

Prispelo / Received: 1990, maj

GDK 182.47/.48:425.1:(4)(497.12)

O VPLIVU ONESNAŽENEGA ZRAKA NA PRITALNO VEGETACIJO V GOZDU

Ivan SMOLE*

Izvleček

V prispevku so zajete pomembnejše ugotovitve novejših tujih raziskav o učinkih delovanja zračnih polutantov na pritalno gozdno vegetacijo. V srednjeevropskih gozdovih so nastale v zadnjih desetletjih znatne spremembe v floristični sestavi, vendar za zdaj ni bilo mogoče ugotoviti, koliko jih je povzročil onesnažen zrak ali do katere stopnje so za to krivi gospodarski in drugi vplivi na gozdove v preteklosti. V sklepnem delu so navedene vrste sprememb pritalne vegetacije, ki jih lahko pričakujemo v naših gozdovih zaradi razmeroma dolgotrajne močne onesnaženosti zraka.

Ključne besede: gozd, pritalna vegetacija, floristična sestava, onesnaženost zraka, emisija, imisija, onesnaženost tal, spremembe vegetacije, Slovenija, Srednja Evropa.

THE INFLUENCE OF POLLUTED AIR ON FOREST GROUND VEGETATION

Ivan SMOLE*

Abstract

The article summarizes all the important recent foreign researches on the effect of air pollutants on forest ground vegetation. In the forest of Central Europe, the floristic structure has been considerably changed in the recent decades yet it has not been possible to establish the share of air pollution effect or that of economic and other influences on forests in the past. The conclusion states the changed types in ground vegetation which can be expected in Slovene forests due to relatively high degree of polluted air.

Key words: forest, ground vegetation, floristic structure, air pollution, emission, ground pollution, vegetation modifications, Slovenia, Central Europe.

* dipl. inž. gozd., Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo, 61000 Ljubljana, Večna pot 2, YU

1 UVOD

Vpliv onesnaženega zraka na gozdno drevje je že dolgo znan in dokazan tako v svetu kakor tudi pri nas. Ugotavljamo ga lahko z neposrednim opazovanjem in s presojo poškodb na drevju ali na njegovih asimilacijskih organih. Poleg drevja so za delovanje onesnaženega zraka bolj ali manj občutljivi tudi drugi živi organizmi, tako živali kot rastline. Poznamo posebne odzive nekaterih kulturnih rastlin, predvsem občutljivejših sort tobaka.

Med vrstami naravne vegetacije so takšni epifitski lišaji, ki se zaradi svojih posebnih morfoloških lastnosti hitro odzivajo na onesnaženost zraka z odmiranjem občutljivejših vrst ter z značilnimi poškodbami rastlin. V novejšem času pa je bilo posebno v srednjeevropskih državah opravljenih nekaj obširnih raziskav, v katerih so tudi v pritalni gozdni vegetaciji ugotovili spremembe, ki jih je mogoče prisoditi vplivu onesnaženega zraka. Ker smo o tem pojavu v naših strokovnih glasilih razmeroma skromno obveščeni, povzemamo v pričujočem sestavku nekaj najpomembnejših ugotovitev tujih raziskovalcev. Na temelju teh izsledkov bomo skušali prikazati posledice, ki jih utegne imeti delovanje onesnaženega zraka na pritalno vegetacijo v naših gozdovih.

2 IZHODIŠČA, PODMENE IN CILJI RAZISKAV TEGA POJAVA

V celi vrsti raziskav v zadnjih letih so ugotovili, da gozdna tla ne morejo več kljubovati že desetletja trajajočemu antropogenemu vnašanju kislin, ne da bi bilo to zanje biološko neškodljivo. Zato se zakisujejo hitreje kot bi se pri posamičnem učinkovanju naravnih protonskih izvirov. Čedalje bolj izraziti so tudi škodljivi učinki povišanih količin dušika v gozdne ekosisteme. Dolgotrajne imisije zračnih onesnaževalcev, kot sta SO_2 in NO_x , usodno spreminjajo talni kemizem. Posamezne rastlinske vrste in njihove življenske združbe so pod enakimi zunanji pogoji in v določenem ekološkem razponu prilagojene talnemu kemizmu, zato moramo pričakovati, da bodo pri trajnem imisijskem pritisku prej ali slej nastale spremembe vegetacije, katerih smer bo odvisna od tipa imisij in izhodiščnega položaja njihovega kemizma.

Cilji raziskav, ki preučujejo učinkovanje onesnaženega zraka na pritalno gozdno vegetacijo, so:

- ugotoviti, kakšne spremembe pritalne vegetacije v gozdovih nastajajo zaradi vnašanja protonov in anorganskih spojin v gozdna tla;

Smole I.: O vplivu onesnaženega zraka na pritalno vegetacijo v gozdu

- na temelju sprememb pritalne vegetacije s kvalitativnim vrednotenjem rastlin ugotoviti trende spreminjanja gozdnih rastišč in njim ustreznih gozdnih združb;
- ugotoviti, ali so v sestavi rastlinskih vrst že nastale takšne spremembe, ki bi bile lahko posledica imisij, in glede na to uporabiti skupine ali vrste gozdnih zelišč, gob in mahov kot nakazovalce onesnaženosti njihovih rastišč z zračnimi polutanti.

3 PREGLED LOKACIJE RAZISKAV IN UPORABLJENIH METOD DELA

V našem povzetku se iz razumljivih razlogov omejujemo na razčlenitev izsledkov raziskav, ki so jih opravili v Srednji Evropi, poleg tega pa so tu skoraj najštevilnejše; povzemamo vsebino petih objavljenih člankov s to tematiko.

V prvem je podan obsežen povzetek raziskav z območja obeh Nemčij, napisala pa sta ga I. KOWARIK in H. SUKOPP in ga objavila l. 1984. Problematiko poškodb s SO₂ je za sosednjo Koroško ali Ziljsko dolino celostno obdelala L. KUTSCHERA in istega leta objavila o tem svoje poročilo. Tretji članek vsebuje poročilo o spremembah gozdne vegetacije v Švici, ki so jih tam raziskovali N. KUHN, R. AMIET in N. HUFSCHEMID. Svoja dognanja so objavili l. 1987. Leto kasneje je o svojih raziskavah v gozdovih na območju Švabske v ZR Nemčiji objavila podobno poročilo O. WILMANN. Celotno gozdno območje ZR Nemčije pa je zajela zvezna raziskava, katere prvo poročilo sta objavila njena avtorja K. ROST-SIEBERT in G. JAHN l. 1988, vendar študija tedaj še ni bila končana.

Skupna značilnost vseh omenjenih raziskav je celostna analiza gozdne vegetacije, opredeljene po metodologiji srednjeevropske šole po Braun-Blanquetu. Najprej so se osredotočili na stanje in spremembe vse vegetacije v okolici industrijskih in energetskih objektov (topilnice, termoelektrarne, kemijske tovarne ipd.), raziskave pa so trajale po nekaj let. V novejših raziskavah je najpogosteje napravljena srednjeročna ali celo dolgoročna primerjava med stanjem pritalne vegetacije pred nekaj desetletji in današnjim stanjem, časovni razponi pa znašajo od 25 do 50 let. Za te primerjave so poleg arhivskih (prvotnih) posnetkov uporabili tudi vso drugo terensko dokumentacijo, ki je bila na voljo kot npr. fitocenološke preglednice, lokalne elaborate in tudi še neobjavljeno gradivo.

V Švici so v dveh letih – l. 1984 in 1985 – ponovili v ta namen 463 fitocenoloških popisov, ki so bili prvič napravljeni v letih 1943, 1947 in 1963. Na Švabskem so pri

svoji raziskavi fitocenološke popise in rastlinske tipe na temelju dokumentacije iz let 1953/54 primerjali z novim stanjem, ki so ga ugotovili l. 1988. Nemška zvezna raziskava uporablja podatke iz primerjalnega obdobja med 24. in 50. leti.

Zaradi množice podatkov in njihove specifične interpretacije so morali večino gradiva najprej ustrezno predelati in podatke prirediti za računalniško obdelavo, izide pa tudi statistično preveriti.

Značilnost novejših raziskav je kvalitativna analiza pritalne vegetacije (razen mahov in lišajev) na temelju t.i. indikacijskih vrednosti vaskularnih rastlin (brstnic – praprotnic in semenk) srednje Evrope (ELLENBERG 1979). ELLENBERG je praprotnice in semenke srednjeevropske flore razdelil glede na njihove zahteve po svetlobi (L)*, temperaturi (T), kontinentalnosti (K), vlagi (F), talni reakciji (R) in preskrbi z dušikom (N) v devetstopenjsko indikacijsko lestvico. Izrazito svetlobne rastline so npr. ovrednotene z vrednostjo L9, polsenčne z nekako osrednjimi svetlobnimi zahtevami imajo vrednost L5, senčne vrste pa L1. Vrednotenje se nanaša na "ekološki optimum" rastlinskih vrst. Tako je dana možnost, da se rastiščne lastnosti, ki jih nakazuje rastlinska skupnost ali združba, predstavijo številčno. Pri uporabi indikacijskih vrednosti nastaja sicer veliko hudih metodoloških težav, vendar pomeni ta postopek bistveni korak k številčnemu ovrednotenju ekoloških lastnosti kateregakoli rastišča.

4 POMEMBNEJŠI IZIDI RAZISKAV

Odziv pritalne vegetacije v gozdovih je različen glede na vire imisij. Raziskave v borovih gozdovih v ZR Nemčiji so pokazale, da so z naraščajočo imijsko obremenitvijo napredovale rastiščno zahtevnejše rastlinske vrste na kisljih rjavih tleh, ki so po naravi hranilno revna, nazadovale pa rastiščno skromne značilnice teh borovih gozdov, predvsem borovnica (*Vaccinium myrtillus*) in jesenska vresa (*Calluna vulgaris*). Podobne pojave so ugotovili tudi na industrijskih območjih v NDR, onesnaženih z dimom. Velike koncentracije SO₂ so povzročile hude poškodbe drevja in epifitskih lišajev, sočasni depoziti alkaličnih pepelov pa so močno spremenili pritalno vegetacijo. Cela vrsta rastiščno zahtevnih rastlinskih vrst se je na novo naselila, širijo se konkurenčno močna visokorasla zelišča in tako ogrožajo uspevanje zeliščne vegetacije prvotno revnih peščenih tal.

* V prispevku uporabljamo kratice izvirne nemške klasifikacije, ker domače priredbe še nimamo ali je ne poznamo

Smole I.: O vplivu onesnaženega zraka na pritalno vegetacijo v gozdu

Na območjih poškodb se povečuje število vrst cvetnic, spremembe pa se ne omejujejo le na višje rastline. Raziskave gobjih združb so pokazale izpad občutljivejših vrst in odmiranje plodišč pri drugih vrstah. Zaradi prahu in imisij SO₂ propadajo po domnevah nekaterih avtorjev ponekod tudi mikorizni odnosi. Večino omenjenih sprememb vegetacije lahko štejemo za posledico povečanja vrednosti pH in izboljšanja ponudbe hranil zaradi nevtralnih in alkaličnih imisij.

Precej drugačne spremembe nastajajo zaradi prevladujočih kislih padavin. Raziskava na nekem gozdnem območju na Nizozemskem je ugotovila množično širjenje kisloljubne trave vijugaste masnice (*Avenella flexuosa* = *Deschampsia flexuosa*). Začetek zatravljanja se časovno ujema z nazadovanjem lišajev, zato lahko domnevamo, da so ta pojav povzročile kisle padavine. Pojavljanje te trave je značilno tudi za območja ekstremnih imisijskih obremenitev; tam prevladuje na prehodu med t.i. "imisijsko puščavo" in gozdom. V zgornji Šleziji sta na tem območju poleg vijugaste masnice na drugačnih rastiščih še navadna šašulica (*Calamagrostis epigejos*) in dlakava šašulica (*Calamagrostis villosa*).

Zanimive izsledke je dala večletna celostna raziskava vegetacije na Koroškem v okolici Podkloštra (Arnoldstein), v starem industrijskem okolišu s topilnicami svinca in cinka. Tam so v novejšem času sezidali še tovarno žveplene kisline. Preden so jo začeli zidati, so se tam razprostirali cvetoči hišni vrtovi domačinov vse do meje industrijskega območja, čeprav je bila vsebnost težkih kovin v tleh izredno visoka; uspevale so tudi travniške in njivske kulture. Znotraj industrijskega območja se je na površinah, ki so bile izpostavljene najmočnejšemu vnašanju škodljivih snovi obdržal listnati gozd z bogato pritalno vegetacijo. Že nekaj let po graditvi tovarne žveplene kisline so morali vrtove opustiti in prenehati obdelovati njive, saj so se ožigi poljščin ponavljali. V približno 18 letih je bil gozd na industrijskem območju domala uničen, tla pa odnesena do grobe kamninske podlage. Glede občutljivosti rastlin se je izkazalo, da pri močnejših obremenitvah s SO₂ propadajo kulturne rastline prej kot gozdne. Gozdna zelišča, kot npr. orlova praprot (*Pteridium aquilinum*) in razne vrste šašulic (*Calamagrostis* sp.), so občutno odpornejša kot vrste gojenih travšč. Na pobočjih, ki so obrnjena proti vetru tako, da na njih zračne gmote občasno zastajajo, so opazili pri travah in gozdnih zeliščih enako močne poškodbe kot pri gozdnem drevju. Izjema so le posebno prilagojene vrste, ki so se pod dolgotrajnim vplivom žveplovih imisij razvile kot ekotipi; mednje sodijo nekatere vrste trav, ki rastejo na gojenih travnikih, druge pa se razrastejo v naravna travišča.

Izsledki švicarske raziskave, v kateri so ugotavljali razlike med nekdanjo in zdajšnjo vegetacijo v dobro ohranjenih gozdovih severne Švice ter v malo gospodarjenih sestojih v Ženevski kotlini, so pokazali drastične izgube vrst v grmovni in zeliščni plasti ter spremembe v sestavi vrst v vseh sestojnih plasteh teh gozdov. S kvalitativno analizo pritalne gozdne vegetacije po ELLENBERGU (glej prejšnje poglavje!) so avtorji raziskave ugotovili, da se je v skoraj vseh popisanih gozdovih povečalo število nakazovalk dušika ob hkratnem nazadovanju kazalnikov svetlobe; to kaže, da se občutno povečuje količina hranilnih snovi v tleh. Ker v teh gozdovih nikoli niso gnojili, menijo, da se hranila vnašajo v tla iz ozračja, saj je zrak na teh območjih zelo onesnažen z dušikom. Poleg znamenj povečevanja hranilnih snovi v tleh razberemo iz floristične analize tudi znamenja čezmernega vnosa kislin v posamezne gozdne sestoje ali dele ekosistemov, vendar njihov pomen za zdaj ni razčiščen in bo treba tovrstna opazovanja in raziskave še poglobiti. V večini sestojev, posebno v Ženevski kotlini, so ugotovili zvečanje kazalnikov bazičnosti rastišč. V sklepih raziskave švicarski strokovnjaki ugotavljajo, da vnašanje hranil, ki povzročajo velike izgube rastlinskih vrst in floristične spremembe celo na rastiščih z dobro puferno sposobnostjo tal, lahko močno vpliva tudi na fiziološko ravnotežje gozdnega drevja, saj posega tudi v mikorizne odnose, ki so odločilni za njegovo prehrano in vodni režim.

Podobno študijo kot švicarski fitocenologi je v gozdovih, ki uspevajo na pogorju Schwäbische Alb, južno od Stuttgarta, v ZRN, napravila O. WILMANN. V svojo primerjavo je uvrstila pritalno vegetacijo ohranjenih bukovih gozdov in gozdov plemenitih listavcev ter smrekovih sestojev na primarnih bukovih rastiščih; rastišča vseh omenjenih gozdov imajo karbonatno kamninsko podlago. Na tem območju so iglaste gozdove v preteklih letih močno prizadele novodobne poškodbe gozdov. Tudi tam se je število vrst v primerjavi s stanjem pred 35 leti skoraj v vseh primerih zmanjšalo; zmanjšanje je praviloma prizadelo tiste zeliščne vrste, ki so značilne za gozdne robove in mnoge med njimi veljajo za nakazovalke dušika. V smrekovih sestojih so kazalniki kislosti rahlo nazadovali; in napredovali niso nikjer, čeprav se je vrednost pH v tleh znižala. Ni pa dokazano, da se je število mikoriznih vrst med zelišči zmanjšalo. V smrekovih sestojih se je na novo pojavil brinolistni lisičjak (*Lycopodium annotinum*). Avtorica meni, da je nazadovanje pogostejših zeliščnih vrst povzročil povečan sklep krošenj v primerjavi z nekdanjim, ni pa se dalo ugotoviti, ali je ta nastal le z boljšo nego gozdov ali pa je morebiti tudi posledica gnojenja rastišč z imisijami onesnaženega zraka. Poleg tega je v smrekovih sestojih, ki so presvetljeni zaradi imisij in ki prehajajo v fazo drogovnjaka, treba pričakovati zakasneli odziv zeliščne plasti na svetlobni dejavnik ter počasno vraščanje zelišč iz semenske banke. Vse to so navadni naravni pojavi, ki potekajo neodvisno od škodljivih zunanjih vplivov. V

Smole I.: O vplivu onesnaženega zraka na pritalno vegetacijo v gozdu

sestojih so bistveno nazadovali nekateri mahovi, predvsem vrsta *Hylocomium splendens*. V notranjosti gozdov je popolnoma izginil, na prostem pa je ostal nepoškodovan celo na stiku z močnejše poškodovanimi iglastimi sestoji. Nazadoval je tudi v bukovem sestoji, ki se je uveljavil na neki površini po vetroloemu smrekovega sestoja. Avtorica meni, da na mahove neposredno delujejo škodljive substance, ki se filtrirajo, bodisi skozi drevesne krošnje iz megle ali pa – to je po njenem manj verjetno – nastajajo po odzivu med depoziti in drevesnimi substancami, ki se sproščajo po poškodbah drevja. Zato meni, da bi morali preskusiti mahove *Hylocomium splendens*, *Rhytidiadelphus triquetrus* in še nekatere druge vrste glede na njihovo indikacijsko funkcijo. Ker ni verjetno, da se drevje in zelišča odzivajo na poškodbe fiziološko različno, naj bi ugotovitve te in še nekaterih drugih raziskav podprle tezo, da na preučevanem območju imisije ne škodujejo posredno po tleh, ampak neposredno po drevesnih krošnjah.

Zelo obsežno raziskavo stanja pritalne vegetacije v povezavi z ustreznim stanjem talnega kemizma so v gozdovih ZR Nemčije opravili sodelavci raziskovalnega središča za gozdne ekosisteme univerze v Göttingenu. Vanjo so zajeli celo serijo bukovih in bukovo-hrastovih gozdov na različno bogatih rastiščih. Tokrat povzemamo izide delnega ročnega ovrednotenja raziskave, ki nakazujejo nekaj teženj, vendar niso statistično podprti. Pritalna vegetacija kaže pod vplivom imisij na različnih rastiščih različno dinamiko spreminjanja, zato jo je treba prikazati diferencirano glede na preučevana rastišča.

V bukovih gozdovih, ki imajo bogato floristično sestavo in dobro puferno sposobnost tal, se zaradi imisij število kisloljubnih zelišč ni povečalo, nakazano pa je povečanje kazalnikov dušika. Iz gradiva, ki je bilo na voljo, ni bilo mogoče razbrati, ali so se spremenile oblike humusa. V bukovih gozdovih z bekicami (*Luzula* sp.), ki so po sestavi zeliščnih vrst najrevnejši in so bila njihova tla že ob prvem popisu močno zakisana, dodajanje dušika iz imisij izboljšuje humusne oblike in premika kombinacijo rastlinskih vrst tako, da se povečuje delež prehransko zahtevnejših vrst. Sestava rastlinskih vrst je najbolj obubožala v gozdnih združbah, ki imajo še precej bogato rastlinsko sestavo in nekako povprečne rastiščne razmere. Ker se je zakisovanje povečalo, so se humusne oblike poslabšale; to se je kazalo predvsem v zmanjšanju števila vrst, manj pa tudi v napredovanju kazalnikov kislosti. Skopi podatki o talnem kemizmu kažejo na procese zakisovanja v zadnjih desetletjih, zakisanost tal pa se je nedvomno povečala prav do horizonta B.

5 RAZPRAVA

Vsi izidi raziskav stanja pritalne vegetacije v srednjeevropskih gozdovih nedvoumno kažejo nekatere spremembe, ki so nastale v zadnjih desetletjih v sestavi njenih vrst. Raziskovalci se strinjajo, da ni mogoče povsem zanesljivo ločiti posledic načina ravnanja z gozdom in gospodarskih ukrepov v preteklosti od posledic imisij onesnaženega zraka. Vzroki za takšno previdnost tičijo že v sami metodologiji ugotavljanja sprememb. Večina izidov temelji na primerjavah, ki so napravljene na podlagi analize arhivskega strokovnega gradiva; le-to je lahko oporečno glede floristične pravilnosti, oblike in velikosti popisnih ploskev ter drugih pomembnih nadrobnosti. Poleg tega nam pri primerjavah manjkajo kontrolne ploskve, na katere zanesljivo ni bilo nikoli antropogenega vpliva; zato ničelnih hipotez ni mogoče preskusiti.

Svoje pomanjkljivosti ima tudi kvalitativna analiza vegetacije s pomočjo indikacijskih vrednosti rastlin, predvsem konstantnost teh vrednosti ne glede na to, da rastline uspevajo na različnih podnebnih območjih in na tleh z različno vsebnostjo hranil in ne da bi bila upoštevana intraspecifična spremenljivost vrst. Ovrednotenje izidov otežuje tudi to, da v popisanih sestojih ni nobenih meritev njihovih prehranskih bilanc.

Navedeni pridržki nas opozarjajo, da je spreminjanje pritalne vegetacije v gozdovih izredno dolgotrajen in zapleten proces, ki je odvisen od nešteti dejavnikov okolja in različnih naravnih ter "umetnih" zunanjih vplivov. Zaradi tega je zelo težko in nedopustno prisojati posamezna znamenja ali značilne pojave teh sprememb vplivu enega samega dejavnika, npr. imisiji onesnaženega zraka, če zanesljivo ne poznamo vseh zunanjih vplivov na ta ekosistem v preučevanem obdobju. Takšnih informacij ponavadi nimamo, žal pa vse premalo vemo tudi o "normalnih" naravnih zakonitostih in trendih spreminjanja pritalne vegetacije zaradi učinkovanja zunanjih dejavnikov.

6 MOGOČE POSLEDICE VPLIVOV ONESNAŽENEGA ZRAKA NA PRITALNO VEGETACIJO V NAŠIH GOZDOVIH

O preučevanju vplivov onesnaženega zraka na pritalno gozdno vegetacijo pri nas doslej v strokovni literaturi ni bilo zaslediti obširnejših poročil in objav. Manjši tovrstni poskus smo zastavili na Inštitutu za gozdno in lesno gospodarstvo v posebni raziskovalni nalogi, ki smo jo začeli l. 1988 na dveh dvojicah raziskovalnih objektov; vsak od njiju pripada približno enakemu gozdnemu

Smole I.: O vplivu onesnaženega zraka na pritalno vegetacijo v gozdu

rastišču, imisijsko pa sta različno obremenjena. Popis pritalne vegetacije na objektih se izvaja ciklično vsako leto po Braun-Blanguetovi metodologiji. Razčleni se stanje zelišč, gob in mahov, zaznamovano je tudi stanje epifitskih lišajev. Zaradi kratke opazovalne dobe in razmeroma majhnega vzorca je naloga pravzaprav še zmeraj v začetni fazi iskanja najustrežnejših metodoloških prijemov in izboljšav, kajti v dveh letih na preučevanih objektih nismo ugotovili nobenih takšnih razlik, sprememb ali značilnih znamenj v stanju in sestavi podrastne vegetacije, ki bi jih lahko zanesljivo prisojali vplivu onesnaženega zraka. Temu so vzrok predvsem ciklične sukcesije in sinuzialna zgradba gozdnih združb. Glavni problem pri takšnem načinu spremljanja je vsekakor izbira ustreznih raziskovalnih objektov, ki naj bi bili ekološko in vegetacijsko čim sorodnejši, takšne pa je v naravi zelo težko najti. Naslednja težava je v iskanju imisijsko čim manj obremenjenih rastišč zaradi ugotavljanja ničelnega ali prvotnega stanja vegetacije. Tudi naši gozdovi so – podobno kot drugje po Evropi – pod takšnimi pritiski imisij, da v njih komaj še lahko najdemo rastišča, ki so vsaj minimalno obremenjena z depoziti onesnaženega zraka. O tem pričajo tudi podatki, ki jih v nadaljevanju povzemamo po različnih strokovnih virih.

Največji onesnaževalci zraka pri nas so termoelektrarne na premog; med njimi prednjači TE Šoštanj, ki bolj onesnažuje zrak kot obe drugi (TE Trbovlje in Toplarna Ljubljana) skupaj. Glavna imisija termoelektrarn je žveplov dioksid – SO_2 , druge so še dušikovi oksidi – NO_x in trdni delci. Novejši podatki navajajo letno višino emisije TE Šoštanj za $\text{SO}_2 = 120.000$ t, za $\text{NO}_x = 10.000$ t in za prah = 9.000 t. Emisija SO_2 iz termoelektrarn je nekaj večja od polovice skupne emisije SO_2 v Sloveniji, ki je leta 1985 znašala približno 200.000 t.

Med industrijskimi objekti najbolj onesnažujejo zrak TGA Kidričevo, Đ. Salaj Krško, Rudnik svinca in topilnica Mežica ter Cinkarna Celje (3000 – 6000 t SO_2 na leto), okrog 1000 t SO_2 na leto pa spuščata v zrak Tovarna dušika Ruše in Železarna Jesenice. Navedenim količinam se pridružujejo še emisije kotlovnice za ogrevanje in drobnih kurišč, ki so zgoščena v naseljih. Čedalje bolj naraščajo tudi emisije škodljivih snovi zaradi prometa; njihov delež znaša po nekaterih virih zunaj kurilne sezone že prek 60% vse onesnaženosti zraka. Vsebujejo dušikove okside, ogljikovodike, ogljikov monoksid, svinčene spojine in drugo. Končno prispeva k onesnaženosti zraka svoj delež še vreme, ki vpliva na kemijske procese v onesnaženem ozračju in povzroča nastanek t.i. sekundarnih škodljivih snovi, ki jim pravimo fotokemijski smog (ozon, PAN, vodikov peroksid). Ne smemo pa zanemariti tudi prispevkov daljinskega transporta k onesnaženosti zraka, predvsem h kislosti padavin.

Območja povečane onesnaženosti zraka so pri nas ugotovljena na več načinov. Iz lišajske karte Slovenije, ki je bila izdelana ob popisu propadanja gozdov l. 1987, razberemo, da sta najbolj onesnažena osrednji in osrednji severni del Slovenije. Zrak je najbolj onesnažen okrog večjih lokalnih emisijskih središč, kot so Ljubljana, Kranj, Trbovlje, Celje, Šoštanj, Mežiška dolina, Maribor. Epifitska lišajska vegetacija v Sloveniji je močno osiromašena, to nedvomno kaže na veliko onesnaženost zraka pri nas. Iz raziskave o obremenjenosti slovenskih gozdov z žveplom, ki je bila opravljena v sklopu istega projekta, povzemamo ugotovitev, da so z žveplom najmanj obremenjeni gozdovi zahodnega in južnega dela Slovenije, največja imisija žvepla pa je na širšem območju Ljubljane, Celja, Slovenj Gradca in Maribora. Poleg domačih virov sodelujejo pri onesnaževanju tudi bolj oddaljena industrijska središča (Trst, Istra, Reka). Imisija žvepla je približno na tretjini vseh točk, na katerih potekajo vzorčenja, že tako visoka, da v njihovi okolici lahko pričakujemo poškodbe na gozdnem drevju tudi zaradi škodljivega delovanja žvepla.

Izmerjenih podatkov o količini vnosa škodljivih snovi iz zraka v gozdna tla pri nas nimamo. Če izhajamo zgolj iz teoretične podmene, da bi vso letno količino emitiranega SO_2 razporedili enakomerno po vsej površini Slovenije, bi bil vsak hektar njene površine obremenjen s približno 100 kg SO_2 na leto. Podatek seveda ne pove ničesar, ker je širjenje emisij in njihovo vnašanje v tla odvisno od nešteti dejavnikov okolja. Tuja literatura navaja npr. za ZR Nemčijo oceno vnašanja anorganskih dušikovih spojin v velikosti od 20 do 40 kg/ha na leto, merjene vrednosti pa se gibljejo med 20 in 30 kg/ha na leto. Podobne vrednosti potrjujejo tudi Švicarji v svojih raziskavah. ELLENBERG ml. navaja v svoji študiji o ogroženosti rastlinskih vrst v ZR Nemčiji podatek, da poteka v sadnih plantažah v pokrajini Baden-Württemberg s pomočjo padavin velikopovršinsko dodajanje dušika v tla v velikosti 20–25 kg/ha na leto; zaradi tega bi lahko gnojenje sadovnjakov povsem opustili, saj znašajo izgube dušika zaradi obiranja sadne letine približno 20 kg/ha na leto.

Vse navedeno nas zlahka prepriča, da vnašanje škodljivih snovi iz zraka tudi pri nas ne more biti mnogo drugačno kot drugod, če pa upoštevamo še veliko reliefno razgibanost naše dežele in njen širši geografski položaj, bi pri merjenju morda dobili na posameznih ožjih območjih celo višje vrednosti vnosa od navedenih količin.

Iz uvodoma podane analize količin emisijskih snovi in njihove kemične sestave lahko kljub njeni delni pomanjkljivosti ali enostranskosti – z meritvami NO_x smo pri nas komaj začeli – sklepamo, da v našem gozdnem prostoru prevladujejo

Smole I.: O vplivu onesnaženega zraka na pritalno vegetacijo v gozdu

imisijske SO_2 . Odziv pritalne vegetacije na njihovo učinkovanje je danes še razmeroma slabo raziskan. Po tujih izkušnjah, ki smo jih navedli v prejšnjih poglavjih, se more čezmerno zakisovanje rastišč pojaviti predvsem v gozdovih, ki uspevajo na vplivnih območjih večjih onesnaževalcev zraka. Kazati se utegne v povečanem širjenju trav, predvsem vijugaste masnice (*Deschampsia flexuosa*) in raznih vrst šašulic (*Calamagrostis* sp.). Posebno pozornost bi morali nameniti opazovanju in spremljanju pritalne vegetacije v goratih ali hribovitih predelih, na lokacijah, kjer v povezavi med glavnimi smermi vetra in lego pobočij lahko občasno zastajajo onesnažene zračne gmote; tam so mogoče enako močne poškodbe trav in drugih gozdnih zelišč kot na gozdnem drevju. Pričakovati je tudi, da bodo nekatere rastlinske vrste odpornejše od drugih; za takšni sta se izkazali orlova praprotna (*Pteridium aquilinum*) in jesenska vresa (*Calluna vulgaris*). Onesnaženje zraka škoduje tudi gobam, ker poškoduje njihova plodišča in povzroča nazadovanje te vrste rastlin, občutljivejše vrste pa izginejo. Podobno učinkuje na mahove, posebno na vrsti *Hylocomium splendens* in *Rhytidiadelphus triquetrus*, ki pod vplivom zračnih polucij in zaradi poškodb drevja nazadujeta v rasti, značilne poškodbe pa se kažejo tudi v odmiranju njihovih listnih konic.

Zakisovanje gozdnih rastišč povzroča v nekaterih primerih tudi propad mikoriznih odnosov, vendar ta pojav ne nastopa zakonito. Iz skromne navedbe rastlinskih vrst, ki uspevajo na prizadetih rastiščih, moremo sklepati, da je treba pričakovati prej opisana znamenja učinkovanja onesnaženega zraka predvsem v gozdovih s t.i. kislimi ali kvečjemu zmerno kislimi rastišči, ki jih pri nas poraščajo bukove, borove in jelove gozdne združbe. Te so razprostranjene po vsej Sloveniji, veliko pa jih je tudi na vplivnih območjih naših največjih onesnaževalcev zraka.

Vplivi vnašanja SO_2 ali prevladujočih kislinskih imisij na gozdna rastišča s povečini karbonatno, t.j. bazično kamninsko podlago, so v tujih raziskavah predstavljeni še bolj skopo in z mnogimi pridržki. Zakisovanje naj bi tudi na teh rastiščih z dobro puferno sposobnostjo nekoliko siromašila sestavo vrst pritalne vegetacije. Skoraj v nobenem primeru pa niso ugotovili, da bi značilno napredovale kisloljubne vrste; to je v nasprotju s pričakovanji.

Čeprav v naših gozdovih za zdaj načeloma izključujemo možnost nitrifikacije rastišč, ki nastaja zaradi vnašanja alkaličnih, predvsem dušikovih spojin v tla, je dolgoročno treba upoštevati tudi možnost za učinkovanje tega procesa. Za to je več razlogov; prvi je v tem, da se je merjenje zračne polucije z dušikovimi spojinami pri nas komaj dobro začelo in zato stvarnega stanja še ne poznamo. Drugi, še tehtnejši razlog je v naraščanju cestnega prometa in načrtovani graditvi novih velikih cestno-prometnih povezav, s katerimi se bo onesnaženje zraka z

dušikom in drugimi spojinami širilo v nove smeri. Poleg tega je neznanka tudi sestava imisij, ki jih prinaša k nam daljinski transport. Spričo ugotovitev o vsesplošni nitrifikaciji rastišč v nekaterih državah srednje Evrope (ELLENBERG 1983) utegnejo biti te imisije prej alkalične kot kisle, posebno če upoštevamo, da so glavni zračni tokovi usmerjeni k nam s severozahodne strani.

Pod vplivom dušikovih imisij moremo dolgoročno pričakovati v naših gozdovih trende ekološkega izravnavanja rastišč. Na hranilno revnih tleh se ta proces kaže v uveljavljanju zahtevnejših rastlinskih vrst in v nazadovanju skromnejših, prvotnim rastiščnim razmeram prilagojenih vrst pritalne vegetacije. Če opisani proces projiciramo na naša gozdna rastišča, moremo pričakovati nakazane spremembe v vseh izrazito acidofilnih gozdovih: v borovih, jelovih, smrekovih in bukovih gozdnih združbah na revnejših tleh z različnimi, nekarbonatnimi kamninskimi podlagami. Na hranilno bogatejših tleh se zaradi zakisovanja humusne plasti siromaši pritalni rastlinski inventar ter izginjajo specifične razlike v zgradbi posameznih gozdnih združb; med slabimi in boljšimi rastišči poteka nekakšna nivelacija, ki se kaže načeloma v enoličnejši zgradbi in sestavi vrst pritalne vegetacije. V to drugo skupino najverjetneje lahko uvrstimo gozdove, ki uspevajo na tleh z bogatejšo nekarbonatno kamninsko podlago, predvsem nekaj jelovih in bukovih združb. Najmanj sprememb je mogoče pričakovati v tistih gozdovih, katerih tla imajo dobro puferno sposobnost in se zato kaže vpliv nitrifikacije le v povečani količini dušika v tleh. Takšna rastišča ima pri nas večina gozdnih združb, ki poraščajo tla s prevladujočo karbonatno kamninsko podlago. Njihova drevesna sestava je različna, največji delež med njimi pa imajo bukovih gozdovi; vse združbe odlikujeta velika floristična raznolikost in bogastvo podrastne vegetacije.

7 SKLEP

Teoretična predvidevanja in pričakovanja mogočih sprememb pritalne vegetacije v naših gozdovih pod vplivom imisij onesnaženega zraka, ki smo jih nanizali v prejšnjem poglavju, temeljijo le na izkušnjah tujih raziskav te tematike in na upoštevanju domneve, da so si gozdna rastišča v okviru srednjeevropskega prostora vsaj do neke mere sorodna. Tudi če se izkaže, da so te domneve povsem zgrešene, jih bo mogoče uporabiti vsaj kot oporo in izhodišče za iskanje novih lastnih poti pri preučevanju te problematike v naših specifičnih okoliščinah. Glede na izpričano in dokazano dejstvo, da pri nas danes prevladujejo emisije SO₂, katerih učinki tudi na tujem še niso kompleksno raziskani imamo obilo možnosti za "nadelavo" teh novih poti.

Pri tem imamo na voljo najmanj dve mogoči varianti. Prva, ki je – vsebinsko gledano – pot t.i. "postopnih in majhnih korakov", je način delnega ugotavljanja in spremljanja značilnih pojavov in znamenj, o katerih smo govorili v prejšnjih poglavjih ter morebitno dopolnjevanje teh ugotovitev z novimi lastnimi dognanji, pridobljenimi glede na lokalne in regionalne posebnosti preučevanega pojava. To je pot, ki smo jo pravzaprav že ubrali v lastni raziskavi, vendar bo začetna opazovanja, ki zaenkrat niso dala pričakovanih rezultatov, potrebno še razširiti na druga rastišča in na druge lokacije ter tako povečati vzorec raziskave.

Bolj celostne rezultate in globlji vpogled v procese spreminjanja pritalne vegetacije v naših gozdovih zaradi učinkov onesnaženega zraka si lahko obetamo samo z izpeljavo obsežnejših in temeljitejših raziskav podobno kot so jih bili opravili na tujem in smo o njih poročali v tem prispevku. Glede na to, da poteka preučevanje vegetacije pri nas po enakih načelih kot v analiziranih tujih raziskavah je okvirni način in postopek dela že znan. Ovira ga predvsem razdrobljenost ustrezne arhivske (referenčne) dokumentacije – vegetacijskih popisov in drugih v ta namen uporabnih virov – ki so razpršeni po številnih raziskovalnih inštitucijah in pri mnogih posameznikih, v nekaterih primerih pa celo nedosegljivi. Zaradi tega in spričo današnje organiziranosti gozdarskega raziskovalnega dela je že izvedba takšnega podviga, kot je zbiranje dosegljivih virov na enem mestu, komaj mogoča. Možnost za izpeljavo raziskave pa je vsekakor izziv vsem poznavalcem slovenske gozdnovegetacijske problematike, da se njihovo preteklo delo ovrednoti še z novimi merili, stroki pa vnovič dokaže uporabnost in koristnost srednjeevropske metodologije preučevanja gozdne vegetacije.

8 SUMMARY

The article consists of seven chapters. The introduction presents its purpose, which is to make Slovene professional public familiar with one of European phenomena occurring only recently and which is not well known in Slovenia at present. The second chapter states, beside theoretical starting-points and suppositions, also the aims of researches on this issue. The basic question is what the changes of ground vegetation as a reaction to air pollution are and whether it is possible to use the characteristics of these changes for the establishing of air pollution. The third chapter gives the presentation of major investigations into this issue in the forests of Central Europe and a description of working methods applied. It has been established that this essay summarizes the results of five published articles dealing with this topic; they refer to the region of both

Germanies, Switzerland, and Carinthia in Austria. Most of the researchers define vegetation according to the methodology of Central European phytocoenologic school and the most complex results were achieved by a comparison of the present condition of ground forest vegetation with the condition in the same locations some years or more decades ago. Quantitative analysis is used for the evaluation of vegetation based on the so called indicative values of vascular plants (filicinae and spermatophyta) of Central Europe according to ELLENBERG (1979). The central part of the article – the fourth and fifth chapter – presents important results of investigations and a treaty on these statements are presented. All the studies establish that the floristic structure of forests changes under the influence of the polluted air and that the changes depend on the emission type. Acid emissions – first of all SO₂ emissions – cause degression in the number of plant species, in mass spreading of various grass species, heavy injuries of ground vegetation especially in localities, where polluted air stagnates, digression and injuries of fungus species and some moss species. A collapse of mycorrhizic relations can also be established yet the phenomenon does not occur as a rule. The main characteristic of the effect of alkaline emissions, first of all ashes and nitric oxides NO_x, is the nitrification of natural sites which is similar to fertilizing; it is expressed in the populating and spreading of more demanding and in retrograding of less complicated plant species as regards nutrition demand in nutritive poor ground and in natural sites of higher quality, in the decrease of floristic variety due to acidification of ground. Floristically poorer forest associations thus gradually become equal to floristically richer ones, their structure grows more uniform. The smallest changes are caused by the introducing of nitrogen in the natural sites of forest associations which grow in the ground of carbonate bedrock and are floristically rich and diverse; it is only expressed in the increased presence of nitrogen indicators. It was established that despite evident changes of ground vegetation the consequence of air pollution could not be told from those of managing and other influences on the forest in the past. The reasons for this lie partly in insufficient working methodology, in lack of data as regards occurrences in a forest in the past and in insufficient knowledge on the trends as to the changing of ground vegetation due to diverse influences of the environment. The sixth chapter enumerates theoretical speculations and prediction of changes which might occur in ground vegetation of Slovene forests under the influence of heavy emissions of polluted air. Due to prevailing SO₂ emissions, the acidification of natural sites with all the known consequences and their symptoms and due to increasing NO_x emissions also the processes of nitrification of natural sites and their consequences in forest ground vegetation can be expected. The described phenomena might first find representation in influential areas of the severest polluters of air in Slovenia.

The seventh chapter or the conclusion states that the issue dealt with deserves to be followed by appropriate research studies which have only been started in Slovenia and have not given the expected results yet. Besides, they are being carried out in small extent. An agreement and cooperation of all the researchers who are working on forest vegetation research in Slovenia, are needed for the realization of comprehensive and more detailed studies of this phenomenon.

9 REFERENCE

1. BATIČ, F., KRALJ, T. 1989. Bioindikacija onesnaženosti zraka z epifitsko lišajsko vegetacijo pri inventurah propadanja gozdov. Zbornik gozdarstva in lesarstva, Ljubljana, 34, s.51–70,
2. ELLENBERG, H. jun., 1983. Gefährdung wildlebender Pflanzenarten in der Bundesrepublik Deutschland. Versuch einer ökologischen Betrachtung. Sonderdruck aus FORSTARCHIV, Hannover, 54,4, s.127–133,
3. HRČEK, D., 1987. Problemi varstva zraka v Sloveniji. (Uvodni referat na sekciji za zrak Zveze društev za varstvo okolja Slovenije, 10.1.1987). Gozdarski vestnik, Ljubljana, 3, s.134–139,
4. KALAN, J., 1989. Obremenjenost gozdov z žveplom. Zbornik gozdarstva in lesarstva, Ljubljana, 34, s.99–120,
5. KALAN, J., BATIČ, F., HRČEK, D., KRALJ, A., SMOLE, I., ŠOLAR, M., 1989. Vpliv TE Šoštanj na tla in vegetacijo. 1.faza. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo pri BF, Ljubljana.
6. KOWARIK, I., SUKOPP, H., 1984. Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf die spontane Vegetation. (Farn – und Blütenpflanzen). Angewandte Botanik, Göttingen, 58, s. 157–170.
7. KUHN, N., AMIET, R., HUFSCHEMID, N., 1987. Veränderungen in der Waldvegetation der Schweiz infolge Nährstoffanreicherungen aus der Atmosphäre. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, Frankfurt am Main, 158, 5/6, s.77–84.
8. KUTSCHERA, L., 1984. SO₂ – Schäden an Acker-, Grünland- und Waldbeständen – ihre Merkmale. Angewandte Botanik, Göttingen, 58, s.171–194.
9. PETKOVŠEK, Z., 1990. Širjenje onesnaženja v zraku. Strokovno predavanje za DIT gozdarstva Ljubljana, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo pri BF, 12.II.1990.
10. ROST-SIEBERT, K., JAHN, G., 1988. Veränderungen der Waldbodenvegetation während der letzten Jahrzehnte – Eignung zur Bioindikation von Immissionswirkungen? Forst und Holz, Alfeld-Hannover, 43, 4, s.75–81.

11. SMOLE,I., 1989. Spremembe gozdne vegetacije kot posledica učinkovanja onesnaženega zraka. Letna poročila o raziskovalnem delu za leta 1988 in 1989. Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo 1988, 1989.
12. WILMANN,S,O., 1988. Zur Frage der Reaktion der Waldboden – Vegetation auf Stoffeintrag durch Regen – eine Studie auf der Scwäbischen Alb. Allgemeine Forst un Jagdzeitung, Frankfurt am Main, 160, 8, s.165–175.