

UDK 551.577.6(497.12) = 863

UDC 551.577.6(497.12) = 20

SNEŽNA ODEJA V SR SLOVENIJI SREDI DECEMBRA 1986 TER VPRAŠANJE ONESNAŽENOSTI NAŠEGA OKOLJA*

Dar ko R a d i n j a * *

1. Uvod

O tem, kako onesnažene so padavine v Sloveniji, imamo prav malo stvarnih podatkov. Ne pogrešamo le sistematičnih meritev, ki bi bile naslonjene na ustrezno mrežo krajev, npr. na padavinske postaje, temveč tudi druge. Izjema so le meritve Hidrometeorološkega zavoda na nekaj mestih, a še te večinoma za skupne mesečne in ne vsakokratne padavine (Bonač 1976). Toliko pomembnejša so zato priložnostna merjenja, čeprav so omejena na posamezne kraje ali manjša območja, a tudi ta so redka (Bonač 1980, Kolar 1984, 1985, Kogovšek in Kranjc 1986, Radinja 1985, 1986). Še slabše je to, da tudi o teh podatkih ni pravega pregleda, ker ostajajo večinoma v neobjavljenih elaboratih. Sploh pa nimamo raziskav, ki bi hkrati zajele celotno Slovenijo in dale vpogled, kako se lastnosti padavin spreminjajo regionalno, bodisi znotraj Slovenije, pa tudi v primerjavi z ožjim ali širšim sosedstvom, kar bi omogočilo veljavnejše vrednotenje pojavov.

Naslednje poročilo skuša prispevati k stvarnemu poznavanju teh vprašanj, ko prikazuje izsledke sicer enkratnega, a načrtnega analiziranja snežne odeje po vsej Sloveniji hkrati. Onesnaženost snega, ki je 15. in 16. decembra 1986 zapadel domala po vsem našem ozemlju, smo ugotovili z določanjem pH in SO_4 , deloma tudi trdote in elektroprevodnosti (EP) snežnice ter na tej osnovi iskali povezavo med onesnaženostjo snega in viri onesnaževanja ter regionalno strukturo Slovenije sploh.

2. Metodologija dela

Zakaj smo za analizo izbrali sneg in ne dež? Istočasno vzorčevanje deževnice na številnih krajih je že organizacijsko prezahtevno, medtem ko prednost vzorčevanja snega ni le v tem, da ta »počaka« in ga lahko odberemo kjerkoli, temveč tudi v tem, da lahko zajemamo bodisi celotno snežno odejo ali le posamezne plasti, kar šele omogoča ustrezno primerjavo.

Raziskava je nastala v tematskem sklopu »Kulturna pokrajina« v okviru Znanstvenega inštituta filozofske fakultete v Ljubljani.

* Dr. red. univ. prof., Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza Edvarda Kardelja, Aškerčeva 12, 61000 Ljubljana, YU.

Sneg smo izbrali tudi zaradi tega, ker je onesnaženost ozračja pozimi največja, ne le zaradi slabših vremenskih razmer, zlasti temperaturnih inverzij, temveč tudi zaradi kurilne sezone, kar stopnjuje onesnaženost ozračja, s tem pa tudi padavin. Vse to je pripomoglo, da smo se odločili za sistematične analize snega in ne dežja. Izbrati je bilo treba še ustrezno vremensko situacijo. Do nje je prišlo lanskega decembra, ko se je prepletlo več za analiziranje ustreznih okoliščin.

Prva je, da je sneženje zajelo vso Slovenijo, če izvememo manjši jugozahodni del, kjer je deževalo (Koprsko Primorje, Kras, Vipavska dolina). Tako je sklenjena snežna odeja omogočila registracijo stanja domala po vsej Sloveniji in s tem primerjavo med njenimi deli.

Naslednja ugodna okoliščina je, da je šlo za prvi sneg, ki je padel na kopno podlago, večinoma celo suho. Zato določanje začetne plasti snežne odeje ni bilo nikjer dvomljivo, kar je za tovrstne raziskave še posebej pomembno.

Ker je šlo za prvi sneg in večinoma ne preobilne padavine, so bili vsi kraji lažje dostopni, še posebej, ker so bile ceste sproti plužene. Snežna odeja sicer ni bila povsod enako debela, kljub temu pa tolikšna, da je omogočala primerjavo snega tudi vertikalno, torej po plasteh, in ne le horizontalno, po krajih. Od primorskega vznožja Visokega krasa, kjer se je snežna odeja začela (Košanska dolina, Pivka, Senožeško podolje, vipavska pobočja Nanosa in Trnovskega gozda), se je njena debelina večala do visokih kraških planot, kjer je ponekod presegla pol metra (Snežnik, Javorniki, Nanos, Trnovski gozd, Banjšice). V notranji oziroma osrednji Sloveniji se je sicer nekoliko stanjšala, vendar je še povsod obsegala po več decimetrov in šele v vzhodnem, subpanonskem svetu se je zmanjšala na decimeter in manj (Bela krajina, Krško-Brežiško polje, Sotelsko, Ptujsko polje, Slovenske gorice, Murska ravnina).

Snežiti sicer ni začelo povsod istočasno, vendar se je sneženje hitro širilo od zahoda proti vzhodu, tako da celotna časovna razlika ni presegla nekaj ur. Zato smo prvo, začetno plast snega šteli za časovno enoto.

Naslednja značilna poteza je, da je bilo pred sneženjem suho vreme, čeprav večinoma oblačno in z meglo oziroma s temperaturnimi inverzijami po dolinsko-kotlinskih predelih, ne pa tudi vetrovno. Zato je bilo pričakovati, da se je sneg onesnažil že med nastajanjem in sneženjem, ko naj bi se spuščal skozi lokalno različno onesnaženo ozračje. Zaradi tega je bilo pričakovati, da snežna odeja ne bo kazala le splošne onesnaženosti ozračja, temveč tudi regionalno oziroma lokalno.

Ker je šlo za padavine, ki so se širile od zahoda proti vzhodu, kar potrjujejo tudi širše vremenske razmere v tem času (sinoptične karte za sredino decembra), je bilo pričakovati, da onesnaženost snežne odeje ni le posledica avtohtonega onesnaževanja, temveč tudi alohtonega, izvirajočega od drugod. Že to, da je šlo za splošno razširjene padavine, kaže, da so bile plod širših meteoroloških razmer in povezane s frontalnim sistemom (pravzaprav dvojnim frontalnim valom), ki je prečkal Slovenijo. Vendar so na obliko in količino padavin bistveno vplivale njene orografske poteze. Zato je bil v Primorju dež in v notranjosti sneg, na visoki kraški pregraji največ padavin in v nizki subpanonski Sloveniji najmanj.

Sneg smo vzorčevali sicer po vsej Sloveniji, prvenstveno pa v štirih smereh. Najprej vzdolž zahodnega roba Visokega krasa, oziroma vzdolž zahodnega roba nastale snežne odeje, to je v smeri SZ-JV, odtod pa v treh smereh proti notranjosti, in sicer

preko severne, srednje in južne Slovenije do subpanonskega sveta na vzhodu.

Skupno je bilo na 274 krajih zbranih več kot 300 vzorcev snega, in sicer iz vseh pokrajin, razen iz Koprškega Primorja, s Krasa in iz Vipavske doline, kjer snega bodisi sploh ni bilo ali pa ga je zaradi pretanke plasti prehitro pobralo.

Vertikalni razpon vzorčevanja je obsegal približno 1500 m višinske razlike. Najvišji vzorec je z nadmorske višine okoli 1700 m (Vogel v Julijskih Alpah), najnižji z nadmorsko višino okoli 200 m (Murska Sobota, Most na Soči). Tudi po reliefni podlagi so vzorci zelo različni. Sneg izvira bodisi z ravninskega sveta, z dna dolin ali kotlin, prav tako pa tudi s terciarnega gričevja, predalpskega hribovja, nizkega krasa in visokih kraških planot do alpskega sveta. Sneg izvira ponekod z redko poseljenih, gozdnatih pokrajin pa tudi iz gosto naseljenih, urbaniziranih in industrializiranih. Mreža vzorčevanja je na prvi pogled gosta, a glede na pestro pokrajinsko sestavo Slovenije nemara še premalo, čeprav pride posamezni vzorec na okoli 80 km², oziroma na kvadrat s stranico približno 9 x 9 km. Analize namreč potrjujejo, da se lastnosti snežne odeje spreminjajo hitreje kakor količina padavin (glej karto 1).

Večina vzorcev je bila zbrana v prvih štirih dneh po sneženju (od 16. – 19. dec.), sneg pa je bil shranjen v polivinilne vrečke. Pri sobni temperaturi stopljeni vzorci so vsebovali približno po 0,7 do 1 liter snežnice. Ta je bila sproti analizirana v fizično-geografskem laboratoriju oddelka za geografijo FF v Ljubljani.* Vrednosti pH so bile določene z Iskrinim digitalnim pH metrom sicer do stotinke natančno, vendar so bile pri obdelavi podatkov upoštevane le desetinke. Za določanje SO₄ in trdote sta bili uporabljeni standardni metodi (Analiza vode I...), za elektroprevodnost (v μ S/cm) pa aparat domače konstrukcije, izdelan v Iskri. Količina vzorcev je omogočala ponovitev analize.

Ob vzorčevanju je bila izmerjena še debelina snežne odeje, ki se je spreminjala od nekaj centimetrov do preko 60 cm. Praviloma se je vzorčevalo spodnjo, do 10 cm debelo plast snega, ki je padla na začetku sneženja, ko naj bi bilo ozračje najbolj onesnaženo. Kjer snežna odeja ni presegla 15 cm, je bil sneg vzeti iz celotne plasti. Pri debelejšem snegu se je poleg spodnje plasti vzorčevala ponekod še zgornja plast, na izbranih krajih z najdebelejšo odejo pa še srednja plast, skratka celotni prerez snega, vselej pa s površine 50 x 50 cm (0.25 m²).

Da bi se izognili neposrednim lokalnim vplivom, snega nismo vzorčevali sredi naselij, temveč na njihovem robu, praviloma vsaj nekaj sto metrov od najbližjih hiš.

3. Poglavitne ugotovitve

3.1. Arealna razširjenost žvepla v snežni odeji

V analiziranih vzorcih so bile količine sulfatov zelo različne, saj so nihale v izredno širokem razponu, od 0 do 206 mg SO₄ v litru snežnice.

Skoraj desetina vzorcev (9,7 %) sploh ni vsebovala sulfatov in slaba šestina (14,4 %) jih je imela manj kot 10 mg/l, medtem ko jih je petina vzorcev (20,2 %) imela 10–25 mg (glej karto 2). Slaba polovica vseh vzorcev (pravzaprav 45 %) je imela potemtakem le manjše količine sulfatov. Take vrednosti lahko po evropskih izkušnjah pripišemo splošnemu ozadju padavin (Winkler 1982, Rovninskij 1982). Ven-

* Večino analiz je izdelal P. Markelj, kem. tehnik v fizičnogeografskem laboratoriju oddelka za geografijo FF.

dar moremo prišteti tudi še dobro četrtno vzorcev (26,8 %), ki so imeli v litru snežnice zmerno količino, sicer več kot 25 mg SO_4 , a manj kot 50 mg. Dobra petina vseh vzorcev (21,8 %) je že imela dvakrat večjo količino (50–100 mg), veliko več sulfatov (100–200 mg) pa je imelo 7 % vseh vzorcev. Na enem kraju (Zagorje ob Savi) jih je sneg vseboval nekaj čez 200 mg. To sicer ni največja doslej izmerjena količina sulfatov v padavinah pri nas. Še večjo (307 mg/l) smo namreč namerili v sosednjih Trbovljah leta 1985 (Radinja 1986).

Pri vseh teh vzorcih gre za večjo ali manjšo onesnaženost snega, čeprav so vse vrednosti nižje od normativov za pitno vodo, ki dopuščajo pri nas 200 mg/l (Ur. list SFRJ 9/1980), vendar se že v strešnici (kapnici) količine sulfatov tako povečajo, da se tej meji ne le približajo, temveč jo pogosto tudi presežejo.

Poleg teh podatkov je za geografa še posebej zanimiva njihova arealna razporeditev. Čeprav je bilo pri tem pričakovati večjo povezanost z regionalno strukturo Slovenije, še posebej z dolinsko-kotlinskim svetom in glavnimi emisijami žvepla v njem (Poročilo o stanju 1987), ni bilo tako. Vseeno se v razporeditvi sulfatov kažejo določene povezave z regionalno strukturo Slovenije.

Tako ne preseneča, da je bila v alpskem svetu, vključno z vmesnimi dolinami, snežna odeja domala brez sulfatov ali le z neznatnimi količinami, vsekakor manjšimi od 10 mg/l. Podobne lastnosti je imela snežna odeja na Trnovskem gozdu in njegovem neposrednem zaledju (Idrijsko hribovje). Pač pa preseneča, da je malo sulfatov, če pomislimo na topilnico svinca v Žerjavu, vseboval sneg v Spodnji Mežiški dolini. Mežiške padavine so doslej vsebovale več žvepla (Kolar 1984, Radinja 1986).

Manj sulfatov naj bi imela snežna odeja tudi na Nanosu in Hrušici ter na sosednjih Javornikih in Snežniku. Zaradi manjšega števila vzorcev pa smo ta del Visokega krasa označili na karti le za domnevno čistega (pretrgana črta).

V celoti se vendarle kaže, da je v alpskem svetu in na zahodnih dinarskih planotah Visokega krasa (z izjemo Banjšic) vsebovala snežna odeja najmanj sulfatov, takorekoč neznatno količino ali pa je bila sploh brez njih. Zgovorna pa je sredi alpskega sveta povečana količina žvepla okrog Jesenic (v Jeseniški dolini, Blejskem kotu in Deželi), kar opozarja na avtohtono onesnaženost snega. Na drugi strani je značilno, da območje s čistim zrakom ni segalo na notranji strani Snežnika preko dinarskega gozdnega sveta proti vzhodu, kajti v Babnem Polju, Knežji Lipi, Nemški Loki in v Kočevskem Rogu smo namerili več sulfatov. Od višjega sveta je nepričakovane visoke vrednosti (med 50 in 100 mg/l SO_4) vsebovala snežna odeja na Pohorju, zlasti na njegovi južni strani.

Če najnižje vrednosti sulfatov večinoma lahko povežemo z višjimi in manj poseljenimi deli Slovenije, pa to ne velja za dolinsko-kotlinski svet, kjer bi glede na njegovo prebivalstvo, prometno in industrijsko zgostitev pričakovali snežno odejo z največ žvepla. Dejansko pa se ta povezava skoraj ni pokazala. V Ljubljanski in Celjski kotlini snežna odeja sploh ni vsebovala veliko sulfatov, temveč le srednje ali celo samo nižje vrednosti. Pač pa jih je največ imela snežna odeja vzhodno in jugozahodno od Ljubljane, a ne le okrog Trbovelj in v Savski dolini, kakor je bilo pričakovati, temveč tudi okrog Trebnjega, Novega mesta in Šentjerneja, skratka na Dolenjskem. Sorazmerno veliko sulfatov je vsebovala snežna odeja tudi južno od tod, v Grosupeljski kotlinici, Suhi krajini, na Kočevskem in v Beli krajini, tako da je bila Dolenj-

ska pravzaprav najbolj onesnaženi del Slovenije, sodeč seveda po primesih žvepla v snegu.

Vzrok, da je snežna odeja v JV Sloveniji imela največ sulfatov, tiči morda v gibanju zračnih gmot. usmerjenih od SZ proti JZ, na kar opozarjajo vremenske karte za sredino decembra. Na veter med sneženjem pa kažejo naslednji podatki v tabeli 1:

Tab. 1. Smer in jakost vetra v SR Sloveniji sredi decembra 1986

Postaja	15. dec.				16. dec.				17. dec.			
	7 ^h	14 ^h	21 ^h	Bf	7 ^h	14 ^h	21 ^h	Bf	7 ^h	14 ^h	21 ^h	Bf
Kredarica	S	JV	JV	0.7	Z	SZ	SZ	2.7	SZ	S	SZ	5.3
Nanos	V	V	V	4.7	JZ	JZ	V	2.3	V	V	V	1.0
Uršlja gora	Z	Z	Z	3.0	Z	Z	Z	2.3	S	S	S	3.0
Lisca	SV	–	–	1.0	V	ZSZ	VSV	3.0	ZSZ	ZJZ	S	2.0
Jeruzalem	SV	SV	SV	1.3	SV	JZ	SV	1.0	ZSZ	JZ	ZJZ	1.7
Šmarna gora	J	J	J	3.0	S	S	S	2.0	S	Z	Z	2.3
Planina/G.	Z	Z	–	0.7	–	V	–	0.3	–	JZ	–	0.7
Babno Polje	V	V	V	1.0	–	JV	–	0.3	–	–	–	–
Ljubljana	–	SSV	SSZ	0.7	ZJZ	JV	S	1.0	VSV	SSV	SSZ	0.7
Postojna	SV	SV	SV	2.7	JV	JV	SV	2.7	SV	SV	SV	2.3
Lesce	–	–	–	–	V	–	–	0.3	S	SZ	–	0.7
Novo mesto	V	S	S	1.3	ZJZ	J	J	1.7	J	ZJZ	SSZ	1.3
Celje	–	JJV	–	0.3	SZ	V	SSV	1.3	Z	JZ	ZJZ	1.7
Šmartno/S. g.	SZ	–	–	0.7	–	–	–	–	S	SZ	SZ	1.0
M. Sobota	SSV	–	–	0.7	JV	–	–	0.3	SZ	–	–	0.3
Portorož	JJZ	SV	JJV	2.7	ZSZ	JJV	SV	2.0	JJV	ZJZ	SSZ	1.3

Kakor kaže tabela, so bili vetrovi nasploh šibki, v dolinsko-kotlinskem svetu pa je prevladovalo zatišje. Sicer so pred sneženjem vetrovi vzhodne smeri (V, SV, JV) zamenjali zahodne (Z, SZ, JZ). Nekatere višje postaje (Kredarica, Lisca, Uršlja gora) pa poleg zahodnih vetrov nakazujejo tudi severozahodne, kar nemara pojasnjuje večjo onesnaženost snežne odeje v jugovzhodnem delu Slovenije.

Le nekaj manjše količine žvepla od Dolenjske (med 50 in 100 mg/l SO₄) je vsebovala snežna odeja tudi na južni strani Pohorja, pravzaprav v pasu med Šoštanjem in Ptujem. Ker se je takšno območje širilo iz Velenjske kotline na vzhod, kaže, da je očitno šlo za vplive žveplovih emisij iz šoštanjske termoelektrarne. Situacija nakazuje, zakaj so pohorski gozdovi tako prizadeti, še posebej, če pomislimo na silikatno sestavo njihovih tal.

Povsod drugod po Sloveniji je sredi decembra leta 1986 snežna odeja vsebovala večinoma manj kot 50 mg SO₄ v litru snežnice in le tu in tam nekaj več. Ta razporeditev pa z regionalno strukturo Slovenije ne kaže posebne povezave. To dejstvo zato pušča vprašanje o razmerju med avtohtonim in alohtonim onesnaževanjem v glavnem še odprto. Z analizirano situacijo je vprašanje kvečjemu načeto. Vseeno pa moremo po količinah žvepla v snežni odeji na zahodnem robu Slovenije, ki so bile na splošno manjše kakor v notranjosti, sklepati, da je bila onesnaženost snežne odeje večinoma vendarle avtohtona, vsaj tam, kjer je šlo za večjo primes sulfatov.

3.2. Vertikalna razporeditev žvepla v snežni odeji.

Doslej omenjene vrednosti sulfatov se tam, kjer gre za več decimetrov debelo snežno odejo, nanašajo na spodnjo plast snega. Primerjava z zgornjo plastjo pa kaže značilne razlike. Od 32 krajev, kjer sta bili analizirani po dve plasti snega, spodnja in zgornja, je bilo na 23 krajih, torej pri 72 %, več žvepla v spodnji plasti. Analiza zgornje plasti bi potemtakem pokazala ugodnejšo podobo. Več žvepla od spodnje plasti je vsebovala zgornja plast le blizu večjih virov onesnaževanja, npr. na Hrušici pri Jesenicah, v Štorah, Celju in v okolici Trbovelj (ni pa bilo tovrstnih analiz v okolici Kidričevega, Ruš in še nekaterih drugih krajih z bolj onesnaženim ozračjem). Za regionalne raziskave je zato pomembno, katere dele snežne odeje analiziramo. Pri tem seveda ni vseeno, kako debela in kako stara je snežna odeja, še zlasti ne v okolici mest in industrijskih krajev, kjer so se razlike v korist zgornje (površinske) plasti pokazale že v nekaj dnevih.

Zgornje ugotovitve opozarjajo predvsem na dve stvari. Prvič, da je začetni sneg onesnaženo ozračje dejansko (o)čistil, ne glede na to, od kod je onesnaženost izvirala, in drugič, da se je blizu večjih emisij žvepla onesnaževanje snežne odeje (zgornje plasti) nadaljevalo tudi potem, ko je sneg že obležal.

3.3. Splošne vremenske razmere onesnaženih padavin

Za razumevanje onesnaženega snega kaže omeniti še naslednje vremenske pogoje. Kakor kaže priložena tabela (št. 2), je glavnina snega padla 15. decembra, preostali sneg pa po krajši prekinitvi še naslednji dan in le ponekod so se neznatne padavine zavlekle do 17. decembra. V JZ Sloveniji je precej deževalo (Portorož 77.4 mm, Komen 84.7 mm, Ilirska Bistrica 101.9 mm), v notranjosti pa se je dež ponekod vpletal le na začetku ali koncu sneženja.

Tab. 2. Dnevne padavine (v mm) v SRS za sredino decembra 1986*

Kraj (postaja)	12	13	14	15	16	17	18	Skupno mm	Delež mesečnih padavin v %
	december								
Portorož	–	–	0.5	55.5	20.9	0.5	–	77.4	99.6
Komen	–	–	–	59.2	25.5	–	–	84.7	92.8
Il. Bistrica	–	–	0.5	70.0	27.7	3.7	–	101.9	89.3
Tolmin	–	–	–	30.6	20.4	–	–	51.0	67.5
Lesce	–	–	–	45.1	9.0	–	–	54.1	92.6
Ljubljana	–	–	–	34.8	14.7	2.3	–	51.8	76.6
Kočevje	–	–	0.1	24.3	26.8	5.4	–	56.6	75.8
Novo mesto	–	–	–	11.5	5.7	4.6	–	21.8	68.8
Celje	–	–	–	24.3	8.5	3.9	–	36.7	72.1
Maribor	–	–	–	22.0	5.9	0.1	–	28.0	69.6
M. Sobota	–	–	–	11.6	4.9	–	–	16.5	55.9
Skupno	–	–	1.1	388.9	170.0	20.5	–	580.5	81.5

* Vir: Mesečno poročilo HMZ za december 1986.

Sneg je bil na splošno suh in droben (pršič). V naslednjih dnevih se je površinsko sicer osrenil ali rahlo ojužil, ponekod zaradi dežja površinsko tudi omočil, na splošno

pa večjih strukturnih sprememb ni pretrpel. To ilustrirajo tudi stvarne in povprečne dnevne temperature, ki so bile do 15. decembra rahlo negativne, 16. decembra pa so se ponekod že dvignile nad 0°C. (Srednje dnevne temperature 15. in 16. decembra – Tolmin 1.4 in 1.8°, Lesce -0.3 oba dneva, Ljubljana 0.5 in 1.5, Kočevje -0.1 in 0.6, Novo mesto -1.1 in 1.0, Celje -0.4 in 0.5, Maribor -0.6 in 0.2, Murska Sobota -1.0 in -1.1°C; Mesečno poročilo HMZ za december 1986).

Bistveno je, da se vertikalna in siceršnja struktura snega v tem času praktično ni spremenila, če izvajamo tanko površinsko plast in vzhodne ter zahodne robove snežne odeje, kjer je sneg naglo pobiralo.

Pomembno pa je, da sneg, posebno če je suh, ne očisti ozračja v tolikšni meri kakor dež. Tudi v tem je vzrok, da je bil manj onesnažen. Poleg tega so po podatkih HMZ povprečne koncentracije SO₂ v zraku decembra nasploh nižje kakor januarja ali februarja. Za zimsko sezono je bila omenjena situacija potemtakem netipična oziroma podpovprečna.

Za december 1986 je nadalje značilno, da se je, kakor kažejo meteorološke karte, nad Srednjo in Zahodno Evropo v prvi polovici meseca zadrževalo ustaljeno območje visokega zračnega pritiska. Krajša prekinitve je bila le 10. decembra, ko je Slovenijo prečkal oslavljen frontalni val, ki pa ni prinesel padavin, nakar se je visok zračni pritisk ponovno okrepil. Tej situaciji je pripisati, da nad naše kraje niso dotekale bolj onesnažene zračne gmote, lastne emisije pa so se lažje razprševale, kar potrjujejo v tem času tudi manjše primesi žvepla v zraku. Sredi anticiklonskega obdobja (5. dec.) je bila v Ljubljani, po podatkih HMZ, 24-urna koncentracija SO₂ 0.29 mg/m³, največja polurna pa 0.57 mg. Ko je 13. dec. zajel Francijo frontalni val, je v višinah nad naše kraje od severovzhoda še dotekal hladen zrak, ob Jadranu pa je pihala burja. Tem razmeram je pripisati, da splošna onesnaženost našega ozračja pred sneženjem ni bila velika.

Ko govorimo o analizirani snežni odeji, je treba še dodati, da je bila pravzaprav plod dveh frontalnih valov, ki sta si sledila drug za drugim. Prvi je prečkal Slovenijo med 14. in 15. decembrom, drugi dan kasneje. Analizirane padavine so bile tako dvojnega porekla in ni izključeno, da je tudi v tem vzrok za razlike v vertikalni onesnaženosti snežne odeje.

Ob prečkanju fronte se je onesnaženost zraka nekoliko zmanjšala. V Ljubljani je bila 16. decembra po podatkih HMZ povprečna dnevna koncentracija žveplovega dvokisa 0.21 mg, največja polurna pa 0.43 mg/m³.

3.4. Kislost in alkalnost snežne odeje

Glede na podatke o onesnaženosti zraka pri nas (poročila HMZ; Hrček 1987) je upravičeno pričakovati, da je podobno tudi s padavinami in da je zaradi tega spremenjena zlasti njihova reakcija. Toda decembrski sneg tega ne potrjuje. Nasprotno, reakcija analizirane snežne odeje je bila namreč naslednja: med vzorci je imelo pH pod 5,6 (po WMO, Geneva 1974, zgornja meja za kisle padavine) le 0,7 % vseh vzorcev, pH 5,6 do 6 je imelo 3,2 % vzorcev, pH 6,1 do 7 – 37,6 %, pH 7,1 do 8 – 48,4 % in pH nad 8 – 10,1 % vseh vzorcev snega.

To ne pomeni le tega, da kislih padavin sploh ni bilo (razen dveh izjem pri Štornah in v Lokovici pri Šoštanju, pa še to le v spodnji plasti, ne pa tudi v zgornji), tem-

več tudi to, da je večina vzorcev (58,5 %) imela celo alkalno reakcijo ($\text{pH} > 7$), od tega desetina celo močno alkalno ($\text{pH} > 8$). Poleg tega je kar desetina vseh vzorcev kazala najugodnejšo, nevtralno reakcijo ($\text{pH } 7 \pm 0.1$), več kot štiri petine (86 %) pa pH med 6 in 8. Glede na to ne moremo govoriti ne o kislem in ne o onesnaženem snegu. Pri tem pa se moramo zavedati dveh stvari. Prvič, da reakcija ne pove vsega, zlasti ne takrat, ko vsebujejo padavine kisle in alkalne primesi hkrati, drugič pa tega, da se onesnaženost padavin z vremenskimi in drugimi razmerami lahko hitro in izdatno spreminja. Analize v zadnjih dveh letih namreč kažejo, da je v Sloveniji kislota ($\text{pH} < 5.6$) približno petina padavin (Radinja 1987). Obravnavana situacija naj bi bila potemtakem ugodnejša od tega povprečja.

V ospredju pa ni le to, da je imela večina snega alkalno reakcijo, manjši del pa blago kislota, temveč tudi to, da je nepričakovana tudi njena razporeditev. Osnovna ugotovitev je namreč ta, da se določnejša povezava med reakcijo snega in regionalno strukturo Slovenije tokrat ni pokazala ali pa je bila zelo ohlapna (glej karto 1).

Medtem ko bi bilo prevladujočo alkalnost snega mogoče na splošno pojasniti z bližino morja ali z morskim poreklom vlage, oziroma s prevladujočo karbonatno sestavo tal pri nas, čeprav nobena od teh razlag ni posebno prepričljiva, pa je razlaga tega, kako se je reakcija snega spreminjala od kraja do kraja, še manj otipljiva. Reakcija snega se namreč ne ujema s količino sulfatov v njem, v tem smislu namreč, da bi bili vzorci z več sulfati bolj kisli in obratno. To je zlasti očitno, ko primerjamo vrednosti pH in SO_4 za alpski svet in jugovzhodno Slovenijo, kjer so bile razlike med enimi in drugimi vrednostmi največje.

Za kolikor toliko homogeno območje se kaže kvečjemu Ljubljanska kotlina z bližnjim obrobjem, kjer je bila snežna odeja vsaj relativno bolj kislota. Nižje vrednosti pH (ki pa so se le na štirih krajih znižale pod 6, vendar nikjer pod 5.6) so morda posledica urbaniziranosti in industrializiranosti kotline ter morda še temperaturne inverzije. Vendar po sulfatih Ljubljanska kotlina tokrat ni izstopala.

Podobno območje je nakazano v severovzhodnem alpsko-predalpskem svetu, vključujoč poleg Mežiške doline še Slovenjgraško in Velenjsko kotlino ter sosednje Pohorje. Gre za pretežno silikatni svet in za večje vire onesnaževanja v Mežiški dolini in Velenjski kotlini, vendar je mežiška snežna odeja tokrat vsebovala zelo malo sulfatov.

Pozornost vzbuja še eno območje, čeprav je manjše. Gre za Savsko dolino vzhodno od Ljubljane med Dolskim in Trbovljami, kjer je bil analizirani sneg izrazito alkalni ($\text{pH} > 8$). Vzrok za to je nemara v karbonatnem prahu, ki ga v ozračje oddajajo bodisi kamnolom z apnenico v Kresnicah, apnenica v Zagorju in cementarna v Trbovljah (tudi alkalnost snega na Banjski planoti je bržkone v zvezi s sosednjo anšovsko cementarno). Sploh se je reakcija v osrčju Zasavja spreminjala že na krajše razdalje ter nihala od razmeroma precej kisle reakcije ($\text{pH } 6$) do močno alkalne ($\text{pH } 8$), kar povezujemo z različnimi lokalnimi viri onesnaževanja (cementarna, termoelektrarna, tovarna kemičnih izdelkov), pravzaprav z različnim prepletanjem teh vplivov, odvisno od vsakokratnih vremenskih razmer. Predvsem se kaže, da trboveljske karbonatne emisije cementnega prahu nevtralizirajo kisle emisije termoelektrarne, kar ustvarja ugodnejšo reakcijo padavin (Radinja 1985). Primer ponazarja, kako pH ne kaže vselej prave onesnaženosti okolja. Še več! Ni naključje, da je bila snežna odeja najbolj alkalna v najbolj onesnaženih krajih – na Jesenicah ($\text{pH } 8.4$), v

Kresnicah (pH 8.4), Zagorju (pH 8.3) in v okolici Trbovelj, kjer je bil sneg sploh najbolj alkalen (pH 12!). Drugod pa povezava med alkalnostjo snega in onesnaženostjo okolja ni vselej jasna. Tako tudi ne v okolici Pivke in Miklerjev, saj sta oba kraja kljub čistejšemu okolju imela prav tako visok pH (8.3).

Druga značilnost je, da je bil sneg v osrčju Zasavja sploh najbolj alkalen (pH do 12), hkrati pa je vseboval tudi največ žvepla (206 mg/l SO_4). Razlike so se kazale zlasti med vzhodno in zahodno stranjo Trbovelj, pa tudi južno. Na drugi strani sneg ni bil najbolj kisel le v Lokovici pri Šoštanju in v Štorah pri Celju (edino v teh dveh krajih je bila spodnja plast kislja v pravem pomenu besede), temveč ponekod tudi v čistem okolju, npr. v Radmirju (pH 5.9) in trnovskih Lokvah (pH 6.0).

Značilne so nadalje razlike, ki so se kazale med zgornjo in spodnjo plastjo snega. V onesnaženih krajih je imela zgornja plast praviloma višji pH in tudi te razlike so bile največje v okolici Trbovelj. Na dnu Savske doline je imela spodnja plast snega pH 8.0, zgornja pa 12, na bližnjem Dobovcu spodnja plast 7.9 in zgornja 11.5, v Završju je bila razlika med 6.7 in 7.8, v Škofji Riži med 7.9 in 8.1 itd. Podobno je bilo še ponekod drugod (Šoštanj 7.5 in 8.1, Bloke 7.5 in 8.2).

Podatki kažejo, da je bil začetni sneg na splošno bolj onesnažen od kasnejšega in ozračje na začetku sneženja manj čisto kakor pozneje. Očitno tudi pri določanju pH ni vseeno, katero plast snega analiziramo in katere podatke med seboj primerjamo.

Naslednja ugotovitev je, da je nasprotje med alkalnim snegom in snegom, ki je vseboval več sulfatov, le navidezno. Trboveljska termoelektrarna npr. spušča v ozračje veliko žvepla, hkrati pa bližnja cementarna oddaja v ozračje karbonatni prah, kar nevtralizira padavine.

Ne gre le za to, da zaradi višjih emisij žvepla padavine niso nujno kisle, bodisi zato, ker jih nevtralizirajo bližnje karbonatne emisije (iz kamnolomov, apnenic ali cementarn) ali pa jih nevtralizira podlaga karbonatnih kamenin, bodisi da vpliva tudi alkalnost elektrarniškega pepela, še posebej, če ga odlagajo na obsežna, odprta odlagališča, kakor se očitno dogaja v Trbovljah. Pri padavinah je zato poleg reakcije potrebno ugotovljati tudi sulfate. Če je pH visok in žvepla v snežnici malo, še ne pomeni, da ni onesnaženja s SO_4 , temveč se ta lahko izloči iz vode kot plin. Ker vseh razlik tudi na ta način ni mogoče pojasniti, je očitno, da na reakcijo padavin vplivajo še drugi oksidi v ozračju, zlasti dušikovi, teh pa naše analize niso zajele. Nekaj podatkov o tem imamo le za Mežiško dolino (Kolar 1984).

Glede na glavne vire onesnaževanja zraka se kaže, da je bila tokrat bolj izpostavljena njihova vzhodna oziroma jugovzhodna okolica, tako pri Jesenicah, Trbovljah, Šoštanju in Ljubljani. To je hkrati smer po dolinah navzdol, torej vpliv dolinskega vetra. Vprašanje pa je, koliko take situacije prevladujejo. Za odgovor bi morali poznati podatke vsaj za tipične vremenske situacije.

3.5. Trdota in elektroprevodnost snega

Onesnaženost padavin smo ugotavljali še s celokupno trdoto, ki je v neonesnaženih padavinah neznatna, praviloma okrog 1° NT . V že prej analiziranih padavinah po Sloveniji (1985–1986) so bile celokupne trdote ponekod tudi nekajkrat večje. Podobno je bilo tudi pri analizirani snežni odeji. Med 23 vzorci jih je skoraj polovica (11) sicer imela celokupno trdoto okoli 1° NT , vendar je bila pri sedmih vzorcih nad 3° ,

med njimi tudi v Šoštanju, pri dveh nad 4° , pri dveh pa celo 5° . Najvišjo je imel sneg v Črni ($5,5^{\circ}$ NT), kar je blizu največje doslej izmerjene – $5,7^{\circ}$ NT v Trbovljah febr. leta 1985.

Splošno onesnaženost snega smo naposled ugotavljali še z elektroprevodnostjo snežnice (merjeno v μ S/cm). Gre za orientacijsko metodo, ki jo uporabljamo navadno pri površinskih vodah. Ta je sicer potrdila splošno čistost analiziranega snega, hkrati pa opozorila tudi na njegovo lokalno onesnaženost, zlasti blizu večjih virov onesnaženega ozračja. Vendar pa so imeli visoke svrednosti poleg onesnaženih krajev (Črna – 233, Žerjav – 135, Šoštanj – 134, Dobovec – 122) tudi drugi, npr. Kobarid 203.

4. Zaključki in odprta vprašanja

V celoti vzeto nam nižje vrednosti sulfatov skupaj s pretežno alkalno reakcijo analizirane snežne odeje kažejo, da je bilo okolje sredi decembra razmeroma malo onesnaženo, kar je v nasprotju s številnimi drugimi podatki o stanju našega ozračja v zimskem času (poročila HMZ; Hrček 1987). Ker značilnosti degradacijskega režima naših padavin neposredno ne poznamo, ni možna ne primerjava in ne presoja o tem, v kolikšni meri od degradacijskega povprečja ali ekstrema so se analizirane razmere razlikovale. Kvečjemu lahko sklepamo, da so bile razmere ugodne. Zato enkratna analiza več vprašanj odpira, kakor jih osvetljuje.

Po tem, da so bile nižje vrednosti sulfatov v zahodnem delu Slovenije domala sklenjene, zlasti v višjih legah, medtem ko so višje prevladoval v notranjosti, je vendarle mogoče sklepati, da je bila onesnaženost decembrskega snega predvsem posledica avtohtonega onesnaževanja, čeprav se njena razporeditev ni kdove kako ujemala z regionalno strukturo Slovenije.

Na razmerje med avtohtono in alohtono onesnaženostjo naših padavin moremo sicer sklepati le na splošno, recimo po meteorološkem položaju Slovenije, ki nikakor ni zatišen, kar poleg dinamične izmenjave zračnih gmot dokazujejo tudi pogostost in izrazitost frontalnih sistemov, ki prečkajo naše kraje (med 10. in 24. dec. 1986 je Slovenijo prečkalo pet frontalnih valov). Za stvarno presojo o deležu ene in druge onesnaženosti zraka in padavin pa imamo premalo podatkov. Kako je Slovenija zapletena v splošni transport onesnaženega zraka v Evropi, nakazujejo zaenkrat le prve, zelo grobe ocene (Petkovšek 1979).

Za analizirano situacijo moramo po deležu različno onesnaženih vzorcev snega sklepati, da je bila splošna onesnaženost razmeroma nizka (manj kot 10 oziroma 25 mg/l SO_4). Če pa upoštevamo njihovo razprostranjenost, zlasti razširjenost čistih vzorcev v zahodni Sloveniji, je bila decembrska onesnaženost snega predvsem avtohtona. Podobno nakazuje onesnaženost snežne odeje po nadmorski višini, še posebej med kotlinsko-dolinskim in vzpetim svetom. Po ugotovitvah gozdarjev so gozdovi najbolj prizadeti med 600 in 900 m abs. višine, kar povezujejo z zgornjo mejo temperaturnih inverzij, medtem ko naj bi na širšo, alohtono onesnaženost zraka opozarjala splošna poškodovanost naših gozdov (Šolar 1986, Poročilo o propadanju gozdov... 1986). Ker ugotavljajo citologi poškodbe na celični strukturi smrek tudi v višjih legah, nad mejo temperaturnih inverzij (B. Druškovič 1987), se tudi po tej strani odpira vprašanje onesnaževanja od drugod, na večje razdalje. Ta razmerja pa se v onesnaženosti decembrskega snega niso pokazala, kar opozarja, da analizirana onesna-

ženost za zimske razmere očitno ni značilna.

Ker v zahodni Sloveniji čista snežna odeja ni bila sklenjena, so najnižje količine žvepla očitno spadale k splošni, alohtoni onesnaženosti padavin, višje pa k avtohtoni, čeprav njena provenienca ni jasna, ker se prepričljivo ne veže na regionalno strukturo Slovenije. Pač pa bi bilo v zahodni Sloveniji pasove povečane količine žvepla sredi čistejše snežne odeje mogoče povezati z bližnjimi urbanimi in industrijskimi središči zahodno od tod, namreč z Vidmom, Tržičem in Trstom.

Čista snežna odeja ($< 10 \text{ mg/l SO}_4$) je bila namreč pretrgana v treh pasovih: v smeri Tržič–Ajdovščina–Col–Logatec, v smeri Trst in Koper–Postojna–Planina in v smeri Videm–Cerkno–Škofja Loka (glej karto 2). Povezava z bližnjimi emisijskimi središči je morda stvarna, morda naključna. Podobno velja za nekatere druge smeri, npr. osrednja Ljubljanska kotlina–Bistriška ravnina (Domžale, Kamnik)–Celjska kotlina.

Odprto je nadalje razmerje med žveplom, ki se useda na tla neposredno iz ozračja in žveplom, ki ga od tod spirajo padavine. Ker se sredi decembra padle štiri petine vseh mesečnih padavin, je glede na njihovo koncentracijo SO_4 očitno, da se veliko žvepla v tem mesecu na tak način ni odložilo na tla. Več se ga je izločilo neposredno iz ozračja (suhi depozit), če sklepamo po povečani količini žvepla na že odloženi snežni odeji.

Če primerjamo analizirane podatke s koncentracijo žvepla, analizirano po HMZ v skupnih decembrskih padavinah, kakor kaže priložena tabela (št. 3), so lokalni vplivi onesnaževanja očitnejši. To velja tudi za pH in EP. Kajti združene decembrske padavine niso bile kisle le v Portorožu (pH 5.5), temveč tudi v Ljubljani (pH 5.05) in na Mašunu (pH 5.39).

Tab. 3. Lastnosti združenih mesečnih padavin – december 1986 (po podatkih HMZ)

Postaja	pH	SO_4 (mg/l)	EP ($\mu\text{S/cm}$)
Portorož	5.31	7.9	18
Anhovo	9.19	10.1	70
Mašun	5.39	6.6	5
Jesenice	6.84	15.0	65
Jezersko	6.21	5.7	8
Ljubljana	5.50	12.3	35
Trbovlje	8.86	113.6	350

Opravljene analize kažejo, da je sezonska, zimska onesnaženost našega ozračja in padavin vremensko močno spremenljiva in da je bila sredi decembra 1986 za zimsko sezono očitno netipična oziroma podpovprečna. Vzrok za to je treba iskati v anticiklonskem vremenu, ki se je zadrževalo vso prvo polovico decembra, kar je preprečevalo dotok bolj onesnaženega zraka od drugod, lastne imisije pa so se v takem tipu vremena lažje razprševale.

Literatura

- Analiza vode I., Predlog za poenotenje postopkov (3. izd.), Kemijski institut B. Kidriča, Ljubljana.
- Berliner Wetterkarte, 1. – 31. 12. 1986, Berlin.
- Bonač M., Rajh – Alatič Z., 1976, Primerjava rezultatov analiz padavin treh različnih krajev v Sloveniji, Razprave DMS, 20, 1, Ljubljana.
- Bonač M. s sod., 1980, Ugotavljanje onesnaženosti Blejskega jezera iz ozračja, Meteorološki zavod SRS, Rep. služba za varstvo zraka, Ljubljana.
- Hrček D., 1987, Stanje onesnaženosti zraka v Sloveniji, vzroki in posledice, Hidrometeorološki zavod SRS (elaborat), Ljubljana.
- Israel J. A. in drugi, 1983, Kislodne doždi, Godrometeoizdat, Leningrad.
- Kogovšek J., Kranjc A., 1986, Kisli dež v Postojni, Naše okolje 1, Ljubljana.
- Kogovšek J., Kranjc A., 1986, Še o kislem dežju – tokrat v Postojni, Proteus, febr., Ljubljana.
- Kolar P., 1984, Kisle padavine v Mežiški dolini, Raz. naloga Ravne.
- Kolar P., 1985, Kislost padavin v Mežiški dolini, Proteus, 48, 1985, Ljubljana.
- Mesečno poročilo HMZ za december 1986, HMZ, Ljubljana.
- Meteorološke karte za sredino decembra 1986, HMZ, Ljubljana.
- Petkovšek Z., 1974, Ocena transkontinentalnega transporta onesnaženega zraka v Slovenijo in iz nje, Razprave DMS, XVII, Ljubljana.
- Podatki o onesnaženosti zraka v SRS, HMZ, Rep. služba za varstvo zraka, Ljubljana.
- Poročilo o propadanju gozdov zaradi onesnaženega zraka v SR Sloveniji ter ukrepi za sanacijo, Naše okolje, 11, 3–4, 1986, Ljubljana.
- Poročilo o stanju na področju razreševanja problematike onesnaževanja okolja, 1987, Rep. komite za varstvo okolja in urejanja prostora, Poročevalec, 6, 1, 1987, Ljubljana.
- Radinja D., 1985, Onesnaženost padavin v trboveljski občini (elaborat), Inštitut za geografijo univerze, Ljubljana.
- Radinja D., 1987, Analiza padavin v Sloveniji 1985–1987 (gradivo, tekoča raziskava), Oddelek za geografijo FF, Ljubljana.
- Rajh Z., Alatič – Pengov J., 1984, Kisle padavine in fotokemijski smog kot posledica onesnaženosti zraka, Naše okolje 9, št. 4, Ljubljana.
- Rezultati kemijskih analiz padavin (gradivo), HMZ, Rep. služba za varstvo zraka, Ljubljana.
- Rovninskij F. J. in drugi, 1982, Monitoring fonovogo zagreznanija prirodnoj sredy, Gidrometeoizdat, 1, Leningrad.
- Šolar M. in sodelavci, 1986, Onesnaževanje zraka in propadanje gozdov, Gozd in okolje – FOREN 86, Ljubljana.
- Winkler P., 1982, Deposition of acid in precipitation, Redel Publ. Comp., London.
- WMO Operation Manual for Sampling and Analysis techniques for chemical Constituents in Air and Precipitation, 1974, WMO, št. 299, Genova.

THE POLLUTION OF THE ENVIRONMENT IN SLOVENIA AS INDICATED BY THE SNOW COVER IN THE MIDDLE OF DECEMBER 1986

Darko R a d i n j a

(Summary)

The systematic analysis of the snow fall on the 15th December 1986 in Slovenia (NW Yugoslavia) concerning the relevant indicators (pH, SO₄) was carried out on over 300 samples taken at 274 localities (from the area of some twenty thousand square kilometres). This was the basis for analysing the relationships between the pollution of the precipitations and the regional structure of particular areas in Slovenia as well as for the consideration of the question whether the pollution of the snow was autonomies or allochtonons.

The registered amount of the sulphur was very different, since the amplitude was extremely great, from zero to 206 mg SO₂ per litre of the snow-water. Almost one tenth (9,7%) of the samples did not contain any sulphates; nearly one sixth of them contained less than 10 mg and a further one fifth (20,2%) contained between 10 and 25 per litre. Thus, almost one half of all samples (45%) contained only small quantities of the sulphates. One quarter of the samples (26,8%), however, contained between 25 and 50 mg per litre and another fifth (21,8%) two times as much (i.e. 50 to 100 mg). Only 7% of all samples contained considerably greater amounts of the sulphates (i.e. 100 to 200 mg). The spatial distribution of the registered amounts is shown on fig. 2.

There was no acid snowfall in the December 1986 period, except for two isolated spots. More than one half of the samples (58,5%) has revealed even an alkali reaction (pH > 7) and one tenth of them even a pronounced alkali reaction (pH > 8). The pH value for the four fifths (86%) of all examined samples was between 6 and 8 (Fig. 1).

The low values for the sulphates contents, together with a preponderant alkali reaction of the analysed samples of the snow-cover, show that the environment in the middle of December 1986 was only slightly polluted. This situation was, most probably, a result of a persisting high pressure of the air over Slovenia and entire Central Europe during the first part of that month. The high air pressure has barred the inflow of the more polluted air from other parts of Europe. The pollution – where it has been identified – was therefore mainly locally determined.