

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 27th 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.

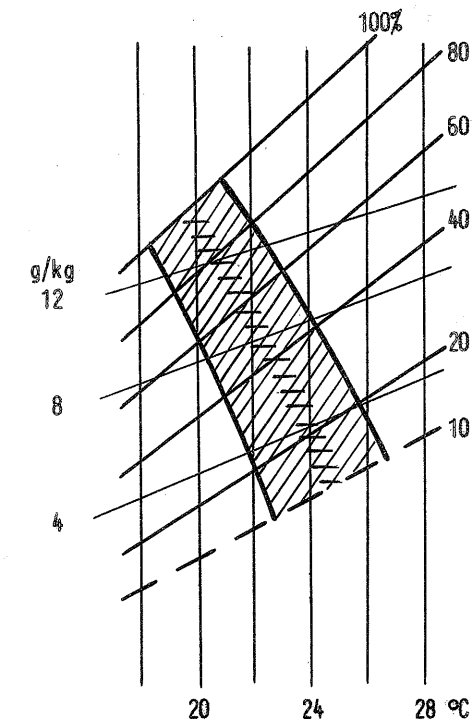
The humidity in the described flat was rather constant. On the basis of this equilibrium in the established difference of vapour pressures and the domestic activities, the amount moisture needed to maintain optimal conditions was estimated. This is a surprisingly great amount as it comes to much as: $D = 6$ kg of water per a flat of 60 m² 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 m² 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 cm². 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 podanih 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 ²	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

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

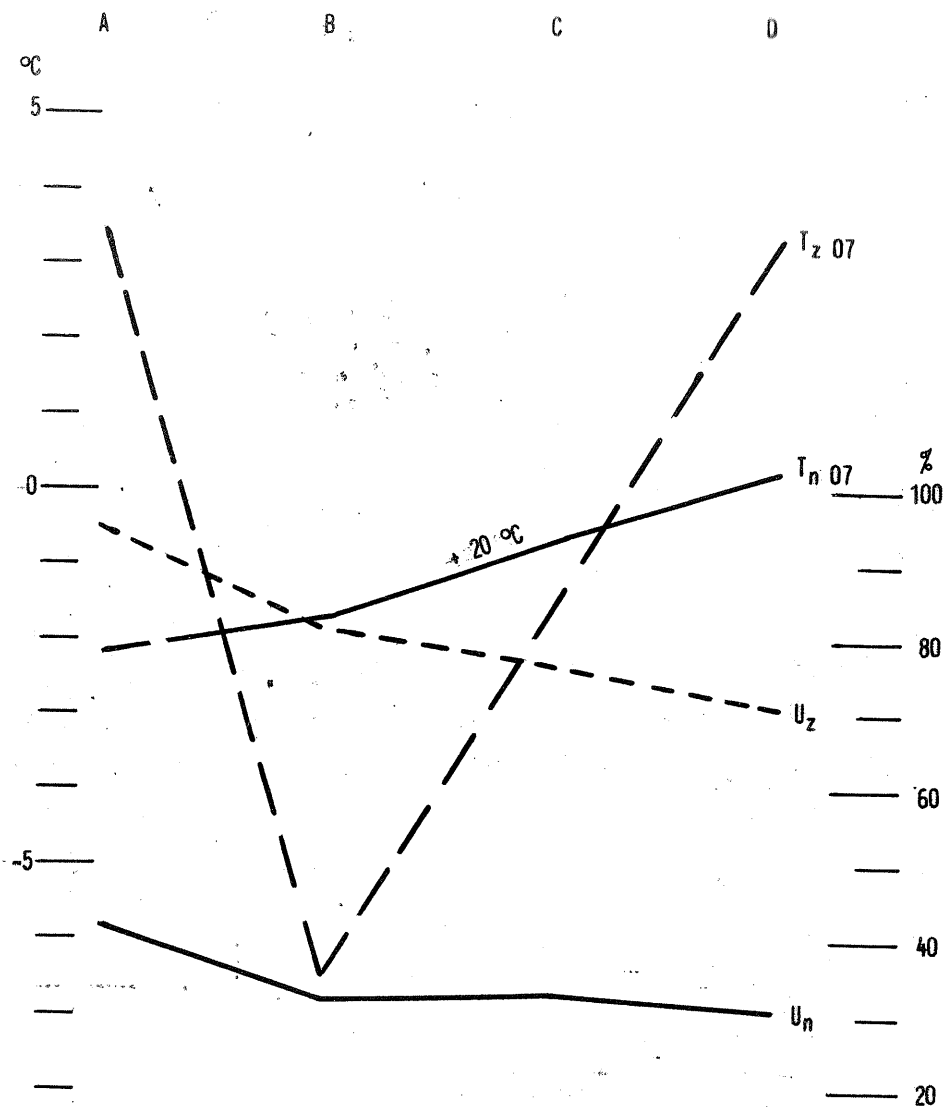
kjer pomeni e, e_w dejanski oziroma nasičenostni parni pritisk, oz. v_w dejansko oziroma nasičenostno gostoto vodne pare, R_v plinsko konstanto za vodno paro in T absolutno temperaturo, dobimo za absolutno vlago zraka enačbo:

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

Ker je e_w samo funkcija temperature in je z njeno vrednostjo povsem določena, R_v (= 461 m³ s⁻² 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/m³, absolutna vlaga zraka v stanovanju pa 6,1 g/m³ (za T_{ns} = 20 ° 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 m³ 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 vlažnosti 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.

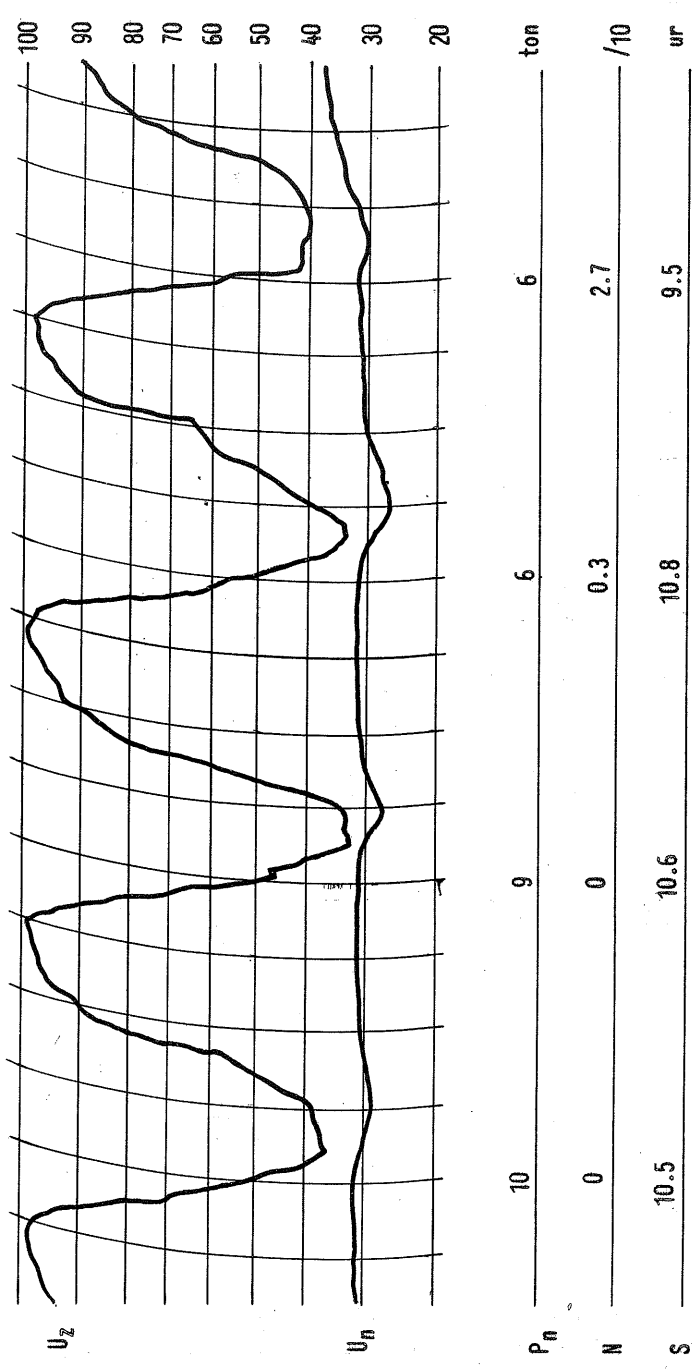
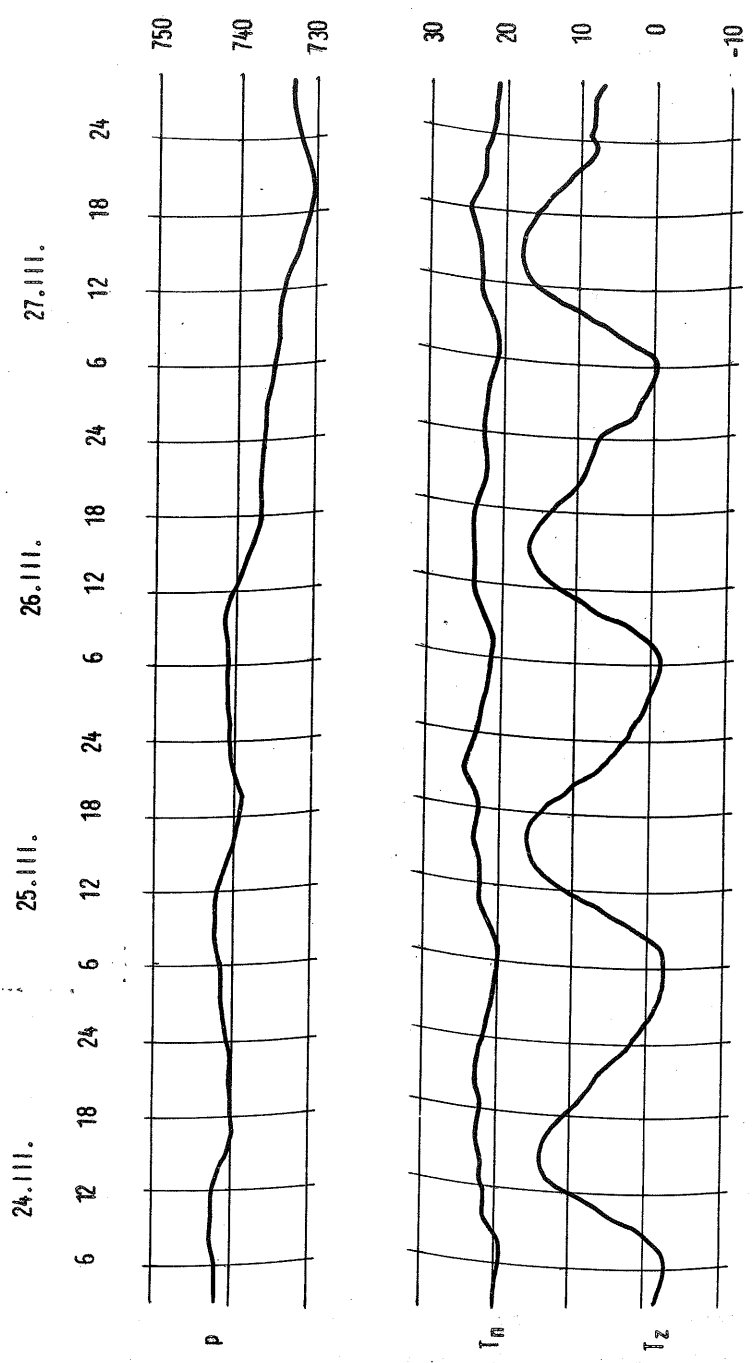
Temperaturna krivulja zunanjega zraka (T_z) kaže pravilno in značilno nihanje s precej veliko amplitudo, z minimum ob 6. uri in maksimum med 14. in 16. uro. Ob tem nihanju se vrednosti počasi dvigajo. Tudi krivulja notranjih temperatur kaže značilno dnevno kolebanje, ki je svojevrstna: amplituda je znatno 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°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 vrtem 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°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 termohigrobarogram 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/m² vode.

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

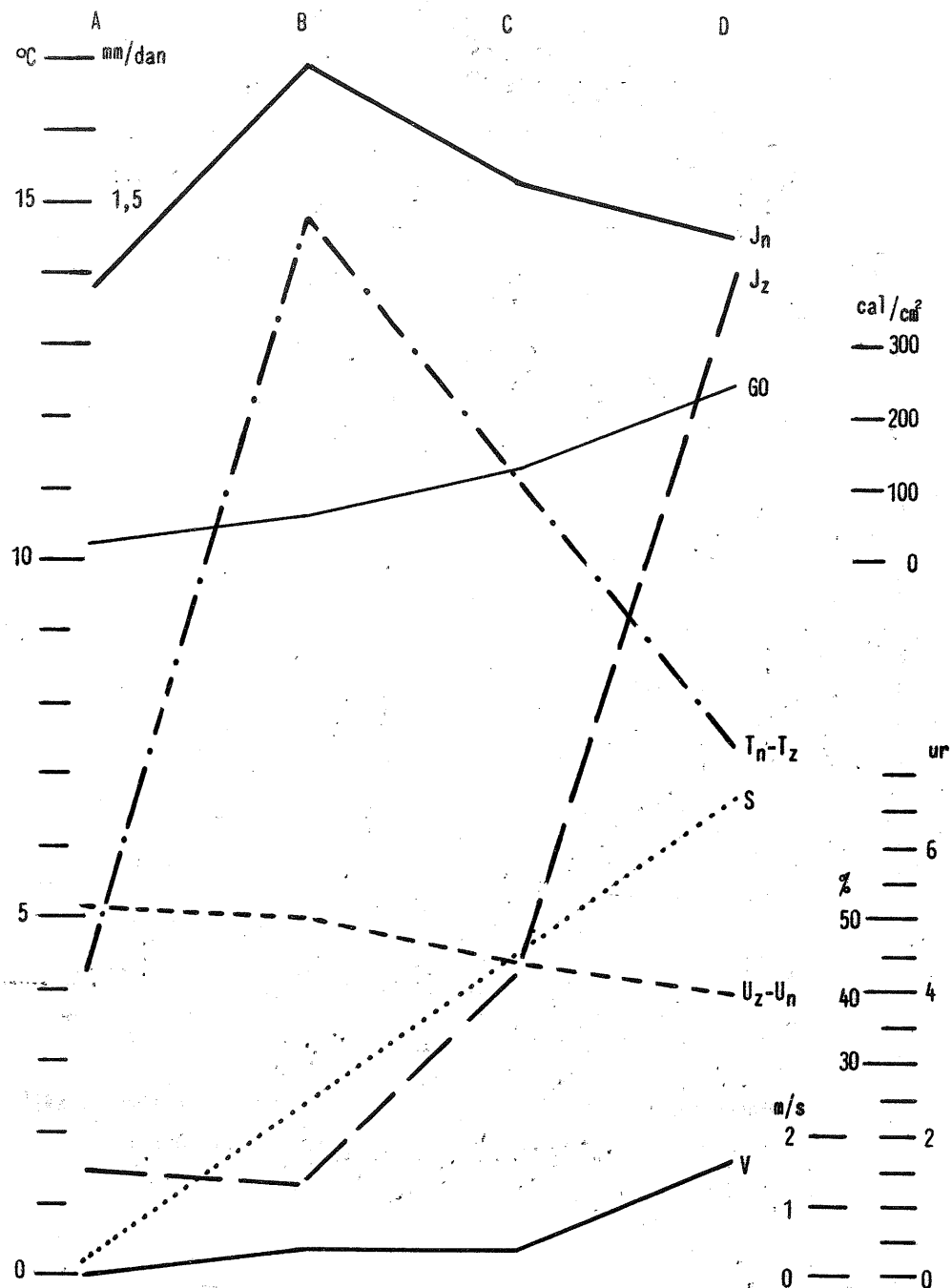
$$J_0 : J_t : J_r = 1,0 : 1,2 : 4,5 \quad (9)$$

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 zunanjimi in notranjimi 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 pridejo 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

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

kjer je (enako kot pri prejšnjih enačbah) φ 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

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

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

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

kjer je K konstanta in sicer je

$$K = \frac{e_{w,op}}{R_v T_{op}} \quad (14)$$

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: $T_n = 20^\circ \text{C}$, $U = 35\%$, $U_{op} = 50\%$. Z njimi dobimo za stanovanje s površino 50 m^2 in višino prostorov $2,5 \text{ m}$ potrebno količino vodne pare $D_{za} = 325 \text{ g}$ (ali $2,6 \text{ g/m}^3$). Če bi dvignili temperaturo na ameriško standardno

vrednost $T_{op} = 21^\circ \text{C}$, bi začetna relativna vlaga padla na 33% , za njen dvig na isto optimalno vrednost 50% pa bi potrebovali 390 g (ali $3,1 \text{ g/m}^3$) 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 $J = 13 \text{ g/dm}^2 \text{ dan}$. Po enačbi (10) pa izračunamo, da je za $T_{op} = 20^\circ \text{C}$ potrebna velikost vodne površine $P = 0,25 \text{ m}^2$, za $c = 1/\text{dan}$. 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

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

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

$$Z = Z_s + Z_o + Z_k \quad (16)$$

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°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
ovlaževalec (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 ovlaževalec 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.