

Marta Svetina-Gros

ERICO - Zavod za ekološke raziskave Velenje

**VPLIV PADAVIN NA TLA IN VODNE IZVIRE NA
OBMOČJU TERMoeLEKTRARNE ŠOŠTANJ1**

(Razprava je skrčena predstavitev magistrske naloge, ki jo je avtorica zagovarjala leta 1994 na Odseku za geologijo na FNT v Ljubljani pod mentorstvom prof. Simona Pirca in somentorstvom dr. Boruta Smodiša)

Ali ima dež očeta
in kdo plodi dežne kapljice?
(Jobova knjiga, 38, 28)

V Šaleški dolini so bile na dveh gozdnih lokacijah opravljene ekološke raziskave, katerih namen je bil pridobiti čim več podatkov o vsebnosti in o koncentracijskih območjih anorganskih komponent, raztopljenih v padavinah, talni raztopini in vodnih izviri. Z nalogo smo v Sloveniji prvič uvedli metodo malega povodja, v kateri uporabljamo povirje kot naraven laboratorij, kjer sledimo delu vodnega cikla v gozdnem ekosistemu. Kot glavna analitska metoda je bila uporabljena k_0 -standardizacijska metoda INAA, s katero so bili v vzorcih voda določeni sledni elementi in težke kovine. Rezultati analize kažejo na povečane vsebnosti in koncentracijska območja elementov v tleh, padavinah, talni raztopini in vodnih izviri v bližini Termoelektrarne Šoštanj. V padavinah so še posebej povečane koncentracije Al, As, Ba, Br, Fe, Cd, Co, Cr, Cu, Sb in Zn. Narejena je bila tudi ocena letne masne bilance elementov v povirju, s katero je bila ugotovljena velika akumulacija Cd, Cr, Fe, Mn, NH_4^+ , Pb, Rb, Sb, Se in Zn v gozdnem ekosistemu.

UVOD

Z vedno večjo uporabo fosilnih goriv in razširitvijo kemične in druge industrije je atmosfera vse bolj obremenjena s številnimi snovmi, ki so človeku in rastlinam škodljive, kot so: žveplov dioksid (SO_2), dušikov dioksid (NO_2); škodljive snovi, ki nastajajo pri fotokemičnih procesih v atmosferi: dušikovi oksidi (NO_x), ozon (O_3) in peroksiacetonitril (PAN); vodikov

fluorid (HF), vodikov klorid (HCl), fluorirani in klorirani ogljikovodiki; aluminijeve, kadmijeve in živosrebrove spojine; razni odpadki, ki vsebujejo radioaktivne snovi in številne druge spojine, ki jih še zelo slabo poznamo.

Raziskave po svetu kažejo, da je umiranje gozdov v veliki meri odvisno od onesnaženja atmosfere. V zadnjih letih so postavili nekaj hipotez, ki razlagajo vlogo onesnaževalcev pri propadanju gozdov v Evropi. Glavne kemijske snovi, ki prispevajo k propadanju gozdov, so ozon in drugi fotokemijski oksidanti, žveplov dioksid, dušikove spojine, kisle usedline, težke kovine in organske snovi (Hinrichsen, 1986).

K zakisanju padavin prispevajo največ žveplov dioksid in dušikovi oksidi, nekoliko še vodikov klorid, fluorid in druge snovi, ki raztopljene v zračni vlagi tvorijo močne mineralne kisline. Te snovi padajo na zemljo kot kisli dež, sneg, megla ali kot kisli trdni delci. Raziskave so pokazale (Krug & Frink, 1983), da lahko kisle usedline iz listov in iglic izpirajo kalij, kalcij in magnezij. Rastline skušajo nadomestiti primanjkljaj v listih z intenzivnejšim črpanjem teh elementov iz tal. Če teh hranilnih snovi v tleh primanjkuje, postanejo zaradi pomanjkanja hranil rastline bolj občutljive na klimatske pogoje. Poleg tega kisle usedline spreminjajo tudi sestavo tal; pomembne hranljive snovi se spirajo, hkrati pa se mobilizira aluminij, ki uničuje fine koreninice rastlin. Vpliv kislega dežja na spremembe v sestavi tal je odvisen od njihove puferske zmožljivosti. Tla, ki vsebujejo veliko kalija ali kalcija, npr. na apnencu in peščenjaku, niso tako občutljiva kot tla na kislih magmatskih kamninah, npr. tonalitu in andezitnem tufu. To je tudi razlog, zakaj znanstveniki pripisujejo kislemu dežju pri umiranju gozdov večjo vlogo v Evropi kot v ZDA.

Težke kovine se usedajo na zemljo bodisi s padavinami ali pa kot suhi trdni delci. Iglčasti gozdovi imajo pri tem vlogo ogromnih filtrov, ki prestrezajo suhe in mokre usedline.

Z iglic se težke kovine izpirajo v zgornjo plast tal, kjer ovirajo biološko aktivnost encimov in s tem mikroorganizmov, predvsem gliv in bakterij. Te zato počasneje razgrajujejo visokomolekularne organske spojine (celulozo, škrob in lignin) na sestavine, ki predstavljajo za rastline osnovne hranljive snovi. Na ta način se zmanjšata biološka aktivnost in hitrost mineralizacije v onesnaženih tleh, s tem pa se poruši normalen

biokemijski krog. Študije so pokazale (Puckett, 1988), da težke kovine prizadenejo tudi neposredno rastline, predvsem mahove in lišaje, ki nimajo zunanje povrhnjice, ki bi jih varovala. Druge rastline pa sprejemajo težke kovine v glavnem skozi korenine, posebno v kislih tleh. Tla, onesnažena s težkimi kovinami, zavirajo normalen razvoj korenin, kar rastline oslabi. V kombinaciji z drugimi onesnaževalci lahko kopičenje težkih kovin v tleh resno ogrozi delovanje gozdnega ekosistema.

Znano je katastrofalno stanje slovenskih gozdov. Popis iz leta 1985 je pokazal, da je prizadetih že več kot polovica slovenskih gozdov (Hrček, 1987).

Največji vir emisije škodljivih snovi v zrak so pri nas termoelektrarne na premog. Med njimi je na prvem mestu Termoelektrarna Šoštanj, ki onesnažuje zrak bolj kot oba druga najpomembnejša termoeenergetska objekta skupaj (Termoelektrarna Trbovlje in Toplarna Ljubljana). Zaradi njene emisije dimnih plinov je najbolj prizadeto ozemlje občine Velenje. Onesnaženje škoduje gozdovom, posebno tistim, ki rastejo v predgorskem in gorskem svetu na nekarbonatnih kamninah. Na emisijskem območju TEŠ je zastavljeno že precej raziskav, ki iz različnih vidikov ugotavljajo vplive TEŠ na okolje. Merijo onesnaženost zraka, padavin in vodnih tokov; ugotavljajo stopnjo poškodovanosti gozdov, stanje epifitske lišajske vegetacije, ocenili so obremenjenost gozdov z žveplom na osnovi kemijske analize smrekovih iglic in gozdnih tal v vplivnem območju TEŠ.

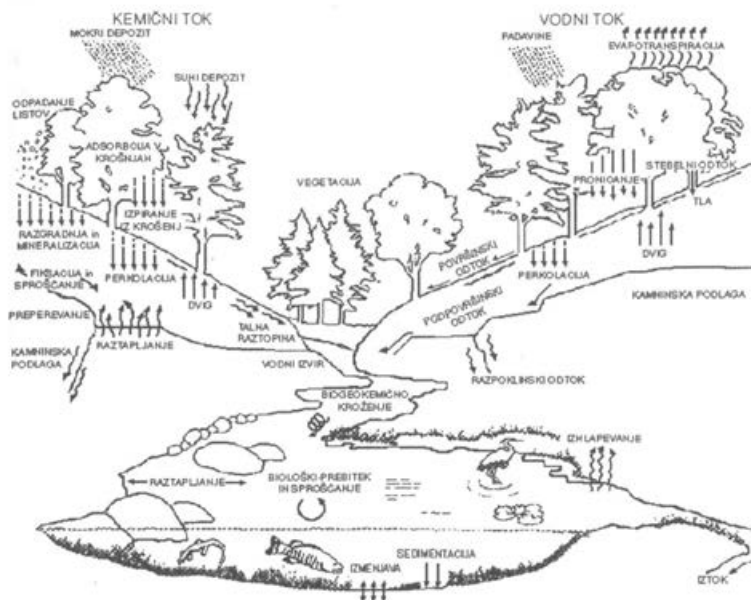
Kljub zelo široko zastavljenemu programu ekoloških raziskav na vplivnem območju TEŠ pa je zelo malo znanega o lastnostih padavin, kako le-te vplivajo na tla in na talno raztopino in s tem na prehranjevanje rastlin, posredno pa preko prehranjevalne verige in vodnih izvirov tudi na zdravje živali in človeka. Zelo malo ali skoraj nič ni znanega o elementih v sledovih, ki jih izpušča v zrak TEŠ. Ker gre za mikroelemente, že minimalno povečanje koncentracij v naravi lahko privede do porušitve ravnovesja. Glede na to, da kisle usedline in težke kovine igrajo zelo pomembno vlogo pri propadanju gozdov, poleg tega pa lahko njihovo povečanje ogrozi tudi zdravje živali in človeka, smo s to raziskovalno nalogo želeli pridobiti čim več uporabnih podatkov o anorganskih polutantih v padavinah, talni vodi in vodnih izvirih. Pri tem smo v Slovenijo vpeljali novo metodo raziskovanja, ki se imenuje metoda malega

povodja (Likens et al., 1977). Metoda je zastavljena na površnem območju izvira, ki nudi idealen naravni laboratorij za ocenitev kakovosti in količine vhodne in izhodne vode v gozdni ekosistem. Povirji v Šaleški dolini in referenčno povirje v Savinjskih Alpah smo izbrali glede na že opravljene raziskave, kot so popisi propadanja gozdov, meteorološke študije in geološko podlago.

KROŽENJE VODE NA GOZDNATEM ZEMLJIŠČU

Ker je precejšen del Slovenije hribovit in gorat, je pomembno, da imamo dovolj zdravih gozdov, ki so sposobni trajno opravljati vse svoje funkcije. Zlasti pomembno je, da gozdovi ohranijo svojo sposobnost zadrževanja vode, saj tako varujejo tla pred erozijo in ohranjajo njihovo sposobnost za vpijanje, zadrževanje in čiščenje vode. Smotrno gospodarjenje z vodo postaja vse bolj pomembno, saj strokovnjaki tudi za Slovenijo napovedujejo pomanjkanje vode že čez nekaj desetletij (Kalan, 1987).

Na gozdnatem zemljišču je kroženje vode drugačno kot na neporaslem ali negozdnatem zemljišču. Tudi vodni režim je v gozdu drugačen. Njegova najpomembnejša značilnost je, da zaradi večje stopnje ponikanja padavin nastajajo v gozdnih tleh velike zaloge pitne vode, z njimi se napajajo površinski tokovi in mnoga vodovodna zajetja za preskrbo ljudi s pitno vodo. Izdatnost vodotokov in zajetij je neposredno povezana z vodnim režimom gozdov, tega pa je do določene mere mogoče oblikovati z gozdnogospodarskimi ukrepi.



Slika 1. Kroženje vode na gozdnatem zemljišču (Johnson & Van Hook, 1989).

Vir vode na gozdnatem zemljišču so padavine. Ko padejo na gozd, zadevajo ob drevje ali pa skozi odprtine med krošnjami padajo naravnost na tla. Drevesne krošnje padavine prestrežejo, del prestreženih padavin se v krošnjah zadrži in izhlapeva nazaj v ozračje, ostale pa se ali stekajo po listih in kapljajo na tla ali pa se stekajo z listov po vejah do debla in po njem do tal. Enako se s padavinami dogaja tudi v plasti grmovja in pritalnega rastlinja. Del padavin zato sploh ne doseže tal, ker prej zaradi prestrežanja izhlapijo v ozračje.

Voda, ki pade ali priteče na gozdna tla, izhlapeva tudi iz njih, večinoma pa odteka v globino ali teče po površini. Po površini odteče do vodotoka, v globino pa ponikne skozi talne plasti, jih vlaži in moči. Če je padavinske vode na površini dovolj, doseže podtalnico in obogati vodne zaloge v tleh, kar se pokaže v boljšem napajanju izvirov.

Spoznanja o vplivu gozda na prehajanje padavin v tla in podtalnico omogočajo zaključek, da gozd oblikuje značilen vodni režim. Za gozd je značilno, da zaradi svoje poraslosti izboljša predvsem časovno razporeditev odtekajoče vode. Gozd torej deluje kot blažilec včasih silovitih dotokov padavinske vode na gozdna tla.

DOLOČITEV RAZISKOVANEGA OZEMLJA

Pokazalo se je, da je najprimernejši metodološki pristop za ekološke raziskave primerjanje rezultatov opazovanj na različno obremenjenih opazovalnih objektih, kajti metoda dolgoročnega spremljanja sprememb na istem mestu zahteva podatke o stanju okolja v preteklosti, ki pa pogosto niso na razpolago.

Ker smo na področju Šaleške doline pričakovali minimalne razlike, ni bilo smiselno postavljati merilnih točk v mrežo, ampak smo izbrali dve lokaciji na imisijsko najbolj izpostavljenih področjih v občini Velenje in eno primerljivo točko na oddaljenem "neonesnaženem" področju.

Kriteriji, ki smo jih upoštevali pri določitvi točk, so bili uporabljeni tudi pri izvajanju drugih podobnih ekoloških raziskav (Kalan, 1989):

- *območje leži v jasno opredeljenem vplivnem območju TEŠ in je še posebej izpostavljeno zaradi naravnih pogojev, kot so klimatske razmere in geološka podlaga,*
- *območje vsebuje številne že obstoječe raziskovalne objekte in merilna mesta, na katerih že preučujejo onesnaževanje okolja in*
- *zajete morajo biti različne stopnje onesnaženosti okolja (izbrati je potrebno referenčno točko).*

Na osnovi teh izhodišč smo izbrali kot osrednji raziskovalni področji dve lokaciji na različnih geoloških področjih v Šaleški dolini. To sta lokaciji Zavodnje in Veliki vrh, na katerih so tudi postaje ANAS. Kot referenčna točka je bil izbran Podvolovljek v Savinjskih Alpah. Vse lokacije so vezane na neprepustno oz. slabo prepustno magmatsko podlago: lokacija Zavodnje leži na tonalitu, Veliki vrh in primerjalna lokacija Podvolovljek pa na andezitnem tufu.

VPLIV TERMoeLEKTRARNE NA OKOLJE

Termoelektrarne so poleg industrije, prometa in majhnih kurišč eden glavnih onesnaževalcev ozračja. Skozi dimnik izhajajo v zrak SO_2 , NO_x , CO , CO_2 , prah in hlapne toksične prvine. Slaba kvaliteta slovenskega lignita in rjavega premoga (visoka vsebnost žvepla in pepela ob nizki kurilni vrednosti premoga) še poslabša neugoden vpliv. Do sredine 70-tih let je v svetu prevladovalo strokovno stališče, da je mogoče preprečiti škodljive učinke onesnaževanja zraka z visokimi dimniki. Pojav umiranja gozdov, ki se je začel nekako v tem času v Srednji Evropi in ki ga v veliki meri pripisujejo onesnaženemu zraku, je vplival na spremembo omenjenega stališča.

Za onesnaževanje neposredne bližine termoelektrarne sta pomembna predvsem dva vira onesnaženja (Davison et al., 1974):

- *dimni plini, ki vsebujejo produkte oksidacije (žveplov in dušikovi oksidi) in lahko hlapne elemente (Hg, Se, Br, in druge);*
- *aerosoli, na katere so sorbirane težke kovine, in sicer:*
 - *na delcih velikosti 0,5 do 10 μm (predvsem As, Cd, Hg, Pb, Sb, Se, Ti, V);*
 - *na delcih velikosti pod 1 μm (predvsem Cd, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V, Zn);*
 - *na delcih velikosti med 2,5 in 7 μm (največ Al, Fe, Si).*

Te snovi spušča termoelektrarna v zrak, z njimi zastruplja atmosfero in posredno preko nje tudi hidrosfero in litosfero.

Termoelektrarna Šoštanj je objekt z največjo emisijo škodljivih snovi v zrak v Sloveniji. Tudi v "Katastru virov onesnaževanja zraka v občini Velenje", ki je bil izdelan leta 1991, je naveden TEŠ kot glavni vir onesnaženja. Iz podatkov je razvidno, da znaša emisija TEŠ 99,3 % celotne emisije SO_2 in 96,6 % celotne emisije NO_x v občini Velenje.

Kot pomembna škodljiva vpliva termoelektrarne na okolje lahko navedemo tudi pepel in odpadke, ki nastanejo pri odžvepljevanju dimnih plinov. Večino pepela, ki ostane po gorenju v termoelektrarnah, odlagajo kot odpadke na posebna odlagališča. Ker vsebuje pepel sledove vseh elementov, je eden od potencialnih vplivov termoelektrarn na okolje tudi

mobilizacija težkih kovin iz pepela zaradi izpiranja le-tega ali zaradi vetrne erozije nezaščitenih odlagališč pepela.

V okolici TEŠ je bilo v zadnjih letih več raziskav okolja, ki so pokazale, da je vpliv elektrarne na lokalno okolje precejšen.

METODE DELA

Podobne raziskave v svetu

Izvirno ime za metodo, ki pomeni ogrodje celotne raziskave, je "the small watershed technique", kar bi lahko prevedli kot "metodo malega povodja" (Likens, 1977).

Povodje ali vodozbirno območje je hidromorfološki izraz, ki se uporablja za kakršnokoli območje, ne glede na njegovo velikost ali regionalno zaključenost in ne glede na obliko vode v njem. O povodju lahko govorimo kot o (vodozbirnem) zaledju (območju) izvira, potoka, reke, jezera, pa tudi njihovih delov. Izraz je prostorski in ne le ploskovni, saj poleg površinskih upošteva tudi podzemeljske vode, zlasti talno. Dosledna hidromorfološka izpeljava iz hidrološkega izraza izvir je potemtakem povirje (Radinja, 1991). V nadaljevanju bomo uporabljali izraza povirje in metoda malega povodja.

Ta metoda je že precej stara in preizkušena, saj so jo v Združenih državah Amerike uvedli že pred 30 leti z namenom, da ugotovijo vedenje gozda v normalnih in nenormalnih razmerah. Lotili so se projekta, katerega namen je bil spoznavanje ekološkega obnašanja gozdnega ekosistema. Projekt se je imenoval "The Walker Branch watershed project" in je trajal 18 let. Vključeval je celo vrsto strokovnjakov s področja kemije, hidrogeokemije, geokemije in biologije. Raziskave so v prvi fazi zajemale geološke, hidrološke in geokemične raziskave, v tesni povezavi s temi so sledile biološke raziskave primarne produkcije, razgradnje in biokemičnih procesov v tleh. Na podlagi teh raziskav so prišli do pomembnih spoznanj o kroženju elementov v gozdu in s tem skušali ugotoviti obremenitveni prag, ki ga gozd lahko prenese. Namen tega obširnega in dolgotrajnega projekta pa ni bil le ugotoviti zakonitosti vedenja gozdnega ekosistema, ampak tudi določitev metode, ki bi se na podlagi njihovih izkušenj aplicirala kot model na

podobna področja, ki jih je zajel naravni in antropogeni stres (Johnson & Van Hook, 1989).

Prilagojeno svojim problemom so to metodo začeli že pred časom uporabljati tudi v Nemčiji. Tovrstne raziskave jim pomenijo del monitoringa okolja, z njimi pa pridobivajo zelo pomembne podatke za sanacijo gozdov.

Tudi v Veliki Britaniji so zastavili projekt, ki temelji na metodi malega povodja. "The Loch Fleet project", kot so imenovali projekt, se je pričel leta 1993 na Škotskem z namenom, da ugotovijo spremembe v okolju po tem, ko se je v Angliji po letu 1965 zmanjšala emisija žveplovega dioksida.

Leta 1985 so to metodo uporabili tudi v Franciji z namenom, da določijo kemijo vode v različnih ekosistemih. S triletno študijo so ocenili hidrološke zaloge in izgubo nutrientov iz ekosistemov.

Metoda malega povodja

V ekosistemu obstaja veliko manjših in večjih tokov energije in snovi. Zaradi pomanjkanja natančnejših podatkov o razmerjih teh tokov in nepoznavanja notranjih funkcij, ki uravnavajo te tokove, je ponavadi težko določiti vpliv človekove aktivnosti na biosfero. Tovrstno pomanjkljivo poznavanje narave je vzrok, da človek pri uvajanju novih tehnologij in objektov ne more predvideti vseh negativnih vplivov in pojavov v okolju, ki jih določen projekt lahko povzroči.

Prav zaradi tega so v zadnjem času v svetu deležne posebne pozornosti raziskave, ki obravnavajo ekološki sistem kot eno združeno enoto, namesto vrste študij, ki vsaka posebej obravnava le delček sistema (Likens, 1977).

Na tok snovi v ekosistemu in med ekosistemi vpliva tako živa kot neživa komponenta ekosistema. Vodni in kemični tok skozi ekosistem pogojuje vrsta različnih spremenljivk: biološka sestava in porazdelitev, geološka heterogenost, klimatske razmere, sezonske spremembe ... Pot kemičnih spojin, ki krožijo iz anorganske oblike v organsko in nazaj, opisuje biogeokemični cikel. Ekosistemi neprestano izmenjujejo snovi in energijo z drugimi ekosistemi in biosfero, zato so biogeokemični cikli življenjskega pomena za obstoj ekosistema (Likens, 1977). Za kvantitativno in kvalitativno oceno biogeokemičnih

ciklov so potrebna večletna opazovanja, ki zajemajo študijo vrsto vzorcev voda (dežja, snega, pronicanja, debelnega odtoka, talne vode, podtalnice, vodnih izvirov, potočne vode in površinske vode).

V metodi malega povodja predstavlja osnovno raziskovalno enoto povirje, s katerim kopiramo naravni ekosistem in gibanje vodnih tokov v njem. S tem shematičnim modelom gozdnega ekosistema lahko pridobimo kvantitativno oceno vnosa (input) in iznosa (output) vodnega toka in kemičnih snovi. Stalen tok energije, vode, kemičnih snovi in drugih materialov skozi ekosistem povzročajo meteorološki, geološki in biološki vektorji (slika 2).

Meteorološki vnos in iznos sestoji iz delcev, ki jih prinese veter, raztopljene snovi v dežju in snegu, aerosolih in plinih.

Geološki vnos predstavlja raztopljene in neraztopljene snovi, ki se prenašajo s površinskim in podtalnim vodnim tokom in s koluvialnim premikanjem snovi.

Biološki vnos povzročajo živali, ki se gibljejo iz enega ekosistema v drugega (lokalna izmenjava odpadne snovi ali masna migracija).

Te tri kategorije so definirane kot vektorji ali "prenašalci" snovi in ne kot viri. Vire snovi pa predstavljajo:

- **Atmosfera** - v atmosferi so vse kemijske snovi v obliki plinov ali aerosolov (to velja za zrak v tleh in nad njimi).

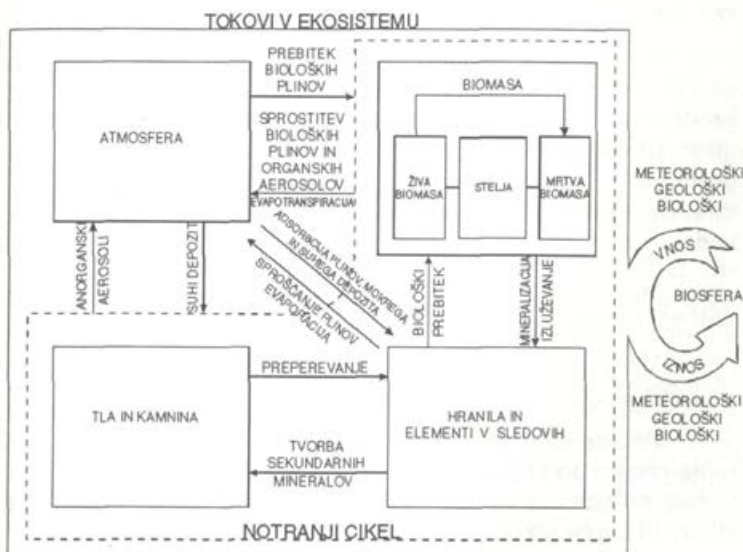
- **Organska snov** - v organskem delu so kemične snovi vključene v živo ali mrtvo biomaso.

- **Dostopna hranila in elementi v sledovih** - dostopna hranila so ioni, ki so absorbirani na humusu ali glinenohumusnih kompleksih, ali pa so raztopljeni v talni raztopini. V enaki obliki nastopajo tudi elementi v sledovih.

- **Primarni in sekundarni minerali** - primarni in sekundarni minerali vsebujejo kemične snovi, iz katerih sestojijo tla in kamnine v ekosistemu.

Tok kemičnih snovi v vlažnih področjih je v veliki meri odvisen od hidrološkega cikla, zato ne moremo meriti kemičnega toka brez podobnih meritev pretoka vode. V praksi

predstavlja pri takšnih meritvah problem podpovršinski tok, ki sestavlja znaten delež hidrološkega cikla, ga je pa praktično nemogoče meriti. Zato je pogoj za izbiro povirja neprepustna podlaga ali kakšna druga impermeabilna osnova, kajti le na ta način izločimo geološki (podtalni) vnos, tako da predstavljata edini vnos meteorološki in biološki tok. V vlažnih področjih, kjer je manj vetra, lahko pri iznosu zanemarimo meteorološki tok in upoštevamo le geološki in biološki tok. Ker gre na izbranem povirju za neprepustno podlago, predstavlja ves geološki iznos iz povirja potok, ki je drenaža povirja. Če je povirje del večje in dejansko homogene biološke enote, potem je biološki vnos v ravnotežju z biološkim iznosom, ker se živali gibljejo tako v povirje kot iz povirja.



Slika 2. Model gibanja hranil in elementov v sledovih v ekosistemu. Vnos in iznos iz ekosistema povzročajo meteorološki, geološki in biološki vektorji. Prikazana so mesta kopičenja in možnosti izmenjave snovi v ekosistemu. Hranila in elementi v sledovih, ki niso v stalni plinski fazi, stalno krožijo s tokovi v ekosistemu med atmosfero, organsko snovjo, primarnimi in sekundarnimi minerali ter dostopnimi hranili in elementi v sledovih (Likens, 1977).

Iz tega sledi, da je v povirju potrebno meriti samo meteorološki vnos in geološki iznos kemičnih snovi, da lahko ocenimo izgube in prebitke kemičnih snovi v ekosistemu. Z uporabo takšnega poskusa je možno dobiti kvantitativno oceno za večino kemičnih snovi v ekosistemu (Likens, 1977).

Vzorčevanje

Vse vrste vzorcev smo vzorčevali po standardnih postopkih. Pri tem smo se držali standardnih metod (Stand. Meth., 1989), priporočil iz podobnih raziskav in navodil za integralni monitoring (Kleemola & Söderman, 1993, 38).

Vzorčevalnike za padavine smo postavili na že obstoječe lokacije postaj ANAS (slika 6), kajti te lokacije so bile določene na podlagi strogih meteoroloških kriterijev za vzorčevanje padavin.

Vzorčevalna mesta za vzorčevanje talne vode na povirju smo izbrali tako, da smo se izogibali skalam, drevesom in suhim predelom. Vodo v tleh smo lovili na globini 50 cm v mineralnem (B) horizontu. Za vzorčevanje smo uporabljali posebne drenažne posode, imenovane lizimetri. Lizimetri so intaktno vgrajeni v tla, tako da se v njih steka pobočna talna voda.

Vodne izvire smo vzorčevali na prelivih, kjer smo merili tudi pretok vode.

Vzorce vod smo pobirali enkrat na mesec od junija 1992 do julija 1993.

Za kemično analizo tal smo na vsaki lokaciji izkopali tri talne profile do globine 95 cm. V vsakem profilu smo vzeli štiri vzorce na različnih globinah: od 0 do 5 cm, od 5 do 10 cm, od 10 do 20 cm in od 20 do 50 cm.

Poleg vzorcev tal smo vzorčevali tudi kamnino - matično podlago. Matično podlago smo vzorčevali po celotnem področju povirja.

Analitske metode

Vse določitve glavnih komponent v vzorcih vode (pH-vrednost, specifična električna prevodnost ter magnezijev, kalcijev, kalijev, natrijev, aluminijev, klorov, amonijev in nitratni ion) so bile opravljene v laboratoriju ERICa Velenje, razen analiz

kadmija in svinca, ki sta bila določena z atomsko absorpcijsko spektrometrijo (AAS) v laboratoriju Rudnika Žirovski vrh.

Analizo tal (fizikalne lastnosti tal, kislost tal, organska snov, dušik, dostopna hranila, izmenjalna sposobnost tal) so naredili na Gozdarskem inštitutu Slovenije.

RAZPRAVA O REZULTATIH

Mineralna sestava vzorcev kamnin na vseh treh lokacijah kaže na to, da gre v vseh treh vzorcih za precej podobno sestavo, kar je dobra osnova za primerjavo lokacij. Ker gre v vseh treh vzorcih za magmatske kamnine, prevladujeta kot zelo zastopana minerala kremen in plagioklaz, v manjši meri pa so navzoči še muskovit, illit in klorit.

Na osnovi pedoloških analiz lahko ocenimo, da so lastnosti tal na obeh raziskovanih lokacijah precej podobne. V obeh primerih gre za precej kislila tla, revna s hranili in rastlinam dostopnimi oblikami elementov, v katerih je slab razkroj organske snovi. Zato imamo lahko obe lokaciji, glede na lastnosti tal, za identični. Na podlagi primerjave pedoloških parametrov na lokaciji Veliki vrh in na primerjalni lokaciji Podvolovljek lahko ugotovimo, da so fizikalne lastnosti tal identične, razlika je v kislosti tal, ki je na referenčni lokaciji za približno pol stopnje višja, vendar je še vedno precej kislila.

Vsebnost mikroelementov v tleh je količinsko zanemarljiva, toda življenjskega pomena za rast rastlin. Za elemente v sledovih, pomembne za prehrano rastlin, uporabljajo tudi izraz mikronutrienti. V večji meri so mikroelementi v tleh produkt preperevanja kamninske podlage, lahko pa je njihova akumulacija v tleh tudi posledica človekove dejavnosti.

S primerjavo vsebnosti elementov v kamninah na vseh treh lokacijah z običajno vsebnostjo elementov v podobnih vrstah kamnin smo ugotovili, da je v vzorcih, ki smo jih analizirali, večja vsebnost Au, Mo, Sc, Sn, Ti, Tm in Zn ter manjša vsebnost Ce, Th in Y.

Iz rezultatov analize vzorcev kamnine in tal na vseh treh lokacijah je razvidno, da se po preperevanju kamnine nekateri elementi v tleh kopičijo, drugi pa sproščajo. Kljub temu da obstajajo med lokacijami določene razlike v vsebnosti ele-

mentov v kamninski podlagi, so procesi preperevanja ter kopičenja in sproščanja elementov podobni. V tleh se kopičijo naslednji elementi: As, Ce, Co, Cr, Cs, Ga, La, Nb, Nd, Pb, Rb, Ta, Th, Ti, U in Zn; sproščajo pa se Au, Ba, Mn, Mo in Sr. Pri kopičenju elementov v tleh gre pri večini elementov za globinsko kopičenje, kar pomeni, da se z globino tal njihova vsebnost povečuje. V vrhnjih plasteh tal se akumulirajo arzen (lokacija Zavodnje in Veliki vrh), svinec (lokacija Zavodnje in Veliki vrh) in uran (lokacija Veliki vrh), kar kaže na onesnaženje površinskega sloja tal.

S primerjavo vsebnosti elementne sestave tal na vseh treh lokacijah s podatki za podobna tla, dobljenimi iz literature, se pojavljajo pri nekaterih elementih določene razlike. Na lokaciji Podvolovljek se v tleh pojavljajo višje vsebnosti arzena, kroma in cinka, v Zavodnjah kadmija in svinca, na vseh lokacijah pa najdemo v tleh več kositra in tulija.

Nekatere vsebnosti elementov v tleh so tako visoke, da po nekaterih virih že presegajo meje fitotoksičnosti. Tako npr. na vseh lokacijah vsebnost skandija presega mejo fitotoksičnosti, ki po teh podatkih znaša od 5 do 10 $\mu\text{g/g}$. V tleh na lokaciji Podvolovljek je vsebnost arzena in kroma tako visoka, da je glede na podatke iz literature že blizu meje fitotoksičnosti. Po teh podatkih fitotoksična meja za arzen znaša od 15 do 50 $\mu\text{g/g}$ in za krom od 75 do 100 $\mu\text{g/g}$.

V preglednici 1 so navedene najvišje dopustne mejne vsebnosti težkih kovin in največje vsebnosti teh elementov, ki so bile določene v vzorcih tal na lokacijah Veliki vrh, Zavodnje in Podvolovljek.

Preglednica 1. Primerjava maksimalnih vsebnosti težkih kovin v tleh z normativi za tla (Ur. l. SRS, 1990, 356).

Lokacija	Pb [$\mu\text{g/g}$]	Zn [$\mu\text{g/g}$]	Cr [$\mu\text{g/g}$]	Hg [$\mu\text{g/g}$]	Co [$\mu\text{g/g}$]	Mo [$\mu\text{g/g}$]	As [$\mu\text{g/g}$]
Veliki vrh	177	130	63	0.6	12	4	13
Zavodnje	76	130	27	0.2	13	3	5
Podvolovljek	54	142	87	-	14	1.4	17
Ur. l. SRS	100	300	100	2	50	10	20

Iz preglednice 1 lahko ugotovimo, da so vsebnosti težkih kovin v tleh na Velikem vrhu, v Zavodnjah in Podvolovljeku

pod mejnimi vrednostmi, določenimi z odlokom. Mejna vrednost je presežena samo v enem vzorcu tal, in sicer je presežena vsebnost svinca v tleh na Velikem vrhu.

VODE

Z metodami vzorčevanja, ki smo jih uporabljali, smo zbrali vzorce vod skupaj s suspendiranimi delci. Zaradi dodane kisline v vzorčevalne posode so se suspendirani delci delno raztopili. Vodo smo pred analizo filtrirali in zatem posebej določali elemente v raztopini in v neraztopljenih delcih, ki so ostali na filtru. Potrebno je poudariti, da delež tako dobljenih neraztopljenih delcev ni nujno enak deležu suspendiranih delcev v naravnem vzorcu vode.

Padavine

S padavinami se iz ozračja odstranjujejo snovi, ki jih človek spušča v zrak. Z dežjem padejo te snovi na tla in onesnažujejo tla, vodo in rastline. S kemijsko analizo padavin lahko dobimo zelo dobro sliko onesnaženosti atmosfere in njenega vpliva na tla. Kemijska sestava dežja je odvisna od atmosferskih in klimatskih pogojev, ki se spreminjajo iz kraja v kraj in iz leta v leto, zato se temu ustrezno spreminja tudi sestava padavin.

O kislem dežju se govori že kar precej časa. Glavni vzrok za zakisanje padavin so žveplov in dušikovi oksidi v ozračju, ki so posledica industrije. Nad neonesnaženimi področji je vrednost pH padavin med 5.0 in 6.0 zaradi raztopljenega ogljikovega dioksida v vodi.

Znano je, da so sulfatni, nitratni, nitritni in amonijevi ioni polutanti v padavinah, nastali kot posledica raztapljanja SO_2 in NO_x , ki se v zrak sproščajo pri izgorevanju fosilnih goriv. Kloridni ioni in ioni natrija, kalija, magnezija in kalcija ponavadi niso antropogeni polutanti v padavinah; svoj izvor imajo v prahu, ki se dviguje iz tal.

Rezultati naloge kažejo, da je povprečna letna koncentracija sulfatnega iona v padavinah na Velikem vrhu zelo močno povečana (9.89 mg/l), v Zavodnjah močno povečana (7.12 mg/l) in na Podvolovljeku neznatna (2.45 mg/l).

Tudi povprečna letna koncentracija nitratnega iona v padavinah je povečana. Zanimivo je, da je količina nitratnega iona povečana tudi v padavinah na referenčni lokaciji Podvolovljek (2.89 mg/l). Glede na to, da Avstrijci pripisujejo izvor kar 65 % vseh dušikovih oksidov v zraku daljinskemu transportu, ta podatek ne preseneča.

Izgorevanje premoga v termoelektrarnah je eden izmed glavnih virov elementov v sledovih v atmosferi. Iz dimnikov termoelektrarn izvira večji del Be, Co, Hg, Mo, Sb in Se v ozračju, poleg teh elementov pa predstavljajo termoelektrarne tudi precejšen vir As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn in Zr v zraku.

Okoli leta 1970 so na Aljaski v padavinah odkrili nepričakovano visoke koncentracije Pb, V, Mn, Cd, Ni in drugih elementov, ki so produkti človekove aktivnosti. Ugotovili so, da se visoke koncentracije antropogenih elementov v oddaljenih pokrajinah pojavljajo občasno in kažejo močna sezonska nihanja. Prav zato so pojav teh polutantov na Aljaski pripisali daljinskemu zračnemu prenosu. V Skandinaviji so opravili vrsto obširnih raziskav, s katerimi so določili polutante, ki se prenašajo z daljinskim zračnim prenosom. Ugotovili so, da padavine iz zračnih mas, ki pridejo iz Evrope, vsebujejo desetkrat več elementov v sledovih v primerjavi s padavinami, ki pridejo s področja severnega Atlantika. Poleg meteoroloških pogojev je pomemben faktor, ki vpliva na prenos elementov z zrakom, tudi hitrost usedanja. Najpočasneje se useda selen, približno enako počasi še arzen, svinec in cink, nato sledita vanadij in krom; največji razpon hitrosti usedanja imata baker in nikelj, ki se lahko usedata zelo počasi ali pa tudi precej hitro. Zanimivo je, da se večina elementov usede z mokrim in ne s suhim depozitom; tudi temu je vzrok daljinski zračni prenos. Ugotovili so da moker depozit lahko prispeva 80 do 100 % od skupnega useda svinca, cinka, bakra in kobalta ter 60 do 80 % za nikelj, arzen, antimon, krom in selen.

Zanimivo je, da so v padavinah na primerjalni lokaciji v Podvolovljeku višje koncentracije makroelementov (kalcija, kalija, magnezija in natrija) kot v Šaleški dolini. To lahko pripišemo predvsem prahu, ki ga dviga veter iz okoliških neporastlih hribov.

Iz rezultatov je razvidno, da so v padavinah na Velikem vrhu koncentracije elementov v sledovih najvišje. Opazno je, da

se pri elementih v koncentracijskih območjih pod 2 ng/ml znatno poveča delež elementov v neraztopljenih delcih.

Če primerjamo koncentracije elementov v padavinah s tipičnimi koncentracijami elementov v padavinah na neurbanih področjih v svetu, lahko ugotovimo:

· v padavinah na Velikem vrhu so povečane koncentracije Al, Fe, Cu, Cd in Sb;

· v padavinah na vseh lokacijah so povečane koncentracije As, Ba, Br, Co, Cr, Hg, V in Zn.

Ker je med Velikim vrhom in TEŠ le 2 km zračne razdalje, lahko povišane koncentracije aluminija in železa v padavinah na Velikem vrhu razložimo kot posledico usedanja večjih delcev, v katerih sta ta dva elementa ($>2 \mu\text{m}$ premera).

Ker veljajo termoelektrarne za glavni antropogeni vir živega srebra, kobalta in antimona, ne preseneča povečana koncentracija teh elementov v padavinah.

Povečano koncentracijo bakra in kadmija v padavinah v bližini TEŠ (na Velikem vrhu) lahko pripišemo precej veliki hitrosti usedanja teh elementov, ki znaša do 1.5 cm/s.

Arzen, brom in živo srebro prihajajo iz dimnika v atmosfero pretežno kot plini, kjer se adsorbirajo na zelo majhne delce in zato lahko potujejo z zračnimi masami zelo daleč. To je verjetno vzrok za njihovo povišano koncentracijo v padavinah na vseh treh lokacijah.

Elementi cink, vanadij in krom imajo zelo nizko hitrost usedanja (okoli 0.4 cm/s), zato veljajo za polutante, ki se z zračnimi masami prenašajo na daljše razdalje. Zato so njihove koncentracije približno enako povečane na vseh treh lokacijah.

Talna raztopina

Voda v tleh je topilo, ki raztaplja izpostavljena tla in geološko podlago na svoji poti, ter transportno sredstvo za prenašanje snovi v tleh.

Večina soli v talni raztopini je v disociiranem stanju, zato le-ta predstavlja ionsko raztopino, kjer potekajo številni kemijski procesi, poleg tega pa prinaša rastlinam hranila.

Preglednica 2. Vpliv vrednosti pH v talni raztopini na procese v tleh.

Proces	vrednost pH
Raztapljanje karbonatov	6.2 - 8.6
Preperevanje silikatov	5.0 - 6.2
Reakcije ionske izmenjave	4.2 - 5.0
Raztapljanje kovinskih hidroksidov	3.0 - 4.2 (Al) < 3.0 (Fe)

Znano je, da vrednost pH v gozdu med letom zelo niha. Od vrednosti pH v talni raztopini zavisijo procesi, ki se odvijajo v tleh, kar prikazuje preglednica 2.

Glede na preglednico 2 in na vrednosti pH v talni raztopini, ki nihajo na Velikem vrhu od 4.1 do 8.5, v Zavodnjah od 3.3 do 6.4 in na Podvolovljeku od 5.1 do 7.4, lahko zaključimo, da v tleh na Velikem vrhu potekajo procesi raztapljanja karbonatov, preperevanja silikatov in reakcij ionske izmenjave, v Zavodnjah procesi preperevanja silikatov, reakcij ionske izmenjave in celo raztapljanja kovinskih hidroksidov ter na Podvolovljeku procesi raztapljanja karbonatov in procesi razgradnje silikatov.

Iz primerjave koncentracij ionov, dobljenih pri tem delu, z rezultati podobnih raziskav v Nemčiji (Brechtel, 1991) lahko ugotovimo, da so v talni raztopini na lokacijah Veliki vrh, Zavodnje in Podvolovljek koncentracije sulfatnega, aluminijevega in manganovega iona tudi do 10-krat nižje. Nižje so tudi koncentracije nitratnega iona v talnih raztopinah na vseh treh lokacijah. Znatno višje pa so koncentracije amonijevega iona, ki so v Zavodnjah celo 6-krat višje od podatkov v literaturi.

Za ugotavljanje ekološke obremenjenosti tal s težkimi kovinami ni dovolj le ocena njihove vsebnosti v tleh, ampak je potrebno ugotoviti koncentracijo težkih kovin tudi v talni raztopini.

Za oceno vpliva zračne polucije na kemično sestavo talne raztopine je smiselna primerjava lokacij z enako matično podlago; to sta lokaciji Veliki vrh in Podvolovljek. S primerjavo koncentracij elementov v talni raztopini na teh dveh lokacijah ugotovimo, da so koncentracije elementov v talni raztopini na lokaciji Veliki vrh višje od tistih na primerjalni lokaciji. Razliko lahko pripišemo vplivu onesnaženosti padavin v neposredni bližini TEŠ in nižjim vrednostim pH tal in talne raztopine na lokaciji Veliki vrh. Znano je, da se v gozdnih tleh s povečano

kislostjo tal poveča raztapljanje mnogih kovin, ki so drugače nemobilne.

S primerjavo rezultatov koncentracij elementov v talni raztopini s tipičnimi vrednostmi iz literature ugotovimo, da koncentracije elementov v talni raztopini na Velikem vrhu, v Zavodnjah in v Podvolovljeku niso povečane, razen koncentracij kroma, ki so višje na vseh treh lokacijah. Visoke koncentracije kroma lahko razložimo s povečano vsebnostjo kroma v tleh, povečano koncentracijo tega elementa v padavinah in z nizkimi vrednostmi pH talne raztopine, kajti znano je, da se pri vrednosti pH pod 5.5 začne krom sproščati iz tal.

Vodni izviri

Na naseljenih področjih je človek s svojo aktivnostjo že vplival na spremembo sestave pitne vode. Vodo, ki priteče iz povirja, ne sestavljajo samo snovi, ki jih raztaplja na svoji poti skozi tla, ampak tudi snovi, ki padajo s padavinami iz ozračja.

Ioni v vodnem izviru predstavljajo glavne sestavine, ki opredeljujejo mineralizacijo in tip vode.

Iz podatkov povprečnih letnih vrednosti pH ugotovimo, da je vrednost pH v vodnih izvirih glede na MDK za pitno vodo neproblematična ter da je pitna voda v Šaleški dolini nekoliko bolj kisla kot na primerjalni lokaciji na Podvolovljeku.

Povprečna letna vrednost specifične električne prevodnosti v vodnih izvirih ne presega MDK za pitne vode (Ur. l. SFRJ, 1987, 870).

Primerjava podatkov povprečnih koncentracij ionov v vodnih izvirih s podatki iz literature kaže na povečano koncentracijo sulfatnega iona v vodnih izvirih, še posebej na Velikem vrhu. Povečano koncentracijo hidrogenkarbonatnega iona v vodnem izviru v Podvolovljeku lahko razložimo z nekoliko višjo vrednostjo pH v vodnem izviru na tej lokaciji.

Ioni v vodnih izvirih nastopajo v mejah MDK za pitne vode, izjema je le povprečna letna koncentracija amonijevega iona, ki presega MDK za pitno vodo na vseh treh lokacijah.

Zaradi splošnega povečanja koncentracij elementov v sledovih v atmosferi in v hidrosferi lahko predvidevamo tudi

povečanje koncentracij teh elementov v vodnih izviri. Žal zaradi pomanjkanja podatkov iz preteklosti ne moremo teh predvidevanj potrditi.

S primerjavo koncentracij elementov v vodnih izviri na vseh treh lokacijah, podobno kot pri padavinah in talni raztopini, ugotovimo povečane koncentracije skoraj vseh elementov na lokaciji Veliki vrh. Še posebej so povečane koncentracije elementov v sledovih, med njimi najbolj barija, rubidija, svinca, molibdena, stroncija in neodimija. Koncentracije elementov v vodnem izviru so v primerjavi s primerjalno lokacijo povečane tudi v Zavodnjah. V vodi iz izvira v Zavodnjah so bistveno povečane koncentracije kobalta, volframa in tantal; te razlike verjetno lahko pripišemo drugačni sestavi tal v Zavodnjah.

Primerjava koncentracij elementov v vodnih izviri z MDK za pitne vode kaže le na povečano vsebnost aluminija v vodnem izviru na Velikem vrhu.

Masna bilanca

Z izračunom masne bilance smo poskusili kvantitativno oceniti vnos in iznos snovi v proučevane ekosisteme. Eden od ciljev naloge je bil oceniti izgube in kopičenje elementov v povirjih na izbranih lokacijah.

Za izračun vnosa ionov in elementov v povirje smo upoštevali letno količino padavin in njihovo koncentracijo v padavinah, za izračun iznosa pa pretok na vodnem izviru in koncentracijo ionov in elementov v vodnem izviru.

Vnos in iznos smo izračunali po formulah (Probst et al., 1991):

$$V = \overline{C}_p \times Q_p \times 10^{-2}$$

$$I = \overline{C}_v \times Q_v \times 10^{-2}$$

V - vnos kg/ha leto, g/ha leto;

I - iznos kg/ha leto, g/ha leto;

$\overline{C}_p$ - povprečna letna koncentracija v padavinah mg/l, g/l;

$\overline{C}_v$ - povprečna letna koncentracija v vodnem izviru mg/l, μ g/l;

Q_p - letna količina padavin l/m²;

Q_v - letni iztok vode l/m²;

Povprečne letne količine padavin smo zaradi napak meritev povečali za 10 %. Pretok iz povirja smo iz tehničnih razlogov merili le na lokaciji Zavodnje in znaša 40-50 % padavin. Za izračun iztoka smo uporabili podatek iz literature, ki za gozd podobne sestave znaša 44 % padavin. Ker gre na vseh lokacijah skoraj za identična povirja, smo na ostalih dveh lokacijah uporabili oceno iztoka, ki smo ga izmerili v Zavodnjah. Podatki o letni količini padavin in letnem iztoku iz povirij so podani v preglednici 3.

Preglednica 3. Letna količina padavin (Qp) in ocena iztoka (Qv) za obdobje od junija 1992 do julija 1993; * - iztok v litrih pomeni ekvivalent glede na padavine.

Lokacija:	Qp[l/m2]	Qv* [l/m2]
Veliki vrh	954	420
Zavodnje	1119	518
Podvolovljek	1308	576

V preglednicah 4 in 5 so navedeni podatki letne bilance ionov in elementov v povirjih na Velikem vrhu, v Zavodnjah in na primerjalni lokaciji v Podvolovljeku.

Iz razlike med vnosom in iznosom ionov in elementov smo ugotovili kopičenje ali pa izpiranje iz povirja. Če ima razlika negativen predznak, se ioni in elementi izpirajo, sicer pa se ioni in elementi kopičijo (akumulirajo) in ostanejo v ekosistemu.

Preglednica 4. Letna masna bilanca ionov v povirjih [kg/ha leto]; V - vnos, I - iznos.

Lokacija	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Veliki vrh								
V	94	34.3	6.1	21.1	20.7	13.4	5.0	5.07
I	130	6.3	9.6	0.8	55.4	13.6	33.5	4.8
V - I	-35	28.0	-3.5	20.3	-34.7	-0.2	-28.5	0.27
Zavodnje								
V	79.5	33.7	5.1	22.7	20.4	13.4	5.37	4.40
I	88.4	5.0	10.6	1.0	64.9	30.1	19.2	5.38
V - I	-8.9	28.7	-5.5	21.7	-44.5	-16.7	-13.9	-0.98
Podvolovljek								
V	32.1	37.9	14.2	21.2	12	16.1	5.0	5.88
I	86.9	18.8	8.4	0.8	136	18.4	32.5	3.48
V - I	-54.8	19.1	5.8	20.4	-124	-2.3	-27.5	2.40

Preglednica 5. Letna masna bilanca elementov v povirju [g/ha leto]; V - vnos, I - iznos.

Lokacija	Al	As	Au	Ba	Br	Cd	Ce	Co
Veliki vrh								
V	1145	34.3	0.24	303	128	155	13.3	24.9
I	1226	6.1	0.03	152	28	2	5.9	—
V - I	-81	28.2	0.21	151	100	153	7.4	—
Zavodnje								
V	940	13.0	0.021	173	150	5.14	6.9	—
I	580	2.2	0.021	71	55	3.26	0.3	41.1
V - I	360	10.8	0	102	95	1.88	6.6	—
Podvolovljek								
V	432	12.5	0.013	327	175	6.28	10.7	56.2
I	536	3.2	0.013	75	33	0.98	2.5	—
V - I	-104	9.3	0	252	142	5.30	8.2	—

Lokacija	Cr	Cs	Cu	Fe	Hg	La	Mn	Mo
Veliki vrh								
V	34.0	2.48	240	8780	2.96	6.58	386	33.4
I	2.8	0.36	89	1170	2.86	5.46	26	17.6
V - I	31.2	2.12	151	7610	0.10	1.12	360	15.8
Zavodnje								
V	24.0	1.72	281	5600	3.44	4.0	191	39.4
I	2.4	0.56	122	510	2.53	1.0	19	2.2
V - I	21.6	1.16	159	5090	0.91	3.0	172	37.2
Podvolovljek								
V	34.0	1.73	230	6020	4.71	7.1	169	83.7
I	3.3	0.43	120	470	1.03	0.1	11	—
V - I	30.7	1.30	110	5550	3.68	7.0	158	—

Lokacija	Nd	Pb	Rb	Sb	Se	Sr	U	Zn
Veliki vrh								
V	2.1	93.9	59.1	4.4	12.0	10	11.5	811
I	8.0	94.5	7.5	0.2	1.4	727	1.5	123
V - I	-5.9	-0.6	51.6	4.2	10.6	-717	10	688
Zavodnje								
V	2.4	110	69.5	5.1	6.14	9	1.7	571
I	—	12	4.6	1.2	2.2	295	0.5	122
V - I	—	98	64.9	3.9	3.9	-286	1.2	449
Podvolovljek								
V	3.0	104	118	4.4	7.1	14	1.9	1032
I	—	14	10	0.5	3.2	679	0.9	110
V - I	—	90	108	3.9	3.9	-665	1.0	922

Iz razlike med vnosom in iznosom ionov in elementov smo ugotovili kopičenje ali pa izpiranje iz povirja. Če ima razlika negativen predznak, se ioni in elementi izpirajo, sicer pa se ioni in elementi kopičijo (akumulirajo) in ostanejo v ekosistemu.

Iz bilance ionov in elementov v povirjih smo ione in elemente glede na to, ali so v ravnotežju, se izpirajo ali pa kopičijo, razvrstili:

- **ravnotežje**
- na neonesnaženem področju: Au;
- na onesnaženem področju: Hg in Pb.
- **izpiranje**
- na neonesnaženem področju:
 - izpiranje: Al in Mg^{2+} .
 - veliko izpiranje: SO_4^{2-} ;
 - izredno veliko izpiranje: Ca^{2+} , Na^+ in Sr;
- na onesnaženem področju:
 - izpiranje: Cl- in Nd;
 - veliko izpiranje: Ca^{2+} .

Kopičenje

- Na neonesnaženem področju:
 - kopičenje: Cl, K+ in NO_3^- ;
 - veliko kopičenje: As, Ba, Br, Cd, Ce, Cs, Cu, Hg, La, Mo, Sb, Se in U;
 - izredno veliko kopičenje: Cr, Fe, Mn, NH_4^+ , Pb, Rb in Zn;
- na onesnaženem področju
 - kopičenje: La in Mo;
 - veliko kopičenje: Fe, NO_3^- in Zn;
 - izredno veliko kopičenje: Cd, Sb, Se in U.

V ravnotežju so ioni in elementi, katerih vnos je na onesnaženem področju (Podvolovljek) približno enak iznosu. O izpiranju in kopičenju govorimo, kadar je razlika med vnosom in iznosom manj kot dvakratna ($< \text{faktor } 2$).

Veliko izpiranje ali kopičenje pomeni, da je med vnosom in iznosom iona ali elementa več kot dvakratna razlika ($> \text{faktor } 2$). Zelo veliko izpiranje in zelo veliko kopičenje iona ali elementa pa pomeni, da gre med vnosom in iznosom za desetkratno razliko (faktor 10).

Amonijev ion, natrijev ion, cerij, baker, antimon in stroncij se ne glede na to, ali gre za onesnaženo ali neonesnaženo področje, vedejo enako. To pove, da spremenjeni pogoji v onesnaženih tleh ne vplivajo na njihovo kopičenje ali sproščanje.

V povirjih na vplivnem območju TEŠ (Veliki vrh in Zavodnje) je glede na neonesnaženo povirje opazno dosti večje kopičenje nitratnega iona ter dosti manjše izpiranje kalcijevega iona. Vedenje nitratnega iona lahko razložimo z nižjo vrednostjo pH in zato neugodnimi pogoji za potek nitrifikacije. Zanimivo je vedenje kloridnega iona, ki se v Podvolovljeku kopiči, v Zavodnjah in na Velikem vrhu pa izpira.

V neposredni bližini TEŠ (Veliki vrh) so tla najbolj zakisana, kar povzroča povečano mobilnost železa, lantana, molibdena in selena. Ti elementi se še vedno kopičijo, vendar dosti manj kot na lokacijah Podvolovljek in Zavodnje. Podobno je povečana tudi mobilnost živega srebra in svinca. V normalnih pogojih se ta dva elementa kopičita, v neposredni bližini TEŠ V neposredni pa je njun vnos v ravnotežju z iznosom. Na Velikem

vrhu je opazno bistveno povečano kopičenje kadmija in urana (Cd za faktor 78 in U za faktor 8). Glede na to, da je iznos teh dveh elementov približno enak na vseh povirjih, lahko povečano akumulacijo pripišemo bistveno višjim koncentracijam teh elementov v padavinah na lokaciji Veliki vrh.

V Zavodnjah je nekoliko večje izpiranje magnezijevega iona, kar lahko razložimo z nekoliko drugačno sestavo tal; tudi pedološke analize so pokazale večjo vsebnost magnezija v tleh na tej lokaciji. V Zavodnjah se izpira tudi kalijev ion, ki se na ostalih dveh povirjih kopiči; to lahko razložimo z nekoliko drugačno mineralno sestavo tal v Zavodnjah. Na tej lokaciji se drugače vede tudi aluminij, ki se kopiči, medtem ko se na drugih dveh lokacijah izpira.

S primerjavo letnega vnosa snovi na vplivnih področjih TEŠ in primerjalni lokaciji lahko ocenimo prispevek TEŠ k usedlinam iz zraka. Iz preglednic 35 in 36 je razvidno, da se v neposredni okolici TEŠ in v njenem vplivnem območju useda na tla precej več določenih polutantov kot na neonesnaženem področju. Na Velikem vrhu se letno na tla usede približno dvajsetkrat več zlata in kadmija, desetkrat več urana, trikrat več aluminija in arzena, dvakrat več kalcijevega iona, cezija, mangana, selena in sulfatnega iona ter nekoliko več cerija, bakra in železa, kot na Podvolovljeku. V Šaleški dolini pa se na leto usede dvakrat več aluminija, zlata in sulfatnega iona, enkrat več kalcijevega iona ter nekoliko več bakra.

Zanimivi so podatki, ki kažejo na večje usedanje iz zraka na primerjalni lokaciji v Podvolovljeku. Tako se na "neonesnaženem" področju usede na tla na leto več barija, broma, kobalta, živega srebra, molibdena, neodimija, rubidija, stroncija in cinka. Nekoliko več kot na Velikem vrhu in nekoliko manj kot v Zavodnjah pa se usede na tla svinca. Razlog za večje usedanje teh elementov na lokaciji, ki je izven vplivnega območja TEŠ, je večja letna količina padavin na tej lokaciji ter dejstvo, da gre za polutante, ki se prenašajo z zračnimi masami na velike razdalje. Zaradi tega vzroka povišanih koncentracij naštetih elementov v padavinah ne moremo pripisati TEŠ.

SKLEPI IN PREDLOGI

V Slovenijo je bila prvič uvedena in uspešno preizkušena metoda malega povodja, ki je v tujini pogosto uporabljena metoda raziskav v ekologiji. Izkazalo se je, da je s pomočjo te metode mogoče določiti vpliv onesnaženja na ekosistem. Poleg tega pa smo z uporabo te metode lahko stanje v Šaleški dolini primerjali z že obstoječimi podatki iz svetovne literature.

Iz rezultatov te raziskave lahko povzamemo naslednje sklepe:

- 1) *Onesnaženje zraka vpliva na spremembo sestave padavin, tal, talne raztopine in vodnih izvirov. Raziskava je pokazala, da so koncentracije polutantov povečane v vseh treh vrstah vod v gozdnem ekosistemu, prav tako so povečane vsebnosti nekaterih polutantov v gozdnih tleh.*
- 2) *Z vključitvijo referenčne točke v raziskavo so bili dobljeni podatki iz neonesnaženega območja. S pomočjo te primerjalne lokacije so bili opredeljeni onesnaževalci v padavinah, ki so posledica daljinskega zračnega prenosa.*
- 3) *V Šaleški dolini je bila prvič narejena ocena letne masne bilance usedlin iz zraka. Pri izračunu masne bilance gre le za približno oceno, ker smo meritve opravljali le eno koledarsko leto. Na ta način je bila izdelana ocena prispevka Termoelektrarne Šoštanj k onesnaženju iz zraka. Z letno masno bilanco toka elementov skozi povirje je bila dobljena slika vedenja posameznih elementov v neonesnaženem in onesnaženem področju.*
- 4) *Stanje hidrosfere in litosfere v gozdnem ekosistemu je glede na močno onesnaževanje iz zraka razmeroma dobro. Opazno je zakisovanje tako hidrosfere kot litosfere in s tem povezano izpiranje hranil in drugih mikroelementov iz tal.*

Raziskovalno delo je prispevalo široko bazo podatkov o kemijski sestavi tal, padavin, talne raztopine in vodnih izvirov. Za celovitejšo sliko o vplivu zračne polucije iz Termoelektrarne Šoštanj na tla in vodne izvire bi bilo potrebno raziskavo nadaljevati več koledarskih let ter jo razširiti še na področje analiz biomase in interakcije med tlemi in med talno raztopino. Za celovitejši izračun masne bilance in boljšo oceno prispevka termoelektrarne k usedlinam iz zraka bi bilo potrebno narediti tudi elementno analizo dimnih plinov in prašnih delcev iz njenih dimnikov.

ZAHVALA

Delo sem opravila v ERICu Velenje, Zavodu za ekološke raziskave v Velenju. Večji del analiz so opravili na Odseku za jedrsko kemijo Instituta "Jožef Stefan" v Ljubljani. Nekaj analiz pa so naredili tudi na Oddelku za geologijo pri Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo v Ljubljani in na Inštitutu za gozdno in lesno gospodarstvo v Ljubljani. Najprej se iskreno zahvaljujem mentorjema prof. dr. Simonu Pircu in dr. Borutu Smodišu za strokovno pomoč in spodbudno usmerjanje pri izdelavi magistrske naloge. Zahvaljujem se tudi Zvonki Jeran in Radojku Jačimoviću za vse opravljene analize in konkretno pomoč pri nalogi. Delo je sestavni del naloge "Razvoj analiznih metod", ki jo pod šifro MTZ P2-5191-0106 financira Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije. Tudi njim se zahvaljujem za finančno pomoč. Za financiranje se zahvaljujem tudi Rudniku lignita Velenje in Termoelektrarni Šoštanj. Za idejo in strokovno pomoč se zahvaljujem Janku Kalanu z Gozdarskega inštituta Slovenije. Zadnja, vendar nič manjša zahvala, gre vsem sodelavcem na Zavodu za ekološke raziskave v Velenju za pomoč pri izvajanju naloge.

VIRI

- Brechtel, H. M. 1991, Acidic precipitation deposition of air pollutants and its influences on the chemical quality of forest spring water in the Hessian highlands. - *Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich*, Nr. 65/66, 178 p.p., Wein.
- Davison, R. L., Natusche, D.E.S., Wallace, J. R. & Evans, C. A. 1974, Trace elements in fly ash: Dependence of concentration on particle size. - *Environmental Science & Technology*, 1107-1113, Washington.
- Hinrichsen, D. 1986, Multiple Pollutants and Forest Decline. - *Ambio*, Vol. 15, 258-265.
- Hrček, D. 1987, Problemi varstva zraka v Sloveniji. - *Gozdarski vestnik* 3, 134-139, Ljubljana.
- Johnson, D. W. & Van Hook, R. I. 1989, Analysis of Biogeochemical Cycling Processes in Walker Branch Watershed. - Springer-Verlag, 1-349, New York.
- Kalan, J. 1987, Propadanje gozdov v Sloveniji. - 4 str., Ljubljana. (Študija. Gozdarski inštitut Slovenije.)
- Kalan, J. 1989, Vpliv Termoelektrarne Šoštanj na tla in vegetacijo - 1. faza. - 43 str., Ljubljana. (Študija. Gozdarski inštitut Slovenije.)
- Kleemola, S. & Söderman, G. 1993, Manual for integrated monitoring - Programme Phase 1993-1996. - *Environmental Report* 5, 38 p.p., Helsinki.

- Krug, E. C. & Frink, C. R. 1983, Acid Rain on Acid Solid: A New Perspective. - Science, Vol. 221, 520-525.
- Likens, G. E., Bormann, F. H., Pierce, R. S., Eaton, J. S. & Johnson, N. M. 1977, Biogeochemistry of a Forested Ecosystem. - Springer-Verlag, 1 pp., New York.
- Puckett, K. J. 1988, Bryophytes and Lichens as Monitors of Metal Deposition. - In: Lichens, Bryophytes and Air Quality, Bibl. Lichenol. 30, 231-267, Berlin.
- Radinja, D. 1991, Porečje - povodje, vodozbirno območje in podobno. - Ujma 5, 270-271, Ljubljana.
- Smodiš, B. 1991, Študij in razvoj k_p -standardizacijske metode za nevtronsko aktivacijsko analizo bioloških in ekoloških vzorcev. - 102-125, Ljubljana. (Disertacija. Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Oddelek za kemijo in kemijsko tehnologijo.)
- Standard Methods, 1989, The examination of water and wastewater.- 17th edition, 37-208, Baltimore.