

# RAZPRAVE PAPERS

Letnik 25  
2

VSEBINA - CONTENTIS		Stran
J. Pristov, B. Logar:	Analiza temperatur zunanjega zraka za potrebe ogrevanja stavb The analysis of outside air temperatures for needs of building heating .....	57
M. Hodžič:	Ciklonalni valovi na Jadranu Storm surges on the Adriatic .....	77
A. Kranjc:	Obramba pred točo v Sloveniji Hail protection in Slovenia today .....	85

ANALIZA TEMPERATUR ZUNANJEGA ZRAKA ZA POTREBE OGREVANJA STAVB  
THE ANALYSIS OF OUTSIDE AIR TEMPERATURES FOR NEEDS OF BUILDING HEATING

Janko PRISTOV, Bojan LOGAR  
Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana

551.524.72

SUMMARY

For calculation of the thermal insulation required for buildings and the usage of thermal energy, engineers use different methods. An example is given of the calculation of the first and the last day of the heating season, and thereby the duration of the heating season, and the heating degree-days.

Elements are analyzed for different climatic types; for Mediterranean, Alpine and Continental climates, with consideration for different areas of different vertical distribution of heating degree days for drawing temperature maps. The temperature conditions in valleys and on plains are discussed separately.

From heating degree-days maps it is possible to obtain data for any area, but not for a specific site. The position of the site has to be considered; namely whether it lies on the top, slope, plain or bottom of the basins. For the last two parameters particularly, it has to be decided under what kind of conditions cold air is accumulated, and what the conditions are for the outflow or mixing of accumulated air. When all this is considered, the map can be used for estimation of the heating degree-days for any given site.

POVZETEK

Prikazana je metoda, kako dobiti v razgibanem reliefu pri različnih klimatskih pogojih karto temperaturnega primanjkljaja, ki je poleg toplotne izolacije osnova za izračun porabe toplotne energije za ogrevanje stavb. Hkrati je podan tudi pričetek in konec kurilne sezone v odvisnosti od klimatske pripadnosti kraja in od reliefnih razmer.

## UVOD

Odkar obstajajo meteorološka opazovanja v Sloveniji, se občasno pojavljajo različne razprave o temperaturah. Najobsežnejše delo je napisal Furlan /2/. Izdelane so bile različne temperaturne karte za uporabnike, največ za potrebe kmetijstva.

V zadnjem času se je energija močno podražila in je treba potrošnjo primer- no zmanjšati. Veliki prihranki so možni pri ogrevanju prostorov, če so ti pravilno toplotno zaščiteni. Kakšna mora biti toplotna zaščita, pa je od- visno od klimatskih razmer posameznega kraja ali območja. To ni odvisno sa- mo od temperature, temveč tudi od osončenja /5/, vetra, vlage itd. Za pravi- lno dimenzioniranje ogrevalnih naprav je bila za Slovenijo izdelana štud- dija "Računske temperature" /3/. Nas pa zanima, kako vplivajo temperaturne razmere zunanjega zraka na porabo energije za ogrevanje?

Ta poraba je odvisna od toplotne izoliranosti zgradb, od dolžine kurilne dobe in temperatur zunanjega zraka itd. Za izdelavo karte temperaturnega primanjkljaja moramo ugotoviti reprezentativnost izmerjenih vrednosti za širšo okolico in sprememb temperatur z višino za različne klimatske in re- liefne pogoje.

## TEMPERATURNI PRIMANJKLJAJ

Letni potek temperature zraka nam poda nekatere klimatske značilnosti za posamezna območja. Te določajo potrebno količino toplotne energije za ogre- vanje stavb, seveda v odvisnosti od oblike in načina gradnje objektov /9/. Iz letnih potekov temperature zraka in predpostavljene temperature zuna- njega zraka, pri kateri pričnemo z ogrevanjem, dobimo število kurilnih dni. Razliko med povprečno dnevno zunanjo temperaturo zraka in željeno tem- peraturo, imenujemo temperaturni primanjkljaj. Od teh dveh podatkov je od- visna potreba po dovedeni toploti za ogrevalno sezono, kar zapišemo v enač- bi.

$$U = K \sum_{d=d_1}^{d_2} (T_{\text{not}} - \bar{T}_d)$$

$U$  = potrebna energija za ogrevanje zgradbe v času od  $d_1$  do  $d_2$ ;  $T_{\text{not}}$  = tem- peratura v ogrevanem prostoru;  $\bar{T}_d$  = dolgoletna povprečna dnevna zunanja temperatura;  $K$  = sorazmernostni faktor, ki je odvisen od lastnosti zgrad- be;  $d_1$  = prvi dan kurilne dobe;  $d_2$  = zadnji dan kurilne dobe.

V tej enačbi nas zanima spremenljivka, ki jo imenujemo "letni temperaturni primanjkljaj", ki jo označimo s  $Q$  in zapišemo:

$$Q = \sum_{d=d_1}^{d_2} (T_{\text{not}} - \bar{T}_d)$$

Če ta temperaturni primanjkljaj pomnožimo s sorazmernostnim faktorjem " $K$ ", ki je za vsako stavbo ali prostor različen, dobimo potrebno energijo, ki jo rabimo za ogrevanje stavbe oziroma prostora.

## DOKUMENTACIJA

Za 85 meteoroloških postaj je računana temperaturni primanjkljaj, število kurilnih dni in prvi ter zadnji kurilni dan za razdobje od 1956 do 1978. V primerih, ko nismo imeli celotnega niza opazovanj na posameznih posta- jah, smo uporabili podatke, ne da bi jih reducirali na enotno časovno razdobje. Poprečne dnevne temperature so računane na osnovi treh klimato- loških terminov ob 07., 14. in 21. uri.

Iz poprečnih vsakoletnih mesečnih temperatur smo izračunali dolgoletno povprečno mesečno temperaturo v obdobju od 1956 do 1978. Iz teh dvanajstih poprečnih srednjih mesečnih temperatur smo z linearno interpolacijo iz- računali dolgoletne poprečne dnevne temperature zraka -  $\bar{T}_d$ . Vsakokrat smo vzeli, da se povprečna mesečna temperatura zraka nanaša na srednji dan v tistem mesecu. Na osnovi teh vrednosti smo izračunali pričetek in konec kurilne dobe, ki velja v poprečju za obravnavano obdobje.

Letni temperaturni primanjkljaj -  $Q$  je definiran z vsoto temperaturnih razlik v  $^{\circ}\text{C}$  med določeno notranjo temperaturo - temperaturo v prostoru  $T_{\text{not}}$ , in dolgoletno povprečno dnevno zunanjo temperaturo  $\bar{T}_d$ .

Torej velja

$$Q = \sum_{d=d_1}^{d_2} (T_{\text{not}} - \bar{T}_d) = Z(T_{\text{not}} - T_{\text{zun}}) + \sum_{d=d_1}^{d_2} (T_{\text{zun}} - \bar{T}_d)$$

kjer je  $T_{\text{zun}}$  temperaturni prag, ko pričnemo ali prenehamo kuriti (v naš- em primeru  $12^{\circ}\text{C}$ ).  $Z$  je število kurilnih dni;  $d_1$  je prvi in  $d_2$  zadnji ku- rilni dan.

## PRIČETEK IN KONEC TRAJANJA KURILNE SEZONE

Za pričetek kurilne sezone smo vzeli dan, ko se spusti dolgoletna povpreč- na dnevna temperatura pod vrednost  $15^{\circ}\text{C}$  v prvem in na  $12^{\circ}\text{C}$  ali manj v drugem primeru.

Poprej smo že opisali, kako dobimo dolgoletno poprečno temperaturo. S tem načinom smo odpravili temperaturna nihanja, ki so od leta do leta različna. V našem primeru temperatura jeseni stalno pada in se spomladi stalno dviga, ker smo med poprečnimi mesečnimi temperaturami napravili linearno interpolacijo.

Meja 15°C za pričetek oziroma konec ogrevalne dobe je po naših rezultatih za Slovenijo odločno previsoka, še posebno, če upoštevamo potrebno varčevanje z energijo. Če bi upoštevali ta temperaturni prag, bi prek celega leta morali ogrevati ne samo v krajih na višini nad 1000 m, temveč bi celo leto ogrevali tudi npr. na Jezerskem, ki ima nadmorsko višino pod 900 m. Temperatura zraka in s tem tudi pričetek ali konec kurilne sezone je močno odvisen od lege posameznih krajev, včasih celo od lege meteorološke postaje, če je ta na dnu kotline ali je nekoliko na višji legi. Za detajlnjšo analizo ogrevalnih potreb posameznih krajev je potrebno poznati te značilnosti.

Tudi če na tej osnovi ugotovljamo kurilno dobo za večja mesta v Sloveniji, se nam zdi pričetek le te odločno prezgodaj; Ljubljana 16. sept., Maribor 13. sept., Murska Sobota 11. sept., Celje 9. sept., Ajdovščina 1. okt., in Koper 13. oktober. Tudi konec kurilne dobe je prepozen. Po teh kriterijih bi se končala kurilna doba na Primorskem šele v prvi polovici maja, drugod po Sloveniji pa šele v drugi polovici maja ali v mesecu juniju.

Znatno primernejši se nam zdi za temperaturni prag kurilne sezone temperatura 12°C, a bo tudi to potrebno šele raziskati; verjetno je za naše razmere celo ta previsok.

Kdaj pade dolgoletna poprečna dnevna temperatura zraka na določeni lokaciji pod 12°C, je odvisno od mnogih faktorjev. Možen je vsekakor padec temperature z nadmorsko višino, poleg tega pa je zelo pomembna tudi lega postaje glede prevetrenosti oziroma odtekanja ohlajenega, to je težjega zraka, kakor tudi bližina morja.

Na sliki 1 imamo na abcisi nanešeno višino postaje in na ordinati dan pričetka kurilne sezone. Sipanje vrednosti je zelo veliko, največje je pri razmeroma majhnih nadmorskih višinah, nato pa je s porastom višine sipanje manjše. Pri nadmorskih višinah 200 do 400 m je časovna razlika pri pričetku kurilne sezone lahko tudi do enega meseca, medtem ko je pri nadmorskih višinah okoli 1300 m le še cca 15 dni. Te časovne razlike lahko tolmačimo tudi s tem, da imamo v območju med 200 in 500 m največje število merskih točk in zato si moramo ogledati vzroke, zakaj prihaja do takšnih razlik.

Glavni vzrok različnih temperatur zraka na približno isti višini v notranjosti Slovenije je v tem, da se v nižinah in kotlinah nabira hladen zrak. Pri močnejšem ohlajevanju, to je predvsem v poznojesenskem in zimskem času, nastajajo trajnejša jezera hladnega zraka, ki jih lahko odpravi le znatnejša sprememba vremena z razmeroma močnimi vetrovi v prosti atmosferi /1/.

V pomladanskem času ali bolje rečeno v mesecu marcu, predvsem pa v aprilu in maju, se pri tleh, posebno v kotlinah in kotanjah nabere znatno hladnejši zrak v nočnem času. Podnevi pa se zrak zaradi insolacije toliko segreje ali premeša, da hladen zrak pri tleh popolnoma izgine. Prav v tem času se pojavljajo najvišje dnevne amplitude /8/ zaradi dnevnega segrevanja zraka.

Podobna dogajanja so tudi v višjih legah, le da je veliko večja verjetnost, da hladen zrak zaradi manj izrazitih kotlin odteče v nižjeležeče kraje. Linnearna odprtost kotlin je tu ponavadi večja /6/.

Plast hladnega zraka je lahko plitva, to je v ravninskih predelih, kjer ni večjega stekanja hladnega zraka s pobočij, temveč se ohladi na kraju samem. V Pomurju se poznajo že zelo majhne višinske razlike postaj, Murska Sobota leži le 11 m nižje od Lendave, a ima že hladnejšo klimo.

Večja debelina hladnega zraka se pojavlja v kotlinah, kot sta Celjska in Ljubljanska. Tu se hladen zrak steka iz širokega zaledja po dolinah navzdol in lahko doseže debelino tudi nekaj sto metrov /7/ odvisno pač od tega, kako dolgo traja anticiklonalna situacija, ko je ohlajanje najmočnejše.

Podobno kot v nižinah, je tudi v kotlinah višjih leg, kjer nima ohlajen zrak proste poti, da odteče.

Jezersko z višino	894 m	ima jesenski prag	2. sept.
Rateče	864 m	ima jesenski prag	9. sept.
Planina pod Golico	950 m	ima jesenski prag	10. sept.
Vojsko	1070 m	ima jesenski prag	10. sept.

Vidimo, da ima Jezersko najzgodnejši datum kurilne sezone, čeprav leži Planina pod Golico skoraj 60 m in Vojsko kar 176 m višje. Razlika je v tem, da je bila na Jezerskem meteorološka postaja v dnu doline, kjer je hladen zrak slabo odtekal. V zadnjih letih je postaja premaknjena na nekoliko višjo lego in so se zato minimalne temperature takoj spremenile. Tudi postaja na Planini pod Golico je v dolini, vendar je odtok zraka znatno izrazitejši, a še ne odteka nemoteno.

Postaja, kjer se ne more zadrževati hladen zrak je Vojsko in je zato tam kljub večji višini toplejše kot na Jezerskem.

Prav zaradi različnih lokalnih pogojev pri nastajanju talnih ohladitev ali jezer hladnega zraka je potrebno za vsak kraj ugotoviti, kakšne so njegove značilnosti, če mu hočemo brez dolgotrajnih meritev določiti elemente, s katerimi je računana temperaturni primanjkljaj.

Ob pričetku kurilne sezone je bilo za približno isto nadmorsko višino veliko sipanje datumov, ko se je temperatura spustila na 12°C. Podobno velja tudi za konec kurilne sezone, le da je sipanje znatno manjše. Verjetno je to odvisno od nastajanja jezer hladnega zraka. Ohlajevanje pa je jeseni zaradi daljših noči močnejše kot spomladi. Postaje nimajo obratnega vrstnega reda, temveč se je vrstni red precej pomešal. Torej ne velja, da bi postaje s približno enako nadmorsko višino, ki so pričele prve z ogrevanjem, sedaj končale zadnje.

Oglejmo si nekaj primerov:

Koper	33 m	3.nov.	10.apr.
Gornji Lenart	150 m	2.okt.	28.apr.
razlika	117 m	30 dni	18 dni
Pleša na Nanosu	1258 m	31.avg.	17.jun.
Rovtarica	1230 m	22.avg.	14.jun.
razlika	28 m	9 dni	3 dni
Vojsko	1070 m	10.sept.	3.jun.
Jezersko	894 m	2.sept.	3.jun.
razlika	176 m	8 dni	0 dni

Postaja Koper leži tik ob morju in je zato predstavnik sredozemske klime. Gornji Lenart, ki je na ravnini blizu Krškega, je predstavnik notranjosti Slovenije z zelo majhno nadmorsko višino. Jeseni je razlika znatno večja kot spomladi.

#### TRAJANJE KURILNE DOBE

Za trajanje kurilne dobe veljajo enaki vzroki in razlage kot za pričetek in konec kurilne sezone. V poprečju se povečuje kurilna doba za 10 dni na vsakih 100 m višinske razlike, vendar je to zelo groba orientacija. Na sliki 2 vidimo, da je sipanje dolžine trajanja kurilne dobe pri majhnih nadmorskih višinah zelo veliko, tudi do 50 kurilnih dni. Z naraščajočo višino se sipanje števila kurilnih dni znatno manjša. Tu ponovno ugotovimo, da vplivajo različne klimatske značilnosti na trajanje kurilne dobe, predvsem v nižjih legah. Prav tu je vpliv morja ali vpliv kontinentalne klime največji. Tudi jezera hladnega zraka so izrazitejša nekako do nadmorske višine 400 m, ker zajemajo večja območja stekanja hladnega zraka. Nad to višino je obseg jezer hladnega zraka manjši.

Če primerjamo trajanje kurilne dobe oziroma število kurilnih dni s temperaturnim primanjkljajem, dobimo dve skupini postaj, pri katerih velja različna odvisnost (slika 3). Pri primorskih postajah je za enako dolgo kurilno dobo manjši temperaturni primanjkljaj kot v notranjosti Slovenije. To pomeni, da so poprečne dnevne temperature pod 12°C, vendar so znatno višje, kot na drugih postajah. Ta ugotovitev ne velja samo za postaje v neposredni bližini morja, temveč velja tudi za postaje, ki so na večjih nadmorskih višinah in imajo približno enako dolgo kurilno dobo kot postaje v notranjosti Slovenije.

#### KARTA TEMPERATURNEGA PRIMANJKLJAJA

Za izdelavo karte temperaturnega primanjkljaja smo uporabili izračunane vrednosti petinosemdesetih meteoroloških postaj, porazdeljenih po celotni Sloveniji.

Vertikalne gradientne temperaturnega primanjkljaja smo določili ločeno za razmere na Primorskem (slika 4), prevetrene postaje notranjosti Slovenije (slika 5) in za druge postaje v notranjosti Slovenije (slika 6). Pri zadnjih postajah nas je zanimal predvsem razpon temperaturnega primanjkljaja med različnimi postajami na enaki nadmorski višini ali z drugimi besedami, sipanje podatkov zaradi različne lege postaj. Te razpone smo poskušali upoštevati pri risanju karte, kajti večina naseljenih krajev nima ugodne lege za odtekanje zraka. V nižinah smo upoštevali pojavljanje večjih jezer hladnega zraka, ki jih je mogoče označiti z izolinijski. Različna mrazišča in majhne doline niso upoštewane.

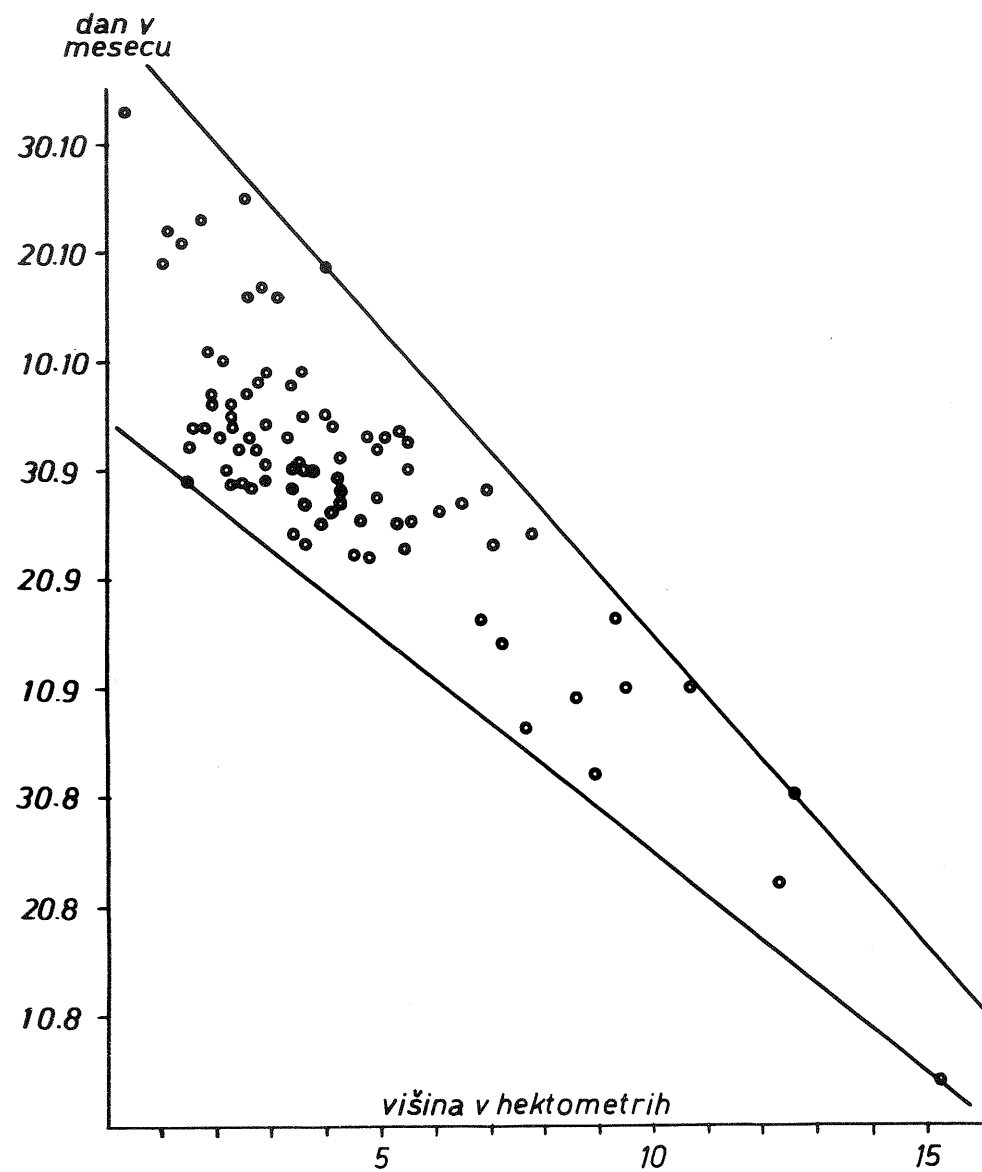
Vrednosti temperaturnega primanjkljaja (slika 7) so med 1970 enotami (°C x dan) v Kopru in 7930 enotami na Kredarici. Izolinije so izvlečene v hektoenotah (25 pomeni 2500 enot), in sicer vsakih 500 enot v razponu od 2500 do 5000 enot. Polje temperaturnega primanjkljaja z iznosom nad 5000 enot ni analizirano zaradi velikih višinskih razlik in v zvezi s tem hitrega porasta temperaturnega primanjkljaja. Območje z nadmorsko višino nad 1000 m ni stalno naseljeno in je možno iz vertikalnih gradientov in lege kraja izračunati temperaturni primanjkljaj.

Pod 3000 enot (°C x dan) ima le Primorska in majhen pas Bele Krajine, medtem ko je pretežni del Slovenije, vsaj večina večjih naseljenih krajev v razponu med 3000 in 4000 enotami. Kraji v dolinah in na ravninah imajo nekoliko večji temperaturni primanjkljaj, kot nizek gričevnat svet (Slovenske gorice in obrobja dolin ter kotlin). Vsa večja slovenska mesta, razen na Koroškem in Gorenjskem, so na območjih s temperaturnim primanjkljajem pod 3500 enot.

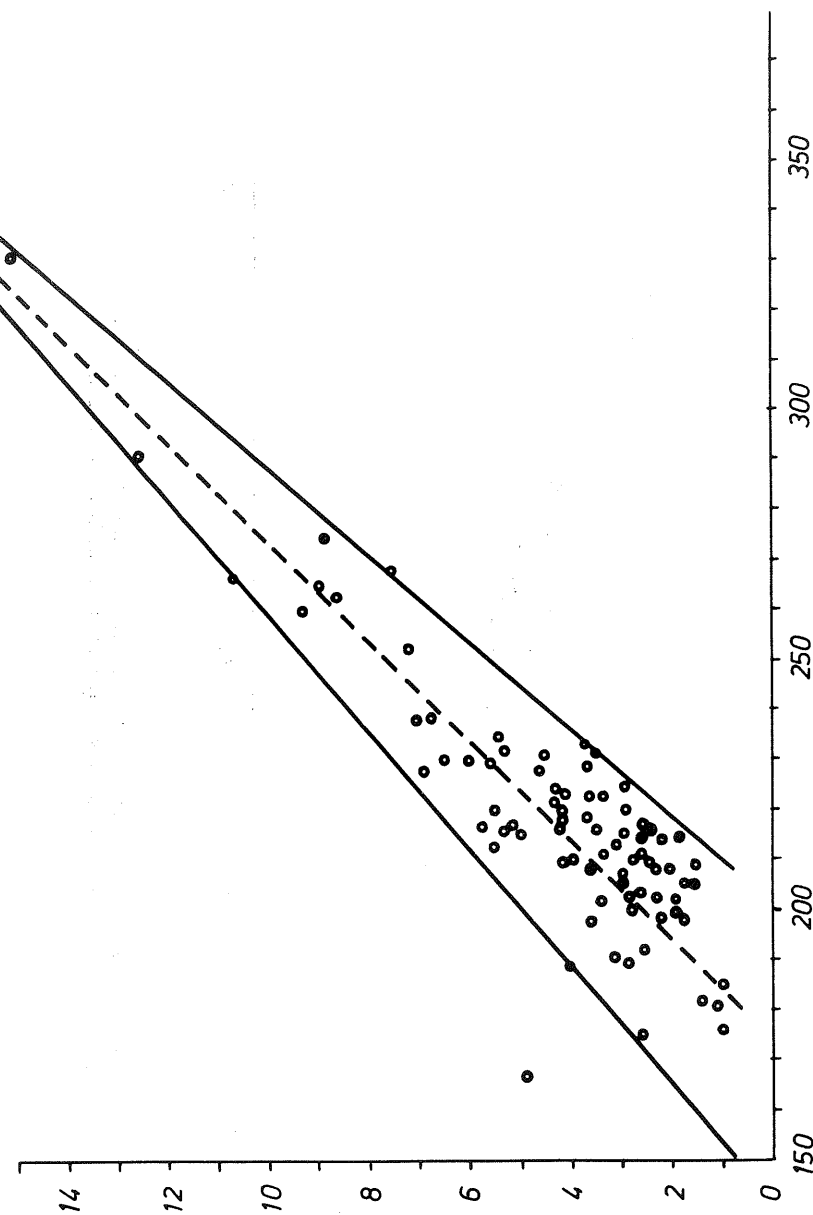
Že na tej karti vidimo, da ima Ljubljana izmed vseh večjih mest v notranjosti najmanjši temperaturni primanjkljaj. Poznano je namreč, da so večja mesta nekakšni toplotni otoki, zaradi velikega sproščanja toplotne energije. Ta efekt se pojavlja v vseh slovenskih mestih, najbolj pa pride do izraza v Ljubljani, ki pogosto leži na dnu razmeroma debelega jezera hladnega zraka.

#### SKLEP

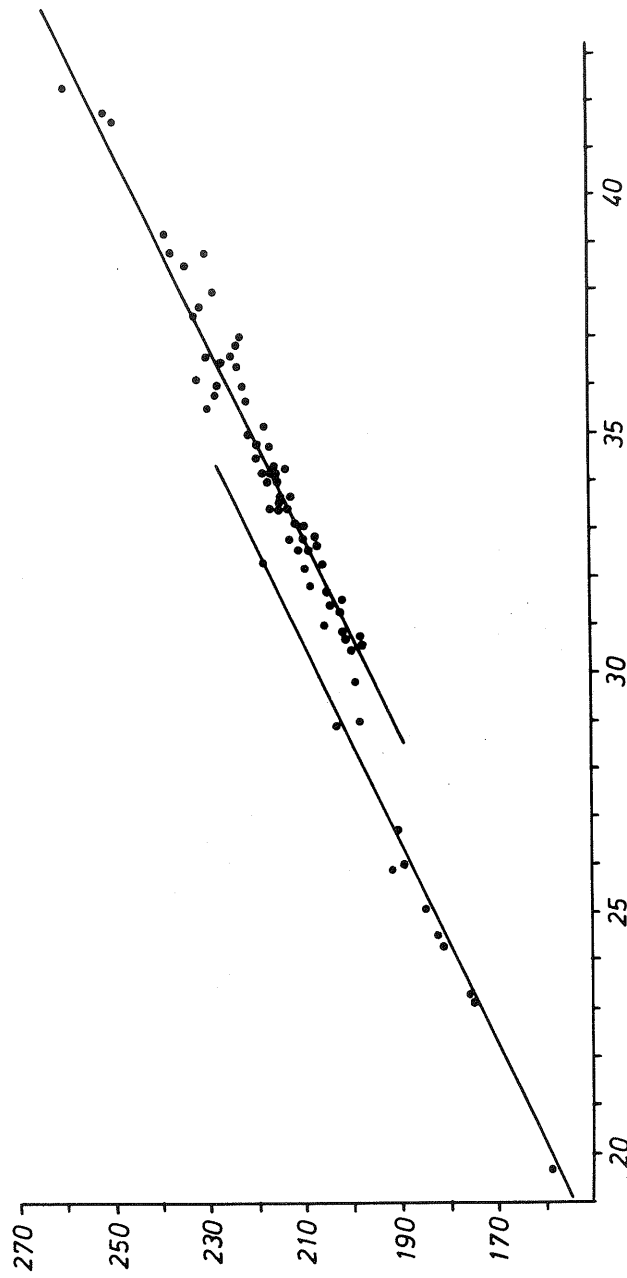
Temperaturne razmere so v hladni polovici leta močno odvisne od reliefa, posebno še od različnih kotlin in kotanj, v katerih se nabira hladen zrak. Karta temperaturnega primanjkljaja upošteva razmere v večjih kotlinah in na ravninah, manjše kotline in kotanje pa v analizi karte niso zajete. Zaradi tega je za kraje, v katerih ni meritev, možno določiti temperaturni primanjkljaj šele ob upoštevanju lokalnih pogojev, kot so: formiranje hladnega zraka, prevetrenost, vpliv mesta itd.



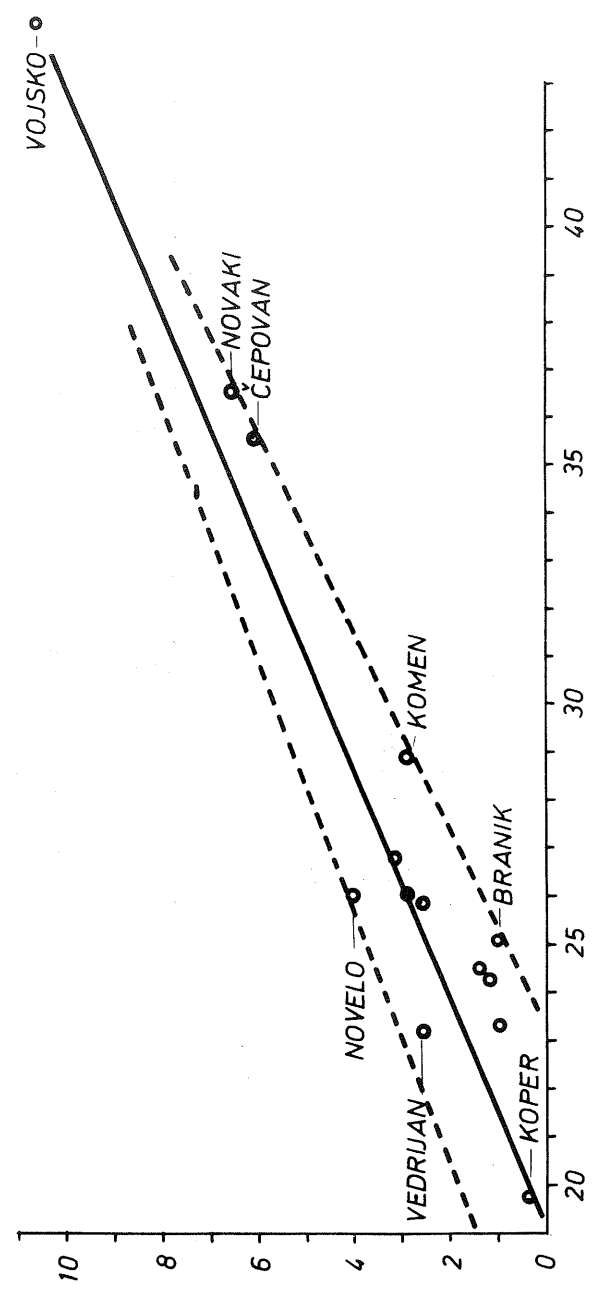
Slika 1 Prvi kurilni dan v odvisnosti od nadmorske višine.  
 Fig. 1 The first heating day as a function of height above sea-level.



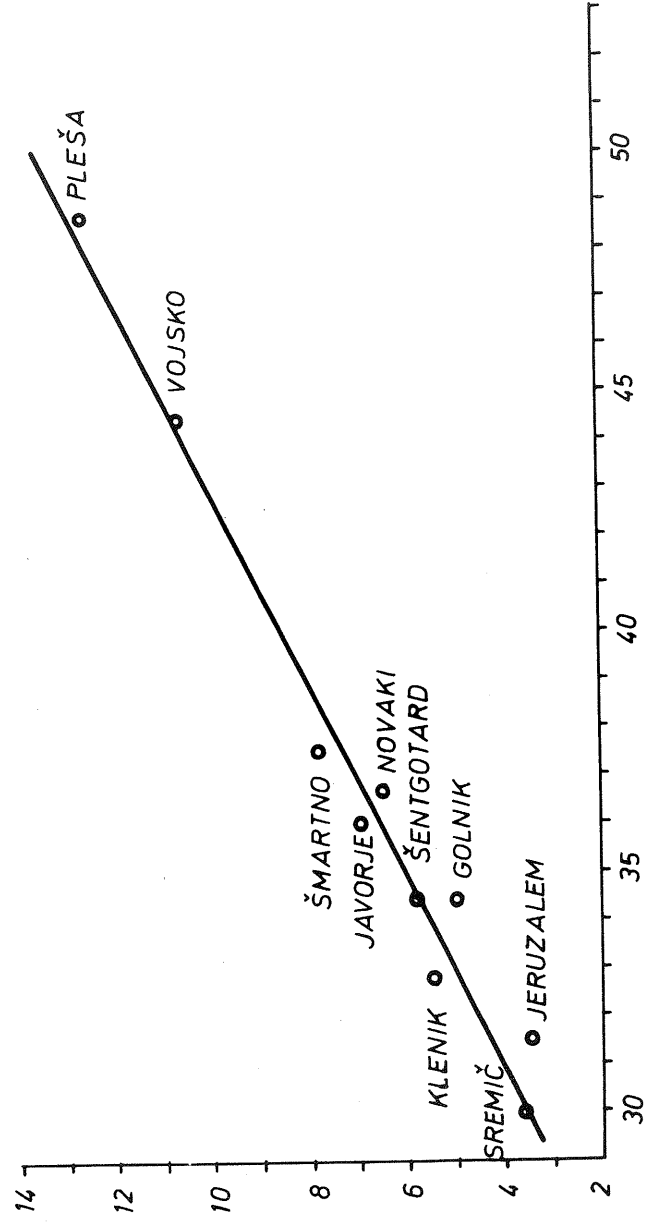
Slika 2 Trajanje kurilne dobe v odvisnosti od nadmorske višine.  
 Fig. 2 The duration of heating season in as a function of height above sea-level.



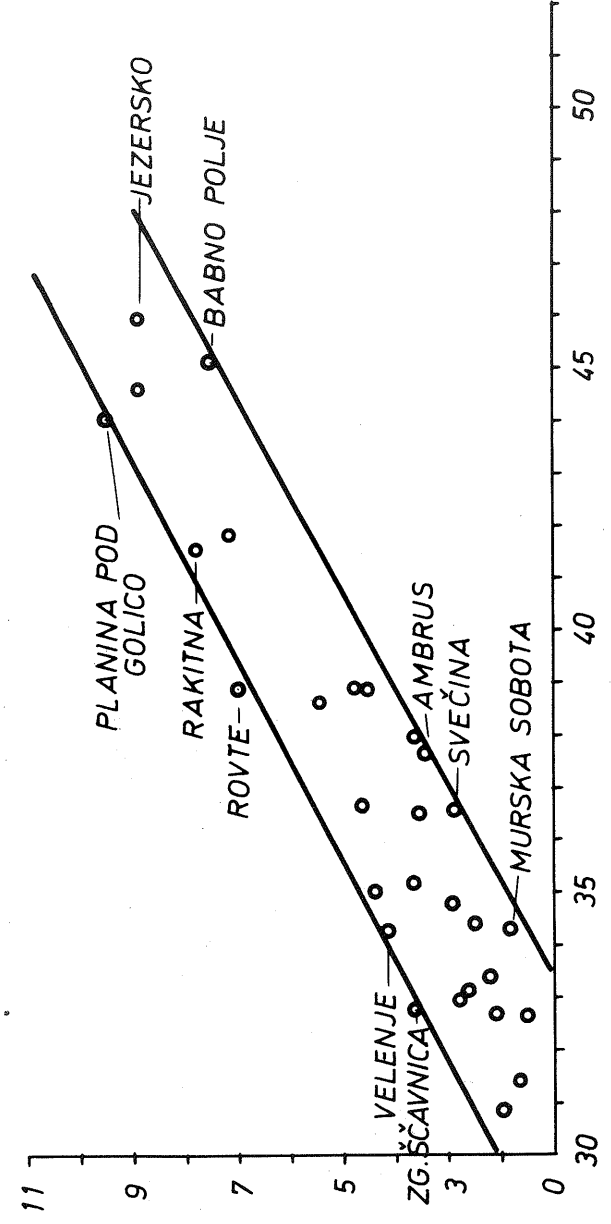
Slika 3 Odvisnost temperaturnega primanjkljaja od števila kurilnih dni.  
 Fig. 3 Dependence of the heating degree days on the number of heating days.



Slika 4 Vertikalna razporeditev temperaturnega primanjkljaja za postaje na Primorskem.  
 Fig. 4 Vertical distribution of heating degree days for stations in Primorje (the coastal area).



Slika 5 Vertikalna razporeditev temperaturnega primanjkljaja za prevetrene postaje.  
 Fig. 5 Vertical distribution of heating degree days for well-ventilated stations.



Slika 6 Vertikalna razporeditev temperaturnega primanjkljaja za ostale postaje notranjosti Slovenije.  
 Fig. 6 Vertical distribution of heating degree days for other stations inside Slovenia.





Slika 7 Temperaturni primanjkljaj za obdobje 1956-1978 Notranja temperatura zraka 20°C in temperaturni prag ogrevanja pri zunanji temperaturi 12°C.

Fig. 7 Heating degree days for the period 1956-1978. The inner air temperature is 20°C and the temperature heating threshold is at an outer air temperature of 12°C.

Tabela 1 Temperaturni primanjkljaj za obdobje 1956-1978 za posamezne postaje pri temperaturnem pragu 12°C in notranjo temperaturo zraka 20°C.

Table 1 Heating degree days for the period 1956-1978 for single stations at the temperature threshold of 12 C and an inner air temperature of 20 C.

POSTAJA	Višina p.	Kurilni dan zadnji	prvi	Štev. kuril. dni	Q
1. AJDOVŠČINA	110m	20 apr	22 okt	181	2439.4
2. AMBRUS	346	12 maj	24 sep	231	3767.3
3. BABNO POLJE	756	31 maj	6 sep	268	4515.0
4. BIZELJSKO	170	26 apr	4 okt	205	3178.5
5. BOVEC	425	5 maj	1 okt	217	3341.8
6. BRANIK	102	21 apr	19 okt	185	2510.2
7. BRNIK - LETALIŠČE	362	9 maj	23 sep	229	3797.0
8. CELJE	244	2 maj	29 sep	216	3437.4
9. ČEPOVAN	607	14 maj	27 sep	230	3556.4
10. ČRNOMELJ	196	25 apr	6 okt	202	3091.0
11. DOM NA KOPNI	1520	10 jul	4 avg	341	5747.0
12. GODNJE PRI TOMAJU	295	29 apr	9 okt	203	2893.0
13. GOLNIK	500	4 maj	2 okt	215	3345.2
14. GOMANCE	937	2 jun	16 sep	260	4226.3
15. GORNUJA RADGONA	205	28 apr	3 okt	208	3274.0
16. GORNJI GRAD	428	6 maj	28 sep	221	3507.4
17. GORNJI LENART	150	28 apr	2 okt	209	3265.1
18. ILIRSKA BISTRICA	414	6 maj	30 sep	219	3229.7

POSTAJA	Višina p.	Kurilni dan		Štev. kuril. dni	Q
		zadnji	prvi		
19. JAVORJE NAD POLJANAMI	695m	13 maj	28 sep	228	3598.5
20. JERUZALEM	345	27 apr	8 okt	202	3151.0
21. JEZERSKO	894	3 jun	2 sep	275	4595.1
22. KLENIK PRI VAČAH	550	3 maj	3 okt	213	3282.9
23. KOČEVJE	461	10 maj	25 sep	228	3655.9
24. KOMEN NA KRAŠU	289	23 apr	17 okt	189	2608.6
25. KOPER	33	10 apr	3 nov	159	1970.2
26. KOSTANJEVICA OB KRKI	158	26 apr	4 okt	205	3144.5
27. KREDARICA	2514	15 avg	16 avg	365	7930.5
28. KUBED	262	25 apr	16 okt	192	2593.5
29. LENDAVA	195	23 apr	7 okt	199	3079.8
30. LIPE NA BARJU	290	6 maj	29 sep	220	3482.1
31. LIPOGLAV	524	6 maj	3 okt	216	3418.1
32. LJUBLJANA - BEŽIGRAD	299	28 apr	4 okt	207	3230.2
33. MALKOVEC	400	2 maj	5 okt	210	3280.2
34. MARIBOR	275	29 apr	2 okt	210	3308.3
35. MESTNI VRH PRI PTUJU	260	27 apr	7 okt	203	3133.6
36. MIRNA NA DOLENSKEM	260	1 maj	3 okt	211	3312.6
37. MOZIRJE	347	3 maj	30 sep	216	3418.6
38. MURSKA SOBOTA	184	30 apr	29 sep	214	3430.8
39. NOVAKI	650	14 maj	27 sep	230	3665.5
40. NOVA VAS NA BLOKAH	722	23 maj	14 sep	252	4178.4

POSTAJA	Višina p.	Kurilni dan		Štev. kuril. dni	Q
		zadnji	prvi		
41. NOVA VAS PRI ŽIREH	480m	18 maj	22 sep	239	3929.5
42. NOVA SELA PRI KOČEVJU	554	11 maj	25 sep	229	3581.6
43. NOVELO PRI TEMNICI	402	25 apr	19 okt	189	2606.2
44. NOVO MESTO	220	1 maj	30 sep	214	3348.2
45. PIŠECE	230	25 apr	6 okt	202	3086.9
46. PLANINA POD GOLICO	950	1 jun	10 sep	265	4414.0
47. PLESKO PRI HRASNIKU	410	1 maj	4 okt	210	3220.1
48. PLEŠA NA NANOSU	1258	17 jun	31 avg	291	4867.6
49. PODGRADJE	217	25 apr	10 okt	198	3054.3
50. PODLEHNIK	230	29 apr	4 okt	208	3187.8
51. POSTOJNA	533	14 maj	25 sep	232	3626.5
52. PRAGERSKO	251	1 maj	29 sep	215	3360.9
53. RADEČE PRI ZIDANEM MOSTU	230	28 apr	5 okt	206	3103.6
54. RADLJE OB DRAVI	365	5 maj	30 sep	218	3523.1
55. RADOVLJICA	495	8 maj	27 sep	224	3642.4
56. RAKITNA	787	23 maj	16 sep	250	4159.7
57. RATEČE - PLANICA	864	29 maj	9 sep	263	4604.1
58. RAVNE NA KOROSKEM	410	6 maj	26 sep	223	3700.4
59. ROGAŠKA SLATINA	235	3 maj	29 sep	217	3423.1
60. ROVTARICA	1230	14 jun	22 avg	297	5306.8
61. ROVTE	705	18 maj	23 sep	238	3884.1
62. SELA PRI PLANINI - SEV.	550	7 maj	30 sep	220	3450.3

POSTAJA	Višina P.	Kurilni dan		Štev. kuril. dni	Q
		zadnji	prvi		
63. SEVNO NA DOLENJSKEM	515m	7 maj	3 okt	217	3409.6
64. SLAP PRI VIPAVI	137	20 apr	21 okt	182	2452.1
65. SLOVENSKE KONJICE	332	1 maj	3 okt	211	3263.3
66. SPREMIČ	360	24 apr	9 okt	198	2993.1
67. STARA FUŽINA	547	14 maj	23 sep	234	3858.2
68. STARŠE	240	28 apr	2 okt	209	3276.9
69. SVEČINA	293	7 maj	25 sep	225	3660.2
70. ŠENTGOTARD	580	7 maj	3 okt	217	3475.1
71. ŠVARJE PRI SEŽANI	311	24 apr	16 okt	191	2679.3
72. ŠMARJE-SAP	342	7 maj	28 sep	222	3575.4
73. ŠMARINO NA POHORJU	785	14 maj	24 sep	233	3750.5
74. ŠMARINO PRI SLOVENJUGRADCU	452	10 maj	22 sep	231	3880.4
75. TOLMIN	180	26 apr	11 okt	198	2901.6
76. TURŠKI VRH PRI ZAVRČ.	280	25 apr	8 okt	200	3057.4
77. VEDRLJAN	256	17 apr	25 okt	175	2327.3
78. VELENJE	420	4 maj	29 sep	218	3429.9
79. VELIKI DOLENCI	308	30 apr	30 sep	213	3376.9
80. VIPOLŽE	98	16 apr	23 okt	176	2338.8
81. VOJSKO	1070	3 jun	10 sep	267	4432.6
82. VOLČJI POTOK	360	7 maj	27 sep	223	3599.2
83. VRHNIKA	293	3 maj	1 okt	215	3365.6
84. ZGORNJA ŠČAVNICA	358	30 apr	5 okt	208	3280.4
85. ŽELEJE	427	8 maj	27 sep	224	3691.3

## LITERATURA

- /1/ ČADEŽ M.: Jezera hladnega vazduha. Hidrometeorološki glasnik SUHMS, Beograd 1948.
- /2/ FURLAN D.: Temperature v Sloveniji. Slovenska akademija znanosti in umetnosti. Razred za prirodoslovne in medicinske vede. Dela, 15. Inštitut za geografijo, 7. Ljubljana 1965.
- /3/ FURLAN D.: Računske temperature. Letno poročilo raziskovalni skupnosti Slovenije. Ljubljana 1977 (neobjavljeno).
- /4/ HOČEVAR A.: Globalno sevanje v Ljubljani. Razprave - Papers VIII, Ljubljana 1967.
- /5/ HOČEVAR A. s sodelavci: Razporeditev potenciala sončnega sevanja v Sloveniji. Poročilo Raziskovalni skupnosti Slovenije. Ljubljana 1980 (neobjavljeno).
- /6/ PETKOVŠEK Z.: Relief Meteorologically Relevent Characteristics of Bosphorus Zeitschrift Met. B.28.H.6, 1978.
- /7/ PETKOVŠEK Z.: Emisijski potencial SO<sub>2</sub> za večino kotlin Slovenije. Razprave - Papers, 23. Ljubljana 1979.
- /8/ PRISTOV J., TRONTELJ M.: Zimski temperaturni ekstremi. Razprave - Papers XIX, DMS, Ljubljana 1975.
- /9/ RIETSCHEL/REISS: Heiz und Klimatechnik 15. neubearbeitete Auflage von. W.Reiss. Springer-Verlag Berlin (Heidelberg) New York 1968.

CIKLONALNI VALOVI NA JADRANU  
STORM SURGES ON THE ADRIATIC

Mgr. Milan HODŽIĆ  
Pomorski meteorološki centar, Split

551.515.1

SUMMARY

Storm surges are long gravitational waves which cause immense damage and make safe navigation impossible along the coast and in the bays of many seas and oceans. Their amplitudes may amount to up to seven metres in tropical regions. These waves originate under the influence of intense atmospheric disturbances that move across the sea. Surges also originate on the Adriatic, on the occasion of the passing of a cyclone, but their amplitudes along the eastern coast are far less in range and they range from several centimetres to half a metre. However, surges on the Adriatic sometimes cause piled up oscillations (seiches) in gulfs and inlets, whose amplitudes can considerably exceed the value of one meter in the bay of Vela Luka. By counting the intensity and speed of passage of the cyclone across the Adriatic during the appearance of the surges, and afterwards, of the seiche in the bay of Vela Luka, in 1951, 1977, 1978 and 1979, we were able to analyse the above mentioned parameters, their connection with the maximal amplitudes of the short-period oscillations of the sea level (surges) in Split, and the occurrence of seiches in the bay of Vela Luka.

POVZETEK

Ciklonalni valovi (sturm surges) so dolgi gravitacijski valovi na vodnih površinah, ki nastajajo pri prehodih izrazitih atmosferskih motenj prek morja in jezer. Nastajajo tudi na Jadranu, njihova amplituda pa se giblje od nekaj cm do pol metra, medtem ko lahko v tropskih območjih doseže tudi prek 7 metrov. Pri prehodu ciklonov prek Jadrana povzročajo ciklonalni valovi v zalivih in kanalih včasih razdiralne zalivske oscilacije (seše), katerih amplitude, na primer v zalivu Vela Luka na otoku Korčuli, znatno presegajo vrednosti enega metra. V tem delu smo raziskovali zvezo med intenzivnostjo in hitrostjo gibanja ciklona in amplitude surga nad Jadranom v času pojava seša v zalivu Vela Luka.

Ciklonalni valovi su dugi gravitacioni valovi koji nastaju na vodenim površinama mora i jezera, prilikom prolaza intenzivnih atmosferskih poremećaja. Oni su uzrokovani dinamičkim promjenama atmosfere, posebno kod jakih horizontalnih i vertikalnih strujanja zraka i naglim promjenama tlaka zraka u području ciklona in frontova. Surge su vrlo opasne vremenske nepogode, koje rušiličaki uništavaju obalne krajeve mnogih mora i oceana. Njihova amplituda nerijetko iznose od 3-6 metara u Meksičkom i Bengalskom zaljevu. U području djelovanja surga, sigurnost plovidbe je ponekad potpuno neizvjesna. Zbog toga su istraživanja surga zadnjih desetljeća znatno napredovala. To je omogućilo bolje upoznavanje i praćenje same pojave a zatim i njihovo prognoziranje. Tako su se barem donekle mogle otkloniti opasnosti od iznenađenja pojave. Glavni cilj istraživanja bio je u tome da se na neki način predvidi vrijeme nastanka i nailaska surga u obalnim pojasevima, kako bi se unaprijed mogle poduzeti određene mjere za zaštitu ljudi i materijalnih dobara uz obalu i na moru.

Surge se javljaju na svim morima i oceanima. One se također javljaju i na Jadranu, ali su manjih amplituda i nisu razorne kao one u tropskim područjima. Na Jadranu surge međutim uzrokuju-pobudjuju slobodne zaljevske oscilacije u brojnim zaljevima, u trenutku kada su periodi surga i periodi vlastitih oscilacija zaljeva ili kanala vrlo bliski ili čak isti, te uslijed rezonancije nastaju vrlo opasne seše, čije amplitude kao na primjer u zaljevu Vele Luke, znatno premašuju vrijednosti od jednog metra.

Stom surge se očituju kao povremeno i prolazno dizanje morske razine uz obalu a koje premašuje prognoziranu razinu plime. Termin je obično povezan uz obalne fenomene, premda se također susreću i na otvorenom moru kada neopazeno napreduju. Surge mogu biti uzrokovane i s jakim vjetrovima sa komponentom prema obali. Neobičan pad morske razine ponekad se naziva negativna surga a može biti prouzročena povlačenjem vala od obale ili djelovanjem jakih vjetrova koji imaju komponentu od obale. Razorne surge najčešće su povezane sa intenzivnim meteorološkim poremećajima tropskog porijekla (tropski ciklon ili olija, tajfun ili hariken). U tim slučajevima nastaju dodatne opasnosti uzrokovane kombinacijom jakih vjetrova, vjetrovnih valova i obilnih oborina.

Glavni dio surge širi se preko oceana i mora sa gibanjem ciklona i mogu se razmatrati kao osamljeni valovi (solitary waves). Za stvaranje surga najvažniji su ciklonalni parametri, kao što su veličina ciklona, radius maksimalnog vjetra, maksimalni vjetar, kut strujanja zraka, pad tlaka i intenzitet ciklone (razlika tlaka između centra i periferije ciklone, obično na udaljenosti od oko 500 km). U području niskog tlaka u centru ciklone imamo dizanje morske razine. Na osnovu hidrostatskih razmatranja dobijeno je da pad tlaka od jednog milibara uzrokuje dizanje razine mora za otprilike jedan cm. Porast razine mora stvoren padom tlaka poznat je kao efekt obrnutog barometra. Surge su također nedisperzivni valovi i valna duljina im je mnogo veća od dubine vode. Njihovi periodi kreću se od nekoliko minuta do nekoliko dana, dok su najčešći oni od oko jedan sat i dulji. Opsežna istraživanja surga vršena su na japanskoj obali i zaljevima, u Bengalskom zaljevu i Meksičkom zaljevu, uz obalu sjeverne Evrope i uz obalu istočne Amerike. U navedenim područjima izradjene su i primjenjene različite metode za pro-

gnozu surga, među njima su iskustvena, nomogram i dinamičko-numerička metoda.

Surge i njihova povezanost s prolazom atmosferskih poremećaja preko Jadrana, nisu sistematski ispitivana do sada, premda su se na mareografima uz istočnu obalu Jadrana često registrirale kratkoperiodične oscilacije mora odnosno surge. Njihovi periodi se kreću od nekoliko minuta do nekoliko sati, dok se amplitude kreću od nekoliko cm do 50 cm. Takve surge registrirane su i u vrijeme pojave "poplavnih valova" odnosno seša u Velalučkom zaljevu u tijeku 1977. i 1978. i 12.11.1951. godine, na mareografskim stanicama Split-Luka, Dubrovnik i Bar, upravo u vrijeme prolaza ciklona s priпадnim hladnim frontovima preko Jadrana.

Izračunavanjem i analizom intenziteta, zonalne i meridionalne brzine pomicanja ciklona u vrijeme pojave seša od 12.11.1951., 21.8. i 19.9.1977., i 21.6.1978. (amplitude seša bile su veće od jednog metra), te 10. i 12.2.1979. (amplitude seša bile su manje od jednog metra) u zaljevu Vele Luke, te u vrijeme maksimalnih amplituda kratkoperiodičnih oscilacija mora registriranih na mareografu u Splitu u tijeku 1977. i 1978. godine, upravo u vrijeme prolaza ciklona preko Jadrana; vidjet ćemo kod kojih intenziteta i brzine ciklona, nastaju takve surge koje pobudjuju osciliranje Velalučkog zaljeva.

#### ANALIZA INTENZITETA I BRZINE CENTRA CIKLONA U VRIJEME POJAVE CIKLONALNIH VALOVA NA JADRANU

Izračunate vrijednosti intenziteta, komponente brzine kretanja ciklona i maksimalne amplitude kratkoperiodičnih oscilacija registriranih na mareografu u Splitu, za vrijeme pojave seša u Veloj Luci u tijeku 1977. i 1978. godine prikazane su u tablici.

Intenzitet ciklona je mjera razvijenosti, odnosno intenzitet cirkulacije siklone oko centra. Intenzitet cirkulacije (I) računa se pomoću jednadžbe (1) /2/.

$$I = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + p_4 - 4 p_0}{H^2} \quad (1)$$

Praktično se to izvodi pomoću razlike tlaka između određenih točaka kvadratne sheme prikazane na sl.1. Kvadrat se postavlja na sinoptičku kartu u centar ciklone, a dijagonale su orijentirane u pravcu koordinatnih osiju, y-os u pravcu sjevera i x-os u pravcu istoka. U jednadžbi (1)  $p_0$  označava vrijednost tlaka u centru ciklone,  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  i  $p_4$  vrijednosti tlaka u točkama 1, 2, 3 i 4 kvadratne sheme, dok je  $H$  udaljenost između točaka  $a$  i  $b$  i iznosi 500 km /3/.

Brzina kretanja centra ciklone izračunava se također metodom Pettersena, pomoću jednačbi za komponente brzine centra ciklone  $c_x$  i  $c_y$ .

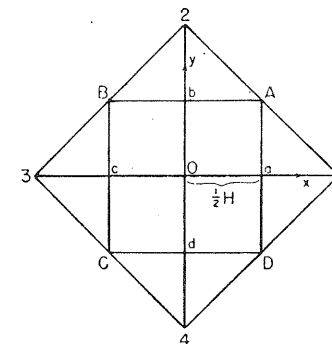
$$c_x = \frac{b_a - b_c}{p_1 - 2p_0 + p_3} H \quad \text{i} \quad c_y = - \frac{b_b - b_d}{p_1 - 2p_0 + p_4} H \quad (2)$$

gdje  $b_a, b_b, b_c, b_d$  te  $p_1, p_2, p_3$  i  $p_4$  označavaju vrijednosti barometrijske tendencije i tlaka zraka na prizemnim sinoptičkim kartama u točkama sheme sl.1.

Intenziteti ciklona su u tablici razvrstani u grupe sa slabim (I 20), umjerenim (20 I 40) i velikim intenzitetom (I 40) /3/. Komponente brzina su razdvojene u grupe s brzinom C 10 km/sat, s brzinom 10 C 25, i s brzinom C 25 km/sat. Prema vrijednostima maksimalnih amplituda oscilacija, slučajevi su razvrstani u grupe sa amplitudom A 30 cm, A 20 cm i A 10 cm.

Promatranjem rubrike amplitude u tablici, vidimo da su se seše s najvećim amplitudama u Veloj Luci zbile onada kada su najveće amplitude oscilacija registrirane u Splitu imale vrijednosti veće od 30 cm, i to u slučajevima od 12.11.1951., 21.8. i 19.9.1977. i 21.6.1978. godine, dok su se amplitude seša od oko jedan metar zbile onda kada su maksimalne amplitude iznosile 10 i 20 cm u slučajevima od 10. i 12.2.1979. godine.

Usporednim razmatranjem triju parametara: intenziteta, zonalne  $C_x$  i meridionalne  $C_y$  brzine ciklona, zapaža se da su se velike amplitude seša u zaljevu Vele Luke zbile samo onda kada su najmanje dva od tri parametra imala najveću i umjerenu vrijednost, uz uvjet da su brzine pozitivne. Tako u slučaju od 12.1.1951. godine intenzitet i  $C_x$  brzina pripadaju grupi s najvećim vrijednostima. U slučajevima od 21.8. i 19.9.1977. godine intenziteti pripadaju grupi s najvećim umjerenim vrijednostima, dok  $C_x$  brzina pripada grupi s najvećim vrijednostima. U slučaju od 21.6.1978.  $C_y$  brzina je u grupi s najvećim vrijednostima, kao i  $C_y$  koja od svih 24 slučaja ima maksimalnu vrijednost. U slučaju kada je amplituda seša iznosila oko jedan metar tj. 10.2.1979. godine intenzitet je imao umjerenu vrijednost, dok je  $C_x$  brzina imala najveću vrijednost. U slučaju od 12.2.1979. intenzitet ciklone je imao najveću vrijednost od svih razmatranih slučajeva. Provedena analiza intenziteta i brzine ciklona u svim slučajevima, pokazala je da su se seše u Veloj Luci s vrlo velikim amplitudama (veće od 1 m), zbile samo onda kada su dva od tri razmatrana parametra imala najveću umjerenu i najveću vrijednost, dok su se amplitude seša od oko 1 metar pojavile onda kada je samo jedan parametar bio najveći od svih ispitanih, uz uvjet da su brzine ciklona imale pozitivnu vrijednost, tj. u slučajevima kada se ciklone kretala i prema sjeveru i prema istoku.



Slika 1 Kvadratna shema za računanje intenzivnosti  
Fig. 1 Quadratic scheme for calculating intensivity

#### ZAKLJUČAK

Prikaz pojave poznate pod nazivom STORM SURGES (ciklonalni valovi), dan je u svrhu boljeg upoznavanja njihovog nastanka i opasnosti koje su uz nju vezane. Posebno smo željeli naglasiti opasnost koju surge mogu uzrokovati na Jadranu. U tu svrhu izvršili smo posebnu analizu ciklona na Jadranu, kako bi utvrdili najčešće intenzitete i brzine ciklona kod kojih nastaju takve surge, koje mogu uzrokovati razorne zaljevske seše, kao što je bio slučaj u zaljevu Vele Luke. Analiza intenziteta ciklona u 24 slučaja prolaza ciklona preko Jadrana, pokazala je da su iznosili od malih umjernih do vrlo velikih. U isto vrijeme brzina kretanja ciklona u komponentama redovito je bila pozitivna pri pojavi seša, odnosno ciklone su se kretale i prema istoku i prema sjeveru, dok su maksimalne amplitude surgi uz istočnu obalu Jadrana iznosile od 10-45 cm (prema mareografskim zapisima). Paralelna analiza intenziteta, zonalne i meridionalne brzine ciklona dala je vrlo važne zaključke: seše s najvećim amplitudama (znatno više od jednog metra) zbile su se samo onda kada su dvije od izračunatih vrijednosti imale umjerenu i najveću vrijednost; seše s manjim amplitudama (oko jedan metar) zbile su se onda kada je jedna od vrijednosti imala maksimalan iznos. Analiza je također pokazala da se seše s velikim amplitudama događaju onda kada su amplitude surga veće od 30 cm, a manje kada su iznosile od 10-20 cm.



OBRAMBA PRED TOČO V SLOVENIJI DANES  
HAIL PROTECTION IN SLOVENIA TODAY

Andrej KRANJC  
Hidrometeorološki zavod SR Slovenije, Ljubljana

551.578.7

SUMMARY

Radar guided rocket hail suppression began in N.E. Slovenia towards the end of the 1971 season. It was established by following the Soviet model, as had already been done in Serbia, Croatia and Macedonia.

Initially, the approach to all Cb-clouds was the same; namely, shooting rockets containing silver iodide into the accumulation zone - the region in the cloud that gives the strongest radar echo. On the basis of new findings about airflow inside Cb-clouds and in their environment (e.g. Browning, 1977) we progressed to seeding moving storm clouds on the front right part of the cloud and slightly in front of it.

Antihail rockets are launched from launching sites disposed on the defended area. The launchers obtain instructions for launching from the Radar Centre, which lies somewhere in the middle of the defended area.

In September 1981, a new meteorological radar was installed in the Radar Centre, which replaced the old military radars. The main advantages of the new radar are longer range, better resolution and the possibility of contoured display, provided by the DVIP - Digital Video Integrator Processor.

The consumption of rockets in recent years varied very much - from 360 in 1976 to 1417 in 1979; this means that storm activity varies greatly from year to year. The consumption of rockets is generally greater on the N.W. edge of the defended area; the reason for this is probably the fact that the majority of the storms come from the N.W. (Fig. 3).

Occurrence of hailfall is rather variable from place to place. On the average, hail falls on the defended area (255,643 ha) about 20 times per year (Table 3).



## POVZETEK

V članku je prikazan sistem obrambe pred točo v Sloveniji, in sicer način izvajanja obrambe, tehnična sredstva, ki jih pri tem uporabljamo ter nekatere spremembe v metodologiji in opremljenosti v zadnjih letih. Od tehničnih sredstev je nekoliko podrobneje opisan novi meteorološki radar. Pri raziskavah, ki so bile doslej še dokaj skromne, je prikazana prostorska in časovna porazdelitev porabe protitočnih raket v obdobju od 1972 do 1980 ter prostorska porazdelitev padanja toče v istem obdobju, oboje na branjenem območju SV Slovenije.

## UVOD

Radarsko-raketna obramba pred točo je bila v Jugoslaviji organizirana po vzorcu obrambe v Sovjetski zvezi. Najprej so začeli z njo v Srbiji, nato pa v Hrvatski, Makedoniji in Sloveniji.

V Sloveniji poteka obramba pred točo (OPT) ob pomoči radarja in raket že nad 10 let, in sicer v severovzhodnem delu, kjer zavzemajo znaten delež kmetijskih obdelovalnih površin vinogradi in sadovnjaki. Od začetka tovrstne obrambe leta 1972 do junija 1981 je bila velikost branjene površine nespremenjena, 255.643 ha; s priključitvijo občin Murska Sobota, Lendava in Slovenske Konjice pa se je povečala na 372.653 ha.

Vodenje obrambe poteka vsa leta z radarskega centra na Žikarcah pri Zg. Koreni, ki leži približno v sredini branjenega območja, na nadmorski višini ok. 400 m. Obramba poteka na tem območju in tudi drugod v Jugoslaviji že od samega začetka operativno, to se pravi, ne kot eksperiment, ampak le kot aplikacija neke metode. V zadnjih letih pa se pojavljajo zahteve po raziskavah, ki naj bi predvsem dale odgovor na vprašanje, ali je oz. koliko je obramba pred točo uspešna. To vprašanje se je začelo pojavljati zlasti po nekaj velikih katastrofah, ki jih je tu in tam v Jugoslaviji povzročila toča kljub obrambi (npr. v Sloveniji 4. in 12. avgusta 1980). Prva reakcija na zahteve po izboljšanju obrambe pred točo je bila nado-meščanje dotedanjih tehničnih sredstev z novimi, ustrežnejšimi, in verjetno je, da bo to povečalo učinkovitost obrambe. V prvih letih po uvedbi OPT je bilo pri nas napisanih več člankov v zvezi s to problematiko. Avtorji so se ukvarjali s prikazom ter oceno OPT v Sloveniji /7/, s prognozo in gibanjem neviht /8/, /6/, /9/ ter tudi z ugotavljanjem vpliva srebrovega jodida na nevihtne oblake /10/.

V nekaterih državah, ki se ukvarjajo z obrambo pred točo, je bilo narejenih že več ocen uspešnosti. Podatki iz SZ govorijo o zmanjšanju škode zaradi toče prav zaradi obrambe večinoma za okoli 90 % in več /1/. Številke iz ZDA in J. Afrike so skromnejše - škodo naj bi z obrambo (posipanje s srebrovim jodidom (AgJ) v ZDA oz. s suhim ledom v J. Afriki - oboje z letali) zmanjšali za ok. 20 - 50 %, en eksperiment (Colorado NHRE) pa je dal negativen rezultat. In sicer za povprečno 23 % povečanje mase toče zaradi izvajanja obrambe /3/. Več ocen uspešnosti OPT so naredili tudi v Srbiji, kjer so ugotovili 3-4 krat več toče na nebranjenem kot na branjenem območju /5/.

## NAČIN OBRAMBE PRED TOČO PRI NAS

Osnova tovrstne obrambe je dovajanje ledotvornih kondenzacijskih jeder (kristali AgJ) v oblake z namenom, da bi povzročili nastanek velikega števila drobnih zrn toče, ki se pri padanju skozi toplejše plasti ozračja stalijo, namesto manjšega števila debelejših zrn toče, ki lahko povzročijo škodo (to je hipoteza konkurence med embriji toče zaradi omejene količine vode v oblaku). Reagent (AgJ) dovajamo z raketami v oblake, ki jim določimo stopnjo nevarnosti z radarjem in na osnovi podatkov o temperaturni stratifikaciji ozračja (podatki iz radiosondnih meritev).

V načelu se način obrambe v teh 10 letih ni spremenil; na osnovi izsledkov o nevihtnih oblakih pa se je spremenila metodologija streljanja na gibajoče se oblake. Po prvotni (sovjetski) shemi vsebuje nevihtni oblak zono akumulacije (povečane vodnosti), kjer nastaja toča in kamor je treba dovajati reagent (slika 1); to pomeni, da je v vsakem primeru treba streljati v sam oblak. Meritve in raziskave (npr. /2/) pa so pokazale, da po vsej verjetnosti ni tako; streljanje v sam oblak pride v poštev le pri termičnih, stacionarnih nevihtnih oblakih, medtem ko je pri gibajočih se oblakih stvar drugačna (navadno ob prehodih front).

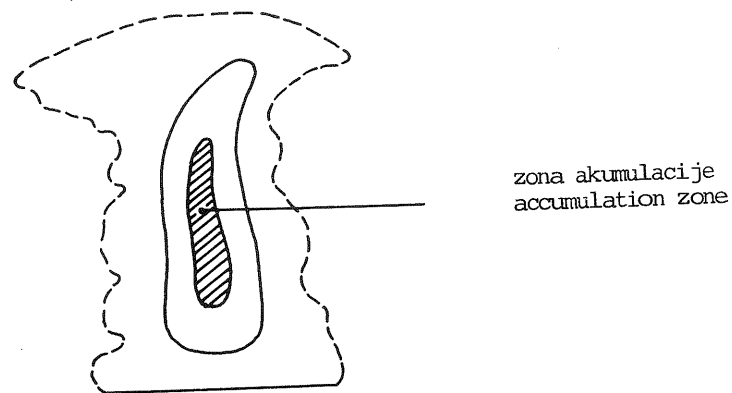
V sezoni 1980 so v SZ spremenili metodologijo posipanja nevihtnih oblakov in sicer tako, da so jo prilagodili shemi, prikazani na sliki 2 /1/. Prav tako smo opisani shemi prilagodili streljanje v našem sistemu OPT.

Iz slike 2 je razvidno, da moramo pri gibajočem se oblaku posipati nekoliko pred samim oblakom, in sicer pretežno pred desno polovico (gledano v smeri gibanja), ker se nevihtni oblaki na severni polobli večinoma obnavljajo na sprednji desni strani.

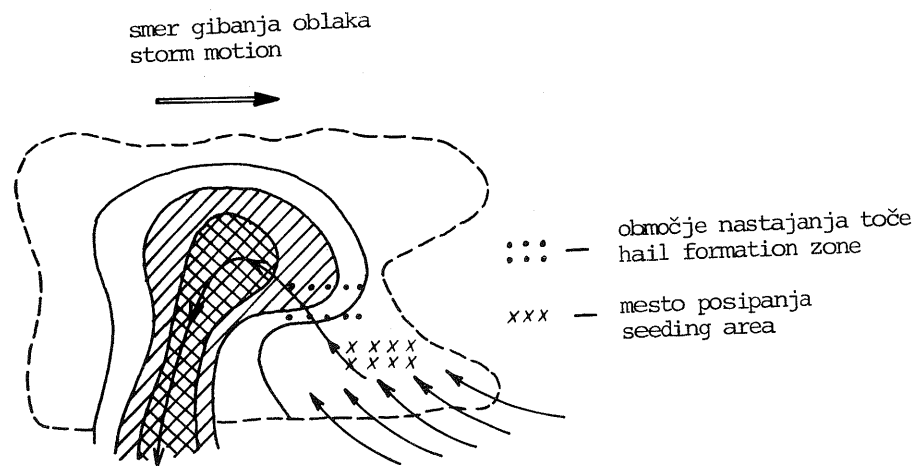
V stacionarne Cb istreljujemo rakete proti sredini, ko so še v razvojni fazi, torej ko je v srednjem delu še prisoten vzponski tok.

Kot je bilo že omenjeno, vodimo akcije OPT iz radarskega centra, rakete pa izstreljujejo usposobljeni strelci s strelnih mest, ki so bolj ali manj enakoverno porazdeljena na branjeni površini. Na prvotnem območju tvorijo strelna mesta mrežo kvadratov s stranico 5 km, kar je bilo prilagojeno domnevni dosegu raket SAKO 6-3; sprva je bil namreč deklariran vertikalni doseg teh raket 6 km, kasneje pa so meritve pokazale, da je v resnici le ok. 3 km in je mreža 5 km x 5 km zanje preredka. V Pomurju in občini Sl. Konjice so bila zaradi uvedbe novih raket (TG-10) z vertikalnim dosegom ok. 8,5 km postavljena strelna mesta v mreži 7,5 km x 7,5 km, kar zagotavlja večkratno prekrivanje vsake točke branjenega območja. Z dokončno modernizacijo sistema OPT v SV Sloveniji ter z vzpostavitvijo obrambe v osrednji Sloveniji pa je v načrtu nova, nekoliko redkejša razporeditev strelnih mest, in sicer v mreži 12 km x 8 km. Taka mreža namreč ob uporabi raket z balističnimi karakteristikami, kot jih imajo rakete TG-10, zagotavlja dva- ali večkratno prekrivanje na veliki večini branjenega območja in le izjemoma, na majhnih površinah, se lahko zgodi, da je prekrivanje samo enkratno (pri najbolj neugodnih odstopanjih dejanske od idealne mreže).

Akcije OPT potekajo na naslednji način: Ko strelci zaslišijo gmenje ali opazijo nevihtne oblake, to javijo radarskemu centru, kjer z radarjem spren-



Slika 1 Shematičen presek nevihtnega oblaka po hipotezi o zoni akumulacije.  
Fig. 1 Schematic cross-section of a storm cloud, following the accumulation zone hypothesis.



Slika 2 Shematičen presek gibajočega se nevihtnega oblaka.  
Fig. 2 Schematic cross-section of the moving storm cloud.

ljajo dogajanje v okolici. Če kak oblak doseže ali preseže kritične vrednosti, dobijo strelci, ki so v ugodnem položaju za obstreljevanje tega oblaka, povelje za izstrelitev potrebnega števila raket. Poleg števila dobijo še podatke za azimut (smer), elevacijo in tempiranje (nastavitev časa začetka posipanja). Število raket se določi glede na volumen zone večje vodnosti v oblaku, kjer je temperatura pod  $0^{\circ}\text{C}$ . Preden se izda strelcem ukaz za izstrelitev raket, je potrebno dobiti dovoljenje od kontrole letalskega prometa.

#### TEHNIČNA SREDSTVA

Za izvajanje OPT v zgoraj opisani obliki potrebujemo naslednja tehnična sredstva:

1. meteorološki radar,
2. radijske zveze,
3. strelna mesta,
4. rakete.

S stališča meteorologije je seveda najzanimivejši meteorološki radar, zato bomo na kratko opisali nekaj njegovih značilnosti.

Jeseni 1981 je bil na radarskem centru Žikarce montiran nov meteorološki radar (WR 100/77) ameriške firme (EEC), ki je zamenjal dotedanje modificirane vojaške radarje (3 Mark 7), angleške proizvodnje. Ena bistvenih razlik med tema dvema radarjema je v tem, da ima novi mnogo manjši kot sevanja ( $1,1^{\circ}$ ) in s tem večjo ločljivost kot stari (kot sevanja ok.  $5^{\circ}$ ), kar omogoča mnogo natančnejše meritve. Tako znaša pri starem radarju na njegovem maksimalnem dosegu 35 km širina snopa že 3 km, medtem ko je pri novem le 670 m. Poleg tega je doseg novega radarja mnogo večji, pri čemer je možno izbirati med dosegmi 100, 230 in 450 km. Večji doseg nam omogoča razširitev branjenega območja oz. obvladovanje večje površine iz enega samega radarskega centra, poleg tega pa nam omogoča spremljati razvoj in približevanje nevihtnih (in drugih) oblakov, ko so še izven branjenega območja.

Ena izmed razlik, ki pa za OPT ni zelo pomembna, je ta, da dela novi radar na valovni dolžini 5 cm, stari pa na 10 cm. Zaradi krajše valovne dolžine je kot sevanja sorazmerno manjši ( $\mu \approx \lambda / D$ ), poleg tega pa so s 5 cm radarjem možne zaradi večje občutljivosti nekatere meritve, ki z 10 cm niso možne. Zaradi drugačne valovne dolžine so seveda drugačni kriteriji za nevarnost toče kot pri merjenju z 10 cm radarjem (spremeni se sipalni presek, ki je sorazmeren z  $\lambda^{-4}$ ).

Verjetno je najbolj bistvena pridobitev ob zamenjavi radarja naprava DVIP (Digital Video Integrator Processor), to je priprava, ki spreminja analogne radarske video signale v digitalne podatke ter jih integrira in obdela. Tako obdelane podatke, razdeljene po jakosti v 6 razredov, lahko opazujemo na PPI, RHI in A pokazateljih radarja, lahko pa jih tudi vodimo prek

digitalnega izhoda na računalnik. Če je DVIP izključen, je prikaz na vseh pokazateljih v analogni obliki.

DVIP omogoča tudi t.i. STC korekcijo (Sensitivity Time Control); to je eliminacija vpliva oddaljenosti cilja na jakost sprejetega odbitega valovanja (faktor  $1/R^2$ ). STC korekcija deluje na razdaljah od 20 do 230 km.

#### RAZISKAVE

Na osnovi podatkov iz akcij OPT v severovzhodni Sloveniji v letih od 1972 do 1980 smo naredili nekaj preprostih obdelav /4/, ki jih predstavljamo tudi tukaj.

Tabela 1 prikazuje porabo raket po mesecih in celotno porabo v letih od 1972 do 1980. Vidimo, da je v povprečju skoraj 90 % raket izstreljenih v osrednjih 3 mesecih sezone - juniju, juliju in avgustu; v povprečju poraba raket po mesecih narašča do julija, nato pa spet pada. Kot vidimo v zadnji koloni tabele 1, se skupna letna poraba raket od leta do leta precej spreminja; to je pogojeno z različno nevihtno aktivnostjo v posameznih letih.

Tabela 1 Poraba raket v letih od 1972 do 1980.  
Table 1 Consumption of rockets in the years 1972 - 1980.

	MAJ	JUNIJ	JULIJ	AVGUST	SEPTEMBER	VSOTA
1972	107	213	212	245	-	777
1973	4	180	244	29	90	547
1974	281	111	123	97	-	612
1975	70	149	385	269	35	908
1976	38	62	118	106	36	360
1977	83	201	371	218	12	885
1978	82	291	312	248	14	947
1979	22	548	716	120	11	1417
1980	20	214	434	662	-	1330
VSOTA	707	1969	2915	1994	198	7783
povpr.	79	219	324	222	22	866

Na drugačen način je prikazana poraba raket na sliki 3, t.j. po posameznih strelnih mestih, prav tako skupaj za leta od 1972 do 1980. Zanimivost, ki jo s tem prikazom ugotovimo in smo jo tudi pričakovali, je velika poraba raket na strelnih mestih, ki so v severozahodnem in deloma zahodnem delu poligona. Vzrok za tako sliko je seveda razumljiv, saj pride večina neviht od severozahoda. Ob tem pa preseneča razmeroma malo porabljenih raket na skrajnem zahodnem delu poligona. Šrafirani kvadratki pomenijo strelna mesta, od koder je bilo v teh letih izstreljenih več kot 100 raket. Slika območij z največjo porabo raket je precej podobna tisti, ki prikazuje porabo v prvih treh letih obrambe /7/. Poudariti moram, da nekatera strelna mesta niso delovala ves čas trajanja obrambe in zato podatki niso popolnoma primerljivi med seboj (glej tabelo 2).

Tabela 2 Seznam strelnih mest, ki v posameznih letih niso delovala.  
Table 2 List of launching sites not operating in particular years.

1972:	22, 24, 31, 49, 57, 62, 63, 64, 65, 70, 71, 72, 74, 75, 77, 79, 80, 83, 84, 86, 90, 103
1973:	19, 22, 24, 49, 57, 62, 63, 65, 71, 72, 74, 103
1974:	24, 49, 103
1975:	16, 24, 39, 42, 49, 54a, 87, 103
1976:	24, 39, 42, 49, 55, 87, 103
1977:	10, 12, 16, 22, 24, 35, 39, 42, 43, 49, 55, 87, 103
1978:	24, 49, 74, 103
1979:	24
1980:	12, 24

Tabela 3 podaja število dni s točo po posameznih mesecih v letih od 1972 do 1980 ter ustrezne vsote in povprečja teh dni. Iz končne vsote lahko izračunamo, da pade toča nekje na branjenem območju v povprečju 20-krat na sezono oz. enkrat na teden. Nekoliko presenetljivo je veliko število primerov toče v maju, vendar gre to deloma na račun sodre ali babjega pšena, ker je v maju večkrat zrak še precej hladen in izoterma 0°C nizko nad tlemi.



