

M. Lorenz¹, R. Fischer¹, G. Becher¹, V. Mues¹

DVADESET GODINA ICP FORESTS: REZULTATI I PERSPEKTIVE

UVOD

Stanju šuma u Europi obraćena je povećana pažnja tijekom ranih 1980-ih godina kao odgovor na rastuću zabrinutost da bi osutost u nekim dijelovima europskih šuma moglo biti uzrokovano zračnim onečišćenjem (npr. Ulrich 1981; Schütt 1982). Od tada stanje šuma je predmet znanstvenih, političkih i javnih rasprava, a danas se o stanju šuma raspravlja unutar šireg konteksta potrajnog gospodarenja šumama. Motrenje stanja šuma u cijeloj Europi započeto je prije 20 godina od strane Međunarodnog programa za procjenu i motrenje utjecaja zračnog onečišćenja na šume (International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests - ICP Forests) u sklopu Konvencije o daljinskom preko-graničnom zračnom onečišćenju (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution - CLRTAP), unutar Ekonomske Komisije Ujedinjenih Naroda za Europu (UNECE) u suradnji s Europskom Zajednicom (EU). Danas u programu učestvuje 38 europskih zemalja, uključujući Kanadu i Sjedinjene Države Amerike, što ovaj program motrenja čini jednim od najvećih ove vrste na svijetu. Kanada i Sjedinjene Države Amerike ne koriste iste metode motrenja kao europske zemlje. Međutim, one doprinose programu slanjem nacionalnih izvještaja i sve više se uključuju u daljnji razvoj i zajedničku primjenu metoda motrenja u nekim dijelovima ovog programa. Glavni ciljevi programa su:

- steći znanje o prostornoj i vremenskoj varijaciji stanja šuma na europskoj razini i njihovim odnosima prema okolišnim čimbenicima ;
- doprinijeti boljem razumijevanju odnosa između stanja šumskih ekosustava i prirodnih i antropogenih stresnih čimbenika (osobito zračnog onečišćenja) diljem Europe koristeći se mrežom oglednih ploha.

Ovo izlaganje daje opis glavnih crta sustava motrenja i daje najnovije rezultate programa u smislu procjene stanja krošanja i izmjerama depozicije. Stanje krošanja i depozicija se stavljaju u odnos s prethodnim rezultatima ICP Forests.

SUSTAV MOTRENJA

Gore spomenuta dva cilja se provode putem sustavnog motrenja na razvijenoj mreži motrenja i putem intenzivnog motrenja šuma. Praćenje na mreži ploha (Ra-

¹ Federal Research Centre for Forest Products, PCC of ICP Forests, Leuschnerstrasse 91, 21031 Hamburg, Germany, e-mail: lorenz@holz.uni-hamburg.de

zina I) ima za cilj procijeniti prostornu i vremensku varijaciju stanja šuma diljem Europe. Stoga se rad obavlja na velikom broju ploha za motrenje. Obzirom na veliki broj ploha moguće je ocijeniti samo ograničeni broj parametara, pa proizlazi da se na Razini I može očekivati manji broj saznanja o uzročno-posljedičnim vezama. Uzročno-posljedični odnosi su cilj intenzivnog programa motrenja (Razina II) koji prati veći broj parametara. Opseg rada i trošak intenzivnog motrenja ograničava broj ploha Razine II. Broj ploha i lokaliteti ploha Razine II izabrala je svaka zemlja prema međunarodnim smjernicama i nacionalnim prioritetima. Intenzivno motrenje usmjereno je više na ekosustav nego na prostor Europe.

Na Razini I više od 6.100 stalnih ploha sustavno je smješteno na trans-nacionalnoj mreži 16 x 16 km. U malom broju zemalja plohe su smještene bez reda, umjesto sustavno, ali gustoća ploha odgovara mreži od 16 x 16 km. U dijelovima Skandinavije gustoća ploha je manja, što rezultira u manjkavom predstavljanju tog dijela Europe u sveukupnom uzorku ploha za Razinu I. Na svim plohama Razine I obavljaju se godišnje procjene stanja krošanja. Također, provedeno je istraživanje tala na 5 289 ploha, na većini od njih između 1993. i 1995. godine. Ponavljanje istraživanja tala planira se za 2006. godinu. Nadalje, istraživanje kemijskog sastava lisne mase provedeno je na 1.497 ploha, na većini od njih između 1992. i 1997. godine.

Za intenzivno motrenje odabrano je više od 860 ploha Razine II u najvažnijim šumskim ekosustavima zemalja članica. Intenzivno motrenje je usmjereno na stanje krošnje, stanje tla, kemizam otopine tla, kemizam lišća, rast stabala, fenologiju stabala, prizemnu vegetaciju, meteorologiju, kvalitetu zraka i depoziciju. Sve spomenute aktivnosti ne provode se na svim plohama Razine II (Tablica I). Istraživanja stanja krošanja na plohama Razine II i na oko pola ploha Razine I uključuju procjene nekoliko prepoznatljivih tipova oštećenja kao što su kukci, gljive, divljač, požar i abiotički čimbenici. Nadalje, planira se procjena listinca za Razinu II te je izrađena odgovarajuća metoda. Sva istraživanja unutar programa su bazirana na usklađenim metodama, koje su dokumentirane i redovito ažurirane u priručniku (Anonymous 2004). Otkad je osnovan program izrađena je opsežna banka podataka o velikom broju parametara motrenja. U svakoj od obuhvaćenih zemalja odgovornost za motrenje leži na nacionalnim šumarskim službama. Sve su zemlje zastupljene u "Task Force of ICP Forests" kojoj predsjedava Njemačka. Za uskla-

Tablica 1. Istraživanja koja se provode na plohama Razine I i Razine II.

Istraživanje	Razina I	Razina II
Stanje krošanja	Godišnje (5942 ploha)	Godišnje (866 ploha)
Kemizam lišća	Jednom (1497 ploha)	Svake 2 godine (855 ploha)
Kemizam tla	Jednom (5289 ploha)	Svaki 10 godina (865 ploha)
Kemizam otopine tla	-	Neprekidno (243 ploha)
Rast i prirast	-	Svaki 5 godina (859 ploha)
Prizemna vegetacija	-	Svaki 5 godina (730 ploha)
Daljinsko onečišćenje	-	Neprekidno (499 ploha)
Kvaliteta zraka	-	Neprekidno (133 ploha)
Meteorološko stanje	-	Neprekidno (202 ploha)
Fenologija (izborna)	-	Prema fenofazama (59 ploha)
Daljinska istraživanja (izborna)	-	(157 ploha)

divanje dijelova praćenja (monitoring-a), poslovanje s podacima vrednovanja i izvještavanja Njemačka je domaćin Centru za koordinaciju programa (Programme Coordinating Centre - PCC) pri "Saveznom istraživačkom centru za šumarstvo i šumske proizvode" (BFH) u Hamburgu.

STANJE KROŠNJE

Pristup

Parametri koji opisuju stanje krošnje su osutost (defolijacija), gubitak boje (diskoloracija), i drugi simptomi oštećenja, kao i njihovi uzroci i opseg. Najvažniji parametar je osutost. Osutost je brzo-reagirajući pokazatelj brojnih čimbenika okoliša kojih djeluju na vitalnost stabla. Osutost se ocjenjuje vizualno kao postotak lišća ili iglica koje nedostaju u usporedbi sa referentnim stablom. Klasifikacija osutosti prema ICP Forests Manual-u je prikazana u Tablici 2.

Tablica 2. Klase osutosti prema priručniku ICP Forests.

Osutost, klasa	Iglica/list gubitak	Stupanj osutosti
0	< 10 %	Nema
1	> 10 - 25 %	Nizak (upozoravajuća faza)
2	> 25 - 60 %	Umjeren
3	> 60 - < 100 %	Visok
4	100 %	Mrtvo stablo

Ocjenjivanje stanja krošnje nije skupa metoda koja omogućuje da se više od 135.000 oglednih stabala procijeni godišnje na približno 6.100 ploha Razine I. Nedostatak ovog pristupa je da rezultati procjene podliježu subjektivnosti različitih promatrača. Stoga je primijenjeno nekoliko mjera za osiguranje kvalitete podataka. Na nacionalnoj razini pristranost promatrača se procjenjuje putem analiziranja rezultata kalibracijskih tečajeva kao i rezultata kontrolnih procjena (Schadauer 1991; Köhl 1991, 1992). Visoki standard tečajeva za procjenitelje može umanjiti njihovu pristranost. Za pojedinačne vrste mogućnost postizanja vjerodostojnih rezultata u procjenama osutosti na nacionalnoj razini prikazali su npr. Eichhorn i Ackerbauer (1987) te Dobbertin i dr. (1997). Na međunarodnoj razini rezultati procjene pokazuju sustavne razlike između raznih zemalja (npr. Innes i dr. 1993). Poduzeta su nastojanja kako bi se odredile i umanjile takove sustavne razlike putem interkalibracijskih tečajeva, kao i pomoću fotografskih tehnika.

Prostorna i vremenska varijacija

Vremenska varijabilnost osutosti izračunava se uz pretpostavku da uzorak stabala u svakoj istraživačkoj godini predstavlja stanje šume. Studije iz prošlih godina pokazuju da fluktuacija stabala u ovome uzorku, zbog isključivanja mrtvih i posečenih stabala, kao i zbog uključivanja zamjenskih stabala, ne uzrokuje devijacije

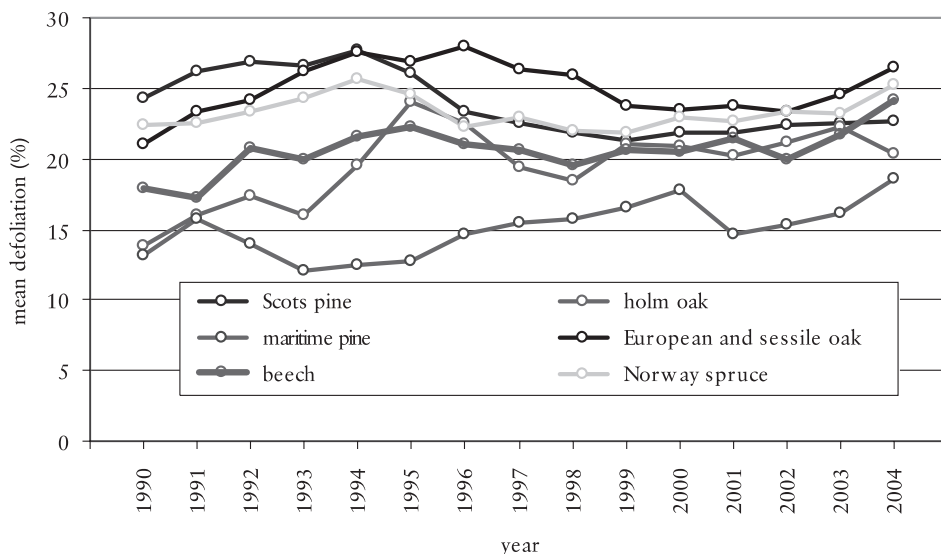
rezultata tijekom godina. Međutim, fluktuacije zbog uključivanja novih zemalja moraju se isključiti jer se stanje šuma među zemljama uveliko razlikuje. Iz tog razloga razvoj osutosti se može izračunati samo za definirane skupine zemalja. Zemlje koje čine takav skup odabrane su prema slijedećim kriterijima:

- Početna godina procjenjivanja osutosti: procjenjivanja trebaju započeti čim je ranije moguće kako bi to donijelo što dužu vremensku seriju;
- Kontinuitet metoda procjene: procjene trebaju biti rađene u kontinuitetu i bez promjena veličine uzorka ili metode procjene radi dosljednosti rezultata.

Kompromis između duljine vremenske serije i broja zemalja (pa tako i veličine područja koja one zastupaju) rezultirao je u dva perioda, 1990.-2004. i 1997.-2004. Zemlje uključene u ta dva uzorka su:

- Period 1990.-2004.: Belgija, Danska, Njemačka (Zapad), Mađarska, Irska, Latvija, Poljska, Portugal, Slovačka Republika, Španjolska, Švicarska i Nizozemska.
- Period 1997.-2004.: Austrija, Bjelorusija, Belgija, Bugarska, Hrvatska, Češka Republika, Danska, Estonija, Finska, Francuska, Njemačka, Mađarska, Irska, Italija, Latvija, Letonija, Norveška, Poljska, Portugal, Rumunjska, Slovačka Republika, Slovenija, Španjolska, Švedska, Švicarska, Nizozemska i Velika Britanija.

Razvoj osutosti glavnih vrsta od 1990. do 2004. prikazan je u Slici 1. Većina vrsta pokazuje povećanje osutosti. Najveće povećanje srednje osutosti dogodilo se kod *Quercus ilex* i *Quercus rotundifolia* (s 13.8% na 20.3%), a slijedi *Fagus sylvatica* (s 17.9% na 24.2%). Slično povećanje dogodilo se kod *Quercus robur* i *Quercus petraea* (s 21.0% na 26.5%) i kod *Pinus pinaster* (s 13.2% na 18.6%). *Picea*



Slika 1. Razvoj srednje osutosti najčešćih vrsta: obični bor (*Pinus sylvestris*); smreka (*Picea abies*); hrast lužnjak (*Quercus robur*) i hrast kitnjak (*Q. petraea*); obična bukva (*Fagus sylvatica*); primorski bor (*Pinus pinaster*); hrast crnika (*Quercus ilex* i *Q. rotundifolia*).



Slika 2. Trendovi srednje osutosti svih vrsta po plohama od 1997. do 2004. godine.

abies pokazuje najmanje povećanje osutosti (od 22.4% do 25.3%). Nasuprot tome, *Pinus sylvestris* pokazuje oporavak od sredine 1990-ih. Ovaj oporavak *Pinus sylvestris* započeo je u Poljskoj i nastavio se u Baltičkim državama i u Bjelorusiji. To je također vidljivo na karti prostornih i vremenskih trendova od 1997. do 2004. godine (Slika 2).

Sve glavne vrste drveća, osim *Pinus sylvestris*, *Quercus ilex* i *Q. rotundifolia* pokazuju vidljivo povećanje u osutosti u posljednjoj godini vremenske serije. Ovo nedavno pogoršanje je osobito često u južnoj Finskoj, na krajnjem jugu Švedske, u središnjoj i južnoj Njemačkoj, nekim dijelovima Francuske i čitavoj Bugarskoj. U većini ovih regija povećana osutost pripisuje se uglavnom jakoj vrućini i suši u ljeto 2003. godine. Prve reakcije na ovu ekstremnu vremensku situaciju već su bile opisane u 2004. Executive Report, uz predviđanja o daljnjem pogoršanju stanja krošanja.

DUŠIČNE I SUMPORNE DEPOZICIJE

Pristup

U skladu sa svojim političkim mandatom pod CLRTAP, ICP Forests obraća osobitu pažnju na učinke zračnog onečišćenja na šume, uz brojne ostale čimbenike koji utječu na stanje šuma. Neizravni učinci dušičnih i sumpornih depozicija putem šumskih tala opisani su u istraživanjima oštećenja šuma (npr. Ulrich 1981) i u motrenju stanja šuma (De Vries i dr. 2001). Na plohama Razine II, sveukupna atmosferska depozicija pod sklopom dobiva se zbrajanjem depozicije koja prolazi kroz krošnje i (za običnu bukvu radi njezine glatke kore) slijevanjem niz deblo, dok se za korekciju učinaka interakcije elemenata s krošnjama (usvajanje i ispiranje) koristi depozicija koja se mjeri na otvorenom polju blizu šumskih ploha Razine II. Ta depozicija odražava stanje onečišćenja lokalnog zraka te daje referencu za mjerenja ispod sklopa krošanja.

Za kartiranje koncentracija širom Europe, srednja depozicija nitrata (N-NO₃), amonijaka (N-NH₄) i sulfata (S-SO₄) na otvorenome od 1999. do 2001. godine bila je izračunata za svaku plohu Razine II u kg ha⁻¹ yr⁻¹. Trendovi u godišnjoj depoziciji na otvorenome bili su izračunati za razdoblje od 1996. do 2001. To je kompromis između dužine razdoblja i broja ploha Razine II uključenih u analizu, sužen prema dostupnosti podataka. Linearna regresija bila je korištena za kvantifikaciju promjena tijekom vremena. Linearni odnosi su dobiveni putem godina ocjenjivanja kao prediktora i srednje godišnje ionske koncentracije kao ciljane varijable za svaku plohu. Kosine linearnih jednadžbi bile su statistički testirane i prikazane na kartama prema slijedećoj klasifikaciji:

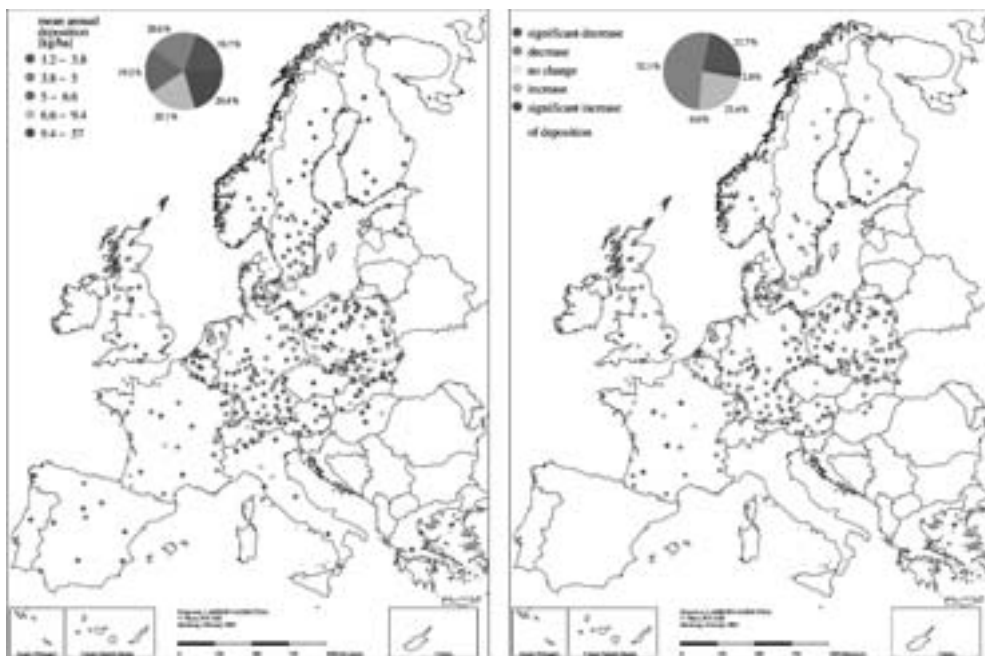
- negativna kosina, vjerojatnost pogreške 5% i manje
- negativna kosina, vjerojatnost pogreške više od 5%
- pozitivna kosina, vjerojatnost pogreške 5% i manje
- pozitivna kosina, vjerojatnost pogreške 5% i više.

Mora se naglasiti kako se zaključci o promjenama u ionskoj depoziciji tijekom vremena, baziranim na tako kratkim vremenskim serijama, mogu izvesti samo s velikom oprežnošću. U ovisnosti o dostupnosti podataka, između 285 i 411 ploha Razine II bile su uključene u analizu.

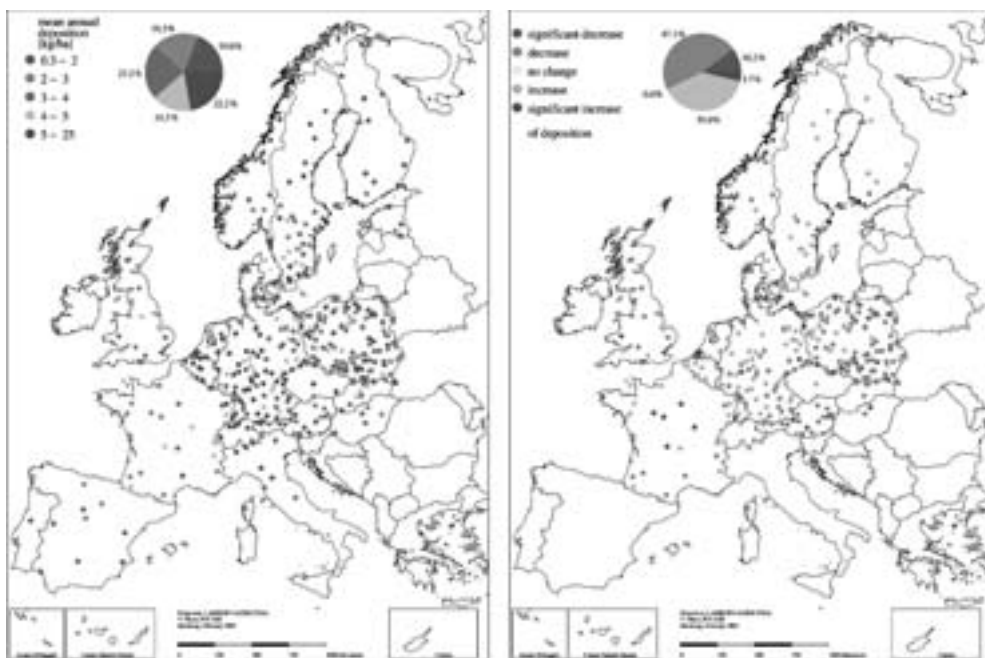
Prostorna i vremenska varijacija

Srednja godišnja depozicija (1999.-2001.) i trendovi depozicije (1996.-2001.) sulfata, nitrata i amonijaka pokazuju jasan prostorni uzorak u cijeloj Europi. Depozicija sulfata je bila osobito visoka u Belgiji, Poljskoj, kao i u dijelovima Češke, Slovačke, sjevernoj Italiji i zapadnoj obali Velike Britanije. U ovim regijama depozicija sulfata na nekoliko ploha Razine II bila je u rasponu od 9.4 do 57.0 $\text{kg}^{-1}\text{yr}^{-1}$ (Slika 3). Međutim, na plohama u Belgiji i Velikoj Britaniji visoka depozicija sulfata podudarala se s visokom depozicijom natrija, ukazujući na depoziciju morske soli. Na 73.8% ploha nađeno je smanjenje depozicije sulfata od 1996. do 2001. (Slika 3).

Srednja godišnja depozicija nitrata je visoka (5.0 - 25.0 $\text{kg}\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$) na 22.2% ploha. Ove plohe se nalaze uglavnom u regiji koja se proteže od krajnje južne Norveške i Švedske preko Nizozemske, Belgije i Njemačke u Švicarsku i krajnji sjever Italije. Depozicija nitrata je bila niska (0.3 - 3.0 $\text{kg}\text{ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$) na 38.3% ploha, a mnoge od njih smještene su u Poljskoj i Austriji (Slika 4). Depozicija se smanjila



Slika 3. Srednja godišnja depozicija na otvorenom (1999.-2001., lijevo) i trendovi depozicije na otvorenom (1996.-2001., desno) sulfata



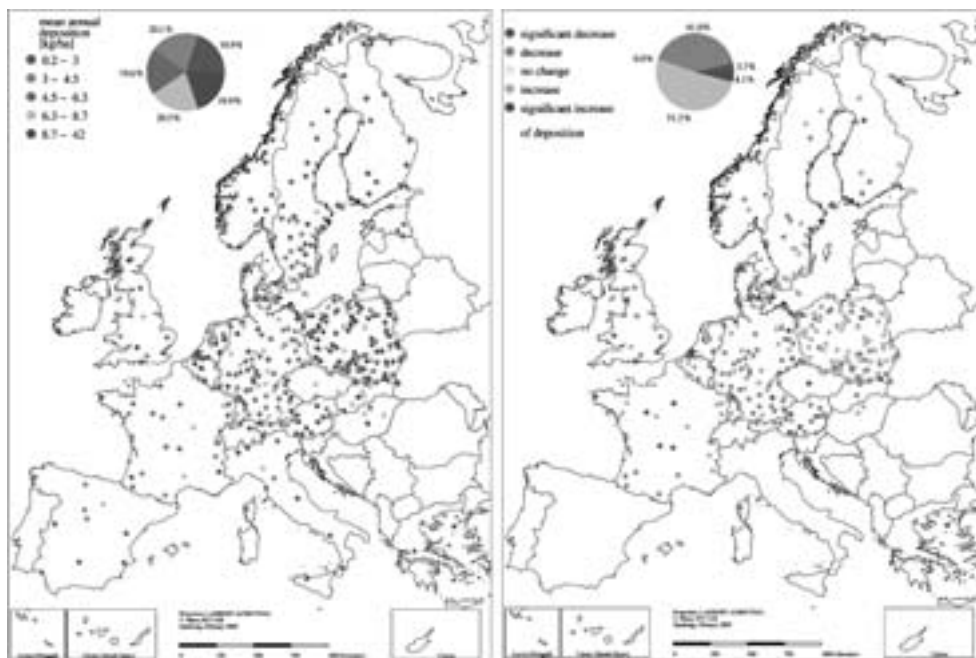
Slika 4. Srednja godišnja depozicija na otvorenom (1999.-2001., lijevo) i trendovi depozicije na otvorenom (1996.-2001., desno) nitrata

između 1996. i 2001. na 57.3% ploha. Ove plohe su uglavnom smještene u Poljskoj, Njemačkoj i Austriji (Slika 4). Trendovi depozicija nitrata su u djelomičnoj korelaciji s trendovima oborine.

Srednja godišnja depozicija na otvorenom amonijaka je visoka ($8.7 - 42.0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) na 19.9% ploha. Ove plohe su uglavnom smještene u Poljskoj, sjeverno-zapadnoj Njemačkoj, Nizozemskoj i Belgiji. Depozicija amonijaka bila je niska ($0.2-4.5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) na 40% ploha. Ona se smanjila između 1996. i 2001. na 44.7% ploha. Ove plohe su uglavnom smještene u Njemačkoj, Austriji, Velikoj Britaniji i dijelovima Poljske (Slika 5).

STANJE KROŠANJA I DEPOZICIJA U ODNOSU NA PRETHODNE REZULTATE

Dvadeset godina praćenja stanja krošnje otkrilo je visoku prostornu i vremensku varijaciju u osutosti. Propadanje šuma razvijalo se daleko manje dramatično nego što su predviđali neki znanstvenici prije dva desetljeća, ali osutost se općenito povećala kod većine važnijih vrsta drveća. Međutim, u nekim regijama središnje i istočne Europe uočen je prolazni oporavak *Pinus sylvestris* od sredine 1990-ih na dalje. Izraženo povećanje osutosti od 2003. na 2004. u mnogim dijelovima Europe predstavljalo je odgovor na ljetnu vrućinu i sušu u 2003. godini. To pokazuje prik-



Slika 5. Srednja godišnja depozicija na otvorenom (1999.-2001., lijevo) i trendovi depozicije na otvorenom (1999.-2001., desno) amonijaka

ladnost procjene stanja krošanja kao sustava ranog upozorenja. Stanje krošanja je korisno kao brzi indikator za brojne čimbenike okoliša koji se može procijeniti uz nevelik napor na području cijele Europe. Glavni čimbenici koji utječu na stanje krošnje su starost stabla, klimatski ekstremi i biotički čimbenici.

Utvrđena je također korelacija onečišćenja zraka s osutošću, ali manje značajna nego gore spomenuti prirodni čimbenici. Izraženiji učinci zračnog onečišćenja na šumske ekosustave, osobito na stanje tla, kemizam lišća i rast stabala, bili su dobiveni međunarodnim studijama koje su uključivale brojne druge procijenjene parametre uz osutost (Lorenz i dr. 2002). Depozicija sulfata, kako na otvorenome tako i pod sklopom, vidljivo se smanjila na plohama intenzivnog motrenja u razdoblju od 1996. do 2001. godine. Otopina tla pokazuje prve znakove oporavka od učinka sumpora na mnogim plohama. Ipak u određenim područjima depozicija sulfata je još visoka (De Vries i dr. 2001). Amonijaska i nitratna depozicija također se smanjila na dijelu ploha, ali još uvijek fluktuiraju na previše visokim razinama na drugim plohama. Smanjenje depozicije, osobito sumpora, je rezultat 25-godišnje politike čistog zraka pod CLRTAP-om. Međutim, depozicija dušika i kiselina još uvijek prekoračuje kritična opterećenja na velikom broju šumskih staništa u cijeloj Europi (De Vries i dr. 2002), a koncentracije prizemnog ozona prekoračuju kritične razine na većini ploha u jugo-zapadnoj Europi (Fischer i dr. 2004). Analize razvoja pokazuju da će smanjenje emisija, koje se očekuje od politike čistog zraka pod CLRTAP-om, u prosjeku rezultirati oporavkom otopine tla.

Reakcija krute faze tla, a osobito faune i flore, biti će prilično sporija i trebati će joj desetljeća. Ustanovljeno je također da atmosferska depozicija ima učinak na prizemnu vegetaciju. Utvrđena je manja biljna raznolikost na kiselim šumskim tlima (De Vries i dr. 2003).

Stabla visoke osutosti pokazuju smanjeni prirast u usporedbi sa stablima bez ili male osutosti. Ali rezultati motrenja također potvrđuju općenito povećanje rasta do 25% u usporedbi s prethodnim desetljećima. Visoka depozicija dušika, umanjena depozicija sumpora, povećane temperature i koncentracije ugljičnog dioksida, te unapređenja uzgajanja šuma, sve je to doprinijelo jasnom povećanju prirasta šuma (Fischer i dr. 2004). Analize rasta i tla u okviru ICP Forests pomažu u procjeni do koje mjere ponori ugljika u šumama mogu umanjiti koncentracije atmosferskog ugljičnog dioksida. U manjem opsegu depozicija dušika povećava ponore ugljika putem stimuliranja rasta šuma (De Vries i dr. 2003).

IZGLEDI

U budućnosti će dobivanje relevantne znanstvene informacije prema CLRTAP ostati najviši prioritet za ICP Forests. To će obuhvatiti verifikaciju efikasnosti politike smanjenja zračnog onečišćenja. Pozitivan odgovor šumskih ekosustava na kontrolu emisija može se već sada dokazati, a očekuju se daljnji pozitivni učinci. Bez obzira na to, dubinske ocjene učinaka zračnog onečišćenja na šume imati će i dalje velik značaj, s obzirom na trajno prekoračenje kritičnih opterećenja, osobito kiselina i dušika, prekoračenje kritičnih razina ozona, i daljnje akumulacije teških metala u šumskim tlima.

Osim ispunjavanja svojih obveza pod CLRTAP-om, ICP Forests će koristiti svoju kvalitetnu infrastrukturu, svoj multidisciplinarni pristup motrenju i svoju opsežnu bazu podataka kako bi doprinosio drugim međunarodnim programima politike okoliša. Program prati ciljeve Rezolucija S1, H1 i L2 i već sada pruža informacije o nekoliko indikatora za provođenje potrajnog šumskog gospodarenja Ministarske konferencije o zaštiti šuma u Europi (MCPFE). Štoviše, doprinijeti će hitno potrebitu informaciju o raznolikosti vrsta i ponorima ugljika za Konvencije UN o klimatskim promjenama i biološkoj raznolikosti.

Bliska suradnja ICP Forests sa znanstvenom zajednicom nastaviti će se na obostranu korist: Program ima korist od savjeta koje pružaju znanstvenici po pitanju kontinuiranog poboljšanja metoda i kvalitete podataka, a znanstvenici će imati sve više koristi od multi-nacionalnih podataka ICP Forests.

LITERATURA

- De Vries, W.; Reinds, G. J.; van der Salm, C.; Draaijers, G.P.J.; Bleeker, A.; Erisman, J.W.; Auee, J.; Gundersen, P.; Kristensen, H.L.; Van Dobben, H.; De Zwart, D.; Derome, J.; Voogd, J.C.H.; Vel, E. M. 2001. Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe. Technical Report. UNECE/EC: Geneva, Brussels.

- De Vries, W.; Reinds, G. J.; Van Dobben, H.; De Zwart, D.; Aamlid, D.; Neville, P.; Posch, M.; Auee, J.; Voogd, J.C.H.; E. M. Vel. 2002. Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe. Technical Report. UNECE/EC: Geneva, Brussels.
- De Vries, W.; Reinds, G. J.; Posch, M.; Sanz, M. J.; Krause, G.H.M.; Calatayud, V.; Renaud, J.P.; Dupouey, J.L.; Sterba, H.; Dobbertin, M.; Gundersen, P.; Voogd, J.C.H.; E.M. Vel. 2003. Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe. Technical Report, UNECE/EC: Geneva, Brussels.
- Dobbertin, M.; Landmann, G.; Pierrat, J. C.; Müller-Edzards, C. 1997. Quality of crown condition data. In: Müller-Edzards, C., De Vries, W.; J.W. Erisman (eds.): Ten years of monitoring forest condition in Europe. UNECE, EC: Geneva, Brussels. p. 7-22.
- Eichhorn, J.; Ackerbauer, E. 1987. Nadelkoeffizient und Kronentraufe als Vitalitätsweiser zur Beurteilung des Gesundheitszustandes von Fichten (*Picea abies* Karst.). Forschungsber. Hess. Forstl. Versuchsanstalt 4.
- Fischer, R.; Barbosa, P.; Bastrup-Birk, A.; Becher, G.; Dobbertin, M.; Ferretti, R.; Goldammer, J.G.; Haußmann, T.; Lorenz, M.; Mayer, P.; Mues, V.; Petriccione, B.; Raspe, S.; Roskams, P.; Sase, H.; Schall, P.; Stofer, S.; Wulff, S. 2004. The condition of forests in Europe. Executive Report. UNECE, EC: Geneva, Brussels.
- Innes, J. L.; Landmann, G.; Mettendorf, B. 1993. Consistency of observation of forest tree defoliation in three European countries. Environmental Monitoring and Assessment 25: 29-40.
- Köhl, M. 1991. Waldschadensinventuren: mögliche Ursachen der Variation der Nadel-/Blattverlustschätzung zwischen Beobachtern und Folgerungen für Kontrollaufnahmen. Allg. Forst- Jagdztg. 162: 210-221.
- Köhl, M. 1992. Quantifizierung der Beobachterfehler bei Nadel-/Blattverlustschätzungen. Allg. Forst- Jagdztg. 163: 83-92.
- Lorenz, M.; Mues, V.; Becher, G.; Seidling, W.; Fischer, R.; Langouche, D.; Durrant, D.; Bartels, U. 2002. Forest condition in Europe. Technical Report. UNECE, EC: Geneva, Brussels.
- Lorenz, M.; Mues, V.; Becher, G.; Müller-Edzards, C.; Luyssaert, S.; Raitio, H.; Fürst, A.; Langouche, D. 2003. Forest condition in Europe. Technical Report. UNECE, EC: Geneva, Brussels.
- Manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. 2004. UNECE: Hamburg, Geneva.
- Schadauer, K. 1991. Die Ermittlung von Genauigkeitsmaßen terrestrischer Kronenzustandsinventuren im Rahmen der Österreichischen „Waldzustandsinventur“. Centralbl. f. d. ges. Forstwesen 108: 253-282.
- Schütt, P. 1982. Aktuelle Schäden am Wald – Versuch einer Bestandesaufnahme. Holz-Zentralblatt 108: 369-370.
- Ulrich, B. 1981. Destabilisierung von Waldökosystemen durch Akkumulation von Luftverunreinigungen. Der Forst- und Holzwirt 36, 21: 525-532.

