

---

DRUŠTVO METEOROLOGOV SLOVENIJE  
SLOVENIAN METEOROLOGICAL SOCIETY

---

# RAZPRAVE PAPERS

III

**VSEBINA — CONTENTS:**

- Z. Petkovšek:** Vlaga v stanovanjih s centralnim ogrevanjem in ovlaževanje prostorov  
— Humidity in the Flats with Central Heating and Moistening of the Rooms.
- A. Hočevar:** Primerjava temperaturnih razmer v goli zemlji in zemlji z rastlinsko odejo  
— A Comparison of the Temperatures Within the Bare Soil and the Vegetation Covered Soil.

VLAGA V STANOVANJIH S CENTRALNIM OGREVANJEM IN OVLAŽEVANJE PROSTOROV  
HUMIDITY IN THE FLATS WITH CENTRAL HEATING AND MOISTENING OF THE ROOMS

Zdravko Petkovšek

551.584.61

Summary:

Dwellings with central heating need moistening because the relative humidity is too low i. e. under the optimal conditions  $/U_{op} = 50\%$ /. In this article the author fixes the needs for moistening and the practical effects of a simple method of moistening by means of free evaporation of water. The research was based on measurements executed during the winter period 1960/61, viz. in the four fortnight periods during that time. The measurements were carried out in one of the newer flats, built of bricks and not equipped with any special insulation against moisture. The relevant data are shown in table 1 and on figs. 2 and 4. The symbols  $U_n$  viz.  $U_z$  stand for the relative humidity inside the flat, respectively outside the flat;  $T_n$  viz.  $T_z$  stand for the air temperatures inside and outside at 7 a. m.;  $T_{zs}$  stands for the mean daily temperature outside;  $Pr$  stands for the amount of coal used in the flat;  $J_o$  viz.  $J_z$  stand for the intensity of evaporation at a specific spot in the flat and outside within a Stevenson's screen;  $S$  stands for the number of hours of solar insolation;  $G$  stands for the amount of energy derived from total insolation, and  $V$  stands for the intensity of the wind, all as daily means. As follows from the equations (1) to (3) and (4) to (6), the outer vapour pressure is lower than the inner pressure, in spite of high relative humidity outside, and thus, during the winter period the moisture leaks out of the flat.

Fig. 3 shows the diurnal course of the relative humidity and of some parameters during the period of early spring anticyclonic weather. The pronounced constant relative humidity in the flat is according to author's finding due to the regulative capacity of the walls. The variation in the course of the relative humidity

on 27<sup>th</sup> March is related to much increased householding activity in the flat which evidently increased the relative humidity in the flat but a little.

In order to fix the effectiveness of moistening the rooms by means of the evaporation of surface water, the intensity of evaporation at various spots in the flat was measured / $J_0$  170 cm above the floor,  $J_r$  on the radiator,  $J_t$  on the floor/. The empirical formula for  $J_0$  in relation to the relative humidity is given by the equation (8). The measured mean value is  $J_0 = 1,4$  mm day; the values for both spots evolve from the relationship, given in the equation (9).

The surface of still water needed for adequate moistening by evaporation is indicated in another equation (10). The needs for the humidity for the initial moistening after a complete ventilation of the rooms ( $D_z$ ), are indicated in the following equations (11) to (14). To maintain the optimal conditions, however, a permanent flow of escaped moisture out of the flat is necessary to replace (15) and (16). The contribution of various domestic activities to the moistening, in general and in the case under consideration, is shown in table 2.

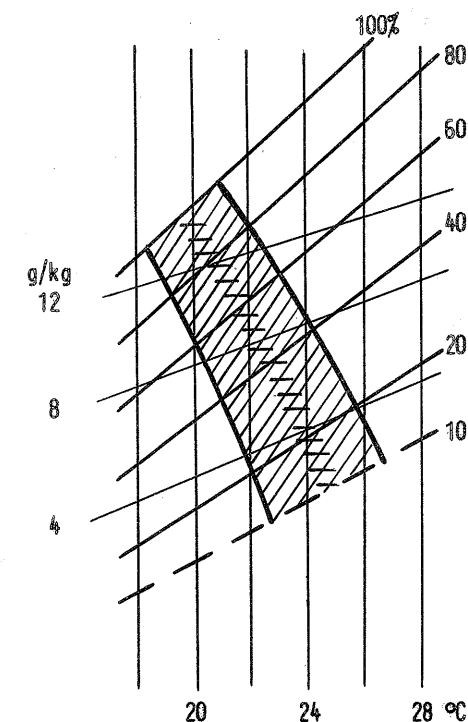
The humidity in the described flat was rather constant. On the basis of this equilibrium in the established difference of vapour pressures and the domestic activities, the amount moisture needed to maintain optimal conditions was estimated. This is a surprisingly great amount as it comes to much as:  $D = 6$  kg of water per a flat of  $60 \text{ m}^2$  in the circumstances referred to in tables 1 and 2.

The equation (24) for fixing the water surface needed to maintain optimal relative humidity is given with regard to the obtained mean intensity of evaporation and its dependence on the relative humidity /shown in the equation (23) /. This surface ought to be as big that it is practically impossible / $5 \text{ m}^2$  for the flat referred to above/. Therefore, this method of moistening is not practical. Finally the author comes to the conclusion that needs for the moisture are clearly very substantial and such are also the costs, irrespectively of the method of moistening. The costs of energy, needed for the evaporation of water, can amount to a half and even more of the cost for heating the same flat.

### UVOD

Za človekovo ugodno počutje, ki je pogoj za uspešno ustvarjalnost, je poleg temperature njegovega okolja zelo važna tudi primerna vlaga.

Kaj je primerno in prijetno, je individualno, zato lahko da šele veliko število poskusnih individuov neko reprezentativno povprečje. Na podlagi poskusov z več kot 1000 ljudmi so v amerškem društvu ASHAE (American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers) sestavili ustrezen diagram, katerega glavni del je prikazan na sliki 1 /1/. Ta predstavlja meje glede na temperature, v območju katerih se je več kot 90% ljudi počutilo ugodno. Očitno so te meje pri 18 do 27 °C, in sicer so pri nižjih temperaturah ob višji relativni vlagi in pri višjih temperaturah ob bolj suhem zraku.



Slika 1: Območje vrednosti temperature in relativne vlage, v katerem se je vsaj 90 % (enkrat šrafirano) oziroma 97 % (dvakrat šrafirano področje) ljudi počutilo ugodno. (Po ASHAE)

Stalno prebivanje v okolju z zelo nizko relativno vlago pa zlasti za ljudi v območju zasedne geografske širine ni niti zdravo niti prijetno. Zato bi bilo ugodno področje na sliki 1 potrebno omejiti še zgoraj in spodaj z vrednostmi relativne vlage. Nizka vlaga (pod 30 %) suši nosno sluznico ter vpliva neugodno na dihalne organe in grlo. Zdravniške raziskave kažejo, da obstoja korelacija med vlažnostjo zraka in številom obolenj na dihalih. Tudi z laboratorijskimi poskusi so dognali, da so bacili influence, prehladov in celo pljučnice bolj obstojni v suhem zraku kot pri relativni vlagi okrog 50 % /2/. Ta vrednost je za ogrevana stanovanja v hladnih podnebjih optimalna. Knjižnice, muzejske in druge zbirke, razni skladiščni prostori itd. imajo seveda svoje optimalne pogoje, ki navadno ne obstajajo sami od sebe, ampak je potrebno zanje poskrbeti.

Z ogrevanjem zraka se odstotek njegove relativne vlage znižuje. Parni pritisk v topli sobi je navadno večji kot zunaj in tok pare je usmerjen navzven. Ne glede na dobro termično izolacijo nam vlaga uhaja. Večina termično izolacijskih materialov ima na milijone zračnih prostorčkov, skozi katere lahko uhaja vlaga, če ni posebne dodatne izolacije.

Splošno je znano, da je relativna vlaga v prostorih s centralnim ogrevanjem prenizka. V tej razpravi obdelane meritve in izvajanja nam to potrjujejo. Kažejo stopnjo odklonov od optimalne vrednosti in odvisnost relativne vlage od različnih notranjih ter zunanjih pogojev in razmer. Na osnovi dobljenih ugotovitev je bilo mogoče nadalje proučiti tudi potrebe po ovlaženju zraka v stanovanjskih prostorih in ugotovljati uspešnost različnih načinov ovlaževanja za doseganje najugodnejših razmer. Videti je, da po večini premalo pazimo na potrebno vlažnost zraka v stanovanjih, medtem ko se nam zdi samo ob sebi umevno, da mora biti v njih dovolj toplo.

#### Meritve in rezultati

Za določanje notranjih razmer v stanovanjih so bili merjeni temperatura, relativna vlaga in jakost izhlapevanja v stanovanjskih prostorih univerzitetnega naselja na Prulah v Ljubljani. Stavbe naselja so grajene iz opeke in imajo skupno centralno ogrevanje. Okna so razmeroma velika in zavzemajo približno 10 % stenskih površin stanovanja. Polovica je obrnjenih proti NE, polovica pa proti SW, tako da lahko neposredno ogrevanje notranjosti s sončnim obsevanjem znatno vpliva na razmere znotraj stanovanj. Približno polovica okvirnih stenskih površin stanovanja je zunanjih sten, polovica pa meja na sosednja stanovanja, v katerih so podobne klimatske razmere.

Kot osnovni merski instrument za ugotavljanje temperature in relativne vlage v stanovanju je služil polimeter, ki je visel na notranji steni v sredini stanovanja 1,6 m od tal. Za določanje dnevnega poteka teh elementov je bil občasno postavljen termo-higro-barograf. Jakost izhlapevanja je bila merjena z evaporimetrom na tehtnico. Z isto tehtnico so bile dnevno tehtane tri enake valjaste posode iz plastične mase, ki so bile prozorne in je bila v njih stalna vodna površina 87 cm<sup>2</sup>. Postavljene so bile na omaro 1,7 m od tal, na tla pod oknom in na radiator 1,3 m od tal.

Za ugotavljanje istočasnih zunanjih razmer smo uporabili podatke meteorološkega observatorija Ljubljana - Bežigrad /3/, ki je le 2,5 km oddaljen od naselja.

Posebna merjenja in opazovanja v stanovanju smo pričeli v začetku decembra in so trajale do sredine aprila; vendar nam eksperimentiranje, zlasti na začetku, in pa večkratnečasne odsotnosti opazovalca ne dovoljujejo, da bi lahko določili povprečke za vso zimsko dobo 1960/61. Iz celotne dobe so bile zato izbrane štiri petnajstdnevne periode, v katerih so bile meritve neprekinjene in sistematične. Periode so bile izbrane glede na popolnost in zveznost meritev in na njihovo časovno čim enakomernjšo razporeditev v celotni dobi, toda brez tendence na vplivanje povprečne vrednosti kateregakoli elementa. Že površen pregled vrednosti iz teh period v primerjavi z vrednostmi izven njih nam kaže, da so vrednosti iz teh period reprezentativne in se povprečne vrednosti, dobljene iz njih, ne bi bistveno razlikovale od povprečkov za vso zimo. Zato slone naša proučevanja in zaključki predvsem na podlagi omenjenih časovnih period.

Za vsako periodo so bile računane srednje vrednosti posameznih parametrov in določene amplitude, ki so podane v tabeli 1, kakor tudi povprečje za vse štiri periode.

Tabela 1

/Srednje vrednosti nekaterih parametrov in elementov po periodah in amplitude ( ) ter povprečna vrednost vseh period. Legenda simbolov:  $U_n$  oz.  $U_z$  = relativna vlaga v stanovanju oziroma zunaj,  $T_n$  oz.  $T_z$  = temperatura zraka ob 07. uri v stanovanju oziroma zunaj,  $T_{zs}$  = srednja dnevna zunanja temperatura,  $P_p$  = količina porabljenega premoga na stanovanje,  $J_0$  oz.  $J_z$  = jakost izhlapevanja v stanovanju na omari oziroma zunaj v vremenski hišici,  $S$  = število ur sončnega obsevanja,  $G$  = količina energije globalnega obsevanja in  $V$  = jakost vetra, vse povprečno na dan./

Perioda		A	B	C	D	Povpreč.
čas		15.-30.XII.	13-27.I.	4.-19.II.	21.III.-4.IV.	
$U_n$	%	42 (7)	32 (13)	33 (6)	31 (14)	35
$U_z$	%	93 (26)	82 (29)	77 (42)	71 (35)	81
$T_n$	°C	17,8 (1,5)	18,3 (2,0)	19,4 (2,0)	20,3 (3,5)	19,0
$T_z$	°C	3,5 (10,9)	-6,5 (14,1)	-1,7 (6,6)	2,9 (14,4)	-0,4
$T_{zs}$	°C	10,3 (8,8)	-4,0 (10,4)	2,3 (5,7)	8,1 (10,1)	4,2
$P_r$	kg/dan	25 (7)	34 (6)	25 (8)	11 (7)	23
$J_o$	mm	1,38	1,69	1,53	1,45	1,51
$J_z$	mm	0,15	0,13	0,68	1,41	0,59
S	ur	0,2	2,4	4,5	6,7	3,5
G	cal/cm <sup>2</sup>	24	64	128	247	116
V	m/sek	0,0	0,4	0,4	1,7	0,6

Iz zadnje vertikalne vrste, katere vsak podatek predstavlja povpreček najmanj 60 vrednosti sledi, da je bila relativna vlaga v stanovanjskih prostorih povprečno 35 %, to je za 15 % nižja od omenjene optimalne vrednosti. Za primerjavo naj navedemo, da so raziskave HHFA /1/ pokazale, da je relativna vlaga v starih hišah s centralno kurjavo med 10 in 30 %, v modernih stavbah z boljšo izolacijo pa med 32 in 40 % ob zunanjih temperaturah med - 30 in - 5° C.

Relativna vlaga zunanjega zraka v Ljubljani je bila v tem času precej visoka in sicer za 46 % višja od notranje in to v povprečju kot v posameznih periodah. Kljub visoki zunanji relativni vlagi pa je bila zunaj absolutna vlaga znatno manjša, kot znotraj. Razlika izhaja iz razlike v temperaturah. Kot je razvidno iz vrednosti v tabeli, je bila temperatura v stanovanjih ob 7. uri zjutraj v povprečju skoro za 20 ° C višja kot zunaj. Dnevni potek temperature in ugotovitve o temperaturnih razmerah v stanovanjih, merjenih eno leto prej /4/ nam kažejo, da so bile v tem času srednje dnevne temperature v stanovanju okrog 20 ° C ter je zato povprečna razlika glede na srednje zuna-

nje vrednosti okrog 16 ° C. Za vzdrževanje teh razlik, to je za ogrevanje stanovanj, je bilo potrebno v času obravnavanih period povprečno na stanovanje dnevno 23 kg premoga, kar je razvidno iz tabele.

Iz znanih enačb za relativno vlago zraka

$$(U = e/e_w \text{ ali } U = \varphi_v / \varphi_{vw}) \quad (1)$$

in enačbe stanja za vodno paro

$$e = \varphi_v R_v T \quad (2)$$

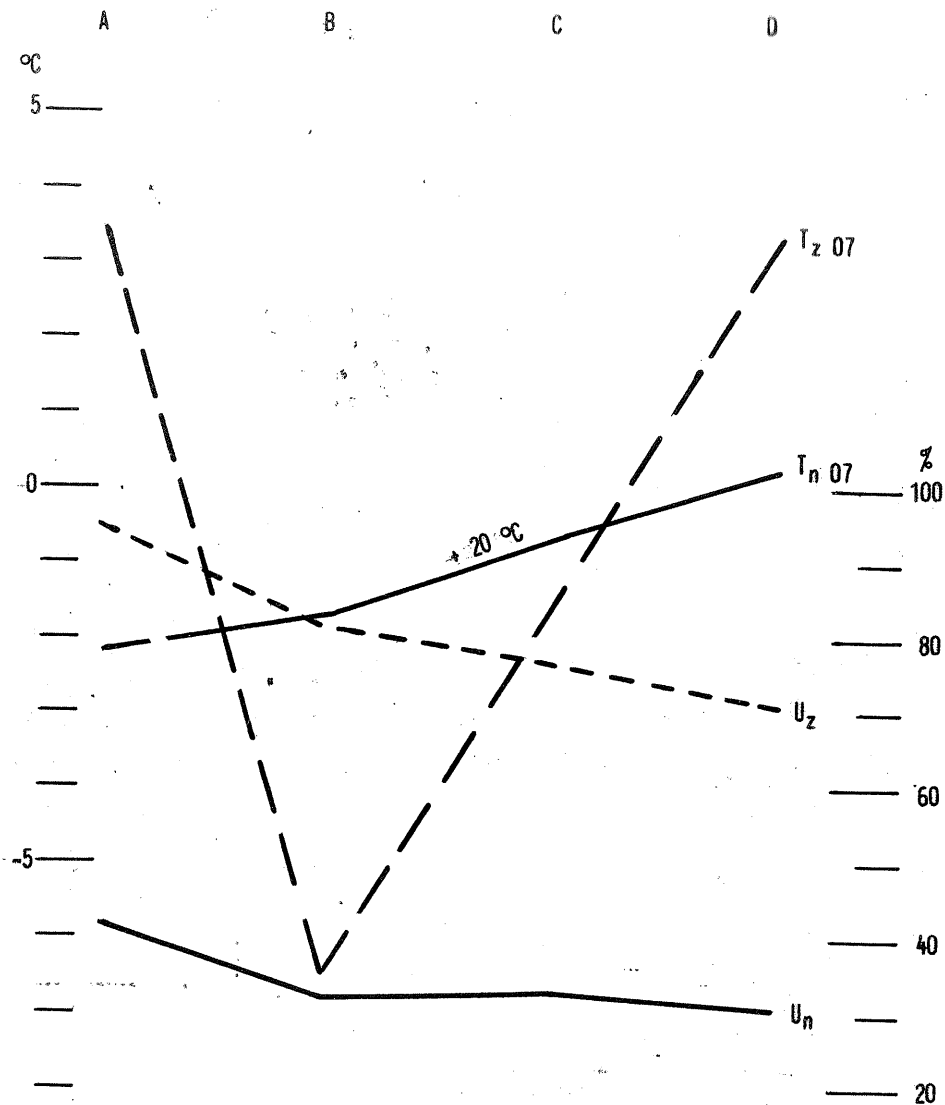
kjer pomeni  $e$ ,  $e_w$  dejanski oziroma nasičenostni parni pritisk, oz.  $\varphi_{vw}$  dejansko oziroma nasičenostno gostoto vodne pare,  $R_v$  plinsko konstanto za vodno paro in  $T$  absolutno temperaturo, dobimo za absolutno vlago zraka enačbo:

$$\varphi_v = \frac{e_w U}{R_v T} \text{ ali } \varphi_v = \frac{e}{R_v T} \text{ ali } \varphi_v = \varphi_{vw} U \quad (3)$$

Ker je  $e_w$  samo funkcija temperature in je z njeno vrednostjo povsem določena,  $R_v$  ( $= 461 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ st}^{-1}$ ) pa je konstanta, lahko na osnovi gornje enačbe in iz merjenih vrednosti absolutno vlago hitro izračunamo. Za primer se sedaj, prav tako pa tudi ka sneje, poslužimo podatkov iz tabele 1 oziroma iz njih izvedenih vrednosti. Tako dobimo, da je bila v tem času povprečna absolutna vlaga zunanjega zraka 5,1 g/m<sup>3</sup>, absolutna vlaga zraka v stanovanju pa 6,1 g/m<sup>3</sup> (za  $T_{ns} = 20 \text{ ° C}$ ). Obratni račun nam pokaže, da bi bila relativna vlaga v stanovanju, če bi vanj dovedli zunanji zrak, ki bi se ogrel na notranjo temperaturo samo 29 %. Zaradi gospodinjskih del in prisotnosti ljudi pa je imel zrak v stanovanju v našem primeru relativno vlago 35 % in zato vsak m<sup>3</sup> zraka 1 gr vodne pare več. Relativna vlaga pa je bila kljub temu še pod optimalno vrednostjo. Koliko in na kak način naj bi dodali še več vlage zraku, da bi imel potrebno optimalno relativno vlago, bomo videli kasneje. S tem v zvezi so zanimivi podatki o izhlapevanju in tudi o nekaterih parametrih, ki so zaradi možnosti kompleksnih primerjav podani skupaj z ostalimi v tabli 1.

Razen srednjih vrednosti parametrov so podane v oklepajih v tabeli 1 tudi amplitude nekaterih, to je, razlike med največjo in najmanjšo vrednostjo parametra v posamezni periodi. Če bežen pogled na te vrednosti nam pove, da so pogoji v stanovanjih precej konstantni, kar dokazujejo majhne amplitude glede na nekajkrat večje razlike v

vrednosti istih elementov zunaj.



Slika 2 Grafikon zunanje in notranje temperature ter vlage srednjih vrednosti za posamezne periode. Označbe kot v tabeli 1.

Za primerjavo notranje in zunanje relativne vlage in za ugotavljanje njune medsebojne odvisnosti in odvisnosti od temperature, se poslužimo grafičnega prikaza, ki je podan na sliki 2. Ta nam kaže premo odvisnost relativne vlage zunaj in znotraj, saj je njun potek povsem vzporeden, čeprav so zunanje vrednosti precej višje. Skoro obratno odvisnost pa nam kaže gibanje notranje temperature, ki je v veliki meri vzrok gibanju relativne vlage v stanovanju. Nekoliko nas sprva preseneča, kako majhen je vpliv velikih razlik zunanje temperature na spreminjanje ostalih treh vrednosti, vendar je to razumljivo glede na količino porabljene kurjave, ki ohranja notranje pogoje pa tudi zaradi možnosti kondenzacije oziroma izhlapevanja vodne pare zunaj.

Obratno odvisnost med temperaturo in relativno vlago pri isti absolutni vlaži iz enačb (1) do (3) ni neposredno razvidna, pač pa je jasna iz enačbe za relativno spremembo relativne vlage (5):

$$\frac{dU}{U} = \frac{dr}{r} - A \frac{dT}{T} + \frac{dp_s}{p_s} \quad (4)$$

kjer je  $r (= 0,622 e/p_s)$  razmerje mešanja,  $A (= L / (R_v T - e_w \alpha_a))$  količnik med skupno in zunanjo izparilno toploto in  $p_s$  delni pritisk suhega zraka. Ker se segreva zrak v stanovanju pri istem pritisku, zadnji člen odpade. Če dovolimo majhno napačnost in si mislimo, da je glede na majhne temperaturne spremembe, tudi količnik  $A$  konstanten, nam da integracija gornje enačbe

$$U = U_0 \exp (\ln r/r_0 - A \ln T/T_0) \quad (5)$$

Kadar prostore toliko prezračimo, da jih povsem napolni zunanji zrak, ki se nato v njih segreje, ne da bi prej sprejel ali oddal kaj vlage, ostane razmerje mešanja nespremenjeno  $r = r_0$ . Prvi člen v oklepaju enačbe (5) ima vrednost 0 in je relativna vlaga zraka po spremembi njegove temperature od  $T_0$  na  $T$  oziroma  $T_z$  na  $T_n$  dana z enačbo

$$U = U_0 (T_z/T_n)^A \quad (6)$$

S to enačbo dobimo za povprečne pogoje iz tabele 1 seveda spet relativno vlago ogretega zunanjega zraka  $U_{zn} = 29\%$ . Pri računu pa je bila vzeta srednja vrednost koli-

čnika A za ustrezní temperaturní interval.

Izvedeni račun velja za prostore, kjer ni izvorov vlage. Za stanovanjske prostore, kjer se z gospodinjskimi deli in prisotnostjo ljudi vlaga dovaja in je  $r > r_0$ , pa ne velja, zato je bila tudi povprečna relativna vlaga, ki smo jo izmerili, večja.

V zvezi z grafikonom na sliki 2, ki kaže, da je notranja relativna vlaga kljub velikim razlikam v zunanji temperaturi v posameznih periodah približno enaka oziroma približno enako nižja od zunanje, je vzrok verjetno tudi v tem, da ob arziem vremenu prostore manj zračimo in je odtok vodne pare iz stanovanja manjši.

#### Dnevni potek

Kadar nastopijo frontalne motnje ali sploh ob menjajočem vremenu, je dnevni potek mnogih elementov prekrit s temi močnejšimi spremembami, medtem ko je v mirnem anticyklonalnem vremenu dnevni tok lepo izražen in značilen. Zato smo tudi tu izbrali za primer dnevnega poteka dneve, ko je prevladovalo lepo zgodnjepomladansko anticyklonalno vreme.

Dnevno spreminjanje vrednosti raznih elementov nam lepo pokažejo krivulje vrednosti registriranih instrumentov, ki so za dani primer prikazane na sliki 3. Da je res prevladovalo lepo anticyklonalno vreme, nam kažejo nizke vrednosti za oblačnost (N), veliko število ur sončnega obsevanja (S) in krivulja pritiska (p), ki zajema visoke vrednosti in kaže izrazito dnevno nihanje z maksimum ob 10. uri in minimum ob 18. uri, medtem ko sta sekundarna ekstrema skoro neopazna.

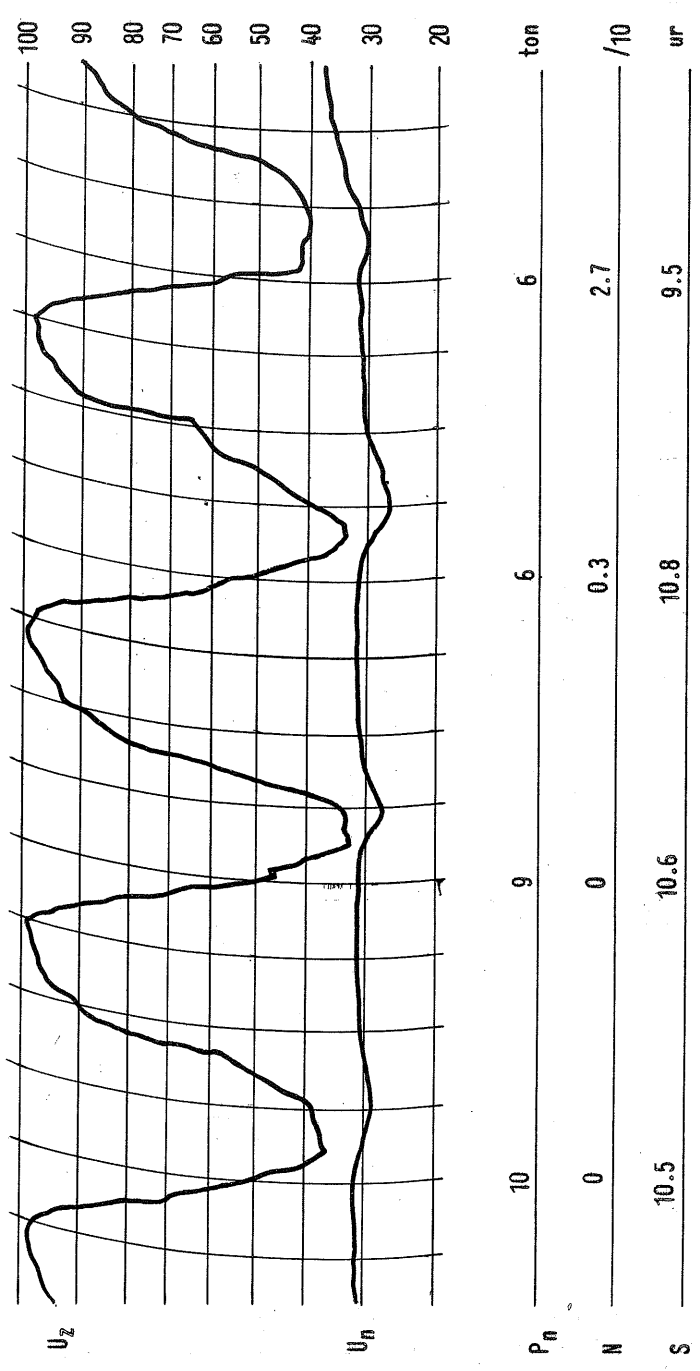
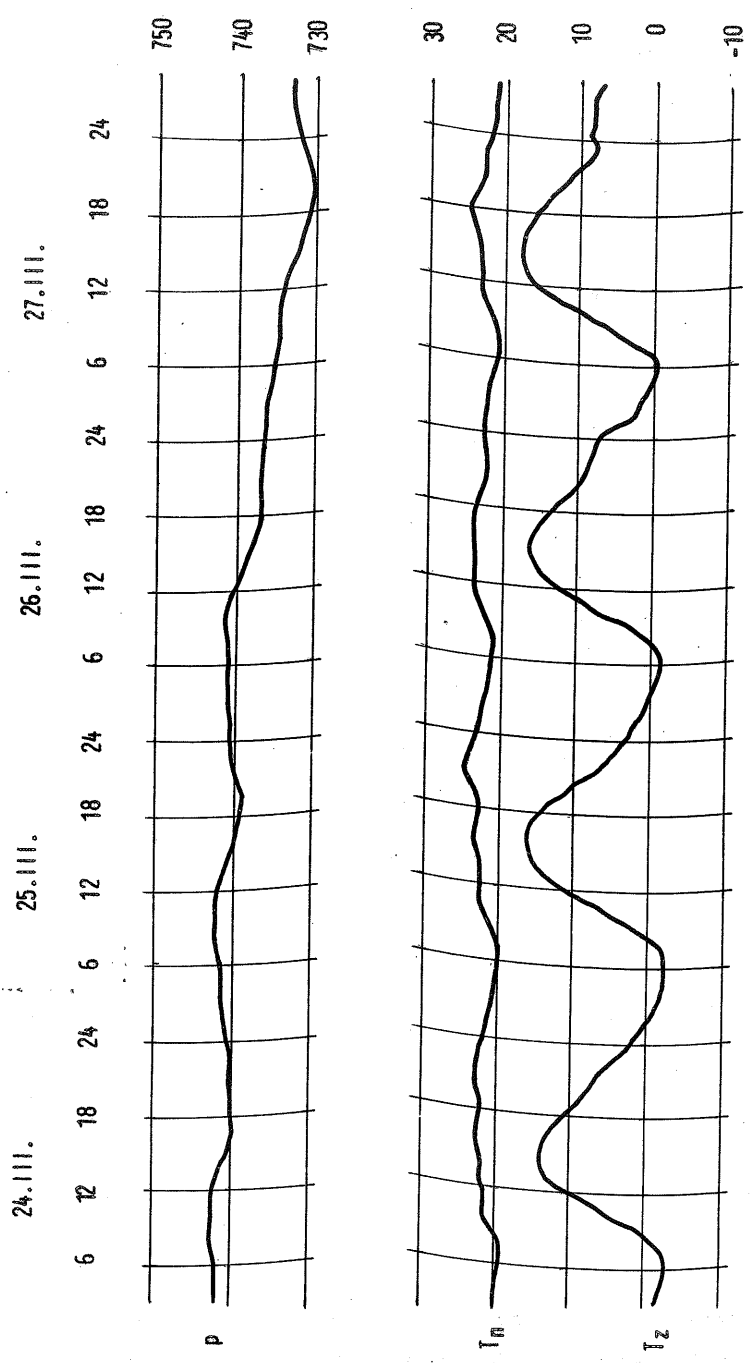
Temperaturna krivulja zunanjega zraka ( $T_z$ ) kaže pravilno in značilno nihanje s precej veliko amplitudo, z minimum ob 6. uri in maksimum med 14. in 16. uro. Ob tem nihanju se vrednosti počasi dvigajo. Tudi krivulja notranjih temperatur kaže značilno dnevno kolebanje, ki je svojevrstna: amplituda je znatno manjša, vrednosti same pa so seveda večje. Ta krivulja kaže dva maksima, ki nastopata: prvi ob koncu jutranjega in drugi ob koncu popoldanskega ogrevanja. Glavni minimum nastopa pred jutranjim ogrevanjem in je izrazit, medtem ko je sekundarni popoldne precej šibak zaradi visokih zunanjih temperatur, manjšega presledka med ogrevanjem in zaradi neposrednega sončnega ogrevanja sten in notranjosti skozi okno. Velik vpliv zunanjih razmer na notranje se kaže v tem, da je tudi notranja temperatura v teh dneh ob dnevnem nihanju stalno naraščala kljub temu, da je bila količina dnevno porabljene kurjave ( $P_p$ ) zmanjševana. Notranja temperatura se je v teh dneh, kljub izdatnejšemu zračenju kot sicer, dvignila

znatno nad ugodne vrednosti, ki so za naše razmere  $20^\circ \text{C}$ . Ogrevanje je bilo očitno premalo prilagojeno spremembam zunanjih razmer, kar se v tem letnem času čisto dogaja /4/.

Močno dnevno kolebanje relativne vlage v zunanjem zraku je v obravnavanih dneh očitno posledica kolebanja temperature, saj se maksimi enega parametra časovno skoto povsem ujemajo z minimi drugega in obratno. Račun po enačbi (3) pa nam pokaže, da je bila pri obeh ekstremih absolutna vlaga zunanjega zraka enaka, t.j. okrog  $4,5 \text{ g/m}^3$ . S primerjavo obeh krivulj je najbolj nazorno prikazana odvisnost relativne vlage od temperature pri isti absolutni vlagi.

Zanimiva svojevrstna krivulja relativne vlage notranjega zraka nima maksimumov oziroma zelo neizrazite. Precej konstantne vrednosti, ki so absolutno vzeto zelo nizke, se popoldne v obliki nekakšnih žepov še nekoliko znižajo, a se še pred polnočjo vrnejo na prvotno prevladujočo vrednost. Minimi relativne vlage v stanovanju se časovno le grobo ujemajo z glavnimi temperaturnimi maksimi. Očitno nastopa precej sistematičen premik, ki kaže težnjo po časovni vskladitvi gibanja relativne vlage zunaj in znotraj. Pričakovati je bilo majhno amplitudo v spremembi relativne vlage v stanovanjskih prostorih, vendar pa tako velika konstantnost preseneča. Malo je verjetno, da bi bila temu vzrok pomanjkljiva cirkulacija zraka okoli merilnega elementa (šopa las) v napoli z ortem instrumentu, ker kaže krivulja v času sprememb dovolj veliko občutljivost instrumenta. Vsiljuje se mišl, da delujejo stene kot regulator, ki lahko vsebuje tudi nekaj zaloge vode. V skladu z meritvami Mahringerja /6/, izvedenih v jasnih dneh julija lahko smatramo, da je v našem primeru temperatura zunanje plasti proti SW obrnjene stene popoldne za več kot  $10^\circ \text{C}$  višja od temperature zunanjega zraka. Zato pride do močnega izhlapevanja navzven in navznoter, kar preprečuje znižanje relativne vlage v stanovanju v dopoldanskem času. Stena se pri tem osuši in je po večernem temperaturnem padu zmožna sprejeti večje količine vlage. Razen tega pa lahko relativno hladna NE stena na nasprotni strani skupno z napeljavo hladne vode deluje kot kriofor, kjer se vlaga kondenzira. Vse to preprečuje, da bi se relativna vlaga v stanovanju čez noč močnejše dvignila. Indikacija za obstoj nekega regulatorja - dušilca sprememb relativne vlage v stanovanjih - je opaziti tudi v predhodni dobi ob začetku in koncu kurilne sezone, ko se relativna vlaga v stanovanju le počasi prilagaja novim vrednostim, čeprav so temperaturne spremembe nenadne in velike.

27. marca nastopi v poteku krivulje notranje relativne vlage izjemno stanje, ki bi si ga brez skrbnega zapisovanja raznih okoliščin ne mogli razlagati. Majhna razlika v minimu zunanje relativne vlage zaradi neznatnih vremenskih sprememb bi ne mogla o-



Slika 3: Kombiniran termohigrogram in dnevne vrednosti nekaterih parametrov. Označbe kot v tabeli 1.



opravičiti oziroma pojasniti bistvene razlike v poteku krivulje relativne vlage notranjega zraka v primerjavi s prejšnjimi dnevi. Zapis "pranje" med opombami nam to pojasni. Pranje samo, še bolj pa sušenje perila sta gospodinjski opravili, ki največ doprinašata k povečanju absolutne vlage v stanovanju (tabela 2) in povzročita, da se namesto običajnega padanja, prične relativna vlaga dvigati. Vendar pa tudi to, za povečanje vlage najpomembnejše gospodinjsko delo ni dvignilo relativne vlage v stanovanju niti do 40 %. Za doseg optimalne vrednosti bi bilo celo v takih dneh potrebno vlago dovajati posebej, t.j. stanovanje ovlaževati.

#### Izhlapovanje

Z namenom, da bi določili efektivnost najenostavnejših naprav za ovlaževanje prostorov, je bila vzporedno s temperaturo in vlago merjena tudi intenzivnost izhlapevanja na različnih mestih v stanovanju.

Jakost izhlapevanja je lahko podana z enačbo:

$$J = \frac{k}{p} (e_{wv} - e) \quad (7)$$

kjer je sorazmernostni koeficient  $k$ ,  $e_{wv}$  nasičenosti parni pritisk pri temperaturi vode,  $e$  parni pritisk v zraku tik nad vodo in  $p$  zračni pritisk. Spremembe zračnega pritiska v nekem kraju so v tej zvezi nepomembne; tako lahko  $p$  štejemo za konstantno vrednost. Razlika v parnih pritiskih je odvisna od temperaturnih razlik med vodo in zrakom nad njo, od vlažnosti zraka, od čistosti vode (izhlapevanje morske vode je n.pr. za okoli 5 % slabše od izhlapevanja čiste vode /8/) in celo od ukrivljenosti vodne površine, ki pa pride v poštev le pri zelo drobnih vodnih kapljicah. Sorazmernostni koeficient pa je odvisen predvsem od vetra, to je od izmenjave zraka nad vodno površino. Zato vsi ti faktorji vplivajo na intenzivnost izhlapevanja.

Za vodo v posodi na omari lahko rečemo, da ima isto temperaturo kot zrak v sobi. Izhlapovanje v prostoru je predvsem odvisno od relativne vlage zraka, če ne upoštevamo njegove bolj ali manj slabotne cirkulacije. Ugotavljanje njune medsebojne odvisnosti nam pokaže, da velja v ožjem intervalu v grobem linearna odvisnost. Na osnovi primerjav izmerjenih vrednosti smo dobili empirično formulo

$$J_0 = 26 - 300 U_n / \text{g/dm}^3 \text{ dan/} \quad \text{za } 0,25 < U < 0,50 \quad (8)$$

Podatki o jakosti izhlapevanja s posode na omari, kjer smo opravljali meritve vso zimo, so razvidni iz tabele 1. Povprečna vrednost nam kaže, da se je na omenje-

nom mestu v stanovanju zaradi izhlapevanja znižala vodna gladina dnevno povprečno za 1,4 mm ali izhlapele je 1,4 l/m<sup>2</sup> vode.

Perimerjave jakosti izhlapevanja iz posod, postavljenih na različnih mestih v stanovanju v času istočasnih meritev, nam dajo naslednja približna razmerja:

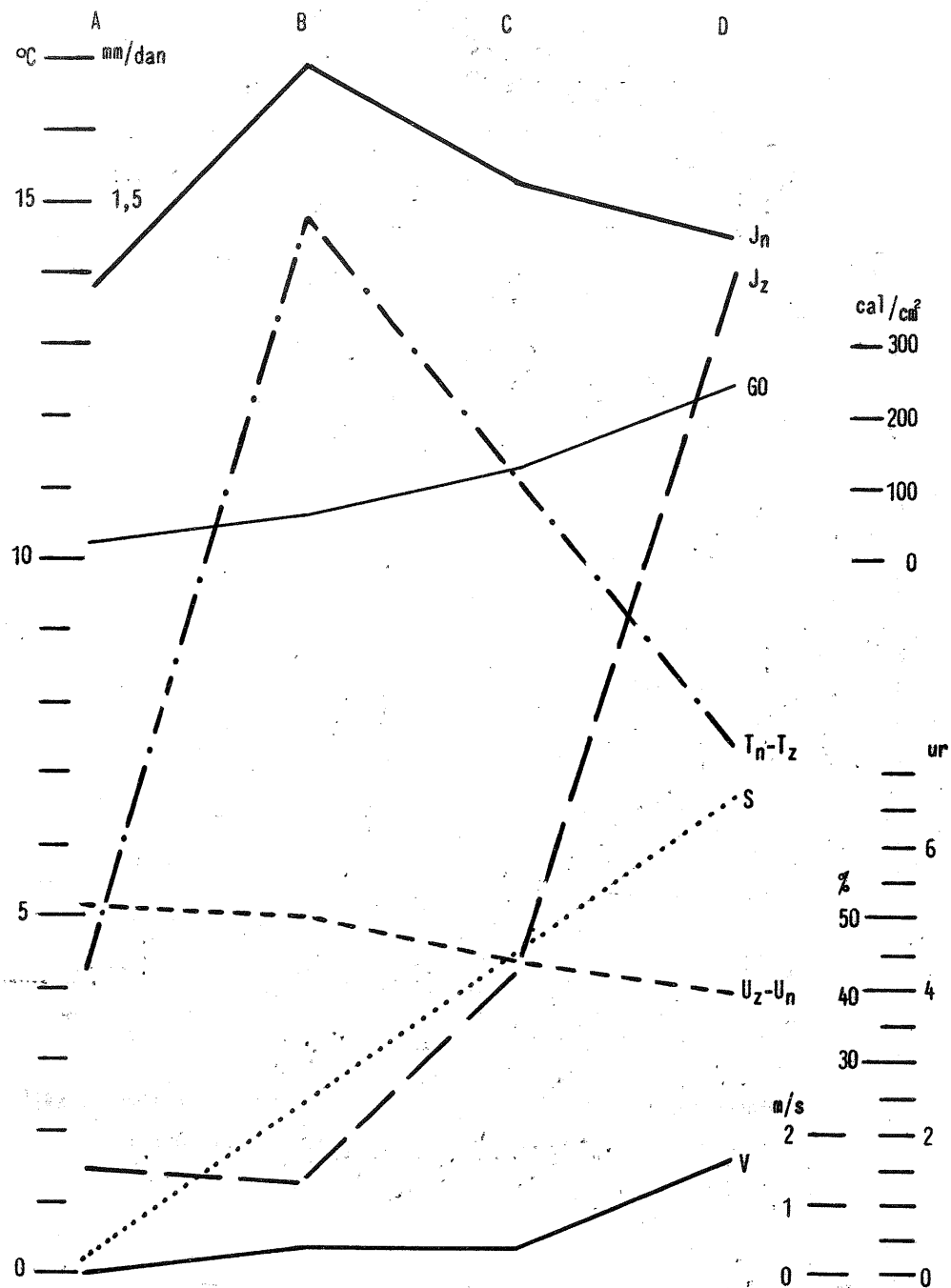
$$J_0 : J_t : J_r = 1,0 : 1,2 : 4,5 \quad (9)$$

Iz tega vidimo, da je bilo izhlapevanje najslabše na slabo ventiliranem mestu na omari ( $J_0$ ). Izhlapovanje na tleh pod oknom ( $J_t$ ) je bilo nekoliko močnejše zaradi boljše ventilacije kljub temu, da je bila tam temperatura verjetno nekoliko nižja. Štirinapolkrat močnejše kot na omari je bilo izhlapevanje iz posode, postavljene na radiator centralne kurjave ( $J_r$ ). Ta je kriil izgubo zaradi latentne toplote izhlapevanja; ob njem pa je bila tudi cirkulacija toplega in suhega zraka v času ogrevanja razmeroma dobra.

Z enačbo (9) podano razmerje pa seveda ni stalno. Čim hladneje je zunaj, tem bolj suh zrak prihaja pri oknu v prostor, pač glede na dokaj stalno zunanjo relativno vlago. V hladnejših dneh je tudi ogrevanje močnejše - čas in jakost ogrevanja pa seveda odločilno vplivata na količino vode, ki izhlapi iz posode na radiatorju. Izhlapovanje iz posode na omari ni toliko odvisno od razlik med zunanjo in notranjo temperaturo in vlago, kot od samih notranjih razmer, te pa so precej stalne.

V vremenski hišici je bilo izhlapevanje pozimi v povprečju znatno manjše - le 9,5 mm. Vendar predstavlja ta podatek le grobo povprečje, ki ni reprezentativno, ker so razlike med posameznimi periodami zelo velike. Zato si bomo jakost izhlapevanja po periodah, istočasno z nekaterimi drugimi parametri, ogledali na grafikonu slike št. 4. Ta grafikon lahko predstavlja dopolnilo grafikona na sliki 2, vendar so namesto temperature in vlage podane tu razlike med vrednostmi temperature in vlage zunanjega in notranjega zraka. Videti je, da je jakost izhlapevanja v stanovanju precej stalna, sicer pa očitno sorazmerna z razliko med zunanji in notranji vrednostmi temperature in relativne vlage, kar se sklada s prejšnjimi ugotovitvami.

V obratnem smislu, a z znatno večjimi razlikami med posameznimi periodami, poteka krivulja zunanjega izhlapevanja ( $J_z$ ). Pozimi je to izhlapevanje zelo šibko, a se že zgodaj spomladi močno poveča. Vzrok temu je večja jakost globalnega obsevanja, večje število ur sončnega obsevanja, povečana jakost vetrov itd. Skupaj z zunanjo temperaturo in vlago odločajo ti faktorji o razliki med parnim pritiskom zunaj in znotraj, zato tudi o odtoku vodne pare iz stanovanja ter tako posredno o notranji relativni vlagi in notranjem izhlapevanju.



Slika 4: Grafikon srednjih vrednosti nekaterih parametrov po posameznih periodah. Označbe kot v tabeli 1.

### Ovlaževanje prostorov

Videli smo, da je bila relativna vlaga v upoštevanih stanovanjskih prostorih vse prej kot ugodna. Glede na to, da se temperaturne vrednosti v drugih stanovanjih s centralnim ogrevanjem od teh ne razlikujejo in da so zunanje temperature drugih zim v povprečju zelo blizu vrednosti obravnavane, lahko trdimo, da so si vlažnostne razmere v splošnem zelo podobne. Vlaga v stanovanjih s centralnim ogrevanjem je v zimski dobi znatno pod optimalnimi vrednostmi. Pri tem je očitno, da je v ogrevanih prostorih nujno tudi ovlaževanje.

Na svetovnem tržišču je mogoče kupiti razen celotnih klimatskih naprav še razne ovlaževalce, vendar tudi ti niso brez hib. Idealna ovlaževalna naprava bi bila takšna, da bi dovajala v prostor zelo vlažen, toda čist zrak, brez vonja, vodnih kapljic in neustreznega temperaturnega vpliva /9/. Curek vodne pare, s katerim delajo nekateri ovlaževalci, redko ustreza gornjim zahtevam, primeren pa je ob hladnem vremenu. Vodni razpršilci razprše vodo v močnem toku komprimiranega zraka, kjer se tvorijo tako drobne vodne kapljice, da izhlape, preden sedejo na trdno podlago (tla, pohištvo itd.). Če ni močnega mešanja zraka, vlaga v prostoru ni povsod enaka, zato so za mešanje često potrebne še posebne priprave. Navadno uporabljamo za to ventilatorje, kar pa je seveda zvezano z dodatnimi stroški, ki že tako niso majhni, kot bomo videli na koncu razprave.

Posebni ovlaževalci pridejejo za naše, nekoliko skromnejše potrebe in možnosti, zlasti za stanovanja, le redko v poštev. Po večini si skušamo pomagati s preprostim načinom ovlaževanja, to je z navadnim izhlapevanjem vode iz za to postavljenih posod. Takoj se vsili vprašanje, koliko je ta način učinkovit, oziroma kako velike naj bodo posode, da bo ovlaževanje zadostno. Površina stoječe vode, ki je potrebna, da pride v zrak v nekem času zadostna količina vodne pare, mora biti temvečja, čim večje so potrebe po njej (D) in čim manjša je jakost izhlapevanja (J). To lahko zapišemo z enačbo

$$P = c \frac{D}{J}, \quad (10)$$

kjer je c sorazmernostni faktor zaradi enot, ki ima lahko tudi vrednost  $l / t^{-1}$ . Jakost izhlapevanja smo prav zaradi izračunavanja površine že merili; določiti pa še moramo, kako velike so potrebe po vodni pari. Problem je dokaj zapleten, zato se najprej omejimo na potrebe po ovlaževanju zaprtega prostora, iz katerega vlaga ne more niti uhajati, niti pritekati vanj.

Iz preudarka sledi, da je za ustrezno zvišanje vlage v zaprtem prostoru, katerega prostornino označimo z V potrebno dovesti količino vodne pare v skladu z enačbo

$$D_{za} = V (\varphi_{op} - \varphi_n), \tag{11}$$

kjer je (enako kot pri prejšnjih enačbah)  $\varphi$  absolutna vlaga; indeks n velja za pogoje v prostoru pred ovaževanjem indeks op pa za optimalne pogoje, ki jih želimo ustvariti. Ker so ti pogoji še funkcija temperature oziroma v celoti predstavljeni z vrednostno relativne vlage, spremenimo enačbo (11) glede na enačbo (3) v obliko

$$D_{za} = \frac{V}{R_v} / \left( \frac{e_w U}{T} \right)_{op} - \left( \frac{e_w U}{T} \right)_n / \tag{12}$$

Optimalne pogoje lahko predstavimo s konstanto. Če je ogrevanje zadostno, kar v prostorih s primerno centralno kurjavo je, je  $T_n = T_{op}$  in zato tudi  $e_{w,n} = e_{w,op}$ . Enačbo (12) lahko zapišemo v obliki

$$D_{za} = KV (U_{op} - U_n) \tag{13}$$

kjer je K konstanta in sicer je

$$K = \frac{e_{w,op}}{R_v T_{op}} \tag{14}$$

Če  $T_n = T_{op}$ , a nameravamo to doseči, moramo pri izračunavanju potrebne vodne pare predhodno določiti relativno vlago, ki naj bi jo imel zrak po ogretju (ali ohlajenju) za optimalno vrednost, to se pravi, določiti moramo predvidene začetne pogoje pred ovlaževanjem. Pri tem se poslužimo enačb (1) do (3).

Z enačbo (13) in dopolnitvijo (14) je podana pot za izračunavanje količine vodne pare, ki je potrebna za izpolnitev optimalnih pogojev v prostoru, ki je za vlago zaprt oziroma izoliran. Vzemimo za primer povprečne pogoje v obravnavanih stanovanjskih prostorih:  $T_n = 20^\circ C$ ,  $U = 35\%$ ,  $U_{op} = 50\%$ . Z njimi dobimo za stanovanje s površino  $50 m^2$  in višino prostorov  $2,5 m$  potrebno količino vodne pare  $D_{za} = 325 g$  (ali  $2,6 g/m^3$ ). Če bi dvignili temperaturo na ameriško standardno

vrednost  $T_{op} = 21^\circ C$ , bi začetna relativna vlaga padla na  $33\%$ , za njen dvig na isto optimalno vrednost  $50\%$  pa bi potrebovali  $390 g$  (ali  $3,1 g/m^3$ ) vodne pare. Glede na podano linearno odvisnost med obstoječo relativno vlago in jakostjo izhlapevanja, izraženo z enačbo (8), brez težav določimo srednjo vrednost jakosti izhlapevanja v intervalu med  $35$  in  $50\%$ . Za obravnavani problem je  $J = 13 g/dm^2 dan$ . Po enačbi (10) pa izračunamo, da je za  $T_{op} = 20^\circ C$  potrebna velikost vodne površine  $P = 0,25 m^2$ , za  $c = 1/dan$ . Če bi hoteli, da bo nastopilo ovlaženje do željene vrednosti že v polovici dneva, bi morala biti vodna površina dvakrat tolikšna.

Dobljena vrednost velja za prostor, ki je za vlago zaprt oziroma popolnoma izoliran. V dejanskih stanovanjskih prostorih pa seveda ni takih pogojev. Vlaga iz njih pozimi stalno uhaja zaradi različnega parnega pritiska v notranjem in zunanjem zraku. Enačbe (11) do (14) je zato potrebno izpopolniti. Če dodamo enačbi (12) ustrezen člen, ki pomeni odtok vodne pare iz prostorov, dobimo najsplošnejšo enačbo za količine vodne pare, ki jo je potrebno dovajati v prostor za dosego optimalne nasičenosti. Tako je

$$D = \frac{V}{R} / \left( \frac{e_w U}{T} \right)_{op} - \left( \frac{e_w U}{T} \right)_n / + Z \tag{15}$$

kjer predstavlja Z skupno izgubo vodne pare. Ta je lahko posledica različnih vzrokov, tako da velja

$$Z = Z_s + Z_o + Z_k \tag{16}$$

kjer predstavlja  $Z_s$  odtok vodne pare skozi stene,  $Z_o$  odtok skozi odprtine pri oknih in vratih in to tudi tedaj, ko so odprta zaradi delnega zračenja in  $Z_k$  izgube vodne pare zaradi kondenzacije na hladnejših mestih, če ta voda odteka. Vodna para, ki odhaja skozi stene, se v nji hovich zunanjih plasteh ohladi pod rosišče, se kondenzira ter jih ovlaži, kar sčasoma škoduje zgradbi. Izolacija proti vlagi je zato v predelih, kjer padejo zunanje temperature pod  $-10^\circ C$  prav tako važna, kot termična izolacija.

Omenili smo že, da gospodinjske dejavnosti in prisotnost ljudi povečujejo vlago v stanovanju. Kolik je povprečno ta doprinos nam kaže tabela, ki sta jo sestavila Hite in Bray /1/ ter je podana z vrednostmi leve vertikalne vrste v tabeli 2.

Tabela 2

/Količina vodne pare, ki nastaja v stanovanju zaradi različnih gospodinjskih dejavnosti. Leva vertikalna vrsta : povprečje, ki sta ga določila Hite in Bray; desna vertikalna vrsta: povprečna dnevna količina vodne pare, dovedene v obravnavano stanovanje/.

kuhanje s pomivanjem posode	zajtrk	250 g	250 g
	kosilo	800 g	-
	večerja	300 g	300 g
pranje perila		2 000 g	-
sušenje perila		12 000 g	-
kopanje (prha)		230 g	100 g
ljudje (4 na uro)		210 g	1 900 g
rastline (vsaka na uro)		20 g	50 g
ovlaževalac (na uro)		900 g	-
			2 600 g

Glede na velik doprines vodne pare zaradi gospodinjskih del in prisotnosti ljudi je količina vodne pare, ki je potrebna za začetno ovlaženje za vlago zaprtega prostora razmeroma majhna. Razen tega pa pozimi popolno prezračenje, to je, popolno izmenjanje zraka v stanovanju le redko dovoljujemo. Če je relativna vlaga v stanovanju stalna pri večjem parnem pritisku, kot vlada zunaj je očitno, da je doved vodne pare enak izgubi oziroma njenemu odtoku iz stanovanja. To stacionarno stanje je podano z enačbo (15), pri čemer pa je prvi člen na desni, ki predstavlja začetno ovlaževanje, enak ničli. Zato lahko pišemo

$$D = Z \quad (17)$$

Če hočemo torej vzdrževati v stanovanju stalno optimalno vrednost relativne vlage, moramo vanj stalno dovajati ravno toliko vodne pare, kolikor jo pri teh pogojih odteka iz stanovanja. V obravnavanem stanovanju je bila relativna vlaga precej stalna, zato bi v skladu z gornjo enačbo lahko določili odtok vodne pare v danih pogojih, če bi poznali njen dotok. Na osnovi tabele, ki sta jo sestavila Hite in Bray in glede na obseg dejavnosti v obravnavanem stanovanju glede na število ljudi in čas njihovega zadrževanja v stanovanju itd., smo določili ustrezne vrednosti, ki so podane v desni vertikalni vrsti tabele 2. Po tej oceni je bila torej skupna količina dovedene vodne pare na dan v obravnavano stanovanje 2,6 kg. Ob razglabljanju pod enačbo (3) smo ugotovili, da bi imel od zunaj doveden zrak, ki bi ga ogreli na notranjo temperaturo, v povprečju relativno vlago  $U_{zn} = 29\%$ . Dnevni doved 2,6 kg vodne pare pa je vzdrževal ravnotežno stanje pri 35%, t.j. razliko 6% relativne vlage pri 20 °C oziroma razlike v parnih pritiskih zunaj in znotraj za 1,4 mb.

Relativna vlaga v stanovanju je bila kljub temu prenizka za 15%. Če lahko smatramo, da velja pri tem linearna zavisnost, kar pomeni, da je potrebno za vzdrževanje razlike za vsakih nadaljnjih 6% relativne vlage (oziroma 1,4 mb razlike v parnem pritisku) dovesti v stanovanje 2,6 kg vodne pare, potem bi za vzdrževanje optimalnih pogojev potrebovali sistem ovlaževanja, ki bi dovajal v to stanovanje še okrog 6 kg vodne pare na dan. Povprečen ovlaževalac bi torej moral (v skladu s tabelo 2) delovati skoro 7 ur dnevno.

Celotno količino vodne pare, ki jo je potrebno dovesti v stanovanje za izpolnitev optimalnih vrednosti, lahko potemtakem delimo na dva dela in je

$$D_c = D_g + D \quad (18)$$

kjer pomeni  $D_g$  doprines kot rezultat gospodinjskih del in  $D$  količino vodne pare, ki jo moramo dovesti z ovlaževalnimi pripravami. Glede na gornje razglabljanje je to količino očitno možno določiti z enačbo

$$D = \frac{U_{op} - U_n}{U_n - U_{zn}} D_g \quad (19)$$

kjer je  $U_{zn}$  relativna vlaga, ki bi jo imel zunanji zrak, če bi ga segreli na notranjo temperaturo. Ta vrednost je pozimi nižja od relativne vlage zraka v stanovanju, zato velja, da je ob hladnem vremenu zrak v stanovanjih tem bolj suh, čim več jih zračimo, pa čeprav je relativna vlaga zunanjega zraka zelo visoka.

Enačba (19) nam omogoča, da lahko na osnovi merjenj temperature in relativne vlage v stanovanju ter ocene doprinesa gospodinjskih del določimo potrebo po količini vodne pare, ki jo moramo še dovesti v stanovanje z ovlaževalnimi napravami, da dobimo optimalno vrednost.

Ker imata stoječa voda v stanovanju in zrak isto temperaturo, lahko zaradi (1) pišemo (7) tudi v obliki

$$J = \frac{k e_{W,n}}{p} (1 - U_n) \quad (20)$$

Upoštevajoč to ugotovitev in enačbo (19) v (10), dobimo

$$P = B D_g \frac{U_{op} - U_n}{(1 - U_n) (U_n - U_{zn})} \quad (21)$$

kjer je faktor B v teh primerih konstanta, in sicer

$$B = \frac{c p}{k e_{w,n}} \quad (22)$$

S pomočjo enačbe (8) lahko določimo srednjo vrednost jakosti izhlapevanja s povprečno notranjo temperaturo in brez posebne ventilacije za interval, v katerem ovlažujemo. Tako je

$$J = 26 - 150 (U_{op} + U_n) \quad (23)$$

Ako upoštevamo v enačbi (10) enačbo (23) namesto (20) in še enačbo (19) dobimo

$$P = c D \frac{U_{op} - U_n}{(U_n - U_{zn}) / 26 - 150 (U_{op} + U_n)} \quad (24)$$

S to enačbo lahko približno določimo, kako velika mora biti površina stoječe vode v stanovanju s centralnim ogrevanjem (pri temperaturi okrog 20° C in relativni vlažni pod 50 %), da bi bila relativna vlaga v stanovanju optimalna. Za pogoje v obravnavanem primeru bi bila potrebna površina vode P = 5,0 m². Če upoštevamo razmerje v enačbi (9), bi morala imeti posoda na radiatorju nekaj nad 1 m² površine. Obe vrednosti sta precej veliki in je zato takšne zahteve težko zadovoljivo rešiti.

Posode, ki jih imamo na radiatorjih in imajo površino le nekaj dm², le v majhni meri krijejo potrebe po vlagi. Tudi izkušnje nam potrjujejo, da ne zadoščajo. Ozke in visoke posodice, ki jih ponekod vstavljajo med rebra radiatorjev, so povsem brezpomenne, če niso grajene iz posebnega poroznega materiala, ki omogoča izhlapevanje po vsej površini posodice. Vzdrževanje optimalnih pogojev relativne vlage v stanovanjskih prostorih s centralnim ogrevanjem je mogoče doseči torej le z zelo velikimi vodnimi površinami, ali z razmeroma velikimi poroznimi posodami, ki jih pritrdimo med rebra radiatorjev ali nanje, ali pa z dobrimi ovlaževalci.

Vendar pa je ovlaževanje povezano s stroški, ne glede na vrsto priprave, ki jo uporabljamo v ta namen. Če upoštevamo latentno toploto vodne pare, ki je pri sobnih temperaturah 590 kal/g ugotovimo, da so pri ovlaževanju potrebne za izparitev vode velike količine energije. Preprost zmnožek gornje vrednosti s potrebno količino vodne pare nam pove, da bi na primer pri ovlaževanju obravnavanega stanovanja za vzdrževanje optimalne nasičenosti potrebovali 3 800 kal dnevno; z drugimi besedami povedano -

potrošili bi 4,5 kWh električne energije. Ovlaževalec na curek pare bi sam porabil toliko energije, oziroma še nekaj več za svoj pogon. Pri drugih ovlaževalnih sistemih pa bi moralo biti ogrevanje toliko močnejše, sicer bi se temperatura ustrezno znižala. Pri obravnavanem stanovanju bi to pomenilo, da je treba povečati ogrevanje za okrog 60 %. S tem v zvezi bi se povečali tudi stroški za približno enak odstotek.

. . . . .

Literatura:

- /1/ Conklin G: The Weather Conditioned House, New York 1958
- /2/ Loosly, Lemons, Robertson and Appel: Influence of humidity on survival of virus in air, Proceedings of Soc. Exp. Biol. and Medicine 1943.
- /3/ Mesečni pregled najvažnejših podatkov Meteorološkega observatorija, Ljubljana 1961 in Mesečna poročila, Ljubljana 1960.
- /4/ Petkovšek Z: Temperatura v stanovanjih in ekonomika ogrevanja prostorov, Letno poročilo HMZ, Ljubljana 1961
- /5/ Čadež M: Uvod u dinamičku meteorologiju, Savez stud. PMF, Beograd 1959.
- /6/ Mahringer W: Studie über die Oberflächentemperatur von Gebäuden und Strassendecken in Wien, Wetter und Leben J-13 H- 7/8 1961.
- /7/ Willet A C and Sanders F: Descriptive Meteorology, New York 1959
- /8/ Blair T A and Fite R C: Weather Elements, Englewood Cliffs 1957
- /9/ Penman H L : Humidity, New York - London 1958.

PRIMERJAVA TEMPERATURNIH RAZMER V GOLI ZEMLJI IN V ZEMLJI  
Z RASTLINSKO ODEJO

A COMPARISON OF THE TEMPERATURES WITHIN THE BARE SOIL AND THE  
VEGETATION COVERED SOIL

Andrej Hočevar

551.525.4

Summary:

The author tries, on the basis of observations for 83 days, to establish the relation between the temperatures within the bare soil viz. the vegetation covered soil and the different meteorological elements, i. e. precipitation, insolation and the mean daily air temperature. The relation is sought in the mean values of separate decades for all these elements. <sup>Fig.1/</sup> Because of the complicated nature of this relation and for the lack of adequate data the interrelations could not be assessed quantitatively, the author deals with the mean difference of the temperatures within the bare soil viz. within the vegetation covered soil during the whole observation period. Fig.3 shows the distribution of these differences at various depths for the mean daily temperature as well as for the separate observation terms: 07<sup>h</sup>, 14<sup>h</sup> and 21<sup>h</sup>. Extreme differences for each term are shown on figs. 4a, 4b, and 4c. The difference of the temperatures within both types of soil are best revealed in the comparison of the daily amplitudes. The march of the differences of the amplitudes within both types of soil is represented on fig. 5. An interesting distribution of the observations with higher values for the temperatures at various depths within the vegetation covered soil and the bare soil and vice versa, expressed in per cents and explained in detail, is shown on fig. 6a, 6b and 6c. The diagram representing the observations within the bare soil and those within the vegetation covered soil is added in order to elucidate the comparison of the temperatures. These observations at separate terms are arranged according to the temperature intervals, and the distribution of the number of observations within the various temperature intervals at different depths is being analysed /fig. 7a, 7b and 7c/.

Temperatura zemlje je eden glavnih faktorjev, ki vplivajo na razvoj rastline in življenje mikroorganizmov v zemlji. Temperatura zemlje vpliva na rastlino že od prvega trenutka - ko začne seme kliti - pa do njegovega zorenja.

Tesno zvezo med razvojem rastlin in mikroorganizmov in temperaturo zemlje so slutili že v preteklem stoletju. Podrobneje so že v 80. letih prejšnjega stoletja raziskovali temperaturo zemlje Wollny in nekateri drugi znanstveniki.

Temperaturne razmere v zemlji so odvisne od mnogih faktorjev, ki jih po Baverju (2) grupiramo v štiri skupine:

1. Karakteristike lege, s katero je definirana smer sončnih žarkov, nagib, orientacija in zemeljska (geografska) širina kraja, na katerem merimo temperaturo zemlje;
2. Razporeditev kopnega in vodá ter vodnih tokov v neposredni okolici;
3. Lastnosti zemlje in njene rastlinske odeje;
4. Nadmorska višina.

Te štiri skupine lahko razdelimo v dve grupi: V prvo spadajo skupine 1, 2 in 4, ki so za vsak kraj več ali manj konstantne, v drugo pa skupina 3, ki se s časom lahko močno spreminja.

Temperaturne spremembe v zemlji so v skladu z zakonom o ohranitvi energije in jih lahko implicitno izrazimo takole:

$$(1 - a) dQ = C_p dT - p dV - L dU - \sigma A T^4 - K \text{ grad } T \quad 1$$

kjer nam člen  $(1 - a) dQ$  pomeni absorbirano sončno energijo od površinskega sloja zemlje, ki se porabi za segrevanje zemlje ( $C_p dT$ ), za njeno prostorninsko raztezanje ( $- p dV$ ), za izhlapevanje vode na površini in v zemlji ( $- L dU$ ), za sevanje po Stefanovem zakonu ( $-\sigma A T^4$ ) in po kondukciji prevaja v hladnejšo okolico ( $-K \text{ grad } T$ ) (6, 7)

Simboli v tej enačbi pomenijo:  $a$  - albedo površine,  $dQ$  - sončno insolacijo,  $C_p$  - specifično toploto kubičnega centimetra zemlje pri stalnem zračnem pritisku,  $dT$  - spremembo temperature te zemlje,  $p$  - zračni pritisk,  $dV$  - spremembo volumna te zemlje,  $L$  - izparilno toploto vode,  $dU$  - količino vode, ki je izparila,  $\sigma$  - konstanto absolutno črnih emisijskih površin,  $A$  - totalni absorpcijski koeficient,  $K$  - koeficient termalne konduktivnosti in  $\text{grad } T$  - gradient temperature.

Primerjajmo sedaj temperaturo v goli zemlji in zemlji z rastlinsko odejo na določenem kraju s horizontalno površino. S tem smo že določili faktorje skupin 1, 2 in 4. Ostali so le še faktorji skupine 3, ki predstavljajo parametre v enačbi 1 in določajo temperaturne razmere v zemlji. S temi faktorji lahko razložimo različne tempera-

ture v različnih zemljah, pri čemer moramo upoštevati tudi rastlinsko odejo in njeno kvaliteto.

Pri nas v Sloveniji so temperature v zemlji še zelo slabo raziskane. Imamo le podatke o temperaturi v goli zemlji, ki se zbirajo za potrebe svetovne meteorološke organizacije. Na žalost imamo na razpolago le terminske podatke ob 07., 14. in 21. uri, in še to le za toplo polovico leta, ker živosrebrni termometri, s katerimi merimo, v zmrznjeni zemlji radi popokajo. Te podatke je obdeloval Reya (3).

Zanimivo pa je spoznati razlike med temperaturami gole zemlje in zemlje z rastlinsko odejo. V ta namen so bili v Ljubljani (300 m nadmorske višine) postavljeni termometri v globinah 2,5, 10, 20, 30 in 50 centimetrov zemlje z rastlinsko odejo, približno 1,5 m od opazovalnega prostora temperatur gole zemlje. Rastlinska odeja je bila okoli 10 cm visoka trava, zemlja pa na celotnem območju peščena.

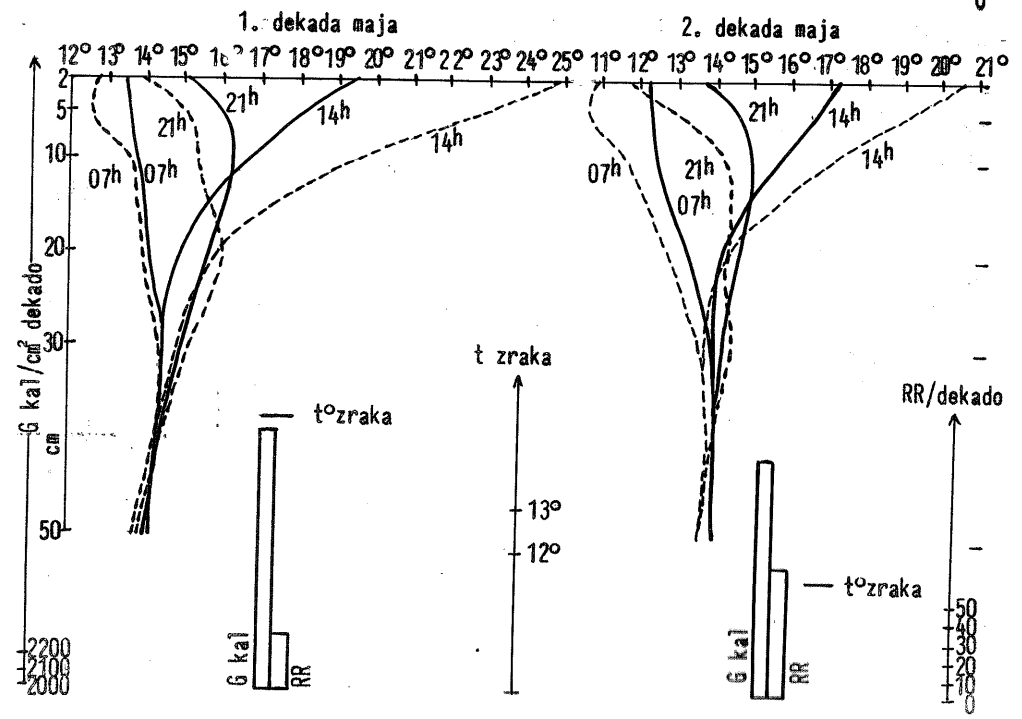
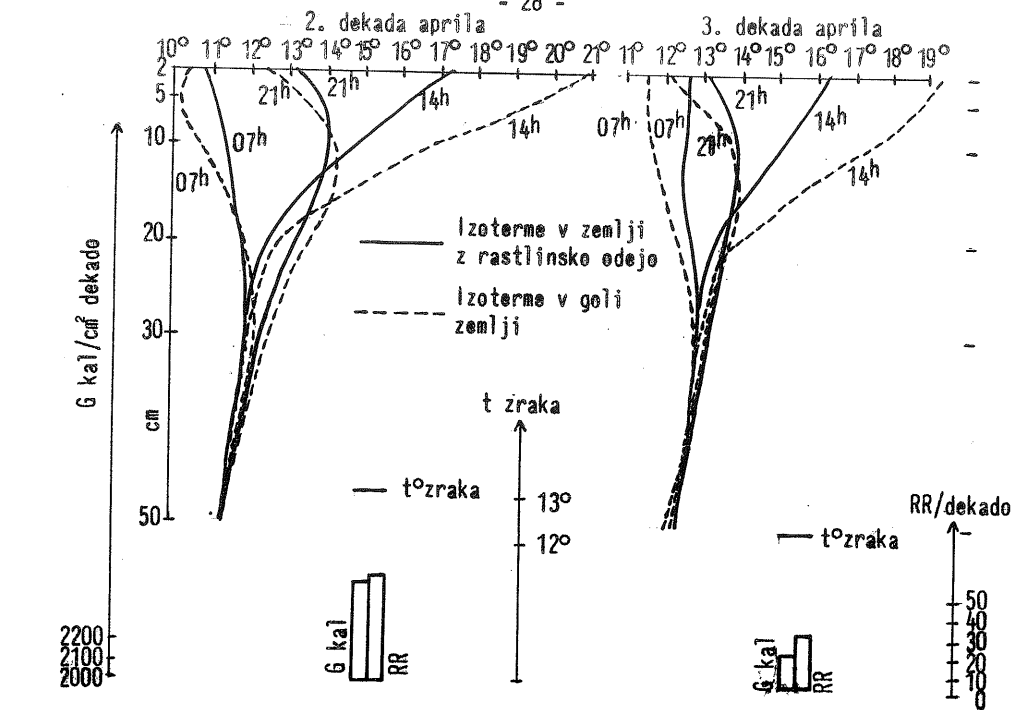
Meritve so se začele 9. aprila 1961 in so trajale do konca novembra istega leta. Zaradi obilice podatkov je obdelano le obdobje april, maj in junij.

#### Srednje dekadne vrednosti

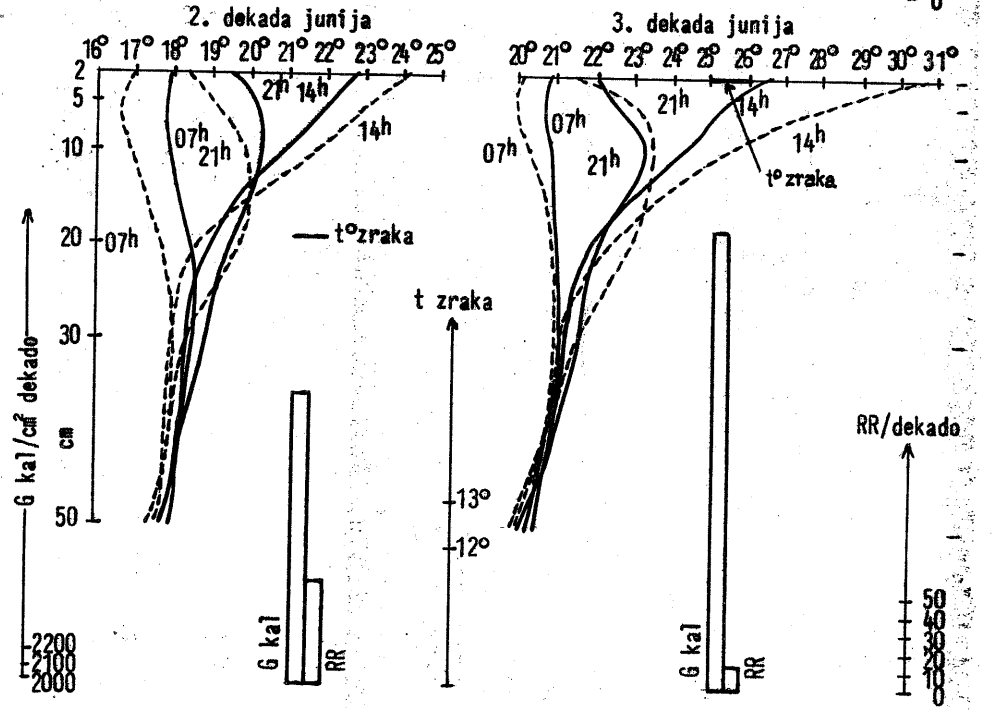
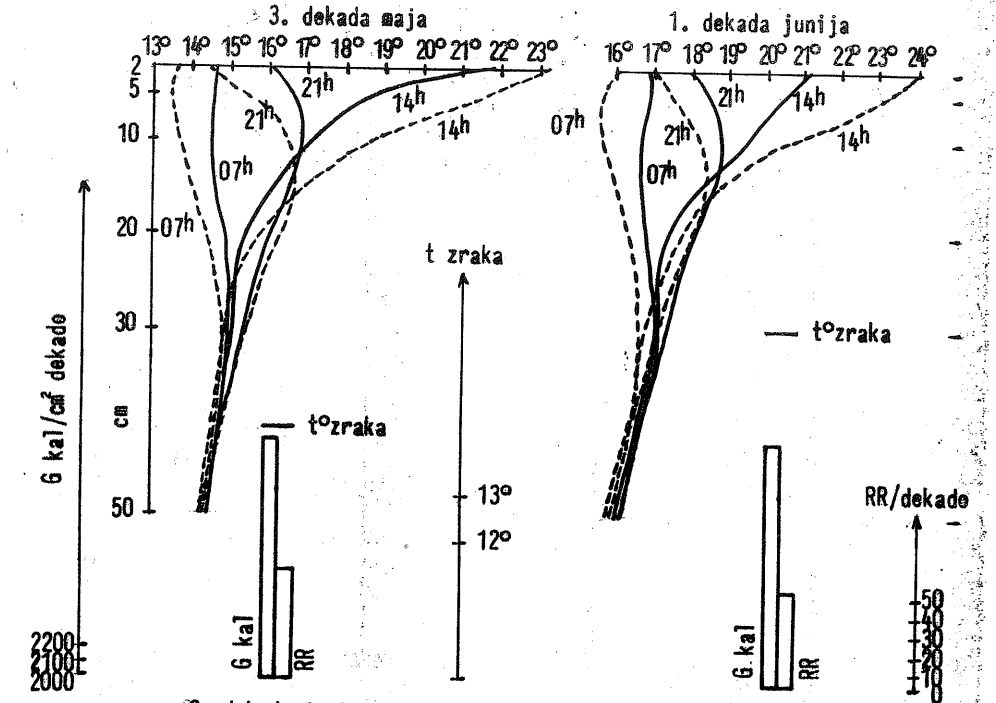
Oglejmo si najprej razporeditev srednjih dekadnih vrednosti temperatur z globino pod zemljo z rastlinsko odejo za posamezne dekade (4.) in glavne faktorje, od katerih so odvisne in jih kvantitativno poznamo (slika 1)

Ob 14. uri je zemlja najtoplejša do globine 15 cm, ob 21. uri pa v globini 15 do 50 cm. Temperaturni maksimum se po kondukciji pomika v nižje zemeljske plasti z določeno časovno zakasnitvijo in zmanjšano vrednostjo. V globini 50 cm opazimo maksimum treh terminov včasih šele naslednji dan ob 07. uri zjutraj. Ta pojav nastopa pri obdelanih osmih dekadah kar dvakrat. Najhladnejša plast je med 2. in 20. centimetri ob 07. uri. V globini 30 cm je včasih minimum šele ob 14. uri, v globini 50 cm pa tudi ob 21. uri. Amplituda z globino naglo pada in se z maksimalne vrednosti  $7^\circ$  v globini 2 cm zmanjša v globini 50 cm na nekaj desetink stopinje. V globini 2 cm se amplitude gibljejo med  $3,6$  in  $7,2^\circ$ . Srednja vrednost za 8 dekad pa je  $5,4^\circ$ .

Seveda teh vrednosti ne smemo jemati kot dejansko amplitudo, saj je računana le na osnovi treh terminskih opazovanj; imeti pa bi morali urna opazovanja. Kljub temu se te vrednosti približujejo dejanskim vrednostim in sicer iz naslednjih razlogov. Globina 2 cm je najtoplejša približno v času najmočnejše sončne insolacije, torej je termin ob 14. uri precej v redu. Nekoliko slabše je s terminom ob 07. uri, ko nastopa



Slika 1: Srednje dekadne temperature zemlje z rastlinsko odejo in gole zemlje ob posameznih terminih, srednje dekadne temperature zraka ter količina padavin in insolacije v posameznih dekadah



Slika 1: Srednje dekadne temperature zemlje z rastlinsko odejo in gole zemlje ob posameznih terminih, srednje dekadne temperature zraka ter količina padavin in insolacija v posameznih dekadah



v teh mesecih od sončnega vzhoda do opazovanja že določena količina sončne insolacije, ki zemljo segreje in je minimum dosežen torej že precej prej. Ogretost tankega sloja zemlje je lepo razvidna iz izohron srednjih dekadnih vrednosti za termin ob 07. uri (slika 1). Izohrone so v zelo tankem sloju nagnjene proti desni - proti višjim temperaturam. Omeniti moramo, da se del energije porabi za izhlapevanje rose, če je ponoči padla in zrak ni nasičen z vlago, pri zemlji z rastlinsko odejo pa tudi za segrevanje le-te.

Primerjava srednjih dekadnih izohron gole zemlje in zemlje z rastlinsko odejo kaže precejšnje razlike. Srednje dekadne vrednosti izohron gole zemlje so mnogo bolj nagnjene proti desni, kar dokazuje, da se gola zemlja do 07. ure močnejše segreje kot zemlja z rastlinsko odejo, čeprav je absolutno še vedno hladnejše. Močnejše segrevanje gole zemlje lahko razložimo z enačbo 1. Zaradi manjšega albeda gole zemlje - kar dokazujejo meritve Angstroma (7) - je količina absorbirane sončne energije večja. Ta razlika pride še bolj do izraza zato, ker so tretji, četrti in peti člen na desni zaradi manjše količine rose in nižje temperature gole zemlje manjši pri goli zemlji kot pri zemlji z rastlinsko odejo; drugi pa je pri obeh zelo majhen. Efekt hitrejšega ogrevanja gole zemlje narašča s časom. Zgodnejši vzhod sonca in rastoča višina povečujejo količino energije, ki je do 7. ure zjutraj že absorbirana. To nam potrjujejo vrednosti posameznih dekad. Čim kasnejša je dekada v obdobju april, maj, junij, tem bolj je izohrona ob 07. uri v gornjem 10 cm-skem sloju nagnjena proti desni, torej k višjim temperaturam. Če bi hoteli dobiti minimalno vrednost v globini 2 cm, bi morala kazati izohrona ukrivljenost, pogojeno z radiacijo, podobno kot izohrona ob 21. uri.

Na sliki 1. vidimo glavne meteorološke faktorje, ki vplivajo na temperaturo v zemlji: insolacija, padavine in srednja dekadna temperatura zraka v višini 2 m. Veter, ki je tudi pomemben faktor, raje izpustimo, ker je preveč variabilen, da bi ga iz treh terminskih opazovanj lahko posplošili na daljša časovna razdobja. Uporabili bi lahko le podatek o poti vetra. Vplivi teh faktorjev so precej zamotani, zlasti zato, ker se v srednji dekadni vrednosti prekrivajo. Kljub temu lahko trdimo, da so pri razmeroma oblačnem vremenu z ne prevelikimi padavinami (tretja dekada aprila) temperature v zemlji razmeroma nizke in amplitude majhne. Razmeroma majhne amplitude v prvi in drugi dekadi junija lahko razložimo z veliko oblačnostjo ob 14. uri (v prvi dekadi 8 in v drugi dekadi 7 desetih oblačnosti) ter s precejšnjimi padavinami. Namočena zemlja ima seveda precej večjo toplotno kapaciteto in se zato ne more toliko

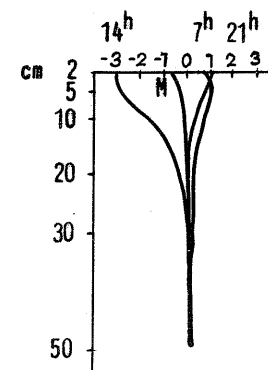
segreti.

Amplituda odnosno razlika temperatur ob 14., 07. in 21. uri je seveda odvisna od obeh meritev. Opazimo lahko, da so nizke vrednosti amplitud včasih povezane s stopnjo nočnega izžarevanja in ne samo s sončno insolacijo. Tako imata prva in druga dekada junija razmeroma majhno amplitudo tudi zaradi majhne nočne radiacije.

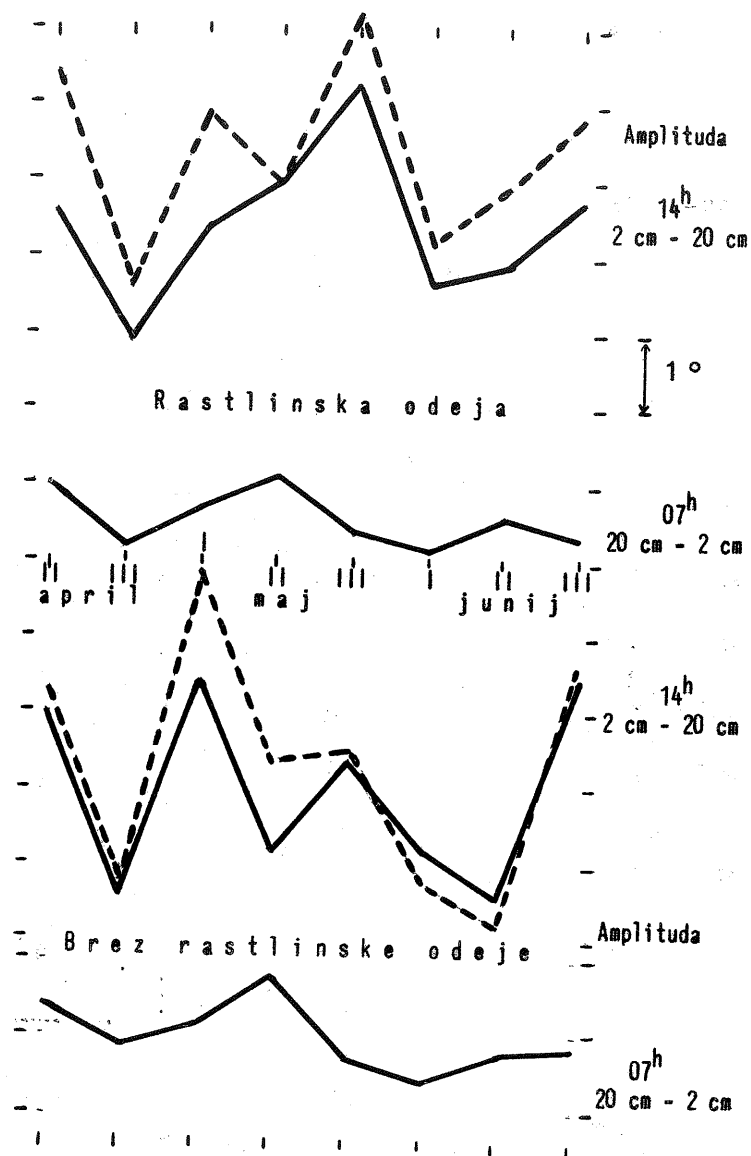
Lahko trdimo, da je nočna radiacija do neke mere podana z razliko temperature 2 cm in 20 cm horizonta ob 07. uri, sončna insolacija pa z isto razliko ob 14. uri. Od teh dveh razlik je odvisna amplituda. Razporeditev vseh treh podatkov za golo zemljo in zemljo z rastlinsko odejo nam kaže slika 2. Amplituda je v veliki meri odvisna od sončne insolacije, ki se odraža v omenjenih razlikah temperatur ob 14. uri. Obe črti potekata skoraj vzporedno. Precej manj je amplituda odvisna od nočne radiacije zemlje. (Slika 2 - glej naslednjo stran)

Srednje razlike temperatur v zemlji z rastlinsko odejo in v goli zemlji

Do sedaj smo obravnavali le temperature v zemlji z rastlinsko odejo. Zanima pa nas še, v kakšnem razporeju so ti podatki s temperaturami v goli zemlji. Slika 3 nam kaže razporeditev srednjih razlik z globino za vse tri opazovalne termine in srednjo



Slika 3: Srednja razlika temperatur zemlje z rastlinsko odejo in gole zemlje ob terminih ob 07., 14. in 21. uri ter srednja razlika obeh srednjih dnevnik temperatur za obdobje 10. april - 30. junij 1961



Slika 2: Razlika srednjih dekadnih temperatur zemlje z rastlinsko odejo in gole zemlje v globini 20 cm minus 2 cm ob 07. uri 2 cm minus 20 cm ob 14. uri ter srednja dekadna amplituda temperature zemlje z rastlinsko odejo in gole zemlje v globini 2 cm.

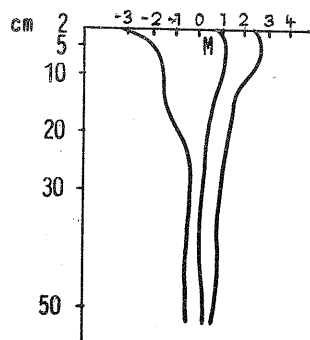
dnevno razliko. Lepo se vidi vpliv rastlinske odeje, ki ohranja zemljo zjutraj in zvečer toplo, opoldne pa preprečuje premočno segrevanje in zmanjšuje dnevno amplitudo (tabela 1).

Srednja amplituda dekade v globini 2 cm (tabela 1)

	zemlja z rastlinsko odejo	gola zemlja
II. dekada aprila 1961	6,4 °	10,3 °
III. - " -	3,6 °	7,7 °
I. dekada maja 1961	5,9 °	11,9 °
II. - " -	5,0 °	9,4 °
III. - " -	7,2 °	9,5 °
I. dekada junija 1961	4,2 °	7,8 °
II. - " -	4,9 °	7,2 °
III. - " -	5,8 °	10,6 °
Srednja vrednost	5,4 °	9,3 °

Krivulja srednjih razlik srednjih dnevni temperatur (slika 3) nam pove zelo malo. Gornjih 20 cm zemlje je toplejših v goli zemlji, nadaljnjih 30 cm pa v zemlji z rastlinsko odejo. Razlike so minimalne in zmanjšajo le nekaj desetink stopinje, medtem ko se globina 2 cm razlikuje za pol stopinje. Prav zato je važno, da si ogledamo krivulje za posamezne termine, ki nam dajo popolnoma drugačno sliko. Krivulja, ki kaže razporeditev temperaturnih razlik z globino ob 07. uri pokaže, da je v globini 2cm gola zemlja hladnejša od zemlje z rastlinsko odejo povprečno za 0,8 °. Ta razlika se v globini 5 cm še poveča na 1,1 °. Pojav, da je globlji horizont še nekoliko toplejši lahko razložimo takole. Kot smo že omenili, dobi zemlja do 07. ure v tem obdobju že določeno količino sončne energije. Na račun te insolacije se gola zemlja močneje segreje kot zemlja z rastlinsko odejo in zmanjša razliko, ki je nastala pri nočni radiaciji. Ta vpliv pa se ob 07. uri pozna šele nekaj cm globoko in je v globini 5 cm že minimalen, tako da je ekstremna razlika v korist zemlje z rastlinsko odejo prav v tej globini. Z globino se ta razlika spet manjša, vendar je do globine 50 cm zemlja z rastlinsko odejo toplejša, čeprav je razlika tu že zelo majhna in znaša le 0,3 °.

Zanimiva je slika 4 a, ki nam kaže za obdelano obdobje ekstremne razlike temperatur ob 07. uri v vseh globinah. Opazimo, da nastopajo včasih tudi velike temperaturne razlike v korist goli zemlji. Te razlike dosežejo v globini 2 cm vrednost  $3,4^{\circ}$  v korist

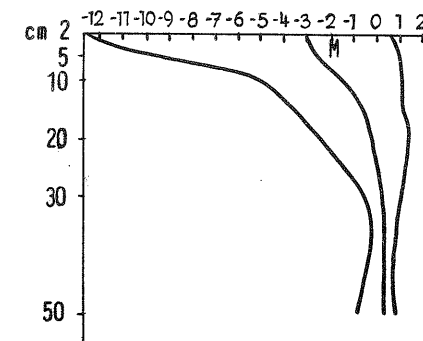


Slika 4 a : Ekstremne razlike temperatur zemlje z rastlinsko odejo in gole zemlje ter srednja razlika ob 07. uri

goli zemlji, v globini 5 cm pa  $2,8^{\circ}$  v korist zemlje z rastlinsko odejo. Od 5 cm dalje se ekstremne razlike z globino manjšajo. Razlike v korist goli zemlji se z globino približujejo vrednosti  $0^{\circ}$ , razlike v korist zemlje z rastlinsko odejo pa vrednosti  $1^{\circ}$ . Razumljivo je, da je gola zemlja malokdaj toplejša od zemlje z rastlinsko odejo, saj je kljub velikim razlikam srednja vrednost v globini 2 - 5 cm okoli  $1^{\circ}$  v korist zemlje z rastlinsko odejo.

Ob 14. uri kaže krivulja razlik temperatur gole zemlje in zemlje z rastlinsko odejo popolnoma drugačno sliko. Do globine 35 cm je toplejša gola zemlja. Srednja razlika znaša v globini 2 cm  $3,1^{\circ}$ , nato naglo pada, vendar je v globini 10 cm še vedno  $1,4^{\circ}$ . Globlje od 35 cm pa je gola zemlja še vedno hladnejša od zemlje z rastlinsko odejo.

Oglejmo si še ekstremne razlike temperatur ob tem terminu, ki jih kaže slika 4 b. Minimalne vrednosti, zemlja z rastlinsko odejo toplejša od gole zemlje, so po vsej globini okoli  $1^{\circ}$ . V globini 2 cm maksimalne vrednosti presegajo  $12^{\circ}$ , se nato



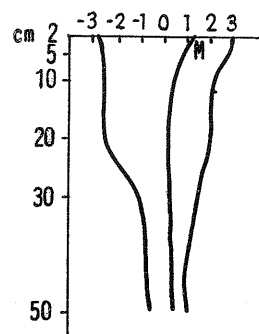
Slika 4 b : Ekstremne razlike temperatur zemlje z rastlinsko odejo in gole zemlje ter srednja razlika ob 14. uri

naglo manjšajo in imajo v globini 30 cm vrednost  $0,6^{\circ}$ . V globini 2 cm nastopajo torej vrednosti, ki so kar štirikrat večje od povprečne vrednosti.

Razlike temperatur z rastlinsko odejo pokrite zemlje in gole zemlje ob 21. uri so podobne razlikam ob 07. uri, le da so razlike v korist zemlje z rastlinsko odejo v večjem delu 50 cm sloja manjše. Samo v globini 2 cm je razlika ob 21. uri večja kot ob 07. uri. Že v globini 3 cm se obe razliki izenačita, medtem ko je globlje zemlja z rastlinsko odejo le malo toplejša od gole zemlje. Pojav je razumljiv, saj se ob 21. uri v tem obdobju nočna radiacija komaj pričinja, medtem ko se ob 07. uri še le dobro končuje. Krivulja, ki kaže razporeditev razlik z globino podaja enakomerno padanje z globino. Razlika v korist zemlje z rastlinsko odejo je največja v globini 2 cm in znaša  $1,1^{\circ}$ , nato pada do globine 20 cm, kjer sta temperaturi zemlje z rastlinsko odejo in gole zemlje enaki, nakar spet zraste za nekaj desetink stopinje, spet v korist zemlje z rastlinsko odejo.

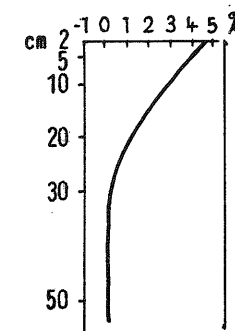
Slika 4 c nam kaže razpored ekstremnih razlik temperatur zemlje z rastlinsko odejo in gole zemlje z globino ob 21. uri. Razlike so razmeroma simetrično razporejene. Minimalna vrednost, gola zemlja toplejša od zemlje z rastlinsko odejo, se do globine 20 cm giblje med  $2,5^{\circ}$  in  $3,0^{\circ}$ , nato pa naglo pade na okoli  $1^{\circ}$ . Pri maksimalnih vrednostih, zemlja z rastlinsko odejo toplejša od gole zemlje, je potek

bolj enakomeren. Vrednosti padajo od  $2,8^{\circ}$  - v globini 2 cm na  $0,8^{\circ}$  v globini 50 cm.



Slika 4 c : Ekstremne razlike temperatur zemlje z rastlinsko odejo in gole zemlje ter srednja razlika ob 21. uri

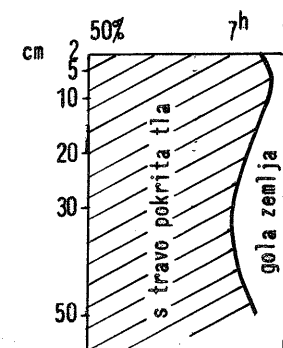
Pregled terminskih srednjih razlik nam pove, da je krivulja srednjih dnevni razlik neuporabna. Razlike so namreč ob terminih znatne - dvakrat, v korist zemlje z rastlinsko odejo ter enkrat v korist gole zemlje (velika). Čeprav se srednje dnevne vrednosti le malo razlikujejo, vidimo iz terminskih vrednosti, da se pri go li zemlji močno poveča amplituda, kar je opazil že Wollny (1). Povečanje amplitude, tvorjene le na osnovi terminskih vrednosti, nam daje slika 5. Seveda moramo upoštevati, da to ni prava amplituda, da pa se ji približuje, zlasti v prvih 10 cm zemlje, kjer se maksimumi in minimumi približno ujemajo z opazovalnimi termini. Z globino nastopijo spremembe: zaradi majhne kondukcije nastanejo zakasnitve; maksimalne in minimalne temperature so zato dosežene med opazovalnimi termini. Te zakasnitve so opazne celo samo pri treh opazovalnih terminih. Včasih nastopa najmanjša vrednost v sloju 40 do 50 cm šele ob 14. uri, medtem ko je v globini 20 do 30 cm maksimum pri vseh dekadah ob 21. uri



Slika 5: Srednja razlika amplitude gole zemlje in zemlje z rastlinsko odejo

Pogostost višjih temperatur v zemlji z rastlinsko odejo kot v goli zemlji in obratno

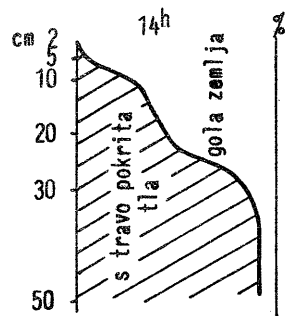
Kvantitativne vrednosti razlik temperatur v zemlji z rastlinsko odejo in v goli zemlji so nam že nekoliko znane. Sedaj si skušajmo ogledati procentualno samo kvalitativne vrednosti.



Slika 6 a : Procentualna razporeditev števila <sup>meritev</sup> z višjimi temperaturami zemlje z rastlinsko odejo v primerjavi s temperaturami gole zemlje in obratno z globino ob 07. uri

Slika 5 a nam daje podatke za termin ob 07. uri. Meritve so pokazale, da je zemlja z rastlinsko odejo navadno toplejša. Največkrat - v 96 % - je zemlja z rastlinsko odejo toplejša v globini 5 cm. Navzgor - proti površini - se to število zaradi izhlapevanja večje količine rose na zemlji, ki je pokrita s travo in večje toplotne kapaciteta (vlažnost) ter večjega albeda v globini 2 cm zmanjša na 88 %. Število procentov, ko je zemlja z rastlinsko odejo toplejša, z globino pada in doseže v globini 30 cm minimum 78 %, nato pa spet raste. Primerjava obeh površin jasno pokaže, da je zemlja z rastlinsko odejo ob tem terminu toplejša.

Za termin ob 14. uri nam kaže procentualno razporeditev slika 6 b. V globini do 5 cm je praktično gola zemlja vedno toplejša od zemlje z rastlinsko odejo. Zemlja z



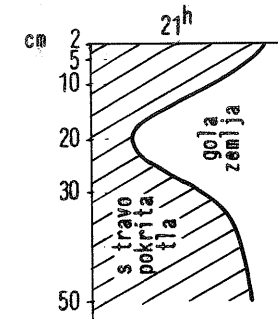
Slika 6 b : Procentualna razporeditev števila <sup>meritev</sup> z višjimi temperaturami zemlje z rastlinsko odejo v primerjavi s temperaturami gole zemlje in obratno z globino ob 14. uri

rastlinsko odejo je toplejša le v 1 % meritev. Prevladovanje toplejše gole zemlje z globino pada; v globini 25 cm pade že na 50 %. V globini 30 cm je samo še 20 % meritev v goli zemlji višjih od meritev v zemlji z rastlinsko odejo, v globini 50 cm pa že samo 16 %.

Razporeditev procentov ob 21. uri kaže slika 6 c, ki je zelo zanimiva. Medtem, ko je v gornjih 10 cm zopet izrazito toplejša zemlja z rastlinsko odejo, se ta razlika z globino naglo manjša in je v globini 20 cm že 70 % meritev v korist

goli zemlji, kar govori o premiku temperaturnega maksimuma, ki je nastal ob preogrelosti gole zemlje ob 14. uri v globino z določeno zamudo.

Od te globine spet rastejo procenti v korist zemlji z rastlinsko odejo.

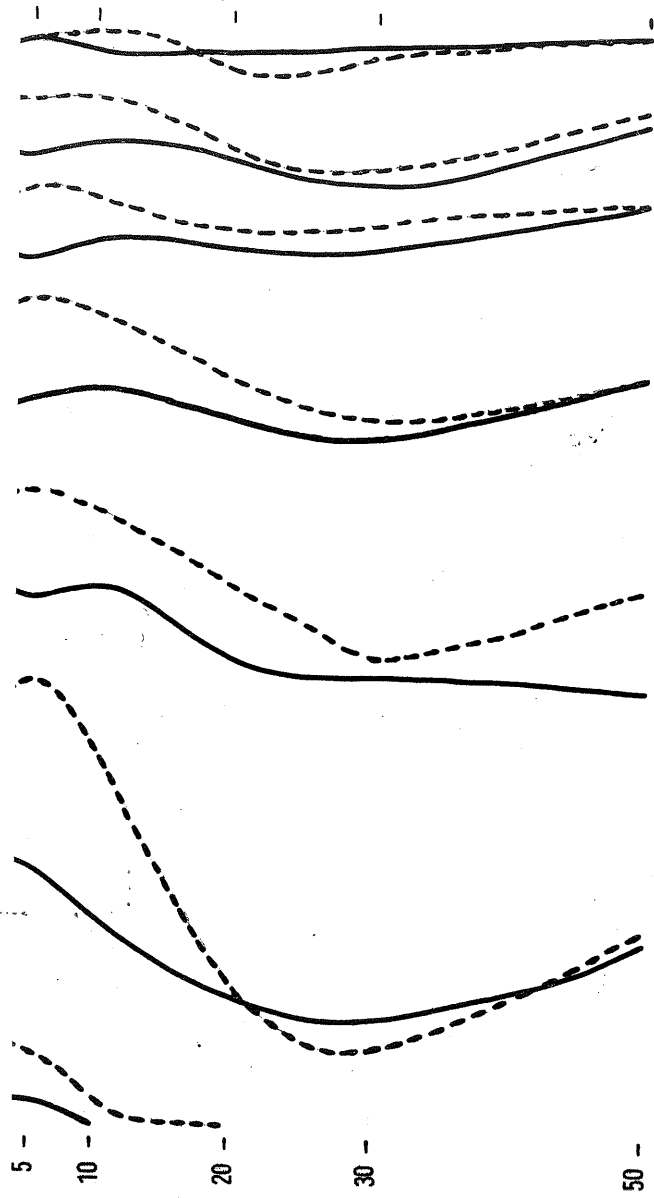


Slika 6 c : Procentualna razporeditev števila <sup>meritev</sup> z višjimi temperaturami zemlje z rastlinsko odejo v primerjavi s temperaturami gole zemlje in obratno z globino ob 21. uri

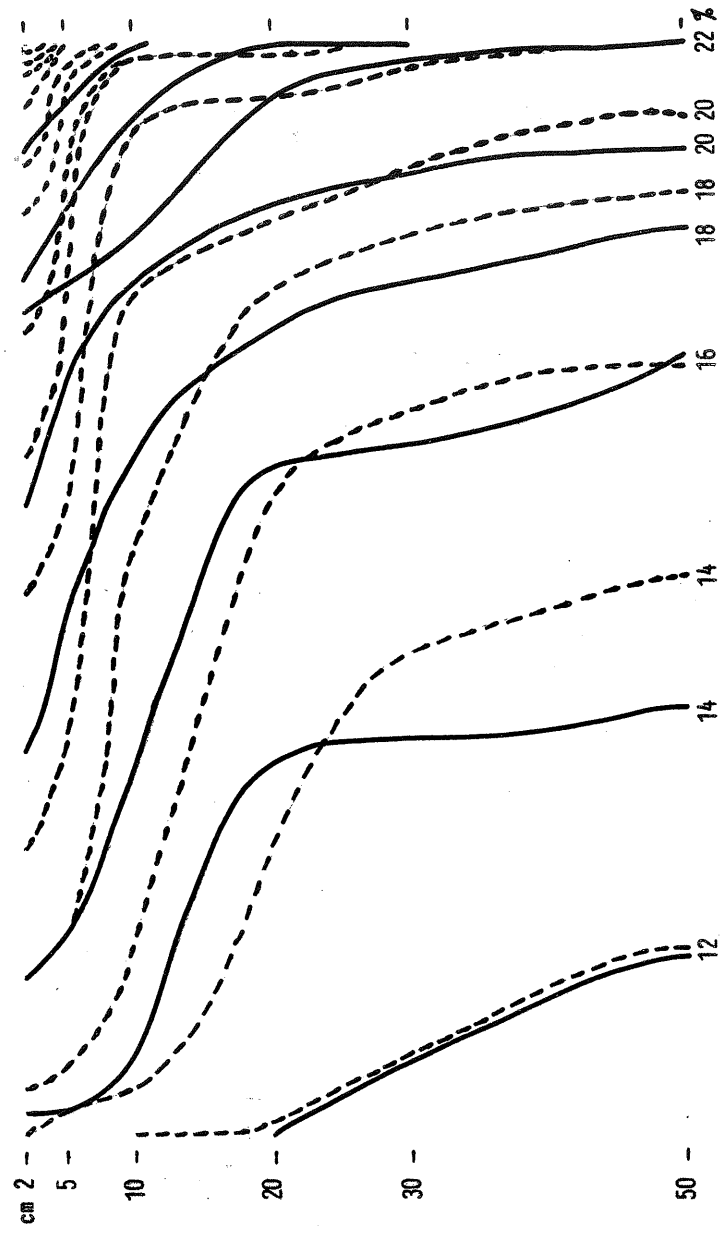
#### Pogostost meritev v posameznih temperaturnih intervalih

Eden važnih podatkov o temperaturah zemlje je vrednost, ki nam pove, koliko ur se je v določenem obdobju zadrževala temperatura izbranega horizonta v posameznih temperaturnih intervalih (5). To vrednost lahko dobimo le iz urnih temperaturnih podatkov, ki pa nam žal niso na razpolago. Če razporedimo kar meritve vseh treh terminov v posamezne temperaturne intervale, bomo dobili grobo in precej popačeno sliko. Nizke in visoke temperature bodo procentualno preveč zastopane. Ta slika nam sicer ne pove, koliko ur je posamezen horizont v določenem temperaturnem intervalu, vendar lepo služi za primerjavo teh vrednosti v zemlji z rastlinsko odejo in v goli zemlji.

Slika 7 a nam v procentih kaže razporeditev števila meritev v zemlji z rastlinsko odejo in v goli zemlji ob 07. uri v posameznih temperaturnih intervalih. Izvlečene krivulje nam predstavljajo meritve v zemlji z rastlinsko odejo, črtkane pa me-



Slika 7 a : Procentualna razporeditev števila meritev v posameznih temperaturnih intervalih posebej za golo zemljo in zemljo z rastlinsko odejo ob 07. uri



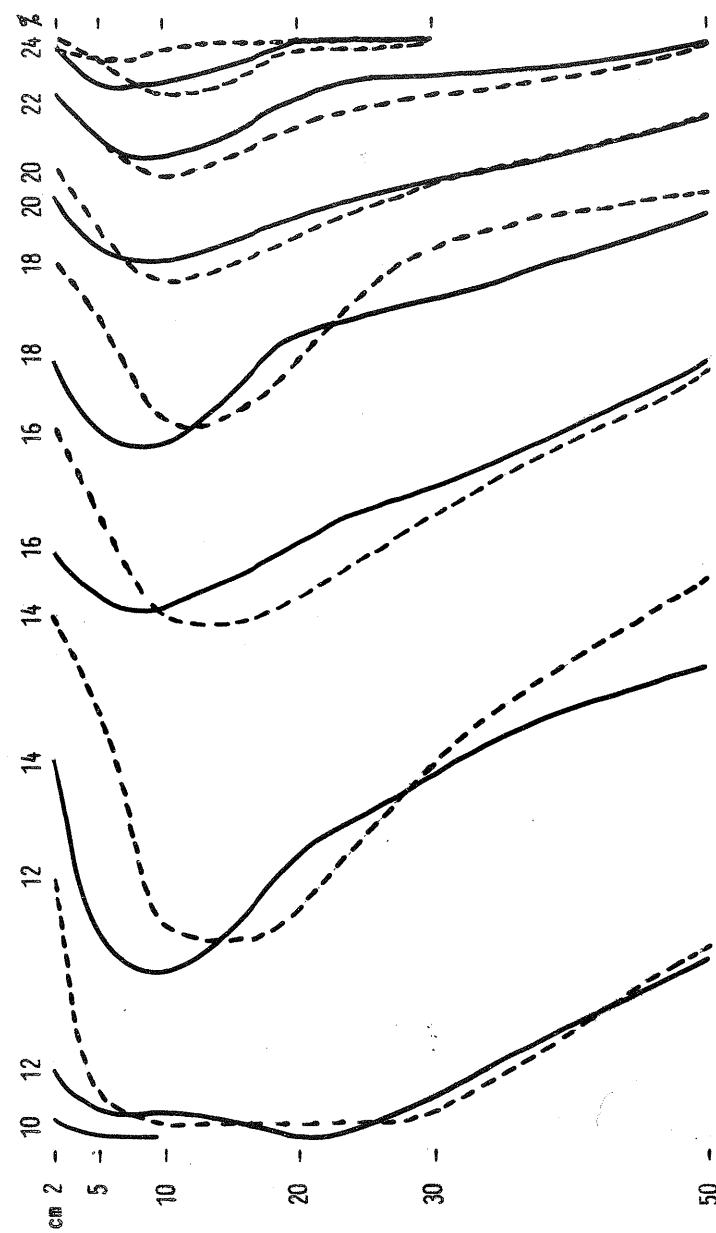
Slika 7 b : Procentualna razporeditev števila meritev v posameznih temperaturnih intervalih posebej za golo zemljo in zemljo z rastlinsko odejo ob 14. uri

ritve v goli zemlji. Iz slike je lepo razvidno, da je pogostost meritev v procentih v goli zemlji večja v nižjih temperaturnih intervalih. Črtkane krivulje leže desno od izvlečenih. Izjemo tvori plast 20 do 45 cm v temperaturnih intervalih 10 do 12 ° in 22 do 24 °, kjer je število meritev v nižjih temperaturnih intervalih v goli zemlji procentualno manjše. Črtkane krivulje leže levo od izvlečenih krivulj za isto mejno temperaturo.

Precej drugačna je slika razporeditve procentov za termin ob 14. uri (slika 7 b). Najprej moramo omeniti precej večje število meritev v višjih temperaturnih intervalih v goli zemlji (črtkane krivulje leže močno levo od izvlečenih), zlasti v zgornjem, približno 30 cm debelem sloju. V tem sloju nastopa pri goli zemlji več temperaturnih intervalov, v katerih ni nobene meritve zemlje z rastlinsko odejo. Zemlja z rastlinsko odejo ima zadnji interval 28 do 30°, gola zemlja pa ima meritve še v intervalu 38 ° do 40 °. Iz slike je lepo razvidno veliko število intervalov v gornjih slojih, ki se z globino naglo manjša. Od globine 25 cm je potek krivulj spet bolj enakomeren. Značilno pa je, da od te globine navzdol leže črtkane krivulje spet na desni od izvlečenih, kar dokazuje, da je v tej globini spet večje število meritev v goli zemlji v nižjih temperaturnih intervalih, kot število meritev v zemlji z rastlinsko odejo.

Slika 7 c nam kaže razporeditev za termin ob 21. uri. Lepo je viden najtoplejši sloj v globini 10 do 30 cm pri zemlji z rastlinsko odejo in pri goli zemlji, le da je pri goli zemlji pomaknjen niže v globino, kar govori za večjo toplovodnost gole zemlje. V sloju do 15 cm je število meritev v nižjih temperaturnih intervalih v goli zemlji večje kot v zemlji z rastlinsko odejo, kar govori, da je zadnja toplejša. Pod tem slojem ni jasne razporeditve. Število meritev v posameznih temperaturnih intervalih je enkrat večje v goli zemlji, drugič pa v zemlji z rastlinsko odejo.

Iz te razprave kljub pomanjkljivim podatkom dobimo majhen vpogled v temperaturne razmere v zemlji z rastlinsko odejo in v goli zemlji v mesecih: april, maj in junij v Ljubljani.



Slika 7 c : Procentualna razporeditev števila meritev v posameznih temperaturnih intervalih posebej za golo zemljo in zemljo z rastlinsko odejo ob 21. uri

Skušajmo jih na kratko sumirati:

Zaključki :

1. Kvantitativne zveze med glavnimi faktorji: insolacijo, padavinami, srednjo temperaturo zraka, vetrom in temperaturo zemlje na osnovi uporabljenih podatkov ni mogoče ugotoviti.
2. Srednja dnevna razlika temperatur v zemlji z rastlinsko odejo in v goli zemlji nam ne pove dosti, zato moramo poznati terminske vrednosti, ki jih kaže slika 3.
3. Amplituda v goli zemlji je večja kot amplituda v zemlji z rastlinsko odejo. Približno srednje povečanje tvorjeno le na osnovi razlik temperatur izmerjenih ob 14. uri, oziroma ob 21. in 07. uri, kaže slika 5. Konkretne razlike amplitud v goli zemlji in v zemlji z rastlinsko odejo so tudi do 2,5 krat večje.
4. Višje vrednosti temperatur v zemlji z rastlinsko odejo v primerjavi s temperaturami v goli zemlji in obratno so podane s slikami 6 a, 6 b in 6 c. Povedo nam, da ob 07. uri prevladujejo višje temperature v zemlji z rastlinsko odejo, ob 14. uri prevladujejo višje temperature do globine 25 cm v goli zemlji, globlje je zemlja z rastlinsko odejo spet toplejša od gole zemlje, ob 21. uri prevladujejo višje temperature do globine 20 cm v zemlji z rastlinsko odejo, nato pa postane v globini 20 cm naglo toplejša gola zemlja (70 %). Z rastočo globino postaja procentualno toplejša spet zemlja z rastlinsko odejo.

Literatura:

1. Wollny, E.: Untersuchung über den Einfluss der Pflanzendecke und der Beschattung auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Forsch. Gebeite Agr.-Phys., 6 1883
2. Baver, L. d.: Soil Physics. John Wiley Inc., New York
3. Reya O.; Gibanje temperature v tleh. Meteorološki zbornik, prvi snop Ljubljana 1957
4. Eckel, O.: Zur Kontrolle und Bearbeitung der Bodentemperaturmessungen. Wetter und Leben, Heft 3-4, Jahrgang 1960
5. Aulitsky, H.: Die Bodentemperaturverhältnisse an einer zentralalpinen Hanglage beiderseits der Waldgrenze. I. teil: Die Bodentemperatur oberhalb der zentralalpinen Wandgrenze. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie. Band 10, 4. (Schluss - ) Heft. Wien Springer - Verlag 1961
6. Manohin V.: Temelji teoretične meteorologije in klimatologije. Ljubljana 1955
7. Sutton O. G.: Micrometeorology. New York - Toronto - London 1953.