

GDK: 174+18(497,12 Šoštanj+Trbovlje)(045)

Prispelo / Received: 26. 05. 2006

Sprejeto / Accepted: 14. 06. 2006

Izvirni znanstveni članek

Original scientific paper

DENDROKOLOŠKA ANALIZA RASTI SMREKE (*Picea abies* (L.) Karst.) V OKOLICI DVEH TERMOELEKTRARN

Tom LEVANIČ¹, Andreja SLAPNIK²

Izvleček

Namen študije je bil analizirati širine branik pred obdobjem največjega onesnaževanja z SO₂, med tem obdobjem in po sanacijskih ukrepih, opravljenih na termoelektrarnah Šoštanj (TEŠ) in Trbovlje (TET). Analiza širin branik preživelih dreves na ploskvah bliže TET in TEŠ je pokazala, da so bile branike v obdobju največjega onesnaževanja znatno ožje kot tiste na manj vplivanih lokacijah. Izkazalo se je tudi, da je odziv dreves na klimatske vplive na bolj in manj vplivanih ploskvah sicer primerljiv – vsa drevesa so se odzivala enako, vendar tista bliže termoelektrarnam bolj, tista z bolj oddaljenih ploskev pa manj in so se tudi hitreje vrnila v stanje normalnega priraščanja kot prizadeta drevesa. Primerjava rasti s klimo je pokazala, da je večina pozitivnih in negativnih značilnih let sicer posledica klimatskih dejavnikov, vendar pa lahko nekatera značilna leta na ploskvah bliže virom onesnaževanja nedvoumno pripišemo postopnemu povečevanju proizvodnje v termoelektrarnah in posledičnemu povečevanju emisij SO₂ v ozračje. Na osnovi teh ugotovitev sklepamo, da je vpliv termoelektrarn na debelinski prirastek drevja omejujoč. Proizvodna sposobnost rastišč ni izkoriščena, drevesa so v konstantnem stresu, na dodatne okoljske strese se odzivajo občutljiveje kot drevesa zunaj vplivnega območja, normalizacija rasti po nastopu ugodnih ravnih razmer pa je daljša. Po namestitvi odžvepljevalnih čistilnih naprav v TEŠ in postavitvi odvodnika v TET so se razmere za rast dreves v okolici termoelektrarn izboljšale, kar se kaže tudi v postopoma vedno manjših razlikah med rastjo dreves na vplivnih in manj vplivnih območjih. Izboljšanje rasti prizadetih dreves je bolj izrazito v okolici TEŠ, kjer je bila ekološka sanacija učinkovitejša; manj pa se je rast izboljšala v okolici TET, kjer je 360 m visoki odvodnik emisije samo razpršil na večje območje.

Ključne besede: onesnaženost zraka z SO₂, propadanje gozda, dendroekologija, debelinski prirastek, smreka, *Picea abies* (L.) Karst., Slovenija

DENDROECOLOGICAL STUDY OF SPRUCE (*Picea abies* (L.) Karst.) GROWTH AROUND TWO COAL-FIRED POWER PLANTS

Abstract

The main objective of this study was to investigate tree-ring width before, during and after onset of significant SO₂ air pollution around coal-fired power plants Šoštanj (TEŠ) and Trbovlje (TET). The surviving trees showed relative large growth oscillations and the most obvious effect of air pollution caused by coal-fired power plant on tree-ring width (TRW) can be observed in narrower TRW, which is, among other, connected with needle loss in Norway spruce. This is evident on plots closer to TET – reference plot has significantly higher radial increment as heavily and moderately affected plot. Plots around TEŠ show smaller, but still significant difference, between heavily and moderately affected plot and reference. It was also proven, on all affected plots, that the affected trees showed reduced response to favourable climatic conditions compared to healthy trees and more sensitive response to unfavourable climatic conditions. The study of pointer years showed that only some negative pointer years on plots very close to source of pollution could be directly connected to the beginning and gradual increase in power plant production. Coal-fired power plants have significant influence on tree growth. Site productivity is not fully used, trees are under constant stress, they react very sensitively to environmental stresses (such as drought) and recovery is slower compared to healthy trees. By installing filters on coal-fired power plant TEŠ, significant reduction of emissions occur; on the other hand TET approach to solving this problem was by building a 360 m high chimney which, however, did not reduce the emission but rather dispersed them over a larger area. TRW on affected plots around TEŠ gradually increased and is now more or less similar to TRW on a reference plot. TRW around TET show similar trend, although this is not due to significant increase in TRW on affected plot but more to the TRW decrease on a reference plot.

Key words: air pollution with SO₂, forest decline, dendroecology, radial growth, *Picea abies* (L.) Karst., Slovenia

¹ doc. dr. T. L., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, tom.levanic@gozdis.si

² dipl.biol. A. S., Ministrstvo za okolje in prostor, Krekov trg 9, 3000 Celje, andreja.slapnik@gov.si

UVOD INTRODUCTION

Vedno večja poraba naravnih neobnovljivih in obnovljivih virov skupaj z onesnaževanjem okolja in razvojem industrije ter tehnologije je pereč problem sodobnega sveta.

Evropska zakonodaja na področju varstva okolja in ohranjanja narave je glede zahtev po ohranjanju čistega in čim manj degradiranega okolja našim znancem naravnana v visoko stopnjo ozaveščenosti tako družbe kot celote kot njene posameznika. Slovenija je leta 1999 v skladu z zahtevami evropske okoljske zakonodaje sprejela Nacionalni program varstva okolja, ki na podlagi analize okoljskih problemov opredeljuje naslednje prednostne cilje na področju okoljevarstva:

- izboljšanje stanja vodnega okolja,
- uveljavitev sodobnih oblik ravnanja z odpadki,
- ohranjanje in varstvo biotske raznovrstnosti in genskih virov in
- krepitev institucij varstva okolja na vseh ravneh.

K slednjemu cilju prištevamo tudi skrb za kakovost zraka, ki se v zadnjih petnajstih letih izboljšuje, predvsem na račun znižanja emisij žveplovega dioksida, plinifikacije mestnih središč in propada določenih industrijskih panog. S postopnim oživljanjem industrijske dejavnosti se bodo emisije iz teh virov vnovič povečale, povečuje pa se tudi onesnaževanje zraka zaradi prometa. Tako so v obdobju do leta 2008 poglavni cilji zmanjšanje onesnaževanja zraka iz industrijskih virov in termoelektrarn ter obvladovanje onesnaževanja zraka iz prometa, zmanjševanje emisij iz kurišč, odprava uporabe snovi, ki uničujejo ozonski plašč, zmanjševanje emisij toplogrednih plinov in obvladovanje problemov onesnaževanja zraka na velike razdalje.

V Sloveniji imamo dva glavna izvora zračnih polucij z SO₂, to sta termoelektrarni Šoštanj (TEŠ) in Trbovlje (TET). Večje število raziskovalcev, ki se je ukvarjalo z vplivom onesnaževanja zraka z SO₂ na rast dreves, je v splošnem ugotovilo, da je vpliv na rast dreves negativen, da prirastek upada in da je mortaliteta dreves v območjih z visokimi imisijami velika. V naši raziskavi smo obdelali vplive imisij iz obeh termoelektrarn na odziv in rast dreves na prizadetih lokacijah

in naše izsledke primerjali z izsledki raziskovalcev, ki so se s tem problemom ukvarjali pred nami.

Kolar (1989) je ugotavljal stanje smreke v Šaleški dolini ter preučeval gibanje debelinskega prirastka po petletnih periodah v obdobju med 1962 do 1987. Izbrane sestoje je glede na odstotek osutosti krošenj razdelil na 3 stopnje poškodovanosti, najbolj poškodovana so bila drevesa sovladajočega socialnega položaja. Po njegovem so stabilnost sestojev ogrožale vrzeli, ki so nastale zaradi sanitarnih sečenj kot posledica katastrofalnih ožigov v zimah 1984/85 in 1986/87. Ugotovil je tudi, da je debelinski prirastek smreke povezan s stopnjo osutosti krošenj, predvsem z osutostjo njihovih vrhov. Najmanjši prirastek so imela drevesa z najbolj osutimi krošnjami. Upadanje debelinskega prirastka se je začelo že v obdobju od 1962 do 1967 in se je v naslednjih petletnih periodah nadaljevalo. Trend upadanja prirastka naj bi postal še posebej izrazit v obdobju od 1972 do 1977, kar se načeloma časovno ujema s povečevanjem proizvodne zmogljivosti TEŠ.

Kotar in Kolar (1996) sta preučevala trende priraščanja smrekovih gozdov v tistih območjih, v katerih so po Kolarjevi raziskavi iz leta 1989 prevladovala drevesa s 25-60 % osutimi krošnjami. Preiskovano območje sta na podlagi vegetacijskih enot ter talne podlage razdelila na tri stratumе. Rezultati so pokazali, da je bila osutost krošenj v vseh stratumih enaka in se ni bistveno razlikovala od osutosti, ki je bila ugotovljena v prvi raziskavi. Upad priraščanja dreves je bil v petletnem obdobju od 1989 do 1993 manjši od upada v petletnem obdobju od 1959 do 1963. V letih od 1989 do 1993 je bil upad priraščanja dreves pri drevesih z manjšo osutostjo krošenj večji kot pri drevesih z večjo osutostjo krošenj, kar pojasnjujeta z razlago, da je bil posek na bolj prizadetih območjih večji in so preostala drevesa zaradi večje presvetljenosti in manjše utesnjenosti bolje priraščala.

Ferlin (1991) je primerjal vplive bližinskega in daljinskega onesnaževanja ozračja na rast smreke na delno naravnih in delno umetnih sestojih smreke ter uporabil dendrokronološko analizo širine branik. Na petih poskusnih ploskvah, ki so bile različno oddaljene od TEŠ, je ugotovil, da je bil letni prirastek smreke do leta 1960 predvsem posledica klimatskih razmer, po letu 1968 pa so nastajale razlike med rastjo smreke v močno ogroženih sestojih v primerjavi z drugimi sestoji. Razlike je pripisal visokim imisijam žveplovega dioksida v zraku,

kljub temu pa padec priraščanja ni bil tako zelo izrazit in se v posameznih obdobjih prirastek celo povečuje. Primerjava debelinskih prirastkov med območji je pokazala, da je bilo priraščanje smreke na močno ogroženem območju slabše od priraščanja na rahlo in zmerno ogroženih območjih.

Ribarič Lasnik (1996) je z določanjem vsebnosti biokemijskih markerjev (klorofil, razmerje med klorofilom-a in klorofilom-b, askorbinska kislina, celokupno žveplo, vodotopni tioli, ...) v iglicah smreke ugotavljala stanje smreke kot posledico stresa zaradi onesnaženosti zraka na desetih vzorčnih ploskvah v okolici TEŠ. Raziskave so pokazale, da je bila smreka na vseh desetih ploskvah v raziskovanem obdobju 1991-1993 v stanju multiplega okoljskega stresa in da je bil ta največji v letu 1992. Vpliv dejavnikov stresa je bil največji v Zavodnjah, Lajšah, na Velikem vrhu in Graški Gori. Vsebnost žvepla v iglicah se je z oddaljenostjo od TEŠ zmanjševala.

Simončič in sodelavci so leta 2003 v preliminarni študiji ugotavljali prirastek smreke in bukve na enem izmed najbolj izpostavljenih rastišč v okolici TEŠ na Zavodnjah nad Šoštanjem in ugotovili, da bi na osnovi prirastnih trendov zelo težko govorili o neposrednem vplivu TEŠ na debelinsko rast smreke in bukve na preučevanem rastišču (SIMONČIČ *et al.* 2003). Analiza rasti smreke je namreč pokazala, da je do manjšega upada pri smreki sicer prišlo po letu 1957, torej po zagonu TEŠ, da pa kasnejših upadov in tudi dvigov prirastka ne moremo zanesljivo povezati z delovanjem TEŠ. Do podobnih ugotovitev so prišli tudi pri bukvi.

Na vplivnem območju Termoelektrarne Trbovlje je po ugotovitvah Ribarič Lasnik in sodelavcev (2001) vpliv dolgotrajnega onesnaževanja najbolj viden na območju občin Dobovec, Hrastnik (Kovk) in Zagorje (Ravenska vas), kar kažejo predvsem visoke vsebnosti žvepla v iglicah smreke in težkih kovin v tleh. Vzrok za prekomerno kopičenje žvepla v listih smreke in bukve so različne spremembe na biokemijskem nivoju, kot so zmanjšana vsebnost fotosintetskih pigmentov, povečana vsebnost askorbinske kisline kot antioksidanta, povečana vsebnost vodotopnih tiolov ter porušeno razmerje med dušikom in žveplom. Spremembe na fiziološki ravni se kažejo kot povečana osutost drevesnih košenj.

Vidregar-Gorjup in Batič (1999) sta z izvorno slovensko gozdarsko metodo za ugotavljanje poškodovanosti gozdov (KOVAČ *et al.* 1995) in češko metodo za ugotavljanje poškodovanosti in razvejitve iglic raziskovala stopnjo poško-

dovanosti smreke v Zasavju na desetih izbranih vzorčnih ploskvah. Glavni kriteriji za določitev poškodovanosti dreves po slovenski metodi so osutost krošenj, barva in oblika iglic ter kakovost vrha drevesa ali vej, glede na znane dejavnike žive in nežive narave, medtem ko češka metoda temelji na predpostavki, da zaradi onesnaženosti zraka nastanejo motnje v razvejitvi in oigličnosti smrekovih vej. Rezultati obeh metod so dali podobno oceno poškodovanosti smreke. Večina opazovanih smrek je bila po slovenski metodi uvrščena med močno poškodovana drevesa, največ nepovratno poškodovanih dreves je bilo na Kovku in Ključevci, najmanj pa na območju Retij.

Na osnovi vseh teh spoznanj smo želeli našo raziskavo usmeriti predvsem v ovrednotenje vpliva emisij SO₂ na debelinski prirastek smreke v okolici TEŠ in TET glede na oddaljenost od obeh elektrarn, kjer so drevesa različno (ali pa sploh ne) izpostavljena imisijam. Hkrati smo želeli preučiti tudi vpliv dveh različnih pristopov k ekološki sanaciji emisij SO₂ na debelinski prirastek smreke. TEŠ je namreč pristopila k čiščenju dimnih plinov, TET pa je skušala problem rešiti s 360 m visokim dimnikom, ki je zmanjšal lokalno onesnaževanje in ga razpršil na bistveno večje območje. Glede na vse ugotovljeno v prejšnjih raziskavah pa nas je močno zanimalo tudi, kako se prizadete in neprizadete smreke odzivajo na klimatske dejavnike in ali je odziv prizadetih dreves drugačen od odziva navidezno zdravih.

MATERIAL IN METODE *MATERIAL AND METHODS*

Osnovne značilnosti TEŠ in TET *Basic information about TEŠ and TET*

Odločitev za graditev Termoelektrarne Šoštanj (TEŠ) je temeljila na bližini bogatih nahajališč lignita v Šaleški dolini in je bila sprejeta leta 1946 (DEJANOVIČ 1995). Že naslednjega leta so se lotili postavitve prvih dveh blokov, ki pa sta zaradi težav pri dobavi materiala začela obratovati šele v letih 1956 in 1957, štiri leta kasneje pa so zgradili še tretji blok. Celokupna toplotna moč elektrarne po letu 1960 je znašala 135 MW. Zaradi vedno večjih potreb po energiji je bila v letu 1972 končana postavitve četrtega bloka z močjo 275 MW in leta 1977 še bloka 5 z močjo 345 MW. Skupna instalirana

moč TEŠ po letu 1977 znaša 755 MW in je največji elektroenergetski objekt v Sloveniji, ki trenutno pokriva do 35 % slovenskih potreb po električni energiji (LEDNIK 2004). Po montaži četrtega in nato še petega bloka so se emisije snovi v zrak iz TEŠ močno povečale in obremenile okolje, kar se je med drugim kazalo tudi kot vidno propadanje okoliških smrekovih gozdov. Daleč najbolj škodljivo zračno onesnažilo iz TEŠ je SO₂, sledijo dušikovi oksidi in prašni delci. Najbolj kritične razmere so bile v zimskem obdobju v letih 1984/85 in 1986/87, ko je zaradi izjemno neugodnih klimatskih razmer in visoke stopnje onesnaženosti zraka prišlo do obsežnih ožigov iglic smreke in velike osutosti krošenj.

V elektrarni je bil sprejet ekološki sanacijski program, ki so ga začeli uresničevati leta 1989. Tako so v letu 1991 opravili aditivno razžvepljevanje dimnih plinov na vseh petih blokih, leta 1992 pa so z rekonstrukcijo celotnega kurilnega sistema znižali emisije dušikovih oksidov. Z zamenjavo elektrofiltrov na bloku 4 (1994) in bloku 5 (1999) so se občutno znižale emisije prašnih delcev.

V začetku leta 1995 sta na četrtem bloku in v letu 2001 na petem začeli obratovati napravi za razžvepljevanje dimnih plinov po tehnologiji mokrega kalcitnega postopka, ki sta iz posameznega vira onesnaževanja znižali emisije SO₂ za okrog 95 %. Po letu 1995 so emisije SO₂ iz prejšnjih 97 tisoč

Preglednica 1: Pregled emisij SO₂, prahu in NO_x ter sežiga premoga v TEŠ in TET v obdobjih 1990-2003 in 1980-2003.

Table 1: Overview of SO₂, NO_x and ash emissions and amounts of coal burned in TEŠ and TET in the 1990-2003 and 1980-2003 periods.

Year	TEŠ				TET			
	Emisije SO ₂ t/leto	Sežig pre- moga t/leto	Prah t/leto	NO _x t/leto	Emisije SO ₂ t/leto	Sežig pre- moga t/leto	Prah t/leto	NO _x t/leto
2003	13.334	4.078.310	480	10.936	34.884	651.034	344	1.765
2002	22.871	4.210.130	632	12.779	29.735	658.882	290	1.777
2001	18.071	3.981.257	467	11.403	28.691	609.356	311	1.231
2000	44.254	3.717.715	460	10.379	29.392	608.812	333	1.704
1999	47.665	3.726.092	1.078	90.96	30.229	581.904	260	1.650
1998	55.052	3.950.983	2.317	11.963	33.372	681.918	252	1.478
1997	53.110	4.040.740	2.376	11.580	31.244	625.152	374	1.550
1996	51.826	3.594.074	1.844	10.163	22.852	528.798	503	1.222
1995	51.701	3.665.368	2.765	10.119	25.600	704.826	1259	1.546
1994	80.595	3.617.408	4.918	11.333	28.688	699.846	1758	1.997
1993	86.147	3.920.132	8.121	11.571	23.453	631.321	1404	1.837
1992	80.056	3.611.708	6.085	10.492	28.752	746.127	943	2.116
1991	80.459	3.212.200	7.495	10.826	21.938	554.562	800	1.339
1990	93.021	3.909.290	5.731	13.278	25.646	584.210	1047	1.621
1989	93.630	3.901.697			31.797	712.919	1403	1.751
1988	97.402	4.180.618			18.062	415.137	985	1.185
1987	97.402	3.720.927			30.929	705.679	1283	1.981
1986	106.645	4.617.161			25.151	519.074	710	1.592
1985	107.021	4.563.274			26.882	499.486	781	1.787
1984	105.166	4.649.297			30.263	687.485	870	1.982
1983	123.382	5.244.070			33.105	673.633	789	2.289
1982	118.124	4.975.633			28.349	598.813	645	1.986
1981	97.599	4.791.563			24.423	477.711	470	1.577
1980	89.168	4.032.561			24.812	545.357	534	1.776

Vira: 1. BilTEŠ 2005, Poročilo o proizvodnji, vzdrževanju in ekoloških obremenitvah okolja TE Šoštanj v letu 2005.- ISSN 1408-6891, 2. Ocena emisij snovi v zrak in rezultati meritev emisijskih koncentracij Termoelektrarne Trbovlje v letu 2003.- poročilo: EKO 1513 Elektroinštitut Milan Vidmar 2004

ton letno in več padle pod 51 tisoč ton, po letu 2001 pa niso več presegle 23 tisoč ton.

Iz poročila o proizvodnji, vzdrževanju in ekoloških obremenitvah TE Šoštanj v letu 2003 je razvidno, da imisijske vrednosti dušikov oksidov in prašnih delcev, ki jih merijo na stalnih merilnih postajah, niso več presežene, imisijske vrednosti SO₂ pa so presežene občasno in le na določenih merilnih mestih (ROTNIK / RIBARIČ-LASNIK 2004), - preglednica 1.

Zasavje je zaradi rudarjenja, proizvodnje električne energije in druge bazične industrije že od nekdaj močno onesnaženo, zato ne preseneča dejstvo, da so zasavski gozdovi najbolj poškodovani slovenski gozdovi. K močni obremenjenosti okolja nedvomno prispeva relief pokrajine, ki ga oblikujejo ozke in slabo prevetrene doline. Najpomembnejša zračna onesnažila v Zasavju so SO₂, dušikovi oksidi, prah in organske spojine. Po ocenah ima Termoelektrarna Trbovlje (TET) primarno vlogo pri onesnaževanju z SO₂ in CO₂, pri onesnaževanju z NO₂ pa zavzema drugo mesto, prvo je promet (RIBARIČ-LASNIK *et al.* 2001).

Od drevesnih vrst je v zasavskih gozdovih najbolj prizadeta bukev, ki ji sledijo hrasti in drugi trdi listavci, smreka pa je nekoliko manj obremenjena, kar je verjetno posledica njenih bolj oddaljenih in više ležečih rastišč (VIDERGAR-GORJUP / BATIČ 1999).

V Trbovljah so že leta 1904 zgradili rudniško električno centralo za pokrivanje potreb po električni energiji pri pridobivanju rjavega premoga (LENARČIČ 1998). Tedanja termoelektrarna je v tistem času veljala za najvišji tehnični dosežek na področju proizvodnje termoenenergije. Z naraščanjem potreb po električni energiji so elektrarno leta 1915 preselili na lokacijo ob reki Savi, nato pa leta 1933 in 1939 razširili in povečali moč. Prvotna elektrarna je obratovala vse do leta 1968, ko je njena skupna toplotna moč dosegala skoraj 60 MW. V letu 1968 so zagnali novo termoelektrarno z močjo 125 MW. Visoke emisije žveplovega dioksida in drugih zračnih onesnažil iz TET in drugih industrijskih dejavnosti v Zasavju (steklarna, cementarna, kemična tovarna) so izredno obremenile okolje in povzročile močne poškodbe okolne vegetacije. Leta 1971 so poškodovani gozdovi segali od Zagorja do Brega pri Sevnici in skoraj do vrha Huma, poškodovanih je bilo prek 5000 ha gozdov (RIBARIČ-LASNIK *et al.* 2001). Kot rezervo v elektroenergetskem sistemu so v letih 1974-

1976 postavili dva plinska bloka s skupno močjo 63 MW, ki se uporabljata le občasno ob izpadu parnih blokov.

Z namenom sanacije obstoječega stanja so leta 1976 zgradili 360 m visok odvodnik, po katerem se emisije odvajajo v višje plasti ozračja in presegajo višino lokalnega toplotnega obrata, ki se razvije nad savsko dolino 260–360 metrov visoko. Popisi vegetacije po postavitvi odvodnika kažejo, da je prišlo do delne rekultivacije ogolelih pobočij in prenosa lokalnih težav na širšo okolico (VIDERGAR-GORJUP / KLEMENČIČ 1992). V zadnjem desetletju se emisije SO₂ iz TET zvišujejo in so v letu 1999 dosegle prek 30 tisoč ton, kar je 8 tisoč ton več v primerjavi z letom 1991 - preglednica 1.

Vzorčne ploskve

Sampling locations

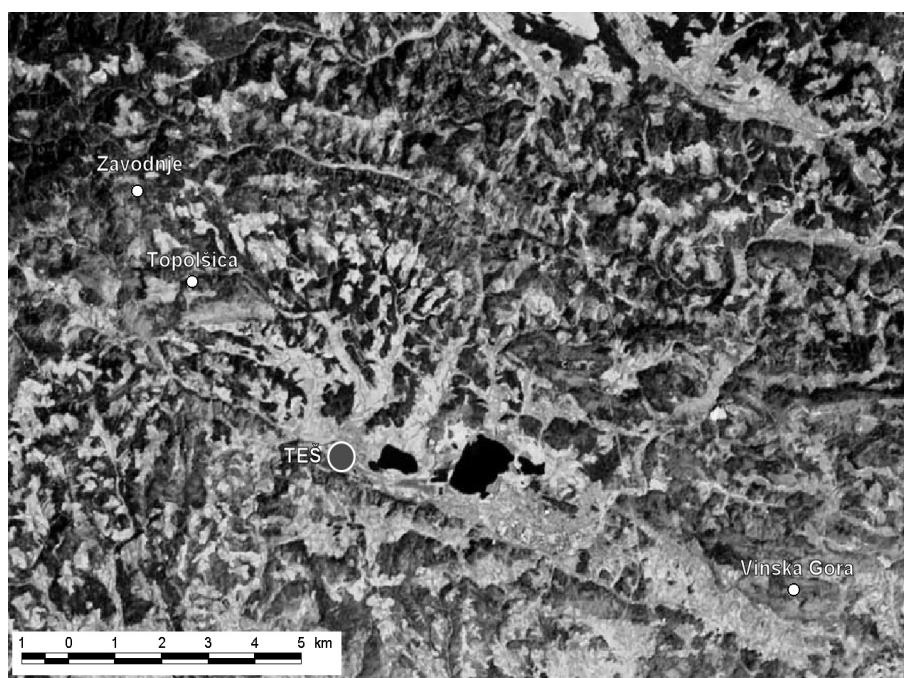
Raziskovalne ploskve smo locirali v bližini dveh slovenskih termoelektrarn – Šoštanj (TEŠ) (slika 1) in Trbovlje (TET) (slika 2). Obe elektrarni sta zanimivi zato, ker sta imeli v preteklosti popolnoma drugačen pristop k sanaciji izjemno velikih letnih emisij SO₂ – TEŠ je z ekološko sanacijo znižala emisije SO₂ z 97 tisoč ton letno¹ na 50 tisoč ton v obdobju 1995-2000 in na vsega 18 tisoč ton letno v obdobju 2001-2003 in tako učinkovito odpravila problem lokalnega onesnaževanja; TET pa je leta 1976 z dograditvijo 360 m visokega odvodnika zmanjšala lokalno onesnaževanje in začela neprečiščene dimne pline (povprečna emisija SO₂ v TET je 28 tisoč ton letno²) oddajati na bistveno širše vplivno območje. Popolna ekološka sanacija v TET v doglednem času sicer ni predvidena.

V primerni oddaljenosti od obeh termoelektrarn smo izbrali po 3 raziskovalne ploskve (slika 1 in slika 2). Po dve ploskvi sta imeli različno stopnjo vplivanosti, tretja ploskve pa je bila referenčna in je bila izbrana na podlagi razgovorov v elektrarnah in okoljskih meritev.

Tako smo v okolici TET izbrali ploskvi Lontovž nad Dobovcem in Kovk nad Kovkom kot vplivani ploskvi ter ploskev Svinjski vrh pri Mariji Reki kot referenčno ploskev. V okolici TEŠ pa smo izbrali ploskvi na hribu Lom nad Topolšico in na Petrovem vrhu nad Zavodnjami kot vplivani ploskvi

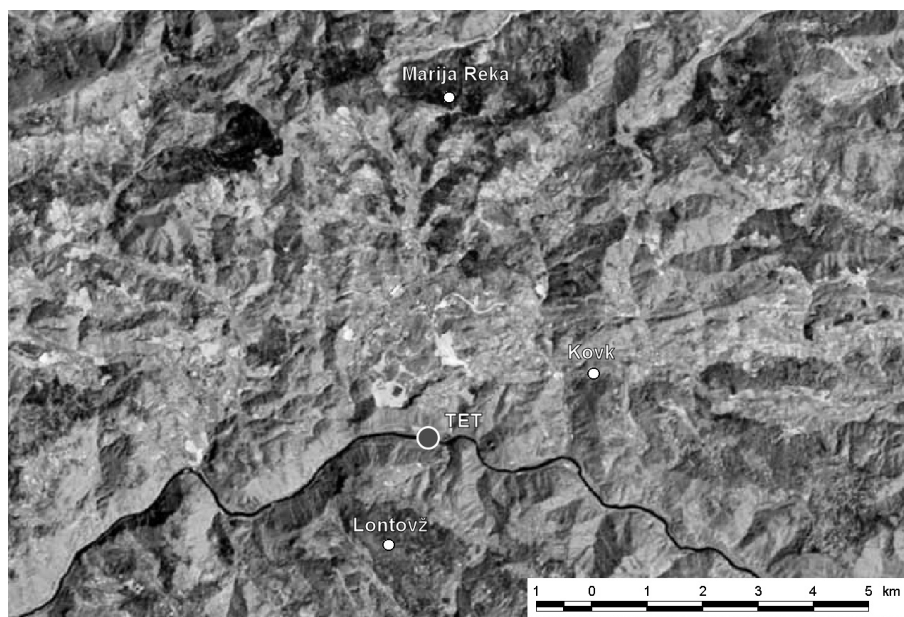
¹ Povprečje obdobja 1980-1994

² Povprečje je izračunano za obdobje od 1980-2003



Slika 1: Lokacija raziskovalnih ploskev v bližini termoelektrarne Šoštanj.

Fig. 1: Location of the research plots around coal-fired powerplant Šoštanj.



Slika 2: Lokacija raziskovalnih ploskev v bližini termoelektrarne Trbovlje.

Fig. 2: Location of the research plots around coal-fired powerplant Trbovlje.

ter ploskev na hribu Vinska gora³ nad Dobrno kot referenčno ploskev. Ploskve smo v nadaljevanju poimenovali po najbliž-

jih večjih krajih. V preglednicah 2 in 3 pa so podane natančne GPS-koordinate vseh raziskovalnih ploskev. Zavedajoč se vseh težav pri izboru ploskev na terenu smo se pri izbiri najprimernejših ploskev odločili za naslednja načela:

³ Nekoliko problematičen bi se morda lahko zdel izbor referenčne ploskve Vinska gora nad Dobrno, vendar je bila ta ploskev izbrana na osnovi informacij o prevladujočih vetrovih, ki smo jih dobili v TES.

Preglednica 2: Osnovni podatki o vzorčnih ploskvah v okolici TEŠ.

Table 2: Basic data on sampling locations around coal-fired Šoštanj powerplant.

	Vplivni ploskvi <i>Affected plots</i>		Referenčna ploskev <i>Reference plot</i>
	ZAVODNJE	TOPOLŠICA	VINSKA GORA
Krajevno ime	Petrov vrh	Lom nad Top.	Vinska gora
Nadmorska višina	857 m	752 m	680 m
Oddaljenost od termoelektrarne	6,7 km	4,2 km	12,6 km
GPS koordinata	N 46° 25,592'	N 46° 24,516'	N 46° 20,777'
	E 14° 59,055'	E 15° 00,110'	E 15° 11,627'
Matična podlaga	kisla tonalitna podlaga	apnenec	dolomitiziran apnenec
Naklon terena	15°	30°	20-30°
Ekspozicija / Exposition	S	J	J, JV
Zmes	smreka (80%), macesen (15%), bukev (5%)	bukev (60%), smreka (35%), drugi listavci (5%)	bukev (55%), smreka (30%), hrast, beli gaber (15%)
	Povprečni premer	40,2±4,46	32,7±2,99
Sklep krošenj	strnjen	strnjen	strnjen
Razvojna faza	debeljak, steljarjenje	mlajši debeljak	mlajši debeljak

- vse ploskve so morale biti obrnjene proti termoelektrarni,
- v bližini večine ploskev je morala bila nameščena postaja za merjenje različnih parametrov v zraku, med njimi tudi žveplovega dioksida,
- vse ploskve so morale ležati na nadmorski višini od 600 do 900 m,
- na vseh ploskvah je morala biti v strehi sestoj tudi smreka.

Klimatski podatki

Meteorological data

Meteorološke podatke, povprečne mesečne temperature in mesečno količino padavin smo pridobili za tri lokacije. V bližini TEŠ sta bili to merilni postaji Velenje s klimatskim nizom (temperatura, padavine) za obdobje 1951-2003 in imisijskim nizom za obdobje 1990-2003 ter Zavodnje z imisijskim nizom za obdobje 1990-2003. V bližini TET pa smo uporabili

Preglednica 3: Osnovni podatki o vzorčnih ploskvah v okolici TET.

Table 3: Basic data on sampling locations around coal-fired Trbovlje powerplant.

	Vplivni ploskvi <i>Affected plots</i>		Referenčna ploskev <i>Reference plot</i>
	KOVK	LONTOVŽ	MARIJA REKA
Krajevno ime	Kovk	Lontovž	Svinjski vrh
Nadmorska višina	660m	764 m	679 m
Oddaljenost od termoelektrarne	3,7 km	2,3 km	7,1 km
GPS koordinata	N 46° 08,003'	N 46° 06,097'	N 46° 11,070'
	E 15° 06,265'	E 15° 02,998'	E 15° 03,965'
Matična podlaga	apnenčasta	apnenčasta	kisli konglomerat
Naklon terena	10-15°	do 20°	do 20°
Ekspozicija / Exposition	SZ	S	JZ
Zmes	bukev (85%), smreka (10%), gorski javor in jesen (5%)	bukev (65%), smreka (10%), jelka (10%), drugo (15%)	smreka (70%), jelka (20%), pravi kostanj (5%) bukev (5%)
	Povprečni premer	43,3±5,16 cm	46,8±7,16
Sklep krošenj	strnjen	strnjen	strnjen do rahel
Razvojna faza	mlajši debeljak	mlajši debeljak	debeljak – smrekov nasad

meteorološko postajo Seveno na Dolenjskem s klimatskim nizom (temperature, padavine) za obdobje 1961-2003 in merilni mesti imisij na Kovku in Kumu za obdobje 1992-2003.

Vzorci

Samples

Na vsaki ploskvi smo analizirali po 16 dreves s po dvema 5 mm izvrtkoma na drevo. Izvrtke smo odvzeli s 400 mm pri-rastoslovnim svedrom SUUNTO. Odvzete vzorce smo shranili v plastične tulce, zalepili, jih označili s šifro in prenesli v laboratorij. V laboratoriju smo jih posušili in zalepili v lesene nosilce. Tako pripravljene vzorce smo zbrusili na industrijski tračni brusilki. Za brušenje smo uporabili brusne trakove različnih granulacij, začeli smo z granulacijo 180 in končali s 600.

Meritve širin branik smo opravili s programom WinDENDRO. Ta program je namenjen avtomatskemu prepoznavanju branik iglavcev in ga lahko s pridom uporabimo za hitro in preverljivo merjenje širin branik, ob ustrezni vhodni sliki pa tudi za merjenje gostote lesa v braniki. Vhod v program je skenirana slika (v formatu TIFF), ki smo jo v našem primeru zajeli z ločljivostjo 300 DPI in 24-bitno barvno globino. Slike smo obdelali in meritve shranili v formatu TUCSON 100, ki smo ga za nadaljnjo obdelavo (kontrola, sinhronizacija in datacija) prenesli v program PAST-4.

Standardizacija širin branik je bila opravljena v programu ARSTAN, izračun odvisnosti med klimo in standardiziranimi širinami branik pa v programu DendroCLIM 2002 (BIONDI / WAIKUL 2004). Za prenos podatkov med programi smo uporabili programa YUX in CASE, ki sta del DPL (Dendro-chronological Programme Library). Druge statistične analize so bile narejene v programu SYSTAT 11, grafi pa narisani v programu SigmaPLOT 9. Analiza značilnih let je bila opravljena v programu lastne izdelave P4P (Levanič / Ogrinc, neobjavljeno).

Analiza značilnih let

Analysis of pointer years

Po definiciji je značilno leto tisto, kjer več kot 80 % od najmanj 13 branik v določenem letu izkazuje dvig ali padec prirastka v primerjavi s predhodnim letom (SCHWEINGRU-

BER *et al.* 1990). Pozitivno značilno leto je odsev ugodnih rastnih razmer in rezultat takšnega leta je branika, ki se po svoji širini močneje razlikuje od sosednjih branik. Enako velja tudi za negativno značilno leto, le da se to pot zaradi neugodnih rastnih razmer branika po svoji ozkosti močno razlikuje od sosednjih branik.

Standardizacija časovnih vrst s programom ARSTAN

Standardisation of the time series with ARSTAN

Standardizacijo časovnih vrst smo opravili v programu ARSTAN (HOLMES 1994). Namen standardizacije časovnih vrst (v našem primeru zaporedij širin branik) je v skladu z modelom, ki ga je postavil Cook (1985), odstranitev starostnega trenda, maksimizacija klimatskega signala in minimizacija vseh drugih signalov, ki jih imamo v tem primeru za motnje. Standardizacijo opravimo tako, da skozi osnovna zaporedja širin branik potegnemo izbrano matematično funkcijo. V našem primeru smo pri vseh drevesih uporabili kubični zlepek s širino okna 21 let in s 50 % stabilizacijo (ohranitvijo) variance. Tako izbrana funkcija se dovolj dobro prilega našim podatkom, hkrati pa ne posega pretirano v klimatski signal (SCHICHLER 1996). Standardizirana krivulja je bila izračunana kot kvocient med dejanskimi in prilagojenimi vrednostmi. Kljub možnosti dvojne standardizacije, ki jo daje program ARSTAN, smo se v našem primeru odločili za enojno standardizacijo, ker smo se na podlagi ogleda osnovnih podatkov odločili, da dvojna standardizacija ni potrebna (HOLMES 1994). Program ARSTAN po končani standardizaciji pripravi datoteko, v kateri so shranjene tri oblike kronologije posamezne lokacije – kronologije so tipa STD, RES in ARS. V naši analizah smo uporabili samo kronologije RES, ki so standardizirano robustno povprečje ostankov (residuals) avtoregresivnega modeliranja zaporedij širin branik in imajo zelo močan klimatski signal.

Analiza odzivnih funkcij

Analysis of response functions

Odvisnost med klimatskimi dejavniki in širino branike smo preizkusili z odzivnimi funkcijami (COOK / KAIRI-UKSTIS 1990; GUIOT 1991). Z njimi odkrijemo tiste kli-

matske spremenljivke ali njihove kombinacije, ki statistično značilno vplivajo na rast dreves. V analizo smo vključili samo preizkus vpliva povprečnih mesečnih temperatur na intervalu od januarja (JAN) do decembra (DEC) tistega leta, v katerem je nastala branika.

Analize smo opravili s programom DendroCLIM 2002 (BIONDI / WAIKUL 2004). Za preprost izračun odzivne funkcije za obdobje prekrivanja klimatskih podatkov in širin branik smo pri preračunu uporabili metodo BOOTSTRAPED izračuna intervalov zaupanja za korelacijske in odzivne koeficiente (GUIOT 1991). Vsak izračun korelacijskega (ali response) koeficienta z metodo BOOSTRAPED je tako temeljil na 1000 ponovitvah z naključnim izborom iz analiziranega nabora podatkov. Dobljeni koeficienti so bili na analiziranem intervalu značilni s 5 % tveganjem.

REZULTATI RESULTS

Analiza debelinske rasti dreves na ploskvah *Analysis of radial increment on the plots*

Vsa analizirana drevesa so spadala med drevesa, ki oblikujejo streho sestoja. Pri tem smo še posebej pazili, da nismo odvzeli izvrtkov iz dreves s (pre)majhnimi krošnjami ali iz dreves z zelo očitnimi in večjimi poškodbami debla. Skupna značilnost dreves z lokacij okoli TEŠ je, da so bila v primerjavi z drevesi okoli TET bistveno tanjša. Osutost krošenj v Topolšici je nekoliko večja kot v Zavodnjah in Vinski gori. Osutost dreves v okolici TET pa je največja na Kovku, sledi Lontovž in na koncu Marija Reka, kjer so drevesa znatno

manj osuta kot na obeh vplivanih ploskvah. Vsi analizirani sestoji pa so imeli podoben sklep krošenj - povprečno drevo je bilo utesnjeno s treh strani.

Širine branik na ploskvah okoli TEŠ zaznamuje dokaj skladno odzivanje na okoljske spremembe in generalno počasno upadajoč trend širine branike po letu 1940 (slika 3). V obdobju med 1900 in 1940 je opazen vzpon prirastka, kar povezujemo z večjimi posegi v preučevane sestoje (verjetno močnejša redčenja ali velikopovršinski poseki). Primerjava širin branik na vplivanih ploskvah z referenčnimi je pokazala, da imajo drevesa na referenčni ploskvi nekoliko širše branike. Širine branik na obeh vplivanih ploskvah pa so primerljive in se bistveno ne razlikujejo. Vpliv TEŠ na širino branike pri analiziranih drevesih ni tako očiten, kot smo sprva pričakovali. Kljub temu pa zlahka opazimo, da imajo drevesa na vplivanih ploskvah Zavodnje in Topolšica v primerjavi z referenčno na Vinski gori ožje branike. V času največjih vplivov TEŠ na okolje so razlike v širini branike med vplivanimi in referenčno ploskvijo največje (obdobje med 1970 in 1991). Hud padec prirastka v letih 1992 in 1993 pa je povezan predvsem s izjemno sušnimi leti.

Širina branik na vplivanih ploskvah Kovk in Lontovž okoli Termoelektrarne Trbovlje je v obdobju od leta 1960 do 1980 znatno ožja kot na referenčni ploskvi Marija Reka (slika 4). V primerjavi s širinami branik in odzivom dreves na okoljske spremembe na ploskvah okoli TEŠ se prizadeta drevesa na vplivanih ploskvah okoli TET nekoliko slabše odzivajo na okoljske spremembe. Še najbolj izrazit je odziv v nekaterih najbolj negativnih značilnih letih (npr. 1992-1993 in 2003). Po letu 1976, ko je bil dograjen in dan v operativno rabo 360 m visoki dimnik, se širina branike na vplivanih ploskvah ko-

Preglednica 4: Osnovni podatki o širinah branik analiziranih dreves in o drevesih.

Table 4: Basic data on analysed trees and tree-ring widths.

Lokacija <i>Location</i>	Starost <i>Length</i>	Min. <i>Min.</i>	Maks. <i>Max.</i>	Srednja vrednost <i>Mean value</i>	Standardni odklon <i>Std.dev.</i>	Srednja stopnja občutljivosti <i>Mean sens.</i>	Povpr. premer <i>Average diameter</i>	Stand. odklon <i>Std.dev.</i>
	leta	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	±0.01 mm	-	cm	cm
Topolšica	87	46,1	366,1	156,8	63,434	0,287	32,7	2,99
Zavodnje	91	36,4	401,9	171,4	74,301	0,239	40,2	4,46
Vinska Gora	93	41,6	455,3	187,3	92,746	0,277	39,8	3,83
Kovk	91	74,4	503,4	213,2	89,113	0,228	43,3	5,16
Lontovž	81	65,8	444,8	224,9	82,042	0,230	46,8	7,16
Marija Reka	64	87,5	627,8	307,3	115,136	0,208	49,3	12,39

maj kaj popravi, se pa začne širina branike na referenčni ploskvi dokaj hitro ožati in postane po letu 1990 bolj ali manj enaka širini branike na obeh vplivanih ploskvah. Tu se pokaže, da je bila strategija postavitve 360 m visokega dimnika sicer dobra odločitev za ožje vplivano območje, nikakor pa ne za širšo okolico TET, ki je od takrat na večjem »udaru« emisij iz TET.

V splošnem lahko zaključimo, da se vpliv termoelektrom na širino branike kaže predvsem v ožjih branikah in omejeni odzivnosti na okoljske vplive (v najširšem smislu). To hkrati tudi pomeni, da proizvodna zmogljivost vplivanih rastišč ni niti izkoriščena niti optimalna. Močno variabilna širina branike pa negativno vpliva tudi na kakovost lesnega sortimenta, kar še dodatno zmanjšuje vrednost prizadetih sestojev.

Analiza klimatskega signala v branikah

Analysis of climatic signal in TRW

Odziv dreves na prizadetih in referenčnih ploskvah smo preučili tudi z vidika odziva na klimo. Klimatski signal je namreč neodvisen od stopnje onesnaževanja okolja in naj bi bil skupen vsem preučevanim drevesom. Ni pa nujno, da je odziv

drevesa glede na stopnjo vplivanosti enak in da lahko stopnja prizadetosti drevesa modificira ali popolnoma spremeni odziv drevesa na klimo. Odziv dreves na klimo, torej na povprečne mesečne temperature in mesečno količino padavin, smo analizirali s Spearmanovim korelacijskim koeficientom in metodo BOOTSTRAPED (preglednica 5 in preglednica 6). Odziv dreves na klimatske razmere v posebnih, za rast posebej neugodnih letih pa smo preučili z metodo značilnih let. V tem prispevku smo se omejili predvsem na negativna značilna leta, ki imajo daleč najbolj škodljiv vpliv na rast drevesa.

Korelacija med povprečno mesečno temperaturo in standardiziranimi širinami branik je pokazala, da se drevesa na skoraj vseh ploskvah, ne glede na vplivnost, zelo pozitivno odzivajo na nadpovprečne marčevske temperature (zgodnejši začetek vegetacijske sezone). Samo na eni ploskvi (Marija Reka) so se drevesa pozitivno odzvala na nadpovprečne februarске temperature, vendar je fiziološka razlaga tega težavna. Na ploskvi Vinska gora smo poleg pozitivnega odziva na nadpovprečne marčevske temperature ugotovili tudi negativen odziv na nadpovprečne junijske temperature (topleje je, ožje so branike), na ploskvi Topolšica pa še pozitiven odziv na nadpovprečne septembrske temperature.

Preglednica 5: Spearmanovi korelacijski koeficienti med standardiziranimi širinami branik (tip RES) in povprečno mesečno temperaturo. Prikazane so samo značilne korelacije ($p > 0,05$). Klimatska postaja za TEŠ je bila Velenje, za TET pa Sevno na Dolenjskem.

Table 5: Spearman's correlation coefficient between standardised tree-ring indices and average monthly temperature. Displayed are only significant correlations ($p > 0.05$), climate station: Velenje for TEŠ and Sevno for TET.

Temperature / Temperature												
Lokacija Location	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
TEŠ- Topolšica			+						+			
TEŠ-Zavodnje			+									
TEŠ-Vinska Gora			+			-						
TET-Kovk			+									
TET-Lontovž			+									
TET-Marija Reka		+										

Preglednica 6: Spearmanovi korelacijski koeficienti med standardiziranimi širinami branik (tip RES) in mesečno količino padavin. Prikazane so samo značilne korelacije ($p > 0,05$). Padavinska postaja za TEŠ je bila Velenje, za TET pa Sevno na Dolenjskem.

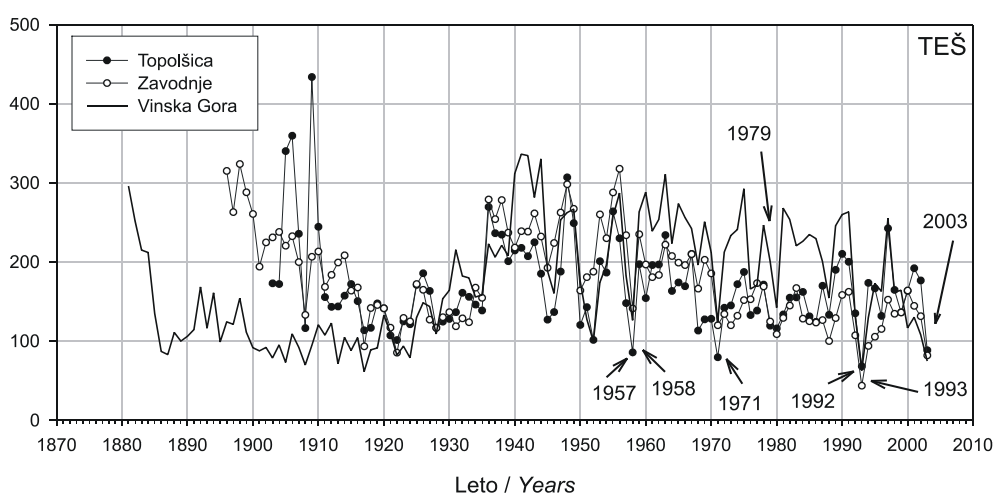
Table 6: Spearman's correlation coefficient between standardised tree-ring indices and monthly sum of precipitation. Displayed are only significant correlations ($p > 0.05$), climate station: Velenje for TEŠ and Sevno for TET.

Padavine / Precipitation												
Lokacija Location	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
TEŠ- Topolšica					+							
TEŠ-Zavodnje				+					-			
TEŠ-Vinska Gora					+	+				-		
TET-Kovk					+		+			-		
TET-Lontovž					+							
TET-Marija Reka					+				-	-		

Odziv dreves na mesečno količino padavin je bolj razno-ter kot odziv na povprečne mesečne temperature. V splošnem velja, da se drevesa zelo pozitivno odzivajo na nadpovprečne količine padavin v maju, ker poveča količino vode v tleh in ugodno vpliva na začetek kambijeve aktivnosti, in zelo negativno na nadpovprečne padavine v septembru ali oktobru, ki negativno vplivajo na temperaturo in jo znižujejo, kar povzroči zgodnejši zaključek vegetacijske sezone. Na nekaterih ploskvah smo ugotovili statistično značilne pozitivne odzive tudi v aprilu (Zavodnje), juniju (Vinska gora) in juliju (Kovk).

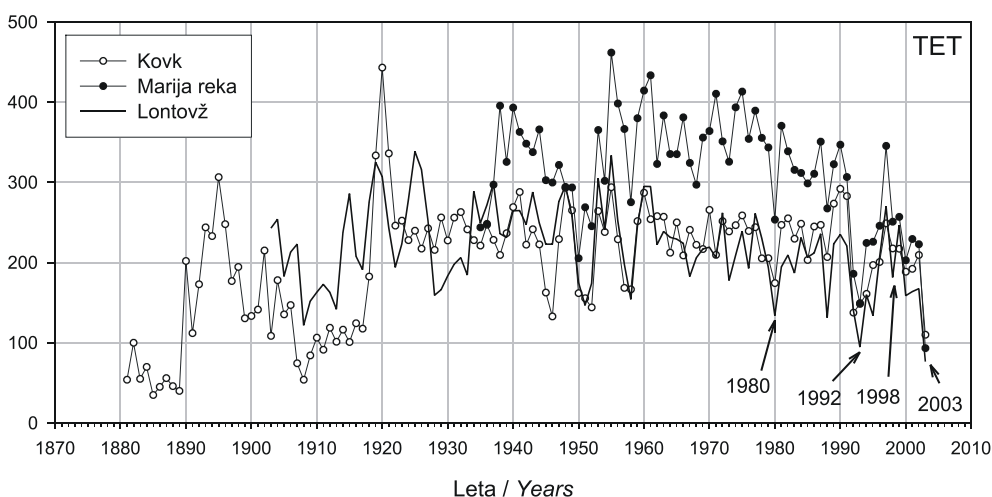
Statistično značilnih razlik med odzivi dreves na klimo na vplivanih in referenčnih ploskvah nismo ugotovili.

Analiza odziva smreke na klimatske razmere v značilnih letih je pokazala, da se drevesa ne glede na količino emisij SO₂ v zraku odzivajo na neugodne klimatske razmere bolj ali manj podobno (upad širine branike), medtem ko je odziv na ugodne klimatske razmere bolj izrazit na referenčnih ploskvah in manj na prizadetih (slika 3 in slika 4). Smreke na bolj izpostavljenih ploskvah so se v negativnih značilnih letih (topla in bolj suha leta) odzvale z izrazitim padcem širine bra-



Slika 3: Kronologije za dve vplivani ploskvi (Topolšica in Zavodnje) in referenčno ploskev (Vinska Gora) z označenimi negativnimi značilnimi leti – lokacije okoli Termoelektrane Šoštanj (TEŠ).

Fig. 3: Site chronologies for two affected (Topolšica and Zavodnje) and a reference plot (Vinska Gora) with marked pointer years – locations around coal-fired Šoštanj powerplant.



Slika 4: Kronologije za dve vplivani ploskvi (Kovk in Lontovž) in referenčno ploskev (Marija Reka) z označenimi negativnimi značilnimi leti – lokacije okoli Termoelektrane Trbovlje (TET).

Fig. 4: Site chronologies for two affected (Kovk and Lontovž) and a reference plot (Marija Reka) with marked pointer years – locations around coal-fired Trbovlje powerplant.

nike in z daljšo dobo vrnitve na približno enak nivo kot pred neugodnim letom v primerjavi z drevesi na referenčni lokaciji. Zaradi dolge dobe vrnitve na nivo pred nastopom neugodnih razmer obstaja velika verjetnost, da pride do ponovnega neugodnega leta in oslABLJENA drevesa imajo že v izhodišču bistveno slabše preživetvene možnosti kot vitalna drevesa.

Analiza vpliva onesnaževanja na širino branike

Effect of air pollution on TRW

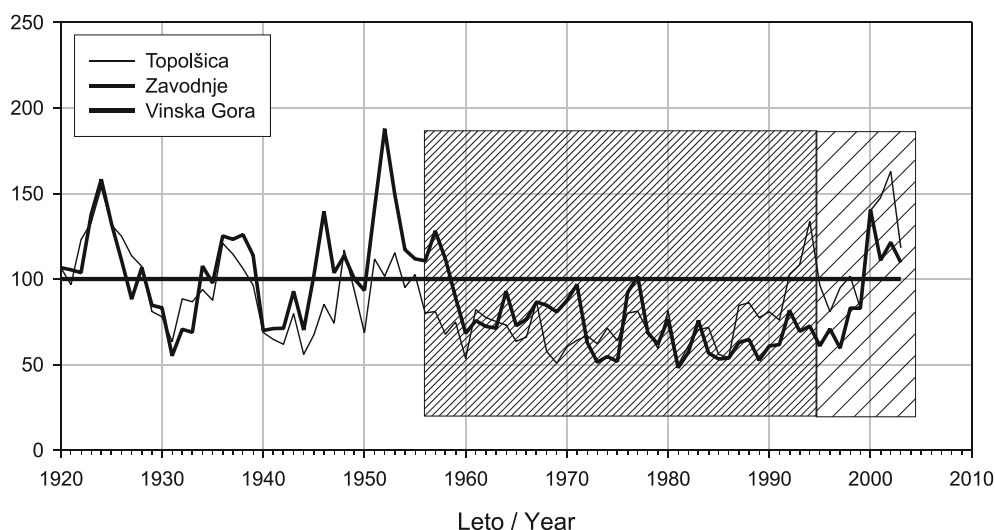
Na širino branike delujejo različni dejavniki, klimatski so med najpomembnejšimi, niso pa edini. V primeru izbranih ploskev okoli TET in TEŠ so na širino branike vplivale tudi emisije SO_2 iz obeh termoelektrarn. Ključno pri identifikaciji vpliva klime in onesnaževanja na širino branike je ločitev obeh signalov. Primerjava odziva širin branik na klimo je pokazala, da je odziv sicer skladen ne glede na prizadetost dreves in oddaljenost od elektrarne, da pa so bistvene razlike med prizadetimi in referenčnimi ploskvami v pogledu širine branike. To pomeni, da so na rast dreves vplivali še drugi, neklimatski dejavniki. Branike na referenčnih ploskvah so bile širše, odzivi dreves na okoljske dražljaje pa bolj intenzivni. Na lokacijah okoli termoelektrarne Šoštanj (Slika 5) smo

ugotovili, da je rast na referenčni ploskvi Vinska Gora med letoma 1940 in 1993 boljša, branike pa širše kot na vplivanih ploskvah Zavodnje in Topolšica. Šele po letu 1995, ko je bolj ali manj končana ekološka sanacija TEŠ (95 % SO_2 poberejo mokri kalcitni filtri, prašne delce pa elektrofiltri), se rast na vseh treh ploskvah bolj ali manj izenači, drevesom na prizadetih ploskvah pa se je tudi povrnila sposobnost hitrejšega in bolj intenzivnega odzivanja na negativne in pozitivne okoljske spremembe.

Vplivi na širino branike okoli Termoelektrarne Trbovlje (slika 6) so nekoliko drugačni v primerjavi s Termoelektrarno Šoštanj, tudi strategije varovanja okolja se med elektrarnama bistveno razlikuje. V TET so se tako lotili ekološke sanacije s postavitvijo prek 360 m visokega odvodnika in s tem onesnaževanje z SO_2 in drugimi plini razpršili na bistveno večje območje, s tem pa hudo lokalno obremenjenost znižali, širšo okolico pa bolj obremenili z emisijami.

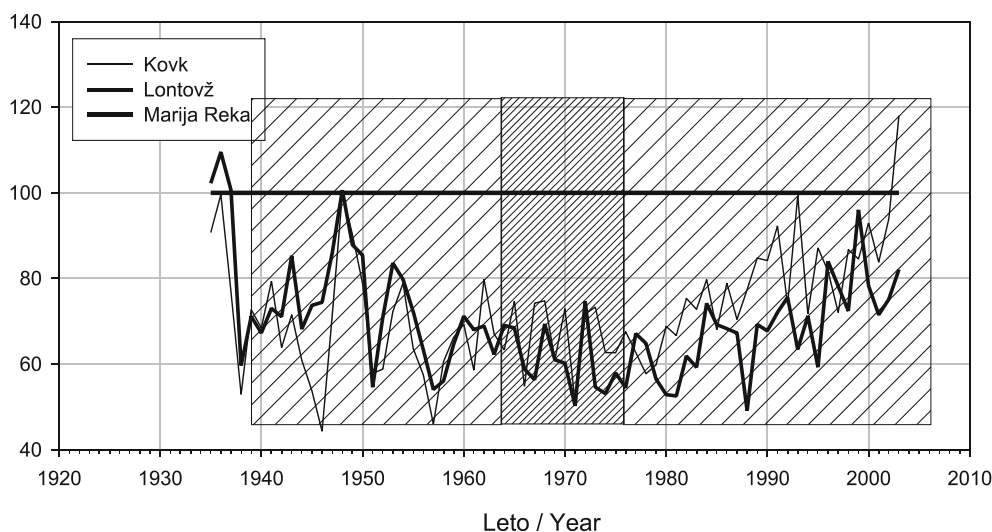
Branike na referenčni ploskvi Marija Reka so bile med letoma 1955 in 1992 bistveno širše kot na obeh vplivanih ploskvah (Kovk in Lontovž). Po letu 1992 (ki je bilo zelo sušno) pa so širine branik na vseh ploskvah bolj ali manj izenačene.

Zanimiva pri analizi debelinskega prirastka smrek na vplivanih ploskvah Kovk in Lontovž je ugotovitev, da je bil



Slika 5: Primerjava indeksov rasti med dvema prizadetima ploskvama - Topolšica in Zavodnje ter referenčno ploskvijo na Vinski Gori. Šrafirana kvadrata predstavljata obdobje vplivanja Termoelektrarne Šoštanj na okolico – gosta šrafura obdobje pred instalacijo čistilnih naprav, redka šrafura obdobje po inštalaciji čistilnih naprav.

Fig. 5: Comparison of indices between reference (Vinska Gora) and affected plots (Topolšica and Zavodnje). Hashed squares represent the period of certain influence of coal-fired power plant on the environment. Dark hashed square represents the period of severest influence, while light hashed squares represent the period of less severe influence.



Slika 6: Primerjava indeksov rasti med dvema prizadetima ploskvama - Kovk in Lontovž ter referenčno ploskvijo na Mariji Reki. Šrafirani kvadrati predstavljajo obdobje vplivanja Termoelektrarne Trbovlje na okolico – gosta šrafura predstavlja obdobje najhujših vplivov na okolico, redka šrafura pa obdobje manj intenzivnih vplivov na bližnjo okolico. Obdobje po letu 1976 je obdobje po postavitvi 360 m visokega dimnika.

Fig. 6: Comparison of indices between reference (Marija Reka) and affected plots (Kovk and Lontovž). Hashed squares represent the period of certain influence of coal-fired power plant on the environment. Dark hashed square represents the period of severest influence, while light hashed squares represent the period of less severe influence.

prirastek dreves na vplivanih ploskvah relativno nižji že pred letom 1968, ko je začel obratovati 125 MW blok TET. To lahko pomeni, da je bil vpliv TET znaten že v času obratovanja manjše termoelektrarne pred letom 1939 in da sta obe nadgradnji elektrarne iz let 1933 in 1939 moč elektrarne in emisije povečale do te mere, da so postali vplivi na okolje vidni v širinah branik.

RAZPRAVA DISCUSSION

Analiza širine branike smreke (*Picea abies* (L.) Karst.) v obdobju od leta 1900 do 2003 v bližini dveh termoelektrarn (Trbovlje in Šoštanj) je pokazala, da odziv dreves na imisije SO_2 ni tako preprost in enoznačen, kot se je sprva morda zdelo. Naša pričakovanja so bila, da bomo v širinah branik našli jasen signal v obliki ozkih branik, ki ga bo mogoče preprosto povezati z obdobji največjega onesnaževanja z SO_2 iz obeh termoelektrarn. A ni bilo tako. Drevesa in gozdni ekosistemi so veliko bolj kompleksni sistemi. Njihov odziv na okoljske in stresne dejavnike blažijo in uravnavajo notranji mehanizmi, ki imajo do neke mere sposobnost dušenja negativnih vplivov iz okolja. Ker smo preučevali samo širine branik dre-

ves, ki so preživela obdobje najhujšega onesnaževanja z SO_2 , smo pravzaprav preučevali odziv preživelih osebkov. Vpliva onesnaževanja na mortaliteto dreves v naši študiji nismo upoštevali. Primerjava naših rezultatov s predhodnimi študijami je pokazala, da se naše ugotovitve ujemajo z nekaterimi študijami, z drugimi pa ne.

Tako sta Kolar in Kotar (KOLAR 1989; KOTAR / KOLAR 1996) ugotavljala, da je debelinski prirastek v vplivnem območju TEŠ začel upadati že po letu 1962, kar lahko vidimo tudi iz naših krivulj. Hudi ožigi v zimi 1984/85 pa v naših kronologijah z Zavodenj in Topolšice niso jasno vidni, res pa je, da je bil v tem obdobju prirastek vseh analiziranih smrek skromen (in to ne samo v letu 1985). Še najbolj izrazit padec prirastka se je zgodil od leta 1970 na leto 1971. Upad prirastka v študiji Kotarja in Kolarja (1996) v letih 1989-1993 je po naših ugotovitvah povezan predvsem z dvema zelo suhima poletjema (1992 in 1993).

Ugotovitve, da je bila letna rast smreke do leta 1960 odvisna predvsem od klimatskih razmer, po letu 1968 pa naj bi prišlo do razlik med rastjo smreke v močno ogroženih sestojih v primerjavi z drugimi sestoji (FERLIN 1991), nismo mogli potrditi. Naše ugotovitve namreč kažejo, da se je smreka na vseh ploskvah (ne glede na prizadetost) dokaj dobro odzivala

na klimo. Pomembna razlika pa je v odzivu na negativne klimatske dejavnike, predvsem na sušo. V takšnem primeru so se bolj prizadete smreke občutljiveje odzvale, prirastki so bolj upadli in obdobja potrebna za vrnitev na približno normalno priraščanje so bila bistveno daljša kot pri manj prizadetih ali zdravih smrekah.

Ugotovitve Ribarič-Lasnik (1996) sicer niso neposredno primerljive z našo študijo, je pa zanimiva ugotovitev, da so bila drevesa v okolici TEŠ v letih 1991-1993 v multiplem okoljskem stresu. Naše ugotovitve namreč kažejo, da so bile širine branike v obdobju 1991-1993 pri vseh drevesih izjemno ozke. Za leti 1992 in 1993 pa je znano, da sta bili izjemno sušni in vroči, primerljivi z letom 2003. Tako se naše ugotovitve pridružujejo ugotovitvam, povezanim z multiplem stresom.

V splošnem lahko zaključimo, da so drevesa, ki so preživela obdobje najhujšega zračnega onesnaževanja, debelinski prirastek do neke mere reducirala, da so se na negativne klimatske ekstreme odzvala z močnejšim upadom prirastka kot drevesa na referenčnih ploskvah in da je bila vrnitev na približno enak prirastek kot pred nastopom negativnega klimatskega ekstrema daljša, lahko pa je bila celo prekinjena z nastopom novega negativnega klimatskega ekstrema, kar je močno poslabšalo vitalnost že tako oslabljenih dreves. V okolici TEŠ je glavni stresni dejavnik (emisije SO₂) prenehal po letu 1995, pozitivni učinki pa so se pokazali razmeroma hitro. Vsa analizirana drevesa so se na prenehanje onesnaževanja z SO₂ odzvala z dvigom debelinskega prirastka in večjo hitrostjo odzivanja na ekstremne klimatske razmere.

Razmere za rast dreves v neposredni okolici TET so se po letu 1976, ko so zgradili 360 m visoki odvodnik, relativno izboljšale, hkrati pa so se poslabšale na širšem območju. Tako ugotavljamo pri drevesih bliže TET dvig debelinskega prirastka, pri drevesih na referenčni ploskvi pa padec. Relativno gledano se po letu 1976 debelinski prirastki dreves na izpostavljenih in referenčnih ploskvah počasi, a zanesljivo izenačujejo.

SUMMARY

The objective of the study was to evaluate the influence of significantly increased level of sulphur dioxide on the radial increment in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) on two locations in the vicinity of the coal-fired powerplants

Šoštanj (TEŠ) and Trbovlje (TET). To study this, we decided to evaluate the tree-ring widths (TRW) of Norway spruce before, during and after the period of the most intense air pollution with SO₂ produced by burning fossil fuels. In addition to evaluating the effect of air pollution, we also considered the effects of climatic conditions on radial increment.

Three plots were chosen around each power plant – two affected plots and a reference plot without any significant effects of the powerplant. Mature dominant and codominant Norway spruces (*Picea abies* (L.) Karsten) with normally developed crowns and no visible mechanical damages along stem were chosen as the research objects of our study. Tree health was determined by visual assessment of needle loss according to a modified four-point scale as per Bosshard. Additionally, we measured the diameter at breast height and determined the oppression of the crown.

Using a SUUNTO 400 mm increment borer on the opposite sides of the tree, perpendicular to the slope, two 5 mm cores per tree were taken from standing trees at the breast height of 1.3 m. All cores were dried, glued onto a wooden holder and their surface sanded before measuring. Samples have been scanned by UMAX Astra 4700 scanner and stored in TIFF format. Images were analysed in WinDENDRO 2003a programme. The measurements were exported to the PAST-4 dendrochronological programme for crossdating and quality control. Gradually, by adding sequences of crossdated tree-ring widths, we built a site chronology for each plot. Standardised site chronologies were compared to the climate data and the data of sulphur dioxide emissions.

TRW (Tree-rings widths)

The evaluation of tree condition, which included tree health, social status, the diameter at breast height and the oppression of the crown, showed that the trees in the reference plots were in better condition than the trees in the affected plots. The differences between the plots round TEŠ were less obvious, which might be the result of reduction in emissions from TEŠ in the last fifteen years; as regards TET, the construction of the 360 m high chimney in 1976 did cause a decrease of SO₂ emissions in the vicinity of the power plant, but also caused their dispersion into a larger area. Due to the increased production in TET in the last thirty years, the SO₂ emissions were increasing until 2005, when the filters were installed.

In the vicinity of TEŠ, major differences between the radial increment in the affected plots (Zavodnje, Topolšica) and increment in the reference plot (Vinska Gora) were observed from 1958, when the production started, until 1991, when the first filters were installed and air pollution was significantly reduced. In comparison to the increment in the reference plot, the deviation of radial increment in both affected plots was negative throughout that period, which means that the tree ring widths measured in the affected trees were narrower. After 1991, radial increment became more and more similar in all the plots, yet it remains low which could be the result of the influence of unfavourable climatic conditions, especially above average summer temperatures.

In the vicinity of TET, the best radial growth was measured on the reference Marija Reka plot throughout the observed period. First differences between the affected plots and reference were observed soon after 1938. However, this difference was not long-lasting and between 1950 and 1956 trees on all plots around TET grew very similar. After 1958, differences between the affected plot and reference became evident again. The differences in radial increment between the affected and the healthy trees become less obvious after 1979, as a result of the increment decrease in Marija Reka rather than its increase in the both affected plots. The major difference between the radial increment in the reference and the affected plots was observed between 1958 and 1979, in the period of most intense pollution. Further decrease was observed in 1992, when dry year occurred and growth on a reference plot decrease significantly and matched up with both affected plots. Recovery after 1992 event was not successful and tree-ring widths remain at a same level as those on the affected plots. Difference in tree-ring width, which became apparent after 1958, can be directly connected to the increased capacity of the old TET to up to 60 MW and the consequential increase of air pollution with SO₂.

It can be concluded that after building a chimney in 1976, the radial increment of Norway spruce around TET did not improve significantly, but on the other hand the increase in the variability of the tree-ring width was observed, suggesting that the affected trees regained the capability to react to the changing environmental conditions. It is also evident that the increment in Marija Reka decreased after the construction of the chimney, which can be attributed to the dispersion of

emissions from TET into a larger area as well as, in the last two decades, to the rising temperatures.

TRW & CLIMATE

The analysis of the tree ring widths showed that the radial growth of Norway spruce in all plots is strongly related to climatic conditions throughout the observed period. Responses of the trees from the affected and reference plots to climate are comparable, although it must be noted that compared to the healthy trees, the affected trees showed reduced response to the favourable climatic conditions and more pronounced response to the unfavourable climatic conditions during the period of the most severe pollution (e.g. TEŠ: 1972-1994, TET: 1958-1976).

The analysis of pointer years showed that all positive pointer years are related to below average temperatures in the summer period (May-June-July-August), whereas all negative pointer years are related to above average temperatures in the summer period. The comparison between pointer years and precipitation showed that positive pointer years are related to the above average amount of precipitation in the summer period, while negative pointer years are related to the below average precipitation in that period.

Statistical analysis of the relationship between the climate and the tree ring width based on a BOOTSTRAPED procedure showed a significant positive influence of above average temperatures in March and partially in September on all plots around both power plants. The influence of above average precipitation was significantly positive on all plots in May (partially in April) and significantly negative on all plots in October and partially in September.

SO₂ & TRW

Despite the undoubtedly strong influence of climate on the radial increment of Norway spruce, the influence of high emissions of SO₂ cannot be ignored. Considering the shortage of data regarding SO₂ emissions, we used the data of its emissions from the power plants as criteria for burdening the vicinity of those plants with SO₂ and relative comparison of tree-ring widths between affected and reference plots.

Until the beginning of their activity and rising of their production (TEŠ – 1956, TET – 1958), the radial increment of Norway spruce responded well to all environmental factors

in all plots in the vicinity of both power plants; there was no indication of any major differences between the increment in the affected and reference plots.

The situation changed after the beginning of intense pollution. Compared to the healthy trees, the affected trees showed reduced response to favourable climatic conditions and more sensitive response to unfavourable climatic conditions; beside this, we also noticed that the duration of stress and return to a level prior the onset of a stress condition was longer compared to reference plots. Radial increment in the affected plots was significantly lower than the increment in reference plots and the similarity between chronologies of the affected plots was higher than the similarity between chronologies of the affected and reference plots.

After reducing SO₂ emissions from TEŠ – as a result of installing filters in 1995 and 2000 – and reducing pollution in the surrounding areas of TET by building a 360 m high chimney in 1976, the radial increment in the affected plots began to increase.

VIRI REFERENCES

- BIONDI, F. / WAIKUL, K., 2004. DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies.- *Computers & Geosciences* 30: 303-311.
- COOK, E. R., 1985. Time series analysis approach to tree ring standardization.- Dissertation, Tucson, University of Arizona, Laboratory of Tree-Ring Research, 171 p.
- COOK, E. R. / KAIRIUKSTIS, L. A., 1990. *Methods of dendrochronology (applications in the environmental sciences)*.- Dordrecht, Boston, London, Kluwer academic publishers, 394 s.
- DEJANOVIČ, B., 1995. Termoelektrarna Šoštanj, letno poročilo za leto 1994.- Termoelektrarna, Šoštanj.
- FERLIN, F., 1991. Some characteristics of dieback phenomena of Norway spruce and its growth response to the air pollution stress.- *Research Reports Forestry and Wood Technology* 37: 125-156.
- GUIOT, J., 1991. The Bootstrapped Response Function.- *Tree-Ring Bulletin* 51: 39-41.
- HOLMES, R. L., 1994. *Dendrochronology program library.- Users manual*, Tucson, University of Arizona, Laboratory of Tree-Ring Research, 55 p.
- KOLAR, I., 1989. Umiranje smreke v gozdovih Šaleške doline.- *ZbGL* 34: 121-198.
- KOTAR, M. / KOLAR, I., 1996. Vpliv imisij iz termoelektrarne Šoštanj na smrekove gozdove v Šaleški dolini.- *ZbGL* 48: 77-134.
- KOVAČ, M. / SIMONČIČ, P. / BOGATAJ, N. / BATIČ, F. / JURC, D. A. / HOČEVAR, M., 1995. *Monitoring propadanja gozdov - priročnik za terensko snemanje podatkov*.- Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, 50 s.
- LEDNIK, A., 2004. Termoelektrarna Šoštanj.- Termoelektrarna Šoštanj, Šoštanj.
- LENARČIČ, T., 1998. Termoelektrarna Trbovlje 1906-1988-1998.- Trbovlje, Termoelektrarna Trbovlje d.o.o.,
- RIBARIČ-LASNIK, C., 1996. Ugotavljanje stresa pri smreki (*Picea abies* (L.) Karst.) na osnovi biokemičnih analiz iglic na vplivnem območju Termoelektrarne Šoštanj.- Doktorska disertacija, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, 290 p.
- RIBARIČ-LASNIK, C. / PAČNIK, L. / SAVINEK, K. / BIENELLI KALPIČ, A. / PLUT, D. / BOLE, M. / KUGONIČ, N. / BERIČNIK VRBOVŠEK, J. / PETKOVŠEK, S. / POKORNY, B. / GLASENIČNIK, E. / PAVŠEK, Z., 2001. Onesnaženost okolja in naravni viri kot dejavniki razvoja v Zasavski regiji - modelni pristop.- Velenje, ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave.
- ROTNIK, U. / RIBARIČ-LASNIK, C., 2004. BiTEŠ 2003, poročilo o proizvodnji, vzdrževanju in ekoloških obremenitvah TE Šoštanj.- Šoštanj, ERICo - Inštitut za ekološke raziskave.
- SCHICHLER, B., 1996. *Dendroökologische Untersuchungen an Tanne (Abies alba Mill.) in den Dinarsichen Bergen in Slowenien unter Einsatz verschiedener Standardisierungsverfahren*.- diplomska naloga, Hamburg, Universität Hamburg, Institut für Holzbiologie, 54 p.
- SCHWEINGRUBER, F. H. / ECKSTEIN, D. / SERRE-BACHET, F. / BRÄKER, O. U., 1990. *Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology*.- *Dendrochronologia* 8: 9-38.
- SIMONČIČ, P. / KALAN, P. / KRAIGHER, H. / LEVANIČ, T. / URBANČIČ, M. / VILHAR, U., 2003. The response of the forest ecosystem to the reduction of thermal power plant SO₂ emissions with emphases on nutrient cycling.- *Ekológia (Bratisl.)* 22, suppl. 1: 336-339.
- VIDERGAR-GORJUP, N. / BATIČ, F., 1999. Naravne danosti, onesnaževanje okolja in stanje vegetacije na območju Zasavja.- *GozdV* 57: 80-91.
- VIDERGAR-GORJUP, N. / KLEMENČIČ, S., 1992. Revegetacija nad termoelektrarno Trbovlje.- Trbovlje, Termoelektrarna Trbovlje.

ZAHVALA ACKNOWLEDGMENT

Avtorja se za posredovanje podatkov o delovanju obeh termoelektrarn vodji ekološke službe zahvaljujeta Egonu Juraču iz TEŠ in vodji ekološke službe Mihaelu Vengustu iz TET. Prav tako se zahvaljujeva mag. Tadeji Ovsenik iz ARSO za podatke o klimatskih parametrih in dr. Igorju Čuhalevu iz Elektroinštituta Milan Vidmar ter Antonu Planinšku iz ARSO za podatke o emisijah in imisijah SO₂. Hvala tudi Špeli Kraševcu in Filipu Nebrigiču za pomoč pri delu na terenu in v dendrokronološkem laboratoriju.