

KARTA GEOLOŠKO POGOJENE OGROŽENOSTI NA PRIMERU OBČINE BOVEC

Geo-Hazard Map of the Municipality of Bovec

Tomaž Budkovič* UDK 55(497.4 Bovec)

Povzetek

Bovec je bil podrobneje geološko kartiran v šestdesetih letih prejšnjega stoletja pred gradnjo hidroelektrarne Trnovo in v osemdesetih letih za osnovno geološko karto (OGK) SFRJ. Rokopisne karte v merilu 1 : 25.000 so uporabne za pripravo kart geološko pogojene ogroženosti, saj so bistveno natančnejše od natisnjene OGK.

Severni del občine Bovec je zgrajen večinoma iz karbonatnih kamnin, južni pa predvsem iz jurskih in krednih klastičnih in karbonatnih kamnin. Večje enote - formacije so zgrajene iz več plasti kamnin. Na karti geološko pogojene ogroženosti so poudarjeno označene formacije, na katerih se pogosteje razvijejo nevarni pojavi: zemeljski plazovi, blatni tokovi in skalni podori. Označena so tudi območja dejanskih in potencialnih zemeljskih plazov, blatnih tokov in skalnih podorov.

Karta je namenjena vsem, ki odločajo o prostorskih posegih. Z upoštevanjem geoloških razmer lahko velikokrat preprečimo materialno škodo in obvarujemo človeška življenja.

Abstract

Bovec was geologically mapped in detail in the 1960's, prior to the construction of the Trnovo hydro power plant, and in the 1980's for the basic geological map of SFR Yugoslavia. Hand-made maps in a scale of 1 : 25 000 were used for the preparation of geo-hazard maps, as these were much more accurate than the printed basic geological map. The northern part of the municipality of Bovec is built primarily of carbonate rocks, and the southern part is mostly formed of Jurassic and cretaceous carbonate-clastic rocks. Larger formations are built of several rock layers. The geo-hazard map designates the formations where hazardous phenomena often develop: landslides, mudslides and rockfalls. Also marked are the areas of existing and potential landslides, mudslides and rockfalls. The map is intended for all those who decide on interventions in the environment. Proper consideration of geological conditions can often prevent material damage and protect human lives.

Uvod

Nevarnost postane nesreča samo tam, kjer živijo ljudje. Tega se zavemo vsakič, ko naravne sile pokažejo svoje zobe.

Dandanes človek s svojimi bivališči in infrastrukturo sili na območja, ki so se jih prejšnji rodovi izogibali, saj jih je ljudsko izročilo opozarjalo na naravne nesreče v sivi davnini. Sodobni človek je taka opozorila bodisi pozabil bodisi jih posmehljivo prezira. Vendar se zakoni narave niso spremenili. Kdor jih krši, mora vzeti v zakup možnost, da bo prej ali slej prišla kazen. Narava lahko uniči ves trud, napravi ogromno materialno škodo, zahteva celo človeška življenja.

Mnogim – čeprav ne vsem – nevšečnostim se lahko izognemo, če bolje poznamo in tudi upoštevamo geološko zgradbo nekega območja. Nesreča v Logu pod Mangartom je geologe Geološkega zavoda Slovenije spodbudila, da za občino Bovec izdelamo karto geološko pogojene ogroženosti. Ta karta predstavlja vzorec, po katerem naj bi obdelali vse občine v državi. Na njej smo precej bolj natančno kot na tiskanih geoloških kartah prikazali geološko zgradbo in nevarnosti, ki iz nje izhajajo. Koristila bo Civilni zaščiti, prostorskim planerjem, urbanistom, cestarjem, gozdarjem in vsem drugim, ki odločajo

o posegih v prostoru. Ta dokument naj bi tudi odvrčal graditelje od preveč tveganih območij.

Velike višinske razlike, razgiban relief in obilne padavine povzročijo v alpskem svetu nastanek podorov, plazov ter blatnih in gruščnatih tokov. Nekaj takšnih dogodkov se je ohranilo v zgodovinskih virih in ljudskih pripovedkah.

Geološke razmere v občini Bovec in ogroženost, ki jo povzročajo

Dosedanje geološke raziskave v občini Bovec

Geologija kot veda o sestavi Zemlje lahko najpopolneje odgovori na vprašanja o nastanku in razvoju teh nevarnih pojavov. Kamnine na zemeljski površini in z njimi povezani pojavi – rudišča, vodni izviri in drugi – so prikazani na geoloških kartah.

Za naše ozemlje jih je začela izdelovati že Avstro-Ogrska sredi 19. stoletja. Do propada monarhije so z njimi pokrili

* Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, Ljubljana, tomaz.budkovic@geo-zs.si

STAROST		LITOLOŠKI STOLPEC	debelina (m)	OPIS KAMNIN ČRKOVNA OZNAKA FORMACIJE	
KREDA	ZGORNJI		500	peščenjak, laporovec, glinovec, konglomerat plgk (K₁)	apnenčeva breča, vložki laporovca dab (,K₁)
			100	rdečkast apnec, laporovec, pole in gomolji roženca pal (K₁₊₂)	mikritni apnec z lečami roženca, laporni apnec in laporovec al (K₁)
	SPODNJI			apnec, kalkarenit, laporovec, skrilavec, peščenjak, roženec	alsp (K₁)
				mikritni apnec z rožencem, kalkarenit in laporovec	akl (J,K)
JURA	SR. IN ZG.		100	mikritni in krinoidni apnec z rožencem ppka (J₂)	breča br (J,K)
	SPODNJA			apnec, roženec, radiolarit in manganov skrilavec ars (J)	mikritni in krinoidni apnec in apnenčeva breča aab (J)
			300	skladnat mikritni in oolitni apnec	smoa (J)
TRIAS	ZGORNJI		1600	grebensi apnec s koralami ga (T₂₊₃)	skladnat dolomit sd (T₂₊₃)
				skladnat glavni dolomit sgd (T₂^{1,2})	skladnat dachsteinski apnec s plastni dolomita das (T₂₊₃)
			100 - 200	apnec, apnec z rožencem, dolomit, kalkarenit, laporovec, mejevec	adklm (T₂₊₃T₁)
		1000	masiven in skladnat dolomit in apnec msda (T₂)	masiven in skladnat apnec msa (,T₂)	skladnat in masiven apnec sma (T₂)
	SREDNJI		110	apnec z rožencem, lapornati apnec, apneni peščenjak, laporovec, skrilavec, tuf	alkat (T₂)
			400 - 1000	skladnat dolomit in apnec	da (T₂^{1,2})

Slika 1. Kamnine občine Bovec
Figure 1. Rocks in the Municipality of Bovec

večino slovenskega ozemlja, vendar bovško ozemlje samo delno. Okolico Mangarta in Loga so kartirali za potrebe rudnika svinca in cinka v Rablju. Kraljevina Italija je med obema vojnama izdala geološko karto lista Tolmin 1 : 100.000, ki pokriva južni del bovške občine.

V šestdesetih in sedemdesetih letih prejšnjega stoletja so potekale obsežne geološke raziskave za elektrarno Trnovo, katere akumulacijsko jezero bi segalo do Bovca. Izdelali so geološko karto soške doline med Bovcem in Kobaridom, v dnu doline so zvrtili tudi nekaj vrtni do globine več sto metrov.

Država SFRJ je v sedemdesetih in osemdesetih letih financirala in izdala moderno geološko karto celotnega državnega ozemlja, ki je znana pod imenom Osnovna geološka karta SFRJ, skrajšano OGK SFRJ, v merilu 1 : 100.000. Državni projekt je tekel ob znatni podpori JLA, saj je geološka karta eden bistvenih delov vojaškega načrtovanja. Uporabljali smo jo tudi v civilne namene. Karta ni bila odprtega tipa in je nosila oznako zaupno. Za izdelavo OGK SFRJ so ekipe geologov kartirale državno ozemlje v merilu 1 : 25.000, nato pa napravile sintezo teh kart v merilu 1 : 100.000.

Za natančnejši prikaz geoloških razmer je merilo OGK SFRJ pregrubo, saj so izpuščene mnoge podrobnosti, ki utegnejo biti zelo pomembne, kadar presojava neko območje s stališča geološko pogojene ogroženosti. Pri izdelavi naše karte smo zato uporabili rokopisne geološke karte v merilu 1 : 25.000.

Največji del bovške občine pokriva list OGK SFRJ L 33-52 Beljak in Ponteča, ki so ga izdali leta 1987. Avtor karte in tolmača je B. Jurkovšek. Južno obrobje občine pokriva list L 33-64 Tolmin in Videm iz leta 1987. Avtor karte in tolmača je S. Buser. V obeh tolmačih je pregled vseh geoloških raziskav z območja listov.

Geološke formacije, ki gradijo ozemlje občine Bovec

Kamnine Julijskih Alp so nastajale večinoma v morjih srednjega zemeljskega veka mezozoika. Vsaka plast, ki je nastala v morju ob nekem posebnem dogodku, kot je nevihta ali podvodni plaz, ali v daljšem sedimentacijskem procesu, je list v knjigi zemeljske zgodovine. V sedimentu, iz katerega so nastale plasti, so bili tudi ostanki tedanjih živali: lupine školjk in polžev, hišice drobnih praživali in podobno. Po teh ostankih lahko ugotovimo starost plasti, saj so v vsakem obdobju živele značilne živalske združbe. Debelejše zaporedje podobnih plasti, ki je na nekem prostoru nastajalo v enakih pogojih in v istem času, imenujemo formacija. Nekatere formacije so debele tudi več kot 1000 metrov. Po kamninski sestavi se posamezne formacije med seboj zelo razlikujejo.

Ker različne kamnine različno preperevajo, je lahko preperina na takih formacijah stabilna ali plazljiva in tako za gradnjo primerna ali manj primerna. Zaradi različne kamninske sestave lahko v nekaterih formacijah pride do drsenja večjih kamninskih gmot po mejah različnih plasti.

Na geološki karti smo vsako formacijo označili s svojo barvo, črkovno oznako in oznako starosti. Trudili smo se, da formacije, na katerih se pogosto razvijejo nevarni naravni pojavi, označimo z vpadljivo barvo. Črkovna oznaka je sestavljena iz začetnic kamnin, ki nastopajo v formaciji. Oznaka starosti je podana v oklepaju za črkovno oznako. Črkovne in starostne oznake nevarnih formacij smo označili poudarjeno.

Na območju bovške občine se, začenši z najstarejšimi, pojavljajo naslednje formacije:

- skladnati dolomit in apnenec /da ($T_2^{1,2}$)/ – večinoma je stabilen;
- apnenec z rožencem, lapornati apnenec, apneni peščenjak, lapor, skrilavec in tuf **alkst** /(T_2^2)/ – če plasti vpadajo vzporedno s pobočjem, lahko pride do zdrsov večjih kamninskih gmot vzdolž plasti; preperina teh plasti je zaglinjena in običajno plazi;
- skladnati in masivni apnenec /sma (T_3)/;
- masivni in skladnati apnenec /msa (T_3^1)/;
- masivni in skladnati dolomit in apnenec /msda (T_3^1)/ – zadnje tri formacije so v splošnem stabilne, lahko pa pride do skalnih podorov, kadar so plasti in razpoke v primerni legi;
- apnenec, apnenec z rožencem, dolomit, kalkarenit, lapor in meljevec /**adklm** ($_{2,3}T_3^1$)/ – če plasti vpadajo vzporedno s pobočjem, lahko pride do zdrsa po plasteh; preperina teh plasti je zaglinjena in plazi;
- apnenec, lapor, dolomit in dolomit z rožencem /**ald** ($_{2,3}T_3^1$)/ – **rabeljska skupina** – če plasti te formacije vpadajo vzporedno s pobočjem, lahko pride po plastovitosti do zdrsov večjih mas. Preperina je zaglinjena in plazi. Na tej formaciji se je razvil plaz Stože, ki se je prelevil v drobirski tok in povzročil katastrofo v Logu pod Mangartom. Podobne razmere najdemo na sosednjem območju Ilovca. Tudi na ozemlju kranjskogorske občine je del teh plasti splazel v Planico in Pišnico. Plasti rabeljske skupine so se izkazale kot zelo nevarni vir podorov, plazov in iz njih izvira rušilnih blatnih tokov. Nevarne so tudi majhne krpe teh kamnin, kadar leže na strmih pobočjih;
- skladnati glavni dolomit /sgd ($T_3^{1,2}$)/;
- skladnati dolomit /sd (T_3^{2+3})/;
- grebenski apnenec s koralami /ga ($T_3^{2,3}$)/;
- skladnati dachsteinski apnenec s plastmi dolomita /das (T_3^{2+3})/;
- skladnati mikritni in oolitni apnenec /sma (J_1)/;
- mikritni in krinoidni apnenec in apnenčeva breča /aab (J)/ – kamnine zadnjih šestih formacij so v splošnem stabilne, kadar pa so plasti in razpoke pod določenim nagibom, lahko pride do podorov;
- mikritni, krinoidni in lapornati apnenec, roženec, radiolarit in manganov skrilavec /**ars** (J)/ – kadar vpadajo plasti vzporedno s pobočjem, lahko pride do medplastovnega zdrsa; preperina je zaglinjena in rada plazi;
- plastnati in ploščasti mikritni apnenec, krinoidni apnenec in roženec /maka ($J_{2,3}$)/;
- ploščasti in plastnati mikritni in krinoidni apnenec z rožencem /ppka (J_3)/ – obe formaciji sta v splošnem stabilni, lahko pride do medplastovnih zdrsov;
- ploščasti mikritni apnenec z rožencem, kalkarenit in lapor /**akl** (J, K)/ – pri vpadu vzporedno s pobočjem lahko

- pride do medplastovnih zdrsov; preperina je zaglinjena in plazljiva;
- breča /br (J, K)/ – v glavnem je stabilna;
- apnenec, kalkarenit, lapor, skrilavec, peščenjak, roženec /alsp (K_1)/;
- rdečkasti ploščasti apnenec, lapor, pole in gomolji roženca /pal (K_2^{1+2})/;
- mikritni apnenec z redkimi lečami roženca, laporni apnenec in lapor /al ($K_2^{2,3}$)/ – v vseh treh formacijah obstaja nevarnost medplastovnih zdrsov, preperina je zaglinjena in plazi;
- debelozrnata apnenčeva breča, vložki laporja /dab (K_2^3)/ – nevarnost zdrsov po vložkih laporja;
- peščenjak, lapor, glinovec, konglomerat /plgk (K_2^3)/ – flišne plasti; nevarnost medplastovnih zdrsov; prepereva v debelo, zaglinjeno preperino, ki zelo rada plazi;
- sprijeta fluvio-glacialni sedimenti /sfg/ – v splošnem stabilni, nastopajo vzdolž robov sedanjih rečnih dolin;

- nesprijeta fluvio-glacialni sedimenti /fg/ – v glavnem stabilni, nastopajo v sedanjih rečnih dolinah;
- starejša sprijeta morena z večjimi in manjšimi bloki karbonatnih kamnin /sgl/;
- nesprijeta morena /gl/ – kadar leži na neprepustnih lapornih plasteh, lahko plazi po neprepustni podlagi;
- jezerska kreda /jk/ – lahko predstavlja podlago, po kateri drsijo na njej ležeče morene, grušč ali prod;
- rečni prod /pr/ pokriva dno sedanjih dolin in ni plazljiv.

Tektonika ozemlja

Zemeljska skorja je sestavljena iz kontinentalnih plošč, ki zelo počasi plavajo po raztaljenem plašču. Kjer dve plošči trčita skupaj, se dvigne gorovje – v našem primeru Alpe. Pri tem skorja razpoka, se guba, prelamlja in nariva. Vejo geologije, ki preučuje ta dogajanja, imenujemo tektonika.



	sprijeta prod		fliš plgk (K_2^3)		zemeljski plaz		narivni rob
	pobočni grušč		mikritni in oolitni apnenec smao (J_1)		aktivni podor		prelom
	morena		skladnati apnenec das (T_{2+3})		potencialni podor		vpadi plasti vzporeden pobočju

Slika 2. Izsek iz Karte geološko pogojene ogroženosti občine Bovec (merilo 1 : 25.000)

Figure 2. Section of the Geo-Hazard Map of the Municipality of Bovec (scale 1 : 25 000)

Celotno slovensko ozemlje leži na meji dveh kontinentalnih plošč in je tektonsko zelo poškodovano. Ker se ozemlje še vedno deformira, se včasih napetosti ob prelomih nenadoma sprostijo in pride do potresa.

Bovško občino seka nekaj pomembnejših prelomov: Koritniški, Mojstrovški, Trentarski, Vratni, Idrijski in številni manjši. Na južni meji občine imamo narivni stik med tektonskima enotama Julijskih Alp in Notranjih Dinaridov.

Tektonika precej vpliva na stopnjo ogroženosti. Razpoke in prelomi so kompaktno apnenčevo kamnino razkosali v bloke. Včasih so gorotvorne sile te bloke postavile v labilen položaj. Tako nastanejo skalni podori. Podori se pogosto pojavljajo ob narivnih robovih, kjer trde kamnine ležijo na mehkih.

Kadar prelomi prečkajo bolj zaglinjene kamnine, se lahko v pregnetenih conah pojavijo globlji zemeljski plazovi.

Plazovita in podorna območja, ki smo jih prikazali na Karti geološko pogojene ogroženosti občine Bovec

Območja zemeljskih plazov so praviloma povezana s formacijami, v katerih se pojavlja več laporja in glinovca. Te preperevajo v debelo zaglinjeno preperino, ki posebno ob obilnih padavinah rada splazi. Plazijo pa tudi melišča in ledeniške groblje, ki so na teh kamninah odložene.

Takšne razmere se pojavljajo na južnem pobočju Rombona, v Loški Koritnici, v Mangartskem potoku, dolini Učje, dolini Slatnika, na severnem pobočju Kobariškega Stola, v Vrsniku in na prelazu Vršič.

Območja, kjer lahko zemeljski plazovi preidejo v blatne tokove so: strma pobočja dolin Učje, Mangartskega potoka, Loške Koritnice in Slatnika. Takšne razmere lahko nastanejo, ko plazovi zaglinjene preperine, melišč ali ledeniških grobelj, ki polze po neprepustni preperini, zaprejo pot gorskim hudournikom. Ti prepojijo plazovino z vodo in jo spremenijo v blatni tok, ki z veliko hitrostjo zdrvi po hudourniški strugi v dolino. Takšen tok je izredno nevaren, saj ima veliko hitrost in rušilno moč.

Skalni podori lahko nastanejo na več načinov:

- v plastovitih karbonatnih kamninah, kjer plasti leže vzporedno s pobočjem, prihaja do zdrsov kamnine po plastovitosti, npr. na Bavškem Grintavcu, Javorščku, Črnem vrhu in drugod;
- v strmih skalnih stenah izpadajo s prelomi ali razpokami omejeni bloki kamnine, npr. na nekaterih mestih med velikonočnim potresom leta 1998 v Lepeni;
- večji skalni podori se pojavljajo na območju narivnih robov, kjer je trda kamnina narinjena na mehkejšo, npr. ob južnem obrobju Rombona;
- do velikih skalnih podorov lahko pride vzdolž aktivnih prelomov, npr. na južnem pobočju Polovnika vzdolž Idrijskega preloma. Tam je podor še v predzgodovinskem obdobju zajezil Sočo in nastalo je globoko jezero.

Sklepne misli

Da bi se pri različnih posegih v največji možni meri izognili območjem zemeljskih plazov, blatnih tokov in skalnih podorov, bi morala karta geološko pogojene ogroženosti v merilu 1 : 25.000 postati osnova prostorskega planiranja vsake občine. Takšno karto smo na podlagi rokopisnih originalov izdelali za občino Bovec. Na njej smo vpadljivo označili naslednja območja:

- formacije, ki preperevajo v plazljivo preperino in v katerih lahko prihaja do medplastovnih zdrsov,
- mesta, kjer lahko zemeljski plazovi zajezijo hudourniške grape in se lahko razvije rušilni blatni tok,
- mesta, kjer nagib plasti in prelomov predstavlja nevarnost za nastanek večjih skalnih podorov,
- območja starih plazov, blatnih tokov in podorov.

Rokopisne geološke karte v merilu 1 : 25.000, ki so bile osnova za izdelavo OGK SFRJ, lahko nadgradimo v karte geološko pogojene ogroženosti istega merila. Takšne karte služijo za presojo geoloških razmer pri načrtovanih prostorskih posegih. Tako lahko pravočasno opozorimo na posege, ki ne upoštevajo geološko pogojene ogroženosti.

Za nevarna območja večjih naselij je smiselno izdelati natančnejše geološke karte v merilu 1 : 5.000 ali 1 : 10.000 po bolj izpopolnjenih standardih.

Literatura

1. Buser, S., 1987. OGK SFRJ. Tolmin in Videm L 33-64 (1 : 100.000). Zvezni geološki zavod, Beograd.
2. Buser, S., 1986. OGK SFRJ. Tolmač listov Tolmin in Videm (Udine) L 33-64 L 33-63. Zvezni geološki zavod, Beograd.
3. Buser, S., Cajhen, J., Rokopisne karte za OGK – list Tolmin, listi TK 1 : 25.000 (kvadratni sistem): Breginj, Polovnik, Krn, Slap Savice. Arhiv Geološkega zavoda Slovenije, Ljubljana.
4. Jurkovšek, B., 1987. OGK SFRJ. Beljak in Ponteba L 33-52 (1 : 100.000), Zvezni geološki zavod, Beograd.
5. Jurkovšek, B., 1987a. OGK SFRJ. Tolmač listov Beljak in Ponteba L 33-51 L 33-52. Zvezni geološki zavod, Beograd.
6. Jurkovšek, B., Rokopisne karte za OGK – list Beljak in Ponteba, listi TK 1 : 25.000 (pravokotni sistem): Predel, Rateče, Kranjska Gora, Kanin, Bovec, Soča, Slap Savice. Arhiv Geološkega zavoda Slovenije, Ljubljana.

GRAVITACIJSKI ZDRSI OB SPODNJI SAVINJI

Gravity Slides in the Lower Savinja River Area

Ladislav Placer*

UDK 551.31(497.4 Savinja)

Povzetek

Ob spodnji Savinji poznamo med Rimskimi Toplicami in Zidanim Mostom tri večje gravitacijske pojave: dva fosilna podora, Cintaverjevega v Senožetih in Sorčanovega v Velikem Širju, ter recentni drobirski tok v Zidanem Mostu, ki se je sprožil leta 1877. Sorčanov podor in drobirski tok v Zidanem Mostu sta imela katastrofične posledice, saj sta začasno zajezila Savinjo. Pri slednjem so bile tudi človeške žrtve.

Abstract

In the lower course of the Savinja River, three large gravity slides occurred between Rimske Toplice and Zidani Most: two rockfalls – the Cintaver and the Sorčan at Veliko Širje, and the recent debris flow at Zidani Most, which was triggered in 1877. The Sorčan rockfall and the debris fall at Zidani Most had catastrophic consequences, as they temporarily dammed the Savinja River. The latter caused human casualties as well.

Uvod

Gravitacijski zdrsi so zanimivi za oživiljeno zavest o ogroženosti po katastrofi v Logu pod Mangartom. Za razumevanje teh pojavov je treba poznati medsebojne vplive geološke zgradbe in erozijskih procesov. Nekaj teh pojavov najdemo ob spodnjem toku Savinje med Rimskimi Toplicami in Zidanim Mostom (slika 1). Podatki so bili zbrani pri regionalnem geološkem kartiranju (Buser, 1978), pri detajlnem pregledu ozemlja v merilu 1 : 5000 in iz objave o plazu v Zidanem Mostu (Wolf, 1877).

Savinja teče od Celja do Zidanega Mosta prečno na Posavske gube, ki tektonsko še niso umirjene in se še vedno oblikujejo. V splošnem se njihov osrednji in južni del dvigata, kar se kaže v profilu dolin, ki imajo ponekod ob spodnjem toku Savinje in ob pretežnem delu Save med Ljubljansko in Krško kotlino obliko črke V. Dvigovanje ozemlja ni splošno niti enakomerno, obdobja stagnacije ali celo ugrezanja posameznih predelov se odražajo v aluvialnih zasipih. V celoti prevladujejo strma pobočja, ki so zaradi litološkega stolpca Posavskih gub nestabilna. Na razmeroma mehkih karbonskopermških in srednjepermških klastitih v podlagi leži skladovnica plastnatih karbonatnih zgornjepermških in spodnjetriasnih kamnin, planotast svet med dolinami, npr. Veliko Kozje, Velovnik in Kopitnik, pa grade masivni do grobo plastnati srednjetriasni in zgornjetriasni karbonati. Med Rimskimi Toplicami in Zidanim Mostom izdajajo karbonskopermški in srednjepermški klastiti v glavnem ob Savinji in segajo v pobočja različno visoko: na desnem bregu do prevala med Kopitnikom in Stražnikom, na levem bregu pa do Šmita nad naseljem Gračnica. Za Posavske gube običajno litološko zaporedje ustvarja razmeroma ugodne razmere za naravne katastrofe, povezane s hitrejšim razpadanjem karbonskopermških klastitov v dnu dolin. To povzroča neravnovesje in gravitacijske zdrse karbonatov z vrha pobočij. V tem sestavku so opisani trije kvartarni katastrofični dogodki: domnevno pleistocenski podor, holocenski podor in recentni tok drobirja. Mišljena sta podora na desnem bregu Savinje pod

Grmado v Velikem Širju (Sorčanov podor) in v Senožetih (Cintaverjev podor), ter drobirski tok na levem bregu Savinje v Zidanem Mostu, ki se je zgodil leta 1877. Na obravnavanem prostoru je podobnih starejših in mlajših pojavov še nekaj, vendar niso preučeni.

Gravitacijski zdrsi

O starosti obeh podorov ni znanega nič določenega, saj bi se bilo treba temu vprašanju posebej posvetiti. Izgleda pa, da je Sorčanov podor pod Grmado starejši, saj leži podorni material vrh grebena, kar je nenavadno, kaže pa na bistveno drugačno morfologijo ozemlja ob nastanku od današnje. Zgrajen je iz blokov anizičnega dolomita, ki so zdrseli z Grmade in prekrivajo danes ves široki greben do regionalne ceste Celje–Zidani Most in čez. Največji navaljeni bloki v podornem materialu dosežejo do 20 m premera, zdrseli so po srednjepermških klastitih in glede na obseg verjetno zaprli pot Savinji, ki si je v tem primeru morala izdolbsti strugo bolj proti vzhodu. Verjetno je prišlo tudi dočasne ojezeritve. Podorni material je danes sicer umirjen, vendar je odkopavanje v kamnolomu za Sorčanovo domačijo, ki je sicer že dolgo opuščen, porušilo občutljivo ravnovesje. Zaradi erozije materiala med bloki danes ti ogrožajo samo domačijo in morda tudi regionalno cesto Celje–Zidani Most. Pred letom se je na vrt sosednje hiše ob omenjeni domačiji zrušila okoli 2 m³ velika skala.

Pri Cintaverjevem podoru so bloki neplastnatega cordevolskega dolomita s severovzhodnega pobočja Stražnika zdrseli po pobočju iz karbonskopermških klastitov in po oligocenski morski glini – sivici. Danes je podor umirjen in tvori izrazito in lepo vidno podorno peto iz blokov, katerih premer znaša do 10 m. Vendar podorni material ni dosegel Savinje.

Gruščnati tok v Zidanem Mostu januarja 1877 je opisal Wolf (1877), Ilustrirani Slovenec pa je v dvajsetih letih

* dr., Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, Ljubljana, ladislav.placer@geo-zs.si



Slika 1. Večji gravitacijski zdrs ob spodnji Savinji

Figure 1. Large gravity slides along the lower Savinja River

objavil krajši ilustrirani zapis. Tedaj je zasulo 5 hiš, skupaj z njimi 14 ljudi. Zdrseli material je zajezil Savinjo, da se je ustvarilo začasno jezero. Tako kot nevarnost, ki jo danes povzročajo padajoči bloki pri Sorčanu, je tudi gruščnati tok v Zidanem Mostu verjetno posledica posegov človeka v naravno ravnovesje. Nastal je zaradi spodkopavanja pri izdelavi Južne železnice. Tu leži laški apnenec diskordantno na triasnem dolomitu, diskordanca pa je vzporedna pobočju. Bazalna tvorba laškega apnenca je tukaj iz klastitov, ki hitro preperevajo in ob primerni namočenosti spremenijo fizikalne lastnosti. Wolf poroča o zdrselem laporju, premogu, pesku in peščenjaku ter glini, ki naj bi pripadali horizontu med laškim apnencem in soteškimi plastmi. Po vsej verjetnosti gre za govške plasti s premogom. Govške plasti med triasnim

dolomitom in laškim apnencem nastopajo le ponekod v morfoloških kotanjah v triasni podlagi. Zaradi pomanjkanja natančnejših podatkov je mogoče le sklepati, da je zdrsel del govških plasti, prekrit z dolomitnim in apnenim gruščem. Tako kot pri Sorčanu je tudi tukaj od posega do reakcije preteklo daljše časovno obdobje. Sprožitev so po vsej verjetnosti povzročili drugačen režim pretakanja talne vode in predvsem hitrejša denudacija.

Cintaverjev podor je bil odkrit že pri regionalnem kartiranju, pa tudi starejši raziskovalci so ga gotovo poznali. Sorčanov podor smo odkrili pri sedanjem kartiranju v merilu 1 : 5000, medtem ko je bil gruščnati tok v Zidanem Mostu opisan v strokovni literaturi.

Sklepne misli

Če vse tri primere osvetlimo s stališča zavarovanja pred podobnimi katastrofičnimi dogodki, je mogoče naslednje:

1. Morfologija površja po katastrofalnem dogodku je značilna. Relativno mlade pojave je mogoče opaziti že pri začetnem ogledu terena, pri študiju topografskih specialk in na podlagi daljinske detekcije (Cintaverjev podor in drobni tok v Zidanem Mostu). Starejših, že degradiranih pojavov pa ni lahko odkriti (Sorčanov podor). Potrebno je detajlno geološko kartiranje in raziskovalska intuicija, ki ni sopotnica rutinskega pristopa.
2. Morebitno napovedovanje in opozarjanje na obstoječo nevarnost zahteva detajlno poznavanje litofacialnega razvoja, strukturotektonskih razmer in mehanizma gravitacijskih premikov. Poznati je treba tudi starejše gravitacijske pojave in odkriti geometrijo njihovega pojavljanja na obravnavanem ozemlju. S temi znanji bi se morda lahko dalo izogniti katastrofi v Zidanem Mostu.
3. Časovni zamik med človeškim posegom z zemeljskimi deli in sprožitvijo premika je pogost pojav.
4. Izdelovanje inženirskogeoloških kart paleo in recentnih gravitacijskih premikov ter potencialno nevarnih območij ni rutinsko delo. Opravljeno mora biti vzporedno z geološkim kartiranjem ozemlja, saj je izločanje teh pojavov in določanje njihovega obsega sestavni del metodologije izdelave geološke karte. Daljinska detekcija da le statistično sliko o teh dogodkih, starejših, že degradiranih pa ne more zaznati. Program izdelave osnovne geološke karte druge generacije v merilu 1 : 50.000 bi moral vključevati ta vidik raziskovanja bolj poglobljeno. Formalna plat rekognosciranja je bila opravljena že pri izdelavi osnovne geološke karte v merilu 1 : 100.000.

Literatura

1. Buser, S., 1978. Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Celje. Zvezni geološki zavod, Beograd.
2. Skaberne, D., 2001. Predlog slovenskega izrazoslovja pobočnih premikanj – pobočnega transporta. *Geologija* 44/1, 89–100, Ljubljana.
3. Wolf, H., 1877. Der Bergsturz von Steinbrück. *Verh. Geol. R.A.* 3, 51–52, Wien.

SPREMENLJIVOST PADAVIN, TEMPERATURE ZRAKA IN SONČNEGA SEVANJA V PREKMURJU

Variations in Precipitation, Air Temperature and Sunshine Duration in Prekmurje

Mateja Nadbath*

UDK 551.582(497.4 Prekmurje)

Povzetek

Po napovedih svetovnih klimatologov se bo zaradi klimatskih sprememb v prihodnjih desetletjih tudi v zmernem pasu količina padavin zmanjševala, temperatura zraka pa se bo višala, kar bo zelo verjetno povzročilo pogostejše in intenzivnejše kmetijske suše.

V zadnjih 11 letih so bila v Prekmurju 4 izrazito sušna poletja, in sicer 1992, 1993, 2000 in 2001. V vseh omenjenih letih je bilo v Murski Soboti izmerjenih manj padavin kot običajno, temperatura zraka in trajanje sončnega obsevanja pa sta bili nad dolgoletnimi povprečnimi vrednostmi. Povprečna letna temperatura zraka je že od leta 1988, z izjemo enega leta, vsako leto nad dolgoletno povprečno vrednostjo, trajanje sončnega obsevanja pa je že od leta 1985 vsako leto nad referenčno vrednostjo.

Abstract

Prekmurje is an agrarian region in the northeastern part of Slovenia, and also the region with the lowest precipitation in Slovenia. In the past eleven years, Prekmurje experienced four extremely dry summers – in 1992, 1993, 2000 and 2001. In all these years, Murska Sobota (reference meteorological station for Prekmurje) got less precipitation than in the reference period, while the mean air temperature and sunshine duration were above the reference mean values.

With the exception of one year, the average yearly air temperature in Murska Sobota was above the 1988 reference value. From 1985 onward, Prekmurje got more hours of sunshine than usual. Precipitation remained constant in the 1950–2001 period, while average air temperature and sunshine duration showed increasing linear trends in the same period.

Uvod

Meteorološke meritve in opazovanja v Prekmurju trenutno opravljajo na desetih postajah: v Martinju, Mačkovcih, Cankovi, Ivanovcih, Vučji Gomili, Kobilju, Srednji Bistrici, Velikih Dolencih, Lendavi in Murski Soboti. V prvih sedmih krajih so padavinske meteorološke postaje, na katerih merijo višino in opazujejo obliko padavin ter nekatere meteorološke pojave. Postaji Veliki Dolenci in Lendava sta klimatološki meteorološki postaji, na katerih spremljajo večino meteoroloških parametrov trikrat dnevno, postaja Murska Sobota pa je glavna ali sinoptična meteorološka postaja, na kateri merijo in opazujejo vse meteorološke spremenljivke vsako uro.

Zaradi najdaljšega niza meritev, začele so se že 1885, in reprezentativne lege smo za predstavitev podnebnih značilnosti Prekmurja povzeli podatke s postaje Murska Sobota, in sicer za obdobje 1950–2001, ko so podatki za to postajo že digitalizirani.

Predstavili smo meteorološke spremenljivke, ki odločilno vplivajo na pojavljanje in intenzivnost suše: višino padavin, povprečno temperaturo zraka in trajanje sončnega sevanja. Za celotno obdobje delovanja postaje smo izračunali linearni trend in odklon od dolgoletne povprečne vrednosti po letnih časih in v letu.

Podnebne razmere smo predstavili po meteoroloških letnih časih, kar pomeni, da so pomladanski meseci marec, april in maj; junij, julij in avgust so meseci meteorološkega poletja; v meteorološko jesen uvrščamo september, oktober in november; december, januar in februar so meseci meteorološke zime. Referenčna povprečja za zimo so računana v obdobju 1961/62–1990/91, v zadnjem desetletju pa v obdobju 1991/1992–2000/2001 (december 1991 in januar ter februar 1992). Referenčno obdobje je obdobje tridesetih let, kot ga Svetovna meteorološka organizacija predpisuje za izračun povprečnih vrednosti meteoroloških spremenljivk. Zadnje referenčno obdobje je obdobje 1961–1990; povprečne vrednosti meteoroloških spremenljivk iz tega obdobja imenujemo referenčno povprečje ali dolgoletno povprečje. Vrednosti trajanja sončnega obsevanja niso preračunane na matematični horizont.

Padavine

V zadnjih 52-ih letih je linearni trend letne višine padavin konstanten. Jeseni je trend višine padavin pozitiven, v zimskih in poletnih mesecih pa je linearni trend negativen.

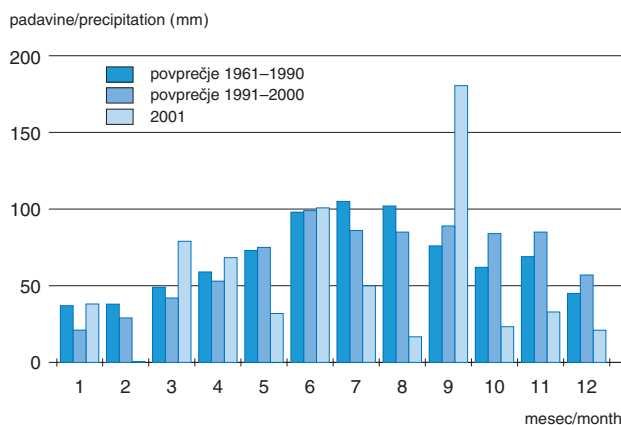
V Murski Soboti v dolgoletnem povprečju letno pade 815 mm padavin. Največ jih pade v poletnih mesecih v obliki

* Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija RS za okolje, Vojkova 1 b, Ljubljana, mateja.nadbath@rzs-hm.si

ploh in neviht, v referenčnem povprečju 305 mm. Najbolj sušna je zima, v dolgoletnem povprečju pade v zimskih mesecih le 121 mm padavin. Med letom pade v dolgoletnem povprečju največ padavin julija (105 mm), najbolj suha meseca sta januar in februar; povprečno pade v prvem mesecu leta 37 mm, v drugem pa 38 mm (slika 1 in preglednica 1).

V obdobju 1950–2001 je največ padavin padlo leta 1965, in sicer 1064 mm, najmanj, 563 mm, pa leta 1971 (slika 2). Linearni trend letnih padavin v obdobju 1950–2001 je konstanten, enako je tudi v pomladnih mesecih. Trend višine padavin narašča v jesenskih mesecih, pada pa v poletnih in zimskih mesecih.

Ob pregledu padavin po desetletjih je bila največja povprečna letna višina padavin 833 mm v obdobju 1961–1970, najnižja pa v desetletju 1951–1960, 775 mm. V zadnjih treh desetletjih 1971–1980, 1981–1990, 1991–2000 je bila povprečna



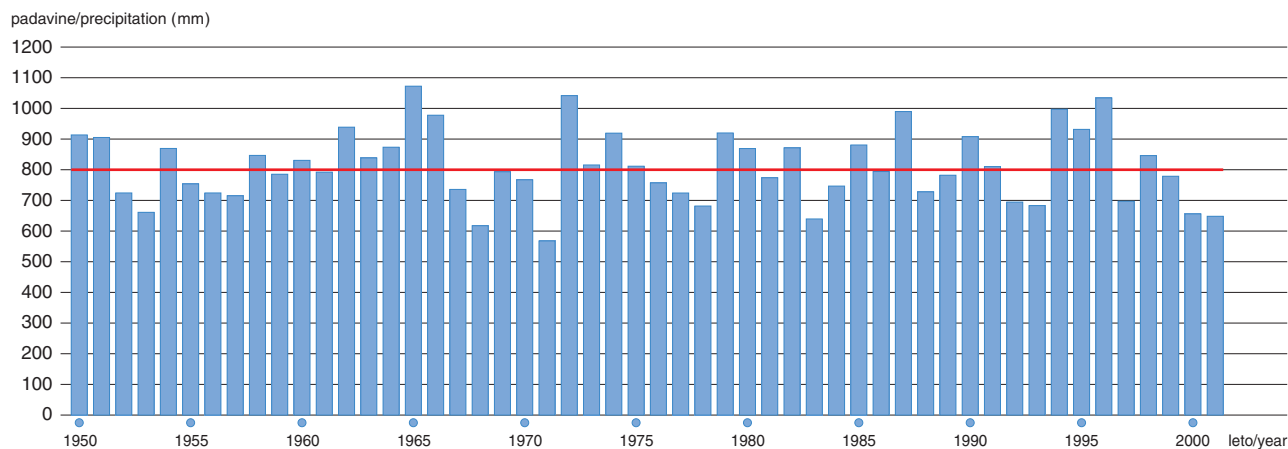
Slika 1. Povprečna mesečna višina padavin v obdobju 1961–1990, v desetletju 1991–2000 in višina padavin leta 2001 v Murski Soboti

Figure 1. Mean monthly precipitation in the 1961–1990 reference period and in the 1991–2000 period, and precipitation in 2001 in Murska Sobota

Preglednica 1. Povprečna mesečna in letna višina padavin ter povprečna višina padavin po letnih časih (povp.) ter standardna deviacija (std.) v obdobjih 1961–1990 in 1991–2000 in padavine leta 2001 v Murski Soboti
Table 1. Mean monthly, seasonal and annual precipitation and standard deviation (std.) in the 1961–1990 and 1991–2000 period and precipitation in 2001 in Murska Sobota

	1961–1990		1991–2000		2001	
	povp./ mean	std.	povp./ mean	povp./ mean	std.	povp./ mean
jan./Jan.	37	23	21	38		
febr./Feb.	38	24	29	0,5		
mar./Mar.	49	19	42	79		
apr./Apr.	59	31	53	68		
maj/May	73	33	75	32		
jun./Jun.	98	36	99	101		
jul./Jul.	105	54	86	50		
avg./Aug.	102	49	85	17		
sept./Sept.	76	40	89	181		
okt./Oct.	62	52	84	23		
nov./Nov.	69	46	85	33		
dec./Dec.	45	26	57	21		
leto/Year	814	119	806	643		
pomlad/spring	181	59	170	179		
poletje/summer	305	74	270	167		
jesen/autumn	208	68	259	237		
zima/winter	121	47	107	113*		

* podatki za zimo 2000/2001
data for winter 2000/2001



Slika 2. Letna višina padavin v obdobju 1950–2001 in referenčno povprečje (rdeča črta) v Murski Soboti

Figure 2. Yearly precipitation in the 1950–2001 period and reference mean value (red line) in Murska Sobota

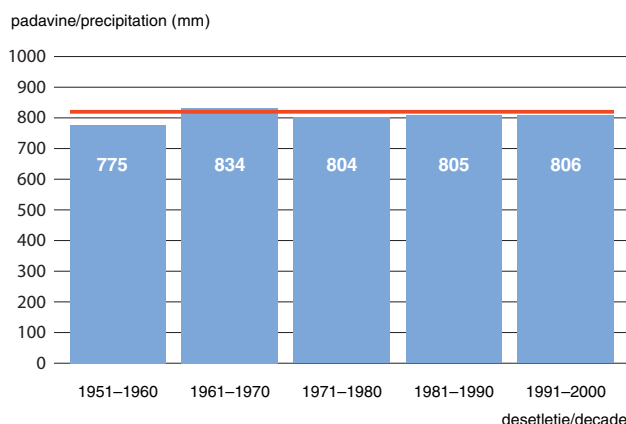
letna višina padavin med 804 in 806 mm (slika 3), kar je pod dolgoletno povprečno vrednostjo, ki je 815 mm, vendar je ta odklon v mejah običajne variabilnosti.

Najvišja povprečna desetletna višina padavin v pomladnih mesecih je bila 192 mm v desetletju 1961–1970, najnižja pa 169 mm v desetletjih 1961–1960 in 1971–1980; le 1 mm višja je bila povprečna desetletna višina padavin pomladi v desetletju 1991–2000. Najnižja povprečna vrednost poletnih mesecev je bila v desetletju 1991–2000, 270 mm, najvišja pa v obdobju 1971–1980, 317 mm. Tudi pozimi je bila desetletna povprečna višina padavin najnižja v zadnjem desetletju, 107 mm; najvišja, 130 mm, pa je bila le desetletje pred tem 1981–1990. Spomladi, poleti in pozimi je bila desetletna povprečna višina padavin v 1991–2000 pod dolgoletno povprečno vrednostjo, nad njo je bilo le desetletno povprečje za jesenske mesece. Linearni trend desetletne povprečne vrednosti za jesen je pozitiven: največ padavin je padlo v zadnjem desetletju, 259 mm, najmanj, 192 mm, pa v obdobju 1951–1960.

Opazna je razlika v deležu padavin po posameznih letnih časih. V referenčnem obdobju je 37 % letnih padavin padlo poleti, jeseni 26 %, spomladi 22 % in pozimi 15 %. V zadnjem desetletju je poleti padlo 33 % povprečne letne višine padavin, jeseni 32 %, spomladi 21 % in pozimi 13 %.

V desetletju 1991–2000 je padlo povprečno 806 mm padavin, 9 mm manj kot v dolgoletnem povprečju. Od desetih let so bila štiri, ko je bila letna višina padavin nad povprečjem referenčnega obdobja: 1994, 1995, 1996 in 1998; leta 1996 je padlo 1026 mm, kar je v celotnem nizu 1950–2001 tretja najvišja letna vrednost, ki od referenčnega povprečja odstopa za 1,7 standardnega odklona. V preostalih šestih letih je bila višina padavin podpovprečna, leta 2000 je padlo 650 mm padavin, kar od referenčne vrednosti odstopa za 1,3 standardnega odklona.

Mesečni vrh padavin v obdobju 1991–2000 je bil junija s povprečno višino 99 mm, medtem ko je bil v referenčnem



Slika 3. Povprečna letna višina padavin po desetletjih in referenčno povprečje (rdeča črta) v Murski Soboti

Figure 3. Mean yearly precipitation per decade and reference mean value (red line) in Murska Sobota

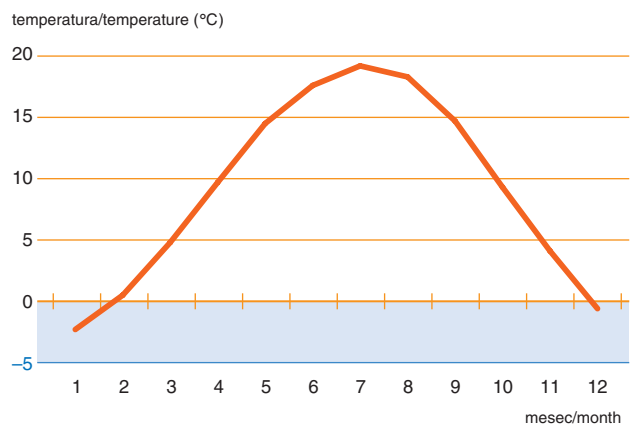
obdobju mesec z največ padavinami julij s 105 mm. Juniju, najbolj mokremu mesecu v obdobju 1991–2000, sledita september (89 mm) in julij (86 mm), v avgustu in novembru je padlo 85 mm, le 1 mm manj padavin (84 mm) pa je padlo oktobra. V referenčnem obdobju sledita najbolj mokremu mesecu juliju avgust (102 mm) in junij (98 mm). Tako kot v referenčnem obdobju je v zadnjem desetletju padlo najmanj padavin januarja (21 mm) in februarja (29 mm).

Leta 2001 je padlo 643 mm padavin, kar je četrta najnižja vrednost v celotnem nizu, to je 79 % dolgoletne višine padavin. Januarja, marca, aprila, junija in septembra je padlo več padavin, kot je dolgoletno povprečje za omenjene mesece (slika 1). Največji presežek padavin je bil v septembru, ko je padlo kar 238 % dolgoletnih padavin, kar predstavlja odstopanje za 2,6 standardnega odklona od povprečja za ta mesec. Januarja 2001 je padlo 1 mm več padavin kot v referenčnem obdobju za ta mesec. V sedmih mesecih leta 2001, v februarju, maju, juliju, avgustu, oktobru, novembru in decembru, je padlo manj padavin kot v referenčnem povprečju za omenjene mesece. Najbolj sušen je bil februar z 0,5 mm padavin, to pomeni, da je padlo le 1,3 % dolgoletnega povprečja za ta mesec in je od referenčnega povprečja odstopalo za 1,6 standardnega odklona. V avgustu 2001 so namerili 17 mm padavin, torej je padlo le 16,7 % dolgoletnih padavin za avgust.

Temperatura zraka

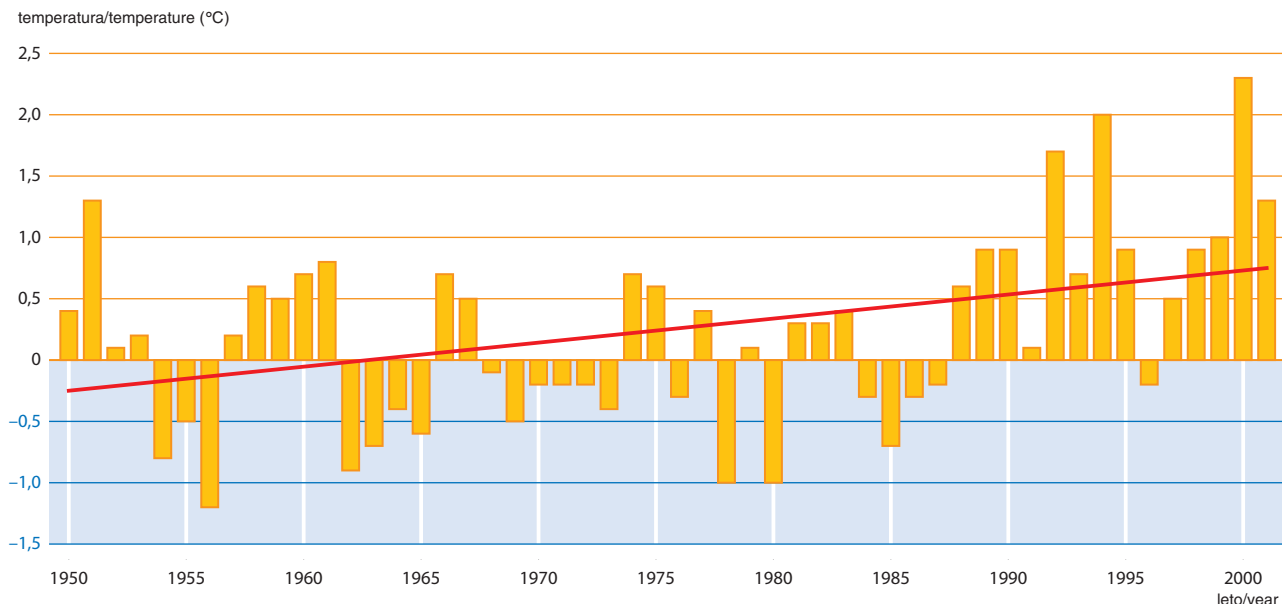
Temperatura zraka v Prekmurju se zvišuje. Linearni trend je v vseh letnih časih pozitiven. Od leta 1988 do 2001 je bila povprečna letna temperatura zraka le enkrat pod referenčnim povprečjem.

Na postaji Murska Sobota je dolgoletna povprečna letna temperatura zraka 9,2 °C. V dolgoletnem povprečju je najtoplejši mesec julij s povprečno temperaturo zraka 19,2 °C, najhladnejši pa je januar z –2,3 °C (slika 4, preglednica 2).



Slika 4. Dolgoletna (1961–1990) povprečna mesečna temperatura zraka v Murski Soboti

Figure 4. Long-term (1961–1990) mean monthly air temperature in Murska Sobota



Slika 5. Odklon povprečne letne temperature zraka po letih obdobja 1950–2001 od referenčnega povprečja in linearen trend (rdeča črta) v Murski Soboti

Figure 5. Mean yearly air temperature anomaly in the 1950–2001 period and linear trend (red line) in Murska Sobota

V celotnem obravnavanem obdobju je bilo najtoplejše leto 2000, ko je bila povprečna letna temperatura zraka 11,5 °C, najhladnejše pa je bilo leto 1956 s povprečno letno temperaturo 8,0 °C (slika 5). Linearni trend povprečne letne temperature zraka je v letu in vseh letnih časih naraščajoč.

Ob pregledu poteka povprečne letne temperature zraka po desetletjih je bila najnižja povprečna temperatura zraka v desetletjih 1961–1970 in 1971–1980 9,1 °C. Za desetinko toplejše od dolgoletnega povprečja je bilo desetletje 1951–1960, v desetletju 1981–1990 pa je bila povprečna letna temperatura zraka 9,4 °C, medtem ko je bila v zadnjem desetletju natanko za 1 °C višja od dolgoletnega povprečja.

V vseh letnih časih je linearni trend povprečne temperature zraka celotnega obdobja pozitiven. Najtoplejša pomlad je bila v letu 2000 s povprečno temperaturo zraka 12,4 °C, kar je za 2,7 standardnega odklona topleje od referenčne vrednosti. Tri najtoplejše pomladi v celotnem nizu so bile v letu 2000, leta 2001 z 11,7 °C in leta 1999, ko je bila povprečna pomladanska temperatura zraka 11,6 °C. Najhladnejša pomlad je bila leta 1955, ko je bila povprečna temperatura zraka 7,4 °C, kar 2,3 standardnega odklona hladnejša od referenčnega povprečja. Najtoplejše poletje v obravnavanem nizu je bilo v Prekmurju leta 1992, ko je bila povprečna temperatura zraka 21,6 °C, kar je za 3,2 °C ali 4,6 standardnega odklona topleje od dolgoletnega povprečja; najhladnejše pa je bilo leta 1978 s 16,8 °C, kar je za 1,6 °C ali 2,3 standardnega odklona hladneje od referenčnega povprečja. Najtoplejša jesen je bila leta 2000 z 12,0 °C (odklon 2,1 °C ali 2,4 standardnega odklona), najhladnejša pa s 7,5 °C leta 1978 (odklon 1,9 °C ali 1,7 standardnega odklona). Zimi 1997/98 in 2000/01 sta bili s povprečno temperaturo zraka 2,5 °C (odklon 3,3 °C ali za 1,6 standardnega odklona toplejši od referenčnega povprečja) v celot-

nem obdelanem nizu najtoplejši; –5,9 °C pa je bila najnižja povprečna zimska temperatura zraka (odklon od dolgoletnega povprečja je –5,1 °C ali 2,6 standardnega odklona), in sicer v zimi 1962/63.

V obdobju 1991–2000 je bila leta 1996 povprečna letna temperatura zraka pod dolgoletnim povprečjem. Znašala je 9,0 °C, kar je za 0,2 °C pod dolgoletnim povprečjem. Najvišja povprečna temperatura zraka v zadnjem desetletju in v celotnem nizu je bila leta 2000 z 11,5 °C. Povprečna letna temperatura zraka v obdobju 1991–2000 odstopa povprečno za 1,0 °C ali 1,7 standardnega odklona od dolgoletnega povprečja. Januarja, maja, junija, julija in avgusta je bila povprečna mesečna temperatura zraka v zadnjem desetletju za več kot 1 °C višja od dolgoletnih povprečnih vrednosti. Sicer pa v zadnjem desetletju ni meseca, ki bi imel povprečno temperaturo zraka pod dolgoletnim povprečjem (slika 6). Pri letnih časih najbolj odstopata poletje in zima s povprečno temperaturo, ki je od dolgoletnega povprečja višja za več kot 1 °C. Tudi pomlad in jesen sta imeli v zadnjem desetletju za več kot 0,5 °C višjo povprečno temperaturo, kot je referenčno povprečje za omenjena letna časa.

Leta 2001 je bila povprečna letna temperatura zraka 10,5 °C, kar je za 2,2 standardnega odklona višje od dolgoletnega povprečja. Kar osem mesecev je bilo toplejših kot običajno; za več kot 3 °C je bila povprečna mesečna temperatura zraka višja od referenčnih povprečij oktobra (3,9 °C), marca (3,7 °C), januarja (3,6 °C), avgusta (3,2 °C) in februarja (3,1 °C). Najhladnejši mesec v letu 2001 je bil december, ko je bila povprečna temperatura zraka –4,0 °C in je bila za 3,4 °C nižja od dolgoletnega povprečja. Pod dolgoletno povprečno vrednostjo je bila povprečna temperatura še aprila, septembra in novembra (slika 6).

Preglednica 2. Povprečna mesečna in letna temperatura zraka ter povprečna temperatura zraka po letnih časih (povp.) in standardna deviacija (std.) v referenčnem obdobju in v obdobju 1991–2000 ter letu 2001 v Murški Soboti

Table 2. Mean monthly, seasonal and annual air temperature and standard deviation (std.) in the reference period, in the 1991–2000 period, and in 2001 in Murška Sobota

	1961–1990		1991–2000		2001	
	povp./ mean	std.	povp./ mean	std.	povp./ mean	std.
jan./Jan.	-2,3	2,8	-0,4	1,3	1,3	2,8
febr./Feb.	0,5	2,9	1,2	3,6	3,6	2,9
mar./Mar.	4,8	2,1	5,7	8,5	8,5	2,1
apr./Apr.	9,7	1,4	10,6	9,5	9,5	1,4
maj/May	14,5	1,3	15,6	17,2	17,2	1,3
jun./Jun.	17,6	1,0	18,9	17,7	17,7	1,0
jul./Jul.	19,2	1,1	20,5	21,1	21,1	1,1
avg./Aug.	18,3	1,1	20,3	21,5	21,5	1,1
sept./Sept.	14,7	1,3	15,3	13,8	13,8	1,3
okt./Oct.	9,3	1,6	10,0	13,2	13,2	1,6
nov./Nov.	4,1	2,1	4,8	2,8	2,8	2,1
dec./Dec.	-0,6	2,1	-0,3	-4,0	-4,0	2,1
leto/Year	9,2	0,6	10,2	10,5	10,5	0,6
pomlad/spring	9,7	1,0	10,6	11,7	11,7	1,0
poletje/summer	18,4	0,7	19,9	20,1	20,1	0,7
jesen/autumn	9,4	1,1	10,0	9,9	9,9	1,1
zima/winter	-0,8	2,0	0,5	2,5*	2,5*	2,0

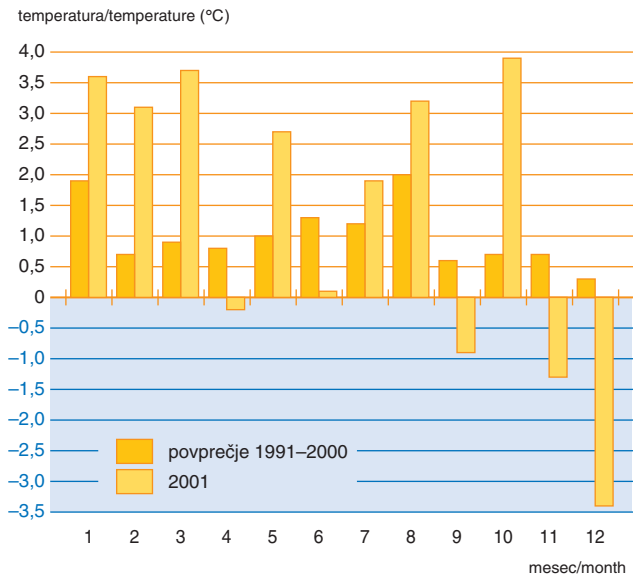
* podatki za zimo 2000/2001
data for winter 2000/2001

Trajanje sončnega obsevanja

Število sončnih ur se v Prekmurju zvišuje. Linearni trend je v vseh letnih časih pozitiven. Od leta 1985 do 2001 je bilo število ur s sončnim obsevanjem vsa leta nad referenčnim povprečjem (slika 7).

V dolgoletnem povprečju sonce v Murški Soboti letno sije 1830 ur. Najdlje sije v juliju, v povprečju 261 ur, najmanj decembra, v povprečju 51 ur (slika 8, preglednica 3).

V celotnem obravnavanem obdobju je bilo najbolj sončno leto 2000, sonce je sijalo 2338 ur, najmanj sončnega vremena pa je bilo leta 1954, ko je sonce v celem letu sijalo 1461 ur. Linearni trend trajanja sončnega sevanja je v letu in vseh letnih časih naraščajoč.



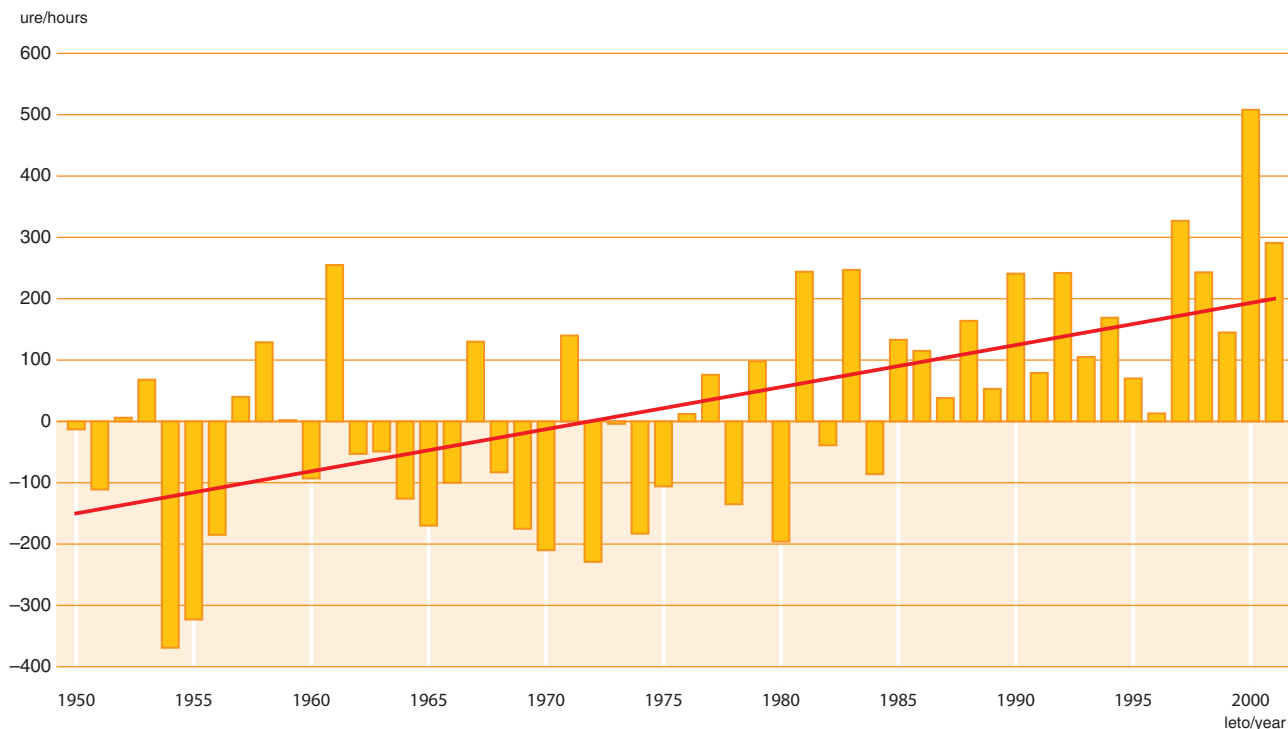
Slika 6. Odklon povprečne mesečne temperature zraka desetletja 1991–2000 in leta 2001 od referenčnega povprečja v Murški Soboti

Figure 6. Mean monthly air temperature anomaly in the 1991–2000 period and in 2001 in Murška Sobota

Pregled trajanja sončnega obsevanja po desetletjih kaže, da je bila najnižja vrednost v desetletju 1951–1960, ko je sonce sijalo v povprečju 1747 ur, 83 ur manj od dolgoletnega povprečja. Najdlje pa je v povprečju sonce sijalo v zadnjem desetletju, 190 ur več kot v referenčnem povprečju. V prvih treh desetletjih je bilo trajanje sončnega obsevanja pod dolgoletnim povprečjem, medtem ko sta zadnji dve desetletji nad referenčno vrednostjo (slika 9).

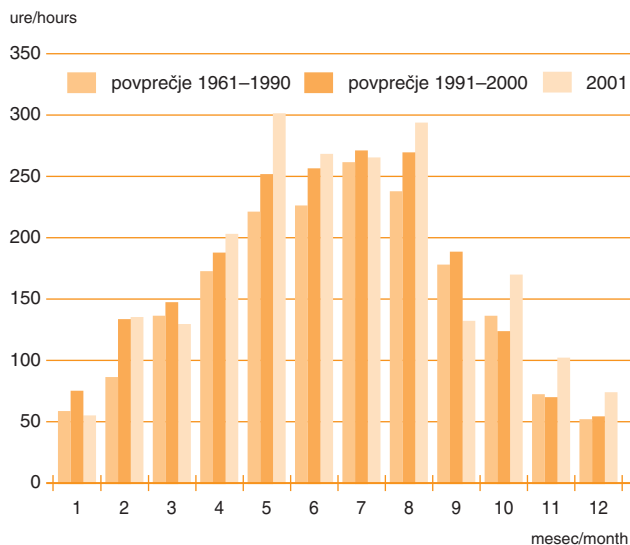
V vseh letnih časih je linearni trend trajanja sončnega obsevanja celotnega obdobja pozitiven. Najbolj sončna pomlad je bila leta 2000 s 676 urami, kar je 128 % referenčne vrednosti, najmanj sončnih ur pa je bilo leta 1954, le 383 ali 145 ur manj kot običajno, le 72 % dolgoletne povprečne vrednosti. V obeh primerih je odstopanje veliko za 2,3 standardnega odklona. Najdlje je sonce poleti sijalo leta 2000, in sicer 908 ur, kar odstopa za 3,3 standardnega odklona. Poleti 1955 so imeli v Prekmurju najmanj sonca, sijalo je le 607 ur, kar 116 ur ali 2,1 standardnega odklona manj kot v referenčnem obdobju. Jeseni je sonce najdlje sijalo leta 1986, 480 ur ali 125 % referenčne vrednosti za jesenske mesece. Jeseni 1964 je sonce sijalo le 269 ur, kar je 115 ur manj kot običajno. Samo 88 ur je sonce sijalo pozimi 1969/70, kar je le 45 % referenčnega povprečja. Največ sonca pa so v Prekmurju imeli pozimi 1999/2000, sijalo je kar 354 ur ali 2,8 standardnega odklona več kot običajno.

V obdobju 1991–2000 so bila vsa leta osončena bolj kot v referenčnem povprečju; najmanj ur je sonce sijalo leta 1996, le 13 ur več kot običajno, kar 508 ur več, kot je referenčno povprečje, pa je sijalo leta 2000. Povprečno letno trajanje sončnega obsevanja v obdobju 1991–2000 je 2020 ur, to je 190 ur ali 1,3 standardnega odklona več od dolgoletnega povprečja. Povprečna mesečna vrednost



Slika 7. Odklon trajanja sončnega sevanja po letih obdobja 1950–2001 od referenčnega povprečja in linearen trend v Murski Soboti

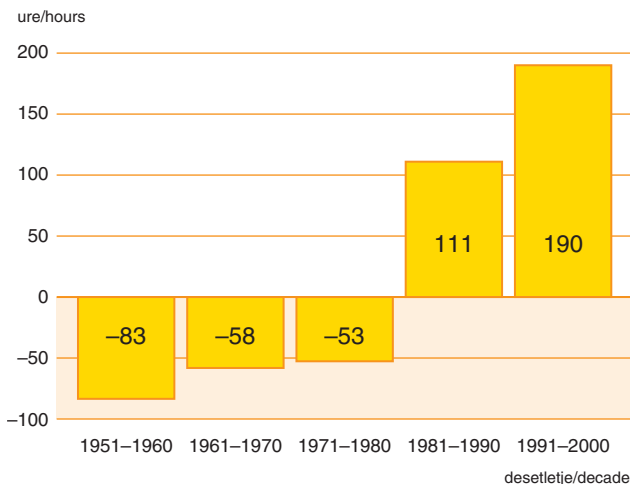
Figure 7. Sunshine duration anomaly in the 1950–2001 period and linear trend in Murska Sobota



Slika 8. Povprečno mesečno trajanje sončnega sevanja v referenčnem obdobju 1961–1990, v desetletju 1991–2000 in mesečno trajanje sončnega obsevanja v letu 2001

Figure 8. Mean monthly sunshine duration in the 1961–1990 reference period and in the 1991–2000 period and monthly sunshine duration in 2001

trajanja sončnega obsevanja v zadnjem desetletju najbolj odstopa od dolgoletnih povprečnih vrednosti februarja (155 % dolgoletnega povprečja za februar), januarja (129 % dolgoletnega povprečja), maja (129 % dolgoletnega povprečja), junija in julija (v obeh primerih 113 % dolgoletnega



Slika 9. Odklon povprečnega letnega trajanja sončnega sevanja po desetletjih od referenčnega povprečja v Murski Soboti

Figure 9. Mean yearly sunshine duration anomaly per decade in Murska Sobota

povprečja). Manj kot običajno je v zadnjem desetletju sonce sijalo v oktobru in novembru (slika 8). Pri letnih časih najbolj odstopa zima, ko je bila osončenost 132 % dolgoletnega povprečja; spomladi in poleti je bilo ur s sončnim obsevanjem 111 % ali 110 % dolgoletnega povprečja. V zadnjem desetletju je malo manj sončnega obsevanja kot običajno le v jesenskih mesecih, zabeležili so 99 % ur referenčnega povprečja.

Preglednica 1. Povprečna mesečna in letna višina padavin ter povprečna višina padavin po letnih časih (povp.) ter standardna deviacija (std.) v obdobjih 1961–1990 in 1991–2000 in padavine leta 2001 v Murski Soboti

Table 1. Mean monthly, seasonal and annual precipitation and standard deviation (std.) in the 1961–1990 and 1991–2000 period and precipitation in 2001 in Murska Sobota

	1961–1990		1991–2000		2001
	povp./ mean	std.	povp./ mean	povp./ mean	
jan./Jan.	37	23	21	38	
febr./Feb.	38	24	29	0,5	
mar./Mar.	49	19	42	79	
apr./Apr.	59	31	53	68	
maj/May	73	33	75	32	
jun./Jun.	98	36	99	101	
jul./Jul.	105	54	86	50	
avg./Aug.	102	49	85	17	
sept./Sept.	76	40	89	181	
okt./Oct.	62	52	84	23	
nov./Nov.	69	46	85	33	
dec./Dec.	45	26	57	21	
leto/Year	814	119	806	643	
pomlad/spring	181	59	170	179	
poletje/summer	305	74	270	167	
jesen/autumn	208	68	259	237	
zima/winter	121	47	107	113*	

* podatki za zimo 2000/2001
data for winter 2000/2001

Leta 2001 je sonce sijalo 2121 ur, kar je 291 ur ali za 1,9 standardnega odklona več od dolgoletnega povprečja. V januarju, marcu in septembru 2001 je sonce sijalo manj ur, kot je dolgoletno povprečje za omenjene mesece. V septembru je sonce sijalo 46 ur manj ali 74 % dolgoletnega povprečja. V ostalih devetih mesecih leta 2001 je sonce sijalo več ur kot običajno. Najbolj je od dolgoletnega povprečja odstopalo sončno sevanje februarja, 154 % dolgoletnega povprečja, decembra in novembra pa 143 % in 142 % dolgoletnega povprečja (slika 8).

Sklepne misli

Prekmurje je v Sloveniji območje z najnižjo letno višino padavin, v Murski Soboti jih v dolgoletnem povprečju namerijo 815 mm, v Ljubljani 1394 mm, medtem ko jih je v Posočju, območju z najvišjo količino padavin v Sloveniji, kar okoli 3000 mm, na Žagi jih je v dolgoletnem povprečju 3018 mm.

Napovedi klimatologov o spremembi padavin so veliko manj zanesljive in bolj ohlapne kot napovedi o spremembi temperature. Tudi v Prekmurju se bolj uresničujejo pri zviševanju temperature zraka kot pri zmanjševanju padavin. Opazna so odstopanja padavin od običajnih razmer v vegetacijski dobi. Ker je padavin v Prekmurju relativno malo, ima vsako zmanjšanje ali njihova prerazporeditev, ob vedno višji temperaturi zraka in bolj sončnem vremenu, škodljive posledice za kmetijstvo.

Literatura

1. Arhiv Agencije RS za okolje
2. Matajc, I., 2000/2001. Značilnosti in posledice kmetijske suše leta 2000 v Sloveniji. *Ujma*, 14–15, 156–161.

ŽLED V NOTRANJSKIH GOZDOVIH IN NJEGOVE POSLEDICE

Sleet in the Forests of Notranjska

Edvard Rebula* UDK 630*11(497.4 Notranjska)

Povzetek

Z raziskavo primera žledoloma leta 1975 v revirjih Hrušica in Nanos smo ugotavljali vpliv različnih dejavnikov na obseg in količino žledoloma in delež poškodovanega drevja. Ugotovljeni so značilni vplivi nadmorske višine, reliefa, drevesne vrste, dimenzij drevja, lesne zaloge in ekspozicije sveta. Z ugotavljanjem pogostosti in izdatnosti žledenja na Notranjskem (Idrijsko in Hrušica) v drugi polovici prejšnjega stoletja smo za te gozdove ovrednotili škode zaradi žledolomov. Žledolomi letno poškodujejo povprečno od 1,5 do 1,9 m³ lesa na 1 ha. Zaradi njih se v gozdovih zniža prirastek, razvrednoti mnogo lesa, potrebna so obsežna pogozdovanja, nasadi pa zahtevajo drago vzdrževanje. Tudi sami stroški sečnje in spravila so v žledolomih znatno večji od stroškov pri rednih sečnjah. Škode običajno presežejo vrednost poškodovanega lesa na panju in dosežejo do 65 % prodajne cene sortimentov. Delež neposrednih škod je okoli 40 do 45 % vseh škod. Posredne škode so dolgoročne in običajno večje (za 50 in več odstotkov) od neposrednih. Od vseh slovenskih gozdov so žledu najbolj izpostavljeni notranjskih gozdovi, najbolj idrijski okoli Vojskega. Zato je tveganje pri gospodarjenju s temi gozdovi zaradi žleda zelo veliko. Žled znižuje čiste donose od lesa za 25 do 70 %.

Abstract

The sleet damage in the Hrušica and Nanos districts in 1975 was studied in order to evaluate the influence of various factors on the extent of sleet damage and the share of damaged trees. Some of the most typical parameters include height above sea level, relief, tree types, tree size, wood stocks, and land exposure. The frequency and intensity of sleet occurrences in the Notranjska region (Idrija and Hrušica) in the second half of the previous century were analyzed in order to evaluate the damage caused by sleet. On average 1,5 to 1,9 m³ of wood per hectare is damaged by sleet each year. Sleet occurrences reduce tree growth in forests, depreciate considerable quantities of wood, and require extensive reforestation as well as expensive maintenance of plantations. The costs of felling and removal in areas damaged by sleet are higher than the costs of regular felling. The losses normally exceed the value of damaged wood on the stump, and attain up to 65% of the sales price. Direct losses account for approx. 40–45 % of the total losses. Indirect losses are of a long-term character and usually exceed (by 50 % or more) direct losses. Of all Slovene forests, the forests of the Notranjska region are most exposed to sleet, particularly the Idrija forests on the Vojsko plateau. Consequently, the risks involved in the management of these forests are very high because of the sleet hazard. Sleet reduces the net wood yields by 25 to 70 %.

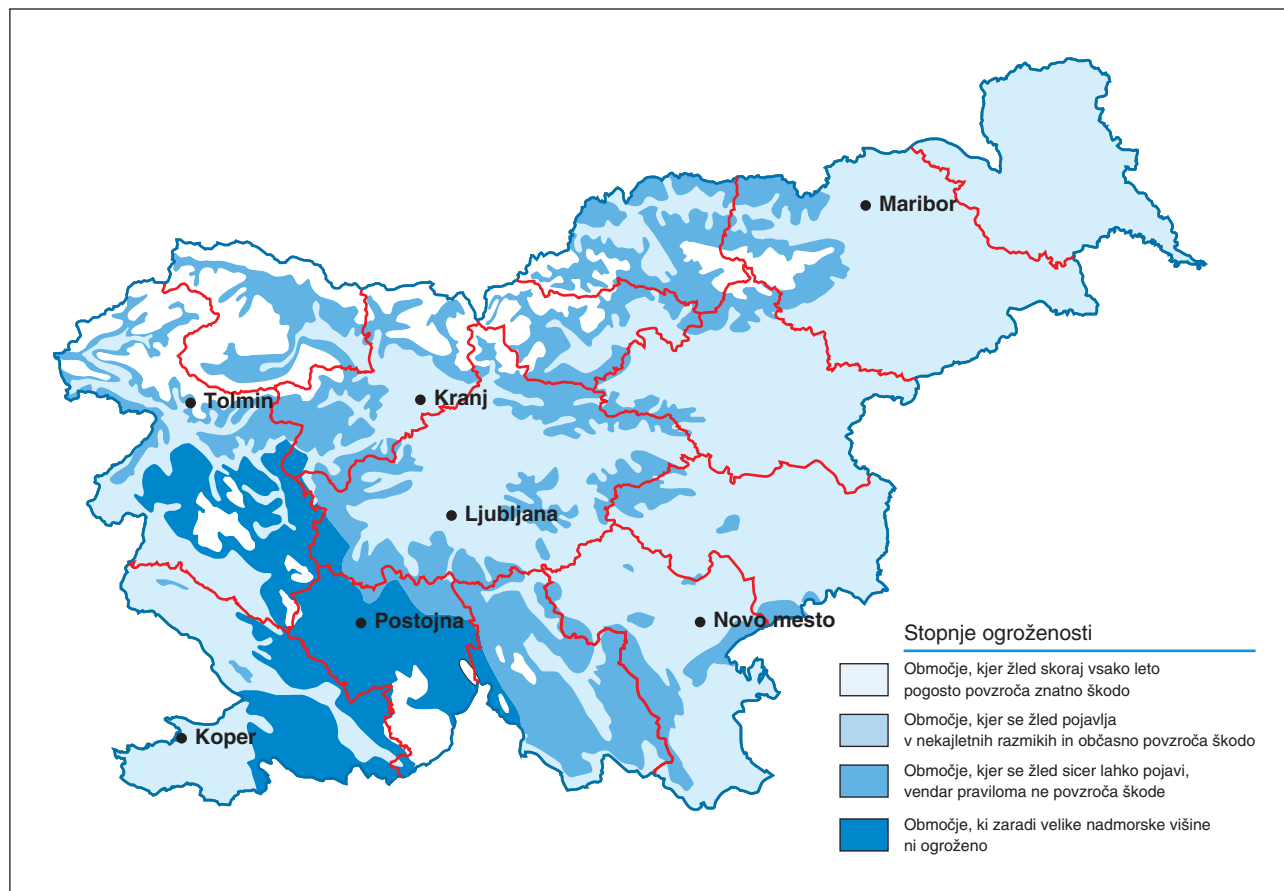
Uvod

Žled je velika nadloga, ki vsakih nekaj let pustoši po naših gozdovih. Poškoduje mnogo drevja, moti gospodarjenje z gozdovi in povzroča ogromne škode. Na nekaterih območjih nastaja žled skoraj vsako leto in od muhavosti vremena, vetra in majhne spremembe temperature je odvisno, kako debel bo, ali se bo otoplilo in bo žled odpadel z drevja ali pa se bo neznatno ohladilo in bo žled prešel v moker sneg. Žled je zlasti pogost na stiku mediteranskega in alpskega ter celinskega podnebja v območju od Trnovskega gozda do Javornikov. Nastaja prav vsako leto, vsaj enkrat v desetletju pa doseže katastrofalne razsežnosti. Taki so bili žledi v začetku petdesetih let v idrijskih gozdovih, v letih 1965–69 po celi Notranjski in delu Dolenjske. Leta 1975 je prizadel območje od Soče do Snežnika, najhuje pa je bilo v predelu Nanosa in Hrušice. Leta 1980 je pustošil znani žled v Brkinih

in na Idrijskem. Tudi leta 1984 smo imeli žled. V zimi 1995/1996 in 1997 je pustošil po vsej Sloveniji in tudi tedaj ni prizanesel gozdovom na Notranjskem. Žled je naravna ujma, ki ne uničuje le gozda. Podira daljnovode, lomi sadno drevje, ovira promet, moti preskrbo z elektriko ipd., zato so narodno-gospodarske škode zaradi žleda običajno nekajkrat večje, kot jih ugotovimo v gozdu. Pregled ogroženosti gozdov zaradi žleda je prikazan na sliki 1. Nastal je tako, da smo na karto ogroženosti zaradi žleda za Slovenijo, ki jo je izdelala D. Kastelec (1997), vrisali gozdnogospodarska območja. Na karti vidimo, da so poleg Brkinov zaradi žleda najbolj ogroženi gozdovi na Notranjskem. Škode zaradi žleda pa občasno nastajajo tudi v vseh drugih območjih.

O žledu, njegovem nastajanju (žledenju), pogostosti, poškodbah (žledolomih) in škodah zaradi njega vemo precej. V naši literaturi so opisani vsi večji žledolomi zadnjih 50 let. Obdelani

* prof. dr., Kraigherjeva 4, Postojna



Slika 1. Ogroženost gozdov zaradi žleda

Figure 1. Sleet hazard in forests

so zlasti zbirni kazalci. Premalo pa vemo o podrobni prostorski (vodoravni in navpični) razporeditvi in intenzivnosti (izdatnosti, debelini, teži) žleda in tudi o deležu in količini poškodovanega drevja, njegovi sestavi, pogostosti poškodb, tako po drevesnih vrstah kot debelini, o vsoti škode v daljšem razdobju in s tem povezani stopnji tveganja pri gospodarjenju z gozdovi. Skoraj nič pa ne vemo o vplivu gozdnogospodarskih dejavnikov (lesna zaloga, njena sestava, horizontalni in vertikalni sklep krošenj, dolžina in obraščenost drevja, rastišče ipd.) ob žledu v naših različnih sestojnih in drugih okoliščinah.

Da bi dobili čim več odgovorov na navedeno pomanjkanje znanj o žledu in njegovih posledicah, smo izvedli obsežno raziskavo (Rebula, 2001). Zajela je ugotavljanje pogojev za žledenje, njegovo pogostost in izdatnost, odpornost drevja in sestojev na obremenitve zaradi žleda (statika drevesa in sestoja). Proučevali smo žledolome na Idrijskem in v Hrušici, ugotavljali količino in deleže poškodovanega drevja ter na koncu ugotovili škode zaradi žleda in tveganje zaradi žleda pri gospodarjenju z gozdovi na Notranjskem. Zaradi obsežnosti gradiva bomo podali le ugotovitve proučevanja žledoloma iz leta 1975, posebej podrobno za revirja Nanos in Hrušica, ugotovitve o škodah v gozdu zaradi žledolomov in o tveganju pri gospodarjenju z gozdovi, ki nastaja zaradi pogostih in izdatnih žledov.

Proučevanje žledoloma v Hrušici in Nanosu

Proučevali smo posledice žleda iz leta 1975, ki je zajel zelo široko območje, okoli 20–30 km širok pas gozdov od Soče do Snežnika, od roba jelovo-bukovih dinarskih gozdov na primorski strani in visoke gozdnate planote Notranjske do severnih in zahodnih robov Dinarskega gorstva. Drevje je bilo zaradi žleda poškodovano zelo različno. Večina dreves je bila prelomljena na različnih višinah drevja in krošnje. Manjši del dreves je žled podrl. Pri listavcih so bile ponekod odlomljene le veje ali pa so bila drevesca le upognjena. Odrgnjenih je bilo malo dreves. Poškodovano drevje je bilo pretežno v skupinicah, v nekaterih predelih posamezno, ponekod pa je bilo poškodovano vse drevje na veliki površini.

Revirja Hrušica in Nanos ležita približno v sredini območja, ki ga je zajel žled. Na površini 2230 ha se je pred žledom razprostiral razmeroma ohranjen jelov-bukov dinarski gozd, v katerem skoraj ni bilo nasadov smreke. Bili so pretežno mešani sestoji jelke in bukve, odvisno od rastišča pa prehajajo od gozdov z velikim deležem naravne smreke na smrekovih rastiščih do skoraj čistih enomernih jelovih gozdov z velikimi lesnimi zalogami, do 550 m³/ha, in čistih enodobnih bukovih sestojev na gorskih rastiščih Dinaridov.

Količina in delež žledoloma

Zaradi žleda poškodovano drevje (prelomljeno, podrto, z odlomljenimi vrhovi in vejami), ki ga je treba zaradi poškodb posekati, označujemo kot žledolom. Količino in sestavo žledoloma podajamo v preglednicah 1 in 2. Razvrščeni so po debelinskih razredih, kot so običajni v gozdarstvu. Ti so:

- I debelinski razred: drevje prsnega premera 10 do 29 cm, drobno drevje,
- II debelinski razred: drevje prsnega premera 30 do 49 cm, srednje debelo drevje,
- III debelinski razred: drevje prsnega premera 50 in več cm, debelo drevje

V preglednicah so zajete le količine, ki so jih posekali takoj po žledu v letih 1976 in 1977. V poznejših letih so zaradi sanacije gozdov (pogozdovanja, sečnja manj poškodovanega drevja, ki je lahko počakalo) posekali še več lesa.

V preglednici 1 so podatki o jakosti žledoloma (količini žledoloma na 1 ha, v m³/ha) za vso površino (vsi) in ločeno za odseke, kjer je bilo treba zaradi sanacije pogozdovati, ter za odseke, kjer niso pogozdovali.

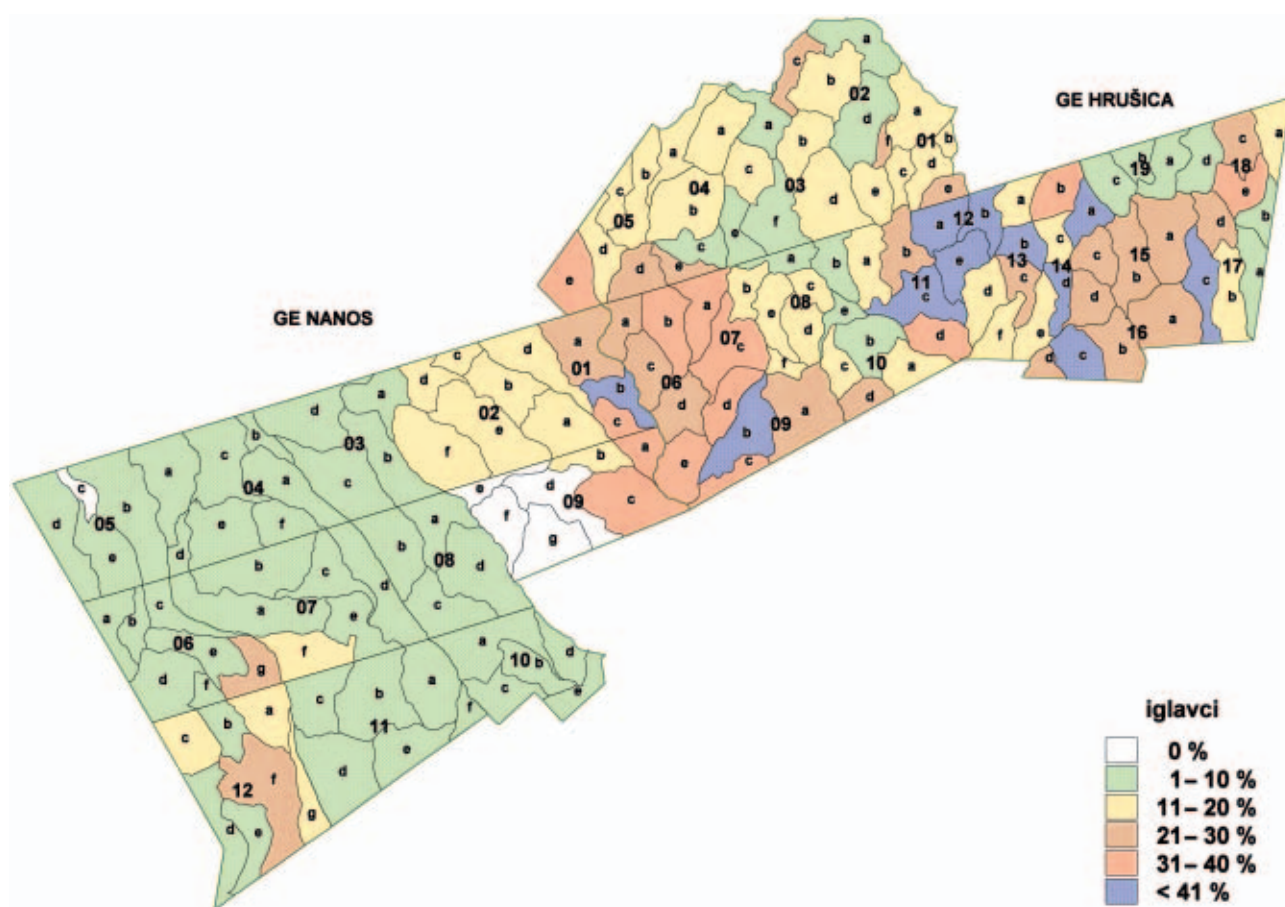
Žled je v obeh revirjih polomil ali podrl dobrih 75.200 m³ lesa. Od tega je 62.700 m³ iglavcev in 12.450 m³ listavcev. Jakost žledoloma je zelo različna. V povprečju je 30 m³/ha (0–159 m³/ha) iglavcev in 6 m³/ha (0–40 m³/ha) listavcev ali

Preglednica 1. Jakost žledoloma v odsekih z in brez pogozdovanja
Table 1. Sleet damage in sections with and without reforestation.

Kategorija	Debelina razred	Žledolom (m ³ /ha)			Sestava (%)			Delež (%)	
		iglavci	listavci	skupaj	iglavci	listavci	skupaj	iglavci	listavci
sestava									
vse	I	4,61	3,38	7,99	15	56	22		
	II	19,33	2,11	21,44	64	35	59		
	III	6,42	0,54	6,96	21	9	19	16	11
	vsi	30,36	6,03	36,39	100	100	100	14,2	9,3
s pogozdovanjem	I	9,77	2,79	12,56	14	36	16		
	II	44,98	3,32	48,30	63	43	62		
	III	16,10	1,57	17,67	23	21	22	31	15
	vsi	70,85	7,68	78,53	100	100	100	27,8	13,5
brez pogozdovanja	I	3,18	3,54	6,72	17	63	27		
	II	12,23	1,78	14,01	64	32	57		
	III	3,74	0,26	4,00	19	5	16	12	10
	vsi	19,15	5,58	24,73	100	100	100	9,3	8,3

Preglednica 2. Kubatura, debelinska sestava in delež poškodovanega drevja leta 1975 v revirjih Nanos in Hrušica
Table 2. Cubature, thickness, and share of damaged trees in 1975 in the Nanos and Hrušica districts

Debelinski razred	Kubatura drevja (m ³)		Indeks poškodovanih dreves	Sestava drevja (%)			Delež poškodovanih dreves (%)
	Sestoj	Poškodovanost		Sestoj	Poškodovanost	Indeks	
iglavci							
I	0,26	0,33	127	12	18	150	15
II	1,45	1,40	97	55	65	118	19
III	3,14	2,98	95	33	17	52	10
vsi	1,04	0,98	94	100	100		16
listavci							
I	0,16	0,16	100	41	63	154	13
II	1,19	1,12	94	52	31	60	5
III	2,69	1,72	64	7	6	86	8
vsi	0,35	0,33	94	100	100		11



Slika 2. Poškodbe po žledu leta 1975 na iglavcih (GE Hrušica in GE Nanos)

Figure 2. Damage caused to conifers by sleet in 1975 (GE Hrušica and GE Nanos)

skupno 36,4 m³/ha (0,4–161,8 m³/ha). Od lesne zaloge iglavcev je podrl 14,2 %, od listavcev 9,3 % in skupno 13 % lesne zaloge.

V drugem do četrtem stolpcu preglednice so podatki o povprečni kubaturi drevja. V drugem so podatki o povprečni kubaturi drevja v sestoji pred žledom, v tretjem je povprečna kubatura dreves, ki jih je poškodoval žled, v četrtem pa so podani indeksi povprečne kubature poškodovanih dreves (razmerje stolpcev 3/4). Vidimo, da žled lomi ali podira v povprečju nekoliko drobnejša drevesa, kot so v sestoji. Pri drobnejšem drevju iglavcev – I. debelinski razred – lomi drevje, ki je debelejšje od povprečja sestoja (indeks 127), pri srednjih in največjih debelinah pa nekoliko tanjše (indeks 98 oz. 95). Pri listavcih lomi v I. in II. debelinskem razredu povprečno debelo drevje (indeks 100 oz. 94), znatno drobnejše pa je polomljeno drevje v III. debelinskem razredu. Žled je podrl v povprečju 16 % dreves iglavcev in 11 % dreves listavcev. To kaže, da so tu listavci (pretežno bukev) odpornejši na žled kot iglavci (pretežno jelka).

Izdatnost žledoloma se po odsekih in različnih predelih gozdov zelo razlikuje. Vzroke odstopanj bomo pojasnili v nadaljevanju.

Žledolom je bil ponekod tako močan, da so morali sestoji likvidirati in jih pogozditi. Od obravnavanih 143 gozdnih odsekov so morali zaradi žleda pogozdovati v 31 odsekih. Skupna površina pogozdovanj je 62 ha ali okoli 3 % obravnavane površine. Pogozdovali niso v višinskih bukovih gozdovih in v sestojih na smrekovih rastiščih. Največ pogozdovanj pa je bilo v skoraj čistih enomernih jelovih sestojih z debelim drevjem. Tu delež pogozdovanj dosega 5 % vse površine.

Pomembno je poudariti, da so tu zajeta le pogozdovanja v letih 1976–1978, ki so sledila prvemu pospravljenju žledoloma. Poznejših pogozdovanj, ki so sledila poznejšim sečnjam in so v bistvu sanacija žledolomov, je še več, kot smo jih navedli zgoraj.

Količina žledoloma in delež poškodovanih dreves je odraz izdatnosti žledenja (debeline žleda) in odpornosti drevja in sestojev. Brez dvoma je količina žleda veliko pomembnejši dejavnik. Pomembno pa vpliva tudi odpornost sestojev, ki je pogojena tudi z geološko podlago. Na obravnavanem območju je možno izdvojiti 3 žarišča, kjer je bila izdatnost žledoloma največja. Tu je delež podrtga drevja presegel 40 % in je bil zelo velik tako pri iglavcih kot listavcih. Prvi dve žarišči sta na Rogatcu in južnih pobočjih Bukovca na nad-

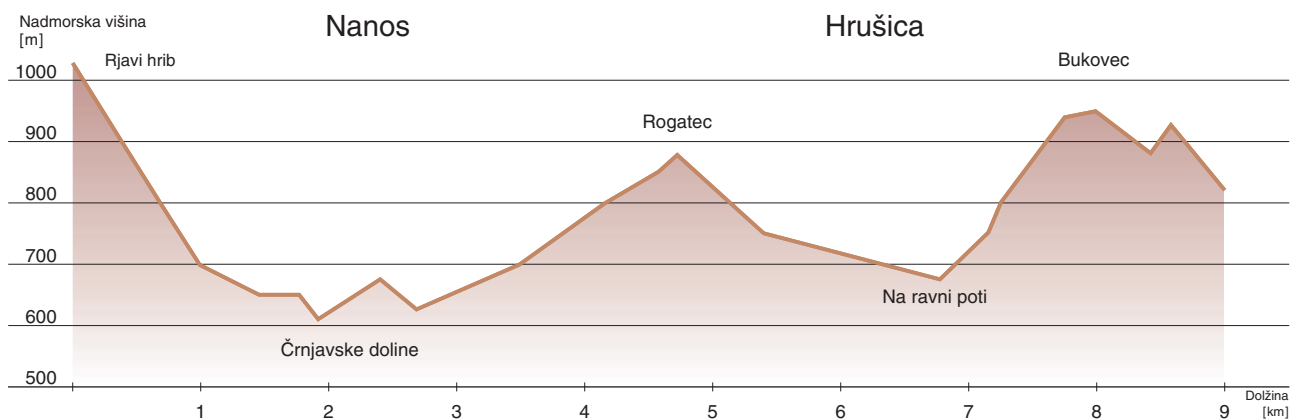


Slika 3. Poškodbe po žledu leta 1975 na listavcih (GE Hrušica in GE Nanos)

Figure 3. Damage caused to deciduous trees by sleet in 1975 (GE Hrušica and GE Nanos)

morski višini med 800 in 900 m. Za tako velik delež žledoloma so trije vzroki. Prvi je verjetno nekoliko večja intenzivnost žledenja (debelejši žled). Drugi, bolj verjeten in odločilen vzrok pa so dodatne obremenitve zaradi vetra, ki je bil slab (majhne hitrosti), ker se sicer žled ne bi nabiral na drevju. Po eni strani so vetrovi tam, kjer so bile doline dovolj široke, v smeri vetra (Črnjavske doline) povzročili prepih, hitro ogreli ozračje

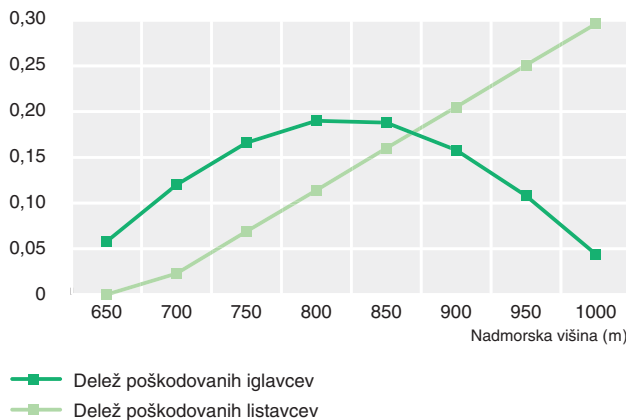
in preprečili nastanek debelega, katastrofalnega žleda. Tako skoraj ni poškodb drevja na severnem pobočju Štefanovega in Rjavega hriba nad Črnjavskimi dolinami na nadmorski višini 700–850 m. Po drugi strani pa je tam, kjer so bili vetrovi manj močni in so prodrli pozneje (prepozno), to omogočilo nastanek debejšega leda. Navedeno velja za tople vetrove od jugovzhoda, ki so prinašali padavine in je zato žledilo.



Slika 4. Prečni profil skozi obravnavana žarišča

Figure 4. Cross-section of affected areas

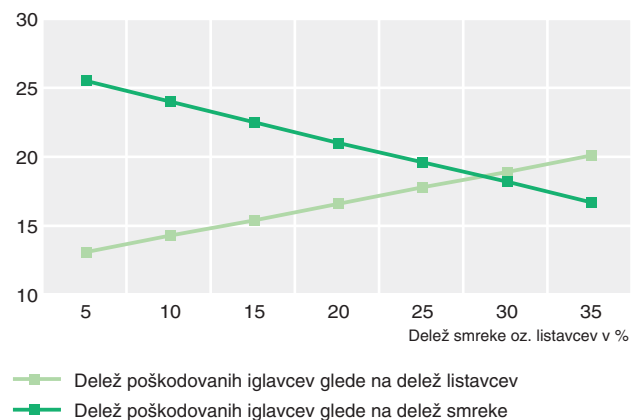
Delež poškodovanih dreves



Slika 5. Delež žledoloma iglavcev in listavcev glede na nadmorsko višino

Figure 5. Sleet damage to coniferous and deciduous trees in dependence of altitude

Delež poškodovanih iglavcev v %



Slika 6. Delež žledoloma iglavcev glede na delež listavcev ali smreke v lesni zalogi

Figure 6. Sleet damage to coniferous trees in dependence of the share of deciduous and spruce trees in the wood stock

Pozneje, že popoldne dneva, ko je žledilo (17. 11. 1975), se je veter obrnil. Začelo je rahlo vleči od severovzhoda. Zaradi reliefnih ovir so nastajali v sedlih in izpostavljenih pobočjih močnejši tokovi zraka. Ohladilo se je in prenehalo je žlediti. Rahel veter pa je nagibal in nihal že itak z žledom preobremenjena drevesa. Tako je povzročal dodatne napetosti in pomagal lomiti in podirati drevesa. Najbolj poškodovani sestoji se nahajajo na zahodnih in severno- ter jugozahodnih legah. Severni in vzhodni veter, ki je vlekel pri tleh, je tu pihal po pobočjih navzdol, v smeri ekscentričnosti krošenj. Velikim uklonskim in upogibnim obremenitvam zaradi žleda in ekscentričnosti krošenj je dodal še upogibne obremenitve zaradi vetra. Tako so skupne obremenitve presegle odpornost dreves. Tretji vzrok je geološka podlaga. Na pretežni površini obravnavanih žarišč so geološka podlaga sivi in oolitski zgornjejurski apnenci. Ti niso tako trdna podlaga za usidranje dreves, kot so kredni apnenci, ki sicer prevladujejo. Tudi to je pogojevalo večji delež žledoloma.

Za tretje žarišče, na severovzhodnem pobočju Rjavega hriba, v gorskih gozdovih bukve na nadmorskih višinah nad 900 m pa je vzrok verjetno manjša odpornost sestojev. Gre pretežno

za bukove letvenjake in drogovnjake srednje do velike vitkosti, ki so zelo občutljivi za žled. Poleg tega so na relativno globljih tleh, na zgornjejurskih apnencih z manj skeleta in so drevesa tako slabše usidrana. Prostorski razpored izdatnosti žledoloma je za iglavce prikazan na sliki 2 in za listavce na sliki 3. Na sliki 4 pa je podan prečni profil skozi obravnavana žarišča. Vidimo, da je profil sveta zelo podoben tipičnemu profilu za nastanek žleda, kot ga podajajo Orožen-Adamič (1985) in Kern, Zadnik (1987).

Vpliv zunanjih dejavnikov na delež žledoloma

Z zunanjimi dejavniki smo označili dejavnike izven drevesa in sestoja, ki vplivajo na žledolom. Raziskali smo vpliv nadmorske višine, ekspozicije (nebesne lege) in izpostavljenosti sestojev ter geološke podlage.

Vpliv nadmorske višine na delež žledoloma nam kaže slika 5. Z nadmorsko višino se spreminjajo vse značilnosti sestojev. Z njo raste delež listavcev, nižata se lesna zaloga

Preglednica 3. Količina žledoloma in pogozenih površin po razredih lesne zaloge
Table 3. Quantity of damaged trees and reforested areas according to wood stock classes

Povprečna lesna zaloga m ³ /ha	Delež (%)		Jakost žledoloma (m ³ /ha)		Delež žledoloma v lesni zalogi (%)			Indeks deleža žledoloma	Delež pogozdenih površin (%)
	iglavci	listavci	iglavci	listavci	iglavci	listavci	skupaj		
83	13	87	0,5	15,4	4,5	21,4	19,2	147	0,0
174	60	40	14,9	8,3	14,2	12,0	13,3	102	1,3
278	74	26	35,8	6,9	17,4	9,7	15,4	118	4,9
369	88	12	30,2	1,5	9,3	3,4	8,6	66	2,2
481	89	11	61,5	1,3	14,3	2,6	13,1	100	3,2

Preglednica 4. Izdatnost žledenja v revirjih Hrušica in Nanos v razdobju 1975–2000

Table 4. Intensity of sleet occurrences in the Hrušica and Nanos districts in the period from 1975–2000

Razdobje	Sečnja (m ³)			Izdatnost sečnje (m ³ /ha/leto)		
	iglavci	listavci	skupaj	iglavci	listavci	skupaj
Skupaj vse sečnje						
1973–92	306.311	65.526	371.837	6,92	1,48	8,40
Žledolom						
1975–82	80.739	17.355	98.094	6,08	1,31	7,39
1982–88	4.908	1.846	6.754	0,32	0,12	0,44
1989–2000	430	243	373	0,02	0,01	0,03
skup./pov.	86.077	19.444	105.511	1,56	0,35	1,91
delež žledoloma (%)			22,5	23,6	22,7	

in debelina drevja. Vpliva pa tudi na izdatnost žledenja. Zato je nadmorska višina najmočnejši dejavnik, ki vpliva na deleže poškodovanega drevja in količino žledoloma. Največje poškodbe so bile na nadmorskih višinah 830–880 m. Jakost poškodb od tu pada z večjo in manjšo nadmorsko višino. To se zelo izrazito kaže pri iglavcih. Pri listavcih pa delež poškodovanega drevja stalno narašča do največjih nadmorskih višin. Vzrok temu naraščanju na najvišjih nadmorskih višinah pa ni večja izdatnost žledenja, pač pa manjša odpornost sestojev, kar sem pojasnil zgoraj.

Na delež žledoloma značilno vpliva tudi nebesna lega (ekspozicija) in izpostavljenost (doline – zavetne lege; strmina, grebeni, vrhovi – izpostavljene lege) sestoja. Poškodbe naraščajo z večjo izpostavljenostjo. Največje so na zahodnih pobočjih.

Na obseg poškodb vplivata tudi tla in matična podlaga. Vplivata na usidranost dreves in s tem na njihovo odpornost. Teh vplivov nismo posebej raziskovali. Posredno pa smo jih ugotovili z analizo geološke karte in vplivov gospodarskih razredov gozdov, ki kažejo tudi vpliv rastišča. Ugotovitve kažejo, da je jakost žledoloma na zgornjejurskih belosivih in oolotnih apnencih večja kot na spodnjejurskih in krednih apnencih.

Vpliv notranjih dejavnikov gozda – odpornost posameznih drevesnih vrst

Raziskava je dokazala različno občutljivost posameznih drevesnih vrst. Iglavci so v splošnem (v grobem povprečju) manj odporni (16 % poškodovanih dreves) kot listavci (11 % poškodovanih dreves). Grobo vzeto, se je kot najbolj občutljiva pokazala jelka, sledi ji smreka in najbolj odporna je bukev. V sestojih z večjim deležem smreke je bilo manj poškodovanega drevja. Navedene ugotovitve veljajo za pretežni del odraslih, posamezno ali skupinsko mešanih

sestojev, z razgibano debelinsko sestavo drevja. Tu so listavci (pretežno bukev) bolj tršati in ni strnjenih sestojev ali velikih skupin enomernih (približno enako debelih) listavcev. Drugače je v skoraj čistih enomernih bukovih sestojih. Zlasti še, če gre za srednje in zelo vitke letvenjake in drogovnjake bukve. Ti so najbolj občutljivi in je tu delež poškodovanih listavcev večji od iglavcev. Vzrok povečani občutljivosti bukve je tu izredna vitkost drobnega drevja, ki znatno presega vitkost enako debelih jelk in smrek. Vpliv mešanosti sestojev pri nadmorskih višinah med 800 in 900 m smo prikazali na sliki 6. Vidimo, da delež poškodovanih iglavcev (DPI) pada z večjim deležem smreke v sestoju in narašča z večjim deležem listavcev v sestoju.

Gornja trditev za večjo odpornost smreke velja le za naravno (avtohtono) smreko, v prebiralnih in bolj ali manj raznodobnih sestojih na njenih rastiščih. Izkušnje iz smrekovih nasadov v sosednjih revirjih in iz poznejših žledov kažejo obrnjeno sliko. Najbrž je tudi tu vzrok prevelika vitkost gostih in neredčenih nasadov smreke. Nekateri pa menijo, da je vzrok v izvoru sadik.

Velikost lesne zaloge in višina drevja skoraj ne vplivata na delež poškodovanega drevja. Pač pa lesna zaloga zelo vpliva na količino žledoloma. Količina žledoloma, merjena v m³/ha, je skoraj premosorazmerna z lesno zalogo sestojev. To vidimo v preglednici 3. V predzadnjem stolpcu preglednice je podan indeks žledoloma glede na povprečje, v zadnjem pa delež pogozdenih površin.

Škode zaradi žleda

Škode zaradi žleda so odvisne od njegove izdatnosti in pogostosti. Žled in/ali moker sneg nastopata v nekaterih predelih vsako leto. Od izdatnosti žledenja ali debeline snega pa je odvisno, koliko to sploh opazimo in zabeležimo. Običajno, razen vremenskih opazovalcev, beležimo le žled in/ali moker sneg, ki povzroči škodo.

V zvezi z ugotavljanjem škod in tveganja zaradi žleda pri gospodarjenju z gozdovi pa nastaneta dve pomembni dilemi pri ugotavljanju pogostosti žledenja. Nastajata zaradi ugotavljanja gostote posledic žledenja, ki jih kaže podatek, koliko m³ lesa je žled poškodoval na enoti površine (ha) v 1 letu. To sta razdobje in območje, za katero to ugotavljamo. V tej raziskavi sem skušal zajeti čim daljša razdobja, od prvega do zadnjega podatka – do danes, in čim bolj omejene površine. Nekaj te problematike je razvidne v preglednici 4, kjer sta prikazana skupna sečnja in žledolom v revirjih Hrušica in Nanos v razdobju 1973–2000. V preglednici so za žledolom iz leta 1975 podane večje količine, kot smo jih obravnavali v prejšnjem poglavju. Dodane so količine lesa, ki so jih posekali v razdobju 1979–1982, ko so dokončno sanirali žledolome. Vidimo, da je količina žledoloma v različnih razdobjih zelo različna. Žledolom 1975 je prizadel skoraj vso površino, zato je njegova izdatnost tako velika, poznejše žledenje pa je zajelo le del revirjev. Lomilo je tudi v smrekovih nasadih, kjer so drevesca pod meritvenim

Preglednica 5. Izdatnost žledenja v nekaterih območjih Slovenije
Table 5. Intensity of sleet occurrences in certain parts of Slovenia

Območje	Razdobje	Površina ha	Žledolom (m ³ /ha/leto)			Delež žledoloma (%)	
			iglavci	listavci	skupaj	iglavci	listavci
Hrušica	1975–2000	2.214	1,56	0,35	1,91	22,5	23,6
Idrijsko	1954–1997	6.701	0,33	1,43	1,76		
Jauhe	1951–1973	340	1,50	0,15	1,65	55,9	8,5
Planina	1942–1975	621			1,21	68	

Opomba: Delež žledoloma (%) = delež žledoloma in snegoloma v vseh sečnjah v obravnavanem razdobju

Preglednica 6. Količine poškodovanega lesa na Idrijskem leta 1975
Table 6. Quantities of damaged wood in the Idrija region in 1975

Drevesna vrsta	Bruto	Čista lesna masa		Izdelani sortimenti		Odpadek	
	m ³	m ³	%	m ³	%	m ³	%
iglavci	54.958	46.716	85,0	41.220	75,0	5.496	11,8
listavci	206.110	181.376	88,0	144.277	70,0	37.099	20,5
skupaj	261.068	228.092	87,4	185.497	71,0	42.595	18,7

Preglednica 7. Ocenjena škoda
Table 7. Estimated losses

Vrsta škode		D/m ³ bruto	D/m ³ sortimentov	Sestava		% od CP	% od PC
				%	%		
neposredna	nadstrošek	73,2	103,0	24,2	59,8	90,5	19,0
	odpadek	13,7	19,3	4,5	11,2	16,9	3,6
	razvrednotenje sortimentov	35,5	50,0	11,7	29,0	43,9	9,2
skupaj		122,4	172,3	40,5	100	151,4	31,7
posredna	zmanjšanje prirastka	24,3	34,1	8,0	19,8	30,0	6,3
	predčasna sečnja	30,3	42,7	10,1	24,8	37,5	7,8
skupaj		54,6	76,8	18,1	44,6	67,5	14,1
investicije zaradi žleda	pogozdovanje	26,1	36,7	8,6	21,3	32,3	6,8
	vzdrževanje nasadov	28,7	40,4	9,5	23,4	35,5	7,4
	ceste	70,3	99,0	23,3	57,4	87,0	18,2
skupaj		125,1	176,1	41,4	102,2	154,8	32,4
vse skupaj		302,1	425,1	100	246,8	373,7	78,3

D/m³ brut = din na 1 m³ bruto lesne mase, D/m³ sort. = din na 1 m³ izdelanih sortimentov, CP = cena na panju, PC = povprečna prodajna cena sortimentov

pragom (so predrobna, manj od 10 cm prsnega premera) in jih meritev v gozdovih ne zajame. Za našo obravnavo so pomembne poudarjene številke, ki so povprečje za vse razdobje. Vidimo, da so zaradi žleda (in snega) sekali skoraj 2 m³/ha lesa letno. To je skoraj četrtino vseh sečenj.

Nekaj podatkov o posledicah žledenja v drugih gozdovih Notranjske in Dolenjske (Jauhe) je zbranih v preglednici 5. Podatki so iz literature in preračunani v sintetični kazalec izdatnosti žledenja v m³/ha/leto ter v deležu od skupnih sečenj. Zajemajo snegolome in žledolome.

Gornji podatki nam dajejo okvir izdatnosti žledolomov. Upošteva se realne površine in obdobja lahko v okoliščinah, kjer je žled reden in pogost, računano z dejansko izdatnostjo žledoloma od 1,50 m³/ha/letno (predeli od Nanosa in Hrušice do Črnega vrha in Bele) do 2,50 m³/ha/letno in mogoče celo več v predelih idrijskih gozdov okoli Vojskega, kjer je, kot kaže, žledenje najbolj pogosto in izdatno in so (bili) tudi sestoji v najbolj občutljivi razvojni fazi.

Pri presoji gornjih podatkov ne gre pozabiti, da zajemajo le les, ki je bil odkazan in posekan. Tu niso zajeti žledi, ki niso puščali takih posledic, in tudi ne količine lesa in površine gozdov, kjer je žled poškodoval drevje pod pragom meritve (drevje tanjše kot 10 cm na prsnem premeru). Take površine gošč, letvenjakov in tudi drobnejših drogovnjakov, zlasti še v nasadih smreke, pa so lahko kar velike in škoda v njih veliko večja kot v odraslih sestojih.

Kakšno škodo povzroči žled v gozdu je zelo težko oceniti. Vedno in povsod prizadene rabo skoraj vseh funkcij gozda. Njihova vrednost v denarnih enotah pa največkrat ni poznana. Poznane tudi niso ocene, koliko je žled prizadel te funkcije. Zato bom tu upošteval vrednost škod, tako kot so jih ocenjevali različni ocenjevalci pri nas, ko so ocenjevali škode v gozdovih po različnih ujmah. Takih ocen je v Gozdarskem vestniku kar nekaj in so lahko dobro izhodišče za presojo škod zaradi žleda. Narejene so na različne načine, vendar jih je možno toliko poenotiti, da so med seboj primerljive. Kot primer navajam oceno škode v idrijskih gozdovih po žledu leta 1975. Navajam jo zato, ker jo je sestavila do sedaj gotovo najbolj pristojna (strokovna) komisija. V njej so sodelovali 4 doktorji, 1 magister in 5 univ. dipl. inž. gozdarstva. Žled je tu poškodoval 6701 ha gozda. Poškodovane količine lesa pa so prikazane v preglednici 6.

Za negozdarje je potrebno pojasniti, da bruto pomeni les z lubjem in vejicami, čista lesna masa pa le les, debelejši od 7 cm. Odpadek zaradi žleda je razlika med čisto lesno maso in količino izdelanih sortimentov. Odpadek je skoraj 19 %. Nastaja zaradi prelomljenega drevja in drevja, ki ga ni mogoče pravočasno izdelati in zato strohni. Sem sodijo tudi majhne raztresene količine posameznih dreves, ki ostanejo v gozdu.

Višina škode zaradi žleda leta 1975 na Idrijskem je podana in razčlenjena po posameznih postavkah v preglednici 7. Nadstrošek pomeni večje stroške sečnje in transporta, ki vedno nastajajo pri pospravljenju zaradi ujma poškodovanega lesa. Odpadek je vrednost odpadlega lesa (prelomov, ostankov v gozdu), razvrednotenje sortimentov pa škoda zaradi prelomov, preležanega lesa ipd. manjše vrednosti sortimentov. Te tri postavke predstavljajo tudi neposredno škodo, ki je vidna v gozdu. Nestrokovnjaki mislijo, da je to vsa škoda zaradi ujma v gozdu.

Posredna škoda nastaja dolgoročno kot posledica žledoloma v gozdu. Sem sodi zmanjšanje prirastka zaradi predčlenjenih sestojev. Zaradi žledolomov preostalo drevje ne dosega več pričakovane kakovosti, velikokrat pa ga je treba posekati predčasno, to je preden doseže največjo

vrednost. Da bi zmanjšali škodljive posledice žleda, je treba ogolele površine pogozditi in te nasade tudi vzdrževati. Da bi lahko izrabili vso podrti maso pa so velikokrat potrebne dodatne ceste in vlake. Vse to povzroča izdatke, ki jih brez žleda ne bi bilo. To je posredna škoda in je vedno znatno višja od neposredne. V obravnavanem primeru je neposrednih škod le dobrih 40 %. Posredne škode so tako za skoraj 50 % večje od neposrednih.

V zadnjih dveh stolpcih razpredelnice je prikazano, kakšen del (v %) cene lesa na panju ali na tržišču predstavlja posamezna postavka. Ceno lesa na panju skupno s prispevkom za vlaganja v gozdove so takrat ocenili na 180 din/m³ (25 DEM/m³) za iglavce in 70 din/m³ (9,73 DEM/m³) za listavce. V povprečju (za iglavce in listavce) je bila cena 94,4 din (13,12 DEM/m³) za 1 m³ izdelanih sortimentov. Za 1 m³ bruto lesne mase je bila cena 80,8 din (11,23 DEM/m³). Na tržišču (skladišču žage ali na železniški postaji) pa so takrat za 1 m³ izdelanih sortimentov iztržili v povprečju 543 din ali 75,45 DEM.

Podobno kot je komisija ocenila škode za idrijske gozdove, sem po današnjih (leto 2001) cenah in stroških ocenil škode žledoloma iz leta 1975 v revirjih Nanos in Hrušica. Ugotovil sem, da znaša povprečna škoda 2967 SIT/m³ bruto iglavcev in listavcev. Od tega je 45,3 % neposredne in 54,7 % posredne škode. Upošteva se, da je žled poškodoval v zadnjih 30 letih v povprečju 1,91 m³ lesa na 1 ha letno, je tako škoda, preračunana na 1 ha, 5667 SIT letno.

Tveganje pri gospodarjenju z gozdovi zaradi žleda

Varnost gospodarjenja pomeni zanesljivost, verjetnost, da bomo dosegli postavljene cilje gospodarjenja. Nasprotno pa tveganje pomeni verjetnost, da ciljev ne bomo dosegli. Količinsko opredeljeno tveganje pomeni, kakšno škodo bomo najverjetneje utrpeli. Stopnjo tveganja pa opredelimo kot razmerje med najverjetnejšo škodo in pričakovanimi (predvidenimi, načrtovanimi) donosi. Za naš namen bomo tveganje (T) opredelili kot razmerje med škodo zaradi žleda (\mathring{S}) in čistim hektarskim donosom ($\mathring{C}d$). Čisti donos je vrednost enoletnega prirastka na panju. To dobimo, če od prodajne vrednosti lesa odštejemo stroške sečnje, spravila in prevoza. Ocenjena sedanja vrednost čistega donosa je 8133 SIT/ha/leto.

$$T = \frac{S}{\mathring{C}d} = \frac{5667}{8133} = 69,7 \%$$

Račun pokaže, da je tveganje pri čistem donosu gozda zaradi žleda 70 %. Izračunano tveganje je presenetljivo in zelo visoko. Nastaja dvom ali je resnično. Zato ne bo odveč, če ga obrazložim.

Tveganje je izračunano na osnovi podatkov o gozdovih in dogajanju v njih v zadnjih 30 letih. V tem času so na 1 ha in v 1 letu v povprečju posekali (glej preglednico 4) 6,88 m³

iglavcev in 1,47 m³ listavcev. Tako visoke sečnje, zlasti pri iglavcih, so bile posledica prav obravnavanih ujm in sušenja jelke. Zaradi takega stanja so v obeh revirjih padle lesne zaloge iglavcev za blizu 40 % in narasle zaloge listavcev za blizu 50 %. Spremenila se je sestava lesne zaloge. Posledično se je zmanjšal tudi prirastek. V tem času je zaradi vsega navedenega v obeh revirjih nastalo okoli 350 ha smrekovih nasadov, ki še ne izkazujejo prirastka. Izračunano tveganje je tako visoko, ker sem vrednost škod zaradi žleda v tem razdobju primerjal s stanjem na koncu razdobja. Če tveganje izračunamo na osnovi donosov (sečenj) v obravnavanem razdobju, ugotovimo, da je 26,6 %. Tako izračunano tveganje je znatno nižje in je realno za preteklo razdobje.

Za našo rabo niti ni zelo pomembno, da izračunamo tveganje zelo natančno. Gozdov najbrž nihče ne bo zavaroval (pri zavarovalnici) pred žledom. Take premije gozdarstvo ne prenese. Pomembna pa je presoja, kolikšno je tveganje in ali je tako veliko, da ga kaže upoštevati pri ukrepih v gozdu. Izračunali smo dve realni in istočasno tudi skrajni vrednosti. Realna vrednost je nekje vmes. Vendar tudi če upoštevamo spodnji izračun in ga zaokrožimo na 30 %, kar pomeni, da zaradi žleda trajno izgublamo 30 % čistega donosa, je to ogromno. Prav gotovo je to več, kot prigosporadimo z vsem gojitvenim ukrepanjem za povečanje količine in kakovosti prirastka. Zato mora biti pri negi gozda skrb za stojnost sestojev na prvem mestu.

Študij literature pokaže, da je problem stojnosti sestojev postal aktualen po vsakokratnih ujmah večjega obsega. To velja za naše pa tudi evropske razmere. V zatišjih med ujmami je tudi ta težava utonila v pozabo; toliko globlje, kolikor daljša so zatišja med ujmami.

Ugotovljena stopnja tveganja zaradi žleda je tako velika, da mora postati skrb za stojnost sestojev trajno in povsod, zlasti pa še v notranjskih gozdovih, najpomembnejše vodilo nege drevja in sestojev. To sodi v okvir gojenja gozdov, kjer poznajo in izvajajo ukrepe za krepitev stojnosti. Osnova je ugotovitev, da so škode zaradi vsakovrstnih ujm v neredčenih sestojih in sestojih brez nege veliko večje kot v negovanih. Le spoznanje o njihovi pomembnosti še ni (dovolj) prodrlo v njihovo strategijo. Iz ustrezne literature izhajajo, da s pravilno zasnovo sestoja in negovalnimi prijemi, zlasti redčenji, bistveno vplivamo na stojnost sestojev. Odločilno je dejstvo, da stroka razpolaga z ukrepi, pozna njihov okvir, doseg in uporabnost posameznega ukrepa v opredeljenih okoliščinah. Podrobno navajanje vsega tega sodi v ustrezne učbenike in delavnice za izvedbo določenih smernic. Presega okvir in namen tega sestavka. Za bralce Ujme, za katere sodim, da v večini niso gozdarji, pa ne bo odveč poudariti naslednje.

Redčenja v sestojih so najpomembnejši ukrep nege drevja in sestoja. Z njimi posegamo v sestoje od mladostnih razvojnih faz (letvenjakov) do pred samo pomlajevanje sestojev in snovanje novega gozda. Z njimi uravnavamo rast sestojev v 80 % njihove življenjske dobe. Redčenja lahko vplivajo na združbeno zgradbo sestoja celo bolj od rastišča. Vsa

redčenja pa izvajamo s sečnjami. Sečnja je še vedno, in bo tudi v naprej, najpomembnejši gojitveni ukrep v sestojih. S sečnjami uravnavamo rast in razvoj sestojev in tako dosežemo postavljene cilje, ki poleg proizvodnje lesa zagotavljajo tudi realizacijo vseh drugih vlog gozda. To morajo spoznati tudi vsakovrstni zaščitniki gozdov, ki nasprotujejo sečnjam kar tako, iz principa. Sečnja je torej nujnost. Samo strokovnjak, ki pozna cilje gospodarjenja z gozdovi, obvlada pa tudi delo v gozdu, jo bo lahko izvedel z najmanj škodljivimi stranskimi učinki.

Literatura

Da bi se bralec lažje znašel in poiskal zeleno literaturo s tega področja navajam več virov, kot sem jih uporabil in citiral v tem članku. Navedel sem vire, ki sem jih uporabil v raziskavi Žled v slovenskih gozdovih. *Žledenje, žledolomi, vzroki zanje in njihove posledice ter ukrepi za zagotavljanje stojnosti dreves in sestojev*, 114 st. Izpustil sem le ozko specializirana dela iz statike in mehanike ter gozdarstva.

1. Azarov, E., 1988. Žled v Brkinih in posledice na branikah. *GozdV*, 44 s. 224.
2. Bermik, R., 1966. Katastrofe v gozdovih triglavskega gozdnogospodarskega območja. *GozdV*, 24 s. 270.
3. Blaj, S., 1984. Bitka je dobljena, vojna še traja. *GozdV*, 42 s. 330.
4. Blaj, S., 1985. Idrijske gozdove ponovno doletela katastrofa – žled. *Soški gozdar* 1/1985 s. 37, SGG Tolmin.
5. Bleiweis, S., 1983. Pogostost in obseg škod zaradi ujm v slovenskih gozdovih. *GozdV*, 41 s. 233.
6. Bleiweis, S., 1983. Ujme, njihova pogostost in škoda v slovenskih gozdovih. Naravne nesreče v Sloveniji, Geografski inštitut A. Melika, Ljubljana.
7. Brinar, M., 1954. Katastrofa v idrijskih gozdovih kot vzpodbuda za razmišljanje o stojnosti bukovih sestojev. *GozdV*, 12 s. 129.
8. Chroust, L., 1969. Der Einfluss starker Eingriffe in einem jungen Fichtenbestand. *Fostwiss. Cbl.* 88.
9. Deankovič, T. 1969. Snegolomi v Julijskih Alpah in njihovi vzroki. *GozdV*, 27, s. 223.
10. Hočevar, A., 1976. Požled – za gozdarstvo in številne druge gospodarske panoge škodljiv meteorološki pojav. *GozdV*, 34, s. 105.
11. Jakša, J., 1997. Posledice snežnih in lednih ujm v slovenskih gozdovih v zimah 1995/96 in 1996/97. *GozdV*, 55, s. 263.
12. Kastelec, D., 1997. Pojav žleda v Sloveniji. Elaborat. Hidrometeorološki zavod Slovenije, Ljubljana.
13. Kato, F., Muelder, D., 1969. Baumabstand und Stammstaerken. *Allg. Forst-u. J. Ztg.* 140 s. 101.
14. Kern, J., Zadnik, B., 1987. Žledenje in elektrogozdarstvo. *Ujma* 1, 31–35.
15. Kern, J., 2001. Dokumentacija o žlednih havarijah v Sloveniji v letih 1980, 1985 in 1997 ter o posledicah le-teh na visokonapetostnih daljnovodih. (ni objavljeno)
16. Kordiš, F., 1968. Uspehi gozdnogojitvenih prizadevanj in srednje-ročna gozdnogospodarska prognoza na osnovi številčnih naka-zovalcev. *GozdV*, 26, s. 261.
17. Kordiš, F., 1982. Izkušnje z izbiralnim redčenjem v Sloveniji. *GozdV*, 40, s. 153.

18. Kordiš, F., 1985. Ali idrijskemu gozdu grozi uničenje zaradi požleda. *GozdV*, 43, s. 265.
19. Kordiš, F., 1986. Še o idrijskih gozdovih. *GozdV*, 44, s. 79.
20. Kotar, M., 1974. Izbira drevesnih vrst pri pomlajevanju gozdov. Magistrska naloga. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
21. Kotar, M., 1981. Racionalnost pri izrabi proizvodnih zmogljivosti lesnih zalog. V: *Intenziviranje in racionaliziranje gospodarjenja z gozdovi v SR Sloveniji*. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
22. Kotar, M., 1982a. Redčenje z vidika prirastoslovja in donosnosti gozdov. *GozdV*, 40, s. 193.
23. Kotar, M., 1982b. Redčenje v starejših sestojih smreke in bukve. *GozdV*, 40, s. 365.
24. Krajčič, D., 1996. Primerjava dveh načinov cenitve gozdov. *GozdV*, 54, s. 350.
25. Krajčič, D., 1997. Ocena dolgoročne škode v gozdu zaradi ujme. *GozdV*, 55, s. 286.
26. Kramer, H., 1975. Erhöhung der Produktionssicherheit zur Foerderung einer nachhaltigen Fichtenwirtschaft. *Forstarhiv* 46.
27. Krivec, I., 1985. O posledicah žleda iz l. 1985. *Soški gozdar*, 1/1985 s. 32, SGG Tolmin.
28. Lomilina, L., E., 1977. O vlijanji reljefa na goledno-izmorzevje otloženija. *Meteorologija i gidrologija*, 2, s. 49–55, Moskva.
29. Mikuletič, V., 1976. Požled na Tolminskem. *GozdV*, 34, s. 153.
30. Mlinšek, D., 1966. Gozdnogojitveni problemi in naloge v gorskih smrekovih gozdovih. *GozdV*, 24, s. 257.
31. Mlinšek, D., 1982. Gojenje odraslega gozda. *GozdV*, 40, s. 409.
32. Moehring, B., 1981. Ueber den Zusammenhang zwischen Kronenform und Schneebruchfaelligkeit bei Fichte. *Fostar*. Muenchen.
33. Orožen-Adamič, M., 1985. Žled. Slovenija, pokrajina in ljudje. Mladinska knjiga, Ljubljana.
34. Orožen-Adamič, M., 1987. Žled, pomemben pokrajinski dejavnik. V: *Notranjska*, 14. zborovanje slovenskih geografov, Postojna.
35. Perko, F., 1989. Ekološka niša in gozdarski pomen smreke na jelovo-bukovih rastiščih Visokega krasa. *GozdV*, 47.
36. Perko, F., Pogačnik, J., 1996. Kaj ogroža slovenske gozdove. Zveza gozdarskih društev Slovenije, Ljubljana.
37. Pišlar, I., 1971. Katastrofa v idrijskih gozdovih novembra 1968. leta. *Idrijski razgledi*, 16, 1, s. 43.
38. Radinja, D., 1983. Žledne ujme v Sloveniji. Naravne nesreče v Sloveniji. Geografski institut A. Melika, Ljubljana.
39. Rebula, E., 1969. Posledice neurja iz leta 1965 v gozdovih na območju obrata Cerknica. *GozdV*, 27, s. 210.
40. Rebula, E., 2001. Žled v slovenskih gozdovih. Žledenje, žledolomi, vzroki zanje in njihove posledice ter ukrepi za zagotavljanje stojnosti dreves in sestojev. Tipkopis, Postojna.
41. Schmidt-Vogt, H., 1972. Wachstum und Schneebruchresistenz von Fichtenherkeunhften des Bayerischen Alpenvorlandes, der Bayerischen Alpen und des Bayerischen Waldes. *Forstw. Cbl.* 91 s. 339–357 Hamburg und Berlin.
42. Schmidt-Vogt, H. in sod., 1989. Die Fichte. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
43. Schmid-Has, P, Bachofen, H., 1991. Die Sturmgefaerderung von Einzelbaemen und Bestaenden. *Schweiz. Z. Forstwes.* 142, 6. 477–504.
44. Sočan, B., 1989. Šop v sestoji in njegova statika. Diplomski naloga. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Gozdarski oddelek.
45. Šifrer, M., 1977. Geografski učinki žleda v gozdovih okrog Idrije ter Postojne. Geografski zbornik, SAZU, Ljubljana.
46. Štraus, V., 1954. Redek vremenski pojav. *GozdV*, 12, s. 117.
47. Thomasius, H., 1980. Wissenschaftliche Grundlagen der »Rahmerrichtlinie zur Behandlung bruchgeschaedigter Fichten und Kiefernbestaende«. *Sozial. Forstwirtschaft*. 30.
48. Trontelj, M., 1997. Snegolom ob koncu leta 1995 in januarski žled. *GozdV*, 55, s. 258.
49. Wraber, M., 1950. O vzrokih in posledicah vetroloma na Jelovici. *GozdV*, 8, s. 306.
50. Zupančič, M., 1969. Vetrolomi in snegolomi v Sloveniji v povojni dobi. *GozdV*, 27, s. 193.
51. Zupančič, M., 1982. Razvoj redčenj v novejšem času. *GozdV*, 40, s. 57.
52. Zupančič, M., 1984. Orkanski veter je pustošil v naših gozdovih. *GozdV*, 42, s.187.
53. Žgajnar, L., 1989. Poskus vrednotenja škode zaradi snegoloma na podlagi količinskih in kakovostnih izgub lesne surovine. *GozdV*, 47, s. 420.
54. Žgajnar, L., 1991. Poskus ovrednotenja škode zaradi vetroloma na podlagi količinskih in kakovostnih izgub lesne surovine. *GozdV*, 49, s. 218.
55. N. N., 1981. Škode in sanacija v brkinskih gozdovih. *GozdV*, 39, s. 190.
56. Komisija 1975: Poročilo o katastrofalni škodi, ki jo je povzročil žled novembra 1975 v gozdovih na Tolminskem gozdnogospodarskem območju. Komisija imenovana od ministrstva za MKGP, Ljubljana 1976.
57. Gozdnogospodarski načrti za gospodarsko enoto Nanos in Hrušico za razdobje od 1973–1982, 1983–1992 in 1993–2002. Gozdno gospodarstvo Postojna in Zavod za gozdove Slovenije.
58. Evidenca sečenj in gojitvenih del za gozdnogospodarski enoti Nanos in Hrušica za razdobje 1973–1982 in naprej. Krajevna enota Bukovje.
59. Različni detaljni gozdnogojitveni in sečnosprilni načrti za posamezna delovišča v revirju Nanos in Hrušica iz let 1972–1982. Krajevna enota Bukovje.
60. Karta pogozdovanj zaradi žleda I. 1975. Krajevna enota Bukovje.
61. Gozdarska kronika za leta od 1965 do 2000 za oba revirja.
62. Geološka karta Gozdnega gospodarstva Postojna 1 : 25 000, Geološki zavod Ljubljana 1970.

RAZLITJA NEVARNIH SNOVI IN NJIHOV VPLIV NA PODZEMNO VODO

Toxic Fluid Spills and their Effects on Groundwater

Mihael Brenčič*, Saška Vidmar**

UDK 614.8:556.3

Povzetek

V Sloveniji skoraj vso pitno vodo pridobivamo iz podzemne vode. Da bi ugotovili, kakšen je vpliv izrednih onesnaženj na podzemno vodo, smo analizirali objavljene podatke o nesrečah v Sloveniji. Med vsemi nesrečami jih 13,5 % predstavlja tveganje za onesnaženje podzemne vode. Med vsemi razlitji nevarnih snovi in onesnaženj tal je kar 43 % onesnaženj z različnimi oljnimi snovmi. Razvrstitev nesreč po volumnu razlite nevarne tekočine pokaže, da je pri posamezni nesreči najpogosteje razlito od 10 do 50 l nevarnih snovi, to velja za 54 % vseh nesreč z razlitjem nevarnih snovi. Največ razlitij, kar 53 % se dogodi na medzrnskih vodonosnikih, ki so med vsemi vodonosniki v Sloveniji najbolj obremenjeni.

Abstract

In Slovenia, nearly all drinking water is supplied from groundwater bodies. This is why groundwater protection against toxic pollutant releases is particularly emphasized. With the aim of determining the effects of incident pollutant releases on groundwater, the data published in connection with such accidents in Slovenia was analysed. The analysis revealed that 13.5% of all accidents posed a threat to groundwater. Among all releases of toxic fluids and soil pollution occurrences, the largest share, 43 %, is represented by various oil substances. The most frequent volume of toxic fluid released during an accident is 10 to 50 l, which occurs in 54 % of all toxic fluid releases. The most frequent releases occur in the areas of intergranular porosity aquifers, which account for 53 % of all spill offs. These aquifers represent a major drinking water source in Slovenia.

Uvod

Slovenija je z vodo bogata država. To nam dokazujejo številne reke in jezera pa tudi morje. Zaradi ugodnih geoloških lastnosti je bogata tudi s podzemno vodo, zato skoraj vso pitno vodo pridobivamo z zajemanjem podzemne vode iz najrazličnejših vodonosnikov. Ker so sedimenti in kamnine, iz katerih pridobivamo pitno vodo, zelo dobro prepustni, so napajalna zaledja teh virov obsežna. Za kakovostno zaščito podzemne vode je treba zavarovati skoraj celotno napajalno zaledje zajetega vodnega vira, zato zavarovana območja virov pitne podzemne vode obsegajo velik del države. Kar 22 % ozemlja Slovenije je uvrščeno v predlagana ali zakonsko že sprejeta vodovarstvena območja (Prestor in sod., 1999). Tako velika površina zavarovanih napajalnih zaledij virov pitne vode pa vodi do konfliktov med različnimi uporabniki prostora, saj odloki o zavarovanih območjih virov pitne vode nalagajo številne omejitve.

V Sloveniji smo priča intenzivnemu razvoju številnih dejavnosti, tako industrije kot prometa, storitvenih dejavnosti in še bi lahko naštevali. Vsaka od teh dejavnosti predstavlja določeno tveganje tako za površinske vodne vire kot tudi za vire podzemne vode. Tako ločimo stalno onesnaževanje

in izredno onesnaževanje. Stalno onesnaževanje je posledica emisij onesnaževalcev neke dejavnosti ali procesa z bolj ali manj konstantnim trajanjem. Tako se na primer pri prometu stalno onesnaženje odraža v emisiji izpušnih plinov, ostankih pnevmatik in zavor ter postopkih vzdrževanja vozišč, kot je na primer posipanje vozišča s soljo. (Brenčič in sod., 2000) Stalno onesnaženje se v okolje širi po različnih transportnih poteh. Tako onesnaževalo postane del geokemičnega kroga, v katerem z različno dolgimi zadrževalnimi časi prehaja iz podsistema v podsistem. Do izrednega onesnaženja pride ob raznovrstnih nesrečah. K izrednim onesnaženjem prištevamo tudi razlitja nevarnih snovi, ki imajo izmed vseh nesreč z nevarnimi snovmi največji potencialni vpliv na vodno okolje bodisi tako, da neposredno odtečejo v površinske vodotoke ali pa poniknejo v tla in pronicajo proti gladini podzemne vode.

Kljub temu da so v Sloveniji sistemi varovanja in ukrepanj proti negativnim posledicam nesreč dobro razviti, je vsako razlitje potencialna nevarnost za podzemno vodo. S tem v zvezi se zastavljajo številna vprašanja, predvsem, kako pogosta so razlitja, za katere nevarne snovi gre in na katerih vodonosnikih se dogajajo. Odgovore na ta vprašanja, ki temeljijo na literaturnih podatkih, predstavljamo v nadaljevanju.

* dr. Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, Ljubljana, mbrencic@geo-zs.si

** Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva 12, Ljubljana

Metodologija

Pri analizi razlitij nevarnih snovi smo izhajali iz podatkov o nesrečah, ki so bili objavljeni v reviji Ujma za obdobje štirih let, od 1995 do 1998 (Šipec, 1996, 1997, 1998, 1999). Objavljene sezname nesreč, ki so se dogodile v posameznem koledarskem letu, smo pregledali in izpisali vse nesreče, ki so bile opredeljene kot izlitja nevarnih snovi ali kot onesnaženje tal. Kot izlitja nevarnih snovi smo interpretirali tudi tiste nesreče, pri katerih smo iz opisa sklepali bodisi na onesnaženje tal bodisi vodnega okolja, pa nesreča ni bila neposredno opredeljena kot razlitje ali onesnaženje tal.

Kot izlitja nevarnih snovi so bile opredeljene naslednje nesreče: izlitja nafte, gnojnice, hidravličnega olja, onesnaženje zaradi oljnih madežev, iztok odpadne celuloze, izlitja naftnih derivatov, kerozina, fekalnih vod, plinskega olja, kurilnega olja, muljnega olja in različnih kemikalij. V literarnih virih (Šipec, 1996, 1997, 1998, 1999) so opredeljena tudi onesnaženja tal, vendar je dejansko težko razločevati med razlitjem nevarnih snovi in onesnaženjem tal, saj do slednjega praviloma prihaja zaradi prisotnosti nevarnih tekočin, ki so že prodrla v tla. Razlitja in onesnaženja tal smo razdelili v naslednje razrede:

- razlitja in onesnaženja zaradi gnojnice, fekalij, pesticidov in drugih onesnaževalcev, povezanih s kmetijstvom,
- razlitja in onesnaženja zaradi kislin, umazanije, barv, krvi in drugih onesnaževalcev industrijskega izvora,
- razlitja in onesnaženja zaradi nafte in naftnih madežev,
- razlitja in onesnaženja zaradi plinskih in kurilnih olj ter drugih oljnih snovi.

Glede na volumen razlite nevarne snovi smo na podlagi kvantitativnih podatkov oblikovali naslednje razrede:

Preglednica 1. Razvrstitev razlitij nevarnih snovi glede na volumen

Table 1. Toxic fluid spills according to volume

Razred	Volumen razlite snovi (l)	Kvalitativna opredelitev
1	< 10	izredno majhna
2	10–50	majhna
3	50–300	srednja
4	300–5000	velika
5	> 5000	izredno velika

Vsako od nesreč smo umestili v prostor in to vnesli na hidrogeološko karto Slovenije. Pri analizi je bila kot osnova uporabljena hidrogeološka karta Slovenije v merilu 1 : 250 000 (Kranjc Kušljan in sod., 1995), ki podaja osnovne značilnosti pojavljanja podzemne vode. Izdelana je na podlagi razvrstitve poroznosti sedimentov in kamnin, ki jih najdemo v Sloveniji. Ta razvrstitev je zelo groba, vendar zadošča za potrebe izračuna osnovnih značilnosti razlitij nevarnih snovi na vodonosnikih. Hidrogeološko karto smo za potrebe naše analize dodatno posplošili in med seboj združili nekatere vodonosnike (Brenčič in Rikanović, 2002).

V obravnavani analizi smo podzemno vodo opredelili kot vodo, pod površjem, ne glede na to ali gre za vodo v tleh, sedimentih ali kamninah. Izraz podzemna voda uporabljamo tudi za vodo v aluvijalnih in ledeniških zasipih dolin in kotlin, ki je včasih opredeljena kot podtalnica (npr. Ljubljansko polje). Poroznost tvorijo odprtine v kamnini ali sedimentu in so glede na genezo geološkega medija najraznovrstnejših oblik. Kot vodonosnik smo opredelili vse tiste geološke medije, v katerih naletimo na podzemno vodo. Pri tem smo kot implicitno spodnjo mejo merila za opredelitev vodonosnika privzeli, da je v takem geološkem mediju moč izdelati vodnjak za individualno vodoosrbo. Geološki mediji, v katerih je tak zajem podzemne vode malo verjeten, so opredeljeni kot slabo prepustne kamnine in sedimenti.

Uporabljene so bile še naslednje razvrstitve vodonosnikov. Za vodonosnike z medzrnsko poroznostjo je značilen stik med zrni sedimenta, ki tvorijo pore, v katerih se zadržuje podzemna voda. V Sloveniji je ta tip vodonosnikov geološko najmlajši in je razvit predvsem v nevezanih sedimentih. Kot kraške vodonosnike smo opredelili tiste vodonosnike, v katerih prevladujejo kanali. Za te vodonosnike je značilen hiter tok podzemne vode, nastopajo pa predvsem v apnencih in včasih tudi v dolomitih. Za razpoklinske vodonosnike je značilno, da se voda pretaka po razpokah, ti vodonosniki nastopajo predvsem v dolomitih. Kot vodonosniki z dvojno poroznostjo so opredeljene tiste kamnine, v katerih nastopa tako medzrnska, kot tudi razpoklinska poroznost. Določitev teh vodonosnikov je najbolj problematična, saj je o njih na razpolago le malo kvantitativnih podatkov.

Z neposrednimi podatki o vplivu razlitij nevarnih snovi na podzemno vodo ne razpolagamo, pa tudi literatura je skopa z njimi. V vsakdanji praksi in literaturi zasledimo predvsem zahteve po zaščiti podzemne vode, vendar pa je večina teh zahtev podana le na načelni ravni. Da bi se dokopali do vsaj okvirne ocene ogroženosti podzemne vode v Sloveniji, smo izhajali iz preprostega konceptualnega modela hidrološkega kroga, ki je sestavljen iz treh podsistemov. To so podsistemi atmosferske, površinske in podzemne vode. Ker voda v naravi neprestano kroži iz enega sistema v drugega, z vplivom na enega od podsistemov vplivamo tudi na ostala dva podsistema. Vpliv onesnaženja atmosferskega podsistema na podzemno vodo smo v analizi zanemarili. Kot tveganje za onesnaženje podzemne vode smo opredelili le dogodke, ki predstavljajo njeno neposredno onesnaženje, razlitje nevarnih snovi v površinske vodotoke ali onesnaženje tal. Izhajali smo iz predpostavke, da prisotnost takega izrednega onesnaženja predstavlja tveganje za podzemno vodo.

Na hidrogeološko karto Slovenije smo nanesti lokacijo nesreče. Pri tem smo določili le makrolokacijo, saj nas je zanimalo le, na katerem tipu vodonosnika je prišlo do nesreče. Nesreče z razlitjem nevarne snovi ali onesnaženje tal nad določenim tipom vodonosnika pomenijo tveganje za onesnaženje podzemne vode v tem vodonosniku. Z analizo porazdelitve nesreč z razlitjem nevarnih snovi in onesnaženjem tal smo določili pogostost teh nesreč na posameznih tipih vodonosnikov.

Rezultati

V literarnih virih (Šipec, 1996, 1997, 1998, 1999) je bilo opisanih 1094 nesreč, od tega je 318 ali 29 % nesreč predstavljalo tveganje za onesnaženje podzemne vode. Izmed nesreč, ki pomenijo tveganje za podzemno vodo, literarni viri 43 nesreč ali 13,5 % opredelijo kot onesnaženje tal, preostalih 275 ali 86 % nesreč pa je tveganje zaradi razlitja nevarnih snovi. Pri 316 nesrečah, ki predstavljajo tveganje za podzemno vodo, nam je uspelo kvalitativno interpretirati volumen razlite nevarne tekočine, in to so tudi podatki, ki smo jih vključili v nadaljnjo analizo.

Pri 271 nam je uspelo določiti tudi makrolokacijo. Preglednice, iz katerih smo črpali podatke, vselej niso omogočale enoznačne določitve lokacije nesreče. Takšne podatke smo iz nadaljnje analize izločili. Iz podatkov za leto 1994 nismo izločili nobene nesreče, iz podatkov za leto 1995 smo izločili 4 nesreče ali 7 % vseh razlitij nevarnih snovi, v letu 1996 2 nesreči ali 3,5 %, v letu 1997 17 nesreč ali 18 % ter v letu 1998 kar 24 nesreč ali 22 %. Iz celotnega niza 318

nesreč, ki so predstavljale tveganje za podzemno vodo, smo tako izločili 47 nesreč.

V preglednici 2 je pregled števila nesreč po letih. V posameznih rubrikah je število vseh nesreč, sledi število nesreč, ki so predstavljale tveganje za onesnaženje podzemne vode, in nato še število onesnaženj tal. V rubriko število nesreč s tveganjem za podzemno vodo so vključeni tudi podatki za število onesnaženj tal.

Iz preglednice 2 lahko vidimo, da število razlitij nevarnih snovi iz leta v leto narašča, podobno, vendar ne tako izrazito naraščanje opazimo pri številu onesnaženj tal. V letu 1994 ni bila zabeležena nobena nesreča, ki pomeni tveganje za podzemno vodo. Podobno naraščanje števila nesreč po kategorijah opazimo tudi v preglednici 3.

Naraščanje števila nesreč opazimo pri onesnaženjih, ki so povezana s kmetijsko dejavnostjo, pri onesnaženjih z nafto in oljnimi snovmi. Število industrijskih onesnaženj je iz leta v leto bolj ali manj konstantno, število nesreč pa se giblje med

Preglednica 2. Pregled števila nesreč po letih
Table 2. Number of accidents per year

Leto	Število vseh nesreč	Število nesreč s tveganjem za podzemne vode	Število onesnaženj tal
1994	70	0	0
1995	214	57	8
1996	212	58	1
1997	340	94	21
1998	258	109	13
skupaj	1094	318	43

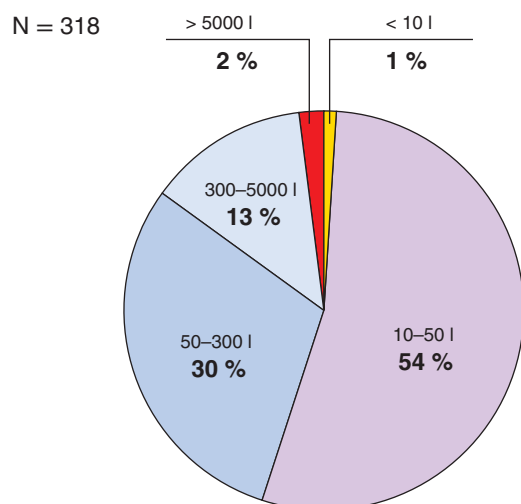
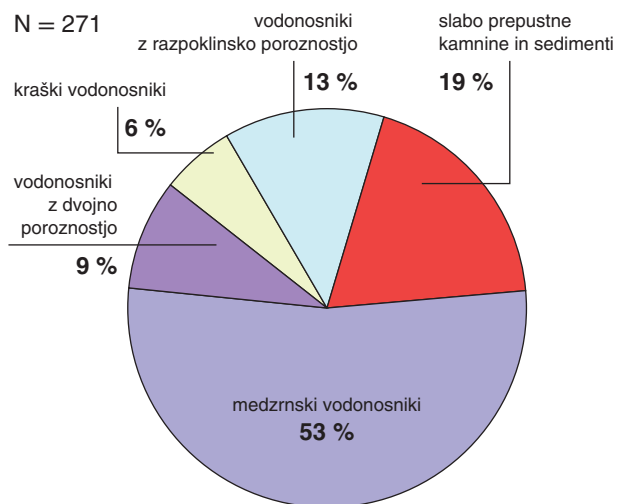
Preglednica 3. Razvrstitev tipov nesreč glede na leta
Table 3. Accidents according to type

Leto	Vrsta onesnaženja				Vsota
	Kmetijska onesnaženja	Industrijska onesnaženja	Naftna onesnaženja	Onesnaženja z oljnimi snovmi	
1995	8	17	5	27	57
1996	8	24	3	24	59
1997	16	22	15	40	93
1998	15	23	14	55	107
vsota	47	86	37	146	316
delež	15	27	12	46	

Preglednica 4. Razdelitev nesreč po letih glede na volumen razlitih snovi

Table 4. Number of accidents according to volume and year

Leto	Volumen razlitih snovi (l)				
	< 10	10–50	50–300	300–5000	> 5000
1995	1	19	25	10	2
1996	1	31	18	8	0
1997	0	61	25	7	1
1998	1	61	28	17	2
skupaj	3	172	96	42	5
delež %	1	54	30	13	2

Slika 1. Razvrstitev nesreč glede na volumen razlitih snovi
Figure 1. Accidents according to volume of toxic fluid spillsSlika 2. Razvrstitev nesreč z razlitjem po vodonosnikih
Figure 2. Accidents with toxic fluid spills in aquifers

Preglednica 5. Razdelitev nesreč po letih glede na vodonosnik, na katerem so se dogodile

Table 5. Accidents according to aquifer and year

	1995	1996	1997	1998	Vsota	Delež (%)
medzrnski vodonosniki	31	26	47	40	144	53
vodonosniki z dvojno poroznostjo	6	8	6	4	24	9
kraški vodonosniki	0	2	6	9	17	6
vodonosniki z razpoklinsko poroznostjo	8	9	7	10	34	12
slabo prepustne kamnine in sedimenti	8	11	11	22	52	19
vsota	53	56	77	85	271	

17 in 24. Po številu nesreč prevladujejo onesnaženja z oljnimi snovmi, ki predstavljajo kar 46 % vseh nesreč, sledijo jim onesnaženja, ki so povezana z industrijo, kjer je bilo zabeleženo 27 % vseh onesnaženj. Onesnaženj, povezanih s kmetijstvom, je 15 % in naftnih onesnaženj 12 %.

Da število nesreč narašča opazimo tudi v preglednici 4, kjer so nesreče prikazane po letih glede na volumen razlitih snovi, vendar ne tako izrazito, kot v prejšnjih preglednicah. Najbolj se je povečalo število nesreč, v katerih se je razlilo od 10 do 50 l nevarnih snovi. Pri preostalih kategorijah bi o izrazitih trendih le stežka govorili. Najpogostejša so razlitja med 10 in 50 l nevarnih snovi, teh je kar 54 %. Sledijo razlitja od 50 do 300 l, ki predstavljajo 30 % vseh razlitij, in nato razlitja od 300 do 5000 l. Manjših razlitij od 10 l je zane-marljivo malo, številka verjetno ne odraža dejanskega stanja. Malo je tudi razlitij, v katerih se je razlilo več kot 5000 l nevarnih snovi. Menimo pa, da je podatek o številu nesreč z razlitjem več kot 5000 l nevarnih snovi zanesljiv, saj so to nesreče velikih razsežnosti, ki jih je težko prikriti. Deleži nesreč glede na volumen razlitih snovi so prikazani na sliki 1.

V preglednici 5 in na sliki 2 je podana razdelitev nesreč po letih glede na vodonosnik, na katerem so se zgodile. Pri vseh kategorijah vodonosnikov je od začetka analiziranega intervala leta 1994 pa do konca leta 1998 opaziti rahlo naraščanje, vendar ni izrazito. Močno prevladujejo nesreče na medzrnskih vodonosnikih, saj predstavljajo kar 53 % vseh nesreč, sledijo nesreče na slabo prepustnih vodonosnikih z 19 %, nato vodonosniki z razpoklinsko poroznostjo z 12 % ter vodonosniki z dvojno poroznostjo, kjer je nesreč 9 %. Nekoliko presenetljiv je nizek delež nesreč na kraških vodonosnikih, ki znaša le 6 %.

Razprava

Predstavljeni rezultati analize izrednih onesnaženj, ki so posledica nesreč v obliki razlitij nevarnih snovi in onesnaženj tal, so le grob pregled dejanskega stanja. Analizo smo naredili le na osnovi literaturnih podatkov (Šipec, 1996, 1997, 1998, 1999). Objavljenih podatkov nismo preverjali. V opisih, podanih v literaturi, so bile navedene le okvirne makrolokacije nesreč. Analiza je temeljila na izhodišču, da vsako razlitje nevarnih snovi in onesnaženje tal predstavlja

potencialni vpliv na podzemno vodo. V ta namen smo pregledali objavljene podatke o nesrečah, ki pomenijo razlitje nevarnih snovi in onesnaženje tal, preverili pa smo tudi njihov položaj glede na hidrogeološke razmere v prostoru.

Analiza je pokazala, da 13,5 % vseh nesreč pomeni tveganje za onesnaženje podzemne vode. Med vsemi razlitji je največ razlitij različnih oljnih snovi, kar 43 %. Razvrstitev nesreč po volumnu razlite nevarne tekočine pa je pokazala, da je najpogostejše razlitje od 10 do 50 l nevarnih snovi. Znotraj tega intervala je 54 % vseh nesreč z razlitjem nevarnih snovi.

V analiziranih podatkih opazimo, da se število nesreč iz leta v leto povečuje, rast pa opazimo tudi pri drugih analiziranih kategorijah. Zastavlja se vprašanje, ali je to posledica dejanskega povečevanja števila nesreč iz leta v leto ali pa gre le za izboljšano evidenco o nesrečah. Menimo, da je naraščanje posledica izboljšane evidence o nesrečah. Če si ogledamo preglednico 2, v kateri je podano število nesreč po letih, opazimo, da v letu 1994 ni bila zabeležena nobena nesreča, ki bi jo lahko opredelili kot tveganje za podzemno vodo, kasneje pa se je to število iz leta v leto povečevalo. Verjetnost, da leta 1994 ni bilo nesreč z razlitjem nevarnih snovi in onesnaženjem tal, je seveda zelo majhna.

Iz objavljenih podatkov tudi sklepamo, da niso bile zabeležene vse nesreče, ki so se dogodile. To lahko potrdimo z analizo preglednice 4, v kateri so zabeleženi volumni razlitih snovi. Kategorija manjših razlitij od 10 l je izrazito podcenjena. To je verjetno posledica tega, da onesnaževalci takšna onesnaženja sanirajo sami, podatkov o razlitjih pa ne sporočajo pristojnim.

Vsako razlitje ali onesnaženje tal je tveganje za podzemno vodo, toda posledice, ki jih imajo razlitja, se od vodonosnika do vodonosnika razlikujejo. Najhujše posledice nastopijo na tistih vodonosnikih, kjer hidrogeološke lastnosti omogočajo hitro širjenje onesnaževal. Takšen vodonosnik označimo kot zelo ranljiv. V Sloveniji so najbolj ranljivi kraški vodonosniki, praviloma jim sledijo medzrnski vodonosnik in vodonosniki z dvojno poroznostjo. Ranljivost vodonosnika pa ni neposredno povezana z obremenitvami vodonosnika z onesnaževali. Te so odvisne od dejavnosti in poselitvenih vzorcev nad vodonosnikom. Tako so obremenitve vodonosnika, nad katerim leži odlagalnišče komunalnih odpadkov, mnogo večje

Preglednica 6. Ocena potencialne obremenjenosti vodonosnika

Table 6. Potential exposure of aquifer

	Delež površine Slovenije (%)	Delež nesreč (%)	Potencialna obremenjenost
medzrnski vodonosniki	22	53	2,4
vodonosniki z dvojno poroznostjo	11	9	1,2
kraški vodonosniki	32	6	0,2
vodonosniki z razpoklinsko poroznostjo	15	13	0,9
slabo prepustne kamnine in sedimenti	20	19	1,1

od obremenitev vodonosnika, ki je pokrit z gozdom. Ranljivost vodonosnika je njegova naravna lastnost (Vrba & Zaporozec, 1994), obremenitev pa je povezana z vrsto dejavnosti, ki jih nad vodonosnikom izvaja človek.

K obremenitvam vodonosnikov prištevamo tudi izredna onesnaženja, ki so posledica nesreč. Na podlagi analiziranih literaturnih podatkov lahko govorimo le o potencialnih obremenitvah vodonosnikov, saj dejanskega vpliva na podzemno vodo, ki bi bil opredeljen s kemičnimi in fizikalnimi lastnostmi vodonosnika ne poznamo.

Največ nesreč z razlitjem nevarnih snovi in z onesnaženjem tal se zgodi na vodonosnikih z medzrsko poroznostjo, kar 53 %. Na drugih vodonosnikih je nesreč manj. V preglednici 6 so prikazani deleži površin posameznih vodonosnikov. Največjo površino zavzemajo kraški vodonosniki z 32 %, sledijo medzrski vodonosniki z 22 %, deleži preostalih vodonosnikov so nekoliko nižji (Brenčič in Rikanović, 2002). Če izhajamo iz dejstva, da vsako razlitje nevarnih snovi in onesnaženje tal pomeni potencialno tveganje za onesnaženje podzemne vode, lahko ugotovimo, da je potencialna obremenjenost medzrskih vodonosnikov mnogo večja od potencialne obremenjenosti preostalih vodonosnikov.

Da bi ugotovili potencialno obremenjenost posameznih tipov vodonosnikov, smo parameter potencialne obremenjenosti vodonosnika definirali kot kvocient med deležem nesreč, ki so se zgodile na tem vodonosniku, in med deležem površine, ki jo pokriva ta vodonosnik.

$$P_i = \frac{x_A}{x_V}$$

P_i – potencialna obremenjenost posameznega vodonosnika
 x_A – delež nesreč, ki so se dogodile na posameznem tipu vodonosnika
 x_V – delež vodonosnika

Parameter potencialne obremenjenosti vodonosnika interpretiramo kot stopnjo povečanega ali zmanjšanega tveganja onesnaženja podzemne vode glede na povprečno stopnjo onesnaženja zaradi nesreč z razlitjem nevarnih snovi. Vrednost parametra okoli ena kaže na to, da imamo opraviti s povprečno obremenjenostjo vodonosnika. Primerjava podatkov za posamezne vodonosnike pokaže, da so potencialno najbolj obremenjeni medzrski vodonosniki. Vrednost parametra potencialne obremenjenosti znaša 2,4. Presenetljivo nizko vrednost potencialne obremenjenosti imajo kraški vodonosniki, saj znaša le 0,2. Preostali vodonosniki imajo vrednost parametra okoli 1, kar kaže na povprečno obremenjenost. Vzrok za visoko potencialno obremenjenost medzrskih vodonosnikov leži v tem, da so skoraj vsa velika naselja zgrajena v dolinah in kotlinah, kjer je postavljena večina industrije in se odvija tudi večina storitvenih dejavnosti. Dodatni vzrok za tako visoko potencialno obremenjenost

medzrskih vodonosnikov je verjetno tudi v tem, da so podatki o onesnaženjih teh območij zaradi visoke stopnje urbanizacije tudi najbolj zanesljivi. Nekoliko preseneča zelo nizka vrednost parametra za kraške vodonosnike. Vzrokov za to iz podatkov, ki so na razpolago, ni moč razbrati. Vsekakor pa ne smemo prezreti, da je kraški vodonosnik zelo ranljiv in da ima že majhno onesnaženje podzemne vode na krasu mnogo hujše posledice kot v drugih vodonosnikih, zato je treba kljub relativno majhnemu številu nesreč, njegovemu varovanju posvetiti vso pozornost.

Podzemna voda je v Sloveniji skoraj edini vir pitne vode, zato moramo njeni zaščiti posvetiti vso pozornost, tako s stališča normativnega varovanja kot tudi s praktičnimi zaščitnimi posegi, kot so gradbenotehnične rešitve in fizično varovanje napajalnih zaledij zajetih vodnih virov. Ustrezna zaščita podzemnih virov pitne vode terja velika sredstva, ki so le redkokdaj na razpolago v celoti. Zaradi nenehnega pomanjkanja finančnih virov moramo zaščiti podzemne vode največjo pozornost posvetiti tam, kjer je tveganje največje. Natančna ocena tveganja pa je možna le na podlagi analize podatkov o dejanskih onesnaženjih in njihovih značilnostih. Analiza, ki smo jo predstavili v članku, je osnova za nadaljnje analize tveganj, temelječe na verjetnostnih modelih. Te analize morajo biti upoštewane pri izvajanju posegov na terenu in v strokovno podprtih odločitvah, povezanih z zaščito in izkoriščanjem podzemne vode.

Literatura

- Brenčič, M., Ajdič, M., Ločniškar, A., Petkovšek, A., Prestor, J., Žmavc, J., 2000. Zaščita podzemne vode na območju avtocest. V: Referati. 5. slovenski kongres o cestah in prometu Bled. Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, 9.
- Brenčič, M., Rikanović, R., 2002. Groundwater and road network interactions – case study from Slovenia. *Geologija*, 47 (v pripravi).
- Kranjc Kušljan, S., Žlebnič, L., Drobne, F., Bizjak, M., Strojani, M., Andjelić, J., 1995. Bilanca podzemne vode v Sloveniji – poročilo o delu v okviru raziskovalne naloge. Arhiv Geološkega zavoda Slovenije, 28.
- Prestor, J., Brenčič, M., Mali, N., Janža, M., 1999. Varstveni pasovi. V: Komac, M. (ur.): Ogrožanje vodnih virov in nevarne snovi v pitni vodi (zbornik predavanj). ZTI – Zavod za tehnično izobraževanje, 39–51.
- Šipec, S., 1996. Naravne nesreče leta 1995. *Ujma*, 10, 20–28.
- Šipec, S., 1997. Pregled nesreč leta 1996. *Ujma*, 11, 7–14.
- Šipec, S., 1998. Pregled naravnih in drugih nesreč v Sloveniji leta 1997. *Ujma*, 12, 7–19.
- Šipec, S., 1999. Pregled naravnih in drugih nesreč v Sloveniji leta 1998. *Ujma*, 13, 30–44.
- Vrba, J., Zaporozec, A. (ed.), 1994. Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. Hannover, Heise, 131.

KRAS, ONESNAŽEVANJE VODE IN PREVENTIVA

Karst, Water Pollution and Prevention

Ivan Gams* UDK 556.3(497.4 Kras)

Povzetek

Primerjava mesečnih koeficientov rečnega odtoka s padavinami v kraških porečjih Slovenije je izvor teze, da je vodna kapaciteta dinamične vode v krasu in nekrasu podobna. To zanika obstoj povečane kraške retencije vode. Posledično iz tega sledi, da je tudi retencijska sposobnost zemlje na krasu podobna kot na nekrasu, kar je neskladno s splošnim mnenjem. Poskusni izlivi vode s sledilom v vrtino ali njenim razpršenjem po površinski zemlji ob sočasnem vzorčenju prenicajoče vode v Planinski in Postojnski jami dokazujejo bistveno podaljšano pretakanje v vadozni coni v drugem primeru. Iz te ugotovitve sledi navodilo za ukrepanje ob izlitju onesnažene tekočine ob nesreči: preprečevati je treba izliv naravnost v skalne odprtine, gnojevko je treba razprševati po njivah le v vegetacijskem obdobju, ko evapotranspiracija zmanjša retencijsko talno vodo. Vloga hidrogeoloških razlik v različnih kraških tipih je posebej poudarjena.

Abstract

The comparison of monthly river flow rates with precipitation in drainage areas of the Slovene karst has led to the assumption that the dynamic ground water capacities of the karst and nonkarst regions are similar. This denies the general belief in the increased water retention of the Karst, and consequently means that karst areas have nearly the same soil retention water capacity as nonkarst areas. Experimental spills of water with an added tracer into boreholes or its dispersion over soil, and the simultaneous sampling of percolation water in the Planina and Postojna Caves have proved that water percolates through the vadose zone much more slowly in the second case. This finding has led to the formulation of guidelines for instant response to accidental spills of polluted liquids in the vadose zone: any direct inflows into openings in rocks should be prevented; stable manure mixed with water should be sprayed on fields only in the growing season, when evapotranspiration reduces the retention of water in soil. The role of hydrogeological diversity in different karst types is also discussed.

Uvod

Po splošnem prepričanju so značilnosti krasa med drugim značilna kraška vodna retencija, malo zemlje in šibka sposobnost očiščenja vodnih tokov med podzemljskim pretakanjem. Tako posplošeno mnenje ne upošteva hidroloških različnosti kot posledico kraških tipov in ni dober usmerjevalec zasilnega ukrepanja ob nepričakovanem izlivu polutantov v kras, ki zavzema 44 % Slovenije.

Vprašanje vodne retencije in debeline tal

Z izrazom vodna retencija označujemo zadrževanje visokih vodnih iztokov iz globinskega krasa. Predstave o veliki retenciji so nastale na ugotovitvah, da imata na primer Milavčev izvir Malenščice in Bistra pri Vrhniku razmeroma majhen obseg pretočnega nihanja med visoko in nizko vodo (Jenko, 1959). Zdaj vemo, da se del vode iz zaledja Bistre ob visokem vodostaju odliva v malo višje vrhniške izvire Ljubljani, iz zaledja Milavčevega izvira pa skozi višji Rakov rokav Planinske jame. Za vodne razmere v globokem krasu, kjer se rastekajo visoke zaledne vode drugam, je bil vpeljan

izraz geostrukturni vodni režim z dimenzioniranimi izviri (Gams, 1970). Za izračun specifičnega odtoka iz porečja je treba namreč vzeti dimenzionirane in prelivne izvire kot celoto. Izredno visoke nihaje imajo številni prelivni izviri iz skupnega zaledja, ki ob večji suši presahnejo.

Zaradi dokazane podzemljske bifurkacije in menjavanja obsega porečja ob različnih vodostajih in ker je točen obseg porečja v krasu v večini primerov neznan, je nezanesljiv tudi izračun vodne bilance na podlagi padavin in specifičnega rečnega odtoka. Najnovejša vodna bilanca za porečja v Sloveniji, objavljena v knjigi Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije (MOP, Hidrometeorološki zavod RS, 1998), pomeni prvi poskus prilagajanja vodnih odtokov padavinam in evapotranspiraciji. Popravlja merske rezultate merjenj tridesetletnih (1961–1990) padavin in rečnih pretokov in meritev potencialne evapotranspiracije (Pristov, 1998). Zaradi navedenih ovir in posplošitev pomeni ta raziskava iskanje poti do resnice, ki bo zahtevala še mnogo dela.

V preglednici 1 so izmerjeni mesečni rečni pretoki (Kolbezen, 1998) primerjani z reprezentativno padavinsko postajo, ki predstavlja padavinski režim široke okolice, oboje za obdobje 1961–1990. Za obojne podatke so bili izračunani mesečni količniki, v hidrologiji imenovani tudi moduli.

* prof. dr., Ul. Pohorskega bataljona 185, Ljubljana

Preglednica 1. Koeficienti mesečnih odtokov (Q), mesečnih padavin (p), oboje v obdobju 1961–1990 v izbranih kraških porečjih Slovenije in Savinje (za primerjavo) ter razlike med koeficienti. Pozitivne vrednosti so v primeru presežka padavinskega koeficienta nad odtočnim.

Table 1. Monthly flow rates (Q), monthly precipitation (p) in the period from 1961-1990 in selected river basins of Slovenia and the Savinja river basin, and rate variations

Reka	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Jun.	Jul.	Avg.	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.	Letne padavine
Padavinska postaja													
Savinja, Laško													
Q	85	87	113	138	112	105	85	67	79	104	125	103	
Mozirje, p	59	60	74	94	106	157	144	134	122	118	102	118	1311
Q-p	+24	+27	+39	+44	+6	-39	-49	-55	-39	+2	+11	+30	
Krka, Dvor													
Q	90	102	147	149	88	85	64	52	70	103	134	117	
Rob, p	69	71	85	102	100	131	108	119	108	105	116	86	1618
Q-p	+21	+31	+63	+47	-12	-46	-44	-67	-38	-2	+18	+31	
Temenica, Rožni vrh													
Q	103	100	122	119	96	96	86	70	85	90	120	112	
Sevno, p	65	63	84	92	105	140	117	132	111	101	109	80	1216
Q-p	+38	+37	+38	+27	-9	-44	-31	-64	-26	-11	+1	+32	
Lahinja, Gradac													
Q	102	119	159	142	91	63	44	41	63	100	141	137	
Sinji vrh, p	71	77	89	105	102	110	99	111	102	108	132	94	1377
Q-p	+31	+42	+70	+37	-11	-47	-55	-70	-39	-8	+9	+43	
Kolpa, Radenci													
Q	102	103	127	152	94	69	40	43	73	109	151	138	
Osilnica, p	88	90	91	105	87	95	75	94	107	119	144	105	1836
Q-p	+14	+13	+36	+47	+7	-26	-35	-51	-34	-10	+7	+33	
Ljubljana, Vrhnika II													
Q	110	103	119	147	96	84	54	45	69	102	140	134	
Planina, p	92	74	96	105	92	112	92	96	106	110	127	99	1808
Q-p	+18	+29	+23	+42	+4	-28	-38	-51	-37	-8	+13	+35	
Idrija, Podroteja													
Q	112	98	128	138	81	79	58	54	78	110	150	116	
Črni vrh, p	103	85	100	102	88	104	76	85	93	112	138	144	2589
Q-p	-9	+13	+28	+37	-7	-25	-18	-31	-15	-2	+12	+2	
Vipava, Vipava													
Q	101	102	127	149	96	91	55	53	71	101	135	120	
Nanos-Ravnik, p	87	73	89	100	103	122	83	100	104	112	126	97	1838
Q-p	+14	+29	+38	+49	-7	-31	-28	-47	-33	-11	+9	+23	
Rižana, Kubed													
Q	136	135	134	136	83	75	26	32	59	94	152	140	
Podgorje, p	102	85	102	106	91	99	68	99	103	103	131	108	1533
Q-p	+34	+50	+32	+30	-8	-24	-46	-67	-44	-9	+21	+32	
Sava Bohinjka, Sv. Janez													
Q	39	29	40	108	227	185	101	78	109	102	120	58	
Dom na Komni, p	91	65	83	116	78	106	88	87	115	103	162	98	2945
Q-p	-52	-36	-43	-8	+149	+79	+13	-9	-6	-1	-43	-40	

Opomba: Q = pretok p = padavine v mm

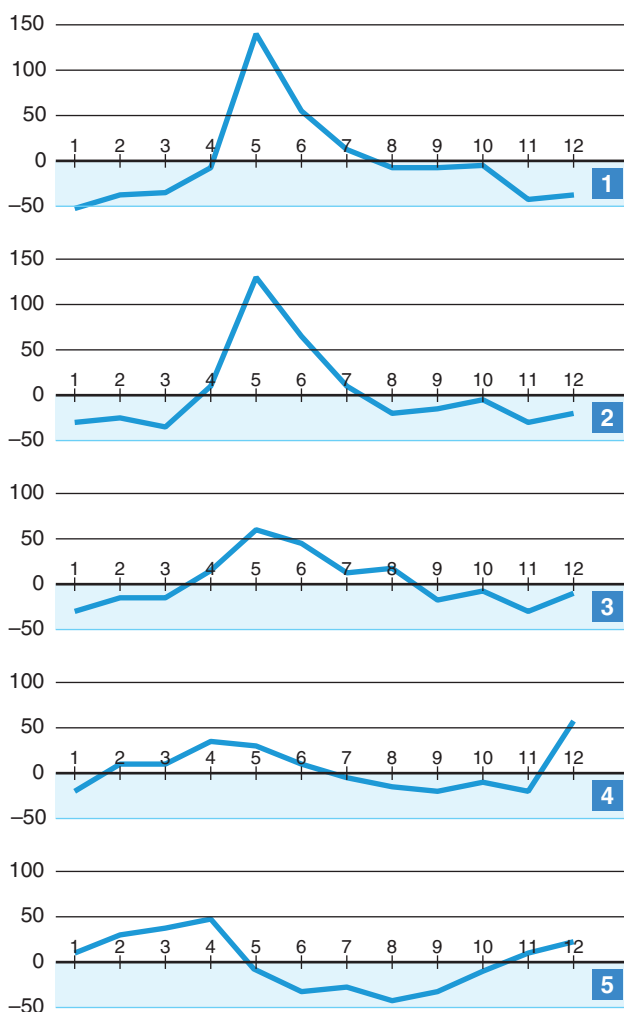
Pretočni količniki so povzeti po Kolbeznu (1998), padavinski pa izračunani po Župančiču (1995). Mesečni količnik 100 pomeni eno dvanajstino letne vsote. V preglednici so pri izbranih kraških porečjih na krasu (in za Savinjo za primerjavo z nekrasom) padavinski in odtočni količniki nad 100 izpisani z debelejšimi številkami.

Skupno vsem porečjem, razen Save Bohinjke, je upadanje pretoka maja in v poletnih mesecih, čeprav so tedaj na Štajerskem in severnem Dolenjskem nadpovprečne padavine, ki večidel presegajo 100 mm na mesec. Avgustovske padavine pri večini presegajo julijske, toda pretok še vedno upada. Avgusta je tudi največji razpon med nizkimi pretoki in padavinami. Največji presežek odtočnega količnika nad padavinskim je aprila. Maja se razlike v glavnem zmanjšujejo.

Na grafikonu (slika 1) so prikazane spremembe v rečnem režimu med Bohinjem in Krasom. Na vrhu je grafikon za Savo Bohinjko z vodomerno postajo pri Sv. Janezu, na dnu za reko Vipavo z vodomerno postajo v Vipavi in vremensko postajo Nanos–Ravnik. Vmes je reka Soča z vodomernimi postajami Kršovec nad Koritnico, Kobarid in Solkan ter z vremenskimi postajami Trenta, Bovec in Kobarid. Trajanje snežne retinence in presežka padavinskega modula nad pretočnim se v smeri proti jugu skrajšuje in obsega

v Bohinju čas med septembrom in aprilom, v Solkanu pa samo še december in januar, izgine pri Vipavi, čeprav spada v njeno porečje še Nanos in del Hrušice. Izraziti presežek padavinskega modula nad odtočnim, ki ga povišuje topljenje snega v gorah, imata Bohinj in Trenta, na Soči pri Solkanu je njegov šibek vrh premaknjen na april. Na Vipavi evapotranspiracija v vegetacijski dobi že preseže padavinski modul, kar traja do začetka novembra, ko je tam višek padavin.

Kako razložiti najnižje poletne pretoke v času največjih padavin, kar je značilno za nižine in sredogorje? Najlažje z evapotranspiracijo. V celinski Sloveniji izhlapi na leto do okoli 500 mm nadmorske višine 650 do 700 mm vode, v višjem pasu do tisoč metrov 600 do 650 mm, najmanj na golem površju nad okoli 2000 m, pod 300 mm, največ v slovenski Istri, nad 750 mm (Pristov, 1998, slika 11). Na poletne mesece je odpade več kot polovica letne vsote. Toda zakaj v vzhodni in jugovzhodni Sloveniji pretok upada še avgusta, ko pa je v toplejšem juliju evapotranspiracija višja? Najverjetnejša je razlaga, da pretok maja in poleti tudi na nizkem in srednje visokem dinarskem krasu uravnava talna vodna zaloga, ki se med majem in septembrom zmanjšuje, zato morajo jesenske padavine najprej zapolniti primanjkljaj vodne zaloge. Na nizkem dolenskem in notranjskem krasu so še oktobra podpovprečni pretoki, čeprav so takrat



Slika 1. Na grafikonih 1–5 je prikazano spreminjanje rečnih režimov med Bohinjem in Vipavsko dolino.

Št. 1 – Sava Bohinjka na vodomerni postaji Sv. Janez in referenčna padavinska postaja Komna.

Št. 2 – Soča na v. p. Kršovec (nad Koritnico) in p. p. Trenta.

Št. 3 – Soča na v. p. Kobarid in padavinska postaja Bovec.

Št. 4 – Soča na v. p. Solkan in p. p. Kobarid.

Št. 5 – Vipava na v. p. Vipava in p. p. Nanos–Ravnik.

Na reki Soči do Solkana izgine vpliv zimske snežne retinence in spomladanskega topljenja snega v gorah, evapotranspiracija pa vedno bolj presega padavine v vegetacijski dobi. Zato traja na Vipavi negativna razlika med odtočnim in padavinskim koeficientoma že pol leta.

Figure 1. Graphs 1–5 show the changes in river regimes between Bohinj and the Vipava Valley.

No. 1 – the Sava Bohinjka River at the St. Janez gauging station and at the Komna reference precipitation station.

No. 2 – the Soča River at the Kršovec gauging station (above the Koritnica) and at the Trenta precipitation station.

No. 3 – the Soča River at the Kobarid gauging station and at the Bovec precipitation station.

No. 4 – the Soča River at the Solkan gauging station and at the Kobarid precipitation station.

No. 5 – the Vipava River at the Vipava gauging station and the Nanos-Ravnik precipitation station.

On the Soča River, the effects of winter snow retention and the spring melting of snow in the mountains disappear at the village of Solkan, while evapotranspiration increasingly exceeds the precipitation rate in the vegetation period. For this reason there has been a negative difference between the flow and precipitation rates on the Vipava River for the past six months.



Slika 2. Vrtače so v geomorfologiji sicer tipične za dinarski kras (slika pri Stavči vasi iz šestdesetih let 20. stoletja), a zavzemajo le nekaj odstotkov njegovega površja. Njive so domala povsod izginile z dna vrtač. (foto: I. Gams)

Figure 2. In geomorphology, sinkholes are typical features of the Dinaric karst (photo taken near Stavča vas in the 1960's), but account for only a very small percentage of its area. Fields have practically disappeared from the bottom of sinkholes (photo: I. Gams).

padavine nadpovprečne ali blizu povprečja. Izjemi sta Idrijca in Kolpa, ki jima vodni odtok dvignejo nadpovprečne visoke oktobrske padavine.

V porečjih dinarskih robnih planot in primorskega krasa je primanjkljaj odtoka glede na padavine poleti in jeseni do vključno oktobra še večji, saj poleti odteče četrtina do polovice vse padle vode in odtočni količniki so manjši od padavinskih kar šest mesecev. V visokogorskih apneniških Alpah (Julijske in Kamniško-Savinjske Alpe, primer Save Bohinjke nad vodomerom pri Sv. Janezu, preglednica 1) bi v globokem krasu pričakovali precejšnjo vodno zalogo, a nastopi nadpovprečni pretok že v prvem mesecu z nadpovprečnimi padavinami, to je v septembru. V preostalih mesecih se nadpovprečne padavine ujemajo z nadpovprečnimi odtoki, razen julija. Velik zimski padavinski presežek in velik poletni odtočni presežek lahko pojasnimo le z zadrževanjem vode v snežni odeji.

Tu uporabljeni izraz talna vodna zaloga pomeni t. i. dinamično vodo, ki je sposobna odtekat v vodni tok, rastline jo lahko uporabijo za fotosintezo, kjer ni rastlinske odeje pa izhlapi v zrak. Oblike te zaloge so različne, obsegajo v glavnem vodo v tleh (v smislu pedološke

tvorbe) in v njenih medzrnskih porah, v krasu pa se zadržuje v skalnatih špranjah, zapoljenih z ilovnato glino in niže sigo, v globinah krasa tudi v zalitih votlinah, zlasti pod piezometrično gladino. Na nekrasu zastaja v neravni skalni podlagi tal (zemlja, prst).

Analiza preglednice 1 omogoča več pomembnih sklepov:

1. V rečnem odtoku iz porečij, ki v glavnem ne segajo prek 1200 m n. v., ni zaslediti zimskega znižanja odtoka zaradi zadrževanja vode v snežni odeji. Doslej so naše rečne režime imenovali dežno-snežne (pluvio-nivalne) in snežno-dežne (nivo-pluvialne). Če beseda režim označuje nihanje mesečnih pretokov, potem je v naši preglednici po znižanem odtoku najbolj izrazita evapotranspiracija v času vegetacijske rasti. Večino režimov teh rek bi v tem smislu morali imenovati evapotranspiracijsko-dežni režim. Izjema je visokogorsko ozemlje, kjer je snežno-dežni režim v naši tabeli očiten pri Savi Bohinjki (nad vodomerom postajo Sv. Janez v Bohinju, nekoliko manj na Soči nad Kršovcem in Kamniški Bistrici nad Kamnikom). Manjše znižanje odtoka od januarja do marca je pri Idrijci in Kolpi (nad Radenci), morebiti izhaja iz zadrževanja vode v snežni odeji. Drugod je snežna odeja manj stanovitna in se praviloma obnavlja znotraj enega meseca.



Slika 3. Severozahodni rob Dolenjskega krasa z okolice Kureščka proti vzhodu (levo zgoraj je ob Turjaku viden hrib sv. Ahac). V pokrajini s prevlado dolomitov so površinski vodni tokovi izjema in malo je tudi kamnitih zemljišč, saj kamnine prekrivajo debela tla. (foto: I. Gams)

Figure 3. Northwestern edge of the Dolenjska karst as seen from the vicinity of Kurešček towards the east (top left: St. Achacius hill is visible alongside Turjak hill). (photo: I. Gams).

2. Med pretežno nekraškim porečjem Savinje in kraškimi porečji v rečnem režimu ni bistvenih razlik. Podoben režim kot Savinja imajo tudi druga nekraška porečja zunaj visokogorja (Gams, 1998).
3. Trditve, da dinamična talna voda pomembno uravnava rečni režim, najbolj očitno v mesecih vegetacijske rasti, sloni na mnenju, da je v njej nakopičena znatna količina vode v krasu in nekrasu.
4. Javno mnenje je, da suše povzročajo izredni izpad padavin. Ugotovitev, da se od maja do septembra talna voda nenehno zmanjšuje zaradi evapotranspiracije, pomeni, da se pri upadanju vode tla najprej osušijo v območju koreninja. Pomeni tudi, da sušnost v večini Slovenije nastaja že pri povprečnih mesečnih padavinah. To potrjuje navada, da vrt zalivamo tudi ob povprečnih poletnih mesečnih padavinah in temperaturah.

Dokaz za to, da vodno bilanco na krasu kot tudi na nekrasu določa predvsem padavinski režim in ne litološka sestava, v omenjeni knjigi o vodni bilanci Slovenije (HMZ Slovenije, 1998) potrjujejo karte (slike), ki prikazujejo specifični odtok (slika 5), odtočni količnik (slika 7) in izhlapevanje (slika 11). Na njih ni prepoznavni sklenjenega dinarskega krasa in njegovega stika z nekrasom. Tudi Ogrin (2000/2001), ki je

primerjal debelinski prirast dreves z mesečnimi temperaturami in padavinami, v submediteranski Sloveniji ni našel razlik med flišem in karbonatno podlago.

Vprašanja, ki izhajajo iz teh navedb, odpirajo diskusijo o vodni bilanci nasploh. V primerjavi z nekrasom je dinamične talne vode v globinah krasa nedvomno nekoliko več. Posledično bi jo moralo biti manj v površinski zemlji (prsti, tleh). Da se v odeji prsti dalj časa zadržuje zlasti poletna talna voda, je potrdilo merjenje starosti vode s pomočjo razlik v izotopih ogljika in kisika. Delež obeh izotopov namreč pokaže pritek vode iz tal in iz neposredne dežnice brez daljšega zadrževanja v tleh. 23. junija 1989 je padlo po predhodnem dežju v okolici 19,5 mm dežja, a je v Županovo jamo skozi strop priteklo le 9,12 % vode z izotopom ^{18}C , torej naravnost iz dežja. S podobno metodo je bil v Divaški jami ugotovljen iztok pol leta stare vode (Urbas, 1997). V tleh je poleti največ CO_2 , trdota prenikajoče vode v Postojnski in drugih jamah našega podnebja pa je najvišja pozno jeseni (Gams, Kogovšek, 1998), kar tudi nakazuje zastajanje padavinske vode v kraških tleh (zemlji). Zemlje na krasu očitno ni tako malo, kot se nam zdi, kadar gledamo kraško površje od daleč, ko z zemljo pokrite površine v znatni meri zastirajo iz tal štrleči kamni. Kraška tla so bolj težka, glinasta do ilovnato glinasta in imajo



Slika 4. Senadole na Krasu v šestdesetih letih 20. stoletja. Skladno z imenom suhe doline in dveh naselij (Senadole in Senadolice) istega imena (na desnem pobočju) so pred drugo svetovno vojno travniki prevladovali na dnu in na pobočjih, drevje pa je raslo predvsem na parcelnih mejah. Čeprav prevladujejo apnenci, skale ni videti. V ospredju opuščena gmajna na bolj strmem pobočju pod makadamsko cesto. (foto I. Gams)

Figure 4. Senadole in the Karst in the 1960's. As the names of the dry valley and the two villages (Senadole and Senadolice, lying on the right slope) suggest, meadows dominated the bottom of the valley and the slopes in the period before the second world war, while trees grew primarily along the boundaries of land plots. Although limestones are predominant, the rocks are not visible on the surface. In the center is an abandoned common pasture on the steep slope below the gravel road (photo: I. Gams).

večjo retencijsko sposobnost. Izračunana retencija na podlagi njene poroznosti in retencijske kapacitete v odstotkih pornega volumna znaša približno 100 mm pri približno 30 cm debeline zemlje. Kdor je na krasu kdaj odkopal zemljo tudi iz žepov in špranj, je bil navadno presenečen nad njeno količino, zlasti na Krasu in v Dolenjskem podolju oziroma na območju plio-kvartarnih glinastih ilovic.

Čeprav je med apneniškim in dolomitnim (iz triasa) krasom več razlik, v rečnih režimih med bolj dolomitnim porečjem Temenice in med Prečno, ki drenira tudi apneniško Vzhodno Suho krajino, ni bistvene razlike. Število mesecev podpovprečnega odtočnega količnika je pri Krki nad Dvorom, Temenico, Prečno in Lahinjo enako, šest, čeprav predvidevamo v apnencu večje zaloge globinske vode.

Znaten delež onesnaževanja podtalnice in kraških izvirov odpade na gnojevko, na katero je v Ujmi opozarjal že Habič (1982). Živinorejci, ki imajo manjše gnojnične jame, jo morajo vsak mesec razprševati po obdelovalni zemlji.

Razpršena zunaj časa vegetiranja in zapolnitve talne vodne retinence se gnojevka razmeroma hitro preliva v talno vodo in izvire, ki so onesnaženi zlasti z nitrati in dušikom (Rejec Brancelj, 2001). Gnojenje v času nezapolnjene talne vodne zaloge med majem in septembrom je uspešnejše, saj rastline tedaj mnogo bolj izrabijo gnojilo in s tem zmanjšujejo onesnaževanje izvirov, ob višku poletja pa lajša tudi sušnost. Gnojenje samo v vegetacijski dobi bi kmetovalcem omogočil zadosti velik bazen za hranjenje do srede aprila. Družba bi s sredstvi, ki so namenjena naravovarstvu, morala finančno pomagati pri gradnji večjih gnojničnih jam.

Na krasu, zunaj naselij s komunalnim odvajanjem odpadne vode, je voda iz stranišč, greznic in gnojišč navadno speljana do prve »luknje« (špranje, brezna in pod.), ki so jo odkrili med gradnjo stavb. Taka navada je prispevala k temu, da je treba vodovodno vodo na krasu večinoma klorirati. Dosledno bi bilo treba tako navado prekiniti in nanjo misliti tudi pri odobritvi stavbnih načrtov. Zlasti v submediteranski klimi je iz naravovarstvenih razlogov ovčereja bolj primerna kot govedoreja,



Slika 5. Senadole leta 1997. Sklenjeni travniki so ostali po dnu doline pod naseljem Senadole. Naprej proti Štorjam (niso vidne) je gozd porasel tudi dno suhe doline. Tu tako kot drugod za opuščanje obdelovanja ni kriva slaba zemlja, temveč predvsem deagrarijacija. Po l.1869 je število Senadolcev zdrknilo na eno tretjino. (foto I. Gams)

Figure 5. Senadole in 1997. A series of meadows has remained along the bottom of the valley below the village of Senadole. Further on towards Štorje (not visible), the bottom of the dry valley is overgrown by forest. As in other areas, the abandonment of farming activities is not the result of poor soil, but primarily de-agrarianization. After 1869, the population of Senadole decreased by one third (photo: I. Gams).

saj se drobnica pase precej več časa na prostem in posledično manj onesnažuje talno vodo. To velja tudi za gorske pašnike in travnike.

Kritika zaključkov

Točnejše razmerje med padavinskimi in odtočnimi količniki bi ugotovil kvantitativni izračun padlih padavin z upoštevanjem vseh padavinskih postaj in ne le ene v porečju, kot je v preglednici 1. To je v omenjeni knjigi HMZS narejeno v razpravi Pristova (1998), vendar le za letne povprečke 1961–1990. Za boljšo usklajenost padavin z odtokom je količino izmerjenih padavin v višinah nad 1000 m n. v. povečal (do 35 %), ker jih veter nosi prek ombrometra. Po Pennmanu izračunano potencialno evapotranspiracijo je zmanjšal na primorskem krasu za 10 do 15 %, v ravninskem svetu notranje Slovenije za 5 %, v gorskem svetu med 1500 in 2200 m do 40 %, sočasno pa je v gorskem svetu zaradi projekcije reliefa na horizontalno ravnino izhlapevanje povečal. Dejanska odstopanja od navedenih splošnih vred-

nosti pa so mestoma velika. Taki izračuni zato ostajajo približek resnice. To velja tudi za našo preglednico 1. Z njo želimo pokazati na doslej prezrto vprašanje o specifičnih odtokih, ki zahtevajo dodatne raziskave. Ker se del visokih voda iz Šentviške pokrajine domnevno preliva v zgornjo Krko, nizke pa bolj v Prečno, in ker se iz slednje del nizkih voda preliva naravnost v Krko, so njihovi količniki v resnici morebiti rahlo drugačni. Isto velja za vodomerno postajo Ljubljaničnice Vrhnika II, ker se del nizkih voda odteka v Bistvo.

Nedorečena je tudi razlika med sušo in sušnostjo. V hladnih puščavah ne govorijo o suši, če pade povprečna količina padavin, čeprav znaša manj od 100 mm. Tako podnebje je suho ali sušno (aridno). Če ob povprečnih mesečnih padavinah naši na povprečne razmere navajeni kmetovalci poleti ne zaznajo suše, še ni rečeno, da ob večji talni vlagi kulturne rastline ne bi hitreje rasle in bi letina bolje obrodila. Živinorejci ne tarnajo, da na višku poletja trava na prodnih naplavinah že ob povprečnih padavinah slabše raste, in v Istri, da takrat zamre rast poljščin na flišni peščeni zemlji. Ogrin (2000/2001) v Ujmi ugotavlja v submediteranski Sloveniji zmanjšanje debelinskega prirasta dreves ob

podpovprečnih poletnih mesečnih padavinah in nadpovprečnih mesečnih temperaturah, torej ob odklonih. Pri 40 do 50 % zmanjšanih poletnih padavinah je bil debelinski prirast manjši za 25 do 35 %, pri 50 do 70 % povečanih padavinah pa 10 do 20 % večji. Na prodih v celinski Sloveniji so učinki sušnosti manjši kot v Primorju, prirasti pa večji ob nadpovprečnih padavinah in nižji temperaturi. Te ugotovitve zanikajo mnenje, da v Sloveniji za optimalni pridelek povsod zadostujejo povprečne mesečne padavine in zato namakanje ni potrebno. To velja v polni meri za zemljišča na prodno-peščenih, zlasti plitvih naplavinah, kjer je največ obdelovalnih površin, in to nekaj deset metrov nad gladino podtalnice (Gams, 1993). Drevesa na skalnatih prisojnih pobočjih rastejo precej počasneje kot na pokritih z zemljo, čeprav sprejemajo več padavin kot ravnina. To ljudje in gozdarji v zgornjem Posočju zelo dobro vedo. Vse te postavke zahtevajo podrobno preverjanje.

Vprašanje hitrosti pretoka onesnažene vode skozi vadozno cono in v globinskih tokovih ter začasnega preventivnega ukrepanja

Hitrost in način prenicanja vode skozi prepustne karbonatne kamnine najlažje ugotavljamo v jami. Za lociranje enoletnega terminskega merjenja prenikajoče vode so bile med iskanjem trajnega dotoka skozi 80 do 120 m debel apneniški strop v Postojnsko jamo ugotovljene velike razlike v nihanju in količini vode od mesta do mesta. Pritoki, ki po hudem deževju najbolj in najhitreje narastejo, ob suši tudi najprej presahnejo. V letnem povprečju pa dajo največ vode. Njihovo nasprotje je trajno, a navadno počasno kapljanje skozi stropno sigo, nad katero je kanal zasigan še daleč navzgor. Od več kot tisoč mest z dotokom vode po deževju jih je v Starih jamah Postojnske jame trajnih le dober ducat (Gams, 1966).

Isto problematiko je osvetlilo več sledilnih poskusov z vnosom vode s sledilom na površju in vzorčevanjem prenikajoče vode v jami. Poglejmo podrobneje dva primera. Potem ko več časa ni bilo dežja, so v vrtino v apnenčasto dno vrtače vlili 1400 l vode z uraninom, ki so ga pod 120 do 140 m nižjim stropom v Planinski jami zasledili po dveh urah in ga ugotavljali še tri dni. Ob deževju so poskus ponovili in vlili 20 l vode z uraninom, ki se je v jami pojavil v glavnem dotoku devet ur pozneje, kar je štiri in pol krat dlje kot pri prvem poskusu. Uraninu so dodali rodamin, ki so ga z vodo razpršili po površini tal, in to navpično nad merilnimi točkami v jami. Rodamin se je kratkotrajno pojavil na sosednjem mestu in tako razredčen, da so dvomili o uspehu (Kogovšek, Habič, 1980). Drugi poskus je bil opravljen nad Pivko jamo po sušnem vremenu maja 1985, potem ko je padlo 75 mm dežja. V naplavino pri kampu so vlili 30 l vode in po eni uri in pol še 2,9 m³ vode s sledilom. Pod 40 m debelim apneniškim stropom se je dotok v jami odzval s povečanim pre-

tokom čez četrte ure, drugi, bližnji pa šele po dveh dneh, ko je padlo še 44 mm dežja. V jami so registrirali le nekaj odstotkov sledila, ki so ga z vodo vlili na površju (Kogovšek, 1994). Iz teh sledenj izhaja nekaj zaključkov za preventivo:

- pretok skozi vadozno cono bistveno pospeši izlitje večje vodne količine, in če je voda vlita neposredno v skalno razpoko (vrtino),
- prenicanje v skalno podlago in z njim sledilo se bistveno podaljša, onesnaženost pa zmanjša, če vodo razpršimo po površini tal, zlasti če ta niso namočena.

Omenjena spoznanja so lahko vodilo za ukrepanje tudi ob nenadnem izlivu onesnažene tekočine, da bi preprečili nastop večjega vala onesnaženja v vodovodnem zajetju. Preprečiti moramo točkovni izliv polutanta v kras, to je v požiralnik ali ponor (obe pomenita vtok v skalno odprtino). Če drugače ni mogoče, je tako vodo treba razliti po večji površini tam, kjer je krajevno debelejša zemlja. Ta izhod pomaga zlasti v dobi vegetiranja. Ponekod se da onesnaženi površinski tok vsaj začasno zaježiti, da stoječa voda prenika v naplavinska tla razpršeno in počasneje. Onesnaženo Nanoščico so pred izlitjem v Pivko zadržali z na hitro zgrajenimi lovnimi jaški ali pa so v odrezani okljuk prečrpali onesnaženo vodo (Habič, 1988, Knez in drugi, 1995). Pri izlivu iz cisterne na vzpetinah pride kot zasilni ukrep v poštev tudi preusmeritev in razpršitev toka po pobočju, kar upočasni ponikanje v tla. Odvoz onesnažene zemlje je še vedno lažje delo kot dolgotrajno oskrbovanje naselja s pitno vodo, potem ko so vodovod zaprli zaradi onesnaženja. Naravovarstveno najbolj škodljivo je kopičenje odpadkov v breznu ali v kotanji (vrtači) s plitvo prstjo.

Razmeroma močno onesnaženje izvira nastaja, če voda priteka s skalnatega visokogorskega krasa, ker tam ni cedila – humusne prsti. Visokogorskim kočam preostaja rešitev s kemičnimi stranišči ali večjimi cisternami odpadne vode, ki jo je ponekod mogoče s cevjo napeljati do nižje ležeče odeje iz humusne prsti ali s prstjo mešanega grušča. Do višine približno 2100 do 2200 m, do koder ob ugodnih razmerah raste trava, pride v poštev odlivanje v umetno nakopičeno prst, kjer je možno biološko čiščenje na mokrinah. To je zasilna rešitev tudi za odpadno vodo iz planinskih staj in mlekarnic, ki delujejo samo poleti.

Pretočne hitrosti pri navzdolnem prenicanju in njegovo raztekanje v vadozni coni, kot so jih nakazala doslej opisana sledenja nad Planinsko in Pivko jamo, so na apneniškem krasu običajna. Toda ponekod je hitrost zelo upočasnjena. Poglejmo primer vode s sledili, izliti v vrtino nad začetnim Kristalnim rovom Postojnske jame. Tam smo že prej opazili temne mastne madeže, ki so se več let zadrževali na stropu. Leta 1993 so nad tem mestom po dežju na površju vlili 0,5 m³ vode z uraninom. Ko pod približno 100 m debelim apneniškim stropom na osmih merilnih mestih v tem rovu in v sosednjem glavnem jamskem hodniku niso zaznali sledila, so v skalo vlili še 5,5 m³ vode s sledilom. Uranin se je prvič pojavil prej, glavčina pa šele čez tri mesece! V prenicajoči vodi so ga ugotavljali skoraj eno leto in zajeli le del na površju izlitega uranina (Kogovšek, 1995). Vzrok za tako silno počasno prenicanje je pojasnilo geotektonsko kartiranje

Gmajne nad Postojnsko jamo. Nad začetnim Kristalnim rovom poteka stik tektonsko porušene in tektonsko pretrte cone, kjer je skalna gmota drobno pretrta in slabo prepustna (Šebela, 1999, priloga 1 – tektonska zgradba sistema Postojnskih jam). Blizu začetnega Kristalnega rova je v Glavnem rovu v kraju Pralnica kapniški steber, imenovan Storž, ki mu v letih 1962/63 kot enemu redkih v vsej jami ob suši ni zmanjkalo dotoka vode. Je edini, ki se mu trdota med letom domala ni spreminjala (Gams, 1966). Izlítja tekočine s strupi, ki se ne razkrojijo dolgo časa, pri tako počasnem pretakanju pomeni zaprtje vodovodnega zajetja za dolgo dobo. Kamninski vložek, ki tako dolgo zadrži pretok, pomeni tempirano bombo, ki se aktivira precej časa po izlittju in traja dolge mesece. Ker so triasni dolomiti na splošno bolj zdrobljeni in nasploh slabše prepustni, se je bati, da so tam take tempirane bombe gostejše.

Trditev, da podzemeljski vodni tok nima večje sposobnosti samoočiščenja, drži na splošno, a je slednje odvisno od kamnine, hitrosti pretoka, temperature vode in vrste onesnaženja. Po dosedanjih raziskavah samoočiščenja in sprememb hidrokemizma je mogoče trditi, da ima vsak večji podzemeljski tok svoj režim. To so pokazale tudi dvoletne raziskave podzemeljske Pivke med Postojnsko in Planinsko jamo. Na tej poti se zamenja polovica vode, ki potrebuje za vso pot po jami ob suši pet dni, ob visoki vodi pa sedem ur. Med tokom se malo spremenijo koncentracija nitratov, kloridi in razkroj celuloze, bolj pa koncentracija kisikovega dioksida in kemijska potreba po kisiku (KPK5), ki je v Planinski jami pod 80 % zasičenosti. Kritična je poleti na ponoru ob nizki vodi (Sket, Velkovrh, 1980, Kogovšek, 1991). Med ponorom Belščice in izvirov Vipave se dušikove spojine oksidirajo do nitratov (Kogovšek, 1996).

Žal niso bili registrirani in dokumentirani vsi pretekli primeri izlittja nevarnih tekočin na kraškem površju in onesnaženja na izviri. Objavljeni (Habič, 1988, Kogovšek, 1996, in drugi) pa kažejo na velike razlike od primera do primera. Precej je primerov, ko večjega izlittja niso zasledili na nobenem izviro. Tako je zlasti z izlittji naftnih derivatov, ki so lažji od vode in obtičijo na vodni gladini pred sifoni. Klasični primer je izlittje 30.000 l kurilnega olja v tovarni kondenzatorjev v Žužemberku tik ob Krki, ki pa ni steklo vanjo, ker je obtičalo pred sifonom. Take razmere ob izlittju lahko sami improviziramo z zaježitvijo vrhnje vode v potoku. Seveda bolj strokovne ukrepe opravijo reševalne ekipe, preden pa na naš klic prihitijo, je lahko voda že v krasu. Zato je dobro, da osnovno zasilno zaščitno ukrepanje po izlittju pozna čim več občanov. Vnaprej je nemogoče predvideti, na katerem izviro se bo onesnaženje v nevarni obliki pojavilo in ali se sploh bo, ker so kraške zveze ob raznih vodostajih tako različne (Habič, 1981). Ker na mnogih izviri, v katerih se lahko pojavi onesnažena voda, ni mogoče poceni in na hitro organizirati opazovalne službe, je utemeljen predlog, da je treba na vodnem toku pred vodovodnim zajetjem postaviti samoregistrirni električni merilec prevodnosti s sprotnim javljanjem pojava onesnaženosti vodovodni službi (Kogovšek, 1996).

Literatura

- Gams, I., 1966. Faktorji in dinamika korozije na karbonatnih kameninah slovenskega dinarskega in alpskega krasa. *Geografski vestnik*.
- Gams, I., 1970. Maksimiranost kraških podzemeljskih pretokov na primeru ozemlja med Cerkniškim in Planinskim poljem. *Acta carsologica* 5, 171–188.
- Gams, I., 1993. Naravni pogoji za sušo in sušnost tal ter njuno preventivo v Sloveniji. *Ujma*, 7, 7–10.
- Gams, I., 1998. Razlika med mesečnimi koeficienti padavin in odtoka kot metoda členitve rečnih režimov v Sloveniji. *Geografski vestnik*, 70, 9–26.
- Gams, I., Kogovšek, J., 1998. The dynamics of flowstone deposition in the caves Postojnska, Planinska, Taborska and Škocjanske, Slovenia. *Acta carsologica*, 17/1, 18, 229–324.
- Habič, P., 1981. The hydrogeological differentiation of karst area in Slovenia. *Geographica Iugoslavica*, III, Ljubljana, 1982.
- Habič, P., 1988. Ogroženost kraških voda zaradi izlivov škodljivih tekočin. *Ujma*, 2, 83–86.
- Jenko, F., 1959. Hidrologija in vodno gospodarstvo krasa.
- Knez, M., Kogovšek, J., Kranjc, A., Mihevc, A., Šebela, S., Zupan Hajna, N., 1955. National report for Slovenia. V: COST, action 65. Hydrogeological aspects of groundwater protection in Karst areas. European Commission, Final report, 247–260.
- Kogovšek, J., Habič, P., 1980. Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primeru Planinske in Postojnske jame. *Acta carsologica*, 10, 1981, 129–148.
- Kogovšek, J., 1991. The quality of sinking river in the years 1984–1990. *Acta carsologica*, 20, 165–186.
- Kogovšek, J., 1994. Kombinirano sledenje skozi strop Pivške jame. *Naše jame*, 36, 58–66.
- Kogovšek, J., 1995. Some examples of the karst water pollution on the Slovene karst. *Acta carsologica* 24, 303–312.
- Kolbezen, M., 1998. Pretoki, rečni režimi, specifični odtoki, odtočnost rek. V: Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije. Ministrstvo za okolje in prostor – Hidrometeorološki zavod RS. Ljubljana, 25–40.
- Pristov, J., 1980. Padavine. Izhlapenja. Pretoki. Odtoki. Primerjava med izračunanimi in izmerjenimi odtoki. V: Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije. MOP, Hidrometeorološki zavod RS, Ljubljana.
- Rejec Brancelj, I., 2001. Kmetijsko onesnaževanje okolja v Sloveniji. Inštitut za geografijo, Ljubljana, 164 s.
- Ogrin, D., 2000/2001. Vpliv suše na debelinski prirastek dreves. *Ujma* 14–15, 257–260.
- Sket, B., Velkovrh, S., 1980. Postojnsko-Planinski jamski sistem kot model za preučevanje onesnaženja podzemeljskih voda. *Naše jame*, 2001, 22, 27–44.
- Zupančič, B., 1995. Klimatografija Slovenije. Količina padavin 1961–1990. Hidrometeorološki zavod SR, Ljubljana 1995, 366 s.

ONESNAŽEN ZRAK IN GOZD

Polluted Air and Forests

Primož Simončič*, Robert Mavsar**

UDK 630*1:504.3

Povzetek

Izpusti in njihov vpliv na stanje drevja in gozdnih ekosistemov v Sloveniji se spremljajo v okviru Programa spremljanje stanja slovenskih gozdov, ki temelji na ocenjevanju drevja na sistematični mreži vzorčnih ploskev gostote 16×16 km oz. 4×4 km in monitoringu gozdnih ekosistemov na trajnih ploskvah intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov. Program ocenjevanja osutosti drevja na mreži ploskev teče od leta 1985, intenzivni monitoring pa le na ploskvi Preža. Rezultati popisov v letih 1995 in 2000 na mreži z gostoto 4×4 km kažejo na ustalitev zdravstvenega stanja drevja. Kljub zmanjšanju izpustov SO_2 v Sloveniji (v zadnjem desetletju so se skoraj prepolovile) je vpliv onesnaževanja še vedno prisoten zaradi O_3 in izpustov NO_x . Gozd pa je dodatno obremenjen zaradi ekstremnih podnebnih dogodkov.

Abstract

Pollution emissions and their influence on the health of forest trees and ecosystems in Slovenia are monitored within the scope of the »Forest Monitoring Programme«. This is based on the annual inventorying of plots pertaining to the 16×16 km grid and the occasional inventorying of plots with a density of 4×4 km, which was implemented in 1985, while the intensive monitoring program is performed only on selected plots (currently only at the Preža plot). The results of surveys conducted in 1995 and 2000 indicate a relatively stable forest health status. Despite the reduction of SO_2 emissions in Slovenia (by almost 50 %), forest ecosystems are still effected by NO_x and O_3 emissions. Forests are also under considerable stress due to extreme weather events.

Izpusti onesnažil in gozdni ekosistemi

Poleg drugih dejavnikov na stanje drevja in gozdov vpliva tudi vnos onesnaženega zraka. Onesnažen zrak lahko poškoduje drevese neposredno ali posredno prek gozdnih tal. Neposredne poškodbe listja in iglic so povezane z velikimi koncentracijami SO_2 in O_3 v zraku. Vnosi takšnih snovi v gozdove neposredno spreminjajo in motijo življenjske procese v gozdnih ekosistemih in z njimi povezane spremembe življenjskih razmer za normalno rast gozdov. V strateškem dokumentu mednarodnega programa ICP Forest (Vries 1999), v okviru katerega se spremlja stanje gozdov v Evropi, so našteje štiri glavne hipoteze vzročno-posledičnih razmerij med stanjem gozda in rasto drevja ter stresnimi dejavniki:

- hipoteza naravnega stresa – osredotoči se na neugodne vremenske razmere, še posebej na sušo, prisotnost bolezni in škodljivcev kot glavne vzroke škod;
- hipoteza neposrednega vpliva onesnaženega zraka – neugoden vpliv povečanih koncentracij SO_2 , NO_x in O_3 na drevesne krošnje povzroča fiziološko sušo, premeščanje ogljika in s tem oslabitev koreninskega sistema in povečanega spiranja, ki vpliva na foliarne vsebnosti hranil;
- hipoteza zakisanja gozdnih tal – vnos dušika in žvepla posredno vpliva na zakisovanje tal, kar povzroča spiranje bazičnih ionov – hranil in njihovo pomanjkanje (npr. Mg/Ore Mountain), prisotnost toksične oblike aluminija, ki vpliva na slabše uspevanje finih korenin in sprejem nujno potrebnih hranil za gozdno drevje, znižanje vrednosti pH

pa deluje tudi na proces mineralizacije in na večjo mobilnost težkih kovin;

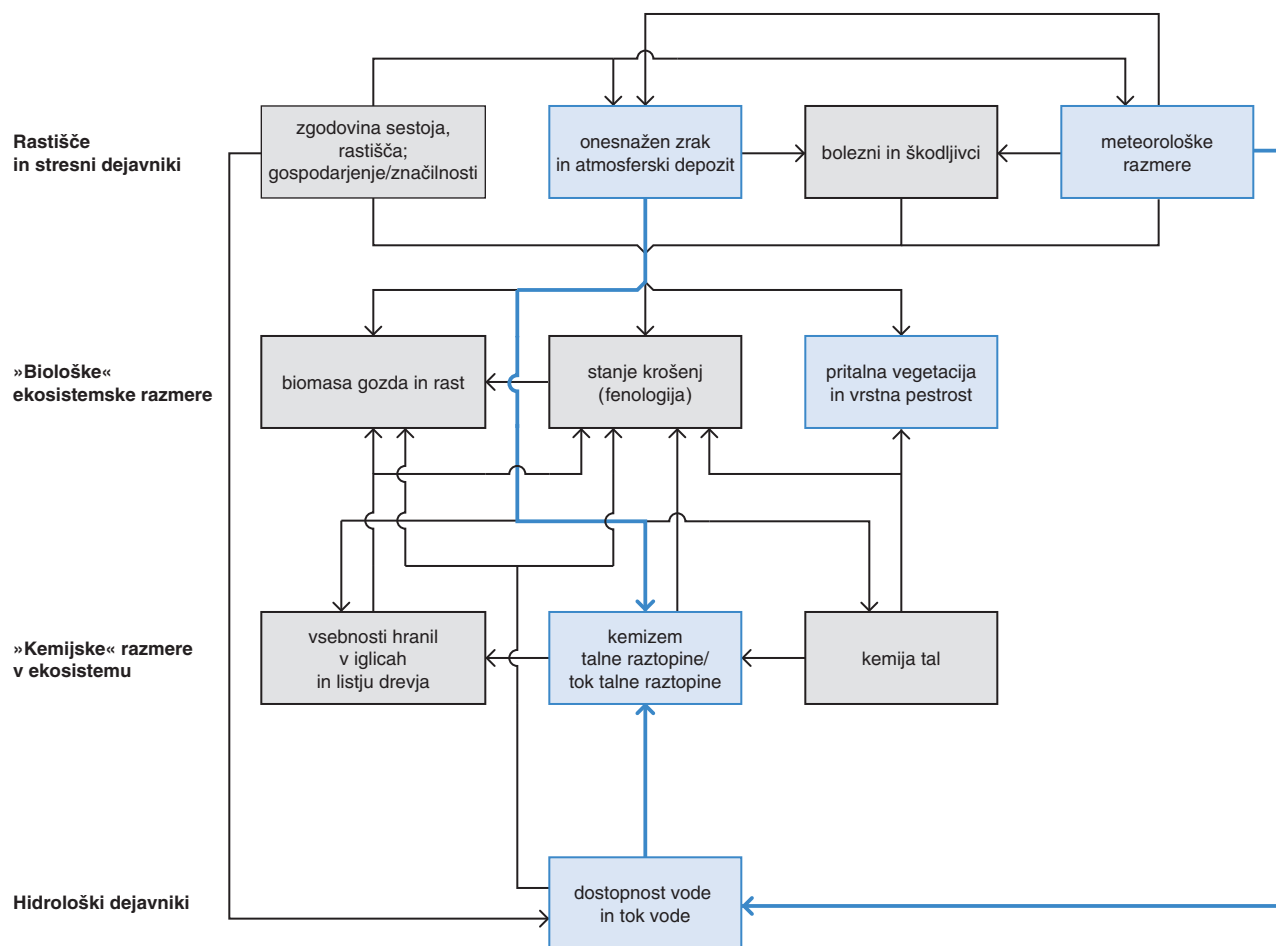
- hipoteza evtrofikacije – povečani vnosi dušika pospešijo rast in povzročijo večje potrebe drevja po ostalih hranilih, povzročijo fiziološko sušo zaradi povečane rasti nadzemne biomase drevja (npr. krošnje), ne pa tudi koreninskega sistema, poveča se občutljivost drevja na naravne stresne dejavnike, npr. zmrzal in bolezni.
- Prva hipoteza se ne navezuje na vnose onesnaženega zraka v gozdne ekosisteme, zadnje tri pa so posredna oz. neposredna posledica vnosov onesnažil v gozd.

Med indikatorje onesnaženega zraka štejemo izpuste SO_2 , NO_x , CO_2 , CO , CH_4 , koncentracije SO_2 , NO_x , O_3 , VOC, CO , dima idr. V gozdne ekosisteme prehajajo kisle padavine, mokre in suhe usedline, težke kovine, ki neposredno in posredno vplivajo na njihovo delovanje.

Glede na naravno raznolikost Slovenije in razpršenost virov izpustov onesnaženega zraka so stresni dejavniki v posameznih okoljih različni. Urbana okolja, industrijski centri, proizvodnja električne energije (termoelektrarne), promet, intenzivno kmetijstvo, gospodinjstva in mala kurišča ter daljinski prenos onesnaženega zraka prek meja države prispevajo, skupaj z naravnimi dejavniki, k razmeram, ki v različnih kombinacijah naštetih hipotez vplivajo na stanje gozdnih ekosistemov. V slovenskem prostoru je kljub trendu zmanjševanja izpustov, predvsem SO_2 , še vedno prisotno t. i. »klasično lokalno onesnaževanje«, predvsem v okolici termoelektričnih objektov (TE Šoštanj in TE Trbovlje)

* dr., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, Ljubljana, primoz.simoncic@gozdis.si

** Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, Ljubljana, robert.mavsar@gozdis.si



Slika 1. Shematski prikaz stresnih dejavnikov in njihov vpliv na stanje gozdnega ekosistema (po VRIES 1999)

Figure 1. Schematic presentation of stress factors and their effects on forest ecosystem status (acc. to VRIES 1999)

Preglednica 1. Pregled ključnih stresnih dejavnikov, ki vplivajo na gozdne ekosisteme po ICP Forests (po VRIES, 1999)
Table 1. Key stress factors affecting forest ecosystems according to ICP Forests (VRIES, 1999)

	Učinek	Ključni stresni dejavniki						
		CO ₂	N	Kislost	O ₃	Kovine	Vreme	Biotski
drevo	Stanje	+	+	+	+	-	+	+
	Rast	+	+	+	+	-	+	+/-
	Hranila	-	+	+	+/-	-	+	-
tla	Kakovost – lastnosti	-	+	+	-	+	-	-
	Vsebnost C	+	+	+	-	+/-	+/-	-
talna raztopina	Kakovost – lastnosti	-	+	+	-	+	+	-
flora	Vrstna raznolikost	-	+	+	+	+/-	+	+/-
fauna	Vrstna raznolikost	-	+/-	+	-	+	-	-

Legenda

+ učinek je pričakovan;

- učinek ni pričakovan;

osenčena polja se navezujejo na izpuste onesnažil

in industrijskih centrov, kot so Celje, Maribor, Ljubljana, Mežica in Črna. Poleg t. i. klasičnega onesnaževanja poteka tudi proces povečevanja koncentracije toplogrednih plinov (TGP; CO₂, CH₄, O₃, NO_x, N₂O, CFC, HFC, SF₆, idr.) in temperature zraka (Ovsenik–Jeglič, 2000).

Toplogredni plini (TPG) vplivajo na stabilnost gozdnih ekosistemov in napovedujejo spremembo razmer za rast dreva in razvoj gozdov, kar potrjujejo različne študije gozdnih ekosistemov v Evropi (Specker, 1996, 1999). Kot možne vzroke povečane rasti v literaturi navajajo naraščanje koncentracij TGP, predvsem CO₂, kot posledico povečanih koncentracij TPG pa tudi spremembe temperatur zraka in padavinskega režima. Zaradi posledic podnebnih sprememb in spremenjenih rastišnih razmer se poveča občutljivost gozdnega dreva na vse številnejše pojave ekstremnih vremenskih razmer (suše, nizke in visoke temperature, neurja) in posledično tudi na boleznin in škodljivce.

Spremljanje stanja gozdov

Stanje gozdov zaradi motenj v njihovi rasti spremljamo v Sloveniji več kot deset let (Šolar, 1997). Med prvimi smo se aktivno vključili v dejavnosti mednarodne skupnosti (od l. 1985), ki s Konvencijo o daljinskem prenosu onesnaženega zraka prepoznava mednarodne razsežnosti tega pojava in izraža skrb za ohranitev gozdov kot najučinkovitejšega varuha okolja (Convention on Long Range Transboundary Air Pollution – CLRTAP, 1979).

Program spremljanja stanja gozdov je bil v Sloveniji zakonsko urejen s sprejetjem Pravilnika o varstvu gozdov (PVG, 2000), ki je usklajen s sprejeto zakonodajo EU in ureja spremljanje stanja na mreži z gostoto 16 × 16 km. Enkrat v 10 letih je predvidena tudi inventarizacija na mreži z gostoto 4 × 4 km.

Metodologija spremljanje stanja gozdov

V Sloveniji izvajamo spremljanje stanja na dveh ravneh:

- I. intenzivnostna raven: velikopovršinska inventura stanja gozdov na nacionalni mreži, katere osnovni namen je pridobiti pregled nad trenutnim stanjem gozdov ter nad časovnimi in prostorskimi spremembami stanja. V okviru te ravni potekajo vsakoletna snemanja stanja gozdov na 43 ploskvah mreže z gostoto 16 × 16 km, vsakih 10 let pa na več kot 700 ploskvah mreže z gostoto 4 × 4 km. Razen snemanja vitalnosti dreva se vsakih 10 let na ploskvah mreže z gostoto 16 km, opravita še popis stanja gozdnih tal in popis preskrbljenosti gozdnega dreva s hranili. Našteti popisi so v skladu z evropsko metodologijo (Manual on methods ..., 1998). Razen tega opravljamo še popise lišajске vegetacije, ki nam služijo kot bioindikator za onesnaženost zraka, saj v večini primerov v bližini ploskev ni postaj za merjenje onesnaženosti zraka.
- II. intenzivnostna raven: za razliko od ravni I., ki je zasnovan velikopovršinsko, so raziskave te ravni namenjene spremljanju učinkov onesnaženega zraka na gozdne

ekosisteme, spoznavanju vzročno-posledičnih povezav med gozdnim ekosistemom in dejavniki, ki nanj vplivajo. Raziskave na tej ravni (trenutno potekajo le eksperimentalno na ploskvi Preža v bližini Kočevske Reke) vključujejo raziskave tal, analize preskrbljenosti dreva s hranili, analize usedlin in talnih raztopin, popis stanja krošenj, dendrometrijske meritve, klimatološke meritve (uporaba podatkov iz EMEP postaje HMZ v Iskrbi), popise vegetacije, itd.

Cilji spremljanja stanja gozdov so :

- spremljanje stanja razvrednotenja in poškodovanosti gozdov (Zakon o gozdovih 1994),
- ugotavljanje vnosov atmosferskega onesnaževanja v gozdu in ocenitev njihovih poti v gozdnih ekosistemih (kopičenje, sproščanje in spiranje),
- priprava podlag za načrtovanje ukrepov za ohranitev in obnovo poškodovanih gozdov,
- zagotavljanje kakovostnih informacij o zdravstvenem stanju gozdnih ekosistemov (s posebnim ozirom na antropogene in naravne stresne dejavnike), na osnovi katerih je mogoče oceniti prostorsko in časovno dinamiko pojava,
- boljše razumevanje vzročno-posledičnih odnosov med stanjem gozdnih ekosistemov na eni in stresnimi dejavniki na drugi strani,
- ocena kritičnih vnosov in obremenitev gozdnih ekosistemov z SO₂, NO_x, NH₃ in težkimi kovinami, upoštevajoč učinke trenutnih obremenitev;
- spodbuditev strokovnih razprav o kritičnih obremenitvah gozdnega okolja in oblikovanje predlogov zakonodajalcu.

V zadnjem dvoletnem obdobju so se cilji programa spremljanja stanja gozdov razširili na področji biotske pestrosti in podnebnih sprememb. V ta namen naj bi program prispeval k razvoju in monitoringu kriterijev in indikatorjev trajnostnega (sonaravnega) gospodarjenja z gozdovi. Takšna razširitev programa intenzivnega spremljanja stanja in aktivnosti ima za cilj:

- oceno nakopičenega ogljika v evropskih gozdovih, izpopolnitev-izboljšanje ocene globalne bilance ogljika in ovrednotenje vpliva podnebnih sprememb v povezavi s TPG na gozdne ekosisteme;
- nadaljnji razvoj in spremljanje indikatorjev, ki se navezujejo na tiste funkcije gozdnih ekosistemov, ki omogočajo njihovo trajnost (npr. zdravstveno stanje gozdnih ekosistemov) oz. proizvodno sposobnost, vrstno sestavo talne vegetacije in zaščitno vlogo tal in vodnih virov.

Popis poškodovanosti dreves v Sloveniji

Kot osnovni kazalnik za oceno zdravstvenega stanja oz. vitalnosti drevesa nam služi osutost. Osutost je v odstotkih izražen delež manjkajočih iglic/listja v primerjavi z normalno olistanim drevesom iste drevesne vrste na istem rastišču. Za poškodovano štejemo tisto drevo, katerega stopnja osutosti je višja od 25 %. Vendar pa onesnaženost zraka ni edini dejavnik, ki vpliva na osutost. Ugotovljeno je namreč bilo, da onesnažen zrak lahko zavira nastajanje novih listov/iglic, ustavlja rast listja in povzroča predčasno

odpadanje, hkrati pa je odpadanje listja/iglic naravni mehanizem, s katerim se tudi popolnoma zdravo drevo odzove na razne strese. Na ta način lahko v sušnem obdobju prepreči prevelike izgube vode. Ker na drevo istočasno vpliva več dejavnikov in njihovih vplivov, je težko ločiti oz. določiti prevladujoč dejavnik, ki vpliva na slabše stanje drevja. To je možno le v primeru, da je posamezen dejavnik zelo močno poudarjen (npr. izredno močna onesnaženost, dolgotrajna suša).

V okviru popisa poleg poškodovanosti dreves vsakih 10 let na ploskvah mreže z gostoto 4 x 4 km izvedemo snemanje epifitskih lišajev. Epifitski lišaji so zavrlo svoje občutljivosti na onesnažen zrak zelo dobri indikatorji čistosti zraka (Batič, Kralj, 1995). Popis temelji na opazovanju prisotnosti, številčnosti in pokrovnosti treh osnovnih lišajskih tipov. Tako ocenjeno stanje lišajskega rastišča številčno izrazimo z indeksom atmosferske čistoče (IAP).

Popis preskrbljenosti gozdnega drevja z mineralnimi hranili

Tako kot popis stanja tal se vsakih 10 let na mreži z gostoto 16 x 16 km opravi popis preskrbljenosti gozdnega drevja z mineralnimi hranili. Z analizo listja in iglic drevja lahko podamo oceno preskrbljenosti drevja z makrohranili (N, P, K, Ca, Mg in S) in obremenjenosti gozda z onesnaženim zrakom (vnosi NO_x, SO₂, težkih kovin) (Kovač in sod., 2000).

Hranila v listju so lahko kazalec kemičnega stresa (npr. pomanjkanja hranil, akumulacije žvepla antropogenega izvora v listju in iglicah drevja, idr.).

Nabrane vzorce se nato po določenem postopku analizira v laboratoriju. Poleg vsebnosti hranil v iglicah in listju drevja sta pomembni tudi njihova medsebojna uravnoteženost in optimalna koncentracija (Simončič, 1997). Rezultati foliarnih analiz kažejo v primeru povečanih vsebnosti nekaterih elementov (npr. S) na neposredni vnos (npr. SO₂) v iglice in listje oz. na kopičenje na površini listja in iglic (težke kovine, prah) (Simončič, 1997).

Rezultati

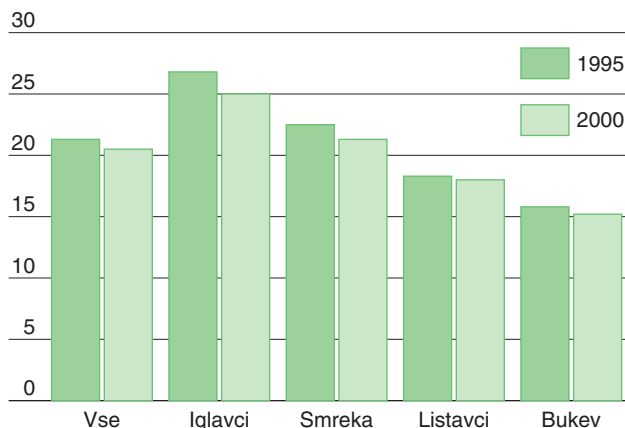
Rezultati popisa spremljanja stanja gozdov na mreži z gostoto 4 x 4 km

V nadaljevanju bomo podali kratek pregled rezultatov popisa na mreži z gostoto 4 x 4 km, ki smo ga v sodelovanju z ZGS izvedli leta 2000 (besedilo je delno povzeto po Hočevar, Mavsar, Kovač, 2001).

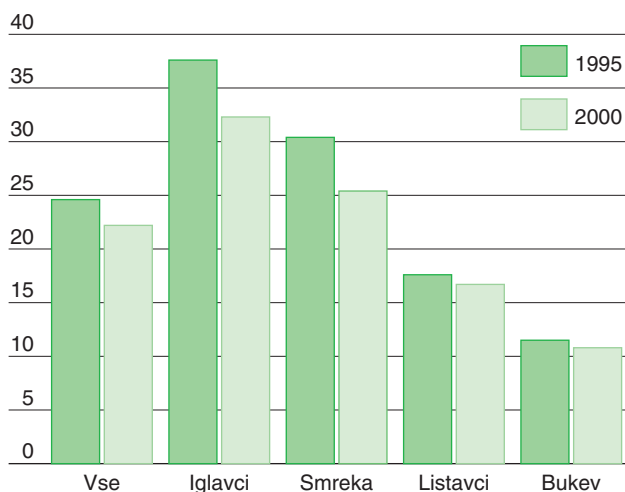
Rezultati popisa so pokazali, da je bila v letu 2000 povprečna osutost dreves 20,5 %. Delež dreves, ki kažejo očitne znake poškodovanosti (osutost drevesa večja kot 25 %), pa je bil 22,2%. To pomeni, da je poškodovano že skoraj vsako

četrtlo drevo, v povprečju pa imajo drevesa za petino manj listja/iglic, kot bi jih imela, če bi bila popolnoma zdrava.

Seveda pa obstajajo razlike tako glede na prostorsko razporejenost poškodb kot tudi med drevesnimi vrstami. Če najprej pogledamo slednje, ugotovimo, da so iglavci, ki imajo poškodovanih skoraj tretjino (32,3 %) v popisu zajetih dreves, bolj prizadeti kot listavci, kjer je poškodovanih »le« 16,7 % dreves, torej polovica manj. Med iglavci sta najbolj poškodovani vrsti jelka, pri tej vrsti je poškodovanih skoraj polovico (48,7 %) dreves, in bori (rdeči in črni bor skupaj), ki imajo poškodovanih skoraj 44 % dreves. Med listavci tako visokih vrednosti sicer ne zasledimo, vendar so se hrasti z 38 % in kostanj s 35 % poškodovanih dreves, kot najbolj poškodovani listasti vrsti, tem vrednostim že precej približali. Nekoliko boljše je stanje smreke in bukve, drevesnih vrst, ki jih v slovenskih gozdovih zasledimo najpogosteje. Bukev z dobro desetino (10,7 %) in smreka s 25 % poškodovanih dreves sta pod povprečjem, ki velja za listavce oz. iglavce.



Slika 2. Primerjava povprečne osutosti v letih 1995 in 2000
Figure 2. Comparison of average defoliation in 1995 and 2000



Slika 3. Primerjava deleža poškodovanih dreves v letih 1995 in 2000
Figure 3. Share of damaged trees in 1995 and 2000

Kar se tiče prostorske razporejenosti poškodovanih gozdov, je bilo ugotovljeno, da se lahko izloči nekaj področij, kjer je stopnja poškodovanosti višja. Izstopajo predvsem širše območje Ljubljane, Zasavje, del Koroške, jugozahodna Slovenija in Kočevska. Medtem ko je glede na lokalne vire onesnaževanja slabo stanje gozdov v prvih treh primerih bolj ali manj pričakovano, je težje razložiti slabo stanje v jugozahodni Sloveniji in na Kočevskem. V obeh primerih gre za področja, kjer ni večjih lokalnih onesnaževalcev, zato gre razlog verjetno iskati v prenosu onesnaženega zraka na velike razdalje, tudi prek državnih meja.

Pri 24 % dreves so bile ugotovljene poškodbe, ki so lahko pripisane znanim povzročiteljem. Vendar je njihov vpliv na poškodovanost drevja majhen, večinoma ne presega 5 % osutosti. Kot povzročitelj se najpogosteje pojavljajo žuželke, sledijo veter, sneg, žled, ostali povzročitelji se pojavljajo redkeje. Izmed drevesnih vrst velja omeniti kostanj, kjer smo pri dobri četrtini dreves zabeležili poškodbe zaradi kostanjevega raka. V povprečju ta povzročitelj na drevesih, kjer je bil opažen, prispeva k osutosti kar 34 %. Pri ostalih drevesnih vrstah ni povzročitelja, ki bi bil tako poudarjen, oz. bi tako močno vplival na osutost dreves.

Primerjava s stanjem leta 1995

Leta 2000 je bil popis na mreži z gostoto 4 x 4 km izveden petič. Zato je možno oceniti tudi trend razvoja poškodb. V primerjavi z letom 1995, ko je bil popis na tej mreži nazadnje opravljen, se stanje v povprečju ni bistveno spremenilo. Povprečna osutost se je zmanjšala za 0,8 %, delež poškodovanih dreves pa za dobra 2 %. Nekoliko drugačna je slika pri posameznih drevesnih vrstah. Zanimivo je, da je stanje pri listavcih ostalo nespremenjeno, pri iglavcih pa se je izboljšalo. Tako je bilo poškodovanih 6 % manj iglastih dreves kot leta 1995. Izboljšanje stanja smo opazili tako pri smreki kot pri jelki. Za slednjo je značilno, da delež

poškodovanih dreves pada že vse od leta 1989, ko je bil kar 76-odstoten. Pri ostalih drevesnih vrstah pa spremembe niso statistično značilne.

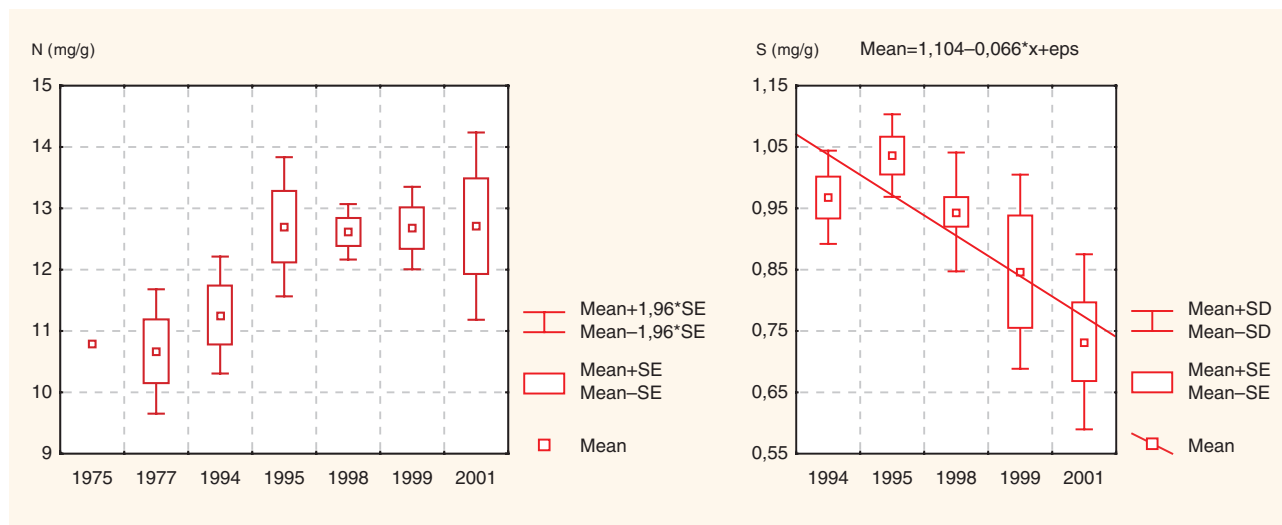
Prostorska porazdelitev poškodovanega drevja je podobna kot leta 1995. V večini primerov je stanje ostalo nespremenjeno. Izjeme so le zahodni del Prekmurja, Kras, severni del Posočja in Zasavje, kjer je prišlo do poslabšanja stanja, ter zgornja Savinjska dolina, kjer se je glede na leto 1995 stanje izboljšalo.

Razmere v Evropi

Podobno kot v Sloveniji tudi drugje v Evropi ugotavljajo, da se zdravstveno stanje gozdov ne slabša s takšno hitrostjo, kot je bilo še ocenjeno v prvi polovici devetdesetih let. Izjema je le mediteranska regija. Tako je bila leta 2000 v Evropi poškodovana skoraj četrtina vseh dreves. Med drevesnimi vrstami, ki so v evropskem prostoru najbolj zastopane, so bili najbolj poškodovani hrasti (dob in graden).

Primerjava stanja v Sloveniji s stanjem v sosednjih državah kaže, da je na Hrvaškem in na Madžarskem stanje zelo podobno, v Italiji je delež poškodovanih dreves nekoliko višji, v Avstriji pa je zaradi specifične metode ocenjevanja že tradicionalno delež precej nižji.

Kljub 15 let trajajočemu evropskemu programu spremljanja zdravstvenega stanja gozdov, ki naj bi z uporabo enotne metodologije omogočil primerjavo med državami, se še vedno pojavljajo razlike. Zato je bolj smiselno primerjati trende razvoja kot absolutne vrednosti. Ti pa kažejo bolj enotno podobo. V večini držav se delež poškodovanih dreves ne večja. V državah, ki so imele v preteklosti zelo močno poškodovane gozdove (Češka, Poljska), so zabeležili celo rahlo izboljšanje stanja.



Slika 4 Vsebnosti dušika (1975/01) in žvepla (1994/01) v enoletnih smrekovih iglicah na Pokljuki (mg/g suhe snovi)

Figure 4. Nitrogen (1975/01) and sulphur content (1994/01) in one-year spruce needles at Pokljuka (mg/g of dry matter)

Preglednica 2. Minimalne, maksimalne in povprečne vsebnosti hranil in kovin v smrekovih iglicah tekočega letnika, vzorčenih na mreži z gostoto 16 × 16 km v Sloveniji, Avstriji in Češki v l. 1995

Table 2. Minimum, maximum and average content of nutrients and metals in spruce needles, sampled on a 16 × 16 km grid in Slovenia, Austria and the Czech Republic in 1995

Hranila	n	N (mg / g)	P (mg / g)	K (mg / g)	Ca (mg / g)	Mg (mg / g)	S (mg / g)
Slovenija povprečje	30	9,40–16,00 12,71	0,57–2,65 1,26	2,83–10,30 6,55	2,20–15,53 6,18	0,75–2,30 1,11	0,79–1,67 1,23
Avstrija povprečje	72	11,32–17,0 13,60	0,96–2,44 1,53	2,63–9,68 6,33	1,69–10,61 4,93	0,77–2,49 1,36	0,78–1,45 0,98
Češka povprečje	34	11,4–18,43 15,17	1,30–2,18 1,60	2,89–9,44 6,27	2,29–7,30 4,23	0,57–1,51 0,99	0,75–1,53 1,04
Kovine	n	Al (mg / kg)	Fe (mg / kg)	Mn (mg / kg)	Zn (mg / kg)	Pb (mg / kg)	Cd (mg / kg)
Slovenija povprečje	30	18–453 71	21–73 42	121–2218 912	21–135 42	0,3–6,9 1,1	< 0,1–1,1 0,3

Preskrbljenost drevja s hranili in vsebnosti težkih kovin v smrekovih iglicah drevja na mreži z gostoto 16 × 16 km

Ocena preskrbljenosti drevja s hranili v l. 1995 na tridesetih traktih mreže z gostoto 16 × 16 km, na katerih prevladuje smreka (na 30 od 43) je pokazala, da je drevje razmeroma slabo preskrbljeno z dušikom, magnezijem in fosforjem ter optimalno s kalcijem in kalijem. Preskrbljenost drevja s hranili smo ovrednotili s pomočjo mejnih vrednosti, povzetih iz literature. Poleg mejnih vrednosti uporabljamo za analizo in vrednotenje rezultatov prehranjenosti drevja tudi razmerja med vsebnostmi hranil, ki so kazalec uravnotežene oz. neuravnotežene prehranjenosti drevja. Takšna razmerja nam povedo, če prihaja v gozdnih ekosistemih do slabljenja ravnovesja, kar je lahko tudi rezultat vpliva onesnaženega zraka na gozdove (evtrofikacija, zakisovanje, upočasnitev hitrosti razkrajjanja in s tem kroženja snovi v naravnih ekosistemih). Razmerja hranil v smrekovih iglicah drevja mreže z gostoto 16 × 16 km kažejo na uravnotežene prehranske razmere drevja kljub nekaterim vsebnostim hranil, ki kažejo na njihovo pomanjkanje.

Če primerjamo vsebnosti hranil v smrekovih iglicah na drevju mreže z gostoto 16 × 16 km v l. 1995 v Sloveniji z avstrijskimi in češkimi, vidimo, da so povprečne vsebnosti kalija, kalcija in žvepla v Sloveniji največje, vsebnosti dušika in fosforja pa najmanjše. Prehranske razmere glede kalcija, kalija in fosforja povezujemo s prevladujočo naravo karbonatne in mešane matične podlage, ki vpliva na naravo preperine in s tem na zaloge bazičnih hranil v tleh ter na oteženo dostopnost fosforja rastlinam. Vsebnosti žvepla v smrekovih iglicah kažejo na povečane vnose SO₂ v slovenskih gozdovih v primerjavi z Avstrijo in Češko. Po l. 1995 nismo izvajali biomonitoringa vnosov SO₂ v gozdu na celotni mreži, s čimer smo izgubili možnost ocene uspešnosti

zmanjševanja izpustov in vnosov žvepla v zadnji polovici preteklega desetletja. Majhne vsebnosti skupnega dušika v smrekovih iglicah v l. 1995 in primerjava z avstrijskimi in češkimi rezultati kažejo na zmerne vnose NO_x v slovenskih gozdovih. Na grafikonu 3 so prikazane vsebnosti dušika in žvepla v enoletnih smrekovih iglicah v primeru dušika vidimo, da se vsebnosti rahlo povečujejo, vsebnosti žvepla pa zmanjšujejo.

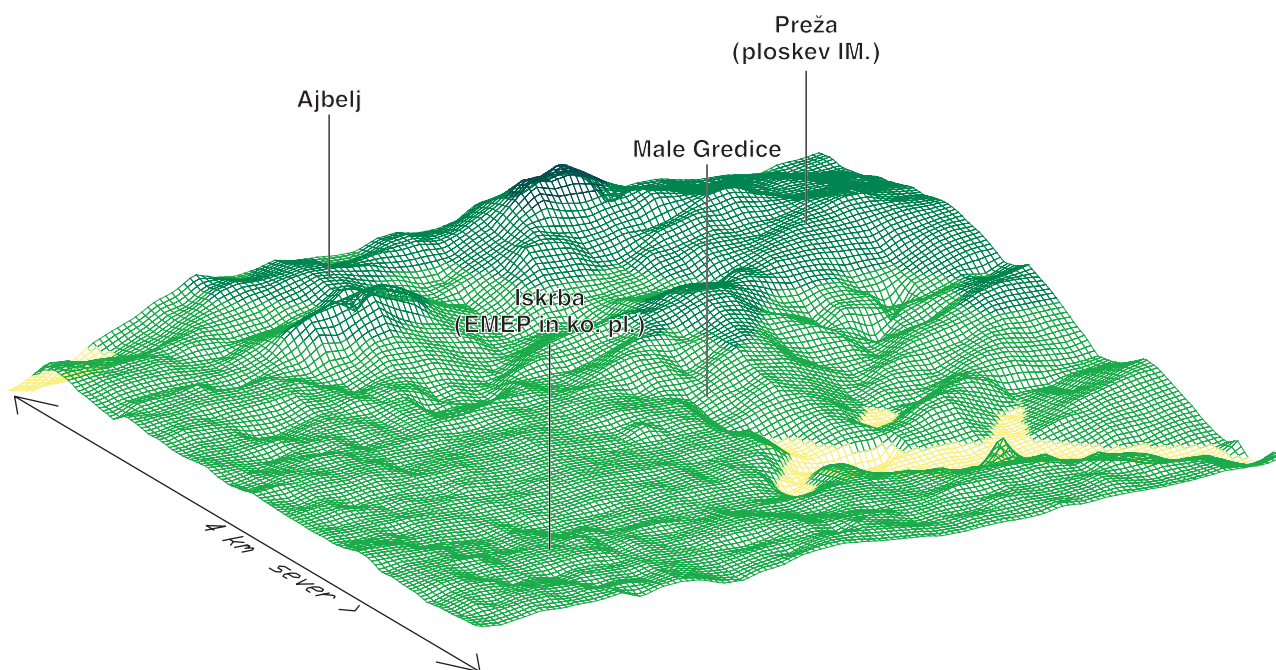
Vsebnosti kovin v smrekovih iglicah, vzorčenih na mreži z gostoto 16 × 16 km v l. 1995 so prikazane v preglednici 2. Transekti z vzorci smrekovih iglic z veliko vsebnostjo kovin se ponavadi nahajajo v okolici industrijskih centrov, kjer se prenašajo v gozd z zračnim transportom ali pa so posledica sestave matične kamnine in tal (opuščeni rudniki, fliš).

Rezultati intenzivnega spremljanja stanja na ploskvi Preža pri Kočevski Reki

Na trajni raziskovalni ploskvi (TRP) Preža pri Kočevski Reki potekajo aktivnosti intenzivnega spremljanja stanja od leta 1999 naprej, v obdobju 1997–1998 pa so potekale podobne aktivnosti v okviru projekta Rizosfera.

Ploskev Preža je velika pol hektarja, na njej je 80 let star bukov sestoj. Talne razmere so pestre, prisotne so apnene skale, nerazvita tla, rendzine, rjava pokarbonatna tla in sprana pokarbonatna tla (Urbančič, 2000, ustni vir).

Redna letna ocenjevanja zdravstvenega stanja na ploskvi Preža se izvajajo od l. 1999. V oceno je vključeno 49 dreves. Na trajni raziskovalni ploskvi Preža je bilo v letu 2001 poškodovanih 18,4 % dreves, povprečna osutost pa je 21,5 %. Skok leta 2000 je predvsem posledica žledoloma v zimi 1999/2000, leta 2001 pa smo ob popisu opazili, da ima bukev semensko leto in posledično zmanjšano rast listja. Oba



Shematski prikaz TRP Preža v sestoji in kontrolne ploskve Iskrba na prostem

Slika 5. Prostorski prikaz raziskovalnih ploskev na območju Mošenika, na katerih se izvaja intenzivno spremljanje stanja gozdnih ekosistemov (ploskev Preža, EMEP postaja Iskrba, vzporedni kontrolni ploskvi Moravske Gredice in Ajbelj).

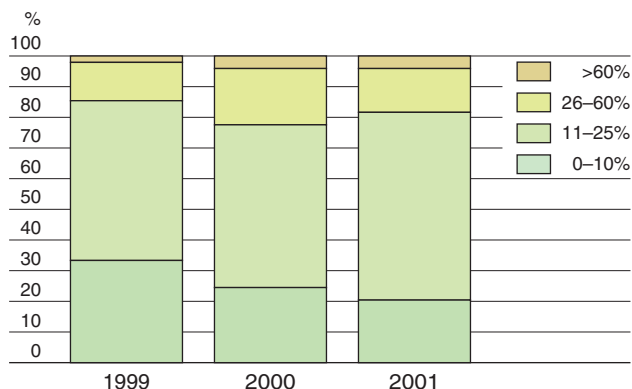
Figure 5. Spatial presentation of sample plots in the Mošenik area, where intensive monitoring of forest ecosystems is conducted (Preža plot, Iskrba EMEP station, parallel control plots Moravske Gredice and Ajbelj)

pojava sta prispevala k povečanju obeh kazalcev zdravstvenega stanja. Primerjava vrednosti s tistimi, ki smo jih dobili z rednimi letnimi popisi na mreži z gostoto 16×16 km za Slovenijo, kaže, da so na TRP Preža vsa leta višje, hkrati pa je tudi trend razvoja drugačen.

V prvih dveh letih (1998–99) smo izmerili na prostem 1540 oz. 1898 mm in v gozdu 1430 mm padavin (kapljevina in tok vode po deblu). Vrednosti pH padavin na prostem in v sestoji so bile med 4,0 in 6,0. Vrednosti pH padavin so po večini večje od 5,6, kar kaže na razmeroma čisto okolje in odsotnost t. i. kislih padavin (padavine so kisle, če je pH-vrednost manjša od 5,6). Letni vnos skupnega dušika s padavinami ($N_{NH_4^+} + N_{NO_3^-}$) je bil 12–17,5 kg N/ha leto⁻¹ na kontrolni ploskvi Iskrba in 13–16 kg N/ha leto⁻¹ v bukovem sestoji na ploskvi Preža (l. 1997 6,5 kg N/ha leto⁻¹). Vnos žvepla v sulfatni obliki s padavinami je bil zunaj gozda 15–16 kg $S_{SO_4^{2-}}$ /ha leto⁻¹, pod krošnjami bukovega sestoja pa 13–15 kg/ha leto⁻¹. Vrednost pH talne raztopine je bila pod organskim horizontom tal 4,92–6,44, 50 cm globlje pa je bila večja od 6,5. Razen s sestojnimi padavinami poteka vnos snovi na gozdna tla tudi z opadom, za katerega ocenjujemo, da prispeva 51–55 kg dušika na ha leto⁻¹ površine, vezanega v bukovem listju.

Ocena spiranja s 50 cm globine gozdnih tal je bila narejena z uporabo kloridne metode za izračun toka talne raztopine. V obdobju 1998–1999 smo ocenili, da se je letno spiralo

3,0–3,9 kg dušika ($N_{NH_4^+} + N_{NO_3^-}$)/ha, 18–20 kg žvepla $S_{SO_4^{2-}}$ /ha in 50–70 kg kalcija/ha. Rezultati meritev so pokazali, da se na ploskvi Preža spirata iz mineralnega dela tal z globine 50 cm predvsem žveplo ($S_{SO_4^{2-}}$) in kalcij, dušik pa ostaja vezan v gozdnem ekosistemu. Karbonatna kamnina in proces raztapljanja dolomita oz. apnenca so vzrok velikem iznosu tega hranila iz ekosistema. Spiranje žvepla v obliki sulfata pa bi lahko bilo posledica večjih vsebnosti žvepla (narava kamnine) v gozdnih tleh, saj je letni



Slika 6. Porazdelitev dreves v razrede osutosti na ploskvi Preža (1999–2001)

Figure 6. Classification of trees into defoliation classes on the Preža plot (1999–2001)



Slika 7. Ploskev Preža pri Kočevski Reki z vzorčevalniki sestojnih usedlin in toka vode po deblu (foto: T. Levanič, 2000)

Figure 7. Preža plot near Kočevska Reka with samplers of trougfall and stemflow

iznos večji od vnosa za 20–25 %. Rezultati dvoletnih meritev toka snovi na TRP Preža so v skladu z rezultati meritev v drugih državah EU (program intenzivnega spremljanja stanja ICP Forests), predvsem glede zadrževanje dušika znotraj gozda in sproščanja žvepla s spiranjem iz gozdnih tal in naj bi bila tipična za razmere v relativno »čistem« oz. z vnosi neobremenjenem okolju.

Sklepne misli

Rezultati zadnjih popisov kažejo na stabilizacijo stanja. Kljub zmanjšanju izpustov SO₂ v Sloveniji (v zadnjem desetletju so se skoraj prepolovili) je vpliv onesnaževanja še vedno prisoten, le da se v višjih koncentracijah pojavljajo druge snovi, katerih delovanje pa za gozd ni nič manj škodljivo (npr. NO_x in O₃). Gozd pa je še dodatno obremenjen zaradi neobičajnih podnebnih razmer (dolgotrajne suše, višje temperature).

Da bi dobili še podrobnejši vpogled v procese, ki potekajo znotraj gozdnega ekosistema, in pridobivali znanja in informacije o vzročno posledičnih povezavah med spremembami gozdnih ekosistemov in dejavniki, ki naj bi bili vzrok sprememb, je treba nujno uvesti celovit sistem intenzivnega spremljanja stanja gozda. V okviru le-tega bi na izbranih lokacijah, ki predstavljajo za Slovenijo značilne gozdne ekosisteme, izvajali natančnejše raziskave stanja drevja, gozdnih tal, talne raztopine, mineralne prehrane drevja, sestave opada, prirastka, pritalne vegetacije, padavin in podnebnih razmer.

Procesi zakisovanja gozdnih tal, evtrofikacije gozdnih sestojev in poškodb drevja zaradi neposrednega vpliva onesnaženega zraka so v Sloveniji omejeni na posamezne lokacije, predvsem v bližini virov onesnaženja, kot so industrijski centri in področja, kjer poteka intenzivno kmetijstvo, kar potrjujejo raziskave v okolici TE Šoštanj (TRP Zavodnje – Prednji Vrh), v Murski Šumi v Prekmurju in na Pokljuki.

Seveda pa spremljanje stanja ni smiselno, če se izsledki spremljanja zdravstvenega stanja gozda ne uporabijo tudi pri izbiri načina gospodarjenja z gozdom in načrtovanju rabe

prostora. Le tako se lahko izognemo pregrobnim posegom v gozd na tistih področjih, kjer je njegova vitalnost že načeta. Vsak poseg namreč pomeni še dodaten stres za gozd.

Literatura

1. Batič, F., Kralj, A., 1995. Bioindikacija onesnaženosti zraka z epifitskimi lišaji. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 47, s. 5–56.
2. Commission Regulation (EEC) No. 1696 / 87 of 10 June 1987 laying down certain detailed rules for the implementation of Council Regulation (EEC) No. 3528 / 86 on the protection of the Community's forests against atmospheric pollution (inventories, network, reports). – 1987, Official Journal of the European Communities No. L 161, s. 1–22.
3. Commission Regulation (EEC) No 1091/94 Of 29 April 1994 laying down certain detailed rules for the implementation of Council Regulation (EEC) No. 3528/86 on the protection of the Community's forests against atmospheric pollution. – 1994, Official Journal of the European Communities No L 125, s. 1–44.
4. Council Regulation (EEC) No 3528/86 of 17 November 1986 on the protection of the Community's forests against atmospheric pollution. - 1986, Official Journal of the European Communities No L 326, s. 2–4.
5. Hočevar, M., Mavsar, R., Kovač, M., 2001. Poškodovano je že skoraj vsako peto drevo: zdravstveno stanje slovenskih gozdov v letu 2000. Delo (Ljubljana), 17. januar 2001, leto 43, št. 13, s. 22, ilustr.
6. Kovač, M., Mavsar, R., Hočevar, M., Simončič, P., Batič, F., 2000. Popis poškodovanosti gozdov in gozdnih ekosistemov: priročnik za terensko snemanje podatkov. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, 74 s.
7. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. – 1998, Hamburg, UN / ECE, 188. s.
8. Mavsar, R., Simončič, P., Batič, F., 2000. Stanje gozdov zaradi onesnaženega zraka v Sloveniji – rezultati monitoringa 1990–1999. V: Komac, Milica (ur.). Varstvo zraka v Sloveniji: zbornik predavanj, 15.–17. november 2000, Ljubljana. Ljubljana: ZTI – Zavod za tehnično izobraževanje, 2000, s. 97–106.
9. Mejač, Ž. (ur.), 2000. Pogajalska izhodišča RS za pogajanja o pristopu k EU. Ljubljana, Republika Slovenija, s. 137–138.
10. Pravilnik o varstvu gozdov (PVG), 2000. Uradni list RS, 92/2000, s. 10233–10302.

11. Ovsenik Jeglič, T., 2000/2001. Globalne podnebne razmere leta 1999 in 2000. Ujma, Ljubljana, 14–15, s. 9–13.
12. Simončič, P., 1997. Preskrbljenost gozdnega drevja z mineralnimi hranili na 16 × 16 km mreži. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 52, s. 251–278.
13. Simončič, P., Kalan, P., Rupel, M., 2000. Kroženje hranil in biomase na raziskovalnih ploskvah. Strokovna in znanstvena dela, 118, Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, s. 90–102.
14. Spiecker, H., 1999. Growth trends in European Forests – do we have sufficient knowledge? Causes and Consequences of Accelerating Tree Growth in Europe, EFI Proceedings, No. 27, s. 157–169.
15. Šolar, M., 1997. Raziskovanje poškodb gozdov zaradi onesnaženja zraka – mejniki. V: Znanje za gozd, Zbornik ob 50. letnici obstoja in delovanja Gozdarskega inštituta, Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, s. 61–79.
16. Urbančič, M., 1997 b. Temeljni izsledki pregleda gozdnih tal na slovenski 16 × 16 km bioindikacijski mreži. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 52, s. 223–250.
17. de Vries, W., 1999. Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe. Evaluation of the Programme in view of its objectives and proposal for the scientific evaluation of the data. EC, UN/ECE, Brussels, Geneva, 32 s.
18. Zakon o gozdovih (ZOG), 1993. Uradni list RS, št. 30/93.

LEGIONARSKA BOLEZEN

Legionnaires' Disease

Miha Likar*

UDK 616.98:578

Povzetek

Legionarsko bolezen so prvič opisali pri medijsko precej odmevni epidemiji pljučnice med veterani in člani Ameriške legije leta 1976 v Filadelfiji. Epidemija je izzvala raziskave, ki so hitro ugotovile, da je epidemijo povzročila bakterija Legionella pneumophila. Spoznali so novo bakterijsko pljučnico. Pregledno prikazujemo oblikovne in fiziološke posebnosti L. pneumophila, laboratorijsko diagnozo legionarske bolezni, njena klinična znamenja in zdravljenje. Poudarek je na epidemiologiji in preprečevanju legionarske bolezni in okužbah z L. pneumophila. Ugotavljamo, da je okužba z legionelo v Sloveniji pogosta in ima vse značilnosti, kakor drugod po svetu. Posebej poudarjamo, da je zgodnje spoznavanje in zdravljenje pomembno, kajti, kadar začno zdraviti legionarsko bolezen pred šestim dnevom po prvih bolezenskih znamenjih, je smrtnost bistveno manjša. Bolezen lahko zdravimo z antibiotiki in je bolnik popolnoma ozdravljen v nekaj tednih.

Abstract

Legionnaires' disease was first described after a widely publicized outbreak of pneumonia among persons attending an American Legion convention in Philadelphia in 1976. The outbreak prompted investigations that defined Legionella pneumophila as an etiologic agent for a new bacterial pneumonia. Presented below is a short review of the morphology of Legionella pneumophila, laboratory diagnosis, clinical signs and the treatment of legionnaires' disease. Special emphasis is given to the epidemiological and preventive aspects of legionnaires' disease and infection with L. pneumophila. Infection with L. pneumophila has also been found to be quite common in Slovenia, with the same characteristics as elsewhere around the world. Early diagnosis is of considerable importance, since treatment up to the 6th day after the first signs of the disease are detected can substantially reduce the mortality of patients. With the use of proper antibiotics, legionnaire's disease can be fully cured within a few weeks.

Epidemija pljučnice pri veteranih in članih Ameriške legije, ki so bili navzoči na kongresu v Filadelfiji leta 1976, je spodbudila raziskave, ki so pokazale, da je bolezen povzročila bakterija, imenovana Legionella pneumophila. Kasneje so odkrili podobne epidemije pljučnice nazaj do leta 1947. Legionel je danes nekaj ducatov in še pri teh poznamo več seroloških tipov. Poglavitni povzročitelj bolezni pri človeku pa je L. pneumophila. Druge vrste legionel redko osamijo pri ljudeh, večino so našli v naravnem okolju.

Legionele so po Gramu negativne paličke, katerih naravno okolje je voda. Človek se nalezje naključno in bolezen se ne prenaša s človeka na človeka. Genetično so identificirali že skoraj 40 vrst legionel in ni dvoma, da je najbolj pomembna L. pneumophila. Glede na podobnosti DNA jo lahko razdelimo v tri podvrste: L. pneumophila, L. fraseri in L. pneumophila. Zadnje so doslej našli le v naravnem okolju. Pri ljudeh prevladuje L. pneumophila serološke skupine 1 (SG1). Nekaj primerov bolezni so opisali tudi pri okužbi z L. pneumophila in L. pneumophila. Drugih legionel pri bolnikih doslej še niso našli.

Legionele povzročajo dva poglavitna klinična sindroma:

- *legionarsko bolezen* – to je pljučnica, ki brez zdravljenja z antibiotiki hitro napreduje. Prizadene navadno dve ali več pljučnih kril. Inkubacija bolezni je 2 do 10 dni. Za bolezen so značilne močno povečana telesna tempe-

ratura, znamenja dihalne stiske, kašelj, duševna zmedenost in drugi znaki, ki kažejo, da je prizadeto tudi živčevje. Smrtnost je velika tudi pri ljudeh, ki so bili pred legionarsko boleznijo docela zdravi. Navadno je okoli 10-odstotna in je večja pri bolnišničnih okužbah, ko so prizadeti bolniki;

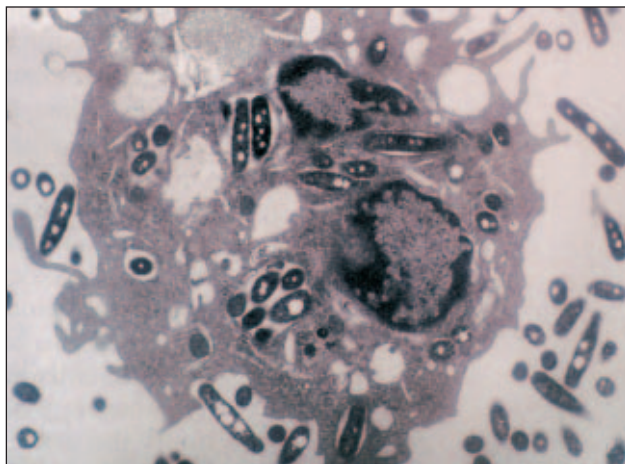
- *pontiaško vročico*, ki v nasprotju nastane z legionarsko boleznijo le pri majhnem odstotku ljudi, ki so bili izpostavljeni L. pneumophila. Okužba je pri pontiaški vročici zelo pogosta, vendar bolezen ni smrtno nevarna. Bolj je podobna kratkotrajni influenci, pri kateri bolnik navadno popolnoma ozdravi, čeprav večkrat traja nekaj časa.

Legionele le redko ugotavljajo pri drugih obolenjih. Opisali pa so npr. vnetje srčnih zaklopk pri ljudeh, ki so jim zaklopke presadili. Nekaj opisov okužbe ran z legionelami najdemo pri bolnišničnih okužbah.

Oblikovne in fiziološke posebnosti

Legionele se v kužni snovi (npr. v sputumu, pljučih ali vodnih usedlinah) pojavljajo kot kratke paličke ali kokobacili, ki postanejo gojeni v kulturi daljši in včasih vlaknati. Z barvanjem po Gramu jih v kužni snovi navadno težko najdemo. Zato za diagnozo uporabljajo barvila s fluorescirajočimi

* prof. dr., Ilirska 30, Ljubljana



Slika 1. Mikroskopska slika makrofaga, ki je poln legionel. (prirejeno po Rechnizer, 1998)

Figure 1. Macrophage with legionellas in different forms (taken from Rechnizer 1998).

protitelesi, kar je posebno pogosto pri bolnikih, ki so se okužili v bolnišnici in so imunsko manj odporni. Tudi pri teh pa so bacili npr. v sputumu v silno majhnem številu, kar je značilno za legionarsko bolezen. Pri bolnikih s pontiaško vročico jih v sputumu ne najdemo.

Legionele lahko gojijo le na zahtevnem gojišču, saj zahtevajo dosti železa in cisteina, ki je zanje očitno bistveni dejavnik rasti. Pogosto jih gojijo v ozračju, ki mu dodajajo ogljikov dioksid, in ob nekaj nižji temperaturi (35–36 °C), kakor navadno gojijo bakterije, ki so patogene za človeka. Včasih traja več dni, preden zrastejo v kolonijah, kar ovira diagnozo. Iz kulture krvi zrastejo legionele na gojiščih še pozneje, navadno traja kar dva tedna.

Za *L. pneumophila* so značilni encimi, kot so katalaza, oksidaza in hipuraza, beta laktamaza in želatinaza. Vrsta *L. micdadei* ne dela želatinaze ali beta laktamaze. Vrsto legionel navadno določajo kromatografsko. Posebna zanimivost legionel je encim, imenovan cink metaloproteinaza, ki je citotoksičen, vendar ni videti, da bi bila njegova navzočnost nujna za nastanek bolezni.

Laboratorijska diagnoza

Za diagnozo legionele navadno uporabljajo imunofluorescentno barvanje s specifičnimi monoklonskimi protitelesi. Legionele je navadno težko najti v sputumu bolnika. Poznamo pa gojišča, ki vsebujejo tudi antibiotike, ovirajo rast drugih bakterij, spodbujajo pa rast legionel. Včasih dobijo legionele iz kužne snovi tako, da jo segrevajo pri 50 °C pol ure, kar uniči druge bakterije, legionele pa to temperaturo preživijo. Kolonije legionel najlažje spoznajo z imunofluorescenco, pri kateri uporabijo monoklonska protitelesa.

Okužbo z legionelami spoznava tudi s serološkimi testi, čeprav traja najmanj 8 dni po začetku okužbe, da se razvijejo

Definicija legioneloze po CDC in WHO kriterijih

Bolniki s pljučnico, ki imajo pozitivno izolacijo bakterije in/ali 4 x porast titra protiteles proti *L. pneumophila*
 Bolniki s pljučnico, ki imajo enojni titer protiteles $\geq 1:256$ ali pozitiven test topnega antigena v urinu ali pozitiven test neposredne imunofluorescence zadošča merilom, ki določajo verjetno legionelozo

Slika 2. Definicija legioneloze po kriterijih CDC in WHO (dr. D. Kešet, 2001)

Figure 2. Definition of legionellosis according to CDC and WHO criteria (courtesy of Dr. D. Kešet, 2001).

protitelesa. Bolniki pridejo v bolnišnico navadno kakšen teden po začetku bolezni. Zato je treba ob sprejemu v bolnišnico preiskati bolnike tudi na protitelesa proti legionelam. Svetujejo, da se test pozneje ponovi, kajti povečevanje količine protiteles bo zanesljivo dokazalo okužbo. Treba je priznati, da bolnik včasih dolgo časa po začetku bolezni ne tvori protiteles in postane pozitiven šele več tednov po okužbi. Opisali so tudi primere, da je bolnik tvoril prav majhne količine protiteles. V zadnjem času si pomagajo z novimi molekularno-biološkimi testi.

Patogeneza

Legionele so razširjene povsod. Nesorazmerje med splošno razširjenostjo legionel in redkimi bolniki kaže, da je precej pomembna odpornost ljudi proti okužbi z legionelami. Medsebojno delovanje bakterije in imunskega sistema okuženega gostitelja je videti odločilno za nastanek bolezni. Človeka varuje predvsem sistem fagocitov. Ob njih pa je zanesljivo pomemben tudi celično posredovani imunski odziv, ki ga pogosto dokazujejo po preboleli legionarski bolezni. Monocite navadno spodbudijo citokini po okužbi in takšni lahko zavirajo razmnoževanje legionel znotraj celic. Monociti, ki še niso srečali legionel, te sposobnosti nimajo.

Pogosto govorijo o verigi vzrokov za legionarsko bolezen. Umevno je, da se večina ljudi prej ali slej sreča z legionelami iz naravnih izvorov, le redki pa zbolijo. Legionarska bolezen nastane le, kadar obstajajo posebne okoliščine. Verigo vzrokov sestavlja šest členov: naravni rezervoar okužbe, pomnoževalni dejavniki, raztros bakterije, virulenten sev legionele, vstopanje v človeka skozi primerno mesto in občutljivost gostitelja.

L. pneumophila hitro vstopi in se množi v humanih makrofagih in monocitih iz pljučnih mešičkov. Levkociti nimajo posebno veliko moči, da bi jih uničevali. Videti je, da

Preglednica 1. Diagnostični testi za *Legionella pneumophila* (Prilagojeno po Jawetz in sod., *Medical microbiology* (15th ed.)

Table 1. Diagnostic tests for *Legionella pneumophila*

Vrste testa	Test	Primerna kužna snov
odkrivanje bakterije	kultura	sputum ali podobna
odkrivanje antigena	FAT	
	ELISA	urin
	PCR	
odkrivanje protiteles	FAT	serum
	RMAT	
	ELISA	

FAT = fluorescirajoča protitelesa, ELISA = encimsko-immunski test, RMAT = hitri mikroaglutinacijski test, PCR = verižna reakcija s polimerazo

se bakterije ovijejo s sestavinami serumske beljakovine, komplementa in se nato pritrdijo na površino celic. Vstopajo v celice s fagocitozo. Kadar so navzoča specifična protitelesa, je vstopanje legionel v celice nekoliko bolj zapleteno, kajti pri tem sodeluje le eden od krakov protiteles (Fc). Ko legionele pridejo v celico, jih najdejo v posameznih fagosomnih vakuolah. Na tej točki se varstveni mehanizmi makrofagnih celic pretrgajo in fagosomne vakuole se ne zlivajo z lizosomi.

Ribosomi, mitohondriji in drobni mešički se zbirajo okrog vakuol z legionelami. Bakterija se v vakuolah razmnožuje; ko se število bakterij poveča, uničijo celico, se sprostijo in okužijo nove makrofage. Za dogajanje je bistvena navzočnost železa. Sodelujejo še drugi dejavniki, ki pa jih ne razumemo docela.

Klinična slika in zdravljenje

Legionele pogosto povzročijo okužbo brez bolezenskih znamenj pri vseh starostnih skupinah ljudi, kar lahko dokazujemo po povečanih količinah specifičnih protiteles. Bolezen je klinično očitna najpogosteje pri moških, starih nad 55 let. Dejavniki, ki prispevajo k večjemu tveganju za legionelozo s pljučnico, so kajenje, kronični bronhitis in emfizem, zdravljenje s steroidi ali drugimi sredstvi, ki ovirajo imunski odziv (npr. pri ljudeh po presaditvi organov), jemanje kemoterapevtikov zaradi raka in sladkorna bolezen. Kadar ti bolniki zbolijo za pljučnico, je treba vedno opraviti preiskavo, ali so okuženi z legionelo.

Rentgenska preiskava pljuč bolnika z legionarsko boleznijo odkrije lisaste sence, pogosto kar v več pljučnih režnjih. Hkrati pri bolniku ugotavljajo levkocitozo, hiponatremijo, hematurijo. Bolniku pogosto odpovedujejo ledvice, jetra ne delujejo pravilno. Smrtnost je bila med nekaterimi epidemijami

kar deset- ali večodstotna. Testi, opravljeni med preiskavo v začetku bolezni, pogosto niso v veliko pomoč pri diagnozi, ker so večkrat negativni.

Legionarsko bolezen uspešno zdravijo z antibiotiki, zlasti z eritromicinom in azitromicinom. Navadno svetujejo eritromicin, ki je učinkovit tudi pri imunsko manj odpornih ljudeh. Rifamicin pa uporabijo večkrat pri bolnikih, ki se ne odzovejo na zdravljenje z eritromicinom. Bolnikom je treba včasih pomagati pri dihanju, vedno pa je pomembno ukrepati proti šoku.

Za napoved izida bolezni je pomemben čas od pojava prvih bolezenskih znamenj do ustreznega zdravljenja z antibiotiki. V več raziskavah so potrdili, da je smrtnost zaradi legionarske bolezni večja, kadar jo začno zdraviti pozneje kakor šesti dan po prvih bolezenskih znamenjih.

Epidemiologija in preprečevanje

Omenili smo že, da je zanimanje za legionelozo spodbudila epidemija med veterani in člani Ameriške legije leta 1976 v Filadelfiji. Izvor okužbe z legionelo je bil v tem primeru sistem za ogrevanje in hlajenje. Oblika pljučnice pri tej epidemiji je postala znana kot legionarska bolezen. Pozneje so pogosto opisovali akutno pljučnico, ki je edina bakterijska pljučnica, ki povzroča epidemije. Legioneloza ima epidemično naravo predvsem zato, ker se bakterija razširja z aerosoli (kapljična okužba), včasih tudi en do dva kilometra daleč od izvora okužbe. Okužen aerosol navadno izvira iz tople vode. Značilni primeri, ko je bila bolezen epidemična:

- bolniki so se okužili z vodo iz bazenov v hladilnih stolpih sistemov za ogrevanje in hlajenje,
- pogoste epidemije v hotelih in bolnišnicah,
- manjše epidemije pa tudi posamezne primere je povzročila topla voda v parah in vlažilcih zraka s kisikom,
- epidemije, ki so nastale v bazenih za podvodno masažo, pogost vzrok pa so bile prhe.

Zanimivo je, da vodne amebe navadno pogoltnjeje legionele in jih obvarujejo pred izsušitvijo in razkužili, kadar so v čistih znotraj ameb. Legionele se v amebah podobno kakor v makrofagih, živahno množijo in pomenijo nevarnost za nastanek epidemije, kadar je takšni vodi izpostavljeno večje število ljudi. Posebno nevarne so naprave v hladilnih stolpih in kondenzatorji za vodno paro. Nadvse pomembne so tudi vodovodne cevi, ki jih dalj časa ne uporabljajo ali se slepo končujejo. Epidemije legioneloze v hotelih in bolnišnicah so navadno zajele manjše skupine ljudi, podobno velja tudi za toplisce v bazeni za podvodno masažo. Več je tudi opisov posameznih bolnikov z legionelozo, ki navadno ne poznajo izvora okužbe. V razvitih deželah poudarjajo, da se skoraj polovica njihovih bolnikov okuži v tujini, navadno z vodo v hotelih. Tak primer je bila epidemija legionarske bolezni med angleškimi turisti, ki so se okužili v hotelu v Cavtatu. Zboleli so po vrnitvi v Anglijo, med 11 bolniki je eden umrl. Razmere so pozneje v hotelu v Cavtatu raziskali epidemiologi in ugotovili več nepravilnosti. Predvsem je bil hotel

zgrajen na novo in še ni bil pripravljen za sprejem gostov, okolica hotela je bila še vedno podobna gradbišču, napeljave v hotelu so bile pomanjkljive. Epidemiologi so našli legionelo v vodi bazena za toplo vodo. Bakterijo so v vodi uničili tako, da so jo v sistemu za 24 ur ogreli na 75 °C. Končna ocena raziskave je bila, da je vodja hotela poskušal prihraniti pri ogrevanju vode.

Pri vsaki epidemiji je prva naloga preiskati vse možne izvore okuženih aerosolov. Najhitreje dosežejo uspeh s posredno imunofluorescenčno metodo in z gojitvijo bakterij iz vode. Novejše molekularno-biološke preiskave so nadvse obetavne, npr. verižna reakcija s polimerazo.

Legionarska bolezen je pogostnejša v poletnih in jesenskih mesecih. Pojav pripisujejo ugodnejšim okoliščinam za razmnoževanje bakterij v vodovodnih sistemih pa tudi v naravnih izvori. Tudi v teh primerih imajo pomembno vlogo stolpi za hlajenje vode v vodovodnih sistemih in kondenzatorjih za toplo vodo.

Pontiaška vročica je po epidemioloških posebnostih podobna legionarski bolezni. Okužba se širi po enakih poteh kakor pri legionarski bolezni in tudi izvori so enaki. Razlika pa je v stopnji okužbe, ki je pri pontiaški vročici večja kakor pri legionarski bolezni, saj se okužijo skoraj vsi, ki pridejo v stik z bakterijo. V zadnjem času nekateri strokovnjaki menijo, da je pontiaška vročica v bistvu legionarska bolezen in je v novejših objavah ne opisujejo posebej.

Čeprav je bila prva epidemija legionarske bolezni že leta 1976, smo se v Sloveniji prvič srečali s to boleznijo leta 1991, ko je v bolnišnici na Jesenicah zbolelo 17 zdravstvenih delavcev. V obdobju od 1987 do 1998 je bilo v Sloveniji prijavljenih 39 bolnikov z legionarsko boleznijo. V letih 1996 in 1997 so po podatkih Inštituta za varovanje zdravja zabeležili tri smrtne primere legionarske bolezni. Zanimiv posamičen primer so opisali v Celju leta 1999. Primer je svojstven in ni bil povezan z epidemijo legionarske bolezni.

Podobno kot v Sloveniji so tudi na Hrvaškem primeri legionarske bolezni redki. V obdobju 1986 do 1996 so zdravili 46 bolnikov, ki so se pretežno okužili zunaj bolnišnic.

Cepiva proti legioneli še ne poznamo. Bolezen pa je lahko preprečiti, kar ne velja za druge bakterijske pljučnice. Legionele lahko izkoreninijo v vodnih izvori, iz katerih lahko prihajajo v človekovo okolje kot aerosol. Odpraviti legionele iz vodnega izvora, v katerem jo ugotovijo, ni težko. Vodo je treba le nekaj časa segreti prek 75 °C.

Poglavitni preventivni ukrep proti legionarski bolezni pa je poskrbeti, da je temperatura tople vode v sistemih, npr. v hotelih ali bolnišnicah, višja od 60 °C, preden pride do pip umivalnikov in kopalnic. Posebno nevarne so prhe. Voda tudi ne sme dalj časa ležati v ceveh, ker se lahko hitro ohladi. Nevarni so slepi odseki vodovodnih cevi. Legionele se ne razmnožujejo v mrzli vodi, zato je varna vodovodna voda s temperaturo do 20 °C. V okuženih vodovodnih sistemih si navadno pomagajo s segrevanjem vode in tudi z razkuževanjem s klorom, za katerega so občutljive legionele in tudi drugi mikroorganizmi, alge in amebe. Vsi ti pogosto onesnažijo vodovodne sisteme, ker so v naravi splošno razširjeni.

Literatura

1. Birtašević, M., 1986. Osebno sporočilo.
2. Lešničar, G., 1999. Sporadični primer legionarske bolezni domačega okolja s fulminantnim potekom. *Med Razgl* 38: Suppl 2: 151–160.
3. Muder, R. R., 2000. Other legionella species. V: Mandel, Douglas and Bennett's Principles and Practice of Infectious diseases. 5th ed., Churchill Livingstone.
4. Sočan, M., Marinič Fišer N., Keše, D., 1999. Comparison of serologic test with urinary antigen detection for diagnosis of legionnaires disease with community-acquired pneumonia. *Clin Microbiol Infect* 5: 201–204.
5. Rechnitzer, C., 1998. Pathogenic aspects of Legionnaires disease: Interaction of Legionella pneumophila with cellular host defences. *ARMIS Suppl N° Vol. 102*, 1–4.
6. Yu Vi. 2000. Legionella pneumophila. V: Mandel, Douglas and Bennet's Principles and Practices of Infectious Diseases. 5th ed., Churchill Livingstone.
7. Winn, W. C. Jr., 1999. Legionella. V: Manual of Clinical Microbiology. 7th ed., American Society for Microbiology.

ANALIZA OKUŽENOSTI IN OBOLELOSTI ZAPOSLENIH NA ZAVODU ZA GOZDOVE SLOVENIJE Z BOLEZNIMI, KI JIH PRENAŠAJO KLOPI

Analysis of Tick-borne Diseases among Employees of the Slovene Forest Institute

Jurij Beguš* UDK 614.4:616.9

Povzetek

Nevarnost okužbe s klopnim meningoencefalitisom in lajmsko boreliozo je med zaposlenimi na Zavodu za gozdove Slovenije izjemno visoka. Ker do sedaj nismo poznali točnih podatkov o razširjenosti teh dveh boleznih med omenjeno populacijo, smo v začetku leta 2002 izvedli med zaposlenimi anonimno anketo, ki nam je dala odgovore na vprašanja, koliko zaposlenih je bilo že okuženih ali je prebolelo boreliozo, kako to vpliva na njihovo počutje, kako je potekalo zdravljenje. Podobna vprašanja smo postavili tudi v zvezi s klopnim meningoencefalitisom. Podatki so zaskrbljujoči, saj je bilo med 693 vprašanimi kar 37 % takih, ki so bili z boreliozo okuženi, in 29 % takih, ki so bolj ali manj resno tudi zboleli. Za meningitis je podatek manj zaskrbljujoč, a še vedno visok, kajti kar 7 % vprašanih je prebolelo to nevarno virusno bolezen.

Abstract

The threat of infection with tick-borne meningoencephalitis and lyme boreliosis among employees of the Slovene Forest Institute is extremely high. Due to the unavailability of accurate data on the incidence of these two diseases among the described population, we conducted an anonymous survey among employees in the beginning of 2002. The survey provided answers to questions such as: how many employees had already been infected with or suffered from boreliosis, how did this affect their health, what kind of treatment did they receive. Similar questions were asked in connection with tick-borne meningoencephalitis (TME). The results are quite alarming. Of the 693 persons who responded to the survey, 37% had been infected with boreliosis, and 29% had suffered from more or less severe forms of the disease. The data for meningitis are less alarming, though its incidence is relatively high, as 7% of the respondents had suffered from this dangerous virus disease.

Uvod

Pisati o boleznih, ki jih prenašajo klopi, kot medicinski laik, je dokaj nevhvaležna naloga, zato ne nameravamo opisovati njihove značilnosti in potek, saj je bilo o tem napisanega že veliko. S tem prispevkom želimo opozoriti na veliko ogroženost zaposlenih na Zavodu za gozdove Slovenije (ZGS) zaradi zoonoz. Da bi s čim bolj natančnimi rezultati problematiko obolelosti predstavili tistim institucijam in odgovornim, ki lahko k njenemu reševanju največ prispevajo smo med zaposlenimi izvedli anketo o okuženosti z boleznimi, ki jih prenašajo klopi. Prispevek torej sestavljajo kratka splošna predstavitev problematike, predstavitev same ankete in analiza rezultatov ter predstavitev ukrepov, ki smo jih za zmanjševanje problematike uvedli na ZGS. Seveda pa ni naš namen opozarjati le na težave v naši organizaciji, ampak želimo opozoriti tudi druge, predvsem tiste, kjer zaposleni pretežno del delovnega procesa prežive v naravi, v gozdu, da tudi pri njih obstaja velika nevarnost okužbe in bi zato morali preveriti stanje in preventivno ukrepati.

Splošni podatki o ZGS

ZGS je javni zavod, ki deluje na območju Slovenije in po Zakonu o gozdovih opravlja naloge javne gozdarske službe, kot so:

- spremljanje stanja in razvoja gozdov,
- varstvo gozdov,
- usmerjanje gospodarjenja z gozdovi,
- usmerjanje gradenj gozdnih cest in njihovega vzdrževanja,
- vodenje evidenc in baz podatkov, strokovno svetovanje in usposabljanje lastnikov gozdov,
- gozdno semenarstvo,
- prevzemanje sofinanciranih del.

Ustanovljen je bil leta 1994, ko je tudi začel delovati. Pred tem je bilo gozdarstvo organizirano v gozdnih gospodarstvih, ki so se tega leta razdružila na gozdarske družbe in na ZGS. Organizacijsko ga sestavlja 14 območnih enot in centralna enota v Ljubljani. Območne enote se delijo v krajevne enote, teh je okoli sto, krajevne enote pa naprej v revirje kot najmanjšo organizacijsko enoto. V okviru ZGS so tudi štiri gojitvena lovišča.

* Zavod za gozdove Slovenije, Večna pot 2, Ljubljana, jurij.begus@zgs.gov.si



Slika 1. Območne enote ZGS

Figure 1. Regional units of the Slovene Forest Institute (SFI)

Skupaj je zaposlenih okoli 730 ljudi, večinoma z gozdarsko izobrazbo. Izobrazba strokovnega osebja, je najmanj srednja, večina ima višješolsko in univerzitetno visokošolsko izobrazbo. Večina zaposlenih bolj ali manj vsakodnevno dela na terenu, v gozdu. Za ta prispevek smo zaposlene razdelili v naslednje skupine, kot je prikazano v preglednici 1.

Bolezni, ki jih prenašajo klopi

Zanesljivo so v Sloveniji prisotne naslednje bolezni (bakterijske in virusne), ki jih prenašajo klopi (Kotnik, 2001; Furlan, Čarman, 1996):

- tularemija,
- rikecioze,
- sredozemska vročica,
- vročica Q,
- lajmska boreliozna,
- klopni meningoencefalitis.

Večina je manj znana, dve pa sta močnejše prisotni, to sta bakterijska lajmska boreliozna (LB) in virusni klopni meningoencefalitis (KME), ki tudi med zaposlenimi na ZGS

predstavljata resen problem. KME sicer manj, saj obstoji preventivno cepljenje, medtem ko se moramo dokaj resno spopadati z boreliozno, proti kateri cepiva v Evropi še ni, saj povzročajo boreliozno v Evropi najmanj štiri bakterije, medtem ko nastopa v ZDA le ena vrsta in je zanjo cepivo lažje izdelati (Kotnik, 2001).

Namen in vsebina ankete med zaposlenimi na ZGS

Gozdarstvo se je kot stroka že kmalu zavedalo nevarnosti oz. resnosti problema tako KME kot tudi kasneje LB. Že v osemdesetih letih je bilo tako marsikaj narejenega za preventivo pred KME, saj so na marsikaterem gozdnem gospodarstvu organizirano izvajali preventivna cepljenja, s čimer smo na ZGS seveda nadaljevali. Prav tako smo resno obravnavali problem LB, seveda v okvirih možnosti, ki so bile in so na voljo, kar pomeni testiranje zaposlenih, njihovo osveščanje, nabava repelentov in izvajanje drugih zaščitnih ukrepov, o katerih bom govoril kasneje.

Predvsem po zaslugi bolj prosvetljenih posameznikov je gozdarstvo že kmalu začelo sodelovati pri raziskavah, ki jih je na Kliniki za infekcijske bolezni in vročinska stanja pri UKC v Ljubljani vodil predvsem prof. dr. Franc Strle. Naj omenim obsežno raziskavo iz leta 1994 (Strle in sod., 1994). Vsa ta leta pa žal na ZGS in tudi v gozdarstvu v celoti nismo imeli celovite slike o tem, kako velik je ta problem med zaposlenimi, koliko je bilo z LB okuženih, koliko jih je obolelo in koliko jih je prebolelo KME. Zakaj pravzaprav potrebujemo te podatke? Obe bolezni bi bilo treba tudi formalno opredeliti, ju definirati v zakonodaji kot bolezen iz dela ali poklicno bolezen, zdravstveno stroko pa prepričati, da so zaposleni na ZGS pač v nekoliko večji nevarnosti, da obolijo, kot druge skupine ljudi, kar naj upošteva pri določanju diagnoz. Vse to pa lahko storimo le, če nastopamo s konkretnimi in preverjenimi podatki. Da bi te podatke pridobili, smo v začetku leta 2002 med zaposlenimi na ZGS izvedli anketo o okuženosti z boleznimi, ki jih prenašajo klopi. Anketa je bila neobvezna in anonimna, deklarirana z izjavo, da se bodo njeni rezultati uporabljali izključno za potrebe raziskave o razširjenosti zoonoz med zaposlenimi na ZGS.

Preglednica 1. Skupine zaposlenih na ZGS

Table 1. Grouping of SFI employees

Zaposleni – skupina	Okrajšava	Opis
centralna enota	CE	Zaposleni na centralni enoti ZGS, ki manj delajo na terenu, vendar so to bolj ali manj intenzivno delali v preteklosti.
območne enote	OE	Zaposleni na sedežih območnih enot, kjer so poleg takih, ki manj delajo na terenu tudi zaposleni, ki med letom občasno daljše obdobje delajo v gozdu.
krajevne enote	KE	Zaposleni na sedežih krajevnih enot, ki redno, večino delovnih dni, delajo na terenu. Izvzeti so revirni gozdarji.
revirni gozdarji	RG	Najštevilčnejša skupina zaposlenih, za katero bi lahko rekli, da vsakodnevno delajo v gozdu.
lovci	RL	Ta skupina ni največja, so pa v gozdu še dalj časa kot revirni gozdarji.

Vsebinsko smo anketni list oblikovali v treh sklopih: splošni podatki, podatki o okuženosti in posledicah borelioze ter podatki o obolelosti za KME.

Splošni podatki naj bi nam nakazali, kako so bolezni razporejene prostorsko, zato so anketiranci odgovarjali na vprašanje, na kateri območni in krajevni enoti so zaposleni. Prav tako smo dopustili možnost odgovora, na katerem delovnem mestu delajo – ti odgovori so razvidni že iz preglednice 2. Vpraševali smo jih po spolu, starosti in delovni dobi. Med splošne podatke smo uvrstili tudi odgovore na vprašanje o okvirnem številu kloпов (pikov) na leto in o tem, kako redno uporabljajo repelente.

Največ pozornosti smo v anketi posvetili boreliozni, saj je le-ta najpogostejša bolezen v Sloveniji, ki jo prenašajo klopi (Strle, 1998) in zato zahteva največjo pozornost. Vprašanja so se nanašala na leto okuženosti in leto obolelosti ter na skupno število dni odsotnosti z dela zaradi LB. Drug sklop vprašanj, ki se nanašajo na LB, so bila vprašanja o zdravljenju, kjer smo spraševali o načinu zdravljenja – s tabletami ali z infuzijo. V tretjem sklopu smo želeli dobiti odgovore o posledicah bolezni. Zanimalo nas je, kako je bolezen vplivala na delo, ali je bilo delo rahlo oteženo ali pa je bila zaradi bolezni potrebna odsotnost z dela.

Nazadnje smo želeli dobiti tudi odgovore o KME, saj smo spraševali o letu obolelosti in o letnici prvega cepljenja.

Rezultati ankete

Kljub neobveznemu sodelovanju smo dobili kar 693 odgovorov, kar pomeni večino zaposlenih na ZGS oz. skoraj vse strokovno osebje, torej tiste, ki bolj ali manj stalno delajo na terenu.

Nekateri zaradi anonimnosti niso želeli odgovoriti na vprašanje o delovnem mestu, ki ga zasedajo, zato smo jih uvrstili v skupino ostali. Iz odgovorov je bilo namreč lahko

Preglednica 2. Število in struktura zaposlenih, ki so odgovorili na anketo

Table 2. Name and structure of respondents

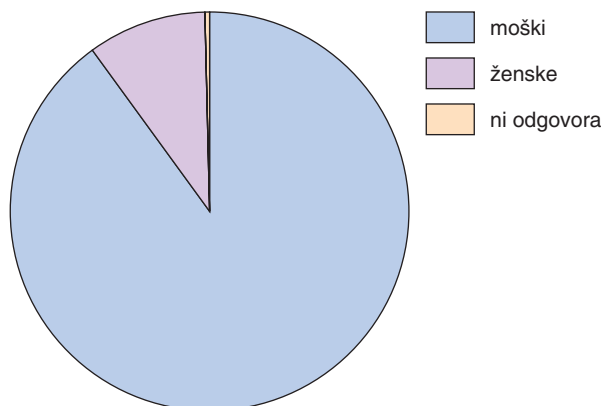
Zaposleni – skupina	Število odgovorov
CE	14
OE	142
KE	80
RG	393
RL	36
ostali	28
skupaj	693

v nekaterih kombinacijah sklepati na določene osebe, zato je reakcija tistih, ki so želeli ostati anonimni, razumljiva.

Sestava zaposlenih na ZGS po spolu je odraz dejanskega stanja – prevladujejo moški, le desetina je žensk. V starostni sestavi prevladujejo zaposleni med 30. in 50. letom, kar je razvidno iz slike 3.

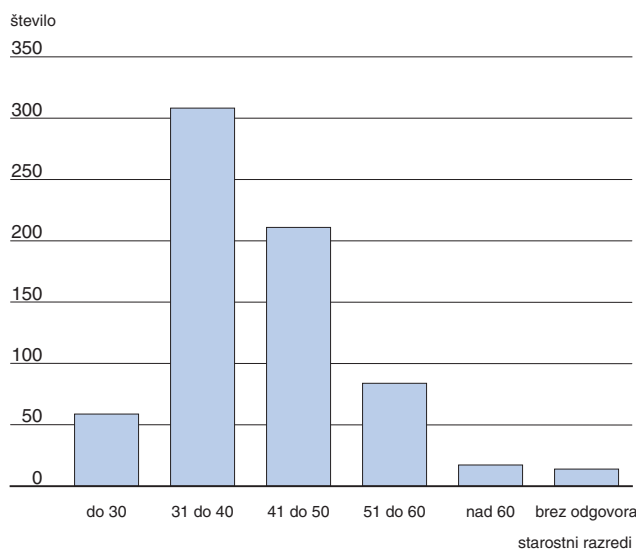
Da imamo opraviti s srednjo generacijo, kažejo tudi podatki o delovni dobi. Večina zaposlenih je razporejena v drugem in tretjem razredu. Povprečna delovna doba anketirancev znaša 18 let, sama porazdelitev pa je razvidna iz slike 4.

Podatek o povprečnem številu pikov na leto je bolj ali manj točna in resna ocena, ki so jo podali vprašani. Nekateri zaposleni gredo pri tem tako daleč, da si vsakodnevno v svoje dnevnik beležijo, koliko kloпов so odbili, zato so nekatere ocene zelo točne. Seveda pa ne smemo zanemariti dejstva, da so lahko nekatere ocene tudi pretirane. Vsi niso odgovorili, je pa povprečna vrednost ocene 27 pikov, če



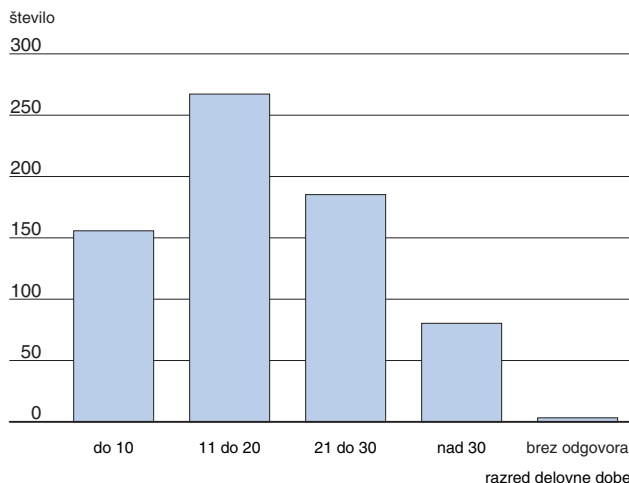
Slika 2. Sestava zaposlenih na ZGS po spolu

Figure 2. Sex structure of SFI employees

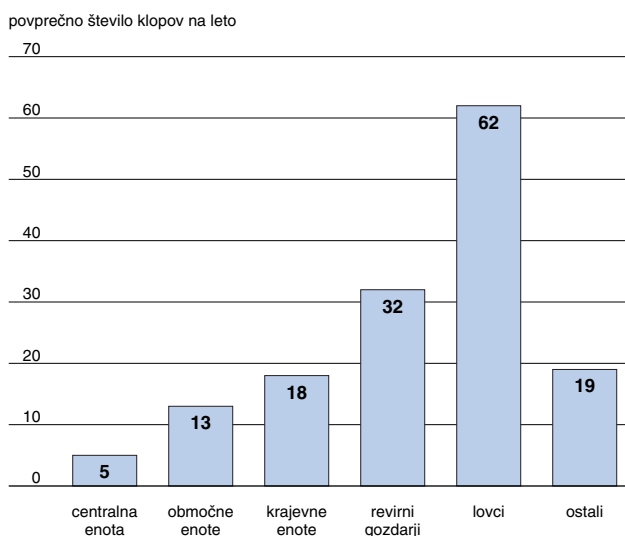


Slika 3. Starostna sestava zaposlenih na ZGS

Figure 3. Age structure of SFI employees



Slika 4. Sestava zaposlenih na ZGS glede na delovno dobo
Figure 4. Years of service of SFI employees



Slika 5. Srednja letna vrednost pikov klosov po skupinah delovnih mest

Figure 5. Mean annual number of tick bites according to job groups

Preglednica 3. Raba repelentov za zaščito pred piki klosov

Table 3. Use of repellents as protection against tick bites

Raba repelentov	Število odgovorov	Delež (%)
neuporaba repelentov	127	18
občasna uporaba	431	62
redna uporaba	119	17
ni odgovora	16	2
skupaj	693	100

upoštevamo tiste odgovore, ki so navedli določeno oceno. Vrednost ocene se giblje od 0 oz. brez odgovora pa do 500 klosov letno, kar je visoka ocena. Glede na skupino delovnih mest (slika 5) je srednja vrednost ocene najvišja pri revirnih lovcih (62 pikov), izredno visoka je tudi pri revirnih gozdarjih (32 pikov), je pa v korelaciji s prisotnostjo zaposlenih na terenu, zato je najnižja pri zaposlenih na centralni enoti.

Zadnje vprašanje, ki sodi lahko tudi že v poglavje o pre-ventivi in v določeni meri kaže na odnos zaposlenih do zaščite, je bilo namenjeno uporabi repelentov, kot eni izmed možnih zaščit.

Če upoštevamo, da se nanašajo odgovori na uporabo, ko je ta potrebna, vidimo, da se večina zaposlenih zaveda nevarnosti okužb. Vprašali bi se lahko, zakaj je redne rabe manj kot občasne. Po našem mnenju so vzroki lahko v tem, da zaposleni

- sami ocenjujejo, kdaj je nevarnost pikov večja,
- poznajo škodljivost daljše uporabe repelentov,
- niso dovolj disciplinirani,
- ne uporabljajo repelentov, ker jih s strani ZGS dobijo premalo.

Okuženost z lajmsko boreliozo

Prav podatek o okuženosti in obolezosti za LB je bil osrednji podatek, ki smo ga v anketi iskali. Pri tem smo ločili okužene in obolele primere. Okuženi so lahko tudi oboleli. Kot okužene smo šteli tiste, ki so imeli bolezenske znake, ne pa tudi težav. Če so imeli vprašani težave, so navedli tudi podatek o obolezlosti. Med odgovori je zato večje število okuženih, kot obolelih. Anketa je pokazala, da je bilo med vsemi vprašanami z LB okuženih 254 zaposlenih, kar predstavlja 37 % anketiranih ali dobro tretjino, to pa je izjemno visok delež. Absolutno je največ okuženih na OE Kočevje, relativno pa na OE Ljubljana. Najslabša slika na OE Ljubljana potrjuje tudi ugotovitve, da je največ okuženih klosov v okolici Ljubljane (Strle, 1998). Enaka slika je tudi pri obolelih, ki jih je bilo do sedaj skupaj 193 ali 28 %. Podrobni podatki po organizacijskih enotah ZGS so prikazani v preglednici 4.

Zanimiva je tudi slika okuženosti in obolezlosti po letih, ki nam pove, kdaj je bil problem LB med gozdarji zaznan. Upoštevali smo le znane odgovore, kar pomeni, da 38 primerov okuženosti oz. 23 primerov obolezlosti, ko vprašani niso znali odgovoriti na vprašanje o letnici, v grafikonu (slika 6) nismo navajali.

Prvi pojavi okuženosti in obolezlosti segajo v leto 1980. Pojavnost bolezni z leti narašča, kar lahko pripisujemo trem dejstvom:

- okuženost klosov se po Sloveniji širi,
- zdravstveno osebje bolezen bolje prepoznava,
- manjše število zaposlenih, ki so bili okuženi v prvih letih (zaposleni so drugje, upokojitve).

Pomembna je tudi sestava obolezlosti po delovnih mestih, kjer sta najbolj rizični skupini revirni lovci in revirni gozdarji.

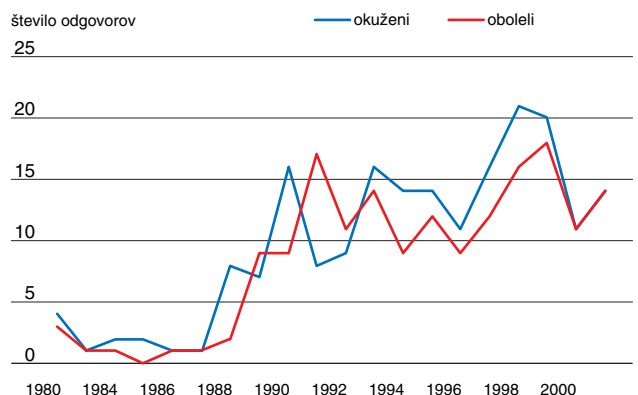
Preglednica 4. Prikaz okuženosti in obolelosti za LB**Table 4. Incidence of lyme boreliosis**

Organizacijska enota ZGS	Neokuženi	Okuženi	Delež okuženih	Oboleli	Delež obolelih	Skupaj
centralna enota	9	4	31	4	31	13
Tolmin	37	12	24	12	24	49
Bled	22	20	48	14	33	42
Kranj	26	16	38	8	19	42
Ljubljana	28	28	50	24	43	56
Postojna	35	23	40	18	31	58
Kočevje	41	38	48	27	34	79
Novo mesto	37	20	35	14	25	57
Brežice	23	21	48	12	27	44
Celje	31	16	34	15	32	47
Nazarje	21	12	36	9	27	33
Slovenj Gradec	40	15	27	14	25	55
Maribor	41	19	32	12	20	60
Murska Sobota	23	2	8	2	8	25
Sežana	25	8	24	8	24	33
skupaj	439	254	37	193	28	693

Podatka sta v dobri korelaciji s povprečnim številom pikov kloпов na leto, ki so prikazani na sliki 6.

V preglednici 5 navajamo tudi skupno število izostankov, torej dni odsotnosti zaradi obolelosti, ter povprečno število dni odsotnosti zaradi bolezni na obolelega. Podatek je ocenjen, zato menimo, da predvsem v primerih, ko je obolelost časovno odmaknjena, ne moremo z gotovostjo trditi, da so anketiranci odgovorili povsem pravilno. Predvsem povprečna vrednost trajanja odsotnosti zaradi bolezni kaže resnost obolelosti, ki je najvišja pri revirnih gozdarjih, tudi na račun dveh, ki sta bila zaradi bolezni odsotna več kot 200 oz. 365 dni. Po drugi strani pa marsikdo, ki je obolel, ni navedel trajanja odsotnosti zaradi bolezni, saj se tega podatka ni spomnil oz. je ni koristil.

Zdravljenje LB poteka z antibiotiki, v obliki tablet oz. kapsul, kasneje, posebno kadar je prizadeto osrednje živčevje, pa je treba dajati zdravila parenteralno, z infuzijo (Strle, 1998). Tako poleg bolniških dni kaže na resnost bolezni tudi način zdravljenja, po čemer smo v anketi tudi spraševali.



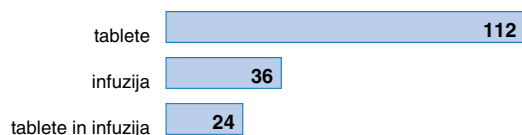
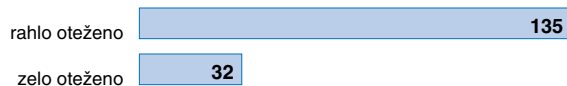
Slika 6. Pojavnost okuženosti in obolelosti po letih

Figure 6. Disease incidence by years

V kar 60 primerih je bilo potrebno zdravljenje z infuzijo, kar pomeni, da v kar 35 % primerov zdravljenje z antibiotiki ni zadostovalo.

Preglednica 5. Sestava okuženosti po skupinah delovnih mest**Table 5. Infection cases by job groups**

Razred	CE	OE	KE	RG	LG	Ostali
neokuženi	10	99	54	234	18	24
okuženi	4	43	26	159	18	4
% okuženih	29	30	33	40	50	14
neoboleli	10	111	61	271	21	26
oboleli	4	31	19	122	15	2
% obolelih	29	22	24	31	42	7
skupaj	14	142	80	393	36	28
izostanki	5	128	147	1371	72	6
povprečni izostanki	1,25	4,13	7,74	11,24	4,80	3,00

**Slika 7. Načini zdravljenja LB****Figure 7. LB treatment methods****Slika 8. Vpliv posledic obolezlosti na delo zaposlenih****Figure 8. Consequences of disease for employee performance****Preglednica 6. Število in delež obolelih za KME****Table 6. Number and share of persons infected with TME**

Skupina delovnih mest	Število obolelih	% obolelih	Skupaj anketiranih
CE	0	0	14
OE	9	6	140
KE	5	6	80
RG	21	5	393
RL	8	22	36
ostalo	3	10	30
skupaj	46	7	693

Bolezen lahko pusti na ljudeh določene posledice, ki se kažejo v občasno rahlo ali zelo oteženem delu. Anketiranci so na zastavljeno vprašanje, ali je delo oteženo, odgovarjali z da ali ne. Odgovori kažejo, da je pri 135 zaposlenih, kar predstavlja dobrih 19 % vseh zaposlenih, delo občasno rahlo oteženo, kar sami ocenjujejo kot posledico LB. Pri dobrih 5 % zaposlenih pa je delo občasno zelo oteženo in je potrebna bolniška odsotnost. Če primerjamo te številke s številom obolelih (193), je slika še slabša, kajti kar 70 % je tistih ki imajo delo rahlo oteženo, in slabih 17 % tistih, ki imajo zelo oteženo delo. Je pa treba omeniti, da je precej takih, ki so imeli v prvih letih zdravljenja hujše težave, pozneje pa se je stanje nekoliko izboljšalo. To potrjuje tudi anketa, saj je 20 vprašanih ali 10 % vseh obolelih navedlo obe težavi.

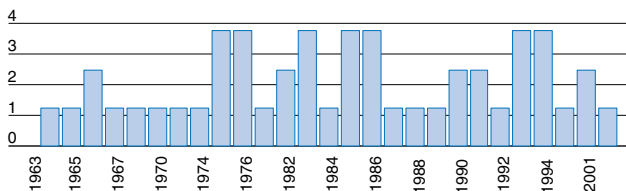
Obolenost za klopnim meningoencefalitisom

Pri vprašanjih o KME smo se osredotočili na čas obolezlosti, število obolelih in na začetek cepljenj. Kot smo pričakovali, je obolenost za KME nižja kot obolenost za LB. Menimo, da tudi zaradi učinkovitega cepiva, ki KME dokaj uspešno preprečuje.

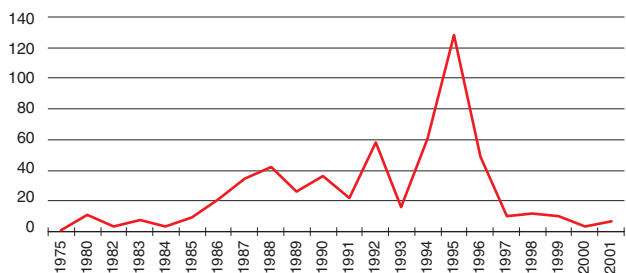
Po rezultatih ankete je med zaposlenimi na ZGS do sedaj obolelo 46 zaposlenih, kar predstavlja 7 % vseh anketiranih. Najbolj kritična je ponovno skupina revirnih lovcev in skupina ostalih, za katere pa seveda ne moremo reči, kje delajo. Zanimivo je časovno pojavljanje bolezni, kajti pričakovali bi, da bo te bolezni prav zaradi cepljenja po letu 1995 manj, vendar se kljub temu pojavi tudi v lanskem letu. Prav oboleli v letu 2001 je bil cepljen prvič v letu 1990, kar si lahko razlagamo le kot dejstvo, da oboleli ni ponovil cepljenj ali pa da cepivo ni učinkovalo.

Preglednica 7. Število in delež zaposlenih, ki so bili cepljeni proti KME
Table 7 Number and share of employees vaccinated against TME

Skupina delovnih mest	Število cepljenih	% cepljenih	Število necepljenih	% necepljenih	Skupaj anketiranih
CE	9	64	5	36	14
OE	101	72	39	28	140
KE	67	84	13	16	80
RG	345	88	48	12	393
RL	28	78	8	22	36
ostalo	22	73	8	27	30
skupaj	572	83	121	17	693



Slika 9. Pojavnost KME po letih
Figure 9. TME incidence according to years



Slika 10. Časovna pojavnost prvih cepljenj
Figure 10. Time scheme of first vaccinations

Posebni izraziti vrhovi pojavnosti KME po letih ni opaziti, bi pa ponovno opozorili na to, da je veliko gozdarjev iz časov, ko cepljenje še ni bilo nekaj običajnega, upokojenih ali pa so zaposleni drugje. Prav cepljenje je ukrep, ki učinkovito prepreči oboleetost, zato smo anketirance spraševali tudi o datumu prvega cepljenja. Tako smo posredno dobili tudi odgovor na vprašanje o tem, ali so privolili v cepljenje, ki pa ni povsem točen, saj se verjetno posamezniki ne spomnijo, kdaj so bili prvič cepljeni, in so zato pri tem odgovoru pustili prazno polje.

Predvsem je za realno sliko o ukrepih, ki smo jih na ZGS do sedaj uvedli kot preventivo, pomembna tudi časovna slika pojavnosti prvih cepljenj proti KME.



Slika 11. Posebna pinceta za odstranjevanje klopov
Figure 11. Special pincers for tick removal

Največ prvih cepljenj je bilo opravljenih v letih 1994 in 1995, kar pomeni, da smo na ZGS takoj ob začetku delovanja izvedli obsežno akcijo za preventivo pred oboleetostjo za KME. Od takrat izvajamo prva cepljenja le pri zaposlenih, ki na ZGS nastopijo svojo prvo zaposlitev.

Preventivni ukrepi za preprečitev oboleetosti za LB in KME

O cepljenjih proti KME v tem delu ne bom več govoril, saj je bilo v predhodnih poglavjih že dovolj povedanega. Zato bom v tem delu predstavil ukrepe, ki smo jih uvedli, da bi



Slika 12. Posebni elektronski odstranjevalec klopov
Figure 12. Special electronic tick removers were tested

visoko okuženost z LB na nek način znižali, predstavil pa bi rad tudi aktivnosti, ki smo jih in jih še izvajamo, da bi nenormalno ogroženi populaciji, kar zaposleni na ZGS prav gotovo so, priznali določene pravice, ki jih zaslužijo. Omenil bi naslednje ukrepe in aktivnosti:

- osveščanje zaposlenih, ki ga izvajamo s predavanji, preizkusi znanja kot redno aktivnost Službe za varnost in zdravje pri delu; izdali smo zloženko;
- nabava repelentov, ki jih vsako leto delimo zaposlenim;
- nabava posebnih pincet, ki učinkovito odstranjujejo klope (slika 11);
- preizkušali smo posebne elektronske odganjalce klopov, nismo pa se še odločili za nakup (slika 12);
- testiranja zaposlenih na okuženost z LB, ki jih izvajamo ob obdobjih zdravstvenih pregledih, če seveda razpoložljiva sredstva to omogočajo;

- sodelovanje z zdravstvenimi institucijami pri raznih projektih, ki bi po eni strani pokazali na razširjenost LB, po drugi pa na bolj učinkovita zdravljenja;
- opozarjanje odgovornih resornih ministrstev o problematiki razširjenosti LB med zaposlenimi na ZGS in drugje (na našo pobudo je bilo sklicanih kar nekaj sestankov, ki pa žal do sedaj niso pripeljali do konkretnih rešitev);
- prizadevanja ZGS da bi LB za zaposlene postala določena oblika poklicne bolezni ali bolezni iz dela.

Sklepne misli

V prispevku smo želeli opozoriti na perečo problematiko okuženosti zaposlenih z LB, ki po rezultatih ankete sodeč prerašča normalne okvire okuženosti širše slovenske populacije. Na ZGS na ta problem že dalj časa opozarjamo, z analizo ankete pa smo prvič lahko postregli s konkretnimi rezultati, ki nam bodo služili kot dobra osnova za bodoča ukrepanja. Poleg tega, da s tem opozarjamo na lastne težave, bi na tem mestu radi spodbudili tudi ostale, ki bolj ali manj pogosto delajo v gozdu in so zato v večji nevarnosti okužbe, da tudi sami preverijo stanje. Podobno anketo bi bilo dobro izvesti še kje, primerjava rezultatov pa bi bila za vse zelo koristna.

Literatura

1. Strle, F., Cimperman, J., Ružič-Sabljič, E., Veselič, Ž., Jež, P., 1994. Infekcije z Borrelia burgdorferi pri gozdarskih delavcih v Sloveniji. Gozdarski vestnik, 52 (1994), 7–8, 290–310.
2. Strle, F., 1998. Lymska borelijoza. Gozdarski vestnik, 56 (1998), 9, 403–412.
3. Kotnik, I., 2001. Bolezni, ki jih prenašajo klope. Strokovna naloga. Ljubljana.
4. Lotrič Furalan, S., Maraspin Čarman, V., 1996. Bolezni, ki jih prenašajo klope. Medicinski razgledi, 35, 3, 363–383.

PREGLED STANJA OBREMENJENOSTI DELOVNEGA OKOLJA Z NEIONIZIRNIMI ELEKTROMAGNETNIMI SEVANJI

Occupational Exposure to Non-ionizing Radiation

Peter Gajšek*

UDK 331.4:628.5

Povzetek

Neionizirna elektromagnetna sevanja (NEMS) so dandanes pomemben dejavnik okolja, v katerem živimo in delamo. Če upoštevamo znanstvene ugotovitve, da NEMS pri določenih intenzitetah človeku lahko škodujejo, je nujno, da se tega končno zavemo. Predvsem se moramo najprej seznaniti s tem, kje in kako nastajajo ta sevanja, kakšen je njihov možni škodljivi biološki učinek, in brezpogojno izvesti kontrolne meritve v vseh kritičnih okoljih, da bi lahko pravočasno zaščitno ukrepali. Prispevek podaja pregled sevalnih obremenitev na delovnih mestih v Sloveniji z ozirom na frekvenco vira sevanja, njihove možne vplive na človekovo zdravje ter ukrepe varstva pred NEMS.

Abstract

With the increasing quantities of electric devices, the human natural and living environments are rapidly changing. In comparison to natural non-ionizing radiation (NIR), the intensity of artificially created radiation has strongly increased. The opinion that NIR may have a negative effect on persons has become widespread. The fact that we do not sense NIR directly, but need to measure radiation, has increased general uncertainty. The paper discusses the current situation in the field of occupational exposure in Slovenia, including radiation protection activities.

Uvod

V Sloveniji smo pred več kot 20 leti začeli izvajati prve meritve sevalnih obremenitev visokofrekvenčnih izvorov v industriji, medicini, telekomunikacijah in okolju (Gajšek, J., 1983, 1985). Indikacija škodljivosti NEMS velikih jakosti je bila takrat v svetu že potrjena in je tudi nam predstavljala temelj za ocenjevanje stanja v Sloveniji. Na podlagi predhodno izvedenih meritev smo do sedaj na več kot 75 % preskušanih virih NEMS v delovnem okolju v Sloveniji ugotovili prekomerne sevalne obremenitve. To potrjuje tudi nedavno končan raziskovalni projekt o poklicni izpostavljenosti elektromagnetnim sevanjem, ki ga je podprlo Ministrstvo za znanost in tehnologijo. Zaradi pomanjkljive zakonodaje in neozaveščenosti tako delavcev kot vseh tistih, ki skrbijo za njihovo varnost, se stanje kljub tem kazalcem ne izboljšuje. Upanje prinaša novi zakon o zdravju in varstvu pri delu ter priprave na zakon s področja varstva pred neionizirnimi sevanji.

Elektromagnetna sevanja

Elektromagnetna sevanja so prisotna povsod v našem okolju. S človeškimi čutili zaznavamo le ozek spekter sevanj v območju vidne svetlobe ter sevanj, katerih jakosti so tako velike, da jih čutimo kot toploto. Celotni spekter elektromagnetnih sevanj je glede na frekvence oz. valovne dolžine razdeljen na statična električna in magnetna polja,

zelo nizke frekvence (do 300 Hz) ter nizke in visoke frekvence, mikrovalove, infrardečo, vidno in ultravijolično svetlobo. Ta del elektromagnetnega spektra predstavljajo neionizirna sevanja. Od tu dalje so ionizirna sevanja, ki imajo še višje frekvence oz. krajše valovne dolžine in večje energije fotonov (frekvenco, višjo od 3.1015 Hz; valovno dolžino, krajšo od 100 nm, energijo fotonov, večjo od 12,4 eV). K neionizirnim sevanjem prištevamo še infrazvok in ultrazvok, ki sta za razliko od elektromagnetnega valovanja, ki je transverzalno valovanje, longitudinalni valovanji.

Viri, meritve in rezultati sevalnih obremenitev v delovnem okolju

Na Zemlji so že od nekdaj prisotna sevanja naravnih virov. Čedalje več je tudi sevanj umetnih virov. Ta so navzoča povsod v okolju, kjer delamo ali bivamo, in njihova jakost s tehnološkim razvojem družbe narašča.

Naravna NEMS izvirajo iz zemlje (zemeljsko magnetno polje), zemeljske atmosfere (električno polje) in vesolja, kjer je sonce njihov najpomembnejši izvor.

Umetna NEMS zavzemajo celoten frekvenčni spekter. Najpogostejši viri so električno omrežje, električni motorji, gospodinjske naprave, naprave v industriji za obdelavo različnih materialov, računalniki, telekomunikacijske naprave, radijski in televizijski oddajniki, medicinske naprave in radarji.

* dr., Inštitut za varovanje zdravja RS, Trubarjeva 2, Ljubljana, peter.gajsek@ivz-rs.si

Ta sevanja dosegajo neprimerno večje jakosti kot sevanja naravnih virov.

Statična električna in magnetna polja

Električna železnica v Sloveniji uporablja enosmerno električno napajanje, in sicer 1,5; 3 ali 6 kV. To lahko v vlaku povzroča statično električno polje do 300 V/m.

Statična magnetna polja srečujemo v okolici naprav, ki uporabljajo velike enosmerne tokove tja do 100 kA. To je predvsem v industriji pri elektrolizi aluminija, pri uporabi talilnih peči, pri varjenju in podobno. V bližini teh naprav magnetna polja dosežejo od 4 do 7 mT. Pri galvanizacijskih postopkih, kjer je pri večjih napravah poraba enosmernega toka od 4 do 10 kA, pa lahko na mestih, kjer se zadržuje osebje, računamo z 0,5 do 4 mT.

Veliko višje vrednosti pa so izmerjene pri medicinskih diagnostičnih napravah z nuklearno magnetno resonanco /NMR/ z nazivno vrednostjo celo do 4 T. Direktno ob tuljavi 0,5 T magnetna lahko nastopijo vrednosti do 250 mT. Z oddaljenostjo v smeri osi tuljave hitro upadajo, tako da lahko pri oddaljenosti 14 m pričakujemo 0,1 mT. V radialni smeri pade magnetno polje na to vrednost že pri oddaljenosti 11 m.

Nizkofrekvenčna NEMS do 100 kHz

Nizkofrekvenčnim NEMS so poklicno najbolj izpostavljeni nedvomno v proizvodnji in prenosu električne energije, težki in predelovalni industriji.

Izpostavljenost vzdrževalca na generatorju moči 406 MVA v elektrarni je beležena s pomočjo osebnega dozimetra. Dozimeter je navadno nameščen v višini prsnega koša delavca, ki ga nosi v času ene izmene. V tem primeru dobimo kompleksen vpogled v dnevno variabilnost sevalne obremenitve med opravljanjem delovnih nalog. Maksimalna vrednost magnetnega polja je znašala 428,32 μ T in je bila prisotna le v kratkih časovnih intervalih. Povprečna vrednost je znašala 15,07 μ T.

Preglednica 1. Tipične vrednosti stresanih magnetnih polj na delovnem mestu v elektrarni

Table 1. Typical values of magnetic fields on the job in the electric power plant (source: IVZ archives)

Mesto merjenja	Tok (kA)	Magnetno polje (mT)
generator – izhod	2,5	0,1–2
transformator	5	0,12
niskonapetostna razdelitev	2,5	0,11–2
preskus generatorja (zbiralnik)	35	12–30
oklopljena nevtralna točka generatorja	—	0,1–4
preskus transformatorja	0,26–1,4	0,2–0,8

Celovita analiza izpostavljenosti zaposlenih v proizvodnji, distribuciji in prenosu električne energije z osebnimi dozimetri kaže, da so najbolj izpostavljeni električarji (povprečna izpostavljenost 32 μ T). Sledijo jim vzdrževalci in tehniki (povprečna izpostavljenost 1–17 μ T). Najmanj pa so izpostavljeni zaposleni v administraciji (povprečna izpostavljenost 2–4 μ T).

Visokofrekvenčna NEMS (100 kHz–300 GHz)

V nadaljevanju se bomo omejili le na najbolj značilne vire, ki jih najdemo v industriji, medicini ter pri radijskih in televizijskih oddajnih sistemih in telekomunikacijskih zvezah in ki lahko povzročajo čezmerne sevalne obremenitve zaposlenih.

V industriji (lesna, predelovalna, kovinska galanterija) navadno uporabljajo visokofrekvenčne generatorje standardiziranih frekvenc (0,2–2450 MHz) in različnih moči (0,1–100 kW) za obdelavo materialov.

Opravljenе meritve sevalnih obremenitev zaposlenih v nekaterih industrijskih panogah so pokazale, da pri dielektričnem in induktivnem segrevanju, varjenju, sušenju, taljenju in prešanju (stiskalnice) navadno prihaja do prekoraitve mejnih vrednosti za visokofrekvenčna elektromagnetna sevanja. Glavni vzrok je v popolnoma nezaščitenih elektrodah za obdelavo materialov in velikih izhodnih močeh generatorjev.

Med izhodno močjo virov in intenziteto stresanih polj ni posebne povezave. Razlike so posledica različnih izvedb in konfiguracij izhodnih vezij VF generatorjev (različne velikosti in pozicije elektrod, induktivnih navitij, orodij, anten) ter v učinkovitosti zaslanjanja.

Razlike nastajajo tudi zaradi različne oddaljenosti delavca od vira sevanja kakor tudi zaradi različnih delovnih pogojev in avtomatizacije. Porazdelitev polja je tudi odvisna od velikosti, oblike in pozicije objekta v njem. Posebna pozornost velja tudi »sekundarnim izvorom polj«, ki so posledica visokofrekvenčne inducirane napetosti v električni napeljavi v bližini primarnega izvora. Tako lahko za različne vire elektromagnetnih sevanj pričakujemo velike razlike v poljskih jakostih na delovnem mestu.

V medicini se uporabljajo visokofrekvenčni generatorji srednjih moči do 500 W in standardiziranih frekvenc za dosego pozitivnih fizioterapevtskih učinkov. Zato jih imamo za namenske vire, ki v svojo okolico sevajo poleg koristnih za pacienta tudi parazitna elektromagnetna polja navzočim operaterjem (Gajšek, 1996b). Medicinske terapevtske naprave so razporejene v dve skupini in sicer za **kratkovalovno terapijo** s frekvencami 3 do 300 MHz in za **mikrovalovno terapijo** s frekvencami 300 MHz do 30 GHz. Najpogosteje se uporabljajo delovne frekvence v kratkovalovnem območju 13,56 MHz in 27,12 MHz ter v mikrovalovnem 2450 MHz. Meritve so potekale med

Preglednica 2. Izmerjene vrednosti poljskih jakosti in ocena sevalnih obremenitev glede na izvor
Table 2. Measured field intensity values and estimation of radiation loads with respect to source.

Vir NEMS – generator	Izhodna moč (kW)	Frekvenca (MHz)	Oddaljenost (m)	Višina (m)	Električna poljska jakost E (V/m)	Magnetna poljska jakost H (A/m)
dielektrično segrevanje	32	4	1	1,5	250–580	0,7
induktivno segrevanje	10–60	0,2–0,5	1	1,5	2–150	0,3–20
varjenje	0,1–2	25–60	1	1,5	20–300	
taljenje	110	0,42	0,5	1,4	5	2,4
prešanje – stiskalnice	1,5–10	13	1	1,6	50–3000	0,1–50

terapijo pacientov. Električna in magnetna poljska jakost v povprečju 5-krat presežata mejne vrednosti.

Največje tveganje za zdravje zaposlenih v **telekomunikacijah** zaradi izpostavljenosti elektromagnetnim sevanjem lahko pričakujemo med vzdrževanjem antenskih sistemov. Skoraj v vseh primerih so mejne vrednosti v bližini anten oddajnih sistemov nekajkrat presežene.

Biološki učinki

Veliko bioloških učinkov elektromagnetnih sevanj z organizmi je mogoče pojasniti z dokazanimi in potrjenimi mehanizmi interakcij. V nadaljevanju se bomo omejili predvsem na pojasnjene in znanstveno potrjene mehanizme interakcij.

Vpliv elektromagnetnih sevanj na biološke organizme je različen glede na frekvenčno območje virov (statična polja, nizke frekvence, visoke frekvence) – t. j. glede na razmerje med valovno dolžino in obsevanim objektom (človek, žival...).

Mehanizme interakcij NEMS s človekom lahko obravnavamo ločeno glede na frekvenco (Miklavčič in Gajšek, 1999):

- pod 100 kHz, kjer je primarnega pomena **stimulacija vzdražnih tkiv**,
- nad 100 kHz, kjer prevladuje **termični učinek**.

V frekvenčnem območju pod nekaj MHz se za ocenjevanje bioloških vplivov uporablja *gostota električnega toka* (J) v telesu, medtem ko se pri valovnih dolžinah reda velikosti človeškega telesa uporablja *količina absorbirane energije* v prostornini oz. masi človeka – to je stopnja specifične absorpcije (Specific Absorption Rate – SAR).

Preglednica 3. Izmerjene vrednosti poljskih jakosti in ocena sevalnih obremenitev glede na izvor
Table 3. Measures field intensity values and evaluation of radiation loads with respect to source

Vir NEMS – generator	Izhodna moč (kW)	Frekvenca (MHz)	Oddaljenost (m)	Višina (m)	Električna poljska jakost E (V/m)	Magnetna poljska jakost H (A/m)
kratkovalovna terapija	0,4	27	1 0,2	1,5	80–500 900	0,2–0,5
mikrovalovna terapija	0,5	2450	1 0,2	1,5	170 220	2,5

Preglednica 4. Izmerjene vrednosti poljskih jakosti in ocena sevalnih obremenitev glede na izvor
Table 4. Measured field intensity values and estimation of radiation loads with respect to source (source: IVZ archives).

Vir NEMS – generator	Izhodna moč (kW)	Frekvenca (MHz)	Oddaljenost (m)	Električna poljska jakost E (V/m)	Magnetna poljska jakost H (A/m)
avto telefon	$2 \cdot 10^{-2}$	890–960	0,1 m	50	—
brežični telefon	10^{-4}	27–44	0,1 m	13–20	—
AM – radio oddajnik	300	0,91	antenski stolp kontrolna soba	1500 80	0,1
UKV – radijski oddajnik	100	95,3	antenski stolp kontrolna soba	do 450 do 3	do 7 —
TV – oddajnik	400	631,25	antenski stolp kontrolna soba	do 400 do 5	do 4 —
radar civilne plovbe	70	2880	na letališču kontrolna soba	do 19 0,01	do 0,05 —

V obih frekvenčnih območjih je opaziti tudi druge mehanske interakcije, ki nastopijo pri zelo nizkih jakostih in ne povzročajo draženja ali segrevanja tkiva. To še posebej velja za nizkofrekvenčna NEMS omrežne frekvence 50 Hz in visokofrekvenčne signale amplitudno modulirane z ekstremno nizkimi frekvencami (1–300 Hz). Na voljo je nekaj hipotez, s katerimi poskušajo te mehanizme identificirati in pojasniti. Te hipoteze so večkrat pomanjkljive in nekatere celo v nasprotju z obstoječimi znanstvenimi izsledki (Tenforde in Kaune, 1996). NEMS lahko vplivajo na človeka direktno (**neposredni učinki**) ali indirektno prek induciranih tokov oz. napetosti v telesu (**posredni učinki**). Učinki lahko nastopijo takoj – akutni učinki, ali pa šele čez določen čas – **zapozneli učinki**.

Akutni biološki učinki

Nizkofrekvenčna NEMS

Neposredni učinki NEMS so posledica prerazporejanja električnih nabojev na površini telesa ali zaradi tokov, ki nastanejo v električno prevodnem človekovem telesu.

Pri visokih poljskih jakostih zaradi prostorskih nabojev pride do zaznavnih pojavov, kot so naježenje dlak in pojav iskre med kožo in obleko. Inducirani tokovi v telesu, ki jih povzročajo električna in magnetna polja, povzročajo biološke učinke. Prag zaznavanja se razlikuje od človeka do človeka. Med 1–3 % populacije lahko zazna električno polje frekvence 50 Hz že pri 1 kV/m. Najbolj občutljivi so otroci.

Magnetna polja lahko povzročijo občutek migotanja pred očmi, kar prizadeta oseba doživi kot obremenitev in slabo počutje.

Posredni učinki NEMS, ki temeljijo na toku v telesu ali napetosti dotika, nastopijo pri približevanju ali dotiku električno prevodnih predmetov. Tudi vplive na implantat v telesu ali motnje v njegovem delovanju (srčni spodbujevalnik) uvrščamo med posredne učinke.

Prag zaznavanja razelektritve, ki nastopijo pri razelektritvenih tokovih na vozilih pod visokonapetostnimi daljnovodi, je odvisen od občutljivosti določenega dela telesa. Tako lahko v električnem polju pod daljnovodom pri neugodnih okoliščinah zaznamo že poljsko jakost 0,5 kV/m. Ženske in otroci so še posebej občutljivi za te učinke. Čeprav določeni posredni učinki pogosto ne veljajo za škodljive (srčni spodbujevalnik je izvzet), jih lahko človek začuti kot obremenitev ali bolečino.

Visokofrekvenčna NEMS (100 kHz–300 GHz)

Pri **neposrednih učinkih** visokofrekvenčnih NEMS se zvišanje temperature, ki se sprosti v organizmu pri izpostavitvi tem sevanjem, zdi kot primerno merilo za ocenjevanje termičnih vplivov. Na molekularni in celični

ravni je absorbirana energija v časovni enoti odvisna od dielektričnih lastnosti snovi ter od jakosti elektromagnetnih sevanj v njej. Prenos energije poteka prek različnih mehanskih, predvsem pa prek polarizacijsko vezanih nabojev, nihanj v orientaciji permanentnih dipolov (voda), nihanj in rotacijskih gibanj znotraj molekul ter prerazporejanja prostih nosilcev naboja.

Podlaga za določitev mejne vrednosti pri visokofrekvenčnih NEMS temelji na zelo preprostem konceptu. Vpadna energija NEMS se delno odbije, delno pa se absorbira in zaradi dielektričnih izgub v telesu v celoti pretvori v toploto. Za še sprejemljivi dvig telesne temperature je določena 1 °C. Na podlagi eksperimentalnih raziskav je bilo ugotovljeno, da dvig telesne temperature za 1 °C ustreza SAR 4 W/kg za celo telo. Razpoložljiva znanstvena literatura pa ne izključuje možnosti negativnih učinkov tudi pod vrednostjo SAR 4 W/kg za celo telo (NCRP, 1986; WHO, 1993).

Tudi v tem frekvenčnem območju lahko nastopijo **posredni učinki**. Pri dotiku prevodnih predmetov lahko pride do t. i. visokofrekvenčnih opeklin, vnetljive zmesi plinov pa lahko povzročijo eksplozijo. Možen je tudi vpliv visokofrekvenčnih NEMS na srčne spodbujevalnike.

Poskusi na živalih so pokazali, da pri vrednosti SAR 4 W/kg že nastopi zvišanje temperature v delih telesa, pri tem pa ne pride do zvišanja normalne telesne temperature.

Ugotovljeni akutni biološki učinki, o katerih poročajo v znanstveni literaturi, pri jakostih, kjer pride do segrevanja, so:

- poškodbe oči (katarakta),
- spremembe v sposobnosti razmnoževanja,
- imunološki in hematološki učinki,
- vpliv na kardiovaskularni sistem,
- vpliv na delovanje endokrinega sistema (delovanje nadledvične žleze in ščitnice, izločanje hormonov),
- spremembe v centralnem živčnem sistemu.

Pri moduliranih visokofrekvenčnih poljih pa so odkrili biološke učinke tudi pod pragom, pri katerem je zaznati učinek visokofrekvenčnega segrevanja. Mehanizmi teh učinkov še niso popolnoma poznani in so trenutno predmet znanstvenih raziskav.

Zapozneli učinki

Znano je, da lahko NEMS, ko presežejo določen prag jakosti, povzročijo ireverzibilne negativne zdravstvene učinke. Kot podlaga temu služijo številni rezultati raziskav, ki so jih objavile raziskovalne skupine na področju vrednotenja sevalnih obremenitev na delovnih mestih, ki kažejo na določeno statistično povečano tveganje za pojav določenega obolenja.

Vsi priznani znanstveni dokazi kažejo, da imajo lahko NEMS negativen vpliv na zdravje tedaj, ko presežejo določen prag jakosti in s tem povzročijo takojšnje ireverzibilne negativne zdravstvene učinke. Pod tem pragom, ko ni opaziti takojšnjih

učinkov, govorimo o zapoznelih učinkih, ki pa so posledica trajnejše izpostavljenosti nizkim jakostim NEMS. Opravljene raziskave poročajo o določenih bioloških učinkih, kot so vpliv na živčni sistem (spremembe v EEG), kardiovaskularni sistem, metabolizem ter imunski sistem. Večina teh raziskav je protislovnih in jih v večini primerov ni bilo mogoče potrditi v ponovljenih študijah. Čeprav so bili ugotovljeni določeni biološki učinki pri jakostih, ki so nižje od mejnih vrednosti, pa je dvomljiv njihov dejanski negativni vpliv na zdravje.

Nizkofrekvenčna NEMS

V znanstveni literaturi najdemo veliko raziskav in študij o možnih zapoznelih učinkih, kot so obolelost za rakom zaradi izpostavljenosti NEMS zelo nizkih jakosti; predvsem takim, ki so pod mejnimi vrednostmi za akutne vplive. Kljub do sedaj še neznanim povezavam odmerka – učinka ter mehanizmom indukcije karcinogenosti zaradi NEMS je v znanstveni literaturi zaslediti veliko avtorjev, ki zagovarjajo promocijski učinek elektromagnetnih polj pri nastajanju raka.

Glavoboli, utrujenost, izčrpanost, razne alergije, čezmerna vzdražljivost se pripisujejo jakostim NEMS, ki so jim dnevno izpostavljeni zaposleni na delovnih mestih.

K tumorjem, na katerih rast lahko vplivajo elektromagnetna polja, sodijo poleg levkemije (posebno pri otrocih) tudi tumorji na možganih, limfnem sistemu in na prsni, kot tudi motnje v izločanju hormona melatonina.

Večina epidemioloških raziskav se pri karakteriziranju poklicne izpostavljenosti NEMS bolj kot na meritve naslanja na poklic. Prva tovrstna raziskava na tem področju je ugotovila, da se smrtnost za levkemijo zdi povečana v desetih od enajstih poklicev, v katerih so bili delavci izpostavljeni elektromagnetnim poljem (Milham, 1982).

Angleški odbor za varstvo pred sevanji (NRPB) je po pregledu raziskav prišel do zaključka, da je zelo majhno skupno število primerov levkemije, ki jih omenjajo te študije, morda rezultat dejstva, da obstaja tendenca po selektivnem objavljanju rezultatov, ki nakazujejo povečano tveganje.

Zanimivo je, da pri varilcih, ki so v primerjavi z drugimi poklici izpostavljeni zelo visokim jakostim NEMS, ne prihaja do povečanega tveganja za pojav levkemije. Nekoliko povečano, čeprav še vedno majhno tveganje za pojav tumorja na možganih najverjetneje ni rezultat načina objavljanja raziskav, čeprav ni mogoče izključiti možnost, da so njegov vzrok tudi nekatere kemične snovi.

Ena od nadaljnjih raziskav je ugotovila, da so delavci v tovarni aluminija, kjer so visoki tokovi del procesa predelave, umirali za levkemijo v petkrat večjem številu od pričakovanega razmerja (WHO, 1996).

Študija Univerze Južne Karoline pa je pokazala, da je verjetnost razvoja levkemije pri električarjih 20–30 % večja kot pri drugih delavcih v telefoniji. Pri tistih, ki so preživeli več časa

v močnejših poljih je bilo tveganje, da se jim bo razvila kronična mieloična levkemija, 2,3-krat večje, kot pri tistih, ki so bili manj izpostavljeni (Savitz, 1993).

Floderus s *sodelavci* (1993) je ugotovila, da obstaja povezava med poklicno izpostavljenostjo elektromagnetnim poljem in kronično limfatično levkemijo. Vendar pa najdemo več metodoloških pomanjkljivosti, s katerimi se srečujejo tudi nekatere druge raziskave, ki so povezane z identifikacijo primerov in primernostjo opravljenih meritev za določitev pretekle izpostavljenosti (Metanoski in sod., 1991).

Raziskava, ki je obsegala 36.000 električarjev v ZDA, ne kaže povezave med izpostavljenostjo magnetnim poljem in pojavom levkemije oz. limfoma ali tumorja na možganih (Sahl in sod., 1993). Raziskava zaradi izredno majhnega števila obolelih za levkemijo ali limfomom ni mogla odkriti nobenega, še tako majhnega tveganja. Do podobnih rezultatov je prišla tudi norveška raziskava železniških delavcev (Tynes in sod., 1994).

Najobsežnejšo študijo o zdravstvenem tveganju zaposlenih v elektrogospodarstvu sta izvedli elektrogospodarstvi Francije in Kanade in je zajela skupno 223.000 delavcev pri električnih napravah v Ontario Hydro, Hydro-Quebec in Electricite de France. Vsak od zaposlenih vključenih v študijo je nosil dozimeter ves delovni teden, v različnih obdobjih prek vsega leta. Tako so zbrali 10.000 delovnih dni meritev. Ugotovili so 3,15-kratno povečanje tveganja za pojav mieloične levkemije in 12-kratno povečanje tveganja za pojav določenih oblik tumorja na možganih (Theriault in sod., 1994). Pri tem je pomemben še podatek, da tu ni prišlo do trenda povečanega tveganja ob povečani izpostavljenosti. Raziskava ni odkrila statistično pomembnih povezav med elektromagnetnim sevanjem in tumorjem na možganih oz. drugimi vrstami raka, ki so bile tudi predmet raziskave (bilo jih je 29).

Raziskave, objavljene po letu 1994, so okrepile prepričanje, da pri nekaterih skupinah zaposlenih v industriji, posebno pri izpostavljenih visokim jakostim NEMS, prihaja do povečanega tveganja za levkemijo, ne pa tudi za možganski tumor (NRPB, 1994).

Obsežna študija, ki je zajela več kot 138.000 zaposlenih v elektrogospodarstvu v ZDA, ni pokazala na povečano tveganje za pojav levkemije pri izpostavljenosti magnetnim poljem na delovnem mestu. Statistično povečano tveganje je bilo ugotovljeno le za tumor na možganih (Savitz in sod., 1995).

Podatki objavljenih raziskav niso enotni niti v tem, za kateri tip levkemije naj bi pri tem povečanju tveganja šlo, niti v tem, ali je povečano tveganje za pojav rakastih obolenj povezano s povečano izpostavljenostjo elektromagnetnim poljem.

Meta analiza o povezavi med poklicno izpostavljenostjo NEMS in možganskim tumorjem je ugotovila za 10–20 % povečano tveganje za pojav tega raka pri zaposlenih v elektroindustriji v primerjavi z drugimi poklici (Kheifets in sod., 1995). Vendar pa zaradi pomanjkanja natančnih

podatkov o izpostavljenosti in nejasni zvezi med odmerkom in učinkom ni moč z gotovostjo trditi, da so NEMS vzročno povezana s povečanim tveganjem za pojav tumorja na možganih pri zaposlenih v elektroindustriji.

Visokofrekvenčna NEMS

V nasprotju z nizkofrekvenčnimi NEMS obstaja na področju poklicne izpostavljenosti visokofrekvenčnim NEMS le malo epidemioloških podatkov.

Podatki o zaposlenih na ameriški ambasadi v Moskvi (Lilienfeld in sod., 1978), ki so bili več let izpostavljeni mikrovalovnemu sevanju, sicer nakazujejo možnost, da dolgotrajna izpostavljenost NEMS nizkih jakosti vpliva na človekovo zdravje, vendar pa tudi ta raziskava ne nudi prepričljivih dokazov za kakršno koli tveganje za pojav obolenja.

Raziskave poklicne izpostavljenosti imajo pomembno vlogo pri preverjanju verjetnosti tveganja za pojav raka zaradi izpostavljenosti elektromagnetnim sevanjem, čeprav se jakosti in drugi pogoji izpostavljenosti zelo razlikujejo od tistih v bivalnem okolju. Toda tudi pri podatkih tovrstnih raziskav prihaja do neskladnosti (NRPB, 1992).

Objavljeni sta bili dve obsežni epidemiološki študiji o operaterjih na radarju. Udeleženi je bilo prek 40.000 operaterjev, ki so na radarju delali vsaj 2 leti. Njihovo zdravstveno stanje so spremljali še nadaljnjih 20 let. Raziskavi sta nakazali težnjo k povečanju tveganja za rakasta obolenja na splošno (Robinette in sod., 1980, Garland in sod., 1990). Szmigielski s sodelavci poroča o povečanem tveganju raka med vojaki. Rezultate teh študij je zaradi nejasnih določil velikosti populacije in ravni sevalnih obremenitev le-te zelo težko interpretirati (Szmigielski in sod., 1988, 1996).

Po drugi strani pa je npr. retrospektivna študija o umrljivosti radioamaterjev pokazala na povečanje pojava levkemije, še posebno akutne mieloične levkemije, hkrati pa tudi statistično pomembno zmanjšanje števila drugih rakastih obolenj (Milham, 1988a; Milham, 1988b; Milham, 1988c).

Opravljen raziskava o umrljivosti delavcev, zaposlenih v programu testiranja elektromagnetnih sevanj impulzne oblike, kaže na možnost povezave med umrljivostjo zaradi levkemije in zaposlitvijo na tem področju (Muhm, 1992). Vendar pa je sama raziskava pomanjkljiva zaradi omejenega števila primerov ter zaradi svojevrstnosti samega dela, ki vsebuje vrsto zavajajočih faktorjev.

Veliko poklicnih epidemioloških raziskav o vplivih NEMS na razvoj raka temelji na klasifikaciji delovnih mest kot indirektni oceni izpostavljenosti. Cilj teh raziskav je bil odkriti možno povezavo med rakastimi obolenji in izpostavljenostjo. O zapoznelih učinkih visokofrekvenčnih sevanj (posebno za radar) poročajo nekatera dela, vendar pa na podlagi le-teh konsistentne slike še ni moč podati (Miklavčič in Gajšek, 1999).

Pregled objavljenih raziskav v letih 1992–1998, ki poročajo o povezavi med izpostavljenostjo elektromagnetnim poljem in rakastimi obolenji, je izvedla tudi ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Prišla je do zaključka, da objavljeni podatki najnovejših raziskav kažejo na metodološke izboljšave pri laboratorijskih in epidemioloških raziskavah poklicno izpostavljenih kakor tudi prebivalstva. Vendar pa razpoložljivi podatki o povezavi med izpostavljenostjo NEMS in rakom vseeno ne nudijo trdnih dokazov o povečanem tveganju za pojav obolenja (ICNIRP, 1998).

Zaščita

Glede na ugotovitve o škodljivosti sevanj je nujna vzpostavitev zaščitnih ukrepov za vse vrste virov NEMS povsod tam, kjer je človek v neposrednem stiku z njimi. Tehnična zaščita je najzanesljivejši in najučinkovitejši dejavnik v sistemu varnosti pred elektromagnetnimi sevanji (Gajšek in sod., 1996a). Izvajamo jo pri izvoru samem. Če to ni mogoče, se izvaja z zaslanjanjem na poti širjenja sevanja in šele nato pri delavcu samem z osebnimi zaščitnimi sredstvi. Pomembno je učinkovati na izvor NEMS, osebna zaščitna sredstva so le dodaten varnostni ukrep ter s tem izhod v sili.

Meritve sevalnih obremenitev

Periodično izvajanje monitoringa sevalnih obremenitev je osnova tehničnim zaščitnim ukrepom in hkrati dobro izhodišče vsem nadaljnjim aktivnostim za zmanjševanje NEMS na delovnem mestu.

Nadzor nad sevalnimi obremenitvami naj izvajajo le akreditirane ustanove z ustrezno usposobljenim kadrom ter z metrološko verificirano merilno opremo, ki ustreza standardiziranim merilnim postopkom.

Kontrolne meritve naj se izvajajo periodično. Dodatno pa še:

- če pride do poškodb in okvar na napravah ter nato do ponovnega zagona;
- če se spremeni izhodna stopnja – moč;
- če se spremeni konfiguracija okoliških objektov;
- če se izvedejo oklopi in zaščitni zaslони – preverjanje ustreznosti.

Zaslanjanje

Za zmanjšanje jakosti sevanja električnega in magnetnega polja uporabljamo razne načine zaslanjanja s kovinskimi zaslони in mrežami. Najučinkovitejši ukrep za visokofrekvenčne naprave za segrevanje v industriji je namestitev le teh v zaprtih prostorih – **Faradayevih kletkah**. Ta kletka dobro ščiti pred statičnimi in nizkofrekvenčnimi električnimi polji, prav nič pa pred magnetnimi polji.

Taka zaščita z oklapanjem elektromagnetnih polj in energij oz. prostorov ali predmetov pomeni zahteven postopek. Pomembno je, ali oklapljamo električno, magnetno ali elektromagnetno polje. Bistvene so električne lastnosti oklopnega materiala, pa tudi njegova struktura, kar vpliva na frekvenčno odvisnost in učinkovitost zaščite. Posebno problematično je oklapanje magnetne komponente elektromagnetnih polj najnižjih frekvenc (omrežna frekvenca 50 Hz). Uspešno oklapanje je odvisno od debeline materiala, površine, ki jo oklapljamo; geometrijskih lastnosti – predvsem pa od magnetne permeabilnosti materiala. Zmanjševanje stresanih polj pri oblikovanju in projektiranju ter v fazi proizvodnje naprav je dosti bolj učinkovito ter s tem cenejše kot kasnejši zaščitni ukrepi z oklapanjem in zaslanjanjem.

Osebna zaščita

Običajno je uporaba individualnih zaščitnih sredstev na delovnih mestih zelo učinkovita. Zaščitne obleke, halje, pregrinjala, zasloni, rokavice, očala in čevlji iz metalizirane tkanine občutno zmanjšajo vplive sevanj in ob primerni namestitvi lokalizirajo sevanja. Varovalni čevlji se priporočajo za zmanjševanje visokih lokalnih SAR pri ozemljenih osebah.

Administrativna zaščita

Zelo pomembna je dobra seznanjenost vseh odgovornih in ogroženih s celotno problematiko NEMS. Treba je zagotoviti redne tehnične preglede izvorov NEMS kot tudi monitoring nad sevalnimi obremenitvami delovnega in bivalnega okolja. Naprave naj se uporablja v skladu z navodili in njihovim namenom (WHO, 1993).

- Za tehnično osebje je treba zagotoviti ustrezno šolanje in preverjanje usposobljenosti glede poznavanja problematike NEMS.
- Celotno območje izvora je potrebno označiti s posebnimi, mednarodno uveljavljenimi znaki: ELEKTROMAGNETNO SEVANJE.
- Izpostavljenost poljem, ki presegajo s standardi določene mejne vrednosti, je nedopustna in jo je treba takoj preprečiti.
- Voditi je treba statistiko o zdravstvenem stanju zaposlenih pri izvori NEMS (tudi o manj izrazitih zdravstvenih težavah, potrebni so redni zdravstveni pregledi). Potrebno je predpisati postopke oz. standardizirati preglede.
- Treba je pripraviti kriterije in predloge za razdelitev področij glede na sevalne obremenitve in določiti režime gibanja in zadrževanja v posameznih conah.
- Za to so potrebne predhodne meritve elektromagnetnih sevanj, saj se le na podlagi rezultatov lahko določijo cone ter s tem režim gibanja.

Zaradi pomanjkanja natančnih podatkov o vseh možnih bioloških učinkih se priporoča **izvajanje razumne preventive** – izpostavljenost naj bo ob upoštevanju vseh preven-

tivnih dejavnikov kar se da nizka. Pri tem je potrebno upoštevati vrsto dodatnih vidikov (ekonomski, socialni ...) (Gajšek, 1995).

Zdravstveni nadzor

Vse te zaščitne aktivnosti pa naj povezuje medicinska zaščita. Sproti naj se s kontrolnimi pregledi nadzoruje zdravstveno stanje izpostavljenih oseb. Zelo pomembno je natančno vodenje statističnih podatkov izpostavljenih. Gre za zbiranje rezultatov meritev o poljskih jakostih, trajanju izpostavljenosti, vrsti dela in fizikalnih parametroh. Na podlagi teh rezultatov so potem možni zaključki in kasnejše epidemiološke raziskave.

Stanje v Sloveniji

Na področju varstva in zdravja pri delu v tem trenutku pri nas ni veljavnih predpisov, ki bi se nanašali na varstvo pred NEMS. Upanje prinaša novi zakon o zdravju in varstvu pri delu ter priprave na zakon s področja varstva pred NEMS. Zato bo treba v prihodnosti veliko pozornosti nameniti varstvu pri delu z viri NEMS, saj tam lahko nastopijo zelo velike sevalne obremenitve ter s tem povečano zdravstveno tveganje, kar potrjujejo tudi zaključki raziskovalnega projekta o sevalnih obremenitvah na delovnih mestih v Sloveniji (Ministrstvo za znanost in tehnologijo: L3-81-1538), ki sta ga izvedla **Fakulteta za elektrotehniko in Inštitut za varovanje zdravja RS**.

Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije je sicer pripravilo **Uredbo o elektromagnetnem sevanju v naravnem in življenjskem okolju**, ki določa mejne vrednosti veličin elektromagnetnih sevanj frekvenc 0–300 GHz, stopnje varstva pred njimi, način vrednotenja obremenitev okolja zaradi elektromagnetnih sevanj ter ukrepe za zmanjševanje in preprečevanje čezmernih sevanj le za naravno in življenjsko okolje. Ta dokument se **ne nanaša na delovno okolje**.

V fazi usklajevanja je smernica EU o minimalnih zahtevah za zaščito delavcev pred fizikalnimi vplivi, ki določa največje dopustne obremenitve s hrupom, vibracijami, optičnimi in elektromagnetnimi sevanji. Nova domača zakonodaja s tega področja bo morala biti usklajena z evropsko, zato bo tudi politika varovanja zdravja pred vplivi elektromagnetnih sevanj morala temeljiti na širšem mednarodnem konsenzu.

Literatura

1. Floderus, B., Persson, T., Stenlud, C., 1993. Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain cancer. A case control study in Sweden. *Cancer causes control*, 4, 465–476.
2. Gajšek, J., 1983. Neionizirna škodljiva elektromagnetna sevanja, *Elektrotehniški vestnik*, 4.

3. Gajšek, J., 1985. Neionizirna elektromagnetna sevanja in škodljivi vplivi na človeka, Letna konferenca JUREMA 30, Zvezek 3.
4. Gajšek, P., 1995. Prudence in Slovenia, Seventeenth annual meeting of Bioelectromagnetics society (BEMS), Boston, U. S. A., June 18–22.
5. Gajšek, P., Gajšek J., 1996a. Overview of occupational and environmental electromagnetic radiation protection in Slovenia, International Symposium on Non-ionizing radiation and human health, Ljubljana.
6. Gajšek, P., 1996b. Današnji pogled na magnetna polja, Delo in varnost leto 41, št 3.
7. Garland, F. C.; Shaw, E.; Gorham, E. D.; Garland, C. F.; Sinsheimer P. J., 1990. Incidence of leukemia in occupations with potential electromagnetic field exposure in United States Navy personnel. *Am. J. Epidemiology* 132: 292–303.
8. ICNIRP, 1998. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz), *Health Physics*, 74(4): 494–522.
9. Khiefets, L. I.; Afifi, A. A.; Buffler, P. A.; Zhang, Z. W., 1995. Occupational electric and magnetic field exposure and brain cancer: A meta-analysis. *Journal of occupational and environmental medicine*. p 1327–1341, 37(12).
10. Lillienfeld, A. M., Tonascia, J., Tonasia, S., Libauer, C. A., Cauten, G. H., 1978. Foreign service health status study-evaluation of health status of foreign service and other employees from Eastern Europe, Washington, Department state, p 436.
11. Matanoski, G. M.; Breyse, P. N.; Elliott, E. A., 1991. Electromagnetic fields exposure and male breast cancer, *Lancet*, 337, 737.
12. Miklavčič, D., Gajšek, P., 1999. Vpliv neionizirnih elektromagnetnih sevanj na biološke sisteme. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, ISBN 961-6210-61-0.
13. Milham, S. Jr., 1982. Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. *New England journal of medicine*; 307: p 249.
14. Milham, S., 1988a. Increased mortality in Amateur Radio Operators due Malignances, *Am. J. Epidem.* 127, p 50–54.
15. Milham, S., 1988b. The Author Replies, *Am. J. Epidem.* 128, 150–154.
16. Milham, S., 1988c. Mortality in Amateur Radio Operators due Malignances, *Am. J. Epidem.* 128, 1170–1179,
17. Muhm, S., 1992. Moratlity investigations of workers on electromagnetic pulse test program. *J. Occup.Med*, 34, 287–292,
18. NCRP, 1986. National Council on Radiation Protection: Biological effects and exposure criteria for radiofrequency electromagnetic fields, 832 p. Report No. 86.
19. NRPB, 1992. Elektromagnetic fields and the risk of cancer, Report of advisory group. document NRPB, 3, No. 1.
20. NRPB, 1994. Elektromagnetic fields and the risk of cancer, Supplementary report by the advisory group on NIR. *Radio. Prot. Bull.* No.154, 10–12.
21. Robinette, C. D., Silverman, C., Jablon, S., 1980. Effects upon helath of occupational exposure to microwave radiation. *Am. J. Epidemiol.*, 112, 39–53.
22. Sahl, J. D.; Kelsh, M. A.; Greenland, S., 1993. Cohort and nested case control studies of hematopoietic cancers and brain cancer among electric utility workers, *Epidemiology* 4, p.104–114.
23. Savitz, D. A., 1993. Overview of epidemiological research on electric and magnetic fields and cancer, *Am. Ind. Hyg. Assoc. journal*, 54, p.360.
24. Savitz, D. A.; Loomis, D. P., 1995. Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer moratlity among electric utility workers, *Am.journal of epidemiology*, 141, p.123–143.
25. Szmigielski, S., 1996. Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation. *Sci Total Environ*:
26. Szmigielski, S.; Bielec, M.; Lipski, S.; Sokolska, G., 1988. Immunologic and cancer-related aspects of exposure to low-level microwave and radiofrequency fields. IN *Modern Bioelectricity* (Marino, A. A., ed). New York, Marcel Dekker, Inc.: 861–925.
27. Tenforde, T. S., and Kaune, W., 1996. Interaction of extremely low frequency electric and magnetic fields with humans. *Health Phys.*, 53, pp 595–606.
28. Theriault, G.; Goldberg, M.; Miller, A. B., 1994. Cancer risk - associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, 1970–1989. *Am. journal of epidemiology* 139, p.550–572.
29. Tynes, T.; Jynge, H.; Vistnes, A. I., 1994. Leukemia and brain tumors in Norwegian railway workers, *Am. J. Epidemiology*, 139, 645–653.
30. WHO, 1993. Environmental Health Criteria 137, Elektromagnetic fields (300 Hz–300 GHz), Geneva.
31. WHO, 1996. Health effects of exposure to low exposure levels of radiofrequency fields, Penultimate draft for review by WG members, Geneva.

KONCENTRACIJA SUSPENDIRANEGA MATERIALA V SLOVENSКИH REKAH

Concentrations of Suspended Sediment in Slovene Rivers

Florjana Ulaga* UDK 551.31(497.4)

Povzetek

Na Agenciji RS za okolje poteka tudi spremljanje koncentracije in premeščanja suspendiranega materiala, ki zaradi spiranj preperine, erodiranja brežin v povirju ali kot posledica umetnih vplivov potuje po reki. Cilj spremljanja je izračun skupne količine materiala, ki se premesti prek izbranega mesta v vodotoku v enem letu. Trenutno se meritve opravljajo na enajstih rekah. Analiza vzorcev je potrdila drugačnost hidrološkega stanja preteklega leta. Koncentracije suspendiranega materiala niso bile velike glede na dolgoletna spremljanja. Leto 2001 je bilo hidrološko suho, predvsem v drugi polovici leta pa smo bili celo priča izredno sušnim razmeram. Zato so se tudi največje letne koncentracije suspenza pojavile že v zimskih in pomladnih mesecih. Izjemne koncentracije pa smo v preteklem letu izmerili le v Dravinji.

Abstract

One of the tasks of the Environmental Agency of the Republic of Slovenia is to monitor the concentrations and transport of suspended sediment in rivers as the result of the washing away of decayed materials, the erosion of river banks in the upper stream, or human interventions in the environment. Such monitoring includes the measurement of suspended sediment concentrations at selected places in order to determine the quantity of sediment transported along the riverbed over a period of one year. At present, measurements are being conducted on 11 rivers. An analysis of samples has confirmed that the hydrological situation was quite specific in the past year. The concentrations of suspended materials were not large in comparison with those observed over several years of monitoring. The year 2001 was hydrologically dry, particularly the second half of the year. For this reason the largest concentrations of suspended sediment were observed in the winter and spring months. In the past year, the only extreme concentrations were found in the Dravinja River.

Uvod

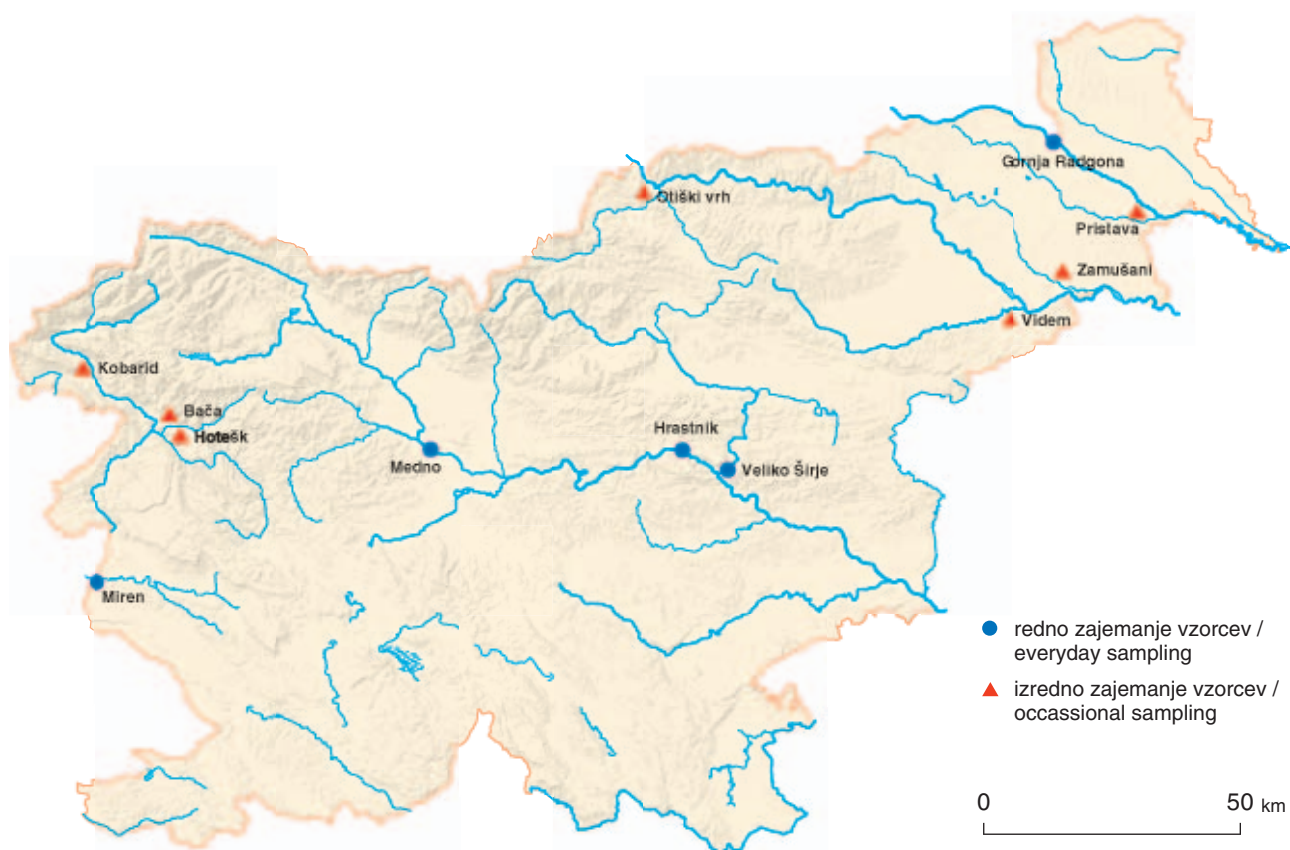
Hitrost premeščanja plavin, količina suspendiranega materiala, velikost zrn, mineraloška sestava, vsebnost mikroorganizmov in motnost so osnovni parametri za ugotavljanje lastnosti reke z vidika kalnosti. Erozija kot eden najbolj perečih problemov v pokrajini je v Sloveniji močno prisotna. Da pa bi lažje spremljali njen potek in razkrivali njene posledice, se moramo seznaniti tudi s transportom materiala po rečnem koritu, njegovim zadrževanjem oz. zastajanjem v strugi, akumuliranjem na rečnih odsekih in nenazadnje s preračunavanjem spreminjanja zemeljskega površja v daljšem časovnem obdobju. Material, ki zaradi spiranja preperine ali erodiranja brežin v povirju, lahko pa tudi kot posledica umetnih vplivov v bližini struge potuje po reki, znatno pripomore k njenemu spreminjanju. Delci se dolvodno ob zmanjšani transportni sposobnosti reke usedajo na rečno dno. Posledice dinamike premeščanja materiala so spremembe v in ob rečni strugi, zapolnjevanje akumulacijskih bazenov, zablatenje rečnega dna zaradi usedanja drobnih zrn in v končni fazi otežen naravni cikel kroženja vode, saj je oteženo dreniranje v podtalnico.

Premeščanje rečnega materiala

V celoti pod vplivom turbulence premeščen rečni material imenujemo rečni nanos. Glede na velikost delcev in hitrost transporta pa ga delimo na lebdeče plavine v celotnem rečnem profilu v suspendirani obliki in na prodni material, ki se premika po rečnem dnu s kotaljenjem in periodnim mirovanjem večjih delcev. Med tema dvema oblikama ni stroge meje. Istočasno, ko se premikajo fini delci v vodi, se po rečnem dnu valijo večji delci. S povečanjem hitrosti vode prehaja material z rečnega dna v suspenz, s tem pa se povečuje količina lebdečega nanosa. Ob visokovodnih stanjih je torej tudi koncentracija suspendiranega materiala močno povečana.

Splošno znano je dejstvo, da sediment izhaja iz povirja reke, se po reki prenaša in na koncu odlaga. Zato lahko govorimo o treh območjih rečnega sistema: prvo je povirni del, ki je območje nastajanja sedimenta oz. območje intenzivnejše erozije, hudournikov in hitrejšega brušenja rečnih bregov; drugo je območje prenosa sedimenta in manj izdatne erozije, za katerega je značilna tudi izenačena bilanca pritoka in odto-

* Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, Ljubljana, florjana.ulaga@gov.si



Slika 1. Postaje z rednim in izrednim odvzemom vzorca
Figure 1. Stations with daily and occasional samplings

ka sedimenta; tretje je območje odlaganja sedimenta. Z vidika hitrosti transporta sedimenta je tako najbolj zanimiv osrednji del reke, z vidika celotnega prenosa spranega materiala na določenem porečju pa je bolj pomembno poznavanje geoloških in hidroloških značilnosti povirnega območja ter dejanska količina odloženega materiala v spodnjem delu reke ali prenesenega materiala skozi izlivni profil reke.

Pred postavitvijo mreže postaj za spremljanje rečnega transporta na določenem območju pa se moramo zavedati še nekaterih dejstev:

- erozija prsti sodi med poglavitne, za človeško družbo moteče, pokrajinske procese;
- za spremljanje rečnega transporta moramo poznati kritična mesta in ogrožena območja oz. območja, na katerih so problemi, povezani s sedimenti, že znani;
- erozijsko ogroženost območij lahko vrednotimo tudi na podlagi meritev pretoka rečnega materiala v izbranem merskem profilu in na podlagi odložene količine sedimenta;
- trajanje rečne akumulacije je neposredno odvisno od hitrosti zasičenja s plavinami; zadostno število postaj za spremljanje rečnega transporta nam omogoča analiranje temeljnih pokazateljev, ki vplivajo na načrtovanje akumulacij in s tem na gospodarski ter ekološki vidik;
- bilanca rečnega sedimenta nam na rečnem odseku omogoča tudi določanje stopnje zoževanja rečne struge in s tem ob pravilnem načrtovanju pripomore k zadostnemu pretoku vode in preprečevanju zastajanja vode oz. k preprečevanju poplav;

- poznavanje režima rečnega nanosa, tako kalnosti kot prodonosnosti, je tudi eden osnovnih parametrov za analiranje kakovosti voda, za načrtovanje vodne oskrbe in nena zadnje za vrednotenje območij z vidika varstva okolja.

Pogostost odvzema vzorcev je odvisna od karakteristik prispevnega območja in od rečnega režima. Dosedanje analize suspendiranega materiala so pokazale, da se približno 70 % celotnega transporta premesti v nekaj visokovodnih situacijah. Zaradi tega dejstva je potrebno pogosto vzorčenje v času trajanja visokih valov. Na podlagi vrednosti obdobjnih pretokov in ob poznavanju rečnih režimov, predvsem pa glede na podatke hidrološke prognostične službe in prognostičnih modelov, lahko visokovodne situacije predvidimo in poskrbimo za obveščanje opazovalcev ter s tem za pravočasen odvzem vzorcev.

Mreža merilnih mest ARSO

Na Sektorju za hidrologijo, Urada za monitoring, Agencija Republike Slovenije za okolje, tekoče opazujemo in nadzorujemo stanja površinskih voda z meritvami koncentracije in premeščanja suspendiranega materiala. Cilj spremljanja je izračun skupne količine materiala, ki se premesti prek izbranega mesta v vodotoku v določeni časovni enoti. Dinamiki gibanja plavin v vodi sledimo z merjenjem koncentracije suspendiranega materiala, iz katere izračunamo

Preglednica 1. Največje koncentracije suspendiranega materiala vzorcev postaj z enkrat dnevnim odvzemom v letu 2001 in v obdobju 1985–2000

Table 1. Maximum concentration of suspended sediment in samples for stations with everyday samplings in 2001 and in period 1985–2000

Postaja	Datum odvzema vzorca	Koncentracija c (g/m^3)	Največja obdobjna koncentracija	Datum največje obdobjne koncentracije	Srednja obdobjna koncentracija
Gornja Radgona na Muri	12. 01. 2001	346	2364	16. 05. 1996	50,6 g/m^3
Veliko Širje na Savinji	26. 01. 2001	949	6026	07. 11. 2000	51 g/m^3
Miren na Vipavi	25. 01. 2001	305	1066	14. 09. 1997	17,3 g/m^3

transport materiala kot produkt s pretokom vode. Redna merjenja koncentracije suspendiranega materiala izvajamo na petih vodomernih postajah: na Muri v Gornji Radgoni, na Savi v Mednem in Hrastniku, na Savinji v Velikem Širju in na Vipavi v Mirnu. Enkrat dnevno se odvzame vzorec z volumnom enega litra, ki ga analiziramo v laboratoriju po klasični filtracijski metodi. Ta obsega sušenje in tehtanje filtrskega papirja, filtriranje vzorca in nato ponovno tehtanje in sušenje. Letno je na ta način analiziranih v poprečju 3000 vzorcev. Rezultati analiz so izmerjene koncentracije suspendiranega materiala (c), izražene v g/m^3 vode. Srednja dnevna vrednost transporta suspendiranega materiala (S) je izračunana kot produkt koncentracije in srednje dnevne vrednosti pretoka. Ob tem se nekajkrat letno opravljajo tudi profilne meritve suspendiranega materiala: vzorci se odvzamejo v dveh ali treh točkah posamezne vertikale prečnega profila. Na osnovi koncentracije odvzetih vzorcev se izračuna srednja profilna koncentracija, s pomočjo izmerjenega pretoka pa tudi trenutni transport suspendiranega materiala.

Poleg rednega odvzema in analiziranja vzorcev poteka tudi odvzem vzorcev ob izrednih razmerah na sedmih postajah. S pomočjo analiz teh vzorcev lažje in pravilneje vrednotimo podatke rednih meritev, hkrati pa rezultati predstavljajo pregled stanja ob visokovodnih razmerah po vsej Sloveniji. Profilne meritve, ki potekajo tudi na postajah z izrednim, občasnim odvzemom vzorca, pa še dodatno prikažejo resnično stanje o koncentraciji in transportu suspendiranega materiala v vodah. Izredni odvzemi vzorcev so leta 2001 potekali na Ščavnici v Pristavi, na Pesnici v Zamušanih, na Meži v Otiškem vrhu, na Dravinji v Vidmu, na Soči v Kobaridu, na Idrijci v Hoteščku, na Bači v Bači pri Modreju in na Reki v Cerkvnikovem mlinu.

Največje koncentracije suspendiranega materiala

Mreža postaj za spremljanje koncentracij suspendiranega materiala se je v Sloveniji zelo spreminjala. Začetki segajo nekako v leto 1955, ko so pričeli z odvzemanjem vzorcev in porečju Savinje. Redno spremljanje koncentracij suspen-

diranega materiala za reki Mura in Vipava poteka od leta 1985. Odzemni mesti na Savi v Šentjakobu in Radečah pa sta zamenjali novi vodomerni postaji.

Ob pregledu izmerjenih vrednosti koncentracij suspendiranega materiala na postajah z dnevnim odvzemom vzorcev hitro ugotovimo, da leto 2001 ni bilo izjemno glede vsebnosti drobnih delcev v vodi, pač pa bolj glede časa nastopa povečanih koncentracij. Za snežni rečni režim, kakršnega ima reka Mura, je značilen pretočni višek ob prehodu pomladi v poletje, torej maja. Obdobjna najvišja koncentracija suspendiranega materiala je bila prav tako izmerjena v maju leta 1996, ko je kar 43-krat preseгла srednjo obdobjno koncentracijo v Muri. V letu 2001 pa je višek nastopil že januarja, kar lahko pripišemo izrednim vremenskim razmeram in obilnim padavinam v vodozbirnem zaledju vodomerne postaje Gornja Radgona. Največje koncentracije preteklega leta smo izmerili januarja tudi v Savinji in Vipavi, čeprav bi jih glede na dežno-snežni rečni režim, za katerega je značilen pretočni višek pomladi in jeseni, pričakovali kasneje. Vendar pa dogajanja v naravi ne potekajo po pričakovanjih. Ob ekstremnih padavinah leta 2000 je bila tako izmerjena koncentracija suspendiranega materiala v Savinji kar 118-krat večja od dolgoletnega poprečja in več kot še enkrat tolikšna kot izmerjena na istem mestu leta 1987 (2963 g/m^3). Prav tako januarja smo izmerili največjo koncentracijo suspendiranega materiala v Savi. Vzorec, ki je bil odvzet 26. 01. 2001 v Hrastniku, je vseboval 610 g/m^3 suspenza. Rezultat hkrati predstavlja najvišjo koncentracijo, izmerjeno na tem mestu od leta 1998 dalje.

Tudi analiza vzorcev, odvzetih ob izrednih razmerah, je potrdila drugačnost hidrološkega stanja preteklega leta. Koncentracije suspendiranega materiala nikjer, z izjemo Dravinje, niso bile velike gleda na dolgoletna spremljanja. Leto 2001 je bilo hidrološko suho, predvsem v drugi polovici leta pa smo bili celo priča izrednim sušnim razmeram. Zato so se tudi največje letne koncentracije suspenza pojavljale že januarja na Dravinji, marca v Posočju in aprila v severovzhodni Sloveniji. Reki Pesnica in Ščavnica s panonskim dežno-snežnim rečnim režimom imata glavni pretočni višek zgodaj spomladi, drugotni pa novembra (Hrvatini, 1998). Tudi povečane koncentracije suspendiranega materiala

Preglednica 2. Največje koncentracije suspendiranega materiala vzorcev, odvzetih ob izrednih razmerah
Table 2. Maximum concentration of suspended sediment in occasionally samples

Postaja	Vodotok	Datum odvzema vzorca 2001	Koncentracija c (g/m ³)	Največje koncentracije obdobja 1990–2000			
				max c1	datum	max c2	datum
Pristava	Ščavnica	09. 04.	338	2623	29. 11. 1990	1730	22. 10. 1991
Zamušani	Pesnica	09. 04.	246	4780	25. 06. 1997	3729	25. 04. 1999
Otiški vrh	Meža	17. 06.	480	1606	08. 11. 1997	1388	10. 07. 1999
Videm	Dravinja	26. 01.	4627	4832	22. 05. 1999	3582	07. 11. 1998
Kobarid	Soča	13. 03.	886	8112	17. 11. 2000	1536	04. 10. 1999
Hotešček	Idrijca	25. 01.	354	3743	09. 10. 1993	2988	01. 11. 1990
Bača pri Modreju	Bača	13. 03.	252	1959	27. 10. 1990	1088	07. 11. 1997

v preteklem letu in v desetletnem obdobju so bile v teh mesecih najvišje. Reka Meža ima glede na alpski sredogorski snežno-dežni rečni režim glavni višek vode ob koncu pomladi (Hrvatini, 1998) in tudi koncentracije suspendiranega materiala so bile v preteklem letu takrat najvišje. V zahodni Sloveniji pa so koncentracije dosegle najvišje vrednosti pred pričakovanimi viški. Izredne padavine v marcu in sneg v gorskem zaledju vodomernih postaj Posočja so pripomogli k najvišjim izmerjenim koncentracijam suspendiranega materiala v tem delu države. Iz podatkov v preglednici 2 to ni v celoti razvidno, saj vzorca za marec za Idrijco nismo imeli na voljo, pač pa lahko o izredni vrednosti sklepamo na podlagi dolgoletnega vzorčenja in spreminjanja pretokov.

Naj navedem še rezultat analize izrednega odvzema v Posočju leta 2000. V dneh po plazju v dolini Koritnice je bila na vodomerni postaji Kobarid na Soči koncentracija največja (8112 g/m³) ne le v tekočem letu, pač pa je predstavljala največjo vrednost kadarkoli analiziranega vzorca na vseh postajah z rednim in izrednim odvzemom v zadnjih sedemnajstih letih.

Z vidika prenosa suspendiranega materiala so nekoliko manj zanimive reke južne Slovenije. Kraški Ljubljanica in predvsem Krka imata majhen strmec in izredno počasen tok, kar pomeni, da je transportna sposobnost majhna. Na to nas opozarjajo tudi lehnjakove tvorbe, za katere je značilno, da jih ni v vodah, ki prenašajo večje količine materiala. Analize vzorcev, ki so bili poskusno odvzeti v Krki in Ljubljanici ob visokih vodnih stanjih novembra 2000, so to tudi potrdile, saj so bile koncentracije izredno nizke (5 in 8 g/m³).

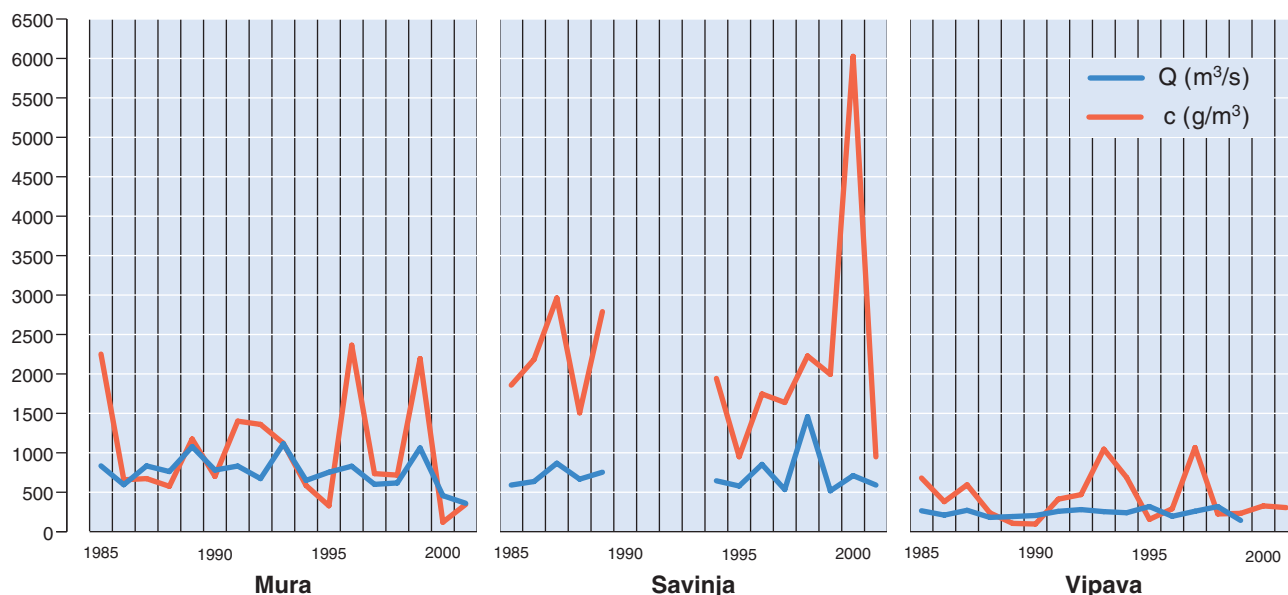
Transport suspendiranega materiala

Odnos med spreminjanjem pretoka in koncentracijami suspendiranega materiala v določenem času ni povsem linearen. Največja koncentracija suspenza v vodi nastopi pogosto nekoliko pred viškom visokovodnega vala. Zato je tudi predvidevanje količin suspenza zelo težavno. Upoštevati je treba, v katerem delu vodozbirnega zaledja so bile padavine, kakšna je geološka sestava tal na tem območju, predhodno namočenost zemljišča pa tudi čas od zadnjega visokovodnega vala. Kljub vsemu pa se v daljšem časovnem nizu lepo izkaže ujemanje izrednih stanj, kar je razvidno tudi iz slike 2.

Produkt koncentracije suspendiranega materiala in pretoka vode skozi rečni profil je transport suspendiranega materiala S (kg/s). Ta podatek je pravzaprav tudi cilj vsakodnevnega odvzemanja vzorcev, laboratorijskih analiz in neprekinjenih spremljanj pretokov v izbranih rečnih profilih. Iz preglednice 3 so razvidne razlike med letnimi vrednostmi transportiranega materiala. Na podlagi poznavanja velikosti porečja lahko ocenimo zniževanje zemeljskega površja v zaledju posamezne postaje. Tako lahko ocenimo, da bi se ob podobnih hidroloških in erozijskih razmerah, kot smo jih zabeležili v 10-letnem obdobju, površje porečja Mure v tisočih letih znižalo za 12 mm, Vipave za 16 mm, Savinje pa za 106 mm. Pri interpretaciji teh vrednosti pa ne smemo pozabiti na dejstvo o geološki pestrosti zaledja, na selektivnost erozije, na korozijo na kraških območjih ter na kratek niz podatkov in dolgo dobo, ki je potrebna za večino geomorfoloških sprememb.

Preglednica 3. Letne vrednosti transportiranega suspendiranega materiala (tisoč ton)
Table 3. Annual values of transported suspended materials (thousands of tons)

Postaja	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Vsota F (km ²)	t/km ²	
Mura	268	831	560	427	153	116	661	255	211	670	4154	10197	408
Savinja					524	136	282	1321	381	244	2891	1853	1560
Vipava	15	8	54	49	28	16	24	36	20	9	263	593	444



Slika 2. Največje letne konice pretoka in koncentracij suspendiranega materiala

Figure 2. Peak annual discharges and concentrations of suspended materials

Sklepne misli

Kljub hidrološko suhemu letu 2001 je analiza vzorca, odvzetega v Dravinji, prikazala izredno velike koncentracije suspendiranega materiala, saj je teža drobnih zrnč v vodi presegla $4,5 \text{ kg/m}^3$. Večje koncentracije smo v preteklih 17-ih letih spremljanja izmerili le še v Pesnici leta 1997, v Dravinji 1999 in v Savinji ter Soči novembra 2000. Količine se morda na prvi pogled niti ne zdijo velike, vendar moramo ob njihovem vrednotenju upoštevati dejstvo, da je to le suspendirani del materiala, ki ga reka prenaša na svoji poti. Prodni material, katerega količine nameravamo na Sektorju za hidrologijo vključiti med parametre monitoringa, pa je z vidika transportiranega materiala bistven, saj poškoduje objekte, vizualno spreminja pokrajino in ob poplavih povzroča prenekatero nevarnost na kmetijskih zemljiščih.

Literatura

1. Hrvatini, M., 1998. Pretočni režimi v Sloveniji. V: Geografski zbornik, 38. Ljubljana, GIAM ZRC SAZU, 59–87.
2. WMO, 1989. Manual on operational methods for the measurement of sediment transport. Operational Hydrology Report No. 29, WMO, No. 686, Geneva, Switzerland.
3. Arhiv Sektorja za hidrologijo, Urada za monitoring, Agencije RS za okolje, MOPE.