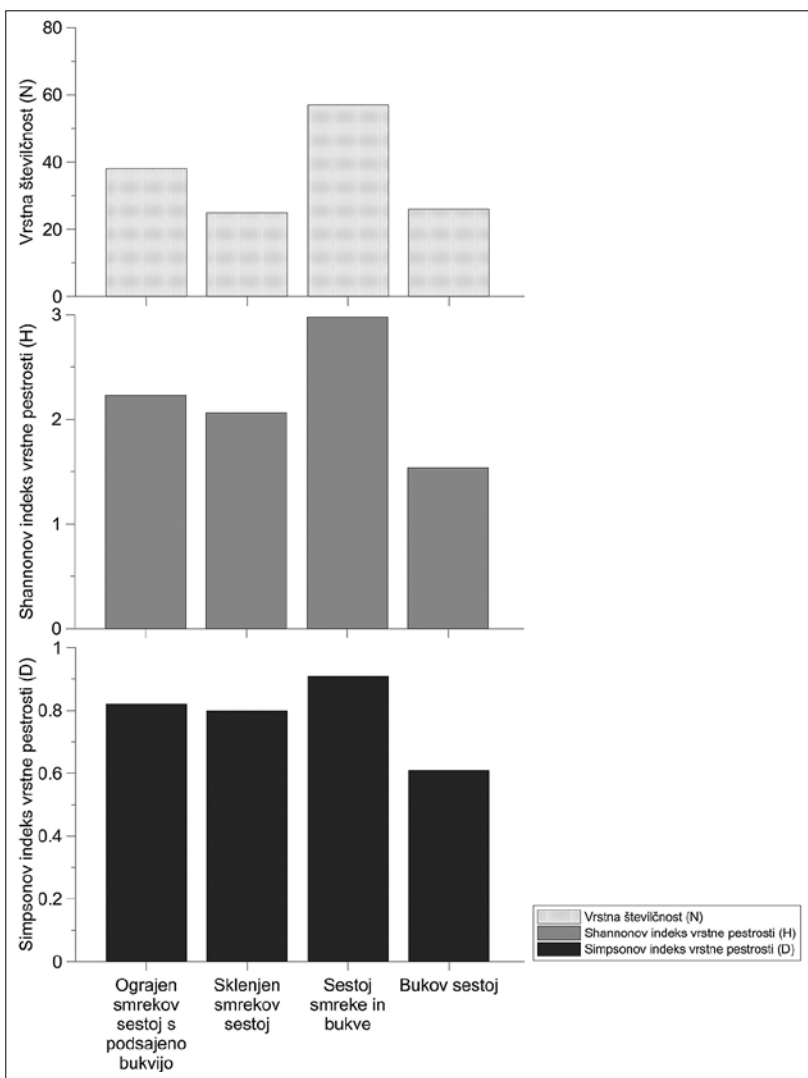
fermentacijski organski podhorizont (O_f), v katerem se opad počasi razkraja (Sušin, 1979) in je nadebelejši v sklenjenem smrekovem sestoju. Humusni organski podhorizont (O_h) je na vseh ploskvah, a je v povprečju najdebelejši v sklenjenem smrekovem sestoju in najtanjši v ograjenem smrekovem sestoju s podsajeno bukvijo, kar nakazuje ugodnejše razmere za razkroj organske snovi.

V organskem horizontu se pojavljata humusni obliki prhninaste sprstenine in prhnina, pri čemer je delež prhninaste sprstenine največji v ograjenem smrekovem sestoju s podsajeno bukvijo (90 %), v sklenjenem smrekovem sestoju pa je ni (Slika 5). V sestoju smreke in bukve ter v bukovem sestoju so deleži prhnine (70 %) večji od prhninaste sprstenine (30 %).

Slika 5: Humusne oblike v izbranih sestojih na območju Bričke na Pohorju
 Figure 5: Humus types in the selected stands in the area of Brička on Pohorje



Slika 6: Število vrst (N), Shannonov indeks vrstne pestrosti (H) in Simpsonov indeks vrstne pestrosti (D) v izbranih sestojih na območju Bričke na Pohorju
 Figure 6: Number of species (N), Shannon's diversity index (H), and Simpson's diversity index (D) in the selected stands in the area of Brička on Pohorje



3.2 Vegetacijske razmere

3.2 Vegetation properties

Glede na neposredno bližino ohranjenega bukovega gozda tudi v smrekovi monokulturi poteka naravna obnova z listavci (npr. *Fagus sylvatica*, *Acer pseudoplatanus*, *Sorbus aucuparia*). V sestojnih vrzelih ponekod naravno obnovo ovira konkurenca šašulic (*Calamagrostis* sp.), drugih trav (*Poaceae*) in bekic (*Luzula* sp.), ki tvorijo goste blazine.

Največjo pestrost rastlinskih vrst smo ugotovili v sestoji smreke in bukve, saj je v tem sestoji ugotovljeno največ vrst ($N = 57$), najvišji Shannonov indeks vrstne pestrosti ($H = 2,98$) in tudi najvišji Simpsonov indeks vrstne pestrosti ($D = 0,91$) (Slika 6). Relativno majhno pestrost smo ugotovili v sklenjenem smrekovem sestoji ($N = 25$; $H = 2,06$; $D = 0,80$). Zaradi večjega naklona terena, plitvejših tal in sklenjenosti sestoja, ki prepušča razmeroma malo svetlobe do tal, je pestrost vrst razmeroma majhna tudi v ohranjenem bukovem sestoji ($N = 26$; $H = 1,54$; $D = 0,61$).

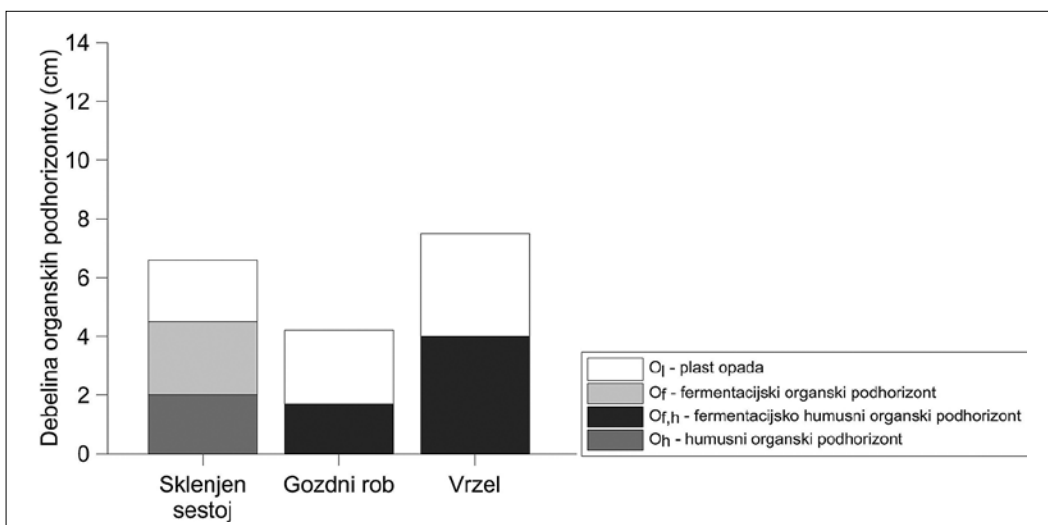
3.3 Primerjava talnih, vegetacijskih in mikroklimatskih razmer ter sušnega stresa vzdolž svetlobnega gradienta v ograjenem smrekovem sestoji s podsajeno bukvijo

3.3 Comparison of soil, vegetation, and microclimatic conditions and drought stress along the light gradient in fenced spruce stand with underplanted beech

V ograjenem smrekovem sestoji s podsajeno bukvijo prevladuje distrični kambisol. Fermentacijski (O_f) in humusni organski podhorizonti (O_h) so bili dobro razviti le v sklenjenem sestoji (Slika 7), kar kaže na manj ugodne razmere za razkroj organske snovi na tej podploskvi. Na izrazitejši razkroj organske snovi kaže prisotnost mešanega fermentacijsko humusnega ($O_{f,h}$) organskega podhorizonta na gozdnem robu in v vrzeli.

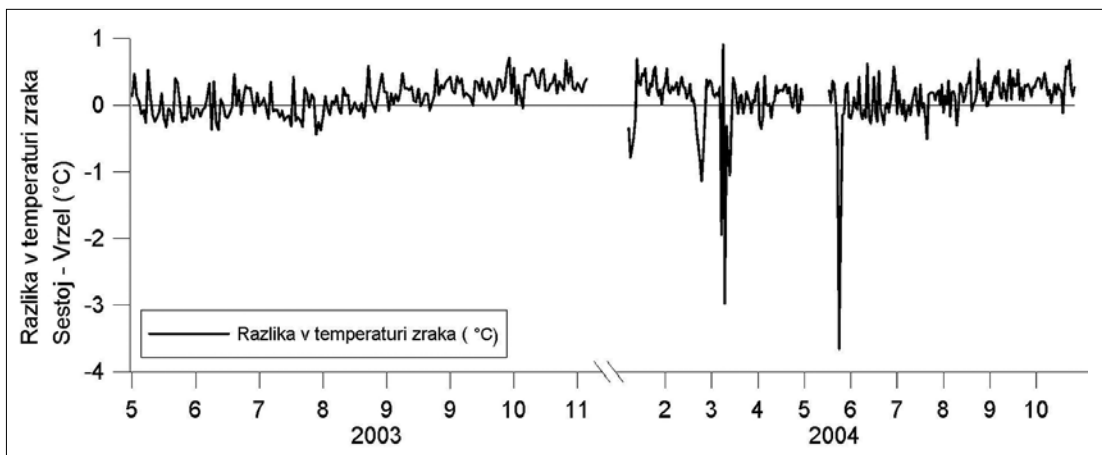
V sklenjenem sestoji so bile povprečne dnevne temperature zraka malo višje kot v vrzeli, vendar se niso statistično značilno razlikovale ($t = -0,211$; $p = 0,833$). Tudi relativna zračna vlaga je bila v sklenjenem sestoji višja kot v vrzeli, čeprav statistično značilnih razlik nismo ugotovili ($t = 0,269$; $p = 0,789$).

V vegetacijskem obdobju 2003 in 2004 je bila povprečna merjena vsebnost vlage v tleh



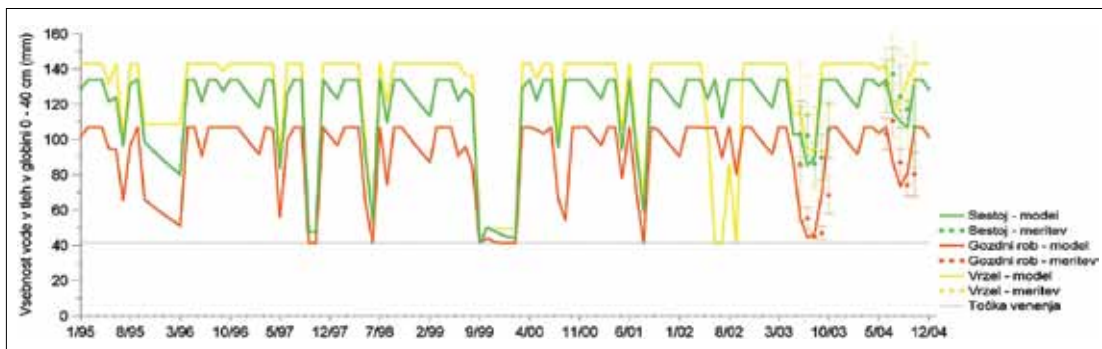
Slika 7: Debelina organskih podhorizontov na treh podploskvah vzdolž svetlobnega gradienta v ograjenem smrekovem sestoji s podsajeno bukvijo: sklenjen sestoj – gozdni rob – vrzel

Figure 7: Thickness of organic sub-horizons on three sub-plots along light gradient in fenced spruce stand with underplanted beech: closed stand – forest edge – gap



Slika 8: Razlika v temperaturi zraka v sklenjenem sestoju in vrzeli v ograjenem smrekovem sestoju s podsajeno bukvijo. Vrednosti nad 0 pomenijo višje temperature zraka v sklenjenem sestoju kot v vrzeli.

Figure 8: Air temperature differences on sub-plots: closed stand and gap in fenced spruce stand with underplanted beech. Values above 0 represent higher air temperatures in the stand than in the gap.



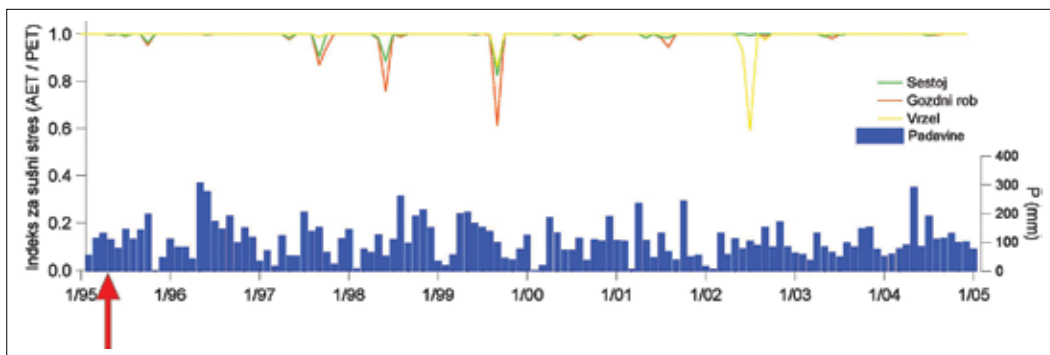
Slika 9: Vsebnost vlage v tleh v globini 0–40 cm, simulirana z modelom WATBAL ter merjena s TDR na treh podploskvah vzdolž svetlobnega gradienta: sklenjen sestoj – gozdni rob – vrzel v ograjenem smrekovem sestoju s podsajeno bukvijo. Siva črta označuje točko venenja (PWP = 41,20 mm pri 15 barih).

Figure 9: Moisture content in the soil in the depth of 0–40 cm, simulated with WATBAL model and measured with TDR on three sub-plots along the light gradient: closed stand – forest edge – gap in fenced spruce stand with underplanted beech. Grey line marks the wilting point (PWP = 41.20 mm at 15 bar)

najmanjša na gozdnem robu (60 mm v 2003 in 86 mm v 2004), sledil je sklenjen sestoj (99 mm v 2003 in 119 mm v 2004), največje vrednosti pa so bile izmerjene v vrzeli (108 mm v 2003 in 127 mm v 2004) (Slika 9). Najmanjše vsebnosti vlage v tleh je model WATBAL nakazal v obdobju od septembra 1999 do februarja 2000, ko je bila izmerjena tudi izredno majhna količina padavin. Majhna vsebnost vlage v tleh se je ponovno pojavila septembra in oktobra 1997. Vendar pa v obravnavanih sestojih nismo izmerili izjemno majhne vsebnosti vlage v tleh v letu 2003, ko je

velik del srednje Evrope zajela suša (Granier in sod., 2007).

Povprečne mesečne vrednosti indeksa za sušni stres za celotno obdobje simulacije z modelom WATBAL so bile najnižje na gozdnem robu (0,991), medtem ko so bile v vrzeli (0,994) in sklenjenem sestoju (0,995) podobne. V vrzeli je sušni stres nastal le v juliju 2002 (AET/PET = 0,591), sicer pa so bile mesečne vrednosti indeksa za sušni stres v vrzeli višje od 0,920 (Slika 10). Na gozdnem robu je sušni stres nastal večkrat, pri čemer je bil najbolj izrazit v septembru 1999



Slika 10: Padavine na prostem (mm) ter indeks za sušni stres kot razmerje med dejansko in potencialno evapotranspiracijo (AET / PET) v letih od 1995 do 2004, simuliran s hidrološkim modelom WATBAL na treh podploskvah vzdolž svetlobnega gradienta: sklenjen sestoj – gozdni rob – vrzel v ograjenem smrekovem sestoju s podsajeno bukvijo (Ploskev 1). Rdeča puščica označuje čas sajenja bukovih puljenk.

Figure 10: Bulk precipitation (mm) and drought stress index as the ratio between the actual and potential evapotranspiration (AET / PET) in the years from 1995 to 2004, simulated with WATBAL hydrological model on three sub-plots along the light gradient: closed stand – forest edge – gap in fenced spruce stand with underplanted beech (Plot 1). Red arrow marks time of beech saplings planting.

(AET/PET = 0,613). V sklenjenem sestoju model ni pokazal sušnega stresa, saj so bile vrednosti indeksa za sušni stres vedno nad 0,824.

4 RAZPRAVA 4 DISCUSSION

Talne (Gömöryová in sod., 2008) in vegetacijske razmere (Zerbe, 2002) so dober pokazatelj spremenjenosti rastišč v drugotnih smrekovih sestojih (Sušin, 1979). To potrjujejo tudi rezultati naše raziskave, saj se talne razmere in pestrost rastlinskih vrst precej razlikujejo v ograjenem smrekovem sestoju s podsajeno bukvijo, sklenjenem smrekovem sestoju, v sestoju smreke in bukve ter v bukovem sestoju na rastiščih kisloljubnega bukovega gozda na Pohorju.

V obravnavanih sestojih prevladujejo tipična distrična rjava tla (distrični kambisol), pri čemer so talne razmere primerljive v ograjenem smrekovem sestoju s podsajeno bukvijo, sklenjenem smrekovem sestoju ter v sestoju smreke in bukve. V bukovem sestoju smo ugotovili najplitvejša tla, prisotnost manj rodovitnih distričnih rankerjev ter večje naklone terena. To je morda posledica dejstva, da so se naravno prisotni bukovi sestoji na območju Bričke ohranili le na slabših in težje dostopnih rastiščih, kjer je bila smreka manj konkurenčna. V sklenjenem smrekovem sestoju

smo ugotovili najdebelejše organske horizonte ter prevladujočo humusno obliko tipično prhnino, kar nakazuje, da na tej ploskvi najpočasneje poteka razkroj organske snovi (Sušin, 1982). V vrzelih in na bolj odprtih mestih so razmere za humifikacijo ugodnejše kot v sklenjenih sestojih (Heim in Frey, 2004). Tako ugotavljamo, da razkroj organske snovi najhitreje poteka v ograjenem smrekovem sestoju s podsajeno bukvijo, saj so tam organski horizonti najtanjši ter delež prhninaste sprstenine največji. V sestoju smreke in bukve ter v bukovem sestoju še vedno prevladujejo humusne oblike tipične prhnine, kar priča o zmernem razkroju organske snovi v sklenjenih sestojih, kjer je bukev primešana ali celo prevladuje. Sušin (1982) ter Sušin in Kalan (1983) kot pomemben dejavnik degradacije tal pod smrekovimi monokulturami navajata tudi število generacij smreke ter lastnosti tal pred ureditvijo smrekovih nasadov. Na pohorskih bukovih rastiščih s kislimi rjavimi tlemi (oziroma distričnim kambisolom) na nekarbonatnih matičnih podlagah sta ugotovila, da imajo tla v smrekovih nasadih prve, druge in tretje generacije večinoma organska podhorizonta O_f in O_h ter obliko humusa prhlina ter ponekod surov humus. V primerjavi s tlemi v ohranjenih bukovih sestojih so ta tla praviloma bolj kislila, imajo širša razmerja med organskim ogljikom

in celokupnim dušikom (C/N) ter nižje stopnje nasičenosti z izmenljivimi bazami.

Obravnavani smrekovi sestoji na Brički na Pohorju so glede sestave vegetacije med pestrejšimi v primerjavi s smrekovimi monokulturami, ki so bile analizirane v okviru projekta SUSTMAN v Avstriji, Nemčiji, na Češkem in Švedskem (Urbanšič in Kutnar, 2006). Sestoji na Brički so glede rastlinske vrstne sestave razmeroma blizu redkim ohranjenim gozdovom na tem območju. Največjo pestrost rastlinskih vrst smo ugotovili v sestoji smreke in bukve, kjer prisotnost bukve omogoča naravno obnovo z listavci v smrekovi monokulturi. Tej ploskvi po pestrosti rastlinskih vrst sledi ograjen smrekov sestoj s podsajeno bukvijo. To je v skladu z ugotovitvami Máliš in sod. (2010), ki so v mešanih sestojih bukve in smreke na Slovaškem ugotovili večjo rastlinsko pestrost v sestojih z manj kot 50 % deležem smreke. Poročajo tudi, da večji delež smreke ne prispeva k splošnemu zmanjšanju rastlinske pestrosti, pač pa vpliva na spremembe v sestavi rastlinskih vrst (Máliš in sod., 2010). To potrjujejo tudi rezultati naše raziskave, saj je bila najmanjša rastlinska pestrost ugotovljena v bukovem sestoji, v sklenjenem smrekovem sestoji pa je bila po pričakovanjih tudi razmeroma majhna. V obeh sestojih je prisoten gost sklep krošenj in posledično so manj ugodne svetlobne razmere. Na majhno rastlinsko pestrost v bukovem sestoji deloma vplivajo tudi plitvejša in manj rodovitna tla, večji nakloni terena in večja sklenjenost sestoja v primerjavi z drugimi ploskvami.

4.1 Primerjava talnih, vegetacijskih in mikroklimatskih razmer ter sušnega stresa vzdolž svetlobnega gradienta v ograjenem smrekovem sestoji s podsajeno bukvijo

4.1 Comparison of soil, vegetation, and microclimatic conditions and drought stress along light gradient in fenced spruce stand with underplanted beech

Za uspeh premene smrekovih monokultur v bukove sestaje s podsajeno bukvijo so poleg ugodnih svetlobnih in talnih razmer pomembne tudi primerne mikroklimatske razmere in zadostna preskrbljenost z vodo. Tako Madsen in Löff (2005)

navajata, da je na uspešnost podsajenih hrastovih sadik v smrekovih monokulturah na Danskem in JZ Švedski zelo vplivala lokacija sestaja. Mirschel in sod. (2011) poročajo, da so bili za uspeh bukovega mladja v monokulturi bora v SV Nemčiji najpomembnejši dejavniki razpoložljivost vlage v tleh, debelina, oblika in struktura organskega horizonta, vsebnost melja in humusa v zgornji plasti tal ter odsotnost goste pritalne vegetacije kot dejavnika kompeticije.

V naši raziskavi ugotavljamo, da razkroj organske snovi najhitreje poteka na gozdnem robu in v vrzeli v ograjenem smrekovem sestoji s podsajeno bukvijo, najpočasneje pa v sestoji pod sklenjenim sklepom krošenj odraslega drevja. Razlik v temperaturi zraka in relativni vlagi med sklenjenim sestojem in vrzeljo nismo ugotovili, pač pa je bila vsebnost vlage v tleh najnižja na gozdnem robu, kar odraža povečano kompeticijo za razpoložljivo vodo v koreninski plasti na tej podploskvi. Najvišja vsebnost vode v tleh je bila izmerjena v vrzeli v celotnem obdobju meritev, kar je posledica manjše intercepcije krošenj ter manjše transpiracije vegetacije v vrzeli v primerjavi s sestojem (Vilhar in sod., 2006). Tudi simulacija s hidrološkim modelom WATBAL je nakazala sušni stres le na gozdnem robu, ki je bil najizrazitejši v septembru 1999. Večja razpoložljivost vode v tleh ter ugodne svetlobne razmere (Čater in sod., 2013) pomembno prispevajo k uspešnosti podsajenih smrekovih monokultur z listavci. Tako Madsen in Löff (2005) navajata, da je bila uspešnost hrastovih sadik v smrekovih monokulturah na Danskem in JZ Švedski večja v vrzelih (golosek) kot pod zastorom. Vendar pa večje odpiranje sestojev lahko še posebno na prisojnih legah omogoči razrast različnih trav (npr. šašulice) in drugih svetloljubnih vrst, ki so konkurenca klicam drevesnih vrst za prostor in vire (Robič, 1985). Gost preplet trav in drugih zelišč lahko ovira nasementitev drevesnih vrst in njihov nadaljnji razvoj (Diaci, 2002). Pri uspešnosti pomlajevanja je pomemben dejavnik tudi objedanje divjadi v neograjenih sestojih (Diaci, 2006; Rozman in sod., 2015).

Kljub majhnemu številu obravnavanih ploskev ugotavljamo, da je osnivanje smrekovih monokultur na rastiščih kisloljubnega bukovega gozda na območju Bričke na Pohorju pomembno vplivalo na

spremenjene talne in vegetacijske razmere. Vendar imajo ploskve na Brički v primerjavi s preostalimi petimi Sustmanovimi ploskvami v Avstriji, Švedski, Nemčiji in Češki najbolj vlažno podnebje ter glede na oblike humusa in upoštevane talne parametre najrodovitnejše talne razmere (Reiter in sod., 2003; Urbančič in Kutnar, 2006). Hkrati so to tudi ploskve z največjo vrstno pestrostjo. To priča o velikem potencialu za uspešno premeno antropogenih smrekovih sestojev na Pohorju v bolj naravne mešane gozdove.

5 ZAKLJUČKI

5 CONCLUSIONS

Ugotavljamo, da so se zaradi osnovanja smrekovih monokultur na rastiščih kisloljubnega bukovega gozda v izbranih sestojih na območju Bričke na Pohorju znatno spremenile talne in vegetacijske razmere, kar bi lahko vplivalo na uspešnost premene obravnavanih smrekovih monokultur.

Razkroj organske snovi najpočasneje poteka v sklenjenem smrekovem sestoju ter najhitreje v ograjenem smrekovem sestoju s podsajeno bukvijo, predvsem na gozdnem robu in v vrzeli, kjer so ugodnejše razmere za humifikacijo.

Največja pestrost rastlinskih vrst je v sestoju smreke in bukve. Najmanjša rastlinska pestrost je v bukovem sestoju, ki mu sledi sklenjen smrekov sestoj, pri čemer je v teh sestojih prisoten gost sklep krošenj in posledično so manj ugodne svetlobne razmere.

V ograjenem smrekovem sestoju s podsajeno bukvijo nismo ugotovili razlik v mikroklimi med sklenjenim sestojem in vrzeljo. Ugotovili pa smo razlike v vsebnosti vlage v tleh, ki je bila najmanjša na gozdnem robu in največja v vrzeli. Tudi sušni stres je bil prisoten le na gozdnem robu, kjer je največja kompeticija za rastlinam razpoložljivo vodo v tleh.

V primerjavi s preostalimi petimi Sustmanovimi ploskvami v Avstriji, Švedski, Nemčiji in Češki imajo ploskve na območju Bričke na Pohorju najbolj vlažno podnebje, oblika humusa ima najožje C/N razmerje, posledica takšnih talnih razmer je hitrejša razgradnja rastlinskih ostankov, tla so najrodovitnejša in tudi vrstna pestrost je največja.

6 ZAHVALA

6 ACKNOWLEDGEMENT

Raziskava je delno potekala v okviru projekta SUSTMAN 5 OP EU (QLK5-CT-2002-00851), postdoktorskega projekta Z4-9641-0404, JGS naloge 1.2: Raziskave gozdnih rastišč in njihovega razvrednotenja kot podlage za načrtovanje in gospodarjenje z gozdovi ter Programske skupine Gozdna biologija, ekologija in tehnologija (P4-0107). Izsledki raziskave so bili predstavljeni v okviru XXXI. Gozdarskih študijskih dni 2014.

7 VIRI

7 REFERENCES

- Ammer, C., Mosandl, R., Kateb, H. E., 2002. Direct seeding of beech (*Fagus sylvatica* L.) in Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) stands-effects of canopy density and fine root biomass on seed germination. *Forest Ecology and Management*, 159, 1-2: 59-72.
- Barkman, J. J., Doing, H., Segal, S., 1964. Kritische Bemerkungen und Vorschläge zur quantitativen Vegetationsanalyse. *Acta botanica Neerlandica*, 13, 113-136.
- Breznikar, A., Mlinšek, G., Cehner, M., Grecc, Z., Čater, M., 2006. Strategije sanacije antropogenih smrekovih sestojev na Pohorju. V: Splošne ekološke in gozdnogojitvene osnove za podsajno bukve (*Fagus sylvatica* L.) v antropogenih smrekovih sestojih. P. Simončič, M. Čater(ur.). Ljubljana, *Silva Slovenica*, Gozdarski Inštitut Slovenije: 129: 143-153.
- Čater, M., Schmid, I., Kazda, M., 2013. Instantaneous and potential radiation effect on underplanted European beech below Norway spruce canopy. *European Journal of Forest research*, 132, 1: 23-32.
- Čater, M., Simončič, P., 2009. Photosynthetic response of young beech (*Fagus sylvatica* L.) on research plots in different light conditions. Fotosintetski odziv mladih stabala bukve (*Fagus sylvatica* L.) na odabranim plohama u različitim svetlosnim uvjetima. *Šumarski list*, 83, 11-12: 569-576.
- Čater, M., Simončič, P., 2010. Root distribution of under-planted European beech (*Fagus sylvatica* L.) below the canopy of a mature Norway spruce stand as a function of light. *European journal of Forest Research*, 210, 1: 10-19.
- Cehner, M., 2002. Gozdnogospodarski podatki o raziskovalni ploskvi Brička - projekt SUSTMAN. Mislinja, ZAVOD ZA GOZDOVE SLOVENIJE,

- Območna enota Slovenj Gradec, Krajevna Enota Mislinja: str. 1.
- Diaci, J., 2002. Regeneration dynamics in a Norway spruce plantation on a silver fir-beech forest site in the Slovenian Alps. *Forest Ecology and Management*, 161, 27–38.
- Diaci, J., 2006. Pedeset let premene drugotnih smrekovih gozdov v Sloveniji. V: Splošne ekološke in gozdnogojitvene osnove za podsadnjo bukve (*Fagus sylvatica* L.) v antropogenih smrekovih sestojih. P. Simončič, M. Čater.(ur.). Ljubljana, *Silva Slovenica*, Gozdarski inštitut Slovenije: 129: 56–67.
- Englich, M., 2006. Manual for assessment of biometric data, soil sampling, site and soil description. Project SUSTMAN - introduction of broadleaf species for sustainable forest management. Vienna, Department of Forest Ecology, BFW Vienna: str. 46.
- Fanta, J., 1997. Rehabilitating degraded forests in Central Europe into self-sustaining forest ecosystems. *Ecological Engineering*, 8, 4: 289–297.
- Gömöryová, E., Štřelcová, K., Škvarenina, J., Bebej, J., Gömöry, D., 2008. The impact of windthrow and fire disturbances on selected soil properties in the Tatra National Park. *Soil Water Research*, 3, 1: 574–580.
- Granier, A., Reichstein, M., Breda, N., Janssens, I. A., Falge, E., Ciais, P., Gruenwald, T., Aubineth, M., Berbigier, P., Bernhofer, C., Buchmann, N., Facini, O., Grassi, G., Heinesch, B., Ilvesniemi, H., Keronen, P., Knohl, A., Koestner, B., Lagergren, F., Lindroth, A., Longdoz, B., Loustau, D., Mateus, J., Montagnani, L., Nys, C., Moors, E., Papale, D., Peiffer, M., Pilegaard, K., Pita, G., Pumpanen, J., Rambal, S., Rebmann, C., Rodrigues, A., Seufert, G., Tenhunen, J., Vesala, T., Wang, Q. 2007. Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003. *Agricultural and Forest Meteorology*, 143, 123–145.
- Heim, A., Frey, B., 2004. Early stage litter decomposition rates for Swiss forests. *Biogeochemistry*, 70, 3: 299–313.
- Jabiol B., Zanella A., Englich M., Hager H., Katzensteiner K., Waal R.W. 2004. Towards an European Classification of Terrestrial Humus Forms. 10 str.
- Jurc, M., Perko, M., Džeroski, S., Demšar, D., Hrašovec, B., 2006. Spruce bark beetles (*Ips typographus*, *Pityogenes chalcographus*, Col.: *Scolytidae*) in the Dinaric mountain forests of Slovenia: Monitoring and modeling. *Ecological Modelling*, 194, 1–3: 219–226.
- Klimo, E., 2002. Ecological consequences of clearcutting in spruce monocultures. *Ekológia (Bratislava)*, 21, 1: 14–30.
- Klimo, E., Hager, H., Kulhavy, J., 2000. Spruce Monocultures in Central Europe - Problems and Perspectives. Joensuu, Finland, European Forestry Institute: str. 208.
- Madsen, P., Löf, M., 2005. Reforestation in southern Scandinavia using direct seeding of oak (*Quercus robur* L.). *Forestry*, 78, 1: 55–64.
- Máliš, F., Vladovič, J., Čaboun, V., Vodálová, A., 2010. The influence of *Picea abies* on herb vegetation in forest plant communities of the Veporské vrchy Mts. *Journal of Forest Science*, 56, 2: 58–67.
- Mansourian, S., Vallauri, D., Dudley, N., 2005. *Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees*. New York, Springer: 438 str.
- Mirschel, F., Zerbe, S., Jansen, F., 2011. Driving factors for natural tree rejuvenation in anthropogenic pine (*Pinus sylvestris* L.) forests of NE Germany. *Forest Ecology and Management*, 261, 3: 683–694.
- Misson, L., Rasse, D. P., Vincke, C., Aubinet, M., François, L., 2002. Predicting transpiration from forest stands in Belgium for the 21st century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 111, 4: 265–282.
- Ogris, N., Jurc, M., 2010. Sanitary felling of Norway spruce due to spruce bark beetles in Slovenia: A model and projections for various climate change scenarios. *Ecological Modelling*, 221, 2: 290–302.
- Perko, D., 1998. *Slovenija - pokrajine in ljudje*. Ljubljana, Mladinska knjiga: 735 str.
- Reiter, R. 2003. Introduction of broadleaf species for sustainable forest management. SUSTMAN QLRT-2001-00851, Site report. BFW, Vienna: str. 73.
- Robič, D., 1985. Problemi naravnega obnavljanja antropogenih altimontanskih smrekovij na Pohorju. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 26, 149–159.
- Rothe, A., Huber, C., Kreutzer, K., Weis, W., 2002. Deposition and soil leaching in stands of Norway spruce and European Beech: Results from the Höglwald research in comparison with other European case studies. *Plant and Soil*, 240, 33–45.
- Rozman, A., Diaci, J., Krese, A., Fidej, G., Rozenbergar, D., 2015. Forest regeneration dynamics following bark beetle outbreak in Norway spruce stands: Influence of meso-relief, forest edge distance and deer browsing. *Forest Ecology and Management*, 353, 196–207.
- Simončič, P., Čater, M., Breznikar, A., Zupanič, M., 2005. Ekološke in gozdnogojitvene osnove za podsadnjo bukve v antropogenih smrekovih sestojih : zgoščena informacija o rezultatih raziskovalne naloge Vnašanje listavcev za trajnostno gospodarjenje z gozdovi – SUSTMAN. *Gozdarski vestnik*, 63, 9: 365–372.
- Starr, M., 2004. WATBAL. A monthly soil water balance for forest stands: model description and basis. In preparation: 31–35 str.
- Statsoft Inc. 2011. STATISTICA (data analysis software system)str.

- Sumner, D. M., Jacobs, J. M., 2005. Utility of Penman-Monteith, Priestley-Taylor, reference evapotranspiration, and pan evaporation methods to estimate pasture evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 308, 1–4: 81–104.
- Sušin, J., 1979. Degradirana gozdna tla in vegetacija I del. Ljubljana: str. 56.
- Sušin, J., 1982. Degradirana gozdna tla in vegetacija II del. Ljubljana: str. 31.
- Sušin, J., Kalan, J., 1983. Nekatere kemične lastnosti tal pod smrekovimi nasadi. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 22, 125.
- Urbančič, M., Kutnar, L., 2006. Site conditions of the Brička plot and comparison with other SUSTMAN plots. V: Splošne ekološke in gozdnogojitvene osnove za podsadnjo bukve (*Fagus sylvatica* L.) v antropogenih smrekovih sestojih. P. Simončič, M. Čater.(ur.). Ljubljana, *Silva Slovenica*, Gozdarski inštitut Slovenije: 129: 68–85.
- Urbančič, M., Simončič, P., Prus, T., Kutnar, L., 2005. ATLAS gozdnih tal. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Gozdarski Vestnik in Gozdarski Inštitut: 100 str.
- Vilhar, U., Nadezhdina, N., Cermak, J., Gasparek, J., Urbančič, M., Simončič, P., 2006. Measuring and modeling of the transpiration of underplanted beech in spruce stand on Pohorje. Meritve in modeliranje transpiracije podsajane bukve v smrekovem sestoju na Pohorju. V: Splošne ekološke in gozdnogojitvene osnove za podsadnjo bukve (*Fagus sylvatica* L.) v antropogenih smrekovih sestojih. P. Simončič, M. Čater.(ur.). Ljubljana, *Silva Slovenica*, Gozdarski Inštitut Slovenije: 129: 86–103.
- Vilhar, U., Skudnik, M., Ferlan, M., Simončič, P., 2014. Influence of meteorological conditions and crown defoliation on tree phenology in intensive forest monitoring plots in Slovenia. Vpliv vremenskih spremenljivk in osutosti krošenj na fenološke faze dreves na ploskvah intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov v Sloveniji. *Acta Silvae et Ligni*, 105, 1–15.
- Zerbe, S., 2002. Restoration of natural broad-leaved woodland in Central Europe on sites with coniferous forest plantations. *Forest Ecology and Management*, 167, 1–3: 27–42.