

R A Z P R A V E

P A P E R S

Letnik 29

1

Vsebina - Contents	Stran
B. Zupanič, J. Pristov: Metoda in izbor referenčnega meteorološkega leta Method and selection of test reference year	3
S. Rink, T. Cegnar: Primerjava statističnih metod za oceno ekstremnih vrednosti padavin Comparison of statistical methods for estimation extreme values of precipitation amounts	13
T. Vrhovec: Primerjava nekaterih zimskih klimatskih količin v vzhodnem delu Ljubljanske kotline Comparison of some winter climatic parameters in the eastern part of the Ljubljana basin	33
A. Kranjc: Obramba pred točo v Sloveniji danes Hail protection in Slovenia	43
V spomin - Obituary	63

METODA IN IZBOR REFERENČNEGA METEOROLOŠKEGA LETA METHOD AND SELECTION OF TEST REFERENCE YEAR

Boris ZUPANČIČ, Janko PRISTOV
Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana

551.582

SUMMARY

Models for projecting the thermal insulation and heating of buildings need meteorological input data. In the form of hourly values these data must sufficiently accurately represent the average yearly course of individual meteorological elements, especially air temperature, energy of solar radiation, wind speed and humidity. These meteorological data are known under the name " Test reference year ". According to our available archives we decided to form a historical test reference year, which means that the data taken from selected months are composed to form a representative yearly course. To select these months various statistical tests were used and the method of numerical taxonomy. A test reference year was defined for three meteorological stations, Ljubljana, Maribor and Koper.

POVZETEK

Modeli za projektiranje toplotne zaščite zgradb in področja racionalne uporabe energije nasploh potrebujejo tudi meteorološke vhodne podatke. Ti podatki morajo v obliki urnih vrednosti dovolj natančno predstavljati povprečen časovni potek posameznih meteoroloških elementov, predvsem temperature zraka, energije sončnega sevanja, hitrosti vetra, relativne vlage. Tak letni niz podatkov imenujemo referenčno leto. Glede na razpoložljiv arhiv podatkov, sredstva in čas, smo se odločili za izdelavo referenčnega leta na historični način, kar pomeni, da so to podatki konkretnih mesecev, sestavljeni v reprezentativni letni niz. Pri izboru posameznih mesecev, ki ta letni niz sestavljajo, smo uporabili različne statistične teste in metodo numerične taksonometrije. Referenčno leto smo določili za Ljubljano, Maribor in Koper.

UVOD

V zvezi z energijsko krizo, smo tudi v Sloveniji pričeli z iskanjem novih energijskih virov in hkrati s smotrno rabo energije, tako pri uporabi kot pri načrtovanju energijsko varčnejših objektov. Uporaba klimatskih podatkov v obliki mesečnih povprečnih vrednosti in iz njih izvedenih vrednosti ima svojo uporabno vrednost le v grobih ocenah ali pri iskanju razlik med posameznimi kraji. Sodobni modeli za projektiranje posameznih zgradb zahtevajo natančne podatke o zunanjih razmerah. Pojem "Test reference year" je v razvitih državah že dolgo uveljavljen in pomeni zalogo meteoroloških podatkov za različne modele s področja varčevanja z energijo in gradbeništva. Pristopa za formiranje teh podatkov sta dva. Pri prvem, katerega rezultat je sintetično referenčno leto, so vse analize narejene na vsaj 10-letnem arhivu urnih vrednosti meteoroloških elementov, pri drugem, historičnem pristopu pa so za analizo potrebne urne vrednosti, povzete po analizi predvsem mesečnih vrednosti daljših časovnih obdobij. Končni rezultati sintetičnega pristopa vsebujejo več informacij, predvsem značilnosti porazdelitev in s tem verjetnosti za nastop določenih situacij, zahtevajo pa zelo obsežen in kvaliteten arhiv urnih vrednosti in zahtevne statistične analize. Kljub znatno večjemu delu, ki ga zahteva sintetično referenčno leto, pa ima pri uporabi historično referenčno leto več prednosti: hitrejšo obdelavo in realnost podatkov, saj so to podatki, ki so bili izmerjeni v dejanskem časovnem zaporedju. Poleg prikazane metode za določitev referenčnega leta je bil narejen v Sloveniji tudi izbor na osnovi neparametričnih testov (Kajfež-Bogataj in A.Hočevar, 1985, 1986).

METODA DELA

Po pregledu literature (Anderson 1974, Lund 1976, Van de Hoogen 1976, Boehe 1979, Cehak 1982), smo se odločili za historični način definiranja normalnega leta. Glavni razlog za tako odločitev je bil, da bi bil zajem obsežnega arhiva urnih vrednosti meteoroloških elementov za sintetični način preobsežno delo. Prve rezultate bi lahko pričakovali šele v nekaj letih, to pa je glede na nujnost uporabe prepozno. Drugi razlog pa je bil ta, da za uporabo teh podatkov v fazi testiranja modelov, sintetični način ne pomeni kvalitetnejše osnove. Historični način nam je omogočil rezultate v relativno kratkem času, saj imamo potreben

Po enaki metodologiji smo iskali in ocenili tri različne načine prikaza historičnega referenčnega leta. Prvi je ta, da je referenčno leto kar tisto leto, ki je po svojih mesečnih vrednostih najbližje dolgoletnemu povprečju. Drugi

način je, da je referenčno leto sestavljeno iz najbolj "normalne" hladne polovice leta in najbolj "normalne" tople polovice leta, tretji pa tak, da je referenčno leto sestavljeno iz najbolj "normalnih" mesecev.

Prvi omenjeni način določitve referenčnega leta je najpreprostejši, pri drugih dveh pa se pojavi vprašanje preskokov. Ker so podatki hladne in tople polovice leta meritve v dveh različnih letih, je pri prehodu iz ene v drugo skok v podatkih. Pri referenčnem letu, ki je sestavljeno iz mesecev različnih let je teh preskokov do dvanajst. Pri formiranju homogenega letnega niza moramo te preskoke izgladiti, če presegajo velikost realnih medurnih razlik, izglajevanje pa mora predstavljati realne vrednosti.

Glede na razpoložljiv računalniško urejen arhiv meteoroloških podatkov in na kvaliteto meritev, smo si za bazo podatkov izbrali meritve za obdobje 1956 - 1984. Slovenija klimatsko ni homogena, zato podatki enega kraja niso reprezentativni za vse kraje v Sloveniji. Zato smo v obdelavo vključili tri kraje in sicer Ljubljano, kot predstavnika krajev osrednje Slovenije z izrazito kotlinsko lego, kjer so pogosti pojavi temperaturnih inverzij, Maribor, ki predstavlja kraje na obrobju kotlin, in Koper, kot predstavnika Primorja s posebnim klimatskim režimom.

IZBOR VHODNIH PODATKOV

Hidrometeorološki zavod SR Slovenije ima računalniško zajet in kontroliran arhiv mesečnih vrednosti meteoroloških elementov od leta 1951, dnevnih vrednosti pa od leta 1969. Poleg teh obsežnih arhivov so še drugi, ki pa obsegajo meritve v krajših časovnih obdobjih. Definiranje povprečnih vrednosti zahteva tako dolga časovna obdobja, da so v njih zajeta vsa približno periodična nihanja. Upoštevali smo priporočilo Svetovne meteorološke organizacije, ki je predlagala tridesetletna obdobja. Tako je arhiv izvedenih mesečnih vrednosti dal izhodišče za naše delo pri določanju referenčnega leta. Problemi smotrne uporabe energije so vezani na tiste meteorološke elemente, ki vplivajo na energijske tokove, zato smo v obsežni banki meteoroloških podatkov naredili izbor. Za vsak mesec smo upoštevali povprečno mesečno temperaturo ob 7., ob 14. in 21. uri, povprečno maksimalno in minimalno temperaturo, absolutne ekstreme temperature, povprečno mesečno relativno vlago ob 7., 14. in 21. uri, absolutni minimum relativne vlage, število dni z relativno vlago nad 80%, število ur sončnega obsevanja, število oblačnih dni, mesečno višino padavin, število dni s padavinami nad 0.1 mm, nad 1.0 mm in nad 10.0 mm ter srednjo jakost vetra za osem glavnih smeri.

RAČUNSKA METODA

Nobeno področje uporabe podatkov referenčnega leta ni tako, da bi nanj vplival samo en meteorološki element, zato je pri nadaljnjem računanju pomemben vpliv posameznega elementa na celoten problem. Ugotovitev pomembnosti je lahko rešljiva, če imamo na voljo hkratne meritve meteoroloških elementov in parametrov sistema, na katerega ti vplivajo. V našem primeru te možnosti nismo imeli. Predpostavili smo, da so za energijske spremembe na stavbah pomembni vsi naštetih meteorološki elementi enako. Za to pot smo se odločili po primerjavi končnih rezultatov, ki smo jih dobili ali s tem, da smo upoštevali samo elemente, povezane s temperaturo, trajanje sončnega sevanja ter oblačnost ali tiste, ki smo jih dobili z upoštevanjem vseh naštetih meteoroloških elementov. Rezultati se med seboj niso razlikovali bistveno, kar pomeni, da so se pojavile razlike le v primerih, ko so si bila leta po podobnosti zelo blizu.

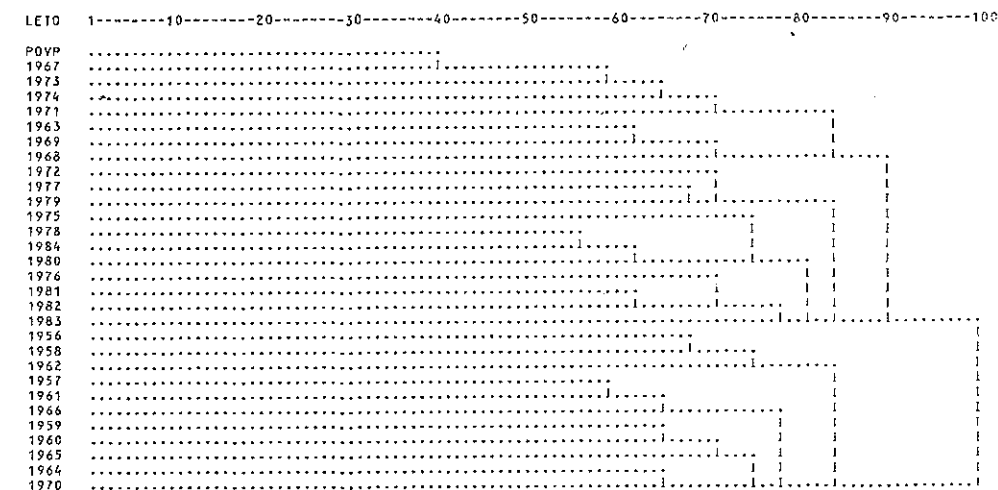
Naslednji korak pri celotnem delu je bilo definiranje splošnih karakteristik izbranega obdobja. Pregledali smo porazdelitve vseh elementov po mesecih ter dobili podatek, katera so leta, ko posamezni meseci vključujejo ekstremne vrednosti meteoroloških elementov. Enak postopek smo naredili tudi za primer, ko je časovna enota celo leto in pol leta, hladna in topla polovica leta.

Že ta analiza je pokazala, da je polovica leta ali celo leto predolg časovni interval, saj se pojavili primeri, ko je posamezen mesec imel ekstremne razmere, pol leta ali leto, ki je vsebovalo ta mesec pa je bilo blizu povprečja. Daljše časovno obdobje namreč lahko izgledi določena nihanja. Ta del analize smo dopolnili še z neparametričnimi testi (Mood 1963, Essenwagner 1976), ki so nam pokazali, katera leta se značilno razlikujejo od vzorca povprečnih vrednosti. Preizkusili smo vse tri primere osnovnega časovnega intervala: mesec, pol leta in celo leto, uporabili pa smo test znakov, Wilcoxonov test, 2 in test Smirnov-Kolmogorov. Vsi rezultati do te stopnje obdelav so nam pokazali, kateri vzorci ne predstavljajo povprečnih razmer, vendar ti rezultati še niso bili dobra osnova za delitev skupine sprejemljivih vzorcev v boljše ali slabše, oziroma za razvrstitev po kriteriju, kako so blizu vzorcu povprečnih vrednosti. Za to, zadnjo fazo našega računskega postopka smo uporabili metodo numerične taksonometrije (Cooley 1971, Sneath 1973), ki smo jo pri nas že uporabili pri določitvi klimatskih območij (Roškar 1976). Vzorce meritev smo najprej transformirali tako, da so predstavljali normalno porazdeljene vrednosti z enakim sipanjem. Od treh možnih strategij, ki nam jih nudi že narejen računalniški program za numerično taksonometrijo smo izbrali maksimalno strategijo. Ta nam na osnovi izračunanih evklidskih razdalj

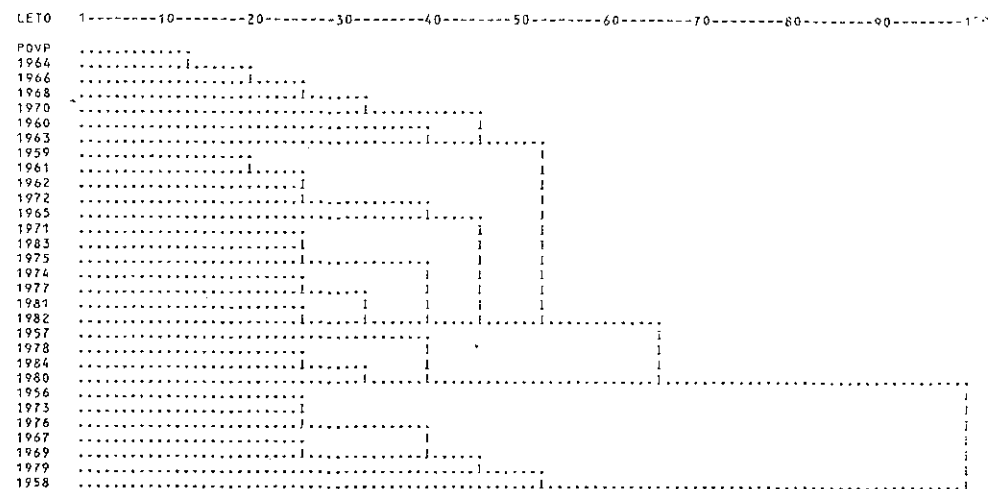
povezuje vzorce v skupine tako, da najprej poišče vzorec, ki je najbližji vzorcu povprečnih vrednosti in na vsakem naslednjem računskem koraku doda naslednjega najbližjega.

REZULTATI ANALIZE

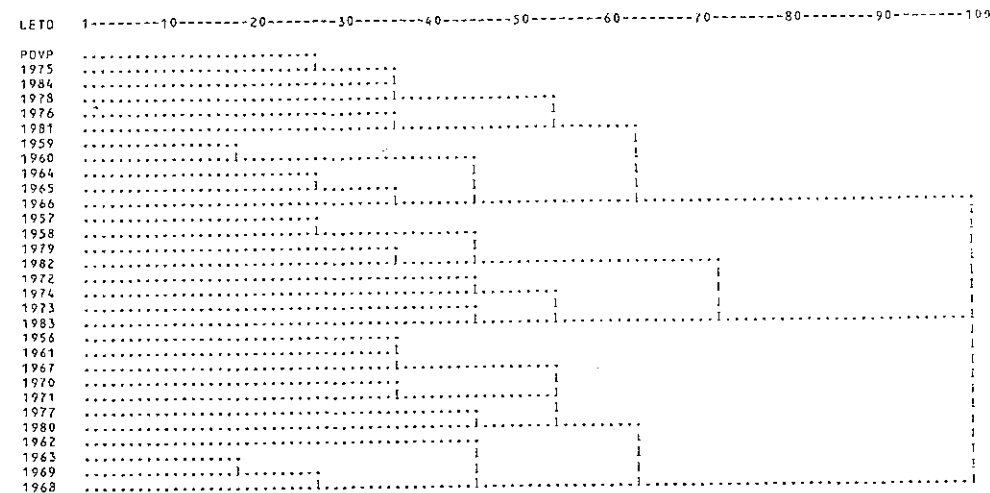
Na slikah od 1 do 6 je za Ljubljano prikazana oblika končnih rezultatov. Na prvi sliki je prikazana analiza za celo leto. Najbližje povprečju je leto 1967, na drugi sliki, za mesec maj pa vidimo, da je mesec maj leta 1967 v skupini, ki močno odstopa od povprečja. Podobno dobimo precejšnja odstopanja za leto 1967, če obravnavamo le hladne polovice leta (slika 3) ali mesec december (slika 4) in za tople polovice (slika 5) ter mesec september (slika 6). Že rezultati neparametričnih testov in prikazani rezultati kažejo na to, da referenčno leto, ki je kar konkretno leto ali pa sestavljeno iz hladne in tople polovice, lahko vsebuje tudi mesece, ki so bolj ekstremni kot povprečni. Zato smo se odločili, da bomo referenčno leto sestavili iz mesecev različnih let. V tabeli 1 so podani končni rezultati analize za Ljubljano, Maribor in Koper. Za vsak mesec je navedeno leto, ki je najbližje povprečju.



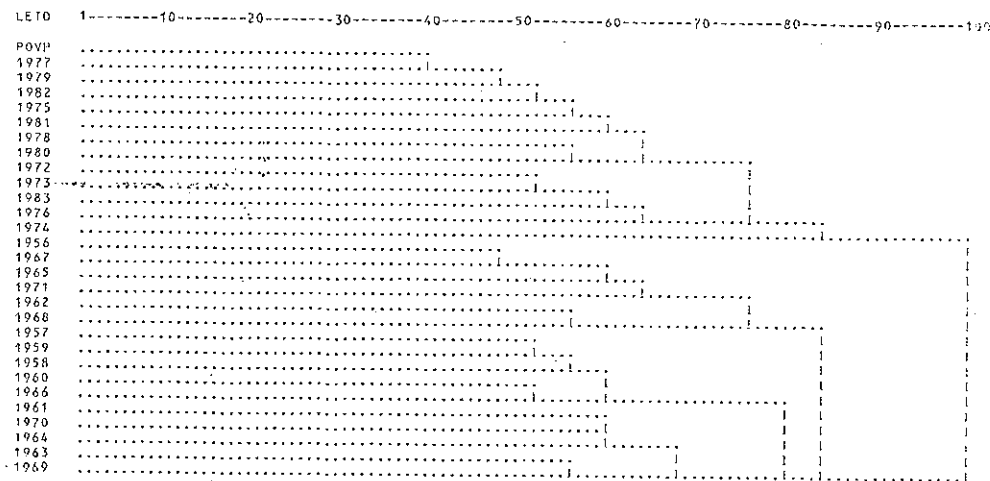
Slika 1 Dendrogram za maksimalno strategijo za leto za Ljubljano
Figure 1 Dendrogram for maximum strategy for a year for Ljubljano



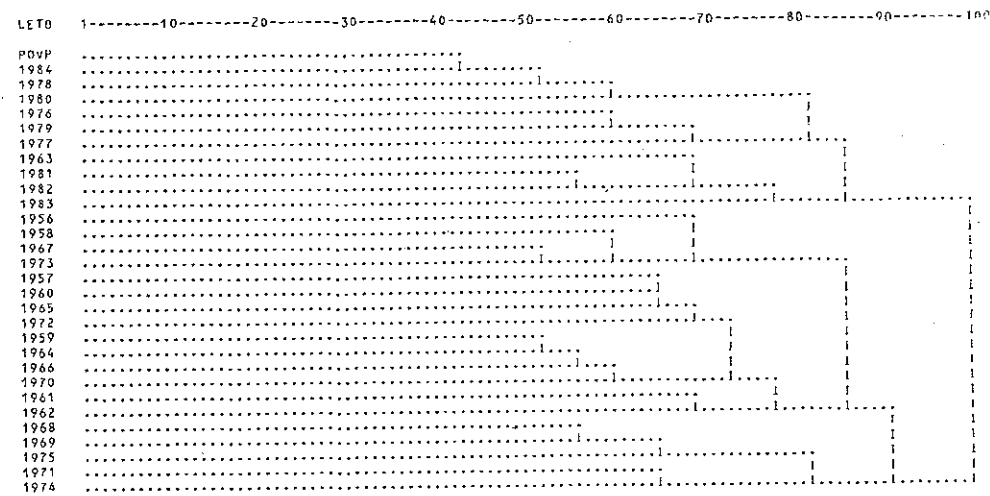
Slika 2 Dendrogram za maksimalno strategijo za maj za Ljubljano
Figure 2 Dendrogram for maximum strategy for May for Ljubljana



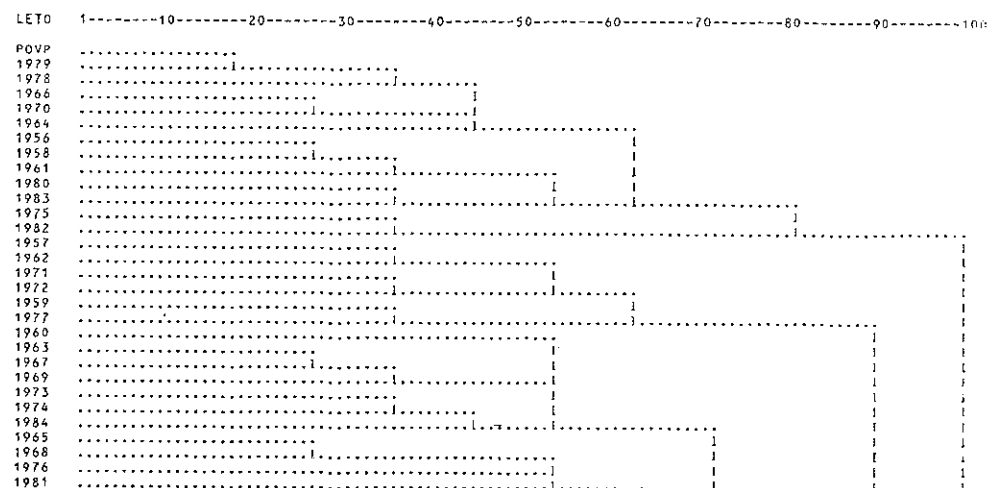
Slika 4 Dendrogram za maksimalno strategijo za december za Ljubljano
Figure 4 Dendrogram for maximum strategy for December for Ljubljana



Slika 3 Dendrogram za maksimalno strategijo za hladno polovico leta za Ljubljano
Figure 3 Dendrogram for maximum strategy for the cold period of the year for Ljubljana



Slika 5 Dendrogram za maksimalno strategijo za toplo polovico leta za Ljubljano
Figure 5 Dendrogram for maximum strategy for the warm period of the year for Ljubljana



Slika 6 Dendrogram za maksimalno strategijo za september za Ljubljano
Figure 6 Dendrogram for maximum strategy for September for Ljubljana

Tabela 1 Leta, ki so v posameznih mesecih najbližja dolgoletnemu povprečju tega meseca za Ljubljano, Maribor in Koper
Table 1 Years, which are in individual month close to the longterm average of that month for Ljubljana, Maribor and Koper

	Ljubljana	Maribor	Koper
januar	1967	1957	1971
februar	1976	1957	1960
marec	1980	1967	1964
april	1957	1983	1961
maj	1964	1969	1977
juni j	1960	1961	1961
julij	1964	1956	1969
avgust	1972	1963	1964
september	1979	1963	1957
oktober	1975	1966	1966
november	1967	1963	1963
december	1975	1978	1970

Razlike med temi tremi kraji so pričakovane, saj predstavljajo ti kraji različna klimatska območja Slovenije.

ZAKLJUČEK

Opisani postopek za definiranje referenčnega leta, nam je glede na obstoječi arhiv meteoroloških elementov in dostopno programsko opremo za statistične obdelave, omogočil, da smo v relativno kratkem času pripravili in zajeli v računalnik urne vrednosti referenčnega leta. Arhivirani so meteorološki elementi : temperatura zraka, energija globalnega obsevanja, trajanje sončnega obsevanja, relativna vlaga in hitrost vetra. Podatki so shranjeni na posebnem magnetnem traku in tako pripravljeni za uporabo na različnih področjih modeliranja. Nadaljevanje tega dela je predvideno v dveh smereh. Prva je preveriti, ali so trije izbrani kraji dovolj, da z njimi zadovoljivo opišemo normalne klimatske razmere v Sloveniji. Druga pa je dopolnjevanje arhiva z dodatnimi informacijami o normalnih klimatskih razmerah ali pa o ekstremnih. Delo v tej drugi smeri mora potekati v tesni povezavi z uporabniki, saj bo le na ta način arhiv imel pravo uporabno vrednost.

LITERATURA

- Anderson, B. et al, 1974: Vejrdata for VVS-tehnike beregninger Referencejaar, Dansk Bygg forskningsinstitut, Rappart no 89, 9 pp.
- Boehe, A. W., von Passen A.H.C. Ole Jong, 1979: Ein synthetisches Referenzfahr fur Energiebedarfsberechnungen, Haustechnik, Bauphysik, Umwelttechnik 100, 31 pp.
- Cehak, K., 1982: The Lay-out of the Austrian Data Book Symposium Building Climatology, Moscow, 319-335 pp.
- Cooley, W. W., Lohnes, P. R., 1971: Multivariate data analysis, John Wiley & sons, New York, 364 pp.
- Essenwagner, O., 1976: Applied Statistics in Atmospheric Science, Elsevier Scientific Publishing Company, New York, 412 pp.
- Kajfež-Bogataj, L., Hočevar, A., 1985 : Oblikovanje in uporaba standardnega meteorološkega leta, Zbornik BF 45, 9-21, Ljubljana.
- Kajfež-Bogataj, L., Hočevar, A., 1986 : Standardno meteorološko leto oblikovano na historičen način in omejitve njegove uporabe, 6. Posvetovanje o racionalni rabi energije, Ljubljana, 16.5.1986, Zbornik ref. str.78-89.
- Lund H., 1976: Test Reference Year Weather data for environmental engineering and energy consumption in buildings, Paper to CIB-17 meeting, London, 11 pp.
- Mood, A. M., Graybill, F. A., 1963: Introduction to the theory of statistics, McGraw-Hill Company, New York, 443 pp.
- Sneath, P. H. A., Sokal, R. R., 1973: Numerical taxonomy, W.H.Freem Company, San Francisco, 261 pp.
- Roškar J., 1976: Poskus določitve klime s faktorsko analizo in taksonomijo, Razprave-Papers 20, Društvo meteorologov Slovenije, Ljubljana, pp. 51-65.
- Van de Hoogen, H., 1976: Ein referenticyaar voor Nederland, Klimaat beheersing 5 no 10, 12 pp.

PRIMERJAVA STATISTIČNIH METOD ZA
OCENO EKSTREMNIH VREDNOSTI PADAVIN
COMPARISON OF STATISTICAL METHODS FOR ESTIMATION
OF EXTREME VALUES OF PRECIPITATION AMOUNTS

Samo RINK, Tanja CEGNAR
Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana

551.577
551.582

SUMMARY

Many statistical methods are known for estimation of annual extreme values of daily precipitation and their return periods. Three methods, namely Jenkinson's, Gumbel's and the peaks over threshold method were compared on the basis of different sets of data for the stations Ljubljana, Brnik and Murska Sobota. An attempt has been made to find the most suitable method for operational use in our region. The results of these methods for the period 1951-1984 were represented graphically as the dependence between extreme values x_E and the logarithm of the return periods $\ln T$. It was concluded that:

1. the results of the methods are quite different, even for the stations of Ljubljana and Brnik, in spite of the resemblance in precipitation regimes of these stations,
2. the calculated extreme values for several return periods are dependent on the choice of elementary time unit,
3. Jenkinson's method should not be applied in cases when the distribution of annual daily extreme values does not fit the theoretical distribution,
4. Gumbel's method should not be applied for larger return periods.

POVZETEK

Primerjali smo tri metode (Gumbelovo, Jenkinsonovo in metodo vrhov) za računanje letnih ekstremnih vrednosti dnevni padavin in ustreznih povratnih dob na osnovi različno dolgih nizov podatkov. Želeli smo določiti za naše razmere najbolj ustrezno metodo, ki bi ji v operativni rabi dali prednost.

UVOD

V statistiki je poznanih več metod za oceno ekstremnih vrednosti količin, ki nam na osnovi krajšega niza podatkov izračunajo ekstrem v daljšem obdobju. Primerjali smo tri metode: Jenkinsonovo, Gumbelovo in metodo vrhov pri letnih maksimalnih dnevnih padavinah 34-letnega niza (1951-1984) ter poskušali ugotoviti, katera metoda je za naše razmere v Sloveniji najbolj uporabna. Za obdelavo smo izbrali tri postaje: Ljubljano, Brnik in Mursko Soboto. Za Ljubljano in Mursko Soboto so nam bili na razpolago tudi daljši nizi letnih ekstremov, tako da smo lahko na različno dolgih nizih primerjali rezultate Jenkinsonove in Gumbelove metode. Metode vrhov nismo testirali na daljšem nizu, ker zahteva vse podatke za posamezno leto, ki presegajo izbrani prag, to pa bi zahtevalo veliko dela z zajemanjem podatkov v računalniški arhiv. Zato smo bili pri tej metodi vezani samo na 34-letni računalniški arhiv. Za vrednost praga pri posamezni postaji smo izbrali najmanjši letni ekstrem dnevnih padavin celotnega obdobja.

Rezultate metod za niz 1951-1984 smo grafično predstavili kot odvisnost ekstremnih vrednosti x_E od logaritma povratnih dob $\ln T$.

Nekateri avtorji poudarjajo pomembnost izbire časovnega intervala za povratno dobo. Tako Makjanič (1977) predlaga 1 leto in opozarja, da moramo biti pri izbiri krajših časovnih enot previdni in moramo preveriti ustreznost določenega teoretičnega modela. Nekateri avtorji opozarjajo tudi na ustrežno velikost vzorca. Suzuki (1980) meni, da za vzorec z manj kot 10 elementi ni v praksi uporabne metode, ki bi dajala zadovoljive rezultate. Šele za vzorec z vsaj 30 elementi priporoča uporabo statističnih metod, ki smo jih uporabili tudi mi. Za metode, ki se naslanjajo na porazdelitve tipa $F(y) = \exp(-\exp(-y))$, naj bi po njegovem priporočilu uporabljali vzorce z vsaj 70 elementi.

TEORIJA

a) JENKINSONOVA METODA

Jenkinson (1955) si je izbral vzorec N med seboj neodvisnih elementov (letnih ekstremov), izračunal frekvenčno porazdelitev ekstremnih vrednosti $g(x)$ oziroma število elementov v vzorcu, ki so večji od dane vrednosti x , iz tega pa verjetnost $Q(x > x)$, da je neki x' večji od x :

$$Q(x > x) = g(x)/N \quad (1)$$

Verjetnost $P(x' < x)$, da je neka vrednost x' manjša od dane vrednosti x je:

$$P(x' < x) = 1 - Q = 1 - g(x)/N \quad (2)$$

Verjetnost $F(x' < x)$, da so vsi elementi vzorca manjši od x je:

$$F(x' < x) = (1 - g(x)/N)^N \quad (3)$$

in v limiti za dovolj velik vzorec prehaja v $\exp(-g(x))$. Če uvedemo novo spremenljivko $y = -\ln g(x)$, zapišemo $F(x) = \exp(-(\exp(-y)))$.

Verjetnost, da se v kateremkoli letu preseže letna maksimalna vrednost, je $1 - F(x)$, v T letih pa:

$$1/T = 1 - \exp(-(\exp(-y))) \quad (4)$$

zato je y povezan s povratno dobo T :

$$y = -\ln \ln (T/(T-1)) \approx \ln T \quad (5)$$

Povratna doba za nek dogodek nima velike prognostične vrednosti, saj je le srednja vrednost časovnega razmika (v letih) med dvema zaporednima dogodkoma v porazdelitvi dogodkov, ko obravnavana količina x vsaj enkrat preseže določeno vrednost. Ustrežno vrednost za x lahko razberemo grafično iz teoretične krivulje $y = y(x)$ ali pa jo dobimo iz splošne rešitve Fisher Tippetove funkcijske enačbe (1928), ki opisuje vse tipe porazdelitev ekstremnih meteoroloških parametrov:

$$P^N(x) = P(a_N x + b_N) \quad (6)$$

pri tem je N velikost vzorca, a_N in b_N sta funkciji velikosti vzorca, $P = \exp(-\exp(-y))$ pa je verjetnost, da je letna maksimalna vrednost manjša od izbrane določene vrednosti x . Splošno rešitev za x je ugotovil Jenkinson (1955):

$$x = x_0 + a(1 - \exp(-ky)), \text{ kjer je } a \cdot k > 0 \quad (7)$$

Parametre x_0 , a in k moramo določiti iz vzorca podatkov. V naravi lahko po navedbah Jenkinsona najdemo primere za več vrst krivulj $y = y(x)$; y je vedno naraščajoča funkcija x . Ločimo tri tipe krivulj:

-odvod dy/dx pada z naraščajočim x (krivulje I tipa, $k < 0$; po Jenkinsonu ustreza ta oblika pojavljanju ekstremnih vrednosti nalivov maksimalnih padavin),

-odvod $dy/dx = \text{konst}$ (krivulje II tipa, $k = 0$; po Jenkinsonu ustreza ta oblika pojavljanju ekstremnih vrednosti pritiska).

-odvod dy/dx narašča z naraščajočim x (krivulje III tipa, $k > 0$; po Jenkinsonu ustreza ta oblika ekstremnim temperaturam in pretokom voda).

Roškar (1975) je s to metodo obravnaval 10 minutne, enourne in šesturne ekstremne nalive za večje število postaj v Sloveniji. Opozorimo naj še na razmišljanje o uporabnosti krivulj I, II in III tipa. V naravi fizikalni zakoni ne dopuščajo fizikalnim količinam, da bi zavzele poljubno velike vrednosti. Tudi na osnovi lastnih izkušenj vemo, da na primer maksimalne in minimalne temperature, količine padavin v določenem časovnem intervalu, ne morejo biti poljubno velike. Na osnovi takega razmišljanja Makjanić (1977) trdi, da mora biti "k" pozitiven. V primeru, da izračunan "k" ni pozitiven, smo naredili pri računanju napako ali pa smo izbrali nereprezentativen vzorec. V obeh primerih moramo tako vrednost zavreči kot fizikalno nesprejemljivo.

b) GUMBELOVA METODA

Gumbel je leta 1935 dokazal (Nemec, 1964), da maksimalne vrednosti padavin naraščajo približno linearno z logaritmom časa vzorčenja. Ta teoretična predpostavka ima to pomanjkljivost, da dobimo pri velikih povratnih dobah izredno velike ekstremne vrednosti, kar fizikalno ni sprejemljivo. Kljub temu pa daje ta metoda za krajše povratne dobe sprejemljive rezultate in jo v praksi pogosto uporabljamo, saj moramo na osnovi kratkega niza podatkov oceniti maksimalno vrednost kakega parametra v daljšem obdobju. Gumbelova metoda je pravzaprav (kot bomo videli) poenostavitev Jenkinsonove metode ter velja samo v posebnem primeru. Bistvo metode je v tem, da izračunamo na osnovi kratkega niza opazovanj določenih ekstremnih vrednosti ustrezne parametre opazovane frekvenčne porazdelitve ekstremnih vrednosti (frekvenčni faktor K , y , x, σ) in jo z ekstrapolacijo (enačba 8) nadomestimo s teoretično Gumbelovo frekvenčno porazdelitvijo ekstremnih vrednosti:

$$x_T = \bar{x} + \sigma K \quad (8)$$

$$K = (y - y_N) / s_N \quad (9)$$

pri tem so oznake:

x_T : ekstrapolirana vrednost, ki velja za daljši niz T letnih ekstremnih vrednosti dnevni padavin,

\bar{x} : povprečna vrednost krajšega niza N ekstremnih vrednosti,
 σ : standardna deviacija krajšega niza N ekstremnih vrednosti,
 s_N : reducirana standardna deviacija kot funkcija velikosti vzorca N (iz tabel 19b, Nemec, 1964),
 y_N : reducirano povprečje kot funkcija velikosti vzorca N (iz tabel 19a, Nemec, 1964),
 y : reducirana spremenljivka (gl. en. 5)

V logaritemski skali dobimo za $y=y(x)$ premico, iz katere lahko tudi grafično določimo ekstremno vrednost za željeno povratno dobo (glej sl. 10). Fisher in Tippet (1928) ter Gumbel (1935) so dokazali, da velja v limiti za veliko število podatkov, da je krivulja $y=y(x)$ premica. Glede na to, da Gumbelova teorija trdi, da je odvod dy/dx konstanten, je to samo drugi primer Jenkinsonove splošne rešitve Fisher Tippetove enačbe (6), ki ustreza krivulji II tipa.

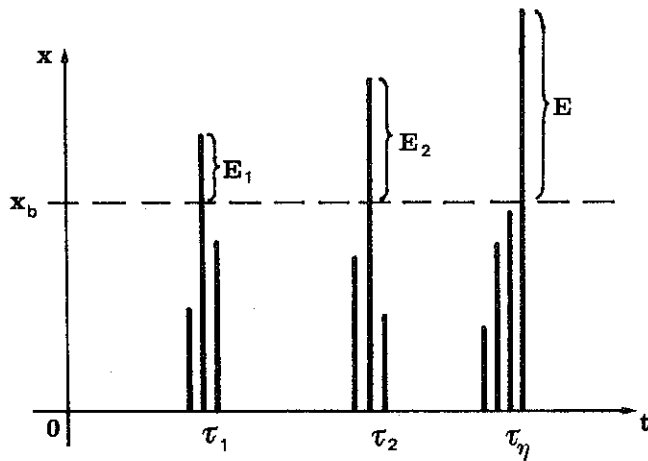
c) METODA VRHOV

To je metoda ekstremnih vrednosti, ki sloni na analizi prekinjenih slučajnih procesov (Partial duration series method). Uvedel jo je Todorovic (1970) in se po njegovem mnenju z njo dobi najnatančnejšo analizo vzorcev. Ta metoda je v svetovni literaturi dobila ime Peaks over threshold method. Vse metode ekstremnih vrednosti, ki slonijo samo na analizi letnih ekstremov, vsebujejo to pomanjkljivost, da se pri oblikovanju statističnega vzorca vzame samo en podatek na leto, druge podatke pa se zavrže, čeprav so lahko bili značilni za opazovani pojav. Temu se izognemo na ta način, da upoštevamo vse opazovane vrednosti nad izbranim pragom ne glede na njihovo število v posameznih letih. V nekem časovnem intervalu $(0, t)$, ki je lahko npr. leto, analiziramo pojavljanje vrednosti slučajne spremenljivke (v našem primeru gre za količine dnevni padavin, ki presežejo neko izbrano vrednost x_b). To vrednost imenujemo prag. To je tipičen slučajni proces, ker ne moremo z gotovostjo predvideti, katerega leta se bo pojavila neka določena ekstremna vrednost.

Na sliki 1 je nazorno prikazano pojavljanje vrhov, kjer so E_1, E_2 do E_η vrednosti posameznih vrhov, τ_v pa časi pojavljanja vrhov, η slučajno število pojavljanja vrhov v intervalu $(0, t)$. Ta slučajni proces je definiran z izrazom:

$$\chi(t) = \sup_{\tau_v \leq t: = 1, 2, \dots, \eta} E_v, E = x - x_b \quad (10)$$

kjer je $\chi(t)$ število vrhov, v pa zaporedna številka pojavljanja vrha. Pojav lahko opišemo s porazdelitveno funkcijo $F_\tau(t) = P(\chi(t) \leq x)$.



Slika 1 Pojavljanje vrhov
Figure 1 Appearance of peaks

Za izračun te porazdelitvene funkcije moramo analizirati dva slučajna procesa: 1. število ekstremov, ki so večji od praga x_b in se pojavijo v časovnem intervalu $(0, t)$. 2. višino ekstremov, ki so večji od dane vrednosti praga. Števila vrhov v danem časovnem intervalu ni mogoče v naprej predvideti. Ta pojav je markovski proces s naslednjimi lastnostmi:

a) verjetnost P , da se bo pojavil en vrh v časovnem intervalu $(t, t + \delta t)$, če je bilo v intervalu $(0, t)$ ν vrhov, je enaka:

$$P(E_1^{\delta t} / E_\nu^{\delta t}) = \lambda(t, \nu) \delta t + o(\delta t), \quad \delta t \rightarrow 0 \quad (11)$$

b) verjetnost P , da se bo v majhnem časovnem intervalu $(t, t + \delta t)$ pojavilo več vrhov ($r > 1$), je zelo majhna:

$$P(E_r^{\delta t} / E_\nu^{\delta t}) = o(\delta t), \quad r > 1 \quad (12)$$

c) verjetnost P , da se ne bo v majhnem časovnem intervalu $(t, t + \delta t)$ pojavil niti en vrh, če se je v intervalu $(0, t)$ pojavilo ν vrhov, je:

$$P(E_0^{\delta t} / E_\nu^{\delta t}) = 1 - \lambda(t, \nu) \delta t + o(\delta t) \quad (13)$$

d) verjetnost P , da v časovnem intervalu $(0, t)$ pri $t=0$ ni vrhov, je enaka 1:

$$P(E_0^0) = 1. \quad (14)$$

V teh izrazih je $\lambda(t, \nu)$ označena funkcija pogostosti pojavljanja vrhov, ki predstavlja mejno vrednost verjetnosti pojavljanja enega vrha v zelo majhnem časovnem intervalu $(t, t + \delta t)$ pod pogojem, da so se v intervalu $(0, t)$ vrhovi ν krat pojavili:

$$\lambda(t, \nu) = \lim_{\delta t \rightarrow 0} P(E_1^{\delta t} / E_\nu^{\delta t}) / \delta t \quad (15)$$

Verjetnost $P(E_\nu^T)$, da se pojavi določeno število vrhov v določenem časovnem intervalu $(0, t + t)$, se lahko izračuna z vsoto verjetnosti:

$$P(E_\nu^T) = \sum_{r=0}^{\nu} P(E_{\nu-r}^t, E_r^t) / \delta t \quad (16)$$

Iz tega izraza dobimo sistem parcialnih diferencialnih enačb, njihova rešitev je odvisna od $\lambda(t, \nu)$; za λ je predpostavljeno, da je odvisna od časa t , ne pa od števila predhodnih pojavljanj vrhov. Iz sistema parcialnih diferencialnih enačb dobimo Poissonov zakon verjetnosti pojavljanja vrhov s spremenljivim parametrom (t) . Glede na to, da je povprečno število pojavljanja vrhov (t) v časovnem intervalu $(0, t)$ oz. matematično upanje enako:

$$L(t) = \int_0^t \lambda(s) ds \quad (17)$$

lahko število pojavljanj vrhov v določenem času definiramo s Poissonovim zakonom:

$$P(\nu) = \exp(-L(t)) \cdot (L(t))^\nu / \nu! \quad (18)$$

Porazdelitvena funkcija ekstremov je:

$$F_r(x) = \exp(-L(t)) (1 - H(x)) \quad (19)$$

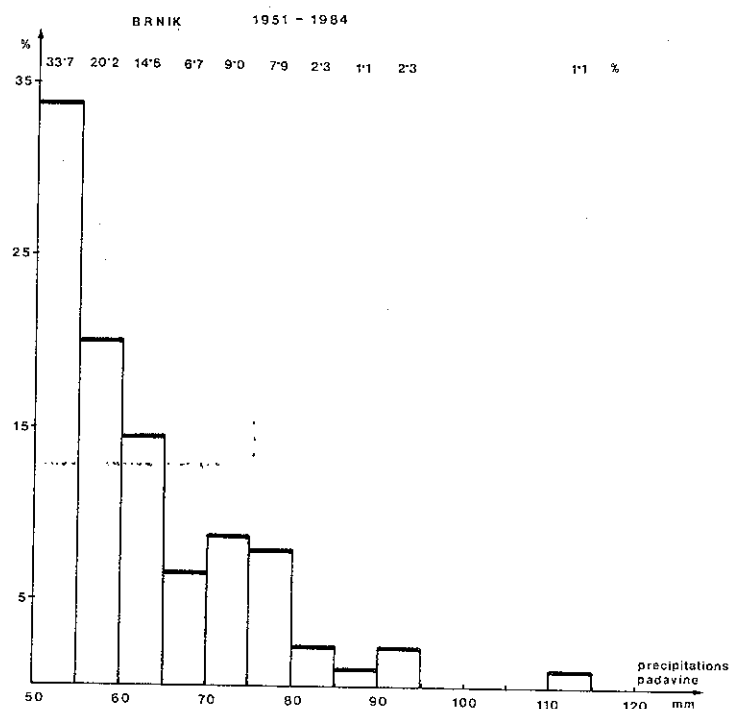
kjer je $H(x) = 1 - \exp(-bx)^a$ Weibull-Goodrichova verjetnostna porazdelitev, kjer sta a in b parametra, ki se ju določi z metodo sukcesivne aproksimacije (Despotović, 1983). Nujen pogoj za uporabo te metode je medsebojna neodvisnost vseh podatkov analiziranega vzorca. Razmerje med standardno deviacijo vzorca in povprečnim številom pojavljanja vrhov (R) mora biti čim bližje 1, da bi bile aproksimirane porazdelitve danih vrhov in letnih ekstremov čim bližje teoretični Poissonovi porazdelitvi.

Povprečno število pojavljanja vrhov je namreč število vseh vrhov v danem obdobju, deljeno s številom let danega obdobja. Metoda vrhov je bila uporabljena in testirana že z analizo maksimalnih dnevnih padavin, analizo maksimalnih pretokov vod in analizo nalivov (Despotović, 1983).

POTEK OBDELAVE PODATKOV

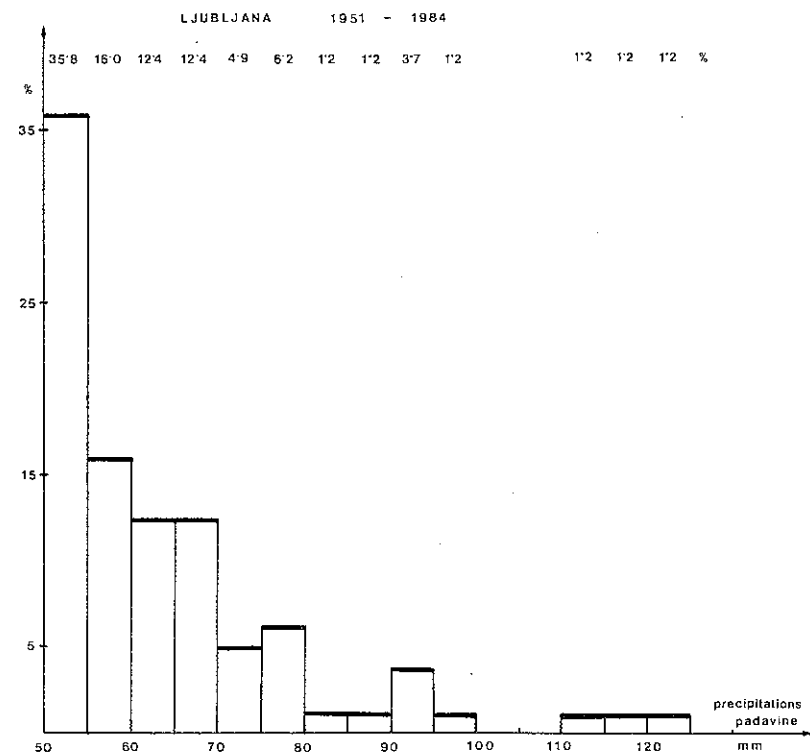
Najprej nekaj besed o izbiri postaj. Na HMZ razpolagamo z računalniškim arhivom dnevnih padavin za 64 postaj za obdobje 1951 - 1984. Zaradi težav pri numeričnem iskanju rešitev uporabljenih analitičnih izrazov, smo Jenkinsonovo metodo lahko uporabili le na 18 postajah. Izmed teh postaj smo izbrali tri in sicer Ljubljano, Brnik in Mursko Soboto. Kot kriterij izbire smo upoštevali padavinski režim na postajah. Po tem se Murska Sobota (za naše razmere) močno razlikuje od drugih dveh, ki sta si podobni in sta si geografsko blizu. Glavno pozornost smo namenili Ljubljani. Brnik in Murska Sobota sta nam služili za primerjavo, prva je geografsko najbližja in ima podoben padavinski režim, druga pa je oddaljena in ima drugačen padavinski režim.

Slike 2a, 2b, 2c prikazujejo porazdelitve relativne pogostosti dnevnih padavin nad pragom 50 mm.

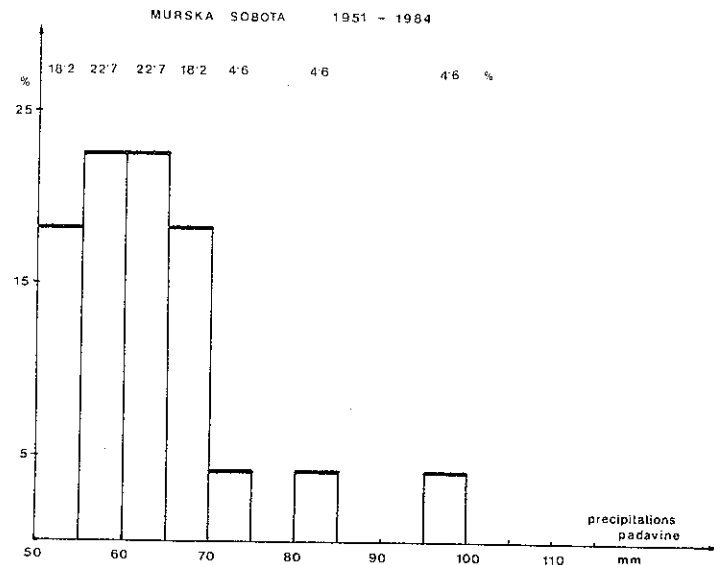


Slika 2a Porazdelitev relativne pogostosti dnevnih padavin nad 50 mm
Figure 2a Distribution of relative frequencies of daily precipitation over 50 mm

Vidimo, da ima Murska Sobota povsem drugačen padavinski režim, saj je večina dnevnih padavin pod 70 mm, pri drugih dveh pa je precejšen delež padavin tudi nad 70 mm.

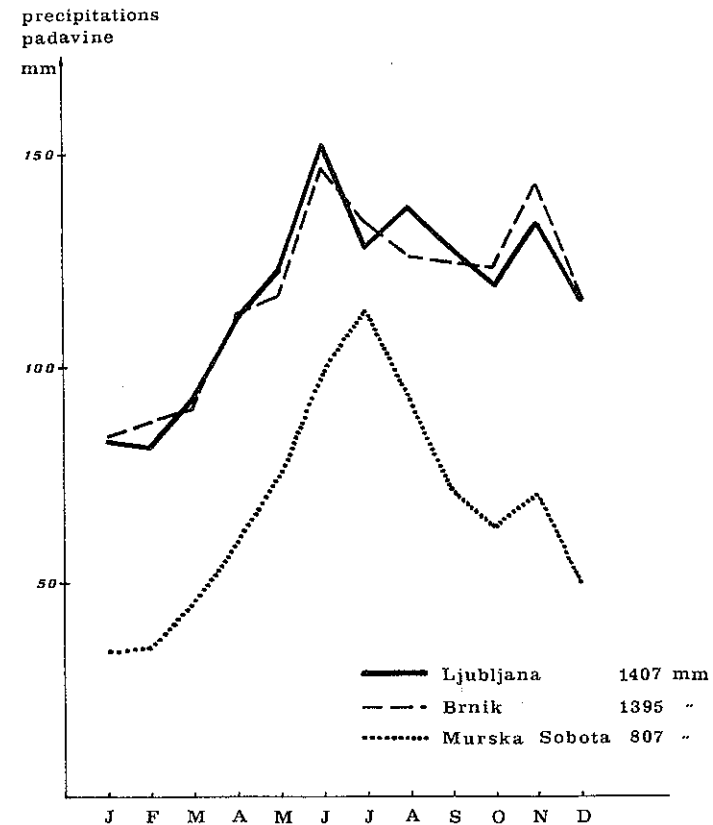


Slika 2b Porazdelitev relativne pogostosti dnevnih padavin nad 50 mm
Figure 2b Distribution of relative frequencies of daily precipitation over 50 mm

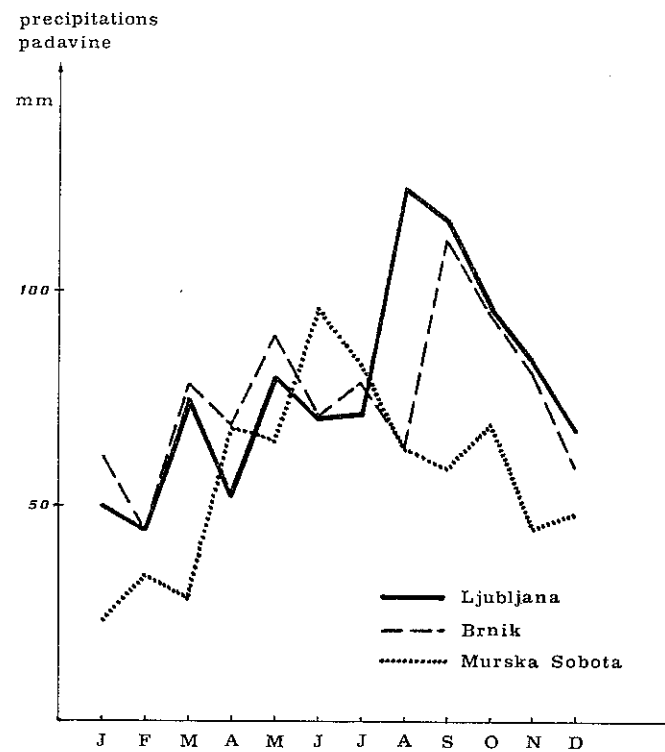


Slika 2c Porazdelitev relativne pogostosti dnevnih padavin nad 50 mm
Figure 2c Distribution of relative frequencies of daily precipitation over 50 mm

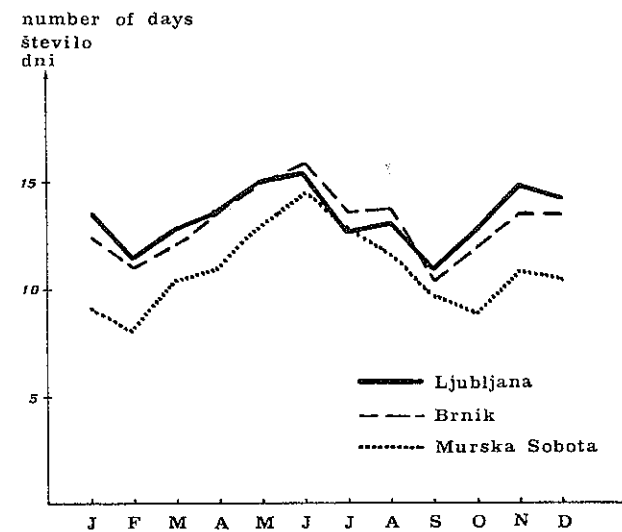
Slika 3 prikazuje povprečne mesečne in povprečne letne višine padavin za vse tri postaje. Iz nje razberemo, da imata Brnik in Ljubljana večja dolgoletna mesečna in letna povprečja od Murske Sobote, kar je znano dejstvo (Furlan 1961, Reya 1940, 1945, 1946). Slika 4 prikazuje maksimalne dnevne višine padavin po mesecih. Maksimalne dnevne višine padavin v Murski Soboti so nad maksimalnimi dnevnimi višinami na Brniku in Ljubljani v povprečju le v VI in VII mesecu. Sicer pa so absolutni dnevni maksimumi za obdobje 1951-1984 v Ljubljani 124.3 mm, na Brniku 111.9 mm ter v Murski Soboti 96.2 mm. Slika 5 prikazuje povprečno število dni s padavinami nad 0.1 mm po mesecih. Tudi teh je v Murski Soboti manj kot na Brniku in v Ljubljani. Povprečna letna števila so za Ljubljano 160, Brnik 157 ter Mursko Soboto 130. Za obdobje 1951-1984 smo na sliki 6 predstavili tudi porazdelitve po velikosti urejenih letnih ekstremov dnevnih padavin za vse tri postaje. Ker obstaja za Ljubljano tudi 132 letni niz letnih maksimalnih dnevnih padavin za obdobje 1853-1984, smo na sliki 7 predstavili tudi porazdelitev po velikosti urejenih letnih ekstremov dnevnih padavin za to postajo. Za Mursko Soboto obstaja 60 letni niz 1925-1984; porazdelitev po velikosti urejenih letnih ekstremov je predstavljena na sliki 8.



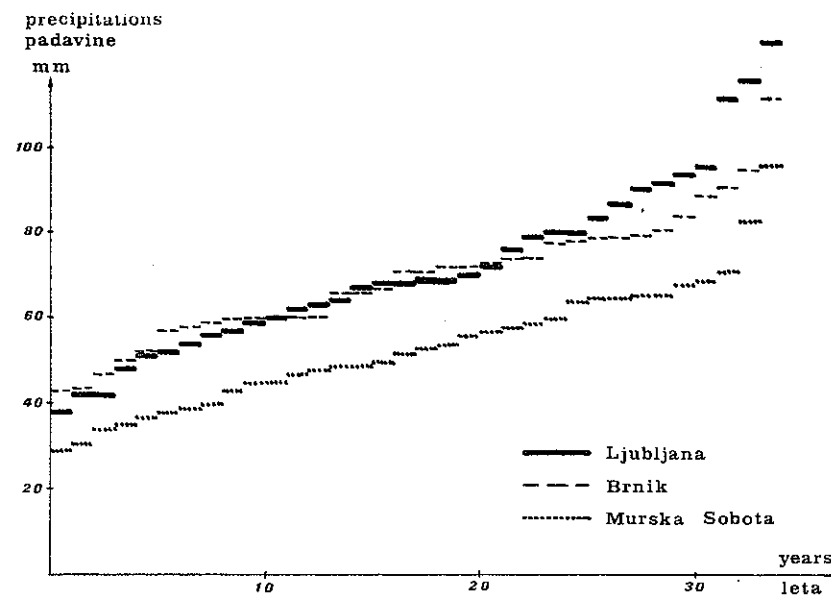
Slika 3 Povprečna mesečna in povprečna letna višina padavin za obdobje 1956-1985
Figure 3 Monthly and annual average of precipitaton for period 1956-1985



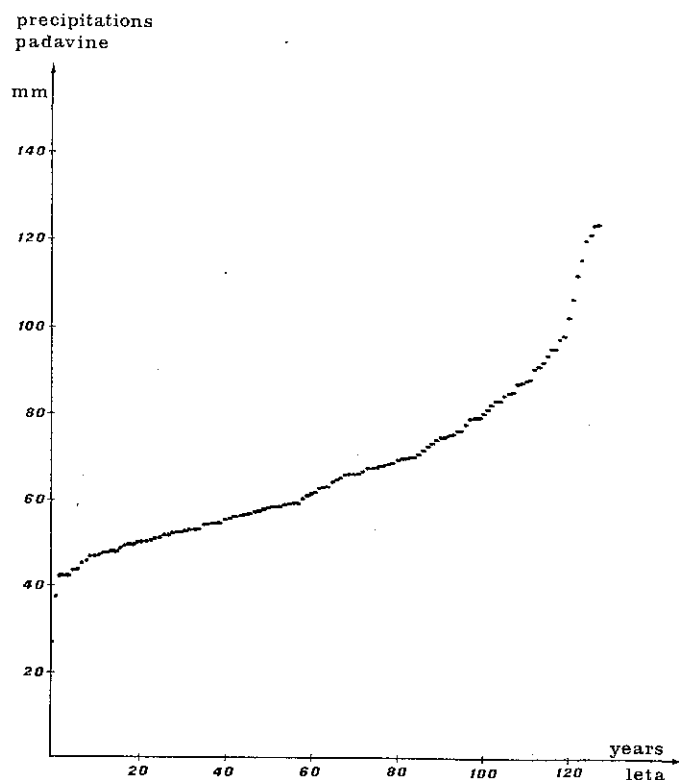
Slika 4 Maksimalne dnevne višine padavin po mesecih za obdobje 1956-1985
 Figure 4 Maximal daily precipitation by month for period 1956-1985



Slika 5 Število dni s padavinami nad 0.1 mm za obdobje 1956-1985
 Figure 5 Number of days with precipitation over 0.1 mm for period 1956-1985



Slika 6 Po velikosti urejeni letni ekstremi dnevni padavin za obdobje 1951-1984
 Fig 6 Annual extreme values of daily precipitation arranged by quantity for period 1951-1984

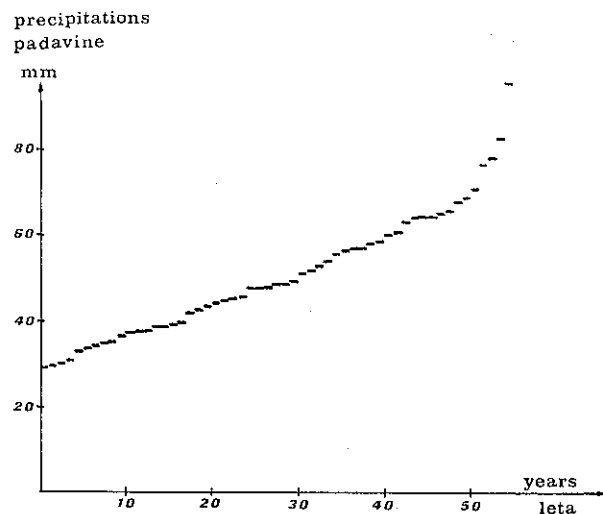


Slika 7 Po velikosti urejeni letni ekstremi dnevnih padavin za Ljubljano v obdobju 1853-1984
 Figure 7 Annual extreme values of daily precipitation arranged by quantity for Ljubljana in period 1853-1984

REZULTATI OBDELAV V 34 LETNEM OBDOBJU 1951-1984

Za to obdobje smo računali povratne dobe z vsemi tremi metodami. Odvisnost ekstremnih dnevnih padavin od povratnih dob, izračunanih po teh metodah smo grafično predstavili na sliki 9 kot krivulje $x_E = x_E(\ln T)$. Na os x smo nanесли letne maksimalne dnevne padavine, na os y pa logaritemsko skalo povratnih dob.

V primeru Ljubljane, ki ima v tem nizu najmanjši ekstrem 37,4 mm (leta 1970) in največji ekstrem 124,3 mm (leta 1971), po Gumbelu napovedujemo za največji ekstrem povratno dobo 28 let, po Jenkinsonu 55 let in po metodi vrhov do 342 let. Uporaba slednje očitno ni ustrezna, ker je razmerje $R = 0.79$ (Despotović, 1983), kar pomeni, da porazdelitev ljubljanskih podatkov ne ustreza Poissonovi porazdelitvi. Če upoštevamo, da je Gumbelova metoda poenostavitev Jenkinsonove in dopušča neomejeno naraščanje ekstremov z daljšanjem povratne dobe, daje v tem primeru Jenkinsonova metoda verjetno najboljši rezultat. Brnik ima v tem obdobju najmanjši ekstrem 43,1 mm (leta 1981) in največji ekstrem 111,9 mm (leta 1973). Po Gumbelu napovedujemo za slednji ekstrem povratno dobo 40 let, po Jenkinsonu 120 let in po metodi vrhov 216 let. Kljub temu, da je razmerje $R = 1.04$ zelo blizu 1, menimo, da metoda vrhov v tem primeru precenjuje velikost povratne dobe. Nimamo razloga, da bi verjeli, da se je v tem obdobju zgodil izjemen dogodek s povratno dobo nad 200 let. To trditev bomo lahko preverili, ko bomo primerjali obdelani niz podatkov z daljšim nizom podatkov (naslednje poglavje). Murska Sobota ima v tem obdobju najmanjši ekstrem 29,2 mm (leta 1955) in največji ekstrem 96,2 mm (leta 1981). Po Gumbelu napovedujemo za največji ekstrem povratno dobo 40 let, po Jenkinsonu 110 let in po metodi vrhov 137 let, pri tem je razmerje R pri metodi vrhov 0,91. V obravnavanem obdobju smo izpustili največji ekstrem 96,2 mm in dobili novi ekstrem 83,0 mm (leta 1972). Po Jenkinsonu dobimo tedaj za podatek 96,2 mm 10000 letno povratno dobo, za 90,0 mm pa 986 letno povratno dobo. Po Gumbelu dobimo za podatek 96,2 mm približno 75 letno povratno dobo. Kot vidimo, dobimo za izmerjene ekstremne vrednosti bistveno daljše povratne dobe. Pri računanju povratnih dob je torej zelo pomembno, da nam iz niza podatkov slučajno ne izpadejo največji ekstremi. Ugotavljamo, da so kljub temu, da imata postaji Ljubljana in Brnik podoben padavinski režim, rezultati analize ekstremov bistveno različni. To dejstvo moramo upoštevati pri ocenjevanju ekstremnih vrednosti za območja s podobnim padavinskim režimom, na katerih ne razpolagamo s podatki za daljše obdobje.

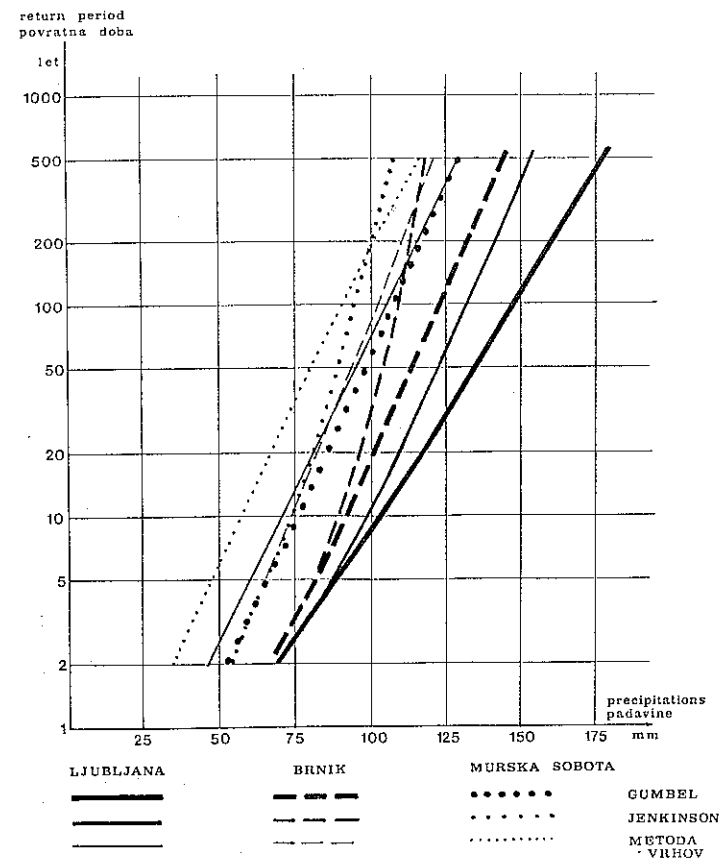


Slika 8 Po velikosti urejeni letni ekstremi dnevnih padavin za Mursko Soboto v obdobju 1925-1984
 Figure 8 Annual extreme values of daily precipitation arranged by quantity for Murska Sobota in period 1925-1984

OBDELAVA PODATKOV ZA DALJŠE OBDOBJE

Da bi ocenili vpliv dolžine niza na rezultate, smo računalniški arhiv dopolnili s podatki iz klasičnega arhiva. Iz tehničnih razlogov smo se omejili le na vnos letnih ekstremov in nismo vnašali vseh dnevnih podatkov. Tako bi na daljšem obdobju lahko uporabili npr. Gumbelovo ali Jenkinsonovo metodo, ki zahtevata samo vrednosti letnih ekstremov. Za postajo Ljubljana smo obdobje razširili na interval od 1853 do 1984, torej na 132 let. Pri Brniku obdobja, žal, nismo mogli razširiti, ker nimamo podatkov, pri Murski Soboti pa so podatki dostopni od leta 1925 dalje.

Ko smo hoteli uporabiti program za Gumbelovo metodo na celotnem nizu podatkov za Ljubljano, smo naleteli na omejitev - program je prilagojen le za uporabo na nizih krajših od 101 časovne enote. Ta omejitev ni teoretična, ampak je povsem izvedbene narave. Iz literature smo mogli dobiti le 91 empiričnih koeficientov, ki služijo za računanje reduciranega povprečja in reducirane standardne deviacije (Nemec 1964). S toliko koeficienti je mogoče računati za obdobja od 10 do 100 časovnih enot. Seveda lahko podaljšamo časovno enoto z enega na dve ali več let in tako obdelujemo dve, tri ali večletne ekstreme. Za oceno vpliva, ki ga ima na rezultate vzorec, smo za računanje povratnih dob uporabili enkrat samo podatke sodih in drugič samo lihih let.



Slika 9 Izračunane količine ekstremnih dnevnih padavin v odvisnosti od povratnih dob
 Figure 9 Computed extreme values of daily precipitation as a function of return periods

V tabeli 1 so rezultati, ki smo jih dobili z Gumbelovo metodo pri postaji Ljubljana-Bežigrad na osnovi podatkov iz sodih, lihih let in vseh let 100 letnega obdobja 1885-1984 za povratne dobe od 5 do 250 let. Pričakovali bi, da postanejo pri dovolj dolgih nizih razlike med rezultati, računanimi po sodih in po lihih letih, majhne. Toda, če primerjamo ekstreme, dobljene iz vseh podatkov z ekstremi na osnovi vzorca sodih oz. lihih podatkov, vidimo, da za krajše povratne dobe 5, 10 let dobimo boljše rezultate iz vzorca lihih let, za daljše povratne dobe pa iz vzorca sodih let. Pri daljših povratnih dobah so izračunani ekstremi iz sodega niza nekoliko premajhni, iz lihega pa preveliki. Pri takih dolžinah nizov, ki jih obdelujemo v praksi, sta dolžina in način izbire vzorca pomembna.

Tabela 1 Ekstremi, izračunani po Gumbelovi metodi na osnovi podatkov iz sodih, lihih in vseh let za Ljubljano in 100 letno obdobje 1885-1984.

Table 1 Extreme values, computed by Gumbel's method on the basis of data from even, odd and all years for Ljubljana in the 100 year period 1885-1984.

povratna doba return period (years)	soda leta odd years (mm)	liha leta even years (mm)	vsa leta all years (mm)
5	86.2	83.8	84.2
10	98.6	98.0	97.1
20	110.5	111.7	109.4
25	114.3	116.0	113.3
50	125.9	129.3	125.3
100	137.4	142.5	137.3
150	144.1	150.3	144.3
200	148.9	155.7	149.2
250	152.6	160.0	153.0

V tabeli 2 so navedeni še izračunani ekstremi za primer, ko smo spreminjali dolžino osnovne časovne enote (1,2,4,5,6,8 let), v kateri smo poiskali maksimum. Na osnovi tako določenih podatkov smo za izbrane povratne dobe izračunali po Gumbelovi metodi ustrezne ekstreme. Za različne osnovne časovne enote smo pri enakih povratnih dobah dobili različne rezultate.

Tabela 2 Ekstremi dnevnih padavin (v mm) v odvisnosti od izbire osnovne časovne enote za posamezne povratne dobe za Ljubljano in obdobje 1885-1984.

Table 2 Extreme values of daily precipitation (in mm) as a function of choice of elementary time unit for several return periods in Ljubljana and period 1885-1984

povratna doba return period (let/years)	1 leto year	2 leti years	4 leta years	5 let years	6 let years	8 let years
20	109.4	111.4	111.2			
30	116.5	119.7			119.3	
40	121.5	125.6	127.6			127.9
50	125.3	130.1		132.1		
60	128.5	133.8	136.8		137.1	
80	133.5	139.5	143.2			148.1
100	137.3	144.0	148.2	148.2		
120		147.6	152.3		154.1	159.6
150	144.3			157.5	159.5	
200	149.2	157.8	163.5	164.0		173.7
250	153.0	162.2		169.1		
300		165.8		173.2	176.2	
500		175.9	183.6	184.7		

To dokazuje, da je trditev Makjanića (1977), da so ekstremi za posamezne povratne dobe odvisni tudi od izbire osnovne časovne enote, pravilna. V tabeli 2 opazimo, da izračunane ekstremne vrednosti za posamezne povratne dobe naraščajo, če večamo časovno enoto, v kateri nastopa ekstrem.

ZAKLJUČEK

Primerjali smo tri različne metode za računanje ocen ekstremnih vrednosti in njihovih povratnih dob na treh postajah na različno dolgih nizih podatkov. Na osnovi dobljenih rezultatov ugotavljamo da:

-čeprav Gumbelova metoda v načelu daje za zelo velike ekstreme zelo velike povratne dobe, pa daje na podatkih 34-letnega obdobja najkrajše, metoda vrhov najdaljše povratne dobe, Jenkinsonova metoda pa nekaj vmes. Prednost dajemo metodi Jenkinsona, ker principiuelno ne omogoča neomejene rasti ekstremnih vrednosti pri zelo dolgih povratnih dobah.

-pri daljših nizih podatkov pričakujemo tudi realnejše rezultate. Uporaba Gumbelove metode daje na trikrat daljšem nizu podatkov za enake izbrane vrednosti ekstremov daljše povratne dobe, ki jim bolj verjamemo, ker je odvisnost od izbire vzorca pri daljšem nizu manjša.

-tudi pri postajah s podobnim padavinskim režimom in majhno geografsko razdaljo dobimo različne povratne dobe oz. ekstremne vrednosti, kar pomeni, da moramo biti pri uporabi interpolacij in ekstrapolacij ekstremnih vrednosti in povratnih dob zelo previdni.

- obravnavane teoretične frekvenčne porazdelitve predpostavljajo, da je vzorec (niz podatkov) neskončen. Pri ekstrapolaciji relativno kratkih nizov opazovanj lahko povzročimo velike napake, še posebej, če se klimatske razmere na obravnavanem območju spreminjajo. Tudi v primeru, da smo obdelali obdobje, v katerem so se večinoma pojavljali manjši maksimumi (pri obdelavi najmanjših ekstremnih vrednosti pa minimumi), bomo s statističnimi metodami predvideli daljše povratne dobe za neko izbrano vrednost, kot če bi obravnavali niz z večjim številom zelo velikih ekstremov.

LITERATURA

- Despotović J., 1982: Analiza ekstrema pomoću prekidnih slučajnih procesa, HOMS, Beograd, 1-28.
- Fisher, Tippet, 1928: Proc. Camb. Phil. Soc., 24 (cit. Jenkinson)
- Furlan D., 1961: Padavine v Sloveniji, Geografski zbornik VI, Ljubljana, 96-112.
- Gumbel, 1953: Ann Del'inst. H. Poincare', 5, (cit. Jenkinson)
- Jenkinson A. F., 1955: The Frequency Distribution of The Annual Maximum or Minimum Values of Meteorological Elements, QJRMS 87, 158-171.
- Makjanić B., 1977: Primjena teorije ekstrema u geofizici, Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb, 84 str.
- Nemec J. 1964: Engineering Hydrology, McGraw-Hill, London, 186-193.
- Reya O., 1940: Padavine na Slovenskem v dobi 1919-1939, Geografski vestnik XVI, 25-40.
- Reya O., 1945: Najvišje dnevne padavine v Sloveniji, Zavod za meteorologijo in geodinamiko na Univerzi v Ljubljani, Ljubljana, 23 str.
- Reya O., 1946: Padavinska karta Slovenije, Zavod za meteorologijo in geodinamiko na Univerzi v Ljubljani, Ljubljana, 18 str.
- Roškar J., 1975: O porazdelitvi letnih ekstremov nalivov v Sloveniji, Razprave-Papers XVIII, 63-73.
- Suzuki E., Uchida E., Yoshino M.M., 1980: Statistical Climatology, Developments in Atmospheric Science 13, New York, 207-216.
- Todorović P., 1970: On Some Problems Involving Random Number of Random Variables, The Annales of Mathematical Statistics 41, No.3,1059-1063.

PRIMERJAVA NEKATERIH ZIMSKIH KLIMATSKIH KOLIIN
V VZHODNEM DELU LJUBLJANSKE KOTLINE
COMPARATION OF SOME WINTER CLIMATIC PARAMETERS
IN THE EASTERN PART OF THE LJUBLJANA BASIN

Tomaž VRHOVEC
Univerza E.Kardelja v Ljubljani
Katedra za meteorologijo FNT, VTOZD Fizika

551.578.46
551.582

SUMMARY

A statistical study of some climatic differences between three stations in the Ljubljana basin is presented. All three stations are situated in climatically homogenous territory but differences between winter climatic characteristics were found. Long term means of the number of days with snowfall, number of day with snow cover and maximal snow height slightly differ and by use of the median and T test it was proved, that some differences are significant.

Parameters MSN -maximal monthly height of snow cover, DSN -number of days with snowfall and SNG -number of days with snow cover were studied and the following results were obtained: station Brnik (362m a.s.l.) has significantly more snow (SNG and MSN) than station Volčji potok (360 m a.s.l.) but there is only 14 km of level territory between them. The same is valid also for pair Brnik-Lipe na Barju. Data sets of DSN are mostly similar, but station Brnik has more days with snowfall too. The significances of differences are especially great if data sets are normalised by a synchronous space average.

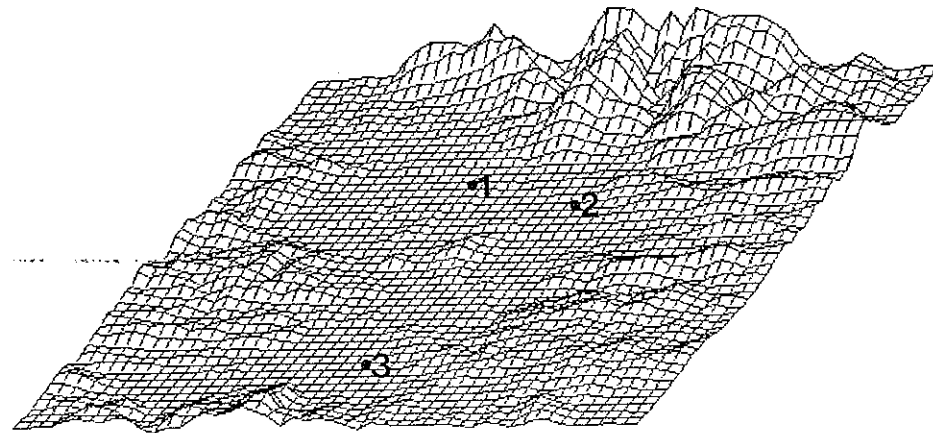
POVZETEK

Predstavljena je statistična študija razlik klimatskih količin med tremi postajami v Ljubljanski kotlini. Postaje leže v klimatsko homogenem območju, vendar so bile med njihovimi zimskimi klimatskimi značilnostmi opažene značilne razlike. Dolgoletna povprečja treh klimatskih parametrov: MSN -maksimalna višina snežne odeje v mesecu, DSN - število dni s sneženjem in

SNG - število dni s snežno odejo se malo razlikujejo, z uporabo median in T testa pa smo pokazali, da so nekatere teh razlik značilne. Dobili smo te rezultate: postaja Brnik ima značilno več snega (MSN in SNG) kot postaja Volčji potok. Isto lahko opazimo pri paru Brnik-Lipe, le da je tu značilnost razlik nekoliko manjša. Nizi za parameter DSN se med seboj večinoma ne razlikujejo, vendar ima Brnik tudi več dni s sneženjem kot preostali dve postaji. Posebno velike značilnosti dobimo, če nize normaliziramo s sinhronim prostorskim povprečjem.

UVOD

Namen te obdelave je preveriti hipotezo, da ima pozimi severovzhodni del ljubljanske kotline-okolica Domžal in Kamnika - ugodnejšo klimo kot zahodni in južni del te kotline. To hipoteza naj bi se predvsem kazala v krajšem trajanju snežne odeje, v njeni manjši višini in v višjih temperaturah. V vhodnem in osrednjem delu ljubljanske kotline so štiri klimatske meteorološke postaje: Ljubljana-Bežigrad (299 m), Brnik (362 m), Volčji potok (360 m) in Lipe na Barju (290 m). Prve tri postaje imajo od leta 1950 dalje večinoma kontinuirane nize opazovanj, medtem ko je postaja Lipe delovala le med letoma 1956 in 1977. Razdalje med postajami so majhne: od Brnika do Volčjega potoka 12 km, od Volčjega potoka do Lipe 26 km in od Brnika do Lipe 24 km.



Slika 1 Lega treh postaj v Ljubljanski kotlini. Osnova je izometrična projekcija reliefa s pogledom z jugovzhoda v kilometrski mreži. Vertikalne razdalje so glede na horizontalne pretirane trikrat. (1-Brnik, 2-Volčji Potok, 3-Lipe na Barju)

Figure 1 The locations of three climatic stations in the Ljubljana basin. The background is an isometric projection of the topography as seen from the south-east. The grid distance is 1 km. The heights are three times magnified. (1-Brnik, 2-Volčji Potok, 3-Lipe na Barju)

Za ugotavljanje klimatskih značilnosti zime na teh postajah smo si izbrali naslednje parametre, shranjene v arhivu HMZ SRS:

1. število dni s snežno odejo v mesecu
2. število dni s snežnimi padavinami v mesecu
3. maksimalna višina snežne odeje v mesecu
4. povprečna mesečna minimalna temperatura
5. povprečna mesečna maksimalna temperatura
6. število dni z minimalno temperaturo pod 0 st. C v mesecu
7. število dni s padavinami v mesecu
8. povprečna mesečna temperatura
9. mesečna količina padavin

Tabela 1 Povprečja, minimumi, maksimumi in standardne deviacije izbranih klimatskih parametrov za december (obdobje 1950-1985) za tri postaje v ljubljanski kotlini

SNG-število dni s snežno odejo v mesecu
 DSN-število dni s snežnimi padavinami v mesecu
 MSN-maksimalna višina snežne odeje v mesecu (cm)
 TMI-povprečna mesečna minimalna temperatura (0.1 st. C)
 TMA-povprečna mesečna maksimalna temperatura (0.1 st. C)
 DPO - število dni z minimalno temperaturo pod 0 C v mesecu
 DRR-število dni s padavinami v mesecu
 POT-povprečna mesečna temperatura (0.1 st. C)
 MRR-mesečna količina padavin (kg/m²)

Table 1 Means, minima, maxima and standard deviations of selected parameters for december (1950-1985) for three stations in the Ljubljana basin

SNG-number of days with snow cover
 DSN-number of days with snowfall
 MSN-maximal snow height in month (cm)
 TMI-monthly mean minimal temperature (0.1 C)
 TMA-monthly mean maximal temperature (0.1 C)
 DPO-number of days with minimal temp. below 0 C
 DRR-number of days with precipitation
 POT-monthly mean temperature (0.1 C)
 MRR-monthly amount of precipitation (kg/m²)

	Volčji potok				Brnik				Lipe na Barju			
	X	Xm	XM	S. d.	X	Xm	XM	S. d.	X	Xm	XM	S. d.
SNG	9	0	31	9	13	0	31	10	11	0	1	10
DSN	5	0	14	3	6	0	17	4	5	0	11	3
MSN	12	0	35	11	16	0	45	12	18	0	38	14
TMI	-32	-75	06	23	-41	-94	2	25	-33	-81	09	21
TMA	24	-13	66	23	26	-16	61	22	23	-15	67	24
DPO	23	11	31	5	25	15	31	4	23	11	31	5
DRR	12	3	22	5	13	6	23	5	12	5	19	4
POT	-05	-39	29	20	-08	-51	26	21	-03	-49	29	21
MRR	106	240	29	57	111	11	301	69	107	30	262	67

Postaja Ljubljana je sredi urbaniziranega okolja, tako da z ostalimi tremi postajami kar se snega in zimskih temperatur tiče ni primerljiva.

Za omenjenih devet parametrov smo za preostale tri postaje izračunali povprečja, ekstreme in standardne deviacije. Tabela 1 prikazuje rezultate te obdelave za december.

Iz tabele 1 in iz tabel za januar, februar in marec lahko ugotovimo, da je povprečno trajanje snežne odeje (SNG) najkrajše ob Volčjem potoku, najdaljše pa na Brniku. Količina padavin (MRR) je na vseh treh postajah približno enaka, isto velja za število dni s padavinami (DRR) in za število dni s sneženjem (DSN). Glede temperatur je najhladnejši Brnik, Volčji potok je nekoliko toplejši, sledi pa mu postaja Lipe.

Iz pregleda povprečij je razvidno, da hipotezi približno ustrezata postaji Volčji potok in Brnik, saj ima zahodnejša postaja, to je Brnik, daljše trajanje snežne odeje, višjo maksimalno višino snega, nižje minimalne in srednje temperature, večje število dni s padavinami in s sneženjem, nekoliko večjo količino padavin, hkrati pa so na Brniku višje maksimalne temperature. V nadaljni obdelavi smo se zadržali pri parih postaj Brnik - Volčji potok, Volčji potok-Lipe in Brnik-Lipe.

S statističnimi testi želimo preveriti, če so dobljene razlike med klimatskimi parametri med pari postaj značilne. Testirali smo samo tri klimatske parametre: povprečno trajanje snežne odeje (SNG), maksimalno višino snežne odeje (MSN) in število dni s sneženjem (DSN). Za izhodišče smo si postavili naslednje delovne hipoteze:

a) na Brniku leži sneg dlje kot ob Volčjem potoku, b) na Brniku je višja maksimalna višina snežne odeje, c) na Brniku je več dni s sneženjem, d) na Brniku je nižja povprečna minimalna temperatura,

ter analogne hipoteze za para Lipe-Volčji potok in Brnik- Lipe na Barju.

Hipoteze smo dokazovali z zanikanjem njihovih nasprotij in z oceno tveganja z metodama T in median testa za dva neodvisna niza. Za testiranje smo si izbrali sinhrono nize iz obdobja 1950-1985. Zaradi kratkotrajnosti opazovanj na postaji Lipe na Barju so sinhroni nizi te postaje s preostalima dvema dolgi od 21 do 16 let. Pred izvedbo samega testa za vsak mesec in za vsak parameter posebej, smo poskrbeli za sinhronizacijo obeh nizov, tako da smo izločili vse tiste podatke, ki niso imeli para v nasprotnem nizu.

REZULTATI MEDIAN TESTA

Za vse štiri pare nizov za vsak mesec posebej smo naredili median test za neodvisne pare. Pri vsaki obdelavi smo ocenili tveganje, s katerim lahko zavrnilo postavljene hipoteze o enakosti povprečij nizov. Rezultate te obdelave kaže tabela 2.

Tabela 2 Rezultati median testa za par Brnik-Volčji potok, vrednosti χ^2 za parametre SNG, MSN in DSN (oznake pomenijo isto kot v tabeli 1) pri parametrih s tveganjem pod 50% je dopisan odstotek zanesljivosti

Table 2 Results of median test for stations Brnik - Volčji potok, χ^2 values for parameters SNG, MSN and DSN (the meaning of abbreviations same as in Table 1). For significances greater than 50%, the exact significance is added

	SNG		MSN		DSN	
dec	0.62	50%	1.73	75%	0.06	
jan	0.07		1.14	60%	1.07	60%
feb	0.27		1.14	60%	1.07	60%
mar	0.00		2.57	85%	1.73	80%

Vidimo, da lahko z največjo zanesljivostjo trdimo, da so različni pari nizov maksimalne višine snežne odeje (MSN), za niza čas trajanja snežne odeje (SNG) pa lahko le za december s tveganjem 50% trdimo, da sta niza različna, za druge mesece so so tveganja večja. Enak test smo naredili tudi za nize para Lipe Volčji potok.

Tabela 3 Kot tabela 2, le za par Lipe-Volčji potok

Table 3 As Table 2, but for stations Lipe-Volčji potok

	SNG		MSN		DSN	
dec	0.42		0.42		0.10	
jan	1.00	55%	1.13	60%	0.42	
feb	0.01		0.01		3.79	93%
mar	0.47	50%	0.13		0.11	

Pri paru Lipe-Volčji potok lahko vidimo, da so le v redkih primerih tveganja manjša od 50%, pri večini parametrov lahko torej trdimo, da mediana nizov nista različna. Izjemo predstavlja le število dni s sneženjem (DSN) v februarju, kjer je zanesljivost za trditev o različnosti medianov kar 93%. V tem primeru ima postaja Volčji potok pogosto več dni s sneženjem kot Lipe, vendar se pogostejše sneženje ne odrazi na daljšem trajanju snežne odeje niti ne na njeni maksimalni višini.

Tudi za pare nizov Brnik-Lipe na Barju smo naredili enak test. Rezultate prikazuje tabela 4.

Tabela 4 Kot tabela 2, le za par Brnik - Lipe na Barju
Table 4 As Table 2, but for stations Brnik - Lipe na Barju

	SNG		MSN		DSN	
dec	0.10		0.10		2.56	85%
jan	0.42	50%	0.11		0.95	60%
feb	0.38		0.38		0.25	
mar	1.68	80%	0.03		0.02	

Za nize SNG-trajanje snežne odeje se pokaže, da ni značilnih razlik med nizoma postaj, saj so vrednosti χ^2 povsod daleč pod 50%. Za nize DSN-število dni s sneženjem, se pokaže, da je na Brniku v začetku zime značilno (60-85%) več dni s sneženjem, marca pa je na Brniku 80% značilno višja snežna odeja kot pri Lipah.

T-TEST

Nize parov postaj smo obdelali tudi z metodo parov (T test). Pri obdelavah smo ocenili zanesljivost, s katero lahko trdimo, da obstajajo značilne razlike med nizoma, tj. da je trajanje snežne odeje na Brniku res daljše kot pri Volčjem potoku, da je maksimalna višina snega na Brniku večja kot pri Volčjem potoku in analogno za preostala para nizov.

Tabela 5 Rezultati metode parov za postaji Brnik in Volčji potok (t-test) (oznake pomenijo isto kot pri tabeli 1). K vrednosti testne količine T je pripisana značilnost razlik
Table 5 Results of Students (t) test for stations Brnik and Volčji potok, abbreviations have the same meaning as in Table 1. Significance is added to t values if they are greater than 50%

	SNG		MSN		DSN	
dec	1.062	70%	1.288	80%	1.687	90%
jan	0.842	55%	1.627	90%	1.904	94%
feb	1.213	75%	2.025	95%	0.799	53%
mar	1.305	83%	1.855	93%	0.917	65%

Zanesljivosti smo določili s primerjavo izračunanih koeficientov iz prvih stolpcev tabele 5 z tabelarnimi vrednostmi količine t.

V parih nizov je bilo od 52 do 60 podatkov. Iz tabele 5 lahko vidimo, da je zanesljivost največja pri nizih maksimalne višine snežne odeje (MSN), pri drugih pa je manjša, vendar povsod večja od 50%. Kot je bilo pričakovati, je zanesljivost najmanjša-razlike so torej najmanjše - pri številu dni s sneženjem, posebno majhne pa so zanesljivosti za trditve o različnosti nizov v zadnjih dveh mesecih zime. Po posameznih mesecih je skupna zanesljivost za vse parametre skupaj največja v marcu, takoj za tem pa v decembru, medtem ko je v januarju in februarju manjša. To dejstvo lahko pojasnimo s tem, da je zima na obeh postajah v januarju in februarju precej podobna, večje razlike pa nastopajo ob začetku in ob koncu zime.

Naredili smo enako obdelavo tudi za pare nizov za postaji Lipe in Volčji potok.

Tabela 6 Kot tabbela 5, le za par Lipe - Volčji potok
Table 6 As Table 5, but for stations Lipe - Volčji potok

	SNG		MSN		DSN	
dec	1.310	80%	1.293	80%	0.435	
jan	0.031		1.464	85%	0.507	
feb	0.100		0.541		0.630	
mar	1.310	80%	1.293	80%	0.435	

Vidimo lahko, da so v primerjavi s parom Brnik-Volčji potok zanesljivosti v tej tabeli dosti manjše, da so torej razlike med pari nizov za te dve postaji večinoma majhne. Še posebno velja to za nize DSN-število dni s sneženjem, saj so vse zanesljivosti pod 50%. Tudi naslednjo delavno hipotezo: na Brniku značilno dlje leži sneg, značilno več dni sneži in značilno več je snega kot pri Lipah na Barju smo preverili s T testom. Rezultate prikazuje tabela 7.

Tabela 7 Kor tabela 5, le za par Brnik - Lipe na Barju
Table 7 As table 5, but for stations Brnik - Lipe na Barju

	SNG		MSN		DSN	
dec	0.725	50%	1.125	75%	0.240	
jan	0.986	65%	1.295	80%	0.217	
feb	1.024	70%	1.234	80%	0.329	
mar	1.147	75%	0.928	65%	0.696	

Za ti dve postaji lahko vidimo, da so z zanesljivostjo od 65 do 80% različne maksimalne višine snega (MSN) med postajama Brnik in Lipe. Za števila dni s

sneženjem (DSN) tega ne moremo zanesljivo trditi, pač pa z značilnostjo od 50 do 75% velja, da je na Brniku več snega (SNG) kot pri Lipah.

Pri podrobnejšem pregledu nizov za čas trajanja snežne odeje in za število dni s sneženjem smo ugotovili, da so v obeh nizih velika nihanja, na kar kažeta tudi veliki standardni deviaciji in razmaha med maksimumoma in minimumoma. Hkrati smo ugotovili, da je korelacija med istosmiselnimi nizi z različnih postaj velika. Vse to pomeni, da se značilnosti zime iz leta v leto na vseh postajah zelo, vendar podobno spreminjajo.

V metodi za izračun testne količine T je odvisnost od varibilnosti niza zelo velika. Zato smo se odločili, da z normalizacijo zmanjšamo variabilnost nizov. Transformacijsko formulo smo zapisali takole:

$$X1i' = X1i/Si$$

$$X2i' = X2i/Si$$

(X1, X2-podatka v nizu para postaj, i-števec leta), kjer je $Si = (X1i+X2i)/2$, torej povprečna vrednost parametra v nekem letu.

V primeru, da je $Si = 0$, (v nekem mesecu nekega leta nobena od postaj ni imela dneva s snežno odejo ali dneva s sneženjem ali je maksimalna višina snega povsod enaka 0), priredimo $X1i' = X2i' = 1$.

S tako zmanjšano varianco smo ponovno naredili postopek T testiranja. Rezultate tega testa kažeta tabela 8 (za par Brnik - Volčji potok) in tabela 10 za par Volčji potok-Lipe.

Tabela 8 Rezultati T testa za pare nizov z zmanjšano varianco za par Brnik - Volčji potok

(pomen oznak je enak kot v tabeli 1)
Zanesljivosti: # 95%, ** 99%, *** 99,9%

Table 8 Results of Students (T) test for pairs of normalised datasets for stations Brnik-Volčji potok (the meaning of abbreviations is same as in Table 1)
Significances: # 95%, ** 99%, *** 99,9%

	SNG		MSN		DSN	
dec	4.740	***	8.505	***	3.312	**
jan	2.719	**	5.397	***	4.607	***
feb	4.743	***	8.435	***	2.123	*
mar	2.195	#	4.137	***	4.007	***

S tako normaliziranimi nizi se pokaže dosti večja značilnost razlik kot pa z nizi brez normiranja. Za maksimalno višino snežne odeje (MSN) lahko z 99,9% zanesljivosti trdimo, da je na Brniku večja v vseh zimskih mesecih, za čas trajanja snežne odeje (SNG) je tako velika zanesljivost dosežena le decembra in februarja, vendar je v vseh mesecih tveganje za trditev o različnosti manjše od 5%.

Tabela 10 Kot tabela 8, le za par Lipe - Volčji potok
Table 10 As table 8, but for stations Lipe - Volčji potok

	SNG		MSN		DSN	
dec	2.138	#	2.755	**	0.115	
jan	0.515		4.359	***	2.254	**
feb	0.406		1.532	85%	0.450	
mar	1.742	90%	1.714	90%	1.421	75%

Vidimo, da le pri redkih parametrih lahko opazimo veliko zanesljivost, četudi je varianca zmanjšana z normalizacijo.

Tudi za par postaj Brnik-Lipe na Barju so sinhrona niza normalizirali in izvedli T test za parametre MSN, DSN in SNG. Rezultate te obdelave kaže tabela 10.

Tabela 10 Kot tabela 8, le za par Brnik - Lipe na Barju
Table 10 As table 8, but for stations Brnik - Lipe na Barju

	SNG		MSN		DSN	
dec	1.830	90%	0.316		4.294	***
jan	2.275	#	0.207		3.631	***
feb	2.733	**	2.046	*	1.325	80%
mar	2.863	**	2.833	**	3.733	**

Pri normiranih nizih lahko opazimo, da so zanesljivosti za potrditev hipoteze o različnosti parov nizov veliko večje, izjemo predstavljata le parameter MSN-maksimalna višina snežne odeje v decembru in v januarju, saj pri teh dveh parih ni dokazano, da sta povprečji nizov različni.

ZAKLJUČEK

Na podlagi opravljenih testov lahko sklepamo naslednje:

SNG-čas trajanja snežne odeje: pari nizov za postaji Lipe in Volčji potok si niso tuji, razlike med njimi niso značilne. Pari nizov za postaji Brnik-Lipe in Brnik-Volčji potok so si tuji, s precejšnjo zanesljivostjo lahko trdimo, da se povprečja nizov razlikujejo, posebno dobro so hipoteze (na Brniku dlje leži sneg kot pri Lipah, na Brniku dlje leži sneg kot v Volčjem potoku) potrjene, če primerjamo normirane nize.

MSN-maksimalna višina snežne odeje v mesecu: Hipoteza, da je na Brniku več snega kot v Volčjem potoku, je dobro potrjena s T testom, z median testom in še posebno dobro s T testom za normirane nize (zanesljivost 99.9% za vse zimske mesece). Za preostala para zanesljivost pri testih ni tako velika, vendar lahko z dokajšnjo zanesljivostjo (85-99%) trdimo, da sta si niza Lipe-Volčji potok tuja in da je pri Lipah več snega kot v Volčjem potoku. Za par Lipe-Brnik velja, da so si pari nizov v prvi polovici zime precej podobni, v drugi polovici zime pa Brnik prevlada.

DSN-število dni s sneženjem: Hipoteza o tem, da na Brniku pogosteje pada sneg, je posebno dobro potrjena v primerjavi z Volčjim potokom (za normirane nize T test zanesljivost od 95 do 99.9%), podobno velja, če primerjamo Brnik z Lipami, za par Lipe-Volčji potok pa velja, da so razlike med nizoma majhne.

LITERATURA

Tompson C.M., 1941: Table of percentage points of χ^2 distribution,
Biometrika, vol 32., 318-327 pp.

OBRAMBA PRED TOČO V SLOVENIJI DANES
HAIL PROTECTION IN SLOVENIA

Andrej KRANJC
Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana

551.578.7

SUMMARY

Since the year 1980 the area, covered by the hail suppression system in Slovenia increased from 255.642 to 969.581 ha. The radar center that until the year 1983 was at Žikarce near Maribor, was moved to Lisca near Sevnica. Thus, using a WR100 - 2/77 radar at this center, we cover the whole defended area, the most distant point in Prekmurje, near the Hungarian border, being 118 km from the radar. On the defended area there are 137 launching sites, each having a container for rockets, which is at the same time a shelter for the operator and his assistant, a stock of rockets, two launchers and a radio station for connection with the center.

The major parts of the equipment at the radar center are: radar, two computers linked to each other and to the radar and peripherals, software and radio communications. Software is divided in two major parts: 1. A WMS (Weather Monitoring System) programme module which provides for the motion of the radar antenna, gathering of radar data and display of these data on a colour monitor; 2. An OPT (OPT = Hail Suppression) programme module which manages the operational rocket hail suppression, namely extracts storm clouds from the radar picture of the atmosphere, chooses the launching sites that are in the best position for seeding the cloud, and displays the data for launching on the video-terminal.

The radar center is also a main meteorological station with observations every hour throughout the year. So, out of the hail suppression season the technicians at the center work as meteorological observers. Additionally, they help elaborate radar and other data with the aim of finding out the most frequent paths of thunderstorms over the defended territory, and above all, to establish the efficiency of our hail suppression system.

POVZETEK

V članku je prikazan sedanji sistem obrambe pred točo v Sloveniji in razvoj tega sistema v zadnjih petih letih. Opisana je princip merjenja z meteorološkim radarjem WR100-2/77, ki je bil kupljen leta 1981 in najprej postavljen na prejšnjem radarskem centru na Žikarcu, nato pa prestavljen na Lisco. Opisana je tudi računalniška strojna in programska oprema na radarsko-računalniškem centru (RRC), trije načini vodenja obrambe (avtomatsko, polavtomatsko, ročno) in organizacija dela na RRC Lisca.

UVOD

V petih letih, odkar je bil napisan članek s podobnim naslovom (Kranjc, 1981), se je v sistemu obrambe pred točo (OPT) v Sloveniji precej spremenilo. Branjena površina se je močno povečala, radarski center je bil prestavljen z Žikarc (blizu Maribora) na Lisco nad Sevnico, z ročnega vodenja akcij OPT pa smo prešli na avtomatsko, računalniško vodenje obrambe. Sedanja branjena površina obsega skoraj 1.000.000 ha, sicer pa se je v 15 letih, kolikor radarsko vodena obramba v Sloveniji obstaja, povečevala, kakor je prikazano v tabeli 1.

Tabela 1 Velikost celotne in kmetijske branjene površine v Sloveniji v letih 1972-1986
Table 1 Total and agricultural defended area in Slovenia in the years 1972-1986

leto year	skupna površina (ha) total area (ha)	kmetijska površina (ha) agricultural area (ha)
1972-1980	255.642	144.802
1981	372.657	216.384
1982	422.471	242.477
1983	628.000	357.960
1984	922.502	397.605
1985-1986	969.581	478.105

To je največja površina, ki jo nadzoruje en radarski center v Jugoslaviji. Glede dosega radarja ta površina ni prevelika, saj je skrajna točka branjene površine v Prekmurju oddaljena od radarsko-računalniškega centra (RRC) 118 km, medtem ko je maksimalni doseg radarja 450 km. Tudi glede radijskih zvez velikost branjene površine ne pomeni večjih težav, saj so npr. zveze s strelnimi mesti na Gorenjskem zaradi vpliva reliefa slabše kot s strelnimi mesti v Prekmurju.

Manjše težave se pojavijo pri avtomatsko vodeni obrambi, kadar je nad branjenim območjem hkrati veliko število oblakov, na katere je treba streljati pa ni možno posredovati vsem strelcem ukazov za streljanje v dovolj kratkem času. Večje težave pa nastanejo, če je pri velikem številu nevarnih oblakov akcija vodena ročno (npr. zaradi okvare računalnika). Če dela radarist zelo hitro, lahko izmeri približno 1 oblak na minuto; to pa pomeni, da pride pri 10 oblakih neki oblak ponovno na vrsto čez 10 minut, kar je seveda prevelik interval. K sreči je računalniški sistem dokaj zanesljiv in pride do ročnega vodenja akcij le poredko.

Ker je radarski center znotraj branjene površine, je del te branjene površine radarsko nepokrit, in sicer od radarja pa do razdalje okoli 10 km. Ta problem zdaj rešujemo vzajemno z radarskim centrom Sljeme (nad Zagrebom). Oblake nad našim centrom izmerijo z radarjem na Sljemenu, oblake nad njihovim centrom pa izmerimo z našim radarjem; podatke si izmenjamo po radijski zvezi.

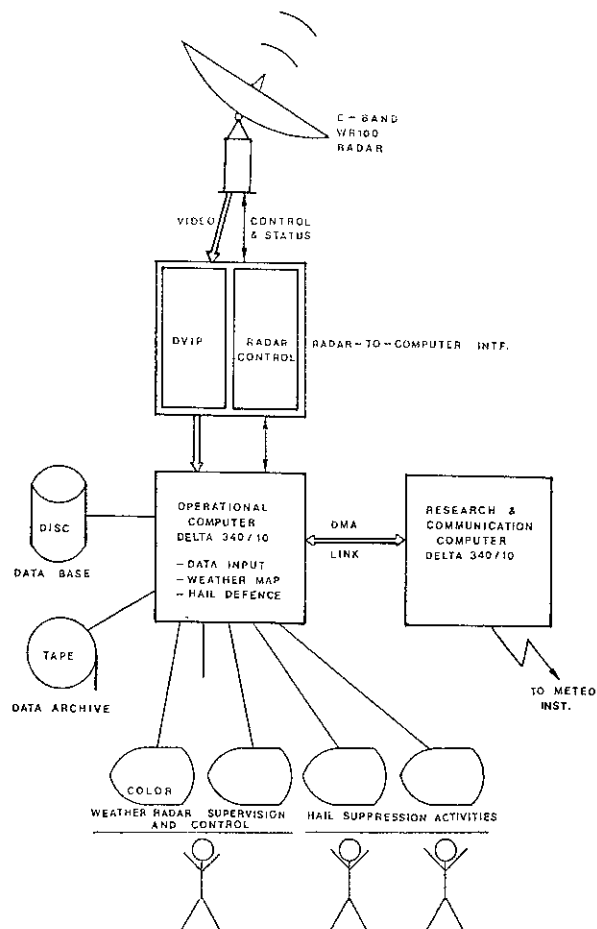
Radarski center je začel v sezoni 1984 delovati na novi lokaciji - na Lisca nad Sevnico (948 m n.m.), kamor je bil prestavljen z Žikarc (400 m n.m.). Do takrat so bili tudi že pripravljeni prvi programi za računalniško vodenje obrambe, ki je v sezoni 1984 potekala poskusno (večina akcij je bila zaradi raznih težav vodena ročno). V naslednjih dveh letih so strokovnjaki Iskre Delte programe popravljali in dopolnjevali in v letošnji sezoni je bila že velika večina akcij vodena računalniško oz. avtomatsko.

TEHNIČNA OPREMA V SISTEMU OPT

a) Oprema radarsko-računalniškega centra

Bistveni sestavini v opremi RRC sta radar in računalnik. Radarsko-računalniški sistem s periferijo je shematično prikazan na sliki 1. Radar WR100-2/77, ameriške firme EEC je bil nabavljen in montiran na Žikarcu v sezoni 1981 in kasneje preseljen na Lisco. Opisana je bil že v članku o OPT v Sloveniji (Kranjc, 1981), zato bomo tu le na kratko dali pregled njegovih tehničnih karakteristik in princip merjenja. Tehnične karakteristike so naslednje:

- valovna dolžina 5.3 cm
- dolžina pulza 3 μs (900 m)
- temenska moč 250 kW
- dinamični obseg 80 dB
- širina snopa 1.1 st.
- frekvenca pulzov 255/s
- prag občutljivost -104 dBm



Slika 1 Shema elektronske in programske opreme RRC Lisca (po Adrinck 1985)
 Figure 1 Block diagram of Weather Monitoring and Hail Suppression System at RRC Lisca

Meritev poteka tako, da s premikanjem antene po azimutu in po elevaciji poiščemo oblak, ki nas zanima. Iz jakosti vrnjenega elektromagnetnega valovanja na posameznih višinah sklepamo na lastnosti merjenega oblaka. Nazaj sipana moč je odvisna od t.i. radarske odbojnosti Z kapljic, ledenih kristalov ipd. v volumski enoti v opazovani točki, kot pove radarska enačba :

$$(Pr/Pa) = (Z/Zc)(Ro/R)^2$$

Pr označuje moč elektromagnetnega valovanja, ki se vrne od ovire, oddaljene R km od antene; Pa povprečno moč, ki jo seva radar, Ro poljubno normirno razdaljo (v našem primeru 230 km) in Zc radarsko konstanto.

Navadno se uporablja logaritmirana radarska enačba, ki ima obliko :

$$Z = Zc - Pa + Pr - 20\log(Ro/R)$$

kjer je Z v enotah dBz (v nelogitmirani obliki ima enoto mm^6/m^3).

Kriterij za nevarnost toče, ki ga uporabljamo pri nas, je nekoliko milejši od kriterija, ki so ga ugotovili Švicarji v poskusu Grossversuch IV (Federer et al., 1978/79); postavimo, da je oblak potencialno nevaren za točo ter ga je zato potrebno posipati, če se pojavi radarska odbojnost 40 dBz (pri Švicarjih 45 dBz) na višini izoterme $0 \text{ st.C} + 1.4 \text{ km}$.

DVIP - digitalni video integrator in procesor ima nalogo, da digitalizira analogne radarske signale. Te tako obdelane pošilja na radarske zaslone, če to želimo, poleg tega pa jih v obliki številskih vektorjev pošilja na vhod računalnika, ki jih naprej obdeluje. Izhodni podatki DVIP-a so torej vhodni podatki za računalnik.

Na RRC Lisca sta dva računalnika DELTA 340. Vsak ima 16 bitni procesor in 124 K 16-bitnih besed glavnega spomina. Od standardne periferije so na računalnika priključene naslednje enote: po dve diskovni enoti, kapacitete vsaka po 10 M bytov, tračna enota, štiri videoterminali, pisalnik in barvni monitor z ločljivostjo 256x320 točk. Od nestandardne periferije pa je seveda na računalnik kot vhodna enota priključen DVIP, kot izhodna enota pa vmesnik, prek katerega usmerja računalnik radarsko anteno v željeno smer: npr. če računalnik sprejme od radarskega kontrolerja neko število, ga interpretira kot elevacijo, na kateri naj vrta anteno.

Naslednji, bistveni sestavni del opreme RRC so radijske zveze, ki omogočajo zvezo centra s:

- strelci,
- Hidrometeorološkima zavodoma SRS in SRH
- kontrolo letenja v Zagrebu (prek zbirnega centra na Sljemenu),
- RC Sljeme, ter
- letalskima kluboma Maribor in Celje.

Zveze s strelci so kvalitetnejše, kot so bile v preteklih letih, posebno odkar je bil v letošnji sezoni montiran komunikacijski puht (proizvodnja RIZ, Zagreb), ki vključuje identifikacijo, t.j., da se na ekranu izpiše številka postaje, prek katere nekdo (strellec) kliče.

Center ima tudi dieselski agregat z močjo 50 kW, ki mu omogoča tudi samostojno oskrbo z električno energijo. Med nevihtami na Lisci namreč pogosto pride do izpada električne napetosti iz omrežja in bi v takih primerih brez svojega vira energije na centru ne mogli voditi akcij OPT.

Od opreme, ki ne služi OPT, naj omenimo meteorološke instrumente, ki jih ima center kot glavna meteorološka postaja.

b) Oprema strelnih mest

Na celotnem branjenem območju je 137 strelnih mest, od tega jih 80 spada pod območno skupnost Sevnica, 57 pa pod območno skupnost Maribor. Razporeditev strelnih mest je prikazana na sliki 9, ki obenem prikazuje porabo raket dne 24.7.1986. Strelna mesta so označena s križci in številkami, veliki krog s središčem v RRC Lisca je azimutni krog za radar, mreža kvadratov s črkami in številkami ob robu slike pa služi za koordiniranje akcij oz. streljanja s kontrolo letenja.

Vsako strelno mesto ima skladišče (kovinsko ali betonsko), v katerem ima strelec spravljene rakete, služi pa mu tudi kot zaklonišče v času izstreljevanja raket. Strelno mesto ima po dva 6-cevna lanserja, rakete pa strelec sproži z električnim kontaktom s prožilno napravo, ki jo ima v kontejnerju. Za zvezo z RRC imajo strelec prenosne radijske postaje. Omenjene naprave na strelnih mestih vzdržujejo delavci območnih skupnosti, ki tudi oskrbujejo strelce z raketami proti toči.

RAČUNALNIŠKA PROGRAMSKA OPREMA

Programska oprema na RRC Lisca sestoji iz operacijskega sistema računalnika, programskega paketa WMS in programskega paketa OPT. Vsi ti programi so podrobno opisani v Poročilu o OPT v Sloveniji za leto 1984 (Kranjc in Divjak, 1984). Tu jih bomo le na kratko opisali, poleg tega pa bomo omenili spremembe oz. dodatke, ki so bili narejeni od takrat do danes.

a) Operacijski sistem

Operacijski sistem je skupek programov v računalniku, ki omogočajo uporabnikom posredno delo z računalnikom. Na računalniku DELTA 340 se uporablja v ta namen operacijski sistem DELTA/M, ki omogoča, da z računalnikom naenkrat dela več uporabnikov z več programi, tako da je zmogljivost računalnika kar najbolj izkoriščena.

b) Sistem za spremljanje vremena (WMS - Weather Monitoring System)

Prvotni programski paket WMS je izdelek ameriške tvrdke EEC, današnja verzija pa so delavci Iskre Delte napisali že skoraj popolnoma na novo. Pisan je deloma v višjem programskem jeziku Fortran, deloma pa v zbirnem jeziku. Prirejen je operacijskemu sistemu DELTA/M in računalniku DELTA 340. Njegova naloga je vrtenje antene radarja po določenih elevacijah, pobiranje pri tem nastalih vektorjev radarskih odbojnosti iz DVIPa, shranjevanje teh vektorjev in pa prikazovanje radarske slike atmosfere, ki jo ti vektorji opisujejo, na barvnem monitorju.

c) Obramba pred točo (OPT)

Programski paket OPT je izdelek HMZ SRS in Iskre Delte. Tako kot WMS je pisan deloma v Fortranu, deloma pa v zbirnem jeziku in prilagojen operacijskemu sistemu DELTA/M in računalniku DELTA 340. Programski paket OPT je nadgradnja paketa WMS, kar pomeni, da za svoje delovanje potrebuje delovanje paketa WMS in njegove datoteke. Njegova naloga je vodenje operativne raketne obrambe pred točo, t.j. "izrezovanje" nevihtnih oblakov iz radarske slike atmosfere, določanje zanje najustreznejših strelcev s tal in zapis parametrov strelcev na terminal.

Programski paket OPT je sestavljen iz več programov. Eden izmed njih, OPTPPI, prebere najprej iz datoteke DKRIT številko, ki mu pove, kako visoko leži izoterma 0 st.C. Potem iz datoteke RADAR prebere podatke o radarski odbojnosti točk, ki ležijo v 1 km debeli plasti, ležeči 1.4 km nad izotermo 0 st.C. To je t.i. kritična plast; oblaki, ki imajo v tej plasti dovolj veliko radarsko odbojnost ($\Rightarrow 40$ dBz), so potencialno nevarni, da bodo dali točo. Omenjeno kritično plast zapiše OPTPPI v datoteko CAPPI. Program OPTJDR poišče okrog vsakega lokalnega maksimuma točke, v katerih je radarska odbojnost večja od neke mejne vrednosti (35 dBz). Površino znotraj konture 35 dBz pretvori ta program v krog, s središčem v točki maksimalne odbojnosti in na ta način predstavi oblak. Vsak oblak tako OPTJDR predstavi s tremi podatki: z lego njegovega centra, z njegovim polmerom in z oznako, da je oblak potencialno nevaren. Podatek o tem zapiše v datoteko JEDRA.

V primeru potencialno nevarnega oblaka program AKCIJA izračuna, kje bo ta oblak čez čas, ko se bo vanj streljalo. Pri tem uporablja podatke o smeri in hitrosti gibanja oblakov in o povprečnem času, ki poteče od posredovanja ukaza strelcu do izstrelitve raket. Vsi ti podatki so shranjeni v datoteki DKRIT. Nato za novo lego oblaka izračuna področje, v katero se naj strelja. Po višini leži to področje med izotermama -5 in -15 st.C. Program AKCIJA potem

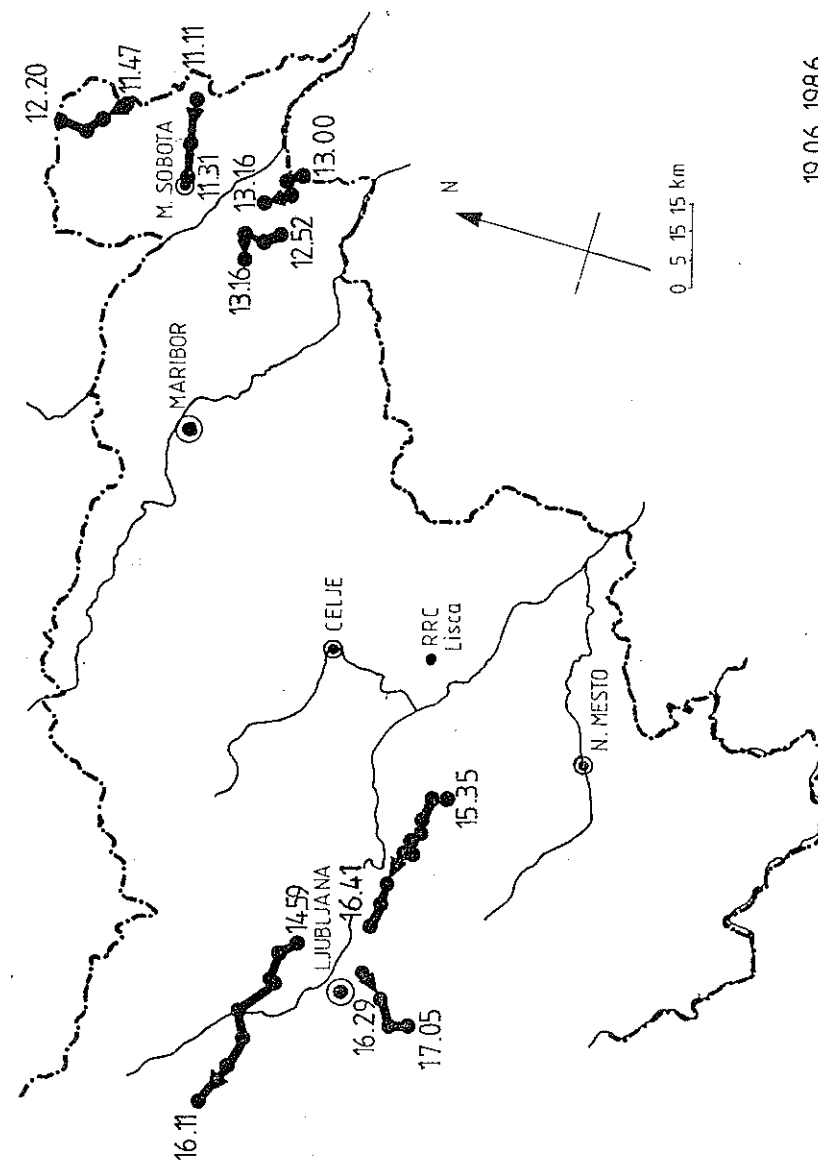
določi najugodnejše strelce za posipanje tega področja; položaj strelca je tem ugodnejši, čim večji delež reagenta pride v to področje, t.j. čim boljši izkoristek ima. AKCIJA izpiše parametre strelcev (št. strelnega mesta, azimut, elevacijo, tempiranje in število raket) na izhodni terminal in v datoteko NADZOR. Če operater odtipka določen ukaz (potrdi akcijo), AKCIJA razume, da je bila izstrelitev izvršena in avtomatsko popravi stanje raket zadevnega strelca.

Že v lanskoli sezoni je bil uporabljan dodatni program STRACK (Storm Tracking - sledenje nevihti), ki je sledil gibanje vsakega nevihtnega oblaka posebej in izračunaval na osnovi dotedanjega gibanja gibanje v naslednjem časovnem intervalu. Ta program je potreben zaradi tega, ker se na tako obsežnem območju, kot ga branimo, ne gibljejo vsi oblaki v isto smer in z enako hitrostjo in so zato možne napake pri streljanju. Program je bil pred začetkom letošnje sezone dopolnjen, vendar se je pokazalo, da še ne ustreza, ker upošteva samo gibanje točke maksimalnega odboja. Potrebno bo upoštevati večjo površino okrog te točke (npr. znotraj konture 35 dBz), da bomo dobili bolj realno sliko o gibanju oblakov. Točka maksimalnega odboja se namreč znotraj samega oblaka seli sem in tja in zato da STRACK praviloma cik-cak pot gibanja oblaka, kar pa ni ugodno za določevanje strelnih mest, ki naj streljajo v sprednji del oblaka. Primer poti, dobljene na ta način, je prikazan na sliki 2. Med sezono 1986 je bil vpeljen program za zaporedni zapis večjega števila že izračunanih TV slik na disk, kar nam potem omogoča mnogo hitrejši dostop do njih, kot pa če so podatki samo posneti na trak. Ko je za to namenjeni prostor na disku poln, pa te datoteke arhiviramo na poseben trak.

Sistem WMSOPT omogoča, da shranimo radarske podatke na magnetne trakove. Podatki o poteku operativne obrambe pa se shranijo na disk. Hranitev podatkov na magnetnih trakovih je bistvenega pomena za kasnejše analize meteoroloških situacij, pa tudi za analize poteka akcij OPT. Arhiviranje obrambnih akcij zagotavlja pregled nad dogajanjem izbranega dne. V ime datoteke se zapiše datum, zabeleženi so vsi oblaki, vse zahteve po odobritvi kvadrantov in opisi vseh izstrelitev, ki jih je operater na terminalu potrdil.

Naj na koncu tega poglavja povemo še to, da lahko akcije vodimo na tri načine:

1. avtomatsko - operaterji le nadzorujejo potek obrambe, komunicirajo s kontrolo letenja, posredujejo ukaze strelcem in potrjujejo izstrelitve prek terminala,
2. polavtomatsko - radarist ročno dela z radarjem in sporoča podatke operaterju, ki jih prek terminala posreduje računalniku; naslednje faze so enake kot pri avtomatskem vodenju obrambe. Ta način se uporablja pri nekaterih (delnih) okvarah hardwara;
3. ročno - akcijo vodimo brez uporabe računalnika (v primeru večje okvare računalniškega sistema).



19.06. 1986

Slika 2 Primer poti, dobljenih s programom STRACK
Figure 2 Example of paths, obtained by means of programme STRACK

ORGANIZACIJA DELA NA RRC LISCA

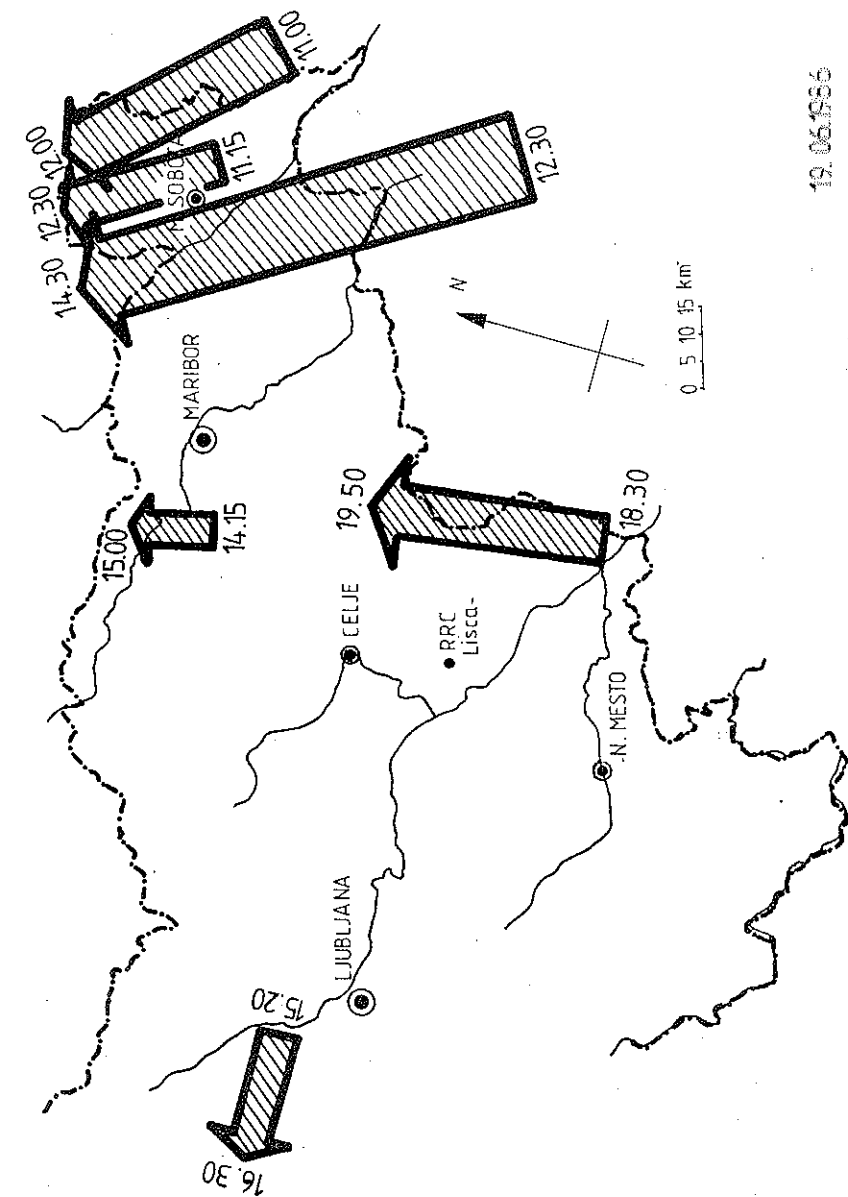
Na RRC Lisca je celo leto posadka 24 ur na dan. V sezoni OPT se na centru tedensko izmenjavata dve ekipi po pet delavcev, zunaj sezone pa po dva delavca, ki opravljata urna meteorološka opazovanja. Poleg vodenja akcij OPT in meteoroloških opazovanj pa posadka dela razne analize in obdelave podatkov v zvezi z OPT. Večina teh obdelav je na koncu vsake sezone objavljena v poročilu o OPT za tisto leto.

Z risanjem poti neviht (primer na sliki 3) želimo dobiti grafičen prikaz gibanja nevihtnih oblakov v posameznih dneh, ko so bile akcije OPT, na koncu sezone pa kumulativno število prehodov neviht čez posamezna območja. V nekaj letih bomo na ta način dobili povprečno relativno pogostost nevihtnih prehodov čez posamezne dele branjenega območja. Za dneve, ko so bile večje akcije OPT, narišemo na osnovi podatkov meteoroloških postaj s tega območja karte, ki so prikazane na naslednjih slikah:

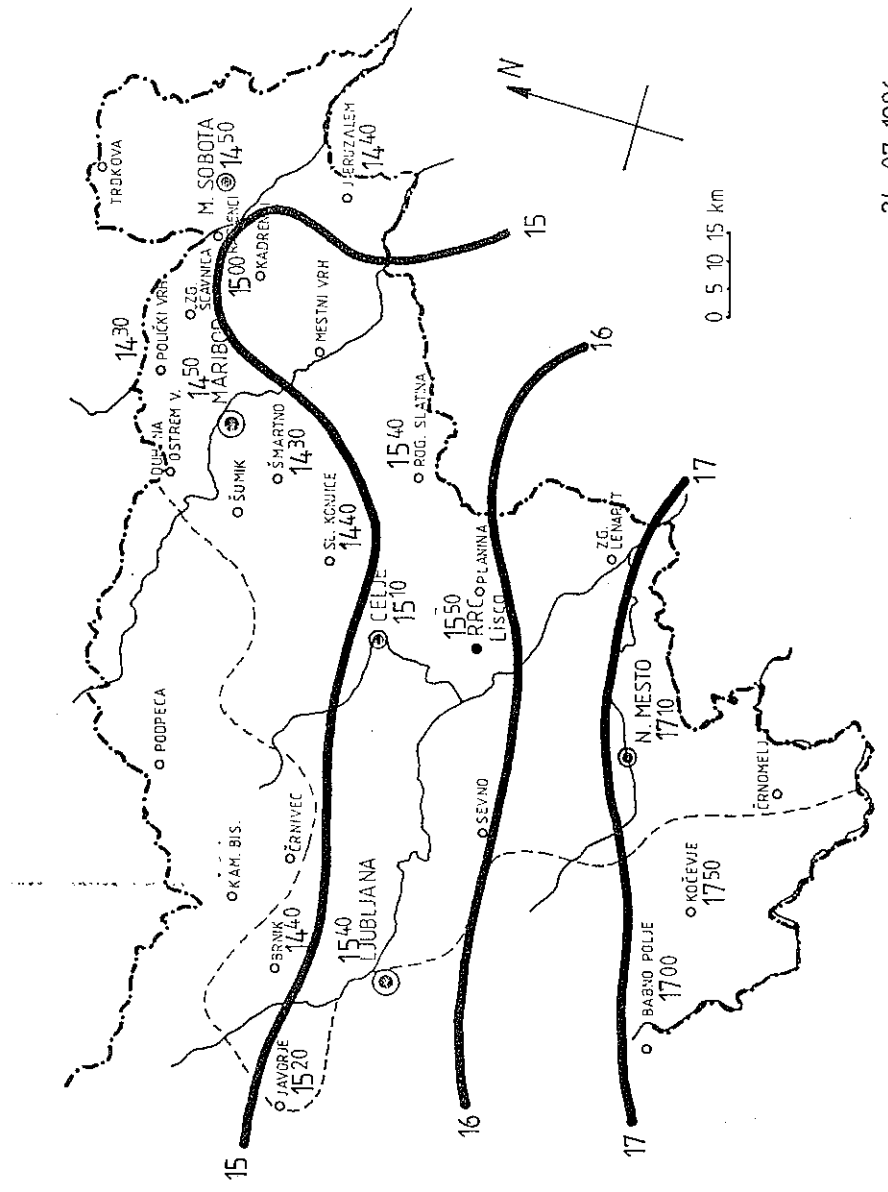
- sl. 4: čas nastopa naglega znižanja temperature,
 - sl. 5: velikost znižanja temperature ob nevihtah,
 - sl. 6: čas začetka naliva ter
 - sl. 7: količina padavin ob nalivu,
- (črtkana črta na teh slikah označuje zahodno mejo branjenega območja), na osnovi podatkov iz akcij pa karti:
- sl. 8: padanje toče in
 - sl. 9: število izstreljenih raket po strelnih mestih in kvadrantih.

Sliki 4 in 6 na svoj način predstavljata pomikanje fronte (ko gre za frontalne nevihte), slika 5 intenzivnost prehoda fronte glede na velikost padca temperature, iz slik 7, 8 in 9 pa bomo poskusili najti povezavo med posipanjem oblakov ter padanjem toče in količino padavin. Med izohronami, ki prikazujejo začetek ohladitev in začetek nalivov, ni vedno dobrega ujemanja, to pomeni, da se ohladitev ne začne vedno hkrati z nalivom; do tega prihaja zato, ker je ohladitev navadno posledica dveh dejavnikov: samih padavin in dotoka hladnega zraka oz. zamenjave zračne mase.

Podatke za slike 4 - 7 smo dobili s termogramov in ombrogramov z meteoroloških postaj, ki leže znotraj branjenega območja ali v njegovi bližini; slednjih je pet: Podpeca, Kamniška Bistrica, Črnivec, Babno polje in Kočevje. Metodologija odčitavanja podatkov je naslednja:

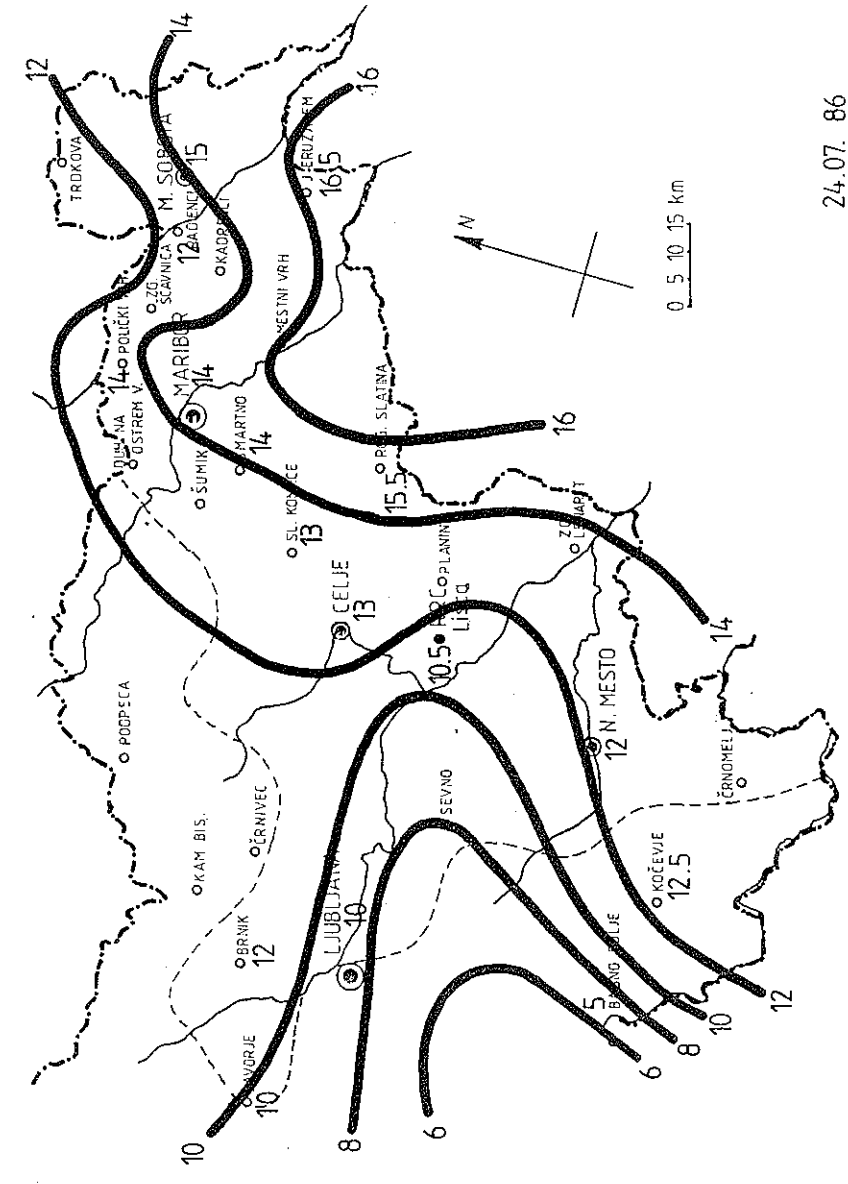


Slika 3 Primer poti neviht
Figure 3 Example of paths of thunderstorms



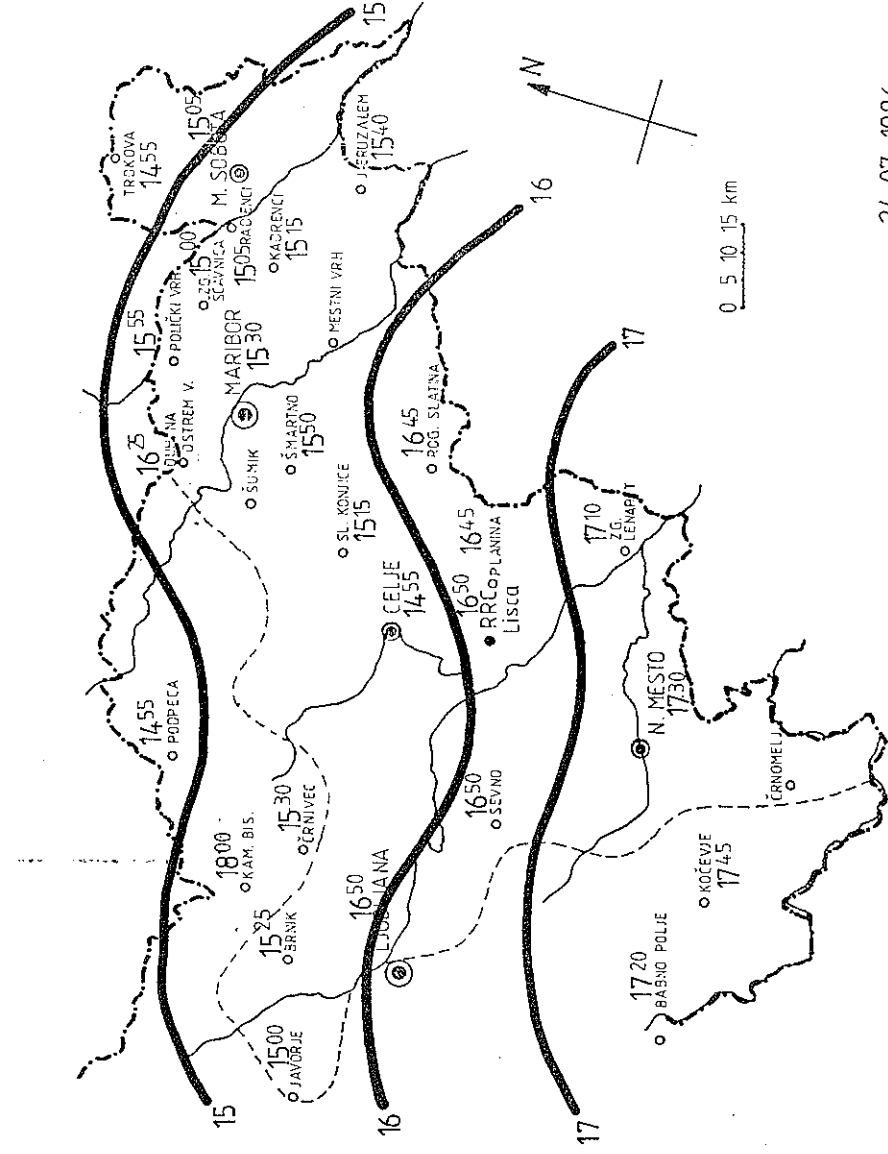
Slika 4 Izohrone nastopa naglega znižanja temperature
 Figure 4 Isochrone lines of the beginning of a rapid drop of temperature

24. 07. 1986



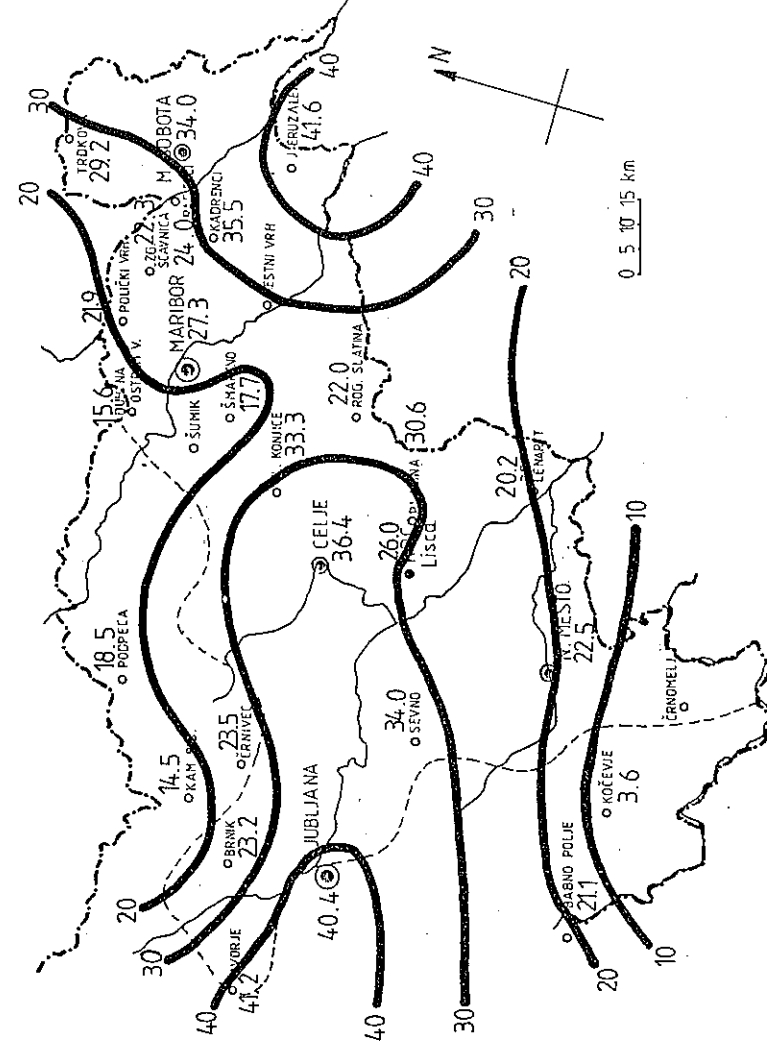
Slika 5 Velikost znižanja temperature ob nevihtah
 Figure 5 Temperature drop at the time of thunderstorms

24.07. 86



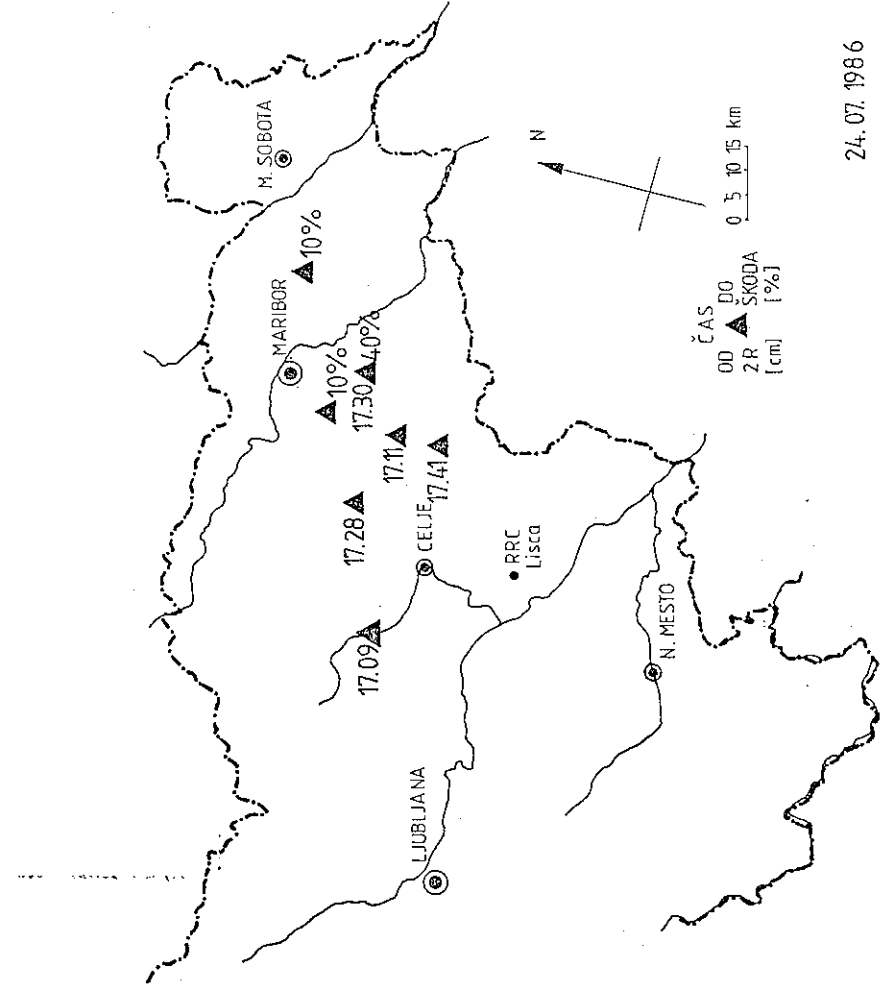
Slika 6 Isochrone začetka naliva
Figure 6 Isochrone lines of the beginning of a shower

24. 07. 1986

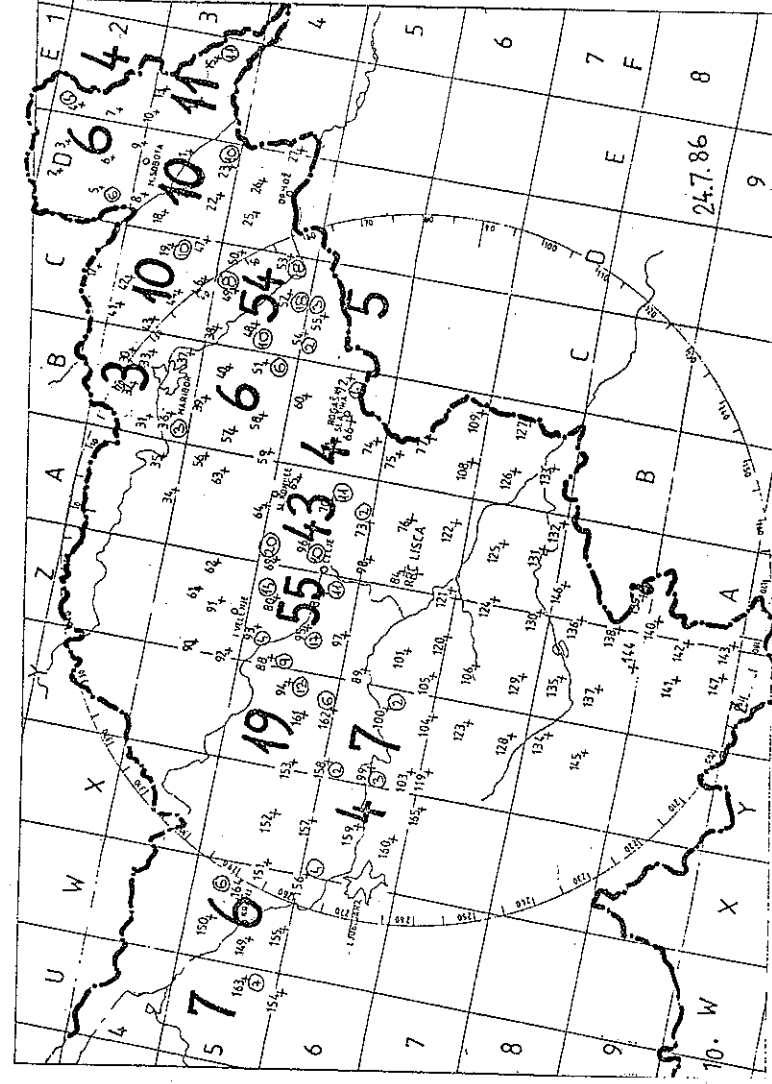


Slika 7 Količina padavin v nalivu
Figure 7 Amount of precipitation in a shower

24. 07. 1986



Slika 8 Zabeleženi pojavi toče
 Figure 8 Registered hailfalls



Slika 9 Število izstreljenih raket po strelnih mestih (male, obkrožene številke) in kvadrantih (velike številke)
 Figure 9 Number of rockets being launched at launching sites (small, encircled numbers) and in quadrants (big numbers)

- za naglo znižanje temperature vzamemo tisto, ko ohladitev izrazito odstopa od dnevnega hoda temperature;

- kot nalive obravnavamo primere, ko gre za bolj ali manj kratkotrajne padavine večje jakosti.

Oboje je seveda stvar subjektivne presoje, zato so tudi možne napake; vendar pa je treba povedati, da v večini primerov odčitavanje ni problematično in dva neodvisna odčitovalca dobita enake ali skoraj enake odčitke.

Podatki o zabeleženih pojavih toče, kot so prikazani na sliki 8, so večkrat precej pomanjkljivi, ker jih ne beležijo poklicni opazovalci, ampak strelci v sistemu OPT. Tako so nam le redko na voljo vsi štirje podatki o padanju toče, kot so označeni ob znaku za točo v spodnjem desnem delu slike 8.

Da bi si ustvarili boljšo možnost ugotavljanja učinkov posipanja nevihtnih oblakov na padanje toče, smo postavili razmeroma gosto mrežo točemerov na južnem delu poligona. Okrog Brežic smo namreč v kvadratu 15 km x 15 km postavili 100 točemerov, ki na umerjene stiroporne plošče beležijo padce toče. Dobre rezultate si lahko obetamo od tega, če bomo uspeli dobiti večje število padcev toče na tem območju, in to tako iz posipanih, kot iz neposipanih oblakov (za ugotavljanje razlik med obema populacijama), za kar bo brez dvoma potrebnih več sezon z meritvami. Točemerje smo postavili proti koncu lanske sezone, do zdaj pa smo imeli 6 primerov, ko je toča padla na to območje.

NAČRTI ZA V PRIHODNJE

V bližnji prihodnosti bomo obdelali radarske podatke z nekaj magnetih trakov iz lanskih in letošnjih akcij. Ugotoviti želimo, kakšna je prostorska porazdelitev oblakov glede na jakost odboja ter velikost in višino oblakov ter pozneje, kakšne so spremembe v oblakih po obstreljevanju oz. posipanju z AgJ.

Ugotoviti tudi želimo, kakšna je v nevihtnih dneh tipična zapolnjenost prostora (do višine 16 oz. 20 km) z oblaki, ki dajo radarski odboj, koliko pa je "praznega prostora". Obseg branjenega območja se v prihodnjih nekaj letih verjetno ne bo bistveno spreminjal. V načrtu pa je postavitve sistema OPT na Primorskem skupaj z Italijo, kjer bi na vsaki strani meje branili po 200.000 ha površine. Operativno naj bi tam OPT potekala, vsaj v začetku, enako kot v obstoječem sistemu, mnogo več poudarka kot zdaj pa bo na raziskavah. V ta

namen bo treba pripraviti program raziskav za več let, za meritve pa naj bi nabavili Dopplerjev radar z dvojno polarizacijo (horizontalno in vertikalno). Poleg operativnega centra bo deloval posebej še raziskovalno-dokumentacijski center, ki bo neposredno povezan z operativnim.

LITERATURA

- Adrinek, R., 1985: Weather Monitoring and Hail Defence System at CRC Lisca. Ljubljana, Iskra Delta, 30 pp.
- Federer, B., et al.: Plan for the Swiss Randomized Hail Suppression Experiment. Design of Grossversuch IV. Pageoph, Vol. 117, Basel, 548-571.
- Kranjc, A., 1981: Obramba pred točo v Sloveniji. Razprave - Papers 25/2, DMS, 85-95.
- Kranjc, A. in M. Divjak, 1984: Meteorološko poročilo o obrambi pred točo v Sloveniji za leto 1984. Ljubljana, HMZ SRS, 95 pp.