

DOLOČANJE EMISIJE SO₂ IN IZRAČUN EMISIJSKEGA POTENCIALA ZA
NEKATERE KOTLINE V SLOVENIJI

SO₂ EMISSION DETERMINATION AND CALCULATIONS OF EMISSION
POTENTIAL FOR SOME BASINS OF SLOVENIA

Zdravko PETKOVŠEK
Katedra za meteorologijo, VTO Fizika, FNT, Ljubljana

551.510.42

SUMMARY

The paper presents three different methods enabling the estimation of SO₂ emission generated by domestic and other non-industrial sources, without having to use the complicated emission register. Ljubljana has been taken as an example, and it is evident that similar results are obtained by all the three methods, and the simplest of them may be used. On the basis of supplementary studies (determination of the volume of basin atmosphere and a model for the increase rate of SO₂ concentrations in basins) the simple equation enables calculations of the mean emission potential (allowed emission) and its index; in the paper, this has been presented for nine basins of Slovenia.

POVZETEK

V delu so prikazane tri različne metode za oceno emisije SO₂ od splošne porabe oz. gospodinjstev brez pomoči zahtevnega katastra emisij. Na primeru Ljubljane je prikazano, da dajo vsi trije načini podobne rezultate in lahko uporabimo najpreprostejšega izmed njih. Na osnovi dodatnih proučevanj (določanja volumna kotlinske atmosfere in modela za izračun naraščanja koncentracij SO₂ v kotlinah) omogoča izvedena enačba izračun poprečnega emisijskega potenciala (dopustne emisije) in njegovega indeksa, kar je tu storjeno za devet kotlin Slovenije.

UVOD

Emisijo SO₂ v neki kotlini ni preprosto določiti. Tudi če bi imeli dober kataster onesnaževalcev (ki ga pa za nobeno naših kotlin ni), se pojavijo robni problemi upoštevanja virov glede na višino inverzije in glede na močne in visoke vire, ki pošiljajo emisijo izven kotlinskih jezer hladnega zraka.

V splošnem delimo vire emisije onesnaženja zraka na tri velike skupine onesnaževalcev; če tu izvzamemo promet, čigar doprinos k emisiji SO₂ je zanemarljiv, velja, da je skupna emisija SO₂ podana z dvema členoma

$$Q_s = Q_{in} + Q_{sp} \quad (1)$$

kjer je Q_{in} emisija od industrije in
 Q_{sp} emisija od splošne porabe.

Tu bomo ocenjevali emisijo SO_2 za čas mrzlih zimskih obdobij, v katerih nastopajo periode visokega onesnaženja zraka z večjimi posledicami za zdravje prebivalstva.

Določitev emisije z SO_2 v neki kotlini in primerjava te vrednosti z maksimalno dopustno emisijo (emisijskim potencialom) tiste kotline, nam omogoča oceno onesnaženosti kotline in s tem potrebno stopnjo strogosti sanacijskih ali preventivnih ukrepov, smer urbanistične politike itd. S tem dobimo torej osnovo za specifično in optimalno politiko varstva zraka v posameznih kotlinah.

EMISIJA OD INDUSTRIJE

Industrijsko emisijo lahko delimo na emisijo od kotlovnice in od proizvodnega procesa. Industrijsko emisijo SO_2 za posamezne večje industrijske objekte, po posameznih krajih in občinah, je za leto 1973 ocenil Zavod za zdravstveno varstvo Maribor /1/. Izkazalo se je, da močno prevladuje emisija od kotlovnice, saj je emisija SO_2 od proizvodnega procesa vredno upoštevati le v štirih krajih Slovenije. Iz omenjenih podatkov je načelno industrijsko emisijo za posamezne kotline sorazmerno preprosto oceniti. Industrijska emisija se med letom malo spreminja, vendar je emisija v mrzlih zimskih dneh za faktor 1,2 večja od letnega poprečja, kar vrednosti za potrebe določanja zimskih razmer ustrezno dvigne.

Poseben problem pa so močni in visoki viri, ki v primerih nizkih inverzij (in v relativno majhnem volumnu) pošiljajo svojo emisijo izven sistema kotlinskega jezera hladnega zraka in je v računih ne smemo upoštevati; pri visokih inverzijah pa ostane onesnaženje v sistemu. Tak je primer ljubljanske toplarne, katere emisija znaša po ocenah Urbanističnega inštituta /2/ skoraj polovico celotne emisije mesta Ljubljane. Pravilno upoštevanje tega učinka torej bistveno vpliva na rezultate. Naša posebna proučevanja /3/ so pokazala, da je vse do relativne višine inverzije 350 m, emisijo toplarne za razmere pod inverzijo potrebno izključiti. Nekatere podobne ugotovitve imamo za TE Šoštanj in Trbovlje, za mnoge kraje pa ne in jih je potrebno oceniti. Iz podatkov ZZV Maribor, če odštejemo toplarno, je npr. industrijska emisija mesta Ljubljane okrog 1 tona SO_2/h , v celotni kotlini pa seveda znatno več.

EMISIJA OD SPLOŠNE PORABE

Emisija od splošne porabe ima v glavnem nizke vire in ostane vsa v kotlinskem zraku, vendar pa jo je bistveno težje določiti. Da bi se čim bolj približali pravi vrednosti in določili metodo, bomo na primeru Ljubljane izvedli cenitev emisije od splošne porabe na tri različne načine, in sicer:

- po specifični emisiji na prebivalca,
- po celotni porabi goriv,
- po toplotnih potrebah ogrevanja bivalnih prostorov.

a) ZZV Maribor je na osnovi našega sodelovanja pri metodiki izvedel anketo porabe goriv v gospodinjstvih različnih struktur, in sicer v Novi Gorici kot predstavniku Primorske in v Mariboru. Iz tega sledi letna emisija za Novo Gorico 8 kg SO_2 na prebivalca na leto in v Mariboru 33 kg $SO_2/preb.$ leto.

Upoštevati moramo, da so v mestih šole, uradi, trgovine itd. in je tam na prebivalca precejšnje dodatno ogrevanje in s tem emisija, medtem ko marsikje zunaj mest še kurijo z drvmi in je emisija SO_2 na prebivalca znatno manjša. Če v prvem približku postavimo, da se oba vpliva v kotlini izenačita, nam zgornje številke predstavljajo poprečno emisijo na prebivalca ustreznega dela Slovenije v dobi ogrevanja. Ta doba je v Novi Gorici le malo krajša, toda intenziteta ogrevanja je očitno zelo različna - kar za faktor 4 se emisiji za oba kraja razlikujeta. Zato je očitno potrebno za razna področja določiti interpolirane ali celo ekstrapolirane vrednosti glede na klimatske razmere posamezne kotline ali področja.

Upoštevajoč trajanje kurilne dobe je poprečna emisija SO_2 na prebivalca na uro v Novi Gorici 1,8 g in v Mariboru 7,5 g. Zadnja vrednost se dobro ujema z vrednostjo za Berlin /4/, ki je 8,0 g $SO_2/preb.h.$ Tam uporabljajo čistejša goriva, toda praviloma ogrevajo cela stanovanja in sorazmerno velike prostore poslovnih, vzgojnih in drugih neindustrijskih dejavnosti.

Na osnovi porabe goriv v Univerzitetnem naselju v Ljubljani, ki ima kotlovnico na premog, pridemo do približno enake vrednosti na podoben način, in sicer malo nad 8 g $SO_2/preb.$ poprečno na uro. V mrzlih zimskih dneh, ki nas predvsem zanimajo, pa je emisija na uro seveda znatno večja od poprečja za dobo ogrevanja. Če se opremo na nekaj razpoložljivih podatkov in primerjav, sledi, da je v zimskih dneh pri temperaturi pod $0^{\circ}C$ poraba goriva in s tem emisija SO_2 približno za faktor 2,0 večja od poprečja. Tako dobimo končno oceno emisije za naše potrebe določanja potenciala onesnaženja v kotlinah na prebivalca - to je koeficient emisije od splošne porabe (K_{sp}): za Novo Gorico 3,6 g $SO_2/preb.h.$, za Maribor 15 g $SO_2/preb.h.$ in za Ljubljano 16 g $SO_2/preb.h.$ kot osnove, iz katerih določamo interpolirane vrednosti za razne druge kraje, kotline in področja.

Emisija SO_2 od splošne porabe za zimske dni dobimo torej preprosto kot produkt koeficienta emisije in števila prebivalcev (N_p)

$$Q_{sp} = K_{sp} \cdot N_p \quad (2)$$

Za mesto Ljubljana npr. dobimo na ta način $Q_{sp} = 3,2$ t SO_2/h , pri čemer smo odšteli prebivalce, ki jih ogreva toplarna. Celotna emisija mesta Ljubljane pa je tedaj v skladu z en. (1) in ugotovljeno industrijsko emisijo, v mrzlih zimskih dneh približno 4,2 t SO_2/h .

b) Na osnovi celotne porabe različnih goriv in njihove kvalitete je delal oceno emisije za Ljubljansko regijo Urbanistični institut SRS /2/. Med drugim je ugotovil, da je emisija toplarne pozimi 47% skupne emisije SO₂ Ljubljane. V mrzlih zimskih dneh je odstotek toplarne nižji, oziroma drugih večji. Če upoštevamo, da predstavlja toplarna tedaj le 38% skupne emisije in maksimalno emisijo toplarne, ki je ca. 60 t SO₂/dan, dobimo vrednost skupne emisije okrog 4 t SO₂/h, ki se dobro ujema s prej določeno vrednostjo.

c) Tretji način je določitev emisije SO₂ po toplotnih potrebah ogrevanja bivalnih prostorov. Ta je možna na osnovi izhodišč, ki jih je postavil IBE /5/, in sicer: potreba po toploti na enoto ogrevanih površin, ki je pri nas 0,295 G cal/m² na leto; dobo ogrevanja 210 dni in izkoristek kotlovnice 0,85. Pri prosto ocenjeni površini 12 m² na prebivalca (upoštevajoč tudi šole in vse druge nestanovanjske prostore) je toplotna potreba in poraba Ljubljane brez toplarne (za 200.000 preb.) 140 G cal/h. Iz te potrebe po toploti računamo količino porabljenih goriv. Ker pa so goriva različna po kalorični vrednosti in tudi po vsebnosti žvepla, moramo upoštevati razmerja porabe med njimi. Ta se z leti nekoliko spreminjajo v prid oljem na račun premoga. Če to upoštevamo, dobimo na osnovi ugotovljenih razmerij porabe za leto 1972 odstotke, ki so podani v prvi koloni tabele 1.

Tabela 1 Poraba goriv in emisije SO₂ v Ljubljani v letu 1972 po posameznih vrstah goriva pri splošni porabi

Table 1 Fuel consumption and SO₂ emission in Ljubljana in 1972, according to separate fuels in general consumption

Gorivo	rel. poraba %	poraba t/h	emisija SO ₂ t/h
trjavni premog	63	26	1,34
lignit	8	5	0,15
lahko olje	22	4	0,08
težko olje	7	1	0,06
	100		1,63

Produkt relativne porabe s skupno toplotno potrebo, povečane za faktor 1,18 zaradi izkoristka in deljen s kalorično vrednostjo goriv, nam da dejansko poprečno porabo posameznih goriv v Ljubljani v kurilni sezoni (brez industrije) - kar je podano v drugi koloni. Produkt dejanske porabe z dvojno vsebnostjo žvepla pa nam da poprečno emisijo SO₂, katere skupna vsota je približno 1,6 t/h. Če upoštevamo faktor 2,0 od poprečja na mrzel zimski dan, dobimo 3,2 t SO₂/h. Ko prištejemo emisijo od industrije, dobimo skupaj spet 4,2 t/h kot poprečno emisijo SO₂ v Ljubljani v mrzlih zimskih dneh. Praktična enakost emisije po treh načinih določevanja nam kaže, da smemo za oceno emisije od splošne porabe za razne kotline uporabljati preprosto metodo po enačbi (2). Pri določitvi koeficienta K_{sp} pa je treba seveda upoštevati tudi klimatske razmere vsake kotline pose-

bej; pri določevanju skupne emisije pa je treba izločiti tisto industrijsko emisijo, ki prebija zaporno inverzno plast in izhaja izven kotlinskega jezera hladnega zraka, ki ga obravnavamo.

Po prvi metodi smo zato določili emisijo SO₂ za devet kotlin Slovenije. Pri tem smo upoštevali strukturo porabe raznih goriv (po oceni) in odvisnosti faktorja K_{sp} od klimatskih razmer ter dobili vrednosti, ki so podane v tabeli 2. Številke same so dovolj zgovorne in ne potrebujejo komentarja, potrebno pa je dodati, da pri Ljubljanski kotlini niso bile upoštevane emisije od ljubljanske toplarne zaradi velike višine vira /3/ in Jesenic zaradi obrobne in visoke lege virov.

Tabela 2 Ocena parametrov parcialne in sumarne emisije SO₂ v mrzlih zimskih dneh po podatkih za leto 1973 za nekatere kotline Slovenije (brez upoštevavanja visokih in obrobni virov in brez prebivalcev, ki jih ogreva toplarna)

Table 2 The estimation of parameters of partial and summarized SO₂ emission in cold winter days, according to data obtained for 1973, for basins of Slovenia (not considering high and bordering sources, and not including the heating of inhabitants by heating stations)

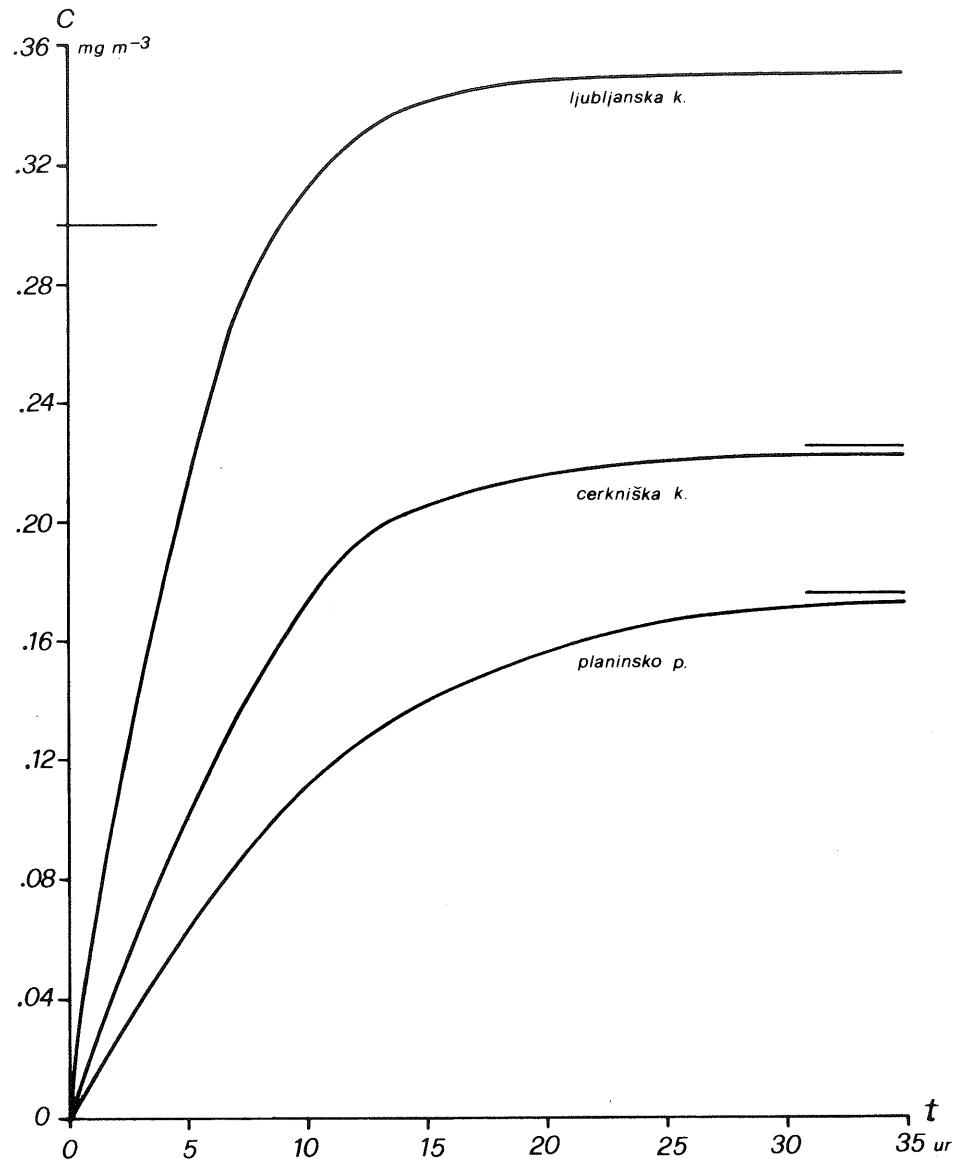
Kotlina	N _p	K _{sp} (g/h)	Q _{sp} (kg/h)	Q _{in} (kg/h)	Q _s (kg/h)
Ljubljanska	330000	16	5280	3980	9260
Celjska	62000	16	990	1100	2090
Mislinska	10500	13	136	32	168
Mežiška	20900	15	313	690	1000
Loška	2800	10	28	0	28
Cerkniška	5500	10	55	6	61
Planinsko p.	2000	10	20	0	20
Novomeška	16700	14	234	167	400
Krška	16200	12	194	2130	2320

IZRAČUN DOPUSTNE EMISIJE

Model za oceno poprečnega emisijskega potenciala onesnaževanja zraka z SO₂ omogoča izračun časovnega poteka naraščanja koncentracij v posameznih kotlinah /6/. Kot je razvidno s primerov na sliki 1, po njem koncentracije sprva hitro in nato vse počasneje naraščajo zaradi izpada, in se asimptotično približujejo maksimalni vrednosti. Maksimalna dopustna emisija (ali emisijski potencial onesnaženja) pa je določen s preprosto enačbo

$$Q_D = b \cdot V \quad (3)$$

pri čemer je V volumen kotlinskega jezera hladnega zraka, b pa faktor, ki je odvisen od izpada in od predpisanih maksimalnih dopustnih koncentracij (MDK) SO_2 v zraku. Te so pri nas $0,3 \text{ mg/m}^3$ ter ima faktor b vrednost 38 kg/h .



Slika 1 Naraščanje koncentracij SO_2 v treh kotlinah Slovenije po modelu, ki upošteva pretvorbo SO_2 v sulfate

Fig. 1 Increasing of SO_2 concentrations in three basins of Slovenia according to the model considering the transformation of SO_2 into sulphates

Tako izračunane vrednosti emisijskega potenciala onesnaževanja zraka z SO_2 za nekatere kotline Slovenije so med drugim podane v tabeli 3. Tu so torej poleg nekaterih izhodiščnih parametrov prikazani končni rezultati našega dela za oceno emisijskega potenciala onesnaževanja kotlin. Za druge kotline Slovenije bo to treba še storiti; pri tem pa je mnogo dela predvsem pri določitvi volumna kotlinskega jezera hladnega zraka v poprečnih oz. karakterističnih vremenskih razmerah /7/.

Tabela 3 Relativna višina kotlinskega jezera hladnega zraka, njegov volumen, dopustna in skupna emisija SO_2 ter indeks emisijskega potenciala onesnaževanja za nekatere kotline v Sloveniji

Table 3 Relative height of a basin cold-air lake, its volume, allowed and total SO_2 emission and index of emission potential of air pollution for some basins of Slovenia

Kotlina	H (m)	V_k (km^3)	Q_D (kg/h)	Q_S (kg/h)	I_E
Ljubljanska	200	180	6840	9260	1,43
Celjska	140	38	1440	2090	1,45
Mislinjska	130	3,1	118	168	1,42
Mežiška	120	1,3	50	1000	20,0
Loška	120	2,3	87	28	0,32
Cerkniška	80	2,8	106	61	0,57
Planinsko p.	80	1,5	57	20	0,35
Novomeška	120	11	418	400	0,95
Krška	90	20	1520	2310	1,52

Iz tabele 3 vidimo, kolikšne so dopustne emisije SO_2 v nekaterih kotlinah pri ocenjenih pogojih, če naj bi poprečne dnevne koncentracije SO_2 ostale pod dovoljenimi vrednostmi. Dopustne emisije se seveda v splošnem razlikujejo od dejansko ocenjenih. Bolj značilen kot razlike, je kvocient med njimi, imenujemo ga indeks dopustne emisije in ga definiramo

$$I_E = Q_S / Q_D \quad (4)$$

kjer je Q_S vsota dejanske in Q_D dopustna emisija neke kotline. Vrednosti tega indeksa za obdelane kotline vidimo v zadnji koloni tabele 3. Ta kaže, da je npr. v Mežiški kotlini emisija SO_2 kar dvajsetkrat prevelika. Velik del te emisije izhaja v t.i. dolini smrti kot obrobem predelu, kjer je res uničena vsa vegetacija; ta emisija pa zato celotne Mežiške kotline navadno močno ne prizadene. Emisija SO_2 v Ljubljanski, Celjski, Mislinjski in Krški kotlini je bila leta 1973 (za katero so podatki) približno za polovico prevelika; emisija v Novomeški kotlini je bila malo pod dopustno mejo, medtem ko so "čiste" od obravnavanih kotlin le Loška in Cerkniška ter Planinsko polje.

Dobljeni rezultati so toliko bolj zaskrbljujoči, če upoštevamo, da je bilo tu računano tako, kot da se onesnaženje enakomerno porazdeli po vsej kotlini. Ker dejansko temu ni tako, seveda koncentracije SO₂ v bližini virov - zlasti nizkih v mestih - včasih za nekajkrat presegajo dovoljene meje že samo pri tem plinu. Če bi upoštevali še druge specifične primese od tehnoloških procesov, motornih vozil i. d., bi bila slika o onesnaženju zraka v naših kotlinah še znatno slabša.

Le za nekatere kraje ali dele kotlin imamo podatke o onesnaženju zraka z SO₂ za nekaj let kar omogoča oceno onesnaženosti zraka tam, za mnoge pa ne. Na opisan način pa smo prišli prek izdelane metode do ocene kvantitativnih vrednosti dopustne emisijske obremenitve v specifičnih razmerah, kar je osnova za neposredne ukrepe za zmanjšanje emisije. Rezultati, ki so večinoma v skladu z meritvami koncentracij, nedvomno kažejo, da bo in za koliko bo po tej oceni treba emisijo onesnaževanja zraka z SO₂ v posameznih kotlinah zmanjšati, če naj bi pozimi v njih onesnaževanje zraka z SO₂ ne presegalo dovoljenih mej.

LITERATURA

- /1/ ZZVM: Ugotovitev vrste, kvalitete, jakosti in lokacije izvorov emisij onesnaževanja zraka v SR Sloveniji, SBK - 1101, Zavod za zdravstveno varstvo Maribor, 1974 in 1975.
- /2/ DEKLEVA, J.: Model kvalitete zraka kot osnova strategije za zmanjšanje onesnaženosti zraka v Ljubljanski regiji, Urbanistični inst. SRS, SBK - UI 461, Ljubljana 1975.
- /3/ PETKOVŠEK, Z.: Klimatski pogoji in onesnaženje zraka v kotlinah, Zbornik radova I. Jug. kong. hem. inž. i proc. tehn., III. knjiga, Beograd 1971.
- /4/ GUTSCHE, B. und LENSCHOW, P.: Untersuchung zur Luftverunreinigungssituation Berlins unter besonderer Berücksichtigung der politischen Lage der Gesamtstadt, Inst. für theoret. Meteor. Berlin, 1973.
- /5/ BABŠEK, B.: Možnosti zmanjšanja emisije (onesnaženja zraka) v SR Sloveniji s spremembo goriv, Industr. biro elektroprojekt, Ljubljana 1975.
- /6/ PETKOVŠEK, Z.: Model za oceno poprečnega emisijskega potenciala onesnaženja zraka z SO₂ za kotline, FNT - RSS, Ljubljana 1977.
- /7/ PETKOVŠEK, Z.: Reliefno-meteorološke karakteristike kotlin, FNT - RSS, Ljubljana 1977.