

PROMET IN ONESNAŽEN ZRAK

Melanija Lešnjak*

UDK 614.71 : 656

Donedavna so bile termoelektrarne in z njimi povezan žveplov dioksid v zraku v središču pozornosti varstvenikov narave, znanstvenikov in tehnologov. V Evropi se od leta 1980, ko je izšel helsinški protokol o zmanjšanju emisije žveplovega dioksida, stanje bistveno izboljšuje in večina držav se je že približala dogovorjeni 30-odstotni stopnji znižanja emisije. Težišče pozornosti se je tako usmerilo k omejevanju emisije dušikovih oksidov in ogljikovodikov, ki so soudeleženi pri škodljivih pojavih globalnih razsežnosti, kot so kopičenje ozona v troposferi, kisle padavine in učinek tople grede. Glavni vir teh dveh onesnaževalcev pa je poleg termoelektričnih objektov promet. Namen članka je prikazati promet kot vir onesnaževanja zraka in osvetliti razmere v Sloveniji. Omejili se bomo na cestni promet, ki je daleč največji mobilni emisijski vir.

Nastanek škodljivih snovi

Škodljive snovi, ki izvirajo iz prometa z motornimi vozili, lahko razdelimo na primarne in sekundarne produkte. Prve emitirajo vozila v neposredno okolico, drugi pa nastajajo v zraku po fizikalno-kemijskih pretvorbah primarnih produktov.

Primarne škodljive snovi so ogljikov monoksid (CO), ogljikovodiki (C_xH_y), dušikov monoksid (NO), svinec (Pb), žveplov dioksid (SO_2), saje in delci azbesta. Ogljikov monoksid, ogljikov dioksid in aromatske organske spojine nastajajo v motorju pri izogrevanju ogljikovodikov kot glavne sestavine bencina in dizelskega goriva. Dizelsko gorivo vsebuje tudi nekaj odstotkov žvepla, ki se pri izogrevanju pretvori v žveplov dioksid. Svinčev alkil se dodaja bencinu za spodbujanje vžiga, v izpušnih plinih pa je svinec kot delec. Za razliko od bencina dizelska goriva svinca ne vsebujejo. Saje so ostanki nepopolnega izogrevanja, emitirajo jih predvsem dizelska goriva. Vse omenjene snovi izvirajo iz sestavin ali dodatkov v gorivu, medtem ko nastaja NO pri visokih temperaturah v motorju iz naravnih sestavin zraka, iz kisika in dušika. Azbestne delce emitirajo pri zaviranju vozila zavorne obloge.

Sekundarni onesnaževalci so: dušikov dioksid (NO_2), kisle padavine in fotokemijski oksidanti. Dušikov dioksid nastaja v zraku po hitri oksidaciji NO z ozonom. Dušikovi oksidi in žveplov dioksid reagirajo v zraku dalje do kislin (HNO_3 , H_2SO_4), te pa kot sestavina aerosolov v zraku povečujejo kislost padavin. Fotokemijski oksidanti se tvorijo in kopičijo v onesnaženem zraku podnevi pri fotokemijskih reakcijah med radikali ogljikovodikov in dušikovimi oksidi. Najpomembnejša oksidanta sta ozon (O_3) in peroksi acetonitril (PAN).

Emisija primarnih produktov je odvisna od tehnične izvedbe motorja, vrste goriva ter hitrosti in načina vožnje. Dizelsko gorivo emitira bistveno manj ogljikovodikov, dušikovih oksidov in ogljikovega monoksida kot bencin. Pri razvoju motorjev danes iščejo optimalne rešitve za znižanje emisije CO , C_xH_y in NO_x ob hkratni čim

bolj ekonomični porabi goriva. Najbolj učinkovito, okrog 90 %, pa zmanjša emisijo iz bencinskega motorja tripotni katalizator, ki ogljikov monoksid in organske spojine oksidira v CO_2 , dušikove okside pa reducira v N_2 . Kako vpliva na izpust škodljivih snovi hitrost vožnje, ponazarjajo rezultati švedskega avtomobilskega testa (3): pri dvigu hitrosti vožnje s 70 na 120 km/h se emisija ogljikovodikov poveča za faktor 1,5, ogljikovega monoksida za faktor 1,6, dušikovih oksidov pa kar za faktor 3,6 v enotah g/km vožnje. Pri nizkih hitrostih je emisija visoka predvsem pri mestnem načinu vožnje, kjer je veliko postankov in zaviranj.

Učinki na zdravje ljudi in na okolje

Škodljivi učinki snovi iz prometa so večinoma kronične narave, saj so ljudje izpostavljeni nizkim koncentracijam daljši čas. Skoraj vse snovi vplivajo na dihalne organe, pri čemer so najbolj ogroženi odrasli s kronično obolenimi dihalni in otroci. V Sloveniji je bilo opravljenih nekaj raziskav o škodljivosti onesnaženega zraka na zdravje v najbolj obremenjenih okoljih (10), vendar zaenkrat ni zanesljivih podatkov, da bi snovi iz prometa v koncentracijah, kakršne so v našem ozračju, pri zdravih osebah povzročale okvare dihalnih poti. Povezave med onesnaženostjo zraka in obolenji dihal se pri nas kažejo predvsem pri otrocih.

Po izsledkih Svetovne zdravstvene organizacije (8) nekatere snovi iz prometa še drugače vplivajo na zdravje in počutje ljudi. Ogljikov monoksid izpodriva kisik v krvi in slabo vpliva na delovanje srca, na krvni obtok in na centralni živčni sistem, povzroča pa tudi utrujenost in glavobol. Svinec interferrira z encimi v telesu in škodljivim učinkom so potencialno izpostavljeni vsi notranji organi. Najbolj so prizadeti živčni sistem, krvni obtok in sinteza hemoglobina. Razen prek dihalnih poti vnašamo svinec v telo tudi s hrano, ki je pridelana v bližini prometnih cest. Rakotvorne snovi so azbest, benzen in poliaromatski ogljikovodiki (PAH). Slednje vdihavamo skupaj s sajami, na katere

se adsorbirajo. Čeprav so koncentracije teh snovi v zraku zaradi prometa izredno nizke, velikostnega reda med tisočinko in milijoninko mg/m^3 , so zdravju nevarne, stopnja tveganja za obolenje pa se z naraščanjem koncentracije povečuje. Ozon v zraku naravnega izvora zdravju ljudi ni škodljiv. Pri koncentracijah, ki so dvakrat do petkrat višje od naravnega ozadja in se občasno pojavljajo v onesnaženem zraku, pa lahko povzroča poleg okvar na dihalnih organih tudi glavobol in draženje oči.

Drugi učinki prometa na okolje se odražajo predvsem na vegetaciji in na gradbenih materialih. Na rastline vplivajo škodljivo dušikovi oksidi, kisle padavine, fotokemijski oksidanti in svinec. Zaradi neprestane izpostavljenosti na zraku so rastline bolj ogrožene od ljudi in njihov prag občutljivosti je nižji.

Dušikove spojine delujejo na rastline različno. V primernih količinah so dušikovi oksidi hranilna snov in ugodno vplivajo na rast rastlin, pri večjih koncentracijah, ki se pojavljajo zaradi onesnaženega ozračja, pa so fitotoksični ter zmanjšujejo fotosintezo in transpiracijo. Po ocenah Svetovne zdravstvene organizacije je meja škodljivosti povprečna letna koncentracija $0,03 \text{ mg}/\text{m}^3 \text{ NO}_2$ v zraku in depozicija celotnega dušika (v obliki dušikovih oksidov, amoniaka in nitratov v padavinah ter suhih usedlinah) $3 \text{ g}/\text{m}^2$ na leto (8). Najpomembnejši učinek dušikovih oksidov na okolje pa je v obliki kislin v padavinah. Dodatno nakisanje zemlje povzroča na geološko kislih podlagah, kot so granit in gnajsi, izpiranje hranilnih snovi in izločanje fitotoksičnega aluminijevega iona v prsti. Posledice so poškodbe korenin, zmanjšanje drevesnega prirastka in povečana občutljivost dreves za biotske in abiotske strese. Po popisu poškodovanosti gozdov iz leta 1987 (1) je v Sloveniji zaradi onesnaženega zraka ogroženih okrog 30 % vseh gozdov; glavni povzročitelj je žveplov dioksid, del pa prispevajo tudi dušikovi oksidi, predvsem kot sestavina padavin. Kemijske analize kažejo, da prispevajo dušikovi oksidi (kot nitrati) 15 do 20 % h kislosti padavin. Ocene o direktnih učinkih onesnaževanja zraka iz prometa na vegetacijo ob glavnih prometnih žilah v Sloveniji ni. Prav tako so pri nas še v povojih raziskave o vplivu onesnaženega zraka na sestavo tal. Doslej so bile opravljene le analize težkih kovin v Celju (6).

Pri umiranju gozdov sodeluje skupaj z drugimi onesnaževalci tudi ozon. Ugotovljeno je, da vpliva na fotosintezo rastlin in poškoduje listne membrane. V Sloveniji je premalo meritev ozona, da bi lahko sklepali o vlogi prometa pri umiranju gozdov.

Omeniti velja še veliko gmotno škodo, ki jo povzročajo kisle padavine in ozon na

* Mag., Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, Vojkova 1b, Ljubljana.

Emisija škodljivih snovi

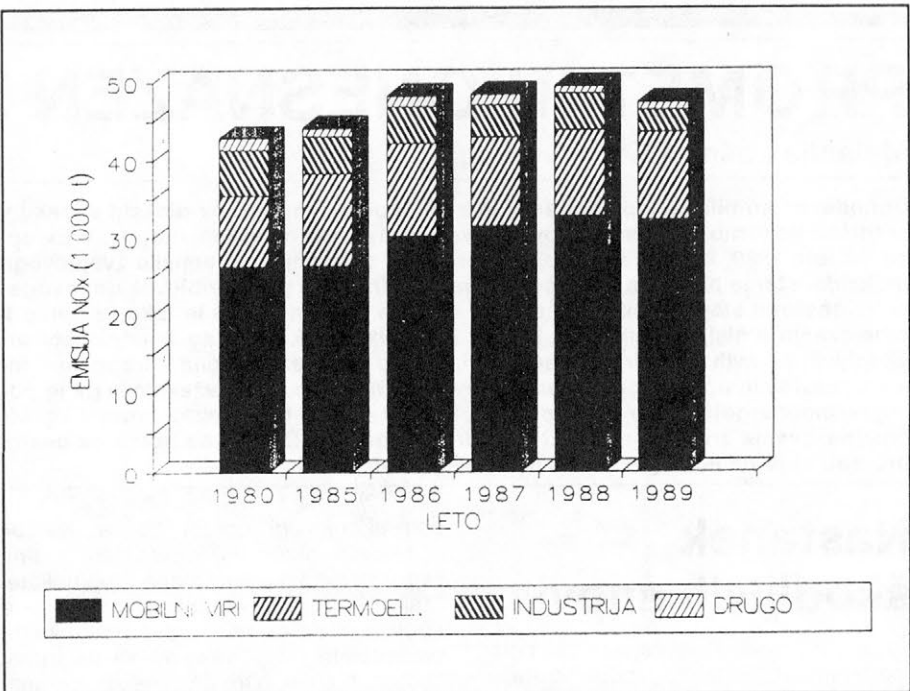
Za celo Slovenijo imamo podatke le o emisiji žveplovega dioksida, dušikovih oksidov in ogljikovega dioksida. Sliki 1 in 2 prikazujeta deleže emisije po posameznih virih. Osnova za izračun emisije, ki sta ga opravila Hidrometeorološki zavod in Zavod za statistiko (6), so statistični podatki o porabi goriva. Zaradi pomanjkanja domačih meritev so pri izračunu uporabljeni emisijski koeficienti iz tuje strokovne literature, pri čemer je napaka lahko največja prav za emisijo dušikovih oksidov iz prometa.

V letu 1988 so mobilni viri prispevali k emisiji žveplovega dioksida le 1 %, k emisiji ogljikovega dioksida 21 %, medtem ko je delež prometa pri emisiji dušikovih oksidov 66 %. Prispevka letalskega in železniškega prometa sta pri tem zanemarljiva. Celotna emisija dušikovih oksidov v Sloveniji se je od leta 1980 do 1989 povečala predvsem na račun emisije v prometu (slika 1).

Zaradi visoke vsebnosti svinca v bencinu je pri nas emisija te kovine relativno velika. Po grobi oceni iz porabe bencina v Sloveniji znaša okrog 300 t/leto. Za celovito sliko o vlogi prometa pa manjkajo podatki o emisiji ogljikovega monoksida in ogljikovodikov v Sloveniji. Obstajajo le delne ocene, npr. za Maribor.

Podatki o cestnem prometu

Statistični podatki kažejo (7), da se je v Sloveniji število motornih vozil od leta



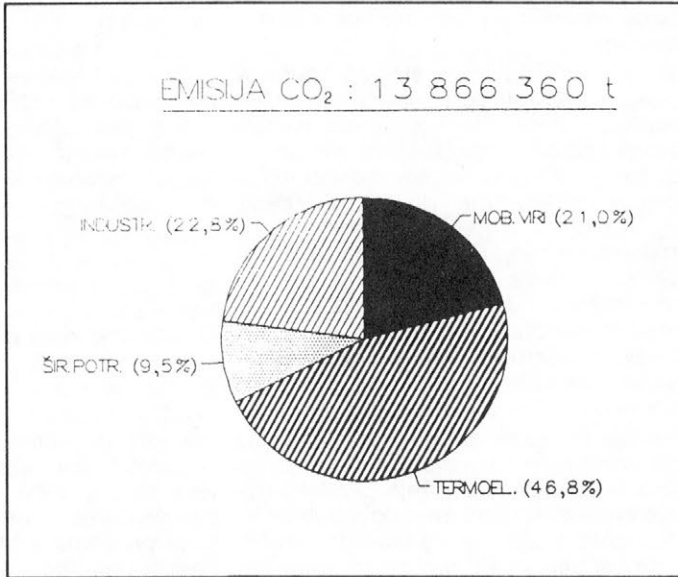
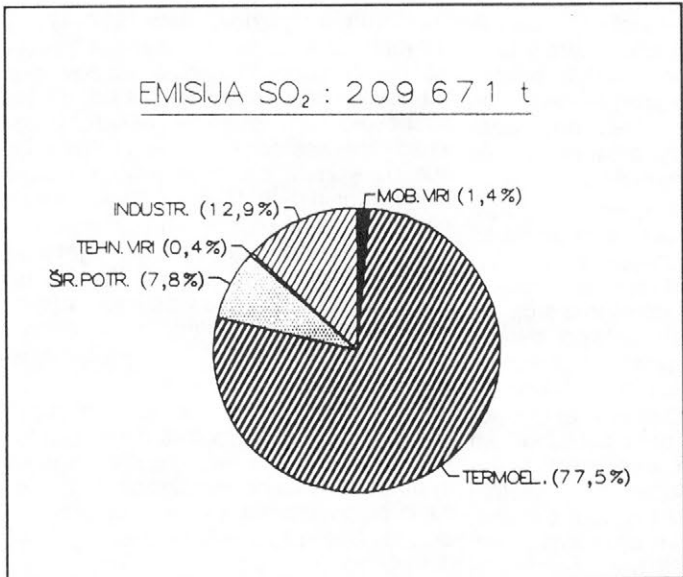
Slika 1. Emisija NO_x v Sloveniji v obdobju 1980—1989.

1970 do 1988 povečalo od 276 000 na 725 000. Na 3,6 prebivalca pride eno vozilo, kar je blizu zahodnoevropskim razmeram, kjer je razmerje 2,4 do 3 prebivalci na vozilo. Prevladujejo vozila slabe kakovosti, 44 % jih je starih manj kot pet let in 45 % med šest in enajst let. Znano je, da stara vozila emitirajo več škodljivih snovi kot nova.

V tem obdobju se je povečala dolžina cestnega omrežja od 12 700 na 14 200 km. Z leti narašča tudi število prevoženih kilometrov osebnih, potniških in domačih tovornih vozil kot tudi prevoženi kilometri tranzita tujih tovornih vozil. Glede na to, da načrtujemo v Sloveniji do leta 200 veliko novih avtocest, lahko pričakujemo v tem srednjeročnem obdobju nadaljnje naraščanje cestnega prometa, predvsem tranzitnega.

Ukrepi za zmanjšanje onesnaženosti zraka

Evropska skupnost rešuje onesnaževanje zraka iz cestnega prometa postopno in skupaj z razvojem tehnologije (5). Direktive Evropske skupnosti, ki jih morajo države članice vključiti v svoje zakonske akte do dogovorjenih rokov, omejujejo emisijo škodljivih snovi iz motornih vozil in predpisujejo dovoljene količine nekatereh snovi v gorivih ter mejne koncentracije v zraku. Na tem področju so naši



Slika 2. Emisija SO₂ in CO₂ v Sloveniji v letu 1988.

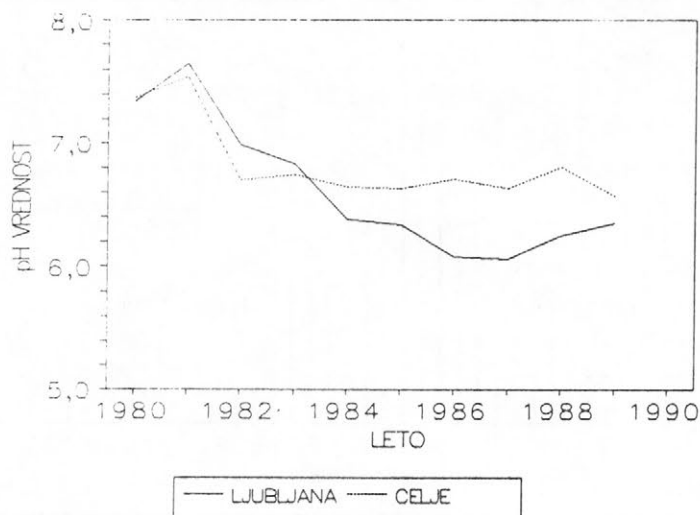
predpisi in standardi zelo ohlapni. Za razliko od držav Evropske skupnosti, kjer uvajajo vse strožje omejitve emisije ogljikovega monoksida, ogljikovodikov, dušikovih oksidov in saj iz motornih vozil, je pri nas omejena z zveznim predpisom le emisija CO. Podobno velja za kakovost goriv. Najbolj problematična je dovoljena vsebnost svine v osvinčenem bencinu, ki je lahko v naši državi kar štirikrat višja kot v Evropski skupnosti. Z vidika varstva zraka so ustrezni le normativi iz slovenskega odloka o mejnih koncentracijah škodljivih snovi v zraku (4), ki temeljijo na dosedanjih izsledkih Svetovne zdravstvene organizacije o škodljivih učinkih na ljudeh in vegetaciji. Vendar strogi imisijski normativi nimajo prave teže, dokler je v Jugoslaviji dovoljena uporaba nekakovostnih goriv in velika emisija iz motornih vozil. Ukrepi na tem področju bodo trši oreh, ker so vezani na tehnološke spremembe pri predelavi nafte v domačih rafinerijah in na posodobitev proizvodnje domačih vozil.

Onesnaževanje in onesnaženost zraka zaradi cestnega prometa se lahko omili tudi z drugimi ukrepi, na primer z davčnimi olajšavami za nakup avtomobilov s katalizatorji, z omejevanjem maksimalne hitrosti na avtomobilskih cestah, ureditvijo prometnega režima v mestih in s preusmerjanjem tovornega prometa s cest na železnico. Od teh ukrepov je Slovenija največ storila pri urejanju mestnih prometnih režimov, na primer uvedba zelenega vala na glavnih semaforiziranih cestah v Ljubljani, ureditev cón za pešce in kolesarskih stez ter izgradnja mestnih obvoznic.

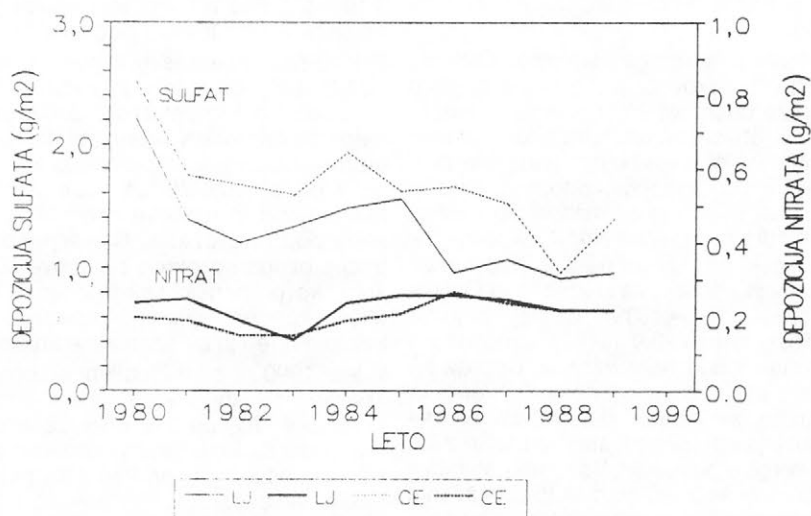
Vsi omenjeni ukrepi so preventivne narave. Ko koncentracije škodljivih snovi v zraku presežejo kritično vrednost, pa je z republiškim zakonom o varstvu zraka (9) določeno, da se izvajajo izredni ukrepi. Ti so natančneje definirani v mestnih in občinskih odlokih, ki jih ima v Sloveniji pet občin ter mesti Ljubljana in Maribor. Prva stopnja izrednih ukrepov je obveščanje prebivalcev, druga je omejevanje motornega prometa in uporabe snovi, ki povzročajo prekomerno onesnaževanje zraka, tretja stopnja je prepoved, med drugim tudi prometa. Doslej v Sloveniji še ni prišlo do omejevanja ali prepovedi prometa.

Meritve onesnaženosti zraka v Sloveniji

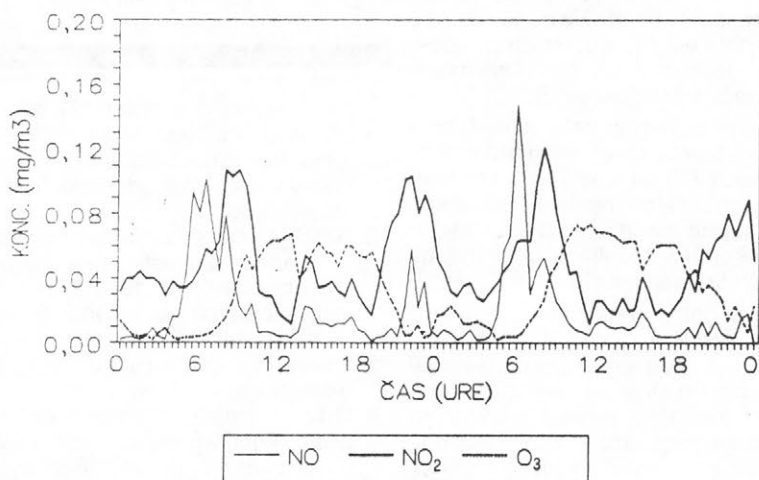
Onesnaženost zraka se odraža v kemijski sestavi padavin. Če je zrak onesnažen z žveplovim dioksidom in dušikovimi oksidi, vsebujejo padavine dosti sulfatov in nitratov, ki povečujejo kislost padavin. Alkalijski in zemeljsko alkalijski kationi, ki izvirajo iz delcev naravnega praha, pa nevtralizirajo kisle sestavine v padavinah. Padavine so kisle, če vsebujejo več vodikovih ionov kot destilirana voda, v kateri je raztopljen CO₂ iz zraka; v tem primeru



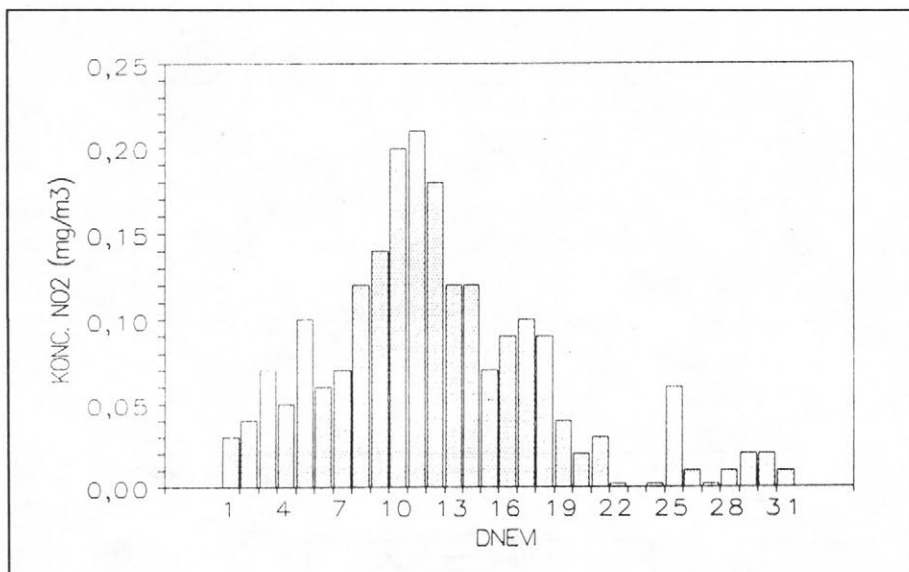
Slika 3. Povprečna letna kislost (pH) padavin v Ljubljani in Celju.



Slika 4. Letna depozicija sulfatov in nitratov s padavinami za Ljubljano in Celje.



Slika 5. Dnevni potek koncentracij NO, NO₂ in O₃ v Ljubljani 25. in 26. 6. 1990. Mejne enourne imisijske koncentracije iz slovenskega odloka (8) so 0,20 mg/m³ za NO₂ in 0,15 mg/m³ za O₃.



Slika 6. Povprečne dnevne koncentracije NO₂ v Ljubljani v januarju 1990. Mejna 24-urna imisijska koncentracija za NO₂ iz slovenskega odloka (8) je 0,10 mg/m³.

je pH vrednost (ki je negativni logaritem koncentracije vodikovih ionov) manjša od 5,6.

V Sloveniji spremlja Hidrometeorološki zavod RS kakovost padavin na sedmih krajih že deset let. Vzorčevanje je mesečno, v Ljubljani pa analizirajo tudi dnevne vzorce. Pri nas vsebujejo padavine precej kovinskih kationov, zato niso izrazito kisle. Na sliki 3 je prikazana povprečna letna vrednost pH, na sliki 4 pa letna depozicija kislih komponent v padavinah, sulfatov in nitratov, za Ljubljano in Celje v obdobju 1980–1989. Doslej najnižja vrednost pH – 3,9 je bila izmerjena v Ljubljani v dnevnem vzorcu. Čeprav so kisle padavine izmerjene v Sloveniji le občasno, zaskrbljuje dejstvo, da so vse pogostejše in da se kislost padavin z leti v povprečju povečuje. Vsebnost sulfata v padavinah se z leti manjša in naraščanje kislosti padavin gre predvsem na račun večanja koncentracije nitratov. Zmanjševanje mokre depozicije sulfatov je povezano z upadanjem koncentracij žveplovega dioksida v zraku in emisije SO₂ v Sloveniji, naraščanje nitratov v padavinah pa je povezano z emisijo dušikovih oksidov, ki se je v tem obdobju povečala predvsem na račun prometa (6, 2).

Od drugih primarnih in sekundarnih produktov iz prometa spremlja Hidrometeorološki zavod RS še dušikove okside in ozon z avtomatskimi merilnimi postajami (ANAS). Največ meritev teh dveh snovi je bilo opravljenih v Ljubljani, občasno pa še v nekaterih krajih v Sloveniji.

Za primer si oglejmo meritve v Ljubljani v letu 1990. Merilno mesto je v strogem mestnem središču pri Figovcu, kjer je promet gost. Poleti je vir dušikovih oksidov skoraj izključno promet, vendar so koncentracije nižje kot v kurilni sezoni, ko pride do emisije dušikovih oksidov še iz termoelektrarn in drobnih kurišč. Za ozon pa velja, da so zaradi večje intenzitete sončnega sevanja koncentracije naravnega ozadja v povprečju višje spomladi in poleti, do 0,08 mg/m³, in da se poja-

vljajo povišane koncentracije nad 0,10 mg/m³ zaradi onesnaženega zraka običajno v tem letnem obdobju.

Slika 5 prikazuje dnevni potek koncentracij NO, NO₂ in O₃, ki je značilen za nekurišno sezono. Koncentracije dušikovih oksidov so največje v prometnih konicah in se ob šibkih vetrovih ohranjajo tudi nekaj ur. V prisotnosti NO se ozon porablja v hitri reakciji in njegova koncentracija se zniža pod nivo ozadja. Največje koncentracije ozona so okrog poldneva. Z mrakom, ko prenehajo vse fotokemijske reakcije, koncentracije ozona padejo. V prikazanih dneh je bil ozon v mejah ozadja.

V letu 1990 je bil v Ljubljani najbolj onesnažen zrak januarja. Dnevne mejne koncentracije NO₂ so bile presežene devetkrat (slika 6), kratkotrajne enourne mejne koncentracije NO₂ pa kar v 43 primerih. Glavni vir dušikovih oksidov so bila kurišča in termoelektrarna, delno pa tudi promet, zlasti ob dnevih s stabilno vremensko situacijo in temperaturno inverzijo. Ob takih dnevih se škodljive snovi nakopičijo v prizemni plasti zraka.

1. Črna knjiga o propadanju gozdov v Sloveniji leta 1987, I. in II. del, 1987 in 1988. Ur.: Kmecl, M., Inštitut za gozdnostrojstvo in lesno gospodarstvo Ljubljana, str. 46 in 66.
2. Hrček, D., in sodelavci, 1990. Poročilo o onesnaženosti zraka v Sloveniji za obdobje 1. 4. 1989–31. 1. 1990. Hidrometeorološki zavod R Slovenije, Ljubljana, str. 19.
3. Lower speeds, less pollution, 1987. Acid News, 1–2, 16.
4. Odlok o mejnih in kritičnih koncentracijah škodljivih snovi v zraku (imisijska – onesnaženje), Ur. l. RS, št. 30/90 in 40/90.
5. O'Riordan, T., 1989. Air pollution legislation and regulation in the European community: A review essay. Atmos. Environ., 23(2), 293–306.

6. Poročilo o stanju okolja v SR Sloveniji, 1990. Poročevalec skupščine RS in skupščine SFRJ, Ljubljana, letnik XVI, št. 5/1, str. 71.
7. Statistični letopis SR Slovenije 1989. Zavod SR Slovenije za statistiko, Ljubljana, letnik XXVIII, str. 665.
8. WHO, 1987. Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No. 23, Copenhagen, 426 pp.
9. Zakon o varstvu zraka, Ur. l. SRS, št. 13/75.
10. Zbornik 10. Derčevi pediatrični dnevi, 1987. Ur.: Peče, H., Univerzitetna pediatrična klinika, str. 557.

Melanija Lešnjak

Road Traffic and Air Pollution

Until recently the attention of ecologists, scientists, and technicians has been focused primarily on thermal power plants and the related sulphur dioxide in the air. However, since the issue of the SO₂ Protocol in 1980, the situation in Europe has improved considerably and attention has been drawn to the reduction of nitrogen oxides and hydrocarbons. These harmful gasses are involved in global phenomena such as the increase of ozone in the troposphere, the occurrence of acid precipitation, and the greenhouse effect. In addition to thermal power plants, their main source is road traffic.

The aim of the article is to consider road traffic from the aspect of air pollution and to describe the current situation in Slovenia. Several studies of respiratory disease in children in our towns indicate a certain correlation with air pollution. Other harmful environmental impacts of polluted air such as forest dieback and damage to buildings in towns have been documented as well. The main blame is attributed to sulphur dioxide originating from combustion sources. However, some measurements of nitrogen oxides in towns and the quality of precipitation suggest that the contribution of road traffic should not be neglected. In towns this contribution is important in winter months during stable weather conditions when air pollutants accumulate in the inversion layer.

According to Slovenia's national development strategy, the road system will be expanded considerably by the year 2000 and road traffic will increase. Since our environmental standards and laws related to vehicle exhaust and the quality of fuels are laxer than controls in force in the European Community, more emphasis will have to be placed on measures to reduce emissions into the air and to limit the possible adverse effects of the increased road traffic.