

POVZETEK

Nekatera kraška svojstva ozemlja modificirajo splošno klimatsko shemo in njihove učinke je mogoče ugotoviti le s posebnimi meritvami. Orisano je stanje v preučevanju v svetu in doma ter odprta vprašanja za naslednje klimatske elemente:

Vlažnost prsti in talne temperature na krasu v razliko od nekrasa in kot jih modificirajo pedološke in litološke razlike; odprto vprašanje geotermične stopnje na krasu.

Jamska klima. Sistematične meritve so zajele le redke jame dinamičnega (Podpeška, Postojnska jama, Predjama), statodinamičnega tipa (brezno z ozkim ustjem - Jama pri Briščikih, Eksperimentalna jama "C. Doria"), ne pa drugih tipov. Vedno boli so nujna raziskovanja za možnost speleoterapije, ki se v Evropi širi.

Klima vrtač in kraških polj. Po registraciji najnižjih v Evropi izmerjenih temperatur ($-52,6^{\circ}\text{C}$) in razmerah v udornicah tipa Velika Ledenica v Paradani stopnjo temperaturnega obrata neopravičeno posplošujejo na vse tipe vrtač. Pomen ostalih rastiščnih pogojev za vegetacijsko inverzijo v mraziščih. Prikazani so rezultati najnovejših meritev v Paukarjevem doku pri Vrhniki.

UVOD

Apnenec in dolomit zavzemata 43% ozemlja SR Slovenije (Gams, 1974). V njej je razvit kras vsaj z enim pojavom - kraško vodno cirkulacijo. Prepustna tla pa po svoje vplivajo na zemeljske temperature. Na okoli ene četrtine ozemlja je kraj razvit tudi s površinskimi pojavi, predvsem s kotanjami raznih vrst (kraška polja, uvale, vrtače, slepe doline), od katerih vsaka zase predstavlja s posebno zračno cirkulacijo in kompleksom ekspozicije na pobočjih mikroklimatsko celico najnižjega reda - klimotop (lingvistično bolje: klimatop). V primerjavi z fluvialnim reliefom pa so te in druge posebnosti kraška klime slabo proučene. V tem referatu je podan pregled stanja v raziskavah, s posebnim ozirom na slovenski kras.

SPELEOKLIMA

Raziskujejo jo speleologi /1/, /4/, /3/ in speleološke organizacije /8/, /21/. V novejšem času raziskujejo jame tudi z vidika jamskega zdravljenja, ki so ga v Evropi uvedli v ZN Nemčiji, na Madžarskem in v Bolgariji /20/. Kljub obi-

lici jam z različnimi klimatskimi pogoji pri nas še nismo pričeli z načrtnim raziskovanjem /3/.

ZEMELJSKE TEMPERATURE

Po teksturi so tla na kraških kamninah bolj finožrnata (ilovnata do glinasta) kot izven krasa, kar po svoje pogojuje zemeljske temperature. Izmed obilice tipov, ki lokalno nastopajo na našem kraju in ki jih pedologi pogosto združujejo z izrazom pokarbonatna tla, je mogoče klimatsko izdvojiti dva značilna tipa. Prvega predstavlja rendzina do riava rendzina in plitva rjava ter rdečkasta tla. Te prsti prevladujejo na pobočjih; za temperaturne razmere ima odločilni pomen lega v obliki žepov med skalnimi izrastki, ki molijo do površja ali celo na površje. Drugi tip so debelejša ilovnata do peščena tla, ki so značilna za dna večjih kotanj, zlasti kraških polj, mestoma pa tudi za ostalo površje. V njih je večina ornih zemljišč.

Da bi dobili vpogled v temperaturne razlike teh dveh tipov, ki se pokažejo zlasti ob neenakem spomladanskem olistanju drevja in ozelenjevanju trave, smo uvedli pri meteorološki postaji v Babnem polju (n.v. 756 m) dodatne terminske meritve zemeljskih temperatur v globinah 5 in 30 cm v času jesenskega ohlajevanja in spomladanskega ogrevanja (slika 1). Tla, ki so na risbi označena kot gruščnata tla, so naravnost pod vremensko hišico, ki je na vrhu majhne skalnate vzpetinice. Zemlja se nahaja v globokih, a ozkih žepih med skalami. Drugi tip, označen za glinasto ilovico, je bil merjen nekaj metrov vstran in niže od postaje na dnu odprte vrtače. Površje v obeh primerih pokriva trava.

Dokaj enake temperature v obeh talnih tipih v začetku novembra 1969 je razmaknilo hladno in deževno obdobje sredi meseca, ki je bolj ohladilo težka in debela tla. Sneg med 15. in 22. XI. je bolj ohladil težko zemljo. Kot so pokazala tudi druga merjenja v Babnem polju, je debela ilovica v dnu kotanje pozimi hladnejša in vlažnejša ter globlje zmrzuje. V aprilu naslednjega leta, ko smo obnovili merjenja pri postaji, je sonce težka tla hitreje ogrevalo. Čeprav sta jih hladni dež in sneg obdobjno bolj ohladila, so postala že v tem mesecu toplejša kot rendzina med kamenjem. Potem ko jih je namočil dež, so postale že v tem mesecu toplejša kot rendzina med kamenjem. Potem ko jih je namočil dež, so postale dnevne amplitude pri debeli zemlji ob sončnih dneh znatno večje.

Po tem poteku je spoznati naslednje glavne faktorje, ki določujejo razlike pri zemeljski temperaturi. Kamenje, ki moli pri plitvih tleh med preperelino ali skozi njo na površje, je boljši toplovodnik. Zato so ta tla pozimi, ko se ogrevajo od spodaj, toplejša, poleti pa zaradi ohlajevanja od spodaj hladnejša. Hladnejši dež v hladni polovici leta in toplejši dež v topli polovici leta imata nanje manjši vpliv, ker je poljska vodna kapaciteta teh tal manjša in ker voda skozi nje hitro pronika v podzemlje. Ker sprejema slovenski dinarski kras obilno padavin, je zaradi prepustne skalne podlage poletno ogrevanje po padavinah slabše, temperaturni talni režim je bolj radiacijski kot pri težkih in debelih tleh.

Pri njih je temperaturni režim bolj podoben zemlji izven krasa. Po tem moremo po istih principih pričakovati nižje temperature tam, kjer je najmanj poletnih padavin, to je v pravi mediteranski klimi. Na našem dinarskem krasu, kjer je poletnih padavin v notranjosti več kot zimskih, lahko zaradi izostanka poletnega vodnega ogrevanja in kljub manjši toplotni izgubi zaradi zmanjšane evapotranspiracije pričakujemo na kraških tleh nižje zemeljske temperature. Po omenjenih meritvah znašajo razlike med obema talnima tipoma največ 1-2°C.

Prepustnost skalne podlage, letna količina padavin ter razmerje med letnimi in zimskimi padavinami vplivajo tudi na globlje, skalne temperature ter na geotermalno stopnjo, ki na krasu ni proučena. Sodeč po temperaturah vode na izviri in v jamah, je znatno večja kot izven krasa in znaša pri apnencih verjetno 150-200 m (Gams, 1974). Za to govorita tudi naslednji dve dejstvi, če ju medsebojno primerjamo: srednja letna temperatura tistih kraških izvirov, ki v zaledju nimajo ponikalnic, je približno enaka srednji letni temperaturi zraka v ustreznih višinah. Gradient pri srednjih letnih temperaturah v notranjosti Slovenije pa je okoli 0,54°/100 m (Furlan, 1965, s. 117).

TEMPERATURNI OBRAT V VRTAČAH IN NA KRAŠKIH POLJIH

Potem ko so v 50 m globoki uvali (nemška literatura jo označuje za vrtačo - Doline) Gstetneralm v spodnjeavstrijskih Severnoalpinskih Alpah namerili dvakrat -52,6°C kot najnižjo doslej v Evropi izmerjeno temperaturo, in po sistematičnih meritvah v "najhladnejšem kraju" na Madžarskem, v nekaterih globokih vrtačah na gorovju Bükk (Bárány, 1967, Wagner, 1970), so vrtače zaslovelo kot kotanje trajno mrzlega zraka. Polli /7/ je ugotavljal v treh vrtačah pri Opčinah v vseh mesecih negativni temperaturni gradient med obodom in dnom. Gradient se zmanjšuje od februarja (7°/100 m) do julija in avgusta (1,3°/100 m). Po njem je dno poprečno za 20°C hladnejše. Iz pomanjkljive Pollijeve dokumentacije pa sledi, da je za obod vrtače povzeta temperatura oddaljene postaje v Opčinah in da so upoštevani le določeni dnevi. O meritvah v vrtačah na krasu SR Slovenije so doslej objavili zaključke: Sedej za globoko vrtačo na Mašunu, Gams-Lovrenčak-Ingolič /10/ in Petkovšek-Gams-Hočevar /4/ za Krajno vas na matičnem Krasu ter Gams /5/ do /8/ za vrtače na Notranjskem in pri Dobenu. Iz teh objav je mogoče potegniti naslednje zaključke. Mikroklima kot tudi stopnja temperaturnega obrata bistveno zavisi od oblike vrtače, predvsem od razmerja med globino in njeno širino, ter od vegetacije in pedološke podlage. Izmed množice kombinacij, ki jih dajejo spleti teh in nekaterih drugih elementov, je mogoče izdvojiti naslednje tipe (slika 2):

1. V plitvih gozdnatih vrtačah je temperaturni obrat neznaten.
2. V odprtih travniških vrtačah ob ugodnih meteoroloških pogojih najbolj nastopa "klasičen" temperaturni obrat s hladnejšim zrakom na dnu in za 1-2° toplejšim zrakom pri dnu vrtače ob poletnem opoldanskem soncu in brezvetrju. Splošna intenzivnost obrata pa je na Notranjskem in na slovenskem krasu vobče po sedanjih meritvah manjša, kot poroča tuja literatura, in do-

sega navadno le 1-3°. Verjetno je vzrok v večji oblačnosti oziroma manjšem številu brezvetrnih in jasnih noči in večji vlažnosti zraka. Obrat v višinah nad 800 m je intenzivnejši kot nižje. V mesečnih poprečnih dno navadno ne izstopa z večjo razliko kot za 1-2°. Vendar povzročajo pozne spomladanske in zgodnje jesenske slane precejšnje škodo. Uveljavlja se predvsem radiacijska inverzija.

3. Plitvejša vrtača z gozdnatim osojnim, travniškim prisojnim pobočjem in mestoma njivo v dnu so glede inverzije podobne prejšnjemu tipu, le da je v njihovem dnu čez dan čutiti stekanje hladnejšega prizemnega zraka iz gozda (adveksijska inverzija).
4. Koliševke, to je globoke vrtače z gruščnatim, redko skalnatim pobočjem in gruščnatim dnom, ohranjajo zlasti na visokem in notranjskem krasu snežno odejo za več dni in tednov dalje v pomlad kot okolica. Zato se zakasni spomladansko in poletno ogrevanje dna in osoi. Pritekanje ohlajenega prizemnega zraka z osoj pospeši zlasti votlikavo skalno ali gruščnato pobočje, časovno pa konvekcija nad prisojami segretega zraka v poletnih sončnih dneh. Temperaturna razlika med prizemnim zrakom v dnu vrtače in zunaj nje, se poleti večja proti popoldnevu in se zmanjšuje ponoči. V takih vrtačah je izražena tudi vegetacijska inverzija /11/, kar pa je često posledica ne le klimatskih, temveč tudi človekovih posegov in po njem povzročene erozije prsti /16/.
5. Udornice tipa Velike lednice v Paradani na Trnovskem gozdu, kjer moli globoko in ozko dno v osojno smer pod previsno steno, imajo v krajih z obilnejšimi snežnimi padavinami pozimi in ponoči manjši temperaturni obrat kot po dnevi oziroma poleti, ker so temperature pri dnu trajneje nizke in izkazujejo manjše kolebanje /11/.
6. Udornice z vodo v dnu (Velika dolina /15/) ali (in) v povezavi z jamo /4/ predstavljajo poseben tip z manjšo temperaturno inverzijo in višjimi temperaturnimi minimi.

V različnih tipih vrtač se javlja različna inverzija. Pri tipu, opisanem pri 4., je v prevladi inverzija zaradi reliktnega snega, pri tipu pod 6., ki pomeni prehod k jamski klimi, inverzija zaradi ohranjanja hladnega zraka iz hladnih razdobij itd. Med njimi se najhitreje obnavlja radiacijska inverzija.

Od naših temperaturnih postaj v kraških poljih (Postojna, Kočevje, Rakitna) je v razdobju 1931-1960 najhladnejše Babno polje (756 m). V letnem poprečku imata postaja največjo amplitudo med dnevnimi minimi in maksimi, najnižje srednje letne absolutne minime (-27,4°) in najnižji absolutni minimum v Sloveniji (-34,5° - Furlan, 1963). Na sliki 3 je označena zračna cirkulacija, kot smo jo po polnoči ugotovili po premikanju radiacijske megle in z meritvami z anemometrom. K temu je pripomniti, da je tukajšnja in siceršnja cirkulacija v kotanjah pretežno reliefno pogojena in da zato posploševanje domnevno ni na mestu. V Babnem polju je pihal proti dnu ohlajeni prizemni zrak po prisojnim pobočju, ki je enakomerno strmo, poraslo s suho travo, kar je pomemben faktor inverzije. Je tudi nižje kot osojna gozdnata stran.

Primerjava merskih rezultatov med 15 m globokim Babnim poljem in 100 m globokim Globodolom, kjer so bile merjene temperature in relativne vlažnosti le s termohigrografi /5/, je pokazala, da daje plitva in odprta travniška kotanja več pogojev za temperaturno inverzijo kot globoka. V slednji debelejša plast vlažnega ali celo megleneга zraka zadržuje temperaturno inverzijo.

VRTAČA KOT POSEBEN KLIMATOTOP

V fluvialnem reliefu odteka zaradi izravnaneга strmca ohlajeni prizemni zrak nemoteno s pobočij v doline in po njih v nižine. Tako pretakanje na kraškem reliefu zadržijo vrtače, ki pa ne pomenijo samo mesta temperaturne inverzije, temveč predstavljajo svojstven celokupni splet klimatskih elementov, ki se odraža tudi v vegetaciji /12/. Pogojen je tudi z dejstvom, da sprejme vrtača na površinsko enoto tem manj radiacijske energije, kolikor globlja je in kolikor bolj je previšano obzorje na južni strani. Zaradi zmanjšane vetrovne cirkulacije je zrak v globljih vrtačah vlažnejši, ob določenih situacijah sprejme dno nekaj več padavin kot okolica, zlasti snega, ki ga zapade v visokem gorstvu toliko več, kolikor globlja je vrtača. Za vrtačo kot ekotop pa so pomembne tudi posebnosti pri zemeljskih temperaturah. Dosedanje meritve so pokazale, da so v vegetacijski dobi zemeljske temperature najvišje na prisojnim pobočju malo nad dnom, tako da moremo govoriti pri vrtačah o termalnem pasu kot miniaturni obliki toplotnega pasu v dolinah in kotlinah /6/. V takih legah je najti v vrtačah mestoma tudi vinograde. Kjer je v dnu debelejša peščena prst, zemlja poleti v odprtih vrtačah ni bistveno hladnejša kot na nižjih prisojnih, je pa občutno hladnejša na osojnih, zlasti tam, kjer so pod gozdom ali travnikom in kjer je v podlagi prsti grušč.

V letu 1974 so bile izvedene v sodelovanju z gdč. Kazuko Uroshibaro, asist. Hosei univerze v Tokiju, v Paukarjevem dolu tri enotedenske meritve zračnih in zemeljskih temperatur v globinah 5, 10, 30 in 50 cm. Slednje prikazuje za izbrane dneve slika 4.

Paukarjev dol pri Vrhniku nad izviri Retje je skoraj 40 m globoka vrtača, široka na vrhu 260-310 m. V 50-100 m pretežno ravnem njivskem dnu je kmetija Paukar. Zemeljske temperature so bile merjene vsakikrat na istem mestu in to blizu skupaj v dnu na orni zemlji in pod travo, kjer je peščeno-ilovnata zemlja, ter 18 m višje v pobočju. Strmine pobočja na severni strani vrtače znašajo pri merski postaji 24°, na zahodni strani 32° in na južni strani, v osojnih 26°. Na pobočjih smo merili na travniku. Zemlja na dnu, ki je označena na risbi z "dno - travnik", je bila še pred leti orna in je lesivirana.

Ob meritvah marca 1974, ki so bile po daljšem sušnem in razmeroma hladnem vremenu, so bile pri temperaturah v globinah 30 in 50 cm razmeroma majhne razlike. Odstopajo le temperature v osojni legi, ki so za okoli tri stopinje hladnejša. Ob koncu pomladi (14. V. 1974), ko so se po nadpoprečno topli periodi zemeljske temperature zvišale za okoli pet stopinj, zaostajajo osoje še vedno za okoli tri stopinje. Meritve ob koncu poletja so padle v deževno in razmero-

ma hladno obdobje, ki je zmanjšalo temperaturne razlike, značilne za visoko poletje. Zmanjšani so tudi temperaturni gradienti ob jutranjih meritvah, pri katerih kažeta postaji v prisojnih in osojnih najmanjše vrednosti. Pri obeh je najbolj vidna vloga dobro toplotno prevodne skalne podlage. Pri postaji na zahodni strani je debelejša prst in ima nekaj podobnosti s postajo "dno - njiva". Postaja v osojnih (južna stran) izkazuje med letom in med dnevom najmanjšo amplitudo. Majhne odklone opoldanskih površinskih temperatur od globjih povzročajo tudi mah, ki je tam med travjem, ter večja vlažnost tal.

Te meritve potrjujejo, da v širokih in odprtih vrtačah, kot je Paukarjev dol, zemlja v dnu med vegetacijsko dobo ni hladnejša kot na prisojnih pobočjih, kjer je plitvejša in v obliki žepov. To je tudi eden od razlogov, da so kmetovalci nekda kopičili prst s pobočij v dnu, da je tam postajala debelejša in toplejša.

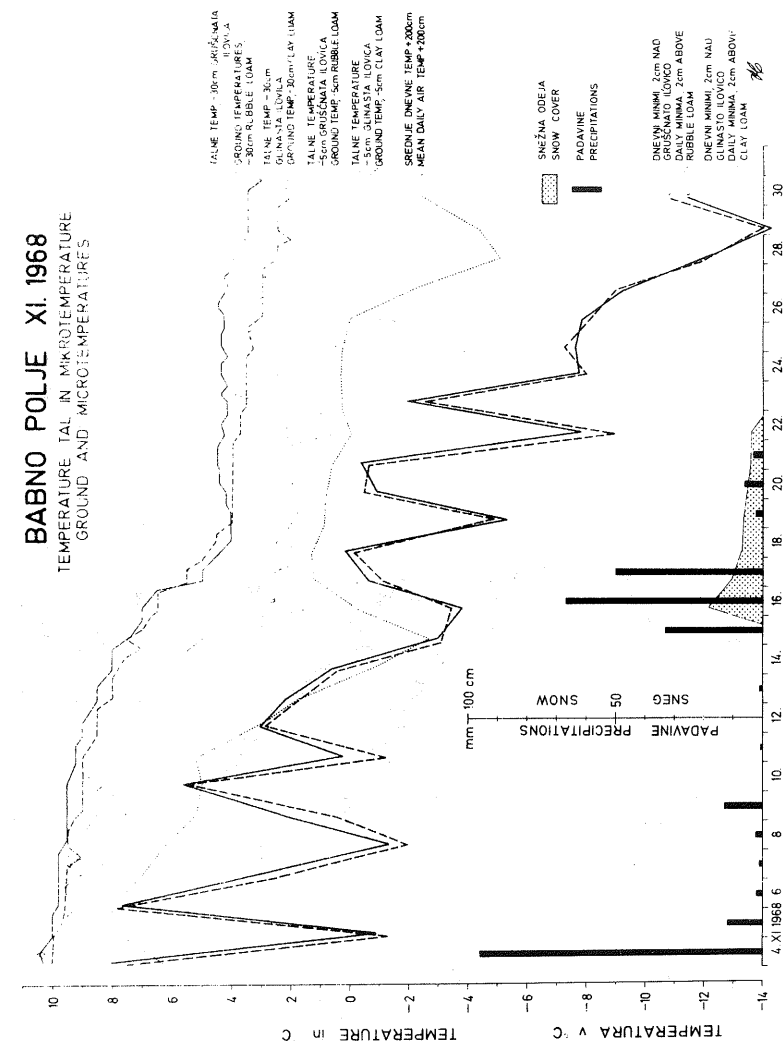
Meritve zračnih temperatur so pokazale, da so v jasnih in mirnih nočeh na dnu Paukarjevega dola višji minimi kot v sosednji, za streljaj oddaljeni travniški, a le 8 m globoki vrtači.

Oba uvodoma navedena prevladujoča talna tipa na krasu, plitva zemlja v žepih in debela ilovnato-peščena tla, imata torej različna temperaturna režima. Pri prvem imajo padavine manjši učinek, ker se v zemlji ne zadržujejo. Pri drugem pa padavine s povečano vlažnostjo zvišajo toplovodnost in s tem omogočajo poletni večje ogretje in pozimi tudi večje ohlaiditve.

LITERATURA

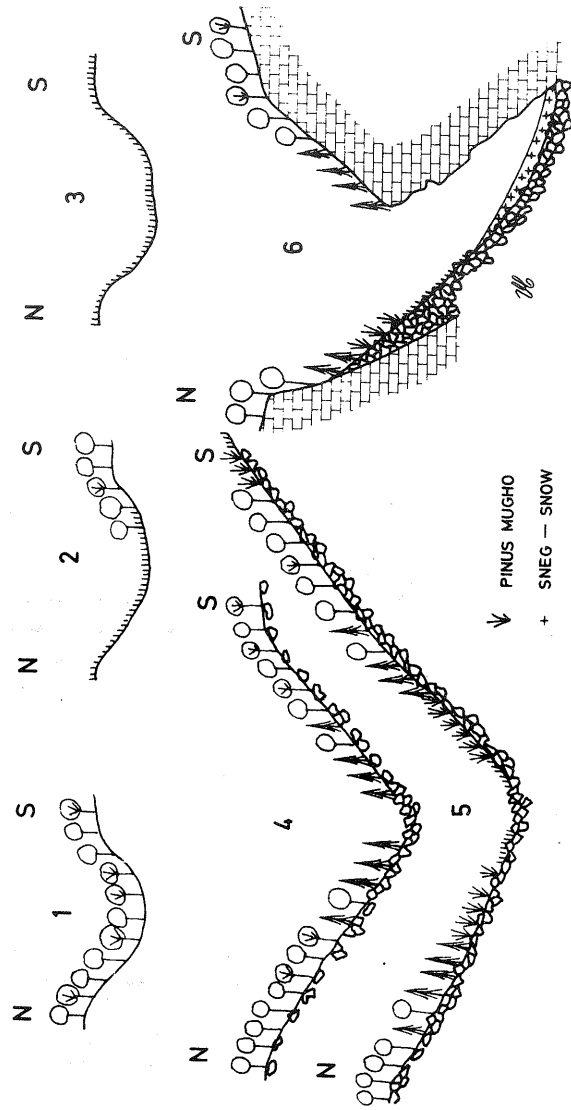
- /1/ Crestani, G., Anelli, F., 1939, Ricerche di meteorologia ipogea nella Grotte di Postumia. Roma.
- /2/ Furlan, D., 1963, Temperature v Sloveniji. Ljubljana.
- /3/ Gams, I., 1969, Prve konimetrične meritve v Postojnski jami in vprašanje speleoterapije na našem krasu. Naše jame, XI. V tisku članek o CO₂ v Postojnski jami v Acta carsologica, knjiga VI, SAZU, Ljubljana.
- /4/ Gams, I., 1970, Zračna cirkulacija kot del jamskega okolja (na primeru Postojnske jame). Peti jugoslovanski speleološki kongres, Skopje i Ohrid. Skopje.
- /5/ Gams, I., 1972, Prispevek k mikroklimatologiji vrtač in kraških polj. Geografski zbornik, XIII, Ljubljana.
- /6/ Gams, I., 1972, Prispevek h klimatogeografski delitvi Slovenije. Geografski obzornik, XIX, št. 2, Ljubljana.

- /7/ Gams, I., 1973, Physisch-geographische Faktoren, die das Klima der Dolinen und Poljen beeinflussen (aufgrund neuerer Messungen in Slowenien). Beiträge zur Hydrologie, Meteorologie und K₁ imorphologie. Festschr. f. Hanns Tollner zu 70. Geb., Salzburg.
- /8/ Gams, I., 1974, K ekologiji vrtač. Zbornik IX. kongresa geografa Jugoslavije u BiH. Sarajevo.
- /9/ Gams, I., 1954 b, Kras. Zgodovinski, naravoslovni in geografski orisi. SM. Ljubljana.
- /10/ Gams, I., Lovrenčak, F., Ingolič, B., 1970, Krajna vas. Študija prirodnih pogojev in agrarnega izkoriščanja krasa. Geografski zbornik X, SAZU, Ljubljana.
- /11/ Hribar, F., 1960, Temperatur- und Vegetationsumkehrungen in Trnovski gozd. VI^{em} Congr. int. de met. alpine. Bled - Jugoslavia. Ljubljana.
- /12/ Horvat, I., 1953, Vegetacija ponikava. Geografski glasnik, št.14-15, Zagreb.
- /13/ Kenk, R., Seliškar, A., 1931, Študije o ekologiji jamskih živali. I-Meteorološka in hidrološka opazovanja v Podpeški jami v letih 1929-1931. Prirodoslovne razprave, 1, Ljubljana.
- /14/ Petkovšek, Z., Gams, I., Hočevnar, Z., 1969, Meteorološke razmere v profilu Drage. Zbornik Biotehnične fakultete, Ljubljana.
- /15/ Petkovšek, Z., 1968, Climatic Conditions in the Swallow-holes at Cave Entrances. Proceedings of the 4th Int. Congress of Speleology in Yugoslavia, vol. III, Ljubljana.
- /16/ Plesnik, P., 1971, O vprašanju zgornje gozdne meje in vegetacijskih pasov v gorovjih jugozahodne in severozahodne Slovenije. Geografski vestnik XLII, Ljubljana.
- /17/ Polli, S., 1961, Il clima delle doline del Carso Triestino. Atti XVIII. congresso geog. italiano Trieste 4-9. april 1961.
- /18/ Polli, S., 1970, Meteorologia ipogea nella Grotte "C. Doria" del Carso di Trieste-quinquennio 1963-1967. Atti e memorie d. Comm. Grote "Eugenio Boegan", vol. IX, 1969. Trieste.
- /19/ Sedej, J., Ekologija kraških vrtač. Tipkopis (diplomska naloga). Knjižnica Oddelka za gozdarstvo, BTG, Ljubljana.
- /20/ Simpozium pre speleo-mikroklímu, chemiu a mikrobíológíu. Zbornik Východoslovenského múzea u Košiciach, ser. A, r. 1968.
- /21/ Tomassini, T., 1973, Osservazioni meteoriche, eseguite nel 1972. Boll. d. Stauione meteorological di Borgo Grotte Gigante (Trieste), letnik 1973. Starejše vsakoletne publikacije od leta 1967.



Slika 1 - Zemeljske temperature dveh talnih tipov v globini 5 in 30 cm v Babnem polju med ohlajevanjem, novembra 1968 (po Gams, 1972)

TIPNI VRTAČ PO INTENZIVNOSTI TEMPERATURNEGA OBRATA
 TYPES OF DOLINES ACCORDING TO THE INTENSITY OF TEMPERATURE INVERSION



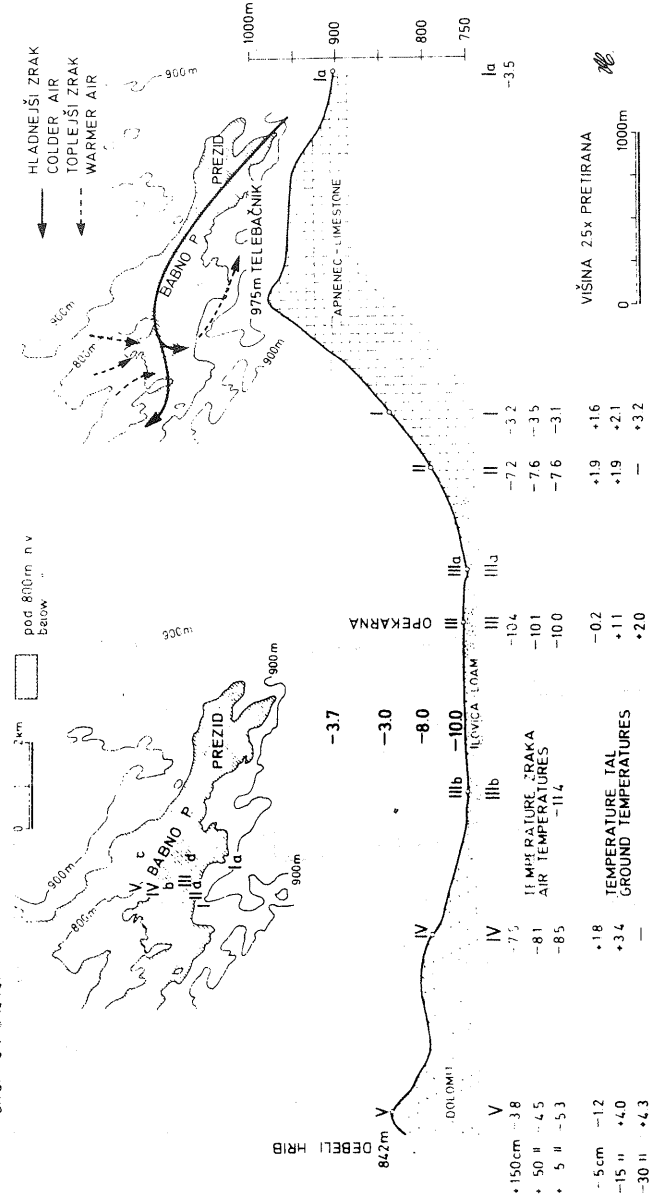
Slika 2 - Tipi vrtač glede vrste inverzije, ki se v njih javlja:

- 1 - plitva gozdnata vrtača, 2 - plitva travniško-gozdnata vrtača,
- 3 - plitva travniška vrtača, 4 - koliševka z vegetacijskim obratom,
- 5 - koliševka z vegetacijskim obratom in mraziščem, 6 - udornica tipa Velike ledenice v Paradani.

BABNO POLJE TEMPERATURE 7 XII 1968. 7'

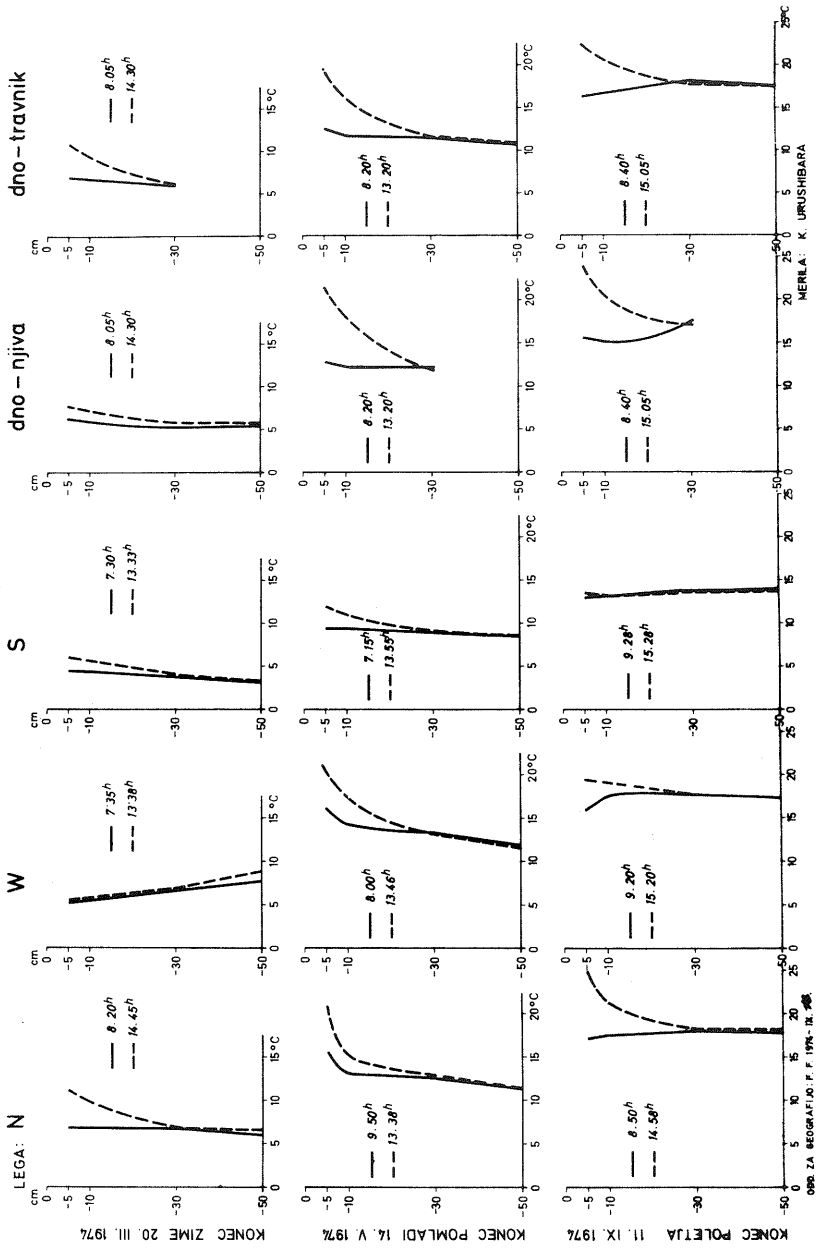
BABNO POLJE
 SITUACIJSKA SKEMA
 SITUATION SKETCH

PRANJE ZRAKA 22./23. VII 1970
 AIR MOVEMENT



Slika 3 - Temperaturna inverzija v Babnem polju. Temperature pri merski postaji Ia so bile merjene z termografom, pri ostalih postajah z zemeljskimi termometri, psihrometri (dveurne meritve), kontroliranimi s termografi. Gibanje zraka je prikazano za stanje ob polnoči 22./23. VII. 1970 (po Gams, 1972).

ZEMELJSKE TEMPERATURE VRTAČE PAVKERJEV DOL (VRHNIKA)



Slika 4 - Zemeljske temperature, merjene z zemeljskimi termometri trikrat na dan v globinah 5, 10, 30 in 50 cm v raznih legah Paukarjevega dola pri Vrhniku v treh sezonah leta 1974. Prikazi so za značilne sončne dneve.