

GDK 561.2 : 53 : 547 : 174.7 Picea abies Karst. : 425.1 : 565 (497.12)

## **VPLIV ONESNAŽEVANJA OZRAČJA NA RASTNOST ODRASLIH SMREKOVIH SESTOJEV - METODA KVANTIFICIRANJA OGROŽENOSTI FIZIOLOŠKIH FUNKCIJ GOZDA**

Franc FERLIN\*

### *Izvleček*

Raziskava je bila zasnovana v petih smrekovih sestojih predalpskega, alpskega in preddinarskega dela Slovenije. Proučevane vzorčne populacije obsegajo 200 do 250, skupaj 1200 živih dreves na 25 raziskovalnih ploskvah, vključujoč tudi izločena drevesa. V prispevku je proučen vpliv neposrednega in posrednega onesnaževanja ozračja na prirastne trende in rastnost odraslih smrekovih sestojev. Uporabljena je izvorna metoda kvantificiranja sestojnih (pri)rastnih izgub. Posebej so bili analizirani tudi trendi zdravstvenega stanja sestojev po letu 1986. Prikazan je bil poskus celovitejšega ovrednotenja ogroženosti fizioloških funkcij gozda. Nakazane so bile možnosti za uporabo metode pri vrednotenju ogroženosti drugih funkcij gozda. Podane so bile nekatere splošne gozdnogojitvene usmeritve za gospodarjenje v imisijsko ogroženih smrekovih sestojih.

*Ključne besede: onesnaževanje ozračja, propadanje smreke, mortaliteta, rastnost sestojev, (pri)rastne izgube, ogroženost fizioloških funkcij, Picea abies*

## **THE IMPACT OF AIR POLLUTION ON PRODUCTIVITY OF MATURE NORWAY SPRUCE STANDS - A METHOD FOR THE QUANTIFICATION OF ENDANGERMENT OF PHYSIOLOGICAL FOREST FUNCTIONS**

Franc FERLIN \*

### *Abstract*

Five Norway spruce stands in the pre-Alpine, Alpine and pre-Dinaric regions of Slovenia were studied. Sample populations included between 200 and 250 trees each, a total of 1200 growing trees on 25 research plots, including trees which had been thinned or self thinned. The study was aimed at analyzing the impact of direct and indirect air pollution on growth trends and productivity of mature Norway spruce stands by the use of an original quantification method for the evaluation of stand growth losses. The trend of health condition of stands since 1986 was also examined. An attempt was made to comprehensively evaluate the endangerment of physiological functions of forest. The results are presented as a guide to applying the method for an assessment of the endangerment of other forest functions. Some general silvicultural guidelines for forest management in Norway spruce stands endangered on account of air pollution are presented.

*Key words: air pollution, spruce decline, mortality, stand productivity, stand growth losses, endangerment of physiological functions, Picea abies*

---

\* mag. gozd., asist., Oddelek za gozdarstvo, Biotehniška fakulteta, 61 000 Ljubljana, Večna pot 83, Slovenija

## VSEBINA

1	UVOD .....	99
2	RAZISKOVALNI OBJEKTI .....	100
3	RAZISKOVALNE METODE .....	101
3.1	ANALIZE NA RAZISKOVALNIH PLOSKVAH .....	101
3.1.1	Meritve in ocene pri živih drevesih .....	101
3.1.2	Meritve in ocene pri panjih .....	102
3.2	METODA KVANTIFICIRANJA SESTOJNIH (PRI)RASTNIH IZGUB ZARADI IMISIJ .....	102
3.2.1	Splošno o metodah ugotavljanja fizioloških izgub in značilnosti uporabljene metode .....	102
3.2.2	Rekonstrukcija dejanskega gibanja lesnih zalog in prirastkov sestojev .....	104
3.2.3	Rekonstrukcija potencialnega in idealnega gibanja lesnih zalog in prirastkov sestojev .....	104
3.3	STATISTIČNA IN GRAFIČNA OBDELAVA PODATKOV .....	105
4	UGOTOVITVE IN RAZPRAVA .....	105
4.1	TRENDI ZDRAVSTVENEGA STANJA SESTOJEV POD NEPOSREDNIM VPLIVOM IMISIJ PO LETU 1986 .....	105
4.1.1	Splošni trendi poškodovanosti in vplivni dejavniki .....	105
4.1.2	Spremembe osutosti krošenj na podalgi vizualnih ocen in fotografskih serij .....	106
4.1.3	Spremembe osutosti krošenj glede na preteklo vitalnost in poškodovanost dreves .....	109
4.2	TRENDI RASTNOSTI IMISIJSKO OGROŽENIH SESTOJEV ZADNJIH 20 LET .....	110
4.2.1	Gibanje izločenih dreves glede na vzroke .....	110
4.2.2	Gibanje lesnih zalog in njihovih izgub zaradi imisij .....	112
4.2.3	Gibanje tekočega volumenskega prirastka sestojev ter njegovih izgub zaradi imisij .....	113
4.2.4	Gibanje povprečnega volumenskega prirastka sestojev ter njegovih izgub zaradi imisij .....	116
4.2.5	Plodnost rastišč za smreko .....	117
4.3	POSKUS CELOVITEGA VREDNOTENJA OGROŽENOSTI FIZIOLOŠKIH FUNKCIJ GOZDA .....	117
4.4	UPORABNOST METODE ZA VREDNOTENJE OGROŽENOSTI FIZIOLOŠKIH IN DRUGIH FUNKCIJ GOZDA .....	118
5	SUMMARY .....	120
6	REFERENCE .....	123

## 1. UVOD

Za prejšnje desetletje, ki je evropskemu gozdu "prineslo" t.i. moderno veliko površinsko umiranje gozda, so značilne črnoglede napovedi v prvi ter realnejši in tudi bolj optimistični pogledi na bodoči razvoj tega pojava v drugi polovici obdobja. Raziskave trendov poškodovanosti drevja (predvsem smreke) so namreč pokazale, da le-ti po letu 1985 niso tako zastrašujoči kot je bilo sprva pričakovati, in da prihaja do umiritve oziroma celo do rahlega (vizualnega) izboljševanja zdravstvenega stanja gozdov (npr. KANDLER 1989). Nekaj podobnega velja tudi za naše gozdove (ŠOLAR 1990). V zadnjem desetletju je na fiziološkem področju pojava umiranja smreke nastalo mnogo raziskav (SCHMIDT-VOGT 1990). Vendar so raziskave, ki obravnavajo vplive imisijskih stresov na rast in razvoj smrekovih sestojev in ne le posameznih dreves, precej manj pogoste. Fiziološke raziskave na sestojni ravni so namreč bistveno zahtevnejše od tistih na drevesni, kjer načeloma ne potrebujemo raziskovalnih ploskev in tudi ne toliko terenskega dela.

Večina dosedanjih tujih in tudi druge domače raziskave na sestojni ravni obravnavajo le vplive imisij na tekoče (trenutno) priraščanje smrekovih sestojev (FRANZ 1983, ATHARI & KRAMER 1985, FRANZ et al. 1986, SCHOEPFER & HRADETZKY 1986, SCHOEPFER 1987, DONG & KRAMER 1987, ROEHLE 1987, DONG et al. 1989, KOLAR 1989, CENČIČ 1990, HOČEVAR 1991), zelo redke pa so take, kjer so proučeni tudi dolgoročni vplivi imisijskih stresov na ravnost sestojev (KENK 1989). Naša raziskava, ki temelji na (sedaj že) trajnih raziskovalnih ploskvah, je ena izmed teh.

V prispevku so na primeru posameznih smrekovih populacij (sestojev) pod vplivom neposrednega in posrednega (daljinskega) onesnaževanja ozračja proučene posledice imisijskih stresov različnih jakosti na trende tekočega volumenskega prirastka in na (dolgoročno) ravnost sestojev. V sestojih, kjer še ni bilo mogoče ugotoviti (pri)rastnih izgub, je bila ocenjena tudi plodnost rastišč za smreko. Analizirane so bile tudi spremembe poškodovanosti ogroženih sestojev po letu 1986 v odvisnosti od življenjske moči dreves ter njihova povezanost s prirastnimi spremembami. Za kvantificiranje sestojnih (pri)rastnih izgub je bila uporabljena izvirna metoda, ki temelji na idealizaciji dejanskega stanja ogroženih smrekovih sestojev ter na rekonstrukciji njihovega razvoja v bližnji preteklosti. Pri tem so bile uporabljene zakonitosti prirastnega obnašanja dreves oziroma (relativni) prirastni trendi v primerjalnih, sicer rahlo ogroženih sestojih, ki jih je nudila predhodna dendrokronološka raziskava prirastnega obnašanja poškodovanih smrek ob upoštevanju trendov onesnaževanja ozračja in podnebnih dejavnikov (FERLIN 1991). Prikazan je tudi poskus kompleksnejšega vrednotenja ogroženosti fizioloških funkcij smrekovega gozda na podlagi ugotovljenih sestojnih rastnih izgub.

## 2 RAZISKOVALNI OBJEKTI

Raziskovalni objekti so posamezni odrasli enodobni (enomerni) smrekovi sestoji v optimalni fazi, ki so deloma umetnega, deloma naravnega nastanka. Izbrani so v treh različnih fitogeografskih področjih Slovenije, in sicer v predalpsko- alpskem, alpskem ter v preddinarskem. V prvem fitogeografskem področju gre pretežno za neposredne imisijske vplive različnih jakosti (termoelektrarna Šoštanj), v alpskem in preddinarskem pa za daljinski transport onesnaževanja ozračja. Neposredni imisijski vplivi so bili proučevani v treh različno ogroženih smrekovih sestojih, izbranih na severozahodnem obrobju Šaleške doline (dva sestoja) in na jugozahodnem delu Pohorja (en sestoj), daljinski vplivi pa na Pokljuki (en sestoj) in na Kočevskem (en sestoj). V vsakem sestoju je bilo glede na ugotovitve prejšnjih prirastoslovnih raziskav (KOTAR 1980) naključno izbrano pet trajnih raziskovalnih ploskev s površino 0.09 ha.

Da bi bile ugotovitve o ravnosti sestojev uporabne tudi za oceno plodnosti rastišč, smo pri izbiri ploskev v rahlo ogroženih sestojih, kjer večjih (pri)rastnih sprememb še ni bilo pričakovati, upoštevali poleg glavnih kriterijev (FERLIN 1991) še dodatne. Raziskovalne ploskve smo namreč izločili v najbolj sklenjenih delih sestojev, kjer so bila tudi redčenja v preteklosti minimalna. Posamezni sestoji v smislu proučevanja ravnosti oziroma imisijske ogroženosti fizioloških funkcij gozda predstavljajo modelne sestoje pod vplivom različne jakosti in vrste imisijskih stresov. Nekatere njihove značilnosti prikazuje naslednja preglednica:

Preglednica 1 Nekatere ekološke značilnosti raziskovanih smrekovih sestojev  
Table 1 Some ecological characteristics about Norway spruce stands under consideration

	Proučevani sestoji (Researched Stands)				
	1-Zavodnje	2-Sleme	3-Mislinja	4-Pokljuka	5-Kočevje
Področje (Region)	predalpsko <i>pre-Alpine</i>		alpsko <i>Alpine</i>		preddinarsko <i>pre-Dinaric</i>
Imisije (Pollution)		bližinske ( <i>direct</i> )			daljinske ( <i>indirect</i> )
Ogroženost (Endangerment)	močna <i>severe</i>	zmerna <i>moderate</i>	rahla <i>slight</i>		rahla <i>slight</i>
Nastanek (Establishing)	naravni <i>artificial</i>	umetni <i>natural</i>	naravni <i>artificial</i>	umetni <i>natural</i>	umetni <i>artificial</i>
Nadm.v. (Al.a.s.l.)	800-850 m	1050-1100 m	850-1150 m	1300- 1350 m	520-550 m
Ekspozicija	O - NO	O - NO	S - SW	ravno (S)	S - SW
Nagib (Slope)	50 - 60 %	20 - 55 %	20 - 30 %	0 - 10 %	5 - 15 %
Kamenina (Bedrock)	tonalit <i>tonalit</i>	glin.skril. <i>slate</i>	tonalit /gnajs <i>tonalit /gneiss</i>		apnenec <i>limestone</i>
Rastišče (Site)	QF-luzul.	AF-luzul.	Luz.F./Sav.F.	Ad.-Piceetum	AF-hacquet.
Starost (Age)	80 - 90	95 - 105	100	135 - 165	75
SIND <sub>50</sub> , EAFV	16.6	16.9	23.2	22.4	25.1
1. analiza	1986/1987	1986/1987	1987/1988	1988	1988

### 3 RAZISKOVALNE METODE

#### 3.1 ANALIZE NA RAZISKOVALNIH PLOSKVAH

##### 3.1.1 Meritve in ocene pri živih drevesih

Zaradi spremljave trendov poškodovanosti dreves in ugotavljanja rastnosti sestojev oziroma imisijsko pogojenih (pri)rastnih izgub so bili pri vseh drevesih izmerjeni oziroma ocenjeni tile znaki:

- prsni premer debla (v mm)
- premer debla v višini panja (v cm)
- prirastek polmera za štiri 5-letja (v mm)
- višina drevesa (v m)
- osutost iglic krošnje (na 5 % natančno)
- združbene razmere po Kraftu (5 stopenj)
- konkurenčni odnosi med drevesi (5 stopenj)
- gozdnogojitvena vloga po IUFRO klasifikaciji.

Premer debla v višini panja (0.3 m) je na podlagi korelacije s prsnim premerom služil za oceno prsnega premera izločenih dreves. S tem je bila omogočena rekonstrukcija razvoja lesne zaloge in prirastka sestojev v bližnji preteklosti (zadnjih 20 let). Prve meritve premerov in višin dreves so bile v Šaleški dolini opravljene v avgustu 1986, v Mislinji v juniju 1988, na Pokljuki od avgusta do septembra 1988 in na Kočevskem od septembra do oktobra 1988. Konec avgusta 1991 je bila izvedena ponovna meritev premerov v Šaleški dolini in v Mislinji. Prve natančne vizualne ocene osutosti krošenj so bile v Šaleški dolini narejene v jeseni 1987, v drugih sestojih pa sočasno s prvimi meritvami. Do leta 1991 so bile v vseh sestojih izvedene vsakoletne vizualne ocene zdravstvenega stanja. Poleg vizualnih ocen osutosti je bila pri manjšem številu dreves (20 - 25 % nosilcev funkcij) uvedena tudi fotokontrolna metoda spremljave zdravstvenega stanja. Na podlagi slednje je nastal katalog osutosti krošenj, s pomočjo katerega je bila dosežena trenutna in časovna primerljivost (kontrola) vizualnih ocen osutosti krošenj.

Gozdnogojitvena vloga dreves v sestoju je bila ocenjena s pomočjo klasifikacije IUFRO (ANONIM. 1965). Analizirani sestoji so v optimalni fazi, v kateri so nosilci funkcij glede na reakcijske sposobnosti smreke že v veliki meri izoblikovani. Kriteriji izbire nosilcev funkcij so zato temeljili predvsem na oceni dejanskih (doseženih), manj pa na oceni perspektivnih (pričakovanih) lastnosti dreves, kar je sicer značilno za mlajše razvojne faze gozda. Tak pristop je bil potreben tudi zaradi na novo nastalih sprememb zdravstvenega stanja, ki so posledica onesnaževanja ozračja, in sicer ravno pri tistem delu populacije dreves, ki bi moral imeti v normalnih razmerah največjo življenjsko moč.

*Med nosilce funkcij smo v imisijsko ogroženih sestojih uvrstili drevesa z največjo (preteklo) življenjsko močjo, to je z dobro razvitimi (večjimi) krošnjami ter z največjimi debelinami - najugodnejšim cenotskim statusom v sestoju. V sestojih z ohranjeno zgradbo so tako vsi nosilci funkcij pretežno dominantna in predominantna drevesa (po Kraftu). Splošna*

*kakovost dreves in njihova razmestitev v sestoji kot kriterija pri izbiri nista mogla biti več odločilna. Tako izbrani nosilci imajo zato značaj t.i. bioloških nosilcev funkcij, kar je v bolnem gozdu edino sprejemljivo. Na podlagi današnjega zdravstvenega stanja in priraščanja nosilcev funkcij ter njihove umrljivosti zaradi imisijskih stresov v preteklosti namreč lahko spoznamo dejansko ogroženost sestojev oziroma sestojne (pri)rastne izgube.*

### 3.1.2 Meritve in ocene pri panjih

Tudi pri vseh v preteklosti izločenih drevesih so bili izmerjeni oziroma ocenjeni tile znaki:

- premer panja (v cm);
- starost (razpadlost) panja oziroma čas, ki je pretekel od poseka (5-letja);
- tedanji združbeni položaj (po Kraftu) in
- tedanja gozdnogojitvena vloga izločenega drevesa (po IUFRO);
- vzrok poseka.

Zaradi ugotavljanja ravnosti sestojev so bili izmerjeni premeri vseh panjev glede na njihovo ohranjenost. Pri zelo starih panjih (prek 50 let) je bil premer ocenjen na podlagi njihovih ostankov. Razkroj panjev pri smreki je razmeroma počasen, zato menim, da je bila s tem zajeta skoraj vsa lesna masa izločenih dreves v dozrajšem razvoju sestojev (nad 10 cm debeline), kar dovoljuje izračun skupne lesne produkcije sestojev. Zaradi ugotavljanja imisijsko pogojenih sestojnih rastnih izgub so bila vsa izločena drevesa razvrščena tudi po (pretekli) gozdnogojitveni vlogi, in to posredno na podlagi debeline panjev, ocene tedanjega združbenega položaja ter glede na tedanjo in današnjo razmestitev dreves v sestoji. Vzporedno s tem je bil vsakemu drevesu, glede na poznavanje in izkušnje ocenjen tudi vzrok poseka. Poleg mortalitete zaradi umiranja, ki se je pojavila v Šaleški dolini ravno v letu analize (1986) ali nekaj let pred njo (1983), je kot vzrok poseka nastopalo še redčenje in naravno izločanje dreves ter druge znane in neznane motnje.

## 3.2 METODA KVANTIFICIRANJA SESTOJNIH (PRI)RASTNIH IZGUB ZARADI MISIJ

### 3.2.1 Splošno o metodah ugotavljanja fizioloških izgub in značilnosti uporabljene metode

Vsako, bodisi kvalitativno ali kvantitativno vrednotenje izgub oziroma ogroženosti posameznih funkcij je pri naravnih populacijah povezano s poznavanjem normalnega (neogroženega) stanja populacij. Še posebej pomembno je, če za takšne primerjalne (kontrolne) populacije - v gozdarstvu sestoje, poznamo tudi trende njihove rasti in razvoja. Številne dosedanje raziskave v gozdni fiziologiji so temeljile na posameznih primerjalnih sestojih v naravi (parne primerjave), še pogosteje pa na primerjavah s

teoretičnimi (tabličnimi) sestoji. Parne primerjave so bile uspešne le takrat, ko je bilo mogoče najti zelo homogene rastiščne in sestojne razmere in znotraj njih poiskati oziroma ustvariti razlike, ki so bile predmet proučevanja (npr. učinki redčenj, učinki gnojenja, vpliv prometnic na prirastek itd.).

Zaradi velike raznolikosti sestojev, kot posledice različnega nastanka, različnih negovalnih ukrepov in prisotnosti raznih motenj žive in nežive narave v preteklosti, lahko večje ali manjše razlike med sestoji znotraj istega rastišča nastopajo že brez vpliva imisijskih ali drugih stresov. To še posebno velja za primerjave dejanskih sestojev s teoretičnimi, kjer so take razlike prej pravilo kot izjema. Pričakovane (rastne) izgube zaradi onesnaževanja ozračja so lahko, vsaj v začetku, bistveno manjše od razlik, ki nastajajo zaradi raznolikosti rastišč in sestojev. Pri proučevanju vpliva onesnaževanja ozračja na rastnost sestojev je zato neposredna uporaba parnih primerjav (ogroženi - neogroženi sestoji) precej vprašljiva, še posebno, ker izključitev imisijskih vplivov znotraj iste populacije dreves (sestoja) ni možna.

Še bolj otežene so primerjave s tabličnimi sestoji, pa čeprav le na podlagi relativnih prirastnih trendov, kar dokazujejo prav raziskave priraščanja močnejše ogroženih sestojev v Šaleški dolini (KOLAR 1989), kjer se je izkazalo, da so tako ugotovljene (pri)rastne izgube komaj opazne. Fiziološke raziskave v evropskem in našem prostoru kažejo, da gre pri smreki zadnjih 20 - 30 let lahko za bistveno spremenjene prirastne trende dreves (ABETZ 1984, EICHKORN 1986, SCHMIDT-HAAS 1989, FERLIN 1991) in sestojev (FRANZ 1983, ROEHLE 1987, KENK 1989, HOČEVAR 1991) v primerjavi s tabličnimi, kar seveda onemogoča tovrstne primerjave.

Metoda kvantificiranja ogroženosti fizioloških funkcij gozda zaradi onesnaževanja ozračja oziroma ugotavljanja sestojnih rastnih izgub zato temelji na preprostih primerjavah *dejanskega stanja* nekega sestoja z njegovim (umišljenim) *potencialnim stanjem*, kakršnega naj bi v danih razmerah sestoj imel, če ne bi bila prisotna umrljivost perspektivnih dreves (nosilcev funkcij) zaradi imisijskih stresov. Določitev potencialnega stanja v danem sestoji je razmeroma enostavna - na podlagi števila in mase dejansko izpadlih nosilcev funkcij, ki predstavljajo resnično izgubo za sestoj. S pomočjo rekonstrukcije stanja sestoja v bližnji preteklosti (npr. do 20 let) lahko pridemo tudi do trendov (umišljene) potencialne rasti istega sestoja. V imisijsko močnejše ogroženih smrekovih sestojih prihaja poleg umrljivosti dreves tudi do izgub (upada) prirastka dreves, zato je potrebno prirastek obstoječih in tistih dreves, ki bi ob izključitvi vpliva imisij še morala rasti, korigirati, t.j. povečati ob upoštevanju (relativnih) prirastnih trendov dreves v neogroženih sestojih. S tem dobimo *idealno stanje* imisijsko ogroženega sestoja, v kakršnem bi bil, če ne bi prišlo do umrljivosti (sušenja) ter do upadanja oziroma diferenciacije prirastnih trendov dreves.

*Uporabljena metoda torej temelji na idealizaciji dejanskega stanja sestojev kot podlagi za oceno fizioloških sprememb (učinkov, reakcij), naslanja pa se na rekonstrukcijo sestoja v bližnji preteklosti in upošteva zakonitosti rasti dreves v primerjalnih (neogroženih) sestojih. Zato je zelo uporabna pri fizioloških in gozdnogojitvenih raziskavah. Načelo idealizacije*

je v praksi splošen pripomoček tudi pri postavljanju dolgoročnih gozdnogojitvenih ciljev. Kot metoda je bilo pri nas že uporabljeno pri kvantificiranju negovanosti sestojev (MLINŠEK 1981) in učinkov redčenj (FERLIN 1982).

### 3.2.2 Rekonstrukcija dejanskega gibanja lesnih zalog in prirastkov sestojev

Rekonstrukcija razvoja sestojev v bližnji preteklosti je bila mogoča, ker smo na raziskovalnih ploskavah upoštevali poleg obstoječih dreves tudi vsa v preteklosti izločena drevesa (panje). Vendar smo natančnejši razvoj sestojev lahko, glede na hitrost razpadanja panjev, zanesljiveje rekonstruirali le do 20 let nazaj. V ta namen smo vsem posekanim drevesom (na temelju premera panja in korelacije s prsnim premerom pri obstoječih drevesih) priredili ustrezní prsni premer. Izmerili in upoštevali smo tudi močno razpadle in komaj še zaznavne panje, zato sodim, da smo s tem zajeli skoraj vso lesno maso v preteklosti izločenih dreves, še posebej, ker v mladosti ti sestoji niso bili redčeni. S tem je omogočen tudi izračun celotne lesne produkcije sestojev do danes.

Volumen dreves je dobljen s pomočjo dvovhodnih deblovníc, izraženih s prilagojenimi funkcijami (PUHEK neobj.). Volumen dreves v preteklih petletnih obdobjih pa je izračunan tako, da je današnja višina dreves zmanjšana za ustrezen odstotek prirastka, ki je razen na Pokljuki, kjer smo izmerili tudi višinski prirastek manjšega vzorca (20) dreves, povzet kar po debelinskem prirastku. Izločena drevesa smo datirali na sredino posameznih obdobjí; izjema je bilo obdobje 1981 - 1986 v obeh sestojih v Šaleški dolini, kajti okrog 3/4 dreves tega obdobja je bilo posekanih v letu 1986. Izračun volumna izločenih dreves na začetku posameznih obdobjí, ki se ujemajo z obdobji, po katerih so bili vrtani prirastki stoječega kolektiva dreves, je potekal na osnovi debelinskega prirastka stoječih dreves. Le-tega smo po petletnih obdobjih glede na premer priredili posekanim drevesom. Na podlagi debelinskega prirastka smo tako zmanjšali premere posekanih dreves na začetek posameznih obdobjí. Volumen posekanih dreves na začetku obdobjí pa smo, tako kot končni volumen po obdobjih, izračunali s pomočjo temeljnic in predhodno prirejenih oblikovnih višin dreves. Lesno zalogo sestoja na začetku preteklih obdobjí tako predstavlja seštevek volumnov dreves stoječega sestoja in volumnov posekanih dreves. Volumenski prirastek sestoja po posameznih obdobjih pa je seštevek razlik volumnov pri stojećih in pri posekanih drevesih. Skupna lesna pridelava je seštevek končne lesne zaloge stoječega sestoja ter končnih lesnih zalog vseh do zdaj izločenih dreves. Če jo delimo s starostjo sestoja, dobimo povprečni starostni prirastek, ki je najpomembnejši kazalnik ravnosti sestojev.

### 3.2.3 Rekonstrukcija potencialnega in idealnega gibanja lesnih zalog in prirastkov sestojev

Izračun modela potencialnega razvoja je potekal za "umišljeno stoječa" drevesa v nasprotni smeri kot pri obstoječih drevesih. Vsem izločenim drevesom, ki bi potencialno še morala rasti, smo najprej povečali (končne) premere za ustrezen debelinski prirastek



stoječih dreves po posameznih obdobjih. Debelinski prirastek dreves v strehi sestoja smo pri izračunu idealnega modela v močno in zmerno ogroženih sestojih predhodno še povečali zaradi zmanjšane učinkovitosti priraščanja dreves (FERLIN 1991) oziroma prirastnih izgub zaradi onesnaževanja ozračja (sl. 4). Izjema pri tem je bil debelinski prirastek dreves zadnjega petletja v močno ogroženih sestojih, ki se je sam tako povečal, da je že dosegel primerjalno raven in ga ni bilo potrebno korigirati. Kot izhodišče za idealizirani izračun je služil premer dreves pred 20 - 25 leti, ki smo ga po obdobjih ustrezno povečevali. Nadaljnji izračun je potekal tako kot pri dejanskem razvoju sestoja.

Razlike med idealnim (potencialnim) in dejanskim stanjem posameznih sestojnih parametrov (lesna zaloga, tekoči in povprečni perirastek) po posameznih obdobjih predstavljajo v bistvu trende (pri)rastnih izgub. Fiziološke (rastne) izgube sestojev zaradi procesov umiranja so po tej metodi najnižje možne izgube, ker so:

- (1) kot izguba upoštevana samo najbolj perspektivna propadla drevesa in
- (2) ker v sestojih lahko nastopa po odstranitvi (propadu) dreves tudi "svetlitveni" prenos prirastka, zaradi katerega so prirastne izgube manjše.

### 3.3 STATISTIČNA IN GRAFIČNA OBDELAVA PODATKOV

Obsežni izračuni dejanskega razvoja sestojev in modeli simuliranega idealnega razvoja so potekali v programskem paketu DBASE in QUATRO-PRO, deskriptivne in statistične obdelave s paketoma SPSSPC in STATGRAPHICS, grafična obdelava rezultatov pa v HARWARD GRAPHICS-u.

## 4 UGOTOVITVE IN RAZPRAVA

### 4.1 TRENDI POŠKODOVANOSTI SESTOJEV POD NEPOSREDNIM VPLIVOM IMISIJ PO LETU 1986

#### 4.1.1 Splošni trendi poškodovanosti in vplivni dejavniki

Življenska kriza gozda oziroma posameznih drevesnih vrst zaradi onesnaževanja ozračja je odvisna od številnih dejavnikov in njihovih medsebojnih povezav. Med najpomembnejšimi so prav gotovo podnebni in populacijsko-ekološki dejavniki. Odločilno vlogo imajo tudi razne (dodatne) motnje žive in nežive narave ter človeka. Najpomembnejši populacijsko-ekološki dejavniki, od katerih je odvisen proces propadanja smreke znotraj sestojev kot populacij, so bili v sestojih pod neposrednim in tudi pod daljinskim vplivom imisij pri nas že proučevani (FERLIN 1986-1988, KOLAR 1989, FERLIN 1990, CENČIČ 1990, HLADNIK 1991, HOČEVAR 1991, FERLIN 1991). Manj pa je raziskana ekologija življenjske krize smreke (in drugih drevesnih vrst) na različnih rastiščih kot podlaga za uspešnejšo nego bolnega gozda in obzirnejše ravnanje - načrtovanje ter gospodarjenje z njim.

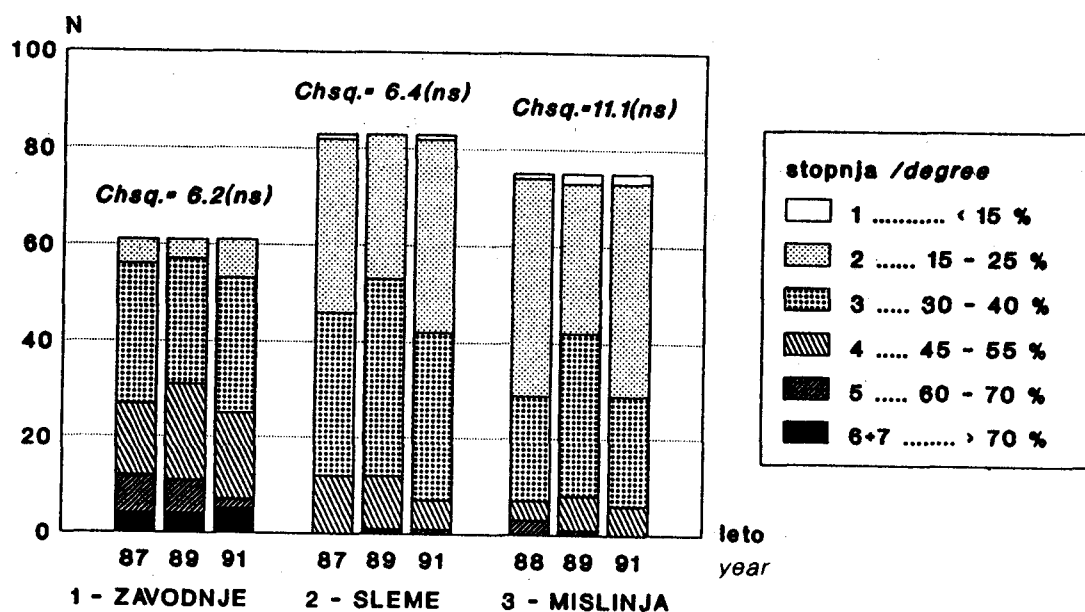
Novejše t.i. umiranje gozda je v populacijskem smislu proces, pri katerem prihaja do slabljenja življenjske moči in s tem pospešenega izločanja (umrljivosti) posameznih individuumov (dreves) znotraj populacij (sestojev). Poleg poznavanja značilnosti pojava je ključnega pomena tudi poznavanje njegove časovne dinamike. Splošne ugotovitve popisov poškodovanosti gozdov pri nas namreč kažejo (ŠOLAR 1990, 1991), da se poškodovanost dreves po letu 1985 celo zmanjšuje. To naj bi še posebno veljalo za smreko oziroma za večino iglavcev. Ugotovitve HLADNIKA (1991) na Notranjskem pa kažejo na nespremenjenost stanja. Ker so naše raziskovalne ploskve trajne, lahko za posamezne populacije (sestoje) smreke tudi mi analiziramo spremembe poškodovanosti dreves po letu 1987. Subjektivne vizualne ocene sprememb poškodovanosti dreves (poslabšanja, izboljšanja) lahko primerjamo (korigiramo) z objektivnejšimi ocenami, dobljenimi na podlagi primerjave serij fotografij manjšega števila dominantnih smrek.

#### 4.1.2 Spremembe osutosti krošenj na podlagi vizualnih ocen in fotografskih serij

Primerjava osutosti krošenj nosilcev funkcij na podlagi vizualnih ocen v obdobju 1987 - 1991 (sl. 1) kaže, da se je delež poškodovanih smrek v močno ogroženih sestojih (Zavodnje) sicer nekoliko zmanjšal, vendar razlike (še) niso značilne. Prav tako spremembe niso značilne v zmerno (Sleme) in v rahlo ogroženih sestojih (Mislinja). Pri tem je potrebno poudariti, da je bila osutost krošenj po letih vizualno ocenjevana z največjo možno natančnostjo (5 %) ob pomoči lastnega kataloga osutosti krošenj (fotografij 20 - 25 % nosilcev funkcij). Ocene osutosti krošenj pa so bile vedno primerjane med drevesi, še posebej pa s predhodno osutostjo. Neznačilne so tudi spremembe (razlike) povprečnih osutosti krošenj na podlagi vizualnih ocen med letoma 1987(88) in 1991 (pregl. 2). Pač pa se je izkazalo, da so značilne spremembe povprečnih osutosti krošenj nosilcev funkcij med letoma 1989 in 1991. Ocene osutosti krošenj v letu 1991 namreč v vseh sestojih značilno (pozitivno) izstopajo. Vendar pa razlike med letoma 1989 in 1991 v nobenem sestoju ne presegajo 10 %.

Objektivnejša je primerjava sprememb zdravstvenega stanja dreves na podlagi fotografskih serij (pregl. 2). Primerjava fotografij krošenj kaže, da gre za zveznost procesa in da v teh letih ni prišlo do večjih nenadnih sprememb (poslabšanj ali izboljšanj) zdravstvenega stanja dreves. Nekoliko višja povprečna vizualna ocena osutosti krošenj v letu 1989 (6 - 8 %) je zato subjektivne narave. Primerjava razlik osutosti na podlagi fotografij med letoma 1987 in 1991 pa kaže, da je za močno ogrožene sestoje značilno rahlo zmanjšanje poškodovanosti dreves (12 - 16 %). Sprememb stanja do leta 1989 pa na podlagi fotografij še ni bilo mogoče zaznati. Vizualne ocene osutosti krošenj so bile torej v letu 1991 sistematično nekoliko prestroge. V zmerno in rahlo ogroženih sestojih spremembe tudi na podlagi fotografij niso bile značilne, kar se sklada z vizualnimi ocenami. Enako velja tudi za poškodovanost proučevanih sestojev na Pokljuki in na Kočevskem, kjer sprememb še ni bilo mogoče zaznati, zato je bilo letno spremljanje opuščeno.

Dobljene ugotovitve kažejo na precejšnjo stagnacijo zdravstvenega stanja smreke v zadnjem petletju, za katerega so sicer značilne nadpovprečno ugodne vremenske razmere. Na podlagi tega kratkega opazovalnega obdobja je mogoče sklepati, da je preživetvena sposobnost poškodovane smreke velika, če le ne nastopijo močnejši dodatni stres. Umrljivost zelo močno poškodovanih smrek (nad 70 % osutosti) v neposrednem imisijskem območju zgolj zaradi imisij namreč še ni nastopila. Vsaj v močno ogroženih sestojih Šaleške doline je bilo mogoče dokazati tudi rahlo (trenutno) reverzibilnost poškodb. Vsakoletna ocenjevanja poškodovanosti drevja v času brez večjih imisijsko-klimatskih ali drugih stresov tako nimajo velikega pomena. Dobro pa bi bilo obsežnejše analize poškodovanosti drevja opravljati v letih, ko prihaja do večjih sprememb zdravstvenega stanja.



Slika 1 Spremembe osutosti krošenj nosilcev funkcij v obdobju 1987(89) - 1991 v močno (1), zmerno (2) in rahlo (3) ogroženih sestojih

Figure 1 Changes in needle loss of function carriers in 1987(89) - 1991 period in severely (1), moderately (2) and slightly (3) endangered stands

Opomba:  $\chi^2$  oziroma  $\chi^2$  vrednosti predstavljajo test razlik po letih. Vse so neznačilne (ns).

**Preglednica 2** Test srednjih razlik v osutosti krošenj med letoma 1987 (1989) in 1991 (metoda parov)

**Table 2** Test of mean differences in needle loss between 1987 (1989) and 1991 year (method of pairs)

Sestoj (Stand)	N	Vizualna primerjava (Visual Comparison)					Fotografska primerjava (Fotografic Comparison)			
		1987	1989	1991	T <sub>91/89</sub>	T <sub>91/87</sub>	N	1987	1991	T <sub>91/87</sub>
1 - Zavodnje	61	44.1	46.1	42.5	4.5***	1.0 <sup>ns</sup>	19	52.9	45.5	3.99**
2 - Sleme	83	29.7	31.4	29.1	4.9***	1.3 <sup>ns</sup>	16	35.0	35.9	-1.00 <sup>ns</sup>
3 - Mislinja	75	28.5	29.7	27.9	5.0***	1.3 <sup>ns</sup>	18	29.4	30.3	-0.90 <sup>ns</sup>

Temeljne značilnosti prirastnega odzivanja dominantnih smrek na neposredne imisijske strese (FERLIN 1991), pojav nenadnega poslabšanja zdravstvenega stanja smreke v Šaleški dolini (in drugod po Sloveniji) v letu 1985 ter majhne spremembe njene poškodovanosti po letu 1987, kažejo na zveznost procesa umiranja smreke s posameznimi nenadnimi poslabšanji ter obdobji stagnacij (in celo rahlih izboljšanj) zdravstvenega stanja. To spoznanje narekuje temu prilagojeno (obzirno) strategijo gozdnogojitvenih in varstvenih ukrepov. Le-ti bi morali biti v obdobju stagnacije (ali izboljševanja) zdravstvenega stanja v močnejše ogroženih sestojih na splošno zelo šibki, ali pa naj jih sploh ne bi bilo. "Normalni" posegi pa bi sledili šele po poslabšanju zdravstvenega stanja in morebitnem propadu dreves. Taka strategija bi bila (naj)bližja preživetveni strategiji smreke, glede na dosedanja spoznanja in izkušnje pa tudi (in še posebno) jelke.

Naše ugotovitve so, razen v najmočnejše ogroženih sestojih, v nasprotju z ugotovitvami popisa poškodovanosti gozdov (ŠOLAR 1990, 1991), po katerem naj bi splošni trend poškodovanosti smreke v Sloveniji po letu 1987 upadal; zdravstveno stanje naj bi se torej polagoma izboljševalo. Zanimivo pa je, da tudi na Notranjskem (Podkraj-Nanos) ni prišlo do značilnih sprememb v poškodovanosti smreke (in jelke) po letu 1985 (HLADNIK 1991). Nacionalni popis poškodovanosti drevja je seveda prikazan le v skupnih povprečjih, zato so neskladja z njim do neke mere razumljiva, vendar pa dobljeni rezultati opozarjajo, da posplošene interpretacije sprememb zdravstvenega stanja brez podrobnejših analiz niso dopustne. Za spremljavo trendov poškodovanosti namreč potrebujemo natančne meritve in (ali) ocene sprememb na vedno istih populacijah dreves, vključno z njihovo umrljivostjo. Šele tako lahko zaznamo resnične spremembe, obenem pa čimbolj zmanjšamo različne subjektivne (npr. sistematične), objektivne (npr. napake postopka) ter razne naključne vplive. V našem primeru se je namreč izkazalo, da so lahko sistematične napake ocen večje od običajnih letnih sprememb zdravstvenega stanja (primer leta 1989). V takem primeru seveda dobljene spremembe ne predstavljajo sprememb poškodovanosti, še posebno pa ne sprememb zdravstvenega stanja dreves.

## 4.1.3 Spremembe osutosti krošenj glede na preteklo vitalnost in poškodovanost dreves

Spremembe poškodovanosti dreves v enodobnih (enomernih) sestojih naj bi bile odvisne od življenjske moči ter od sedanjega zdravstvenega stanja dreves. Na splošno bi bilo izboljšanje pričakovati le pri vitalnejših poškodovanih drevesih, kjer poškodbe še niso ireverzibilne. Glede na ugotovitve HLADNIKA (1991) na Notranjskem naj bi največje poslabšanje stanja nastopalo pri močnejše poškodovanih smrekah. Naša analiza sprememb poškodovanosti dreves na podlagi osutosti krošenj pri sicer najvitalnejšem delu populacije smrek - nosilcih funkcij v močno in zmerno ogroženih sestojih Šaleške doline nekoliko proti pričakovanju kaže, da spremembe sploh niso (več) odvisne od (pretekle) vitalnosti dreves, izražene z doseženo debelino dreves in velikostjo krošenj (pregl. 3). Značilno so odvisne le od dosedanje poškodovanosti oziroma zdravstvenega stanja dreves, vendar pa je povezava šibka tako v zmerno ( $r = -0.35^{**}$ ) kot v močno ogroženih sestojih ( $r = -0.40^{**}$ ). V rahlo ogroženih sestojih je odvisnost od dosedanje poškodovanosti prav tako značilna ( $r = -0.36^{**}$ ), poleg tega pa so tu spremembe značilno odvisne tudi od debeline dreves ( $r = -0.29^{**}$ ). Vendar pa hkratna analiza odvisnosti sprememb od poškodovanosti dreves, njihove debeline in velikosti krošenj v vseh sestojih (pregl. 3) kaže, da je za spremembe stanja odločilna le predhodna poškodovanost dreves. Le v rahlo ogroženih sestojih so spremembe poškodovanosti značilno povezane tudi z rastnimi spremembami (prirastkom dreves).

Preglednica 3 Odvisnost sprememb osutosti krošenj od osutosti, debeline dreves in velikosti krošenj ter povezanost z debelinskim prirastkom

Table 3 *Correlation between changes of needle loss, needle loss, diameter at breast height, crown length and diameter increment*

Stanje (Condition) 1987(88) Spremenljivka (Variable)	Spremembe osutosti krošenj v obdobju 1987(88) - 1991 (Changes of Needle Loss in 1987(88) - 1991 Period)		
	1 - Zavodnje	2 - Slame	3 - Mislinja
Osutost (Needle loss) *	-0.40**	-0.35**	-0.36**
Prsni premer (DBH)	ns	ns	-0.29**
Dolžina krošnje (Crown Length)	ns	ns	-0.20
Debel. prirastek (D. Increment)	ns	ns	-0.38**
Število dreves (Number of Trees)	58	83	75

Opomba: \* Preskus multiple odvisnosti sprememb osutosti od pretekle osutosti krošenj, prsnega premera dreves in dolžine krošenj (metoda STEPWISE) kaže, da na spremembe stanja značilno vpliva le osutost krošenj. Spremembe poškodovanosti so izražene v razmerju glede na prejšnje stanje (1991/1987).

Rahle spremembe poškodovanosti so bile v zadnjem petletju torej vedno negativno odvisne od predhodne poškodovanosti dreves, kar pomeni, da je izboljšanje nastopilo pretežno pri močnejše poškodovanih drevesih, poslabšanje pa pretežno pri manj poškodovanih drevesih. Vendar pa so se izboljšanja na podlagi vizualnih ocen pri nosilcih funkcij v povprečju gibala

med 0 in 15 %, poslabšanja pa med 0 in 10 %. Te ugotovitve, ki se seveda nanašajo na enodobne smrekove sestoje pod različno močnim neposrednim vplivom imisij, so v nasprotju z omenjenimi ugotovitvami iz jelovo-bukovih sestojev (HLADNIK 1991). Vendar so, vsaj za manj poškodovana drevesa razumljive, kajti njihovo stanje se lahko le poslabša. Stanje močnejše poškodovanih dreves pa se lahko tako izboljša kot tudi poslabša. *Zdravstveno stanje se je, tako kot pri večini najbolj poškodovanih dreves, v povprečju rahlo izboljšalo le v najbolj ogroženih sestojih, kar lahko imamo za značilnost obdobja brez velikih imisijsko-klimatskih stresov.*

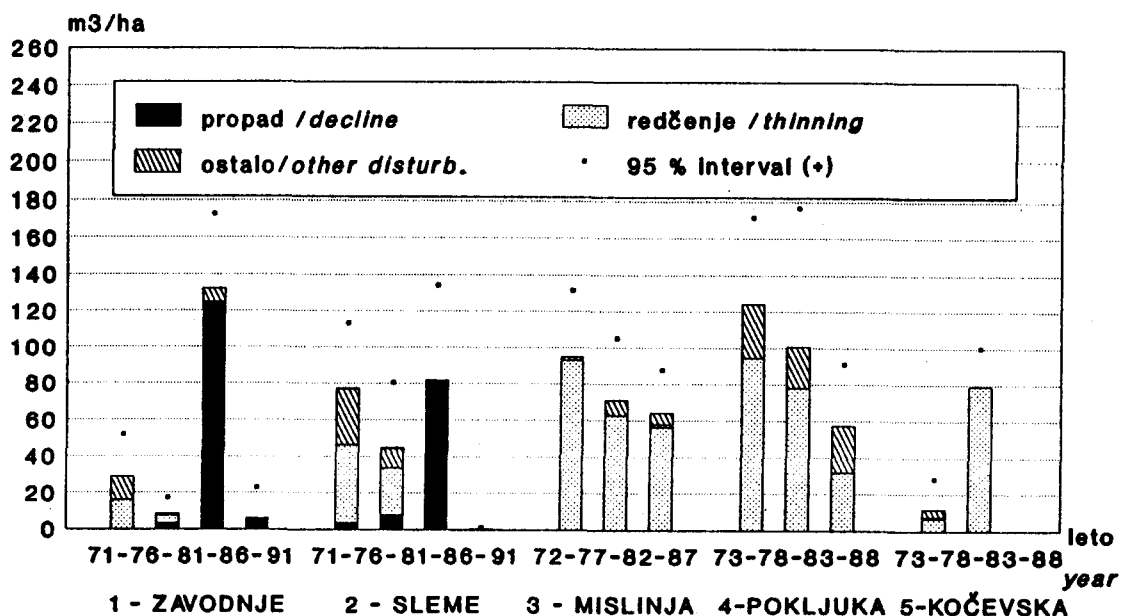
## 4.2 TRENDI RASTNOSTI IMISIJSKO OGROŽENIH SESTOJEV ZADNJIH 20 LET

### 4.2.1 Gibanje lesne mase izločenih dreves glede na vzroke

Izločena drevesa v preteklem razvoju sestoja, ki niso posledica naravnega izločanja ali gojitvenega ukrepanja (redčenj), so lahko pomemben kazalnik prisotnosti različnih motenj v rasti in razvoju gozda. Tako je povečana umrljivost dreves zaradi imisij zelo dober kazalnik ogroženosti gozdnega ekosistema in njegovih fizioloških funkcij. Ogroženost je posebno velika, če propad zajame tudi najvitalnejše in najperspektivnejše osebkke populacij (sestojev). Ravno tem drevesom je potrebno zato tudi pri analizah posvetiti največ pozornosti.

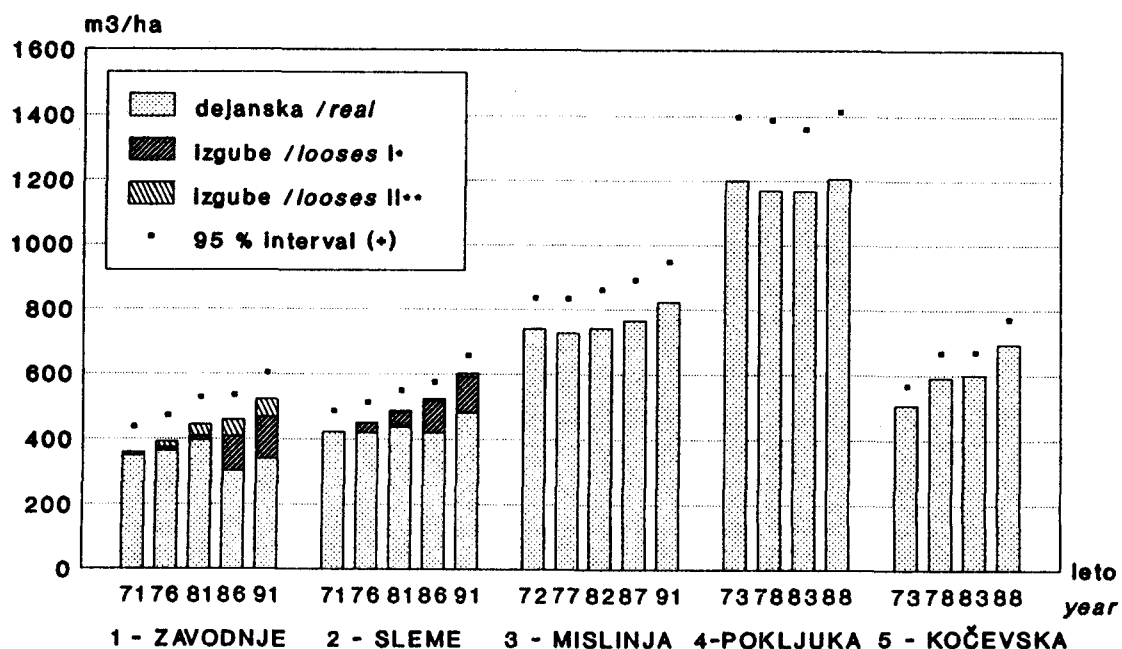
Gibanje lesne mase izločenih dreves in njene strukture glede na vzroke (vrste motenj) po petletjih (sl. 2) kaže, da je bila umrljivost dreves zaradi neposrednega onesnaževanja sicer prisotna v močno in zmerno ogroženih sestojih že daljšo dobo (15 - 20 let), v rahlo ogroženih sestojih pod neposrednim in daljinskim vplivom onesnaževanja pa do nje še ni prišlo. Zelo značilno povečanje lesne mase propadlih dreves je nastopilo v obdobju 1981 - 1986. Takrat je propadlo oziroma bilo posekano zaradi prevelike poškodovanosti med 52 in 177 m<sup>3</sup>/ha smreke v močno ogroženih in od 30 do 133 m<sup>3</sup>/ha v zmerno ogroženih sestojih. To je predstavljalo povprečno kar 32 % lesne zaloge močno ogroženih in 20 % lesne zaloge zmerno ogroženih sestojev. Širok interval v oceni propadle lesne mase teh sestojev (glej tudi sl. 2) nakazuje *veliko prostorsko variabilnost in selektivnost pri propadanju dreves znotraj sestojev. Tudi v najbolj ogroženih sestojih je bilo namreč mogoče najti posamezne sklenjene (manj ogrožene) skupine dreves.* Po letu 1986 umrljivosti v zmerno ogroženih sestojih ni bilo, v močno ogroženih sestojih pa je nastopila v zelo majhnem obsegu (6 m<sup>3</sup>/ha) zaradi biotskih dejavnikov (lubadar) pri sicer močno poškodovanih drevesih.

*V območjih z neposrednimi vplivi onesnaževanja je nastopil množičnejši propad dreves šele po razmeroma dolgotrajno naraščajočem vplivu imisij. Analiza umrljivosti kaže, bolj kot vizualne ocene zdravstvenega stanja preostalih dreves, na kolapsni značaj propadanja smreke, povezan z močnejšimi imisijsko-klimatskimi stresi. Velika prostorska in časovna selektivnost pojava pa narekuje tudi podobno (selektivno) gozdnogojitveno strategijo v močnejše ogroženih sestojih.*



Slika 2 Količina in struktura izločene lesne mase v ogroženih sestojih v zadnjih 20 letih glede na vrste motenj

Figure 2 Amount and structure of eliminated wood substance in endangered stands in last 20 years according to the type of disturbances



Slika 3 Trendi lesne zaloge v ogroženih smrekovih sestojih in njenih izgub zaradi imisij v zadnjih 20 letih

Figure 3 Trends of growing stock in endangered spruce stands and its losses due to air pollution in last 20 years

Opomba: Izguba I: neposredna izguba lesne zaloge zaradi propada dreves  
Izguba II: izguba lesne zaloge zaradi zmanjšane prirastne sposobnosti dreves

## 4.2.2 Gibanje lesnih zalog in njihovih izgub zaradi imisij

Izpad lesne mase dreves, ki nastopa zaradi propadanja (sl. 2), se lahko kaže v stagnaciji ali celo v zniževanju lesnih zalog sestojev že v obdobju, ko bi le-te morale še naraščati. Razvoj dejanske lesne zaloge (sl. 3) namreč kaže občuten padec med letoma 1981 in 1986 (30.6 %) v močno ogroženih sestojih (Zavodnje, starost 80 - 90 let) ter stagniranje zalog med letoma 1971 in 1986 v zmerno ogroženih sestojih (Sleme, starost 95 - 105 let). Do leta 1991 pa so se lesne zaloge v ogroženih sestojih, ker ni prišlo do nadaljnega propadanja dreves, spet povečale. V rahlo ogroženih sestojih pod vplivom blagih neposrednih imisij (Mislinja, starost 100 let) je trend lesne zaloge po letu 1977 še normalno naraščajoč. V starejših (135 - 165 let), vizualno sicer rahlo ogroženih subalpskih smrekovih sestojih (Pokljuka), je lesna zaloga med letoma 1973 in 1983 zaradi redčenj in ostalih motenj sicer rahlo upadla, v precej mlajših sestojih na Kočevskem (70 - 75 let) pa še strmo narašča.

Medsebojna primerjava višine lesnih zalog analiziranih sestojev kaže ogromne razlike (sl. 3). Ni naključje, da so lesne zaloge v zmerno in močno ogroženih sestojih Šaleške doline občutno nižje v primerjavi z rahlo ogroženimi. Lesna zaloga se v analiziranih zmerno ogroženih sestojih giblje med 422 in 538 m<sup>3</sup>/ha, v močno ogroženih pa le med 272 in 407 m<sup>3</sup>/ha. Lesne zaloge analiziranih rahlo ogroženih sestojev so mnogo višje in danes dosegajo 700 - 945 m<sup>3</sup>/ha na Pohorju, 618 - 770 m<sup>3</sup>/ha na Kočevskem in celo 1003 - 1413 m<sup>3</sup>/ha na Pokljuki. Vendar manjše lesne zaloge niso le posledica močnejše imisijske ogroženosti sestojev, saj obstajajo velike razlike v plodnosti rastišč (pregl. 1) in v pretekli negovanosti sestojev. Tako velike lesne zaloge, skoraj popolna zastrtost krošenj in največja možna gostota rahlo ogroženih sestojev so seveda tudi posledica načrtne izbire zaradi ocene plodnosti rastišč.

Preglednica 4 Izgube lesne zaloge v ogroženih smrekovih sestojih neposrednega imisijskega območja TE Šoštanj

Table 4 Growing stock losses of endangered spruce stands in direct emission area of power plant Šoštanj

Leto (Year)	Močno ogroženi sestoji (Severely Endangered)			Zmerno ogroženi sestoji (Moderately Endangered)		
	m <sup>3</sup> /ha	int. izgub (%)	sig.T	m <sup>3</sup> /ha	int. izgub (%)	sig.T
1991	181	29.6 - 40.0	18.6***	120	14.7 - 25.3	10.4***
1986	154	26.4 - 41.1	12.8***	103	14.4 - 24.9	10.4***
1981	47	5.6 - 15.7	5.9**	49	7.1 - 13.0	8.5***
1976	28	3.4 - 11.0	5.2**	30	2.1 - 11.2	4.0**
1971	8	1.9 - 2.6	6.3**	0		

Splošni trend idealne lesne zaloge (sl. 3), ki upošteva izgube zaradi propadanja in zmanjšane priraščanja dreves (iguba I in II), je tudi v zmerno in močno ogroženih sestojih naraščajoč v skladu z rastjo, kakršno bi sestoji lahko imeli v normalnih razmerah. Izgube zaradi imisijskih stresov (pregl. 4) so tako danes dosegle že 30 - 40 % (181 m<sup>3</sup>/ha)



lesne zaloge v močno ogroženih in 15 - 25 % ( $120 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) v zmerno ogroženih sestojih. Analiza po petletjih kaže, da je do rahlih, vendar značilnih izgub lesne zaloge prišlo v močno ogroženih sestojih že pred 20 leti, v zmerno ogroženih pa pred 15 leti. Izgube so do leta 1981 rahlo naraščale, v letu 1986 pa so zaradi močno povečanega propada dreves (izguba I) zelo porasle.

*Večje izgube lesnih zalog ogroženih sestojev, ki lahko pod vplivom močnejših imisijsko-klimatskih stresov nastopijo že v krajšem obdobju (ali celo v enem letu) predstavljajo velik udarec gozdnemu ekosistemu. Z upadom lesnih zalog je povezana neugodna razgradnja sicer sklenjenih sestojnih struktur, ki so tako na imisijske strese še bolj občutljive.*

#### 4.2.3 Gibanje tekočega volumenskega prirastka sestojev ter njegovih izgub zaradi imisij

Gibanje tekočih prirastkov v vseh rahlo ogroženih sestojih (sl. 5) kaže presenetljivo visoko raven. Največji prirastki se zadnjih 20 let gibljejo pri obstoječih (visokih) lesnih zalogah kar med  $17$  in  $20 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Absolutno gledano so tekoči prirastki kljub ogroženosti sestojev sorazmerno še vedno precej visoki tako v zmerno ( $10.4 - 13.9 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) kot tudi v močno ogroženih sestojih ( $7.1 - 10.6 \text{ m}^3/\text{ha}$ ). Pri tem je potrebno poudariti, da je bil pri izračunu volumenskih prirastkov upoštevan tudi višinski prirastek oziroma pomik višinske krivulje. Tako dobljeni volumenski prirastki so zato precej višji (20 - 40 %) od prirastkov, pri katerih višinski pomik ni upoštevan (FERLIN 1990). Značilno za močno ogrožene sestoje je, da se sestojni tekoči prirastek tudi glede na prejšnja petletja značilno ne razlikuje oziroma že daljšo dobo stagnira, v zmerno ogroženih sestojih pa precej strmo pada. Skladno z upadom lesne zaloge v letu 1986 (sl. 3) bi namreč bilo pričakovati tudi izrazitejši upad tekočega prirastka v močno ogroženih sestojih. Venadar je le-ta presenetljivo ostal najmanj na ravni predhodnega obdobja (1976 - 1981). V treh analiziranih rahlo ogroženih sestojih na Pohorju, na Pokljuki in na Kočevskem pa trend tekočega prirastka (normalno) rahlo upada.

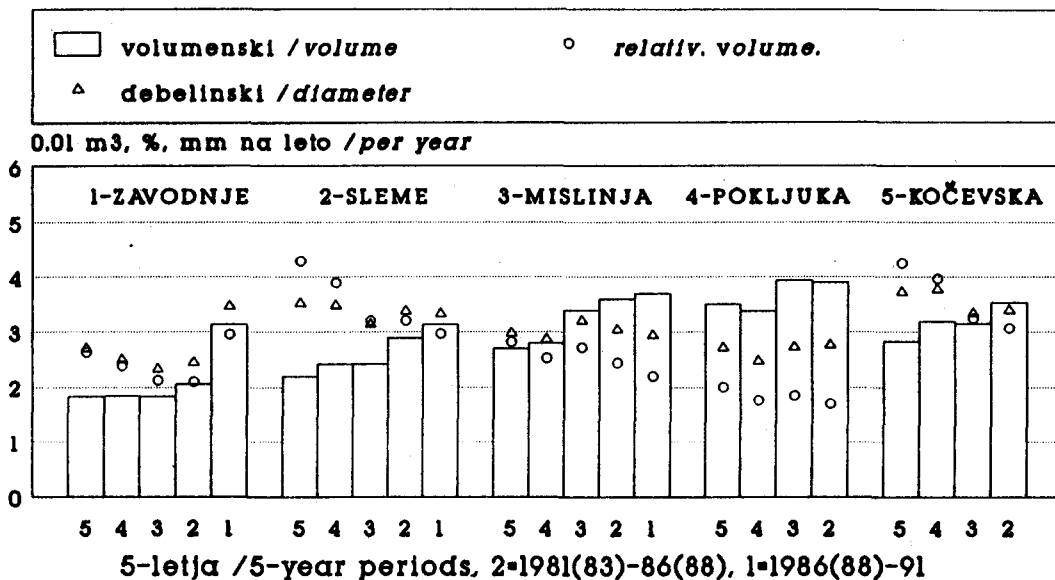
Vzrok nezmanjšanemu priraščanju zmerno in močno ogroženih sestojev v predzadnjem petletju (sl. 5) je v prvi vrsti iskati v rahlemu povečanju volumenskega priraščanja dreves in v tem, da je večina dreves propadlo na koncu petletja (1986). Zelo močnemu povečanju debelinskega in volumenskega prirastka dreves (sl. 4) v zadnjem petletju pa lahko pripišemo nezmanjšanje dejanskega volumenskega prirastka v močno ogroženih sestojih, kljub močnemu padcu lesne zaloge zaradi propadanja. V sestojih so namreč ostala najvitalnejša drevesa, ki so v izboljšanih svetlobnih razmerah, osvobodjena konkurence, nadomestila ves prirastek propadlih dreves. Če ne bi prišlo do "svetlitvenega" učinka in bi drevesa (relativno) priraščala tako kot v prejšnjem petletju, bi bil prirastek močno ogroženih sestojev okrog 29 % manjši. Svetlitveni učinek omenjata tudi KENK (1989) in KANDLER (1989) kot enega od vzrokov pri splošnem povečanju priraščanja smrekovih sestojev.

Potek idealnega tekočega volumenskega prirastka, ki upošteva prirastne izgube preostalih in propadlih dreves hkrati (sl. 4), se v ogroženih sestojih ožjega imisijskega področja bistveno razlikuje od dejanskega. Medtem ko bi v močno ogroženem sestoju idealni tekoči prirastek moral še naraščati, bi v nekoliko starejšem zmerno ogroženem sestoju moral (že) blago upadati. Razlike med dejanskim in idealnim potekom volumenskega prirastka, torej prirastne izgube zaradi onesnaževanja ozračja, so tako očitne, da ni potrebno statistično preverjanje (pregl. 5). Očitne so tudi razlike v prirastnih izgubah med zmerno in močno ogroženimi sestoji. V močno ogroženih sestojih so precejšnje izgube nastopile že v obdobju 1971 - 1976 (12 - 24 %) in so se že do naslednjega obdobja precej povečale (22 - 38 %). Kasneje so izgube ostale na podobni ravni, bi se pa precej povečale (na okrog 46 - 59 %), če ne bi bilo svetlitvenega učinka. V zmerno ogroženem sestoju so prve izgube (7 - 15 %) nastopile pred 15 leti in so se povečevale do zadnjega obdobja (na 16 - 27 %).

Preglednica 5 Izgube tekočega volumenskega prirastka v ogroženih smrekovih sestojih neposrednega imisijskega območja TE Šoštanj  
 Table 5 *Losses of current volume increment of endangered spruce stands in direct emission area of power plant Šoštanj*

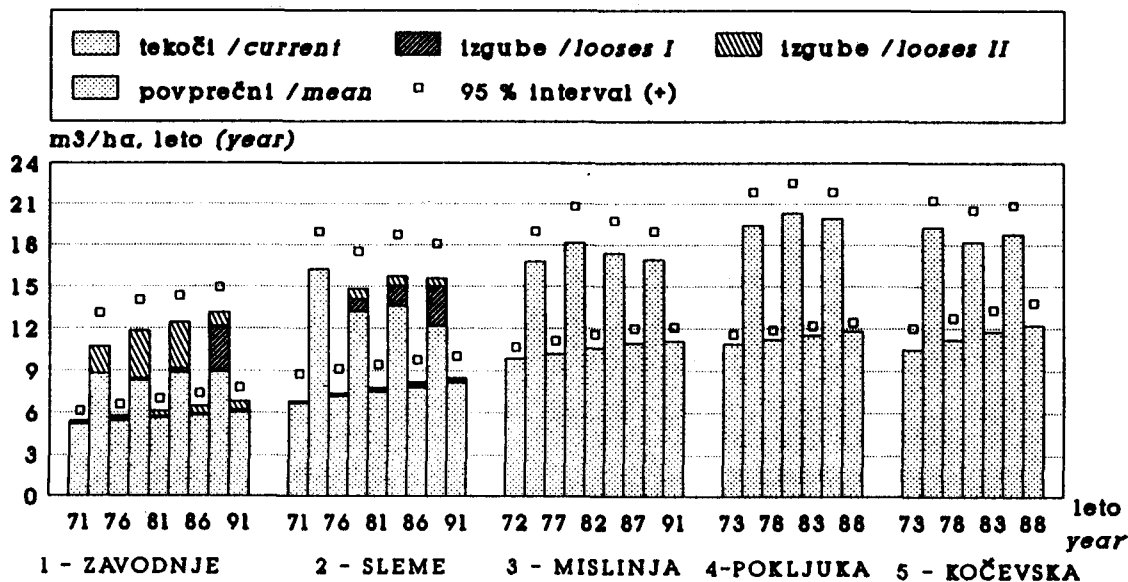
Leto (Year)	Močno ogroženi sestoji (Severely Endangered)			Zmerno ogroženi sestoji (Moderately Endangered)		
	m <sup>3</sup> /ha	int. izgub (%)	sig.T	m <sup>3</sup> /ha	int. izgub (%)	sig.T
1991	4.3	28.9 - 36.5	23.7***	3.4	16.3 - 27.4	10.9***
1986	3.6	21.5 - 35.8	11.0***	2.1	11.0 - 16.0	15.6***
1981	3.6	21.9 - 38.3	10.3***	1.6	7.0 - 15.2	7.6**
1976	1.9	11.6 - 23.6	8.3***	0.0		
1971						

V novejšem času (zadnjih 20 let) je za rahlo ogrožene smrekove sestoj (ne glede na vrsto imisijskih stresov) ob visokih lesnih zalogah značilna tudi zelo visoka raven priraščanja. Vendar je priraščanje smreke nenavadno ugodno tudi v močnejše ogroženih sestojih. V teh vrzelastih sestojih je prisoten t.i. svetlitveni učinek povečanja prirastka dreves. V sestoju namreč ostajajo le drevesa z največjo življenjsko močjo, ki lahko kratkoročno nadomestijo prirastek izločenih dreves, tako da dejanski sestojni prirastek sploh ne upade. Izgube volumenskega prirastka sestojev se tako precej zmanjšajo.



Slika 4 Trendi volumenskega in relativnega volumenskega prirastka ter debelinskega prirastka dreves v strehi analiziranih sestojev

Figure 4 Trends of volume increment, relative volume increment and diameter increment of trees in the canopy of analysed stands



Slika 5 Trendi tekočega in povprečnega volumenskega prirastka ogroženih smrekovih sestojev in njihovih izgub zaradi imisij v zadnjih 20 letih

Figure 5 Trends of current and mean volume increment of endangered spruce stands and their losses due to air pollution in last 20 years

Opomba: Izguba I: izguba sestojnega prirastka zaradi propada dreves  
Izguba II: izguba zaradi zmanjšane prirastka dreves

#### 4.2.4 Gibanje povprečnega volumenskega prirastka sestojev ter njegovih izgub zaradi imisij

Povprečni volumenski prirastek oziroma skupna lesna pridelava sta najpomembnejša kazalnika ravnosti sestojev. Zaradi primerljivosti sestojev je pomembna predvsem višina povprečnega volumenskega prirastka v njegovi kulminaciji. Če analiziramo sestoje, katerih razvoj je bil prepuščen naravi, je vrednost povprečnega prirastka v času kulminacije hkrati enaka proizvodni sposobnosti rastišč (KOTAR 1980). Analiza trendov dejanskega povprečnega volumenskega prirastka sestojev (sl. 5) kaže, da le-ta v vseh sestojih še vedno narašča in da še nikjer ni kulminiral. Naraščanje je najbolj strmo v najmlajšem sestoju (Kočevska) in najbolj položno v močno ogroženem (Zavodnje). Tako v močno kot tudi v zmerno ogroženem sestoju je prisotna značilna razlika med dejanskimi in idealnimi prirastnimi trendi. Razlike v dejanskem povprečnem volumenskem prirastku med sestoji so očitne, kar pomeni, da se tudi njihova ravnost bistveno razlikuje.

Dolgoročne rastne izgube so do leta 1991 (pregl. 6) v močno ogroženih sestojih dosegle 10 - 15 % (0.9 m<sup>3</sup>/ha), v zmerno ogroženih pa "le" 3 - 6 % (0.4 m<sup>3</sup>/ha) idealnega povprečnega volumenskega prirastka. Tudi v močno ogroženih sestojih dolgoročne rastne izgube zaradi onesnaževanja torej še niso zelo velike. Vzrok za manjše dolgoročne izgube je relativno kratka doba od nastopa prvih pomembnejših prirastnih izgub (15 - 20 let). Vendar pa dolgoročne rastne izgube linearno naraščajo. Če nastopijo že v mladih sestojih, lahko povzročijo bistveno znižanje njihove ravnosti. Zaradi močnejših imisijskih stresov je precej skrajšan čas do kulminacije povprečnega volumenskega prirastka, kar pomeni skrajšano proizvodno dobo ogroženih sestojev. Na podlagi trendov idealnega gibanja tekočega in povprečnega volumenskega prirastka sestojev (sl. 5) ocenjujem, da to skrajšanje znaša celo nekaj desetletij.

Preglednica 6 Izgube povprečnega volumenskega prirastka v ogroženih smrekovih sestojih neposrednega imisijskega območja TE Šoštanj

Table 6 *Losses of mean volume increment of endangered spruce stands in direct emission area of power plant Šoštanj*

Leto (Year)	Močno ogroženi sestoji (Severely Endangered)			Zmerno ogroženi sestoji (Moderately endangered)		
	m <sup>3</sup> /ha	int. izgub (%)	sig.T	m <sup>3</sup> /ha	int. izgub (%)	sig.T
1991	0.9	10.4 - 15.4	15.1***	0.4	3.2 - 5.8	10.2***
1986	0.7	7.5 - 12.8	11.0***	0.3	2.8 - 5.5	8.5***
1981	0.5	7.0 - 10.6	13.5***	0.3	2.4 - 5.3	6.7**
1976	0.3	4.0 - 7.9	8.5***	0.2	1.6 - 3.3	9.0***
1971	0.2	3.0 - 5.2	11.0***	0.2	1.8 - 3.5	9.0***

*Kratkoročno, čeprav rahlo zmanjševanje prirastka in lesnih zalog imisijsko ogroženih smrekovih sestojev neposredno vpliva na dolgoročno ravnost sestojev. Posledica zniževanja ravnosti so prezgodnje kulminacije povprečnega starostnega prirastka, ki lahko dosega več*

desetletij. Obdobje polnega priraščanja sestojev (optimalna faza) se tako mnogo hitreje zaključuje, skrajšuje pa se življenjska (proizvodna) doba sestojev. Vendar pa lahko smreka del pričakovanih izgub prirastka sestojev, ki naj bi nastopile zaradi povečane umrljivosti dreves, vsaj v začetni fazi, s povečanim priraščanjem preostalih dreves tudi kompenzira. Tudi v tem se smreka precej razlikuje od jelke, za katero to ni značilno (SPIECKER 1986).

#### 4.2.5 Plodnost rastišč za smreko

Poskusne ploskve so bile v vseh rahlo ogroženih sestojih izbrane v najbolj sklenjenih delih sestojev z največjo lesno zalogo in najmanjšim deležem izločenih dreves v preteklosti, zato lahko povprečni prirastek sestojev služi tudi za oceno plodnosti rastišč. Kulminacije povprečnega prirastka bodo nastopile ob današnjih trendih (kljub starosti sestojev) šele čez več desetletij (sl. 5), zato ocene plodnosti rastišč še ne predstavljajo maksimuma. To še posebno velja za najbolj strmo naraščajoč trend povprečnega prirastka v relativno mlajših sestojih (70 - 75 let) na Kočevskem.

Ocena plodnosti rastišč za smreko, izražena s povprečnim volumenskim prirastkom, se tako giblje:

- na Pohorju (*Luzulo in Savensi Fagetum*) med 10.2 in 12.1 (+ 0.5 - 1) m<sup>3</sup>/ha,
- na Pokljuki (*Adenostyllo glabrae Piceetum*) med 11.2 in 12.5 (+ 1) m<sup>3</sup>/ha,
- na Kočevskem (*Abieti Fagetum hacquetietosum*) med 10.7 in 13.8 (+ 2) m<sup>3</sup>/ha.

Glede na potek trendov povprečnega in tekočega volumenskega prirastka ocenjujem, da bi lahko bila plodnost rastišča na Pohorju večja za 0.5 do 1 m<sup>3</sup>/ha, na Pokljuki do 1 m<sup>3</sup>/ha, na Kočevskem pa celo najmanj do 2 m<sup>3</sup>/ha. Ugotovljena velika plodnost analiziranih rastišč za smreko se sklada tudi z nekaterimi novejšimi ugotovitvami o izredno visoki proizvodni zmogljivosti rastišč (KOTAR & ROBIČ 1990), kakor tudi (starejših) smrekovih sestojev, ki še vedno dobro priraščajo, če imajo veliko lesno zalogo. Prav to pa se je v največji možni meri pokazalo tudi pri tej raziskavi.

### 4.3 POSKUS CELOVITEGA VREDNOTENJA OGROŽENOSTI FIZIOLOŠKIH FUNKCIJ GOZDA

Negativni vplivi onesnaževanja ozračja, ki se sprva kažejo na zunaj le v izgubi asimilacijskega aparata, vodijo slej ko prej v slabitev fizioloških funkcij dreves in gozdnega ekosistema v celoti. V močnejše ogroženih smrekovih sestojih neposrednega imisijskega območja TE Šoštanj nastajajo tako kratkoročne kot dolgoročne rastne izgube. Z ogroženostjo fizioloških (rastnih) funkcij gozda so povezane tudi vse druge, kajti v končni fazi je od tega odvisen tudi obstoj gozda. Ogroženost gozda se največkrat prikazuje le z osutostjo oziroma poškodovanostjo dejanskega kolektiva dreves. Morebitna umrljivost dreves se le delno upošteva ali pa sploh ne. Vendar je že ocena ogroženosti gozda, ki upošteva tudi umrljivost perspektivnih dreves, lahko bistveno boljši

kazalnik ogroženosti. Da bi celoviteje spoznali ogroženost fizioloških funkcij gozda, smo upoštevali poleg izgub asimilacijskega aparata tudi izgube lesne zaloge in prirastka ter upad ravnosti sestojev.

Velikostni razred razlik med sestoji, ki jih dobimo ob upoštevanju (1) izgub asimilacijskih organov pri nosilnih funkcij in (2) upoštevanju vseh znanih (sestojnih) fizioloških izgub, je nazorno razviden iz rezultatov diskriminančne klasifikacije (pregl. 8). Če upoštevamo le izgubo iglic (v odstotkih po razredih poškodovanosti), znaša velikostni razred (abstraktnih) razlik v ogroženosti sestojev 5 : 2 : 1, če pa upoštevamo vse znane izgube (izguba iglic, izguba lesne zaloge, kratkoročne in dolgoročne prirastne izgube) pa se ogroženost fizioloških funkcij gozda "poveča" v razmerju 20 : 9 : 1.

Slednje kaže, da so ocene ogroženosti gozda le na podlagi osutosti krošenj v sestojih, kjer že nastopajo rastne izgube in umrljivost dreves zaradi onesnaževanja, mnogo preblage. Šele celovitejše upoštevanje različnih sestojnih (pri)rastnih izgub in izgub asimilacijskega aparata hkrati daje sliko o resničnejši ogroženosti fizioloških funkcij smrekovega gozda.

**Preglednica 7** Vrednosti povprečij (centroidov) diskriminančne klasifikacije sestojev glede na izgube iglic in rastne izgube sestojev

*Table 7* Mean values (centroids) of discriminant classification of stands according to the needle losses and to all growth losses

Ogroženost (Endangerment)	N	Izgube iglic (Needle losses)		Vse rastne izgube (All growth losses)	
		centroid	koef.	centroid	koef.
Močna (Severe)	5	2.431	5.3	10.344	20.4
Zmerna (Moderate)	5	-0.564	2.3	-1.269	8.8
Rahla (Slight)	5	-1.866	1	-9.075	1

#### 4.4 UPORABNOST METODE ZA VREDNOTENJE OGROŽENOSTI FIZIOLOŠKIH IN DRUGIH FUNKCIJ GOZDA

Uporabljeno metodo kvantificiranja sestojnih rastnih izgub, na podlagi katere je izračunan umišljeni model "idealnega" razvoja sestojev, lahko posredno preizkusimo tako, da rezultate primerjamo s tistimi iz teoretičnih (tabličnih) modelov (EAFV 1968). Groba primerjava (pregl. 8) kaže, da so teoretične vrednosti tekočega prirastka iz donosnih tablic bistveno nižje od idealnih, ki so dobljene na podlagi naše metode. Poleg tega se dejanski tekoči prirastek v močno ogroženih sestojih celo značilno ne razlikuje, v zmerno in rahlo ogroženih sestojih pa je mnogo višji od teoretičnega. Še večje razlike pa nastopajo v trendih prirastkov oziroma v času nastopa kulminacije povprečnega prirastka. Tako v zmerno kot v rahlo ogroženem sestoj bi le-ta teoretično že morala nastopiti.

Preglednica 8 Primerjava dejanskega, "idealnega" in teoretičnega volumenskega prirastka ogroženih smrekovih sestojev v obdobju 1981 - 1986  
 Table 8 Comparison of real, "ideal" and theoretical volume increment of endangered spruce stands in 1981 - 1986 period

Sestoj (Stand)	Tekoči volumenski prirastek (Current Volume Increment)			Povpr. volumenski prirastek (Mean Volume Increment)		
	dejanski	idealni	tablični	dejanski	idealni	tablični
1-Zavodnje	8.9	12.4	9.1	5.8	6.5	6.7
2-Sleme	13.6	15.7	7.8	7.8	8.2	6.8
3-Mislinja	17.4	17.4	10.9	11.0	11.0	12.1

Četudi bi kot podlago za ugotavljanje imisijsko pogojenih izgub uporabili le relativne trende teoretičnega volumenskega prirastka sestojev, večjih dejanskih (na oko vidnih) rastnih izgub v analiziranih sestojih ne bi mogli odkriti. Na podlagi primerjav dejanske rasti ogroženih sestojev z idealizirano rastjo - kot da ne bi bilo imisijske ogroženosti - pa rastne izgube lahko odkrijemo, če le nastanejo. Zato so ugotovljene rastne izgube v Šaleški dolini precej večje, kot na podlagi primerjav s tabličnimi vrednostmi ugotavlja KOLAR (1989). Na podlagi primerjav s teoretičnimi sestoji pa lahko ugotovimo, da smrekovi sestoji danes res mnogo bolje in tudi drugače priraščajo od tistih, na podlagi katerih so bile narejene (švicarske) donosne tablice. Podobne ugotovitve so za smrekove sestoj znane tudi od drugod (KENK 1989). Bolj uspešna za ugotavljanje prirastnih izgub pa je že metoda, ki temelji na oceni dejanske poškodovanosti in zarasti sestojev (KRAMER 1986, DONG et al. 1989).

Uporabljena metoda kvantificiranja sestojnih prirastnih izgub se je izkazala kot zelo uspešna, saj temelji na realnem stanju (izgubah) in na realnih prirastnih trendih sestojev. Tako ugotovljene izgube so najmanjše možne, saj so v idealizirano stanje sestojev poleg obstoječih dreves "vključena" samo tista propadla drevesa, ki so trenutno in pespektivno nepogrešljiva (nosilci funkcij in koristna drevesa strehe sestoja). Načelo idealizacije oziroma ugotavljanja (ocenjevanja) odmikov od nekega normalnega (optimalnega) stanja pa je lahko splošno uporabno pri vrednotenju ogroženosti drugih funkcij gozda. Posameznim funkcijam je potrebno le izračunati ali (in) oceniti odmike od njihovega normalnega stanja, njihovo ogroženost (ranljivost) pa potem lahko objektivno (kompleksno) ovrednotimo.

## 5 SUMMARY

### **THE IMPACT OF AIR POLLUTION ON PRODUCTIVITY OF MATURE NORWAY SPRUCE STANDS - A METHOD FOR THE QUANTIFICATION OF ENDANGERMENT OF PHYSIOLOGICAL FOREST FUNCTIONS**

The study was designed to analyze and quantify the impact of air pollution on the growth and productivity of mature Norway spruce stands, as well as on the trend of stands decline since 1986. For this case study data from individual Norway spruce stands, which lie in the pre-Alpine, Alpine and pre-Dinaric regions of Slovenia, were used. Direct air pollution stress was analyzed in first region in three stands endangered to a different extent by industrial emissions of the power plant Šoštanj. The severely endangered stand (named after the place Zavodnje) and the moderately endangered stand (named after the hilltop Sleme) are in the north-west fringes of Šaleška Dolina, and the slightly endangered stand lies in the south-western part of Pohorje (Mislinjski Jarek). They all are situated at an altitude of between 850 and 1150 m. Bedrock consist of tonalit, slate and gneiss. The stands vary in age from 90 to 105 years; two of them are planted and one is natural. Indirect air pollution stress was studied in Alpine region in one natural stand (Pokljuka, 1350 m elevation) and in an pre-Dinaric artificial stand (Kočevski Rog, 550 m elevation). In both cases bedrock consists of limestone. The Pokljuka stand varies in age from 135 to 165 years and the Kočevski Rog stand from 70 to 75 years.

Norway spruce populations sampled in an individual stand included 200 - 250 growing trees on five randomly selected permanent plots of the size of 0.09 ha each. In all, 1200 trees from 25 sample plots were studied. The most important biometric variables of all trees were measured, and their tree class was determined along with the extent of competition and their silvicultural role within a stand. Annual needle loss was assessed visually with the accuracy of up to 5 %. Crown damage was also assessed for part of function carriers (20 - 25 %) by a series of photos taken annually. In addition, the stumps of all trees that had been cut were measured and categorised according to time and cause of their removal and to their former silvicultural role.

An original method for quantification of stand growth losses was applied to determine actual physiological losses attributable to air pollution stress. The method, which involves idealisation of the actual condition of stands endangered by industrial emissions and reconstruction of the stands development in the recent past i.e., in the last 20 years, concerns only a reduction in timber growing stock and increment loss in removed function carries due to mortality or excessive crown damage and increment loss in growing trees. On the basis of different kinds of losses, physiological endangerment of stands attributable to air pollution stress was more comprehensively evaluated. The findings of the study are as follows:



- (1) Distinct changes in the decline of Norway spruce stands since 1986 attributable to direct air pollution stress (Fig. 1, Table 2) have occurred only in more severely endangered stands, whose average crown damage has slightly decreased (12 - 16 %). In moderately and slightly endangered Norway spruce stands changes have been insignificant.
- (2) In the last five-year period, minor changes in decline always (negative) correlated with the extent or preceding damage (Table 3). Visual recovery of trees was mainly found in more severely damaged trees, while progressive decline was found, in general, in less damaged trees, which may be attributed to a period with no substantial air pollution and climate-related stress. On an average an improvement in the visual condition of function carriers varied between 0 and 15 %, and decline between 0 and 10 %.
- (3) In areas subjected to direct air pollution stress, mortality on a larger scale occurred only after a relatively long-lasting increasing exposure to industrial emissions. An analysis of mortality (Fig. 2), which is better suited for the purpose than mere visual assessment of the health condition of trees, indicates the collapse character of Norway spruce decline induced by severe airpollution and climate-related stress.
- (4) Since 1986, mortality attributable to air pollution effects has not occurred, not even in most severely damaged part of Norway spruce population (needle loss above 60 %). On the basis of this relatively short observation period with most favourable climatic conditions, it may be concluded that damaged Norway spruce has a considerable chance of survival unless more severe additional stress factors occur.
- (5) The collapse character of Norway spruce dieback, which may involve abrupt decline periods (as in 1985) or periods of stagnation or even of slight recovery, requires the strategy of silvicultural and protection measures be adapted accordingly. During a period of stagnation or recovery, such measures should be, in general, very moderate, if any. "Normal" measures should be taken only if further decline sets in or if mortality occurs. This kind of strategy appears to suit best the survival capacity of Norway spruce as well as fir in particular according to the results of relevant studies. A considerable spatial variability in the process of Norway spruce decline also requires that a selective, i.e. individual, silvicultural approach be adopted for stands the composition of which has been changed, that is, disturbed.
- (6) In slightly endangered stands subjected to indirect and mild direct air pollution neither mortality nor losses in timber growing stock have occurred yet (Figs. 2, 3). They have occurred, however, in severely and moderately endangered stands. Losses in growing stock attributable to air pollution stress (Table 4) are now as high as 30 - 40 % (181 m<sup>3</sup>/ha) in severely endangered stands, and 15 - 25 % (120 m<sup>3</sup>/ha) in moderately endangered stands. Until 1981, the increase in growing stock losses was gradual but slow, while in 1986 there was a rapid increase due to a drastic increase in mortality.

- (7) Recently, that is during the last 20 years, a high timber growing stock and a very high current annual volume increment (17 - 20 m<sup>3</sup>/ha) have been characteristic of slightly endangered Norway spruce stands. Also, in more severely endangered Norway spruce stands the growth rate has been unusually high despite the fact that trees are damaged there to a greater extent (Fig. 5). For the last five years, in these stands, in which larger gaps are to be found, a higher volume increment of trees (of up to 42 %) has been noted attributable to increased exposure to light, despite severe deterioration. At present, this increment has substantially reduced losses in current volume increment of these stands (Figs. 4, 5), which has remained on the level of the previous five-year period, despite a considerable fall in timber growing stock (31 %).
- (8) Although the volume increment is still generally favourable in severely and moderately endangered stands, losses in current volume increment are considerable if compared with the "ideal" increment these stands could have had under normal circumstances (Fig. 5, Table 5). In severely endangered stands, substantial losses in current volume increment already occurred in the 1971 - 1976 period (12 - 14 %), but in the last two five-year periods they remained approximately at the same level as in the 1976 - 1981 period (22 - 38 %). Losses in current volume increment would have been even higher (46 - 59 %) without the "light exposure" effects. In moderately endangered stands, the first current increment losses (7 - 15 %) occurred 15 years ago and were then on the increase until the last five-year period (from 16 up to 27 %).
- (9) A decrease in current volume increment and in growing stock in Norway spruce stands endangered by air pollution exerts a direct effect on their mean volume increment, i.e. stand productivity (Fig. 5). The losses in mean volume increment (Table 6) have been, until now, as high as 10 - 15 % in severely endangered stands, while in moderately endangered stands they have been only 3 - 6 %. A decrease in stand productivity leads to a premature culmination of the mean volume increment, which may be sustained, under normal circumstances, over decades. Thus the period of mature growth rate, i.e. the optimum phase, is concluding more rapidly, and the life span, i.e. the rotation period, of stands is becoming shorter.
- (10) As in slightly endangered stands losses in stand growth have not been found yet, site productivity of Norway spruce was estimated on the basis of the trends of current and mean annual volume increment of stands (Fig. 5) as follows:
- *Luzulo in Savensi Fagetum* (Pohorje): 10.2 - 12.1 (+ 0.5 to 1) m<sup>3</sup>/ha,
  - *Adenostyllo glabrae Piceetum* (Pokljuka): 11.2 - 12.5 (+ 1) m<sup>3</sup>/ha,
  - *Abieti Fagetum hacquetietosum* (Kočevski Rog): 10.7 - 13.8 (+ 2) m<sup>3</sup>/ha.
- (11) Evaluations of physiological endangerment of the forest based solely on visible (crown) damage in Norway spruce stands in which stand growth losses as well as mortality occur, as a result of air pollution stress, are definitely too optimistic. A more comprehensive analysis, which takes into account different kinds of stand growth losses as well as crown damage (needle loss), renders a much more realistic

picture of the actual endangerment of physiological functions of Norway spruce forest.

- (12) As the growth rate in endangered Norway spruce stands may considerably differ today from that in theoretical stands, it is in fact higher, the method used in the present study for the quantification of stand growth losses seems to be more generally applicable to the issues concerning forest physiology. The principle of idealisation, that is, the evaluation of any deviation from the normal (optimum) condition offers possibilities for addressing the endangerment of other forest functions.

## 6 REFERENCE

- ABETZ, F., 1984. Die physiologische Belastbarkeit der Waldbeaume. Zum Erkennen aus waldwachstumskundlicher Sicht. *Allg. Forstztg.* 95, 11, s. 322-325.
- ANONIMNO, 1965. Organizacija raziskovanj o vplivu ukrepov nege gozdov. /Prevod dopolnila k IUFRO klasifikaciji sestojev/. Biotehniška fakulteta v Ljubljani. Inštitut za gojenje gozdov. 11 s.
- ATHARI, S., KRAMER, H. 1985. Ergebnisse von Wachstums- und Strukturanalysen in erkrankten Fichtenbeständen. V: KRAMER et al., *Inventur und Wachstum in erkrankten Fichtenbeständen*. Frankfurt am Main. s. 6 - 96.
- CENČIČ, L. 1990. Vpliv zdravstvenega stanja na prirastek ter proizvodno sposobnost sestojev smreke in jelke na Pohorju. *GozdV. Ljubljana*, 4, s. 169 - 183.
- DONG, P.H., KRAMER, H., 1987. Zuwachsverlust in erkrankten Fichtenbeständen, *Allg. Forst. u. J.-Ztg.* 158, 122 - 125.
- DONG, P.H., van LAAR, A., KRAMER, H. 1989. Ein Modelansatz fuer die Waldschadensforschung. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 160, s. 28 - 32.
- EICHKORN, TH., 1986. Wachstumanalysen an Fichten in Suedwestdeutschland. *Allg. Forst-u. J.-Ztg.* 157, s. 125 - 139.
- EIDG. ANST. FORSTL. VERSUCHSWES., 1968. Ertragstafeln fuer die Baumart Fichte
- FERLIN, F., 1982. Kvantificiranje uspešnosti redčenj v bukovih gozdovih. Diplomsko delo. Ljubljana, 48 s.
- FERLIN, F., 1986 - 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. Poročila o delu za leta 1986 - 1988.
- FERLIN, F., 1990. Vpliv onesnaževanja ozračja na rastno obnašanje in rastno zmogljivost odraslih smrekovih sestojev. Magistrsko delo. Ljubljana, 142 s.
- FERLIN, F., 1991. Nekatere značilnosti pojava umiranja smreke in njenega prirastnega odzivanja na imisijske strese. Zbornik gozdarstva in lesarstva. Ljubljana, št. 37, s. 125 - 156
- FRANZ, F., 1983. Auswirkungen der Walderkrankungen auf Struktur und Wuchsleistung von Fichtenbeständen. *Forstw. Cbl.* 102, s. 186 - 200.

- FRANZ, F., PREUHLER, T., ROEHLE, H., 1986. Vitalitaetsmerkmale und Zuwachsreaktion erkrankter Bergwaldbestaende im Bayerischen Alpenraum. *Allg. Forstz.* 41. s. 962 - 964. HOČEVAR, M., 1991. Poškodovanost in rast smrekovega gorskega gozda na poključsko-jeloviški planoti. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 36, s. 27 - 67.
- HLADNIK, D., 1990. Spremljanje razvoja sestojev in časovna dinamika propadanja dreves v jelovo-bukovem gozdu. Magistrsko delo. Ljubljana, 112 s.
- 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., 1989. Zuwachsuntersuchungen in Zusammenhang mit den gegenwertigen Waldschaeden 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.
- KOTAR, M. & ROBIČ, D., 1990. Povezanost proizvodne sposobnosti rastišč z nekaterimi ekološkimi dejavniki. *GozdV. Ljubljana*, 5, s. 225 - 243.
- KRAMER, H. 1986. Beziehungen zwischen Kronenschadbild und Volumenzuwachs bei erkrankten Fichten. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 157, s. 22 - 27.
- MLINŠEK, D., 1981. Metoda za praktično kvantificiranje nenegovanosti sestojev. *GozdV. Ljubljana*, 3, s. 105 - 111.
- 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., 1986. Zuwachsruueckgang in erkrankten Fichten- und Tannenbestaenden - Auswertungsmethoden und Ergebnisse. *Forstwiss. Cbl.* 105, s. 446 - 470.
- SCHOEPFER, W. 1987. Zur Problematik eines Grossraumiges Zuwachsruueckgang in erkrankten Fichten- und Tannenbestaenden Suedwestdeutschlandes. *Forst u. Holzwirt.* 42, str. 487 - 493.
- SPIECKER, H., 1986. Das Wachstum der Tannen und Fichten auf Plenterwald - Versuchsflaechen des Schwarzwaldes in der Zeit von 1959 bis 1984. *Allg. Forst u. J. - Ztg.* 157, 8, 152 - 164.
- ŠOLAR, M., 1990. Stanje slovenskih gozdov v letu 1989 in gibanje njihove poškodovanosti v obdobju 1985 - 1989. *GozdV. Ljubljana*, 2, s. 85 - 90.