

DENDROKRONOLOŠKA ANALIZA DEBELINSKEGA PRIRAŠČANJA SMREKE (*Picea abies* (L.) Karst.) NA OBMOČJU NJENE NARAVNE IN UMETNE RAZŠIRJENOSTI V SLOVENIJI

DENDROCHRONOLOGICAL ANALYSIS OF THE RADIAL GROWTH OF NORWAY SPRUCE (*Picea abies* (L.) Karst.) IN ITS NATURAL AND SECONDARY STANDS IN SLOVENIA

Samo STOPAR¹, Jernej JEVŠENAK², Andrej KOBLER³ in Tom LEVANIČ⁴

(1) Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana; samo.stopar@gozdis.si

(2) Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana; jernej.jevsenak@gozdis.si

(3) Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana; andrej.kobler@gozdis.si

(4) Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana; tom.levanic@gozdis.si

IZVLEČEK

Z dendrokronološkimi metodami smo analizirali debelinsko priraščanje smreke na osmih lokacijah v Sloveniji. Med njimi je bilo pet naravnih smrekovih združb, v druge je bila smreka umetno vnesena v preteklosti, oziroma je bil povečan njen naravni delež. Na vsaki ploskvi smo s prirastoslovnim svedrom odvzeli izvrtke najmanj 20 dreves. V dendrokronološkem laboratoriju smo jih posušili in zbrusili do visokega sijaja, nato pa skenirali s pomočjo sistema ATRICS ter izmerili širine branik v programih CooRecorder in CDendro. Ugotovili smo, da med naravnimi in antropogenimi rastišči ni značilnih razlik v debelinskem priraščanju. Na lokacijah Sorško polje, Ravnik in Mašun smo opazili spremembe v debelinskem priraščanju, ki kažejo, da se vpliv temperature zraka (toplejša poletja) in padavin (pogostejši pojav suše) na rast povečuje. Analiza značilnih let je pokazala, da so le-ta v zadnjih 30 letih pogostejša in da se pojavljajo na več lokacijah hkrati, predvsem pa se je povečalo število negativnih značilnih let, t.j. nadpovprečno toplih in suhih let.

Ključne besede: klimatske spremembe, naravna smrekova rastišča, antropogeno spremenjena rastišča smreke, dendrokronologija, Slovenija, debelinski prirastek

ABSTRACT

A dendrochronological analysis of the spruce's radial increment at eight different plots was conducted throughout Slovenia. The plots selected were diverse: five of them were natural spruce stands; in others, the spruce was introduced anthropogenically in the past for economic reasons, or its natural share in stands was increased. We took samples of at least 20 trees per plot and examined them in the dendrochronological laboratory using Advanced Tree-Ring Image Capturing System (ATRICS) and specialized dendrochronological software. We compared the growth in natural spruce stands with the secondary (anthropogenic) ones and found no statistical differences in growth patterns between these two groups. However, we found some evidence for climate change effect on radial increment at locations Sorško polje, Ravnik and Mašun, which indicates that air temperature and precipitation now have stronger effect on spruce growth than in the past. Analysis of pointer years suggests that extreme events (exceptionally warm and dry years) are more common and widespread in the last 30 years.

Key words: climate change, natural spruce stands, anthropogenically changed spruce stands, dendrochronology, Slovenia, radial increment

GDK 561.25:174.7Picea abies (L.) Karts(497.4)(045)=163.6
DOI 10.20315/ASetL.117.3

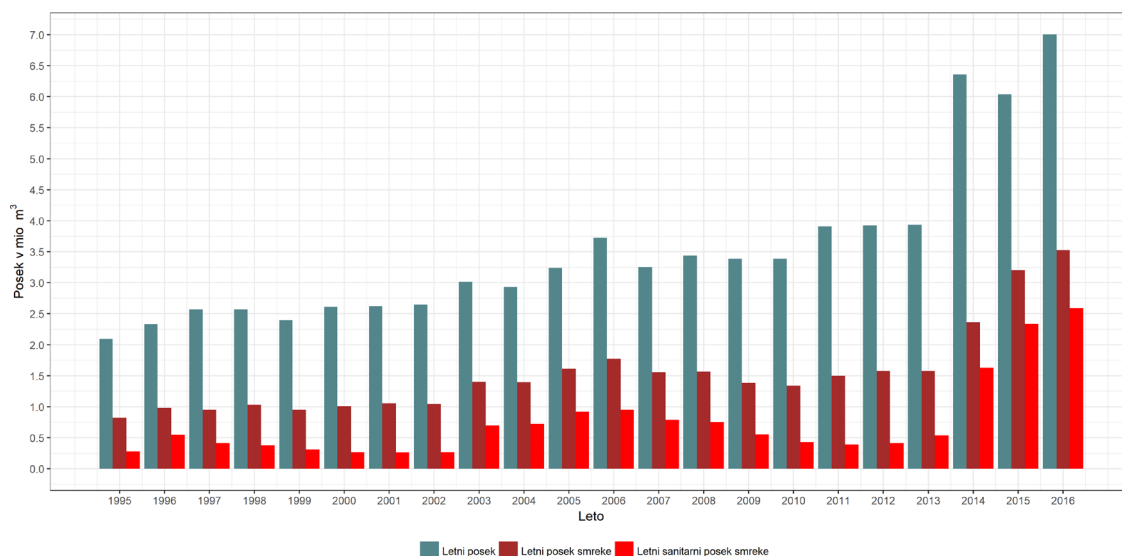
Prispelo / Received: 28. 11. 2018
Sprejeto / Accepted: 28. 12. 2018

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Navadna smreka (*Picea abies* (L.) Karst.) je gospodarsko najpomembnejša slovenska in evropska drevesna vrsta. Zaradi svoje široke ekološke amplitude, predvsem pa ugodnih ekonomskih donosov, je bila v preteklosti močno pospeševana in sajena tudi zunaj svojega naravnega areala. V Sloveniji se je tako njen naravni delež z 8 % (Brus, 2011) povečal na prek 30 %

lesne zaloge (Poročilo ..., 2018), tudi na rastiščih, ki za smreko niso naravna in primerna. Iz poročil Zavoda za gozdove Slovenije je razvidno, da se delež smreke v naših gozdovih v zadnjih letih manjša, še več, od vseh drevesnih vrst v naših gozdovih je prav delež smreke v zadnjih letih najbolj upadel, na splošno pa opažamo upadanje deleža iglavcev in povečevanje deleža bukve in drugih listavcev. Glavni razlog za takšno stanje so neugodne klimatske razmere in pogoste ujme (žledo-



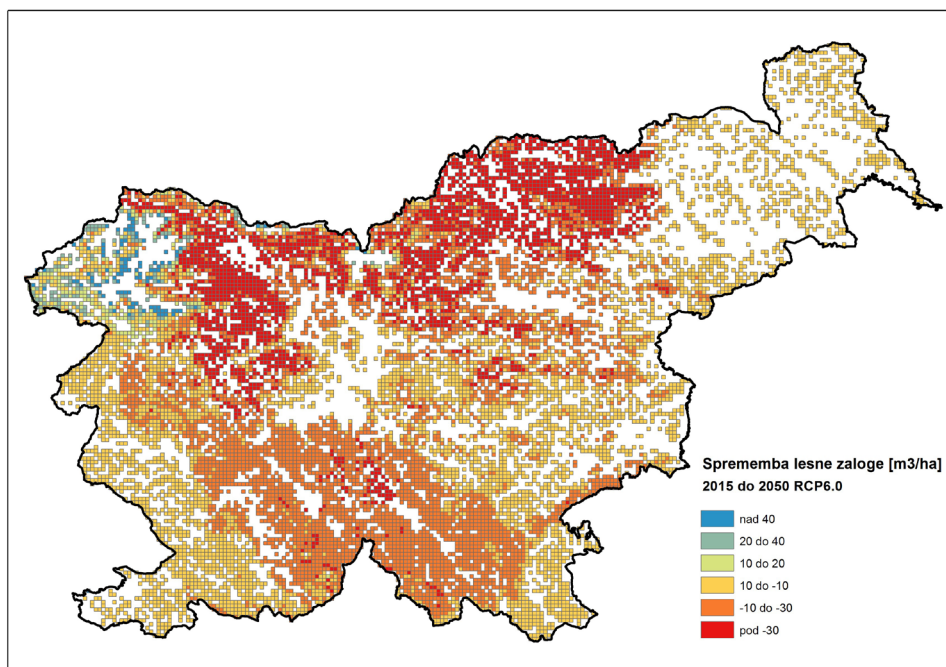
Slika 1: Sanitarni posek smreke v Sloveniji v obdobju 1995–2016 (vir podatkov: baza ZGS TIMBER 2016)

Fig. 1: Sanitary felling of spruce in cubic metres in Slovenia between 1995 and 2016 (source of data: ZGS database TIMBER 2016)

lomi, vetrolomi), ki zaradi velike količine podrlih iglavcev privedejo do gradacij podlubnikov in posledično visokega sanitarnega poseka. Tako na primer se je v Sloveniji v zadnjih 5 letih močno povečal delež sanitarnega poseka, predvsem smreke, ki je posledica žledoloma 2014, napadov podlubnikov, ki so sledili v letih 2014, 2015, 2016 (slika 1) in 2017, ter vetrolomov v letih 2017 (Drugo poročilo ..., 2017) in 2018 (Podrobnejša ocena ..., 2018).

Eden izmed možnih vzrokov za to so tudi klimatske

spremembe, ki se kažejo predvsem v višjih povprečnih temperaturah, spremenjenem padavinskem režimu ter pogostejših pojavih ekstremnih klimatskih dogodkov. Zaradi energije, nakopičene v okolju, so vsi vremenski dogodki bolj intenzivni, čemur niso ustrezno prilagojeni ne drevesa ne gozdni ekosistemi. Globalni klimatski modeli (Allen in sod., 2009; Lindner in sod., 2014) v prihodnosti napovedujejo še dodatno zaostrovanje teh razmer (višanje temperatur in nižanje količine padavin), kar je za smreko velika grožnja. Slovenija ni imu-



Slika 2: Modelna napoved spremembe lesne zaloge smreke v Sloveniji za leto 2050 glede na leto 2015 ter ob upoštevanju srednje koncentracije toplogrednih plinov v atmosferi in dvigu globalne temperature za 1.3 °C v obdobju 2046–2065

Fig. 2: Projections of the spruce growing stock changes in Slovenia in 2050 compared to 2015 and supposing medium concentration of the greenhouse gasses in the atmosphere and global rise of temperature 1.3°C in the 2046–2065 period (RCP 6.0)

na na klimatske spremembe; po najnovjših informacijah je celo med bolj prizadetimi državami v Evropi, saj se je povprečna letna temperatura zraka v obdobju med 1961 in 2011 dvignila kar za 1.7 stopinje Celzija, količina padavin v istem obdobju pa je upadla za 10–15 % (Bertalanč in sod., 2018). Vpliv klimatskih sprememb na slovenski gozd je opazen in modelne projekcije lesne zaloge smreke v slovenskem gozdu kažejo na znaten upad v primerjavi z referenčnim letom 2015 – slika 2.

V naši raziskavi smo želeli preveriti, kakšno je dejansko stanje debelinskega priraščanja smreke pri nas in kako klima vpliva na debelinsko priraščanje. Postavili smo dve hipotezi: 1) prirastek v odvisnosti od klimatskih razmer je v zadnjih nekaj desetletjih zaradi klimatskih sprememb drugačen kot v obdobju pred tem, in 2) trend debelinskega priraščanja smreke na rastiščih, kjer je bil njen delež v preteklosti antropogeno povečan, se razlikuje od tistega na njenih naravnih rastiščih.

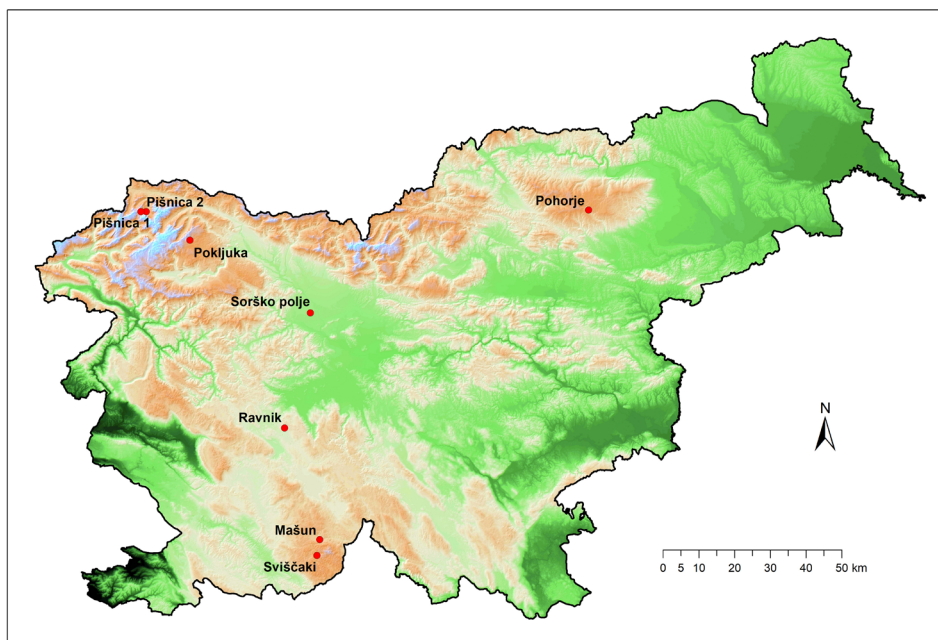
2 METODE

2 METHODS

Slovenija je rastiščno in klimatsko zelo pestra. S pomočjo fitocenoloških kart smo ploskve izbrali tako, da so ležale na področjih primarnih in sekundarnih smrekovij (rastišč s povečanim deležem smreke v sestojih). Tako smo na nivoju Slovenije izbrali 8 lokacij (slika 3), med katerimi smo na podlagi fitocenološke združbe opredelili 5 naravnih smrekovih rastišč (Pokljuka – 1300 m n. v., Mašun – 910 m n.v. (delno mrazišče),

Sviščaki (Grda draga – mrazišče) – 1200 m n. v. in dve v dolini Pišnice; prva na nadmorski višini 1300 m, druga na 800 m n. v.) ter 3 drugotna, antropogeno spremenjena (Pohorje – 1280 m n. v., Sorško polje – 370 m n. v. in Ravnik – 690 m n. v.). Terensko vzorčenje je potekalo maja 2017. Vzorčili smo v smrekovih debeljkih oziroma raznodobnih sestojih, kjer je bila smreka v strehi sestoja. Izbrana drevesa so imela prsni premer vsaj 50 cm, z ocenjeno starostjo najmanj 100 let. Izbirali smo le zdrava drevesa brez vidnih zunanjih poškodb. Na vsaki lokaciji smo s Presslerjevim svedrom notranjega premera 5 mm vzeli izvrtke vsaj 20 dreves ter po dva izvrtka na drevo zaradi uskladitve kronologij.

Laboratorijski del je potekal v dendrokronološkem laboratoriju na Gozdarskem inštitutu Slovenije. Vzorce smo najprej posušili, nato pa nalepili v nosilce in jih zbrusili do visokega sijaja. Nato smo jih skenirali s sistemom za zajem slik ATRICS (Advanced Tree-Ring Image Capturing System (Levanič, 2007)). Na skeniranih slikah smo s pomočjo programov CooRecorder in CDendro izmerili širine branik. Prvi omogoča, da na sliki označimo letnice ter dobimo datoteko s koordinatnim zapisom razdalj med označenimi točkami. Za kalibracijo smo vzeli objekt znane velikosti (merilce), ki smo ga zajeli na sliki skupaj z vzorcem. S programom CDendro smo nato koordinate pretvorili v širine branik, jih datirali in dobljene kronologije širin branik shranili v datoteko na disku. Ustvarjene kronologije smo nato uvozili v program PAST-5. Ta program omogoča grafično ponazoritev prirastnih krivulj, sinhronizacijo, datacijo, tvorjenje skupne kronologije rastišča



Slika 3: Lokacije vzorčenja

Fig. 3: Sampling locations

ter prikazuje stopnjo ujemanja oziroma neskladja med posameznimi kronologijami. V programu PAST-5 smo opravili tudi datacijo in sinhronizacijo kronologij, nato pa naredili povprečne kronologije posameznih rastišč.

Standardizacijo dendrokronoloških krivulj in vse nadaljnje analize smo naredili v programskem paketu R in okolju RStudio z za to specializiranimi knjižnicami (dplR, treeclim in dendroStat). S standardizacijo krivulj smo odstranili starostni trend iz časovne vrste s pomočjo funkcije s kubičnimi zlepci (ang. spline) in tako poudarili klimatski signal. Tako smo dobili standardizirano krivuljo ostankov (ang. residuals), ki dosti boljše odraža klimatski signal. V nadaljnjih analizah smo uporabljali le kronologije ostankov. S knjižnico treeclim (Zang in Biondi, 2015), ki je napisana za programsko okolje R, smo s pomočjo *bootstrapped* korelacij med mesečnimi klimatskimi podatki in letnim prirastkom ugotavljali, kako klimatske razmere v določenih mesecih vplivajo na rast smreke in katera so ključna obdobja za debelinsko priraščanje smreke.

Klimatske podatke o temperaturi in padavinah smo pridobili iz spletne strani KNMI Climate Explorer (KNMI ..., 2017), kjer so dostopni podatki o mesečnih količinah padavin in povprečnim mesečnih temperaturah zraka za dolgo časovno obdobje (od leta 1901 naprej). Podatki so »gridani«, vezani na prostorsko mrežo velikosti 0,5 x 0,5 geografske stopinje in tako nekoliko bolj posplošeni v primerjavi s podatki Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO). Prednost »gridanih« klimatskih podatkov pred podatki ARSO je, da zajemajo daljše časovno okno, kar je bilo za našo analizo pomembno.

Za analizo odvisnosti debelinskega prirastka od spreminjajoče se klime smo uporabili povprečne kronologije posameznih lokacij, ki smo jih naredili v programu PAST-5. Podatke o debelinskih prirastkih smo združili s klimatskimi podatki iz zbirke KNMI 2017 – mesečnimi povprečji temperatur in vsotami mesečnih padavin, vezanimi na geografske kvadrante.

V programu R smo naredili tudi analizo značilnih let (ang. pointer years). To so tista leta, ko večina (vsaj 75 %) od najmanj 13 dreves v vzorcu pokaže enak odziv glede na predhodno leto; bodisi s povečanjem prirastka (v tem primeru govorimo o pozitivnih značilnih letih) bodisi z zmanjšanjem prirastka (negativna značilna leta) glede na predhodno leto. Odziv dreves v značilnih letih nam pokaže, kako odzivna je analizirana drevesna vrsta in kako pomanjkanje vode in povišane temperature zraka vplivajo na rast. V izjemno sušnih letih je lahko odziv drevesa tako močan, da branika ne nastane. Takrat govorimo o izpadlih branikah. V večini značilnih let odziv ni tako izrazit, kljub vsemu pa lahko

z analizo odziva (torej širine branike) v takšnih letih ugotovimo, kako ekstremno je bilo določeno leto in kako je vplivalo na rast.

3 REZULTATI

3 RESULTS

3.1 Analiza odvisnosti debelinskega priraščanja od klime

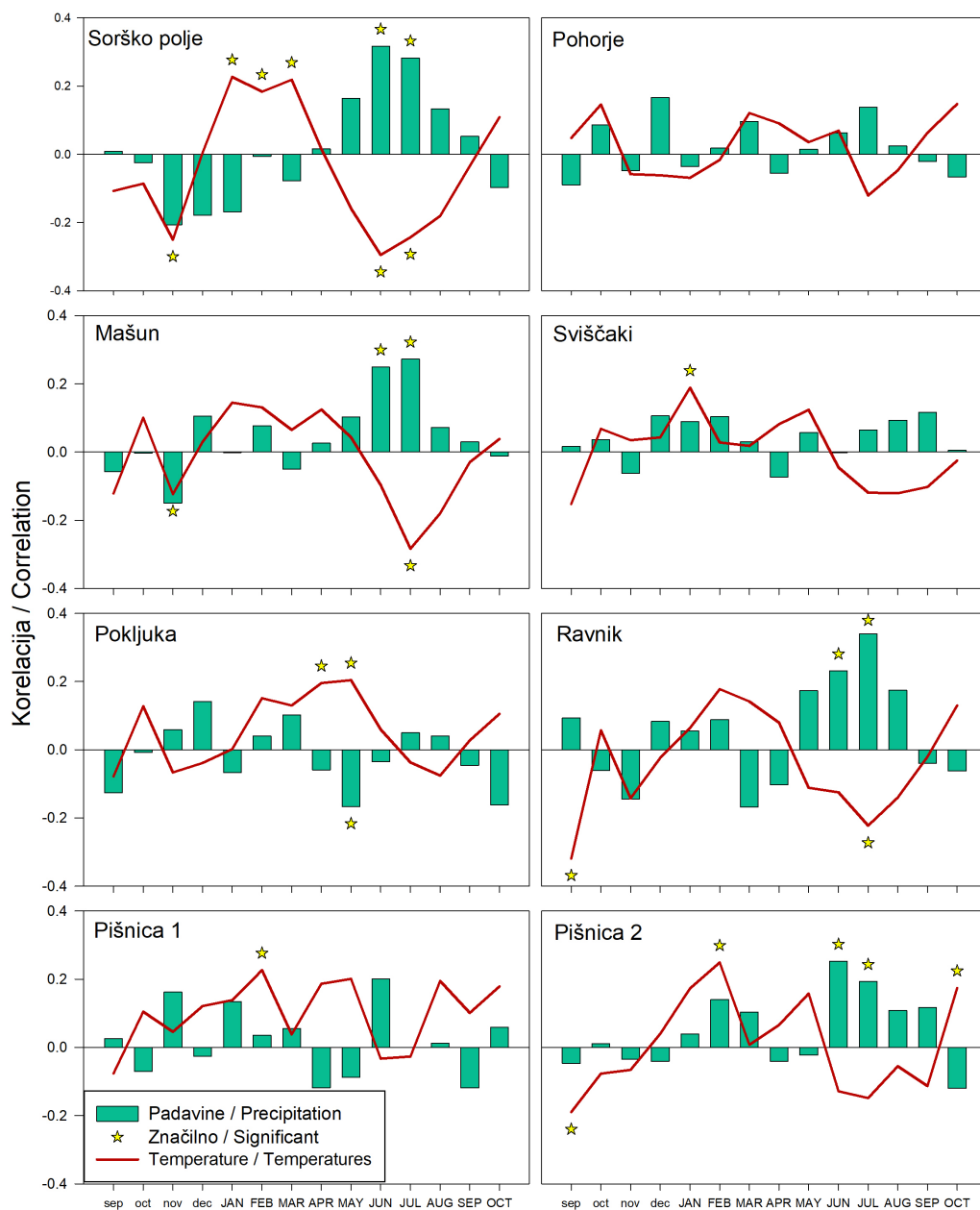
3.1 Analiza odvisnosti debelinskega priraščanja od klime

Izsledki veljajo za obravnavano časovno obdobje med letoma 1901 in 2016, ko smo imeli na voljo klimatske podatke. Najprej smo identificirali za rast ključne mesece in tako ugotovili, kako klima vpliva na prirastek.

Na sliki 4 je prikazujemo rezultate korelacijske analize med širinami branik in mesečnimi vrednostmi klimatskih podatkov na osmih obravnavanih lokacijah. Prikazan je vplivni interval od septembra predhodnega leta do oktobra leta, v katerem je branika nastala. Mesece z značilnim vplivom na debelinski prirastek so označeni z zvezdico. Smreka se na različnih rastiščih odziva na različne klimatske dejavnike v različnih časovnih obdobjih (=vplivnih mesecih). Razlike med lokacijami so znatne – od nobenega odziva do kompleksnega odziva na temperature in padavine. Najbolj značilen vpliv klime lahko vidimo na primeru Sorškega polja, kjer značilno pozitivno vplivajo nadpovprečne poletne padavine (junija in julija) ter nadpovprečne zimske temperature (januar, februar, marec). Negativno pa vplivajo nadpovprečne poletne temperature (junij, julij), ker so v nižinskih legah, v ekstremnih letih, za smreko preprosto previsoke. V primeru Sorškega polja smo torej kot vplivna meseca določili junij in julij, tako za padavine kot za temperature. Podobno sliko lahko opazimo še na primeru Ravnika in Mašuna. Popolnoma drugačen rezultat pa vidimo na primeru Pohorja, kjer so korelacije temperature in padavin s prirastkom neznačilne prav v vseh mesecih. Tu najvišjo korelacijo med klimo in prirastkom pokažejo decembrske padavine, kar je verjetno posledica akumulacije vode v obliki snega, ki spomladi ugodno vpliva na rast.

Ko smo določili vplivne mesece za vse lokacije, smo s pomočjo drsečih korelacij preverili, kako se je vpliv značilnih mesecev spreminjal skozi čas (slika 5).

Slika 5 prikazuje, kako se je na analiziranih lokacijah spreminjal vpliv vplivnih mesecev na debelinski prirastek skozi čas. Analiza je narejena na podlagi drsečih korelacij z oknom 31 let (torej je v analizo vzeto povprečje tekočega leta ter predhodnih in prihodnjih 15 let). To je razlog, zakaj je graf prikazan le do leta 2001; dejansko pa so v izračun (in prikaz) vključeni



Slika 4: Vplivi temperatur in padavin na prirastek smreke na obravnavanih lokacijah

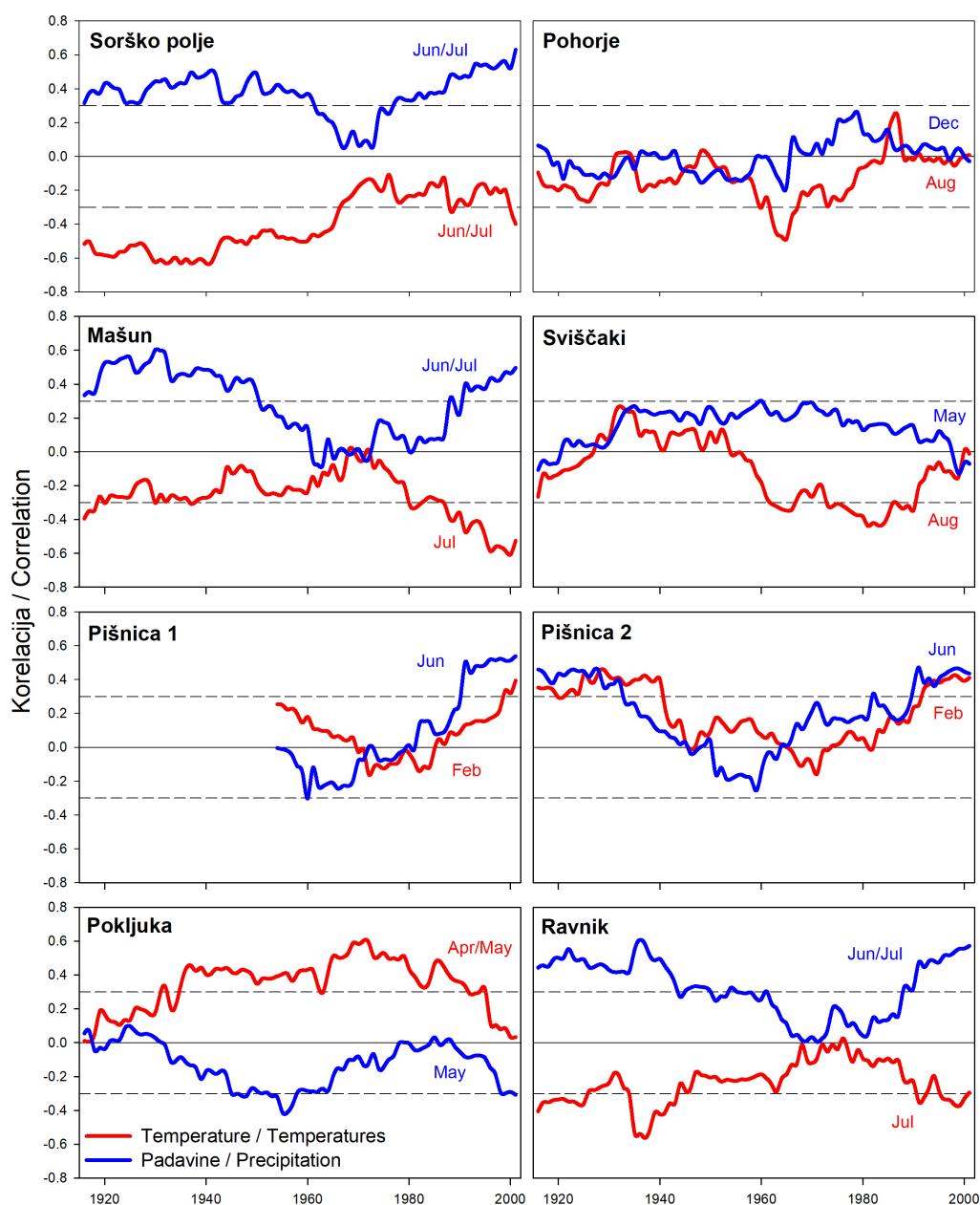
vsi podatki do vključno leta 2016, ko je prirasla zadnja branika na vzorcih. Vrednosti korelacijskega koeficienta nad črto značilnosti za pozitivne korelacije in pod črto značilnosti za negativne korelacije, pomenijo da je dejavnik za rast odločilen, torej je v skladu z Liebigovim zakonom minimuma bodisi v primanjkljaju in pospešuje rast (če je korelacija pozitivna) ali pa zavira rast (če je korelacija negativna).

Glede na vzorec odziva so si najbolj podobna rastišča Sorško polje, Ravnik in Mašun. V teh primerih vidimo, da od približno leta 1980 dalje značilno pozitiven vpliv padavin na rast narašča. Obratno pa imajo temperature na prirastek čedalje bolj negativen vpliv. To pomeni, da je smreka na teh rastiščih dolgoročno ogrožena, če se bo klima spreminjala v smeri dvigova-

Fig. 4: Influence of temperature and precipitation on radial growth on the studied sites

nja temperatur in spreminjanja padavinskega režima, t.j. v smeri toplejše in bolj suhe klime.

Na nekaterih lokacijah smo ugotovili, da klima (še) ni ključen dejavnik za rast smreke. Pozornost zbuja lokacija Pohorje, kjer tako temperature kot padavine na prirastek smreke (še) nimajo odločilnega pomena. To seveda ne pomeni, da klimatski dejavniki nimajo vpliva na rast dreves na Pohorju; pomeni le, da nismo našli statistično značilne povezave med spremembami v prirastku in spremembami v letni količini padavin ter nihanju temperature v obravnavanem časovnem obdobju. Sklepamo lahko, da imajo na prirastek dreves na Pohorju večji vpliv lokalni, neklimatski dejavniki, na primer nadmorska višina ali za vodo neprepustna matična podlaga (tonalit). Podobno sliko lahko opa-



Slika 5: Spreminjanje vpliva klime na prirastek na obravnavanih lokacijah. Modra barva označuje padavine, rdeča pa temperatura. Črtkane črte prikazujejo mejo statistično značilnega vpliva. Ob vsaki krivulji je pripisan vplivni mesec oziroma kombinacija mesecev (angleška kratica), pri katerih smo ugotovili največji vpliv na prirastek.

Fig. 5: Change of the climate influence on selected sites, with blue colour depicting precipitation and red colour temperatures. Dashed lines indicate threshold for statistically significant influence. Month or combination of months with highest correlation with climate is marked by each curve.

zimo tudi na primerih Sviščakov in Pokljuke, kjer se zdi, da se razmere za rast celo izboljšujejo (korelacija, zlasti med prirastkom in temperaturami, postaja vedno manjša). Čeprav trendi korelacij kažejo v smeri počasnega povečevanja vpliva klime na rast smreke, pa kljub vsemu pričakujemo, da tudi v bližnji prihodnosti klimatske spremembe na teh lokacijah še ne bodo imele odločilne vloge na rast smreke.

Značilne vplive klimatskih sprememb na priraščanje smreke smo ugotovili na lokacijah Sorško polje, Ravnik, Mašun ter Pišnica 1 in 2. Glede na to, da so

rastišča na različnih nadmorskih višinah in se razlikujejo glede na naravna in drugotna, je težko oblikovati enotne zaključke. Naštete lokacije so pokazale, da so klimatski dejavniki tam omejujoč dejavnik in da se vpliv klime v zadnjih desetletjih povečuje. To se kaže v vedno močnejši odvisnosti rasti smreke od klime. Če bodo klimatske spremembe v prihodnje res delovale v smeri višjih temperatur in zmanjšanja padavin, bo obstoj smreke na teh lokacijah močno ogrožen. Ostala rastišča – Pohorje, Pokljuka in Sviščaki, niso pokazali značilne korelacije s klimo. Na tej osnovi sklepamo,

Preglednica 1: Značilna leta po letih in lokacijah med letoma 1901 in 2016. S sivo barvo so označena leta, ki jih kronologija ne pokriva. Z barvo so označena tista leta, kjer se je enak odziv pokazal na vsaj polovici lokacij, torej vsaj štirih.

LETO	SOR	POH	POK	PI1	PI2	RAV	MAŠ	SVI
1905								-
1908								+
1912								+
1915								+
1917							-	
1920								-
1921								-
1922	-							
1925	+							
1926								++
1927	--							+
1928							-	
1929			-				+	
1932							++	+
1934			+				+	++
1935	--						--	-
1936								++
1938	+							--
1941					----			
1943						+	+	
1944			-		-			
1945	-						--	--
1946			++				+	
1948	+		--					
1949								+
1950		-			+			
1951								-
1953	+					+++		
1954		+						
1955		+			+			
1957								-
1958	--			+				
1959	++					+		
1960			+					
1962						-		
1965				--				
1966					+			+
1967					----			
1969		+	++					+
1970		-						
1976				-	-			

da na rast tam vplivajo predvsem drugi dejavniki (npr. vplivi sestoja in biotski dejavniki), vendar to ne pomeni, da klimatski dejavniki ne bodo postali pomembni za rast v bližnji prihodnosti.

3.2 Analiza značilnih let

3.2 Analiza značilnih let

Odziv dreves v klimatsko ekstremnih letih je kazalnik odzivnosti dreves na ekstremne dogodke, hkrati pa nam amplituda odziva pokaže, kako je neka drevesna vrsta plastična in kako se lahko prilagodi spremembam v okolju. Značilna leta smo razdelili v tri skupine – šibka, izrazita in ekstremna. Za šibka značilna leta smo

Table 1: Pointer years on different locations between 1901 and 2016. Grey colour indicates years not covered by site chronology. Years with similar response on a least four sites are marked with colour.

LETO	SOR	POH	POK	PI1	PI2	RAV	MAŠ	SVI
1977		+				++		
1978					+			
1979	-					--		
1980			--					---
1981		+	+					
1983	--	+						++
1984				-				
1985	---							-
1986	+							
1987	+					++		
1988		---				-	--	---
1989	+	++	++			++	+	+
1992	---					-		
1993	-							
1994						+		
1995	+	---	-				-	
1996							++	
1997	+		+	+	+	+		
1999	+							
2000			+					
2001	-							
2002		-	--					
2003	---	--				--	--	
2004	++			+		+	++	
2005	+	+				+		
2006	-		-	-	-	---	---	---
2007					++	++	++	
2008	+							+
2010						-		
2011	--							
2013	-							--
2014	+		+++	+				+
2015								++
2016	++						+	
Skupaj poz. zn. leta	16 (11,4%)	8 (21,3%)	9 (12%)	4 (8,3%)	6 (8%)	11 (18,3%)	10 (13,5%)	16 (21,3%)
Skupaj neg. zn. leta	12 (8,6%)	6 (16%)	7 (9,3%)	4 (8,3%)	5 (6,7%)	7 (11,7%)	8 (10,8%)	13 (17,3%)

vzeli tista, kjer je enak odziv pokazalo vsaj 75 % dreves na posamezni ploskvi (označba + za pozitivna in - za negativna značilna leta); za izrazita značilna leta smo določili tista, kjer je enak odziv pokazalo vsaj 90 % dreves na ploskvi (označba ++ za pozitivna in -- za negativna leta). Za ekstremna značilna leta pa smo vzeli tista, kjer so enak odziv pokazala vsa drevesa na ploskvi (100 %), le-ta smo označili s +++ in ---. Upoštevali smo le tista leta, za katera smo imeli v vzorcu najmanj 13 dreves. Značilna leta so prikazana v preglednici 1.

Opazimo lahko, da se značilna leta s skupnim odzivom na več lokacijah pojavljajo šele v zadnjih 30 letih. To nakazuje, da so v zadnjem času ekstremni dogodki

pogostejši in prostorsko bolj razprostranjeni, kar se časovno ujema s klimatskimi spremembami. Leto 1988 je bilo zelo neugodno za rast smreke – prirastek se je zmanjšal na štirih lokacijah; na Pohorju in Sviščakih so zmanjšala prirastek prav vsa drevesa. Podobno lahko opazimo leta 2003, kar potrjuje navedbe, da so po vsej Evropi to leta zabeležili nadpovprečno vroče in suho poletje (npr. Dobbertin, 2005; Bigler in sod., 2006). Najbolj pa zbujajo pozornost leto 2006, ko se je prirastek zmanjšal kar na sedmih lokacijah (izjema je Pohorje); pri tem so na treh rastiščih prirastek zmanjšala prav vsa drevesa. Leti 1989 in 2004 sta pozitivni značilni leti, vendar je to posledica dejstva, da sta bili prejšnji leti negativni, torej se je prirastek ob izboljšanju razmer značilno povečal glede na prejšnjo rastno sezono. To je tudi razlog, da je delež pozitivnih značilnih let nekoliko višji od deleža negativnih. Kot edino značilno pozitivno leto brez vpliva predhodnega leta lahko postavimo v ospredje le leto 2014, ko so bile za rast smreke dobre razmere tako v nižinskih (Sorško polje) kot tudi v višjih legah (zlasti Pokljuka). Kljub dejstvu,

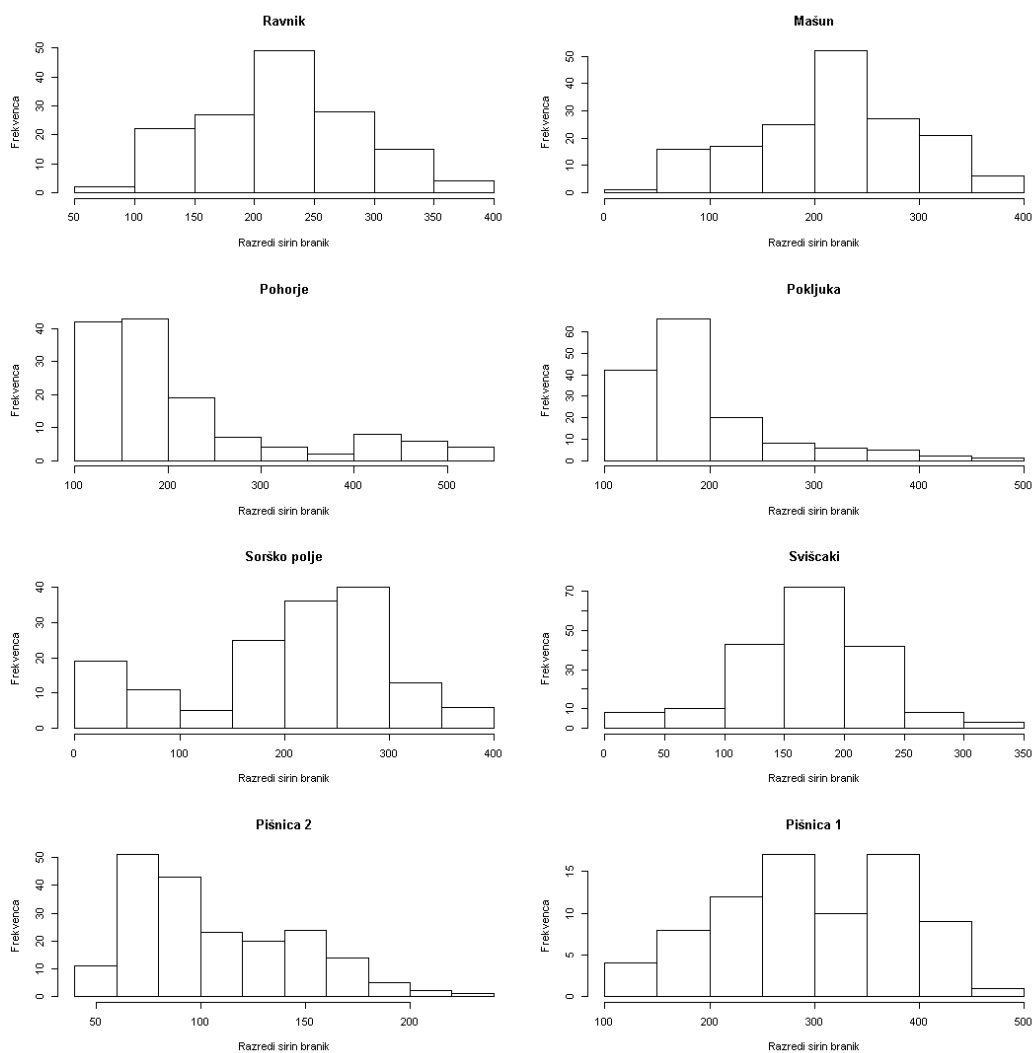
da je v začetku leta 2014 slovenske gozdove prizadel obsežen žled, pa je bilo leto za rast relativno ugodno – temperature v rastni sezoni niso bile previsoke, razporeditev in količina padavin pa sta bili ugodni.

3.3 Razlike v debelinskem priraščanju med naravnimi in drugotnimi smrekovimi rastišči

3.3 Razlike v debelinskem priraščanju med naravnimi in drugotnimi smrekovimi rastišči

Pri preverjanju razlik v priraščanju med naravnimi smrekovimi rastišči in drugotnimi oziroma antropogenimi smo najprej naredili analizo frekvenčne porazdelitve širin branik.

Na sliki 6 prikazujemo porazdelitev širin branik po lokacijah. Frekvenca pomeni skupno število branik v posameznih razredih širin branik v obravnavanih kronologijah. Če je graf pomaknjen bolj v levo, pomeni, da prevladujejo ožje branike, kar nakazuje na počasnejšo rast. Tak primer sta lokaciji Pohorje in Pokljuka. Kjer je porazdelitev pomaknjena v desno, to nakazuje na hitrejšo rast, kjer prevladujejo večje širine branik. To



Slika 6: Porazdelitve širin branik po lokacijah

Fig. 6: Distribution of tree-ring widths on different locations

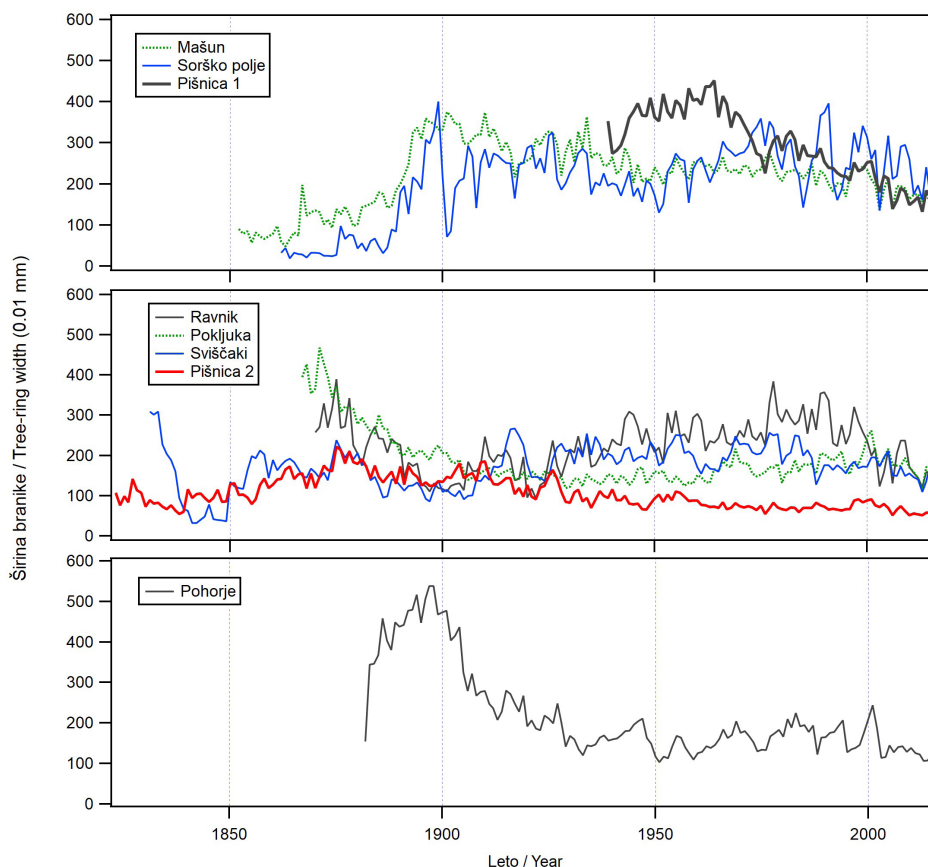


Slika 7: Analiza hierarhičnega kopičenja podobnosti priraščanja po lokacijah glede na frekvenčno porazdelitev širin branik

Fig. 7: Hierarchical clustering showing growth similarities based on tree ring width distribution

je najbolj vidno na primeru nižinske lege na Sorškem polju. Bolj simetrično frekvenčno porazdelitev lahko opazimo na Mašunu, Sviščakih in Ravniku. Na podlagi frekvenčnih porazdelitev širin branik smo v programu R izvedli kopičenje po Wardovi metodi združevanja in dobili dendrogram na sliki 7.

Na sliki 7 vidimo, da so si po priraščanju najbolj podobna rastišča, ki so na dendrogramu najnižje in se prva združijo, to so Mašun in Sorško polje ter Sviščaki in Ravnik. Podobnost širin branik nakazuje na podobnost ravnih razmer. Opazimo lahko dve skupini; na eni strani gruča z lokacijami Pišnica 2, Pokljuka, Ravnik in



Slika 8: Kronologije obravnavanih rastišč, združene v gruče

Fig. 8: Chronologies of the studied sites by clusters

Sviščaki; na drugi strani pa gruča z lokacijami Sorško polje, Mašun in Pišnica 1. Od vseh lokacij najbolj stopa v ospredje Pohorje, ki se gruči priključi šele v zadnjem koraku, kar pomeni, da se od drugih po porazdelitvi širine branik najbolj razlikuje.

Na sliki 8 so grafično prikazane kronologije rastišč, združene glede na podobno dinamiko rasti.

Glede na to, da smo kot naravna rastišča opredelili Pokljuko, Mašun, Sviščake, Pišnico 1 in 2, druge pa smo uvrstili pod antropogena, lahko vidimo, da nismo našli značilnih razlik med eno in drugo skupino. To pomeni, da se debelinski prirastek na naravnih smrekovih rastiščih ne razlikuje značilno od tistega v sestojih, kjer je visoki delež smreke posledica človekovega gospodarjenja. V naši raziskavi značilnih razlik v priraščanju na naravnih in antropogeno spremenjenih rastiščih nismo našli. To je za gospodarjenje s smreko pri nas v prihodnje dobro znamenje, glede na to, da je v slovenskih gozdovih velik delež smreke umetno vnesen oziroma je bila smreka pogosto pospeševana.

4 DISKUSIJA

4 DISCUSSION

V Sloveniji tako obširne študije debelinskega priraščanja smreke v odvisnosti od klimatskih dejavnikov in rastišč še ni bilo. Preliminarne študije na mraziščih (Stanovnik, 1998) in optimalnih rastiščih (Lindner, 2000) kot tudi na nižinskih rastiščih (Levanič in sod., 2009) so pokazale, da je klimatski signal v branikah smreke relativno šibak in da s klimo pojasnjeni del variabilnosti širine branike redko presega 30 %. Klimatski dejavniki torej ne pojasnijo dobro medletne variabilnosti prirastka, kar pomeni, da imajo večji vpliv lokalni, ne klimatski dejavniki (vplivi rastišča, biotski dejavniki, vplivi gospodarjenja). V naši študiji smo podobno opazili v primeru rastišč na Pohorju in na mrazišču na Sviščakih. V drugih primerih je bil vpliv klime bolj ali manj značilen. Zlasti v primeru Sorškega polja, Ravnika in Mašuna se vpliv klime na rast povečuje, kar je posledica spreminjanja klime v smeri zviševanja temperatur zraka, spreminjanja padavinskih vzorcev in pogostejšega pojavljanja daljših sušnih obdobj na rastiščih, kjer se to v preteklosti ni dogajalo. Značilna leta so v zadnjih tridesetih letih pogostejša na širšem območju (več lokacij hkrati), negativna značilna leta so vse bolj izrazita, kar pripisujemo predvsem suši. Najslabše razmere za rast smreke so bile leta 2003 in 2006, zanimivo pa je, da leto 2003 pri hrastu iz poplavnih gozdov Slovenije ni bilo tako negativno kot leto 2002, kar kaže na popolnoma različne prirastne odzive smreke in hrasta (Levanič in sod., 2011; Levanič, 2016). Leto 2014 se odlikuje kot zelo ugodno, saj

je bilo za večino obravnavanih lokacij pozitivno značilno leto, vendar pa je zaradi obširnega žledoloma kljub temu prišlo do visokega sanitarnega poseka.

Levanič in sod. (2009) navajajo, da so med posameznimi smrekovimi rastišči velike razlike v odzivnosti debelinskega prirastka na klimo. Temu botrujejo razlike v nadmorski višini ter lokalni rastiščni dejavniki (matična podlaga, relief, struktura in dinamika sestoja) in ekološke značilnosti smreke (npr. plitev koreninski sistem). V naši raziskavi smo naredili analizo kopičenja na podlagi širine branik, da bi ugotovili, katera rastišča so si po priraščanju najbolj podobna. Rezultati niso pokazali značilnih razlik niti glede na nadmorsko višino, niti glede na to, ali je šlo za naravna ali drugotna smrekovja. Hipotezo o značilnih razlikah v priraščanju med obema skupinama smrekovih rastišč smo torej zavrnil.

Klimatske spremembe se kažejo tudi v Sloveniji (Bertalanič in sod., 2018). Zlasti nevarna je kombinacija višanja temperatur in stagnacija ali nižanje količine padavin. Višje temperature postajajo problematične vedno, ko jim ne sledi tudi povečanje padavin, saj so zaradi povečane fotosintetske in respiratorne aktivnosti večje tudi potrebe po vodi. Prizadete smreke dodatno dotolčejo še škodljivci, kot so podlubniki in glive. Zato je danes pomembno, da smo na klimatske spremembe pozorni ter jim prilagajamo ukrepe pri gospodarjenju z gozdovi. Diaci (2007) kot glavne splošne ukrepe za blaženje klimatskih sprememb navaja mešanost v sestojih, s čimer se poveča njihova elastičnost oziroma odpornost. Tako si sestoji hitreje opomorejo po morebitnih katastrofah.

Glede na naraščajoči pomen klime na rast smreke postaja gojenje smreke zunaj območja njene naravne razširjenosti vse bolj tvegano in posledično tudi manj gospodarno – velikim tveganjem so zlasti izpostavljeni smrekovi sestoji na nižjih nadmorskih višinah. Kot alternativo smreki Diaci (2007) navaja rdeči bor zaradi široke ekološke amplitude, možnost pa je tudi sajenje duglazije, ki je bolj kot smreka odporna proti suši in žledu (Brus, 2017), poleg tega pa je tudi gospodarsko zanimiva.

5 POVZETEK

V preteklosti je bil naravni areal smreke umetno povečan zaradi ugodnih ekonomskih vidikov. Danes opazamo, da smreka počasi nazaduje glede na druge vrste. Pomemben razlog za to naj bi bile klimatske spremembe – dvigovanje povprečnih temperatur, zmanjševanje padavin ter pogostejši pojavi ekstremnih dogodkov, kot so različne ujme (žledolomi, vetroolomi) in daljša sušna obdobja. Računalniške simulacije klimatskih

sprememb napovedujejo drastično dvigovanje temperatur do konca tega stoletja (Lindner in sod., 2014). To so za smreko v naših gozdovih slabi obeti. Sanitarni poseki so čedalje večji. Zlasti ogrožene naj bi bile smreke, ki rastejo v nižinah, kjer jih je v preteklosti sadil človek.

V naši raziskavi smo preverjali, kakšno je dejansko stanje priraščanja smreke pri nas. Uporabili smo dendrokronološke metode, ki nam dajo vpogled v časovno dimenzijo debelinskega priraščanja. Zanimalo nas je zlasti, ali obstajajo razlike med naravnimi smrekovimi združbami in tistimi, ki so bile v preteklosti zaznamovane s človekovim vplivom. Ugotoviti smo tudi želeli, ali se na prirastku kažejo vplivi klimatskih sprememb v zadnjih desetletjih.

Preverili smo, kateri dejavniki ključno vplivajo na rast smreke ter kako se je njihov vpliv v času spreminjal. Rezultati so naši hipotezi potrdili le deloma. Izkazalo se je, da v Sloveniji ni značilnih razlik v priraščanju smreke na naravnih in antropogenih rastiščih, zato smo to hipotezo ovrgli. Sklepamo, da je priraščanje smreke pri nas močno odvisno od lokalnih dejavnikov na posameznih rastiščih, kar je posledica razgibanosti in pestrosti terena. Vplivi klimatskih sprememb so se najbolj izrazito pokazali na nižinskih legah na Sorškem polju in Ravniku. Ti gozdovi so bili v preteklosti antropogeno spremenjeni. Podobno sliko pa je zanimivo pokazalo tudi naravno smrekovo rastišče na Mašunu. Analiza značilnih let pa je pokazala, da so v zadnjih 30 letih ekstremni dogodki pogostejši. To je potrdilo našo hipotezo o vplivu klimatskih sprememb na priraščanje smreke.

6 SUMMARY

Norway spruce is one of the most important tree species in Europe and Slovenia, both ecologically and economically. Its natural share in forests was anthropogenically increased in the past for economic purposes. Today we are observing a slow decline in spruce share in Slovenian forests, presumably due to climate change – higher temperatures, less precipitation and greater frequency of natural disasters. Future models (Lindner et. al, 2014) indicate that the conditions are expected to become even worse, which can turn out to be a problem for spruce silviculture. Most vulnerable are stands where spruce is not a natural species and was introduced anthropogenically, especially in lowlands.

In this study we examined the Norway spruce's radial growth in Slovenian forests. We took dendrochronological samples from eight different plots, including natural spruce stands and secondary (anthropogenically changed) ones. We analysed the tree ring samples

with established dendrochronological methods. We hypothesised that the evidence for climate change can be found in the last few decades of tree growth, correlating differently with climate factors than before. The second hypothesis was that there is a significant difference in spruce's radial growth in its natural stands compared to secondary ones.

We identified which months are critical for spruce's growth by bootstrap correlating monthly temperatures, precipitation and radial increment. Climate data were obtained from KNMI Climate Explorer (KNMI ..., 2017). We then observed how the correlation changed in time using the moving correlation method. Results show that in some cases (especially lowland sites), climate is influencing growth to a greater degree than in the past, which means that those sites are likely to be vulnerable to drought and higher temperatures in the future. We also analysed the pointer years and observed that they had indeed been more common in the last three decades, which is another evidence for climate change.

We then analysed the distribution of tree ring widths in selected locations and made a hierarchical clustering to discern the similarities in growth dynamics. We found no statistical differences between natural and secondary spruce stands.

We can conclude that spruce in lowlands will be most vulnerable in the future due to high temperatures and drought. Thus, we must avoid planting spruce in those areas and look to introduce other tree species in case of forest renewal after natural disasters.

7 ZAHVALA

Pričujoči prispevek je nastal v okviru Ciljnega raziskovalnega programa »Zagotovimo.si hrano za jutri«, ki ga financirata Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije V4-1614 »Obvladovanje tveganja pri gospodarjenju s smreko v gozdovih Slovenije« in programske skupine P4-0107 »Gozdna biologija, ekologija in tehnologija«, ki jo financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

8 VIRI

8 LITERATURE

Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D.D., Hogg E.H., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim J., Allard G., Running S.W., Semerci A., Cobb N. 2009. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259: 660–684.

- Bertalanč R., Dolinar M., Draksler A., Honzak L., Kobold M., Kozjek K., Lokošek N., Medved A., Vertačnik G., Vlahovič Ž., Žust A. 2018. Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21.stoletja: sintezno poročilo. Dolinar M (ur.). Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 156 str.
- Bigler C., Bräker O.U., Bugmann H., Dobbertin M., Rigling A. 2006. Drought as an inciting mortality factor in Scots pine stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems*, 9(3): 330–343.
- Božič G. 2007. Raziskave evolucijskega potenciala in potencialne ogroženosti naravnih populacij smreke (*Picea abies* (L.) Karst.) v Sloveniji. V: Podnebne spremembe: vpliv na gozd in gozdarstvo. 2007. Jurc M. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 87–98.
- Brus R. 2011. Dendrologija za gozdarje. 3. izd. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 406 str.
- Brus R. 2017. »Pri obnovi se bo morala resnično izkazati stroka«. Intervju. Notranjsko Primorske novice. <http://notranjskoprimorske.si/2017/01/robert-brus-o-oklescenih-gozdovih-pri-obnovi-se-bo-morala-resnicno-izkazati-stroka/> (3.2.2018).
- Diaci J. 2007. Prilaganje gojenja gozdov podnebnim spremembam. V: Podnebne spremembe: vpliv na gozd in gozdarstvo. 2007. Jurc M (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 117–132.
- Dobbertin M. 2005. Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *European Journal of Forest Research*, 124(4): 319–333.
- Drugo poročilo o poškodbah v gozdovih zaradi močnega vetra in deževja 11. in 12. decembra 2017. 2017. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije http://www.zgs.si/aktualno/sporocila_za_javnost/news_article/drugo_porocilo_o_poskodbah_v_gozdovih_zaradi_mocnega_vetra_in_dezevoja_11_in_12_decembra_408/index.html (4.1.2019).
- KNMI Climate explorer. 2017. <https://climexp.knmi.nl/start.cgi> (10. 12. 2017).
- Levanič T. 2007. ATRICS – A new system for image acquisition in dendrochronology. *Tree-ring research*, 63, 2: 117–122.
- Levanič T., Gričar J., Gagen M., Jalkanen R., Loader N.J., McCarroll D., Oven P., Robertson I. 2009. The climate sensitivity of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] in the southeastern European Alps. *Trees*, 23: 169–180.
- Levanič T. 2016. Prihodnost doba v poplavnih gozdovih Prekmurja. V: Ferreira, A., Planinšek, Š. (ur.), GoForMura – Upravljanje gozdnih habitatnih tipov in vrst v izbranih območjih Natura 2000 ob Muri. Ljubljana, Založba Silva Slovenica: 28–31.
- Levanič T., Čater M., McDowell N.G., 2011. Associations between growth, wood anatomy, carbon isotope discrimination and mortality in a *Quercus robur* forest. *Tree Physiology*, 31: 298–308.
- Lindner F. 2000. Dendrokronološka analiza rasti smreke (*Picea abies* Karst.) na različnih rastiščih v Sloveniji. Visokošolska (univerzitetna) diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 42 str.
- Lindner M., Fitzgerald J.B., Zimmermann N.E., Reyer C., Delzon S., van der Maaten E., Schelhaas M., Lasch P., Eggers J., van der Maaten-Theunissen M., Suckow F., Psomas A., Poulter B., Hanewinkel M. 2014. Climate change and European forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *Journal of environmental management*, 146: 69–83.
- Podrobnejša ocena obsega poškodb zaradi vetroloma v noči iz 29. na 30. oktober 2018 v slovenskih gozdovih in ukrepih. 2018. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije. http://www.zgs.si/aktualno/sporocila_za_javnost/news_article/podrobnejša_ocena_obsega_poskodb_zaradi_vetroloma_v_noci_iz_29_na_30_oktober_2018_v_slove_507/index.html (4.1.2019).
- Poročilo Zavoda za gozdove Slovenije o gozdovih za leto 2017. 2018. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije: 141 str.
- Stanovnik M. 1998 Dendroekološka analiza rasti smreke (*Picea abies* Karst.) v mraziščih na področju Notranjskega Snežnika. Visokošolska diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 54 str.
- Zang C., Biondi F. 2015. Treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography*, 38: 431–436.