

PREPROST MODEL ONESNAŽENOSTI ZRAKA ZA CELJE

THE SIMPLE URBAN AIR POLLUTION MODEL FOR CELJE

Dušan HRČEK
Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana

UDK 551.510.42

SUMMARY

The city of Celje, which has 40,000 inhabitants, is situated in a basin, and is quite an industrialised town.

Air pollution in Celje is high because of strong emissions of SO₂ and poor meteorological conditions: temperature inversions and low wind velocities are frequent.

The simple ATDL urban air pollution model that was introduced by Gifford and Hanna in 1971 was applied to estimate average daily SO₂ concentrations in Celje. Predicted concentrations were compared with observed concentrations of SO₂ in 31 grid squares (0.25 km²).

The results showed that predicted and observed concentrations are in quite good agreement. But in three grid squares where a sulphuric acid factory, which is a strong SO₂ emitter, is situated the results do not accord with the observed concentrations. It seems that the area source emission supposition is not valid because of the presence of approximately 50 m high chimneys in these squares.

POVZETEK

Mesto Celje s 40.000 prebivalci leži v kotlini in ima razmeroma močno industrijo. Predvsem zaradi velike emisije žveplovega dioksida, pogostih temperaturnih inverzij in šibkih vetrov je zrak v Celju onesnažen nad z zakonom dovoljeno mejo.

Za računanje koncentracij SO₂ smo priredili preprost model onesnaženosti zraka ATDL, ki so ga razvili v laboratoriju za atmosfersko difuzijo in turbulenco (ATDL) v ZDA, Hanna S. R. (1971). Izračunane vrednosti smo primerjali z izmerjenimi 24-urnimi poprečnimi koncentracijami SO₂ v 31 kvadratih 500 x 500 m² v Celju.

Rezultati kažejo na relativno dobro ujemanje z merjenimi poprečnimi koncentracijami. V treh kvadratih, kjer je največji onesnaževalec zraka z žveplovim dioksidom Cinkarna, ki proizvaja žvepleno kislino, se izračunane vrednosti ne ujemajo z izmerjenimi. V teh kvadratih zaradi razmeroma visokih dimnikov očitno ne velja predpostavka o ploskovnih virih emisije, ki jo uporabljamo v modelu.

UVOD

Meteorološke razmere, ki vplivajo na atmosfersko difuzijo in transport onesnaženosti zraka v mestih, se precej razlikujejo od meteoroloških razmer v neurbaniziranem okolju. Ob primerjanju lahko na splošno rečemo, da je v mestih površje bolj hrapavo, zrak je toplejši in bolj suh ter bolj onesnažen. Naštete lastnosti povzročajo spremembo drugih meteoroloških količin, kot npr.: vertikalni vetrovni profil, spekter turbulentne energije, vertikalni temperaturni gradient, horizontalna razporeditev temperature zraka (toplotni otok) in spremembe v energijski bilanci površine ter pri količini padavin.

Pri modeliranju onesnaženosti zraka na urbaniziranem področju je potrebno upoštevati meteorološke razmere. Z analizo občutljivosti modelov onesnaženosti zraka glede na spreminjanje posameznih količin v modelu sta Gifford in Hanna (1970) ugotovila, da so najpomembnejše količine: jakost virov emisije škodljivih snovi v zrak, transport s prevladujočim vetrom in vertikalna difuzija, ki je močno odvisna od atmosferske stabilnosti. Pomembna je tudi prevladujoča smer vetra v povezavi z razporeditvijo jakosti virov emisije.

Skupno emisijo škodljivih snovi množice nizkih virov primerno predstavimo, če jo podamo na enoto površine. V primeru mesta obsegajo ploskovni viri: gospodinjstva, majhne industrijske vire in kotlovnice za ogrevanje ter vse druge manjše vire z nizkimi dimniki. Ploskovni viri so po definiciji enakomerno porazdeljeni na razmeroma velikih površinah, zato so lokalne spremembe koncentracije pri tleh majhne v primerjavi s spremembami koncentracije, ki jih povzroča meandiranje dimne sledi iz posameznega točkovnega vira. Tako se emisijska koncentracija škodljive snovi, ki izhaja iz ploskovnih virov v večjih mestih, spreminja le za en velikostni red v obdobju več dni, S. R. Hanna (1971).

V raziskovalnem centru v Oak Ridgeu (Tennessee, ZDA) so primerjali rezultate preprostega modela onesnaženosti zraka ATDL, ki so ga razvili v centru, z rezultati vrste drugih, bolj kompliciranih modelov (F. A. Gifford, 1973). Pri tem so uporabljali baze podatkov, s katerimi so posamezni avtorji predhodno testirali svoje modele. Poprečni korelacijski koeficient med rezultati modela ATDL in dejansko izmerjenimi koncentracijami (13 nizov podatkov) je bil 0.71. Poprečni korelacijski koeficient za rezultate 13 drugih modelov v primerjavi — te rezultate so objavili njihovi avtorji — pa je 0.59. V preprostem modelu ATDL niso posebej upoštevali prispevkov posameznih večjih virov. Pri uporabi modela ATDL za Frankfurt pa so posebej obravnavali točkovne vire za emisijo, ki je večja od 5 kg SO₂/h. Kljub izboljšavi preprostega modela ATDL se rezultati modela za računanje poprečnih letnih koncentracij SO₂ niso izboljšali. Vrednost korelacijskega koeficienta je namreč padla z 0.83 (pri preprostem modelu ATDL s ploskovno aproksimacijo emisije) na 0.80 pri „izboljšanem“ modelu.

Mesto Celje s 40.000 prebivalci leži v kotlini. Ima močno industrijo. Zaradi razmeroma visoke emisije žveplovega dioksida, pogostih temperaturnih inverzij in šibkih vetrov je zrak v Celju onesnažen nad z zakonom dovoljeno mejo. Od leta 1980 potekajo v Celju raziskave onesnaženosti zraka v okviru projekta „Model sanacije ozračja v urbanizirani

kotlini“. Poleg izdelave katastra onesnaževalcev zraka, meritev onesnaženosti zraka, meteoroloških meritev ter raziskav v zvezi z zdravstvenimi in ekonomskimi posledicami onesnaženosti zraka, je v programu projekta tudi izdelava modela onesnaženosti zraka. Model naj bi bil uporaben za potrebe prostorskega planiranja in za izdelavo programa sanacije kakovosti zraka v mestu v kotlini, poleg tega je model potreben pri izvajanju izrednih ukrepov za zmanjšanje onesnaženosti zraka. Pri izdelavi modela za Celje smo se odločili, da uporabimo za potrebe prostorskega planiranja za osnovo model ATDL, ki je razmeroma preprost in obenem dovolj uporaben, kot so pokazale raziskave v raziskovalnem centru v Oak Ridgeu, F. A. Gifford, 1973.

PRIREJENI MODEL ATDL ZA CELJE

Model ATDL izhaja iz nekaterih predpostavk, na primer, da vplivajo na koncentracijo onesnaženosti v neki točki mesta le viri emisije na privetni strani te točke. Druga predpostavka je, da je porazdelitev jakosti virov emisije približno enakomerna. Ta predpostavka je v velikih mestih realna, saj jakost ploskovnih virov emisije variira za manj kot en velikostni red na razdaljo nekaj kilometrov, S. R. Hanna, 1971. Približno enakomerno porazdeljena jakost ploskovnih virov emisije dovoljuje, da zanemarimo horizontalno komponento difuzije v primerjavi z vertikalno komponento. Predpostavljamo, da je vertikalna porazdelitev koncentracije onesnaženosti zraka normalna ali Gaussova s standardno deviacijo σ_z . Ponavadi podajajo standardno deviacijo v obliki potence, S. R. Hanna, 1971:

$$\sigma_z = ax^b, \text{ pri čemer je:}$$

x = oddaljenost od vira emisije (m)

a, b sta empirična parametra, ki sta funkciji stabilnosti (dimenzija a je m^{1-b}).

Če ima veter konstantno smer in hitrost, je možno z navedenimi predpostavkami izračunati prizemno koncentracijo, npr. po formuli Gifforda in Hanne, 1971:

$$c = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{1}{u} \cdot \frac{(\Delta x/2)^{1-b}}{a(1-b)} \cdot \left\{ Q_0 + \sum_{i=1}^N Q_i \left[(2i+1)^{1-b} - (2i-1)^{1-b} \right] \right\}, \quad (1)$$

pri čemer je:

c = koncentracija oz. gostota primesi (mg/m³)

u = hitrost vetra (m/s)

Δx = dolžina osnovnice kvadrata pri popisu emisije

Q_i = jakost i-tega ploskovnega vira emisije (kg/m² s)

N = število kvadratov

Izraz (1) daje prizemno koncentracijo v kvadratu z indeksom i = 0, pri čemer ima sosednji kvadrat proti vetru indeks i = 1.

V mestih, kjer se emisija onesnaženosti v sosednjih kvadratih ne razlikuje veliko in je zato možna predpostavka enake emisije v teh kvadratih, lahko enačbo (1) poenostavimo v obliko:

$$c = K \cdot \frac{Q}{u}, \text{ pri čemer je} \quad (2)$$

$$Q = Q_0 \text{ in} \\ K = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \left(\frac{2N+1}{2} \Delta x \right)^{1-b} \cdot \frac{1}{a(1-b)}$$

V Celju se velikost emisije SO₂ v posameznih kvadratih precej razlikuje (tabela 1), kljub temu smo uporabili enačbo (1).

Z modelom ATDL smo izračunali koncentracije in jih primerjali z izmerjenimi koncentracijami žveplovega dioksida v Celju. Glede na to, da razpolagamo z razmeroma natančnimi podatki o vetru, smo enačbo (1) razširili. Poleg tega smo vpeljali faktor I_{SO₂}, ki zmanjšuje izračunano koncentracijo SO₂ zaradi kemijskih in drugih odstranjevalnih procesov v atmosferi. Izrazu za koncentracijo smo dodali še člen C₀, ki predstavlja koncentracijo onesnaženosti „ozadja“. Na ta način popišemo prizemno koncentracijo žveplovega dioksida z enačbo:

$$c = I_{SO_2} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{(\Delta x/2)^{1-b}}{a(1-b)} \cdot \sum_{j=1}^M \frac{f_j}{u_j} \cdot \left[Q_0 + \sum_{i=1}^N Q_{ij} \cdot R \right] + C_0, \quad (3)$$

f_j = frekvenca smeri vetra

u_j = poprečna hitrost vetra za smer j (m/s)

M = 16 (število smeri vetra)

Q_{ij} = jakost i-tega ploskovnega vira v smeri j (kg/m² s)

R = (2i+1)^{1-b} - (2i-1)^{1-b}

Tabela 1 Emisija SO₂ iz drobnih kurišč, kotlovnice za ogrevanje in industrije v Celju v kurilni sezoni (v 100 kg SO₂/0.25 km²).

Table 1 Source strength data for Celje, mean emission rates in 100 kg SO₂/0.25 km² for heatin season

Opomba: Vertikalni stolpci v tabeli predstavljajo kvadrate 500x500 m² v smeri proti severu od spodaj navzgor.

Note: Vertical columns in the Table are grid squares 500x500 m² towards the North from down to up.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	457	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	926	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	23	41	65	35	9	38	628	6	21	9	10	0	0	0	0
12	2	4	45	8	95	57	64	31	31	5	13	0	0	0	0
0	19	7	372	187	601	14	263	231	55	16	7	0	0	242	0
0	9	25	108	229	372	168	544	80	2	5	11	0	0	0	0
0	285	53	456	261	655	335	6105	1248	19473	4	17	0	0	0	0
0	0	24	736	240	876	194	74	4	34	8	20	0	0	0	0
0	0	0	2	10	571	82	88	46	0	0	46	46	0	0	0
0	0	0	2	4	18	4	8	8	3	2	4	0	27	96	0
0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0

Z modelom ATDL smo računali poprečno 24-urno koncentracijo SO₂ po enačbi (3). Z izbiro ustrezne frekvenčne porazdelitve smeri in hitrosti vetra ter poprečnih jakosti ploskovnih virov emisije SO₂ lahko računamo koncentracijo tudi za drugačna časovna obdobja.

V enačbi (3) sta dva parametra, ki ju je potrebno posebej določiti. To sta faktor zmanjševanja koncentracije I_{SO₂} in koncentracija „ozadja“ C₀.

S faktorjem I_{SO₂} smo v prvem približku popisali odstranjevalne procese v atmosferi, ki zmanjšujejo koncentracijo žveplovega dioksida. F. A. Gifford (1977) navaja podatek za teoretične vrednosti konstante K iz enačbe (2). Vrednosti za labilno, nevtralnno in stabilno atmosfero so enake 50, 200 in 600. Izmerjena poprečna letna vrednost K za polutante, ki ne reagirajo oziroma se ne spreminjajo v atmosferi, za 44 mest v ZDA je 225. Ustrezna izmerjena vrednost za SO₂ pa je 50. Za I_{SO₂} smo zato postavili vrednost 50/225. Natančnejšo vrednost smo dobili s kalibracijo modela z izmerjenimi koncentracijami SO₂. Izkazalo se je, da je vrednost 50/225 za 30% previsoka. Razlog za korekcijo tiči najbrž v dejstvu, da je atmosfera v Celju zaradi kotlinske lege bolj stabilna, kot je poprečna stabilnost v 44 metrih v ZDA.

V enačbi (3) je člen C_o , ki predstavlja ozadje onesnaženosti zraka z žveplovim dioksidom. Koncentracija ozadja je posledica transporta SO_2 na velike razdalje. Ocenjujemo, da je velikost koncentracije ozadja razmeroma majhna, zato ni smiselno, da bi v modelu onesnaženosti zraka to vrednost posebej računali. Kot prvi približek za C_o smo uporabili vrednost 0.04 mg/m^3 , ki sta jo uporabila S. R. Hanna in F. A. Gifford pri modelu onesnaženosti zraka za Frankfurt leta 1977.

Ponavadi uporabljajo pri modelih onesnaženosti zraka mrežo z osnovnico od 0.5 do 10 km. Zaradi same velikosti mesta Celje je primerna dimenzija osnovnice kvadrata 0.5 km. Pri tem pa je vprašljiva predpostavka o ploskovnih virih emisije.

Najbolj je ta predpostavka problematična v primeru Cinkarne, katere glavni proizvod je žveplena kislina in ki ima množico srednje velikih dimnikov z višinami od 50 m. Cinkarna je največji onesnaževalec zraka z žveplovim dioksidom v Celju. Njeno območje je šrafirano na sliki 2. Konec leta 1982 je začel obratovati nov 100 m visok dimnik, ki združuje nekatere posamezne vire onesnaževanja Cinkarne. Ker razpolagamo le z meritvami imisije pred začetkom obratovanja novega dimnika, smo se odločili, da obravnavamo Cinkarno v tej fazi kot ploskovni vir.

VHODNI PODATKI V MODEL

V obdobju od oktobra 1980 do marca 1982 so potekale v Celju meritve 24-urnih koncentracij SO_2 na 31 merilnih mestih. Lokacije merilnih mest so bile izbrane tako, da je v enem kvadratu $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$ eno merilno mesto. V centru Celja je ta mreža gosta, proti periferiji pa se gostota merilnih mest zmanjšuje.

Osnovna enota popisa emisije je kvadrat Gauss-Krügerjeve koordinatne mreže $500 \times 500 \text{ m}^2$. Računsko območje modela ATDL za Celje zajema 15×13 kvadratov.

V okviru raziskovalnega projekta „Model sanacije ozračja v urbanizirani kotlini“ so I. Štefelj in sodelavci leta 1980 zbrali podatke o poprečni ploskovni emisiji žveplovega dioksida v posameznih kvadratih za kurilno in nekurilno sezono. Emisija je podana v treh kategorijah: drobna kurišča (moč je manjša od 1 MW), kotlovnice za ogrevanje (moč je večja od 1 MW) in industrija. Emisija žveplovega dioksida, ki nastaja pri gorenju fosilnih goriv za ogrevanje, je sorazmerna razlika temperature v ogrevanem prostoru in temperature zunanjega zraka (Plassman E. in Zuendorf O. J., 1977). Ob upoštevanju poprečne dnevne temperature zraka lahko iz podatkov o emisiji SO_2 v kurilni in nekurilni sezoni ocenimo emisijo za določen dan v kurilni sezoni. V prvem približku ne upoštevamo tedenskega nihanja emisije in praznikov. Vzamemo, da sta emisiji SO_2 drobnih kurišč in terciarne dejavnosti odvisni le od temperature zunanjega zraka. Poprečno temperaturo ogrevanih prostorov vzamemo za konstanto ($T_{not} = 20^\circ\text{C}$). Industrijsko emisijo žveplovega dioksida zaradi ogrevanja ocenimo tako, da od emisije v kurilni sezoni odštejemo emisijo v nekurilni sezoni. Za razliko emisij vzamemo, da je funkcija temperature. Iz podatkov o sezonski emisiji, ki so v glavnem ocenjeni, ne pa izmerjeni, ni smiselno bolj natančno računanje poprečne dnevne emisije.

Skupno ploskovno emisijo žveplovega dioksida E_i (kg) za i-ti dan v določenem kvadratu računskega območja računamo po naslednji enačbi:

$$E_i = (E_{DK} + E_{TK} + E_{IK} - E_{IN}) \frac{(T_{not} - \bar{T}_{di})}{\sum_{d=d_1}^{d=d_n} (T_{not} - \bar{T}_d)} + \frac{E_{IN}}{183} \quad (4)$$

E_{DK}	= emisija drobnih kurišč v kurilni sezoni
E_{TK}	= emisija terciarne dejavnosti v kurilni sezoni (kotlovnice za ogrevanje)
E_{IK}	= emisija industrije v kurilni sezoni
E_{IN}	= emisija industrije v nekurilni sezoni
T_{not}	= temperatura v ogrevanem prostoru (K)
\bar{T}_{di}, \bar{T}_d	= poprečna dnevna temperatura zunanjega zraka (K)
d_1, d_n	= prvi in zadnji dan kurilne sezone

Vsota $(T_{not} - \bar{T}_d)$ se imenuje letni temperaturni primanjkljaj. Z enačbo (4) računamo v modelu onesnaženosti zraka za vsak kvadrat računskega območja vrednost emisije za i-ti dan kurilne sezone.

V modelu smo uporabili podatke o vetru z merilnega mesta Cinkarna. V enačbi (3) je faktor f_j/u_j , ki vsebuje podatke o vetru, količina f_j je pogostost vetra iz smeri j ($j=1, \dots, 16$), količina u_j je poprečna hitrost vetra za pripadajočo smer j v 24-urnem intervalu. Za določanje stabilnosti atmosfere potrebujemo tudi skupno poprečno 24-urno hitrost vetra.

Pri računanju prispevka k emisiji SO_2 zaradi uporabe fosilnih goriv za ogrevanje potrebujemo v enačbi (4) podatek o poprečni dnevni temperaturi. Podatka o temperaturi v Celju smo vzeli z meteorološke postaje na Lavi, ki je na severozahodnem robu mesta. Ta podatek upoštevamo v vseh točkah računskega območja modela enako. Razlike v poprečni dnevni temperaturi na območju modela so namreč zanemarljive glede na prispevek k emisiji žveplovega dioksida oziroma glede na natančnost sezonskih vrednosti emisije po kvadratih. Na osnovi enačbe (4) potrebujemo v modelu tudi podatek o letnem temperaturnem primanjkljaju.

Stabilnost atmosfere je v enačbi (3) podana s parametroma a in b. V tabeli 2 so podatki za vrednosti a in b, ki sta jih podala F. A. Gifford in S. R. Hanna (1970) pri različnih vrednostih stabilnosti atmosfere po Pasquillu.

Tabela 2 Vrednosti parametrov a in b pri različni stabilnosti atmosfere.
Table 2 Values of a and b under different meteorological conditions.

Stabilnost atmosfere	Simbol stabilnosti	a (m ^{1-b})	b	1-b	$\frac{(\Delta x/2)^{1-b}}{a(1-b)}$ $\Delta x = 500 \text{ m}$
zelo labilno	A	0.40	0.91	0.09	45.66
labilno	B	0.33	0.86	0.14	46.39
nevtravno	C	0.22	0.80	0.20	68.57
rahlo stabilno	D	0.15	0.75	0.25	106.03
stabilno	E	0.06	0.71	0.29	285.01

Pri določanju stabilnostnih razredov smo uporabili podatke o temperaturi zraka na Miklavškem hribu nad Celjem (385 m n. m.) in podatke o temperaturi zraka in hitrosti vetra na Lavi (244 m n. m.). Vogt (1971) je izdelal klasifikacijo stabilnosti atmosfere s 6 stabilnostnimi razredi na osnovi razlik temperature med višinama 120 in 20 m na stolpu. Na osnovi te klasifikacije smo izdelali klasifikacijo za 140 m višinske razlike s 5 stabilnostnimi razredi. Stabilnostni razred F (zelo stabilno) smo izpustili, ker v literaturi nismo našli vrednosti parametrov a in b za ta stabilnostni razred. Pa tudi poprečna dnevna stabilnost atmosfere razreda F je v mestu malo verjetna.

Tabela 3 Prirejena klasifikacija stabilnosti atmosfere po Vogtu
Table 3 Classification of atmospheric stability based on the values given by Vogt

Hitrost vetra (m/s)	temperaturni gradient $\frac{\Delta T}{\Delta z}$ med višino 140 m in 2 m						
	$\leq 2.0^{\circ}$	od -1.9 do -1.6	od -1.5 do -1.3	od -1.2 do -1.0	od -0.9 do 0.0	od 0.1 do 0.3	$< 3.0^{\circ}$
$u < 1$	A	A	B	C	D	E (F)	E (F)
$1 \leq u < 2$	A	B	B	C	C	E (F)	E (F)
$2 \leq u < 3$	A	B	C	D	D	E	E (F)
$3 \leq u < 5$	B	B	C	D	D	D	E
$5 \leq u < 7$	C	C	D	D	D	D	D
$u \geq 7$	D	D	D	D	D	D	D

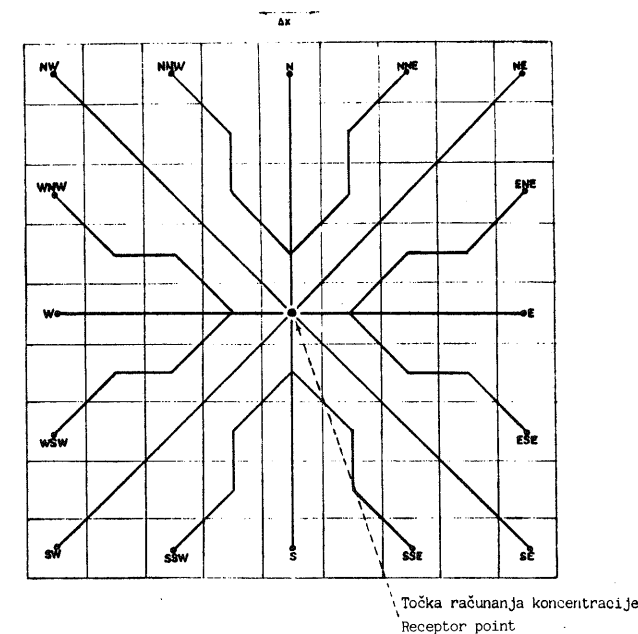
Iz tabele 3 smo dobili poprečno 24-urno stabilnost iz poprečnega gradienta temperature in poprečne hitrosti vetra.

Pri prevedbi modela ATDL glede na upoštevanje razreda stabilnosti se je izkazalo, da je največje ujemanje izračunanih koncentracij z izmerjenimi v primeru, če vzamemo kot vhodni podatek razred stabilnosti, ki je za razred bolj labilen, ne pa dejansko izmerjeno stabilnost. To je razumljivo, saj je merilno mesto za temperaturo, s katerega jemljemo podatke, na robu mesta, v prvem približku pa velja, da je atmosfera v mestu za en razred bolj labilna kot v neposredni okolici.

POSTOPEK RAČUNANJA KONCENTRACIJ

Za računanje koncentracij so potrebni podatki o 24-urni emisiji v vseh točkah računskega območja. Poleg emisijskih podatkov potrebujemo še podatke o pogostosti smeri vetra in ustreznih poprečnih hitrostih ter podatke o razredu stabilnosti atmosfere za določen dan.

Osnova računskega postopka je enačba (3). Pojavi se težava, ker so ploskovni viri emisije v pravokotni mreži, smeri vetra pa so radialne. Na sliki 1 je preprosta shema računanja prispevkov posameznih ploskovnih virov iz različnih smeri vetra. Prispevke iz različnih smeri seštejemo in dobimo koncentracijo v točki računanja „O“ na sliki 1.

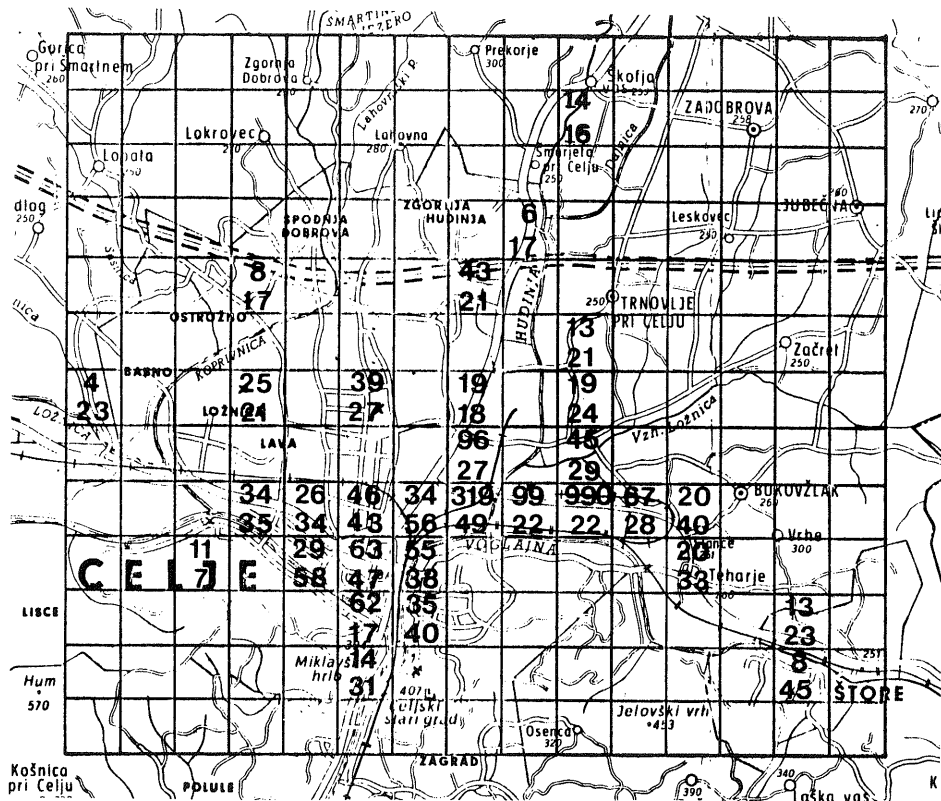


Slika 1 Shema računanja prispevkov ploskovnih virov h koncentraciji v točki računanja pri raznih smereh vetra.

Fig. 1 Scheme for combining rectangular source — grid squares with radial wind directions for calculation in receptor point.

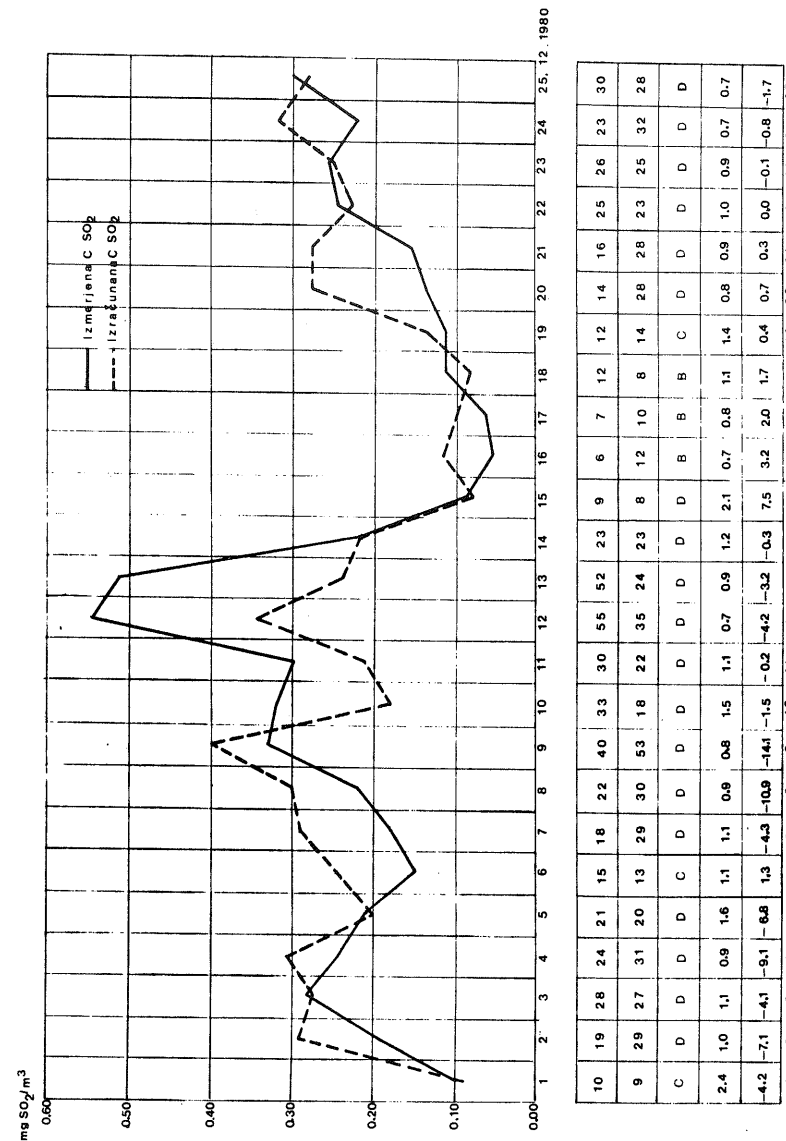
REZULTATI

Kot smo pričakovali, so v kvadratih, kjer je locirana Cinkarna, izračunane vrednosti po prirejenem modelu ATDL precej večje od izmerjenih. Na sliki 2 je primer izračunanih in izmerjenih koncentracij. Na osnovi enačbe Bosanquet-Pearsona (1956) za prizemno koncentracijo c iz dvignjenega točkovnega vira velja ocena, da je točka z maksimalno prizemno koncentracijo oddaljena 10 višin dimnika. Torej je pri 50 m visokem dimniku točka maksimalne koncentracije pri tleh, ki jo povzroča ta dimnik, v sosednjem kvadratu $500 \times 500 \text{ m}^2$. V modelu ATDL je relativna utež ploskovnega vira R v kvadratu, za katerega se po enačbi (3) računa koncentracija, enaka 1, z oddaljenostjo pa uteži naglo padajo, tako da je za razred stabilnosti D v sosednjem kvadratu v smeri proti vetru relativna utež le še 0.31.



Slika 2 Polje izračunanih 24-urnih koncentracij SO_2 (zgornji podatek v kvadratu) in polje izmerjenih koncentracij (spodnji podatek v kvadratu) v 10^{-2} mg/m^3 ; kategorija stabilnosti D (11. 12. 1980).

Fig. 2 Calculated daily ground level SO_2 concentrations for Celje (the upper value in the square) and observed concentrations (lower value) in 10^{-2} mg/m^3 ; atmospheric stability – type D (11. 12. 1980).



Slika 3 Primerjava izračunanih in izmerjenih poprečnih koncentracij SO_2 za Celje v 25 dneh decembra 1980.

Fig. 3 Comparison of calculated and observed mean daily concentrations of SO_2 for Celje in 25 days of December 1980.

Pri primerjavi izmerjenih vrednosti z izračunanimi nismo upoštevali treh podatkov z območja Cinkarne. Za vsak dan primerjalnega obdobja smo izračunali poprečno dnevno koncentracijo SO₂ za Celje iz 28 izmerjenih podatkov. To poprečno vrednost smo primerjali s poprečno vrednostjo izračunanih vrednosti po modelu, in to za tiste kvadrate, v katerih so bile meritve. Na sliki 3 sta podani krivulji izmerjenih in izračunanih koncentracij v decembru 1980. Primerjave kažejo, da se poteka izmerjenih in izračunanih koncentracij razmeroma dobro ujemata. Večja odstopanja so v dneh, ko se poprečna dnevna temperatura močno spremeni glede na prejšnji dan. To je posledica približnega izračuna emisije SO₂, pri čemer ne upoštevamo toplotne akumulacije stavb.

SKLEP

Primerjave izračunanih in izmerjenih vrednosti kažejo relativno dobro ujemanje, čeprav so bile v modelu uporabljene mnoge poenostavitve in grobe predpostavke. Poleg tega predstavlja z modelom izračunana koncentracija poprečno vrednost za kvadrat, izmerjena vrednost pa ni poprečna vrednost za kvadrat, pač pa je le približek za to vrednost. Merilna mesta ne morejo biti idealno geometrijsko postavljena, poleg tega direktni vplivi najbližjih virov emisije ponekod zmanjšujejo reprezentativnost meritev.

Naše raziskave so potrdile, da je model ATDL kljub preprostosti uporaben in ima zaradi svoje preprostosti prednost pred modeli, ki so bolj zapleteni, ne dajejo pa boljših rezultatov.

LITERATURA

- Gifford, F. A., in Hanna, S. R., Urban Air Pollution Modelling, The Second International Clean Air Congress, Washington, 1970, Academic Press, Inc, New York, december 1971
- Gifford, F. A., Atmospheric Transport and Dispersion over Cities, Nuclear Safety, Vol. 13., No. 5., 1972
- Gifford, F. A., The Simple ATDL Urban Air Pollution Model, Proceedings of 4 th Meeting of NATO/CCMS Panel on Modelling, 1973
- Hanna, S. R., A Simple Method of Calculating Dispersion from Urban Area Sources, APCA Journal, Vol. 21, No. 12, december 1971
- Hanna, S. R., Gifford F. A., Application of the ATDL Simple Urban Dispersion Model to Frankfurt, Proceedings of the NATO/CCMS „8th International Tehnical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application“ 1977, Louvain-La-Neuve, Belgija
- Magill, P.L., Holden, F. R., Ackley C.; Air Pollution Handbook, New York, 1956
- Plassman, E., Zuendorf, O. J., Emissionen Luftfremder Stoffe aus Hausbrand Fenerstätten und Kleingewerbetrieben, Köln, 1977
- Štefelj, I., in sodelavci, Poročilo o raziskovalni nalogi za leto 1980. Raziskovalna naloga: Določitev onesnaževanja zraka v Celju, HMZ SRS, Ljubljana, 1980
- Vogt, K. J., in sodelavci, Ausbreitung und Ablagerung Kernforschungsanlage Jülich, August 1971