

RAZPRAVE PAPERS

Letnik 23

2

VSEBINA - CONTENTS

Stran

B. Weissbacher, L. Žitnik:	Relativna pogostost prehodov vremenskih stanj v Sloveniji v obdobju od 1974. do 1978. leta	
	The relative frequency of transitions of weather pattern in Slovenia in the period 1974 - 1978	63
J. Rakovec, A. Hočevar:	Vpliv reliefa na numerično napovedan dnevni hod temperature prizemne plasti zraka	
	The influence of relief on the numerically predicted daily course of the temperature near the ground	77
A. Hočevar, Z. Petkovšek, J. Rakovec:	Ocena primarnih polutantov in numerični ekspe- riment ocene oksidantov v Ljubljani in Mariboru	
	Estimate of primary pollutants and a numerical experiment for calculation of photochemical oxi- dants in Ljubljana and Maribor	91

RELATIVNA POGOSTOST PREHODOV VREMENSKIH STANJ V SLOVENIJI
V OBDOBJU OD 1974. do 1978. LETA

THE RELATIVE FREQUENCY OF TRANSITIONS OF WEATHER
PATTERN IN SLOVENIA IN THE PERIOD 1974 - 1978

551.589.1:551.509.331

Branko WEISSBACHER, Lado ŽITNIK
Meteorološki zavod SRS, Ljubljana

SUMMARY

The basic weather patterns of Europe, which have great influence on the weather in Slovenia too, were established on the basis of surface pressure fields. Data for the period from January 1, 1974 to August 31, 1978 were used in the analysis. Using the theory of Markovian chains the relative frequency of transitions of weather or pressure pattern were calculated with respect to the weather conditions in the area of the Alps and Northern Mediterranean. Results of the analysis are shown in Tables 1, 2 and 3. Diagonal values represent the relative probability that the weather pattern will not change. In diagrams 1 to 6 the relative transition frequencies of some cyclonic patterns are presented up to the twentieth consecutive day or step. It will be seen that some weather patterns are rather stable and usually transpose into another pattern only after some days; others, however, are very unstable and their relative transition frequencies are the greatest on the first or second day. Better results are expected after inclusion of the upper winds into the classification patterns used.

POVZETEK

V članku smo s teorijo Markovskih verig izračunali relativno pogostost prehodov vremenskih stanj, ki se pojavljajo v Sloveniji. Za ta namen smo uporabili klasifikacijo vremenskih stanj, ki jo je sestavila Majda Vida na osnovi klasifikacije Hess-Brezovskega in jo še dopolnili.

Vremenska stanja v Sloveniji smo določili za vsak dan od 1. januarja 1974 do 31. avgusta 1978 leta. Dobili smo nekaj zanimivih značilnosti pri prehodih posameznih vremenskih stanj, ki smo jih prikazali v tabelah 1-3 in v diagramih 1 do 6.

UVOD

Stanje vremena na nekem območju je med drugim odvisno tudi od minulega vremena. S klasifikacijo vremenskih stanj se je ukvarjalo že precej meteorologov. Za srednjo Evropo je najpomembnejša klasifikacija, ki sta jo razvila Hess in Brezowsky /1/. Za Jugoslavijo in posebej za Slovenijo je že več avtorjev podrobno obdelalo razvoj vremenskih tipov /2,3,4,5/. V tej nalogi smo uporabili klasifikacijo vremenskih tipov, ki jo je sestavila M. Vida, na osnovi Hess - Brezowskega in jo še dopolnili /6/.

Nato smo obdelali prehode vremenskih stanj, kar nam da osnovo za prognozo na osnovi lokalnih in pomanjkljivih podatkov /7/. Skušali smo določiti nekatere osnovne značilnosti in pojavljanja pri zaporedju sinoptičnih stanj.

PODATKI IN METODA

Tipe vremena v Sloveniji smo določili iz nižinskih meteoroloških baričnih polj. Vzeli smo podatke od 1. januarja 1974 do 31. avgusta 1978. leta za vsak dan ob 13. uri.

Določili smo naslednja vremenska stanja:

- 0A - greben azorskega anticiklona sega nad Slovenijo
- 1A - greben vzhodnoevropskega anticiklona sega nad Slovenijo
- 2A - greben se je od zahoda ali severozahoda razširil nad Slovenijo
- 3A - anticiklon nad Alpami
- 4A - anticiklon nad Karpati ali Balkanom
- 5A - srednjeevropski anticiklon sega nad Slovenijo
- 6A - anticiklonsko polje zajema južno Evropo
- 7A - anticiklon sega iznad severne Evrope nad Slovenijo
- 8A - greben med dvema ciklonoma nad Slovenijo
- 9A - most med dvema anticiklonoma nad Slovenijo
- AC - anticiklon zahodno od Slovenije, ciklon vzhodno
- CA - ciklon zahodno od Slovenije, anticiklon vzhodno
- 0C - ciklon prehaja Slovenijo
- 1C - ciklon nad zahodnim oz. severnim Sredozemljem ali Jadranom
- 2C - britanski ciklon sega nad zahodno Sredozemlje
- 3C - biskajski ciklon sega nad Iberski polotok in zahodno Sredozemlje
- 4C - srednjeevropski ciklon sega v Sredozemlje
- 5C - ciklonsko območje nad pretžnim delom Evrope
- 6C - ciklonsko območje nad vzhodno Evropo, Karpati ali Balkanom
- 7C - ciklon nad vzhodnim Sredozemljem
- 8C - skandinavski oz. srednjeevropski ciklon sega na jugu do Alp

Vremenski proces smo obravnavali kot homogeno Markovsko verigo vremenskih stanj. Markovska veriga opisuje prehod fizikalnega sistema iz enega stanja v drugo, ki je možen le v predpisanih trenutkih ($t_1, t_2, \dots, t_n \dots$). Vsako stanje tega sistema pa je odvisno le od prejšnjega. Pri spremembi za en korak lahko ostane sistem v istem stanju ali pa preide v katerega izmed drugih. Za vsako teh možnosti obstoja določena verjetnost p_{ij} . Te verjetnosti tvorijo naslednjo kvadratno matriko:

$$P_1 = \left\| p_{ij} \right\| = \begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1k} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{k1} & p_{k2} & \dots & p_{kk} \end{vmatrix}$$

Imenujemo jo prehodno matriko ali zakon Markovske verige. V primeru, da preide sistem iz danega stanja po n korakih v kako drugo stanje, pa obstajajo verjetnosti $P_{ij}(n)$, ki tvorijo naslednjo matriko:

$$P_n = \left\| P_{ij}(n) \right\| = \begin{vmatrix} P_{11}(n) & P_{12}(n) & \dots & P_{1k}(n) \\ P_{21}(n) & P_{22}(n) & \dots & P_{2k}(n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{k1}(n) & P_{k2}(n) & \dots & P_{kk}(n) \end{vmatrix}$$

Po formuli $P_n = P_1^n$ lahko matriko P_n neposredno izračunamo. Ta matrika je odvisna le od zakona Markovske verige p_1 in od tega, za koliko korakov gremo v verigi naprej. Vseeno pa je, od katerega poskusa gremo za n korakov naprej in v kakšnih stanjih je sistem v vmesnih poskusih.

Iz našega niza podatkov smo za vsak dan ocenili vremensko stanje. Relativne frekvence prehodov med posameznimi stanji predstavljajo prehodne verjetnosti. S tem smo prehodno matriko P_1 oz. zakon Markovske verige določili. Prehodne matrike čez n korakov smo izračunali iz prehodne matrike P_1 in iz relativnih frekvenc prehodov med posameznimi stanji v n korakih. V našem primeru predstavljajo korake dnevi.

RELATIVNA POGOSTOST PREHODOV VREMENSKIH STANJ V PRVEM DNEVU

Tabela 1 predstavlja matriko prehodov vremenskih stanj v prvem dnevu. Največja verjetnost je, da se vremensko stanje ne spremeni, kar nam dajejo verjetnosti v diagonalni smeri. Le za vremensko stanje 0C je verjetnost 0, kar je razumljivo glede na definicijo: ciklon prehaja Slovenijo. Oglejmo si primere, ko je verjetnost prehodov večja od 15%.

1. Verjetnost prehoda CA v 1C. V primeru, če ciklon nad zahodno Evropo ni stacionaren (26%), je največja verjetnost, da se pomakne v zahodno Sredozemlje (17%).

Tabela 1 Relativna pogostost prehodov vremenskih stanj v 1. dnevu (v procentih)

Table 1 Relative transition frequency of weather patterns on the 1st day (in percents)

	1C	5A	1A	CA	8C	2A	6A	4A	**	5C	3A	AC	2C	7A	8A	6C	3C	0A	9A	4C	0C	7C
1C	48	6	2	3	2	5	0	2	1	2	1	2	2	1	3	9	0	0	1	4	1	5
5A	4	45	10	3	3	2	10	10	1	0	2	0	1	4	1	1	1	0	2	1	0	1
1A	5	3	56	6	3	2	2	8	1	0	2	0	0	3	1	0	3	0	4	2	0	1
CA	17	2	5	26	8	0	0	2	0	2	3	2	6	0	0	9	3	0	11	5	0	3
8C	20	3	0	0	33	10	2	5	0	0	0	4	4	0	2	7	2	0	2	8	0	0
2A	4	29	1	2	5	26	8	8	0	0	3	5	1	3	2	2	0	2	0	1	0	0
6A	3	5	2	1	13	8	43	8	0	0	2	1	2	1	2	3	0	2	2	0	0	0
4A	13	6	4	2	5	2	6	41	3	2	1	0	6	2	0	1	1	0	3	2	0	0
**	2	7	4	0	2	2	0	9	69	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
5C	3	0	3	0	3	0	0	3	0	43	7	3	7	0	7	10	10	0	0	0	0	0
3A	0	7	3	7	3	10	17	13	0	0	20	3	7	3	3	0	0	0	3	0	0	0
AC	2	9	2	4	6	19	0	0	2	0	2	23	0	0	11	2	2	0	9	4	0	2
2C	49	0	2	2	6	0	0	0	2	6	2	0	15	0	4	0	4	0	0	4	4	0
7A	5	11	11	2	0	2	4	4	0	0	0	0	0	51	2	0	0	0	2	5	0	2
8A	5	2	5	14	9	0	5	5	2	0	0	0	9	5	14	5	5	0	12	5	0	0
6C	13	5	2	0	8	13	1	2	1	0	2	8	4	1	5	30	2	0	1	1	0	3
3C	46	0	4	7	0	0	0	0	0	7	0	4	4	0	0	0	18	0	0	11	0	0
0A	0	13	0	0	0	0	0	0	13	0	13	0	0	0	0	25	0	38	0	0	0	0
9A	12	7	0	10	5	8	5	2	0	2	0	8	0	2	2	0	0	2	34	0	0	2
4C	25	0	0	0	5	6	0	0	0	3	0	3	2	0	0	20	2	0	2	28	0	6
0C	20	0	0	0	0	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0	0
7C	11	17	3	3	6	6	0	3	3	0	3	3	0	6	3	14	3	0	0	6	0	14

- Verjetnost prehoda 8C v 1C. Razvoj pri tem prehodu je precej pogost (20%). Pomeni pa nastanek ciklona v zahodnem oz. severnem Sredozemlju (Genovski ciklon) na hladni fronti, ki poteka iz ciklona nad Skandinavijo oz. Srednjo Evropo.
- Verjetnost prehoda iz 2A v 5A. V tem primeru se je središče anticiklona pomaknilo iznad zahodne nad srednjo Evropo (29%).
- Verjetnost prehoda iz 3A v 6A. Ta primer daje pomik anticiklona iznad Alp nad južno Evropo (17%).
- AC v 2A (19%). Ta primer pomeni razširitev anticiklona iznad zahodne Evrope nad Slovenijo.
- 2C v 1C (49%). V tem primeru se ciklonska aktivnost prenaša iznad Velike Britanije v zahodno Sredozemlje. Verjetnost, da ostane ciklon nad Veliko Britanijo pa je le 15%.
- 3C v 1C. Tudi biskajski ciklon se največkrat pomakne v zahodno Sredozemlje (46%). Ciklonska aktivnost nad Biskajskim zalivom pa je bila stacionarna le v 18%.
- Prehod 0A v 6C. Razpad azorskega anticiklona in nastanek vzhodno-evropskega ciklona je razmeroma pogost (25%). V 38% ostane Slovenija še naprej pod vplivom azorskega anticiklona. Po 13% pa je verjetnost, da preide azorski anticiklon v srednje-evropskega, ali v anticiklon s središčem nad Alpami.
- Prehod 4C v 1C. Prehod srednjeevropskega ciklona v zahodno oz. severno Sredozemlje je zastopan s verjetnostjo 25%.

Pestra je razporeditev verjetnosti prehodov 0C v druga vremenska stanja.

Vremensko stanje 0C nad Slovenijo preide z verjetnostjo 20% v 2A in 4A, ter z enako verjetnostjo v 1C, 4C ali 6C.

Iz vpliva ciklona nad vzhodnim Sredozemljem (7C) preide Slovenija pod vpliv srednjeevropskega anticiklona (5A) v 17%.

RELATIVNA POGOSTOST PREHODOV VREMENSKIH STANJ V DRUGEM DNEVU

Tudi tu se v diagonalni smeri pri večini vremenskih stanj pojavljajo največje vrednosti (Tabela 2). Pri verjetnosti 15% ali več se pojavljajo isti primeri kot pri prvem koraku. Poleg teh pa se je pojavilo tudi nekaj novih.

RELATIVNA POGOSTOST PREHODOV VREMENSKIH STANJ V SLOVENIJI
V OBDOBJU OD 1974. do 1978. LETA

THE RELATIVE FREQUENCY OF TRANSITIONS OF WEATHER
PATTERN IN SLOVENIA IN THE PERIOD 1974 - 1978

551.589.1:551.509.331

Branko WEISSBACHER, Lado ŽITNIK
Meteorološki zavod SRS, Ljubljana

SUMMARY

The basic weather patterns of Europe, which have great influence on the weather in Slovenia too, were established on the basis of surface pressure fields. Data for the period from January 1, 1974 to August 31, 1978 were used in the analysis. Using the theory of Markovian chains the relative frequency of transitions of weather or pressure pattern were calculated with respect to the weather conditions in the area of the Alps and Northern Mediterranean. Results of the analysis are shown in Tables 1, 2 and 3. Diagonal values represent the relative probability that the weather pattern will not change. In diagrams 1 to 6 the relative transition frequencies of some cyclonic patterns are presented up to the twentieth consecutive day or step. It will be seen that some weather patterns are rather stable and usually transpose into another pattern only after some days; others, however, are very unstable and their relative transition frequencies are the greatest on the first or second day. Better results are expected after inclusion of the upper winds into the classification patterns used.

POVZETEK

V članku smo s teorijo Markovskih verig izračunali relativno pogostost prehodov vremenskih stanj, ki se pojavljajo v Sloveniji. Za ta namen smo uporabili klasifikacijo vremenskih stanj, ki jo je sestavila Majda Vida na osnovi klasifikacije Hess-Brezovskega in jo še dopolnili.

Vremenska stanja v Sloveniji smo določili za vsak dan od 1. januarja 1974 do 31. avgusta 1978 leta. Dobili smo nekaj zanimivih značilnosti pri prehodih posameznih vremenskih stanj, ki smo jih prikazali v tabelah 1-3 in v diagramih 1 do 6.

UVOD

Stanje vremena na nekem območju je med drugim odvisno tudi od minulega vremena. S klasifikacijo vremenskih stanj se je ukvarjalo že precej meteorologov. Za srednjo Evropo je najpomembnejša klasifikacija, ki sta jo razvila Hess in Brezowsky /1/. Za Jugoslavijo in posebej za Slovenijo je že več avtorjev podrobno obdelalo razvoj vremenskih tipov /2,3,4,5/. V tej nalogi smo uporabili klasifikacijo vremenskih tipov, ki jo je sestavila M. Vida, na osnovi Hess - Brezowskega in jo še dopolnili /6/.

Nato smo obdelali prehode vremenskih stanj, kar nam da osnovo za prognozo na osnovi lokalnih in pomanjkljivih podatkov /7/. Skušali smo določiti nekatere osnovne značilnosti in pojavljanja pri zaporedju sinoptičnih stanj.

PODATKI IN METODA

Tipe vremena v Sloveniji smo določili iz nižinskih meteoroloških baričnih polj. Vzeli smo podatke od 1. januarja 1974 do 31. avgusta 1978. leta za vsak dan ob 13. uri.

Določili smo naslednja vremenska stanja:

- 0A - greben azorskega anticiklona sega nad Slovenijo
- 1A - greben vzhodnoevropskega anticiklona sega nad Slovenijo
- 2A - greben se je od zahoda ali severozahoda razširil nad Slovenijo
- 3A - anticiklon nad Alpami
- 4A - anticiklon nad Karpati ali Balkanom
- 5A - srednjeevropski anticiklon sega nad Slovenijo
- 6A - anticiklonsko polje zajema južno Evropo
- 7A - anticiklon sega iznad severne Evrope nad Slovenijo
- 8A - greben med dvema ciklonoma nad Slovenijo
- 9A - most med dvema anticiklonoma nad Slovenijo
- AC - anticiklon zahodno od Slovenije, ciklon vzhodno
- CA - ciklon zahodno od Slovenije, anticiklon vzhodno
- 0C - ciklon prehaja Slovenijo
- 1C - ciklon nad zahodnim oz. severnim Sredozemljem ali Jadranom
- 2C - britanski ciklon sega nad zahodno Sredozemlje
- 3C - biskajski ciklon sega nad Iberski polotok in zahodno Sredozemlje
- 4C - srednjeevropski ciklon sega v Sredozemlje
- 5C - ciklonsko območje nad pretžnim delom Evrope
- 6C - ciklonsko območje nad vzhodno Evropo, Karpati ali Balkanom
- 7C - ciklon nad vzhodnim Sredozemljem
- 8C - skandinavski oz. srednjeevropski ciklon sega na jugu do Alp

Vremenski proces smo obravnavali kot homogeno Markovsko verigo vremenskih stanj. Markovska veriga opisuje prehod fizikalnega sistema iz enega stanja v drugo, ki je možen le v predpisanih trenutkih ($t_1, t_2, \dots, t_n \dots$). Vsako stanje tega sistema pa je odvisno le od prejšnjega. Pri spremembi za en korak lahko ostane sistem v istem stanju ali pa preide v katerega izmed drugih. Za vsako teh možnosti obstoja določena verjetnost P_{ij} . Te verjetnosti tvorijo naslednjo kvadratno matriko:

$$P_1 = \left\| p_{ij} \right\| = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1k} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{k1} & P_{k2} & \dots & P_{kk} \end{vmatrix}$$

Imenujemo jo prehodno matriko ali zakon Markovske verige. V primeru, da preide sistem iz danega stanja po n korakih v kako drugo stanje, pa obstajajo verjetnosti $P_{ij}(n)$, ki tvorijo naslednjo matriko:

$$P_n = \left\| p_{ij}(n) \right\| = \begin{vmatrix} P_{11}(n) & P_{12}(n) & \dots & P_{1k}(n) \\ P_{21}(n) & P_{22}(n) & \dots & P_{2k}(n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{k1}(n) & P_{k2}(n) & \dots & P_{kk}(n) \end{vmatrix}$$

Po formuli $P_n = P_1^n$ lahko matriko P_n neposredno izračunamo. Ta matrika je odvisna le od zakona Markovske verige p_1 in od tega, za koliko korakov gremo v verigi naprej. Vseeno pa je, od katerega poskusa gremo za n korakov naprej in v kakšnih stanjih je sistem v vmesnih poskusih.

Iz našega niza podatkov smo za vsak dan ocenili vremensko stanje. Relativne frekvence prehodov med posameznimi stanji predstavljajo prehodne verjetnosti. S tem smo prehodno matriko P_1 oz. zakon Markovske verige določili. Prehodne matrike čez n korakov smo izračunali iz prehodne matrike P_1 in iz relativnih frekvenc prehodov med posameznimi stanji v n korakih. V našem primeru predstavljajo korake dnevi.

RELATIVNA POGOSTOST PREHODOV VREMENSKIH STANJ V PRVEM DNEVU

Tabela 1 predstavlja matriko prehodov vremenskih stanj v prvem dnevu. Največja verjetnost je, da se vremensko stanje ne spremeni, kar nam dajejo verjetnosti v diagonalni smeri. Le za vremensko stanje 0C je verjetnost 0, kar je razumljivo glede na definicijo: ciklon prehaja Slovenijo. Oglejmo si primere, ko je verjetnost prehodov večja od 15%.

1. Verjetnost prehoda CA v 1C. V primeru, če ciklon nad zahodno Evropo ni stacionaren (26%), je največja verjetnost, da se pomakne v zahodno Sredozemlje (17%).

Tabela 1 Relativna pogostost prehodov vremenskih stanj v 1. dnevu (v procentih)

Table 1 Relative transition frequency of weather patterns on the 1st day (in percents)

	1C	5A	1A	CA	8C	2A	6A	4A	**	5C	3A	AC	2C	7A	8A	6C	3C	0A	9A	4C	0C	7C
1C	48	6	2	3	2	5	0	2	1	2	1	2	2	1	3	9	0	0	1	4	1	5
5A	4	45	10	3	3	2	10	10	1	0	2	0	1	4	1	1	1	0	2	1	0	1
1A	5	3	56	6	3	2	2	8	1	0	2	0	0	3	1	0	3	0	4	2	0	1
CA	17	2	5	26	8	0	0	2	0	2	3	2	6	0	0	9	3	0	11	5	0	3
8C	20	3	0	0	33	10	2	5	0	0	0	4	4	0	2	7	2	0	2	8	0	0
2A	4	29	1	2	5	26	8	8	0	0	3	5	1	3	2	2	0	2	0	1	0	0
6A	3	5	2	1	13	8	43	8	0	0	2	1	2	1	2	3	0	2	2	0	0	0
4A	13	6	4	2	5	2	6	41	3	2	1	0	6	2	0	1	1	0	3	2	0	0
**	2	7	4	0	2	2	0	9	69	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
5C	3	0	3	0	3	0	0	3	0	43	7	3	7	0	7	10	10	0	0	0	0	0
3A	0	7	3	7	3	10	17	13	0	0	20	3	7	3	3	0	0	0	3	0	0	0
AC	2	9	2	4	6	19	0	0	2	0	2	23	0	0	11	2	2	0	9	4	0	2
2C	49	0	0	2	6	0	0	4	0	2	2	0	15	0	4	0	4	0	0	4	4	0
7A	5	11	11	2	0	2	4	4	0	0	0	0	0	51	2	0	0	0	2	5	0	2
8A	5	2	5	14	9	0	5	5	2	0	0	0	0	5	14	5	5	0	12	5	0	0
6C	13	5	2	0	8	13	1	2	1	0	2	8	4	1	5	30	2	0	1	1	0	3
3C	46	0	4	7	0	0	0	0	0	7	0	4	4	0	0	0	18	0	0	11	0	0
0A	0	13	0	0	0	0	0	0	13	0	13	0	0	0	0	25	0	38	0	0	0	0
9A	12	7	0	10	5	8	5	2	0	2	0	8	0	2	2	0	0	2	34	0	0	2
4C	25	0	0	0	5	6	0	0	0	3	0	3	2	0	0	20	2	0	2	28	0	6
0C	20	0	0	0	0	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0	0
7C	11	17	3	3	6	6	0	3	3	0	3	3	0	6	3	14	3	0	0	6	0	14

- Verjetnost prehoda 8C v 1C. Razvoj pri tem prehodu je precej pogost (20%). Pomeni pa nastanek ciklona v zahodnem oz. severnem Sredozemlju (Genovski ciklon) na hladni fronti, ki poteka iz ciklona nad Skandinavijo oz. Srednjo Evropo.
- Verjetnost prehoda iz 2A v 5A. V tem primeru se je središče anticiklona pomaknilo iznad zahodne nad srednjo Evropo (29%).
- Verjetnost prehoda iz 3A v 6A. Ta primer daje pomik anticiklona iznad Alp nad južno Evropo (17%).
- AC v 2A (19%). Ta primer pomeni razširitev anticiklona iznad zahodne Evrope nad Slovenijo.
- 2C v 1C (49%). V tem primeru se ciklonska aktivnost prenaša iznad Velike Britanije v zahodno Sredozemlje. Verjetnost, da ostane ciklon nad Veliko Britanijo pa je le 15%.
- 3C v 1C. Tudi biskajski ciklon se največkrat pomakne v zahodno Sredozemlje (46%). Ciklonska aktivnost nad Biskajskim zalivom pa je bila stacionarna le v 18%.
- Prehod 0A v 6C. Razpad azorskega anticiklona in nastanek vzhodno-evropskega ciklona je razmeroma pogost (25%). V 38% ostane Slovenija še naprej pod vplivom azorskega anticiklona. Po 13% pa je verjetnost, da preide azorski anticiklon v srednje-evropskega, ali v anticiklon s središčem nad Alpami.
- Prehod 4C v 1C. Prehod srednjeevropskega ciklona v zahodno oz. severno Sredozemlje je zastopan s verjetnostjo 25%.

Pestra je razporeditev verjetnosti prehodov 0C v druga vremenska stanja.

Vremensko stanje 0C nad Slovenijo preide z verjetnostjo 20% v 2A in 4A, ter z enako verjetnostjo v 1C, 4C ali 6C.

Iz vpliva ciklona nad vzhodnim Sredozemljem (7C) preide Slovenija pod vpliv srednjeevropskega anticiklona (5A) v 17%.

RELATIVNA POGOSTOST PREHODOV VREMENSKIH STANJ V DRUGEM DNEVU

Tudi tu se v diagonalni smeri pri večini vremenskih stanj pojavljajo največje vrednosti (Tabela 2). Pri verjetnosti 15% ali več se pojavljajo isti primeri kot pri prvem koraku. Poleg teh pa se je pojavilo tudi nekaj novih.

Tabela 2 Relativna pogostost prehodov vremenskih stanj v 2. dnevu (v procentih)

Table 2 Relative transition frequency of weather patterns on the 2nd day (in percents)

	1C	5A	1A	CA	8C	2A	6A	4A	**	5C	3A	AC	2C	7A	8A	6C	3C	0A	9A	4C	0C	7C
1C	35	9	5	5	6	6	0	4	1	2	1	2	3	2	1	7	0	0	0	5	0	3
5A	6	28	9	2	6	5	8	12	1	1	2	1	2	6	0	2	1	1	4	2	1	1
1A	13	5	35	4	5	6	3	10	0	1	2	0	2	3	2	1	2	1	6	0	0	0
CA	15	0	8	14	12	3	0	3	0	2	2	6	5	0	3	9	6	0	5	2	0	8
8C	23	3	0	2	13	10	6	8	0	1	1	6	3	1	4	8	2	1	2	5	0	2
2A	8	18	3	5	10	13	12	5	0	2	1	2	2	3	3	6	1	1	1	5	0	2
6A	10	15	3	3	7	7	21	11	0	1	1	2	4	1	2	7	1	1	1	1	0	1
4A	19	10	7	1	5	5	6	20	2	2	2	0	6	2	2	1	2	0	3	3	1	2
**	4	4	4	0	2	0	2	7	67	0	2	0	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0
5C	13	0	3	3	7	3	3	7	7	13	3	7	10	0	7	3	7	0	0	3	0	0
3A	13	10	0	3	0	7	17	13	0	0	13	3	3	0	0	0	0	7	3	3	3	0
AC	11	9	4	6	2	15	9	2	0	0	2	11	0	2	9	4	0	0	11	4	0	0
2C	26	6	0	2	11	0	2	4	2	6	0	0	6	2	4	15	4	0	0	4	2	2
7A	9	15	18	7	0	0	5	7	0	0	2	2	0	25	2	2	0	0	0	4	0	2
8A	19	0	5	12	7	2	0	0	2	2	2	2	2	9	2	2	2	0	12	5	0	2
6C	13	14	3	2	8	8	5	6	0	0	3	4	1	2	7	13	4	0	2	2	0	5
3C	29	0	11	0	0	0	0	4	0	11	0	4	0	0	7	7	4	0	4	18	0	4
0A	25	25	0	0	0	0	13	0	13	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9A	7	10	2	7	3	5	3	3	0	2	0	12	0	3	0	3	2	2	29	5	0	2
4C	20	3	0	0	6	12	0	3	2	2	2	6	3	0	3	20	2	0	3	12	0	2
0C	40	0	20	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
7C	14	11	0	8	0	11	8	6	6	0	0	3	0	3	0	11	3	0	3	6	0	8

Prehod 6A v 5A pomeni nastanek anticiklona nad srednjo Evropo.

Verjetnost prehoda stanj iz 4A v 1C je bila v prvem dnevu 13%, pa 19%, kar kaže na obnovljeno ciklogenezo v zahodnem Sredozemlju. Stanje vreme na 0A je v drugem dnevu prešlo s 25% verjetnostjo v 1C, 5A ali 3A, kar pomeni, da je azorski anticiklon prešel v ciklon v zahodnem Sredozemlju ali v anticiklon nad srednjo Evropo ali Alpami. Prehod stanja 4C v 6C (20%) pomeni dvodnevni pomik ciklona iznad srednje Evrope nad zahodno. Prehod stanja 0A v 1C kaže, da ostane po prehodu središča ciklona preko Slovenije v 40% verjetnosti ciklonska aktivnost še nad zahodnim oz. severnim Sredozemljem.

Po 20% verjetnosti pa kaže na razširitev zahodno-evropskega (0C v 1A, 0C v 2A), in vzhodnoevropskega anticiklona nad Slovenijo (0C v 4A). Pomik britanskega ciklona nad vzhodno Evropo je v drugem koraku 15% (2C v 6C), medtem ko je po prvem koraku 0, kar je razumljivo glede na počasnejši pomik večjih ciklonskih območij.

V drugem dnevu se poveča verjetnost pomika vremenskega stanja 3C v 4C na 18% (v prvem dnevu 11%), kar pomeni, da je počasnejši dvodnevni pomik biskajskega ciklona nad srednjo Evropo pogostejši, kot pa hitrejši enodnevni.

RELATIVNA POGOSTOST PREHODOV VREMENSKIH STANJ V TRETJEM DNEVU

Nekoliko še izstopajo vrednosti v diagonalni smeri (tabela 3), kar kaže, da se nekatera vremenska stanja po treh dneh obnavljajo ali še vztrajajo. Tako se zadržuje anticiklon nad srednjo Evropo (5A) po treh dneh še z verjetnostjo 22%, greben vzhodnoevropskega anticiklona, ki sega v Slovenijo (1A) vztraja še z verjetnostjo 28%. Anticiklon se zadržuje nad Karpati ali Balkanom (4A) z verjetnostjo 15%, anticiklon zahodno in ciklon vzhodno od Slovenije (AC) z verjetnostjo 17%, anticiklon, ki sega nad Slovenijo iznad severne Evrope (7A) z verjetnostjo 15%, in po treh dneh je Slovenija med dvema anticiklonoma (9A) še z verjetnostjo 25%.

Tudi iz teh podatkov je razvidno, da so anticiklonalna vremenska stanja dolgotrajnejša od ciklonalnih. Izjema je ciklon nad zahodnim oz. severnim Sredozemljem, ki vztraja ali pa se ponovno pojavi po treh dneh z verjetnostjo 29%. Prehodi vremenskih stanj se po treh dneh porazdelijo razmeroma enakomerno v druga stanja in le manj jih je z verjetnostjo več od 15%. Značilen je prehod stanja 0A v 6A z verjetnostjo 38%, ki pomeni pomik azorskega anticiklona nad južno Evropo. Greben azorskega anticiklona, ki sega nad Slovenijo (0A) preide z verjetnostjo 25% v anticiklon s središčem nad Alpami (3A).

Tabela 3 Relativna pogostost prehodov vremenskih stanj v 3. dnevu (v procentih)
 Table 3 Relative transition frequency of weather patterns on the 3rd day (in percents)

	1C	5A	1A	CA	8A	2A	6A	4A	**	5C	3A	AC	2C	7A	8A	6C	3C	0A	9A	4C	0C	7C
1C	29	9	6	5	6	8	1	5	1	3	1	2	2	3	1	7	2	0	2	4	0	2
5A	11	22	7	2	6	4	9	12	1	2	1	1	2	8	0	4	2	1	3	1	0	2
1A	13	9	28	3	8	6	5	8	0	2	2	2	3	3	3	1	0	2	3	0	0	0
CA	15	5	5	11	8	5	3	6	0	2	3	2	6	0	6	6	6	0	6	3	0	5
8C	17	6	0	2	11	8	7	7	1	1	3	2	4	2	3	11	1	2	2	8	1	22
2A	12	11	3	5	8	11	13	6	0	5	2	3	6	2	0	6	0	0	1	6	0	3
6A	12	16	2	4	9	5	12	12	0	0	3	2	2	2	1	8	1	0	3	2	0	1
4A	20	10	13	2	6	4	2	15	1	0	2	1	6	0	2	3	1	0	2	4	2	2
**	4	4	4	0	0	0	2	9	62	0	0	2	0	2	2	0	0	2	4	0	0	0
5C	13	7	0	0	3	3	7	7	10	10	7	3	3	3	3	3	10	0	00	3	3	0
3A	23	3	0	0	7	3	7	20	0	0	7	7	0	0	0	7	3	7	0	3	0	3
AC	6	6	4	6	4	13	9	2	0	0	6	17	0	4	2	4	2	0	9	0	0	4
2C	30	4	6	2	11	4	2	2	0	0	0	4	6	2	9	9	0	0	0	6	0	2
7A	11	16	11	5	0	4	9	7	0	4	2	0	0	15	9	0	0	0	0	4	0	4
8A	19	5	5	9	5	9	0	0	5	2	0	7	5	7	2	7	5	0	2	0	0	7
6C	16	12	4	3	3	8	7	5	1	1	0	5	1	3	9	9	3	0	4	7	0	2
3C	18	4	18	4	4	0	0	7	0	4	0	0	0	0	0	14	4	0	0	18	0	7
0A	13	13	0	0	0	0	38	0	0	0	25	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9A	17	14	2	8	5	2	2	3	2	0	2	5	0	5	0	5	2	0	25	2	0	0
4C	20	11	0	2	6	15	2	5	2	2	0	2	3	0	6	14	0	0	5	8	0	0
0C	0	40	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0	0	0	0	0
7C	11	14	6	8	8	6	6	6	3	0	0	3	3	0	3	14	0	0	6	3	0	3

Za prehodom ciklona prek Slovenije (0C) je verjetnost 40%, da nastane ali se zadržuje po treh dneh nad srednjo Evropo anticiklon (5A) in po 20% za anticiklon nad Karpati (4A), britanski (2C) in biskajski ciklon (3C).

Prehod biskajskega ciklona (3C) po treh dneh v srednjeevropskega (4C) je zastopan z verjetnostjo 18% in z enako verjetnostjo v ciklon nad zahodnim oz. severnim Sredozemljem (1C).

Na diagram 1 smo vrisali relativno pogostost prehodov vremenskega stanja 3C (Biskajski ciklon sega nad Iberski polotok in zahodno Sredozemlje) v stanje 2A (greben se je od zahoda ali severozahoda razširil nad Slovenijo). Sprememba prvega vremenskega stanja v drugega se pojavi šele po štirih dneh, največja relativna pogostost pa je v petem dnevu.

Tak razvoj je razumljiv, saj se mora biskajski ciklon pomakniti prek zahodne in srednje Evrope proti vzhodu in za njim se šele lahko razširi nad Slovenijo območje visokega zračnega pritiska. Relativna pogostost prehodov teh vremenskih stanj nato postopoma pade, nov porast pa se prične po 18. dnevu.

Prehod srednjeevropskega ciklona v ciklon nad vzhodno Evropo (4C v 6C) predstavlja normalen razvoj teh dveh vremenskih stanj. Relativno pogostost teh pomikov smo vrisali na diagram 2. Pomiki so hitri, zato je relativna pogostost v prvem in drugem dnevu najvišja (20%) nato pa se postopoma znižuje. Dva viška opazimo še v petem in devetem dnevu (po 17%), kar lahko imamo za pojav novih ciklonov.

Na diagramu 3 smo vrisali prehod vremenskega stanja, če je ciklon zahodno od Slovenije in anticiklon vzhodno, v stanje, ki ga predstavlja srednjeevropski anticiklon (CA v 5A). Tudi tu se mora ciklon pomakniti prek srednje Evrope proti vzhodu, da se lahko za njim zgradi anticiklon nad srednjo Evropo. V prvih dneh je zato relativna pogostost prehodov nizka, nato pa se postopoma zvišuje. Najvišjo vrednost 17% doseže v osmem dnevu in nato se spet niža, vendar pa je med desetim in dvajsetim dnevom še med 8 in 14%.

Diagram 4 prikazuje relativno pogostost prehodov biskajskega ciklona v srednjeevropski ciklon (3C v 4C).

Vidimo, da dosežejo ti prehodi najvišjo vrednost 18% že v drugem in tretjem dnevu ter nato v sedmem dnevu. Nato relativna pogostost pada, višjo vrednost, 11%, pa doseže spet med 11. in 13. dnevom ter v 18. dnevu.

Diagram 5 prikazuje prehod britanskega ciklona v stanje ko je anticiklonsko polje nad južno Evropo (2C v 6A). Do treh dni so vrednosti relativnih pogostosti prehodov nizke, v četrtem dnevu pa dosežejo vrednost 17%. Drugi vrh je v osmem in tretji v sedemnajstem dnevu.

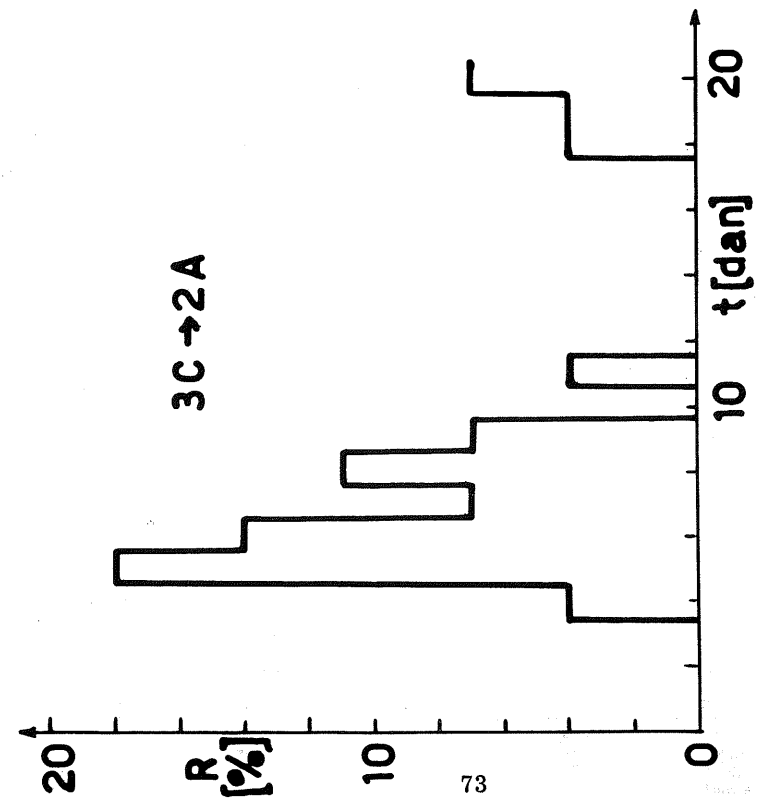
Diagram 6 nam prikazuje prehode vremenskih stanj 5C v 5A, kar pomeni, da nastane po ciklonu, ki se je zadrževal nad pretežnim delom Evrope nad srednjo Evropo območje visokega zračnega pritiska. Glede na obsežnost ciklona je razumljivo, da v prvih dveh dneh ni prehodov iz 5C v 5A. Po tretjem dnevu prične relativna pogostost prehodov naraščati in najvišjo vrednost, 17%, doseže v šestem dnevu. Po tem dnevu se ponovno zniža in doseže v 10. in 11. dnevu vrednost 0%. V 14., 15. in 16. dnevu se zviša na 13% in po manjšem padcu doseže v 20. dnevu vrednost 17%.

ZAKLJUČEK

V tem članku smo z uporabo teorije Markovskih verig izračunali relativno pogostost prehodov vremenskih stanj, ki vplivajo na vreme v Sloveniji. Rezultate lahko uporabimo pri prognozi vremena le kot pripomoček za oceno teh prehodov. Zaradi razmeroma kratkega niza podatkov nismo računali verjetnosti v matematičnem smislu, temveč le relativno pogostost, ki pa nam lahko predstavlja približno tudi verjetnost. Ugotovili smo splošne značilnosti prehodov vremenskih stanj, ki so po izkušnjah poznane že iz vsakodnevnega dela pri prognozi vremena.

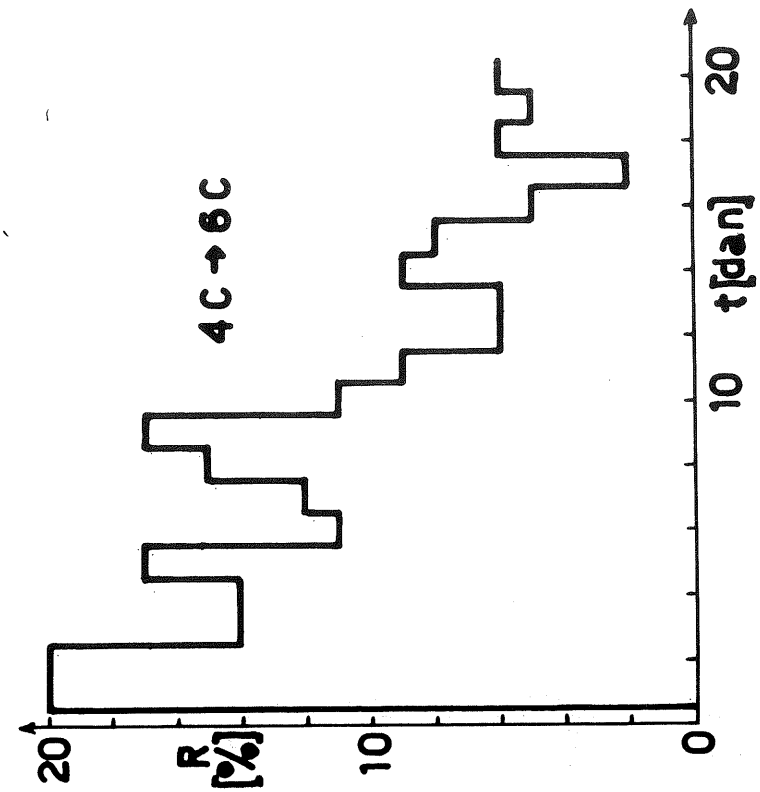
Pri nekaterih vremenskih stanjih - posebno anticiklonalnih - se je pokazalo, da so po dveh ali treh dneh relativne pogostosti prehodov večje od tistih v prvem dnevu, kar je razumljivo glede na večjo stabilnost teh stanj.

Za povezavo lokalnega vremena s splošno sinoptično sliko pa moramo vključiti v klasifikacijo vremena tudi višinsko cirkulacijo. To pa je predmet nadaljevanja tega dela.



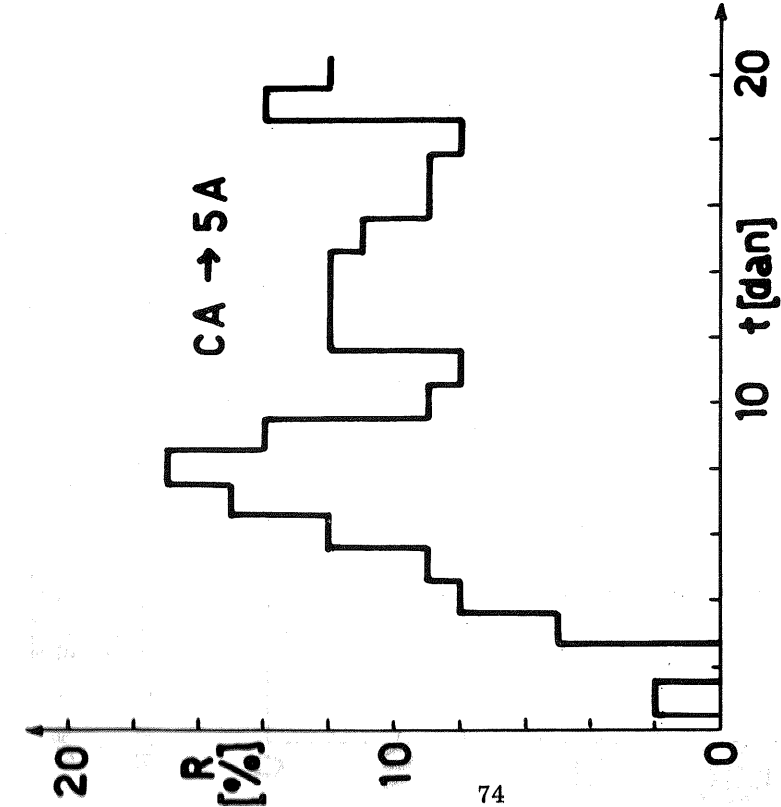
Slika 1 Relativna pogostost prehodov vremenskega stanja 3C v 2A do 20. dneva

Fig. 1 Relative transition frequency of weather pattern 3C to 2A until the 20th day



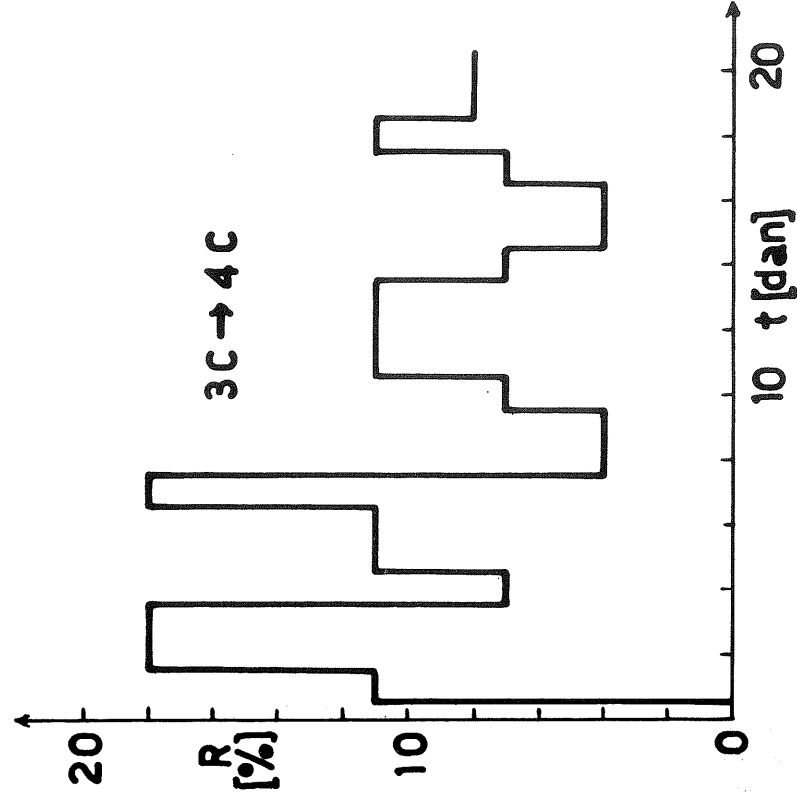
Slika 2 Relativna pogostost prehodov vremenskega stanja 4C v 6C do 20. dneva

Fig. 1 Relative transition frequency of weather pattern 4C to 6C until the 20th day



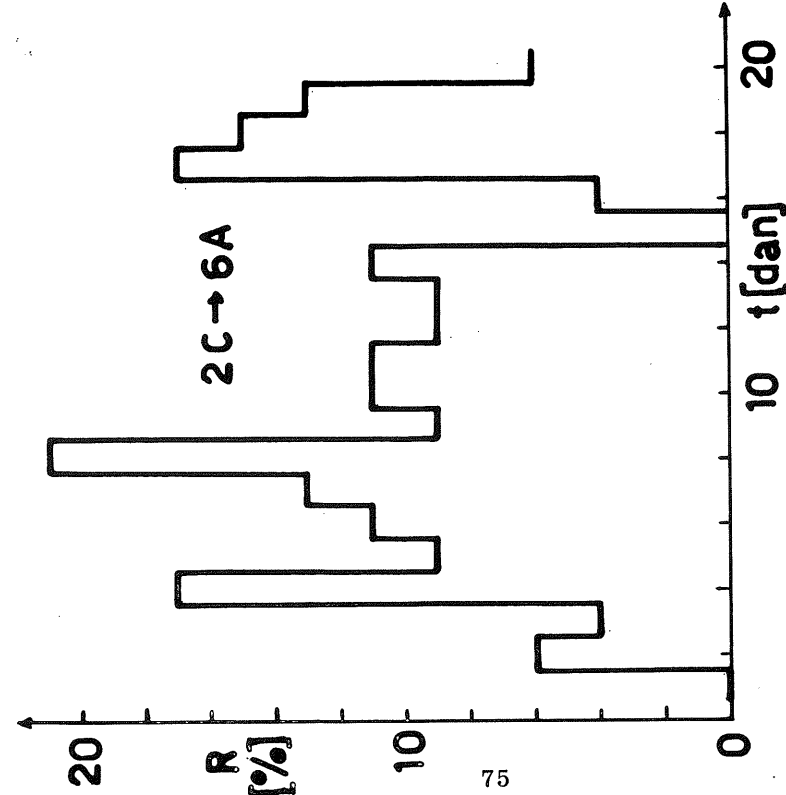
Slika 3 Relativna pogostost prehodov vremenskega stanja CA v 5A do 20. dneva

Fig. 3 Relative transition frequency of weather pattern CA to 5A until the 20th day



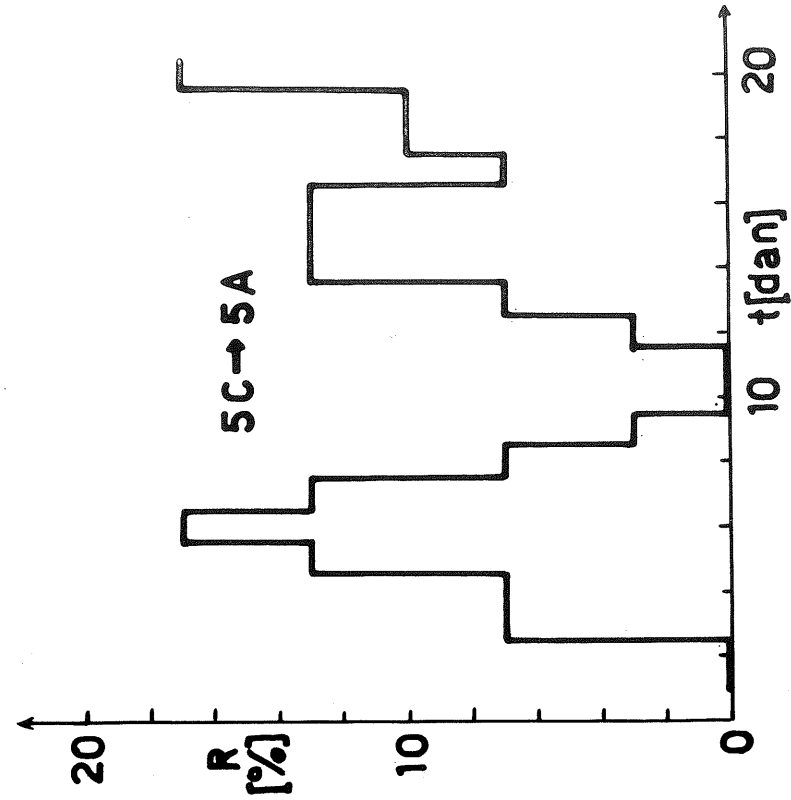
Slika 4 Relativna pogostost prehodov vremenskega stanja 3C v 4C do 20. dneva

Fig. 4 Relative transition frequency of weather pattern 3C to 4C until the 20th day



Slika 5 Relativna pogostost prehodov vremenskega stanja 2C v 6A do 20. dneva

Fig. 5 Relative transition frequency of weather pattern 2C to 6A until the 20th day



Slika 6 Relativna pogostost prehodov vremenskega stanja 5C v 5A do 20. dneva

Fig. 6 Relative transition frequency of weather pattern 5C to 5A until the 20th day

LITERATURA

- /1/ HESS-BREZOWSKY: Katalog der Grossewetterlagen Europas, Offenbach 1969.
- /2/ ČADEŽ M.: Vreme u Jugoslaviji, Razprave - Papers, Prirodnomatemički fakultet, Beograd 1964.
- /3/ ČADEŽ M.: Analiza vremena u FNR Jugoslaviji u 1951 godini, Rasprave i studije 5, Izdanje Savezne Hidrometeorološke službe FNR Jugoslavije, Beograd 1954.
- /4/ HOČEVAR A.: Prikaz vremena nekaterih krajev Slovenije z lokalnimi vremenskimi tipi, Razprave - Papers VII, Društvo meteorologov Slovenije, Ljubljana 1966.
- /5/ PETKOVIČ Z.: Vreme v Sloveniji in njegov razvoj po regionalnih vremenskih tipih, Razprave - Papers VIII, Društvo meteorologov Slovenije, Ljubljana 1967.
- /6/ VIDA M.: Poskus ocene vremenskih procesov v Sloveniji z ozirom na vremenske situacije, Razprave - Papers XVII, Društvo meteorologov Slovenije, Ljubljana 1974.
- /7/ ŽITNIK L. in sodelavci: Objektivna prognoza vremena, 1.del, Meteorološki zavod SRS, Ljubljana 1979.
- /8/ JAMNIK R.: Verige in procesi Markova, Obzornik za matematiko in fiziko, leto VI, št. 2, Ljubljana 1957 - 58.

VPLIV RELIEFA NA NUMERIČNO NAPOVEDAN DNEVNI HOD
TEMPERATURE PRIZEMNE PLASTI ZRAKA

THE INFLUENCE OF RELIEF ON THE NUMERICALLY PREDICTED
DAILY COURSE OF THE TEMPERATURE NEAR THE GROUND

551.524:551.509.333:681.177

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

SUMMARY

Some extensions of a published model for numerical prediction of ground and surface-air temperature /8/ based on the energy-balance of the ground are presented. A new formulation of long-wave radiation has been introduced and a method for reduction of Wangara turbulence data has been developed, to make these data useful for simulations in other places and other seasons.

With such a model several numerical simulations were made, giving daily courses of the air temperature near the ground for various locations. Daily courses depend on astronomical, meteorological and topographical conditions. For example, in clear-sky conditions the daily temperature amplitude varies from 7°C in December to 18°C in August above a slope with an inclination of 10 deg., looking south east. The times of daily maxima and minima vary during the year, as well. The minimum in April is attained at 5 a.m., in June at 4 a.m. and than every later; in December at 8 a.m.. The maximum in April is reached at 3 p.m., in June at 4p.m. and than again sooner; in August at 3 and in October and December at 2 p.m..

Most attention was paid to differences among slopes. In April, in clear-sky conditions, for example, the predicted daily amplitude of air temperature above a horizontal surface was 17°C, though above slope with a 10 deg. inclination looking south it was 19°C and above a slope looking north 15°C. There are also differences between inclinations; the greater the angle of inclination, the greater the air-temperature amplitude. A slope with a 35 deg. inclination again in April, has an air-temperature amplitude of 20°C, that with 10 deg. has a 19°C amplitude, that with 5 deg. has an 18°C amplitude and above horizontal ground, as already mentioned, the amplitude is 17°C.

Wangara turbulence data were obtained at a particular location and at a particular time. To use them in present model they had to be reduced to

the location and time for which the simulations were done. They were reduced in such way, that they had been multiplied by scalar product of two unit vectors; that one normal from the ground and the one in the direction to the Sun. Only about midday the turbulence data were held constant, such as they were at 10 a.m.. The factor for reduction of the turbulence data is given by Eq. (2).

The results of the present model show that differences among air-temperatures above various slopes are considerable, but bearing in mind that advection is not incorporated into the model, they seem to be well simulated.

POVZETEK

Prikazani so vplivi različnih nagibov tal na numerično napovedan dnevni hod temperature zraka 2 m nad tlemi. V numeričnem modelu so v primerjavi z že objavljeno verzijo /8/ izvedene nekatere spremembe: na novo je simulirano dolgovalovno sevanje in za prehod v naše geografske širine ter za različne letne čase so reducirani podatki Wangara o turbulenci.

Dnevni hodi kažejo precejšnjo odvisnost od letnega časa, tako glede amplitud kot glede časa nastopov minimalnih in maksimalnih vrednosti. Razlike so tudi med različno orientiranimi in nagnjenimi pobočji, in so glede na to, da v model ni vključena advekcija, dobro simulirane.

UVOD

Napoved temperature zraka pri tleh je pomembna naloga meteorologije, saj poznavanje temperature pri tleh ni samo del splošne napovedi vremena, temveč temperatura zraka pri tleh močno vpliva na mnoga dogajanja v ozračju. Omenimo prosto konvekcijo, temperaturne inverzije pri tleh, z njimi povezane pozebe, roso in poledico, pa lokalne vetrove po pobočjih in še kaj.

Obstajajo najrazličnejše metode za napoved temperature zraka pri tleh: npr. izkustvena metoda sinoptikov na podlagi poznavanja napovedi v višjih plasteh ozračja, Bruntova /1/ metoda analitične rešitve difuzijske enačbe s konstantnimi koeficienti in Groenova /2/ z nekonstantnimi koeficienti. Mnoge moderne metode so statistične; povezujejo temperaturo pri tleh z rezultati modelov za numerično napoved stanja v višjih plasteh ozračja /3/. Tu bomo uporabljali metodo, ki jo je na osnovi izsledkov Bhumralkarja /4/ in Blackadarja /5/ jugoslovanskemu modelu za numerično napoved vremenskih kart priredil Rakovec /6/. Metoda je numerična, osnovana je

na enačbi energijske bilance tal in upošteva sončno obsevanje, dolgovalovno sevanje tal in atmosfere, tok zaznavne in latentne toplote ter tok toplote v tleh. Natančneje je opisana v /7 in 8/, tu pa bomo navedli spremembe, ki smo jih vpeljali v model za napoved temperature pri tleh po oddaji /8/ v tisk.

Izboljšave modela

Že v /8/ je omenjeno, da je bil način, s katerim smo predstavili dolgovalovno sevanje v modelu, nekoliko nestabilen. Zato smo poiskali nov način. Ob oblačnem nebu še vedno računamo, da je prispevek, ki pride k tlom od oblakov, le tri desetine vsega sevanja oblakov: sedem desetih se na poti do tal absorbira v ozračju. Podoben razmislek velja tudi za sevanje ob jasnem nebu: v atmosferskem oknu gre od tal neovirano v vesolje tri desetine sevanja tal, drugo absorbira zrak blizu tal in izseva nazaj navzdol. Ker sta si absolutni temperaturi tal in zraka pri tleh različni za največ nekaj odstotkov, zanemarimo razlike v gostotah izsevanega toka iz tal in iz zraka pri tleh. Tako velja:

$$j_{R1} = 0.3 \sigma \epsilon_g \left[-T_g^4 + \epsilon_c \frac{n}{N} T_c^4 \right] \quad (1)$$

kar nadomesti izraz (6) v /8/. Ob jasnem vremenu je seveda oblačnost n/N enaka nič.

Ob tako določeni gostoti dolgovalovnega sevanja moremo tudi zmanjšati tok zaznavne in latentne toplote v vertikalni smeri v zraku pri tleh. Sedaj lahko uporabljamo vrednosti, kot so bile izmerjene med 11. in 14. dnevom na ekspediciji Wangara, in kot jih podaja Yamada /9/. Pri prvih poskusih /8/ smo uporabljali približno trikrat manjše vrednosti, take, kot so bile npr. izmerjene 36. dne, ko je bila turbulentna izmenjava šibka.

Poprečne in izglajene vrednosti za dneve 11. do 14. popravljamo le toliko, da upoštevamo drug letni čas in drugo geografsko širino. Izberemo korekcijo z upoštevanjem vpadnega kota sončnih žarkov in okrog poldneva štiri ure konstantno intenzivnost turbulence:

$$k = \begin{cases} \vec{n} \cdot \vec{s}(t) & \text{za } |t - 12^h| > 2^h \\ \vec{n} \cdot \vec{s}(10^h) & \text{za } |t - 12^h| \leq 2^h \end{cases} \quad (2)$$

Tu je \vec{n} enotni vektor normale iz tal, \vec{s} pa enotni vektor proti soncu. Ta način je primeren pri različno orientiranih nagibih tal.

Razen omenjenih dveh sprememb, je model za računanje temperature tal in zraka pri tleh tak, kot je opisan v /8/; tudi temperaturo zraka določamo po Monteithu /10/, saj so tudi nadaljni poskusi pokazali, da je ta način ustrezen.

Poskusi, ki jih bomo opisali, so narejeni za primer povsem jasnih dni in sicer za različno nagnjena in orientirana pobočja. Lahko rečemo, da so to pobočja idealiziranih kotlin z različnimi nagibi. Ponovno poudarimo, da v modelu ni upoštevana advekcija, ki bi simulirane temperaturne razlike med lokacijami seveda zmanjšala.

VHODNI PODATKI

Model potrebuje za računanje temperature tal in temperature prizemne plasti zraka številne začetne podatke. Pri teh računih rabimo solarno konstanto (S_0 je 1353 W m^{-2}), podatek o zemljepisni širini, na kateri leži naša idealizirana kotlina (φ je $45,5^\circ\text{N}$), in podatka o parcialnih transmisijskih koeficientih atmosfere glede na absorpcijo in glede na razpršitev (q_a in q_s sta 0,90). Prav tako moramo vedeti, za kateri dan v letu računamo to vrednost, saj sta z letnim časom povezana relativna odaljenost med soncem in zemljo in zenitni kot sonca, pa tudi albedo tal; vzamemo, da so vedno tla kopna z albedom okrog 0,20.

Gostoto toka dolgovalovnega neto sevanja računamo s temperaturo tal, ki jo v modelu računamo. Za emisivnost tal, ki nastopa v enačbi (1), smo privzeli konstantno vrednost (0,95). Vrednosti vodne vsebine tal, nasičenih z vodo, povzemamo po Matičiču /11/, pri čemer so le-te v naslednji zvezi z maksimalno vodno vsebino tal

$$x_s = 0,84 \cdot x_{\max} \quad (3)$$

V pričujočem prikazu uporabljamo vse leto konstantno vrednost vodne vsebine tal, ki je enaka 0,35 in predstavlja okoli 75% vodne vsebine tal nasičenih z vodo.

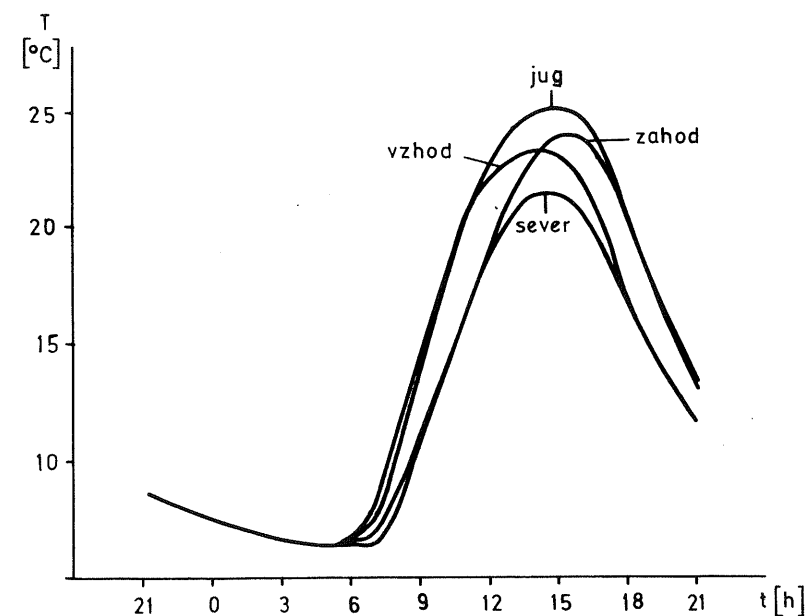
Pri računanju temperature tal uporabljamo mesečna poprečja temperatur tal ob 21. uri in mesečna poprečja dnevni temperatur tal, oboje v globlini 2 cm. Te vrednosti so vzete iz opazovanj za Novo mesto za desetletno opazovalno dobo 1968-1977 /13/.

REZULTATI

Na opisani način smo izračunali dnevne poteke temperature prizemne plasti zraka na osmih različno orientiranih pobočjih kotline (štiri glavne in štiri

ri stranske strani neba), za šest različnih nagibov (0° , $2,5^\circ$, 5° , 10° , 20° in 35°), za šest dni v letu (21. marec, 17. april, 17. junij, 17. avgust, 17. oktober in 17. december). Glede na obilico dobljenih rezultatov, med katerimi je neka podobnost, se bomo v našem prikazu omejili. Podrobneje bomo prikazali posamezne odvisnosti dnevnega poteka temperature prizemne plasti zraka: od orientacije, od letnega časa in od nagiba. Odvisnost od nagiba je za čas segrevanja prizemne plasti zraka še nekoliko podrobneje prikazana, in to za nekorigiran in korigiran tok zaznavne toplote, ki je povzet po ekspediciji Wangara.

Oglejmo si najprej odvisnost dnevnih potekov temperature prizemne plasti zraka od lokacije (slika 1). Razlike, ki se pojavljajo med lokacijami, bi sicer pojav advekcije zmanjšal vendar se kljub temu kar dobro skladajo z našimi merjenji /14/, pa tudi z merjenji drugih avtorjev /15/. Vrednosti so tudi v okviru izmerjenih amplitud v Sloveniji /12/.



Slika 1 Dnevni poteki temperature zraka pri tleh po modelu na pobočjih z nagibom 10° st., orientiranih proti štirim smerem neba za 17. april ob jasnem vremenu.

Fig. 1 Daily courses of air-temperature according to model above slopes with a 10° inclination, looking in four directions, for April 17 and clear-sky conditions.

Časi nastopov minimumov in maksimumov po modelu so na različno orientiranih pobočjih različni, kot je različna tudi amplituda. Minimalna temperatura prizemne plasti zraka je na pobočju, orientiranem proti vzhodu, dosežena ob 5. uri, maksimum pa ob 14. uri; na pobočju, orientiranem proti jugu, je minimum dosežen med 5. in 6. uro, maksimum, ki je najvišji na tem pobočju ($25,3^{\circ}\text{C}$) pa ob 15. uri. Na pobočju, orientiranem proti zahodu, je minimum, ki je na tem pobočju najnižji ($6,1^{\circ}\text{C}$), dosežen ob 7. uri, maksimum pa ob 16. uri.

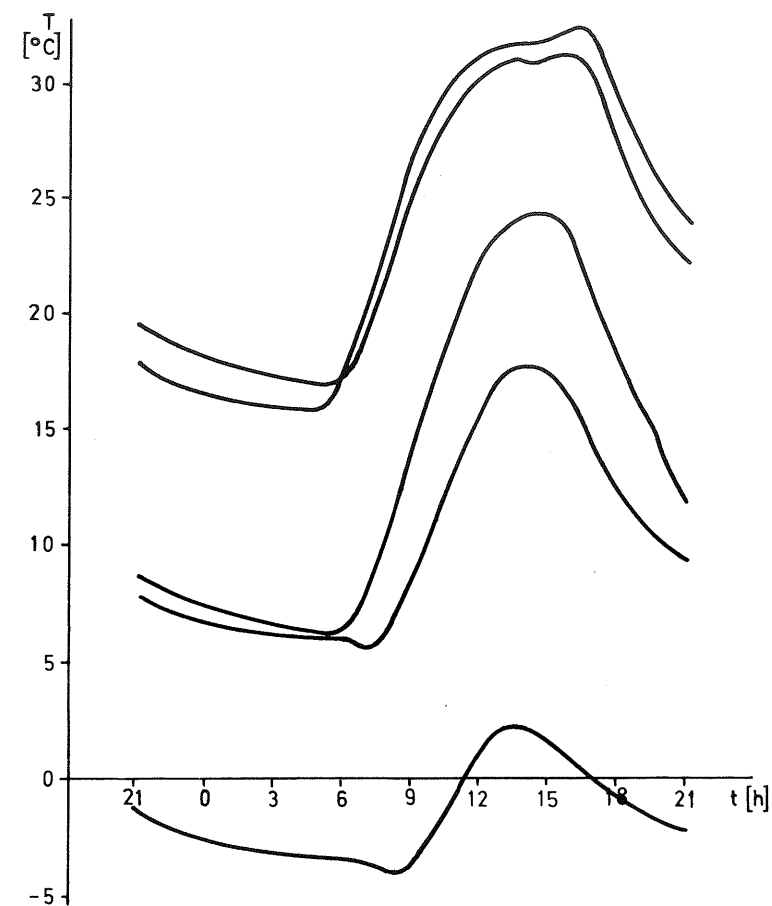
Spremembe dnevnih potekov temperature zraka pri tleh po modelu med letom bomo prikazali na naslednjem primeru. Izbrali smo pobočje, orientirano proti jugovzhodu, z nagibom 10° in zanj izračunali dnevne poteke za naslednje dneve: 17. april, 17. junij, 17. avgust, 17. oktober in 17. december (brez snežne odeje). Ti dnevni poteki so prikazani na sliki 2.

Ugotovimo lahko, da so simulirani poteki v okviru opazovanih vrednosti, s tem da so amplitude večje od tistih za poprečne razmere /12/. Skupna značilnost krivulj je, da se časa nastopov ekstremnih temperatur zraka iz meseca v mesec spreminjata (slika 3). Kvalitativno se letna poteka časa nastopa ekstremnih temperatur skladata z opazovanimi v Sloveniji /12/; nekoliko bolj časi nastopanja minimalnih temperatur, ki so vezani na vzhod sonca.

Letni hod amplitud po modelu je prikazan na sliki 4. Če amplitude po modelu primerjamo z izračunanimi iz srednjih mesečnih ekstremnih temperatur /12/, dobimo dobro ujemenje letnega hoda od avgusta do decembra; junija in aprila so po modelu izračunane amplitude večje od avgustovskih, po izmerjenih podatkih pa manjše. Tudi na splošno so izračunane amplitude nekoliko večje (za stopinjo ali dve) od tistih, ki so ocenjene po podatkih /12/. To je posledica tega, da smo imeli v modelu v poskusu, ki ga prikazujemo, jasne dni, v poprečju pa temu ni tako. V poskusih, ko smo vključili poprečno trajanje sončnega obsevanja so tudi po modelu izračunane amplitude manjše /16/. Omenimo spet, da v modelu nimamo advekcije, da je teren nagnjen, predvsem pa to, da smo imeli v pričujočem poskusu za vse mesece enako vodno vsebino tal. Ker smo pokazali /8/, da vodna vsebina tal zelo vpliva na dnevni potek temperature, smemo sklepati, da bi tudi aprilske in junijske amplitude približali onim po podatkih, saj bi se npr. aprilska bolj mokra tla tudi v modelu manj segrevala od avgustovskih bolj suhih (modificirani Walterjev diagram /17/).

Odvisnost dnevnega poteka temperature zraka pri tleh od nagiba, ki jo bomo prikazali za pobočje, orientirano proti jugovzhodu za 17. april, ima naslednje značilnosti. Z večanjem nagiba pobočja se viša maksimalna temperatura zraka, čas njenega nastopa pa se pomika vse bolj proti poldnevu (slika 5), medtem, ko se minimalna temperatura in čas njenega nastopa praktično ne spreminjata. Model pokaže, da je na ravnini dosežena maksim-

alna temperatura prizemne plasti zraka ($23,0^{\circ}\text{C}$) ob 15. uri, na pobočju nagnjenem za 35° pa $25,6^{\circ}\text{C}$ ob 13. uri.

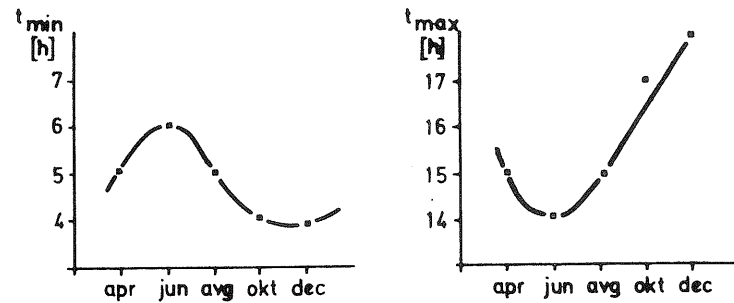


Slika 2 Dnevni poteki temperature zraka pri tleh po modelu na pobočju z nagibom 10 st., orientiranem proti jugovzhodu za različne dni v letu ob jasnem vremenu.

Fig. 2 Daily courses of air-temperature according to model above a slope with a 10 deg. inclination, looking south east, for different days and clear-sky conditions.

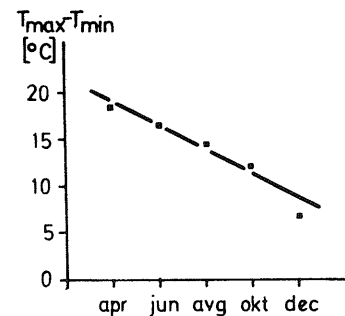
Odvisnost dnevnega poteka temperature zraka pri tleh od nagiba bomo za čas segrevanja prikazali podrobneje za nekorigiran in korigiran dnevni potek toka zaznavne toplote povzetega po ekspediciji Wangara. Ta del dnevnega poteka bomo namreč rabili za računanje odvodov temperature prizem-

ne plasti zraka po času, ki so uporabni pri simulaciji lokalnih vetrov. Za čas simulacije bomo izbrali enakonočje - 21. marec - za orientacijo pa pobočje, orientirano proti jugovzhodu.



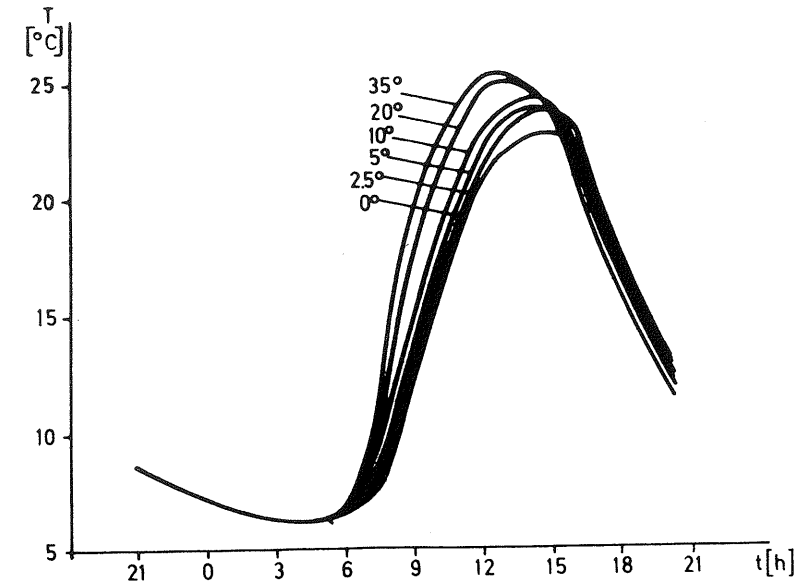
Slika 3 Čas nastopa maksimalne in minimalne temperature zraka za pogoje, kot pri sliki 2.

Fig. 3 The time of appearance of maxima and minima of air temperature for conditions as in Fig. 2.



Slika 4 Velikost amplitude temperature zraka za pogoje, kot pri sliki 2.

Fig. 4 The air-temperature amplitude for conditions as in Fig. 2.



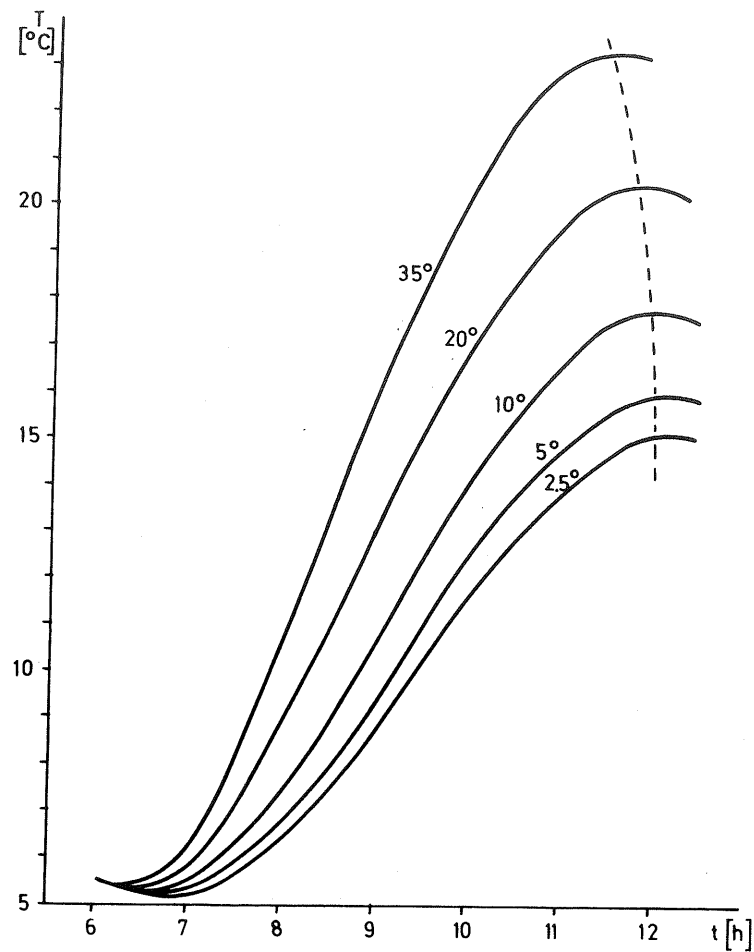
Slika 5 Dnevni poteki temperature zraka pri tleh po modelu na pobočju orientiranem proti jugovzhodu, za različne nagibe, za 17.april ob jasnem vremenu.

Fig. 5 Daily courses of air-temperature according to model above slopes looking south east with different inclinations, for April 17 and clear-sky conditions.

Pri prvem načinu Wangara podatkov o toku zaznavne toplote nismo nič korigirali. Najintenzivneje izmerjena turbulanca je bila ob 13. uri in 30 minut. Tako dobljeni deli dnevnih potekov temperature zraka (slika 6) imajo naslednje značilnosti: Temperaturni minimum se pojavlja na vseh nagibih praktično ob istem času, prav tako tudi temperaturni maksimum. Od nagiba je odvisna le temperaturna amplituda, ki raste z večanjem nagiba. (Pri nagibu 0° je enaka 9,2°C, pri nagibu 35° pa 17,8°C). Če aproksimiramo ta del dnevnega poteka temperature zraka s sinusno funkcijo in izračunamo odvod temperature po času, dobimo naslednjo funkcijo:

$$\frac{\partial T}{\partial t}(t, \beta) = (6,66 - 15,47\beta) \times 10^{-4} \text{ K s}^{-1} \times \cos[(1,58 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1})t - 5,14] \quad (4)$$

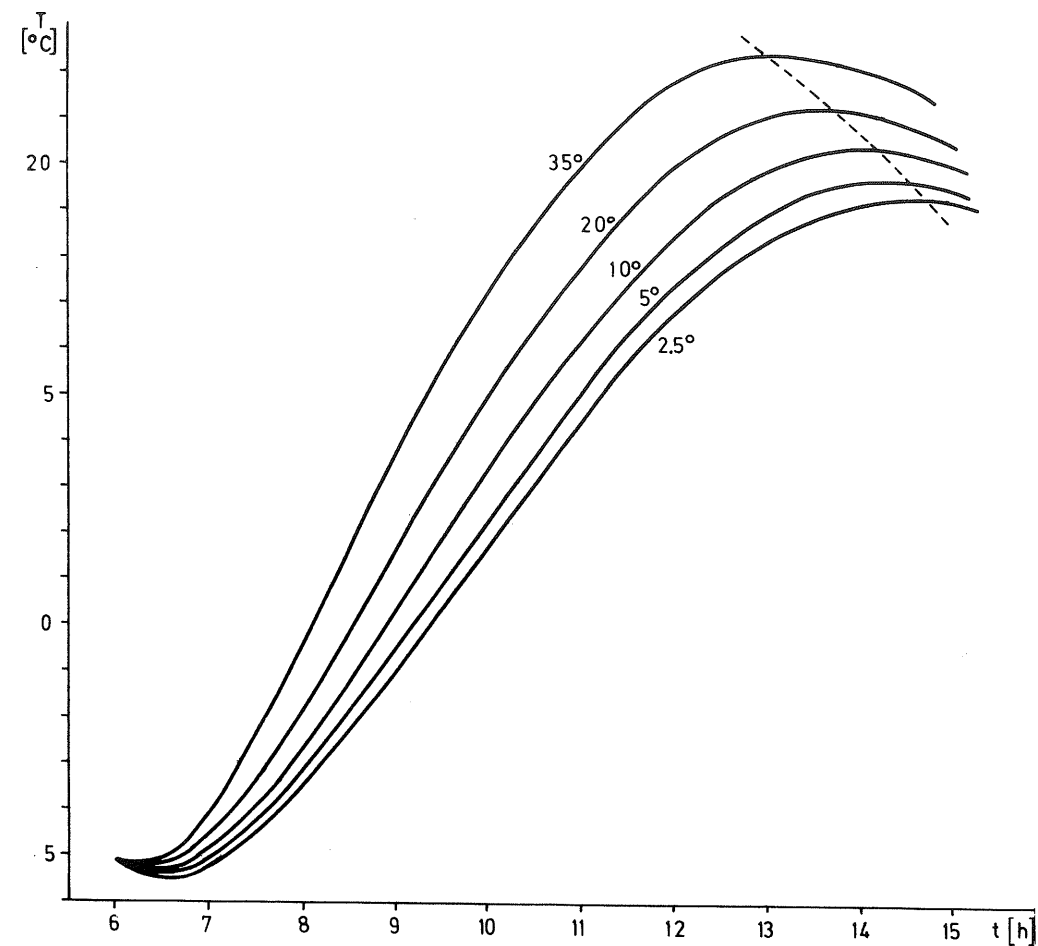
Čas t začnemo pri tem šteti po lokalnem času, β pa je kot nagiba tal.



Slika 6 Naraščanje temperature zraka pri tleh po modelu na pobočju orientiranem proti jugovzhodu, za različne nagibe ob pomladanskem enakonočju brez redukcije Wangara podatkov.

Fig. 6 The rise of air-temperature according to model above slopes looking south east with different inclinations, for spring equinox and without reduction of Wangara data.

Način korekcije podatkov Wangara je tak, kot smo ga že opisali z enačbo (2): štiri ure okrog poldneva je turbulenca enaka, sicer pa je jakost simetrična glede na lokalno poldne ter je reducirana z $\hat{n} \cdot \hat{s}$. S takšno korekcijo toka zaznavne toplote imajo dobljeni deli dnevnih potekov temperature pri



Slika 7 Naraščanje temperature zraka pri tleh po modelu na pobočju orientiranem proti jugovzhodu, za različne nagibe ob pomladanskem enakonočju z redukcijo podatkov Wangara.

Fig. 7 The rise of air-temperature according to model above slopes looking south east with different inclinations, for spring equinox and with reduction of Wangara data.

tleh naslednje značilnosti (slika 7): temperaturni minimum se pojavlja na pobočjih z različnim nagibom praktično ob istem času. Močno pa sta od nagiba odvisna čas nastopa temperaturnega maksimuma in temperaturna amplituda. Tako se pojavlja temperaturni minimum okrog 6. ure 30 minut, maksimum pa na pobočju z nagibom $2,5^\circ$ ob 14. uri 45 minut, na tistem z nagibom 35° pa ob 13. uri. Temperaturna amplituda se večja z nagibom: pri nagibu $2,5^\circ$ ja $14,8^\circ\text{C}$, pri nagibu 35° pa je $17,9^\circ\text{C}$.

Aproksimacija tega dela dnevnega poteka temperature prizemne plasti zraka s sinusno funkcijo in njeno odvajanje po času nam da naslednjo funkcijo:

$$\frac{\partial T}{\partial t}(t, \beta) = (20,42 + 1,94 \times 10^{-3} \beta) \text{ K s}^{-1} \times \frac{\pi}{8,30 \times 10^4 - 8,73 \beta} \times \times \cos \frac{\pi (2,78 \text{ s}^{-1}) t - 5,41 \beta - 10,65 \times 10^4}{8,30 \times 10^4 - 8,73 \beta} \quad (5)$$

Dobljeni odvisnosti spremembe temperature zraka pri tleh po enačbah (4) in (5) lahko pri naših približkih obe z enako natančnostjo porabimo pri računanju lokalnih gibanj zraka, če ostajamo v časovnem intervalu, ko se zrak pri tleh segreva in pri ne prevelikih nagibih. (Pri nagibu 10° bo amplituda funkcije $\partial T/\partial t$ po enačbi (4) enaka $9,34 \times 10^{-4} \text{ K s}^{-1}$, po enačbi (5) pa $8,19 \times 10^{-4} \text{ K s}^{-1}$.

Pri računanju drugih obravnavanih odvisnosti smo glede na bolj izgajene dnevne poteke temperature prizemne plasti zraka povsod uporabljali že opisani način korekcije po enačbi (2) dnevnega poteka toka zaznavne toplote, ki ga dajejo podatki Wangara.

SKLEP

Z enačbo enegijske bilance tal smo z nekaterimi znanimi parametri in nekaterimi privzetimi vrednostmi numerično simulirali dnevne poteke temperature zraka pri tleh v odvisnosti od astronomskih meteoroloških, geografskih in topografskih parametrov, posebej glede na nagib in orientacijo pobočij.

Te simulacije so dovolj dobre, če jih primerjamo z opazovanji temperature prizemne plasti zraka v Sloveniji. Razlike med temperaturami zraka nad posameznimi lokacijami so sicer nekoliko velike, vendar povsem razumljive, če se spomnimo, da v modelu ni upoštevana advekcija. To pa moramo upoštevati v sklopu obravnave lokalnih gibanj zraka.

LITERATURA

- /1/ BRUNT D.: Physical & Dynamical Meteorology. Cambridge, The Univ. Press, 1944, p. 138 - 142.
- /2/ GROEN P.: citiran v Haltiner i Martin, Dinamičeskaja i fizičeskaja meteorologija (prev. iz angl.) Moskva, MIL, 1960, na str. 131.
- /3/ CARTER G.M. and H.R. GLAHN: Objective prediction of cloud amount based on model output statistics. Mon. Wea. Rew. 104 (1976), 1565 - 72.
- /4/ BHUMRALKAR C.M.: Numerical experiments on the computation of ground and surface temperature in an atmospheric general circulation model. J. Appl. Meteorol. 14 (1975), 1246 - 58.
- /5/ BLACKADAR A.K.: Modelling the nocturnal boundary layer. Am. Meteorol. Soc., Third Symp. on Atmospheric Turbulence, Diffusion and Air Quality, October 19 - 22, 1976, Raleigh, N.C., 46 - 49.
- /6/ RAKOVEC J.: Jednodimenzionalni model za odredjivanje prizemne temperature. Poročilo za ZHMZ, 19-3555/1. Ljubljana, VTOZD Fizika FNT, 1978, v+24+xxx str.
- /7/ HOČEVAR A. in J. RAKOVEC: Simulacija ekoloških razmer na pobočju in v dnu idealizirane kotline ob jasnem vremenu. Zbornik Biotehn. fakultete Univ. v Ljubljani 31 (1978), 27 - 39.
- /8/ RAKOVEC J.: Numerična napoved temperature tal in zraka pri tleh. Razprave-Papers DMS 23 (1979), 5 - 18.
- /9/ YAMADA T.: On the similarity functions A, B and C of the planetary boundary layer. J. Atmos. Sci. 33 (1976), 781 - 93.
- /10/ MONTEITH J.L. (editor): Vegetation and the Atmosphere, Vol. 1, Principles. Academic Press, London, New York, San Francisco, 278 str. (1975).
- /11/ FURLAN D.: Temperature v Sloveniji. Slovenska Akademija znanosti in umetnosti, dela 15, Institut za geografijo, 7, Ljubljana, 166 str. (1965).
- /12/ MATIČIČ B.: Vodnoretencijske lastnosti nekaterih tal v Sloveniji. Zbor. Biotehn. fak., zvezek XVII, 67 - 76 (1970).
- /13/ Arhiv meteorološkega zavoda SR Slovenije.

- /14/HOČEVAR A.: Kvantitativna ocena sončnega obsevanja in temperaturnih razmer v razgibanem reliefu.
Poročilo za RSS, BTF, 1972, str. 7 + priloge.
- /15/HARTMANN F.K., J. V. EIMERN und G. JAHN, citirani v R.GEIGER:
Das Klima der bodennahen Luftschicht, na str. 445
- 448. Braunschweig, Vieweg, 1961, xii+646 str.
- /16/RAKOVEC J.: Vpliv tal v numeričnem modelu atmosfere.
Poročilo za RSS, G-784/8217-78. Ljubljana,
VTOZD Fizika FNT, 1979, 99. str.
- /17/HOČEVAR A. in Z. PETKOVŠEK: Meteorologija, Ljubljana,
Partizanska knjiga, 1977, 219. str.

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 molekulsko 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

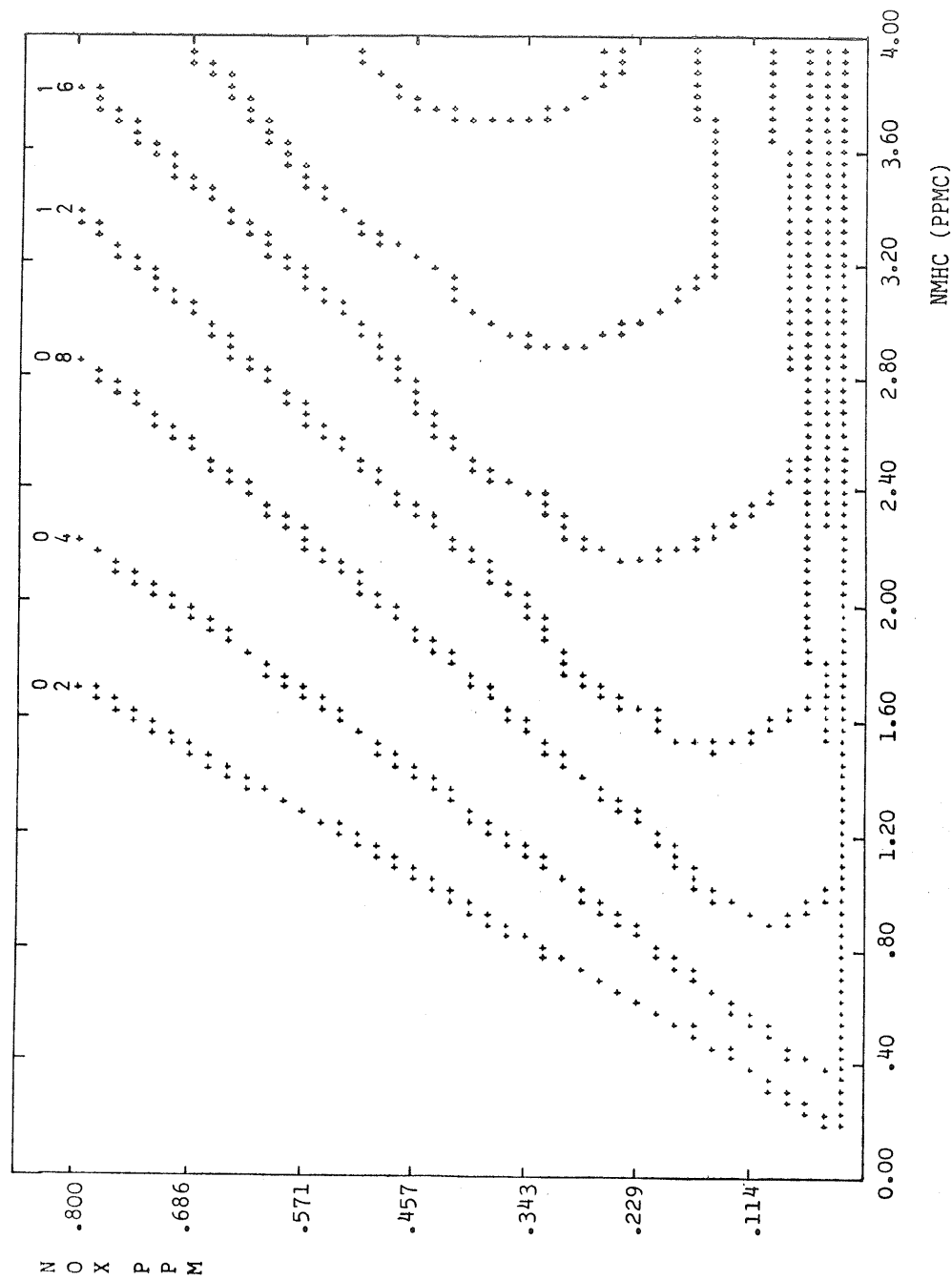
Tabela 5 Standardne vrednosti kemijskih vhodnih podatkov za računanje po modelu

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 NO ₂ /NO _x = 0,25
Frakcija začetne koncentracije HC dodana kot aldehyd = 0,05.

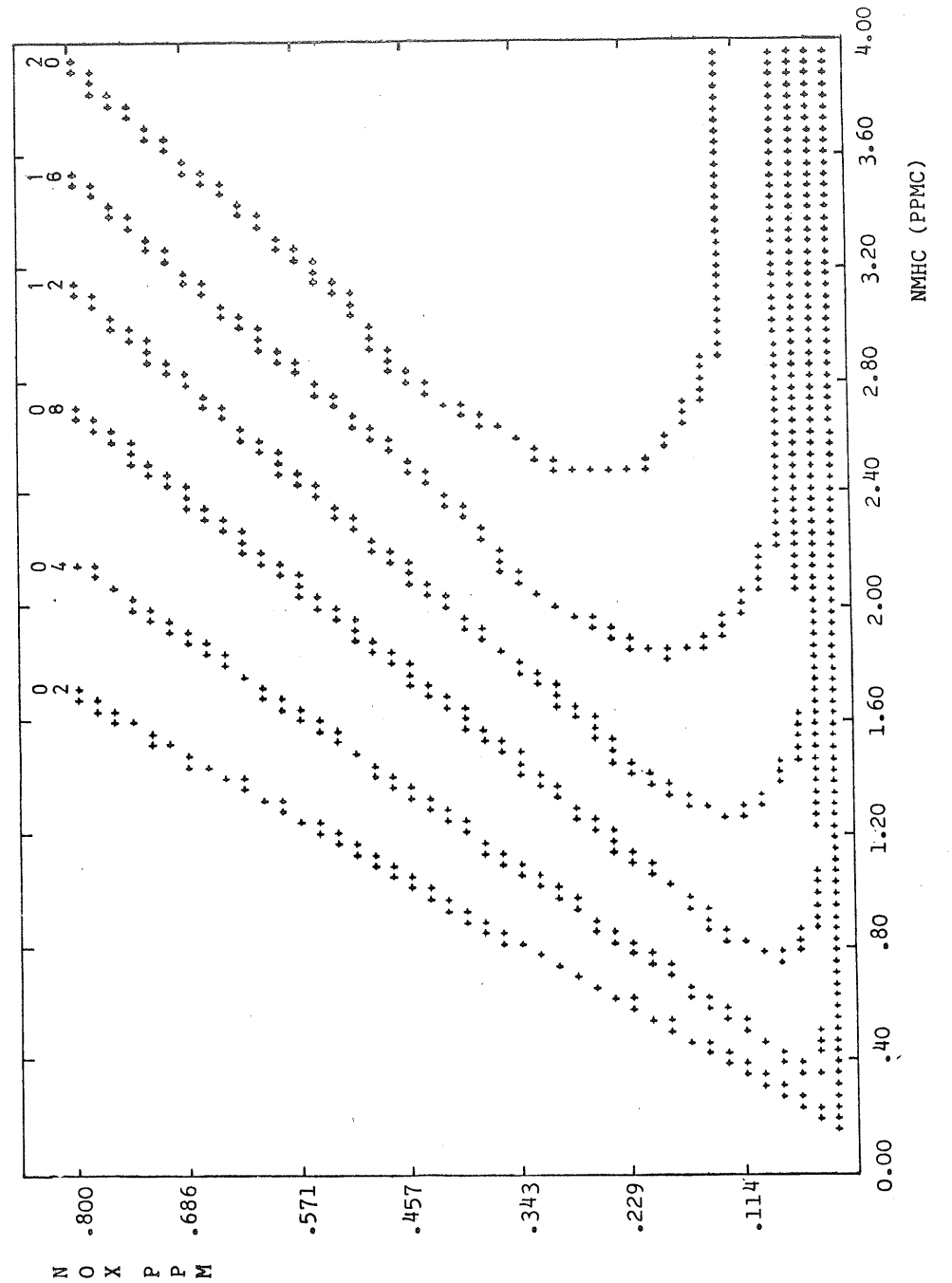
Tako lahko na osnovi slik 1 in 2 ocenimo, da je največja poprečna urna koncentracija ozona v Mariboru (0,10ppm) ob enakonočju kar trikrat večja od tiste v Ljubljani (0,03 ppm). Pri tem je odločilen vpliv znatno večjih koncentracij primarnih polutantov v Mariboru, ki presenečajo in so morda previsoke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



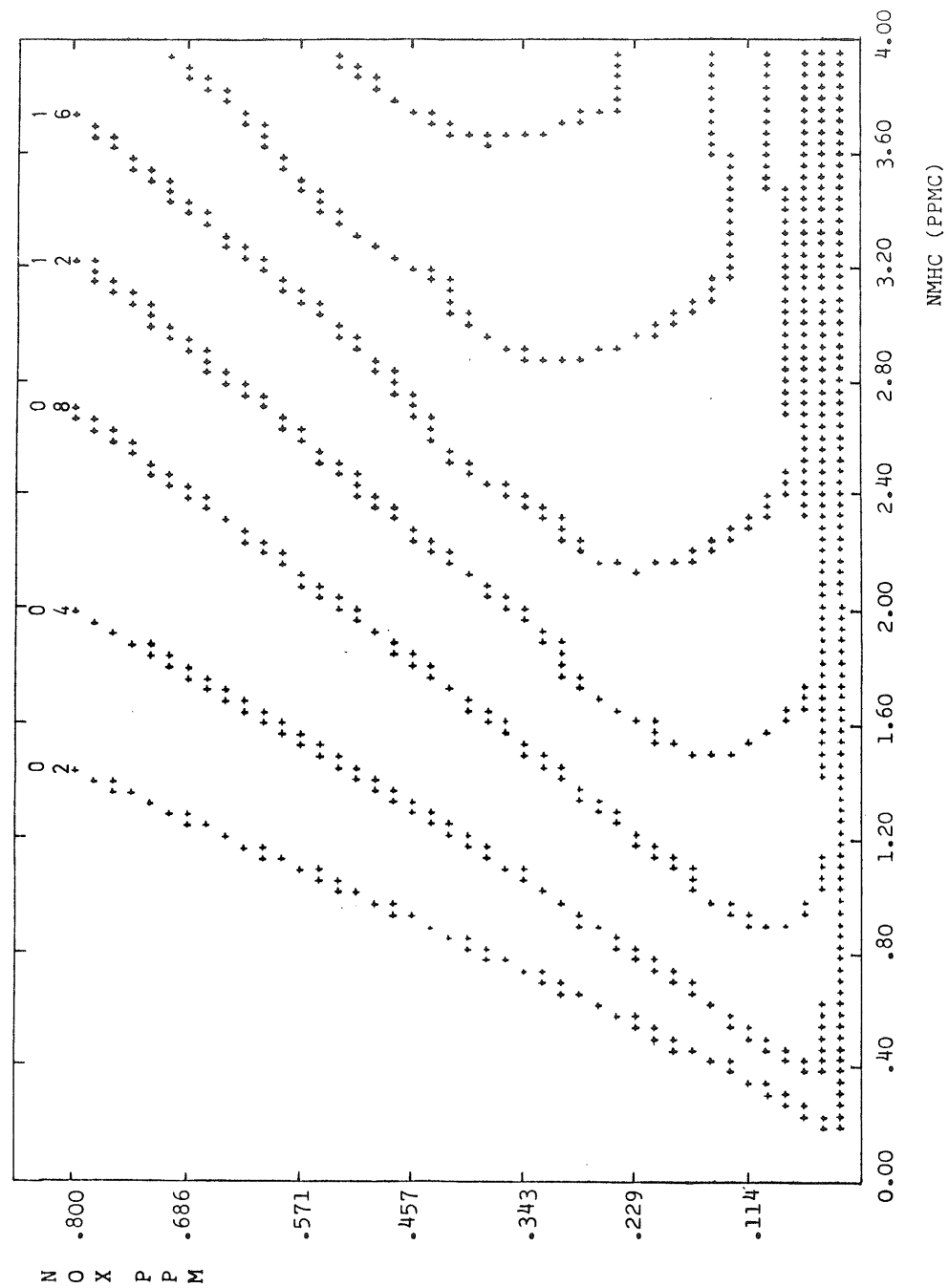
Slika 1 Izoplete koncentracij ozona (ppm) v odvisnosti od koncentracij HC (ppmC) in NO_x (ppm) za razmere v Ljubljani ob enakonočju

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



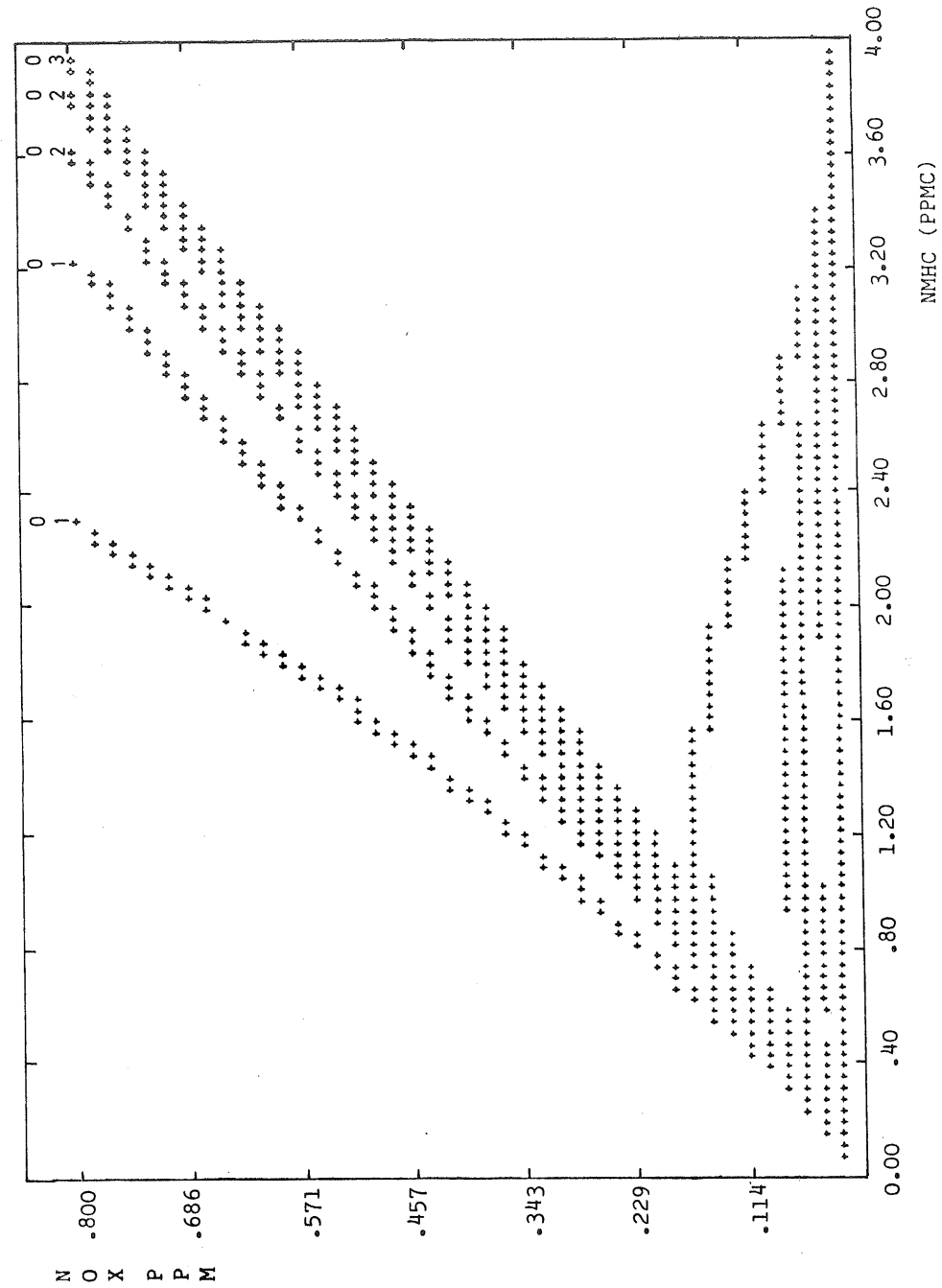
Slika 2 Izoplete koncentracij ozona (ppm) v odvisnosti od koncentracij HC (ppmC) in NO_x (ppm) za razmere v Mariboru ob enakonočju

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



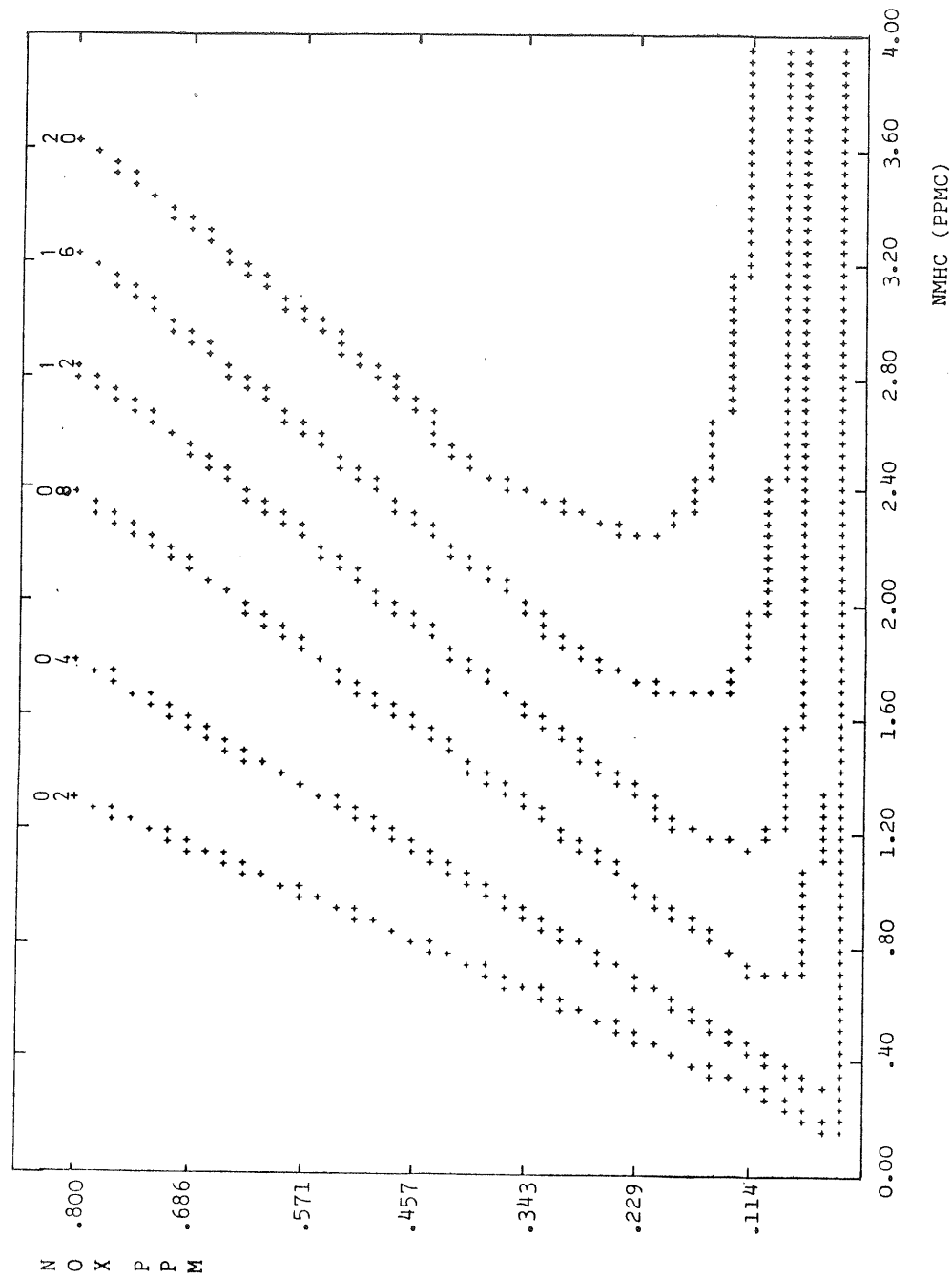
Slika 3 Izoplete koncentracij ozona (ppm) v odvisnosti od koncentracij HC (ppm) in NO_x (ppm) za razmere v Ljubljani poleti (21.6.)

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



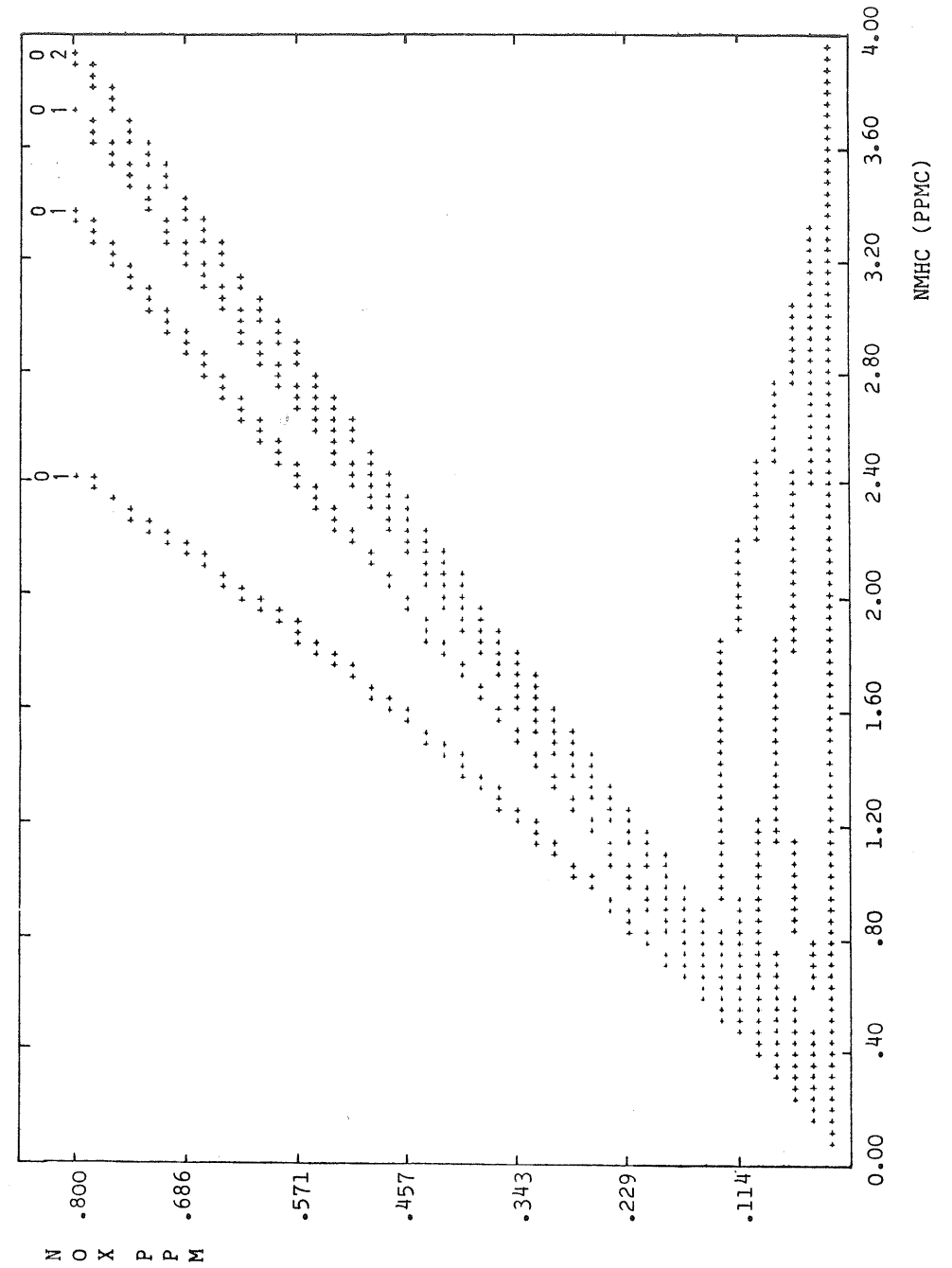
Slika 4 Izoplete koncentracij ozona (ppm) v odvisnosti od koncentracij HC (ppm) in NO_x (ppm) za razmere v Mariboru poleti (21.6.)

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.