UNIVERZA V NOVI GORICI
FAKULTETA ZA ZNANOSTI O OKOLJU

DOLOČANJE VPLIVOV OKOLJSKIH DEJAVNIKOV IN ČLOVEKA NA PRIRAŠČANJE ČRNE JELŠE V PREKMURJU

DIPLOMSKO DELO

Andreja MALUS

Mentor: dr. Jana Laganis
Mentor: doc. dr. Tomislav Levanič

Nova Gorica, 2012

IZJAVA

Izjavljam, da je diplomsko delo rezultat lastnega raziskovalnega dela. Rezultati, ki so nastali v okviru skupnega raziskovanja z drugimi raziskovalci, ali so jih prispevali drugi raziskovalci (strokovnjaki), so eksplicitno prikazani oziroma navedeni (citirani) v diplomskem delu.

Andreja Malus

ZAHVALA

Vsako jutro rodi nov dan. Vstanem iz postelje in se odpravim naprej po poti življenja. Iščem odgovore na »Kam?« in »Kako?« Ampak danes je poseben dan. Danes je dan, ko se ustavim in globoko vdihnem – ob pisanju še zadnjih besed diplomskega dela. Te besede so namenjene vsem tistim, ki ste mi pomagali narediti ključne korake, da lahko danes tukaj zaključim en kos poti in se z vsem pridobljenim znanjem, izkušnjami in lepimi spomini podam naprej, po novih poteh, kjer me čakajo novi izzivi.

Samo pisanje diplomskega dela je bil zame poseben izziv. Jana, v prvi vrsti se ti zahvaljujem, ker si sprejela mentorstvo. Posebej pa hvala za vso pomoč in vzpodbudo, za to, da si mi bila na voljo takrat, ko sem te potrebovala, in za vso potrpežjivost ves ta čas, ko je napredek pri pisanju sledil tempu mojega dela.

Dr. Tom Levanič, tudi vam hvala, ker ste bili moj mentor. Hvala, ker ste mi omogočili izvedbo raziskave na Gozdarskem inštitutu in pomoč pri tem. Še posebno sem vam hvaležna, ker ste mi priskočili na pomoč z ustreznimi znanji takrat, ko so se v mojem pokazale vrzeli.

Tisti, ki ste me spremljali v času od začetka študija pa do danes, ko to poglavje zaključujem, veste, da je bilo podpoglavje »diplomsko delo« veliko več kot ena izmed študijskih obveznosti. Tina, ne vem, če obstajajo besede, s katerimi se ti lahko na tem mestu zahvalim, da si me spremljala, podpirala in bodrila v vsem tem času. Hvala za vse pogovore, tako strokovne kot osebne, vsaka beseda mi je prišla prav ☺. Hvala še za to, ker si si vzela čas in lektorirala besedilo praktično čez noč.

Hvala še vsem, ki ste mi posredno pomagali, da sem lahko pisanje diplomskega dela uspešno izpeljala do konca. Blanka, hvala za gozdarske debate, mami in ati, hvala za varstvo, da sem imela dovolj časa, ki sem ga potrebovala za pisanje. Janez, hvala za poučen sprehod po gozdu. Hvala še mnogim drugim, ki ste na različne načine prispevali, da mi je uspelo, saj veste, kdo ste.

In na koncu še posebna zahvala mojima najbližjima. Damir, iskrena hvala za vso potrpežljivost in podporo. In Luna, preprosto hvala, ker si.

POVZETEK

V diplomskem delu smo obravnavali okoljske vplive na debelinsko rast črne jelše (*Alnus glutinosa*) v poplavnih gozdovih Polanskega loga v Prekmurju. Vzorce smo dobili ob končnem poseku približno 75 let starega sestoja. Z metodo dendrokronološke analize in korelacijske analize smo preučevali vpliv klimatskih in hidroloških dejavnikov ter redčenja na širino letnih debelinskih prirastkov. Raziskava je pokazala, da imajo največji vpliv na izmerjene prirastke najnižji vodostaji Ledave in količina sončnega sevanja v začetku vegetacijske sezone, od aprila do junija. Višji najnižji vodostaji Ledave in večja osončenost pomenijo nižje letne debelinske prirastke. Obdobje največjega vpliva okoljskih dejavnikov na širino branike je mesec junij. Junijske padavine imajo pozitiven, najvišje in povprečne junijske temperature pa negativen vpliv. Na debelinski prirastek so vplivale tudi razmere pred začetkom vegetacijske sezone: negativno sta vplivala najnižja oktobrska temperatura in najnižji vodostaji Ledave od novembra do marca. V sklopu dendrokronološke analize smo odkrili 13 značilnih let, od tega 5 pozitivnih in 8 negativnih. Kronologijo vzorčenih dreves smo uporabili za preverjanje modela priraščanja črne jelše, ki je bil predhodno razvit v Laboratoriju za raziskave v okolju na Univerzi v Novi Gorici. Modelni prirastki so deloma odstopali od izmerjenih, a je bilo ujemanje zadostno, da smo model sprejeli kot zadovoljiv in ga uporabili za izvajanje simulacijskih analiz. Simulirali smo prirastke ob povišanih temperaturah, spremenjenih nivojih podtalnice in stopnji prejetega sončnega sevanja ter ob večjem številu dni s poznopomladansko slano. Model napoveduje izrazito negativen vpliv nekaterih pričakovanih klimatskih sprememb na preučevane sestoje. Določitev vpliva gospodarjenja in hidrotehničnih ukrepov na priraščanje dreves v preučevanih sestojih nam je onemogočilo pomanjkanje zanesljivih podatkov.

KLJUČNE BESEDE

Črna jelša, poplavni gozdovi, debelinsko priraščanje, okoljski vplivi, dendrokronološka analiza

SUMMARY

This thesis discusses environmental impacts of radial growth of black alder (*Alnus glutinosa*) in wetland forests of Polanski log, Prekmurje. Samples were obtained during final clearcutting of a 75 years old stand. The influence of climatic and hydrologic conditions and thinning on annual radial increment was studied using dendrochronological and correlation analysis. Minimum water levels of Ledava river and amount of sun radiation in the beginning of vegetation period, from april to july, were found to have most significant effect on annual radial increments. The highest impact of environmental factors on tree ring width was found in june. Precipitation in june positively affect radial growth, while maximum and average june temperatures have negative effect on diameter growth of black alder. Also conditions before the beginning of the vegetation period influenced radial drowth: minimum temperature of october of previous year and minimum levels of Ledava surface from november to march negatively affected annual radial increments. Pointer years analysis revealed 5 positive and 8 negative years. Sampled trees chronology was used to validate an existing selected model of annual radial increments of black alder trees. Simulations of radial increments were made using increased temperature, altered groundwater levels, altered durations of sun radiation and increased number of days with frost in late spring. Modeled values predicts negative impact of some expected climatic changes on studied black alder stands. Due to lack of reliable data we were unable to asses the impact of thinning and hydromeliorations on radial growth in studied alder stands.

KEYWORDS

Black alder, wetland forests, radial growth, environmental effects, dendrochronological analysis

KAZALO VSEBINE

1 UVOD 1
1.1 Namen 2
1.2 Hipoteze 2
2 TEORETIČNE OSNOVE 3
2.1 Splošne značilnosti črne jelše 3
2.1.1 Razširjenost vrste 3
2.1.2 Koreninski sistem 4
2.1.3 Razmnoževanje 5
2.1.4 Vegetacijska doba 5
2.1.5 Višinska rast 6
2.1.6 Debelinska rast 6
2.1.7 Uporabnost 7
2.2 Okoljski dejavniki, ki vplivajo na rast 7
2.2.1 Temperatura 7
2.2.2 Osončenost 8
2.2.3 Hranila 8
2.2.4 Bolezni 9
2.2.5 Voda 9
2.3 Vplivi načinov gospodarjenja na rast 11
2.4 Simulacijski model priraščanja črne jelše 12
3 EKSPERIMENTALNI DEL 14
3.1 Opis območja raziskave 14
3.1.1 Splošno 14
3.1.2 Ožji objekt raziskave 16
3.2 Metode dela 17
3.2.1 Odvzem in obdelava vzorcev 17
3.2.2 Merjenje debelinskega prirastka 18
3.2.3 Standardizacija kronologij 19
3.2.4 Ocena primernosti kronologij za dendroklimatološke analize 19
3.2.5 Izbira okoljskih dejavnikov za statistične analize povezanosti 20
3.2.6 Podatki za statistične analize 20
3.2.7 Analiza značilnih let 21
3.2.8 Preverjanje simulacijskega modela priraščanja črne jelše 21
4 REZULTATI IN RAZPRAVA 23
4.1 Dendrokronološke meritve in analize 23
4.2 Vplivi okoljskih dejavnikov in dejavnikov gospodarjenja na debelinsko priraščanje črne jelše 25
4.2.1 Vpliv nivoja podtalnice 27
4.2.2 Vpliv temperatur, sončnega obsevanja, padavin in slane 31
4.2.3 Vpliv gospodarjenja 34
4.2.4 Vpliv hidromelioracij 35
4.3 Analiza značilnih let 36
4.4 Primerjava meritev z modelom 40
4.5 Modeliranje vplivov klimatskih sprememb 43
5 ZAKLJUČKI 50
6 LITERATURA 51

SEZNAM PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vplivi najpomembnejših okoljskih atributov na širino branik črne jelše. 25

SEZNAM SLIK

Slika 1: Zemljevid razširjenosti črne jelše v Evropi. Vir: http://www.euforgen.org/distribution_maps.html (zadnjič obiskano 18. 6. 2012)..... 3
Slika 2: Gozdna odseka 72A in 67B. Vir: naravovarstveni atlas 12
Slika 3: Lokacija gozdnega odseka na karti dela severnovzhodne Slovenije. Lokacijo odseka označuje moder krog. Vir: naravovarstveni atlas 17
Slika 4: Vzorci, pripravljeni za merjenje..... 18
Slika 5: Naprave/orodje za merjenje debelinskih prirastkov. 1 – sistem ATRICS, 2 – binokular, 3 – osebni računalnik, 4 – mesto postavitve vzorca med meritvijo. 18
Slika 6: Izmerjeni in povprečni letni debelinski prirastki 23
Slika 7: Rastni trendi vzorčenih dreves in njihovo povprečje. 24
Slika 8: Ideksirana kronologija in njena pokritost (število dreves, vključenih v kronologijo) 24
Slika 9: Povprečni korelacijski koeficienti med kronologijami posameznih dreves (a) in pripadajoče vrednosti EPS (b). Rdeča črta na sliki b predstavlja vrednost 0,85. 25
Slika 10: Potek povprečnih izmerjenih letnih debelinskih prirastkov, števila ur sončnega obsevanja od v maju in juniju (sumS_5-6) in najnižjih nivojev Ledave maja (minL_5) . 27
Slika 11: Okvir z ročaji za dnevne vrednosti vodostaja Ledave v obdobju 1961 – 2009 28
Slika 12: Korelacijski koeficienti za prikaz vplivov nivoja podtalnice na debelinsko rast črne jelše po mesecih. 29
Slika 13: Korelacijski koeficienti z prikaz vplivov minimalnega (minL), povprečnega (avgL) in maksimalnega (maxL) vodostaja Ledave na debelinsko priraščanje črne jelše, večmesečna obdobja. Prekinjena in neprekinjena črta predstavljata mejne vrednosti za korelacijske koeficiente s stopnjo zaupanja 0,05 oziroma 0,01. 29
Slika 14: Korelacijski koeficienti za najvišje (maxT), povprečne (avgT) in najnižje (minT) temperature v tekočem in predhodnem letu. Prekinjena in neprekinjena črta predstavljata mejne vrednosti za korelacijske koeficiente s stopnjo zaupanja 0,05 oziroma 0,01. 32
Slika 15: Korelacijski koeficienti med letnimi prirastki in količino padavin (cumP), slano (slana) ter količino sončnega obsevanja (sumS) v tekočem in predhodnem letu. Prekinjeni in neprekinjeni črti predstavljata mejne vrednosti za korelacijske koeficiente s stopnjo zaupanja 0,05 oziroma 0,01. 33
Slika 16: Širina letnih debelinskih prirastkov (nestandardizirana kronologija in rezidualna kronologija) in količina posekanega lesa v odseku. 34
Slika 17: Značilna leta – odstotek dreves s pozitivnim prirastkom po letih. 36
Slika 18: Povprečna mesečna temperatura zraka (a, b), mesečna količina padavin (c, d), mesečna količina sončnega obsevanja (e, f) in število dni s slano v mesecu (g,h) v pozitivnih (a, c, e, g; leta 1964, 1980, 2007) in negativnih (b, d, f, h; leta 1967, 1976, 1991, 1997, 2002) značilnih letih v primerjavi s povprečnimi vrednostmi v obdobju 1961 – 2009. 38
Slika 19: Najnižji (a, b) in povprečni (c, d) mesečni nivoji Ledave v pozitivnih (a, c) in negativnih (b, d) značilnih letih v primerjavi s povprečnimi vrednostmi v obdobju 1970–2009. 39
Slika 20: Primerjava povprečnih izmerjenih prirastkov z rezultatom modela. 41
Slika 21: Primerjava izmerjenih in modelnih vrednosti prirastkov črne jelše ter izmerjeni prirastki, na podlagi katerih je bil model razvit. 41
Slika 22: Letni debelinski prirastki izmerjeni v tej raziskavi (povprM) in letni debelinski prirastki izmerjeni v raziskavi Laganis (2007) (popvrL). 42
Slika 23: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih najnižjih vodostajih Ledave med aprilom in julijem (minL4-7). Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10%

znižanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% zvišanju najnižjih vodostajev Ledave med aprilom in julijem. 43
Slika 24: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih najnižjih vodostajih Ledave med avgustom in oktobrom (minL8-10). Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% znižanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% zvišanju najnižjih vodostajev Ledave med avgustom in oktobrom . 44
Slika 25: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih najvišjih vodostajih Ledave med avgustom in oktobrom (maxL8-10). Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% znižanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% zvišanju najvišjih vodostajev Ledave med avgustom in oktobrom . 44
Slika 26: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih najnižjih vodostajih Ledave med aprilom in julijem (minL4-7) in med avgustom in oktobrom (minL8-10) ter najvišjih vodostajih Ledave med avgustom in oktobrom (maxL8-10). Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% znižanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% zvišanju vhodnih spremenljivk. 45
Slika 27: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih vrednostih količine sončnega obsevanja med aprilom in julijem (tsun4-7). Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% zvišanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% znižanju količine sončnega obsevanja med aprilom in julijem. 46
Slika 28: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih vrednostih količine sončnega obsevanja med avgustom in oktobrom (tsun8-10). Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% zvišanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% znižanju količine sončnega obsevanja od avgusta do oktobra. 46
Slika 29: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih vrednostih količine sončnega obsevanja med aprilom in julijem (tsun4-7) in med avgustom in oktobrom (tsun8-10). Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% zvišanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% znižanju vrednosti vhodnih spremenljivk. 47
Slika 30: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih vrednostih števila dni s slano od aprila do julija. Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% znižanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% zvišanju števila dni s slano od aprila do julija. 48
Slika 31: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih najnižjih nivojih Ledave in vrednostih količine sončnega obsevanja od aprila do julija (minL4-7, tsun4-7). Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% znižanju/zvišanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% zvišanju / znižanju najnižjih nivojev Ledave/količine sončnega obsevanja od aprila do julija. 49

1 UVOD

Črna jelša (*Alnus glutinosa*) na obrečnih rastiščih Prekmurja domuje že od časa zadnje ledene dobe (Culliberg in Šercelj, 1989). Gosteje porašča poplavna območja ob večjih in manjših vodotokih, ki se vijejo po prekmurski ravnini. Kot edafogena vrsta, katere rast je pogojena z dostopnostjo talne vode, je zelo povezana z vodnimi razmerami na rastišču; hidrološki vpliv so znatno vplivali na razvoj gozdov črne jelše že v preteklosti (Culliberg in Šercelj, 1989). Čisti jelševi sestoji se ohranjajo zaradi njene kompetitivne prednosti, da dobro prenaša trajno, počasi tekočo vodo, ki se zadržuje na površju (Nemesszheghy, 1986).

Da ima in je imela jelša za prebivalce Prekmurja velik pomen, priča njeno posebno poimenovanje »prekmurska smreka«. S svojo hitro rastjo, kratko obhodno dobo in odganjanjem iz panja je kmetom predstavljala vir gradbenega materiala, lesa za kurjavo in pohištvo, uporabljali so jo za utrjevanje terena v močvirnih predelih (piloti), listje je služilo za steljo (Nemessheghy, 1986). Danes se steljarjenje ne izvaja več, pri gospodarjenju je v ospredju lesnoproizvodni pomen jelševih gozdov (Gozdnogospodarski načrt, 2002 – 2011). Gozdnogojitveni ukrepi so usmerjeni v razvoj bolj vitalnega in kakovostnejšega drevja in s tem povečevanje stabilnosti in gospodarske vrednosti gozdnih sestojev.

Za pridobivanje zemljišč, primernih za kmetijsko pridelavo, človek v zadnjih dveh stoletjih na nižinskem delu Prekmurja izvaja hidrotehnična dela za regulacijo vodotokov in izsuševanje močvirnatih zemljišč. Ti posegi v prostor vplivajo na hidrološke razmere v območju, spremembe se odražajo na globini podtalnice in režimu poplavljanja (Smolej, 1994). Spremenjene hidrološke značilnosti rastišča lahko za črno jelšo predstavljajo zmanjšanje vitalnosti dreves in izgubo kompetitivne prednosti pred vrstami, ki so bolje prilagojene na higrofilnejše razmere (Wraber, 1951; Levanič 1993). Slabše uspevanje jelševih sestojev zaradi spremenjenih vodnih razmer je opaženo na večih rastiščih črne jelše v Prekmurju (Wraber, 1951), tudi na večjih in izrazitih rastiščih črne jelše v Črnem in Polanskem logu (Levanič, 1993).

Rastiščne razmere se integrirajo v različnih znakih drevesa ali pa v razširjenosti drevesne vrste (Kotar, 2005). Vplivi dejavnikov okolja se zrcalijo v velikosti krošnje, velikosti koreninskega sistema, širini branike, velikosti lista itd. Informacije o okoljskih dejavnikih v preteklosti, ob določenih predpostavkah in pogojih, ki jim morajo ustrezati analizirana drevesa, najlaže razberemo iz širin branik. Na širino branike vplivajo genska zasnova, socialni položaj drevesa, rastišče in klima, pa tudi gospodarjenje z gozdom, onesnaženje okolja in mesto odvzema vzorca na deblu (Levanič, 2005). Veda, ki na osnovi širine branike sklepa na razmere, v katerih je drevo v določenem času raslo, se imenuje dendrokronologija. Je edina absolutna metoda datiranja lesa in lesenih predmetov, saj lahko zaradi tipičnega zaporedja branik določimo leto nastanka določene branike (Čufar in Levanič, 2000). V primerjavi z nekaterimi drugimi metodami ima izvedba dendrokronološke analize številne prednosti, npr. možnost preučevanja odzivov v preteklosti, finančna ugodnost. Zato smo se odločili to metodo uporabiti tudi v naši raziskavi pri preučevanju vplivov različnih dejavnikov na priraščanje in posledično na fiziološko stanje dreves.

Diplomska naloga je usmerjena k analizi vplivnih okoljskih in antropogenih dejavnikov na rast in razvoj črne jelše. Poleg tega smo želeli pridobiti dodaten vpogled v to, kaj

različni dejavniki pomenijo za njeno priraščanje in z njim povezano vitalnost, ter tako dopolniti védenje o fiziologiji te vrste.

Podatke raziskave smo uporabili tudi za preverjanje predhodno razvitega modela priraščanja črne jelše (Laganis, 2008), ki služi oceni odzivov te drevesne vrste na spremembe okoljskih dejavnikov, ki jih klimatski modeli napovedujejo za prihajajoča leta. S tem bi lahko predvideli vpliv prihajajočih klimatskih sprememb na vitalnost in ogroženost črne jelše.

1.1 Namen

V diplomski nalogi smo želeli analizirati vplive različnih okoljskih dejavnikov na priraščanje črne jelše v Polanskem Logu. Zanimali so nas predvsem dejavniki ali kombinacije dejavnikov, ki pozitivno vplivajo na priraščanje črne jelše, ter tisti, ki zavirajo njeno rast ali celo ogrožajo obstoj jelševih sestojev.

Želeli smo ovrednotiti tudi vpliv ter ustreznost gospodarjenja z gozdovi črne jelše. Pri tem gre predvsem za primernost časovne razporeditve ter obsega redčenj ter primernost trajanja obhodne dobe.

Z izbiro dodatne ploskve ter z možnostjo analize nekaj dodatnih let smo želeli pridobiti podatke, s katerimi bi lahko preverili veljavnost obstoječega modela (Laganis, 2007) ter omogočiti njegovo nadgradnjo z upoštevanjem vpliva gospodarjenja.

S pridobljenimi znanji smo želeli ovrednotiti tudi vplive povišanjih tempratur in manjše količine padavin, ki jih strokovnjaki zaradi klimatskih sprememb napovedujejo v prihodnosti, ter morebitnih dodatnih hidromelioracij na nadaljnji obstoj teh sestojev.

1.2 Hipoteze

- Okoljski dejavniki in gospodarjenje z jelševimi sestoji značilno in enoznačno vplivajo na priraščanje črne jelše.
- Na velikost letnih debelinskih prirastkov črne jelše imata med okoljskimi dejavniki največji vpliv količina padavin in nivo podtalnice ali vsaj eden izmed njih.
- Redčenje črne jelše povzroči pospešeno debelinsko priraščanje preostalih dreves v sestoju v letih, ki mu sledijo.
- Dvig temperature in manjša količina padavin zaradi napovedanih klimatskih sprememb bosta pomembno vplivala na predvideno priraščanje preučevanih sestojev črne jelše.
- Spremembe vodnega režima za radi hidromelioracijskih posegov, opravljenih v preteklosti, so vlipvale na širino letnih debelinskih prirastkov črne jelše.
- Ko drevesa presežejo 60 let, pričnejo letni debelinski prirastki črne jelše močno upadati.

2 TEORETIČNE OSNOVE

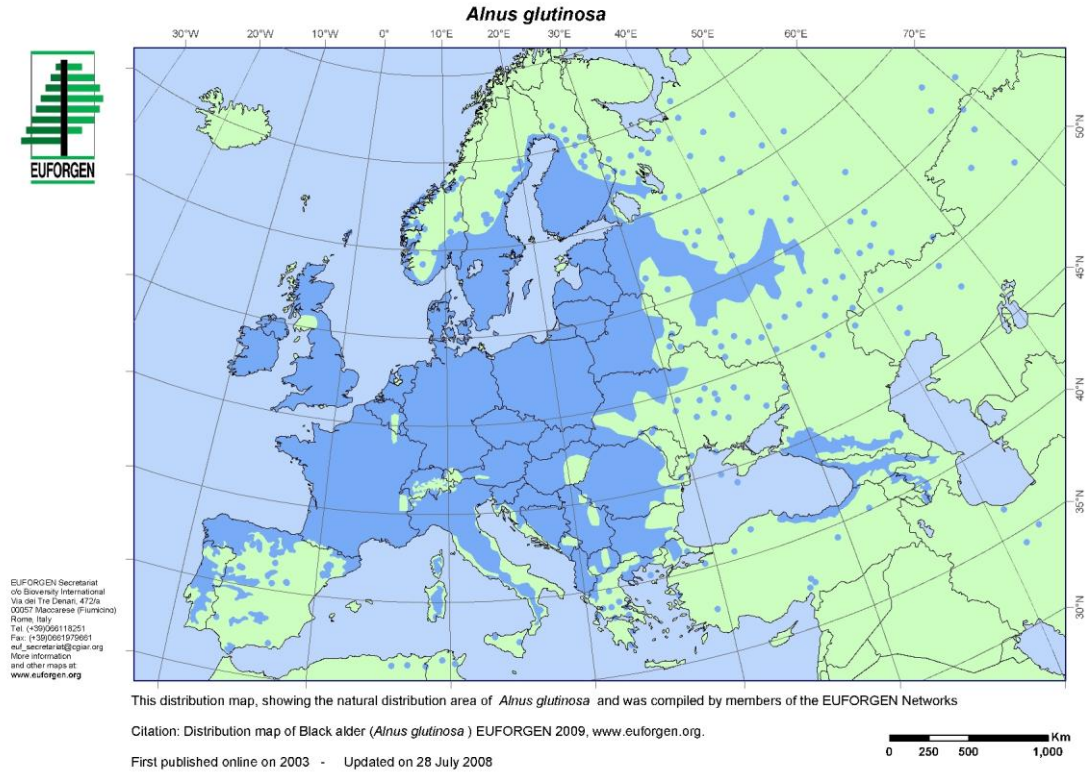
2.1 Splošne značilnosti črne jelše

Črna jelša (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) je listopadno drevo. Sodi med listavce, natančneje v družino brezovk (*Betulaceae)* iz reda bukovk (*Fagales*).

Oblika rasti je lahko grmasta ali drevesna z življenjsko dobo 100 – 120 let (Eschenbach, 1995). Krošnja je jajčasta do stožčasta in spominja bolj na iglavce kot listavce. Skorja je v mladosti gladka in zelenkastorjava, kasneje pa temnosiva do črna in prečno ter vzdolžno razbrazdana. Listi so temnozelene barve, pecljati in enostavni, 4-10 cm dolgi in 3-7 cm široki. Po obliki so široko narobe jajčasti, najširši v zgornji tretjini, na vrhu pa značilno izrobljeni. Mladi listi so lepljivi (Brus, 2008).

2.1.1 Razširjenost vrste

Črna jelša je naravno razširjena po vsej Evropi vse do skrajnega severa Skandinavije (Slika 1). Njena rastišča najdemo tudi na severu Afrike, na vzhodu se njen areal širi do vzhodne Sibirije in Kavkaza. Pogosto je del mešanega širokolistnega gozda, predvsem ob potokih in rekah ter v logih, kjer se druži z drugimi vodoljubnimi vrstami, kot so topol, dob in jesen. Večji kompleksi čistih jelševih gozdov so redki (Brus, 2008).



Slika 1: Zemljevid razširjenosti črne jelše v Evropi. Vir: http://www.euforgen.org/distribution_maps.html (zadnjič obiskano 18. 6. 2012)

V Sloveniji je črna jelša samonikla predvsem v nižinskih predelih, nad 800 m.n.v. je zelo redka. Večinoma se pojavlja v nižinah ob spodnjem toku vseh slovenskih rek, včasih jo najdemo tudi višje ob toku. Pogosta je po močvirjih, precej je je v dobravah Krakovskega gozda. Posamezno ali v vrstah rastočo jo srečujemo ob jarkih na Ljubljanskem barju ter drugod ob vodotokih po Sloveniji. Največje obsežne čiste sestoje pa črna jelša tvori ob Muri in Ledavi. To so območja Murske šume, Črnega loga in Polanskega loga na vzhodnem delu Pomurske ravnine. Ta območja so po obsegu in ohranjenosti edinstvena v Srednji Evropi, zato so tudi vključena kot aluvialni gozdovi s črno jelšo (*Alnus glutinosa*) in belim jesenom (*Fraxinus excelsior*) v območje Nature 2000 (Uredba, 2004).

Posebej prilagojena rast ji omogoča uspevanje na rastiščih z visokim nivojem talne vode ali veliko količino padavin. Claessens (2010) povzema glavne tri tipe rastišč za črno jelšo glede na tip zaloge vode:

- Močvirnata rastišča s podtalnico v nižjih plasteh tal skozi vse leto. Na teh rastiščih črna jelša oblikuje čiste sestoje zaradi svojih fizioloških prilagoditev, ki ji omogočajo rast na anaerobnih tleh. Gre za združbe *Alnetum*.
- Rastišča ob rekah, kjer so tla v koreninski plasti dobro prezračena med sezono rasti. Tu je črna jelša pogosto mešana z jesenom, brestom, javorjem, vrbo in drugimi na aluvialna rastišča prilagojenimi vrstami (združbe *Alno-Padion*).
- Rahlo dvignjena rastišča z visoko talno vlažnostjo, kot na primer globoka ilovnata tla, običajno z začasno talno vodo, kjer prevladujejo druge vrste (npr. jesen, javor in hrast), ki so bolj kompetitivne (združba *Carpinion*).

2.1.2 Koreninski sistem

Razvoj koreninskega sistema je odvisen od rastišča, večinoma je srčaste oblike in sega do globine dveh metrov. Nima glavne korenine, temveč 3 – 4 močno razrasle stranske korenine. Na plitvejših rastiščih rastejo korenine bolj površinsko in razširjeno, tudi do oddaljenosti 4-5 m od debla.

V splošnem glede na fiziološko funkcijo ločimo dve skupini korenin: lažje globinske korenine z manjšo gostoto lesa ter z visoko vsebnostjo zraka v ksilemu in težje, trše vodoravne korenine v zgornjih talnih plasteh (McVean, 1956). V primerjavi z ostalimi drevesnimi vrstami sega koreninski sistem črne jelše zelo globoko, tudi pod gladino podtalnice (McVean, 1956), tako da dosega vlago v nižjih plasteh tal in tako oskrbuje drevo z vodo, ki ni dostopna višjim delom koreninskega sistema.

Zelo porozne globinske korenine z veliko aerenhimskega tkiva (McVean, 1953) segajo v plasti tal, kjer primanjkuje kisika. Dosežejo lahko globino do 380 cm (Mayer, 1992, cit. po Middelhoff, 2000). Poleg difuzije je ugotovljen pojav termoosmoze (Grosse in sod., 1992; Dittert, 2006), s pomočjo katerega poteka oskrba korenin s kisikom. V močno reducirajočih tleh so korenine prevlečene z rdečkastim oksidiranim depozitom (McVean, 1956), ki je posledica izhajanja kisika iz korenin (Middelhoff, 2000). Z veliko potrebo korenin, mikroorganizmov v koreninskih nodulih in ostalih tkiv brez klorofila po kisiku je povezana tudi prisotnost hipertrofiranih lenticel na vznožju debla in na najplitvejših koreninah (McVean, 1956; Dilly, 2000)

V koreninskih nodulih, ki nastanejo z diferenciacijo korenin (Eschenbach, 1995), se odvija simbioza z ektomikoriznimi glivami (McVean, 1953), aktinomicetami (Liepe, 1990; Dilly in sod., 2000). Rastlina nodule oskrbuje z asimilati, bakterije iz rodu *Frankia*

pa s pomočjo svojega nitrogenaznega sistema vežejo N_2 iz zraka in drevesu oddajajo organsko vezan dušik (Eschenbach, 1995). Za en gram fiksiranega dušika drevo porabi 10 gramov ogljika (Dilly in sod., 2000), intenzivnost procesa pa je v veliki meri vezana na intenzivnost asimilacije (Bormann in sod., 1984).

2.1.3 Razmnoževanje

Črna jelša je enodomna in vetrocvetna vrsta. Cveteti začne februarja ali marca, še pred olistanjem, iz moških mačic in ženskih klaskov, ki so se formirali že poleti prejšnjega leta. Najpogosteje dozorijo ženski cvetovi pred moškimi, tako da ne pride do samooploditve (McVean, 1955). Iz oplojenih ženskih socvetij zrastejo nepravi storžki s sploščenimi krilatimi rjavimi oreški. Dozorijo jeseni in začnejo izpadati, ko se temperature prvič spustijo pod ničlo, običajno oktobra ali novembra. Če je jeseni in pozimi vlažno vreme, začnejo semena izpadati šele v suhem vremenu spomladi. (McVean, 1955).

Odrasla drevesa starosti od 3 do 30 let obrodijo okoli 4000 storžkov s po okoli 60 semeni (McVean 1955; Claessens, 2010). Razširjanje semen poteka z vetrom in še veliko učinkoviteje z vodo. Oreški imajo plutovinast plovec, zato je razširjanje s tekočo vodo in plutjem po vodni gladini tako učinkovito (McVean, 1955).

Kaljivost semen je zelo spremenljiva, od 10 do 90%, odvisno od leta in sestoja (Claessens, 2010). Razlog za nizko kaljivost so predvsem nerazvit zarodek oziroma prazna semena. Optimalna temperatura za kaljenje je okoli 25°C, primeren pH substrata pa 3,5 – 8,0. Kaljenje ni odvisno od svetlobe, je pa omejujoč dejavnik nizka koncentracija kisika – na primer pod površino poplavljenih tal. Kalček je občutljiv na izsušitev, za uspešno utrditev potrebuje obilo vlage vsaj 20 - 30 dni po začetku kaljenja in relativno veliko svetlobe (McVean, 1955). Predvsem korenina (radikula) mlade rastline je občutljiva na nizke temperature. Te značilnosti kažejo na izrazito pionirski značaj vrste.

2.1.4 Vegetacijska doba

Vegetacijska doba je obdobje med olistanjem drevesa spomladi in rumenenjem listov jeseni (Linderholm, 2006). To je obdobje, ugodno za fotosintezo in rast drevesa (Kotar, 2005). Dolžina rastne sezone se iz leta v leto spreminja, nanjo pa vplivajo predvsem čas začetka rasti letnih poganjkov ter listov in cvetenja spomladi (Chmielewski in Rötzer, 2001). Spomladanske fenofaze so precej odvisne od temperaturnih razmer konec zime in začetek pomladi (Linderholm, 2006). V večini primerov pomeni 1°C višja povprečna mesečna ali dvomesečna temperatura od 3 do 5 dni zgodnejše cvetenje oziroma olistanje (Črepinšek in Kajfež-Bogataj, 2005). Jeseni se fotosinteza upočasni in počasi preneha, rast se ustavi, drevo skladišči rezervne snovi, listi se razbarvajo v značilne jesenske barve in odpadejo (Kotar, 2005). Čas zaključka rastne sezone med leti manj variira (Chmielewski in Rötzer, 2001). V Sloveniji se vegetacijska doba večinoma začne med 5. in 26. aprilom ter konča med 21. oktobrom in 4. novembrom (Chmielewski in Rötzer, 2001). Povsod po svetu je v zadnjih desetletjih opaziti povprečno daljšanje vegetacijske sezone (Linderholm, 2006), v Sloveniji za 10 dni (Črepinšek in Zrnec, 2005), kar vpliva na neto letno izmenjavo ogljika v gozdnih ekosistemih (Baldocchi in sod., 2005).

Na dolžino vegetacijske dobe poleg okoljskih dejavnikov vplivajo tudi fiziološke ter fenološke značilnosti vrste (Kotar, 2005). Za jelšo so značilni zgodnje olistanje (Lechowicz, 1984) in višinska rast (Giordano in Hibbs, 1993) ter pozen zaključek rastne sezone (Giordano in Hibbs, 1993; Neave in sod., 1989). Neave in sodelavci (1989) so zaznali fotosintetsko aktivnost črne jelše do sredine novembra, en mesec dlje kot pri lipi. Črna jelša na koncu vegetacijske sezone translocira manj dušika, ki ga je veliko v fotosintetskih encimih, iz listov v rezervna tkiva, zaradi česar listi ostanejo jeseni dalj časa zeleni (Taulavuori, 2006) in fotosintetsko aktivni (Neave in sod., 1989).

2.1.5 Višinska rast

Višinska rast je sprememba v velikosti drevesa (Kotar, 2005). Pri dani vrsti sta višinska rast in višinski prirastek odvisna od rastišča ter gozdnogojitvene obravnave. Produktivnejše rastišče omogoča večji višinski prirastek, ki prej kulminira in se potem hitreje zmanjšuje. Listavci enodobnih sestojev v mladosti reagirajo na zmerno povečanje rastnega prostora z zmanjšanjem višinskega prirastka in povečanjem krošnje v širino.

Črna jelša raste hitro, predvsem v mladosti. V prvih 25 letih zraste do približno polovico končne višine, ki je okoli 25 m, izjemoma do 30 m in več (Brus, 2008). Gospodarsko zrelost doseže pri 60 letih in pogosto ne dočaka več kot 100 let. Vse to velja za rastišča in načine gospodarjenja, ki približujejo razmere za rast črne jelše njenemu optimumu, sicer pa jelša pogosto odganja iz panja in raste večdebelno. Višina naravnih primerkov črne jelše je 3 – 12 m (McVean, 1953). V Prekmurju je način gospodarjenja v preteklih stoletjih vodil v razvoj panjevca z drevesi višine 20 – 25 m (Wraber, 1951). Po drugi svetovni vojni so pričeli črno jelšo saditi v enomernih sestojih, tako da danes dosega višje rasti. Laganis (2007) je v sestoju črne jelše v Polanskem Logu izmerila višine od 27 do 30,5 m.

Volumski letni prirastek jelše kulminira pri starosti okoli 20 let, z vrednostmi 13 – 18 m^3 ha^{-1} leto-1. Povprečni volumski letni prirastek je najvišji med starostmi 30 in 50 let z vrednostmi od 4,5 do 14,6 m^3 ha^{-1} $leto^{-1}$ (Stortedler in sod., 1998, cit. po Claessens, 2010). Pričakovane vrednosti na rastiščih, primernih za produkcijo lesa, se gibljejo od 6 do 12 m^3 ha^{-1} $leto^{-1}$ pri 80 letih, ko dosegajo vrednosti celokupne lesne produkcije med 500 in 1000 m^3 ha^{-1}. Geografsko gledano produktivnost jelše narašča od severa proti jugu (Claessens, 2010).

2.1.6 Debelinska rast

Debelinska rast drevesa je posledica delovanja vaskularnega kambija (Kotar, 2005; Morey 1978). Kambij je sloj aktivno delečih se celic, ki navzven proizvajajo sekundarni floem (skorjo), navznoter pa sekundarni ksilem (les). Kambijeva aktivnost se v rastni in med rastni sezoni spreminja, pozimi pa v zmernih klimatih miruje (Levanič, 2005). Tako so pri lesu zmernih con opazne razlike med lesom, ki je nastal na začetku (rani les), in lesom, ki se je tvoril na koncu rastne sezone (kasni les) (Kotar, 2005). Plašč ksilema, ki se je tvoril znotraj enega leta, imenujemo branika, mejo med kasnim in ranim lesom pa letnica.

Listavce delimo na venčasto porozne in raztreseno porozne vrste. Pri prvih so velike traheje lepo vidne v ranem lesu, pri raztreseno poroznih so prevajalni elementi bolj

enakomerno porazdeljeni znotraj branike in meja med ranim in kasnim lesom zaradi precej homogene zgradbe branike ni vidna. Črna jelša sodi v drugo skupino, za katero je značilno tudi , da lahko zaradi neugodnih razmer ali zaradi premajhnega rastnega prostora pride tudi do izklinjanja (odsotnosti) branik. Pri črni jelši so branike običajno precej lepo vidne, prihaja pa do izklinjanja branik, lahko tudi le na odseku branike.

V naših klimatskih razmerah začnejo listavci tvoriti branike v deblu v začetku maja (Kotar, 2005), pri nekaterih listavcih se kambijeva aktivnost prične sredi aprila (Čufar in sod., 2008; Čufar in sod., 2011), rast branike pa traja do konca avgusta (Kotar, 2005). Pri jelši je bila rast opažena še kasneje, do začetka novembra (Kaelke in Dawson, 2003). Girdano in Hibbs (1993) sta ugotovila, da rdeča jelša konec sezone alocira velik del aslimilatov v radialno rast.

Od dejavnikov, ki vplivajo na širino branike ter na razmerje med ranim in kasnim lesom, so zelo pomembni dolžina dneva, jakost svetlobe (Laganis, 2007), temperatura (Ogrin, 2000; Kirdyanov in Hughes, 2003), oskrba z vodo (Ogrin, 2000) in hranili, defoliacija itn.

Pri črni jelši Claessens (2010) navaja, da je širina letnega prirastka odvisna od starosti in je povezana s širino krošnje. Drugi raziskovalci so odkrili še vpliv temperature (Wilczyński in Podlaski, 2007), slane (Laganis, 2007), višine gladine talne vode (Levanič, 1993; Laganis, 2007) in osončenosti (Laganis, 2007).

2.1.7 Uporabnost

Črna jelša je zaradi svojih pionirskih lastnosti primerna za utrjevanje rečnih bregov, saj z gostimi koreninami učinkovito preprečuje erozijo, posebej dragocena je povsod tam, kjer je problematična zadostna preskrba tal z dušikom. Pri nas jo uspešno uporabljajo pri ozelenjevanju obcestnih brežin, kjer na sterilnih in nestabilnih tleh uspeva bolje od drugih vrst (Brus, 2008).

Les črne jelše je zelo kakovosten. Je drobno teksturiran, lahek in mehak (Torelli, 2001). Sveža jelševina se po poseku oksidativno obarva intenzivno rdečeoranžno. Lahko se cepi in dobro obdeluje in je primerna za furnir, vezan les, pohištvo, embalažo, modelni les, ročaje orodja, svinčnike itd. Zaradi slabe odpornosti proti glivam in insektom je naravna trajnost jelševine na zraku in v menjavajoči se vlažnosti slaba, izjemna pa pod vodo, zato ne preseneča, da skoraj polovica Benetk stoji na jelševih pilotih. Sicer pa je jelševina permeabilna in se dobro impregnira, zato lahko njeno trajnost povečamo z nekajtedenskim namakanjem v vodi po sečnji in jo šele potem posušimo do zračne suhosti. Ker gori hitro z enakomernim plamenom, oddaja malo dima in po gorenju pusti malo ostanka, je les črne jelše primeren za pridobivanje energije (Claessens, 2010).

2.2 Okoljski dejavniki, ki vplivajo na rast

2.2.1 Temperatura

Črna jelša vzdrži širok razpon temperatur. Kritična zimska temperatura je -49°C (McVean, 1953), poleti pa listi ne kažejo poškodb pri temperaturah do 44°C (Eschenbach, 1995). Velja za vrsto, ki relativno dobro prenaša mraz (Johansson, 1999), vendar ni razširjena na območjih, kjer je povprečna dnevna temperatura pod

ničlo več kot šest mesecev v letu (Claessens, 2010). Pogosto je tudi lomljenje vej ali celo tanjših debel, ki ga povzročata sneg in led (Brus, 2008). Eschenbach (1995) je opazila poškodbe listov pri temperaturah pod -4ºC.

Z višanjem temperature narašča maksimalna stopnja fotosinteze, ki doseže najvišje vrednosti pri 25ºC (Eschenbach, 1995), nadaljnje višanje temperature ima na hitrost fotosinteze negativen vpliv. Znotraj fiziološkega območja namreč z rastočo temperaturo ekspotencialno narašča tudi temotno dihanje.

Temperature izraziteje vplivajo na priraščanje črne jelše v hladnejših klimatih, kjer je vegetacijska doba krajša. Na Poljskem je bil pri odraslih drevesih opazen pozitiven odziv debelinskega prirastka na visoke temperature v maju, juniju in avgustu tekočega leta in nizke temperature maja predhodnega leta (Wilczyński in Podlaski, 2007).

2.2.2 Osončenost

Drevesa v vegetacijski sezoni svetlobo nujno potrebujejo za fotosintezo. Ena izmed pionirskih lastnosti črne jelše je njena velika potreba po svetlobi. Zasenčenosti ne prenaša dobro in se pod sklenjenim sestojem dreves ali podrasti tudi ne pomlajuje.

Listi krošnje drevesa so izpostavljeni različnim mikroklimatskim pogojem. Te razlike so posledica razlik v osvetlitvi zaradi medsebojnega senčenja. Pri rastlinah zato pogosto opazimo na svetlobo različno prilagojene liste znotraj krošnje. Te značilnosti črna jelša nima (Eschenbach, 2000). Listi na različnih mestih krošnje se med seboj ne razlikujejo bistveno po fotosintetskih lastnostih, kot so vsebnost klorofila, razmerje med klorofilom a in klorofilom b ter maksimalni stopnji asimilacije. Na nižje vrednosti gostote fotonskega toka fotosintetsko aktivnega dela sevanja so listi znotraj krošnje v manjši meri prilagojeni tako, da je odprtost listnih rež bolj občutljiva na količino prejetega sončnega sevanja (Eschenbach, 1995).

Spremembe intenzitete sončnega sevanja tekom leta vplivajo na maksimalno hitrost fotosinteze. Ta raste od začetka vegetacijske sezone in doseže maksimum poleti (v avgustu), septembra je nekoliko nižja in jasno upada do pozne jeseni (oktober) (Eschenbach, 1995).

2.2.3 Hranila

Jelša raste na zelo različnih tipih tal z različnimi vsebnostmi hranil. Uspeva enako dobro na kislih in bazičnih tleh s širokim razponom pH med 4,2 in 7,5 (Claessens, 2010). Najbolj uspeva na svežih do mokrih, globokih, humoznih, nekoliko kislih glinasto-ilovnatih ali peščenih aluvialnih tleh, manj na čistih peščenih ali apnenčastih tleh (Brus, 2008).

Zaradi simbioze z dušik fiksirajočimi mikroorganizmi in s tem možnosti uporabe dušika iz zraka črna jelša ni odvisna od količine organsko dostopnega dušika v tleh in ima kompetitivno prednost predvsem na območjih, kjer je dušik limitirajoč (McVean, 1956).
Z dušikom bogato je tudi listje črne jelše, ki zato prispeva h gnojenju tal z dušikom v organski obliki. Ocene o prispevku dušika v tla se med avtorji razlikujejo, Dilly in sodelavci (2000) navajajo vrednosti 40–45 in 70–85 kg N ha^{-1} $leto^{-1}$ za suha distrična suha oziroma evtrična vlažna tla, Claessens (2010) pa 30 – 130 kg N ha^{-1} $leto^{-1}$

(Moiroud, 1991, cit. po Claessens, 2010). Črna jelša v mešanih sestojih bogati tla z dušikom, zaradi česar je primerna za sajenje skupaj z drugimi drevesnimi vrstami, ki za svojo rast potrebujejo dušik (Giardina in sod., 1995; Bohanek in Groninger, 2005). Prisotnost črne jelše v mešanih sestojih povečuje donos in vsebnost dušika v nadzemnih komponentah (Coté in Camire, 1984).

Črna jelša izboljšuje tudi dostopnost fosforja (Giardina in sod., 1995), je pa to tudi element, ki je lahko za črno jelšo limitirajoč (Middelhof, 2000).

2.2.4 Bolezni

Škodljivci in bolezni črni jelši v njenem naravnem okolju ne predstavljajo hujše grožnje (Nemesszeghy, 1986). Pri nas je bila opažena gliva pepelovka *Erysiphe vernalis*, ki napada liste drevesa (Maček, 2008). Mikrogliva *Taphrina amentorum* pri jelšah povzroča iznakaženja reproduktivnih organov, glivi iz istega rodu (*T. tosquinetii* in *T. sadebeckii*) pa na listih črne jelše in nekaterih tujih vrstah jelš povzročata nabrekline in kodravost.

Fitoplazme povzročajo na jelši rumenozelena razbarvanja, nekroze listnih robov, pa tudi pritlikavost listov. Okužba lahko povzroči splošno propadanje drevja (»propadanje jelš«). Pogoste so latentne okužbe.

Od začetka devetdesetih let prejšnjega stoletja se med evropskimi populacijami črne jelše širi bolezen, ki jo povzroča gliva *Phytophthora alni* (Brasier in sod., 1995). Simptomi okužb obolelih dreves so majhni rumeni listi, odmiranje krošnje, prisotnost črnih izločkov na skorji in nekroze koreninskih in debelnih tkiv (Černý in Strnadová, 2010). Okužena drevesa pogosto odmrejo v nekaj letih ali so nepopravljivo poškodovana. Pri močno prizadetih sestojih črne jelše lahko pride do motenj ekoloških in mehanskih funkcij. Bolezen se lažje širi v prisotnosti proste vode, ki omogoča razvoj in transport glive (Claessens, 2010), zato so bolj ogrožena drevesa, ki rastejo blizu vodotokov, še posebej v primeru poplav (Strnadová in sod., 2010). Bolezen je na črnih jelšah opažena v večini držav, kjer je prisotna (Claessens, 2010; Černý in Strnadová, 2010; Gibbs in sod., 1999), o večji škodi pa poročajo iz Velike Britanije in Belgije (Gibbs in sod., 1999; Claessens, 2010) ter Češke (Černý in Strnadová, 2010; Strnadová in sod., 2010).

Glede na dostopne vire v jelševih gozdovih v Polanskem in Črnem Logu primeri obsežnejših bolezni te drevesne vrste niso bili zabeleženi (Gozdnogospodarski načrti 2002 – 2011; Kronika GE Dolinsko 1971 - 1992).

2.2.5 Voda

Drevesne vrste se na različne načine soočajo s stanjem pomanjkanja vode. Mehanizmi za povečanje absorpcije vode in mehanizmi preprečevanja izgub vode omogočajo vzdrževanje ustreznega vodnega potenciala v rastlini (Kozlowski, 2002). Seiler (1985) je delal poskuse s sadikami črne jelše; po 12-tedenski izpostavljenosti vodnem stresu je ugotovil zmanjšan osmotski potencial listov, povečano vsebnost voska na povrhnjici in manjšo površino listov. Biomasa nadzemnega dela se je relativno zmanjšala bolj kot masa podzemnih delov (Seiler, 1985). Giordano in Hibbs (1993) sta zaznala upad relativne stopnje rasti ob pomanjkanju vode pri štiriletnih drevesih rdeče jelše.

Raziskave Eschenbach (1999) so pokazale, da količina sončnega sevanja in razlika v parnem tlaku med listom in zrakom ne vplivata na zapiranja listnih rež pri črni jelši. To rastlini omogoča visoko stopnjo fotosinteze preko celega dneva, tudi v razmerah velikih razlik v pritisku vodne pare med listom in zrakom. Obenem se rastlina s stomatalno regulacijo odzove na zmanjšan potencial vode v tleh. Takšna strategija črni jelši omogoča visoko produktivnost, vendar pa jo omejuje na območja z minimalno letno količino padavin vsaj 1500 mm ali na območjih s koreninam stalno dosegljivo talno vodo (Claessens, 2010).

Na območjih s stalno prisotno vodo so pogost pojav poplave. V vodi je difuzija kisika štiri velikostne rede počasnejša kot v zraku (Kozlowski, 1982) in v skladu s tem nasičenost tal z vodo v veliki meri omejuje difuzijo plinov (Mommer in sod., 2004). Ena glavnih posledic poplave je nizka dostopnost kisika v potopljenem delu rastline. Razvoj anoksičnih pogojev vodi v zmanjšano produkcijo ATP in posledično v zaviranje metabolizma v koreninah. Poplavljanje tal prav tako vpliva na pH in redoks potencial tal, kar pomeni postopoma večjo potrebo po kisiku v tleh in s tem še večji stres za korenine (Pezeshki, 2001). Temu se pridružujejo še različne organske in anorganske toksične spojine, ki nastanejo v poplavljenih tleh kot rezultat talnih kemijskih reakcij ali pa anaerobnih reakcij mikrobov v tleh in korenin samih dreves (Kozlowski, 1982).

V splošnem odrasla drevesa na poplavljena tla najprej reagirajo z znižano absorpcijo vode in zapiranjem listnih rež, kar vodi v zmanjšanje fotosinteze. Sledijo spremembe, kot so zmanjšana prepustnost membran koreninskih celic, zmanjšan vnos mineralov, spremembe v morfologiji korenin in stebla, zaviranje rasti poganjkov, stebla in korenin, rumenenje listov ter odmiranje in odpadanje listov. Močne in dolgo trajajoče poplave pogosto povzročijo smrt drevesa (Kozlowski, 1982; Pezeshki, 2001).

Rastline so v različni meri in na različne načine prilagojene na anoksične pogoje (Jackson in sod., 2009). Pri drevesnih vrstah se pojavljajo različne morfološke in fiziološke prilagoditve na razmere, ki nastanejo s poplavami. Morfološke prilagoditve vključujejo hipertrofijo stebla, nastanek lenticel, produkcijo adventivnih korenin na potopljenem delu debla in regeneracijo korenin iz primarne korenine. Med pomembnejšimi fiziološkimi adaptacijami na poplave so pospeševanje anaerobnega dihanja (akumulacija etanola) v odsotnosti kisika, sposobnost oksidacije rizosfere in toleranca do visokih koncentracij ogljikovega dioksida (Kozlowski, 1982).

Poskusi na sadikah črne jelše so pokazali upad fotosinteze in prevodnost listnih rež v 24 urah po poplavljanju, pri koreninskem sistemu so bile opažene emisije etanola in acetaldehida (Copolovici in Niiments, 2010), ki nakazujeta alkoholno fermentacijo pri poplavljenih rastlinah. Do četrtega dneva so naraščale tudi emisije dušikovega oksida (NO), produkti oktadekanoidne poti (LOX) in metanola. Emisije NO in LOX so po sedmem dnevu izpostavljenosti poplavi pričele upadati, emisije metanola pa so še naraščale, kar je bilo povezano z začetkom formacije lenticel in adventivnih korenin na spodnjem delu debla. V sedmih dneh sta se tudi stopnja fotosinteze in stomatalna prevodnost vrnili na prvotno raven, medtem ko je koncentracija CO_2 v votlinah ob listnih režah v listu ostala ves čas enaka.

Drugi avtorji poročajo o podobnih odzivih črne jelše na poplavljene razmere: zmanjšana skupna masa korenin in razmerje med suho težo vej in korenin (Dittert in sod., 2006), povečana gostota lenticel na dnu stebla (McVean, 1956; Dittert in sod., 2006) in premer dna stebla (Dittert in sod., 2006), povezan s transportom O_2 v koreninski sistem, rast adventivnih korenin (McVean, 1956; Gill, 1975; Batzli in

Dawson, 1997), upad aktivnosti nitrogenaze in izboljšanje stanja po nekaj dneh (Batzli in Dawson, 1997), povišana aktivnost alkohol dehidrogenaze (Batzli in Dawson, 1997).

Poplave vplivajo na strukturo lesa črne jelše (Ballesteros in sod., 2010). Na mestih poškodb se razvije kalus. Zmanjša se površina lumnov trahej pri prečnem prerezu in ostane manjša kot pred poplavo še dve leti po dogodku, se pa poveča število trahej v letnici. Poveča se površina lesnih vlaken in parenhimskih celic, ki pa se po dveh letih normalizira.

Vpliv talne vode se kaže tudi v pomenu časovne dinamike vodnih razmer v tleh na rast in vitalnost drevesa. Hidromelioracijski posegi v prostor v Prekmurju so povzročili postopno zniževanje letnih debelinskih prirastkov pri črni jelši (Levanič in Kotar, 1996) ter zmanjšano vitalnost sestoja, ki se kaže v velikem obsegu in količini sanitarnih sečenj (Levanič, 1993). Levanič (1993) zaključuje tudi, da je črna jelša zaradi melioracijskih posegov podvržena večji variabilnosti ekoloških faktorjev, ki vplivajo na debelinski prirastek, to pa pomeni tudi močnejšim stresom.

2.3 Vplivi načinov gospodarjenja na rast

Naravno pomlajevanje črne jelše je redko, saj potrebujejo kalčki za rast več svetlobe, kot je je na voljo na tleh v obstoječih gozdnih sestojih (McVean, 1956).

V Prekmurju je bilo v preteklih stoletjih v veliki meri prisotno panjsko gospodarjenje. Cena jelševine je bila nestanovitna in slabo stimulativna, tržišče pa nezanesljivo (Nemesszeghy, 1986). Iz enega panja zraste 5 – 8 dreves in ker rastejo hitro, je sečnja na panj pokrajini ob skromnem vlaganju zagotavljala dovolj drv za kurjavo in gradbenega lesa. Posledica takšnega gospodarjenja je bilo 53% panjevskih dreves ob izdelavi prvega povojnega gozdnogospodarskega načrta leta 1957 (Nemesszeghy, 1986). Wraber (1951) navaja, da je bilo takšnih gozdov, z gojenjem v kratki obhodni dobi 30 – 40 let in povprečno višino jelše 20 – 25 m, več predvsem v Črnem logu.

Danes se predvsem tam, kjer se jelšo goji s ciljem doseganja višje kvalitete lesa, gospodari z golosečnjo. Golosečni sistem pomeni izkoriščanje gozda semenovca s posekom vseh dreves na določeni površini naenkrat ali v kratkih časovnih obdobjih (Diaci, 2006). Za obnovo sestoja je nujna umetna sadnja. Pri tem gre za sadnjo najpogosteje dveletnih drevesnih sadik, vzgojenih v drevesnicah (Nemesszeghy, 1986) iz semen, nabranih na območju semenskih sestojev črne jelše. Priporočena gostota dreves pri sajenju je od 800 do 1600 sadik na hektar (Claessens, 2010).

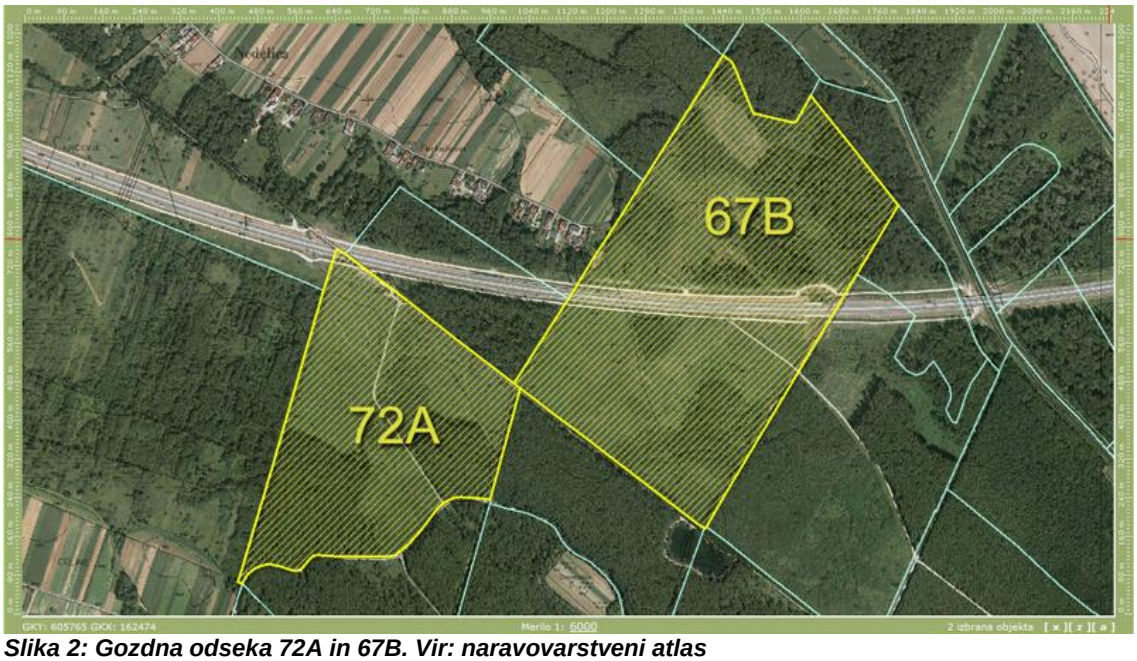
Glavni ukrep pri negi sestojev črne jelše so redčenja, s katerimi negiramo vpliv bonitete rastišča na število dreves v sestoju, povečujemo debelinski prirastek dreves in skrajšujemo proizvodno dobo (Kecman, 1999). Črna jelša raste hitro predvsem v mladosti (glej poglavji 2.1.5 in 2.1.6), zato je potrebno z redčenji začeti zgodaj. Z redčenji pred kulminacijo volumskega prirastka lahko uspešno prenašamo prirastek na osebke, ki ostanejo po redčenju (Kecman, 1999). Črna jelša je zelo svetloljubna vrsta, zato zmerna redčenja v odraslih sestojih vodijo v povečanje prirastka dreves (Kecman, 1999), kar je posledica zmanjšanja konkurence v krošnjah in boljše presvetljenosti krošenj. Kecman (1999) priporoča redčenja na 3 m višinske rasti, kar časovno gledano okvirno pomeni:

- prvo redčenje pri šestem, najkasneje sedmem letu starosti,
- sledijo tri redčenja do 20. leta starosti,

- dve zmerni redčenji po 40. letu starosti in
- vsaj eno svetlitveno redčenje po 40. letu starosti.

2.4 Simulacijski model priraščanja črne jelše

Ekološko modeliranje se ukvarja s povzemanjem obstoječega znanja pri opisu odnosov med člani združb in njihovim neživim okoljem (Džeroski 2002, cit. po Laganis, 2007). Laganis in sodelavci (2007) so proučevali vpliv spreminjanja klimatskih razmer na debelinski prirastek poplavnega gozda črne jelše. Raziskava je bila zasnovana na izmerjenih podatkih o letnih debelinskih prirastkih dreves iz gozdnega sestoja črne jelše pri Mali Polani, v gozdnem odseku 72A, zelo blizu našega raziskovalnega objekta (Slika 2).



Slika 2: Gozdna odseka 72A in 67B. Vir: naravovarstveni atlas

Za opis priraščanja je bil izbran nabor 333 dejavnikov, ki so opisovali klimatske razmere, hidrologijo in gospodarjenje v zadnjih 35 letih. Izmed teh dejavnikov so s statističnimi metodami najprej izbrali skupino dejavnikov, ki so kazali najverjetnejši vpliv na delovanje preučevanega ekosistema. V nadaljevanju so z metodami strojnega učenja določili polinomsko enačbo, ki opisuje povezavo med dejavniki izbrane skupine in letnimi debelinskimi prirastki. Polinomski model je bil uporabljen kot osnova za izgradnjo simulacijskega modela rasti debelinskega priraščanja črne jelše glede na klimatske dejavnike okolja.

Rezultati simulacijskega modela so pokazali, da sta nivo Ledave in trajanje sončnega sevanja v posameznih obdobjih vegetacijske sezone najmočnejša dejavnika, ki vplivata na debelinski prirastek obravnavanega primera. Starost in gospodarjenje nista pokazala močnega vpliva na debelinsko priraščanje v izbranem modelu.

Model napoveduje, da znižanje nivoja podtalnice povzroči povečanje nihanj v velikosti letnih debelinskih prirastkov v odvisnosti od ostalih okoljskih dejavnikov, zvišanje nivoja podtalnice pa povzroči zmanjšanje debelinskih prirastkov. Napovedi modela kažejo na

povečanje nihanja letnih prirastkov ob povečanju letnih nihanj v nivoju podtalnice (večje razlike med najvišjimi in najnižjimi vodostaji). Najnižje prirastke model napoveduje v letih z visoko podtalnico in nizko količino sončnega obsevanja (vodnata in oblačna leta), hkrati pa napoveduje tudi zmanjšanje rasti v izrazito suhih in sončnih letih.

3 EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 Opis območja raziskave

3.1.1 Splošno

Prekmurje leži na severovzhodu države, ob levem bregu reke Mure, med Avstrijo, Madžarsko in Hrvaško. Deli se na dvoje enot: Goričko in Prekmurska ravan. Goričko je gričevnat svet med 155 in 417 metri nadmorske višine. V geološkem pogledu je sestavljeno iz mladoterciarnih, povečini pliocenskih plasti. Nasprotno je Prekmurska ravan reliefno umirjena in pripada kvartarju. Deli se na Ravensko in Dolinsko. Ravensko je zahodni del ravnine, ki sodi v starejši diluvij, medtem ko je Dolinsko spodnji oziroma vzhodnji del ravnine in sodi v glavnem v aluvij. Višinske razlike so majhne – na razdalji 35 km le 17 metrov (Nemessheghy, 1986).

Pomurje se v podnebnih značilnostih razlikuje od preostale Slovenije, saj leži na obrobju velike Panonske nižine z izrazitim značajem celinske klime. Področje se po Koppenovi klasifikaciji klime uvršča v klimatski tip Cfb, iz skupine zmerno tople deževne klime. Glavne značilnosti klimatskega tipa so, da je srednja temperatura najtoplejšega meseca nižja od 22,0°C in da imajo najmanj štirje meseci srednjo mesečno temperaturo nad 10,0°C (Žiberna, 1992). Po podatkih za obdobje 1961 – 1990 za meteorološko postajo Murska Sobota je povprečna letna temperatura 9,2°C, najhladnejši mesec je januar s povprečno temperaturo -2,3°C, najtoplejši pa julij s povprečno temperaturo 19,2°C. Zabeležena absolutno najnižja temperatura je -31,0°C v januarju in najvišja 37,2°C v juliju. Povprečna letna temperatura znaša 9,2°C.

V Sloveniji se količina padavin zmanjšuje od morja proti severovzhodu. Tako v Pomurju pade na leto okoli 800 mm padavin, kar je celo štirikrat manj kot v najbolj namočenih predelih Slovenije. Vpliv celinskega podnebja se kaže predvsem v tem, da pade večji del – okoli 60% - padavin v poletnih mesecih (Žiberna, 1992).

Dolinsko leži na aluvialnih nanosih reke Mure, Ledave in manjših potokov, ki so nastali z naplavljanjem materiala iz Alp in okoliških gričev. Na ravninskem delu imajo vodotoki strugo plitvo vrezano v ravnino. Zato so v preteklosti pogosto prestopali bregove, se razlivali po ravnini, odlagali in odnašali material in spreminjali struge. Največji delež odloženega materiala je s seboj prinesla Mura iz Osrednjih Alp, ki pa je reven z apnencem. Pomanjkanje apnenca ima za posledico slabše fizikalne in kemične lastnosti tal (Wraber, 1951).

Poleg rek je k razvoju tal pripomogla vegetacija, ki porašča območja ob rekah, predvsem z doprinosom organskih snovi. Na Dolinskem prepoznamo tri glavne talne tipe (Nemesszeghy, 1986):

- Lahka naplavljena rjava tla neposredno ob Muri, ki so še zelo mlada, v glavnem ilovnato-peščena.
- Psevdoglej, talna forma, za katero so značilna zelo vlažna in suha obdobja, v globini 30 – 60 cm se pojavlja nepropustna plast, zaradi česar ja talna voda lahko precej visoka. Med vlažnimi obdobji so tla zasičena z vodo, gladina talne vode se lahko dvigne do površine tal, v sušnih obdobjih pa se tla izsušijo in postanejo trda.

- Zaglejena tla ležijo 1 – 2 m niže, talna voda je prisotna pretežno vse leto v površinskih plasteh do 80 cm globine.

Prisotnost talne vode ima močan vpliv na vegetacijo, ki na teh tleh uspeva. Gozd je na poplavnih površinah tipično talno pogojena združba. Z višino in gibanjem talne vode je povezan sukcesijski razvoj vegetacije, ki se kaže v bolj ali manj jasno izoblikovanih vegetacijskih pasovih, ki si sledijo od rečne struge navzven (Gozdnogospodarski načrt 2002 - 2011). Rahla valovitost ravnine vpliva na talno vodo in vegetacijo in tako zabrisuje sukcesijski razvoj vegetacije.
Vegetacijska sukcesija poteka v tesni povezavi z razvojem tal in ima na splošno svojo značilno razvojno pot (Gozdnogospodarski načrt 2002 - 2011):

- Prva stopnja so rečna gola prodišča in peščišča z raznimi higrofilnimi zelišči.
- Sledijo ji vrbišča, kjer so tla najpogosteje in najmočneje poplavljena, pogosto presuta z novim grobo zrnatim materialom ali pa uničena in odplavljena, poraščajo pa jih vrbe.
- Nekoliko starejša prodišča in peščišča, bolj ustaljena tla, manj izpostavljena poplavam, pomešana s finim materialom in humusom z globljo in počasneje tekočo talno vodo, so rastišča črnega in belega topola, pomešana z vrbami in jelšami – topolišča.
- Na globokih humoznih tleh, dobro ustaljenih in dovolj dozorelih, izpostavljenim bolj ali manj rednim periodičnim poplavam, ki prinašajo rodovitno blato, se razvije dobrava. To so logi doba, veza in panonskega jesena, najdemo pa tudi zastopnike naprednejših razvojnih stadijev (klen, beli gaber). V dobravi prevladujejo trdolistni listavci, medtem ko mlajše razvojne stadije združujemo (vrbišče, jelšišče, topolišče) pod skupno oznako logi mehkih listavcev. Dobrava je zadnji člen v razvojni seriji poplavnih gozdov, ki je po svojem obstanku še odvisen od talne vode oziroma od periodično ponavljajoče se poplave – glede na režim talne vode so vse združbe od vrbišča do dobrave higrofilne.
- Prvo stopnjo razvoja vegetacije izven območja talne vode in poplav, pod pretežnim vplivom podnebja, predstavlja mezofilna združba, mešani hrastovo gabrov gozd. Zaradi geomorfoloških (reliefnih) in drugih vplivov, ki motijo progresivni razvoj vegetacije, ne najdemo nikjer popolnega sukcesijskega profila vegetacije po zgoraj opisanih stopnjah, temveč največkrat fragmentarno razvite posamezne faze ali razne prehode in mešanice med njimi, pogosto pa tudi odločno prevladovanje tega ali onega razvojnega stadija.
- V območju poplavnega sistema se skoraj povsod pojavlja grezovna vegetacija ali grez s posebno združbo črne jelše in podaljšanega šaša, imenovan tudi jelšev grez. Porašča navadno terenske uleknine, kjer talna voda sega blizu talnega površja in ga pogosto tudi zaliva ali pa kjer površinska voda dlje časa zastaja in zamočvirja tla, ker nima odtoka.

Gozdnatost v gozdnogospodarski enoti Dolinsko je 22% in je nižja od gozdnatosti v gozdnogospodarskem območju Murska Sobota, kjer znaša 28%. Precej več, 51% površine v gozdnogospodarski enoti, je kmetijskih zemljišč, 12% je travniških in 7% urbanih površin (Gozdnogospodarski načrt, 2002 - 2011). Gozdna vegetacija se je ohranila pretežno na absolutnih gozdnih tleh, na poplavnem območju Mure, Ledave in njihovih pritokov, ki zaradi visoke talne vode in neustaljenosti niso primerna za kmetijsko obdelavo. Brus (2008) navaja, da se je v zadnjih 30 letih površina jelševih logov v Prekmurju zmanjšala za več kot tretjino.

Nemesszhaghy (1986) piše, da so se še v 18. stoletju po večini ozemlja Dolinskega razprostirali hrastovi in jelševi gozdovi, ki so bili celo neprehodni. Prebivalstvo je

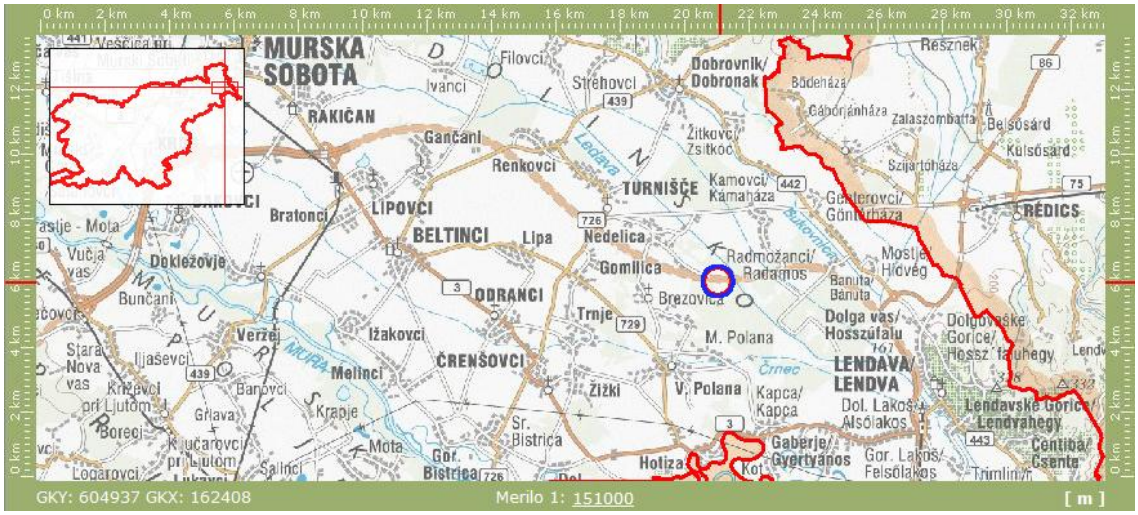
naraščalo, gozdne površine pa so se krčile v prid kmetijskim. Večina gozdnih površin je bila takrat v lasti veleposestnikov. Z naraščanjem prebivalstva se je kmečka posest tudi vedno bolj drobila, Prekmurci pa so začeli odhajati na sezonsko delo. Gozdovi so v tistih časih prebivalstvu omogočili dopolnilno sezonsko zaposlitev, ga oskrbovali s kurivom in z gradbenim materialom, lastniki pa so v gozdu tudi pasli živino in kosili travo. Zaradi velike potrebe po lesu je imela pri gospodarjenju prednost količina pred kakovostjo, za kar so bili še posebej primerni gozdovi s hitro rastočo črno jelšo, v katerih so pogosto panjevsko gospodarili.

Preobrazbo v vse bolj kmetijsko krajino so od 18. stoletja naprej omogočale sistematične regulacije vodotokov, ki so se prej vili po zamočvirjenem in gozdnatem območju med Muro in Goričkim (Novak, 2009). Pomembnejša večja izvedena hidrotehnična dela na območju sestojev jelševih gozdov so izgradnja dveh vzporednih prekopov v Črnem logu v letih 1914 in 1919 (Wraber, 1951) ter izgradnja radmožanskega zadrževalnika, ki je potekala med leti 1980 in 1983, spremljala pa jo je poglobitev struge Ledave. Melioracijska dela so omogočila nove pridelovalne površine in varovanje pred poplavami, so pa tudi znižala nivo podtalnice za 60 cm v 40 letih (Smolej, cit. po Laganis, 2007) in spremenila ritem poplavljanja. Spremembe vodnih razmer so povzročile spremembe pri gozdni vegetaciji, raziskovalci poročajo predvsem o negativnih vplivih (npr. Wraber, 1951). Ti se v jelševih gozdovih najmočneje odražajo v Črnem logu (Wraber, 1951; Nemesszeghy, 1986; Smolej, 1994; Levanič in Kotar, 1996). Tam, kjer so rastiščne razmere za črno jelšo vse manj primerne, jo izpodrivajo druge drevesne vrste, največkrat poljski jesen (Nemesszeghy, 1986), in tvorijo sestoje, ki so manj odvisni od visoke talne vode (Wraber, 1951).

Z izgledom krajine na Dolinskem se je v zadnjem stoletju spremenilo tudi gospodarjenje s črno jelšo. Pri panjevskem gospodarjenju se kljub veliki regeneracijski moči črne jelše po drugem in tretjem poseku njena obnovitvena sila izčrpa, poleg tega pa takšno intenzivno izkoriščanje močno izčrpava in osiromaši tla (Wraber, 1951). Po drugi svetovni vojni je postala temelj pristopov gojenja večnamenska vloga nižinskega poplavnega gozda. Prešlo se je na sonaravno gospodarjenje. Hkratno uveljavljanje ekoloških in socialnih funkcij ter kakovostno in vrednostno pridelavo lesa so pričeli usmerjati z načrtnim gojenjem gozdov (Nemesszeghy, 1986). Gojenje, predvsem pomlajevanje in nega, temeljita na rastiščnih in bioloških zahtevah črne jelše. Tako poteka pomlajevanje sestojev umetno, s sajenjem sadik, kar vodi v enodobne sestoje, ki jih je potrebno predvsem v mladosti pogosteje redčiti. Pomemben vidik smotrnega gospodarjenja v poplavnih gozdovih je tudi izbira ustrezne drevesne vrste glede na prostorsko in časovno spreminjanje značilnosti rastišča.

3.1.2 Ožji objekt raziskave

Vzorci za meritve so bili odvzeti v Polanskem logu pri Lendavi. Območje leži v območni enoti Murska Sobota Zavoda za gozdove Slovenije, v gozdnogospodarski enoti Dolinsko. Odsek ima oznako 01067B (Slika 2 in Slika 3). Leta 2006 se je pričela gradnja odseka avtoceste Beltinci – Lendava, ki danes gozdni odsek deli v dva dela (vidno na Slika 2).



Slika 3: Lokacija gozdnega odseka na karti dela severnovzhodne Slovenije. Lokacijo odseka označuje moder krog. Vir: naravovarstveni atlas

Gozdni odsek meri 34,33 ha, povprečna nadmorska višina odseka je 167 metrov. Sodi v gospodarski razred gozdov črne jelše. Gozdna združba v odseku je *Carici - Alnetum*. Kamninska podlaga sta nekarbonaten prod in pesek. Lesna zaloga pred sečnjo 75 let starega sestoja je bila 490 m^3/ha, od tega 482 m^3 črne jelše.

3.2 Metode dela

3.2.1 Odvzem in obdelava vzorcev

Vzorci so bili odvzeti januarja 2010. Sestavlja jih deset kolutov približno 75 let starih dreves. Koluti približne debeline 7 cm so bili odvzeti na višini 3 metre ob končnem poseku sestoja. Odvzete kolute smo shranili na Gozdarskem inštitutu v suhem prostoru. Zložili smo jih tako, da smo preprečili zvijanje in omogočili prosto prehajanje zraka, da bi se koluti dobro osušili. Po mesecu sušenja smo začeli z nadaljnjo obdelavo.
[iz ekonomskih razlogov so bili vzorci odvzeti na višini 3 m in ne na prsni višini – najnižji del hloda ima najvišjo ekonomsko vrednost]

Po sušenju smo vzorce razrezali na 5 cm široke pasove in zbrusili s trakovi zrnatosti 180, 240, 360 in 600, da so bile branike na lesu ustrezno vidne (Slika 4).

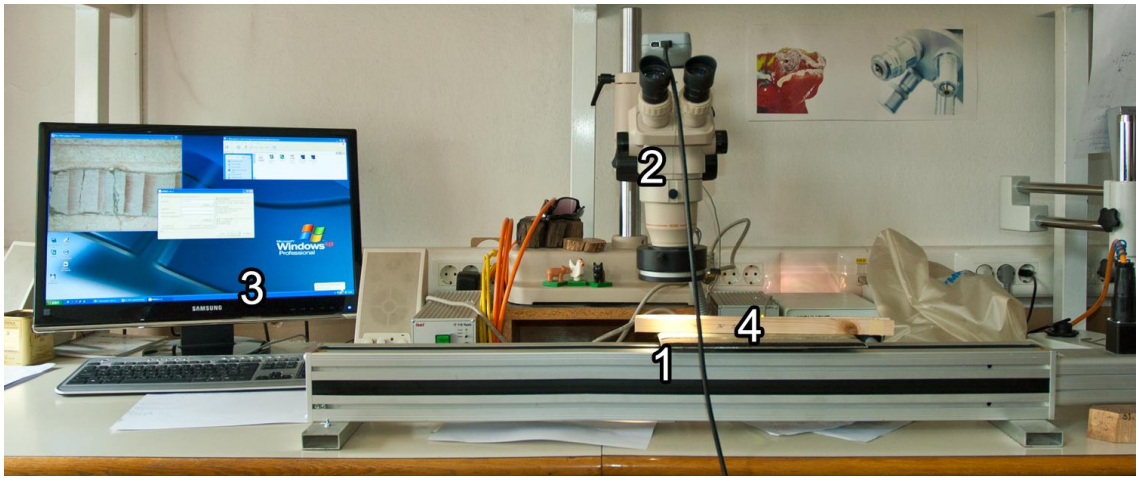
Slika 4: Vzorci, pripravljeni za merjenje

3.2.2 Merjenje debelinskega prirastka

Meritve in analizo smo opravili v dendrokronološkem laboratoriju Gozdarskega inštituta Slovenije. Vzorec smo položili na merilno mizico z obdelano stranjo obrnjeno navzgor z mikroskopom in ustreznim svetlobnim virom. Binokular mikroskopa je priklopljen na osebni računalnik (Slika 5), tako da smo vzorec najprej poskenirali (preslikali) s sistemom ATRICS (Levanič, 2007) in širino letnih debelinskih prirastkov merili s pomočjo programa WinDENDRO.

Izmerili smo deset vzorcev, vsakega, razen zadnjega, v dveh nasprotnih smereh. Meritev posameznega vzorca smo opravili enkrat. Če smo pri kontroli meritev opazili morebitne napake, smo meritev ponovili (natančnost meritev ? 0,01mm?). V nadaljevanju smo nize izmerjenih prirastkov posameznih vzorcev sinhronizirali med seboj v sistemu PAST-4, v katerem smo opravili tudi datacijo in kontrolo. Izkazalo se je, da je za nadaljnje računanje ustreznih devet vzorcev, desetega smo izločili.

Sinhronizirana in preverjena zaporedja širin branik smo združili v kronologijo, ki smo jo uporabili v analizah odziva dreves na hidrometeorološke razmere ter gojitvene ukrepe.



Slika 5: Naprave/orodje za merjenje debelinskih prirastkov. 1 – sistem ATRICS, 2 – binokular, 3 – osebni računalnik, 4 – mesto postavitve vzorca med meritvijo.

3.2.3 Standardizacija kronologij

Statistično gledano je zaporedje širin branik časovna vrsta, sestavljena iz več komponent. Cook (1985) je za dendrokronološke vrste postavil linearni model, ki združuje več komponent: starostno komponento, vpliv klime, vpliv bližnjih okoljskih dejavnikov in vpliv daljnih okoljskih dejavnikov.

Matematični model je predstavljen z enačbo:

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + \varepsilon_t ,$$

kjer je
R_t = širina branike v letu t,
A_t = starostni trend v braniki,
C_t = klimatski vpliv,
$D1_t$ = vpliv lokalnih dejavnikov,
$D2_t$ = vpliv okoljskih dejavnikov na širšem območju,
ε_t = nepojasnjeni del širine branike in
δ = binarni simbol, ki predstavlja prisotnost ($\delta = 1$) ali odsotnost (δ = 0) motnje.

Namen standardizacije je odstranitev določene moteče komponente iz časovne vrste. Moteča komponenta pri ugotavljanju vplivov okolja na širino branike je starostni trend, ki smo ga odstranili s standardizacijo s programom ARSTAN.

3.2.4 Ocena primernosti kronologij za dendroklimatološke analize

Zgoraj predstavljeni model pojasnjuje, da je širina branike posledica sodelovanja različnih vplivov, tako pri kronologiji posameznega vzorca kot pri kronologiji rastišča, sestavljeni iz kronologij več dreves. Reprezentativnost kronologije rastišča narašča s povečevanjem števila analiziranih dreves, saj se načeloma s povečevanjem vzorca zmanjšuje šum oziroma motnja v kronologiji, in povečuje uporabni signal, ali drugače povedano, zmanjšuje se razmerje med šumom in signalom.

Primernost izbrane podmnožice vzorcev za dendroklimatološko analizo ocenimo s pomočjo brezdimenzijske mere EPS (v angl. expressed population signal) (Wigley in sod., 1984), ki kaže, kako dobro neka izbrana subpopulacija vzorcev (dreves) predstavlja klimatski signal populacije (teoretično neskončno velike populacije dreves). Razpon vrednosti za EPS je od 0 do 1. Predpisane mejne vrednosti za EPS ni, najpogosteje se upošteva, da izbrana zaporedja branik dovolj dobro predstavljajo analizirano populacijo pri vrednosti EPS višji ali enaki 0,85. EPS se vedno izračuna po standardizaciji zaporedij širin branik za obdobje maksimalnega skupnega prekrivanja standardiziranih zaporedij širin branik.

EPS se izračuna po formuli

$$EPS(n) = \frac{n \cdot RBAR}{n \cdot RBAR + (1 - RBAR)},$$

kjer je
n = število analiziranih zaporedij širin branik in
$RBAR$ = povprečni korelacijski koeficient med analiziranimi zaporedji širin branik.

V našem primeru smo izračunali EPS z drsečim oknom dolžine 30 let in s prekrivanjem 29 let. Za izračun smo uporabili standardizirano rezidualno kronologijo.

3.2.5 Izbira okoljskih dejavnikov za statistične analize povezanosti

Okoljske dejavnike, primerne za statistično analizo, smo izbrali na podlagi dveh kriterijev:

- izbora dejavnikov, ki vplivajo na rast črne jelše oziroma ima na velikost in hitrost rasti limitirajoč vpliv, sestavljen na podlagi pregleda obstoječe literature in
- dosegljivosti meritev teh dejavnikov v obliki, primerni za uporabo v statističnih analizah.

Podatki, ki smo jih uspeli dobiti, so navedeni spodaj. Eden izmed dejavnikov, ki je za črno jelšo limitirajoč, vendar zanj nimamo ustreznih podatkov, je količina fosforja v tleh. Za raziskavo bi potrebovali podatke o vrednostih tega dejavnika v preteklosti, ki bi ustrezno opisovali dejansko stanje na naši vzorčni ploskvi v obdobju rasti vzorčenih dreves. Ker takšne meritve niso bile nikoli opravljene, količine fosforja v tleh nismo vključili med dejavnike, katerih vplive smo raziskovali.

Ker v zapisih o gozdovih črne jelše v gozdnogospodarskem območju Dolinsko ni bilo zabeleženih obsežnejših bolezni ali kalamitet, tudi vpliva teh dejavnikov nismo mogli raziskovati.

3.2.6 Podatki za statistične analize

Za statistično analizo smo uporabili meteorološke in hidrološke podatke Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO), in sicer z merilne postaje, ki je najbliže objektu raziskave. Pridobili smo jih preko njihove spletne aplikacije za dostop do meteoroloških podatkov in arhiva meteorološki podatkov, dostopne na naslovu: http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/.
Meteorološki podatki so s hidrometeorološke postaje Lendava (16,5° v.g.d., 46,6° s.g.š., n.m.v. = 190 m), ki je od mesta odvzema oddaljeno okoli 7 km. Za analize smo uporabili arhivske podatke:

- povprečna mesečna temperatura 1961 – 2009,
- povprečna najvišja mesečna temperatura 1961 – 2009,
- povprečna najnižja mesečna temperatura 1961 – 2009,
- mesečna količina padavin 1961 – 2009 in
- dnevi s slano 1961 – 2009.

Najbližja meteorološka postaja, kjer je bilo merjeno sončno obsevanje, je Murska Sobota – Rakičan (16,2° v.g.d., 46,7° s.g.š., n.m.v. = 187 m), ki je od Male Polane oddaljena dobrih 14 km. Uporabljeni so bili podatki o številu ur sončnega obsevanja v mesecu v obdobju 1961 – 2009.

Hidrološki podatki so bili merjeni na merilnem mestu Čentiba, ki se nahaja na reki Ledavi okoli 10 km dolvodno od našega raziskovalnega objekta (16,47° v.g.d., 46,53° s.g.š., n.m.v. = 154,7 m). Podatki obsegajo dnevne vrednosti vodostaja reke Ledave v obdobju od 1970 do 2008. Podatki so dostopni na spletnem naslovu: http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php?p_vodotok=Ledava&p_postaja=1260 (zadnjič obiskano 18. 6. 2012).

Vsi statistični izračuni vplivov okoljskih dejavnikov so bili narejeni s programom Excel. Preizkusili smo več kot 240 spremenljivk. Za nekatere smo lahko uporabili kar surove podatke (npr. povprečne vrednosti temperature, količine padavin in sončnega obsevanja za posamezne mesece), druge smo morali najprej pripraviti (npr. količine padavin za večmesečna obdobja, število dni s slano ter najnižje, povprečne in najvišje nivoje Ledave za posamezne mesece in večmesečna obdobja). Za vsako spremenljivko posebej smo izračunali korelacijski koeficient in na podlagi teh vrednosti dobili skupino atributov z največjim vplivom na priraščanje črne jelše.

3.2.7 Analiza značilnih let

Analizo značilnih let smo opravili v skladu z mednarodno metodologijo (Schweingruber in sod., 1990). Definicija značilnega leta je po Schweingruberju naslednja: značilno leto je tisto, ko 80% ali več dreves reagira z zmanjšanjem oziroma s povečanjem prirastka v primerjavi s prejšnjim letom. Zaradi majhnega števila kronologij analiza ne ustreza pogoju (Schweingruber in sod., 1990), da mora biti v analiziranem letu prisotnih najmanj 13 vzorcev za izračun pojava značilnih let.

S programom Excel smo najprej za vsako leto za vsak vzorec izračunali razliko med prirastkom leta in prirastkom v letu pred njim, potem pa prešteli število pozitivnih in negativnih razlik. Leta, v katerih je imelo vseh 9 dreves pozitivno razliko, smo označili za pozitivna, leta z negativnimi razlikami pri vseh devetih pa kot negativna. Za takšen kriterij smo se odločili zaradi relativno majhne velikosti vzorca za takšno analizo.

V naslednjem koraku smo primerjali vrednosti okoljskih spremenljivk (povprečna mesečna temperatura, mesečna količina padavin, število ur sončnega obsevanja v mesecu, najnižji in povprečni vodostaj Ledave) v značilnih letih s povprečnimi vrednostmi za obdobje, za katerega smo imeli na voljo podatke.

3.2.8 Preverjanje simulacijskega modela priraščanja črne jelše

Enačba modela, ki je bil razvit v predhodnih raziskavah raziskovalne skupine Laboratorija za raziskave v okolju na Univerzi v Novi Gorici (Laganis, 2007):

Debelinski radialni prirastek (mm) =
+-0,0511025526922 * minL_8-10
+-0,0291795197998 * maxL_8-10
+-0,017479975134 * t-sun_4-7
+0,0346935385853 * t-sun_8-10
+-0,00001950606536 * t-sun_8-10^2
+-2,01014710248 * d-wf_4-7
+0,0000935586778387 * minL_4-7 * t-sun_4-7
+-0,000179339939732 * minL_4-7 * t-sun_8-10
+0,0000645688563611 * minL_8-10* t-sun_8-10
+0,0000306551434164 * maxL_8-10 * t-sun_4-7
+0,00282485442386 * t-sun_4-7 * d-wf_4-7
-0,00141078675225 * t-sun_8-10 * d-wf_4-7
+7,91071710872

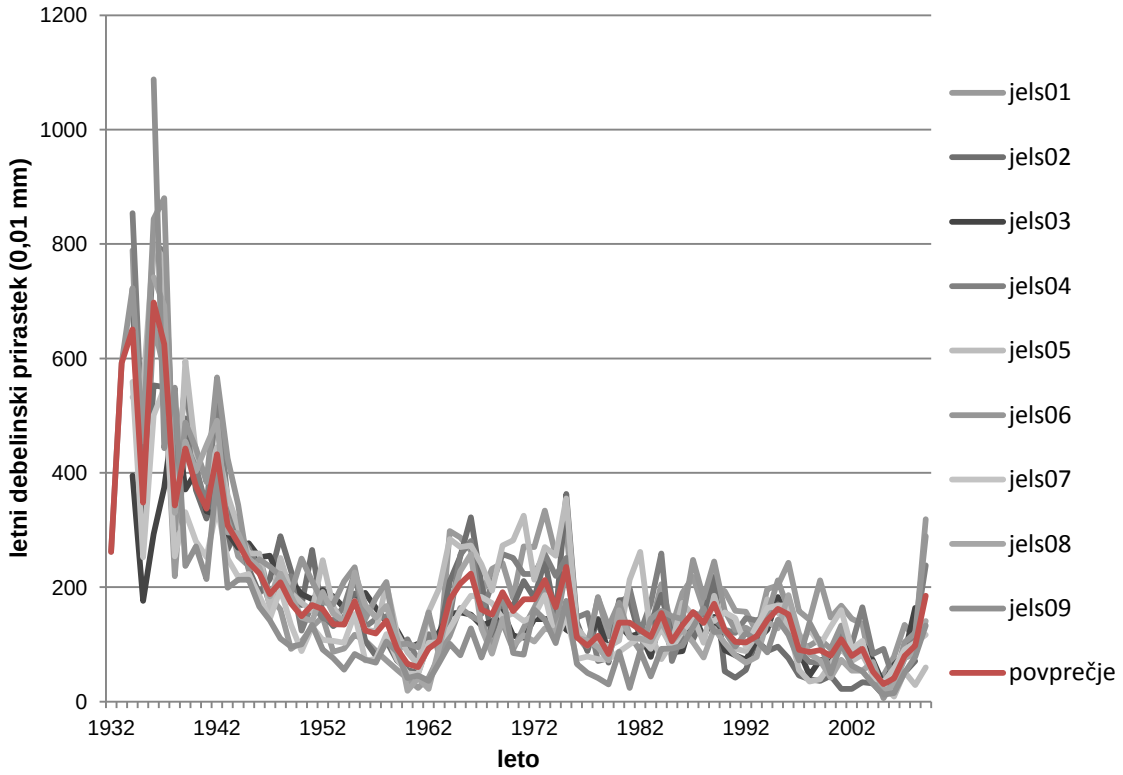
Da bi preverili skladnost modela z našimi meritvami, smo najprej v programu Excel vstavili vhodne klimatske podatke v polinomski model debelinskih prirastkov. V programu Excel smo rezultat preverili tako, da smo izračunali koeficient determinacije za napovedi modela vrednosti, ki smo jih dejansko izmerili (povprečna vrednost). Izračunan koeficient determinacije izraža odstotek variabilnosti izmerjenih debelinskih prirastkov, ki je pojasnjen z modelom.

Za lažje razumevanje ustreznosti oziroma neustreznosti modela priraščanja smo naredili še primerjavo med našimi izmerjenimi vrednostmi debelinskih prirastkov in tistimi, na podlagi katerih je bil model razvit. Ti so bili pridobljeni na podlagi vzorca dreves s sosednjega gozdnega odseka. Primerjali smo povprečni debelinski prirastek in grafični potek letnih debelinskih prirastkov. Povprečni letni debelinski prirastek smo izračunali iz povprečne kronologije vzorca za podatke iz obeh raziskav.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

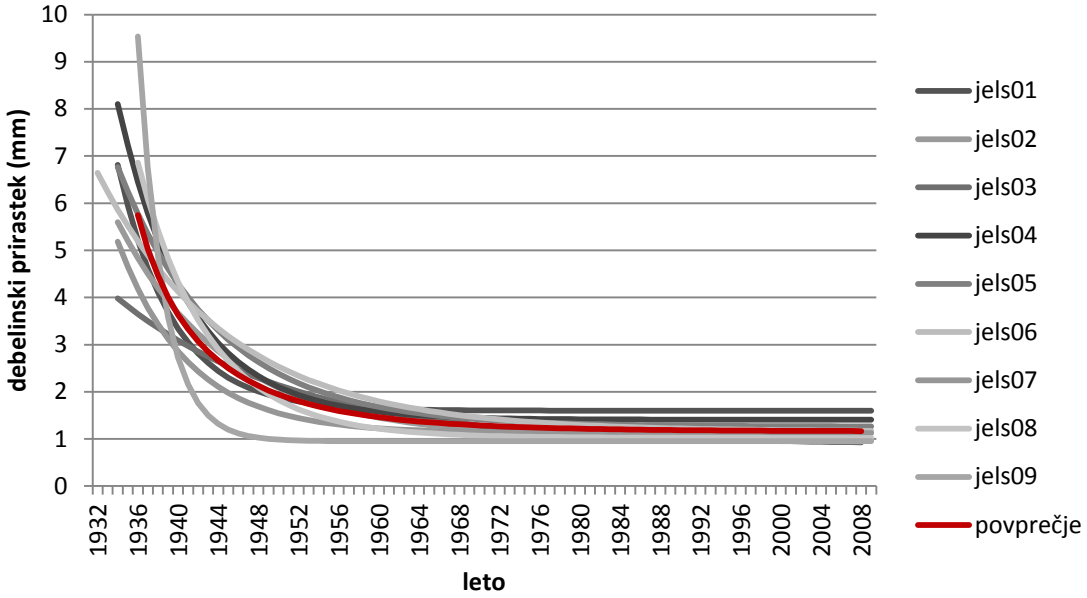
4.1 Dendrokronološke meritve in analize

Slika 6 prikazuje prirastke posameznih dreves ter povprečje devetih vzorcev. Povprečni debelinski prirastek je bil najvišji leta 1937, in sicer je znašal 6,25 mm. Nato se je v obdobju 1937 – 1961 in leta 1961 znašal le 0,60 mm. Najmanjši prirastek (0,31 mm) je bil zabeležen leta 2005. Na koncu analiziranega obdobja je znašal 1,85 mm. Povprečni letni debelinski prirastek kronologije je 1,71 mm.



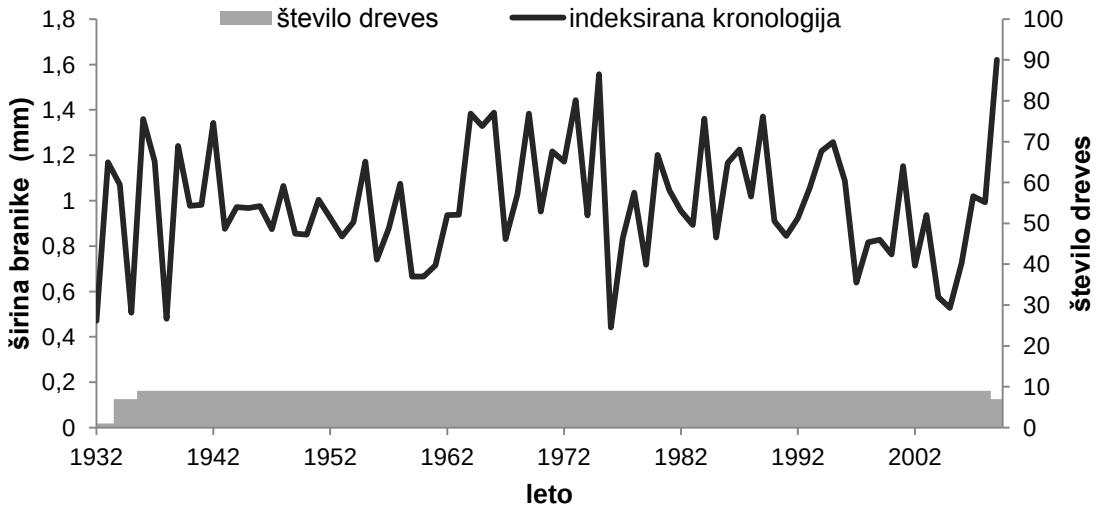
Slika 6: Izmerjeni in povprečni letni debelinski prirastki

S postopkom standardizacije smo potekom letnih debelinkih prirastkov odstranili rastni trend, ki ima obliko negativne eksponentne funkcije (Slika 7). Hitrost priraščanja je najvišja na začetku in z leti najprej hitro potem pa počasneje upada. Po približno treh desetletjih se starostna komponenta ustali pri vrednosti, od katere se do konca obdobja kronologije zelo malo spreminja.



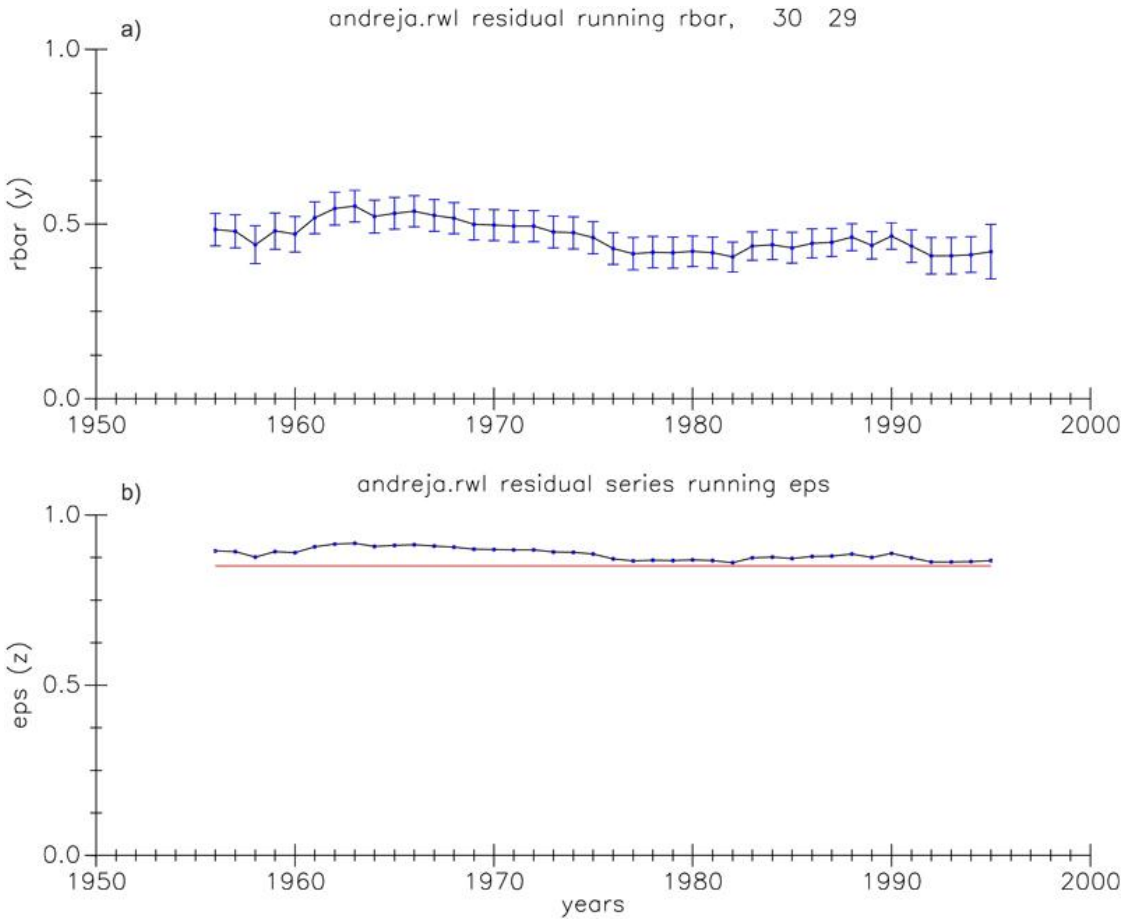
Slika 7: Rastni trendi vzorčenih dreves in njihovo povprečje.

S standardizacijo povprečne kronologije smo dobili rezidualno kronologijo (Slika 8), ki predstavlja letne debelinske prirastke brez starostne komponente. Obdobje pokritosti kronologije z vsemi devetimi vzorci je dolgo 73 let (1936 - 2007).



Slika 8: Ideksirana kronologija in njena pokritost (število dreves, vključenih v kronologijo)

Primernost velikosti vzorca za analize okoljskih vplivov smo ugotavljali s pomočjo vrednosti EPS (Slika 9). Izračunali smo jih za 30-letna obdobja s korakom 1 leto. Vse vrednosti presegajo vrednost 0,85 in jih zato lahko sklepamo, da rezidualna kronologija dovolj dobro predstavlja klimatski signal populacije in da podatki, pridobljeni z vzorčenjem, ustrezno opisujejo odziv črne jelše na pogoje na danem rastišču.



Slika 9: Povprečni korelacijski koeficienti med kronologijami posameznih dreves (a) in pripadajoče vrednosti EPS (b). Rdeča črta na sliki b predstavlja vrednost 0,85.

4.2 Vplivi okoljskih dejavnikov in dejavnikov gospodarjenja na debelinsko priraščanje črne jelše

V preglednici 1**Error! Reference source not found.** so zbrani najpomembnejši korelacijski koeficienti med širino branik črne jelše in izbranimi okoljskimi dejavniki, z označeno pripadajočo stopnjo zaupanja. Koeficienti so največji pri najnižjih vodostajih reke Ledave za različna mesečna in večmesečna obdobja. Najvišjo absolutni vrednost ima korelacijski koeficient za mesec maj r(minL_5) = -0,54 (α = 0,01). Poleg najnižjih nivojev Ledave na širino branik pomembno vplivata še količina sončnega obsevanja v maju in juniju (sumS_5-6) ter število dni s slano pred začetkom rastne sezone. Črna jelša na preučevani lokaciji ne kaže občutljivosti na slano na začetku sezone.

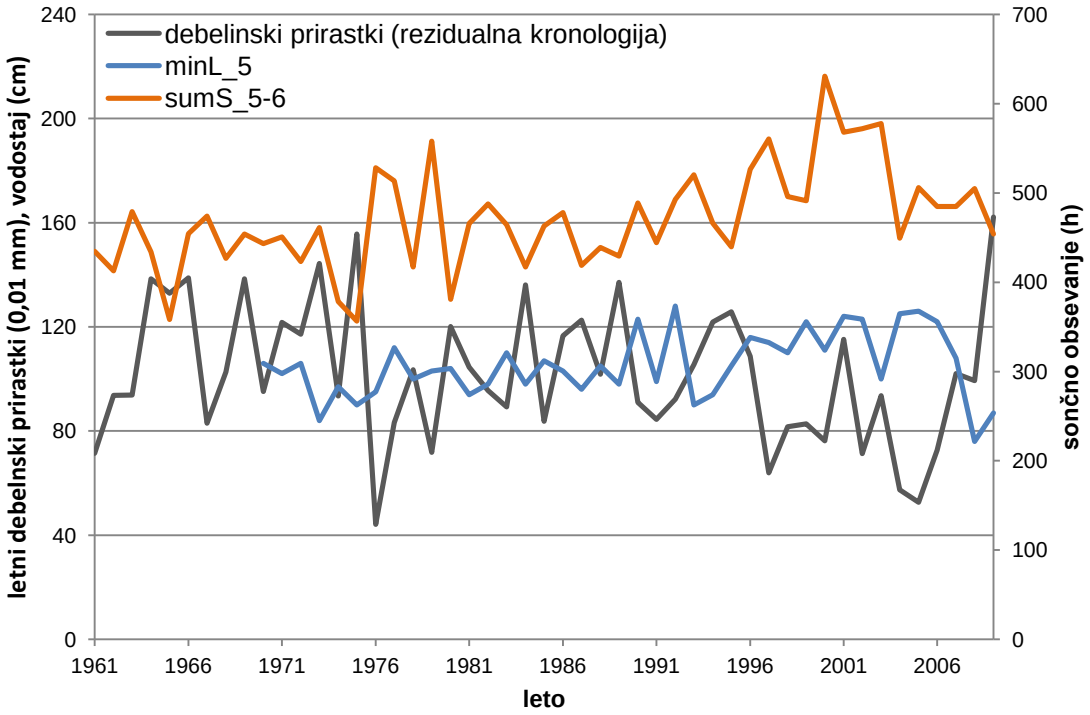
Preglednica 1: Vplivi najpomembnejših okoljskih atributov na širino branik črne jelše

atribut	korelacijski koeficient	okoljski dejavnik	obdobje vpliva
minL_5	-0,54**	najnižji nivo Ledave	maj
minL_4-5	-0,52**	najnižji nivo Ledave	april - maj
sumS_5-6	-0,51**	količina sončnega sevanja	maj - junij
minL_4-10	-0,50**	najnižji nivo Ledave	april - oktober

minL_4-6	-0,50**	najnižji nivo Ledave	april - junij
minL_4-9	-0,50**	najnižji nivo Ledave	april - september
sumS_6	-0,50**	količina sončnega sevanja	junij
minL_3	-0,49**	najnižji nivo Ledave	marec
minL_4	-0,49**	najnižji nivo Ledave	april
avgL_5	-0,49**	povprečni nivo Ledave	maj
minL_1-3	-0,48**	najnižji nivo Ledave	januar – marec
minL_4-7	-0,47**	najnižji nivo Ledave	april – julij
cumP_6	0,44**	količina padavin	junij
sumS_4-6	-0,44**	količina sončnega sevanja	april – junij
avgL_4-6	-0,42**	povprečni nivo Ledave	april – junij
minL-1_11-12	-0,42**	najnižji nivo Ledave	november – december predhodnega leta
avgL_3-6	-0,41**	povprečni nivo Ledave	marec – junij
minT-1_10	-0,39**	najnižja temperatura	oktober predhodnega leta
sumS_3	-0,37**	količina sončnega sevanja	marec
avgL-1_4-10	-0,36**	povprečni nivo Ledave	april – oktober predhodnega leta
minL_4-6	-0,36*	najnižji nivo Ledave	april – junij
maxL_5	-0,35*	najvišji nivo Ledave	maj
sumS_4-7	-0,35*	količina sončnega sevanja	april – julij
minL_8-10	-0,35**	najnižji nivo Ledave	avgust – oktober
avgT_6	-0,34*	povprečni nivo Ledave	junij
avgL_4	-0,34*	povprečni nivo Ledave	april
sumS_5	-0,33*	količina sončnega sevanja	maj
maxT_6	-0,33*	najvišja temperatura	junij
avgL_4-10	-0,33**	povprečni nivo Ledave	april – oktober
slana_4-7	-0,32*	število dni s slano	april – julij
avgL_4-7	-0,32*	povprečni nivo Ledave	april – julij

***** α<0,05; ****** α<0,01

Slika 10 prikazuje potek letnih prirastkov vzporedno z najnižjimi nivoji Ledave in skupno količino sončnega obsevanja v rastni sezoni, ki kažeta največjo povezanost z letnimi debelinkskimi prirastki. Tudi tu je opazno, da nižje vrednosti pri prikazanih parametrih sovpadajo z višjimi vrednostmi debelinskih prirastkov in obratno.



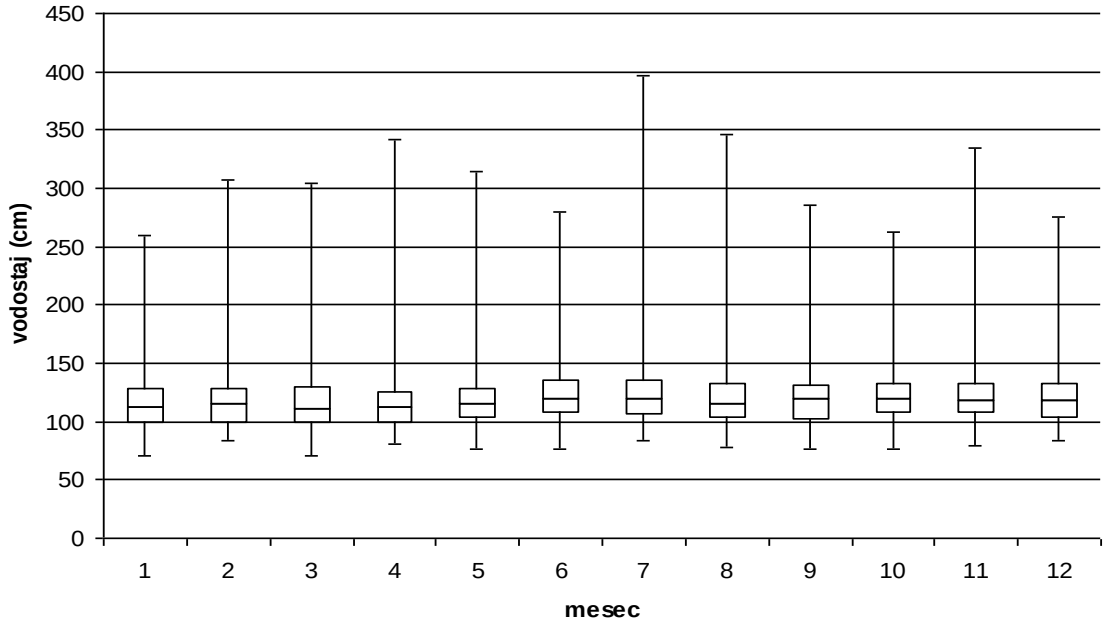
Slika 10: Potek povprečnih izmerjenih letnih debelinskih prirastkov, števila ur sončnega obsevanja od v maju in juniju (sumS_5-6) in najnižjih nivojev Ledave maja (minL_5)

Glede na rezultate sklepamo, da lahko s preučevanimi okoljskimi dejavniki razložimo le del variabilnosti med letnimi debelinskimi prirastki. Vpliv večine preučevanih dejavnikov lahko označimo kot enoznačen, vplivi nekaterih dejavnikov so tudi medsebojno odvisni. Na letne debelinske prirastke najbolj vplivata nivo podtalnice in sončno obsevanje.

4.2.1 Vpliv nivoja podtalnice

Namesto dejanskih vrednosti za nivo podtalnice so bile uporabljene vrednosti nivojev Ledave. Raziskave namreč kažejo, da obstaja močna povezanost med povprečnim mesečnim vodostajem Ledave in povprečnim mesečnim nivojem podtalnice (Levanič, 1993).

Da bi odkrili, kako podtalnica vpliva na priraščanje črne jelše, smo iz dnevnih vrednosti vodostajev Ledave oblikovali tri skupine spremenljivk: minimalne, povprečne in maksimalne vrednosti za posamezne mesece in večmesečna obdobja. Pri tem sta minimum in maksimum posamezni izbrani vrednosti iz niza podatkov, povprečje pa odraža vrednost glade na vse podatke v nizu. Kljub velikim razlikam med najnižjimi in najvišjimi vodostajem Ledave v posameznih mesecih v obdobju 1961 - 2009, se večina vrednosti giblje blizu srednje vrednosti, ki leži bližje najnižjim kot najvišjim vodostajem (Slika 11). Okvirji na sliki prikazujejo 50% vrednosti, spodnji ročaji 25% najnižjih in zgornji 25% najvišjih vrednosti. Črta znotraj okvirja predstavlja srednjo vrednost. Povprečno stanje je torej razmeroma nizek nivo Ledave, visoki nivoji so redkejši.



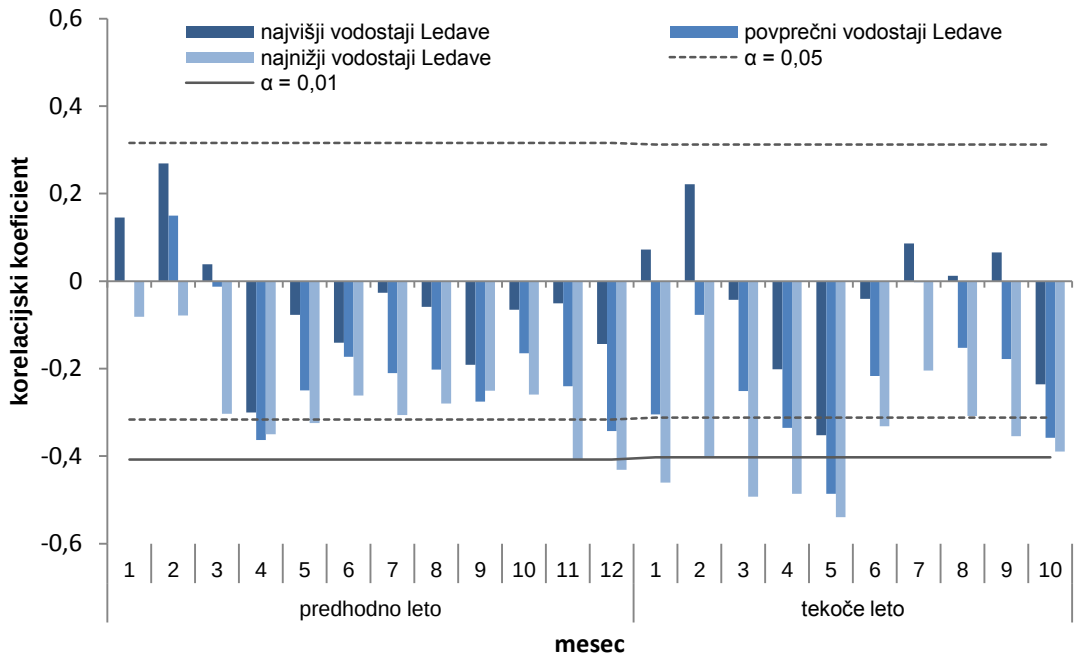
Slika 11: Okvir z ročaji za dnevne vrednosti vodostaja Ledave v obdobju 1961 – 2009

Na debelinsko rast črne jelše najbolj negativno vplivajo visoki najnižji nivoji Ledave na začetku vegetacijske sezone, znatna negativna povezanost je opazna tudi med debelinskimi prirastki in najnižjimi nivoji Ledave v mesecih pred pričetkom vegetacijske sezone (Slika 12 in Slika 13). To pomeni, da višji najnižji nivoji podtalnice zaviralno delujejo na debelinsko rast črne jelše.

Med korelacijskimi koeficienti posameznih mesecev ima najvišjo absolutno vrednost korelacijski koeficient minimalni nivo Ledave v maju ($r = -0{,}58$, $\alpha = 0{,}01$). Prirastki so negativno povezani tudi s povprečnimi in najvišjimi vodostaji Ledave v mesecu maju.

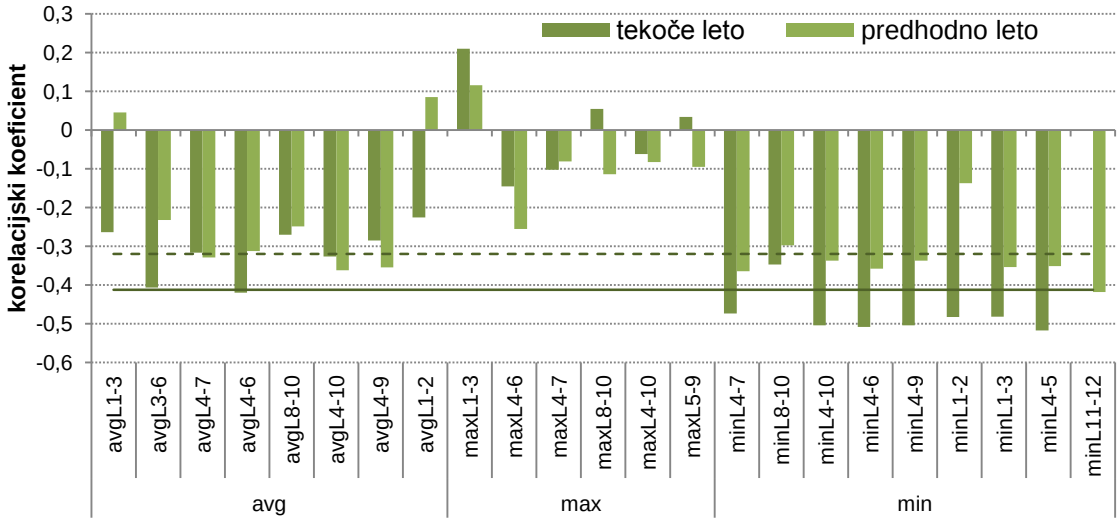
Korelacijski koeficienti odražajo vplive podtalnice podobno tudi pri vrednostih za več mesecev skupaj. Absolutno največji je koeficient korelacije z najvišjimi vodostaji Ledave v maju in juniju.

Na splošno so absolutne vrednosti korelacijskih koeficientov višje v zimskih mesecih pred začetkom rastne sezone (od novembra predhodnega leta do marca v letu nastanka branike), na začetku (april in maj) in na koncu (september in oktober) vegetacijske sezone.



Slika 12: Korelacijski koeficienti za prikaz vplivov nivoja podtalnice na debelinsko rast črne jelše po mesecih.

Tudi korelacijski koeficienti za večmesečne vrednosti nivoja podtalnice kažejo podobne rezultate kot korelacijski koeficienti z mesečnimi vrednostmi atributov (Slika 13). Najmočneje na prirastek vplivajo najnižji nivoji Ledave (minL) tako v tekočem kot predhodnem letu, najmanjši vpliv pa imajo najvišji nivoji (maxL). Absolutno najvišje vrednosti dosegajo koeficienti z najnižjim nivojem Ledave na začetku (minL4-5, minL4-7, minL4-6) in pred začetkom vegetacijskega obdobja (minL1-2, minL1-3, minL11-12) ter med vegetacijskim obdobjem (minL4-9 in minL4-10).



Slika 13: Korelacijski koeficienti z prikaz vplivov minimalnega (minL), povprečnega (avgL) in maksimalnega (maxL) vodostaja Ledave na debelinsko priraščanje črne jelše, večmesečna obdobja. Prekinjena in neprekinjena črta predstavljata mejne vrednosti za korelacijske koeficiente s stopnjo zaupanja 0,05 oziroma 0,01.

Glede na splošno znane morfološke in fiziološke značilnosti črne jelše, ki se odražajo v njeni vezanosti na vodo, smo pričakovali, da se bo vpliv hidroloških razmer na rast črne jelše pokazal tudi v naši raziskavi. Čeprav je črna jelša drevesna vrsta, ki je zelo občutljiva na pomanjkanje vode, se je v raziskavi izkazalo, da imajo višji nivoji Ledave na črno jelšo v Mali Polani negativen vpliv. To ni v skladu s prepričanjem, da je vrsta dobro prilagojena na visoke nivoje talne vode. Črna jelša namreč razpolaga z večimi različnimi fiziološkimi in morfološkimi odzivi na razmere z visoko vodo v tleh (glej poglavje 2.2.5). Obenem pa avtorji poročajo, da dolge poplavljenosti ne prenaša dobro (Wraber, 1951; Nemesszeghy, 1986; Levanič, 1993).

Zanimivo je, da na negativen vpliv visoke podtalnice kažejo korelacijski koeficienti najnižjih nivojev Ledave. Občasno so bili statistično značilni tudi korelacijski koeficienti s povprečnimi vrednostmi, prag značilnosti med korelacijskimi koeficienti z najvišjimi vodostaji Ledave pa je dosegel le korelacijski koeficient za mesec maj tekočega leta. Razlog za takšne vrednosti korelacijskih koeficientov se lahko skriva v tem, kako spremenljivke, ki smo jih uporabili pri računanju, odražajo stanje v okolju. Za izračun minimalnih, maksimalnih in povprečnih vrednosti za vodostaj Ledave v določenem mesečnem ali večmesečnem obdobju smo uporabili izmerjene dnevne vrednosti. Te so zbrane v bližnji okolici povprečne oziroma še bolj okoli srednje vrednosti za določeno obdobje, ki pa je po vrednosti bliže najnižjim kot najvišjim vrednostim vodostajev (Slika 11). Do takšne situacije pride zaradi značaja visokih vodostajev Ledave – ti so sicer sorazmerno precej višji od najnižjih in povprečnih vrednosti, so pa največkrat tudi kratkotrajni. Posledično tudi povprečna vrednost vodostaja v nekem obdobju ne označuje višine vodostaja, kakršen je bil večino časa v nekem obdobju, ampak to vrednost zaradi svoje relativne velikosti ustrezno poviša.

Ob tem, da mejo statistične značilnosti dosega le en korelacijski koeficient pri najvišjih nivojih Ledave, lahko sklepamo, da ne glede na negativno povezanost z najnižjimi vodostaji Ledave črna jelša kratkotrajna povišanja prenaša brez zaznavnih posledic na širini branike. Ob tem je potrebno upoštevati še, za katero obdobje računamo povezavo Levanič (1993) je na primer ugotovil, da vodostaj Ledave sicer statistično značilno vpliva na globino talne vode, vendar je bilo ujemanje pri povprečnih mesečnih vrednostih popolnejše kot pri dnevnih vrednosti. Iz tega lahko sklepamo, da se vpliv ekstremno visokih vodostajev Ledave na globino podtalnice prenese v blažjem povišanju in se zato ne pokaže v vrednostih korelacijskih koeficientov z najvišjimi nivoji Ledave.

Pojasnitev vpliva povezanosti letnih debelinskih prirastkov z najnižjimi vodostaji Ledave je kompleksnejša od povezanosti z najvišjimi vodostaji. Keeland in Sharitz (1997) sta pri mešanih sestojih treh na poplave prilagojenih vrst opazovala vplive nihanja vodne gladine na rast. Na občasno poplavljenih rastiščih je prišlo do zmanjšane rasti in propadanja korenin, medtem ko so imela drevesa na stalno poplavljenih lokacijah razvit koreninski sistem, prilagojen na poplavljenost, povezave med rastjo in spremembami nivoja podtalnice pa ni bilo. Tudi črna jelša je vrsta, ki je pri oblikovanju koreninskega zelo plastična (McVean, 1953, 1956; Middelhof, 2000). Odvisno razmer talne vode na rastišču lahko razvije plitev koreninski sistem v obliki diska, kadar je nivo talne vode blizu površja, pri nižji podtalnici pa se bolj globoko razvijejo globinske korenine, ki lahko segajo precej pod nivo podtalnice. Zaradi omejene časovne pokritosti podatkov o vodostaju Ledave lahko v korelacijski analizi opazujemo le odziv sestoja v odrasli dobi, ki je že razvil koreninski sistem, primeren talnim razmeram. Večji del obdobja opazovanja obsega čas, ko so bile s hidromelioracijskim posegi že spremenjene razmere na rastišču. V literaturi sicer zasledimo poročanja o znižanju podtalnice na rastiščih Polanskega in Črnega loga (Levanič, 1993; Kronika GGE Dolinsko 1971-

1992), vendar naj bi moč prilagajanja na umikanje podtalnice imela le mlada drevesa (Levanič, 1993). Čeprav zaradi pomanjkanja podatkov o globini podtalnice v času razvoja sestoja ne moremo oceniti poteka razvoja koreninskega sistema, sklepamo, da je ta ustrezno prilagojen na razmere, ki so v tleh prevladovale v obdobju naše raziskave. Daljše poplavljanje za koreninski sistem, prilagojen na bolj suha tla, pomeni manj razpoložljivih hranilnih snovi (Middelhof, 2000), tudi zaradi zmanjšane simbiotske nitrifikacije (Batzli in sod., 1997), obenem pa imajo korenine večje potrebe po kisiku in asimilatih (Giordano in Hibbs, 1993). Takšen energetski vložek v koreninski sistem se lahko potem odraža v manjših letnih prirastkih. Na drugi strani pa je potrebno upoštevati, da postanejo tla z gleičnim značajem v dolgotrajnejših sušnih razmerah trda kot kamen in s tem neugodna za rast, poleg tega pa se na tleh z nižjo podtalnico zmanjšuje njena kompetitivna prednost, zaradi česar bi se na teh rastiščih začele pojavljati tudi druge vrste drevja (npr. dob ali jesen), ki bi sčasoma lahko tudi izpodrinila jelšo.

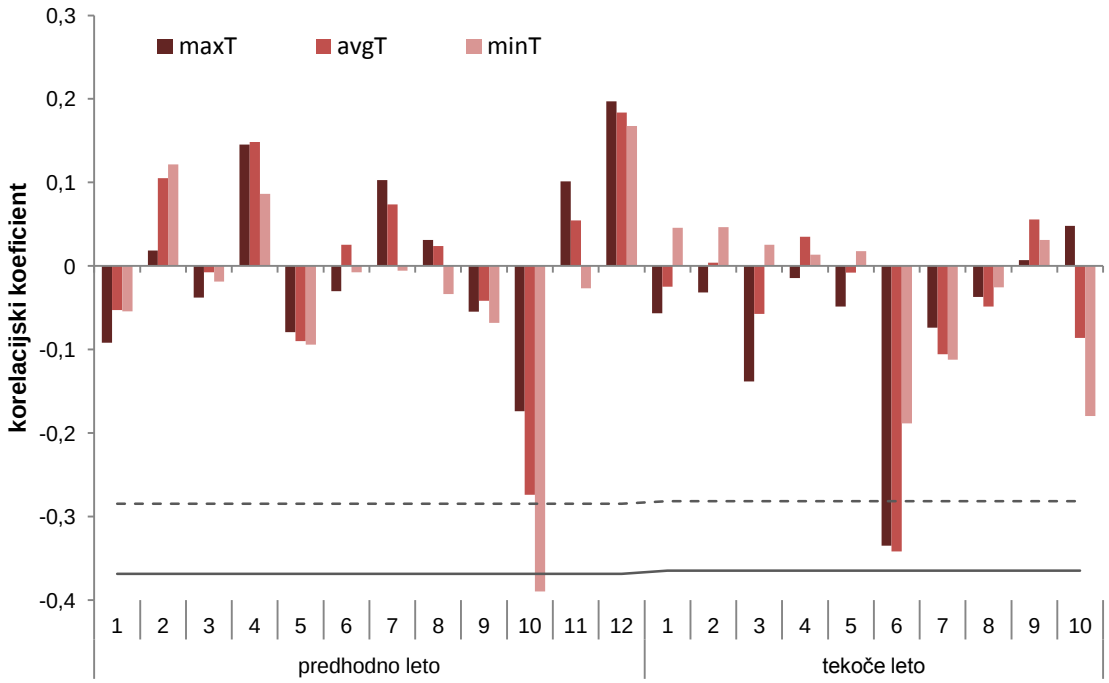
Korelacijski koeficienti kažejo največjo povezanost z vodostajem Ledave v mesecih pred vegetacijsko sezono (od novembra do marca) in v začetku (april, maj) ter na koncu sezone (september, oktober) (Slika 12 in Slika 13). Za črno jelšo je sicer značilno, da poplavljenost v dobi mirovanja prenaša bolje od poplavljenosti v vegetacijski dobi (Levanič, 1993), kar sicer ustreza značilnostim tal v jelševih gozdovih v Prekmurju (Nemesszeghy, 1986; Smolej, 1994), korelacijska analiza pa kaže nasprotno. Če poleg tega upoštevamo še negativen vpliv visokih vodostajev na začetku in koncu vegetacijske sezone, lahko negativni vpliv podtalnice predstavlja ne le njena globina, temveč tudi kakovost. Ledavo namreč obremenjujejo točkovni in razpršeni viri onesnaženja, ki jih povzročajo prebivalstvo, industrija in kmetijstvo (Košir, cit. po Levanič, 1993; Vmesno poročilo, 2008). Kakovost vodotoka vpliva na preskrbljenost podtalnice s kisikom, saj prihaja zaradi razgradnje organskih snovi v onesnaženi vodi do pomanjkanja kisika, česar pa črna jelša ne prenaša dobro (Levanič, 1993). Meritve kakovosti podtalnice v Polanskem in Črnem logu se v preteklosti niso izvajale, zato vpliva onesnaženosti nismo mogli vključiti v korelacijsko analizo. Tudi sicer je zelo malo znanega o učinkih onesnaženih tal na rast črne jelše. Ker lahko onesnaženost vode pomembno vpliva na uspevanje črne jelše, velja v prihodnosti podrobneje raziskati vpliv onesnaženosti rastišč na črno jelšo.

4.2.2 Vpliv temperatur, sončnega obsevanja, padavin in slane

Vpliv temperatur je večinoma negativen (Slika 14). Korelacijski koeficienti imajo najbolj negativne vrednosti pri povprečni (avgT) in najvišji (maxT) temperaturi v juniju tekočega leta, kar kaže na manjše letne debelinske prirastke v letih z višjimi junijskimi temperaturami.

Širina debelinskega prirastka je negativno povezana tudi z najnižjimi temperaturami v oktobru v letu pred nastankom branike, kar pomeni, da višje temperature vplivajo na manjši debelinski prirastek črne jelše. Črna jelša je vrsta, ki lahko zaradi simbioze z bakterijami, ki fiksirajo dušik, fotosintetizira celo do sredine novembra (Neave in sod., 1989). V ugodnih temperaturnih razmerah je lahko fotosintetska aktivnost listov visoka pozno v jesen, vendar pa v tem času pada kvaliteta svetlobe, ki je potrebna za fotosintezo. Za drevo lahko to pomeni, da je zaradi olistanosti v energetskem primanjkljaju, ker za respiracijo in druge procese porablja ogljikove hidrate, ki bi jih sicer lahko shranilo za naslednjo vegetacijsko sezono. Energijo porabljajo tudi

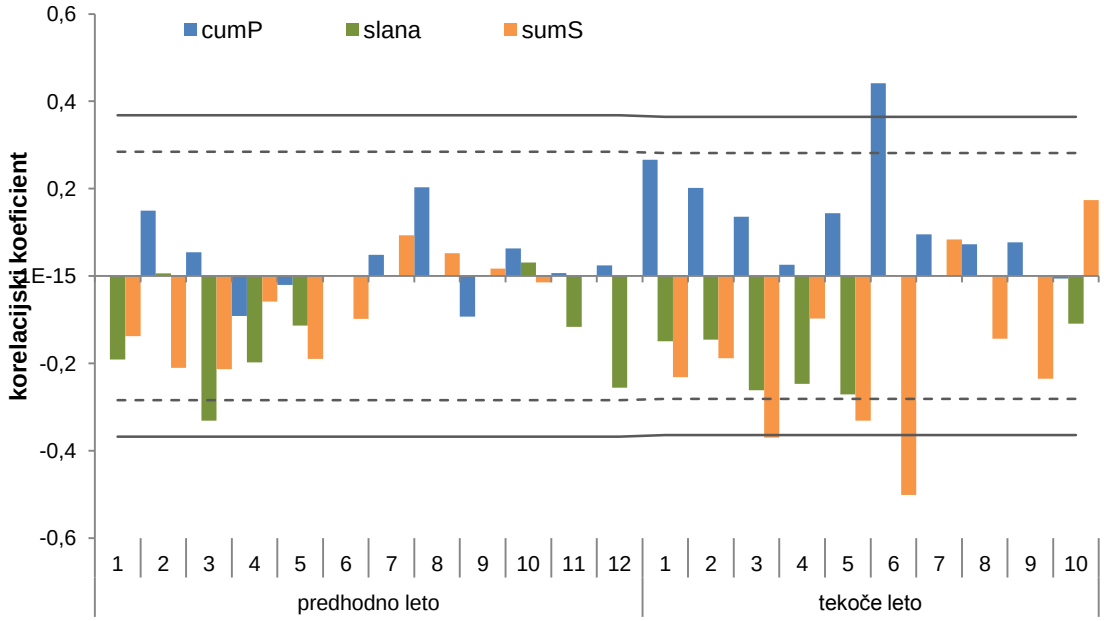
koreninski noduli z bakterijami. To se lahko potem odraža v manjših debelinskih prirastkih v naslednji rastni sezoni.



Slika 14: Korelacijski koeficienti za najvišje (maxT), povprečne (avgT) in najnižje (minT) temperature v tekočem in predhodnem letu. Prekinjena in neprekinjena črta predstavljata mejne vrednosti za korelacijske koeficiente s stopnjo zaupanja 0,05 oziroma 0,01.

Osončenost negativno vpliva na prirastke, predvsem v prvih mesecih vegetacijske dobe (Slika 15). Korelacijski koeficienti imajo tako kot pri vodostaju Ledave negativen predznak in označujejo negativen vpliv na debelinske prirastke, vrednosti pa so statistično značilne pri mescih marec, maj in junij tekočega leta. Najvišjo absolutno vrednost korelacijskega koeficienta – največji vpliv na debelinski priraščanje - ima mesec junij ($r = -0{,}532$, $\alpha = 0{,}01$). Na splošno obstaja močnejša povezanost med količino sončnega sevanja in širino branike v prvi polovici vegetacijske sezone, v mesecu maju in juniju. Negativen vpliv količine sončnega obsevanja so ugotovili tudi Laganis in sodelavci (2008), a predvsem v letih z nizkimi vodostaji Ledave. Optimalne pogoje za debelinsko rast tako predstavljajo vodostaji Ledave malo pod povprečjem in količina sončnega obsevanja malo nad povprečnimi vrednostmi (Laganis in sod., 2008).

Pri padavinah nismo zaznali statistično pomembnega vpliva na prirastek črne jelše (Slika 15), z izjemo pozitivnega vpliva padavin v juniju tekočega leta (cumP, $\alpha = 0{,}01$), kar pomeni večje debelinske prirastke črne jelše v letih z večjo količino padavin v juniju. Vpliv slane je zaznaven le v marcu predhodnega leta (slana-1, $\alpha = 0{,}05$).



Slika 15: Korelacijski koeficienti med letnimi prirastki in količino padavin (cumP), slano (slana) ter količino sončnega obsevanja (sumS) v tekočem in predhodnem letu. Prekinjeni in neprekinjeni črti predstavljata mejne vrednosti za korelacijske koeficiente s stopnjo zaupanja 0,05 oziroma 0,01.

Korelacijski koeficienti med širino letnih debelinskih prirastkov in temperaturo, količino padavin in sončnega obsevanja v splošnem izražajo izredno prepletene in soodvisne vplive posameznih dejavnikov. Odziv na junijske temperature je tudi najverjetnejši vzrok za negativen korelacijski koeficient povezanosti širine branik s količino sončnega obsevanja v juniju, saj več sonca pomeni višje temperature zraka. Tako povezanost s količino padavin in temperaturo v juniju kažeta, da črni jelši ustrezajo relativno hladne in vlažne razmere v mesecu juniju, ko je večina listov še mladih in ima nizko sposobnost zadrževanja vode.

Občutljivost na junijski temperaturo in sušo lahko delno pojasnimo z dinamiko rasti listov pri črni jelši, ki jo je opazila Eschenbach (1995). Listni popki so se začeli odpirati začetek aprila, listi pa so dosegli končno velikost konec junija. Razvoj novih listov se je sicer v zunanjih slojih krošnje nadaljeval še po tem, do konca avgusta oz. začetka septembra, vendar je večina listov dosegla končno razvitost do konca junija.

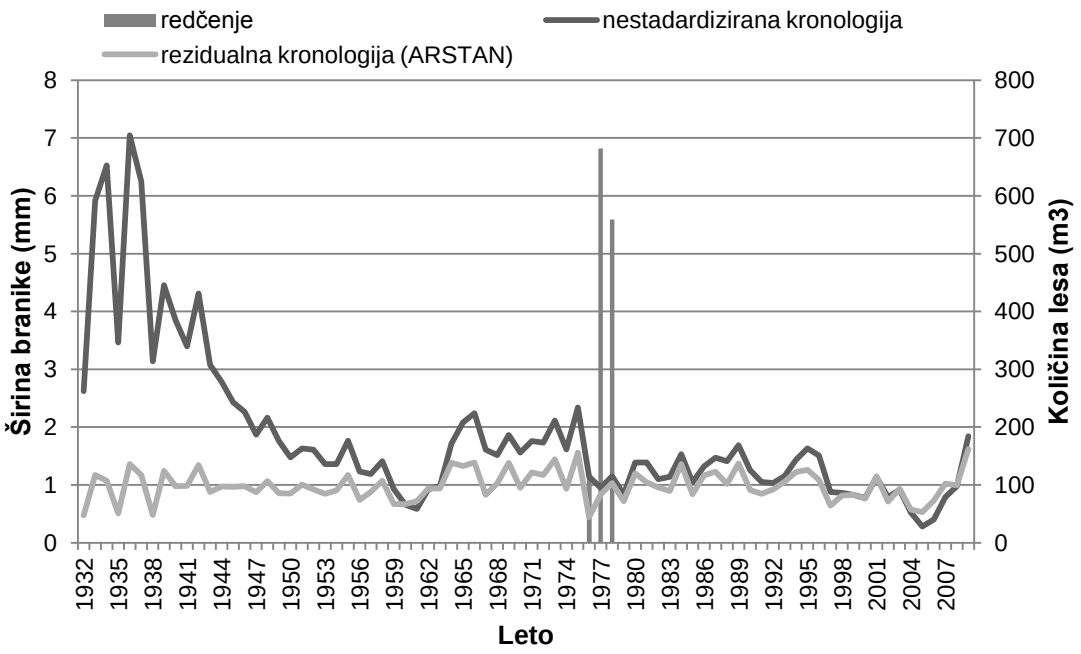
Pomen razmer v okolju v juniju za širino branike izhaja v veliki meri iz značilnosti dinamike priraščanja branike v rastni sezoni. Za drevesne vrste zmernega pasu je značilno sezonsko menjavanje obdobij fiziološke aktivnosti in mirovanja rastlinskih tkiv (Gričar, 2009). Meristemska aktivnost se navadno začne spomladi s celičnimi delitvami in konča pozno poleti s popolnim razvojem zadnjih nastalih celic v braniki. Mesec junij je za rast rastlin posebno pomemben, saj gre za mesec z najdaljšo fotoperiodo, in pogosto sovpada z obdobjem največje kambijeve aktivnosti pri drugih drevesnih vrstah (Čufar in sod., 2008a). Raziskave Čufarjeve in sodelavcev (2008a) so pokazale, da imajo junijske temperature negativen, junijske padavine pa pozitiven vpliv na na širino branike bukve (*Fagus Sylvatica*), ki raste v Sloveniji nižje od gozdne meje, v drugi raziskavi pa je bil pri bukvi ugotovljen največji mesečni prirastek lesa v juniju (Čufar in sod., 2008b). Podobne ugotovitve izhajajo tudi iz raziskav pri kostanju (*Castanea sativa* Mill.) (Čufar in sod., 2011) in hrastu (Čufar in sod., 2008c) ter več vrstah iglavcev

(Gričar in sod., 2005; Rossi in sod., 2006). Za natančnejše zaključke bi bile v prihodnosti potrebne nadaljnje raziskave o sezonskem poteku kambijeve aktivnosti.

Medtem ko je vpliv podtalnice precej neodvisen od drugih dejavnikov, je odziv črne jelše na klimatske dejavnike odvisen tudi od splošnih klimatskih značilnosti rastišča. V primerjavi z rezultati raziskave o vplivu klimatskih dejavnikov na priraščanje črne jelše, ki je bila narejena na drevesih, ki rastejo na Poljskem, kažejo namreč naši rezultati bolj ali manj nasprotno. Ugotovili so, da med klimatskimi dejavniki na letne debelinske prirastke najmočneje vpliva temperatura (Wilczyński in Podlaski, 2007), v manjši meri sončno obsevanje, vpliva padavin ni bilo zaznati, so pa imela drevesa dostop do talne vode. Letni prirastki so bili pozitivno povezani s temperaturami v maju ter v obdobju od junija do avgusta v letu nastanka branike, s temperaturami v juliju in oktobru predhodne vegetacijske sezone ter s količino sončnega obsevanje v maju, juliju in avgustu leta nastanka branike. Negativen vpliv na širino branike so imele temperature maja ter količina sončnega obsevanja v letu pred nastankom branike in količina obsevanja februarja leta nastanka branike. Večji pomen temperature za črne jelše na severnejših rastiščih je odraz razlike v klimatskih značilnostih rastišč. Proti severu je podnebje hladnejše, zato je temperatura pomembnejši faktor vpliva na priraščanje (Kirdyanov, 2003).

4.2.3 Vpliv gospodarjenja

Vpliv gospodarjenja smo poskušali oceniti s pomočjo podatkov iz evidence sečenj na odseku 01067B. Podatki so na voljo od leta 1970. V omenjenem odseku so bila zadnja redčenja izvajana v letih 1976 do 1978 (Slika 16), po tem obdobju so bile izvajane le minimalne sanitarne sečnje (posamezna drevesa ob poti). V letu 1995 so začeli z obnovo sestojev.



Slika 16: Širina letnih debelinskih prirastkov (nestandardizirana kronologija in rezidualna kronologija) in količina posekanega lesa v odseku.

Vpliva redčenja na našem raziskovalnem objektu nismo mogli statistično oceniti, ker smo imeli na voljo premalo zanesljivih podatkov o opravljenih rednih in sanitarnih sečnjah v preteklosti. Podatki o redčenjih so na voljo le za zadnjih nekaj desetletij. V času redčenj, ki so bila izvedena v letih 1977 – 1979, je starost sestoja presegala 40 let. Pri takšni starosti ima redčenje majhen vpliv na priraščanje (Nemesszeghy, 1986; Kecman, 1999). V naši raziskavi tega vpliva nismo mogli statistično ovrednotiti, čeprav so letni debelinski prirastki v letih od 1980 do 1995 višji kot v letih od 1976 do 1979 (Slika 16), kar bi lahko delno pripisali vplivu redčenja. Iz tega sklepamo, da je bilo redčenje zamujeno in v tem času drevesa niso imela več znatnih prirastnih pospeškov.

Potek kronologije (Slika 16) nakazuje na upadanje letnih debelinskih prirastkov do leta 1960 in pospešeno rast v naslednjih petnajstih letih. Čeprav natančnih podatkov o redčenju do leta 1970 nimamo, lahko sklepamo, da je bilo okoli leta 1960 izvedeno redčenje, hitrejše priraščanje v sledečih letih pa je odraz pozitivnega odziva dreves na redčenje. Z redčenjem je morda povezan tudi enoznačen pozitiven odziv v letih 1964 in 1980, ko je imelo vseh devet dreves v vzorcu večji letni debelinski prirastek kot leto prej, vendar hipoteze, da redčenje povzroči hitrejše priraščanje v letih, ki mu sledijo, zaradi pomanjkljivih podatkov o gozdnogodpodarskih ukrepih ne moremo z gotovostjo potrditi.

Letni debelinski prirastki kažejo trend upadanja po letu 1995, ki traja naslednjih deset let. V letih od 2004 do 2006 dosežejo povprečni letni debelinski prirastki vrednosti pod 0,6 mm, ki predstavljajo najnižje vrednosti v celotnem obdobju opazovanja, v naslednjih treh letih pa se letni debelinski prirastki zopet povečajo. Vzroke lahko iščemo v sovplivanju klimatskih in rastiščnih razmer ter izvedenih gospodarskih ukrepov, dodaten dejavnik vpliva pa je starost sestoja, ki presega starost, pri kateri črna jelša doseže gospodarsko zrelost. Trenutno sprejeta vrednost za ustrezno obhodno dobo jelševih gozdov je 60 let (Wraber, 1951; Nemesszeghy, 1986). Črna jelša sicer brez težav dosega tudi starosti preko 100 let (Claessens in sod., 2010). Krajše obhodne dobe se priporočajo zato, ker je volumski letni prirastek najvišji med 30. in 50. letom starosti, ter zaradi pojava »rdečega srca«, ki se pojavi pogosteje pri drevesih, starejših od 70 let, in zmanjšuje kvaliteto lesa (Claessens in sod., 2010). Kljub temu, da so letni debelinski prirastki vzorčenih dreves pričeli upadati po 60. letu starosti, tega ne moremo pripisati zgolj vplivu starosti, saj so kasneje, verjetno v povezavi z ugodnimi klimatskimi in rastiščnimi razmerami, zopet narasli. Zato hipoteze, da pričnejo letni debelinski prirastki dreves po šestdesetem letu starosti močno upadati, ne moremo z gotovostjo potrditi.

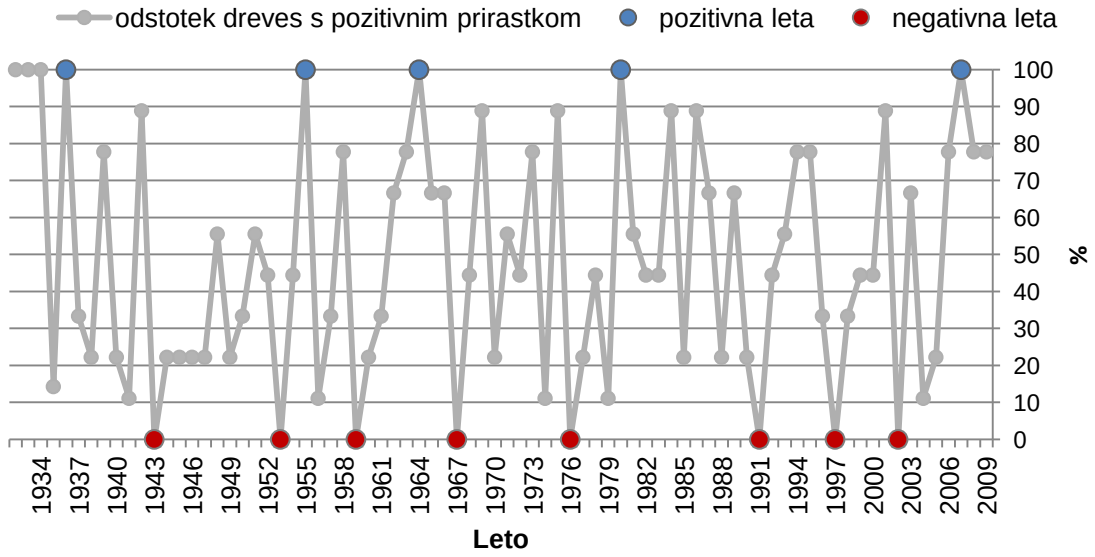
4.2.4 Vpliv hidromelioracij

Kljub temu, da je veliko vodotokov tako na ožjem kot širšem območju objekta naše raziskave spremenjenih in pod vplivom hidromelioracijskih posegov, izvedenih v zadnjih stotih letih, vpliva teh posegov ne moramo oceniti. Regulacije vodotokov so znižale globino in režim podtalnice (Smolej, 1994; Kronika GGE Dolinsko 1971 - 1992), vendar natančnih podatkov o vplivih na podtalnico na našem raziskovalnem objektu ni. Prav tako nam ni uspelo pridobiti podatkov o regulacijskih posegih na manjših vodotokih v bližini. Poleg izsuševalnih prekopov v Črnem logu je večji hidromelioracijski poseg v prostor, ki vpliva na podtalnico na območju Črnega in Polanskega loga, izgradnja radmožanskega zadrževalnika v letih od 1980 do 1983. Posledice posegov na sestoje črne jelše je preučevalo več raziskovalcev (npr. Levanič, 1993; Smolej,

1995; Laganis, 2007). Negativen vpliv so ugotovili na sestojih v Črnem logu, kjer je spremenjen režim podtalnice izrazitejši (Wraber, 1951; Levanič, 1993; Smolej, 1995). Pri gozdovih Polanskega loga ni soglasnih zaključkov o škodljivih vplivih na priraščanje. Wraber (1951) primerja jelševe sestoje Polanskega loga s tistimi v Črnem logu in Murski šumi ter ugotavlja, da pomanjkanje vode še ni prizadelo vitalnosti črne jelše v Polanskem logu. Levanič in Kotar (1996) poročata o upadanju letnih debelinskih prirastkov po letu 1965. Enak trend kaže tudi kronologija črne jelše z odseka 72A (Laganis, 2007). Tudi debelinski prirastki v naši raziskavi se po letu 1967 zmanjšujejo, a to v večji meri pripisujemo posledicam izvedenih gospodarskih ukrepov v sestoju. Glede na to, da je več možnih vzrokov za negativni trend priraščanja in da nimamo dovolj podatkov za oceno vplivov, ne moremo z gotovostjo potrditi hipoteze o negativnih vplivih hidromelioracij na priraščanje črne jelše na našem raziskovalnem objektu.

4.3 Analiza značilnih let

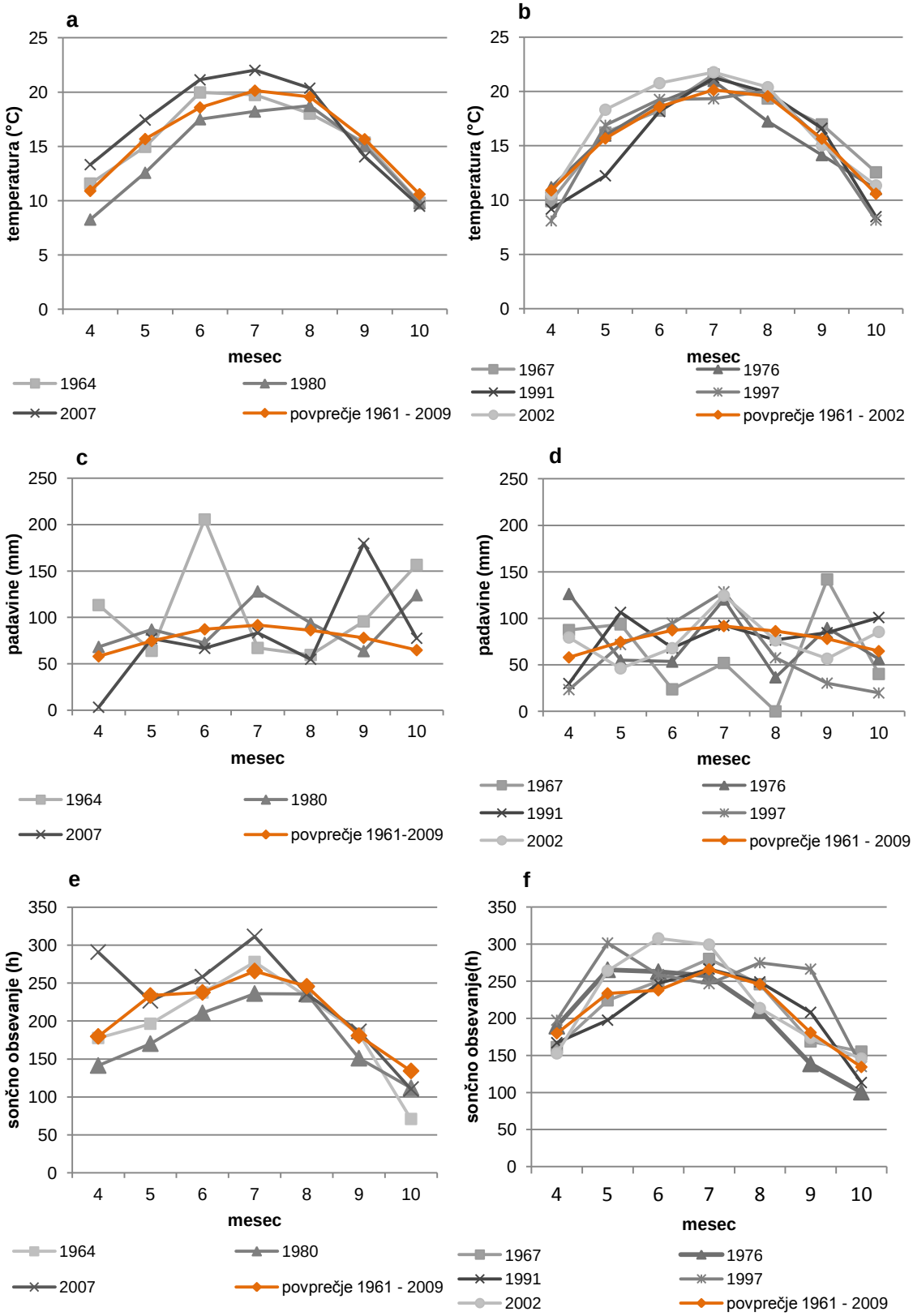
Rezultate statističnih analiz na sklenjenih časovnih vrstah smo dopolnili z analizo značilnih let. Uporaba značilnih let širi spekter metod v dendrokronološkem raziskovanju, saj v ospredje postavlja zmožnost odziva skupine dreves na ekstremne situacije (Schweingruber in sod., 1990). Leta z zelo homogenim odzivom priraščanja smo označili kot značilna leta. Pozitivna značilna leta so tista, v katerih je vseh devet dreves (100%) povečalo prirastek glede na predhodno leto, negativna pa tista, v katerih je enak delež dreves zmanjšalo svoj prirastek glede na prejšnje leto. V našem primeru smo odkrili skupaj 13 značilnih let, 5 pozitivnih in 8 negativnih. Pozitivna značilna leta so: 1936, 1955, 1964, 1980 in 2007, negativna pa 1943, 1953, 1959, 1967, 1976, 1991, 1997 in 2002 (Slika 17).

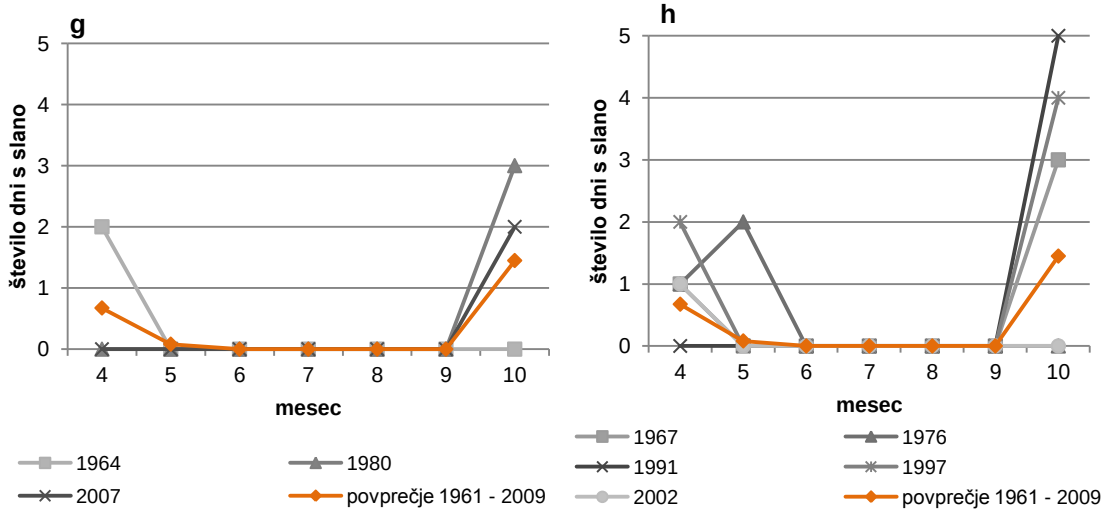


Slika 17: Značilna leta – odstotek dreves s pozitivnim prirastkom po letih.

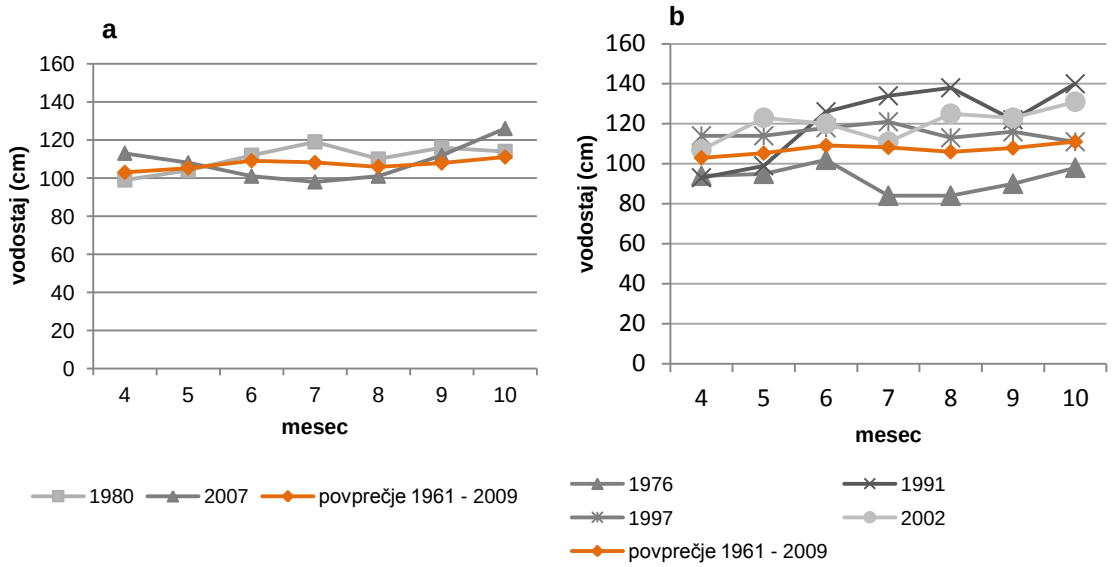
Za ta leta smo poskušali ugotoviti, ali bi lahko z ekstremnimi situacijami v značilnih letih povezali klimatske vplive ali nivo vode v tleh. Poleg teh so možni vzroki za tako enoznačen odziv dreves tudi gospodarjenje (npr. redčenje ali odsotnost redčenja v sestoju) ali kakšni drugi rastiščni dejavniki (npr. onesnaženost talne vode, odsotnost

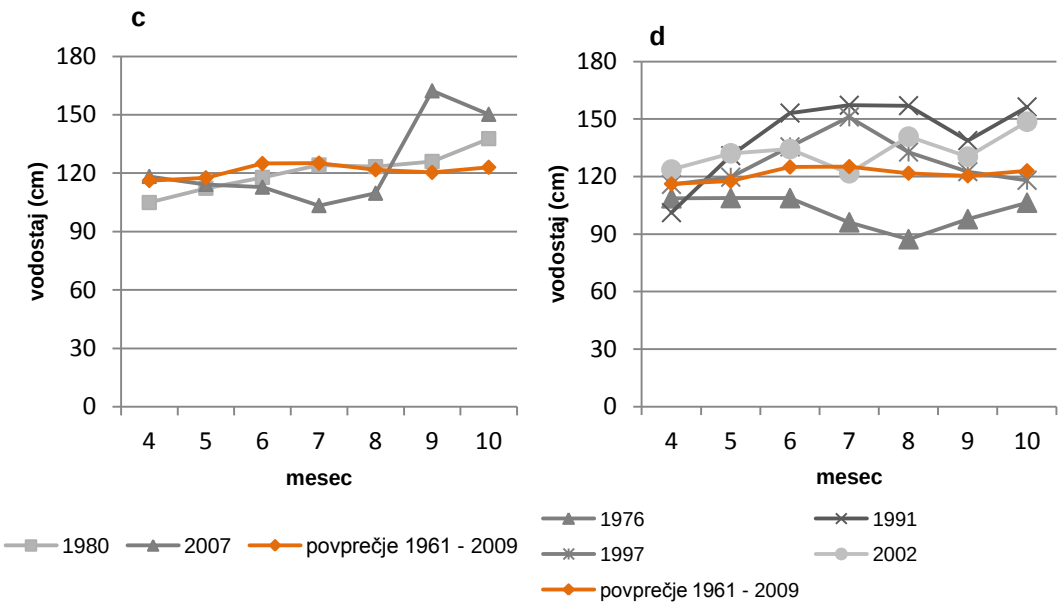
kisika v tleh, pomanjkanje fosforja), ki jih nismo preučevali. Primerjava vrednosti okoljskih parametrov v značilnih letih z dolgoletnimi povprečnimi vrednostmi je prikazana na Slika 18 in Slika 19.





Slika 18: Povprečna mesečna temperatura zraka (a, b), mesečna količina padavin (c, d), mesečna količina sončnega obsevanja (e, f) in število dni s slano v mesecu (g,h) v pozitivnih (a, c, e, g; leta 1964, 1980, 2007) in negativnih (b, d, f, h; leta 1967, 1976, 1991, 1997, 2002) značilnih letih v primerjavi s povprečnimi vrednostmi v obdobju 1961 – 2009.





Slika 19: Najnižji (a, b) in povprečni (c, d) mesečni nivoji Ledave v pozitivnih (a, c) in negativnih (b, d) značilnih letih v primerjavi s povprečnimi vrednostmi v obdobju 1970– 2009.

Pregled vrednosti izbranih okoljskih dejavnikov v rastni sezoni nastanka branike ne vodi do enoznačnih zaključkov. Ena izmed večjih ovir pri iskanju natančnejših zaključkov je majhno število značilnih let in še manjše število let, za katere imamo na voljo podatke o vrednostih okoljskih dejavnikov. Tako lahko na primer vrednosti nivojev Ledave opazujemo le v dveh izmed petih pozitivnih značilnih letih.

Pri analizi vrednosti okoljskih dejavnikov v značilnih letih nismo uporabili posebnih matematičnih ali statističnih metod. S pomočjo primerjav vrednosti v pozitivnih in negativnih leti ter med njimi ter s pripadajočimi korelacijskimi koeficienti smo prišli do opisnih sklepov, ki jih podajamo v obliki seznama:

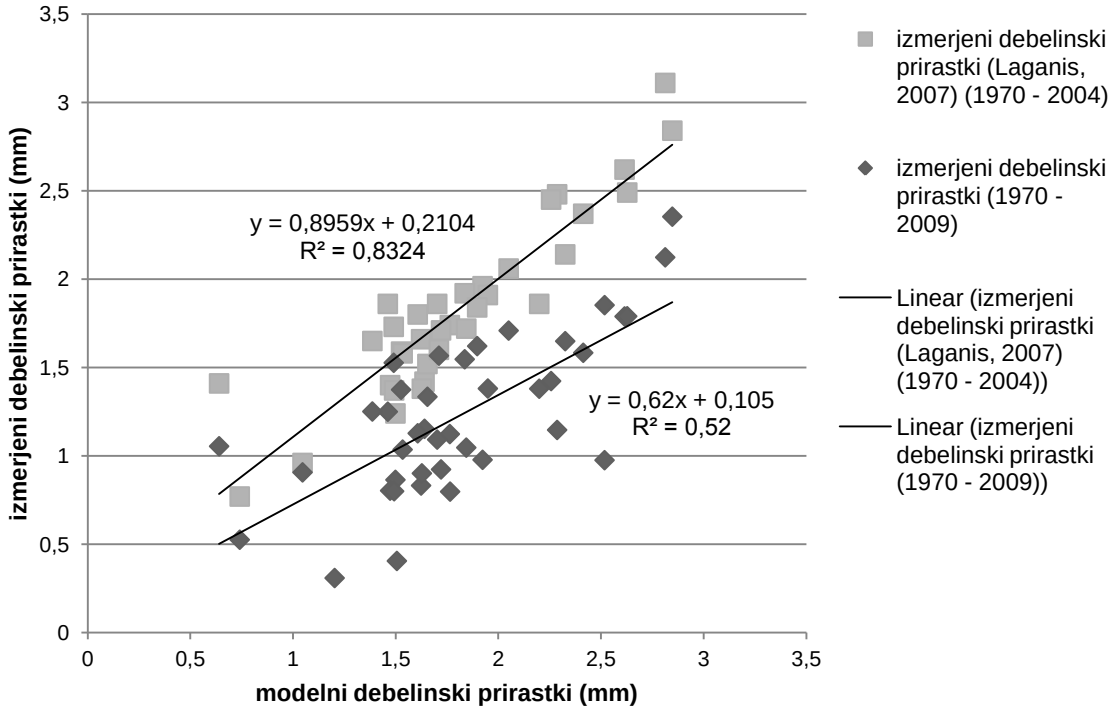
- Razlika med povprečnimi mesečnimi temperaturami je predvsem v prvi polovici vegetacijske sezone večja pri pozitivnih kot pri negativnih značilnih letih (Slika 18 a, b), kar kaže na to, da temperatura v začetku vegetacijske sezone ni limitirajoč dejavnik za debelinsko priraščanje črne jelše.
- Pri padavinah opazimo, da je bilo v značilnih leti zelo malo mesecev s količino padavin manj kot 50 mm. Pravzaprav je takšen le mesec april leta 2007 (Slika 18 c), ki pa je sledil nadpovprečno mokremu marcu (podatki niso prikazani). Nasprotno je bilo v negativnih značilnih letih več bolj suhih mesecev s skupno količino padavin pod 60 mm (Slika 18 d). Pomemben vpliv junijskih temperatur na letni debelinski prirastek je pokazala korelacijska analiza, vrednosti količin padavin v juniju v značilnih letih to še potrjujejo. Pri pozitivnih značilnih letih je količina padavin v juniju vedno višja od 65 mm, pri negativnih značilnih letih pa le v enem letu presega to vrednost.
- Količina sončnega sevanja skozi celotno rastno sezono pogosto ni presegala povprečnih vrednosti (Slika 18 e), nasprotno pa so bile v negativnih značilnih letih (Slika 18 f) mesečne količine višje od povprečja. To še posebej velja za meseca maj in junij, pri katerih tudi korelacijska koeficienta kažeta na negativen vpliv večjega obsevanja na priraščanje.
- Dnevov s slano je bilo v pozitivnih značilnih letih manj kot v negativnih (Slika 18 f, g). Najbolj izstopa leto 1976 s skupaj tremi dnevi slane v aprilu in maju.

- Vodostaji Ledave so v pozitivnih letih le izjemoma presegali dolgoletne povprečne vrednosti (Slika 19 a, c), kar še posebej velja za prvo polovico vegetacijske sezone, od aprila do junija. Pri negativnih letih izstopa leto 1976 nizkimi najnižjimi in povprečnimi mesečnimi vodostaji v celotni vegetacijski sezoni, sicer pa vrednosti najpogosteje presegajo dolgoletne povprečne vrednosti (Slika 19 b, d). To je skladno z rezultati korelacijske analize, ki kažejo negativen vpliv višjih nivojev Ledave na letne debelinske prirastke črne jelše.

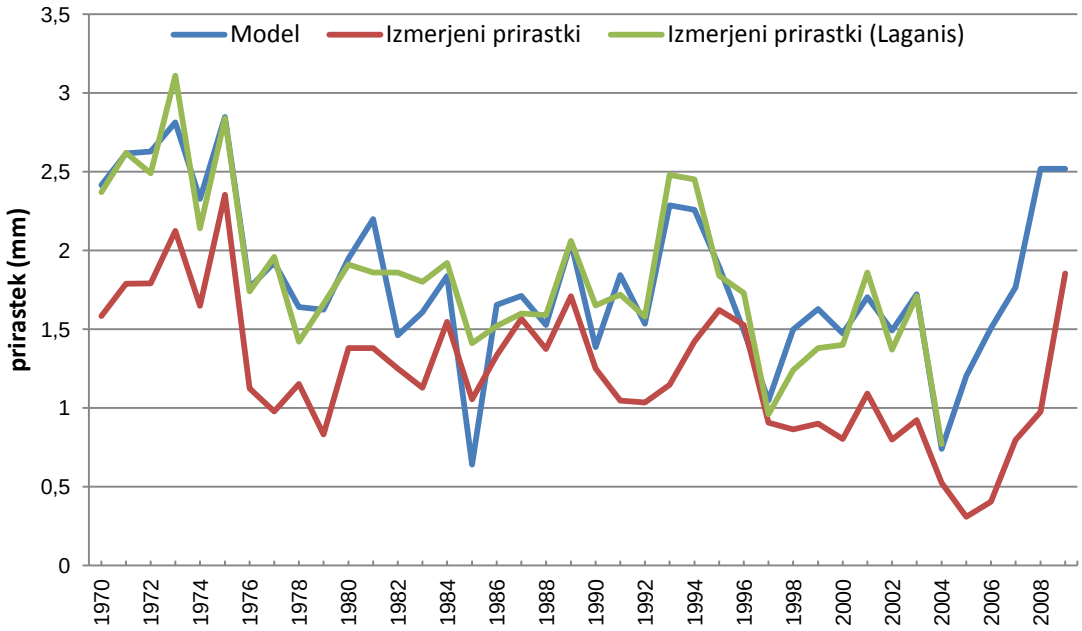
Glede na dostopne podatke bi lahko zaključili, da lahko negativen odziv v letih 1967 in 1976 pripišemo neugodnim klimatskim razmeram. Za leto 1967 podatkov o vodostaju Ledave nimamo, v letu 1976 pa je bil vodostaj nižji od povprečja, kar bi sicer glede na prejšnje ugotovitve iz te raziskave pomenilo ugodnejše stanje za črno jelšo. Sta bila pa tako mesec maj kot junij, ko se rast začne in je tudi najbolj dinamična, v obeh letih bolj suha od povprečja, poleg tega je bilo leta 1976 v aprilu in maju skupaj 3 dni slane. Zapise o neugodnih vremenskih razmerah leta 1976 najdemo tudi v Kroniki GGE Dolinsko (1970 - 1991), omenjene so izredna suša spomladi in slana konec aprila ter slaba semenitev jelše in jesena. Negativni značilni leti 1967 in 1976 je opazil tudi Levanič (1996) pri jelki v dinarski fitogeografski regiji. V preostalih negativnih značilnih letih je bil vodostaj Ledave pogosto nad dolgoletnimi povprečnimi vrednostmi, pri drugih dejavnikih ne izstopajo posebene ekstremne vrednosti. Leto 2002 je bilo negativno tudi za dob v Prekmurju (Levanič, neobjavljeni podatki).

4.4 Primerjava meritev z modelom

Izmerjeni prirastki so manjši od modelnih in od prirastkov, na katerih model temelji (Slika 21). Modelne vrednosti bolj sovpadajo z izmerjenimi podatki v raziskavi Laganis (2007), kot s podatki naših meritev (Slika 20). Vhodni podatki za izračun modelnih debelinskih prirastkov so zaradi bližine lokacij vzorčenih objektov za oba vzorca enaki, le da gre za različno časovno obdobje. To pomeni, da v določenem letu ista napoved modela velja za obe lokaciji vzorčenja. Primerjava modelnih vrednosti z izmerjenimi podatki v raziskavi Laganis (2007) in v naši raziskavi (Slika 21) kaže, da modelne vrednosti sicer sledijo poteku letnih debelinskih prirastkov obeh časovnih vrst, vendar pa so v absolutnih vrednostih bliže prvim.



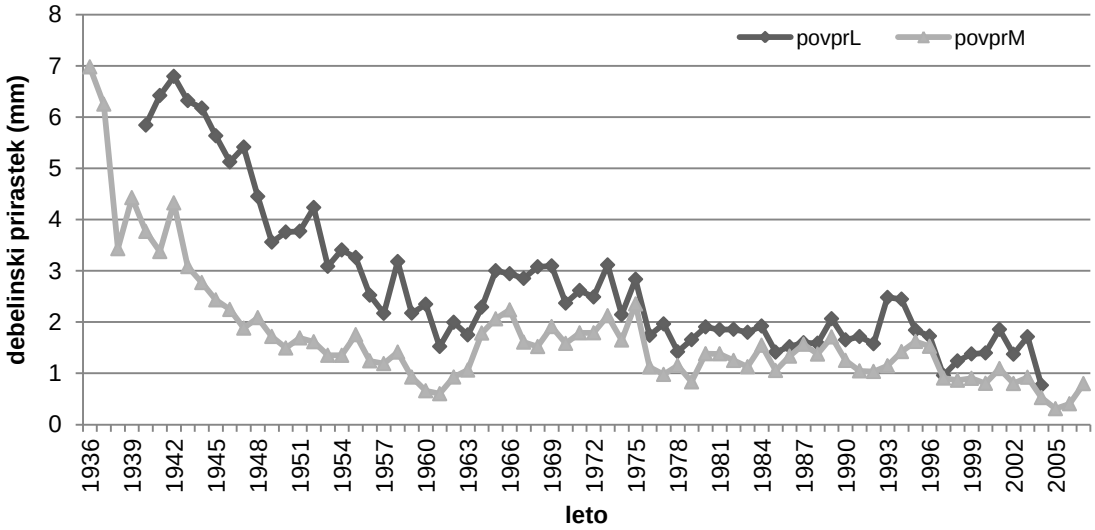
Slika 20: Primerjava povprečnih izmerjenih prirastkov z rezultatom modela.



Slika 21: Primerjava izmerjenih in modelnih vrednosti prirastkov črne jelše ter izmerjeni prirastki, na podlagi katerih je bil model razvit.

Primerjava izmerjenih letnih debelinskih prirastkov in letnih debelinskih prirastkov, izmerjenih v raziskavi Laganis (2007) na vzorcu dreves s sosednjega gozdnega odseka kaže na podoben odziv priraščanja v posameznih letih, vendar pa so debelinski

prirastki, izmerjeni v raziskavi Laganis (2007), relativno višji (Slika 22), kar odraža tudi primerjava povprečnih letnih debelinskih prirastkov obeh raziskav. Povprečni letni debelinski prirastek smo izračunali za obdobje, za katerega so na voljo podatki vseh devetih dreves, to je od leta 1936 do leta 2007. Povprečni letni debelinski prirastek dreves je znašal 1,71 mm, dreves v raziskavi Laganis (2007) pa 2,71 mm oziroma 58% več.



Slika 22: Letni debelinski prirastki izmerjeni v tej raziskavi (povprM) in letni debelinski prirastki izmerjeni v raziskavi Laganis (2007) (popvrL).

Do razlike prihaja zaradi enega izmed dveh možnih vzrokov ali celo obeh hkrati, rezultat pa so višji debelinski prirastki vzorcev iz gozdnega odseka 68A (Laganis, 2007) v primerjavi s prirastki, izmerjeni v naši raziskavi v celotnem obdobju raziskav (Slika 22), kar odraža tudi razlika v poprečnih letnih debelinskih prirastkih obeh vzorcev. Prvi izmed vzrokov je razlika v produktivnosti rastišča, drugi pa višina debla, na kateri so bili odvzeti vzorci za meritve. V raziskavi Laganis (2007) so bili vzorci odvzeti na prsni višini (1,3 m), v naši raziskavi na višini 3 m. Širina branike ni enaka v vseh višinah debla. Načeloma velja, da ima drevo najširše branike na panju in v krošnji: to pomeni, da širina branike najprej z višino pada, potem pa se proti krošnji zopet povečuje (Kotar, 2005), kar je morda vplivalo na takšno razliko v povprečnem letnem debelinskem prirastku iz obeh raziskav.

Če upoštevamo, da model priraščanja ne upošteva dejavnika produktivnosti rastišča, višine odvzema vzorcev, ter tega, da smo pri izračunu koeficienta determinacije upoštevali še pet dodatnih let, lahko zaključimo, da predhodni model (Laganis, 2008) zadovoljivo napove letne debelinske prirastke. Pri tem je seveda potrebno upoštevati, da model opisuje sicer zelo kompleksen naravni sistem, pa tudi to da kljub majhni razdalji med obema lokacijama raziskav lahko prihaja do pomembnih razlik v značilnostih rastišča (oddaljenost od Ledave in potoka Črnec ter s tem povezana nihanja in kvaliteta vode, značilnosti sestave tal itd.).

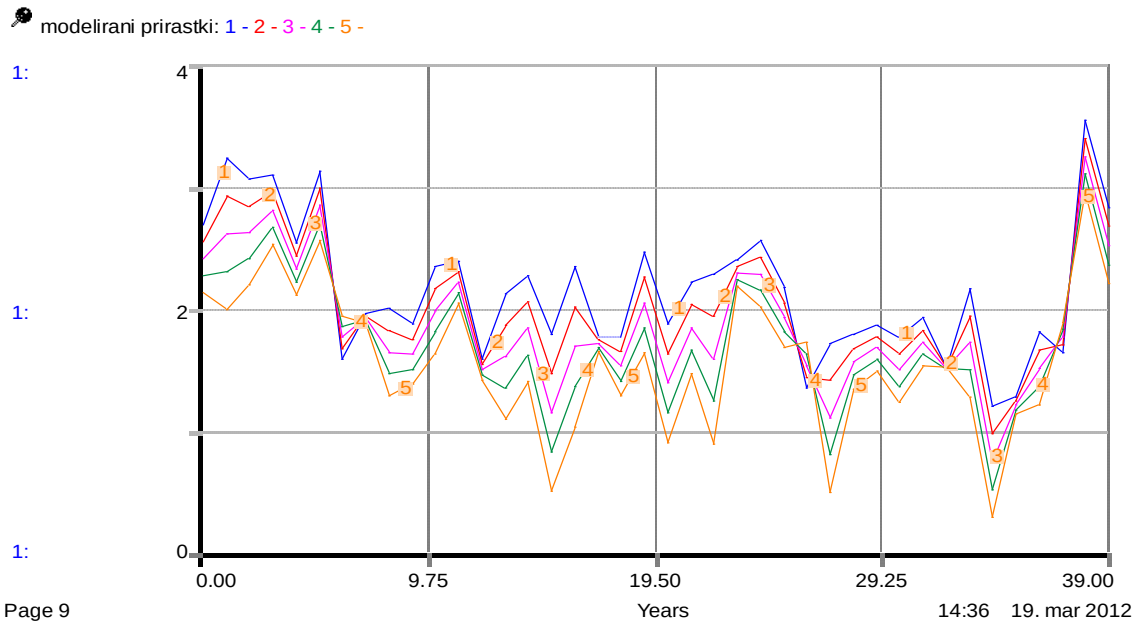
4.5 Modeliranje vplivov klimatskih sprememb

V prihodnjih desetletjih pričakujemo spremembe podnebja zaradi pojava globalnega segrevanja. Predvidevanja strokovnjakov napovedujejo dvig povprečne temperature zraka za 1 – 3ºC ter zmanjšanje količine padavin do 20% (Sušnik, 2003). Za severovzhodno Slovenijo takšne spremembe pomenijo povečanje ekstremnih primanjkljajev vode za 5 do 37%.

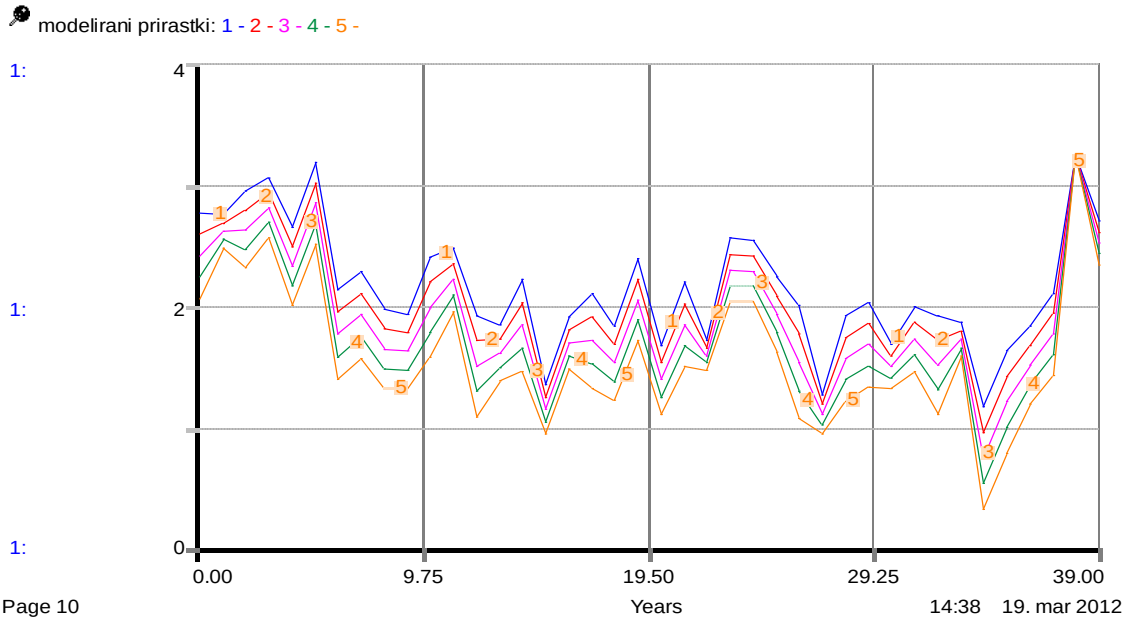
Predvidene odzive priraščanja črne jelše na napovedane klimatske spremembe smo ugotavljali s testi občutljivosti modela priraščanja črna jelše (Laganis, 2007), ki smo ga predhodno preverili in sprejeli kot ustreznega.

Modeliranje smo izvedli tako, da smo za določen odstotek spreminjali vhodne podatke za posamezne okoljske parametre ali več parametrov hkrati. Najpomembnejši rezultati so zbrani spodaj. Zaradi lažjega razumevanja rezultatov smo nekatere ekstremne odzive modela povezali z vrednostmi okoljskih dejavnikov, ki se v simulaciji niso spreminjali.

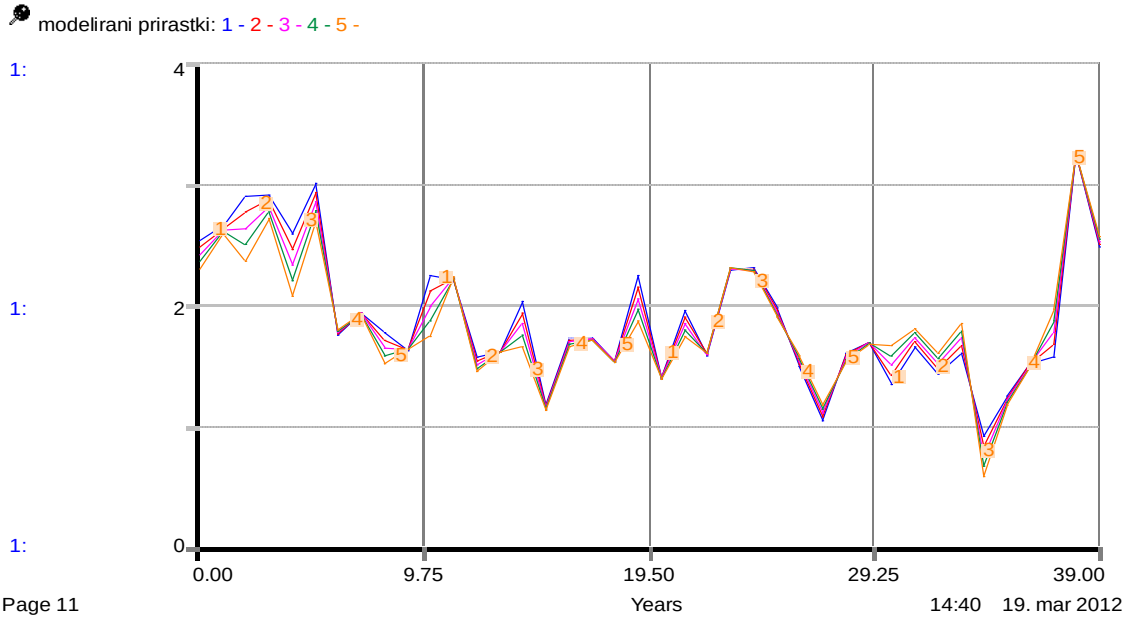
Vpliv vodostaja Ledave je linearen, večje spremembe nivoja Ledave pomenijo večje spremembe v širini letnih debelinskih prirastkov. Večinoma prirastke spodbujajo nižji vodostaji Ledave. To velja za najnižje vodostaje Ledave tako za prvo (Slika 23) kot drugo polovico vegetacijske sezone (Slika 24). Podoben, le manjši, je tudi vpliv najvišjih vodostajev Ledave med avgustom in oktobrom (Slika 25). Največje spremembe model napoveduje ob hkratnih spremembah vseh treh vhodnih spremenljivk hkrati (Slika 26). Tudi tu zvišanje nivojev Ledave povzroča zvezen upad letnih debelinkih prirastkov, nižji nivoji pa pomenijo višje prirastke. Velikost zmanjšanja ali povečanja prirastkov je odvisna od samih nivojev Ledave pa tudi od ostalih vplivnih dejavnikov (slana, osončenost). Tako lahko v letih z nadpovprečno osončenostjo opazimo negativen vpliv dodatnih znižanj najnižjih, pa tudi najvišjih nivojev podtalnice.



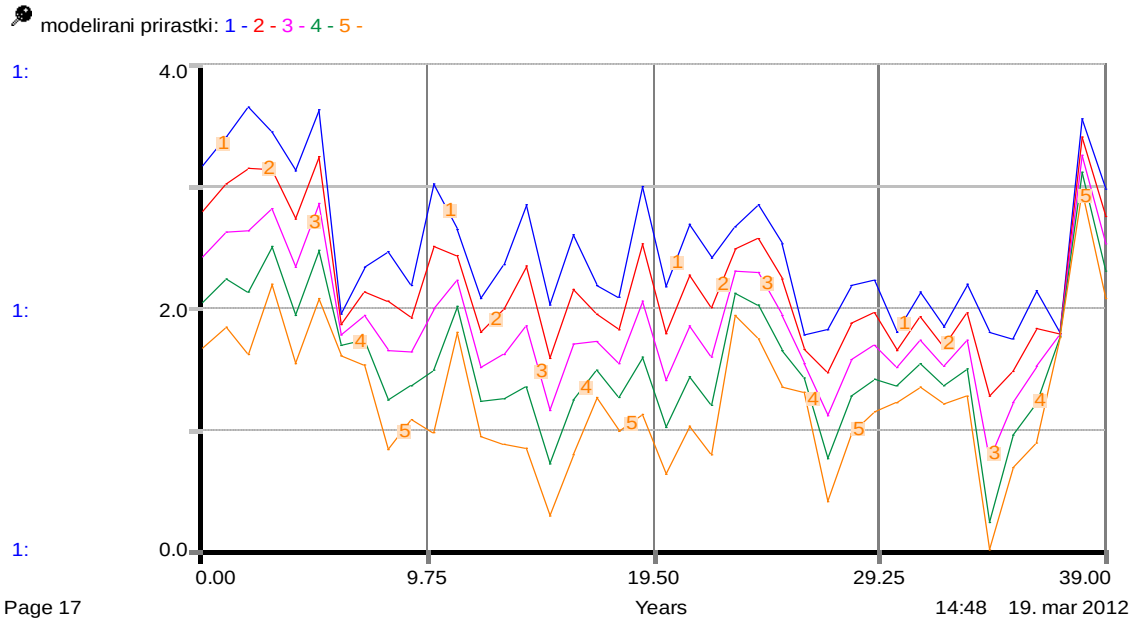
Slika 23: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih najnižjih vodostajih Ledave med aprilom in julijem (minL4-7). Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% znižanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% zvišanju najnižjih vodostajev Ledave med aprilom in julijem.



Slika 24: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih najnižjih vodostajih Ledave med avgustom in oktobrom (minL8-10). Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% znižanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% zvišanju najnižjih vodostajev Ledave med avgustom in oktobrom .



Slika 25: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih najvišjih vodostajih Ledave med avgustom in oktobrom (maxL8-10). Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% znižanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% zvišanju najvišjih vodostajev Ledave med avgustom in oktobrom .

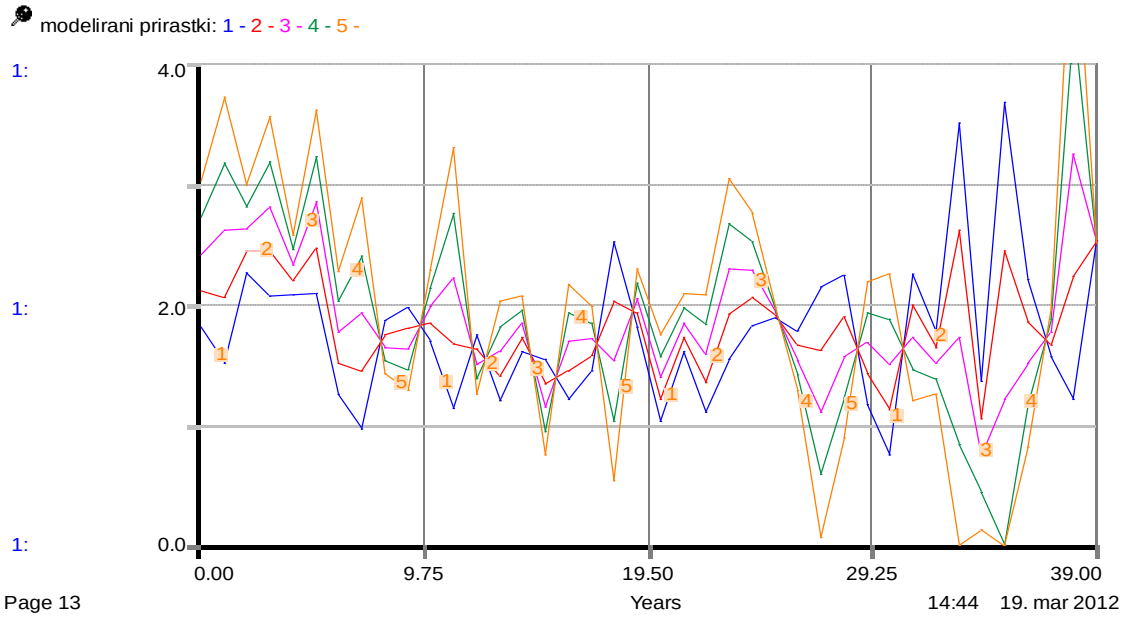


Slika 26: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih najnižjih vodostajih Ledave med aprilom in julijem (minL4-7) in med avgustom in oktobrom (minL8-10) ter najvišjih vodostajih Ledave med avgustom in oktobrom (maxL8-10). Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% znižanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% zvišanju vhodnih spremenljivk.

Rezultati se ujemajo z zaključki raziskave, ki so jo opravili Laganis in sodelavci (2008). Model napoveduje linearen odziv debelinskih prirastkov na spremembe vodostaja Ledave, največje povečanje letnih debelinskih prirastkov napoveduje v primeru znižanja nivojev Ledave v celotni vegetacijski sezoni (od aprila do oktobra). Takšen odziv je v skladu tudi z našo predhodno ugotovitvijo, da je korelacija med nivoji Ledave in letnimi debelinskimi prirastki črne jelše negativna, kar pomeni, da so v letih z nižjimi vodostaji Ledave letni debelinski prirastki višji.

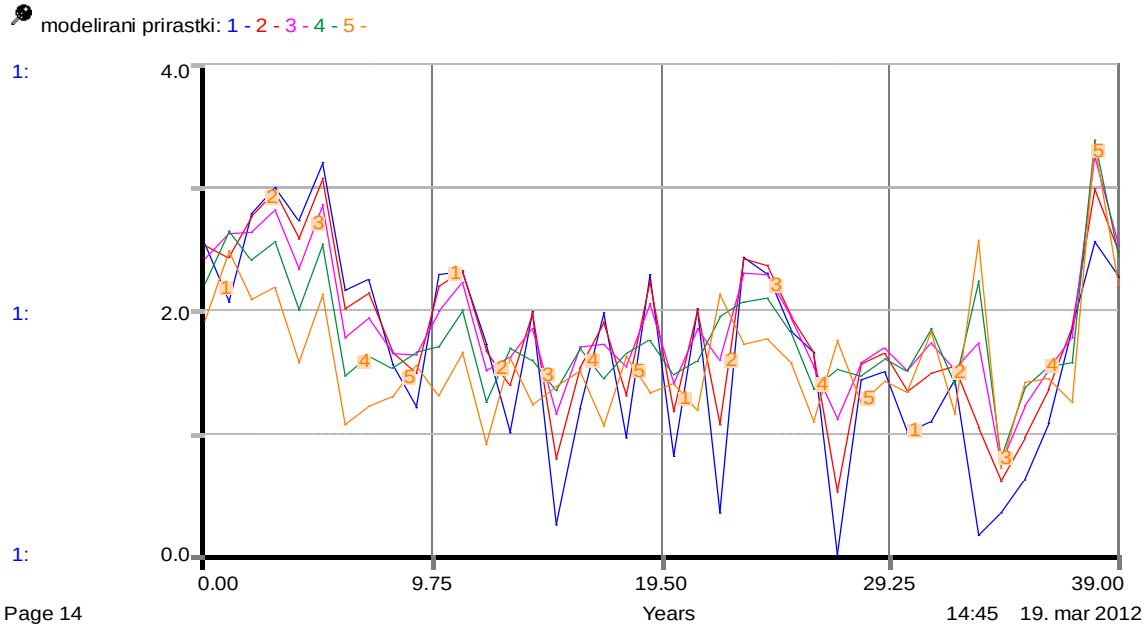
V nasprotju z vodostajem Ledave, odziv letnih debelinskih prirastkov na spremembe količine sončnega obsevanja ni enosmeren. Zvišana ali znižana količina sončnega obsevanja povzročajo odstopanja modelnih letnih debelinskih prirastkov od modelnih letnih debelinskih prirastkov z dejanskimi izmerjenimi vhodnimi podatki.

Večja količina sončnega obsevanja med aprilom in julijem praviloma znižuje debelinske prirastke, izjema so le leta s slano v aprilu, leta z nadpovprečno količino sončnega obsevanja od aprila do julija in leta z visokimi najnižjimi vodostaji Ledave v tem obdobju. V teh zadnjih primerih pa večja osončenost vpliva na izrazito višje debelinske prirastke (Slika 27). Zanimivo je, da je mogoče večino primerov pozitivnega vpliva povečane osončenosti zaznati v zadnji tretjini preučevanega obdobja.



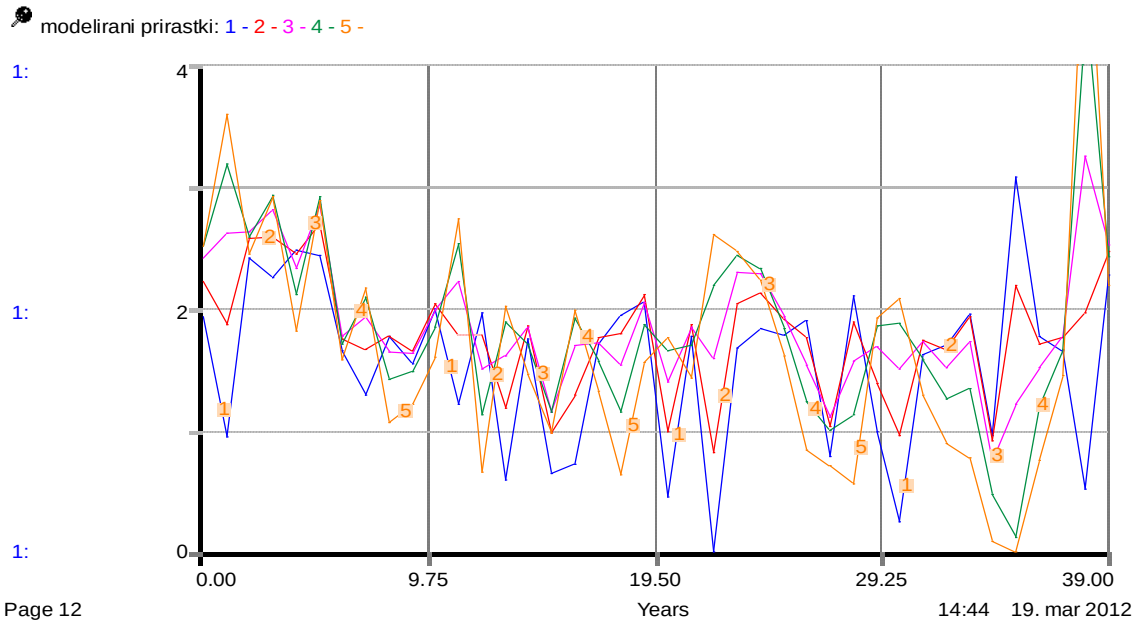
Slika 27: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih vrednostih količine sončnega obsevanja med aprilom in julijem (tsun4-7). Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% zvišanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% znižanju količine sončnega obsevanja med aprilom in julijem.

Nasprotno kot v prvi polovici vegetacijske sezone več osončenosti med avgustom in oktobrom v večini let nekoliko poviša debelinske prirastke, je pa zelo velik negativen vpliv povišanja osončenosti med avgustom in oktobrom opaziti v letih s slano v aprilu in v letih z visokim najnižjim vodostajem Ledave med aprilom in julijem (Slika 28). Zmanjšana količina sončnega obsevanja se kaže v zmernejšem nihanju širine letnih debelinskih prirastkov, ob večji količini sončnega obsevanja pa je nihanje večje.



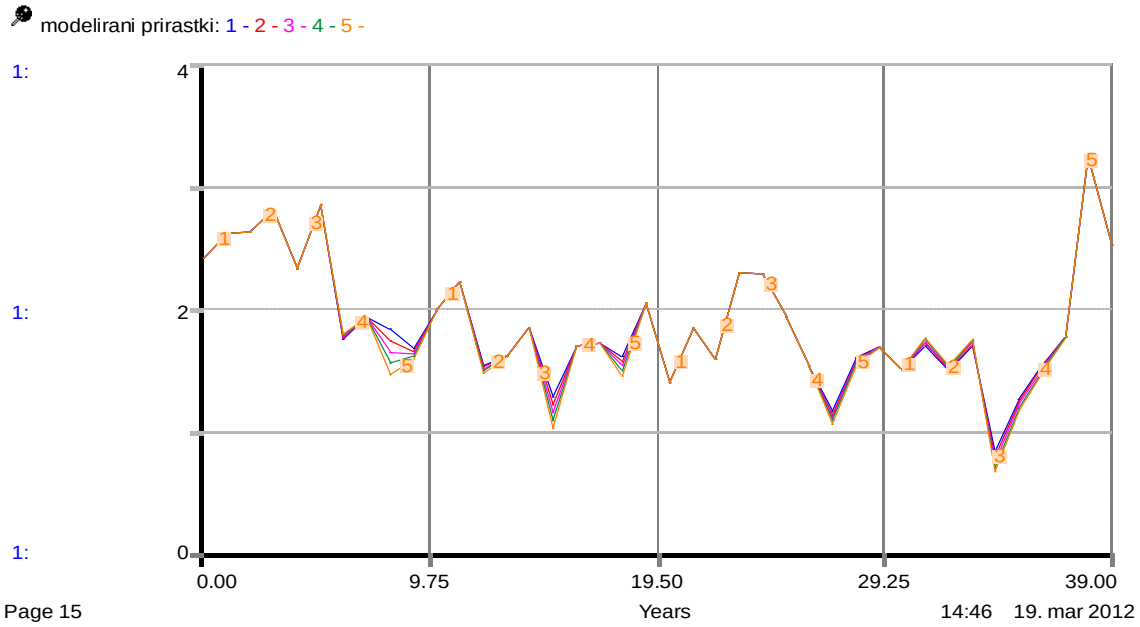
Slika 28: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih vrednostih količine sončnega obsevanja med avgustom in oktobrom (tsun8-10). Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% zvišanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% znižanju količine sončnega obsevanja od avgusta do oktobra.

Podoben odziv je pri povečanju osončenosti v celotni vegetacijski sezoni, ko je vpliv izrazito negativen v letih z že sicer nadpovprečno osončenostjo med aprilom in julijem in visokimi vodostaji Ledave (Slika 29). Ne glede na smer spremembe količine sončnega obsevanja so vplivi na prirastke bolj negativni kot pozitivni.



Slika 29: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih vrednostih količine sončnega obsevanja med aprilom in julijem (tsun4-7) in med avgustom in oktobrom (tsun8-10). Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% zvišanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% znižanju vrednosti vhodnih spremenljivk.

Modelirani letni debelinski prirastki so večji v letih z manjšim številom dni s slano (Slika 30). Vpliv slane je na splošno dokaj majhen. Pri simuliranih vrednostih za leta, v katerih je izmerjeno število dni s slano 0, so te enake kot izmerjeni debelinski prirastki, ker vhodne vrednosti ne morejo biti manjše od 0, poleg tega pa je to število nevtralno pri operacijah množenja in zato so vhodne vrednosti tudi pri 10 in 20% povišanju enake izmerjeni vrednosti, torej 0.



Slika 30: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih vrednostih števila dni s slano od aprila do julija. Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% znižanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% zvišanju števila dni s slano od aprila do julija.

Posebej zanimive rezultate modela dobimo, ko hkrati spreminjamo vodostaje in osončenost, simulacija daje različne odzive v različnih letih (Slika 31). Rezultati tega modela nam nakažejo precejšnjo kompleksnost dogajanja ter veliko sovplivanje vodostaja in osončenosti. Nihanje je večje pri povišanih nivojih Ledave in zmanjšani količini sončnega obsevanja od aprila do julija. Podobno osončenost spremeni vpliv visokih vodostajev: ob nizki osončenosti so še nižji, ob visoki osončenosti pa dokaj visoki. Podobne rezultate dobimo tudi pri simulacijah za celotno rastno sezono in za drugi del rastne sezone (rezultati niso prikazani). Tako imata povečanje nivoja podtalnice in znižanje sončnega obsevanja:

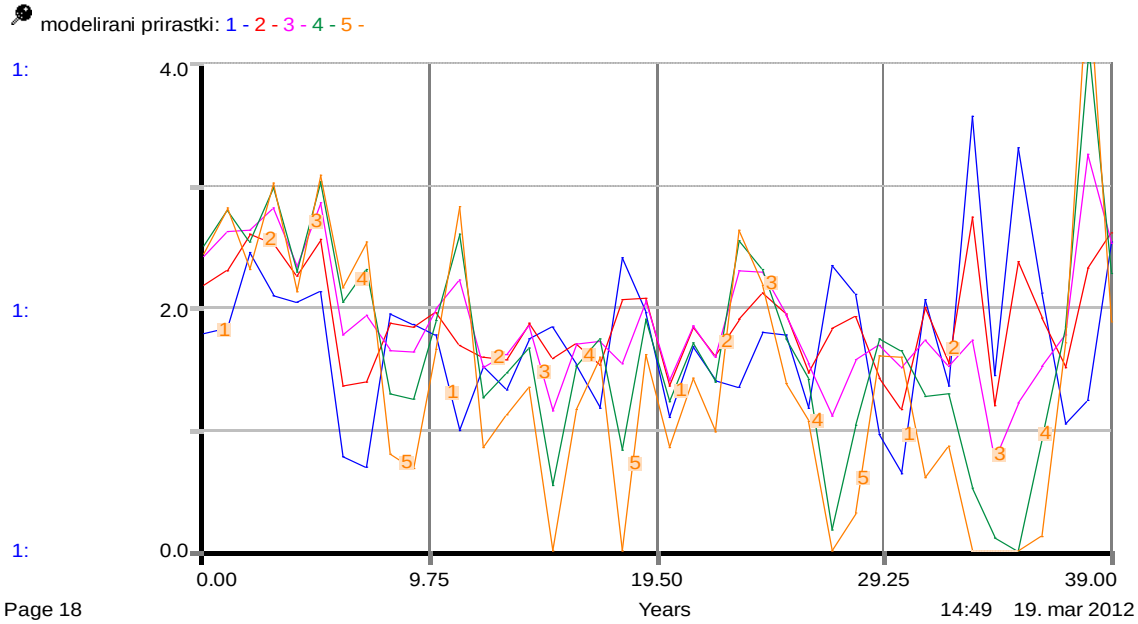
- negativen vpliv na debelinske prirastke v letih, ki so bila med aprilom in julijem sončna in z visokim najnižjim vodostajem Ledave ter s slano ter
- pozitiven vpliv ob nizkih vodostajih in visoki osončenosti.

Zaključimo lahko, da imata dodatno znižanje podtalnice in zvišanje osončenosti negativen vpliv v že sicer sušnih in sončnih letih. Obratno imata v mokrih in oblačnih letih znižanje podtalnice ali zvišanje osončenosti pozitiven vpliv, dodatno znižanje osončenosti ali povečanje vodostaja pa na debelinske prirastke vplivata negativno.

Rezultati simulacij nam nakazujejo, da ob visokih osončenostih tudi na preučevanem rastišču nizki vodostaji lahko pomenijo stres za preučevane sestoje. Tako model napoveduje izrazito negativen vpliv prihajajočih klimatskih sprememb (več ekstremnih obdobij z veliko sušo in osončenostjo na eni ter več mokrih in oblačnih obdobij na drugi strani) na preučevane sestoje.

Zaradi značilnosti širšega območja raziskave, da se lahko talne razmere na majhnih razdaljah zelo spremenijo (Wraber, 1951), predvsem globina podtalnice (Levanič, 1993), je potrebna previdnost pri prenosu rezultatov te raziskave na druge lokacije. Na rastišču, kjer je podtalnica v času suše nižja kot na raziskovanem sestoju in je korenine črne jelše ne dosežejo, lahko pričakujemo precej drugačne odzive dreves na razmere v okolju. Prav tako je potrebno upoštevati, da raziskava zajema odzive odraslega

sestoja. Zahteve mladih dreves so lahko drugačne in s tem tudi odzivi debelinskih prirastkov na okoljske dejavnike.



Slika 31: Letni debelinski prirastki ob spremenjenih najnižjih nivojih Ledave in vrednostih količine sončnega obsevanja od aprila do julija (minL4-7, tsun4-7). Prikazane so modelne vrednosti pri (1) 20% in (2) 10% znižanju/zvišanju, (3) izmerjenih vrednostih ter (4) 10% in (5) 20% zvišanju / znižanju najnižjih nivojev Ledave/količine sončnega obsevanja od aprila do julija.

5 ZAKLJUČKI

Na priraščanje črne jelše v preučevanih sestojih imajo pozitiven vpliv nizki vodostaji Ledave ter padavine, negativen vpliv pa predvsem sončno obsevanje. Največji vpliv na debelinske prirastke imajo okoljske razmere v maju in juniju. Ugotovili smo, da imata izmed preučevanih okoljskih dejavnikov na priraščanje črne jelše največji vpliv podtalnica in količina sončnega obsevanja tekom rastne sezone. Rezultati korelacijske analize kažejo, da so višji nivoji podtalnice negativno povezani s širino letnih debelinskih prirastkov, kar je sicer v nasprotju s splošno značilnostjo drevesne vrste, da dobro uspeva na rastiščih z visoko talno vodo. Model priraščanja pa razkrije, da so prirastki največji v letih z nekoliko podpovprečnim vodostajem ter nekoliko nadpovprečno osončenost. Po drugi strani zelo suha in sončna, še bolj pa nadpovprečno mokra in oblačna leta povzročajo stres ter posledično zmanjšanje letnih prirastkov črne jelše na preučevanih sestojih.

V razskavi potrdili visok pomena vodostaja na priraščanje črne jelše. Pričakovali smo, da bodo visoki vodostaji doprinesli k večjim prirastkom. Rezultati so pokazali , da je ta vpliv negativen. Ugotovitve lahko pojasnimo s prilagoditvijo dreves na povprečne rastiščne razmere - talna voda je na preučevanem rastišču redko tako globoka, da bi drevesa trpela sušni stres.

Nekaterih analiz v raziskavi zaradi pomanjkanja podatkov nismo uspeli izvesti. Tako so pomanjkljivi podatki o hidroloških parametrih pred letom 1970 in meteoroloških parametrih pred letom 1960 preprečili določanje okoljskih dejavnikov na rast mladega sestoja, s tem pa tudi ugotavljanje vzrokov za značilna leta v tem obdobju. Zaradi pomanjkljivih podatkov o gozdnogospodarskih ukrepih ni bilo mogoče oceniti vpliva gospodarjenja na priraščanje dreves v sestojih. V veliko pomoč pri raziskavi in določanju vplivov bi nam bili tudi podatki o globini in kvaliteti podtalnice na preučevanem objektu sestoju.

Pri vrednotenju vpliva hidromelioracij smo bili delno omejeni; za preteklost je bilo namreč na voljo premalo podatkov o spremembah, ki so jih na preučevanem sestoju povzročili hidromelioracijski posegi. V času pred posegi in v času izvajanja največjih posegov namreč še niso beležili nivojev podtalnice. To dejstvo onemogoča vrednotenje vpliva teh ukrepov na priraščanje črne jelše.

Kljub temu, da so napovedi predhodno razvitega model priraščanja črne jelše (Laganis, 2008) deloma odstopale od izmerjenih letnih debelinskih prirastkov, so rezultati dovolj dobro napovedali prirastke, da smo sprejeli model kot zadovoljiv in ga uporabili za izvajanje simulacijskih analiz.

Za nadaljnje raziskave predlagamo:

- raziskave na mlajših sestojih črne jelše, kjer so bili izvajani gozdnogojitveni ukrepi,
- raziskave na sestojih z nižjo podtalnico ali na nekoliko višjih lokacijah in
- raziskave o letni dinamiki priraščanja črne jelše v posameznih letih.

6 LITERATURA

Baldocchi D. D., Black T. A., Curtis P. S., Falge E., Fuentes J. D., Granier A., Gu L., Knohl A., Pilegaard K., Schmid H. P., Valentini R., Wilson K., Wofsy S., Xu L., Yamamoto S., 2005. Predictiong the onset of net carbon uptake by deciduous forests with soil temperature and climate data: a synthesys of FLUXNET data. International Journal of Biometeorology, 49, str. 377-387.

Ballesteros J.A., Stoffel M., Bollschweiler M., Bodoque J.M., Díez-Herrero A., 2010. Flash-flood impacts cause changes in wood anatomy of *Alnus glutinosa*, *Fraxinus angustifolia* and *Quercus pyrenaica*. Tree Physiology, 30, str. 773-781.

Batzli J. M., Dawson J. O., 1997. Physiological and morphological responses of red alder to flooding. Phisiol. Plant. 99, str. 653-663.

Bohanek J. R. in Groninger J. W., 2005. Productivity of European black alder (*Alnus glutinosa*) interplanted with black walnut (*Juglans nigra*) in Illinois, U.S.A. Agroforestry System 64, str. 99-106.

Bormann B. T., Gordon J. C., 1984. Stand Density in Young Red Alder Plantations: Productivity, Photosynthate Partitioning, and Nitroge Fixation. Ecology 65, str. 394-402.

Brasier C. M., Rose J, Gibbs J. N., 1995. An unusual *Phytophthora* associated with widespread alder mortality in Britain. Plant Pathology, 44, str. 999-1007.

Brus R., 2005. Dendrologija za gozdarje. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Univerzitetni učbenik, 408 s.

Chmielewski F. M. in Rötzer T., 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. Agricultoral and Forest Meteorology, 108, str, 101-112.

Claessens H., Oosterbaan A., Savill P., Rondeux J., 2010. A review of characteristics of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) and theri implications for silvicultural practices. Forestry, 83, str. 163 – 175.

Copolovici L., Niiments Ü., 2010. Flooding induced emissions of volatile signalling compounds in three species with differing waterlogging tolerance. Plant, Cell and Environment 33, str. 1582-1594.

Coté B. in Camire C., 1984. Growth, nitrogen accumulation, and symbiotic dinitrogen fixation in pure and mixed plantings of hybrid poplar and black alder. Plant and Soil 78, str. 209-220.

Culliberg M., Šercelj A., 1989. Gozdovi Prekmurja v bližnji in daljni preteklosti. Gozdarski vestnik, 47, str. 218 – 223.

Černý K. in Strnadová V., 2010. Phytophthora Alder Decline: Disease Symptoms, Causal Agent and Its Distribution in the Czech Republic. Plant Protection Science, 46, str 12-18.

Črepinšek Z., Kajfež-Bogataj L., 2005. Modeliranje fenološkega razvoja pri rastlinah. Acta Agriculturae Slovenica, 85, str. 263-281.

Črepinšek Z., Zrnec C., 2005. Petinpetdeset let fenoloških opazovanj v Sloveniji, 1951-2005. Agriculturae Slovenica, 85, str. 283-297.

Čufar K., Levanič T., 2000. Dendrokronologija kot metoda za datiranje lesa. V: Les v restavratorstvu. Sestavratorski center Republike Slovenije, Ljubljana, str. 31 – 37.

Čufar K., Prislan P., Gričar J., 2008a. Cambial activity and wood formation in beech (*Fagus sylvatica*) during the 2006 growth season. Wood Research 53, str. 200.

Čufar K., Prislan P., De Luis M., Gričar J., 2008b. Tree-ring variation, wood formation and phenology of beech (*Fagus sylvatica*) from a representative site in Slovenia, SE Central Europe. Trees 22, 749.

Čufar K., De Luis M., Eckstein D., Kajfež-Bogataj L., 2008c. Reconstructing dry and wet summers in SE Slovenia from oak tree-ring series. International Journal of Biometeorology 52, str. 607–615.

Čufar K., Cherubini M., Gričar J., prislan P., Spina S., Romagnoli M., 2011. Xylem and phloem formation in chestnut (*Castanea sativa* Mill.) during the 2008 growing season. Dendrochronologia 29, str. 127–134.

Diaci J., 2006. Gojenje gozdov: pragozdovi, sestoji, zvrsti, načrtovanje, izbrana poglavja. Univerzitetni učbenik, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. 350 str.

Dilly O., Bach H.-J., Buscot F., Echenbach C., Kutch W.L., Middelhoff U., Pritch K., Munch J.C., 2000. Characteristics and energetic strategies of the rhisosphere in ecosystems of the Bornhöved Lake district. Applied Soil Ecology, 15, str. 201-210.

Dittert K., Wötzel J., Sattelmacher B., 2006. Responses of Alnus glutinosa to Anaerobic Conditions – Mechanisms and Rate of Oxygen Flux into the Roots. Plant Biology, 8, str. 212–223.

Eschenbach C., 1995. Zur Physiologie und Ekologie der Schwarzerle *Alnus glutinosa* (L.). Disertacija, Univerza v Kielu, 197 str.

Eschenbach C., 1999. Leaf water relations of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) growing at neighbouring sites with different water regimes. Trees, 14, str. 23 – 38.

Eschenbach C., 2000. The effect of light acclimation of single leaves on whole tree growth and competition – an application of the tree growth model ALMIS. Ann. For. Sci. 57, str. 599–609.

Giordano P. A. in Hibbs D. E., 1993. Morphological response to competition in red alder: the role of water. Functional Ecology 7, str. 462-468.

Giardina C., Huffmans S., Binkley D. in Caldwell B., 1995. Alders increase soil phosphorus availability in a Douglas-fir plantation. Can. J. For. Res. 25: 1652-1657.

Gibbs J. N., Lipscombe M. A. in Peac A. J., 1999. The impact of Phytophthora disease on riparian populations of common alder (*Alnus glutinosa*) in southern Britain. European Journal of Forest Pathology, 29, str. 39-50.

Gill C.J., 1975. The Ecological Significance of Adventious Rooting as a Response to Flooding in Woody Species, with Special Reference to *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. Flora, 164, str. 85-97.

Gričar J., Oven P., Čufar K., 2005. Sezonska dinamika ksilogeneze in floemogeneze pri navadni jelki (*Abies alba* Mill.). Zbornik gozdarstva in lesarstva 78, str. 57 – 68.

Gričar J., 2009. Sezonska dinamika debelinske rasti dreves. Gozdarski vestnik 67, str. 195.

Grosse W., Frye J. in Latterman S., 1992. Root areation in wetland trees by pressurized gas transport. Tree phisiology 10, str. 285-295.

Jackson M.B., Ishizawa K. in ITO, O., 2009. Evolution and mechanisms of plant tolerance to flooding stress. Annals of Botany 103, str. 137-142.

Johansson T., 1999. Dry matter amounts and increment in 21- to 91-year-old common alder and grey alder and some practical implications. Can. J. For. Res. 29, str. 1679-1690.

Kaelke C. M., Dawson J. O., 2003. Seasonal flooding regimes influence survival, nitrogen fixation, and the partitioning of nitrogen and biomass in *Alnus incana* ssp. *rugosa*. Plant and Soil, 254, str. 167 – 177.

Kirdyanov A., Hughes M., 2003. The importance of early summer temperature and date of snow melt for tree growth in the Siberian Subarctic. Trees, 17, str. 61 – 69.

Kecman M., 1999. Učinki različnih pristopov izbiralnega redčenja na sestoje črne jelše (*glutinosa (L.) Gaertn.*) v Polanskem logu. Diplomska na loga. Univerza v Ljubljani, Ljubljana.

Keeland B.D., Sharitz R.R., 1997. The effectsof Wrwe-lwvwl fluctuatuins on weekly tree growth in a southeastern USA swamp. American Jpournal of Botany, 84, str. 131 – 139.

Kotar M., Brus R., 1999. Naše drevesne vrste. Ljubljana, Slovenska matica, 320 str.

Kotar M., 2005. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije, 500 str.

Kozlowski T.T., 1982. Water supply and tree growth. Part II. Flooding. Forestry Abstracts, 43: str. 145-161.

Kozlowski T.T., 2002. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. The Botanical Review, 68, str. 270 – 334.

Kronika GE Dolinsko, 1971 – 1992. Gozdnogospodarsko območje Murska Sobota, Gozdnogospodarska enota Dolinsko.

Laganis J., 2007. Emergy analysis of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) floodplain forest growth. Disertacija, Univerza v Novi Gorici, 110 str.

Laganis J., Pečkov A., Debeljak M., 2008. Modeling radial growth increment of black alder (*Alnus glutionsa* (L.) Gaertn.) tree. Ecological Modelling, 215, str. 180 – 189.

Lechowicz M. J., 1984. Why do temperate decidous trees leaf out at different times? Adaptation and ecology of forest communities. The American Naturalist, 124, str. 821 – 842.

Levanič T., 1993. Vpliv melioracij na rastne in prirastne značilnosti črne jelše (*Alnus glutinosa (L.) Gaertn.*), ozkolistnega jesena (*Fraxinus angustifolia Vahl.*) in doba (*Quercus robur L.*) v Prekmurju. Magistrska naloga. Univerza v Ljubljani, Ljubljana.

Levanič T., Kotar M., 1996. The effect of hydroameliorations on the forest conditions at Črni log. V: Drainage and Environment, 6th ICID Drainage Workshop, April 22-24, 1996. Ljubljana.

Levanič T. 2005. Dendrologija: nelektorirano študijsko gradivo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo, 76 str.

Liepe K., 1990. Growth and root development of 30-year-old black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) of a provenance trial. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 161, str. 149 – 154.

Linderholm H. W., 2006. Growing season changes in the last century. Agricultural and Forest Meteorology, 137, str. 1-14.

Maček J. 2008. Gozdna fitopatologija. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije : Zveza gozdarskih društev Slovenije, Gozdarska založba.

McVean D.N.,1953. Biological flora of the British Isles: *Alnus glutinosa* (L.) Moench. The Journal of Ecology, 41, str. 447 – 466.

McVean D.N.,1955. Ecology of *Alnus glutinosa* (L.) Moench. II. Seed distribution and germination. The Journal of Ecology, 43, str. 61 – 71.

McVean D.N.,1956. Ecology of *Alnus glutinosa* (L.) Moench. IV. Root system. The Journal of Ecology, 44, str. 219 – 225.

Middlehoff U., 2000. Stimulazionsgeschtützte Analyse der raum-zeitlichen Verteilung der Biomasse in einem Erlenwald unter besonderer Beachtung der Feinwurzeldynamik. Disertacija, Univerza v Kielu, 140 str.

Mommer L., Pedersen O., Visser E. J. W., 2004. Acclimation of a terrestrieal plant to submergence facilitates gas exchange under water. Plant, Cell and Environment 27, str. 1281-1287.

Neave I. A., Dawson J. O., DeLucia E. H., 1989. Autumnal photosynthesis is extended in nitrogen-fixing European black alder compared with white basswood: possible adaptive significance. Canadian Journal of Forest Research, 19, str. 12-17.

Nemesszeghy L. 1986. Črna jelša v Prekmurju. Pomurska založba, Murska Sobota, 88 str.

Novak J., 2009. Poplavna zaščita in ukrepi ob nastopu visokih voda v porečju Mure. Pomurje: trajnostni in regionalni razvoj ob reki Muri: zbornik. Elektronski vir, str. 106 – 126.

Ogrin D. 2000/2001.Vpliv suše na debelinski prirastek dreves. Ujma, 14/15, str. 47 – 57.

Pezeshki, S.R., 2001. Wetland plant responses to soil flooding, Environmental and Experimental Botany 46, str. 299-312.

Taulavuori K., 2006. A simple method to visualize the mechanism why Alnus glutinosa remains green during autumn coloration of Sorbus aucuparia. Trees, 20, str. 28-33.

Rossi S., Deslauriers A., Anfodillo T., 2006. Assessment of cambial activity and xylogenesis by microsampling tree species: an example at the alpine timberline. IAWA Journal, 27, str. 383 – 394.

Schweingruber F. H., Eckstein D., Bachet S. F., Bräker O. U., 1989. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. Dendrochrcnologia, 8, str. 9 – 38.

Seiler J. R., 1985. Morphological and physiological changes in black alder induced by water stress. Plant, Cell and Environment, 8, str. 219-222.

Smolej I., 1994. Pomen vode za uspevanje in večnamensko rabo nižinkih mokrih gozdov. V: Gozd in voda, zbornik republiškega seminarja, Poljče, 11. – 13. oktober 1994. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo.

Smolej I., 1995. Hydrological conditions on permanent resesrch plots. V: Oak decline in Slovenia. Končno poročilo. Ljubljana, Dunaj, Gizdarski inštitut Slovenije, Institut für Waldökologie, 213 str.

Strnadová V., Černý K., Holub V., Gregorov B., 2010. The effects of flooding and Phytophthora alni infection on black alder. Journal of Forest Science, 56, str. 41-46.

Taulavuori K., 2006. A simple method to visualize the mechanism why *Alnus glutinosa* remains green during autumn colouration of *Sorbus aucuparia*. Trees, 20, str. 28 – 33.

Torelli N., 2001. Črna jelša (*Alnus glutinosa* (L.) *Gaertn.*) – lesna zgradba in obdelavne lastnosti. Les, 53, str. 424 – 429.

Uredba o posebnih varstvenih območjih (območjih Natura 2000). Ur.l. RS, št. 49/2004.

Vmesno poročilo o poteku priprave načrta upravljanja voda na vodnem območju Donave, 2008. Ljubljana, Ministrstvo RS za okolje in prostor.

Wigley T. M. L., Briffa K. R., Jones P. D., 1984. On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. Journal of Applied Meteorology, 23, str. 201 – 213.

Wilczyński S., Podlaski R, 2007. Heat as a factor determining the activity of cambium in black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) on moist sites. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, 10, str. 13.

Wraber M., 1951. Gozdna vegetacijska slika in gozdnogojitveni problemi Prekmurja. Gozdarski vestnik, 23, str. 179 – 230.

Žiberna I., 1992. Klimatski oris Severovzhodne Slovenije. V: Bertoncelj D. in sod., Mednarodna konferenca o Dravi, 28-29.5.1992, Grafiti studio, Maribor; 306 str.