

GDK 425.1 : 174.7 Picea Abies (L.) Karst.: 561.24 : 111.8 : 624.3

NEKATERE ZNAČILNOSTI POJAVA UMIRANJA SMREKE IN NJENEGA PRIRASTNEGA ODZIVANJA NA IMISIJSKE STRESE

Franc FERLIN *

Izveček

Raziskava obravnava vpliv neposrednega in posrednega (daljinskega) onesnaževanja ozračja na rast smreke v odraslih sestojih. Zasnovana je bila v predalpskem, alpskem in preddinarskem delu Slovenije. Raziskane so bile nekatere populacijsko-ekološke značilnosti fenomena njenega umiranja v odvisnosti od vrste in jakosti imisijskih stresov. Dendrokronološko je bilo proučeno prirastno obnašanje 250 dominantnih smrek v petih sestojih v zadnjih 50 letih. Analizirane so bile dolgoročne in trenutne prirastne spremembe v odvisnosti od zdravstvenega stanja dreves. Posredno je bil upoštevan vpliv klimatskih dejavnikov. Trendi relativne prirastne učinkovitosti dreves so bili v sestojih ožjega imisijskega območja korelirani s trendom polucije v termoelektrarni Šoštanj. Podane so bile splošne gozdnogojitvene usmeritve za nego in obnovo imisijsko ogroženih smrekovih sestojev.

Ključne besede: imisijski stres, propadanje smreke, imisijska odpornost, širina branik, kazalna leta, nenadne prirastne spremembe, klimatski dejavniki, dendrokronologija

SOME CHARACTERISTICS OF DIEBACK PHENOMENA OF NORWAY SPRUCE AND ITS GROWTH RESPONSE TO THE AIR POLLUTION STRESS

Franc FERLIN *

Abstract

The paper concerns the direct and indirect impact of air pollution on the growth of Norway spruce in mature stands. Some population-ecological characteristics of dieback phenomena of spruce related to the character and intensity of air pollution stress were studied. Growth behaviour of 250 spruce trees from the pre-Alpine, Alpine and pre-Dinaric regions of Slovenia in the course of the last 50 years was dendrochronologically analysed. The long and short-term growth changes in terms of the health condition of trees were examined and climatic factors were also taken into account. In the narrow emission area the trends of relative growing efficiency of trees were correlated with the trends of pollution caused by the thermal power plant of Šoštanj. General silvicultural strategies of tending and regeneration of severely endangered spruce stands were suggested.

Key words: air pollution stress, spruce decline, emission resistance, ring width, diagnostic rings, abrupt growth changes, climatic factors, dendrochronology

* mag., dipl.inž. gozd., asist., Gozdarski oddelek Biotehniške fakultete, 61 000 Ljubljana, Večna pot 83

VSEBINA

1	UVOD.....	127
2	CILJ RAZISKAVE	127
3	RAZISKOVALNI OBJEKTI.....	128
3.1	IZBIRA SESTOJEV	128
3.2	ZNAČILNOSTI RAZISKOVANIH SESTOJEV.....	129
4	RAZISKOVALNE METODEDE	131
4.1	ANALIZE NA RAZISKOVALNIH PLOSKVAH	131
4.1.1	Pregled meritev in ocen posameznih drevesnih spremenljivk.....	131
4.1.2	Opredelitev nekaterih pomembnejših spremenljivk.....	131
4.2	DENDROKRONOLOŠKE IN STATISTIČNE ANALIZE.....	133
5	UGOTOVITVE IN RAZPRAVA.....	134
5.1	ZNAČILNOSTI FENOMENA UMIRANJA SMREKE V ENOMERNIH SESTOJIH GLEDE NA ZNAČAJ IMISIJSKIH STRESOV	134
5.1.1	Poškodovanost dreves glede na združbeni položaj in vitalnost.....	134
5.1.2	Poškodovanost dreves v odvisnosti od konkurenčnih razmer v sestoju.....	135
5.1.3	Imisijska odpornost in propad dreves	136
5.2	PRIRASTNO ODZIVANJE SMREKE NA IMISIJSKE STRESE RAZLIČNIH JAKOSTI IN POMEN PODNEBNIH DEJAVNIKOV	138
5.2.1	Klimatska pogojenost letnega prirastnega obnašanja dreves zadnjih 50 let in kazalna leta	138
5.2.2	Vpliv imisijskih stresov na dolgoročne prirastne trende	140
5.2.3	Upad trendov relativne učinkovitosti priraščanja dreves in njihova odvisnost od trenda emisij v TE Šoštanj	144
5.2.4	Nenadne prirastne spremembe kot posledica imisijskih in klimatskih stresov	146
5.2.5	Diferenciacija prirastnih trendov v odvisnosti od osutosti krošenj.....	147
6	POVZETEK.....	149
7	SUMMARY	150
8	REFERENCE.....	152
	PRILOGE.....	155

1 UVOD

Pričujoče delo je nastalo v okviru raziskovalne naloge "Raziskava prirastka in proizvodne sposobnosti sestojev v odvisnosti od onesnaženja zraka", ki je bila v ožjem obsegu tudi podlaga magistrskemu delu (FERLIN 1990). Pričetek raziskovanja v letu 1986 je sovpadal z nastopom vidnih znakov t.i. umiranja gozdov, katerega posledice so se v smrekovih gozdovih severne Slovenije, pod vplivom imisij termoelektrarne Šoštanj pokazale tudi v nenadnem propadanju dreves. Za razliko od nekaterih dosedanjih, prirastoslovnih raziskav umiranja gozdov pri nas (KOLAR 1989, CENČIČ 1990, HOČEVAR 1991) in mnogih tujih, ima fiziološki del te raziskave dendrokronološki značaj. Dendrokronološke metode so namreč podlaga proučevanju zakonitosti prirastnega odzivanja dreves v odvisnosti od klimatskih vplivov in raznih motenj v preteklosti. Zaradi svoje objektivnosti so zelo primerne tudi za ugotavljanje imisijsko pogojenih prirastnih izgub.

V evropskem prostoru so se raziskave fenomena umiranja gozda pričele z vso intenzivnostjo po letu 1980, še posebno pa po letu 1983. Pregled najpomembnejših objavljenih del s tega področja (SCHMIDT-VOGT 1989) kaže, da je bilo do leta 1989 izvedeno okrog 2000 različnih raziskav. Med fiziološkimi raziskavami so prisotne takšne, ki upoštevajo daljšo časovno komponento (dendrokronološke) ter raziskave, ki jo le delno ali pa celo ne upoštevajo (prirastoslovne). Pogosto se obe vrsti raziskav dopolnjujeta. Med raziskavami letne rasti dreves so še posebno zanimive tiste, ki upoštevajo tudi podnebne dejavnike (dendroklimatološke).

Kljub velikemu številu dosedanjih tovrstnih raziskav je razmeroma malo takih, ki proučujejo populacijsko-ekološke vidike imisijske odpornosti smreke na podlagi zdravstvenega stanja in mortalitete dreves. Prav tako je malo raziskav, ki odkrivajo temeljne zakonitosti prirastnega odzivanja smreke na imisijske in klimatske strese. Večina raziskav ima zaradi velike raznolikosti izsledkov, ki so pogojeni tako z objektivnimi kot tudi subjektivnimi vplivi številnih dejavnikov, omejeno (lokalno) vrednost.

Spoznanja o značilnostih prirastnega odzivanja ter o občutljivosti oziroma imisijski odpornosti smreke so ključnega pomena za prilagojeno gozdnogojitveno ravnanje in varstvo v ogroženih smrekovih sestojih. Pri tem velja posebna pozornost proučevanju dinamike procesa umiranja in študiju preživetvenih možnosti smreke v naravi prepuščenih sestojih.

2 CILJ RAZISKAVE

Splošni cilj raziskave je proučevanje in primerjava vplivov neposrednega (bližinskega) in posrednega (daljinskega) transporta onesnaževanja ozračja na rast smreke v odraslih - delno naravnih, delno umetnih sestojih predalpskega, alpskega in preddinarskega predela Slovenije. Proučevanje neposrednih imisijskih vplivov je omejeno na gorski pas

severozahodnega obrobja Šaleške doline in jugozahodnega Pohorja (termoelektrarna Šoštanj), medtem ko študij vplivov daljinskega transporta onenaževanja zajema alpski predel s starejšimi naravnimi (Pokljuka) ter preddinarski z mlajšimi, umetnimi smrekovimi sestoji (Kočevska).

Populacijsko-ekološki del raziskave o značilnostih fenomena umiranja smreke v enodobnih in enomernih sestojih v odvisnosti od vrste in jakosti imisijskih stresov ima naslednje cilje:

- spoznati zdravstveno stanje (poškodovanost) dreves znotraj sestojev v odvisnosti od združenih razmer, vitalnosti dreves ter konkurenčnih odnosov med njimi;
- proučiti umrljivost dreves zaradi imisijskih stresov kot podlago za spoznanja o imisijski odpornosti oziroma občutljivosti različnih "delov" populacije dreves.

Fiziološki (dendrokronološki) del raziskave temelji na tehle ciljih:

- proučiti dolgoletne prirastne trende ter relativno prirastno učinkovitost dreves različno ogroženih sestojev;
- ugotoviti imisijsko pogojene izgube letnega prirastka dreves ob upoštevanju vpliva klimatskih dejavnikov;
- odkriti morebitne povezave priraščanja dreves z naraščanjem emisij v sestojih ožjega imisijskega območja termoelektrarne Šoštanj;
- razčleniti prirastno obnašanje različno poškodovanih dreves znotraj sestojev.

3 RAZISKOVALNI OBJEKTI

3.1 IZBIRA SESTOJEV

Raziskovalni objekti so odrasli smrekovi sestoji v srednji optimalni fazi, v kateri sta naravno izločanje in konkurenca med osebki minimalna, nosilci funkcij pa že izoblikovani. Kriteriji za izbiro sestojev so bili naslednji:

- sestoji naj imajo nad 70 % smreke v lesni zalogi; v primeru izgube lesne zaloge zaradi propadanja smreke naj ta zahteva velja za obdobje pred pričetkom propadanja;
- sestoji naj bodo enodobni oziroma čimbolj enomerni ter rastiščno in starostno enotni;
- posegi v sestojih v zadnjem času naj bodo šibki (razen sečenj zaradi propadanja dreves);
- zastrtost s krošnjami v sestojih, kjer do propada dreves še ni prišlo, naj bo čim večja (nad 80 %),
- vplivi različnih biotskih (npr. rdeča gniloba, lubadar) in abiotskih motenj (npr. sneg, veter) ter človeka (npr. mehanske poškodbe) naj bodo čim manjši.

Na podlagi kriterijev smo predhodno, najprej v ožjem in nato še v širšem imisijskem območju termoelektrarne Šoštanj poiskali primerne smrekove sestoje. Med njimi smo naključno izbrali po enega izmed močno (Zavodnje), zmerno (Sleme) in rahlo ogroženih sestojev (Mislinja); neogroženega smrekovega sestoja ni bilo mogoče najti. Pri tem smo

upoštevali tudi primerljivost rastišča, nadmorske višine in mezoklimatskih razmer. Kasneje je bila raziskava razširjena še na področje daljinskega transporta v alpski (Pokljuka) in preddinarski prostor (Kočevski Rog), kjer smo izbrali le po en rahlo ogrožen smrekov sesto. V vsakem sestoju smo naključno izbrali 5 trajnih vzorčnih ploskev velikosti 9 arov. Takšna velikost in število raziskovalnih ploskev sta se izkazala kot optimalna pri primerjavah nekaterih sestojnih parametrov rasti visokogorskih smrekovih sestojev (KOTAR 1980).

Raziskava ima značaj študija posamičnega primera - sestoja ("case study method"), kar ustreza njenemu glavnemu cilju: proučevanju značilnosti umiranja ter prirastnega odzivanja smreke na imisijske strese. Na podlagi številnih raziskav ter lastnih izkušenj in spoznanj namreč sodim, da so nekatere temeljne populacijsko-ekološke in fiziološke značilnosti smreke pod vplivom imisijskih stresov splošno veljavne za vse odrasle smrekove sestoj s podobno zgradbo in nastankom, s podobnim značajem imisijskih vplivov (neposredni, posredni), s podobno stopnjo ogroženosti ter v podobnih klimatskih razmerah.

3.2 ZNAČILNOSTI RAZISKOVANIH SESTOJEV

(1) Šaleška dolina - Šentvid pri Zavodnju

Prvi, močno ogroženi sesto. leži v nadmorski višini 800 - 850 m na severozahodnem obrobju Šaleške doline in je 8.5 km oddaljen od izvora onesnaženja. Večina smrekovih gozdov je ravno na tem območju, na sicer skromnejših bukovih rastiščih na tonalitu (*Quercus Luzulo Fagetum*) močno ogroženih (KOLAR 1989). K močni ogroženosti teh gozdov verjetno prispevajo specifične rastiščne, reliefne in z njimi povezane mezoklimatske razmere (LEŠNJAK et al. 1989). Ti gozdovi ležijo pod zimsko inverzijsko plastjo zraka in so v splošnem celo bolj ogroženi kot gozdovi bliže izvoru onesnaževanja. V zimskem času leta 1984/85 in 1985/86 so v teh sestojih nastopile močne akutne poškodbe ("ožigi") smreke, katerih posledica je bil množični propad dreves. Zastrtost proučevanega sestoja je zelo majhna, mlajše in starejše vrzeli so deloma pomlajene s smreko (starost mladja do 10 let), deloma pa zapleveljene (praprot).

(2) Šaleška dolina - Bačovski vrh pri Slemenu

Drugi, zmerno ogroženi sesto. leži prav tako v severozahodnem delu Šaleške doline v nadmorski višini 1050 - 1100 m in je 11.5 km oddaljen od izvora onesnaževanja. Gozdovi v teh višinah ležijo nad zimsko inverzijsko plastjo zraka, orografske razmere so ugodnejše, neposredni imisijski vplivi pa niso tako močni. Imisijska ogroženost je manjša kot v prvem območju; ožigi dreves so bili redki. Sesto. je naravnega nastanka, mladje se je razvijalo pod zastorom. Rastišče je *Abieti Fagetum luzuletosum*, kamenina pa glinasti skrilavci. V delu sestoja so, predvsem zaradi izpada jelke, nastale manjše vrzeli, ki so pomlajene s smreko (starost mladja do 15 let) in jelko. Enomerna zgradba sestoja zato ponekod že prehaja v raznomerno.

(3) Pohorje - Mislinjski jarek

Tretji, rahlo ogroženi sestoj leži na jugozahodnem delu Pohorja v nadmorski višini 850 - 1150 m. Je sicer le 19.0 km oddaljen od termoelektrarne Šoštanj, vendar so tu imisijski vplivi zaradi orografske zaprtosti Šaleške doline precej blažji. Gre za prehod med neposrednim in daljinskim transportom imisij. Večji del sestoja leži nad inverzijsko plastjo zraka. Smreka je začela kazati znake poškodovanosti zadnjih nekaj let (po letu 1985), še posebno izrazito v sušnem letu 1988. Takrat je tudi obilno semenila. Propad dreves zaradi imisijskih stresov se še ni pojavil. Gozdovi so tipične monokulture na bukovih rastiščih (*Luzulo- in Savensi Fagetum*). Matična podlaga tvorijo tonalit in krušljivi gnajsi. Redčenja v preteklosti so bila zmerna. Nosilci funkcij so lepo izoblikovani.

(4) Pokljuka - Pod Lipanco

Četrty sestoj predstavlja odrasle, naravne alpske smrekove sestoje na poključki planoti, v nadmorski višini 1300 - 1350 m. Ima enomerni značaj, starostne razlike dreves dosegajo do 30 let. Rastišče je *Adenostyllo glabrae Piceetum*, matična podlaga karbonatna. Procesi umiranja smreke zaradi daljinskega transporta polutantov so se tudi v teh gozdovih že pričeli.

Preglednica 1 Nekatere ekološke in prirastoslovne značilnosti raziskovanih smrekovih sestojev

Tabele 1 *Einige oekologische und ertragskundliche Charakteristiken der Fichten-Versuchsbestaende*

Table 1 *Some ecological and physiological characteristics of spruce stands under consideration*

sestoj (Bestand) ->	Bližinske imisije (Nahimissionen)			Daljinske imisije (Fernimissionen)	
	(1) Zavodnje	(2) Sleme	(3) Mislinja	(4) Pokljuka	(5) Kočevje
Ogroženost (Gefaehrdung)	močna (stark)	zmerna (maessig)	rahla (schwach)	rahla (schwach)	rahla (schwach)
nadm.v. (Ue.m.h.)	800-850	1050-1100	850-1150	1300-1350	520-550
Ekspozicija	O-NO	O-NO	S-SW	ravno (S)	S-SW
Nagib (Neigung)	50-60 %	20-55 %	20-30 %	0-10 %	5-15 %
Delež sm. (Fi-Ant.)	nad 70 %	nad 70 %	100 %	100 %	nad 95 %
Zastr. (Bestock.)	40-65 %	60-85 %	80-100 %	80-100 %	80-100 %
Starost (Alter)	80-90	95-105	100	130-160	70
SIND _(50 EAFV)	16.6	16.9	23.2	22.4	25.1
V (m ³ /ha)	340	480	823	1208	694
IVt (m ³ /ha)	8.9	12.2	16.9	19.9	18.7
IVp (m ³ /ha)	6.0	8.1	11.1	11.8	12.2

Tudi tu je smreka v letu 1988 (zmerno) semenila. V letu 1987 so bila posamezna drevesa prizadeta zaradi snegoloma (odlomljeni vrhovi). Sicer so bile motnje v razvoju tega sestoja v preteklosti minimalne. Izvajana so bila šibka redčenja, naravna (šopasta) struktura sestoja je ohranjena.

(5) Kočevska - Željne-Laze

Peti sestoj je nekoliko mlajša monokultura smreke na jelovo-bukovem rastišču (*Abieti Fagetum* hacquetietosum) v nadmorski višini 520 - 550 m. Matična podlaga je apnenec. Sestoj ima bogat polnilni sloj bukve. Procesi umiranja zaradi daljinskega transporta polutantov so že opazni, vendar zaradi manjše starosti (70 let) najmanj izraziti. Sestoj je bil dobro negovan, nosilci funkcij so lepo izoblikovani. V sestoju so prisotne tudi manjše vrzeli zaradi zunanjih motenj (sneg) v preteklosti.

4 RAZISKOVALNE METODE

4.1 ANALIZE NA RAZISKOVALNIH PLOSKVAH

4.1.1 Pregled meritev in ocen posameznih drevesnih spremenljivk

Analiza sestojev na izločenih raziskovalnih ploskvah temelji na preizkušeni metodi, ki jo je v naravnih smrekovih gozdovih uporabil KOTAR (1980). Metoda je bila razširjena in prilagojena razmeram propadanja gozdov s ciljem, da bi omogočila podrobnejše prirastoslovne in dendrokronološke analize (FERLIN 1988). Podoben način terenskega snemanja je na trajnih raziskovalnih ploskvah v Šaleški dolini uporabil tudi KOLAR (1989). Terenske analize so zasnovane na meritvah in ocenjevanju različnih znakov pri posameznih stoječih in posekanih drevesih. Podroben pregled spremenljivk je podan v tabeli 2.

4.1.2 Opredelitev nekaterih pomembnejših spremenljivk

Osutost krošenj

Osutost (izguba) iglic krošnje je bila ocenjevana za celotno krošnjo in posebej za njen fiziološko najpomembnejši zgornji del, ki je pri drevesih višjih socialnih razredov skoraj vedno osvetljen ("sončni" del krošnje). Ocena osutosti krošnje predstavlja celovito izgubo asimilacijskega aparata ob upoštevanju morfološko različnih tipov krošenj. Osutost je bila ocenjena pri vseh drevesih na 5 % natančno in to na osnovi vsebine (volumna) krošenj. Podlaga ocenjevanju osutosti sta bila švicarski (EAFV 1986) ter lastni slikovni katalog osutosti.

Ocene osutosti krošenj so v nadaljnjih analizah združene v 7 stopenj poškodovanosti, kar se je glede na dejansko osutost dreves znotraj sestojev izkazalo kot najbolj primerno. Taka razdelitev je dovolj podrobna, obenem pa primerljiva s stopnjami poškodovanosti, ki se uporabljajo pri inventurah zdravstvenega stanja gozdov (ANONIM 1987). Pravzaprav sta uvedeni le dve dodatni (vmesni) stopnji, ki razpolavljata obe prvotni, najširši stopnji (26 - 60 % in 61 - 90 %). Uporabljene stopnje poškodovanosti so naslednje:

Stopnja poškodovanosti (Schadstufe)	Osutost krošnje (Kronnenentnadelung)		
	5 % stop.	meje	srednja
1 - brez vidnih poškodb	0/ 5/10	do 12.5	6.25
2 - rahla poškodovanost	15/20/25	12.6 - 27.5	20
3 - zmerna poškodovanost	30/35/40	27.6 - 42.5	35
4 - močnejša poškodovanost	45/50/55	42.6 - 57.5	50
5 - močna poškodovanost	60/65/70	57.6 - 72.5	65
6 - zelo močna poškodovanost	75/80/85	72.6 - 87.5	80
7 - popolna poškodovanost	90/95/100	nad 87.5	93.75

Preglednica 2 Pregled meritev in ocen posameznih spremenljivk pri drevseih na raziskovalnih ploskvah

Tabelle 2 *Uebersicht der Messungen und Schaetzungen saemtlicher Baummerkmale auf den Versuchsflaechen*

Table 2 *Survey of measurement and estimates of biometrical variables of individual trees in research plots*

(a) Živa drevesa (*lebende Beume*)

spremenljivka (<i>Merkmal</i>)	Natančnost (<i>Genauigkeit</i>)
(1) premer debla ($D_{1.3}$)	0,1 cm
(2) premer pri višini panja ($D_{0.3}$)	1 cm
(3) prirastek polmera za štiri 5-letja (5-j. (<i>Radialzuwachs</i>))	0,5 mm
(4) višina drevesa (<i>Baumhoehe</i>)	0,5 m
(5) dolžina krošnje (<i>Kronnenlaenge</i>)	0,5 m
(6) premer krošnje (<i>Kronnendurchmesser</i>)	0,1 m
(7) 1 - 2 izvrtka (1 - 2 <i>Bohrkerne</i>)	do stržena
(8) starost drevesa v prsni višini (<i>Baumalter bei $D_{1.3}$</i>)	1 leto
(9) vejnatost krošnje (<i>Kronnenaestigkeit</i>)	5 %
(10) osutost krošnje (<i>Kronnenentnadelung</i>)	5 %
(11) osutost "sončne" krošnje (<i>Entnadelung der Sonnenkronne</i>)	5 %
(12) združbene razmere po Kraftu (<i>Kraft-sche Klasifikation</i>)	5 razredov
(13) konkurenčni odnosi (<i>Konkkurenzverhaeltnisse</i>)	5 stopenj
(14) IUFRO klasifikacija (<i>IUFRO Klasifikation</i>)	3 razredi
(15) različne motnje (<i>verschiedene Stoerungen</i>)	

(b) Posekana in odmrta drevesa (*gefaellte und tote Baeume*)

(16) premer panja (<i>Stockdurchmesser</i>)	1 cm
(17) čas od poseka (<i>Zeit seit der Faellung</i>)	5-letja
(18) vzrok poseka (<i>Ursache der Faellung</i>)	4 vzroki

Opomba: - Spremenljivke 5, 6, 8 in 9 se nanašajo le na nosilce funkcij
 - Izvrтки do stržena so bili odvzeti najdebelejšim drevesom (100/ha)
 - Spremenljivki 12 in 14 sta bili ocenjeni tudi pri posekanih drevesih

Konkurenčni odnosi med drevesi

Konkurenčne odnose v krošnjah dreves lahko ocenjujemo na osnovi utesnjenosti krošenj. Kriteriji za utesnjenost krošenj so bili povzeti po Assmannovi klasifikaciji (ASSMANN 1961, KOTAR 1980) za trajne raziskovalne ploskve. V primeru novejših posegov v sestoj neposredno pred analizo (npr. zaradi propadanja) je bilo potrebno poleg sedanje utesnjenosti krošenj oceniti tudi utesnjenost v bližnji preteklosti in to na snovi izoblikovanosti krošenj. Utesnjenost krošenj namreč deluje na rast dreves kot dodatni stresni dejavnik, zato moramo (močneje) utesnjena drevesa pri proučevanju eksogenih stresnih dejavnikov izločiti iz analiz.

Vzrok poseka

Zaradi proučevanja imisijsko pogojenega propada dreves je bil na osnovi poznavanja in izkušenj pri vsakemu posekanemu drevesu na ploskvi glede na njegovo gozdnogojitveno vlogo določen tudi vzrok poseka. Poleg propada (sušenja), ki se je pojavil v Šaleški dolini ravno v letu analize (1986) ali nekaj let pred njo (1983), je kot vzrok poseka nastopalo še redčenje in naravno izločanje med in podstojnih dreves ter druge znane in neznane motnje.

4.2 DENDROKRONOLOŠKE ANALIZE IN OBDELAVA PODATKOV

V kabinetu so bile opravljene meritve širin branik z digitalno optično napravo ("*digitalpositionimeter*" po JOHANNU) z natančnostjo 0.01 mm. Zapisovanje podatkov na računalnik in izris kronologij posameznih dreves sta potekala prek posebej izdelanih programov (PUHEK neobj.). Po dolgotrajnem merjenju branik in izrisu na risalnik so bile kronologije pripravljene za "optično" obdelavo. Le-ta je vsebovala natančno datiranje branik na podlagi izdelanih primerjalnih (referenčnih) kronologij za vsak sestoj. Rastno obnašanje vsakega sestoja tako predstavlja po 50 dominantnih dreves (skupaj 250). Natančneje je postopek izdelave referenčnih kronologij in datiranja predstavljen v magistrski nalogi (FERLIN 1990). Pri obdelavi podatkov sta bila uporabljena statistična (SPSSPC, STATGRAFICS) ter grafični paket (HARWARD GRAPHICS).

5. UGOTOVITVE IN RAZPRAVA

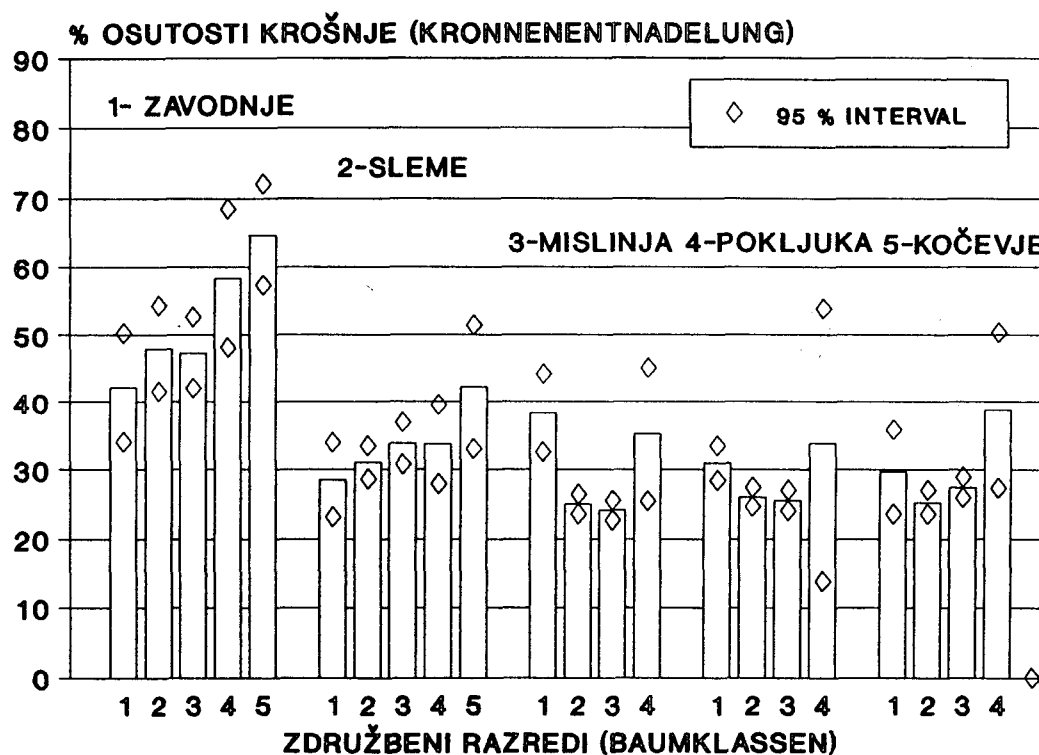
5.1 ZNAČILNOSTI FENOMENA UMIRANJA SMREKE V ENOMERNIH SESTOJIH GLEDE NA ZNAČAJ IMISIJSKIH STRESOV

5.1.1 Poškodovanost dreves glede na združbeni položaj in vitalnost dreves

Zgradba enodobnih sestojev je posledica konkurenčnega boja, v katerem prevladajo osebki z največjo življenjsko močjo, ki dosežejo večje debeline in ohranijo najugodnejše mesto v sestoji. Ne glede na jakost in trajanje imisijskih vplivov bi bilo pričakovati, da so najvitalnejša drevesa strehe sestoja, prevsem prvega združbenega razreda najmanj prizadeta, kajti njihova odpornost na imisijske strese bi morala biti največja. Večina teh dreves ima namreč večje in bolj sproščene krošnje; njihova konkurenčna ogroženost pa je minimalna. Tako je v zmerno in močno ogroženih sestojih ožjega imisijskega območja (Šaleška dolina) poškodovanost dreves tem manjša, čim ugodnejši je njihov združbeni položaj v sestoji (slika 1). Drevesa strehe sestoja so po pričakovanju najmanj prizadeta, kar se ujema z dosedanjimi ugotovitvami (KOLAR 1989, CENČIČ 1990). Po združbenih razredih znotraj strehe sestojev diferenciacija ni zelo izrazita, vendar so kljub temu najmanj poškodovana prav najvitalnejša drevesa (prvi združbeni razred po Kraftu). Imisijski vplivi so v teh sestojih že dolgotrajni, zato lahko sklepamo, da so ta drevesa tudi najbolj odporna na imisijske strese.

Rahlo ogroženi sestoj v širšem imisijskem območju TE Šoštanj (Mislinja), kjer so imisijski vplivi blažji, proti pričakovanju kaže, da so v strehi sestoja najmočnejše poškodovana ravno (najvišja) drevesa prvega združbenega razreda (slika 1). Za sestoje severovzhodnega dela Pohorja to ni značilno (CENČIČ 1990). Vendar se podoben trend v blažji obliki kaže tudi v sestojih pod vplivom daljinskega onesnaževanja ozračja tako v alpskem (Pokljuka) kot tudi preddinarskem predelu (Kočevska). Procesi umiranja so se torej najprej pričeli ravno pri najbolj vitalnih, iz strehe sestoja "štrlečih" drevesih, kar kaže na veliko občutljivost teh dreves na sicer blažje imisijske strese.

Na podlagi spoznanj iz močno ogroženih sestojev lahko sklepamo, da večja fiziološka občutljivost dreves prvega socialnega razreda ne predstavlja tudi manjše odpornosti, zaradi česar bi slednja hitreje propadala. *Zaradi tega je pri negi bolnega gozda potrebna individualna presoja ogroženosti posameznega drevesa glede na njegovo življenjsko moč, od katere sta odvisna odpornost in s tem možnost njegovega preživetja v stresnih razmerah.*



Slika 1 Osutost krošenj po združbenih razredih glede na značaj imisijskih vplivov

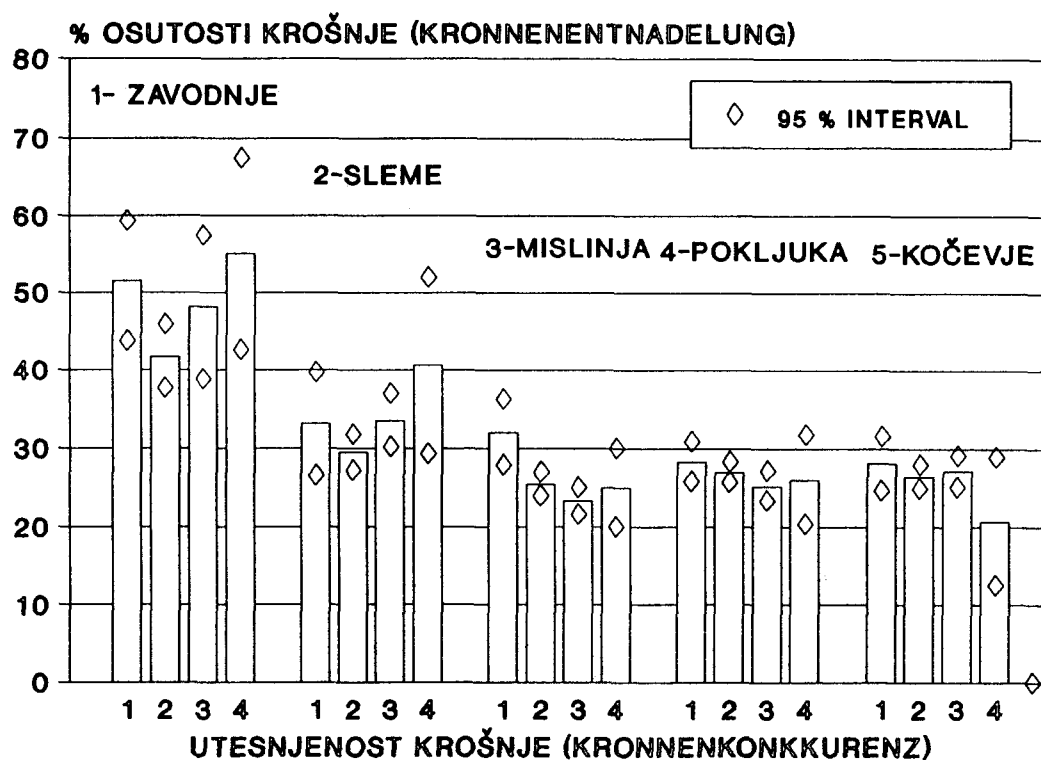
Bild 1 Kronnenentnadelung nach Baumklassen in Abhängigkeit vom Charakter der Immissionseinflüsse

Fig. 1 Needle loss of crowns as to tree class and the nature of air pollution impact

5.1.2 Poškodovanost dreves v odvisnosti od konkurenčnih razmer

Medsebojna konkurenca v enodobnem sestoju zmanjšuje življenjsko moč posameznih dreves ter vodi v razslojevanje in naravno izločanje slabše vitalnih osebkov. Pričakovati pa je, da rahla utesnjenost (sklenjenost) smrekovih krošenj v sestoju lahko tudi blaži učinek (vsaj neposrednih) imisijskih stresov. Primerjava osutosti krošenj po stopnjah njihove utesnjenosti kot kazalniku konkurenčnih odnosov med osebki (slika 2) v strehi močno in zmerno ogroženih sestojev ožjega imisijskega območja kaže, da je poškodovanost rahlo utesnjenih dreves (stopnja 2) res najmanjša.

V strehi rahlo poškodovanih sestojev neposrednega (Mislinja) in tudi daljinskega transporta onesnaževanja (Pokljuka) pa poškodovanost narašča od utesnjenih (stopnja 3 in 4) proti sproščeni drevesom (stopnja 1). Sproščena drevesa strehe sestoja so torej zaradi svoje izpostavljenosti v sestojih z blažjimi imisijskimi stresi vedno med (naj)močneje poškodovanimi. Večina teh dreves v sestojih z ohranjeno zgradbo, kjer se procesi umiranja šele začenjajo, se nahaja v najugodnejšem združbenem položaju. Te ugotovitve se na splošno skladajo tudi z ugotovitvami SCHOEPFERJA in HRADETZKEGA (1985), po katerih naraščata izguba in obarvanost iglic v splošnem tem močneje, čim bolj je krošnja drevesa izpostavljena vplivom onesnaževanja. Do podobnega spoznanja o imisijsko varovalnem učinku sklepa krošenj je prišel tudi KOLAR (1989).



Slika 2 Osutost krošenj v strehi sestojev glede na utesnjenost krošenj in značaj imisijskih vplivov

Bild 2 Nadelverlust der Bäume im Kronendach in Abhängigkeit von der Kronnenkonkurrenz und vom Charakter der Immissionseinflüsse

Fig. 2 Needle loss in stand canopy with regard to competition of crowns and the nature of air pollution impact

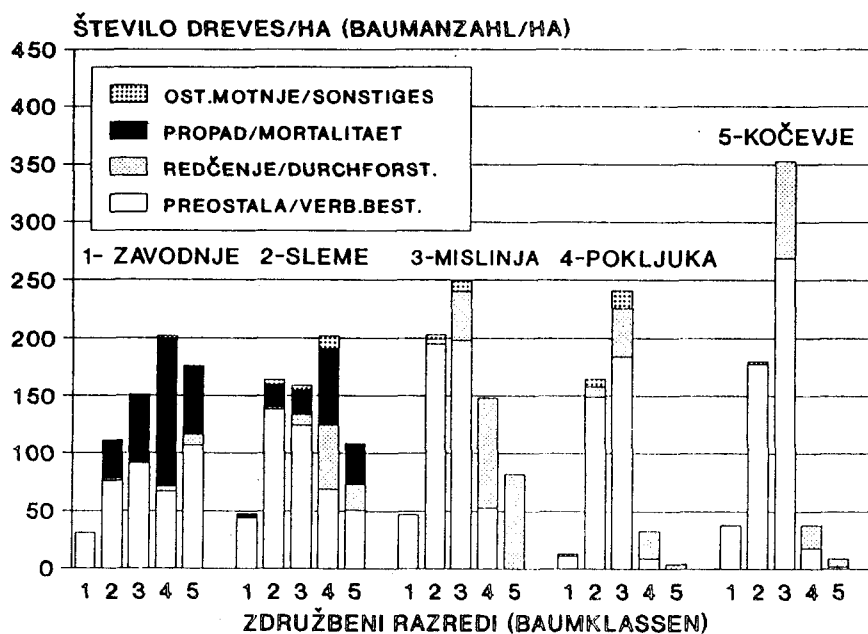
Rahla sklenjenost krošenj v smrekovih enomernih odraslih sestojih, ki naj bi bile pri redčenju optimalno izoblikovane že v mladosti, je torej eden od pogojev za uspešnejše kljubovanje gozda imisijskim stresom. Redčenja v odraslih smrekovih sestojih, ki imajo za posledico nenadno močnejše sproščanje sklepa krošenj, so zato zdravstvenemu stanju gozda lahko bolj škodljiva kot koristna. Z močnejšim sproščanjem dreves lahko procese propadanja smreke v razmerah neposrednih imisijskih stresov le pospešimo, v sestojih pod vplivom daljinskega onesnaževanja pa jih lahko celo sami sprožimo. Previdnost velja tako pri redčenju, kot tudi pri obnovi starejših smrekovih enomernih sestojev. Večje površinsko in naglo presvetljevanje starejših enomernih smrekovih sestojev je v tem pogledu prav gotovo zelo neprimerno.

5.1.3 Imisijska odpornost in propad dreves

V sestojih z močnejšimi neposrednimi imisijskimi vplivi, kjer se pojavlja pospešeno izločanje oziroma propad dreves zaradi imisijskih stresov, lahko na podlagi ocen združbene strukture odmrlih in preživelih smrek v sestoji zanesljiveje sklepamo na odpornost posameznih delov populacije. Slednje je ključnega pomena za nego in varstvo ter ohranitev bolnega gozda.

Analiza posekanih dreves glede na vzroke (slika 3) kaže, da je v močno ogroženih sestojih v strukturi sečenj popolnoma prevladoval propad (posek) dreves zaradi imisijskih stresov. V manjši meri se je pojavil že leta 1983, zelo množično pa v letu 1986. V zmerno ogroženih sestojih ožjega imisijskega območja je bil delež posekanih dreves zaradi imisij nižji. Izguba perspektivnih dreves v obdobju 15 let je v močno ogroženih sestojih dosegla kar 24 - 41 %, v zmerno ogroženih pa 13 - 29 % končne lesne zaloge sestojev (tabela 3). V rahlo ogroženih sestojih do pospešenega izločanja dreves zaradi sušenja še ni prišlo. Analiza tudi kaže, da je ogroženost sestoja, dobljena na podlagi poškodovanosti preostalih dreves, lahko bistveno manjša, če ne upoštevamo mortalitete dreves.

Analiza mortalitete po združbenih razredih (slika 3) potrjuje domnevo, da tudi izločanje - propad dreves zaradi imisijskih stresov poteka v enodobnih ali enomernih sestojih najintenzivneje v nižjih združbenih razredih. Ta del populacije se tudi v normalnih razmerah naravno izloča (naravna mortaliteta), vendar je izločanje v stresnih razmerah precej bolj intenzivno. Kljub močnim imisijskim stresom je propad dreves v prvem združbenem razredu (po Kraftu) le slučajen. Najvitalnejša (najdebelejša) drevesa strehe sestoja so torej zanesljivo najbolj odporna na imisijske strese, čeprav so hkrati nanje tudi najbolj občutljiva. Slednje je zelo pomembno pri negi mladega, kot tudi pri ravnanju z odraslim gozdom, kjer mora dobiti vitalnost še poseben pomen, ne glede na starost, doseženo debelino ali kakovost dreves.



Slika 3 Porazdelitev obstoječih in izločenih dreves po združbenih razredih glede na vzroke poseka

Bild 3 Verteilung verbleibender und ausgeschiedener Bäume nach Baumklassen und Ursachen der Faellung

Fig. 3 Distribution of standing and eliminated trees according to tree class and cause of elimination

Preglednica 3 Propad lesne mase perspektivnih dreves zaradi imisij v obdobju 1971 - 1986

Table 3 Die Holzmasse der imissionsbedingten Mortalitaet der perspektiven Beume in der Periode 1971 - 1986

Table 3 Decay of wood substance of crop trees due to the impact of air pollution in the 1971 - 1986 period

Ogroženost (Beschaedigung)	Perioda (Periode)			
	1971 - 1986		1981 - 1986	
	m ³ /ha	% V ₈₆	m ³ /ha	% V ₈₆
močna (stark)	66.0-134.0	24.4-41.0	51.7-124.1	19.3-37.9
zmerna (maessig)	80.4-110.2	12.7-29.1	18.7- 69.1	4.0-17.4

Opomba: Delež propadle perspektivne mase dreves v celotnem obdobju je prikazan glede na končno lesno zalogo sestojev (V₈₆). Razmak zaupanja je 95 %.

5.2 PRIRASTNO ODZIVANJE SMREKE NA IMISIJSKE STRESE RAZLIČNIH JAKOSTI IN POMEN KLIMATSKIH DEJAVNIKOV

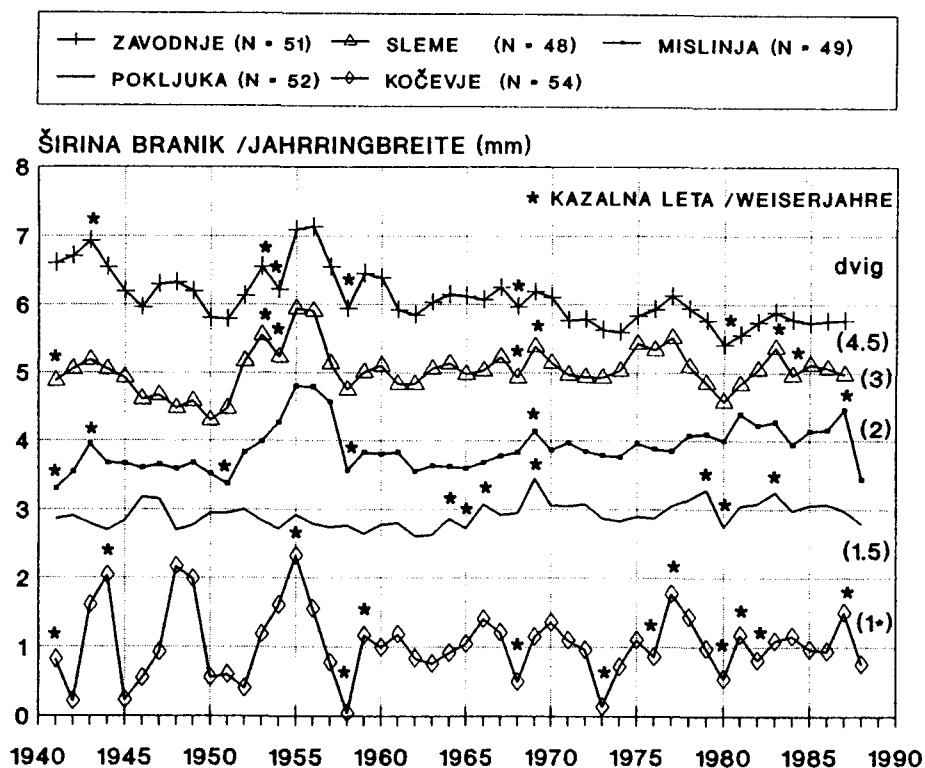
5.2.1 Klimatska pogojenost prirastnega obnašanja dreves zadnjih 50 let in kazalna leta

Podnebje je temeljni in največkrat omejujoči rastni dejavnik, od katerega je odvisno tudi rastno obnašanje dreves. Zaradi podobnih podnebnih in drugih eksogenih vplivov prihaja do podobnih pozitivnih ali negativnih prirastnih reakcij pri drevesih določenega rastišča in še posebno sestoja. Podobnost v prirastnem obnašanju dreves vsaj v nekaterih (ekstremnih) letih nastopa tudi med rastišči znotraj fitoklimatskih območij ali celo med območji.

"Optična" primerjava letnega priraščanja dominantnih dreves proučevanih sestojev v različnih fitogeografskih območjih (slika 4) kaže, da je prirastno obnašanje zadnjih 50 let najbolj skladno v močno in zmerno ogroženih sestojih ožjega imisijskega območja v Šaleški dolini. Nekoliko bolj se razlikuje prirastni potek pri smreki na mislinjskem Pohorju. Vendar pa je podobnost prirastnega obnašanja vseh treh sestojev do leta 1960 zelo velika. Za ta čas sta značilna izrazita prirastna depresija v obdobju 1944 - 1952 ter močno povečano priraščanja v letih 1953 - 1957. Ker tak potek priraščanja nastopa v vseh treh sestojih v enakih obdobjih, lahko zaključimo, da je pogojen s podobnimi (neugodnimi in ugodnimi) podnebnimi razmerami; vpliv onesnaževanja ozračja je namreč v tem času še izključen. Značilno povečanje priraščanja najdemo v letih 1953 - 1957 tudi pri smreki na Kočevskem. Presenetljivo podobnost splošnega prirastnega obnašanja po letu 1960, ki je naraščajoče, pa kažeta starejša smrekova sestoja na Pohorju in Pokljuki, čeprav se klimatske razmere precej razlikujejo.

Poleg podobnosti prirastnega obnašanja v daljšem časovnem obdobju je posebej zanimiva skladnost (istosmernost) prirastnih reakcij dreves v posameznih letih. V prirastnem poteku dreves namreč lahko nastopajo v posameznih letih občutno ožje ali

širše (ekstremne) branike v primerjavi s sosednjimi (*Ereignisjahr, event year*). Le-te so posledica delovanja ekstremnejših podnebnih in (ali) drugih eksogenih dejavnikov (FRITTS 1976). Če so ekstremne branike v določenem letu prisotne pri večini dreves, jih lahko smatramo za kazalne (*Weiserjahr, diagnostic ring*). Določanje kazalnih branik je podrobneje opisano v magistrski nalogi (FERLIN 1990).



Slika 4 Trendi širin branik dominantnih smrek (po Parde-u) v proučevanih sestojih v obdobju 1941 - 1988 in kazalna leta

Bild 4 Jahrringbreitentendenzen und Weiserjahren von dominanten Fichten (nach Parde) in analysierten Beständen in der Periode 1941 - 1988

Fig. 4 Trends of ring widths and diagnostics rings of Parde's dominant spruce trees in the 1941 - 1988 period

Opomba: 1) Mladostni (padajoči) trend širin branik je v sestoju na Kočevskem odstranjen; prikazana so absolutna letna odstopanja od trenda.

2) Kazalna leta posameznih sestojnih kronologij (okrog 50 dominantnih dreves) so ekstremne branike, ki v določenem letu nastopajo pri statistično značilni večini dreves; v tem primeru pri najmanj 65 % dreves (Hi^2 test).

Analiza značilnih oziroma kazalnih branik po posameznih sestojih v obdobju 1940 - 1987 (slika 4) kaže, da so le-te v prvi vrsti rastiščno (sestojno) pogojene. Tako ima močno ogroženi sestoj v Šaleški dolini negativne kazalne branike v letih 1954, 1958, 1968 in 1980, pozitivne kazalne branike pa nastopajo v letih 1943 in 1953. V zmerno ogroženem sestoju so kazalna leta 1941, 1945 in 1968 (negativna), ter 1953, 1969 in 1983 (pozitivna). Rahlo ogroženi sestoj v Mislinji ima negativne kazalne branike v letih 1941, 1951 in 1958, pozitivne pa v letih 1943, 1969 in 1987. Zanimivo je, da se leta 1958, 1968 in

1980 pojavljajo kot negativna kazalna tudi pri (mlajši) smreki na Kočevskem, kjer izstopata še leti 1942 in 1976, značilni pa sta tudi leti 1976 in 1982. Pozitivna kazalna leta: 1944, 1955, 1959, 1977, 1981 in 1987 so, razen zadnjega, značilna le za Kočevsko. Letni prirastni potek pri smreki na Kočevskem, za katero je zaradi velike mladostne fiziološke občutljivosti značilno veliko število kazalnih let, je sploh presenetljivo podoben smreki v Šaleški dolini. Kljub temu, da je prirastno odzivanje starejše smreke na Pokljuki zelo umirjeno, je prisotno precej sicer slabo izrazitih kazalnih let. Pogostejša so tu pozitivna kazalna leta: 1964, 1966, 1969, 1979 in 1983, leti 1965 in 1980 pa sta negativni.

Poleg starostne, rastiščne in sestojne pogojenosti prirastnih reakcij na ekstremne podnebne in (ali) druge eksogene dejavnike (dogodke), ki so "zapisane" v značilnih branikah, torej nastopa tudi mezo- in makroklimatska pogojenost. Le-ta se kaže v obstoju skupnih kazalnih let v različnih fitoklimatskih področjih, ne glede na vrsto in jakost drugih eksogenih (npr. imisijskih) vplivov. Tako kazalno leto 1958 nastopa povsod, razen na Pokljuki, leto 1968 se pojavlja v Šaleški dolini in na Kočevskem, leto 1959 v Šaleški dolini, na Pohorju in na Pokljuki, leto 1980 pa je skupno vsem trem fitoklimatskim območjem. Negativno kazalno leto 1980 je torej v prvi vrsti klimatsko pogojeno, v ožjem imisijskem območju Šaleške doline pa posledica vzajemnega delovanja imisijskih in klimatskih stresov.

Splošna primerjava prirastnega obnašanja gorske (naravne) in nižinske (umetne) smreke (slika 5 a - e) kaže, da je *nižinska smreka mnogo bolj občutljiva na podnebne vplive*; dolgoletno priraščanje gorske smreke je namreč mnogo bolj umirjeno od nižinske. Nad: lje je značilno, da so *letna prirastna nihanja v mladosti veliko večja, kar dokazuje večjo klimatsko občutljivost mlajše smreke*. Sklepamo lahko, da nekaj podobnega velja tudi za občutljivost do imisijsko-klimatskih stresov. Veliko fiziološko občutljivost mlade (gorske) smreke na imisijske strese na podlagi izgube iglic ugotavlja tudi HOČEVAR (1991).

Mlajša nižinska smreka bi torej morala še bolj kot gorska občutljivo in hitro (negativno) reagirati že na manjšo izgubo iglic, vendar prirastni trendi dominantnih dreves 70 let starega sestoja na Kočevskem (slika 5 e) tega ne potrjujejo. Značilno razlikovanje prirastnih trendov zadnjih 30 let namreč nastopa šele pri močnejše poškodovanih drevesih (osutost iglic 45 - 55 %), vendar so razlike v trendih zelo majhne. *Kljub večji fiziološki občutljivosti ima mlajša smreka očitno veliko odpornost, če je le dobro negovana in vitalna. Intenzivna in zgodnja nega mladih smrekovih sestojev je torej za preživetje gozda izjemnega pomena.*

5.2.2 Vpliv imisijskih stresov na dolgoročne trende letnega debelinskega prirastka dreves

Dolgoročni trendi letnega (debelinskega) prirastka dreves so v prvi vrsti odvisni od starosti, splošnih klimatskih razmer, raznih endogenih in eksogenih motenj ter naključnih vplivov. Med dejavniki, ki vplivajo na rast dreves, obstajajo tudi medsebojna vzajemna delovanja. Najpomembnejše je vzajemno delovanje podnebnih dejavnikov in

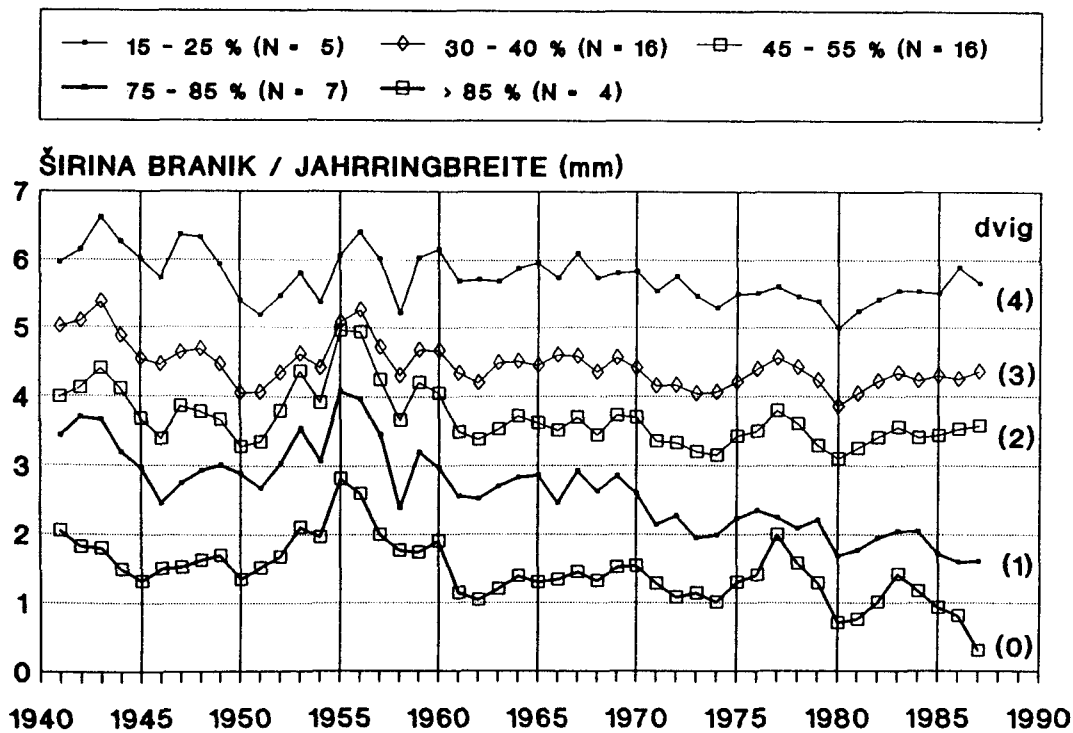
eksogenih motenj (npr. onesnaženja ozračja), ki je skupno vsem drevesom na določenem rastišču. Proučevanje vpliva onesnaževanja ozračja zato poleg odstranitve mladostnega ravnega trenda zahteva tudi odstranitev endogenih ter drugih eksogenih motenj, predvsem pa naključnih vplivov. To je bilo posredno doseženo s tem, da so bila v analizo vključena samo (odrasla) dominantna drevesa. Med njimi so bila pozneje izločena tista, ki so kazala določene motnje v prirastnem poteku. Končno so bile kronologije posameznih dreves združene v skupine, pri čemer so se naključnostni vplivi v veliki meri izničili. Sestojne kronologije (okrog 50 dreves) so zato zelo zanesljiv kazalnik klimatskih in imisijskih vplivov.

Splošni trendi širin branik v sestojih ožjega in širšega imisijskega območja, kakor tudi v sestojih pod vplivom daljinskega transporta kažejo v zadnjih 30 letih takle potek (slika 4):

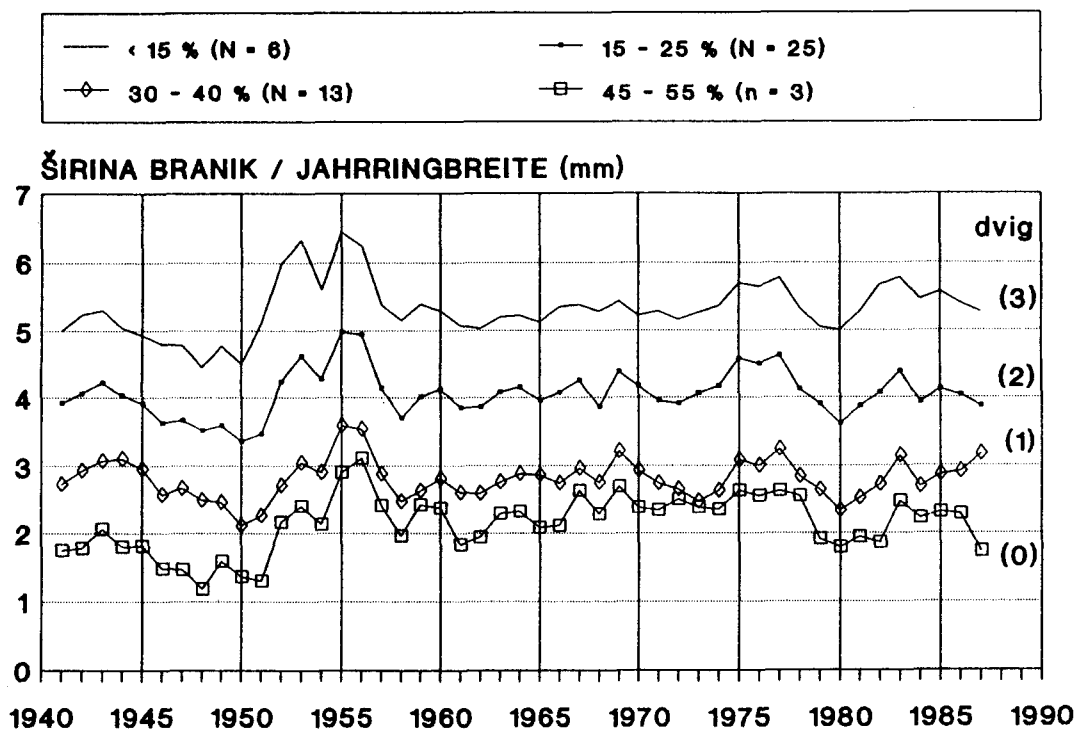
- v močno ogroženem sestoju je prirastni trend po pričakovanju padajoč, vendar njegovo upadanje ni zelo izrazito; povzročata ga dva močnejša prirastna padca v letih 1971 - 1975 ter v letih 1978 - 1982;
- v zmerno ogroženem sestoju prirastni trend do leta 1977 celo blago narašča, kasneje pa zaradi nenadnega močnega padca prirastka v letih 1978 - 1982 rahlo upade;
- v rahlo ogroženem sestoju trend debelinskega prirastka do leta 1987 presenetljivo enakomerno narašča; širina branik dominantnih dreves (100/ha) se je od leta 1962 do leta 1987 namreč povečala kar za okrog 67 % (od 1.5 na 2.5 mm);
- tudi v rahlo ogroženem starejšem sestoju na Pokljuki je značilno rahlo povečanje ravni priraščanja dominantnih dreves po letu 1965, čeprav so drevesa razmeroma stara (135 - 165 let);
- v mlajšem sestoju na Kočevskem podobnega povečanega priraščanja (še) ni, verjetno zaradi tega, ker je mladostni ravnostni trend upadanja komaj dobro "izzvenel".

Povečano priraščanje smreke v zadnjih 20 - 30 letih v rahlo ogroženih starejših sestojih je nenavadno, saj debelinski prirastek dreves v teh sestojih ne bi "smel" več naraščati. Pri tem je do leta 1987 naraščajoči trend debelinskega prirastka v sestoju na Pohorju še najbolj očiten. Zdi se, da blagi imisijski stres priraščanje v začetni fazi lahko celo stimulirajo. Preseneča tudi razmeroma rahlo upadanje trendov debelinskega prirastka preostalih dreves v močno ogroženem sestoju. Tu je veliko manj odpornega drevja sicer že propadlo, preostala bolj poškodovana drevesa pa še vedno priraščajo podobno kot manj poškodovana.

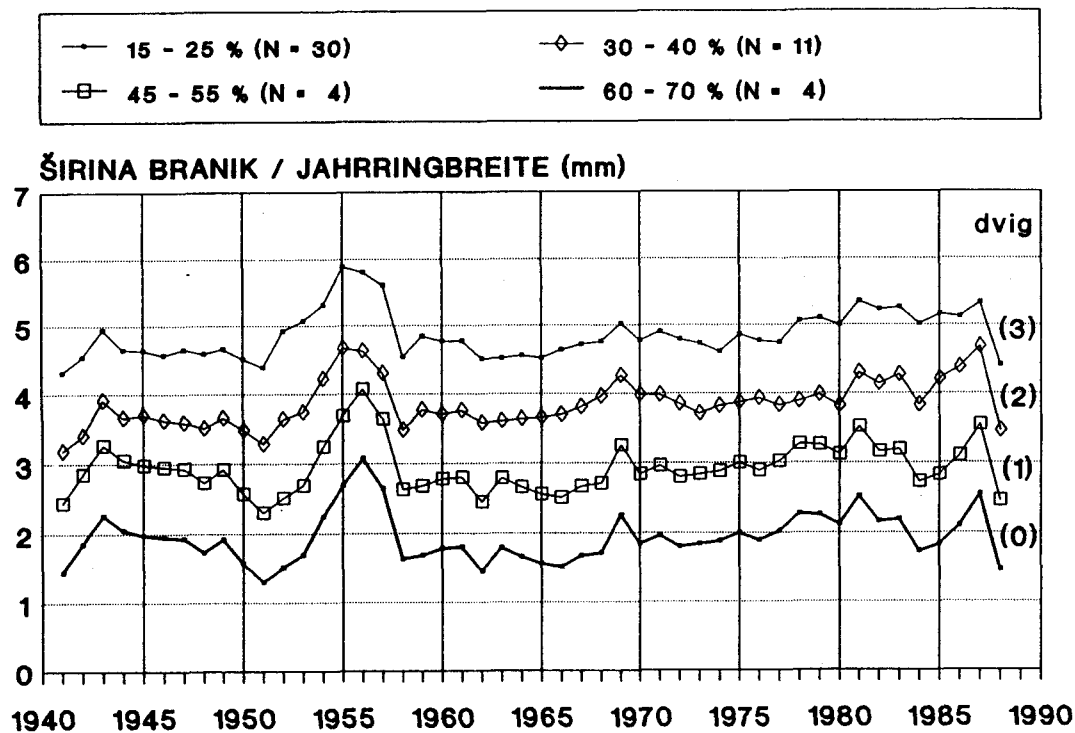
Ugotovitve o povečanju priraščanja smreke v zadnjih desetletjih so sicer znane tudi od drugod, tako za prirastek vladajočih dreves (ABETZ 1984, EICHKORN 1986, SCHMIDT-HAAS 1989) in sestojev (FRANZ 1983, ROEHLE 1987, KENK 1989), za alpske smrekove sestojne pa so bile v zadnjem desetletju nakazane tudi pri nas (HOČEVAR 1991). Pri tem velja posebna pozornost tudi novemu "polutantu", t.j. povečani vsebnosti CO₂ v ozračju, ki je skupaj z metanom glavni povzročitelj učinka "tope grede". Koncentracija CO₂ v zemeljskem ozračju namreč zadnja desetletja eksponentno narašča (HOUGHTON & WOODWELL 1989). K pojasnitvi tega problema bodo verjetno prispevale nove intenzivne (tuje) raziskave.



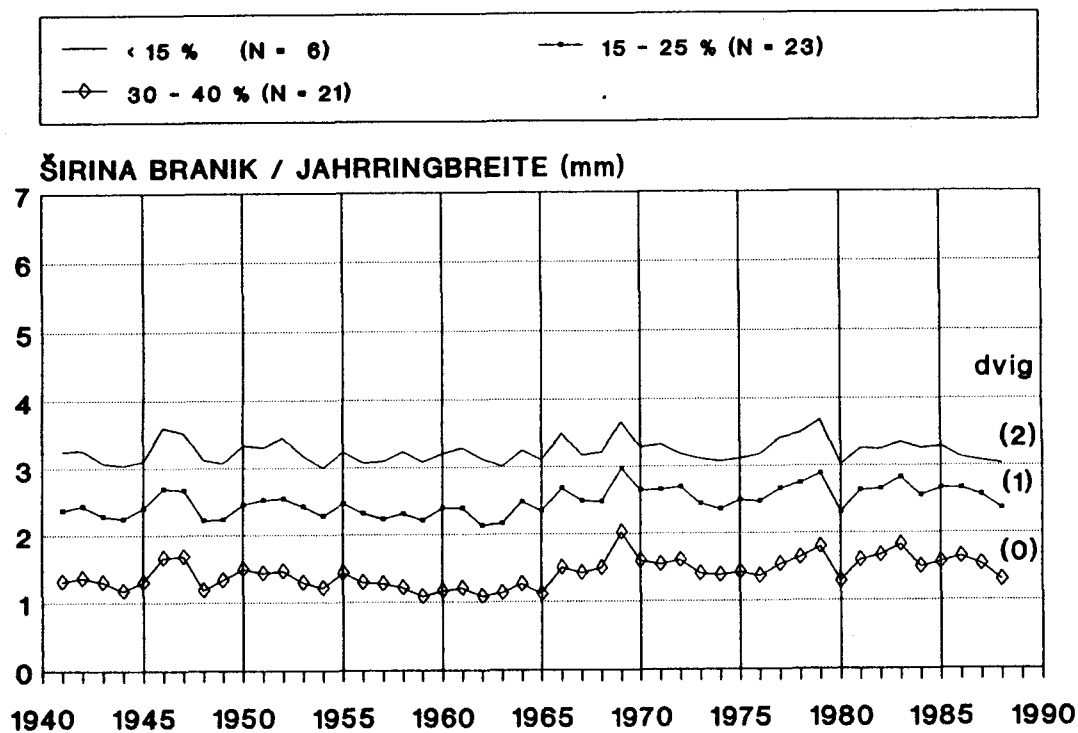
a) Zavodnje - starost (*Alter*) 80 - 90 let



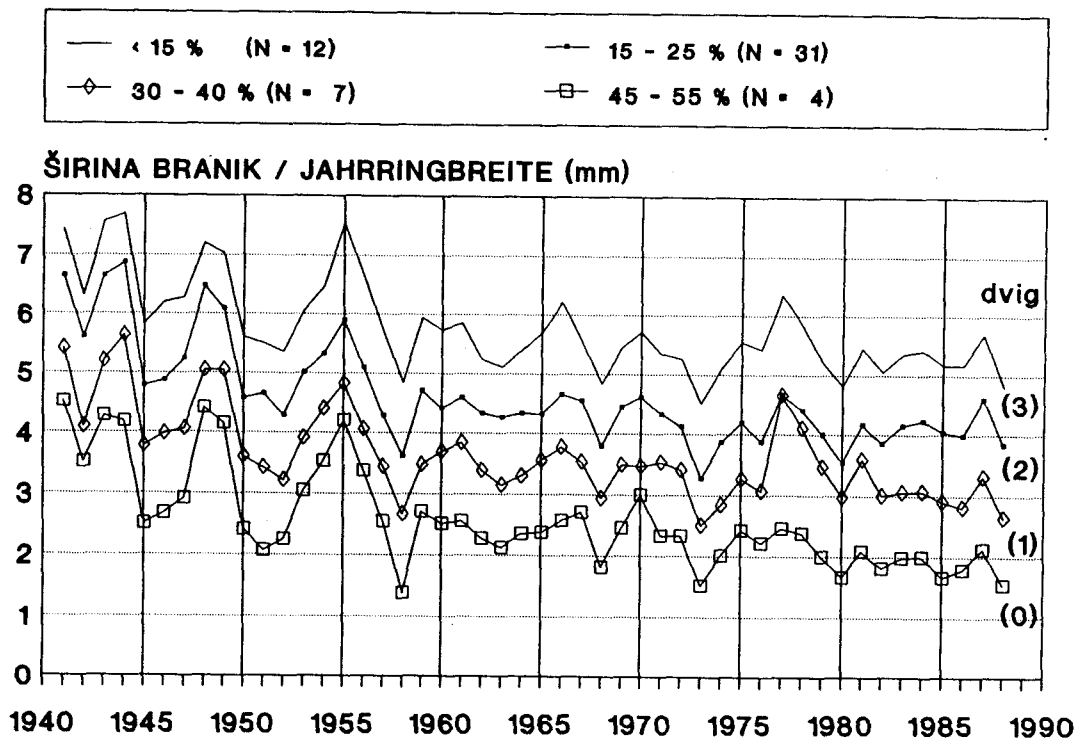
b) Sleme - starost (*Alter*) 95 - 105 let



c) Mislinja - starost (Alter) 100 let



d) Pokljuka - starost (Alter) 135 - 165 let



e) Kočevje - starost (*Alter*) 75 let

Slika 5 Trendi širin branik dominantnih smrek (po Parde-u) gled na osutost "sončnega" dela krošenj

Bild 5 Jahrringbreitentendenzen von dominanten Fichten (nach Parde) in Abhängigkeit von der Sonnenkronnenentnadelung

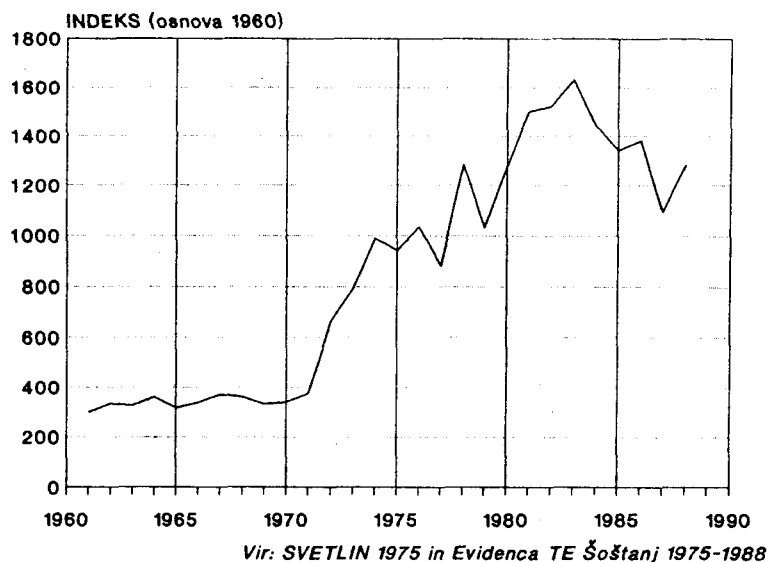
Fig. 5 Trends of ring widths of Parde's dominant spruce trees related to needle loss of crown tops

5.2.3 Upad trendov relativne učinkovitosti priraščanja dreves in njihova odvisnost od trendov emisij v TE Šoštanj

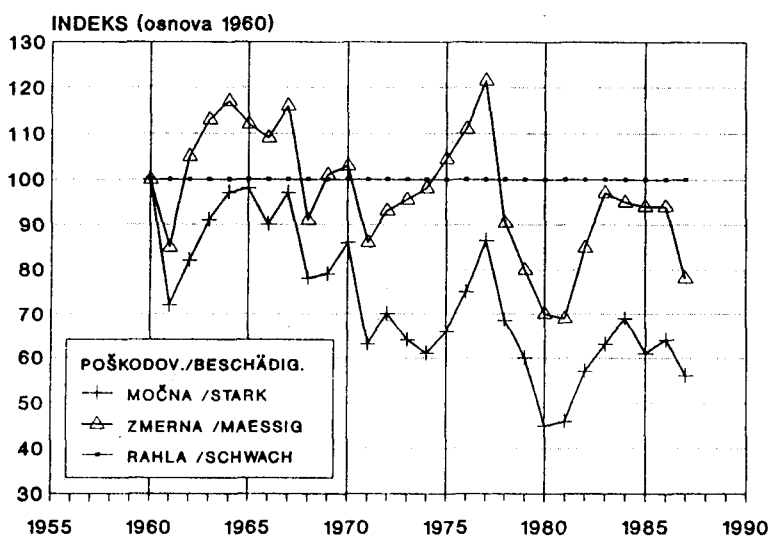
Najbolj učinkovita pot proučevanja vplivov onesnaževanja ozračja je (relativna) primerjava trendov letne rasti dreves različno ogroženih sestojev z neogroženimi na podobnih rastiščih in v podobnih klimatskih razmerah (npr. NASH et al. 1975). Tako je iz rastišnih trendov posredno izločen vpliv podnebnih dejavnikov. Ker je danes uporaba metod, ki temeljijo na primerjavah z neogroženimi sestoji vse bolj omejena, pridobivajo na pomenu dendroklimatološke metode (SCHWEINGRUBER 1983, EKSTEIN 1985), s pomočjo katerih lahko na podlagi korelacijskih povezav letne rasti dreves in podnebnih dejavnikov oblikujemo t.i. klimatsko-rastne modele, ki nadomeščajo primerjalna nepoškodovana drevesa ali sestoj.

Negativne vplive naraščajoče polucije v TE Šoštanj v zadnjih 30 letih (slika 6) nazorno kaže šele primerjava relativnega priraščanja dreves močno in zmerno ogroženih sestojev z rahlo ogroženimi (slika 7). Trend upadanja relativne učinkovitosti priraščanja, ki se

začne v letu 1968, je zelo izrazit, letna nihanja pa zelo podobna med sestojema ($r_s=0.81^{**}$, preglednica 4), kar kaže na delovanje istega omejujočega dejavnika. V močno ogroženih sestojih je upadanje precej strmo, v zmerno ogroženih pa nekoliko blažje. V močno ogroženih sestojih je trend prirastnih izgub tudi bistveno globlji.



Slika 6 Trend proizvodnje električne energije v TE Šoštanj po letu 1960
 Bild 6 Tendenz der Produktion der elektrischen Energie in KW Šoštanj nach dem Jahr 1960
 Fig. 6 Trend of production of electrical energy in the power plant of Šoštanj since 1960



Slika 7 Upad trendov relativne učinkovitosti priraščanja smreke pod neposrednim vplivom imisij
 Bild 7 Die Abnahme der relativen Zuwachsleistungstendenz der Fichte unter dem direkten Immissionseinfluss
 Fig. 7 Decrease in the trends of relative growth efficiency of spruce due to the direct impact of air pollution

Preglednica 4	Korelacija trendov relativne učinkovitosti priraščanja dreves in relativnega naraščanja polucije v TE Šoštanj v obdobju 1960 - 1987
Tabelle 4	<i>Korrelation zwischen der relativen Zuwachsleistungstendenz der Baeume und der relativen Pollutionserhoehung in KW Šoštanj in der Periode von 1960 - 1987</i>
Table 4	<i>Correlation between trends of relative growth efficiency and relative increase in air pollution caused by the power plant of Šoštanj in the 1960 - 1987 period</i>

	sestoj (Bestand)	
	Zavodnje	Sleme
emisije TEŠ	-0.762***	-0.470**
sestoj Sleme	0.812***	

- Pojasnilo: 1) Uporabljen je Spearmanov koeficient korelacije rangov.
 2) Relativna učinkovitost priraščanja je razmerje relativnih letnih prirastkov dreves ogroženih sestojev (osnova je leto 1960) in primerjalnega rahlo ogroženega sestoja (t.i. indeks indeksov).
 3) Kazalnik emisij TE Šoštanj je letna proizvodnja električne energije (SVETLIN 1975).

Največja prirastna izguba je zaradi imisijskih stresov nastopila v letu 1980 oziroma 1981, ko je relativni prirastek dosegel v močno ogroženem sestoju le 45.2 %, v zmerno ogroženem sestoju pa 68.9 % prirastka primerjalnega sestoja. Po letu 1980 so se prirastne izgube proti pričakovanju zmanjšale, nastopila pa je že tretja ponovna poživitev priraščanja.

Relativna učinkovitost priraščanja močno in zmerno ogroženih sestojev v Šaleški dolini je tudi v zelo značilni negativni korelaciji z naraščanjem proizvodnje električne energije (slika 6), torej polucije v TE Šoštanj. Povezava je v močno ogroženih sestojih zelo tesna ($r_S = -0.76^{**}$), v zmerno ogroženih sestojih pa šibkejša ($r_S = -0.47^{**}$), vendar še vedno visoko značilna (preglednica 4). Tako način je negativni vpliv naraščajoče polucije na rast dreves tudi neposredno dokazan. Podobnega primera obstoječe neposredne korelacije med prirastnimi trendi dreves in polucijo v dostopni literaturi nisem zasledil.

5.2.4 Nenadne prirastne spremembe kot posledica imisijsko-klimatskih stresov

V močno in zmerno ogroženih sestojih Šaleške doline so predvsem zadnjih 20 let prisotne tudi nenadne, 3 - 5 letne prirastne spremembe z dvema izrazitejšima padcema in poživitvama priraščanja (slika 4, slika 7). Močnejši prirastni padci v sestojih Šaleške doline najverjetneje nastopajo zaradi vzajemnega učinka podnebnih dejavnikov in imisijskih stresov. Neposredna primerjava prirastnih sprememb s sestojem na Pohorju, kakor tudi posredna primerjava prirastnega obnašanja z zelo oddaljenim smrekovim sestojem na Kočevskem (slika 4) namreč kaže, da padci priraščanja zaradi imisijskih

stresov v Šaleški dolini sovpadajo prav s klimatsko manj ugodnimi leti. Nasprotno se požitivte priraščanja pokrivajo s klimatsko ugodnejšimi leti.

Po letu 1977 postajajo imisijski stresi v Šaleški dolini prevladujoči rastni dejavnik, saj je padec priraščanja v letih 1978 - 1982 mnogo večji, kot bi ga lahko pričakovali le na osnovi klimatsko manj ugodnega leta 1980. Močan vzajemni učinek imisijskih in klimatskih stresov ter verjetno še semenitve dreves pa je značilen tudi za ekstremno sušno leto 1988 v rahlo ogroženih sestojih na jugozahodnem Pohorju, kjer je prišlo do največjega padca prirastka dreves v zadnjih 30 letih; debelinski prirastek je namreč dosegel le 62 % pričakovanega. Nenadni prirastni padec tega leta je podoben sušnemu letu 1976 v srednjeevropskem prostoru (EKSTEIN et al. 1989). V prirastnem obnašanju gorskega, pa tudi nižinskega smrekovega sestoja kljub začetni poškodovanosti dreves še ni opaziti nenadnih prirastnih sprememb. Le-te so še vedno predvsem klimatsko pogojene.

Nenadne prirastne spremembe, ki so se v zmerno in močno ogroženih sestojih Šaleške doline pojavile že zelo zgodaj, med drugim dokazujejo, da je fiziološka oslabitev dreves nastopila že mnogo prej (do 20 let), preden so se pokazali zunanji znaki poškodovanosti. Do podobnih ugotovitev prihajajo tudi drugi (ATHARI 1983, AVE MARK & SCHOEPFER 1988, EKSTEIN & SASS 1989), delno pa so se potrdile že tudi pri nas (KOLAR 1989). Ocenjevanje izgub prirastka dreves in sestojev le na podlagi zunanjih znakov poškodovanosti brez upoštevanja dolgoročnih trendov je zato lahko zelo pomanjkljivo.

5.2.5 Diferenciacija prirastnih trendov po letu 1960 v odvisnosti od osutosti krošenj

Kljub temu, da so sestojni trendi relativne učinkovitosti prirastka značilno povezani z naraščanjem imisij in torej dober kazalnik imisijske ogroženosti smrekovih sestojev, pa pričakovana močnejša diferenciacija prirastnih trendov po stopnjah poškodovanosti dreves znotraj sestojev nastopa šele pri močni poškodovanosti, bodisi da upoštevamo osutost celotne krošnje ali pa le osutost njenega vrhnjega dela (slika 5). Tako se v močno ogroženem sestoju (slika 5 a) pod neposrednim vplivom imisij TE Šoštanj dolgoročni prirastni trendi rahlo (osutost 15 - 25 %), zmerno (osutost 30 - 40 %) in močnejše (osutost 45 - 55 %) poškodovanih skupin dominantnih smrek med seboj značilno sploh ne razlikujejo, kajti trendi so precej skladno padajoči. Jasno neskladje prirastnih trendov povzročijo šele močno (osutost 60 - 70 %) in zelo močno (75 % in več) poškodovana drevesa. Pri prvih prirastni trend močnejše upada po letu 1970, pri zelo močno poškodovanih drevesih pa se je prirastna raven občutno znižala že po letu 1960, strmo padajoči trend pa se je pojavil "šele" po letu 1977.

V zmerno ogroženem sestoju pod neposrednim vplivom imisij v Šaleški dolini (slika 5 b) sicer obstoja dolgoročna značilna diferenciacija prirastnih trendov pri rahlo (osutost 15 - 25 %) in močnejše poškodovanih drevesih (osutost 45 - 55 %), vendar so razlike v trendih šele po letu 1977 nekoliko večje. Pri zmerno poškodovanih drevesih (osutost 30 - 40 %), za katere je značilen sicer slabši cenotski status (priloga 3), pa prirastni trend proti pričakovanju še vedno narašča. V rahlo ogroženem sestoju pod blagim neposrednim

vplivom imisij (slika 5 c) pa diferenciacija prirastnih trendov po letu 1960 sploh ne nastopa celo do močne poškodovanosti dreves (osutost 60 - 70 %), vendar pa je padec prirastka v letih 1984 in 1985 pri močneje poškodovanih drevesih večji. Vzrok je verjetno velika vitalnost močneje poškodovanih dreves, ki imajo tudi najugodnejši cenotski status (priloga 3).

Posebej je zanimiva celo nižja prirastna raven nepoškodovanih dreves (osutost do 10 %) v zadnjih 25 letih v smrekovem sestoju na Pokljuki (slika 5 d), ki pa so po cenotskem statusu le nekoliko šibkejša (priloga 3). Za rahlo in zmerno poškodovana drevesa je v tem obdobju torej značilna povečana prirastna raven, ki pa ne more biti posledica presvetljevanja strehe krošenj, ker je le-ta v teh sestojih še vedno zelo sklenjena. V mlajšem smrekovem sestoju na Kočevskem rahla značilna diferenciacija prirastnih trendov po letu 1960 glede na nepoškodovana sicer obstoja pri močneje poškodovanih drevesih (osutost 45 - 55 %), pri zmerno poškodovanih pa šele po letu 1977. Kljub temu, da gre za fiziološko občutljiv mlajši sestoj smreke, močnejša diferenciacija v priraščanju še ni prisotna.

Prirastno odzivanje smreke je na izgubo asimilacijskega aparata v splošnem torej precej manj občutljivo, kot je bilo pričakovati glede na diferenciacijo splošnih sestojnih trendov. Številne prirastoslovne raziskave - med njimi tudi domače (KOLAR 1989, CENČIČ 1990, HOČEVAR 1991) sicer kažejo nasprotno, oziroma temeljijo prav na osutosti krošenj, kot kazalniku notranjih fizioloških dogajanj. Vendar pa večina objektivnejših dendrokronoloških raziskav potrjuje naše ugotovitve o skladnosti priraščanja dreves do 50 ali 60 % osutosti krošenj (KENK et al. 1984, SCHOEPFER & HRADETZKY 1986, HARTMANN et al. 1987, EKSTEIN et al. 1989). Ker ima smreka indeks listne površine običajno večji od 10, optimalni pa znaša po KANDLERJU (1989) okrog 4, so "pozne" reakcije dreves na izgubo asimilacijskega aparata pravzaprav normalne. Potemtakem lahko pričakujemo močnejšo diferenciacijo prirastnih trendov šele pri osutosti iglic nad 60 %, kar se ujema z našimi ugotovitvami. Prirastno obnašanje smreke je tudi bistveno drugačno kot pri jelki, za katero je značilna velika fiziološka občutljivost in zelo zgodnje razlikovanje prirastnih trendov (KENK et al. 1984, TORELLI et al. 1991).

Ker v raziskavi obravnavamo posamezne zelo homogene populacije smreke, katerih prirastno obnašanje je objektivno opisano z dendrokronološkimi metodami, menim, da so spoznanja o značilnostih prirastnega odzivanja mnogo bolj zakonita od spoznanj, ki nastajajo na podlagi klasičnih prirastoslovnih ali celo inventurnih metod. Ker so ugotovitve o manjši prirastni občutljivosti smreke na večjo izgubo asimilacijskega aparata (do 55 %) v različnih območjih Slovenije zelo enotne, sklepam, da ta zakonitost v splošnem velja ne glede na značaj imisijskih stresov tako za nižinsko (umetno), kot tudi za gorsko (naravno) smreko v odrasli optimalni fazi. To spoznanje je izrednega pomena pri varstvu in odločitvah o intenzivnosti odstranjevanja vizualno močneje poškodovanih smrek. Le-te bi morali tako s prirastnega, kakor tudi preživetvenega vidika čimdlje puščati v sestoju, čeprav so zelo močno poškodovane (do 75 % osutosti krošenj).

6 POVZETEK

Raziskava obravnava proučevanje in primerjavo vplivov neposrednega (bližinskega) in posrednega (daljinskega) onesnaževanja ozračja na rast smreke v odraslih - delno naravnih, delno umetnih smrekovih sestojih. Ima značaj študija posamičnega primera - sestoja ("case study"), v katerem je naključno izbrano pet trajnih raziskovalnih ploskev (velikosti 0.09 ha). Proučevanje neposrednih imisijskih vplivov je omejeno na gorski pas severozahodnega obrobja Šaleške doline in jugozahodnega Pohorja (trije sestoji), proučevanje daljinskega onenaževanja pa na alpski, s starejšimi naravnimi (Pokljuka) ter preddinarski predel (Kočevski Rog), z mlajšimi umetnimi smrekovimi sestoji (po en sestoj).

Proučeni so bili nekateri sestojno-ekološki vidiki propadanja smreke s posebnim ozirom na njeno odpornost. Dendrokronološko je bilo analizirano prirastno obnašanje 50 dominantnih smrek v vsakem sestoju (skupaj 250) v zadnjih 50 letih. Ugotovljene so bile tele temeljne zakonitosti reagiranja smreke na imisijske strese:

(1) Pospešeno izločanje - propad dreves zaradi neposrednih imisijskih stresov poteka v smrekovih enodobnih sestojih najintenzivneje v nižjih združenih razredih, kjer je drevje tudi sicer najbolj poškodovano (slika 3). Predominantna (najvitalnejša) drevesa strehe sestoja so najbolj odporna na imisijske strese; mortaliteta med njimi je zgolj slučajna. Le-ta imajo tudi v bodoče največje preživetvene možnosti.

(2) Najmočnejša poškodovanost dreves prvega združenega razreda v rahlo ogroženih sestojih (slika 1) kaže veliko fiziološko občutljivost teh dreves, ki so najbolj izpostavljena imisijskim stresom. Procesi propadanja se torej začenjajo ravno pri predominantnih drevesih. Večja občutljivost pa zaradi večje vitalnosti teh dreves ne pomeni tudi zmanjšane odpornosti v smislu preživetja.

(3) Rahla utesnjenost (sklenjenost) smrekovih krošenj v sestoju, ki naj bi bile optimalno oblikovane že v mladosti, blaži učinek močnejših imisijskih stresov. Rahlo utesnjena drevesa so namreč manj poškodovana od sproščenih, vendar iz strehe krošenj "štrlečih" dreves (slika 2). Če so krošnje dobro oblikovane, tudi večja sklenjenost krošenj ugodno deluje.

(4) Letna rast smreke je bila tako v severnem, kot tudi preddinarskem predelu Slovenije do leta 1960 predvsem klimatsko pogojena, kajti letno prirastno obnašanje sestojev je bilo do leta 1960 zelo skladno (slika 4). Po letu 1968 so nastopile v ožjem imisijskem območju termoelektrarne Šoštanj večje prirastne spremembe zaradi vpliva dodatnega eksogenega dejavnika - onesnaževanja ozračja (slika 6, 7).

(5) Smreka v mladosti kaže mnogo večjo občutljivost na klimatske strese (slika 4). Naravna gorska smreka je pri podobni razvojni starosti na klimatske ekstreme manj občutljiva od nižinske (umetne); njeno priraščanje je mnogo bolj umirjeno. Verjetno to velja tudi za občutljivost do imisijsko-klimatskih stresov.

(6) Zaporedni padci priraščanja v močno in zmerno ogroženih sestojih vodijo v upadanje ali vsaj v spremembo trendov debelinskega prirastka dreves (slika 4), vendar upad ni zelo izrazit. Priraščanje v starejših rahlo ogroženih sestojih pod vplivom posrednega in (ali) daljinskega onesnaževanja pa je v zadnjih 20 - 30 letih celo povečano. Obdobje povečanega priraščanja dreves se v zadnjih letih zaključuje.

(7) Močnejši negativni vplivi neposrednega onesnaževanja ozračja se pokažejo šele v primerjavi relativne učinkovitosti priraščanja dreves močno in zmerno ogroženih sestojev z rahlo ogroženimi (slika 7). Trend upadanja relativne učinkovitosti priraščanja dreves je nastopil po letu 1968. Upadanje je v močno in zmerno ogroženih sestojih strmejše, prirastne izgube pa večje. Relativna učinkovitost priraščanja močno in zmerno ogroženih sestojev v Šaleški dolini je tudi v zelo značilni negativni korelaciji z naraščanjem proizvodnje električne energije in s tem polucije v TE Šoštanj (preglednica 4).

(8) Nenadni, 3 - 5 let trajajoči padci priraščanja, ki so značilni za močne neposredne imisijske strese, dokazujejo, da je fiziološka oslabeitev dreves nastopila že dosti prej (do 20 let), preden so se pojavile močnejše zunanje poškodbe. Nenadnim padcem priraščanja vedno sledijo tudi nekajletne pozitivne priraščanja. Prirastni padci nastopajo zaradi vzajemnega delovanja klimatskih in imisijskih stresov.

(9) Prirastno odzivanje smreke je na osutost krošenj na splošno precej manj občutljivo, kot je bilo pričakovati na podlagi sestojnih trendov debelinskega prirastka. V prirastnih trendih vizualno nepoškodovanih (osutost do 10 %), rahlo (osutost 15 - 25 %), zmerno (osutost 30 - 40 %) in močneje poškodovanih (osutost 45 - 55 %) dominantnih smrek v odraslih sestojih tako v ožjem imisijskem območju, kot tudi pod vplivom daljinskega transporta onesnaževanja ozračja, namreč ni pričakovane močnejše diferenciacije (slika 5 a - e). Jasno neskladje prirastnih trendov nastopa le v močno ogroženih sestojih, "povzročijo" pa ga močno poškodovana drevesa z osutostjo iglic nad 55 % (slika 5 a). V tem se smreka močno razlikuje od fiziološko občutljivejše jelke.

7 SUMMARY

SOME CHARACTERISTICS OF DIEBACK PHENOMENA OF NORWAY SPRUCE AND ITS GROWTH RESPONSE TO THE AIR POLLUTION STRESS

The paper deals with the impact of direct and indirect air pollution on the growth of Norway spruce in mature natural and artificial stands. For this case study, data from five randomly selected permanent plots of 0.09 ha from five stands were used. The direct impact of air pollution was analyzed in the montane belt of the north-western border of Šaleška dolina and the south-western area of Pohorje (three stands), whereas the indirect impact was investigated in the Alpine region of Pokljuka (one older natural spruce stand) and in the pre-Dinaric region of Kočevski Rog (one younger artificial stand).

Some population-ecological features of the dieback (decline) of spruce were examined in terms of its resistance to air pollution stress. The growth behaviour of 50 dominant spruce trees from each stand (250 in total) in the course of the last 50 years was dendrochronologically analyzed to determine some basic characteristics of the response of Norway spruce to air pollution stress. The most significant findings are as follows.

(1) Precipitated mortality of trees resulting from direct air pollution stress in Norway spruce stands of the same age is most severe in lower tree classes, which consist of most severely damaged trees anyway (Fig. 3). The predominant trees, i.e. the most vigorous trees of the stand canopy, are most resistant to the impact of emission; it is purely accidental if such a tree dies. Consequently, predominant trees have the best chance of survival.

(2) The most damaged trees of the first cenotic status in a slightly endangered stand, which are most exposed to air pollution stress, indicate their high physiological sensitivity. The dieback process, then, commences with predominant trees. Yet a high susceptibility of these trees does not necessarily mean that their resistance in terms of survival is weaker, which is due to their vitality.

(3) If there is a slight competition of spruce crowns that have reached their optimum form in their youth, air pollution impact is less severe. This may be attributed to the fact that such trees are less damaged than trees without any crown competition that "stick out" of the stand canopy (Fig. 2). If crowns are well formed, greater density with moderate competition of crowns can have a positive effect.

(4) Until 1960, annual growth of Norway spruce in the northern and pre-Dinaric regions of Slovenia had been mainly dependent upon climatic conditions, as annual growth behaviour of stands was most consistent at that time (Fig. 4). After 1968, however, considerable growth changes took place in the area affected by direct emission of the thermal power plant of Šoštanj due to an additional exogenous factor - air pollution (Figs. 6, 7).

(5) The young Norway spruce is more physiologically susceptible to climatic changes (Fig. 4). The natural mountain spruce at a similar developmental stage is less susceptible than the lowland, i.e., artificial spruce, because its growth rate is slower and steadier. The same may be true of susceptibility to air pollution stress.

(6) Successive falls in growth rate in moderately and severely endangered stands lead to a decrease or at least to a change in the trends of diameter increment (Fig. 4), but the decrease is not pronounced. In mature, slightly endangered stands affected by direct and/or indirect air pollution, the growth rate was even on the increase in the last 20 - 30 years. In more recent years, however, the trend of increasing growth rate has been on the decline.

(7) More severe negative effects of direct impact of air pollution become evident only when the relative growth efficiency in severely and moderately endangered stands is compared with slightly endangered stands (Fig. 7). The tendency towards a decrease in relative growth efficiency commenced after 1968. In severely and moderately endangered stands, the decrease is sharper and growth losses are considerable. The relative growth efficiency in severely and moderately endangered stands of Šaleška dolina correlates with the increase in production of electrical energy produced by the thermal power plant of Šoštanj, and hence with the increase in air pollution (Tab. 4).

(8) Sudden 3 - 5 year falls in growth rate, which are characteristic of the impact of severe direct air pollution, indicate that physiological weakening of trees had commenced a long time before severe exterior damages appeared (as far back as 20 years). A sudden fall in growth rate is, as a rule, followed by a shorter period of more vigorous growth, which is attributed to the interaction of climatic and air pollution stress.

(9) In general, growth response of Norway spruce is less sensitive to needle loss than it would be expected on the basis of diameter increment trends of stands. There is no pronounced difference in growth trend between visually undamaged (needle loss of up to 10 %), slightly damaged (needle loss of 15 - 25 %), moderately damaged (needle loss of 30 - 40 %), and more severely damaged (needle loss of 45 - 55 %) dominant trees in nature stands either in the direct emission area or in the area subjected to indirect air pollution (Figs. 5 a-e). A distinct discrepancy in growth trend occurs only in severely endangered stands, which results from severely damaged trees with a needle loss of over 55 % (Fig. 5 a). This is a characteristic feature in which Norway spruce differs considerably from the physiologically more susceptible silver fir.

8 REFERENCE

- ABETZ, F., 1984. Die physiologische Belastbarkeit der Waldbeaume. Zum Erkennen aus waldwachstumskundlicher Sicht. *Allg. Forstztg.* 95, 11, s. 322 - 325
- ANONIM, 1987. Manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assesment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. ECE/UNEP for Europe - Geneve.
- ATHARI, S., 1983. Zuwachsvergleich von Fichten mit unterschiedlich starken Schadsymptomen. *AFZ*, 26/27, s. 653 - 655.
- AVEMARK, W., SCHOEPFER, W., 1988. Abrupte Zuwachsaenderungen von Fichten und Tannen, *Forst und Holz*. 43, s. 123 - 128.
- CENČIČ, L., 1990. Vpliv zdravstvenega stanja na prirastek ter proizvodno sposobnost smreke in jelke na Pohorju. *Gozd. V., Ljubljana*, 4, s. 169-183
- EICHKORN, TH., 1986. Wachstumanalysen an Fichten in Suedwestdeutschland. *Allg. Forst-u. J.-Ztg.*, 157, s. 125 - 139.
- EKSTEIN, D., 1985. On the Application of Dendrochronology for the Evaluation of Forest Damage. *Inventorying and Monitoring Endangered Forests, IUFRO Conference, Zuerich*, s. 287 - 290.

- EKSTEIN, D., KRAUSE, C., BAUCH, J., 1989. Dendroecological Investigation of Spruce Trees (*Picea abies* (L) Karst.) of Different Damage and Canopy Classes. *Holzforschung* 43, submitted, 19 s.
- EKSTEIN, D., SASS, U., 1989. Dendroecological Assessment of Decline and Recovery of Fir and Spruce in the Bavarian Forest. Bucher & Bucher-Wallin (ured.), *Air Pollution and Forest Decline, Proc. 14th Int. Meeting for Specialists in Air Pollution Effects on Forests Ecosystems, IUFRO P2.05. Interlaken, oktob. 1988, Birmensdorf, s. 255 - 260.*
- FERLIN, F., 1988. Raziskava prirastka in proizvodne sposobnosti sestojev v odvisnosti od onesnaževanja zraka. Ohranjanje gozdov v procesih onesnaževanja ozračja in intenziviranje proizvodnje lesa, 05 - 4680/488 - 88. Poročilo o delu za leto 1988, s. 14-19.
- FERLIN, F., 1990. Vpliv onesnaževanja ozračja na rastno obnašanje in rastno zmogljivost odraslih smrekovih sestojev. Magistrsko delo. Ljubljana, 141 s.
- FRANZ, F., 1983. Auswirkungen der Walderkrankungen auf Struktur und Wuchsleistung von Fichtenbeständen. *Forstw. Cbl.* 102, s. 186 - 200.
- FRITTS, H.C., 1976. *Tree rings and climate.* London, New York, Academic Press, 567 s.
- HARTMANN, P., SCHNEIDER, O., PETTER, D.A., SCHLAEPFER, R., 1987. Etude des relations, chez l'épicéa, entre la largeur du cerne et l'état sanitaire de la cime. *Schweiz. Z. Forstwes.*, 138, 11, s. 923 - 943.
- HOČEVAR, M., 1991. Poškodovanost in rast smrekovega gorskega gozda na poključko-jeloviški planoti. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 36, s. 27-67.
- HOUGHTON, R. A., WOODWELL, G. M., 1989. Globale Veraenderung des Klimas. *Spectrum der Wissenschaft*, s. 106 - 114.
- KANDLER, O., 1989. Epidemiological Evaluation of the Course of "Waldsterben" from 1983 to 1987. Bucher & Bucher-Wallin (ured.), *Air Pollution and Forest Decline, Proc. 14th Int. Meeting for Specialists in Air Pollution Effects on Forests Ecosystems, IUFRO P2.05, Interlaken, oktob. 1988, Birmensdorf, s. 297 - 302.*
- KENK, G., KREMER, W., BRANDL, H., BURGBACHER, H., 1984. Die Auswirkung der Walderkrankung auf Zuwachs und Reinertrag in einem Plenterwald des Mittleren Schwarzwaldes. *AFZ*, s. 692 - 696.
- KENK, G., 1989. Zuwachsuntersuchungen in Zusammenhang mit den gegenwertigen Waldschäden in Baden-Wuerttemberg. Bucher & Bucher-Wallin (ured.), *Air Pollution and Forest Decline, Proc. 14th Int. Meeting for Specialists in Air Pollution Effects on Forests Ecosystems, IUFRO P2.05, Interlaken, oktob. 1988, Birmensdorf, s. 263 - 268.*
- KOLAR, I., 1989. Umiranje gozdov V Šaleški dolini. Magistrsko delo. Ljubljana, 96 s.
- KOTAR, M., 1980. Rast smreke *Picea abies* (L) Karst. na njenih naravnih rastiščih v Sloveniji. Disertacija, Ljubljana, 165 s.
- LEŠNJAK, M., HRČEK, D., BATIČ, F., ŠOLAR, M., KOLAR, I., FERLIN, F., 1989. Air pollution and damage on vegetation near TE Šoštanj thermal power plant in Slovenia. Brassler & Mulder (ured.), *Man and his Ecosystem, Proceedings of the 8th World Clean Air Congress 1989, The Hague, vol. 2, s. 125 - 130.*
- NASH, H.T., FRITTS, H.C., STOKES, M.A., 1975. A technique for examining non-climatic variation in widths of annual tree rings with special reference to air pollution. *Tree-ring bulletin*, vol. 35, s. 15-25.

- ROEHLE, H., 1987. Entwicklung von Vitalitaet, Zuwachs und Biomassenstruktur der Fichte in verschiedenen bayerischen Untersuchungsgebieten unter dem Einfluss der neuartigen Walderkrankungen. Forstl. Forschungsberichte, Muenchen, 107 s.
- SCHMIDT-HAAS, P., 1989. Do the Observed Needle Losses reduce the Increments ? Bucher & Bucher-Wallin (ured.), Air Pollution and Forest Decline, Proc. 14th Int. Meeting for Specialists in Air Pollution Effects on Forests Ecosystems, IUFRO P2.05, Interlaken, oktob. 1988, Birmensdorf, s. 271 - 275.
- SCHMIDT-VOGT, H., 1989. Die Fichte, Band II/2, Krankheiten, Schaeden, Fichtensterben. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 607 s.
- SCHOEPFER, W., HRADETZKY, J., 1984. Der Indizienbeweis: Luftverschmutzung massgebliche Ursache der Walderkrankung. Forstwiss. Cbl. 103, s. 231 - 248.
- SCHOEPFER, W., HRADETZKY, J., 1986. Zuwachsrueckgang in erkrankten Fichten- und Tannenbestaenden - Auswertungsmethoden und Ergebnisse. Forstwiss. Cbl. 105, s. 446 - 470.
- SCHWEINGRUBER, F.H., 1983. Der Jahring, Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrokronologie, Bern, Stuttgart, Verlag Paul Haupt., 234 s.
- SVETLIN, A., 1975. Razvoj proizvodnje električne energije v Šaleški dolini. 100 let rudnika lignita Velenje, s. 105 - 112.
- TORELLI, N., ROBIČ, D., ZUPANČIČ, M., OVEN, P., FERLIN, F., KRIŽAJ, B., 1991. Električna upornost kot kazalec zdravstvenega stanja in možnosti jelk za preživetje na območjih z zračno polucijo. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 36, s. 17 - 26.

ZAHVALA

Raziskavo, na podlagi katere je napisan ta prispevek, je financirala Posebna raziskovalna skupnost Slovenije (PORS). Posebej se zahvaljujem mag. Vladu Puhku za izdelavo programov pri dendrokronoloških analizah ter dipl. inž. Ibrahimu Nouhoumu za pomoč pri digitalno-optičnem merjenju branik. Zahvala velja gozdnim gospodarstvom Nazarje, Slovenj Gradec in Kočevje za pomoč pri terenskih delih.

PRILOGE

- Priloga 1 Osutost krošenj analiziranih smrekovih sestojev po združbenih razredih
 Anhang 1 Kronnenentnadelung analysierter Fichtenbestände nach Baumklassen
 Append. 1 Needle loss of crowns according to tree-class in spruce stands under consideration

Soc.razred (Baumkl.)	Sestoji (Bestände)				
	1-Zavodnje	2-Sleme	3-Mislinja	4-Pokljuka	5-Kočevje
1	42.1	28.5	38.3	30.9	29.7
2	47.9	31.0	25.0	26.0	25.3
3	47.3	33.7	24.1	25.5	27.4
4	58.3	33.7	35.2	33.8	38.8
5	64.7	42.2			
Kruskal-Wallis					
H ₍₁₋₅₎	15.8**	8.70	32.9**	17.6**	14.3**
H ₍₁₋₃₎	1.1 ^{NS}	3.9 ^{NS}	31.1**	17.1**	4.0 ^{NS}

Pojasnilo: Primerjava osutosti po združbenih razredih je narejena z neparametrično (Kruskal-Wallisovo) analizo variance. Poleg primerjave vseh združbenih razredov hkrati (H₍₁₋₅₎), je narejena tudi primerjava znotraj strehe sestojev (H₍₁₋₃₎).

- Priloga 2 Osutost iglic v strehi sestojev glede na utesnjenost krošenj
 Anhang 2 Entnadelung der Bäume im Kronnendach in Abhängigkeit von der Kronnenkonkurrenz
 Append. 2 Needle loss in stand canopy according to competition of crowns

sestoj (Bestand)	utesnjenost (Kronnenkonkurrenz)				Kruskal-Wallis	
	1-sprošč.	2-rahla	3-srednja	4-močna	H ₍₁₋₂₎	H ₍₂₋₄₎
1-Zavodnje	51.5 (33)	41.7 (40)	48.1 (13)	55.0 (3)	3.9*	5.0°
2-Sleme	33.1 (13)	29.4 (73)	33.5 (44)	40.6 (8)	NS	8.2
Skupaj (1+2)	46.3 (46)	33.8 (113)	36.8 (57)	44.5 (11)	14.8**	7.3*
3-Mislinja	32.0 (33)	25.5 (105)	23.3 (49)	25.0 (11)	8.3**	3.3 ^{NS}
4-Pokljuka	28.3 (30)	27.0 (89)	25.2 (48)	26.0 (15)	NS	6.7°
5-Kočevje	28.1 (42)	26.4 (96)	27.1 (73)	20.7 (7)	NS	NS

Pojasnilo: Analiza variance po Kruskal-Wallisov je narejena ločeno med prvo in drugo (H₍₁₋₂₎) ter od druge do četrte stopnje (H₍₂₋₄₎) utesnjenosti krošenj. V oklepajih je prikazano število dreves.

Priloga 3 Srednje vrednosti nekaterih biometričnih spremenljivk po stopnjah poškodovanosti dreves

Anhang 3 Mittelwerte saemtlicher biometrischen Baummerkmale nach Schadstufen

Append. 3 The mean values of some biometrical variables according to the tree damage class

SESTOJ <i>Bestand</i>	STOPNJA <i>Stufe</i>	ŠTEVILO <i>Anzahl</i>	PREMER <i>BHD</i>	VIŠINA <i>Hoehe</i>	VOLKRO <i>Kron_V</i>	SOCRAZ <i>Baumkl</i>
1	2	5	39.72	27.0	57.3	1.40
1	3	16	34.91	24.5	49.3	2.19
1	4	16	37.76	25.4	78.2	1.75
1	6	7	35.94	25.7	63.4	1.71
1	7	4	31.18	22.4	47.8	2.50
2	1	6	37.93	28.0	92.5	1.17
2	2	25	38.92	27.1	87.4	1.67
2	3	13	35.86	26.5	69.8	1.77
2	4	3	39.90	28.0	97.3	1.33
3	2	30	42.66	33.6	85.1	1.87
3	3	11	44.17	34.0	104.3	1.40
3	4	4	46.35	36.5	126.9	1.00
3	5	4	46.55	37.6	143.3	1.00
4	1	6	52.33	36.7	53.8	1.83
4	2	23	54.74	37.3	71.2	1.65
4	3	21	54.45	38.1	84.8	1.38
5	1	12	40.40	32.1	83.6	2.00
5	2	31	41.24	32.2	86.0	1.68
5	3	7	40.33	32.4	87.5	1.57
5	4	4	41.30	32.4	80.0	1.50

Opomba: 1) STOPNJA - stopnja poškodovanosti na podlagi osutosti vrhnjega (sončnega) dela krošenj:

1 - zdravo, 2 - rahla, 3 - zmerna, 4 - močnejša, 5 - močna, 6 - zelo močna, 7 - popolna poškodovanost (in suho)

2) VOLKRO - volumen krošenj

3) SOCRAZ - združbeni razred (po Kraftu)