

OCENA PRIMARNIH POLUTANTOV IN NUMERIČNI EKSPERIMENT OCENE
OKSIDANTOV V LJUBLJANI IN MARIBORU

ESTIMATE OF PRIMARY POLLUTANTS AND A NUMERICAL EXPERIMENT
FOR CALCULATION OF PHOTOCHEMICAL OXIDANTS IN LJUBLJANA
AND MARIBOR

551.510.42

Andrej HOČEVAR, Zdravko PETKOVŠEK, Jože RAKOVEC
BTF in FNT, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani

SUMMARY

Due to lack of direct measurements, the concentrations and emissions of precursors of photochemical oxidants (NO_x and CH) were calculated from the fuel consumption, using emission factors of the OECD. The different fuel consumptions of both towns were estimated separately for the main three emission sources: industry, the residential sector and transport. The fuel consumption in the residential sector was assumed on the basis of SO₂ estimations by the per capita method. The initial morning concentrations of precursors were then calculated using the estimated heights of the mixing above both towns, considered separately.

On the basis of the estimated concentrations of non-methane hydrocarbons (NMCH), oxides of nitrogen (NO_x) and meteorological parameters, concentrations of photochemical oxidants expressed as ozone were calculated for two towns of Ljubljana and Maribor, using the published model /6/.

Results are given in Figs. 1 to 6, which show the dependence of the concentrations of ozone (maximal hourly values) on the initial concentrations of NO_x and NMCH, respectively, under clear sky conditions, using various values for the mixing depth over Ljubljana and Maribor.

Results are approximate because of the crude input data, good estimates of initial concentrations of NO_x and NMCH, being quite a problem. Nevertheless the results of this trial gave: the right order of magnitude of evaluated concentrations of ozone, and much higher values in Maribor in comparison with Ljubljana, especially in summer. It must be added that the model does not include ventilation. Because Maribor has much better ventilation than Ljubljana, the estimated high concentrations of ozone at Maribor would not occur very often.

POVZETEK

Zaradi pomanjkanja neposrednih meritev so emisije in koncentracije primarnih polutantov (NO_x in NMCH) določene posredno s porabo raznih goriv v industriji, gospodinjstvih in v prometu, ob upoštevanju OECD emisijskih faktorjev.

Na podlagi ocenjenih koncentracij predhodnikov oksidantov ter vrednosti meteoroloških parametrov je z modelom /6/ ocenjena koncentracija ozona v Ljubljani in Mariboru za nekatere dele leta ob jasnem vremenu. Presečnežajo znatno večje koncentracije ozona poleti v Mariboru kot v Ljubljani. Ker pa v modelu ni upoštevan ventilacijski faktor, ki je v Mariboru znatno večji, nastopa ocenjenih koncentracij ozona v Mariboru ni pričakovati zelo pogosto.

UVOD

Med primarne polutante spadajo poleg tudi že pri nas pogosto obravnavanega žvepovega dioksida /1,2,3,4/ in številnih drugih tudi dušikovi oksidi in nemetanski hidrokarbonati. Nastanek teh spojin je vezan na zgorevanje raznih organskih goriv pri motornem prometu in v industriji. Industrija je pri nas v Sloveniji celo močnejši vir teh polutantov kot motorni promet, kar bomo ugotovili kasneje.

Primarni polutanti - dušikovi oksidi in ne toliko hidrokarbonati - so že sami po sebi škodljivi za živi svet /5/, oboji pa pomenijo osnovo, iz katere se pod vplivom sončnega obsevanja prek številnih kemičnih reakcij tvori tudi škodljiv plin ozon, ki je glavni predstavnik fotokemičnega smoga. Ozon je že v majhnih koncentracijah škodljiv za žive organizme. (OECD je postavila za maksimalno dopustno koncentracijo vrednost 0,08 ppm.) Pri koncentracijah okoli 0,12 ppm draži oči, vpliva na dihalne organe in povzroča oksidacijske procese /5/.

Nastanek ozona je na zamotan način odvisen od količine dušikovih oksidov in nemetanskih hidrokarbonatov in od drugih primesi v zraku ter od sončnega obsevanja, njegova koncentracija pa potem tudi od debeline plasti, v kateri se razporedi. Iz literature so znani modeli za računanje koncentracij ozona, v katerih so upoštevani vsi ti parametri, npr. /6/.

Za naše kraje vrednosti vseh vhodnih podatkov, ki jih zahteva model, ni na razpolago. Zlasti o koncentracijah dušikovih oksidov, nemetanskih hidrokarbonatov in drugih primarnih polutantov v manjših količinah so podatki izredno pomanjkljivi. Nekaj več je podatkov o debelinah plasti, v katerih pride do mešanja in s tem do zmanjševanja koncentracij. Tu si lahko pomagamo s podatki o višinah inverzij v posameznih mestih in o njihovi dinamiki, času nastanka, o dvigu s časom in o podobnem /7, 8,9/.

Glede na pionirsko delo na tem področju pri nas in številne manjkajoče podatke bomo poskušali oceniti koncentracije ozona, ki se verjetno pojavljajo, takole:

Najprej bomo na osnovi podatkov o porabi goriva v Ljubljani in Mariboru ocenili emisije dušikovih oksidov in nemetanskih hidrokarbonatov in nato na osnovi nekaterih predpostavk tudi njihove koncentracije v teh mestih. Nato bomo presodili nekatere fizikalne in računalniške značilnosti modela za računanje koncentracij ozona. Z uporabo naših podatkov o sončnem obsevanju, o debelini plasti mešanja ter nekaterih standardnih vrednostih drugih primarnih polutantov bomo potem z modelom izračunali najvišje poprečne urne koncentracije ozona, ki se pojavljajo ob raznih vrednostih vhodnih parametrov, vendar vedno ob jasnem vremenu.

OCENA KONCENTRACIJ PRIMARNIH POLUTANTOV

Za ocenitev koncentracij fotokemičnega smoga oziroma koncentracij ozona vsaj za dve slovenski mesti moramo najprej ugotoviti koncentracije primarnih polutantov. Te smo ugotovili na osnovi emisije dušikovih oksidov (NO_x) in emisije nemetanskih hidrokarbonatov (CH), ki smo ju ocenili ob pomoči emisijskih faktorjev in letne porabe goriva. Ker pa so emisijski faktorji različnih področij porabe goriva zelo različni /10/, smo določili emisije primarnih polutantov za tri skupine porabnikov ločeno. Te so: industrija, drobni potrošniki ali gospodinjstva in promet. Nato pa smo izračunali začetne koncentracije teh polutantov, ki so potrebne za računanje nastanka oksidantov oziroma ozona.

Podatke o porabi goriva v prometu v nekaterih slovenskih mestih nam je na željo ljubeznivo predal Petrol - Ljubljana; podatke o potrošnji goriv v drugih dveh skupinah pa smo morali določati iz podatkov o potrošnji oziroma še povsem na drug način.

Porabo goriva za mesto Ljubljana v industriji in široki potrošnji računamo na osnovi podatkov, ki jih je za leto 1973 zbral Zavod za zdravstveno varstvo Maribor /11/ in jih za industrijo korigiramo za leto 1977 tako, da privzemamo, da je ostala potrošnja premoga enaka, potrošnja tekočih goriv pa povečamo za faktor 1,25. Podatkov o porabi goriv v široki potrošnji ni, zato smo jo računali iz drugače določenih emisij SO₂, pri čemer smo upoštevali, da je razmerje kalorične vrednosti premoga proti kurilnemu olju 1 : 2 in da je poprečno razmerje vsebnosti žvepla premog : gospodinjstvo olje 2,5 : 1. Nominalna vrednost porabe goriva v gospodinjstvih je bila ocenjena po povsem drugačnih kriterijih, in sicer kot značilna emisija SO₂ na prebivalca /4/. Tu smo vzeli Ljubljano kot celoto (medtem, ko smo pri industrijski potrošnji seštevali porabo po posameznih občinah). Z že omenjenimi emisijskimi faktorji, ki jih uporablja OECD /10/ pri oceni bodoče

emisije v Evropi, dobimo ocene primarnih polutantov, ki so dane v tabeli 1.

Tabela 1 Ocenjena letna poraba goriv v Ljubljani 1977 in emisija NO_x in CH po skupinah potrošnje

Table 1 Estimate of fuel consumption in Ljubljana in 1977, and NO_x and CH emissions for three groups of consumers

	premog		tekoča goriva			skupaj		
	NO _x	CH	NO _x	CH	NO _x	CH		
ind.	385,0	3080	96	64,5	580	116	3660	212
gosp.	142,4	427	185	28,0	70	3	497	188
prom.				86,5	1730	2162	1730	2162
skupaj		3507	381		2380	2281	5887	2562
enote	10 ³ t	t	t	10 ³ t	t	t	t	t

Podatke o potrošnji goriv v industriji in drobni potrošnji za Maribor smo dobili za leto 1978 neposredno od ZZV Maribor, in z enakimi emisijskimi faktorji dobili vrednosti za tabelo 2.

Tabela 2 Letna poraba goriv v Mariboru 1978 in emisija NO_x in CH po skupinah potrošnje

Table 2 Estimate of fuel consumption in Maribor in 1978, and NO_x and CH emissions for three groups of consumers

	premog		tekoča goriva			skupaj		
	NO _x	CH	NO _x	CH	NO _x	CH		
ind.	44,0	352	11	95,0	855	171	1207	182
gosp.	85,5	256	111	27,0	67	3	323	114
prom.				50,0	1000	1250	1000	1250
skupaj					1922	1424	2530	1546
enote	10 ³ t	t	t	10 ³ t	t	t	t	t

Radi bi seveda ugotovili, kakšne so koncentracije primarnih oksidantov v teh naših dveh mestih (in pozneje tudi v drugih) zjutraj ob sončnem dnevu s povprečno letno emisijo ter kakšne so v sončnem zimskem in sončnem poletnem dnevu, odkoder bi lahko nato po modelu računali tudi nastopajoče koncentracije oksidantov.

Poprečne celoletne urne emisije slede neposredno s tabel 1 in 2, za poletje in zimo pa je treba oceniti njune posebnosti. Ocenjujemo, da porabi pozimi industrija za faktor 1,2 več goriv, kot je celoletno povprečje; drobni viri vse - to je dvakrat toliko kot v letnem povprečju; prometa pa je za faktor 0,8 manj. Poleti odpadejo drobni viri oz. gospodinjstva (čeprav realno ne povsem), poraba v industriji je za faktor 0,8 manjša in promet za faktor 1,3 večji.

S temi faktorji lahko ocenimo značilne zimske in značilne poletne emisije primarnih polutantov za Ljubljano in Maribor. Te so prikazane v zgornjih delih tabel 3 in 4 in so osnova za izračun sezonskih koncentracij fotokemičnega smoga ali oksidantov v teh dveh mestih.

Koncentracije primarnih polutantov bomo spet računali po preprostem boks modelu iz emisij. Z višino se koncentracije primarnih polutantov seveda zmanjšujejo, toda mi vzemimo ob postavki za homogeno razporeditev manjšo višino, kot je plast mešanja. Zato vzemimo, da je zjutraj (okrog 8 ure) plast mešanja ali višina boksa 100 m enaka za obe mesti; površina mesta pa za Ljubljano 154 km² in za Maribor 50 km² /12/. Iz znanih urnih emisij smo tako dobili pri predpostavki, da ni izpada, koncentracije po eni uri, kot gostote (v mg/m³), medtem ko v modelu za izračun oksidantov nastopajo koncentracije v ppm ali ppmC. Privzamemo še, da pred 5 uro zjutraj ni emisij, in tako dobimo s seštevkem triurne emisije, koncentracije obeh primarnih polutantov ob 8^h.

Po ocenah /6/ je razmerje v NO_x med NO₂ in NO enako 0,25 : 0,75, odkoder sledi molekulska masa take mešanice M_{NO_x} = 34, kar nam omogoča pretvorbo koncentracij v ppm s faktorjem 0,44 glede na gostoto v mg/m³.

Glavna predstavnika nemetanskih hidrokarbonatov NMCH, kot druge skupine primarnih polutantov, sta propilen in n-butan, ki zajemata čez 99% njihove skupne mase in sta tudi v razmerju 0,25 : 0,75. Zato računamo s povprečno molekulska maso M_{NMCH} = 54. Ker pa se izražajo v modelu (in tudi sicer pogosto) koncentracije za NMCH v ppmC in velja razmerje 1 ppmC = = 3,75 ppm, je treba pri pripravi podatkov za model, upoštevati tudi to. Z upoštevanjem vseh navedenih postavk in faktorjev, dobimo končno koncentracije primarnih skupin polutantov, kot so prikazane v spodnjih dveh vrstah tabele 3. Te vrednosti so poleg jakosti sončnega sevanja in višin plasti mešanja osnova za izračun nastanka fotokemičnega smoga ali oksidantov v naših dveh mestih ob sončnih dopoldnevih ustrezne sezone.

Iz tabele 3 je očitno, da tudi pri nas (kot v večini razvitih dežel) NO_x, ki je sicer značilen za motorni promet, prihaja predvsem iz stacionarnih virov in ne od motornega prometa. Obratno velja le za poletje v Mariboru in v celoti za CH. Torej so tudi pri nas stacionarni viri glavni emitenti dušikovih oksidov, ki že sami močno škodujejo zdravju.

Najnovejše raziskave US EPA /13/ kažejo, da je mogoče že samo z drugačnim načinom kurjenja, kot je večina klasičnih, in brez izgube energije zmanjšati emisijo NO_x za 85%! Seveda pa so potrebne investicije za nova kuršča.

Iz tabele 3 tudi sledi, da so pri sicer enakih postavkah, koncentracije NO_x in CH v Mariboru večinoma skoraj dvakrat tolikšne kot v Ljubljani. Toda Ljubljana leži v kotlini in je postavka o jutranji začetni višini mešanja ali boksa h₀ = 100 m navadno realna in pravilna; medtem ko je v Mariboru to verjetno izjemno, saj omogoča odprta dolina Drave znatnejše gibanje zraka.

Tabela 3 Ocene poprečnih, zimskih in poletnih emisij primarnih polutantov (v kg/h) in njihove koncentracije v Ljubljani in Mariboru

Table 3 Estimate of yearly average, winter and summer emissions of precursors and their concentrations in Ljubljana and Maribor

LJUBLJANA, 1977

EMISIJA

	letno		pozimi			poleti		
	NO _x	CH	f	NO _x	CH	f	NO _x	CH
industri.	418	24	1,3	543	31	0,8	334	19
gospod.	57	21	2,0	114	42	0,0	0	0
promet	197	247	0,8	158	198	1,3	255	321
Vsota	672	292		815	271		589	340 kg/h
KONCENTRACIJE								
po 1 uri	0,44	0,19		0,53	0,18		0,38	0,22 mg/m ³
ob 8 uri	1,31	0,57		1,59	0,53		1,15	0,66 mg/m ³
x 0,44	0,58			0,70			0,50	ppm
x 2,66		1,52			1,41			1,76 ppmC

MARIBOR

EMISIJA

	letno		pozimi			poleti		
	NO _x	CH	f	NO _x	CH	f	NO _x	CH
industri.	138	21	1,3	179	27	0,8	110	17
gospod.	37	13	2,0	74	26	0,0	0	0
promet	114	143	0,8	91	114	1,3	148	186
Vsota	289	177		344	167		258	203 kg/h
KONCENTRACIJE								
po 1 uri	0,58	0,36		0,68	0,34		0,52	0,40 mg/m ³
ob 8 uri	1,74	1,06		2,06	1,00		1,54	1,22 mg/m ³
x 0,44	0,76			0,90			0,68	ppm
x 2,66		2,82			2,66			3,24 ppmC

Če torej tu višino mešanja podvojimo s čemer upoštevamo ventilacijo, dobimo približno enake koncentracije primarnih polutantov kot v Ljubljani. Vsekakor pa ostanejo nekoliko različna razmerja med NO_x in CH, kar je posledica specifičnosti razvoja in dejavnosti vsakega mesta posebej in kar ima za posledico razlike v intenzivnosti nastanka in v vrednosti koncentracij sekundarnih polutantov oziroma oksidantov.

FIZIKALNE IN RAČUNALNIŠKE ZNAČILNOSTI MODELA

Model, ki ga uporabljamo /6/, lahko preprosto opišemo takole: Stolpec zraka, ki vsebuje začetne koncentracije ozona in primarnih polutantov, iz katerih nastaja ozon, se giblje vzdolž predpostavljene trajektorije. Ko se tak stolpec giblje, lahko sprejema dodatne količine primarnih polutantov (emisija), iz katerih nastaja ozon, in zanje predpostavimo, da se enakomerno razporede v njem. Stolpec zraka deluje kot velika plinska komora, v kateri pod vplivom sončnega sevanja primarni polutanti reagirajo med seboj prek številnih zamotanih kemičnih reakcij, katerih končna posledica je nastanek ozona in drugih produktov. Stolpec zraka se razteza od tal do baze dvignjene inverzije. Premer stolpca je tak, da so koncentracije ozona znotraj in zunaj stolpca približno enake, tako da lahko zanemarimo horizontalno izmenjavo z ozonom onesnaženega zraka. Volumen stolpca se poveča le v primeru, če se inverzija dvigne. Potem se koncentracije ozona v stolp-

cu lahko zmanjšajo zaradi vstopa neonesnaženega zraka v višinah v stolpec. V primeru, da ta zrak ni čist ampak že onesnažen z ozonom ter primarnimi polutanti, se koncentracija ozona v stolpcu ne zmanjša, morda celo naraste. V modelu so vsi ti parametri upoštevani.

Rezultati modela so podani v diagramu, ki daje funkcijsko odvisnost najvišje poprečne urne koncentracije ozona od koncentracij NO_x in CH ob upoštevanju vhodnih podatkov, kot so: sončno obsevanje ob jasnem nebu, višina in dinamika inverzije in drugi.

Računalniško je model zgrajen v dveh delih. Prvi simulira kemične reakcije ob vključevanju meteoroloških podatkov in je časovno najbolj zahteven. V okviru te simulacije se z integracijo diferencialnih enačb I. reda v časovnih korakih 10⁻¹⁰ minute izračunavajo koncentracije 32 kemičnih spojin kot funkcije časa, iz katerih na koncu nastaja ozon. Drugi del obsega različne interpolacijske sisteme za določitev izoplet koncentracij ozona na diagramu, ki je glavni rezultat modela.

Model zahteva naslednje vhodne podatke: dan v letu, geografske: geografska širina in dolžina kraja, meteorološke: jutranja in popoldanska višina inverzije, čas, ko se inverzija začne in ko se neha dvigati, kemijske: koncentracije NO_x, koncentracije CH (oboje tudi v zraku nad inverzijo, te so v zvezi z advekcijo v višinah, koncentracije istih polutantov, ki se advektirajo v prizemno plast zraka v mesto s privetrne strani), emisije primarnih polutantov po 8. uri zjutraj, reaktivnost CH, začetno razmerje aldehydov v CH in reaktivnost NO_x.

Za simulacijo tvorbe ozona v naših slovenskih razmerah smo uporabili naše podatke o jakosti sončnega obsevanja za Ljubljano in Maribor in ocenjene višine inverzij za spomladansko enakonočje ter za oba solsticija. Prav tako smo uporabili nekatere podatke o koncentracijah primarnih polutantov, ki smo jih ocenili na podlagi porabe goriva (tabela 4). Za nekatere potrebne podatke, ki jih ni na razpolago, pa smo uporabili standardne vrednosti, kot jih navaja model (tabela 5).

REZULTATI

S tem modelom smo izračunali diagrame, ki dajejo funkcijsko zvezo med največjo poprečno urno koncentracijo ozona in koncentracijama NO_x in CH za razmere ob enakonočju (21.3.), poletu (21.6.) ter pozimi (23.12.) za Ljubljano in Maribor. Glede na precej različne vhodne podatke - višina inverzij, njihovo dinamiko ter koncentracije NO_x in CH - so tudi rezultati - koncentracije ozona - zelo različni.

Tabela 4 Predpostavljeni podatki, uporabljeni v modelu za računanje koncentracij ozona

Table 4 Specific input data for model calculations of ozone concentrations

Kraj	višina inverzije			koncentracije	
	datum	ob 8 ^h	ob 15 ^h	NO _x (ppm)	HC (ppmC)
Ljubljana	21.3.	100m	800 m	0,58	1,52
	21.6.	100m	2000 m	0,50	1,76
	23.12.	100m	250 m	0,70	1,41
Maribor	21.3.	180m	1000 m	0,76	2,82
	21.6.	200m	2000 m	0,68	3,24
	23.12.	200m	500 m	0,90	2,66

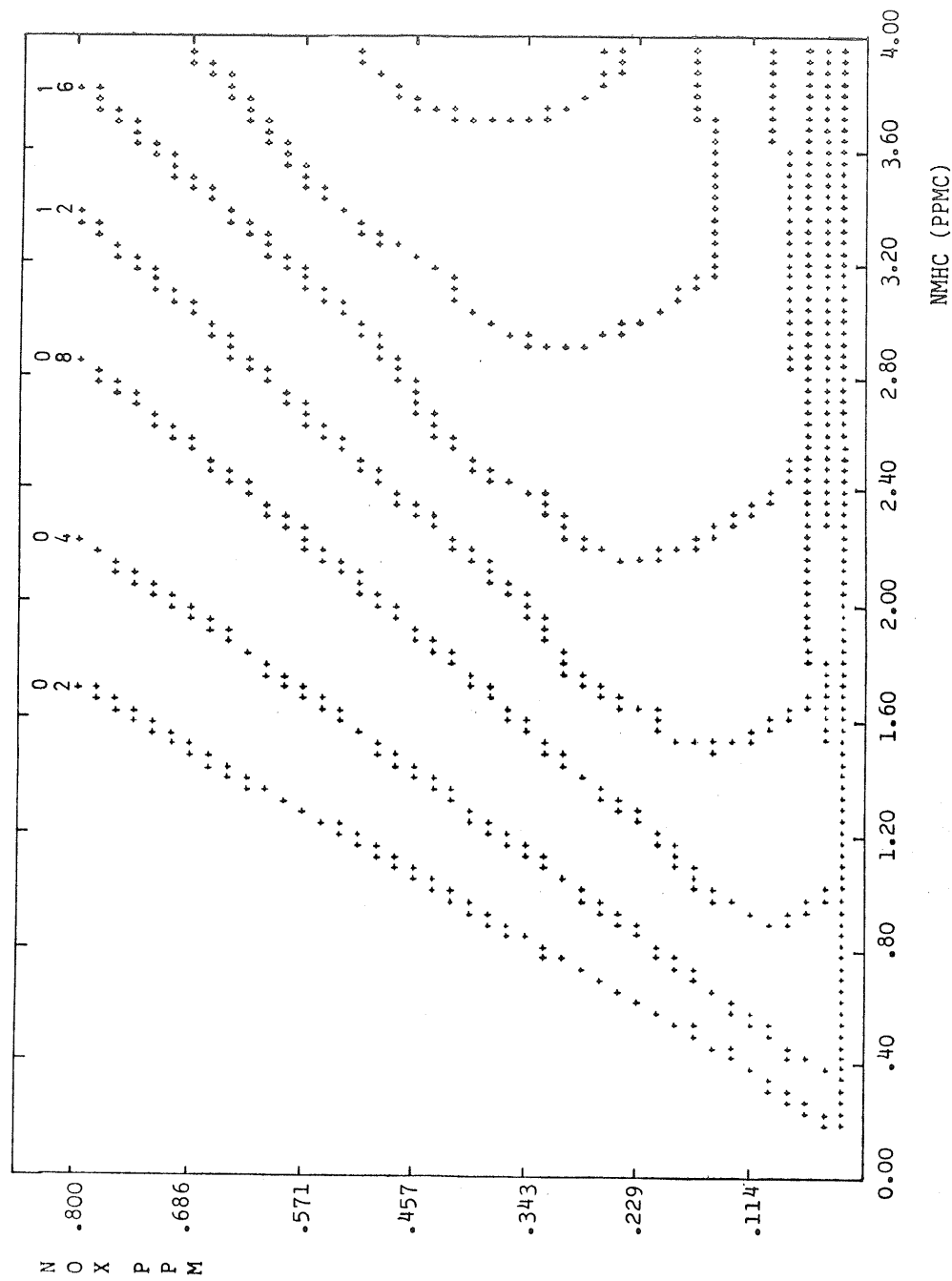
Tabela 5 Standardne vrednosti kemijskih vhodnih podatkov za računanje po modelu

Table 5 Standard values of chemical input data for model calculations

koncentracije ozona advektirane v višinah = 0
koncentracije NO_x advektirane v višinah = 0
koncentracije HC advektirane v višinah = 0
koncentracije ozona advektirane pri tleh = 0
koncentracije NO_x advektirane pri tleh = 0
koncentracije HC advektirane pri tleh = 0
emisije NO_x po 8^h uri in vse naslednje ure = 0
emisije HC po 8 uri in vse naslednje ure = 0
Začetna frakcija ogljikovih atomov v obliki propilena = 0,25
Začetno razmerje NO₂/NO_x = 0,25
Frakcija začetne koncentracije HC dodana kot aldehyd = 0,05.

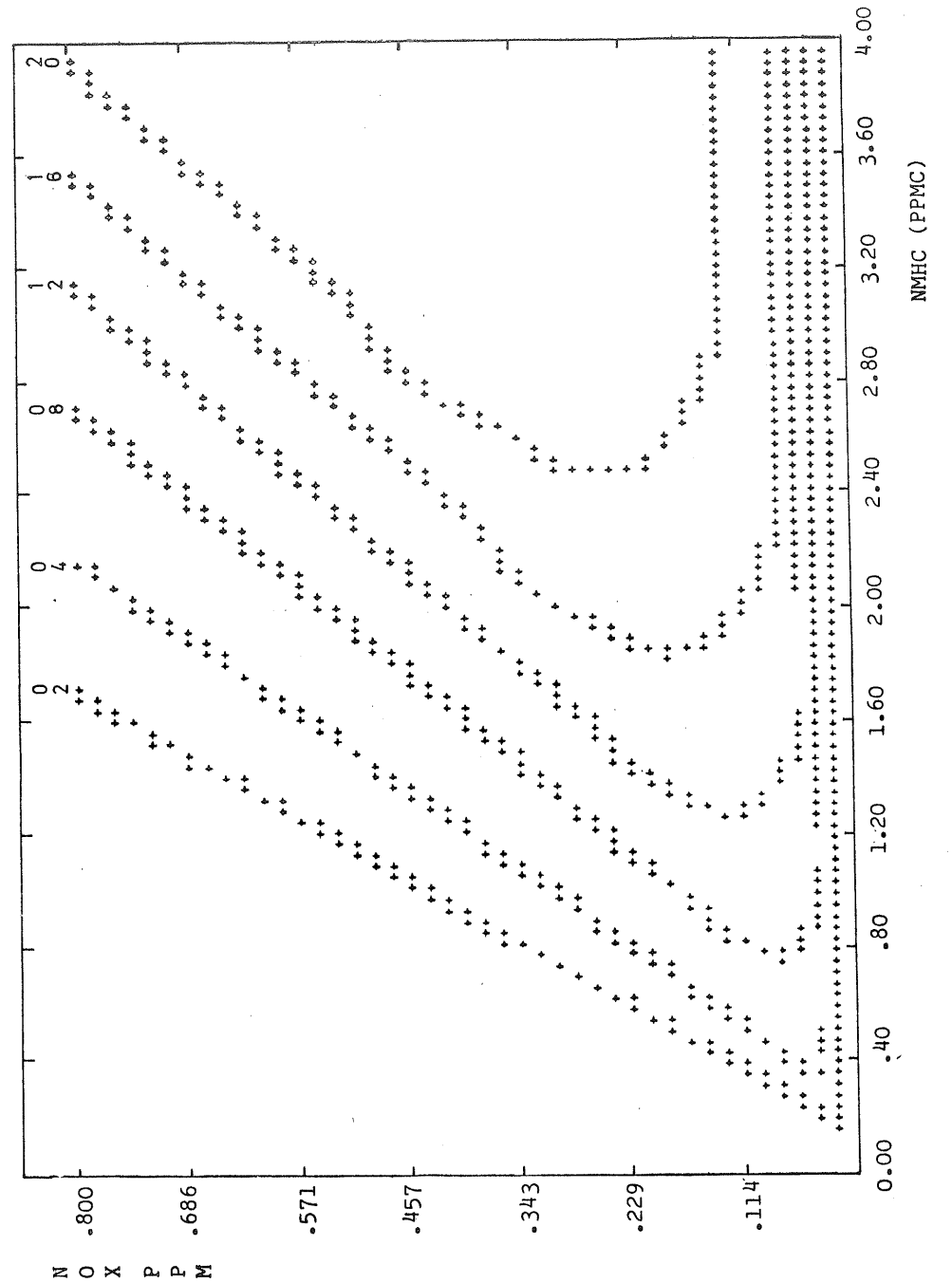
Tako lahko na osnovi slik 1 in 2 ocenimo, da je največja poprečna urna koncentracija ozona v Mariboru (0,10ppm) ob enakonočju kar trikrat večja od tiste v Ljubljani (0,03 ppm). Pri tem je odločilen vpliv znatno večjih koncentracij primarnih polutantov v Mariboru, ki presenečajo in so morda previsoke ter kljub večji debelini mešanja v tem mestu določajo tako visoke koncentracije ozona.

Primerjava rezultatov za Ljubljano in Maribor za razmere poleti ob najmočnejšem sončnem obsevanju (21.6.) kaže naslednjo sliko; na osnovi slik 3 in 4 lahko ocenimo za Ljubljano največjo urno poprečno koncentracijo o-



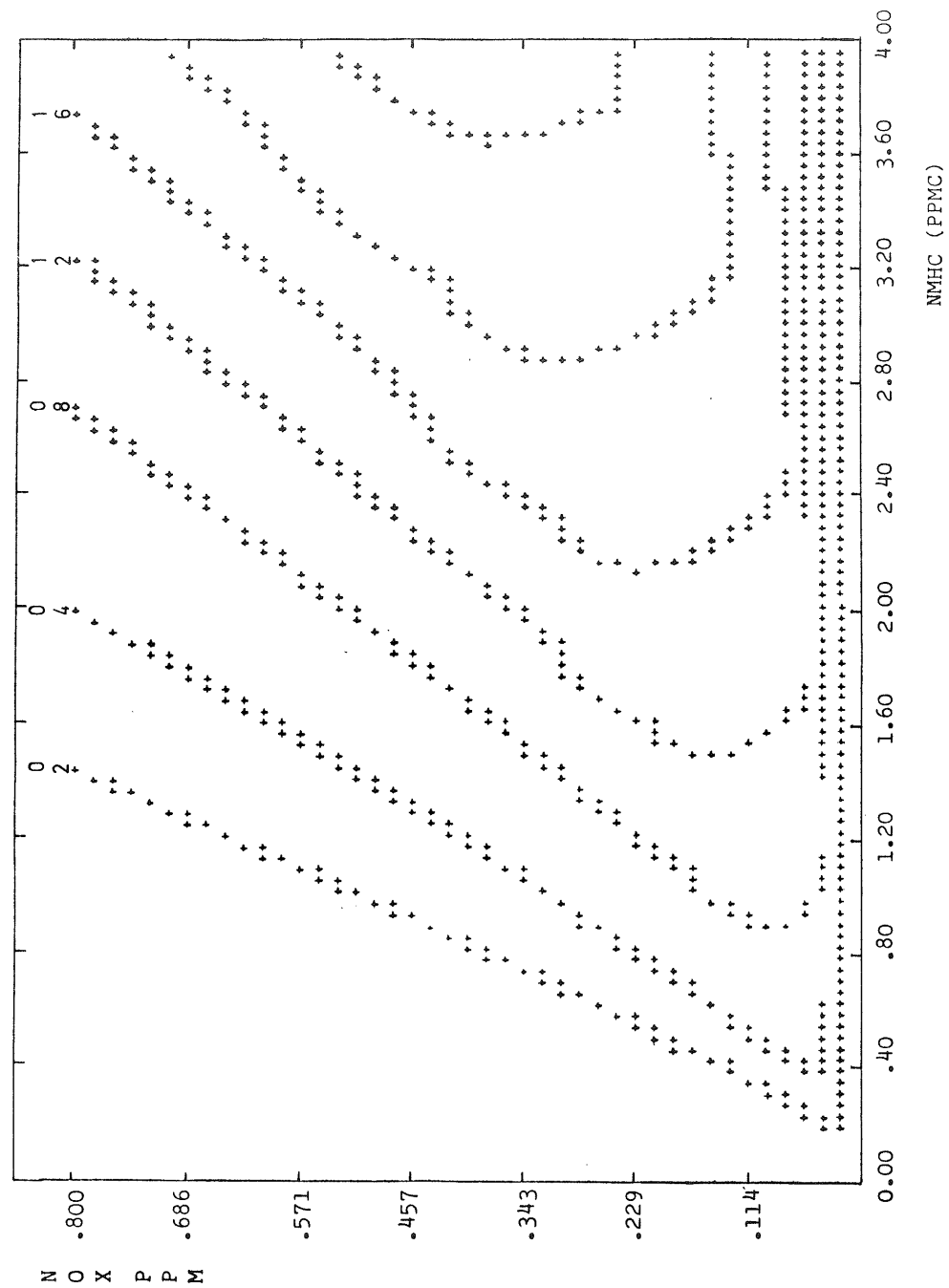
Slika 1 Izoplete koncentracij ozona (ppm) v odvisnosti od koncentracij HC (ppmC) in NO_x (ppm) za razmere v Ljubljani ob enakonočju

Fig. 1 Isoplethes of ozone concentrations (ppm) as a function of NMCH (ppmC) and NO_x (ppm) - for Ljubljana at equinox



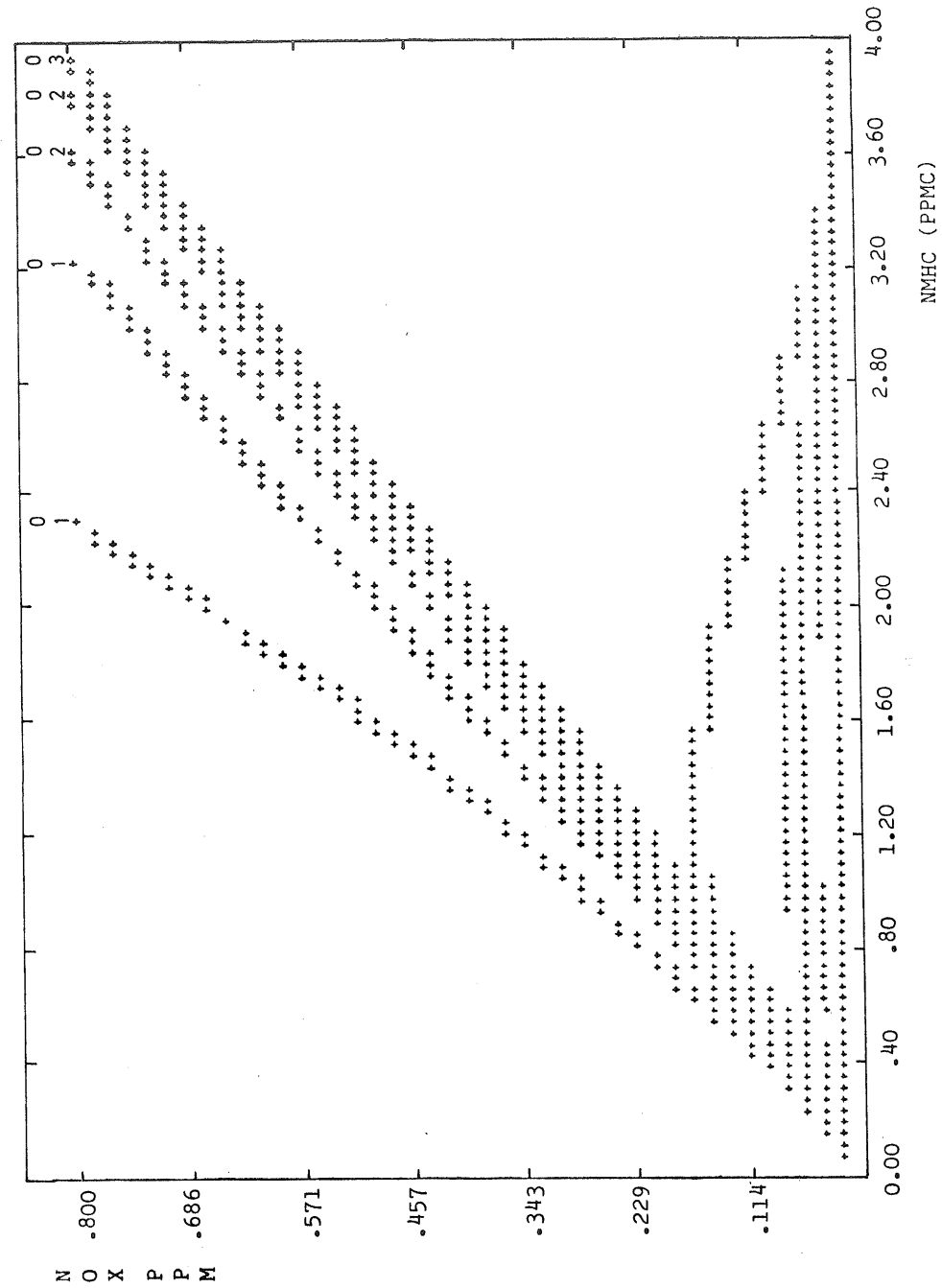
Slika 2 Izoplete koncentracij ozona (ppm) v odvisnosti od koncentracij HC (ppmC) in NO_x (ppm) za razmere v Mariboru ob enakonočju

Fig. 2 Isoplethes of ozone concentrations (ppm) as a function of NMCH (ppmC) and NO_x (ppm) - for Maribor at equinox



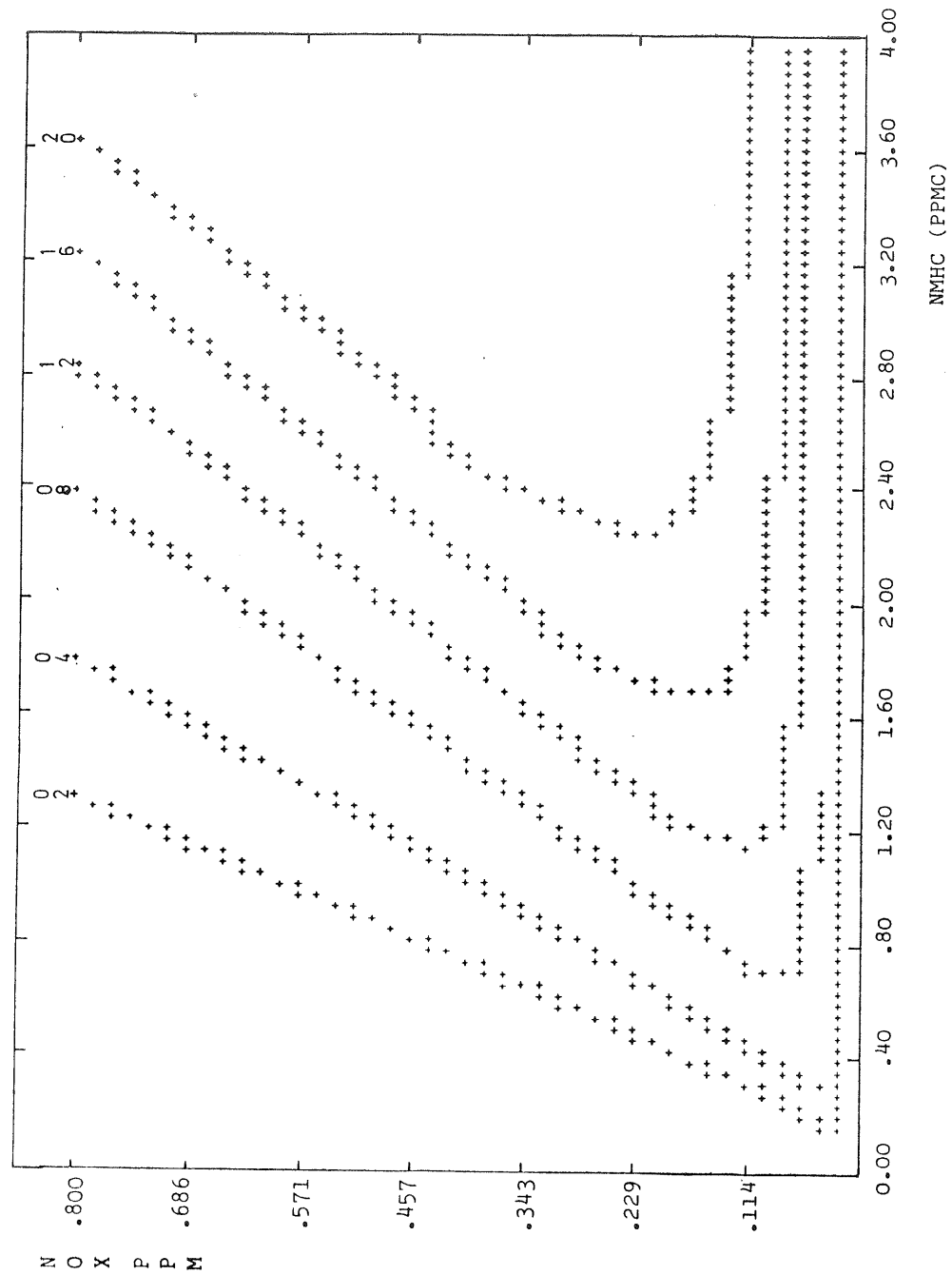
Slika 3 Izoplete koncentracij ozona (ppm) v odvisnosti od koncentracij HC (ppm) in NO_x (ppm) za razmere v Ljubljani poleti (21.6.)

Fig. 3 Isoplethes of ozone concentrations (ppm) as a function of NMHC (ppmC) and NO_x (ppm) - for Ljubljana in summer (21.6.)



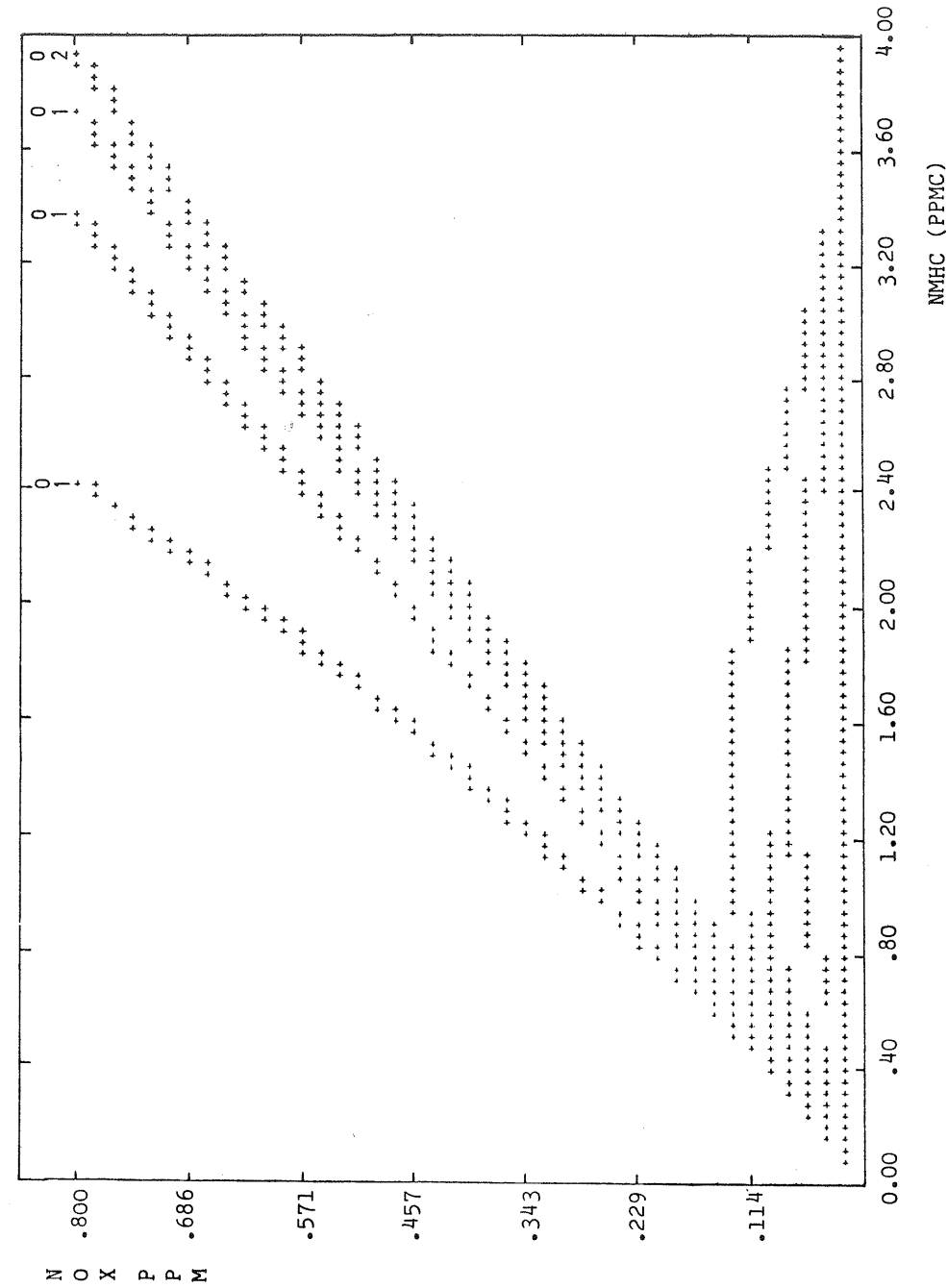
Slika 4 Izoplete koncentracij ozona (ppm) v odvisnosti od koncentracij HC (ppm) in NO_x (ppm) za razmere v Mariboru poleti (21.6.)

Fig. 4 Isoplethes of ozone concentrations (ppm) as a function of NMHC (ppmC) and NO_x (ppm) - for Maribor in summer (21.6.)



Slika 5 Izoplete koncentracij ozona (ppm) v odvisnosti od koncentracij HC (ppmC) in NO_x (ppm) za razmere v Ljubljani pozimi (23.12.)

Fig. 5 Isoplethes of ozone concentrations (ppm) as a function of NMHC (ppmC) and NO_x (ppm) - for Ljubljana in winter (23.12.)



Slika 6 Izoplete koncentracij ozona (ppm) v odvisnosti od koncentracij HC (ppm) in NO_x (ppm) za razmere v Mariboru pozimi (23.12.)

Fig. 6 Isoplethes of ozone concentrations (ppm) as a function of NMHC (ppmC) and NO_x (ppm) - for Maribor in winter (23.12.)

zona na 0,07 ppm, za Maribor pa ponovno znatno višjo vrednost 0,20 ppm. Pri čemer so vzroki za kar trikrat večje koncentracije ozona v Mariboru v primerjavi s tisto v Ljubljani podobni kot smo jih navedli za razmere ob enakonočju.

Razmere pozimi karakterizirajo za faktor 2 različne debeline plasti mešanja v obeh obravnavanih krajih, kot tudi znatne razlike v koncentracijah primarnih polutantov (tabela 4). Rezultati modela, dobljeni na teh vhodnih podatkih kažejo, da so koncentracije ozona razmeroma majhne in manj različne kot v drugih delih leta. Za Ljubljano dobimo koncentracijo ozona 0,003 ppm in za Maribor 0,006 ppm.

Prikazani diagrami so za oceno največjih poprečnih urnih koncentracij ozona zelo uporabni. Iz njih namreč lahko dobimo tudi za drugačne koncentracije primarnih polutantov, ki jih, recimo, izmerimo ali na kak drugačen način ocenimo (ne tako kot smo to storili mi), največje poprečne urne koncentracije ozona.

Dobljeni teoretični rezultati ob predpostavkah, da je model zaprt kažejo na razmeroma visoke koncentracije v Mariboru in znatno nižje v Ljubljani v poprečju in poleti. Pozimi so koncentracije ozona v obeh krajih majhne in pod pragom občutljivosti človeškega vonja /5/.

SKLEP

Fotokemični smog katerega glavni predstavnik je ozon, je eden izmed zelo škodljivih sekundarnih polutantov. O njegovih koncentracijah pri nas ob različnih meteoroloških razmerah, kakor tudi o koncentracijah primarnih polutantov, iz katerih nastaja, ne vemo dosti. V tem delu smo na zelo grob način poskušali oceniti najprej koncentracije primarnih polutantov in nato z modelom tudi koncentracije ozona.

Dobljeni rezultati vsebujejo seveda vso nenatančnost vhodnih podatkov in jih moramo zato resnično jemati kot prvi približek, ki pa je dovolj dober, saj je velikostni red rezultatov pravilen. Glavni rezultat dela je ugotovitev, da je model za naše razmere uporaben. Ob predpostavki, da zrak miruje, je Maribor ob enakonočju in poleti glede koncentracij fotokemičnega smoga na slabšem od Ljubljane. Glede na znatno prevetravanje Dravske doline pa se take situacije najbrže ne pojavljajo pogosto. Upoštevati moramo namreč tudi to, da se pojavljajo največje koncentracije ozona šele po nekaj urah trajanja kemičnih reakcij primarnih polutantov in sončnega obsevanja (pri nas po modelu po štirih urah poleti), tedaj pa je z njim onesnažen zrak že nekoliko odaljen od mesta. Predhodniki ozona in iz njih nastajajoči ozon se torej premikajo, kar vnaša nove probleme k obravnavi tega polutanta.

Delo je del raziskovalne naloge "Širjenje onesnaženja zraka v kotlinah"
4. faza. Raziskovalna skupnost Slovenije G-784/8216-78.

LITERATURA

- /1/ PARADIŽ, B., 1970: Nekaj karakteristik onesnaženja zraka v Ljubljani. DMS, Razprave-Papers XII, 53 - 74.
- /2/ VERHOVNIK, S., 1970: Onesnaženja mesta Maribora s SO₂ in dimom. DMS, Razprave-Papers XII, 75 - 88.
- /3/ DEKLEVA, J., 1975: Model kvalitete zraka kot osnova strategije za zmanjšanje onesnaženosti zraka v Ljubljanski regiji. Urbanistični institut, SRS SBK - UI 461.
- /4/ PETKOVŠEK, Z., 1977: Določanje emisije SO₂ in izračun emisijskega potenciala za nekatere kotline v Sloveniji, DMS, Razprave-Papers 21, 25 - 32.
- /5/ STERN, A.C., 1968: Air Pollution. Academic Press, New York, London, 694 str.
- /6/ WHITTEN, G.Z. and H. HOGO, 1978: User's Manual for Kinetics Model and Ozone Isopleth Plotting Package. EPA - 600/8-78-014a, Research Triangle Laboratory, NC 27711, 239 str.
- /7/ PETKOVŠEK, Z., 1980: Dynamik der oberen Grenze der Kaltluftseen in Talbecken. Abh. Met. Di., DDR, Nr. 124, 63-65.
- /8/ HOČEVAR, A. in Z. PETKOVŠEK: Doprinos k poznavanju razmer v jezeru hladnega zraka v ljubljanski kotlini. Razprave-Papers XIII, DMS, Ljubljana 1971, 1-20.
- /9/ PUČNIK, J., 1972: Temperaturne inverzije v ljubljanski kotlini. Razprave-Papers XIV, DMS, 35 - 49.
- /10/ OECD, 1978: Hydrocarbon and Nitrogen Oxides Emission Estimates for 1958, 1990 and 2000, ENV/AIR/78.16, Paris, 79 str.
- /11/ Zavod za zdravstveno varstvo Maribor, 1974, 1975: Ugotovitev vrste, kvalitete, jakosti in lokacije izvorov emisij onesnaženja zraka v SR Sloveniji. I, 185 str, II, 23 str.
- /12/ Zvezni zavod za statistiko, 1972: Statistični koledar Jugoslavije. Beograd, 223 str.
- /13/ EPA USA; 1978: Research Highlights 1978. Washington, D.C. 70 str.