

EMISIJSKI POTENCIAL SO₂ ZA
VEČINO KOTLIN SLOVENIJE

EMISSION POTENTIAL OF SO₂ FOR
MAJORITY OF BASINS IN SLOVENIA

551.510.42

Zdravko PETKOVŠEK

Katedra za meteorologijo,
VTO Fizika, FNT, Ljubljana

SUMMARY

In not rarely occurred cases, when the basins are filled up with the cold air lakes bordered above with strong temperature inversion, the basin atmosphere is a closed system. In such parts of the atmosphere the concentrations of air pollution can reach high values, although the emissions are not abundant. By the pollution with SO₂ its decay is proportional to the concentrations, therefore after a time, a balanced state is established. If in the developed model /9/ such a state is prescribed with MDK (maximum allowed concentrations, e.g. 0,3 mg/m³), the emission intensity limit for the chosen valley or basin can be defined, by that the concentrations of SO₂ in basin atmosphere will keep under MDK. This emission intensity limit is called emission potential SO₂ of a basin.

Emission potential of a basin depends mainly on the volume of the basin atmosphere, but the volume depends on many relief characteristics, the most important being the ones that determine the height H of the bordering inversion layer. The methods to determine H are explained in an other work /3/, here only H values and the basin volumes are given for the second group or for all of 23 basins of Slovenia treated.

Special troubles arise with the narrow and deep basins, particularly if they are considerably branched or uncircular. In such basins more blocking layers one above the other can be observed. Some methods for determination of H (e.g. openness G(z)) are useless in such cases, but some others give to low values that are not in agreement with the conditions for longer persistence during the day /8/. Therefore, for such basins the minimum H was set on H = 70 m, and the emission potential was calculated with the according value of volume. There are only five such basins however (Table 1), and for all others the emission potential is determined rather precisely (Table 2).

In wintertime in many basins of Slovenia the concentrations of SO₂ are too high due to fact that the emission potential is exceeded by the real emission of SO₂. No other measures but the diminishing of emission can be effective in such cases.

POVZETEK

Pri onesnaženju zraka z SO_2 je izpad sorazmeren koncentracijam, zato se po nekem času ustavi ravnotežno stanje. Za predpisane MDK lahko po modelu izračunamo mejno jakost dovoljenih emisij, kar imenujemo emisijski potencial SO_2 neke kotline. Emisijski potencial je predvsem odvisen od volumna kotlinske atmosfere, ta pa od mnogih reliefnih karakteristik kotline: predvsem od tistih, ki določajo višino zaporne plasti H. Po že izdelanih metodah so določene in dane višine in volumni za drugo skupino štirinajstih kotlin Slovenije ali za vseh obdelanih 23 kotlin skupaj. Težave so pri ozkih in globokih kotlinah, ki so močno razvejane ali nekrožne. Toda takih je med obravnavanimi le pet; za druge pa je emisijski potencial določen dokaj natančno.

UVOD

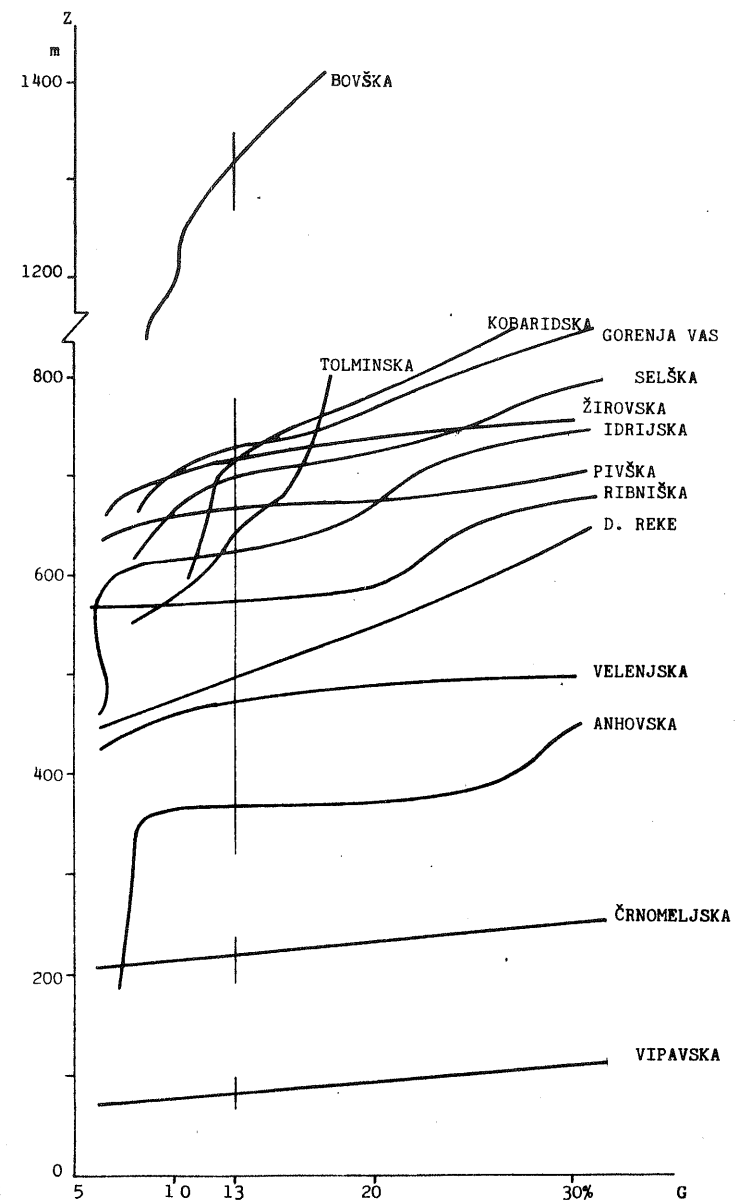
Znano je, da prihaja do najvišjih koncentracij onesnaženja zraka z SO_2 v naših kotlinah pozimi navadno tedaj, ko kotline zapolnjujejo jezera hladnega zraka. Nad njimi leži toplejši zrak, prehodna plast temperature inverzije pa preprečuje izmenjavo zraka. Hladen zrak v kotlini je glede svoje mase in raznih primesi zaprt sistem, tako da že ob sorazmerno majhni emisiji koncentracije primesi hitro naraščajo. Ker se pri SO_2 z večanjem koncentracij, večja tudi njegov izpad /1/, se ustvari po daljšem času neko ravnotežno stanje. V prejšnjih raziskavah /2/ smo postavili numerični model za računanje porasta koncentracij in za določitev ravnotežnih stanj. Z zadnjimi je določen emisijski potencial kotline, ki je meja, kakšna še sme biti emisija SO_2 v neki kotlini, da onesnaženje z SO_2 v njej ne bo preseglo dovoljene meje $0,3 \text{ mg/m}^3$. Izračuni potenciala in emisij za devet kotlin Slovenije so pokazali, da so v večini primerov pozimi emisije prevelike in zato seveda tudi koncentracije onesnaženja prevečkrat presegajo dovoljene meje.

Podobno oceno emisijskega potenciala bomo naredili za drugo skupino nadaljnjih 14 kotlin Slovenije. Pri tem pa se pri ozkih in razvejanih kotlinah pojavijo pri izračunih težave, ki jih rešujemo z uvedbo novih reliefnih karakteristik.

Bistvena potavka v modelu za določanje emisijskega potenciala neke kotline, je volumen kotlinske atmosfere. Ta se spreminja z vremenskimi razmerami ter v dnevnem in letnem ciklu. Za izračun emisijskega potenciala pa moramo določiti poprečno ali karakteristično vrednost volumna kotlinske atmosfere ob horizontalni zgornji meji jezera hladnega zraka. Meritve za določitev višine ali globine jezera hladnega zraka imamo le malo, zato ocenjujemo te vrednosti predvsem iz reliefnih karakteristik kotlin /3,4/, ki jih moramo zato določiti tudi za to drugo skupino kotlin.

NEKATERE RELIEFNE KARAKTERISTIKE KOTLIN

Med reliefne karakteristike kotlinske atmosfere - kot je detajlno prikazano v raziskavah /4/ sodijo: površina preseka kotlinske atmosfere na raznih višinah, linearna odprtost, volumen kotlinske atmosfere, karakteristični volumen kotline, površina iztočnih presekov, poprečna globina jezera hladnega



Slika 1 Linearne odprtosti kotlin $G(z)$ za drugo skupino kotlin Slovenije

Fig. 1 Linear openness of basins $G(z)$ for the second group of basins in Slovenia

zraka H, ohlajevalna površina, površinsko razmerje, relativni odtok in čas izmenjave kotlinskega zraka. Ker so definicije in enačbe za izračun teh karakteristik že dane, bomo v nadaljnjem ponovili le bistvene od njih ter prikazali probleme, ki so se pojavili pri določanju teh karakteristik v drugi skupini kotlin.

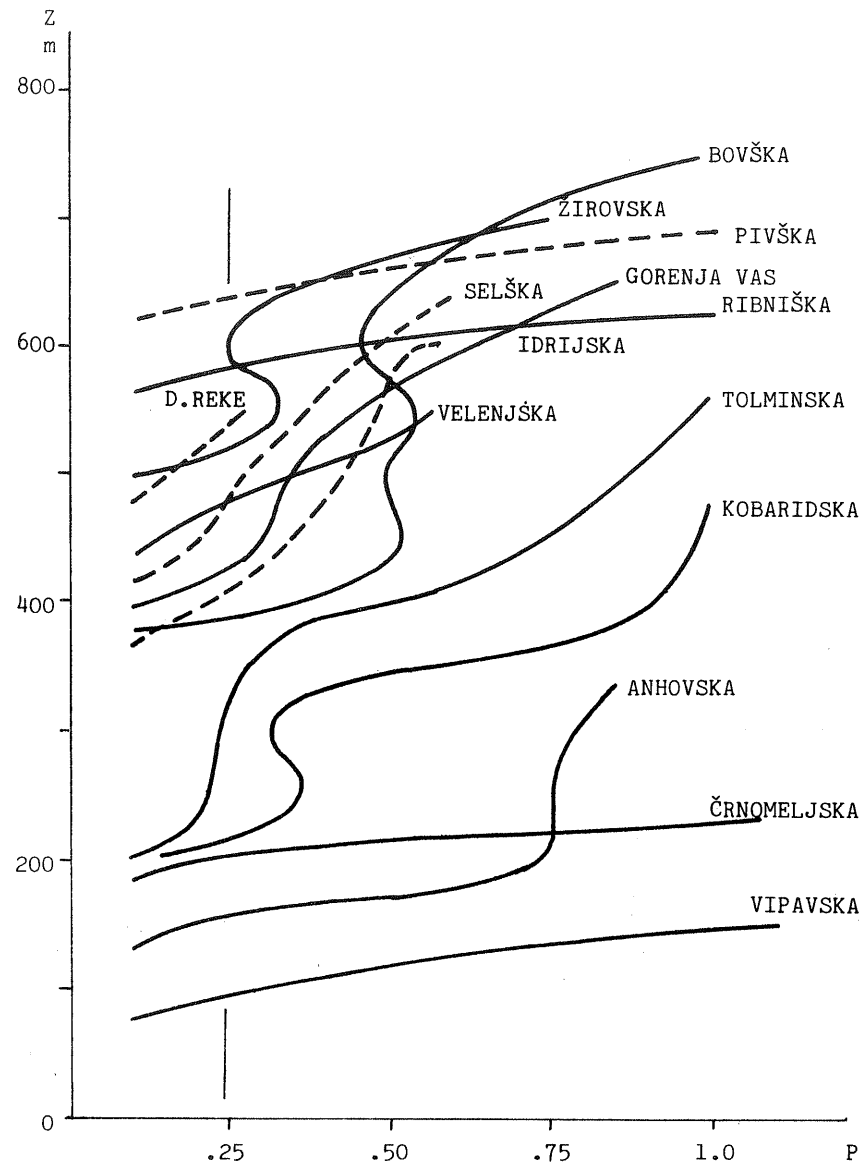
Linearna odprtost (ki je razmerje med razdaljo odprtega dela kotline na neki višini in med krožnico kroga enake površine, kot jo zapira na tej višini kotlina) daje eno izmed možnosti za določitev poprečne višine jezera hladnega zraka (H_G) in s tem osnovo za določitev volumna kotlinske atmosfere. Linearna odprtost kotlin narašča z višino. V primerjavi z znanimi poprečnimi višinami se je pokazalo, da sega jezero hladnega zraka navadno do tiste višine, kjer je linearna odprtost (G) okrog 13%. Če torej računamo za vsako kotlino njeno linearno odprtost od dna navzgor, je višina H_G enolično določljiva - slika 1. Vrednosti tako določene višine H_G za posamezne kotline pa so razvidne iz ustrezne kotline v tabeli 1.

Drug način za določanje višine jezera hladnega zraka kot osnove za izračun poprečnega volumna kotlinske atmosfere je prek površinskega razmerja (P). Izhajamo iz postavke, da vlada na višini H_p določeno razmerje med dotokom hladnega zraka v kotlino iz obrobnih pobočij in med iztokom zraka skozi vertikalni presek odprtine kotline proti nižje ležečim in večjim reliefnim enotam, kamor lahko zrak odteka. Tako imenovane "ohlajevalne površine", ki dovajajo zrak v kotlino pa ne segajo do vrhov obrobnih grebenov, ker se zrak z njih zaradi adiabatnega ogrevanja pri spustu ne more spustiti v kotlino; pač vzamemo, da te površine zajemajo le okoli 50 m visok pas pobočij nad višino H. Ker ne poznamo posameznih sorazmernostnih faktorjev, smo določili skupni sorazmernostni faktor iz površinskega razmerja tistih kotlin, za katere nam je H poznan. Tako se je pokazalo, da je pri širokih kotlinah H nekje pri vrednostih $P = 0,24$. V prvi skupini kotlin se je tako določena višina H_p dokaj dobro ujemala s tisto, ki smo jo določili prek linearne odprtosti, to je s H_G .

Pri drugi skupini kotlin je ujemanje na oba načina določenih višin dokaj dobro za široke kotline. Toda v tej skupini so tudi globoke in ozke kotline s strmimi pobočji, kjer pa postavka $P = 0,24$ odpove - slika 2 in primerjava H_G in H_p v tabeli 1. Opazovanja in preučevanja /5,6/ kažejo, da se v globokih kotlinah pojavljajo zamotani vremenski procesi, saj se neredko ustvarijo ne le ena, ampak dve ali celo tri izrazite plasti inverzije. Zato je tu mehanizem nastajanja, vzdrževanja in razkroja kotlinske atmosfere mnogo bolj zamotano.

Tretji izdelan način za določanje (ali bolje oceno) globine jezera hladnega zraka je prek poprečnega letnega števila dni z meglo in sloni na predpostavki, da je pri globokih jezerih megla pogostejši pojav. Sorazmernostni faktor je tudi določen empirično iz podatkov za tri kotline; primerjava tako določene višine H_M z višinami H_G in/ali H_p , npr. po tabeli 1, pa pokaže zlasti pri ozkih in strmih kotlinah velik razkorak.

Pri tem delu smo torej prišli do pojmov ozkih ali širokih ter strmo ali blago omejenih kotlin. Razmišljanja ob določevanju parametra površinskega razmerja P pa nas privedejo tudi do razlik med zaokroženimi in zelo razvejanimi kotlinami; te pojave pa bomo obravnavali drugje.



Slika 2 Vertikalna razporeditev površinskih razmerij P(z) za štirinajst kotlin Slovenije

Fig. 2 Vertical distribution of area ratio P(z) for fourteen basins in Slovenia

Iz tabele 1 in 2 je razvidno, da se, kljub izjemam, pri kotlinah z dovolj veliko širino $S_G \geq 20$, z majhnim poprečnim nagibom pobočij $\alpha \approx 6 \cdot 10^{-2}$ in majhno nekroznostjo, na prikazane tri načine določene globine jezera hladnega zraka med seboj dokaj dobro ujemajo. Z dodatno presojo je mogoče oceniti poprečno ali prevladujočo globino jezera hladnega zraka \bar{H} vsake posamezne kotline za čas, ko taka jezera vztrajajo ves dan ali več dni skupaj. Taki primeri namreč ustvarjajo najbolj kritične epizode visokih onesnaženosti zraka v kotlinah.

V ozkih, strmih obrobljenih in močno razvejanih kotlinah (teh je od obravnavanih 23 nekako 8), v katerih nastajata po dve ali več zaporednih plasti in kotlinska atmosfera ni enoten sistem, je treba volumen dela atmosfere pri dnu, kjer se zbira večina onesnaženja in žive ljudje, posebej in drugače določiti. Metoda prek linearne odprtosti H_G , ki daje očitno le najzgornejšo mejo kotlinske atmosfere pri horizontalni zaporni plasti, za ta namen torej ne ustreza.

Od preostalih dveh metod je metoda prek števila dni z meglo manj zanesljiva, zlasti tam, kjer so opazovanja megle problematična; vendar nam služi kot dobra pomoč. Metoda določitve poprečne višine kotlinske atmosfere prek površinskega razmerja, je zdaj kvalitativno izpopolnjena z upoštevanjem novih reliefnih karakteristik, vendar strogo kvantitativno ni izdelana. Zato pri ozkih in strmih kotlinah poprečno višino jezera hladnega zraka le ocenjujemo iz vrednosti H_M in H_P . Pri tem pa upoštevamo opažanja kakor tudi izsledke iz teoretičnih preučevanj razkroja megle /8/, da se manj kot ca. 70 m debela plast meglene jezera hladnega zraka v splošnem ne obdrži prek celega dne ali več dni skupaj. V primerih, ko sta H_M in H_P manjša od 70 m, zato za poprečno višino kar postavimo $\bar{H} = 70$ m. Ta postavka tudi zagotavlja, da je v kotlinsko atmosfero pri dnu vključena emisija večine virov onesnaženja zraka same kotline.

Tako določene poprečne globine jezer hladnega zraka (\bar{H}) za obravnavanih 23 kotlin v Sloveniji so dane v zadnji koloni tabele 1. Z njimi smo dobili tudi eno izmed osnov za specifične dopolnitve osnovnih računov pri določanju potrebne višine dimnikov v posameznih kotlinah.

Tabela 1 Nadmorske višine dna kotlin in globine kotlinske atmosfere v metrih. () iz nezanesljivih podatkov

Table 1 Height above m.s.l. of the basin bottom and deepness of the basin atmosphere in meters. () stated from unreliable data

Kotlina	h_o	H_G	H_P	H_M	\bar{H}
Bovška	370	950	10	26	70
Kobaridska	170	540	50	66	70
Tolminska	150	490	170	122	150
Anhovska	80	290	80	22	80
Vipavska	60	25	30	22	70
Pivška	570	100	60	75	80
Reška	370	130	160	103	130
Idrijska	330	290	70	90	80
Žirovska	450	270	70	110	90
Gorenja vas	390	360	30	132	70
Selška	380	320	90	144	100
Loška	570	150	110	67	120
Cerkniška	550	80	80	(42)	80
Planinsko p.	470	90	80	70	80
Ljubljanska	290	220	230	170	200
Mežiška	370	150	90	120	120
Mislinjska	370	200	70	130	120
Velenjska	350	120	120	70	110
Celjska	240	140	140	140	140
Ribniška	460	110	120	106	110
Novomeška	170	130	100	130	120
Krška	140	(50)	(50)	110	90
Črnomeljska	130	90	70	63	70

Tabela 2 Nekatere značilnosti kotlin: S_G - širokost, N_a - nagib pobočij, E - nekrožnost, V - volumen in Q_D - emisijski potencial za SO_2

Table 2 Some characteristics of basins: S_G - broadness, N_a - inclination of slopes, E - uncircularity, V - volume and Q_D - emission potential of SO_2

Kotlina	S_G	N_a	E	V	Q_D
	-	-	km^{-1}	km^3	kg/h
		$\cdot 10^{-2}$	$\cdot 10^{-2}$		
Bovška	7	11	86	0,4	15
Kobaridska	12	8	81	0,4	15
Tolminska	13	10	74	2,3	87
Anhovska	14	7	52	0,4	15
Vipavska	207	6	28	4,0	152
Pivška	84	6	22	11,0	420
Reška	57	5	38	10,5	400
Idrijska	13	10	81	0,3	11
Žirovska	20	7	54	0,7	27
Gorenja vas	14	6	65	0,6	23
Selška	21	7	77	0,8	30
Loška	24	9	27	2,3	87
Cerkniška	60	6	28	2,8	106
Planinsko p.	33	5	25	1,5	57
Ljubljanska	102	2	17	180,0	6840
Mežiška	24	5	54	1,3	50
Mislinjska	54	4	30	3,1	118
Velenjska	30	7	51	2,2	84
Celjska	89	3	15	38,0	1440
Ribniška	80	5	34	13,0	500
Novomeška	60	4	24	11,0	418
Krška	145	6	33	20,0	1520
Črnomeljjska	111	2	25	8,0	304

Z znanimi poprečnimi višinami kotlinske atmosfere dobimo iz diagramov $V(z)$ - slike 3 a, b, c, ustrezne volumne kotlinske atmosfere - tabela 2. V ozkih in globokih dolinah je to volumen dela kotlinske atmosfere pri dnu, ki je najpomembnejši glede onesnaženosti zraka za ljudi, ki večinoma prebivajo v dnu kotlin.

Ko so nam poznane vrednosti volumna kotlinske atmosfere, ki je pomemben glede varstva zraka, lahko po izdelani metodi ali preprosti enačbi /9/ določamo končno emisijski potencial SO_2 za posamezne kotline Slovenije

$$Q_D = b V,$$

kjer je sorazmernostni faktor $b = 38 \text{ kg/km}^3 \text{ h}$, ter velja za naše dopustne koncentracije SO_2 .

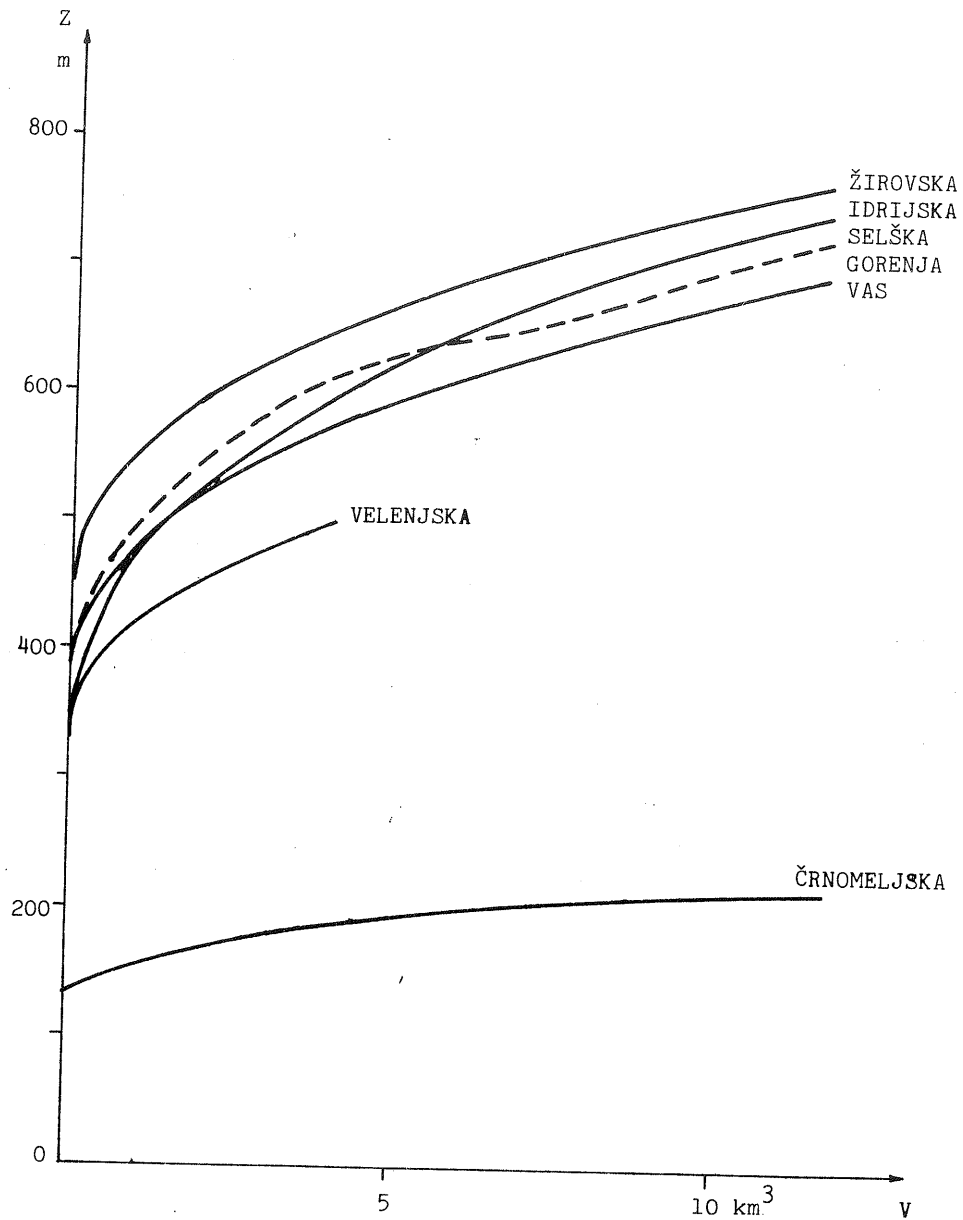
Emisijski potencial je torej sorazmeren volumnu kotlinske atmosfere. Ta je v prikazanih primerih računani za horizontalno zgornjo mejno plast in za poprečne ali prevladujoče razmere v posameznih kotlinah. V posebnih vremenskih razmerah je lahko zgornja meja jezera hladnega zraka precej nagnjena ali pa sicer znatno nižja ali višja od poprečja. V takih primerih je lahko volumen kotlinske atmosfere za faktor tri ali celo več različen od poprečnega /3/, s čemer pa se spremeni tudi hitrost naraščanja koncentracij in nastop mejnih vrednosti. Vendar so taka stanja navadno kratkotrajna.

V tabeli 2 navedenih podatkov o emisijskem potencialu ali dopustni emisiji pa pri planiranju razvoja v kotlinah, v skladu s spredaj prikazanimi problemi, ne smemo uporabljati brez presoje vseh posebnosti posameznih kotlin.

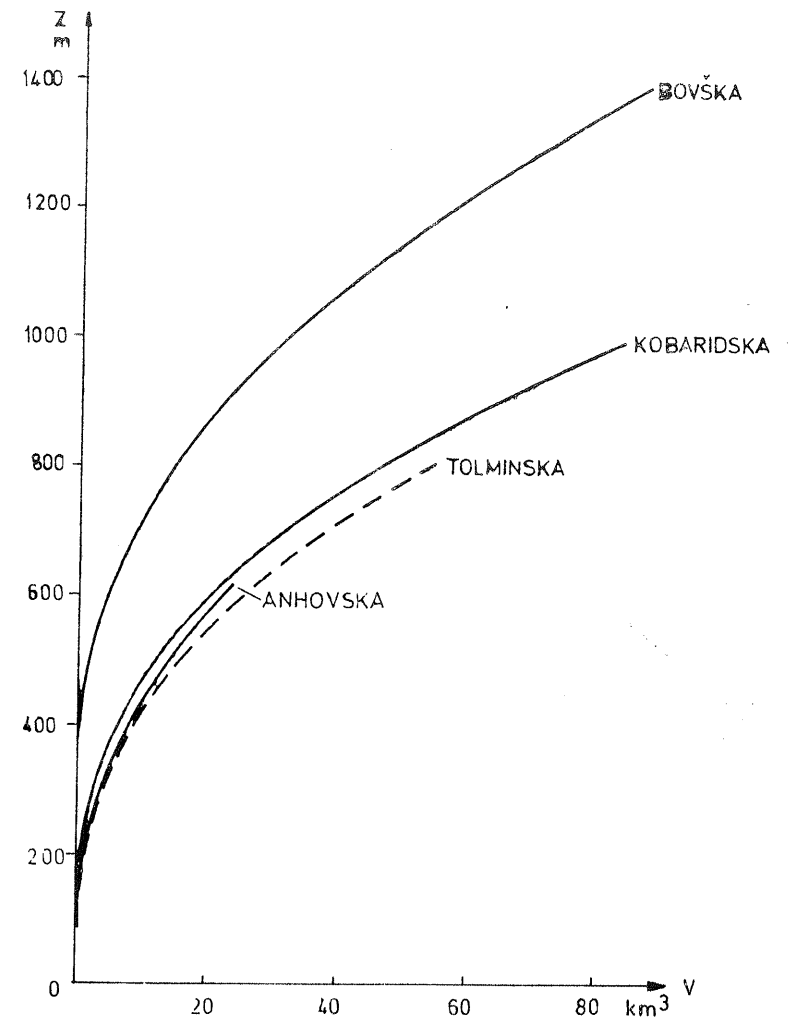
V ozkih kotlinah s postavljenimi 70 m visoko plastjo v dnu, je emisijski potencial zares majhen in ga navadno presega že emisija iz gospodinjstev. Zato bi vsi večji emitenti morali imeti dovolj visoke dimnike, ki bi pošiljali škodljive primese izven najspodnejše zračne plasti, čeprav ne nad H_G . Večina majhnih in ozkih kotlin ni povsem zaprtih, ampak so delno pretočne, kar povečuje njihov emisijski potencial, kljub temu, da je ta vpliv pretežno že zajet v oceni vtočnih in iztočnih površin kotline.

V velikih kotlinah nastopajo drugačni problemi. Izmenjava zraka znotraj kotline pogosto ni dovolj izdatna, da bi se primese enakomerno porazdelile v kotlinski atmosferi, saj so horizontalne dimenzije proti vertikalnim čez 100 : 1. Zato prihaja v velikih kotlinah kljub poprečno manjši emisiji kot je Q_D , lokalno do prekoračenih koncentracij onesnaženja v bližini virov. V teh primerih bi bilo treba pošiljati primese iz večjih virov povsem izven kotlinske atmosfere, torej nad višino H_G .

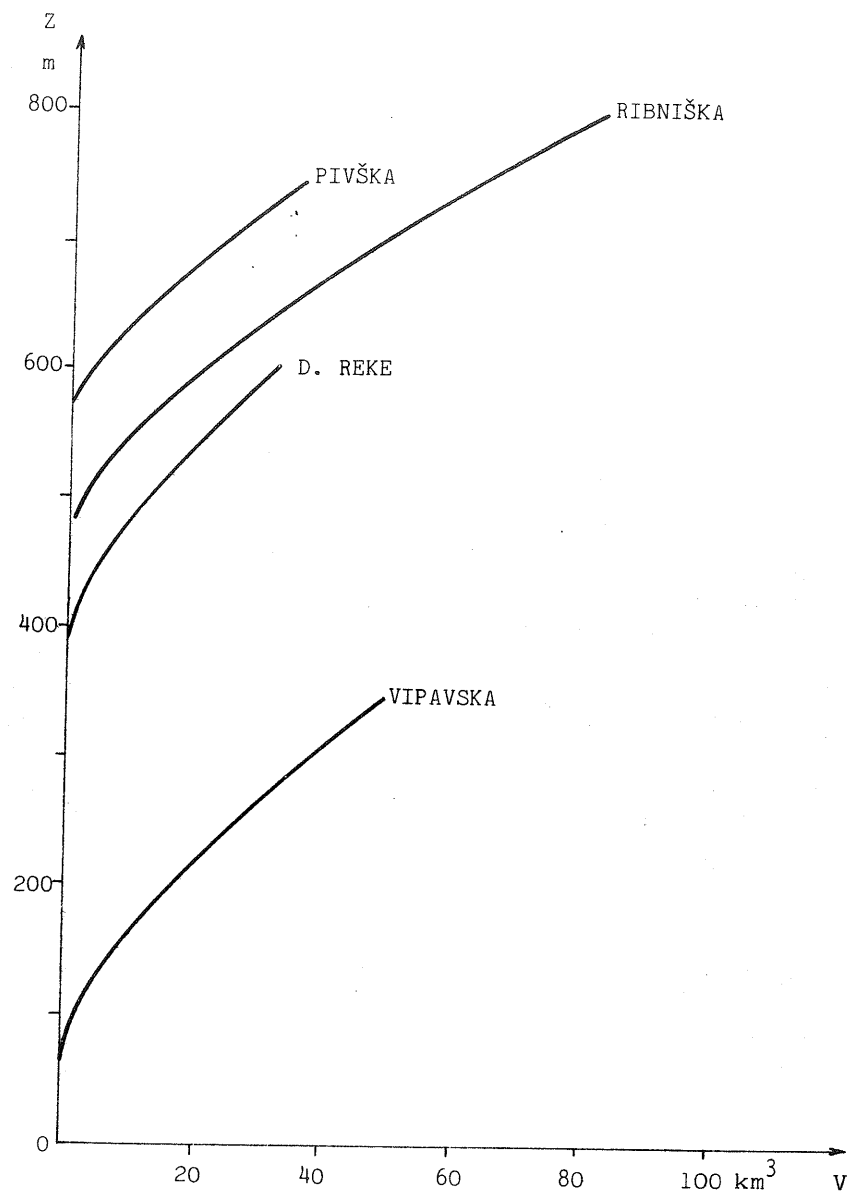
Poseben primer je Vipavska dolina, ki je na eno stran vseskozi dovolj odprta, da se lahko pojavlja značilna kotlinska atmosfera le tedaj, ko je zaporna plast nagnjena proti vzhodu. To pa je relativno redko in ne more trajati dolgo časa, npr. več dni.



Slika 3a Volumen kotlinske atmosfere kot funkcija višine
 Fig. 3a Volume of basin atmosphere as a function of height



Slika 3b Volumen kotlinske atmosfere kot funkcija višine
 Fig. 3b Volume of basin atmosphere as a function of height



Slika 3c Volumen kotlinske atmosfere kot funkcija višine

Fig. 3c Volume of basin atmosphere as a function of height

Podatki o emisijskem potencialu posameznih kotlin služijo torej predvsem kot potrebna prva orientacija urbanističnim in drugim razvojnim planerjem, kolikšna sme biti skupna poprečna zimska emisija SO_2 v ozračje posameznih kotlin, da bo kvaliteta zraka za tamkajšnje prebivalce še znosna. Pri načrtovanju večjih virov onesnaženja in določanju višine dimnikov pa je treba posebej upoštevati specifične reliefne karakteristike tiste kotline in tudi mikrolokacijo objektov.

Podatki o dejanski emisiji v kotlinah nam omogočajo določiti indeks dopustne emisije, s katerim prikažemo, koliko je emisija SO_2 v kotlini že prekoračena ali je pod dovoljeno mejo. Ker pa so razpoložljivi emisijski podatki (iz leta 1973) že zastareli, teh zdaj za vse kotline ne bomo določali; za devet kotlin pa so taki indeksi že izračunani /2/ in kažejo, da je emisija SO_2 v večini kotlin že prekoračena. Vsekakor naj bi bil pri planiranju urbanizacije in raznih dejavnosti v kotlini emisijski potencial Q_D odločilni faktor in plan takšen, da dejanska emisija nebi presegala Q_D .

LITERATURA

- /1/ NILU: Cooperative Technical Program to Measure the Long Range Transport of Air Pollutants, Kjeller 1973
- /2/ PETKOVŠEK Z.: Določanje emisije SO_2 in izračun emisijskega potenciala za nekatere kotline v Sloveniji, Razprave-Papers 21, 1/2, DMS, 1977
- /3/ PETKOVŠEK Z.: Meteorological and Relief Parameters Regarding Air Pollution in Basins, Proceed. 3rd. Clean Air Cong. VDI, Düsseldorf 1973
- /4/ PETKOVŠEK Z.: Relief Meteorologically Relevant Characteristics of Basins, Zeitschrift Met. B. 28, H.6, 1978
- /5/ PETKOVŠEK Z. in sod.: Študija o klimatskih razmerah in gibanju zraka na območju mesta Idrije, FNT, Ljubljana, 1973
- /6/ PETKOVŠEK Z.: Deformationen der Temperaturprofilen in kleinen Talbecken, Arbeiten Zentr. Met. Goph. H. 31, Teil.2, Wien 1978
- /7/ PETKOVŠEK Z. in HOČEVAR A.: Night Drainage Winds, Archiv Met. Geoph. Bioklim. Ser. A, 20, Wien 1971
- /8/ PETKOVŠEK Z.: Dissipation of the upper layer of all-day radiation fog in basins, Zbornik radova SHMZ, 1974
- /7/ PETKOVŠEK Z.: Model for the Evaluation of Mean Emission Potential of the Air Pollution With SO_2 in Basins, Archiv Met. Geoph. Bioklim. Ser. B, 26, Wien 1978