

Rasprave i prikazi

DK 551.521.31

551.581.2

RAČUNSKE PRIZEMNE VRIJEDNOSTI  
SUNČEVE RADIJACIJE  
U ZAGREBU PRI VEDROM VREMENU

Ivan Penzar

Z a g r e b, 1977.

REPUBLICAN HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE

of the

SOCIALISTIC REPUBLIC CROATIA

---

No 14

Memoirs

551.521.31

551.581.2

VALUES OF SOLAR RADIATION AT THE GROUND  
SURFACE ON CLOUDLESS SKY FOR ZAGREB

Ivan Penzar

izdatnik: Hrvatska

Zagreb, 1977. (1978) 100 str.

## SADRŽAJ - CONTENTS

	Strana
SAŽETAK - ABSTRACT	VII
1. OPĆENITO O PRIZEMNIM VRIJEDNOSTIMA RADIJACIJE I O UTJECAJU ATMOSFERSKE REFRAKCIJE	1
2. PRIZEMNE POTENCIJALNE VRIJEDNOSTI RADIJACIJE UZ VEDRU I ČISTU ATMOSFERU	3
2.1 Direktna radijacija	4
2.1.1 Intenzitet i količina na plohi okomitoj na upadne zrake	4
2.1.2 Intenzitet i količina na horizontalnoj plohi	9
2.1.3 Intenzitet i količina direktne radijacije na vertikalnim ploham	10
2.2 Difuzna radijacija	19
2.3 Globalna radijacija	24
3. PRIZEMNE VRIJEDNOSTI RADIJACIJE UZ VEDRU I MUTNU ATMOSFERU KOJA SADRŽI PROSJEČNU KOLIČINU AEROSOLA	28
3.1 Direktna radijacija	28
3.1.1 Intenzitet i količina na plohi okomitoj na upadne zrake	28
3.1.2 Intenzitet i količina na horizontalnoj plohi	30
3.1.3 Intenzitet i količina na vertikalnim ploham	30
3.2 Difuzna radijacija	34
3.3 Globalna radijacija	36

	Strana
4. PRIZEMNE VRIJEDNOSTI RADIJACIJE UZ VEDRU, PROSJEČNO MUTNU I VLAŽNU ATMOSFERU	38
4.1 Direktna radijacija	38
4.1.1 Intenzitet i količina na plohi okomitoj na upadne zrake	38
4.1.2 Intenzitet i količina na horizontalnoj plohi	40
4.1.3 Intenzitet i količina na vertikalnim ploham	42
4.2 Difuzna radijacija	47
4.3 Globalna radijacija	51
5. BILANCA SUNČEVE RADIJACIONE ENERGIJE U ATMOSFERI I NA TLU PRI VEDROM VREMENU UZ UVAŽAVANJE PROSJEČNIH UVJETA U ZAGREBU	53
5.1 Ukupni gubitak radijacije u atmosferi	53
5.2 Bilanca Sunčeve radijacije	57
6. ZAKLJUČAK	58
7. LITERATURA	60
SUMMARY	63
LIST OF TABLES	65
LIST OF FIGURES	73

## SAŽETAK

Na osnovi računskih i instrumentalnih podataka razmatra se prizemni radijacioni režim i bilanca Sunčeva zračenja u Zagrebu. Računske vrijednosti izravnog, raspršenog i ukupnog zračenja se odnose na vedro vrijeme i to posebno za suhu i čistu atmosferu, za mutnu onečišćenu prosječnom količinom aerosola, te za prosječno mutnu i vlažnu atmosferu. Izračunat je dnevni hod za 16. dan u svakom mjesecu u koracima od po pola sata. Jakost i količina izravnog zračenja daje se za plohu okomito postavljenu na upadne zrake, za horizontalnu plohu, te za vertikalne plohe okrenute prema sjeveru, jugu, istoku, zapadu, jugoistoku i jugozapadu.

## ABSTRACT

The radiative régime on the ground surface and the solar radiation balance for Zagreb ( $\psi=45^{\circ} 49'N$ ,  $\lambda=15^{\circ} 59'E$ ) obtained by calculation and measured by instruments are discussed. Values of the direct, diffuse and global Solar radiation (+) are deduced under the assumption of a cloudless sky for the dry and pure atmosphere, for the turbid atmosphere polluted by average quantity of aerosols, and for the average turbid and wet atmosphere separately. The daily course of radiation intensity is studied in relation to the Sun-hour angle in half hourly intervals for the sixteenth day of each month. The research of direct radiation is carried on for the surface perpendicular to the Sun's rays, for the surface exposed horizontally, as well as for the vertical surface turned to the north, east, west, south, south-west and south-east.

## 1. OPĆENITO O PRIZEMNIM VRIJEDNOSTIMA RADIJACIJE I O UTJECAJU ATMOSFERSKE REFRAKCIJE

Dio elektromagnetske energije emitiran sa Sunčeve površine koji putuje prema Zemlji, dolazi na gornju granicu atmosfere u obliku direktne radijacija. Znači da Sunčevu radijacionu energiju tamo primaju samo one površine koje su direktno obasjane, ili da sva energija zračenja dolazi samo iz smjera Sunca.

Idući kroz atmosferu radijacija se modificira. Sunčeve zrake gube na intenzitetu zbog apsorpcije i raspršavanja. Kako ti procesi ne djeluju jednako na sve valne dužine, javljaju se osim kvantitativnih i kvalitativne promjene. Sunčeve zrake dolaze na tlo i oslabljene i drugog sastava nego što su ušle u atmosferu. Radijacija koju sobom nose naziva se direktna radijacija. Ona postoji samo danju, ako Sunce ne sakrivaju oblaci ili magla.

Sunčeva energija zračenja koja se je raspršila po atmosferi jednim dijelom odlazi natrag u interplanetarni prostor, a drugim dolazi na tlo. To je difuzna radijacija. Ona dolazi iz svih smjerova nebeskog svoda, pa je zato poznata i pod imenom radijacija neba. Ona utječe na rasvjetu po danu i za vrijeme sumraka i to bez obzira je li nebo vedro ili oblačno.

U slučaju vedrog vremena na nezaklonjenu površinu pri tlu dolazi Sunčeva radijacija u oba oblika, tj. direktna i difuzna. Osim zasebnog razmatranja svakog od tih oblika često se promatra i njihova zajednička suma. To je t.zv. ukupna ili globalna radijacija. Ona uz oblačno vrijeme potječe samo od difuzne radijacije.

Prizemne vrijednosti radijacije ovise o astronomskim faktorima (udaljenost Zemlje od Sunca, deklinacija Sunca i solar- na konstanta), geografskim faktorima (geografska dužina i širina te nadmorska visina mjesta), geometrijskim faktorima (visina i azimut Sunca) te o fizikalnim i meteorološkim faktorima (sastav i stanje atmosfere, ekstinkcija, naoblaka, albedo). Stoga prave iznose radijacije možemo upoznati samo putem instrumentalnog mjerenja. No za pojedine specijalne slučajeve ili odabrane modele atmosfere kao što je Rayleighova atmosfera ili mutna s određenom primjesom aerosola, ali bez uvažavanja apsorpcije vodene pare, ili mutna i vlažna s poznatom količinom krutih čestica i vlage uz uvažavanje te vlage, mogu se prizemni intenziteti i količine direktne, difuzne i globalne radijacije dobiti i teorijskim putem.

Prilikom teorijskih razmatranja treba uz ekstinkciju uvažiti i djelovanje atmosfere na refrakciju na radijaciju. Ona utječe na prividnu visinu Sunca, izaziva depresiju horizonta i povećava satni kut izlaza odnosno zalaza Sunca.

Prema SCHINDLERU (BAUR 1953, str. 389) satni kut izlaza (zalaza) Sunca uz uvažavanje refrakcije dobiva se po izrazu:

$$\cos t = \frac{\cos \xi - \sin \psi \sin \delta}{\cos \psi \cos \delta} \quad (1)$$

pri čemu  $\psi$  znači geografsku širinu,  $\delta$  je deklinacija Sunca,  $t$  je satni kut Sunca, a

$$\xi = 90^\circ + \alpha + r_S + \nu - \pi \quad (2)$$

Tu je  $\alpha$  atmosferska refrakcija,  $r_S$  kut pod kojim se vidi polupromjer Sunca,  $\nu$  je depresija horizonta, a  $\pi$  horizontalna paralaksa. Služeći se gornjom formulom odredili smo satni kut izlaza Sunca za 16. dan u svakom mjesecu i to na temelju prosječnih uvjeta koji tada u Zagrebu vladaju. U prvom redu reducirali smo atmosfersku refrakciju, koja za tijelo na horizontu uz temperaturu zraka  $8,5^\circ\text{C}$  i tlak  $760\text{ mm Hg}$  iznosi  $\alpha = 34'54''$  (PERNTER, EXNER 1922), na mjesečne srednjake temperature i tlaka u Zagrebu iz razdoblja 1862-1961. Za polupromjer Sunca uzeli smo  $r_S = 16'$ . Depresija horizonta za relativnu visinu terase opservatorijske zgrade na Griču iznad Donjeg grada određena je prema PERNTERU i EXNERU u iznosu  $\nu = 12'40''$  dok smo horizontalnu paralaksu zanemarili. Za satni kut izlaza Sunca prema PSV dobili smo ove vrijednosti:

I	II	III	IV	V	VI
$4^{\text{h}}35^{\text{m}}36^{\text{s}}$	$5^{\text{h}}13^{\text{m}}12^{\text{s}}$	$5^{\text{h}}57^{\text{m}}35^{\text{s}}$	$6^{\text{h}}47^{\text{m}}17^{\text{s}}$	$7^{\text{h}}29^{\text{m}}10^{\text{s}}$	$7^{\text{h}}52^{\text{m}}18^{\text{s}}$

I	II	III	IV	V	VI
$7^{\text{h}}42^{\text{m}}14^{\text{s}}$	$7^{\text{h}}05^{\text{m}}18^{\text{s}}$	$6^{\text{h}}21^{\text{m}}52^{\text{s}}$	$5^{\text{h}}30^{\text{m}}00^{\text{s}}$	$4^{\text{h}}45^{\text{m}}45^{\text{s}}$	$4^{\text{h}}24^{\text{m}}23^{\text{s}}$

One su veće za 6 do 10 min od odgovarajućih podataka koji se odnose na slučaj kad refrakcija nije uvažena. Pri tome dakle u nas izlazi (zalazi) Sunce oko 8 min ranije (kasnije) nego što bi izlazilo (zalazilo) da nema atmosfere. Dan se time produžuje za oko 16 min.

Utjecaj atmosfere refrakcije na teorijske vrijednosti prizemne radijacije uvažava se tako da se mjesto prave visine Sunca  $\gamma$ , stavlja prividna visina  $\gamma'$ :

$$\gamma' = \gamma + \alpha \quad (3)$$

Pomoću veličine  $\gamma'$  određuje se optička masa  $m(t_j)$  kod satnog kuta Sunca  $t_j$ . Ova korekcija praktički dolazi do izražaja samo rano u jutro i kasno na večer, kad se Sunce vidi nad horizontom pod kutom od nekoliko stupnjeva. Tada je naime refrakcija  $\alpha > 10'$ , a inače je zanemarivo malena /vidi BAUR 1953, tab.9 i CSAGI 1957, tab.5/. U naše relacije korigirana visina  $\gamma'$  ulazi obično u obliku  $\sin \gamma'$ , a to se približno može pisati ovako:

$$\begin{aligned} \sin \gamma' &= \sin \psi (\gamma + \alpha) \approx \sin \gamma + \sin \alpha = \\ &= \sin \psi \cdot \sin \delta + \cos \psi \cdot \cos \delta \cdot \cos t + \sin \alpha \end{aligned} \quad (4)$$

jer je  $\cos \alpha$  i  $\cos \gamma$  po iznosu bliz jedinici za malene vrijednosti kutova  $\alpha$  i  $\gamma$ .

U daljnjem tekstu prikazat ćemo neke od najvažnijih rezultata koje smo uz gornje uvjete dobili za prizemnu Sunčevu radijaciju u Zagrebu teorijskim putem, a usporedit ćemo ih i s nekim empiričkim podacima dobivenim mjerenjima na opservatoriju Zagreb, Grič. Svi podaci odnose se na pravo Sunčevo Vrijeme (PSV).

## 2. PRIZEMNE POTENCIJALNE VRIJEDNOSTI RADIJACIJE UZ VEDRU I ČISTU ATMOSFERU

Pod suhom i čistom atmosferom podrazumijevamo Rayleighovu atmosferu. Realno ona nikad ne postoji na geografskoj širini Zagreba. Ipak smo i za taj slučaj izračunali prizemne vrijednosti zračenja i to zbog toga što takvi podaci predstavljaju maksimalne vrijednosti koje bi radijacija mogla postići uz optimalne uvjete.



## 2.1 Direktna radijacija

### 2.1.1 Intenzitet i količina na plohi okomitoj na upadne ;rake

a) Prizemna ploha okomito postavljena na sunčeve zrake koje su prošle kroz Rayleighovu atmosferu u nekom momentu kad je satni kut  $t_j$ , prima direktnu Sunčevu radijaciju u iznosu:

$$i(a_R, t_j) = i_0 \frac{e^{-a_R(t_j) m(t_j)}}{r^2} \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \quad (5)$$

pri čem je  $i_0$  solarna konstanta,  $r$  radijvektor Zemlja-Sunce,  $a_R(t_j)$  ekstinkcioni koeficijent radijacije u Rayleighovoj atmosferi, a  $m(t_j)$  optička masa one točke na nebeskom svodu u kojoj se u tom času nalazi Sunce. U našim smo računima za solarnu konstantu upotrebljavali vrijednost  $1,98 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$  (CSAGI, 1957), za radijvektor podatke iz astronomskih efemerida za 1966. godinu (NAUTICAL ALMANAC OFFICE, 1964), za  $a_R(t_j)$  vrijednosti koje su izračunate uz uvažavanje apsorpcije i raspršavanja radijacije na  $45^\circ 49'$  (I.PENZAR, 1970. i I.PENZAR, 1974.), a zatim smo pri odredjenim satnim kutovima Sunca iz deklinacije (prema efemeridama za 1966. god.) i vremena odredjivali visinu Sunca  $\gamma$ , služeći se gotovim dijagramom (A.GILIĆ, 1947), i onda pomoću nje pripadnu optičku masu  $m(t_j)$  koristeći se MOLLEROVIM rezultatima (BAUR, 1953). Račun je proveden za 16. datum u svakom mjesecu kako bi se dobio godišnji hod, a pojedinog je dana intenzitet radijacije odredjivan po formuli (5) u koracima po pola sata kako bi se dobio dnevni hod intenziteta radijacije. Da bi dnevni hod bio u skladu s prividnim kretanjem Sunca po nebeskom svodu račun je proveden prema PSV, tj. polasatni vremenski intervali odabirani su simetrično lijevo i desno s obzirom na moment kad je Sunce nad Zagrebom u svojoj gornjoj kulminaciji. Satni kutovi Sunca  $t_j$  odnose se na sredinu takovih polusatnih intervala. Prije podne satni su kutovi negativni, a poslije podne pozitivni. Da ne bi dolazilo do bilo kakove zabune s obzirom na vrijeme za koje su u našim tabelama dani podaci o radijaciji navodimo po redu za svaki satni kut  $t_j$  koliko je to sati i minuta prema pravom sunčevom vremenu (PSV):

Satni kut	PSV	Satni kut	PSV
-0 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	11 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	0 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	12 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>
-0 45	11 15	0 45	12 45
-1 15	10 45	1 15	13 15
-1 45	10 15	1 45	13 45
-2 15	9 45	2 15	14 15
-2 45	9 15	2 45	14 45
-3 15	8 45	3 15	15 15
-3 45	8 15	3 45	15 45
-4 15	7 45	4 15	16 15
-4 45	7 15	4 45	16 45
-5 15	6 45	5 15	17 15
-5 45	6 15	5 45	17 45
-6 15	5 45	6 15	18 15
-6 45	5 15	6 45	18 45
-7 15	4 45	7 15	19 15
-7 45	4 15	7 45	19 45

U tabelama gdje je satni kut dan po apsolutnom iznosu  $|t_j|$  pripadni podaci se odnose istodobno na dva vremenska momenta i to na onaj prijedopodnevni i odgovarajući poslijepodnevni termin.

Dnevni hod intenziteta cjelokupne energije zračenja (tab. 1) pokazuje nagli porast u jutro u prva tri sata, zatim oslabljeni porast i gotovo konstantne vrijednosti do kulminacije Sunca, a poslije podne simetrično opadanje (krivulja  $i(a_R)$  na sl. 1).

Dnevni hod prizemne direktne radijacije  $i(a_R)$  znatno se razlikuje od odgovarajućeg hoda ekstraterestričke radijacije  $i_0$  na vrhu atmosfere. Na iznosu prizemnih intenziteta očituju se dnevne promjene optičke debljine atmosfere, dok na ekstraterestričku radijaciju takav utjecaj ne djeluje, pa su one konstantne dokle god je Sunce iznad horizonta.

Razmotrimo sada godišnji hod  $i(a_R)$  radijacije. U doba izlaza (zalaza) Sunca prizemni intenziteti radijacije koja bi prošla kroz potpuno suh i čist zrak bili bi zimi veći nego ljeti za oko  $0,1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ . To je razumljivo, jer je atmosfera u horizontu jednake debljine cijele godine, a izvor zračenja je zimi bliže Zemlji nego ljeti. Podnevni intenziteti su naprotiv ljeti nešto veći, a zimi manji. To je uglavnom u skladu s pripadnom visinom Sunca, odnosno s optičkom masom atmosfere. Podnevni intenzitet (tab. 1) se međusobno ne mijenjaju pravilno preko godine kao što se mijenja podnevna visina Sunca. U njihovim godišnjim promjenama naziremo kombinirani utjecaj podnevne visine Sunca, debljine sloja ozona i iznosa ekstraterestričke radijacije. No te

Tab. 1 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3} \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije u cijelom spektru za vedru, suhu i čistu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu za određeni satni kut ( $t_j$ ) Sunca - prema relaciji (5); godišnji hod dnevnih količina ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ dan}^{-1}$ ) takve radijacije; omjer (%) dnevnih količina prizemne i ekstraterestričke radijacije.

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>						497						
7 15					709	917	798					
6 45					1006	1157	1111	765				
6 15				923	1233	1316	1290	1118				
5 45			676	1217	1382	1413	1391	1277	1009			
5 15			1096	1381	1472	1503	1506	1410	1240	711		
4 45		931	1292	1483	1528	1563	1548	1526	1386	1100		
4 15	660	1199	1426	1560	1577	1596	1579	1568	1489	1274	958	
3 45	1098	1355	1521	1615	1611	1612	1598	1600	1557	1427	1147	966
3 15	1256	1462	1586	1633	1625	1618	1610	1614	1611	1510	1327	1209
2 45	1391	1531	1625	1640	1633	1628	1619	1629	1625	1561	1450	1325
2 15	1491	1594	1642	1651	1642	1636	1626	1639	1637	1612	1500	1421
1 45	1521	1630	1652	1660	1651	1647	1638	1649	1643	1638	1555	1484
1 15	1561	1653	1661	1664	1658	1657	1644	1652	1647	1649	1592	1529
0 45	1583	1663	1670	1669	1666	1664	1651	1657	1656	1654	1614	1545
0 15	1603	1673	1680	1677	1672	1667	1659	1660	1659	1658	1619	1556
$I(a_R)$	725	893	1039	1206	1313	1371	1344	1244	1111	939	783	689
$I(a_R)I_0$	66,4	71,7	73,8	76,4	76,6	76,8	76,9	76,8	76,3	72,3	69,4	66,1

Tab. 2 Dnevni hod intenziteta prizemne direktne radijacije u pojedinim dijelovima spektra izraženog u procentima ukupne prizemne direktne radijacije za vedru, suhu i čistu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu za određeni satni kut ( $t_j$ ) Sunca.

$ t_j $	$\lambda < 0,52\mu$			$0,52 < \lambda < 0,71\mu$			$\lambda > 0,71\mu$		
	XII	III	VI	XII	III	VI	XII	III	VI
7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>									100
7 15			4			21			75
6 45			9			24			67
6 15			12			25			63
5 45		1	14		12	26		87	60
5 15		7	15		23	26		70	59
4 45		10	17		25	16		65	58
4 15		13	18		25	26		62	56
3 45	4	15	18	20	26	26	76	59	56
3 15	8	16	18	24	26	26	68	58	56
2 45	10	17	18	25	26	26	65	57	56
2 15	12	17	18	26	26	26	62	57	56
1 45	13	17	19	26	26	25	61	57	56
1 15	14	18	19	26	25	25	60	57	56
0 45	15	18	19	26	25	25	59	57	56
0 15	15	18	19	26	25	25	59	57	56

godišnje promjene nisu velike. Intenziteti  $i(a_R)$  radijacije mogu kolebat i preko dana od 0,600 do 1,600 cal cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>.

Dosadašnjim razmatranjem prizemnih intenziteta ukupne radijacije pri tlu pokazali smo dnevni i godišnji hod tih veličina. Postavlja se pitanje kako se te kvantitativne promjene odražavaju na svojstvima prizemne radijacije, drugim riječima, kakav je spektralni sastav Sunčevih zraka koje dolaze do tla kroz Rayleighovu atmosferu. Odgovor na to daje tab.2 u kojoj smo prikazali postotak valova s  $\lambda < 0,52\mu$ ,  $0,52 < \lambda < 0,71\mu$  i  $\lambda > 0,71\mu$  u ukupnoj radijaciji pri raznim vrijednostima satnog kuta Sunca u tri karakteristična mjeseca: ožujku, lipnju i prosincu. Vidi se da radijacija prolazeći kroz suhu i čistu atmosferu mijenja svoj sastav i to kako tokom dana tako i preko godine. Godišnje promjene su međutim malene u usporedbi s dnevnim. Okruglo uzevši prizemna se radijacija sredinom dana u slučaju Rayleighove atmosfere sastoji od 56% crvenih i infracrvenih zraka, od 25% zelenih, žutih, narančastih i svijetlocrvenih, te od 19% plavih i ljubičastih. Idući prema početku i kraju dana udio kraćih valova sve više slabi, duljih raste, dok je udio vidljivih uglavnom nepromijenjen.

Najveći u 10 godina stvarno izmjereni intenziteti radijacije na opservatoriju Zagreb, Grič (I. PENZAR 1966. i 1968.) znatno su manji od potencijalnih iznosa  $i(a_R)$  koji se odnose na Rayleighovu atmosferu, kao što pokazuju slijedeći podaci:

Usporedba maksimalnih intenziteta direktne radijacije izmjerenih na opservatoriju Zagreb, Grič u razdoblju 1958-1967 s teorijskim vrijednostima za Rayleighovu atmosferu,  $i_{maks}$  i  $i(a_R)$  u cal cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>

Optička masa	4	3	2,5	2	1,5	podne
Najveća izmjerena vrijednost $i_{maks}$	0,917	0,982	1,118	1,199	1,260	1,339
Datum	22.XII 1958.	19.XI 1959.	20.XI 1960.	29.IX 1959.	29.IX 1959.	11.IV 1959.
Satni kut sunca	2 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>	1 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	1 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>	2 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	0 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	0 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>
Teorijska vrijednost $i(a_R)$	1,420	1,558	1,591	1,625	1,658	1,682
Razlika	0,503	0,576	0,473	0,426	0,398	0,343

Naši se teorijski rezultati ne mogu jednostavno usporedjivati s rezultatima drugih autora ponajviše zbog uvažavanja odnosno neuvažavanja apsorpcije u Rayleighevoj atmosferi. Ipak je poželjno ocijeniti barem kakve su razlike između jednih i drugih vrijednosti i imaju li te razlike fizikalnog smisla. Stoga ovdje navodimo naše prizemne intenzitete ukupne direktne radijacije kod određenih optičkih masa za lipanj i prosinac (ekstremne udaljenosti između Zemlje i Sunca) i odgovarajuće LINKEOVE vrijednosti /1942/ koje se odnose na srednju udaljenost Zemlja-Sunce, a preračunali smo ih na iznos solarne konstante  $1,98 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ , kojim smo se mi u našim računima služili.

$m_r$	2	3	4	6	8	10	
VI	1,538	1,437	1,324	1,168	1,040	0,955	$\text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$
XII	-	1,489	1,376	1,220	1,092	1,007	"
Linke	1,694	1,597	1,519	1,394	1,300	1,223	"

Naši rezultati lgično pokazuju da su zimi prizemni intenziteti uz iste optičke mase veći nego ljeti. No i jedni i drugi manji su od LINKEOVIH, što je takodjer opravdano, budući da smo uvažili raspršavanje i apsorpciju, a LINKE samo raspršavanje u suhoj i čistoj atmosferi.

b) Dnevne količine direktne radijacije pri tlu na plohi okomitoj prema upadnim zrakama  $I(a_R)$  dobijemo iz poznatih intenziteta i  $(a_R, t_j)$  sumacijom od satnog kuta  $t_1$  u podne do kuta  $t_n$  pri izlazu Sunca:

$$I(a_R) = 2 \int_{t_1}^{t_n} i(a_R, t_j) \cdot \Delta t \quad \text{cal cm}^{-2} \text{ dan}^{-1} \quad (6)$$

pri čem  $\Delta t$  iznosi 30 minuta, osim za zadnji interval koji je općenito kraći od 30 minuta. Faktor 2 dolazi zbog simetrije prijepodnevnih i poslijepodnevnih vrijednosti. Tako izračunate dnevne količine odnose se na 16. datum u mjesecu, kako smo već spomenuli, a njihove su numeričke vrijednosti dane u tab. 1. Kako vidimo one iznose oko  $690 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$  u doba zimskog solsticija i oko  $1370 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$  u doba ljetnog solsticija. Radi usporedbe s ekstraterestričkim vrijednostima takove radijacije  $I_0$  dajemo u zadnjem retku tab.1 omjer  $I(a_R)/I_0$  u procentima. Iz tog omjera se vidi da Rayleigheva atmosfera propušta dnevno od 66 do 77% ekstraterestričke energije.

F. GAMSER i K. VUJIČIĆ-GAMSER (1957) daju prizemne vrijednosti direktne radijacije izvedene za Beograd ( $\psi = 45^\circ$ ) za slučaj suhe i čiste atmosfere (Linkeov faktor mutnoće  $T=1$ ). Njihove vrijednosti za 15. dan u mjesecu veće su od naših oko podne za 4%, a početkom i krajem dana i do 20%. Zbog toga su i njihove dnevne količine za oko 9,5% veće od naših. S obzirom da su intenziteti radijacije za Beograd računani samo pomoću Rayleighevog koeficijenta raspršavanja, da nije uvažen utjecaj refrakcije i da deklinacija Sunca možda nije uzeta za onu godinu za koju smo je mi uzeli, ova je razlika razumljiva.

### 2.1.2 Intenzitet i količina na horizontalnoj plohi

Direktna radijacija što dolazi na horizontalnu plohu ovisi ne samo o atmosferskoj ekstinkciji, nego i o kutu pod kojim zrake dolaze na prijemnu površinu.

Prizemni intenzitet ukupne direktne radijacije na horizontalnoj plohi za određeni satni kut  $t_j$  dobije se po izrazu:

$$i_H(a_R, t_j) = i(a_R, t_j) (\sin\psi \cdot \sin\delta + \cos\psi \cdot \cos\delta \cdot \cos t_j + \sin\alpha) \quad \text{cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \quad (7)$$

a dnevna količina numeričkom integracijom tih vrijednosti:

$$I_H(a_R) = 2 \int_{t_1}^{t_2} [i_H(a_R, t_j) \cdot \Delta t] \quad \text{cal cm}^{-2} \text{ dan}^{-1} \quad (8)$$

Prilikom računanja naših intenziteta  $i_H(a_R, t_j)$  i količina  $I_H(a_R)$  uvažili smo dnevni i godišnji hod ekstinkcionog koeficijenta  $a_R$  i utjecaj atmosferske refrakcije  $\alpha$  na visinu Sunca  $\gamma$  i optičku masu  $m(t_j)$  (tab. 3).

a) Dnevni hod  $i_H(a_R, t_j)$  radijacije (sl.1) vrlo je pravilan. Idući prema sredini dana intenziteti se povećavaju sve do oko sat prije kulminacije Sunca, kad taj porast postaje sporiji. Podnevni intenziteti imaju pravilan godišnji hod i iz mjeseca u mjesec se osjetno mijenjaju što kod  $i(a_R, t_j)$  radijacije nije bio slučaj. To znači da promjena podnevne visine Sunca djeluje na  $i_H(a_R, t_j)$  radijaciju jače nego promjena debljine sloja ozona i udaljenosti Zemlje od Sunca. Horizontalna površina pri tlu obasjana u podne

direktnim zrakama mogla bi dobivati maksimalno oko 0,550 u prosincu do 1,540 cal cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup> u lipnju. Ljetni prizemni intenziteti su gotovo trostruko toliki kao zimski.

b) Godišnji hod prizemnih dnevnih količina  $I_H(a_R)$  radijacije prikazuje tab.3. Preko cijelog dana horizontalna bi ploha pri tlu mogla primiti od Sunca svjetlosne i toplinske energije u iznosu od 172 (prosinao) do 842 cal cm<sup>-2</sup>min<sup>-1</sup> (lipanj), što iznosi 71 odnosno 83% od one količine koju prima takva površina na vrhu atmosfere u doba zimskog i ljetnog solsticija.

### 2.1.3 Intenzitet i količina direktne radijacije na vertikalnim ploham

Kao u prethodnom slučaju i na vertikalnim ćemo ploham razmotriti intenzitete i količine ukupne direktne radijacije. U obzir ćemo uzeti vertikalne plohe okrenute prema sjeveru, istoku, jugoistoku, jugu, jugozapadu i zapadu.

Intenziteti radijacije za odgovarajuću površinu dobiju se pomoću izraza:

$$i_N(a_R, t_j) = - \frac{i_0}{r^2} \left[ \operatorname{tg} \psi (\sin \psi \cdot \sin \delta + \cos \psi \cdot \cos \delta \cdot \cos t) - \frac{\sin \delta}{\cos \psi} \right] \cdot e^{-a_R(t_j) \cdot m(t_j)} \quad (9)$$

$$i_E(a_R, t_j) = - \frac{i_0}{r^2} \cos \delta \cdot \sin t \cdot e^{-a_R(t_j) \cdot m(t_j)} \quad (10)$$

$$i_{SE}(a_R, t_j) = \frac{i_0}{r^2} \frac{\sqrt{2}}{2} \left[ \operatorname{tg} \psi (\sin \psi \cdot \sin \delta + \cos \psi \cdot \cos \delta \cdot \cos t) - \frac{\sin \delta}{\cos \psi} - \cos \delta \cdot \sin t \right] \cdot e^{-a_R(t_j) \cdot m(t_j)} \quad (11)$$

$$i_S(a_R, t_j) = \frac{i_0}{r^2} \left[ \operatorname{tg} \psi (\sin \psi \cdot \sin \delta + \cos \psi \cdot \cos \delta \cdot \cos t) - \frac{\sin \delta}{\cos \psi} \right] \cdot e^{-a_R(t_j) \cdot m(t_j)} \quad (12)$$

$$i_{SW}(a_R, t_j) = \frac{i_0}{r^2} \frac{\sqrt{2}}{2} \left[ \operatorname{tg}\psi (\sin\psi \cdot \sin\delta + \cos\psi \cdot \operatorname{soc}\delta \cdot \cos t) - \frac{\sin\delta}{\cos\psi} + \cos\delta \cdot \sin t \right] \cdot e^{-a_R(t_j) \cdot m(t_j)} \quad (13)$$

$$i_W(a_R, t_j) = \frac{i_0}{r^2} \cos\delta \cdot \sin t \cdot e^{-a_R(t_j) \cdot m(t_j)} \quad (14)$$

pri čem oznake *N, E, SE, S, SW* i *W* znače stranu svijeta kamo dotična vertikalna ploha gleda. Intenziteti radijacije u izrazima (9) do (14) dani su u cal cm<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>.

Dnevne količine dobivaju se numeričkom integracijom gornjih izraza i to po vremenu u kojem je pojedina vertikalna ploha obasjana Suncem:

$$I_N(a_R) = 2 \sum_{t_k}^{t_n} i_N(a_R, t_j) \cdot \Delta t \quad (15)$$

$$I_E(a_R) = \sum_{-t_1}^{-t_n} i_E(a_R, t_j) \cdot \Delta t \quad (16)$$

$$I_{SE}(a_R) = \sum_{-t_1}^{-t_n} i_{SE}(a_R, t_j) \cdot \Delta t + \sum_{t_1}^{t_n} i_{SE}(a_R, t_j) \cdot \Delta t \quad (17)$$

$$I_S(a_R) = 2 \sum_{t_1}^{t_k} i_S(a_R, t_j) \cdot \Delta t \quad (18)$$

$$I_{SW}(a_R) = \sum_{t_1}^{t_n} i_{SW}(a_R, t_j) \cdot \Delta t + \sum_{-t_1}^{-t_k} i_{SW}(a_R, t_j) \cdot \Delta t \quad (19)$$

$$I_W(a_R) = \sum_{t_1}^{t_n} i_W(a_R, t_j) \cdot \Delta t \quad (20)$$



Dnevne količine u ovim izrazima dane su u  $\text{cal cm}^{-2} \text{ dan}^{-1}$ . Vremenski interval  $\Delta t$  iznosi 30 min osim za  $n$ -ti interval, gdje je općenito kraći od 30 min. Satni kut  $t_k$  je prva vrijednost satnog kuta koja zadovoljava jednu od donjih nejednakosti već prema tome o kojoj se plohi radi:

$$\text{za N plohu: } \cos t < \text{tg} \delta \cdot \text{ctg} \psi \quad (21)$$

$$\text{za SE plohu: } (\cos t \cdot \sin \psi - \sin t) > \text{tg} \delta \cdot \cos \psi \quad (22)$$

$$\text{za S plohu: } \cos t > \text{tg} \delta \cdot \text{ctg} \psi \quad (23)$$

$$\text{za SW plohu: } (\cos t \cdot \sin \psi - \sin t) < \text{tg} \delta \cdot \cos \psi \quad (24)$$

a) Dnevni hod intenziteta prizemne direktne radijacije prema pravom Sunčevom vremenu, za geografsku širinu Zagreba i to na različito orijentiranim vertikalnim površinama prikazan je na slici 1 i u tablicama 4 do 8 za svaki 16. datum u mjesecu.

Prema sjeveru okrenute vertikalne površine samo u toplom dijelu godine dobivaju male količine Sunčeve radijacije kroz kratko vrijeme dva puta dnevno i to neposredno nakon izlaza i prije zalaza Sunca. Najveći intenziteti nisu u času izlaza i zalaza kad zrake prevaljuju najveći put kroz atmosferu, nego kad je Sunce nešto više nad horizontom.

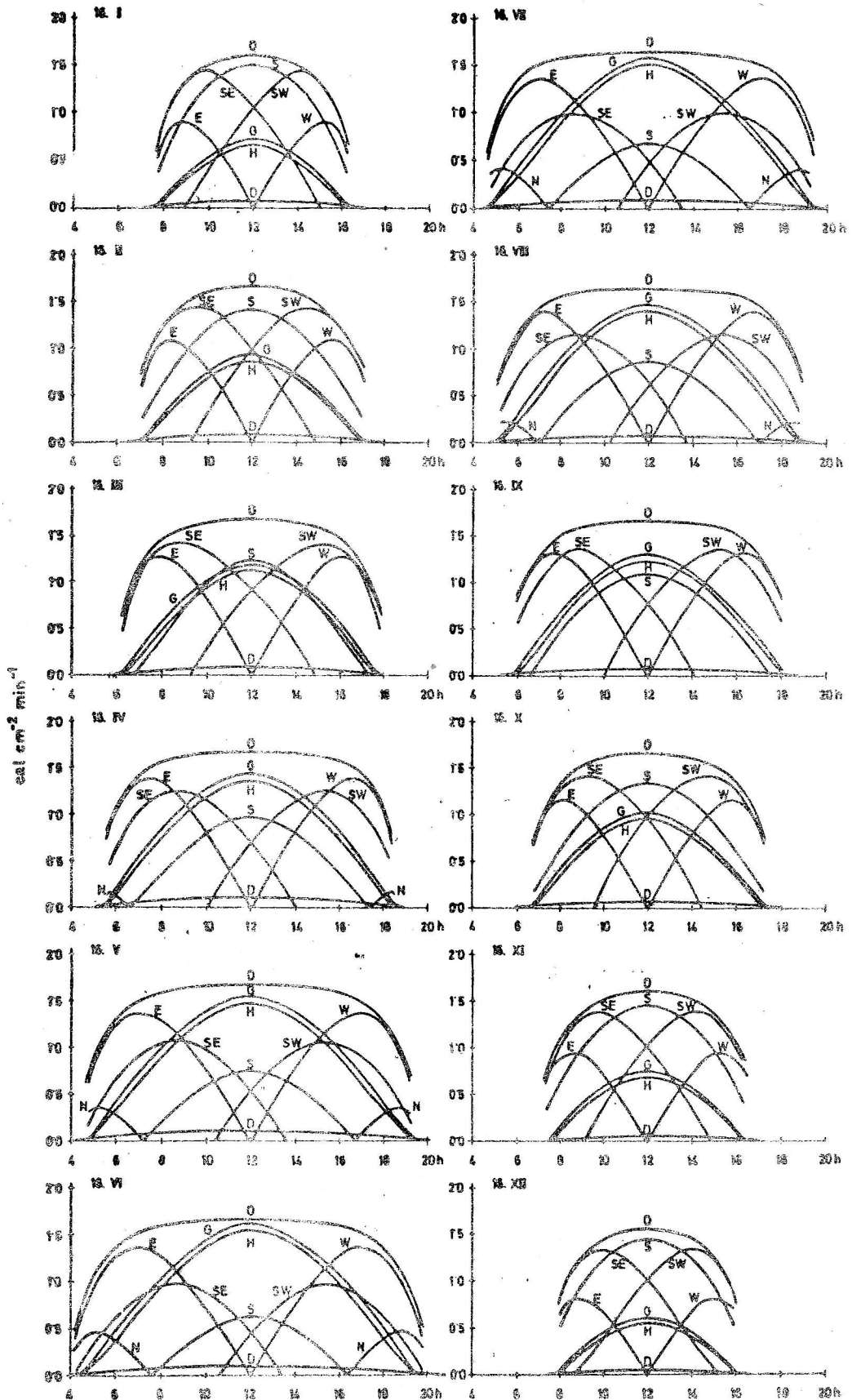
Vertikalne površine okrenute prema istoku izložene su Suncu od izlaza do podne. Preko cijele godine maksimalni intenzitet nije u času izlaza Sunca nego nešto kasnije.

Dnevni hod radijacije na vertikalnim površinama okrenutim prema zapadu upravo je suprotan onome za istočne površine.

Plohe orijentirane prema jugoistoku imaju povoljnije uvjete za prijem radijacije od ploha okrenutih prema istoku, jer ih Sunce obasjava od izlaska sve do poslije podneva (zimi do iza 15<sup>h</sup>, ljeti do iza 13<sup>h</sup>). Maksimalni intenziteti nastupaju u svim mjesecima između 8 i 9<sup>h</sup>.

Na jugozapadno okrenutim plohamo su trajanje i količine radijacije isti kao i na jugoistočnim vertikalnim plohamo, ali je dnevni hod suprotan. Sunce ih počinje obasjavati zimi nešto prije 9<sup>h</sup>, a ljeti nešto prije 11<sup>h</sup>. Maksimalni intenzitet se javlja između 15 i 16<sup>h</sup>.

Dnevni hod radijacije na južnim vertikalnim površinama je simetričan s obzirom na pravo Sunčevo podne. U hladnom dijelu godine sve od jesenskog do proljetnog ekvinokcija takve su plohe obasjane od izlaza do zalaza Sunca. U toplom dijelu godine one ne dobivaju radijaciju neko vrijeme nakon



Sl. 1 Dnevni hod prizemnih potencijalnih intenziteta direktne Sunčeve radijacije u Zagrebu za plohu okomitu na sunčeve zrake (O), za horizontalnu plohu (H), za vertikalne plohe i to južnu (S), sjevernu (N), istočnu (E), zapadnu (W), jugoistočnu (SE) i jugozapadnu (SW); zatim dnevni hod difuzne radijacije (D) i globalne radijacije (G) koju prima horizontalna ploha.

Tab. 3 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}\text{cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije na horizontalnoj površini za vedru, suhu i čistu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu, za određeni satni kut ( $t_j$ ) Sunca - prema relaciji (7); godišnji hod dnevnih količina takve radijacije ( $\text{cal cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ); omjer dnevnih količina prizemne i odgovarajuće ekstrate-  
restričke radijacije (%).

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
7 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>					015	071	043					
6 45					105	184	151	031				
6 15				072	234	319	284	144				
5 45				204	381	460	424	277	095			
5 15			121	355	532	614	586	430	229	019		
4 45		058	257	510	679	765	729	596	377	125		
4 15	024	174	404	666	827	905	868	740	531	251	061	
3 45	123	301	550	815	965	1031	995	878	678	393	159	070
3 15	227	428	689	940	1101	1158	1111	999	817	523	275	168
2 45	337	544	810	1048	1192	1245	1215	1110	929	641	389	262
2 15	441	653	910	1142	1282	1335	1304	1205	1026	750	483	353
1 45	516	740	991	1226	1344	1413	1382	1286	1105	836	566	431
1 15	581	807	1054	1286	1420	1476	1441	1344	1165	898	632	493
0 45	626	850	1099	1319	1455	1518	1484	1386	1210	940	679	533
0 15	652	875	1125	1355	1489	1539	1509	1407	1232	961	698	553
$I_H(a_R)$	212	326	481	656	781	842	812	710	564	380	236	172
$\frac{I_H(a_R)}{I_{0,H}}$	75,2	77,3	80,0	81,8	82,6	83,2	82,8	82,7	83,2	78,7	74,4	71,1

Tab. 4 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}\text{cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije na vertikalnoj površini okrenutoj prema sjeveru za vedru, suhu i čistu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu; za određeni satni kut ( $t_j$ ) Sunca.

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>						282						
7 15					315	447	375					
6 45					361	468	428	232				
6 15				153	334	420	385	239				
5 45				077	251	329	294	157	001			
5 15					138	222	188	046				
4 45					013	100	063					

Tab. 5 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}\text{cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije na vertikalnoj površini okrenutoj prema jugu za vedru, suhu i čistu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu, za određeni satni kut ( $t_j$ ) Sunca.

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
5 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>			026									
5 15			180	021								
4 45		350	329	159					114	173		
4 15	365	553	487	301	116	024	063	085	253	366		
3 45	693	732	643	441	243	145	184	350	399	533	501	
3 15	881	897	788	565	376	272	297	469	683	864	889	620
2 45	1066	1038	915	675	467	358	399	579	797	995	1063	1021
2 15	1222	1169	1088	769	555	444	487	673	896	1119	1182	1170
1 45	1315	1271	1102	853	614	518	562	752	976	1213	1293	1286
1 15	1403	1346	1168	914	690	576	619	811	1038	1280	1376	1375
0 45	1460	1393	1215	946	721	616	659	853	1084	1324	1431	1425
0 15	1497	1422	1243	982	753	636	681	872	1106	1346	1458	1451

Tab. 6 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}\text{cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije na vertikalnoj površini okrenutoj prema istoku odnosno zapadu za vedru, suhu i čistu atmosferu nad Zagrebom, na dan 16. u mjesecu, za određeni satni kut ( $t_j$ ) Sunca.

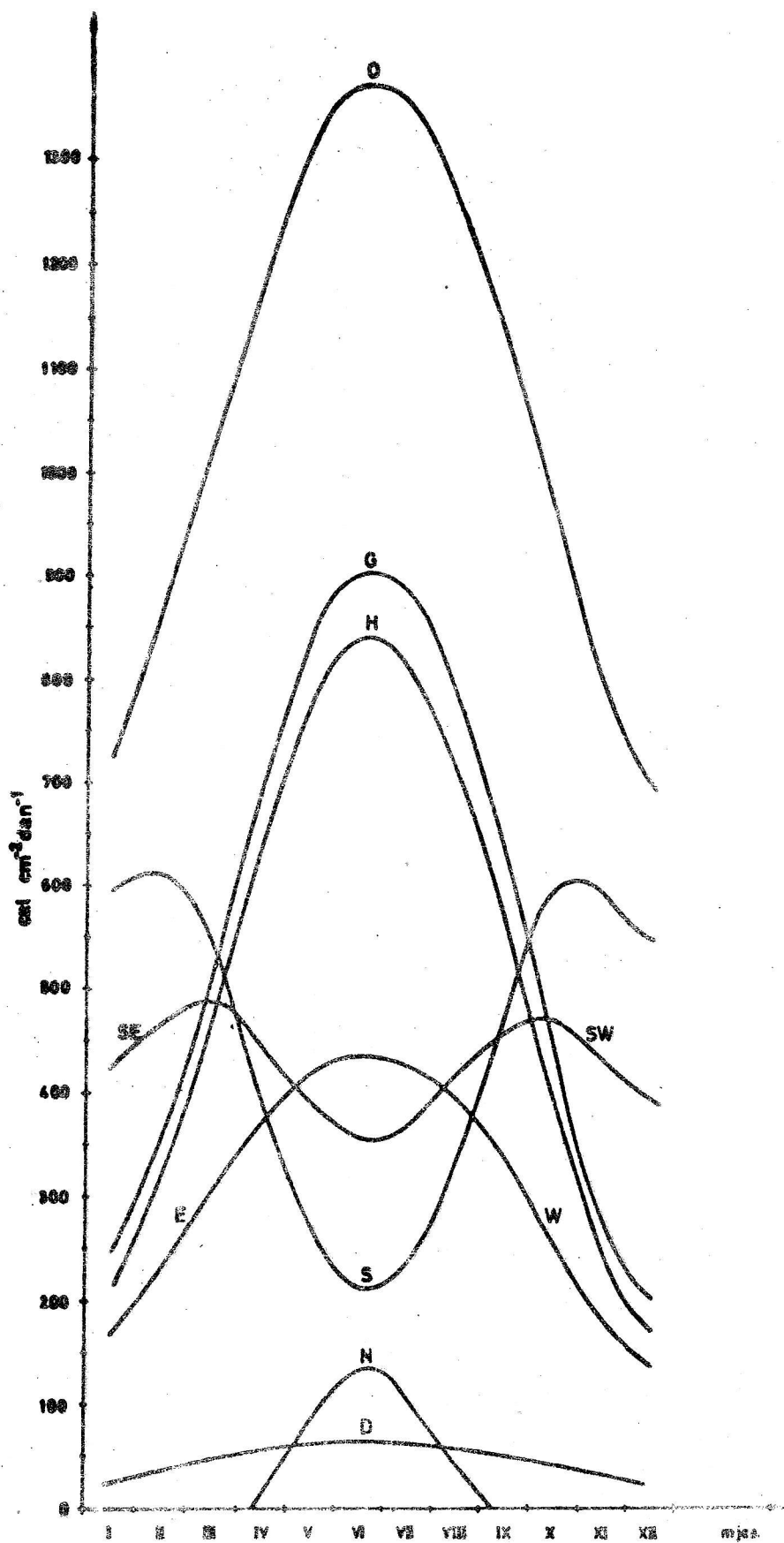
$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>						409						
7 15					637	799	706					
6 45					934	1042	1014	728				
6 15				908	1163	1205	1198	1083				
5 45			674	1197	1304	1295	1292	1237	1004			
5 15			1074	1335	1366	1353	1374	1342	1214	689		
4 45		863	1226	1388	1373	1363	1368	1406	1313	1033		
4 15	565	1049	1278	1379	1338	1315	1318	1365	1333	1129	815	
3 45	872	1100	1263	1324	1267	1231	1236	1292	1292	1173	904	737
3 15	901	1073	1192	1209	1156	1117	1126	1178	1208	1123	946	835
2 45	876	985	1071	1065	1019	986	994	1043	1069	1017	907	803
2 15	791	864	912	903	863	835	841	884	907	886	793	725
1 45	642	714	730	707	694	669	674	707	725	716	652	603
1 15	479	519	534	527	504	489	492	515	528	524	485	451
0 45	295	317	325	321	307	298	300	314	322	319	298	278
0 15	100	107	109	108	103	100	101	105	108	107	100	094

Tab. 7 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3} \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije na vertikalnoj površini okrenutoj prema jugoistoku za vedru, suhu i čistu atmosferu nad Zagrebom, na dan 16. u mjesecu, za određeni satni kut ( $t_j$ ) Sunca.

$t_j$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>						045						
-7 15					178	249	234					
-6 45					405	406	414	334				
-6 15				534	587	556	574	597				
-5 45			494	792	745	683	705	764	709			
-5 15			884	962	868	800	839	917	939	487		
-4 45		858	1210	1094	962	893	923	1054	1107	989		
-4 15	593	1133	1327	1187	1029	947	977	1120	1225	1175	930	
-3 45	1106	1296	1402	1248	1068	973	1005	1161	1299	1333	1125	960
-3 15	1260	1393	1430	1255	1083	982	1007	1164	1396	1405	1298	1192
-2 45	1373	1430	1400	1231	1051	950	983	1146	1319	1423	1393	1294
-2 15	1423	1438	1360	1183	1002	904	939	1100	1275	1418	1399	1340
-1 45	1384	1396	1291	1115	922	839	874	1032	1203	1364	1375	1336
-1 15	1331	1319	1199	1019	844	753	786	938	1107	1275	1316	1292
-0 45	1241	1210	1086	896	727	646	678	825	994	1161	1223	1203
-0 15	1130	1081	953	771	606	520	553	691	858	1028	1102	1092
0 15	988	930	799	623	460	389	410	542	705	876	966	960
0 45	824	762	627	442	292	224	254	381	537	710	801	812
1 15	653	585	447	274	131	061	090	209	361	534	630	653
1 45	476	401	301	092				031	178	351	453	483
2 15	305	216	075							165	277	314
2 45	135	039									111	155
3 15												016

Tab. 8 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3} \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije na vertikalnoj površini okrenutoj prema jugozapadu za vedru, suhu i čistu atmosferu nad Zagrebom, na dan 16. u mjesecu, za određeni satni kut ( $t_j$ ) Sunca.

$t_j$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-3 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>												016
-2 45	135	039									111	155
-2 15	305	216	075							165	277	314
-1 45	476	401	301	091				031	178	351	453	483
-1 15	653	585	447	274	131	061	090	209	361	534	630	653
-0 45	824	762	627	442	292	225	254	381	537	710	801	812
-0 15	988	930	799	624	460	389	410	542	705	876	966	960
0 15	1130	1081	953	771	606	520	553	691	858	1028	1102	1092
0 45	1241	1210	1086	896	727	646	678	825	994	1161	1223	1203
1 15	1331	1319	1199	1019	844	753	786	938	1107	1275	1316	1292
1 45	1384	1396	1291	1115	922	839	874	1032	1203	1364	1376	1336
2 15	1423	1438	1360	1183	1002	904	939	1101	1275	1418	1399	1340
2 45	1373	1430	1400	1231	1051	950	984	1146	1319	1423	1393	1294
3 15	1260	1393	1430	1255	1083	982	1007	1164	1396	1405	1298	1192
3 45	1106	1295	1402	1248	1067	973	1005	1161	1299	1333	1125	960
4 15	593	1133	1327	1187	1029	947	977	1120	1225	1175	930	
4 45		858	1210	1094	962	893	923	1054	1107	989		
5 15			884	962	868	800	839	917	939	487		
5 45			494	792	745	683	705	764	709			
6 15				534	587	556	574	597				
6 45					405	406	414	334				
7 15					178	249	234					
7 45						045						



Sl. 2 Godišnji hod dnevnih količina prizemnih potencijalnih vrijednosti direktno, difuzno i globalne Sunčeve radijacije u Zagrebu; oznake na krivuljama su iste kao i na sl. 1

Tab. 9 Godišnji hod dnevnih količina ( $\text{cal cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije na različito orijentirane vertikalne površine za vedru, suhu i čistu atmosferu nad Zagrebom, na dan 16. u mjesecu; omjer takvih količina prema odgovarajućim ekstraterestričkim vrijednostima (%).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$I_N(a_R)$				14	85	136	104	40				
$I_E(W)(a_R)$	166	228	312	371	421	435	421	396	331	262	177	136
$I_{SE}(SW)(a_R)$	427	465	489	442	389	354	367	420	456	471	432	391
$I_S(a_R)$	594	610	547	400	272	215	237	340	473	595	593	551
$\frac{I_N(a_R)}{I_{O,N}}$				37,8	59,8	60,9	55,6	51,3				
$\frac{I_E(a_R)}{I_{O,E}}$	61,3	65,5	70,7	71,1	74,1	74,6	73,0	73,4	70,8	68,7	61,6	56,7
$\frac{I_{SE}(a_R)}{I_{O,SE}}$	67,8	72,1	75,6	76,9	78,6	79,6	78,9	78,4	76,3	73,7	69,5	64,6
$\frac{I_S(a_R)}{I_{O,S}}$	68,8	74,3	79,4	84,0	85,0	85,6	85,3	84,8	82,1	76,8	70,5	65,5

izlaza i prije zalaza Sunca (najviše do sat i po). Maksimalni intenzitet je uvijek u podne.

Numerički podaci za intenzitet i dnevne količine ekstraterestričke radijacije koju primaju vertikalne površine okrenute prema sjeverozapadu i sjeveroistoku, ovdje se ne navode. Oni se mogu približno dobiti pomoću interpolacije iz podataka za sjevernu te istočnu odnosno zapadnu površinu.

Dobivene rezultate o intenzitetu i dnevnom hodu ekstraterestričke radijacije nad Zagrebom na različito orijentiranim vertikalnim površinama ne možemo usporediti s drugim takvim rezultatima, jer se oni u dostupnoj literaturi ne nalaze.

b) Godišnji hod dnevnih količina prizemne radijacije na vertikalnim plohama prikazan je u tab.9 i sl.2. Radijacija  $I_H(a_R)$ ,  $I_N(a_R)$ ,  $I_E(a_R)$  odnosno  $I_W(a_R)$  ima godišnji hod u obliku jednostavnog vala s maksimumom u lipnju. Radijacija  $I_S(a_R)$ ,  $I_{SE}(a_R)$  i  $I_{SW}(a_R)$  ima oblik dvostrukog vala s maksimumima nešto prije proljetnog i nešto iza jesenskog ekvinokcija, glavni minimum u doba ljetnog solsticija i sekundarni u doba zimskog solsticija. Zbog velike optičke debljine atmosfere zimi dolazi do tla mala količina direktne radijacije, i

zidovi primaju osjetno manje energije nego bi mogli primiti s obzirom da je tada upadni kut radijacije vrlo malen. Povoljniji položaj Sunca poništava se dakle s nepovoljnom debljinom atmosfere.

Nije potrebno posebno spominjati da su dnevne količine radijacije, koju primaju vertikalne plohe okrenute prema istoku jednake onim količinama koje primaju vertikalne plohe okrenute prema zapadu. Isti je slučaj i s dnevnim količinama koje primaju SE i SW vertikalne plohe. Zbog toga je na sl.2 radijacija  $I_E(a_R)$  i  $I_W(a_R)$  prikazana samo jednom krivuljom, a isto tako i radijacija  $I_{SE}(a_R)$  i  $I_{SW}(a_R)$  samo jednom krivuljom.

## 2.2 Difuzna radijacija

Intenzitet difuzne radijacije pri tlu ovisi o intenzitetu ekstraterestričke radijacije, o stanju i ekstinkciji atmosfere i o albedu površine. Poznato je da se intenzitet takve radijacije, koja potječe od svih raspršenih zraka bez obzira na valnu dužinu, na horizontalnoj površini u danom času kad je satni kut Sunca jednak  $t_j$ , može općenito prikazati - ako se služimo našim oznakama - ovim izrazom:

$$d(t_j) = C[i(c, t_j) - i(a, t_j)] \sin \gamma' \quad \text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1} \quad (25)$$

pri čemu  $i(c, t_j)$  znači intenzitet prizemne direktne radijacije oslabljene u atmosferi samo zbog djelovanja apsorpcije, a  $i(a, t_j)$  intenzitet prizemne direktne radijacije oslabljene ukupnom ekstinkcijom, tj. apsorpcijom i raspršavanjem (BERLAGE 1928, ALBRECHT 1951, SCHULZE 1962, SCHÜEPP 1966). Vrijednost koeficijenta  $C$  može se izvesti ili pomoću teorije za višestruko raspršavanje radijacije u atmosferi i uz uvažavanje albeda podloge ili se može dobiti empiričkim putem. U slučaju normalne ekstinkcije i albeda koeficijent  $C$  ovisi samo o visini Sunca, ako je  $\gamma < 5^\circ$ . Za vedru, suhu i čistu atmosferu bez sekundarnog raspršavanja, a to znači i neovisno o albedu podloge, koeficijent  $C$  je konstanta i iznosi 0,5 (SCHÜEPP 1966). Prema tome gornji izraz možemo za Rayleighevu atmosferu napisati u obliku:

$$d(a_R, t_j) = 0,5 i_0 (e^{-c_R(t_j) \cdot m(t_j)} - e^{-a_R(t_j) \cdot m(t_j)}) \sin \gamma' \quad \text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1} \quad (26)$$



Dnevne količine difuzne radijacije  $D(a_R)$  mogu se izračunati numeričkom integracijom intenziteta  $d(a_R, t_j)$  ako je poznat njihov hod preko dana:

$$D(a_R) = \sum_{-t_n}^{+t_n} d(a_R, t_j) \Delta t \quad \text{cal cm}^{-2} \text{ dan}^{-1}, \quad (27)$$

U našim smo računima za koeficijent apsorpcije u Rayleighevoj atmosferi  $c_R(t_j)$  upotrebljavali vrijednosti izračunate za apsorpciju radijacije na širini  $45^{\circ}49'$  (I. PENZAR, 1970 i I. PENZAR, 1974). Služeći se opisanim postupkom odredili smo intenzitete prizemne difuzne radijacije  $d(a_R, t_j)$  koju na horizontalnu površinu donose zrake svih valnih dužina (tab. 10) i to na 16. dan u mjesecu pri satnim kutovima Sunca u razmacima od po pola sata između gornje kumulacije i izlaza odnosno zalaza. Difuzna radijacija ima međjutim stanoviti intenzitet i za vrijeme trajanja sumraka, kad Sunce nije nad horizontom. Navedenim relacijama (25) i (26) ta se radijacija ne može izračunati. Da bismo je odredili uzeli smo u razmatranje trajanje građanskog sumraka za naše uvjete (LIST 1951, tab.172). To smo trajanje dodali satnom kutu izlaza (zalaza) Sunca dobivenom uvažavanjem atmosferske refrakcije. Tako smo utvrdili čas kada intenzitet difuzne radijacije padne na nulu. Zatim smo pretpostavili linearno opadanje difuzne radijacije za vrijeme trajanja sumraka, te smo interpolacijom odredili pripadni intenzitet za satni kut  $t_{n+1}$  uz pomoć poznate vrijednosti pri kutu  $t_n$ .

Dobiveni rezultati pokazuju da je intenzitet difuzne radijacije u Rayleighevoj atmosferi vrlo malen (red veličine je  $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ ). Dnevni hod je slabo izražen. Osjetne promjene doživljava difuzna radijacija samo sat, dva početkom i krajem dana. Ljeti su intenziteti veći, a zimi manji. Godišnje su promjene vrlo pravilne (sl. 1).

Da bismo upoznali spektralni sastav difuzne radijacije, dajemo u tab.11 dnevni hod intenziteta valova različitih dužina izraženog u procentima ukupne difuzne radijacije. Proizlazi da indirektno zrake donose na tlo sredinom dana oko 70% kratkih valova, 22% dugačkih i 8% vidljivih. Odatle nebu plava boja. Spuštanjem Sunca k horizontu postotak kratkovalne radijacije u ukupnoj raspršenoj sve se više smanjuje, a postotak vidljive i dugovalne se povećava. Nebo tada gubi izrazito plavetnilo, postaje bjelkasto, a u času izlaza ili zalaza Sunca dobiva narančastu i crvenu boju. Preko godine spektralni se sastav difuzne radijacije nešto mijenja i to tako da ljeti imamo veći postotak kratkovalne radijacije nego zimi, dok je s drugim dijelovima spektra suprotno. Zbog toga bi nebo u suhoj i čistoj atmosferi ljeti trebalo biti modrije nego zimi.

Tab. 10 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-4}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) pri-  
zemne difuzneradijacije na horizontalnoj površini  
za vedru, suhu i čistu atmosferu nad Zagrebom na  
dan 16. u mjesecu za određeni satni kut ( $t_j$ )  
Sunca.

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
8 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>						004						
7 45					052	136	107					
7 15					107	272	215	084				
6 45				137	322	423	377	167				
6 15				278	464	513	483	365	149			
5 45			153	417	546	583	560	484	298	061		
5 15		114	311	523	598	615	589	550	453	124		
4 45	087	230	481	588	606	635	628	569	539	283	114	
4 15	176	422	496	628	649	671	665	631	598	490	229	134
3 45	373	516	615	650	707	729	720	676	628	551	433	270
3 15	490	582	645	693	768	790	775	730	649	600	508	402
2 45	548	625	676	747	798	819	806	760	697	629	536	497
2 15	593	642	724	797	834	845	843	801	738	643	591	544
1 45	626	656	751	826	843	857	852	824	775	660	608	575
1 15	644	678	772	843	868	869	865	845	806	692	622	596
0 45	654	692	780	852	871	872	971	858	815	710	642	616
0 15	664	700	782	856	874	875	874	862	827	723	651	621

Tab. 11 Dnevni hod procentualnih količina difuzne radija-  
cije u pojedinim dijelovima spektra sadržanih u  
ukupnoj difuznoj radijaciji koja dolazi do tla  
kroz Rayleighovu atmosferu nad Zagrebom pri odre-  
đenom satnom kutu Sunca

$ t_j $	$\lambda < 0,52\mu$			$0,52 < \lambda < 0,71\mu$			$\lambda > 0,71\mu$		
	XII	III	VI	XII	III	VI	XII	III	VI
8 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>			50			17			33
7 45			55			15			30
7 15			56			14			30
6 45			62			10			28
6 15			66			9			25
5 45		61	68		12	9		27	23
5 15		63	69		11	9		26	22
4 45		66	70		9	9		25	21
4 15	56	67	71	14	9	8	30	24	21
3 45	57	69	71	13	8	8	30	23	21
3 15	62	69	71	10	8	8	28	23	21
2 45	65	69	72	9	8	7	26	23	21
2 15	67	70	72	9	8	7	24	22	21
1 45	68	71	72	9	8	7	23	21	21
1 15	68	71	72	9	8	7	23	21	21
0 45	69	71	72	9	8	7	22	21	21
0 15	69	71	72	9	8	7	22	21	21

Dnevne količine difuzne radijacije (tab. 12) su male. Takve količine, koje se odnose na slučaj Rayleighove atmosfere, zapravo su najmanje moguće količine što ih tlo može primiti od raspršenih zraka pri vedrom vremenu. One iznose samo nekoliko desetaka  $\text{cal cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$  (26 u prosincu i 63 u lipnju). Izraženo u procentima od ukupne direktne radijacije koju može primiti horizontalna površina u takvim uvjetima, proizlazi da difuzne zrake donose preko dana samo oko 8% (ljeti), odnosno 15% (zimi) od one količine koju bi tlo u isto vrijeme moglo primiti direktno od Sunca.

Točnost naših rezultata možemo približno provjeriti na nekoliko načina. U prvom redu raspolažemo izmjerenim dnevnim količinama difuzne radijacije pomoću zvjezdastog piranografa na opservatoriju Puntijarka IFA - JAZU u godinama 1964-1966, kada je difuzograf uglavnom bio u pogonu. Iz tog smo materijala odabrali vedre dane i u tab. 12 navodimo najmanje dnevne količine kod vedrog vremena za pojedini mjesec (u nekim mjesecima nema podataka, jer instrument nije redovito radio). Izmjerene količine veće su od naših računskih. S jedne strane to je fizikalno opravdano, jer atmosfera ni na visini oko 1000 m (kolika je približna visina difuzografa na Puntijarki) nije suha i čista; s druge strane difuzna bi se radijacija uz jednaku mutnoću morala s visinom smanjivati. Čini se stoga da mutnoća ovdje djeluje jače nego nadmorska visina.

Naše teorijske intenzitete difuzne radijacije kod pojedinih optičkih masa (tab. 13), koji se preko godine nešto mijenjaju, možemo usporediti s podacima REITZA (1939), SCHUEPPA (1966), DEIRMENDJIANA i SEKERE (1954) i DAVEA i SEKERE (1959) koje smo za spomenutu tabelu preračunali na promatrane optičke mase. REITZ je svoje vrijednosti dobio ekstrapolacijom veličina mjerenih na opservatoriju Taunus (800 m) za slučaj da je Linkeov faktor mutnoće  $T = 1$ . One su znatno manje od naših. Jedan razlog za to je taj što se one odnose na veću nadmorsku visinu. SCHUEPP je konstruirao dijagram za određivanje intenziteta difuzne radijacije uz uvjet da je albedo podloge 25%, debljina sloja ozona 0,35 cm i količina oborive vode 2 cm. U tabeli navodimo rezultate koji su dobiveni po tome dijagramu, a zatim korigirani na suhu atmosferu. Te korigirane SCHUEPPOVE vrijednosti veće su od REITZOVIH, ali su manje od naših, što je ispravno budući da se odnose na deblji sloj ozona, nego što smo ga mi uvažili. Za male visine Sunca razlika je međjutim prevelika i ne može se opravdati nejednakom debljinom ozona. Vrijednosti DEIRMENDJIANA i SEKERE izvedene su na vrlo rigorozan način, no pri tom nije bila uvažena apsorpcija ozona. Nju su uvažili DAVE i SEKERA i dobili su nešto niže vrijednosti, s kojima se naši podaci vrlo dobro slažu. Iz tog zaključujemo da smo intenzitet difuzne radijacije dobili na zadovoljavajuću točnost, premda smo se poslužili jednostavnom metodom.

Tab. 12 Godišnji hod dnevnih količina ( $\text{cal cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ) difuzne radijacije uz Rayleighovu atmosferu nad Zagrebom; omjer difuzne i direktne radijacije na horizontalnoj površini, te dnevne količine difuzne radijacije  $D_p$  izmjerene pri vedrom vremenu na opservatoriju Puntijarka

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
$D(a_R)$														
29,1	35,1	43,3	53,0	59,4	63,0	61,4	55,2	47,8	37,2	29,6	25,5			
$\frac{D}{I_H}(a_R) \%$														
13,7	10,8	9,0	8,1	7,6	7,5	7,6	7,8	8,5	9,8	12,5	14,8			
$D_p$														
45,0	48,1	60,1	-	-	208,2	100,2	80,4	-	64,2	68,4	28,2			
Dan i godina														
11.	2.	21.				21.	9.	5.				7.	23.	10.
1965.	1966.	1966.				1964.	1964.	1965.				1964.	1964.	1964.

Tab. 13 Usporedba naših intenziteta difuzne radijacije (16.VI i 16.XII) kod pojedinih optičkih masa s podacima drugih autora;  $\text{cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$

m	2	3	4	6	8	10
16.VI	0,065	0,058	0,054	0,044	0,035	0,030
16.XII	-	056	052	042	034	029
REITZ	059	040	035	025	019	016
SCHÜEPP	067	050	039	028	021	017
DEIRMENDJIAN-SEKERA	070	061	054	043	037	033
DAVE - SEKERA	066	057	050	040	034	031

## 2.3 Globalna radijacija

Intenzitet globalne radijacije može se prikazati izrazom:

$$g(a_R, t_j) = 0,5 i_0 (e^{-a_R(t_j) \cdot m(t_j)} + e^{-c_R(t_j) \cdot m(t_j)}) \sin \gamma' \quad \text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1} \quad (28)$$

a dnevna količina:

$$G(a_R) = \sum_{-t_n}^{+t_n} g(a_R, t_j) \Delta t \quad \text{cal cm}^{-2} \text{dan}^{-1} \quad (29)$$

Za Zagreb smo izračunali dnevni hod intenziteta globalne radijacije (tab. 14) u koracima od po pola sata za 16. dan u mjesecu kao i u prethodnim slučajevima. Te vrijednosti su zapravo sume intenziteta direktne i difuzne radijacije na horizontalnoj plohi. Kako prvi član ove sume po iznosu daleko nadmašuje drugi član, to dnevni hod globalne radijacije i njegove godišnje promjene imaju sve karakteristike hoda direktne radijacije (sl. 1) koji smo već prije opisali.

Da je udio difuzne radijacije u globalnoj vrlo malen, najbolje se vidi iz omjera  $100 d(a_R)/g(a_R)$ . Pokazalo se da u podnevnim satima ljeti samo oko 5,5%, a zimi oko 10% globalne radijacije čini difuzna, a sav preostali dio potječe od direktne. Idući prema jutru i večeru postotak difuzne u ukupnoj radijaciji se povećava i za vrijeme sumraka iznosi 100%, kako se to vidi iz slijedećih podataka:

$ t_j $	0 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	1 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	2 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	3 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	4 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	5 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	6 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	7 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	8 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>
16.VI	5,4	5,6	6,0	6,4	6,9	9,1	13,9	27,7	100,0
16.XII	10,1	10,8	13,3	19,3	100,0				

Poznavajući intenzitete za svakih pola sata vremena izračunali smo satne, a zatim dnevne količine globalne radijacije (tab. 15). To su potencijalne vrijednosti koje bi ravna, horizontalna podloga mogla dobiti pri potpuno vedrom vremenu. Dobivene količine izražene u procentima odgovarajućih ekstraterestričkih  $I_{O,H}$  količina pokazuju da bi u optimalnim uvjetima površina tla mogla primiti od 81% (zimi) do 89% (ljeti) one energije koju bi dobila da nema atmosfere. Solarigrafske registracije na opservatoriju Grič u razdoblju

Tab. 14 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) globalne radijacije za vedru, suhu i čistu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu pri određenom satnom kutu ( $t_j$ ) Sunca - prema relaciji 26.

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>					5	14	11					
7 15					26	98	65	8				
6 45				14	137	226	189	48				
5 15				100	280	370	332	181	15			
5 45			15	246	436	518	480	325	125	6		
5 15		11	152	407	592	676	645	485	274	31		
4 45	9	81	305	569	740	829	792	653	431	153	11	
4 15	42	216	454	729	882	972	935	803	591	300	84	13
3 45	160	353	612	830	1036	1104	1067	946	741	448	202	97
3 15	276	486	754	1009	1178	1237	1189	1076	882	583	326	208
2 45	392	607	878	1123	1272	1327	1296	1186	997	704	443	312
2 15	500	717	982	1222	1365	1420	1388	1285	1100	814	542	407
1 45	579	806	1066	1309	1428	1499	1467	1368	1183	902	627	489
1 15	645	875	1130	1370	1507	1563	1528	1429	1246	967	694	553
0 45	691	919	1177	1404	1542	1605	1571	1472	1292	1011	742	595
0 15	718	945	1203	1441	1576	1627	1596	1493	1315	1033	763	615

Tab. 15 Dnevni hod satnih količina (cal  $\text{cm}^{-2}\text{sat}^{-1}$ ) globalne radijacije za vedru, suhu i čistu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije (cal  $\text{cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ), omjer dnevnih prizemnih i ekstraterestričkih količina na horizontalnoj površini (%)

	4- 5 19-20	5- 6 18-19	6- 7 17-18	7- 8 16-17	8- 9 15-16	9-10 14-15	10-11 13-14	11-12 12-13	$G(a_R)$	$\frac{G(a_R)}{I_{O,H}}$ %
I				1,53	13,08	26,78	36,72	42,27	240,7	86,3
II			0,33	8,91	25,17	39,72	50,43	55,92	365,0	86,6
III			5,01	22,77	40,98	55,80	65,88	71,40	523,7	86,8
IV		3,43	19,59	38,94	56,67	70,35	80,37	85,35	709,4	88,2
V	0,93	12,51	30,84	48,66	66,42	79,11	88,05	93,54	840,0	88,7
VI	3,36	17,88	35,82	54,03	70,23	82,41	91,86	96,96	905,1	89,4
VII	2,28	15,63	33,75	51,81	67,68	80,52	89,85	95,01	873,1	89,1
VIII	0,24	6,87	24,30	43,68	60,54	74,13	83,91	88,95	765,2	89,0
IX		0,45	11,97	30,66	48,69	62,91	72,87	78,21	607,0	88,0
X			1,11	13,59	30,93	45,54	56,07	61,32	417,1	86,5
XI				2,85	15,84	29,55	39,63	45,18	266,1	83,9
XII				0,39	9,15	21,57	31,26	36,30	197,3	81,4

Tab. 16 Dnevni hod procentualnih količina globalne radijacije iz pojedinih dijelova spektra sadržanih u ukupnoj globalnoj radijaciji koja dolazi do tla kroz Rayleighovu atmosferu nad Zagrebom pri određenom satnom kutu Sunca

t <sub>j</sub>	$\lambda < 0,52\mu$			$0,52 < \lambda < 0,71\mu$			$\lambda > 0,71\mu$		
	XII	III	VI	XII	III	VI	XII	III	VI
7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>			(50)			(17)			(33)
7 15			18			19			63
6 45			19			22			59
6 15			19			23			58
5 45		(61)	20		(12)	23		(27)	57
5 15		18	20		21	23		61	57
4 45		19	21		22	23		59	56
4 15	(56)	20	21	(14)	23	24	(30)	57	55
3 45	18	20	21	18	24	24	64	56	55
3 15	19	21	21	22	24	24	59	55	55
2 45	19	21	21	22	24	24	59	55	55
2 15	20	21	21	23	24	24	57	55	55
1 45	20	21	22	24	24	24	56	55	54
1 15	20	21	22	24	24	24	56	55	54
0 45	20	21	22	24	24	24	56	55	54
0 15	20	21	22	24	24	25	56	55	53

Tab. 17 Dnevni hod satnih količina globalne radijacije (cal cm<sup>-2</sup>sat<sup>-1</sup>) dne 7.VIII i 1.X 1965: T - teorijski određjenih, M - mjerenih solarigrafom

		4- 5	5- 6	6- 7	7- 8	8- 9	9-10	10-11	11-12
7.VIII	T	2,3	16,1	34,1	52,2	68,3	81,1	90,6	95,6
1965.	M	0,6	6,6	23,4	34,2	46,8	57,0	67,2	72,0
<hr/>									
1.X	T			7,0	22,9	39,9	54,0	64,3	70,2
1965.	M			4,2	15,0	28,2	37,8	48,0	53,4
<hr/>									
		19-20	18-19	17-18	16-17	15-16	14-15	13-14	12-13
7.VIII	T	2,3	16,1	34,1	52,2	68,3	81,1	90,6	95,6
1965.	M	0,6	7,2	19,8	34,8	49,8	59,4	67,2	72,0
<hr/>									
1.X	T			7,0	22,9	39,9	54,0	64,3	70,2
1965.	M			1,8	12,6	26,4	38,4	47,4	52,8

1958-1967 (I. PENZAR 1968) pokazuju da je dosad najveći postotak globalne radijacije s iznosom od 78,7% postignut 24.V 1959. Znači da i najveće dosad izmjerene dnevne količine ne prekoračuju računске vrijednosti za Rayleighovu atmosferu. Poznato je (LINKE 1942, STAGG 1950, GRUNOW 1962, PENZAR 1959) da se u stvarnosti najveći intenziteti i količine globalne radijacije ne postižu pri potpuno vedrom vremenu, nego onda kad ima nešto oblaka tako postavljenih da reflektiraju radijaciju na tlo. Naši rezultati pokazuju da je bilo slučajeva s većim izmjerenim satnim količinama nego što su teorijske za suhu i čistu atmosferu. To znači da su oblaci kratkotrajno mogli osjetno povećati prizemne vrijednosti globalne radijacije, ali u većem dijelu dana to nije bio slučaj.

Spektralni sastav globalne radijacije (tab. 16) je preko dana sličan sastavu direktne radijacije, a za vrijeme sumraka je naravno isti kao i kod difuzne.

Djelomičnu provjeru teorijskih rezultata već smo izvršili uspoređujući ih s najvećim dosad izmjerenim satnim i dnevnim količinama na Griču. Učinit ćemo to sada i na drugi način. U tab. 17 navodimo dva primjera za dnevni hod satnih količina pri potpuno vedrom vremenu. Prvi se primjer (7.VIII 1965) odnosi na prosječno mutnu atmosferu (vidljivost 30 km), a drugi (1.X 1965) na relativno prozračnu i čistu atmosferu (vidljivost 80 km). Vrijednosti označene s  $T$  dobivene su interpolacijom iz naših teorijskih podataka za Rayleighovu atmosferu, i one su u oba slučaja veće od vrijednosti  $M$ , izmjerenih solarigrafom. Uz to su razlike  $T - M$  u drugom slučaju, uz bistriju atmosferu, manje. Ovo oboje potpuno se slaže s očekivanjima. U tab. 18 nalaze se uz naše vrijednosti za 16.VI odgovarajući podaci drugih autora, o kojima je već bilo govora u odsječku 2.2. Naši se podaci najviše razlikuju od onih DEIRMENDJIANA i SEKERE, no razlog tim odstupanjima je fizikalno jasan, a naveli smo ga već u obrazloženju tablice 13. Odstupanje naših podataka od vrijednosti DAVEA i SEKERE kreću se između -5 i 21%, a u prosjeku iznosi -12,8%. Po našem mišljenju to nije velika razlika, tim više što metode kojima su podaci određeni nisu bile jednake.

Tab. 18. Usporedba naših intenziteta globalne radijacije kod pojedinih optičkih masa s podacima drugih autora

m	2	3	4	6	8	10
16.VI	0,775	0,549	0,380	0,240	0,152	0,103
REITZ	881	565	389	238	162	125
DEIRMENDJIAN-SEKERA	920	605	420	290	204	145
DAVE - SEKERA	898	590	399	269	188	132



### 3. PRIZEMNE VRIJEDNOSTI RADIJACIJE UZ VEDRU I MUTNU ATMOSFERU KOJA SADRŽI PROSJEČNU KOLIČINU AEROSOLA

Vedra i realna atmosfera sadrži uvijek izvjesnu količinu aerosola. Apsorpciju vodene pare ovdje zanemarujemo, ali njeno djelovanje na aerosol uvažavamo. Da bismo uvažili utjecaj aerosola potrebno je poznavati dnevni i godišnji hod ekstinkcionog koeficijenta  $a_M(t_j)$  za slabljenje radijacije na srednjoj količini aerosola koju sadrži atmosfera nad Zagrebom. Vrijednosti za  $a_M(t_j)$  izvedene su na temelju empiričkih podataka o parametru mutnoće  $\beta$  u 10-godišnjem nizu aktinometrijskih mjerenja (*I. Penzar, 1970*). Prema tome prizemne vrijednosti radijacije koja je prošla kroz prosječno mutnu atmosferu možemo sada dobiti tako da pojedinačne vrijednosti iz poglavlja 2. pomnožimo faktorom  $e^{-a_M(t_j)m(t_j)}$  za odgovarajući  $a_M(t_j)$ . Od tako odredjenih prizemnih vrijednosti prikazat ćemo ovdje one koje se odnose na radijacionu energiju cijelog spektra.

#### 3.1 Direktna radijacija

##### 3.1.1 *Intenzitet i količina na plohi okomitoj na upadne zrake*

Dnevni hod intenziteta  $i(a_R + a_M)$  direktne radijacije koja nakon prolaza kroz vedru i realnu, prosječno mutnu atmosferu dolazi na plohu postavljenu okomito na Sunčeve zrake (tab. 19) ima iste osobine kao i dnevni hod pri čistoj atmosferi, samo što su mu vrijednosti manje. Zbog smanjenog broja optički efektivnih čestica aerosola poslijepodnevni intenzitet radijacije je u to doba dana nešto veći od simetričnih vrijednosti prije podne. U prosjeku ta razlika iznosi samo nekoliko stotinki  $\text{cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ .

Po spektralnom sastavu ukupna se prizemna radijacija koja je prošla kroz atmosferu onečišćenu aerosolom bitno ne razlikuje od one koja je prošla kroz čist zrak. Iz tab. 20 vidljivo je da se sredinom dana direktna radijacija sastoji od 60% infracrvenih zraka, 25% zelenih, žutih i svjetlocrvenih te od 15% plavih. S jutra i s večera plavih valova naglo nestaje, smanjuje se postotak i ostalih valnih dužina vidljive svjetlosti, a udio dugih valova se povećava. Zato je izlaz i zalaz Sunca pri mutnom horizontu crveniji nego uz čist i proziran zrak.

Tab. 19 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije koja dolazi okomito na plovu, uz vedru i prosječno mutnu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu za odredjeni satni kut ( $t_j$ ) Sunca; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije (cal  $\text{cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ); omjer dnevnih količina prizemne direktne radijacije pri mutnoj i pri čistoj atmosferi (%)

$t_j$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>						4						
-7 15					30	200	106					
-6 45					261	454	403	84				
-6 15				222	525	680	641	408				
-5 45			32	522	746	832	810	628	299			
-5 15			352	787	896	984	981	836	565	26		
-4 45		200	595	908	1025	1096	1082	1006	804	383		
-4 15	34	499	800	1025	1112	1153	1144	1103	972	605	260	
-3 45	406	709	956	1139	1151	1175	1171	1178	1087	841	522	299
-3 15	478	877	1067	1175	1177	1184	1194	1197	1195	973	742	605
-2 45	802	984	1142	1189	1191	1207	1209	1220	1209	1066	933	731
-2 15	936	1096	1159	1205	1206	1219	1220	1234	1226	1156	1013	882
-1 45	999	1172	1173	1220	1219	1238	1244	1250	1238	1205	1061	976
-1 15	1064	1204	1193	1226	1233	1248	1255	1255	1243	1220	1105	1049
-0 45	1101	1217	1206	1234	1240	1274	1265	1265	1253	1226	1140	1067
-0 15	1126	1232	1223	1246	1251	1276	1274	1268	1256	1232	1142	1087
0 15	1126	1232	1223	1246	1251	1276	1274	1268	1256	1232	1142	1087
0 45	1101	1217	1209	1234	1247	1274	1267	1265	1253	1226	1140	1070
1 15	1066	1206	1197	1228	1234	1248	1256	1257	1243	1223	1105	1052
1 45	1005	1174	1178	1224	1223	1241	1248	1249	1239	1208	1063	979
2 15	942	1094	1164	1209	1209	1225	1224	1237	1229	1161	1016	885
2 45	809	989	1145	1193	1194	1213	1213	1240	1216	1072	937	734
3 15	485	878	1072	1179	1182	1190	1200	1200	1199	979	746	612
3 45	413	716	961	1149	1154	1180	1178	1184	1095	847	526	302
4 15	36	505	806	1029	1117	1158	1150	1114	980	611	266	
4 45		205	601	914	1029	1102	1089	1014	813	389		
5 15			358	793	900	992	987	844	574	28		
5 45			34	528	752	838	818	624	307			
6 15				227	531	686	650	414				
6 45					254	459	408	86				
7 15					32	204	110					
7 45						5						
$I(a_R+a_M)$	418	552	655	787	857	915	902	838	742	597	476	403
$\frac{I(a_R+a_M)}{I(a_R)}$	57,6	61,8	63,1	65,3	65,8	66,8	67,1	67,0	66,8	63,6	60,7	58,4

Dnevne su količine ove radijacije za 23% (ljeti) i za 43% (zimi) manje od potencijalnih dnevnih količina u slučaju idealno čiste atmosfere.

### 3.1.2 *Intenzitet i količina na horizontalnoj plohi*

Razlika između intenziteta direktne radijacije pri mutnoj i pri čistoj atmosferi manja je na horizontalnoj plohi nego na plohi okomitoj prema zrakama. Dnevni hod (tab. 21) sličan je po obliku dnevnem hodu što ga ima radijacija kad je zrak bez aerosola, te se prijedodnevne od poslijepodnevni vrijednosti tako malo razlikuju, da ih u tablici i ne navodimo odvojeno. Dnevne količine takve radijacije iznose zimi 63%, a ljeti 73% od potencijalnih dnevnih količina u Rayleighovoj atmosferi.

### 3.1.3 *Intenzitet i količina na vertikalnim ploham*

Tablice 22-25 sadrže intenzitete i dnevne količine direktne radijacije koju primaju različito okrenute vertikalne plohe na tlu uz vedru i realnu, prosječno mutnu atmosferu. I tu nije bilo potrebno navoditi posebno prije- i poslijepodnevne vrijednosti.

Podaci pokazuju da aerosol osjetno smanjuje intenzitete i količine radijacije na vertikalnim ploham. Najmanje smanjenje (26% ljeti i 40% zimi) je na južnim ploham, a najveće na sjevernim (60 do 70%). To je zato što su južne plohe obasjane cijeli dan, a sjeverne samo u dva navrata i to onda kad je utjecaj aerosola na radijaciju najveći i optički put zračenja najduži.

Za vertikalnu plohu okrenutu jugozapadu podaci se posebno ne navode. Možemo ih dobiti iz tab. 25 zrcalnom simetrijom vrijednosti s obzirom na pravo podne.

Dobivene rezultate o prizemnoj direktnoj radijaciji u Zagrebu za slučaj vedre i prosječno mutne atmosfere usporedili smo s podacima *F. GAMSERA* i *K. VUJIČIĆ-GAMSER* (1967) koji se odnose na srednju vrijednost Linkeovog faktora mutnoće u Beogradu. Naše vrijednosti su veće od njihovih (ljeti i do 14%) preko cijele godine osim u studenu i prosincu. S obzirom da smo pretpostavili u ovom slučaju samo djelovanje vodene pare na otapanje i veličinu čestica aerosola, a ne i apsorpciju vodene pare, dok je u srednjoj vrijednosti Linkeovog faktora sadržan i takav utjecaj prosječne vlažnosti zraka, to su veće zagrebačke vrijednosti fizikalno opravdane. Uzrok relativno malim zagrebačkim

Tab 20 Dobiveni hod procentualnih količina direktne radijacije iz pojedinih dijelova spektra sadržanih u ukupnoj direktnoj radijaciji koja dolazi do tla kroz vedru i prosječno mutnu atmosferu nad Zagrebom pri određenom satnom kutu Sunca

t <sub>j</sub>	$\lambda < 0,52\mu$			$0,52 < \lambda < 0,71\mu$			$\lambda > 0,71\mu$		
	XII	III	VI	XII	III	VI	XII	III	VI
7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>									100
7 15			1			12			87
6 45			4			19			77
6 15			8			22			70
5 45		2	10		3	24		95	66
5 15		6	12		16	25		78	63
4 45		9	14		21	25		70	61
4 15		9	15		23	25		68	60
3 45	1	11	15	12	24	25	87	65	60
3 15	5	13	15	19	25	25	76	62	60
2 45	7	14	16	22	25	25	71	61	59
2 15	9	14	16	23	25	26	68	61	58
1 45	10	15	16	24	25	26	66	60	58
1 15	11	15	17	24	25	26	65	60	57
0 45	12	15	17	24	25	26	64	60	57
0 15	12	15	17	24	25	26	64	60	57

Tab. 21 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}$  cal cm<sup>-2</sup>min<sup>-1</sup>) prizemne direktne radijacije na horizontalnoj plohi uz vedru, i prosječno mutnu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu za određeni satni kut Sunca; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije (cal cm<sup>-2</sup>dan<sup>-1</sup>); omjer dnevnih količina prizemne direktne radijacije pri mutnoj i pri čistoj atmosferi (%)

t <sub>j</sub>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
7 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>					1	15	6					
6 45					27	72	55	3				
6 15				17	100	165	141	52				
5 45				88	206	271	247	136	28			
5 15			39	202	324	402	382	255	104	1		
4 45		12	118	312	455	536	510	393	219	43		
4 15	1	72	227	438	583	654	629	520	347	119	17	
3 45	45	158	346	575	690	752	729	645	474	232	72	70
3 15	86	257	464	676	798	848	824	741	606	337	154	84
2 45	194	350	569	759	869	923	907	831	691	438	250	144
2 15	277	449	643	833	941	995	978	907	768	538	326	219
1 45	339	531	704	901	993	1063	1050	977	833	615	386	283
1 15	396	588	757	948	1056	1121	1100	1021	880	665	439	338
0 45	435	622	794	975	1083	1162	1137	1058	915	697	479	368
0 15	458	644	819	1007	1114	1178	1159	1075	933	714	492	386
$I_H(a_F+a_M)$	134	221	329	464	554	609	591	517	408	264	157	114
$\frac{I_H(a_F+a_M)}{I_H(a_R)}$	63,2	67,8	68,3	70,7	70,9	72,3	72,8	72,7	72,3	69,4	66,4	66,1

Tab. 22 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3} \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije na vertikalnoj plohi okrenutoj prema sjeveru, uz vedru i prosječno mutnu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu za odredjeni satni kut Sunca; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ dan}^{-1}$ ), omjer dnevnih količina pri mutnoj i pri čistoj atmosferi (%)

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$7^{\text{h}} 45^{\text{m}}$						2						
7 15					13	97	50					
6 45					94	184	155	25				
6 15				37	142	217	191	87				
5 45				33	136	194	171	77				
5 15					84	145	122	27				
4 45					8	70	44					
$I_N(a_R+a_M)$				4	29	54	45	13				
$\frac{I_N(a_R+a_M)}{I_M(a_R)}$				30,0	33,6	40,1	43,1	42,1				

Tab. 23 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3} \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije na vertikalnoj plohi okrenutoj prema jugu, uz vedru i prosječno mutnu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu za odredjeni satni kut Sunca; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ dan}^{-1}$ ); omjer dnevnih količina pri mutnoj i pri čistoj atmosferi (%)

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$5^{\text{h}} 45^{\text{m}}$			1									
5 15			58	12					52	6		
4 45		75	152	97				56	147	127		
4 15	19	230	273	198	82	17	46	154	261	253	139	
3 45	256	383	404	311	174	106	135	258	381	419	313	192
3 15	336	538	530	406	272	199	220	348	506	557	497	429
2 45	615	667	643	489	340	265	298	434	593	680	684	563
2 15	768	803	719	561	407	331	365	507	671	803	798	726
1 45	864	914	783	627	454	390	427	570	735	892	882	846
1 15	956	980	839	674	513	439	473	616	784	947	955	943
0 45	1016	1020	878	699	537	472	505	651	820	982	1010	984
0 15	1052	1047	905	730	563	487	523	666	838	1000	1028	1013
$I_S(a_R+a_M)$	53	399	371	288	261	162	180	256	347	400	378	342
$\frac{I_S(a_R+a_M)}{I_S(a_R)}$	50,4	65,5	67,8	72,1	73,7	75,5	75,7	75,2	73,4	67,2	63,8	62,0

Tab. 24 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije na vertikalnoj plohi okrenutoj prema istoku ( $t_j < 0$ ) odnosno prema zapadu ( $t_j > 0$ ) uz vedru i prosječno mutnu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu za određeni satni kut Sunca; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije ( $\text{cal cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ); omjer dnevnih količina pri mutnoj i pri čistoj atmosferi (%)

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	XI	X	XI	XII
$7^{\text{h}}45^{\text{m}}$						4						
7 15					27	174	94					
6 45					242	409	367	80				
6 15				219	496	623	595	395				
5 45			32	514	704	762	752	609	298			
5 15			345	761	831	885	895	795	553	26		
4 45		186	565	880	921	956	956	927	762	359		
4 15	30	436	717	906	943	950	955	960	871	536	226	
3 45	323	576	794	934	905	898	906	951	902	691	412	228
3 15	343	643	802	870	838	818	835	874	896	724	529	418
2 45	505	633	752	772	743	731	742	781	795	695	584	443
2 15	497	594	644	659	634	622	631	665	679	636	535	450
1 45	422	513	518	520	513	503	512	536	546	526	445	397
1 15	326	378	383	388	375	371	376	391	399	388	337	309
0 45	205	232	235	237	229	228	230	240	244	236	210	192
0 15	70	79	79	80	77	77	77	80	82	80	70	66
$I_E(a_R+a_M)$	82	128	176	229	254	270	268	249	211	147	100	75
$\frac{I_E(a_R+a_M)}{I_E(a_R)}$	49,2	56,1	56,4	61,8	60,4	62,1	63,5	62,7	63,6	56,0	56,7	55,2

Tab. 25 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije na vertikalnoj plohi okrenutoj prema jugoistoku uz vedru i prosječno mutnu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu za određeni satni kut Sunca; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije ( $\text{cal cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ); omjer dnevnih količina pri mutnoj i pri čistoj atmosferi (%)

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$-7^{\text{h}}15^{\text{m}}$						8	54	31				
-6 45					105	159	150	36				
-6 15				129	250	287	285	218				
-5 45			23	340	402	402	410	376	210			
-5 15			284	548	524	524	546	544	428	18		
-4 45		184	557	672	646	626	645	694	643	344		
-4 15	31	471	745	780	726	684	708	788	800	558	258	
-3 45	409	679	882	880	763	709	736	855	907	785	512	297
-3 15	480	835	962	903	785	719	747	863	1035	906	726	596
-2 45	792	919	984	892	766	705	734	858	981	972	896	714
-2 15	894	988	960	863	736	674	705	828	955	1017	944	832
-1 45	909	1004	917	819	681	631	664	782	906	1003	938	879
-1 15	907	961	861	751	628	572	600	713	836	944	914	886
-0 45	863	886	785	662	541	495	520	630	752	861	793	831
-0 15	794	796	694	573	453	398	425	528	650	764	777	763
0 15	694	685	582	463	344	298	315	414	534	651	681	670
0 45	573	558	454	327	218	172	195	291	406	526	566	563
1 15	443	427	322	202	98	46	69	159	273	396	500	449
1 45	315	289	215	68				24	134	259	310	319
2 15	193	149	53							119	188	196
2 45	78	25									72	86
3 15												8
$I_{SE}(a_R+a_M)$	251	296	308	296	260	245	254	288	314	304	272	243
$\frac{I_{SE}(a_R+a_M)}{I_{SE}(a_R)}$	58,8	63,5	64,0	66,8	67,0	69,1	69,3	68,5	67,7	64,4	63,0	62,0

vrijednostima početkom zime može biti ili mnogo veća mutnoća atmosfere u to doba nad Zagrebom nego nad Beogradom, ili nedovoljan broj vedrih dana iz kojih su izvedeni naši podaci o mutnoći. U to doba su naime vedri dani u Zagrebu vrlo rijetki.

### 3.2 Difuzna radijacija

Intenzitet difuzne radijacije pri vedroj i realnoj atmosferi, u kojoj promatramo utjecaj aerosola i to uz pretpostavku da čestice samo raspršavaju radijaciju, računa se pomoću izraza:

$$d(a_R + a_M) = 0,5i_0 (e^{-c_R(t_j) \cdot m(t_j)} - e^{-[a_R(t_j) + a_M(t_j)]m(t_j)}) \sin \gamma' \quad (30)$$

a dnevna količina po relaciji:

$$D(a_R + a_M) = \sum_{-t_n}^{+t} d(a_R + a_M) \cdot \Delta t \quad \text{cal cm}^{-2} \text{ dan}^{-1} \quad (31)$$

Uvrstivši vrijednosti ekstinkcionih koeficijenata  $a_R(t_j)$  i  $a_M(t_j)$  (I. PENZAR, 1970) izvedene iz teorijskih razmatranja, gdje  $a_M(t_j)$  uključuje srednje empiričke iznose mutnoće u Zagrebu, izračunali smo intenzitete i dnevne količine difuzne radijacije za 16. dan u mjesecu kao i u prethodnim poglavljima. Pokazalo se da aerosol povećava raspršavanje radijacione energije. Uz prosječnu mutnoću difuzna radijacija na horizontalnoj plohi iznosi i do 290% od one koja odgovara idealno čistoj atmosferi. Osim toga prisutnost aerosola bitno djeluje na sastav raspršene radijacije. U prosječno mutnom zraku difuzna se radijacija sastoji od 41% kratkovalnih zraka, 25% osnovnih vidljivih i 34% dugovalnih. Taj odnos se preko dana i godine bitno ne mijenja. (Tab. 26 i 27).

Naši rezultati uspoređeni s izmjerenim vrijednostima difuzne radijacije na Puntijarki (tab. 12) pokazuju da bi preko dana uz prosječno mutnu atmosferu podloga u Zagrebu mogla dobiti nešto više difuzne radijacije nego što je prima podloga na Puntijarki pri vedroj, slabo mutnoj i prosječno vlažnoj atmosferi. Izračunate vrijednosti za Zagreb su dakle onog reda veličine koji se u realnosti može postići.

Tab. 26 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) prizemne difuzne radijacije na horizontalnoj plohi uz vedru i prosječno mutnu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu pri određenom satnom kutu Sunca; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije (cal  $\text{cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ); omjer dnevnih količina pri mutnoj i pri čistoj atmosferi (%)

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>					8	27	20					
7 15					16	55	40	18				
6 45				27	72	98	86	37				
6 15				55	114	128	120	83	21			
5 45			37	101	142	153	146	121	63	10		
5 15		23	75	129	161	167	158	145	108	21		
4 45	14	46	118	158	179	178	172	158	134	77	22	
4 15	29	93	146	175	191	192	186	173	152	116	45	13
3 45	76	123	164	184	208	210	206	184	165	126	87	26
3 15	120	145	176	202	228	234	221	202	170	154	112	82
2 45	128	160	189	220	243	243	235	218	189	166	124	109
2 15	140	164	205	235	253	255	248	228	203	171	139	122
1 45	152	168	219	245	260	261	252	236	214	177	152	132
1 15	157	175	226	254	262	263	258	245	223	186	159	138
0 45	161	181	231	258	263	264	261	249	228	192	163	143
0 15	162	182	232	259	264	265	262	251	232	195	166	145
$D(a_R+a_M)$	68	88	121	150	172	180	172	153	126	96	70	55
$\frac{D(a_R+a_M)}{D(a_R)}$	235	250	280	283	289	285	281	277	264	257	237	214

Tab. 27 Dnevni hod procentualnih količina difuzne radijacije iz pojedinih dijelova spektra sadržanih u ukupnoj difuznoj radijaciji koja dolazi do tla kroz vedru i prosječno mutnu atmosferu nad Zagrebom pri određenom satnom kutu Sunca

$ t_j $	$\lambda < 0,52\mu$			$0,52 < \lambda < 0,71\mu$			$\lambda > 0,71\mu$			
	XII	III	VI	XII	III	VI	XII	III	VI	
7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>			30			30			40	
7 15			33			27			40	
6 45			33			27			40	
6 15			35			26			40	
5 45			30	36		30	25		40	39
5 15			32	37		28	24		40	39
4 45			35	37		28	24		40	39
4 15	34	38	38		30	26	24	36	36	38
3 45	36	39	39		28	26	24	36	35	37
3 15	37	39	39		28	26	24	35	35	37
2 45	38	40	40		27	25	24	35	35	37
2 15	39	40	40		27	25	23	34	35	37
1 45	40	40	40		27	25	23	33	35	37
1 15	41	41	41		27	24	23	32	35	36
0 45	41	41	41		27	24	23	32	35	36
0 15	42	41	41		27	24	23	31	35	36



### 3.3 Globalna radijacija

Dosadašnje razmatranje pokazuje da se prisutnost aerosola očituje na smanjenju direktne radijacije i na povećanju difuzne. Kako je globalna radijacija jednaka zbroju tih dviju, ne može se unaprijed znati kako će aerosol na nju djelovati.

Tab. 28 pokazuje da u prosječno mutnoj atmosferi uz vedro nebo do tla u Zagrebu dolazi između 13% (ljeti) i 16% (zimi) manje ukupne radijacije, nego kad bi zrak bio suh i čist. To znači da u mutnoj atmosferi ipak prevladava slablje nje direktne radijacije nad povećanjem difuzne, ali znači i to da je udio difuzne u globalnoj veći nego u čistoj atmosferi. Najbolje se to vidi iz omjera  $d(a_R+a_M)/g(a_R+a_M)$ , koji dajemo za dva datuma u postocima:

t	0 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	1 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	2 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	3 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	4 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	5 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	6 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	7 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>
16.VI	18,3	19,0	20,4	21,6	22,6	29,3	43,0	78,5	100,0
16.XII	27,3	28,9	35,7	49,3	100,0				

Okolo podne je postotak difuzne u globalnoj radijaciji najmanji, a idući prema sumraku postaje sve veći. Dok je u Rayleighovim uvjetima u podne iznosio samo 5% (16.VI) i 10% (16.XII), aerosol ga povećava na 18% odnosno 27%.

Spektralni sastav globalne radijacije u mutnoj atmosferi (tab. 29) bitno se razlikuje od onog u čistoj samo u sumraku, zbog jakog djelovanja aerosola na sastav raspršene radijacije kao što smo to već naveli.

Iz podataka o globalnoj radijaciji za 16. dan u mjesecu, koje smo izračunali, može se lako grafičkom interpolacijom odrediti dnevni hod takve radijacije za bilo koji dan u godini. To smo učinili za 1.X i vrijednosti usporedili s mjerenjima 1.X 1965. Odstupanja računskih količina  $T$  od izmjerenih  $M$  iznose:

sat	6- 7	7- 8	8- 9	9-10	10-11	11-12	
T-M	+0,1	+0,2	+6,6	+10,2	+8,4	+8,5	cal cm <sup>-2</sup> sat <sup>-1</sup>
sat	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	
T-M	+9,1	+9,0	+9,6	+8,4	+4,6	+2,5	cal cm <sup>-2</sup> sat <sup>-1</sup>

Odstupanja su pozitivna, što fizikalno odgovara, jer u računskim vrijednostima nije uvažena apsorpcija vodene pare, koje je u stvarnoj atmosferi svakako bilo.

Tab. 28 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) prizemne globalne radijacije na horizontalnoj plohi uz vedru i prosječno mutnu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu pri odredjenom satnom kutu Sunca; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije (cal  $\text{cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ); omjer dnevnih količina pri mutnoj i pri čistoj atmosferi (%)

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>					8	27	20					
7 15					17	70	46	18				
6 45				27	99	170	141	40				
6 15				72	214	297	261	135	21			
5 45			37	189	348	424	393	257	91	10		
5 15		23	114	331	485	569	540	400	212	22		
4 45	14	58	236	470	634	714	682	551	353	120	22	
4 15	30	164	373	613	774	846	815	693	499	235	62	13
3 45	121	281	510	759	898	962	935	829	639	358	159	96
3 15	206	402	640	878	1026	1082	1045	943	776	491	266	166
2 45	322	510	758	979	1112	1165	1142	1049	880	604	374	253
2 15	417	613	848	1068	1194	1250	1227	1135	971	709	465	341
1 45	491	699	923	1146	1253	1324	1302	1213	1047	792	538	415
1 15	573	763	983	1202	1318	1384	1358	1266	1103	851	598	476
0 45	596	803	1025	1233	1346	1426	1398	1307	1143	889	642	511
0 15	620	826	1051	1266	1378	1443	1421	1326	1165	909	658	531
$G(a_R+a_M)$	203	309	450	614	726	789	764	670	534	359	227	168
$\frac{G(a_R+a_M)}{G(a_R)}$	84	85	86	86	87	87	87	88	88	86	85	85

Tab. 29 Dnevni hod procentualnih količina globalne radijacije iz pojedinih dijelova spektra sadržanih u globalnoj radijaciji cijelog spektra, koja dolazi do tla kroz vedru i prosječno mutnu atmosferu nad Zagrebom pri odredjenom satnom kutu Sunca

$ t_j $	$\lambda < 0,52\mu$			$0,52 < \lambda < 0,71\mu$			$\lambda > 0,71\mu$		
	XII	III	VI	XII	III	VI	XII	III	VI
7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>			(30)			(30)			(40)
7 15			20			23			57
6 45			20			24			56
6 15			20			24			56
5 45		(30)	20		(30)	25		(40)	55
5 15		20	20		24	25		56	55
4 45		20	21		24	25		56	54
4 15	(34)	20	21	(30)	24	25	(36)	56	54
3 45	19	20	21	22	25	25	59	55	54
3 15	20	21	21	23	25	25	57	54	54
2 45	20	21	21	24	25	25	56	54	54
2 15	20	21	21	25	25	25	55	54	54
1 45	20	21	21	25	25	25	55	54	54
1 15	20	21	21	25	25	25	55	54	54
0 45	20	21	21	25	25	25	55	54	54
0 15	20	21	21	25	25	25	55	54	54

Analiza solarigrafom izmjerenih dnevnih količina globalne radijacije na Griču na potpuno vedre dane pokazala je da u razdoblju 1957-1968 te količine nisu prekoračile računске vrijednosti koje se odnose na prosječno mutnu atmosferu.

#### 4. PRIZEMNE VRIJEDNOSTI RADIJACIJE UZ VEDRU, PROSJEČNO MUTNU I VLAŽNU ATMOSFERU

Fizikalni i meteorološki faktori su u atmosferi vrlo promjenljivi. Zbog toga se mijanjaju uvjeti za prijenos radijacije do tla. Teorijskim razmatranjem prizemnih vrijednosti zračenja ne mogu se obuhvatiti svi mogući slučajevi mutnoće, vlage i stanja atmosfere, već se to može učiniti samo za određene primjere. S obzirom da nam je iz dosad prikupljenog empiričkog materijala poznata prosječna mutnoća i vlaga zagrebačke atmosfere, prikazat ćemo ovdje neke teorijske vrijednosti zračenja koje proizlaze uz te uvjete i uz uvjet da je nebo vedro.

Da bismo uvažili prosječno djelovanje vodene pare na Sunčevu radijaciju potrebno je poznavati odgovarajući ekstinkcioni koeficijent vodene pare  $a_V(t_j)$ . Vrijednosti tog koeficijenta izvedene su iz empiričkog materijala mjerenja direktne radijacije u Zagrebu (I. PENZAR, 1970). Prizemne vrijednosti radijacije koja je prošla kroz vedru, prosječno mutnu i vlažnu atmosferu dobiju se tako da odgovarajuće vrijednosti iz poglavlja 3 pomnožimo još faktorom

$$e^{-a_V(t_j) \cdot m(t_j)}$$

#### 4.1 Direktna radijacija

##### 4.1.1 Intenzitet i količina na plohi okomitoj na upadne zrake

Radijacija  $i(a)$  sadržana u cijelom spektru ima nakon prolaza kroz mutnu i vlažnu atmosferu gotovo simetričan hod s obzirom na gornju kumulaciju Sunca (tab. 30). Njene prizemne dnevne količine iznose od 30% (zimi) do 42% (ljeti) onih količina koje bi ploha okomita na zrake primila preko dana na vrhu atmosfere.

Tab. 30 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije u cijelom spektru uz vedru, prosječno mutnu i vlažnu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu za određeni satni kut ( $t_j$ ) Sunca; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije (cal  $\text{cm}^{-2}$  (n-)); omjer dnevnih količina pri mutnoj i vlažnoj i pri čistoj i suhoj atmosferi (%); omjer prizemnih i ekstraterestričkih vrijednosti (%); odstupanje beogradskih odnosno austrijskih vrijednosti od zagrebačkih (%)

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>						2						
-7 15					26	74	51					
-6 45					120	293	280	38				
-6 15				52	418	495	448	172				
-5 45			30	233	529	617	607	357	93			
-5 15			151	501	690	786	763	576	287	16		
-4 45		71	362	696	852	916	879	759	526	167		
-4 15	28	240	572	824	946	954	942	890	712	357	99	
-3 45	183	456	731	967	973	970	966	962	846	590	295	115
-3 15	409	620	861	1003	1006	985	989	983	966	738	512	338
-2 45	574	746	954	1017	1021	1012	1003	1006	986	847	620	553
-2 15	728	876	972	1032	1039	1025	1012	1017	1008	953	807	707
-1 45	806	962	994	1048	1055	1045	1036	1029	1020	1011	906	805
-1 15	879	999	1015	1057	1075	1075	1051	1041	1030	1028	958	889
-0 45	918	1015	1030	1065	1082	1090	1070	1052	1040	1037	999	910
-0 15	941	1031	1052	1081	1097	1095	1078	1068	1046	1040	1006	934
0 15	941	1031	1052	1081	1097	1095	1078	1068	1046	1040	1006	934
0 45	914	1016	1030	1067	1082	1091	1071	1052	1041	1037	999	911
1 15	876	998	1014	1057	1075	1075	1053	1041	1031	1028	960	890
1 45	812	968	995	1048	1056	1048	1044	1031	1022	1011	909	807
2 15	731	882	973	1033	1040	1026	1020	1018	1010	954	810	710
2 45	580	754	956	1018	1022	1013	1012	1007	986	851	623	560
3 15	412	629	864	1004	1006	987	989	983	968	746	514	345
3 45	185	459	731	968	973	972	966	969	847	591	296	118
4 15	30	237	575	825	945	954	947	898	714	356	102	
4 45		68	362	697	851	916	879	760	525	167		
5 15			149	509	693	788	763	579	283	16		
5 45			30	233	530	620	607	366	88			
6 15				58	420	492	445	176				
6 45					119	295	280	41				
7 15					25	72	49					
7 45						2						
I(a)	328	422	524	635	716	747	731	658	574	468	373	316
I(a)/I(a <sub>R</sub> )	45,2	47,3	50,4	52,7	54,5	54,5	54,4	52,9	51,7	49,8	47,6	45,9
(I(a)/I <sub>0</sub> )	30,1	33,9	37,2	40,2	41,7	41,8	41,8	40,6	39,4	36,3	33,0	30,3
[I <sub>B</sub> -I(a)]:I(a)	29,9	27,9	19,8	13,7	7,8	6,8	6,1	10,6	15,7	24,3	32,4	32,2
[I <sub>A</sub> -I(a)]:I(a)	30,2	28,9	26,9	17,9	18,1	18,6	17,7	20,6	24,2	20,3	22,2	22,5

Dobivene teorijske podatke ( $T$ ), koji se odnose na 16. dan u mjesecu i na prosječnu mutnoću i vlagu, usporedili smo sa srednjim intenzitetima direktne radijacije ( $M$ ) izvedenim iz instrumentalnih mjerenja (*I. PENZAR 1968*). Teorijske vrijednosti veće su od empiričkih približno za desetinku  $\text{cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$  i to prije podne i uz veće optičke mase poslije podne, dok se podnevne vrijednosti bitno ne razlikuju. S obzirom da instrumentalni podaci imaju velik rasap s laganje srednjih vrijednosti dobivenih mjerenjem i onih određjenih računski za prosječnu mutnoću vrlo je dobro kako se to vidi iz slijedećih podataka:

	Prije podne					Podne		Poslije podne				
m	3,0	2,5	2,0	1,5	1,2	-	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	
T	0,75	0,85	0,91	1,02	1,09	1,04	1,09	1,03	0,92	0,85	0,75	
M	0,67	0,75	0,80	0,88	0,99	1,03	1,07	1,04	0,88	0,76	0,67	
T-M	0,08	0,10	0,11	0,14	0,10	0,01	0,02	-0,01	0,04	0,09	0,08	

Usporedili smo osim toga naše teorijske rezultate s instrumentalnim beogradskima (*GAMSER i VUJIČIĆ-GAMSER 1967*) i austrijskima koji se odnose na 200 m nadmorske visine (*SAUBERER i DIRMHIRN 1958*). Procentualno odstupanje beogradskih količina od zagrebačkih ljeti je vrlo maleno (6-7%), a zimi znatno (32%), dok je takvo odstupanje austrijskih količina - koje se ne odnose na grad - preko cijele godine relativno veliko (18% ljeti i 30% zimi). Zagrebačke količine su cijele godine manje od beogradskih i austrijskih, što znači da je ovdje atmosfera u prosjeku mutnija.

Po spektralnom sastavu (tab. 31) direktna se radijacija sredinom dana sastoji od 52% infracrvenih, 30% osnovnih boja svjetlosti iz vidljivog dijela spektra te 18% plavih zraka. Kad je sunce blizu horizonta udio plavih je znatno manji, a udio vidljivih i dugovalnih veći.

#### 4.1.2 Intenzitet i količina na horizontalnoj plohi

Za ovaj slučaj navodimo vrijednosti koje se odnose na ukupnu radijaciju i to za jednu polovicu dana, jer su razlike za drugu polovicu zanemarlivo malene (tab. 32). Dnevne količine takve radijacije iznose zimi 52%, a ljeti 60% od potencijalnih dnevnih količina u Rayleighovoj atmosferi. Procentualno odstupanje beogradskih količina od tih zagrebačkih kreće se između 6 i 29%, dakle slično kao i u prethodnom slučaju.

Tab. 31 Dnevni hod procentualnih količina prizemne direktne radijacije iz pojedinih dijelova spektra sadržanih u direktnoj radijaciji cijeloga spektra koja dolazi do tla kroz vedru, prosječno mutnu i vlažnu atmosferu nad Zagrebom uz određeni satni kut Sunca

t <sub>j</sub>	$\lambda < 0,52\mu$			$0,52 < \lambda < 0,71\mu$			$\lambda > 0,71\mu$		
	XII	III	VI	XII	III	VI	XII	III	VI
7 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>			3			33			64
6 45			10			31			59
6 15			13			31			56
5 45			16			31			53
5 15		6	17		38	31		56	52
4 45		10	17		34	31		56	52
4 15		12	18		33	31		55	51
3 45	4	14	18	33	32	31	63	54	51
3 15	7	16	18	31	31	31	62	53	51
2 45	10	17	19	29	30	30	61	53	51
2 15	11	17	19	29	30	30	60	53	51
1 45	13	17	19	29	30	30	58	53	51
1 15	14	17	19	28	30	30	58	53	51
0 45	14	18	19	28	30	30	58	52	51
0 15	14	18	20	28	30	30	58	52	50

Tab. 32 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije na horizontalnoj površini uz vedru, prosječno mutnu i vlažnu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu za određeni satni kut ( $t_j$ ) Sunca; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije (cal  $\text{cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ); omjer dnevnih količina pri mutnoj i vlažnoj i pri suhoj i čistoj atmosferi (%); omjer prizemnih i ekstraterestričkih vrijednosti (%), te odstupanje beogradskih vrijednosti od zagrebačkih (%)

t <sub>j</sub>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	XI	X	XI	XII
7 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>					1	6	3					
6 45					12	47	38	2				
6 15					79	120	99	22				
5 45				39	146	201	185	77	9			
5 15			17	129	249	321	297	176	53	1		
4 45		4	72	239	379	440	414	296	143	19		
4 15	1	35	162	352	496	541	517	420	253	70	6	
3 45	20	101	265	488	583	621	602	527	368	162	41	8
3 15	74	182	374	578	681	705	682	608	490	256	106	47
2 45	139	265	476	650	746	774	752	686	565	347	166	109
2 15	215	359	538	715	811	836	812	747	632	443	259	176
1 45	274	437	596	774	859	897	874	803	685	516	330	234
1 15	327	489	644	817	921	957	922	846	728	560	380	287
0 45	363	519	678	842	944	994	962	879	760	589	421	313
0 15	382	539	705	873	977	1010	981	905	777	603	434	332
$I_H(a)$	108	176	272	390	473	508	488	420	328	214	129	90
$I_H(a)/I_H(a_R)$	50,8	53,9	56,4	59,4	60,5	60,3	60,1	59,0	58,1	56,3	54,4	52,5
$I_H(a)/I_{O,H}$	38,6	41,7	45,0	48,5	49,9	50,2	49,8	48,8	48,4	44,3	40,5	37,4
$[I_{H,B} - I_H(a)] : I_H(a)$	20,3	19,3	15,4	9,7	9,0	5,9	6,6	9,5	12,2	21,5	28,7	28,7

4.1.3 *Intenzitet i količina na vertikalnim ploham*

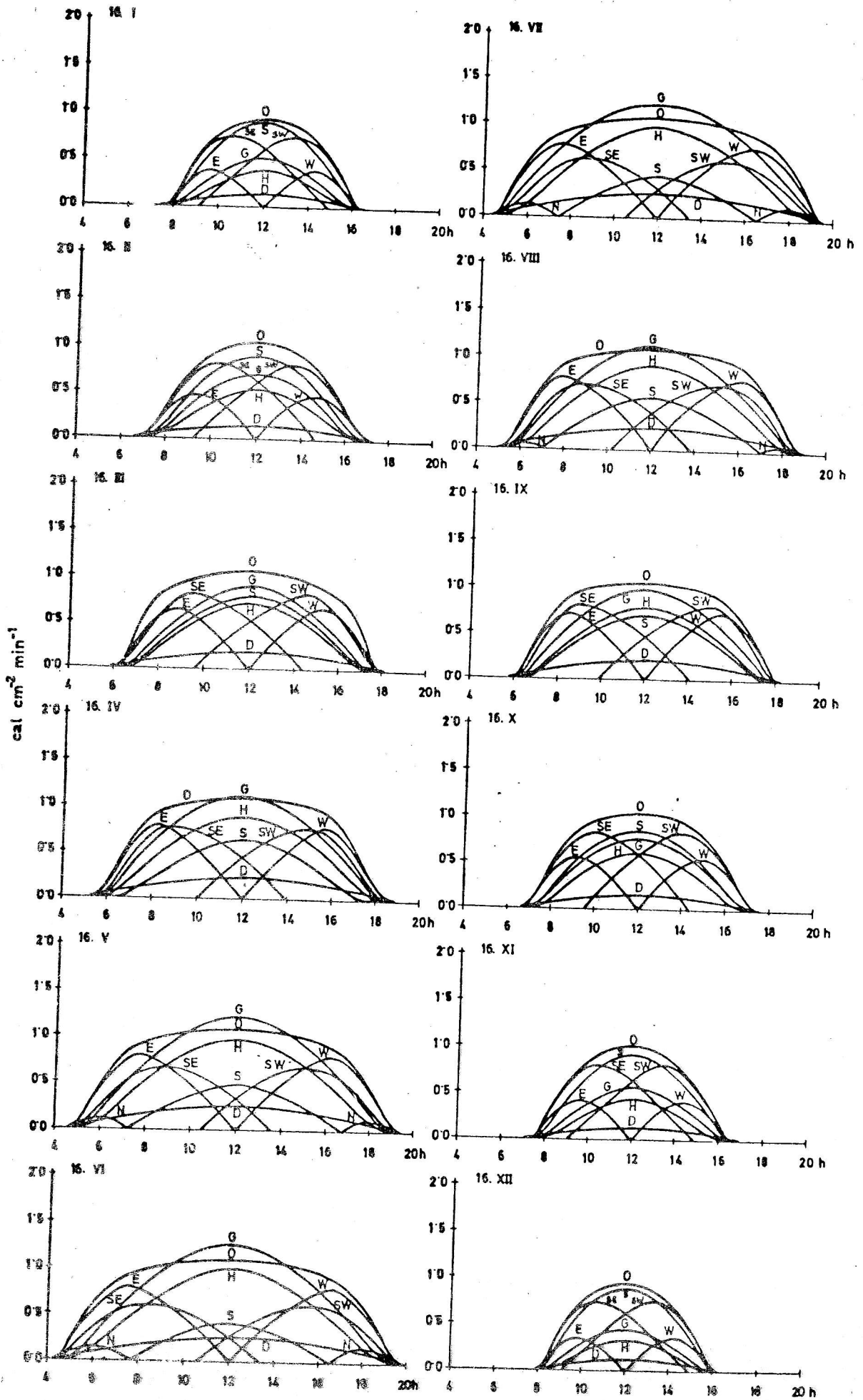
Prizemne vrijednosti direktne radijacije koja dolazi na različito orijentirane vertikalne plohe uz vedru, prosječno mutnu i vlažnu atmosferu sadrže tab. 33 do 36. One pokazuju da prizemne sjeverne plohe preko dana mogu u najboljem slučaju dobiti samo 17%, a južne do 55% one energije koju bi dobile da su izvan atmosfere. Ostale vertikalne plohe primaju veći procenat radijacije od sjevernih, a manji od južnih površina.

Za vertikalnu plohu okrenutu jugozapadu podaci se mogu dobiti iz tab. 34 zrcalnom simetrijom s obzirom na pravo podne.

Od navedenih rezultata možemo one za južnu plohu (tab. 35) usporediti s beogradskim. Procentualno odstupanje tih podataka u ovom je slučaju ljeti neznatno (oko 1%), ali se idući prema zimi naglo povećava na 29%.

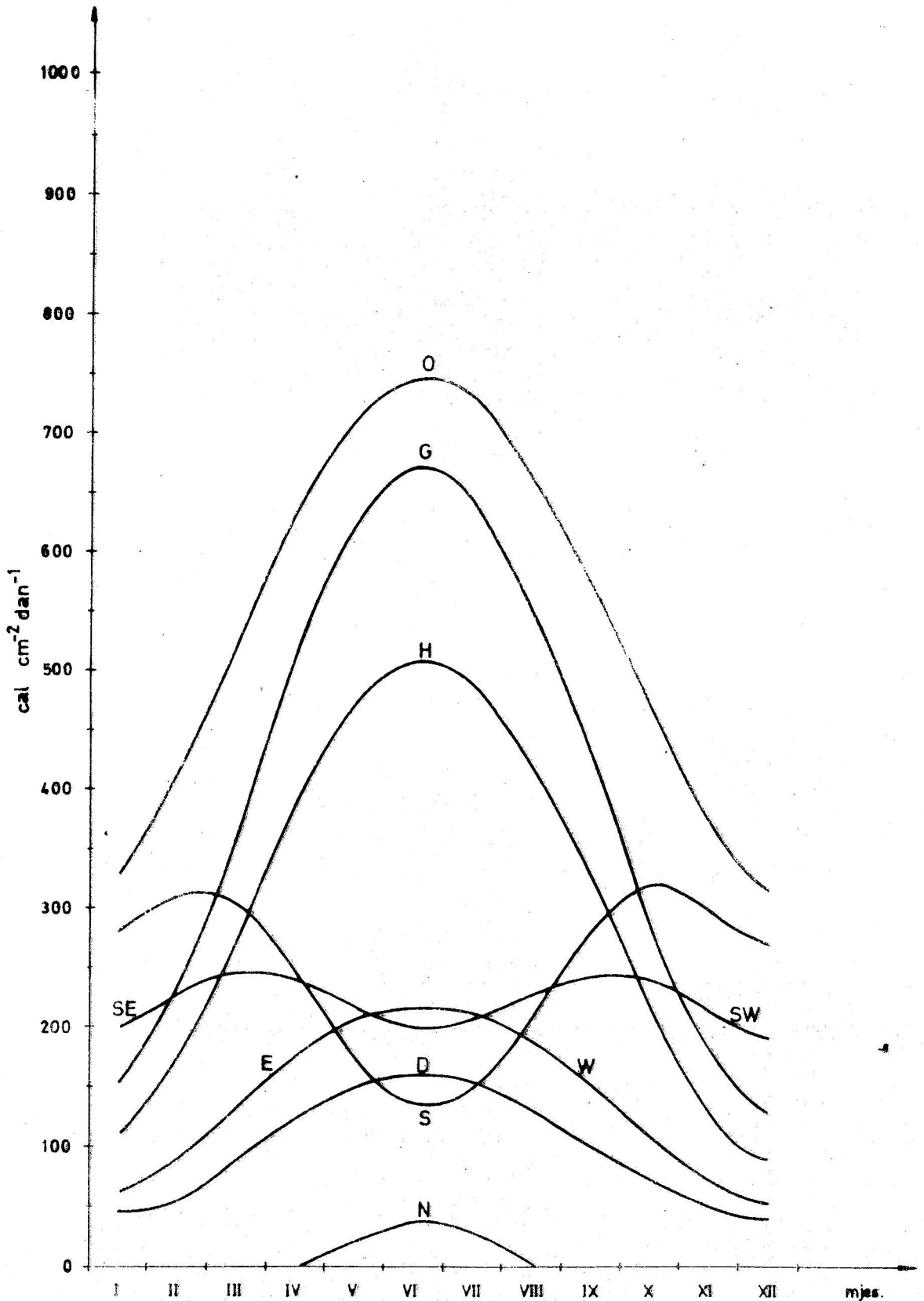
Tab. 33 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije na vertikalnoj površini okrenutoj prema sjeveru uz vedru, prosječno mutnu i vlažnu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu za odredjeni satni kut ( $t$ ) Sunca; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije ( $\text{cal cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ); omjer dnevnih količina pri mutnoj i vlažnoj i pri suhoj i čistoj atmosferi (%), te omjer prizemnih i ekstraterestričkih vrijednosti (%)

$ t $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$7^{\text{h}}45^{\text{m}}$						2						
7 15					12	36	24					
6 45					43	118	108	12				
6 15				9	113	158	138	37				
5 45				15	96	144	129	44				
5 15					65	116	95	18				
4 45					7	59	36					
$I_N(a)$				1	20	38	32	7				
$\frac{I_N(a)}{I_N(a_R)}$				10,0	23,7	28,0	30,3	16,8				
$\frac{I_N(a)}{I_{O,N}}$				3,8	16,7	17,1	16,8	8,5				



Sl. 3 Dnevni hod prizemnih intenziteta direktne, difuzne i globalne Sunčeve radijacije uz vedru, mutnu i vlažnu atmosferu u Zagreb; oznake na krivuljama su iste kao na sl. 1.





Sl. 4 Godišnji hod dnevnih količina prizemnih vrijednosti direktne difuzne i globalne Sunčeve radijacije za vedru, prosječno mutnu i vlažnu atmosferu nad Zagrebom; oznake su iste kao na sl. 1.

Primjeri dnevnog hoda intenziteta prizemne radijacije koja je prosia kroz prosječno mutnu i vlažnu atmosferu, nalaze se na slici 3, a godišnjeg hoda na slici 4. Usporedimo li ove slike sa slikama 1 i 2 onda vidimo kako se vrijednosti razlikuju kad radijacija prolazi kroz mutnu i vlažnu atmosferu od onih vrijednosti koje dobivamo kad prolazi kroz suhu i čistu atmosferu. Naročito veliko smanjenje intenziteta imamo u ranim jutarnjim i kasnim večernjim satima (usporedi sliku 3 sa slikom 1). Dnevne količine su osjetno smanjene kroz cijelu godinu na svim plohama, a naročito na plohi okrenutoj prema sjeveru (usporedi sliku 2 sa slikom 4).

Tab. 34 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije na vertikalnoj površini okrenutoj prema jugoistoku uz vedru, prosječno mutnu i vlažnu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu za određeni satni kut ( $t$ ) Sunca; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije (cal  $\text{cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ); omjer dnevnih količina pri mutnoj i vlažnoj i pri suhoj i čistoj atmosferi (%), te omjer prizemnih i ekstraterestričkih vrijednosti (%)

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-7 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>					7	20	15					
-6 45					48	103	104	16				
-6 15				30	199	209	199	92				
-5 45			22	151	285	298	308	213	65			
-5 15			122	349	407	419	425	374	217	11		
-4 45		65	307	514	536	523	524	524	420	150		
-4 15	25	227	500	627	617	566	582	635	585	330	18	
-3 45	184	436	646	747	645	585	608	697	705	551	289	114
-3 15	411	590	758	771	670	598	618	710	838	686	501	333
-2 45	567	697	822	763	657	591	608	708	801	772	595	540
-2 15	695	790	806	740	634	567	584	682	785	837	750	667
-1 45	733	823	777	704	590	533	553	644	747	842	801	734
-1 15	750	797	733	647	547	489	502	591	672	795	792	751
-0 45	729	738	670	572	473	423	440	524	624	728	757	708
-0 15	662	666	596	496	397	342	359	444	541	645	685	656
0 15	580	573	500	402	302	249	266	349	444	550	600	576
0 45	475	465	386	283	190	147	165	242	337	445	496	478
1 15	367	353	273	174	85	40	58	132	226	333	380	380
1 45	254	238	193	57				20	110	216	264	262
2 15	150	119	45							97	149	157
2 45	56	18									47	65
3 15												4
$I_{SE(SW)}(a)$	199	228	245	241	219	201	208	228	244	240	214	193
$I_{SE}(a)$	46,6	48,9	50,0	54,4	56,2	56,8	56,5	54,2	53,3	50,8	49,4	49,2
$\frac{I_{SE}(a)}{I_{SE}(a_R)}$												
$I_{SE}(a)/I_{0,SE}$	31,6	35,3	37,8	41,8	44,1	45,1	44,6	42,5	40,7	37,4	34,3	31,8

Tab. 35 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije na vertikalnoj površini okrenutoj prema jugu uz vedru, prosječno mutnu i vlažnu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu za određeni satni kut ( $t_j$ ) Sunca; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije ( $\text{cal cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ); omjer dnevnih količina pri mutnoj i vlažnoj i pri suhoj i čistoj atmosferi (%); omjer prizemnih i ekstraterestričkih vrijednosti (%), te odstupanje beogradskih vrijednosti od zagrebačkih (%)

$t_j$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
5 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>			1									
5 15			25	9					26	4		
4 45		27	92	74				42	102	55		
4 15	15	111	195	159	70	14	38	125	191	149	52	
3 45	115	246	309	264	147	87	112	211	296	294	177	74
3 15	287	380	428	347	232	165	183	286	410	422	343	240
2 45	440	506	537	419	292	223	248	357	483	558	454	426
2 15	597	643	603	481	351	278	304	418	551	661	635	582
1 45	697	749	663	539	392	329	355	469	606	749	740	697
1 15	790	813	713	580	447	374	396	511	649	798	830	799
0 45	846	851	749	604	469	403	427	541	680	830	886	839
0 15	879	876	778	632	495	417	443	561	697	844	905	871
$I_S(a)$	280	312	306	247	174	137	150	211	282	322	301	272
$I_S(a)/I_S(a_R)$	47,1	51,1	55,8	61,6	63,8	63,9	63,4	62,1	59,5	54,1	50,8	49,3
$I_S(a)/I_{O,S}$	32,4	38,0	44,3	51,7	54,2	54,7	54,1	52,6	48,8	41,5	35,8	32,3
$[I_{S,B} - I_S(a)] : I_S(a)$	23,6	23,1	15,0	7,7	4,6	0,7	1,3	3,3	9,9	18,0	27,6	29,4

Tab. 36 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) prizemne direktne radijacije na vertikalnoj površini okrenutoj prema istoku odnosno zapadu uz vedru, prosječno mutnu i vlažnu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu za određeni satni kut ( $t_j$ ) Sunca; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije ( $\text{cal cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ); omjer dnevnih količina pri mutnoj i vlažnoj i pri suhoj i čistoj atmosferi (%), te omjer prizemnih i ekstraterestričkih vrijednosti (%)

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>						2						
7 15					23	65	45					
6 45					111	264	256	36				
6 15				51	395	453	416	166				
5 45			30	229	499	563	564	346	93			
5 15			148	484	640	708	697	548	281	15		
4 45		66	344	651	765	799	777	700	498	157		
4 15	25	210	513	728	802	786	787	774	637	317	84	
3 45	152	370	607	792	765	741	748	776	702	485	232	88
3 15	294	455	647	743	715	680	692	718	724	548	364	234
2 45	362	480	629	661	636	612	616	644	649	552	388	335
2 15	387	475	539	565	545	513	523	548	558	523	425	361
1 45	340	416	439	446	441	424	427	441	450	442	380	327
1 15	270	314	326	335	327	317	314	325	331	327	292	262
0 45	171	193	201	204	200	195	195	199	203	200	185	163
0 15	58	66	68	69	68	66	66	67	68	68	62	56
$I_{E(W)}(a)$	62	91	135	179	208	216	214	189	156	109	72	55
$I_E(a)/I_E(a_R)$	37,2	40,1	43,1	48,1	49,4	49,5	50,7	47,6	47,0	41,6	40,9	40,3
$I_E(a)/I_{O,E}$	22,8	26,3	30,5	31,0	36,6	36,9	37,1	34,9	33,3	28,6	25,2	22,8

## 4.2 Difuzna radijacija

Uz pretpostavku da aerosol ne apsorbira direktnu radijaciju računali smo **intenzitet** difuzne radijacije uz vedru, prosječno mutnu i vlažnu atmosferu po izrazu:

$$d(a) = 0,5 i_0 (e^{-[c_R(t_j) + c_w(t_j)] \cdot m(t_j)} - e^{-a(t_j) \cdot m(t_j)}) \sin \gamma' \quad (32)$$

pri čem je  $c_w(t_j)$  koeficijent apsorpcije vodene pare ovisan o količini oborive vode  $w$ , a veličina  $a(t_j)$  je kompleksni koeficijent ekstinkcije odnosno suma  $a_R(t_j) + a_M(t_j) + a_V(t_j)$ . Obje navedene veličine istražene su u radu (I. PENZAR, 1970). Dnevne količine smo dobili numeričkom integracijom polsatnih intenziteta iz (32). Račun smo proveli samo za jednu polovicu dana, jer je razlika između prijepodnevni i poslijepodnevni vrijednosti zanemarivo malena, kao što se može zaključiti iz iznosa direktne radijacije u tab. 30. Difuznu radijaciju u sumraku odredili smo na već prije opisani način.

Pokazalo se da vodena para u prosječno vlažnoj atmosferi djeluje tako, da je difuzna radijacija tu manja nego u mutnoj atmosferi kad se uvaži djelovanje vodene pare samo na aerosol, a ne i na radijaciju (usp. tab. 37 i 26). Smanjenje dnevnih količina zbog vodene pare iznosi ljeti oko 10%, a zimi oko 30% (tab. 37). To smanjenje relativno nije veliko, te je preostala difuzna radijacija još uvijek i do 260% veća nego ona u suhom i čistom zraku.

Vodena para ne samo da smanjuje intenzitet i količinu difuzne radijacije, nego utječe i na njen spektralni sastav. Vlaga u atmosferi naime apsorbira dugovalnu radijaciju, a osobito kad je Sunce nisko nad horizontom. Zbog toga procen-tualni iznos dugovalne u ukupnoj radijaciji opada s povećanjem zenitne udaljenosti Sunca. To je suprotno od onog što je vrijedilo u suhoj atmosferi.

Valjanost izvedenih rezultata možemo procijeniti na nekoliko načina. U prvom redu možemo ih usporediti s instrumentalnim podacima dobivenim kod nas direktnim ili indirektnim putem.

Direktnim putem dobivene su dnevne količine difuzne radijacije na Puntijarki kroz nekoliko godina. Između tih vrijednosti (za potpuno vedre dane) i naših nema neke sistemske razlike, a red veličine jednih i drugih se podudara; to znači da izvedeni rezultati odgovaraju realnom stanju. Neke od podataka s Puntijarke sadrži tab. 12.

Tab. 37 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}$   $\text{min}^{-1}$ ) prizemne difuzne radijacije na horizontalnoj površini uz vedru, prosječno mutnu i vlažnu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu za određeni satni kut ( $t_j$ ) Sunca; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije ( $\text{cal cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ); omjer dnevnih količina pri mutnoj i vlažnoj i pri mutnoj atmosferi (%), te omjer pri mutnoj i vlažnoj i pri suhoj i čistoj atmosferi (%)

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>					5	7	3					
7 15					13	14	7	1				
6 45				7	25	50	34	17				
6 15				14	64	94	80	35	7			
5 45			12	57	109	128	114	76	15	6		
5 15		3	25	103	137	150	138	111	56	13		
4 45	7	6	68	131	156	170	159	134	97	27	5	
4 15	14	36	104	153	170	183	176	152	123	64	10	
3 45	28	75	124	164	191	200	194	169	140	94	47	17
3 15	53	96	140	179	209	221	210	184	150	125	78	47
2 45	90	113	152	196	223	231	225	196	167	131	112	74
2 15	109	123	167	209	233	244	237	207	180	132	113	90
1 45	118	130	178	220	239	250	244	214	192	147	120	102
1 15	124	136	185	228	248	252	250	222	199	154	126	109
0 45	129	142	190	231	253	255	251	227	204	159	129	115
0 15	131	143	190	233	254	256	252	228	206	162	132	116
D(a)	48	60	92	128	152	162	154	130	104	73	52	41
$\frac{D(a)}{D(a_R+a_M)}$	70,9	69,0	76,1	85,0	88,2	90,1	89,7	85,2	82,6	75,8	74,7	74,0
D(a)/D(a <sub>R</sub> )	166	172	213	241	256	258	251	236	218	196	177	159

Na indirektan način smo difuznu radijaciju iz mjerenja dobili u Zagrebu na temelju aktinometrijskih podataka o direktnoj i solarigrafskih o globalnoj radijaciji. Odabrali smo naime 55 dana kad je nebo bilo vedro i kad je preko dana bilo više aktinometrijskih mjerenja. Ta su mjerenja dala intenzitet prizemne direktne radijacije na horizontalnoj plohi  $i_H(a)$ , a grafičkom interpolacijom i ekstrapolacijom određen je dnevni hod tog intenziteta. Razlika između registrirane globalne i ovako dobivene direktne radijacije predstavlja difuznu. Pokazalo se da između nje i naših podataka za prosječno stanje nema veće razlike. Za ilustraciju navodimo u tab. 38 srednje satne intenzitete određene na takav način na dvije decimale točno za neke namne odabrane dane s pravilnim dnevnim hodom.

U godišnjaku opservatorija Zeleno Brdo u Beogradu publiciraju se vrijednosti difuznog zračenja mjerene termoelektričnim piranografom. Iz takvog godišnjaka za 1963. god. odabrali smo prema podacima o trajanju insolacije po jedan vedar dan u svakom mjesecu - po mogućnosti što bliže sredini mjeseca - i pripadne satne i dnevne količine

Tab. 38 Srednji satni intenziteti ( $10^{-2}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) difuzne radijacije prije podne (*am*) odnosno poslije podne (*pm*) u Zagrebu na odabrane vedre dane - prema aktinometrijskim i solarigrafskim mjerenjima

t	7 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	6 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	5 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	4 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	3 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	2 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	1 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	0 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>
24.III 60. am		1	4	8	12	18	20	21
6.IV 61. pm		2	4	9	12	16	17	20
20.V 59. am	1	5	13	18	20	27	30	31
7.VI 60. am	3	6	13	18	21	25	28	33
19.VII 60. pm	1	2	9	13	17	19	21	21
27.VIII 63. am		1	6	8	13	15	18	22
29.IX 59. am			3	10	12	18	19	20
3.X 59. pm			3	7	12	18	20	20

difuzne radijacije usporedili s našim vrijednostima (tab. 39). U prosjeku te su beogradske satne količine veće od teorijskih zagrebačkih samo za  $0,4$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{sat}^{-1}$ , dok najveća razlika među njima iznosi  $7$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{sat}^{-1}$  (pred podne u veljači), tj. 44%. Dnevne sume razlikuju se prosječno za  $18\% \pm 44\%$ , gdje se to najveće odstupanje i opet odnosi na veljaču, a u ostalim primjerima je znatno manje.

Osim s empiričkim rezultatima možemo izračunane vrijednosti usporediti i s računskim koje se dobiju na neki drugi način. Tako smo pomoću SCHUEPPOVA dijagrama (1966) odredili intenzitete difuzne radijacije za srednju vrijednost zagrebačke mutnoće i vlage. Ti se intenziteti vrlo dobro slažu s našima u tab. 37, maksimalna razlika među njima ne iznosi niti 5%.

Tab. 39 Satne i dnevne količine difuzne radijacije ( $\text{cal cm}^{-2}$ )  
 Z - u Zagrebu, izvedene iz tab. 37, B - izmjerene u Beogradu 1963. godine

Sati	4-5 19-20	5-6 18-19	6-7 17-18	7-8 16-17	8-9 15-16	9-10 14-15	10-11 13-14	11-12 12-13	Dnevna suma
Z 16.XI				0,4	3,8	6,8	7,4	7,8	52
B 19.XI				1 2	4 4	5 6	5 9	7 8	51
Z 16.XII				0,2	1,9	4,9	6,3	6,9	40
B 2.XII				1 1	3 4	5 6	6 6	7 7	46
Z 16.II			0,1	1,3	5,1	7,1	8,0	8,5	60
B 11.II			-	4 3	8 7	10 11	13 13	16 15	100
Z 16.III			1,1	5,2	7,9	9,6	10,9	11,4	92
B 16.III			3 2	5 5	7 7	8 8	9 8	9 9	80
Z 16.IV		0,6	4,8	8,5	10,3	12,1	13,4	13,9	127
B 20.IV		2 5	7 9	11 10	13 13	14 14	15 16	20 15	164
Z 16.V	0,5	2,7	7,4	9,8	12,0	13,7	14,6	15,2	152
B 13.V	-	6 0	8 4	9 8	10 12	10 11	11 11	12 12	124
Z 16.VI	0,6	4,3	8,3	10,6	12,6	14,2	15,1	15,3	162
B 30.VI	2 1	5 5	8 7	9 8	11 9	11 10	11 11	12 11	131
Z 16.VII	0,3	3,4	7,6	10,0	12,1	13,9	14,0	15,1	154
B 16.VII	1 1	5 5	9 10	12 12	14 15	15 17	17 20	17 17	187
Z 16.VIII		1,6	5,6	8,6	10,6	12,1	13,1	13,6	130
B 16.VIII		4 4	7 8	8 10	10 12	11 14	12 14	13 13	140
Z 16.IX		0,2	2,1	6,6	8,7	10,4	11,7	12,3	104
B 16.IX		-	4 3	7 6	9 8	10 10	12 11	13 13	106
Z 16.X			0,6	2,7	6,6	7,9	9,0	9,6	73
B 16.X			1 1	4 4	6 6	8 9	10 10	12 10	81

### 4.3 Globalna radijacija

Dnevni hod intenziteta globalne radijacije po mjesecima prikazan je u tab. 40. Te su vrijednosti dobivene zbrajanjem podataka o direktnoj radijaciji na horizontalnu plohu (tab. 32) i difuznoj radijaciji (tab. 37). Kako su i direktna i difuzna radijacija slabije u ovom slučaju kad smo i djelovanje vlage na radijaciju uzeli u obzir, nego što su bile u mutnoj atmosferi kad apsorpcija vlage nije bila uvažena, to je i intenzitet globalne radijacije u prosječnoj realnoj atmosferi manji nego je bio u prijašnjim slučajevima. Oblik dnevnog hoda je inače ostao nepromijenjen. Podnevni intenziteti između zimskog i ljetnog solsticija imaju velik raspon vrijednosti (0,450 do 1,270  $\text{ly min}^{-1}$ ). Od travnja do kolovoza podnevna je globalna radijacija veća od direktne koja dolazi okomito na izloženu plohu, i to za 0,1 do 0,2  $\text{ly min}^{-1}$ . U ostalim dijelovima godine i dana to nije slučaj.

Utjecaj vlage u zraku proporcionalno se očituje na difuznoj i direktnoj i zato se omjer difuzne i globalne ovdje bitno ne razlikuje od onog u mutnom zraku. To se najbolje vidi iz podataka koji slijede; 1)  $d(a)/g(a)$  i 2)  $d(a)/g(a) - d(a_{R+a_M})/g(a_{R+a_M})$ :

t		0 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	1 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	2 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	3 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	4 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	5 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	6 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	7 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>
16.VI	1)	20,2	21,5	22,6	23,9	25,3	31,8	43,9	70,0	100,0
	2)	1,9	2,5	2,2	2,3	2,7	2,5	0,9	-8,5	0,0
16.XII	1)	25,8	27,5	33,8	50,0	100,0				
	2)	-1,5	-1,4	-1,9	0,7	0,0				

Srednje dnevne količine globalne radijacije na vedre dane (naoblaka  $\leq 2$  desetine) izračunate iz 10-godišnjeg niza aktinometrijskih podataka (*I. PENZAR 1959*) odstupaju od ovih računskih količina u prosjeku za  $-7,4\% \pm 6,4$ . Računske su vrijednosti veće, a to je i opravdano, jer su one izvedene uz uvjet da je nebo potpuno vedro, tj. da nema ni traga oblacima. Nepravilnost se pojavljuje samo u ožujku; dnevna količina izvedena iz mjerenih podataka veća je tada za 12% od računске. Uzrok za to može biti premali broj dana iz kojih je empirički srednjak određen.

Već iz navedenoga može se zaključiti da su računске vrijednosti globalne radijacije, koje smo izveli, realne. Da bismo to još jednom provjerili odabrali smo nasumce jedan vedar dan, 6.IV 1961. i iz aktinometrijskih mjerenja direktne radijacije izračunali smo ekstinkcione koeficijente u terminima mjerenja, a na temelju naših saznanja o njihovom dnevnom hodu odredili smo vrijednosti tih koeficijenata u sredini



svakog polsatnog intervala od izlaza do zalaza Sunca. Zatim smo na prije opisani način izračunali pripadne intenzitete globalne radijacije. Srednje satne vrijednosti dobivene tako računski i one mjerene solarigrafom imaju u prvoj polovici dana 6.IV 1961. ove iznose u  $\text{cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ :

Sat	5- 6	6- 7	7- 8	8- 9	9-10	10-11	11-12
Računski	0,01	0,15	0,39	0,67	0,85	0,99	1,09
Mjereno	0,02	0,17	0,41	0,71	0,89	1,03	1,13
Razlika (M-R)	0,01	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04

U tom konkretnom primjeru izmjereni intenziteti globalne radijacije sistematski su veći od računskih u prosjeku za  $0,03 \text{ ly u minuti}$  ili  $1,8 \text{ ly sat}^{-1}$ , odnosno solarigraf je pokazao za 4,8% veću količinu radijacije nego račun. To nije velika razlika. Ipak ona upućuje na to da se u finijim istraživanjima ne možemo služiti ovakvim jednostavnim postupkom u računanju difuzne i globalne radijacije. U račun bi trebalo uključiti i stvarni iznos albeda podloge, kao i utjecaj višestrukog raspršavanja radijacije; drugim riječima, iznos 0,5 za faktor C u izrazu (23) samo je prva aproksimacija utjecaja albeda i višestrukog raspršavanja.

Tab. 40 Dnevni hod intenziteta ( $10^{-3} \text{ cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) prizemne globalne radijacije uz vedru, prosječno mutnu i vlažnu atmosferu nad Zagrebom na dan 16. u mjesecu za određeni satni kut ( $t_j$ ) Sunca; godišnji hod dnevnih količina takve radijacije ( $\text{cal cm}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ); omjer dnevnih količina pri mutnoj i vlažnoj i pri mutnoj i suhoj atmosferi (%); omjer pri mutnoj i vlažnoj i pri suhoj i čistoj atmosferi (%), te omjer prizemnih i ekstraterestričkih vrijednosti (%)

$ t_j $	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	XI	XII		
7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>					5	7	3						
7 15					13	20	10	1					
6 45				7	37	97	72	19					
6 15				14	143	214	179	55	7				
5 45			12	96	255	329	299	153	24	6			
5 15		3	42	232	386	471	435	287	109	14			
4 45		10	140	370	535	610	573	430	240	46	5		
4 15		15	71	266	505	666	724	693	572	376	134	16	
3 45		48	176	389	652	774	821	796	696	508	276	88	9
3 15		127	278	514	757	890	926	892	792	640	381	184	94
2 45		229	388	628	846	969	1005	977	882	732	478	278	183
2 15		324	482	705	924	1044	1080	1049	954	812	575	372	266
1 45		392	567	774	994	1098	1147	1118	1017	877	663	450	336
1 15		451	635	829	1045	1169	1209	1172	1068	927	714	506	396
0 45		492	661	868	1073	1197	1249	1213	1106	964	748	550	428
0 15		513	682	895	1106	1231	1266	1233	1133	983	765	566	448
G(a)	156	237	365	517	625	671	643	550	432	288	181	130	
$\frac{G(a)}{G(a_R+a_M)}$	76,6	76,7	81,1	84,3	86,0	85,0	84,2	82,1	80,9	80,1	79,7	77,6	
G(a)/G(a <sub>R</sub> )	64,8	64,8	69,6	72,9	74,4	74,1	73,6	71,9	71,2	69,0	68,0	66,1	
G(a)/I <sub>0,H</sub>	55,9	56,2	60,5	64,4	66,0	66,3	65,7	64,0	63,8	59,8	57,1	53,9	

**BILANCA SUNČEVE RADIJACIONE ENERGIJE U ATMOSFERI I NA TLU  
PRI VEDROM VREMENU UZ UVAŽAVANJE PROSJEČNIH UVJETA  
U ZAGREBU**

**5.1 Ukupni gubitak radijacije u atmosferi**

Na kraju je interesantno pogledati koliki je gubitak Sunčeve energije u atmosferi nad Zagrebom. Taj gubitak dobivamo iz aktinometrijskih mjerenja. Iz podataka sakupljenih na opservatoriju Zagreb, Grič u razdoblju 1958-1967. izvedene su srednje vrijednosti ekstinkcije i izražene su u procentima ekstraterestričke radijacije (tab. 41). Kako vidimo prosječni je gubitak u podnevnim satima ljetnih mjeseci oko 48%, a zimskih oko 58%. Idući od sredine dana prema izlazu ili zalazu Sunca gubitak se povećava. Kad je Sunce u horizontu do oka dopire i manje od 1% one radijacije koja u tom momentu ulazi u atmosferu. To je tako mali intenzitet da tada možemo Sunce gledati i bez zaštitnih očala. No takvi uvjeti traju vrlo kratko.

Tab. 41 Dnevni hod cjelokupne radijacione energije izgubljene u vedroj, prosječno mutnoj i vlažnoj atmosferi nad Zagrebom (%)

t <sub>j</sub>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-7 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>						99,7						
-7 15					99,5	98,8	99,3					
-6 45					97,2	91,9	94,2	99,4				
-6 15				98,7	87,7	80,8	83,8	94,1				
-5 45			99,5	89,8	77,4	73,6	75,0	85,0	97,4			
-5 15			95,4	76,5	69,3	64,5	65,8	74,0	88,5	99,5		
-4 45		98,8	85,6	68,9	61,5	57,6	59,3	64,5	76,1	94,2		
-4 15	99,5	90,8	75,4	62,5	56,7	54,9	55,6	58,2	67,1	85,1	96,9	
-3 45	92,9	80,7	67,6	55,7	55,0	54,0	53,4	54,2	60,3	73,6	87,4	95,7
-3 15	87,9	72,4	61,5	53,9	53,2	53,1	53,1	53,1	54,0	66,4	76,6	84,5
-2 45	73,7	66,5	57,1	53,2	52,4	52,2	52,3	51,9	53,1	61,0	66,4	76,2
-2 15	66,2	60,3	56,2	52,4	51,6	51,6	51,8	51,4	52,2	55,8	62,4	68,7
-1 45	63,1	56,0	55,4	52,0	50,8	50,3	50,4	50,8	51,5	53,0	59,3	63,9
-1 15	59,8	54,4	54,2	51,3	50,0	49,6	49,7	50,4	51,3	52,2	57,0	59,9
-0 45	57,7	53,7	53,5	50,9	49,6	48,2	48,9	49,8	50,8	51,8	55,1	59,0
-0 15	56,5	52,9	52,5	50,2	49,0	48,1	48,6	49,5	50,6	51,8	54,9	57,8
0 15	56,5	52,9	52,5	50,2	49,0	48,1	48,6	49,5	50,6	51,6	54,9	57,8
0 45	57,9	53,7	53,5	51,0	49,5	48,3	49,0	49,8	50,8	51,9	55,1	58,9
1 15	59,8	54,4	54,2	51,4	50,0	49,6	49,7	50,4	51,3	52,2	57,1	59,8
1 45	62,9	56,0	55,2	51,7	50,7	50,4	50,3	50,9	51,5	53,0	59,2	63,8
2 15	66,1	60,3	56,0	52,4	51,5	51,3	51,5	51,4	52,1	55,6	62,3	68,6
2 45	73,6	66,4	57,1	53,2	52,4	52,1	52,2	51,9	52,9	55,8	66,3	76,1
3 15	87,9	72,3	61,4	53,9	53,1	53,0	53,0	53,1	53,8	65,9	76,5	84,3
3 45	92,9	80,5	67,5	55,6	55,0	53,9	54,2	54,2	60,0	73,4	87,3	95,7
4 15	99,5	90,7	76,1	62,5	56,6	54,9	55,5	58,0	66,6	85,0	96,9	
4 45		98,7	85,5	68,9	61,6	57,5	59,2	64,4	75,4	94,1		
5 15			95,4	76,3	69,1	64,3	65,7	73,7	82,3	99,5		
5 45			99,5	89,7	77,2	73,0	74,7	85,0	97,4			
6 15				98,6	87,5	80,8	83,6	94,0				
6 45					97,3	91,8	94,1	99,4				
7 15						99,5	98,8	99,3				
7 45							99,7					

Tab. 42 Gubitak Sunčeve radijacije uzrokovan različitim sastojcima atmosfere i izražen u procentima ekstraterestričke radijacije; podaci za odabrane optičke mase i mjesece izvedeni iz empiričkih mjerenja u Zagrebu u razdoblju 1958-1967.

Mjesec	Optička masa	1,5	2	3	6
III	Suhi zrak	-	22,0	28,3	40,4
	Aerosol	-	24,7	28,5	33,1
	Vodena para	-	11,4	13,7	15,0
	Ukupno	-	58,1	70,5	88,5
VI	Suhi zrak	17,7	21,8	28,5	40,4
	Aerosol	21,2	25,0	29,4	35,3
	Vodena para	13,1	13,3	13,7	15,1
	Ukupno	52,0	60,1	71,6	90,8
IX	Suhi zrak	17,8	21,7	28,4	40,2
	Aerosol	20,0	22,8	27,3	34,7
	Vodena para	12,8	12,5	13,5	14,0
	Ukupno	50,6	57,0	69,2	89,9
XII	Suhi zrak	-	-	28,3	40,0
	Aerosol	-	-	23,2	28,0
	Vodena para	-	-	9,5	12,2
	Ukupno	-	-	61,0	80,2

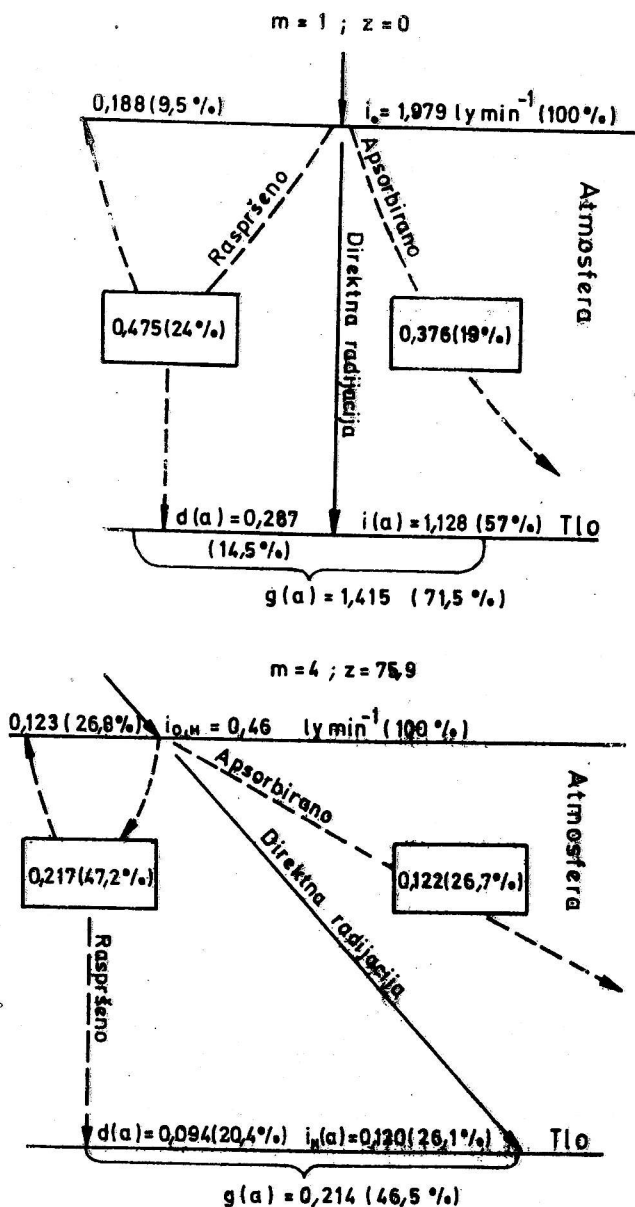
Razmotrimo nadalje koliko je djelovanje pojedinih sastavnih dijelova atmosfere nad Zagrebom na gubitak cjelokupne direktne radijacije. Prikazali smo ga u tab. 42 za po jedan mjesec iz svakog godišnjeg doba. Najprije smo odredili pojedinačne gubitke radijacije zbog raspršavanja i apsorpcije 1) na molekulama suhog zraka, 2) na aerosolu i 3) na vodenoj pari, a zatim smo te gubitke izrazili u procentima ekstraterestričke radijacije. Dohiveni rezultati pokazuju ponajprije već poznate činjenice kao što je porast gubitka s porastom optičke mase, te da je gubitak uzrokovan aerosolom i vodenom parom uz istu optičku masu veći u toplom dijelu godine nego u hladnom. Osvrnimo se još posebno na procentualne iznose gubitka radijacije na pojedinim sredstvima.

Proizlazi da u našoj prosječno mutnoj i vlažnoj atmosferi, kad je Sunce visoko, gotovo polovica ukupnog gubitka direktne radijacije otpada na djelovanje aerosola. Utjecaj molekula zraka samo je nešto manji, dok na vodenu paru otpada manje od četvrtine ukupnog gubitka radijacije. Pri većim optičkim masama zamjenjuju se uloge aerosola i molekula zraka, a doprinos vodene pare ukupnom gubitku radijacije postaje relativno sve manji. Dok je Sunce nisko najveći dio radijacije gubi se na molekulama suhog zraka.

*H. KIMBALL (1927)* je također raščlanio ukupni gubitak radijacije na tri ovakva dijela s tim što nije uvažio apsorpciju u suhoj atmosferi. On je apsorpciju na vodenoj pari izveo iz poznate količine oborive vode, a utjecaj aerosola je dobio kao razliku između ukupnog gubitka s jedne strane i sume gubitka što ih proizvode raspršavanje na molekulama zraka i apsorpcija vode s druge strane. Podaci se odnose na više aktinometrijskih stanica i pokazuju da je utjecaj aerosola i vodene pare različit na raznim mjestima. U Washingtonu npr. gubitak zbog vodene pare iznosi zimi oko 10%, a ljeti doseže i do 23%. Zimska se vrijednost dakle podudara sa zagrebačkom. Utjecaj aerosola je mjedutim u Washingtonu manji nego u Zagrebu, npr. uz optičku masu 2 za 10%. *G.D. ROBINSON (1963)* je za Kew opservatorij odredio utjecaj pojedinih procesa i primjesa u atmosferi na gubitak radijacije. Apsorpciju vodene pare izračunao je na isti način kao i *KIMBALL*, a utjecaj aerosola je odredio pomoću izmjerene difuzne radijacije. Ukupni gubitak u podnevnim satima ljetnih mjeseci iznosi kod njega oko 40%. Od toga na ozon i Rayleighovo raspršavanje otpada 11%, na vodenu paru 10% i na aerosol 19%. Smatramo da se ti podaci u zadovoljavajućoj mjeri slažu s našima.

Ukupni gubitak radijacione energije u atmosferi možemo rastaviti i tako da odvojimo proces raspršavanja od apsorpcije. Navest ćemo takve podatke za naše prosječne prilike u lipnju i prosincu uz pretpostavku da aerosol ne apsorbira značajnije radijaciju:

Mjesec	Optička masa	1,5	2	3	6
VI	Raspršavanje	32,0	38,8	47,9	61,7
	Apsorpcija	20,0	21,3	23,7	29,1
XII	Raspršavanje	-	-	41,5	54,0
	Apsorpcija	-	-	19,5	26,2



Sl. 5 Bilanca Sunčeve radijacije uz optičke mase 1 i 4 u vedroј, prosječno mutnoj i vlažnoj atmosferi dne 16.IV nad Zagrebom

Podaci pokazuju da raspršavanje radijacije na molekulama atmosferskih plinova i na česticama aerosola daleko više labi Sunčevu radijaciju u atmosferi nego apsorpcija što je vrše vodena para, ozon, ugljični dioksid i kisik zajedno.

*M. NICOLET (1957)* navodi da u slučaju zenitnog položaja Sunca atmosfera apsorbira od 13 do 20% upadnog intenziteta. Naši se podaci u to dobro uklapaju. Za raspršavanje razni autori daju različite vrijednosti, kod optičke mase 1 od 12% do 20%; mi dobivamo ekstrapolacijom naših podataka za tu masu oko 24%, isto koliko bi slijedilo iz *ROBINSONOVIH* podataka za Kew opservatorij.

## 5.2 Bilanca Sunčeve radijacije

Radijacionu bilancu razmotrimo samo ukratko. Za dne 16.VI ona je grafički prikazana na sl. 5 za slučaj zenitnog položaja Sunca i kad je ono  $14^{\circ},1$  iznad horizonta. Najmanja optička masa tog dana iznosi stvarno 1,1 a masu 1 uzeli smo da bi podaci bili usporedivi sa sličnima koji se mogu naći u literaturi. Od značajki te bilance vidljivih na slici istaći ćemo samo neke:

Kad bi Sunce bilo u zenitu, atmosfera bi apsorbirala 19%, u svemir bi se vratilo 9,5%, a do tla bi doprlo 71,5% upadne radijacije. Spuštanjem Sunca prema horizontu povećava se gubitak radijacione energije. Uz optičku masu 4 atmosfera apsorbira 27%, a isto toliko i reflektira u interplanetarni prostor; na tlo dolazi samo 46% upadne radijacije. Četiri petine prizemne globalne radijacije u prvom slučaju ( $m=1$ ) sačinjava direktna, a samo jednu petinu difuzna; u drugom su slučaju, uz nisko Sunce, količine direktne i difuzne radijacije na tlu podjednake, te se odnose kao 5 : 4.

U ostalim ljetnim mjesecima bilanca je slična onoj na sl. 5. Zimi ima manje vodene pare u atmosferi, pa je stoga i odnos među komponentama radijacije drugačiji. Nismo ga prikazali, jer smatramo da zimska situacija nije toliko zanimljiva budući da su vedri dani u to doba rijetki.

## 6. ZAKLJUČAK

U radnji se prikazuju najvažniji rezultati dobiveni računskim putem i uspoređuju se s empiričkim podacima opservatorija Zagreb, Grič. Pri računanju prizemnih vrijednosti Sunčeve radijacije za solarnu konstantu je upotrebljena vrijednost  $1,98 \text{ cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ , a podaci za radijvektor Zemlja-Sunce i za deklinaciju Sunca uzeti su iz astronomskih efemerida za 1966. godinu. Račun je proveden za 16. datuma u svakom mjesecu, a određenog dana za svakih pola sata vremena preko dana. Trenutne vrijednosti radijacije u tabelama dane su u ovisnosti o satnom kutu Sunca, što ujedno znači da su intenziteti dani prema pravom sunčevom vremenu.

Radnja je podijeljena u pet poglavlja kako slijedi:

1) Daje se općeniti prikaz prizemnih vrijednosti Sunčeve radijacije i analizira se utjecaj atmosferske refrakcije na visinu Sunca.

2) Razmatraju se prizemne potencijalne vrijednosti radijacije pri vedrom vremenu za slučaj Rayleighove atmosfere. Najprije se daju intenziteti i količine *direktne* radijacije i to za plohu koja bi cijeli dan bila okomito postavljena na upadne zrake (tab. 1), za horizontalnu plohu (tab. 3), te za vertikalne plohe razne orijentacije: sjevernu stranu (tab. 4), južnu (tab. 5), istočnu odnosno zapadnu (tab. 6), jugoistočnu (tab. 7) i jugozapadnu stranu (tab. 8). Nadalje se navode intenziteti i količine *difuzne* radijacije (tab. 10) i *globalne* radijacije (tab. 14). Dobiveni intenziteti za direktnu i globalnu radijaciju u Rayleighovoj atmosferi predstavljaju maksimalne vrijednosti koje bi prizemna radijacija mogla postići u idealnim uvjetima, a za difuznu radijaciju predstavljaju najmanje vrijednosti koje bi na tlo donosile raspršene zrake pri vedrom vremenu. Dnevni hod prizemnih intenziteta u Rayleighovoj atmosferi prikazan je na sl. 1, a godišnji hod dnevnih količina na sl. 2.

3) Rayleighovoj je atmosferi zatim dodana prosječna količina aerosola, koja je izvedena iz 10-godišnjih mjerenja radijacije pomoću aktinometra na opservatoriju Zagreb, Grič, te je uvažena ekstinkcija Sunčeve radijacije u takvoj mutnoj i vedroj atmosferi. Prizemni intenziteti *direktne* radijacije navode se za plohu okomito postavljenu na sunčeve zrake (tab. 19), za horizontalnu plohu (tab. 21), te za vertikalne plohe i to okrenute prema sjeveru (tab. 22), jugu (tab. 23), istoku odnosno zapadu (tab. 24), jugoistoku (tab. 25). Intenziteti radijacije za vertikalnu plohu okrenutu jugozapadu posebno se ne navode. Oni se mogu dobiti iz tab. 25 zrcalnom simetrijom s obzirom na pravo podne. Dnevne količine prizemne direktne radijacije u ovom su

slučaju manje od onih u Rayleighevoj atmosferi i to pri okomitom upadanju za 23% ljeti i 43% zimi, na horizontalnoj podlozi od 27% ljeti do 47% zimi, na svim vertikalnim plohama je smanjenje istog reda veličine osim na plohama okrenutim prema sjeveru kod kojih je gubitak još i veći i kreće se oko 60% i više. *Difuzna* radijacija (tab. 26) u mutnoj atmosferi je i do 290% veća od one u Rayleighevoj atmosferi, a *globalna* (tab. 28) je ljeti oko 13%, a zimi oko 16% manja od one u Rayleighevoj atmosferi.

4) Prosječno mutnoj atmosferi dodana je zatim srednja količina vodene pare odnosno oborive vode, koja je izvedena iz 10-godišnjih mjerenja radijacije pomoću aktinometra u Zagrebu, i izračunata je ekstinkcija radijacije u takovoj vedroj, mutnoj i vlažnoj atmosferi. Dnevni hod prizemne *direktne* radijacije na plohi okomitoj na zrake prikazan je u tab. 30, na horizontalnoj u tab. 32, a na vertikalnim plohama u tab. 33 do 36 i to ovim redom: sjeverna, jugoistočna, južna, istočna (zapadna). Dnevne količine radijacije koja je prošla kroz prosječno mutnu i vlažnu atmosferu osjetno su manje od onih u Rayleighevoj atmosferi. Na plohu okomito postavljenu prema upadnim zrakama smanjenje iznosi od 45% ljeti do 54% zimi, na horizontalnoj plohi od 40% do 49%, a slično i na vertikalnim plohama osim one koja je okrenuta prema sjeveru gdje smanjenje iznosi preko 70%. Prizemni podaci difuzne radijacije (tab. 37) pokazuju da su dnevne količine u ovom slučaju veće od onih u Rayleighevoj atmosferi ljeti 2,5 puta, a zimi 1,5 puta. Globalna radijacija (tab. 40) je u ovom slučaju manja od one dobivene pod 2) za 26 do 35%, a od one dobivene pod 3) za 16 do 23%. Dnevni hod prizemnih intenziteta za slučaj vedre, prosječno mutne i vlažne atmosfere prikazan je na sl. 3, a godišnji hod dnevnih količina na sl. 4.

5) Na kraju se navode podaci o ekstinkciji radijacije u atmosferi. Ukupni gubitak u prosječno mutnoj i vlažnoj atmosferi daje tab. 41, a parcijalne iznose gubitka na molekulama zraka, na aerosolu i vodenoj pari daje tab. 42. Bilanca sunčeve radijacije na tlu i u atmosferi prikazana je na sl. 5.



## 7. LITERATURA

1. *Albrecht, F. (1951):* Intensität und Spektralverteilung der Globalstrahlung bei klarem Himmel, Arch. Met. Geoph. Biokl., B, 3 220-243.
2. *Baur, F.:* Linkes Meteorologisches Taschenbuch, Neue Ausgabe II, Akad. Verlagges., Leipzig, 1953.
3. *Berlage, H.P. (1928):* Zur Theorie der Beleuchtung einer horizontalen Fläche durch Tageslicht, Met. Zeitschr., 174-180.
4. *CSAGI, A.G.I.:* Manual d'Instructions Meteorologie, Instruments et mesures de rayonnement, Uccle, 1957.
5. *Dave, J.V., Sekera Z. (1959):* Effect of Ozone on the Total Sky and Global Radiation received on a Horizontal Surface, J. Met., 16 211-212.
6. *Deirmendjian, D., Sekera Z. (1954):* Global Radiation Resulting from Multiple Scattering in a Rayleigh Atmosphere, Tellus, 6 382-398.
7. *Gamser, F., Vujičić-Gamser, K. (1967):* Zamućenost atmosfere i direktno Sunčevo zračenje u Beogradu, Zbornik radova povodom 20 god. rada HMS Jugoslavije, SHMZ, 121-155.
8. *Gilić, A. (1947):* Grafičko rješavanje sferno-astronomskog trokuta za geografsku širinu Zagreba, Glasnik mat. fiz. astr., 2 1-10.
9. *Geofizič zavod:* Podaci o mjerenju sunčeve radijacije, Zagreb.
10. *Grunow, J. (1962):* Sonnenschein und Globalstrahlung auf dem Hohenpeissenberg, Ber. Deutsch. Wetter., B 11, Nr. 81.
11. *Institut za fiziku atmosfere i kozmičku fiziku JAZU:* Podaci o sunčevoj radijaciji, Zagreb.
12. *Kimball, H.H. (1927):* Measurements of Solar Radiation Intensity and Determinations of its Depletion by the Atmosphere, Month. Weath. Rew., 55, 155-169.
13. *Linke, F.:* Handbuch der Geophysik, B. VIII, Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin-Zelendorf, 1942.

14. *List, R.J.*: Smithsonian Meteorological Tables, Washington, 1951.
15. *Nautical Almanac Office*: The Astronomical Ephemeris for the Year 1966, Her Majesty's Stationery Office, London, 1964.
16. *Nicolet, M.* (1957): Les rayonnements solaire, atmosphérique et terrestre, Inst. Royal Météor. Bel., Contributions No. 22, 177-238.
17. *Penzar, I.*: Globalna radijacija u Zagrebu na temelju 10-godišnjeg mjerenja, Radovi Geof.Inst., br. 12, Zagreb, 1959.
18. *Penzar, I.* (1966): Ovisnost direktne, difuzne i globalne radijacije o ekstinkciji u atmosferi, Zbornik met. i hidrol. radova, 2, Beograd, 30-44.
19. *Penzar, I.*: Sunčeva radijacija (posebno poglavlje u Studiji klime grada Zagreba), rukopis, Zagreb, 1968.
20. *Penzar, I.*: Prilog poznavanju atmosferske mutnoće i njenog djelovanja na Sunčevu radijaciju, Disertacija na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu, 1970.
21. *Penzar, I.* (1973): Ekstraterestričke vrijednosti Sunčeve radijacije na geografskoj širini 45 49'N, Zbornik met. i hidrol. radova, 4, Beograd.
22. *Penzar, I.* (1974): Changes of Potential Values of Global Radiation on the Ground with Altitude and Latitude in the 41°N to 47°N Zone, Zbornik meteoroloških i hidroloških radova, 5, Beograd.
23. *Pertner, J.M., Exner, F.M.*: Meteorologische Optik, W.Braumüller, Wien-Leipzig, 1922.
24. *Reitz, G.* (1939): Pyranometrische Untersuchungen, Gerlands Beiträge z.Geophys., 55.
25. *Sauberer, F., Dirmhirn, I.*: Das Strahlungsklima, Klimatographie von Österreich, Wien, 1958.

26. *Schulze, R. (1962): Über die Vorzüge der Verwendung der Relativen Bestrahlung für strahlungs-klimatologische Betrachtungen, Aech.Met. Geoph.Biokl., B 11, 281-291.*
27. *Schüpp, W.: Direct and Scattered Radiation Reaching the Earth as Influenced by Atmospheric, Geographical and Astronomical Factors, Ch.4 in Solar Radiation by N.Robinson, Amsterdam-London, 1966.*
28. *Stagg, J.M. (1950): Solar Radiation at Kew Observatory, Geoph.Mem., 86.*

## VALUES OF SOLAR RADIATION AT THE GROUND SURFACE ON SLOUDDLESS SKY FOR ZAGREB

### SUMMARY

The study discusses the most important results of the radiative régime on the ground surface and the solar radiation balance for Zagreb obtained by calculation and measured by instruments. For the Solar constant, the value of  $1,98 \text{ cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$  is used, while for the Earth - Sun radius-vector and declination of the Sun, data are taken from the astronomical ephemerides for 1966. The daily course of radiation intensity is studied in relation to the Sun - hour angle in the half hourly intervals for the sixteenth day of each month. It means that instantaneous values of Solar radiation in tables are given in true Solar time.

The paper consists of five chapters:

1. A general review is given of Solar radiation values on the ground surface and the influence of atmospheric refraction on the Sun's altitude is analysed.

2. Potential values of Solar radiation on the ground surface are deduced under the assumption of cloudless sky and for the Rayleigh's atmosphere. Intensities and daily amounts of direct radiation are presented for the surface perpendicular to the Sun's rays (Tab. 1), for the surface exposed horizontally (Tab. 3), as well as for the vertical surface turned to the north (Tab. 4), south (Tab. 5) east or west (Tab. 6) south-east, (Tab. 7) and south-west (Tab. 8). Intensities and amounts of diffuse (Tab. 10) and global radiation (Tab. 14) are obtained. In this case - when the sky is quite clear and the air is dry and clean - the values of direct and global radiation would be at the maximum, and values of diffuse radiation would be at the minimum. Fig. 1 shows the daily course of the radiation intensity and Fig. 2 the annual course of daily amounts.

3. Cloudless turbid atmosphere, polluted by the average quantity of aerosols is considered from a 10 - year period of radiation measurements at the observatory Zagreb, Grič. Intensities and daily amounts of direct radiation on the ground surface are calculated for the surface perpendicular to the Sun's rays (Tab. 19), for the surface exposed horizontally (Tab. 21), as well as for the vertical surface turned to the north (Tab. 22), south (Tab. 23), east or west (Tab. 24) and south - east

(Tab. 25). Intensities of direct radiation for the vertical surface exposed to the south - west are not quoted separately, because they can be seen also from Tab. 25. Daily amounts received by the surface perpendicular to the rays in turbid atmosphere, are in summer 23% and in winter 43% less than those in the Rayleigh's atmosphere; for a horizontal surface they are in summer 27% and in winter 47% less. Diffuse radiation (Tab. 26) in the cloudless and turbid atmosphere amounts for about 29% more, and global radiation (Tab. 28) in summer about 13% and in winter 16% less than in the Rayleigh's atmosphere.

4. The radiation values are numerically deduced under the assumption of cloudless sky in the turbid and wet atmosphere, polluted by the average quantity of aerosols and average quantity of precipitable water - determined from 10 - year period of radiation measurements at the observatory Zagreb-Grič. Daily course and amount of direct radiation are shown in Tab. 30, for the case when the surface is perpendicular to the Sun's rays, in Tab. 32 for the surface exposed horizontally, and in Tab. 33, 34, 35 and 36 for the vertical surface turned to the north, south - east, south and east or west. The daily amounts on a perpendicular surface are in summer 45% and in winter 54% less than those in the Rayleigh's atmosphere. The amounts received by a horizontal and vertical surface are about 40% to 49% less. Diffuse radiation (Tab. 37) in the turbid and wet atmosphere is about two times greater than in the Rayleigh's atmosphere. Global radiation (Tab. 40) is 26% to 35% less than those in chapter 2 and 16% to 23% less than those in chapter 3. Fig. 3 shows the daily course of radiation intensity, and Fig. 4 shows the annual course of daily amounts when atmosphere is cloudless, turbid and wet polluted by the average quantity of aerosols and precipitable water.

5. Informations about the depletion of radiation in the atmosphere are cited. The total depletion in cloudless, turbid and wet atmosphere can be seen in Tab. 41, and separately for pure and dry atmosphere, for aerosols, and for water vapor in Tab. 42. The Solar radiation balance for Zagreb is shown in Fig. 5.

## LIST OF TABLES

	Page
Tab. 1 Daily course of the potential values of direct radiation intensity ( $10^{-3}$ cal $\text{cm}^{-2}$ $\text{min}^{-1}$ ) at Zagreb in relation to the Sun-hour angle ( $t_j$ ) for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts $I(a_R)$ direct radiation ( $\text{cal cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ), ratio between daily amounts $I(a_R)$ and extraterrestrial daily amounts $I_0$ .	6
Tab. 2 Daily course of the potential values of direct radiation intensity in parts of Solar spectrum given in percents of total intensity of direct radiation in Zagreb for sixteenth day of a month.	6
Tab. 3 Daily course of the potential values of direct radiation intensity ( $10^{-3}$ cal $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for the horizontal surface in Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts $I_H(a_R)$ in $\text{cal cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ .	14
Tab. 4 Daily course of the potential values of direct radiation intensity ( $10^{-3}$ cal $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for a vertical surface turned to the north at Zagreb for sixteenth day of a month.	14
Tab. 5 Daily course of the potential values of direct radiation intensity ( $10^{-3}$ cal $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for a vertical surface turned to the south at Zagreb for sixteenth day of a month.	15
Tab. 6 Daily course of the potential values of direct radiation intensity ( $10^{-3}$ cal $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for a vertical surface turned to the east or west at Zagreb for sixteenth day of a month.	15

- Tab. 7 Daily course of the potential values of direct radiation intensity ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for a vertical surface turned to the south-east at Zagreb for sixteenth day of a month. 16
- Tab. 8 Daily course of the potential values of direct radiation intensity ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for a vertical surface turned to the south-west at Zagreb for sixteenth day of a month. 16
- Tab. 9 Annual course of daily amounts of potential direct radiation (cal  $\text{cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ) for various turning of the vertical surfaces at Zagreb for sixteenth day in each month. 18
- Tab. 10 Daily course of diffuse radiation intensity ( $10^{-4}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) on a horizontal surface at Zagreb for sixteenth day in each month, for a cloudless Rayleigh's atmosphere. 21
- Tab. 11 Daily course of diffuse radiation intensity in parts of the Solar spectrum given as percents of the total intensity of diffuse radiation in Zagreb in a cloudless Rayleigh's atmosphere. 21
- Tab. 12 Annual course of daily amounts of diffuse  $D(a_R)$  radiation (cal  $\text{cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ) at Zagreb in a cloudless Rayleigh's atmosphere, some measurements of daily amounts of diffuse radiation  $D_p$ , for cloudless sky at the observatory Puntijarka near Zagreb. 23
- Tab. 13 Comparison of the theoretical diffuse radiation intensities for the 16<sup>th</sup> of June and the 16<sup>th</sup> of December and compared to the values of other authors with different optical masses. 23
- Tab. 14 Daily course of global radiation intensity ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) at Zagreb for sixteenth day in each month for a cloudless Rayleigh's atmosphere. 25

- Tab. 15 Hourly amounts of the global radiation ( $\text{cal cm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ) at Zagreb for sixteenth day in each month for a cloudless Rayleigh's atmosphere, annual course of daily amounts of the global radiation  $G(a_R)$  for Rayleigh's atmosphere in  $\text{cal cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ . 25
- Tab. 16 Daily course of the global radiation intensity in parts of the Solar spectrum given in percents of the total intensity of global radiation at Zagreb for a cloudless Rayleigh's atmosphere. 26
- Tab. 17 Hourly amounts of the global radiation ( $\text{cal cm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ) on the 7<sup>th</sup> August and the 1<sup>st</sup> of October 1965: T - calculated, M - measured. 26
- Tab. 18 Comparison of the theoretical global radiation intensities for the 16<sup>th</sup> of June compared to the values of other authors with different optical masses. 27
- Tab. 19 Daily course of the direct radiation intensity ( $10^{-3} \text{ cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) in cloudless and turbid atmosphere polluted by the average quantity of aerosols in Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts  $I(a_R+a_M)$  in  $\text{cal cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ . 29
- Tab. 20 Daily course of the direct radiation intensity in parts of the Solar spectrum given in percents of the total intensity of direct radiation at Zagreb for sixteenth day of a month, when the atmosphere is polluted by average quantity of aerosols. 31



- Tab. 21 Daily course of the direct radiation intensity ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) on the horizontal surface in cloudless and turbid atmosphere, polluted by the average quantity of aerosols in Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts  $I_H(a_R+a_M)$  in cal  $\text{cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ . 31
- Tab. 22 Daily course of the direct radiation intensity ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for the vertical surface turned to the north for cloudless and turbid atmosphere polluted by the average quantity of aerosols at Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts  $I_N(a_R+a_M)$  in cal  $\text{cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ . 32
- Tab. 23 Daily course of the direct radiation intensity ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for the vertical surface turned to the south for cloudless and turbid atmosphere polluted by the average quantity of aerosols at Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts  $I_S(a_R+a_M)$  in cal  $\text{cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ . 32
- Tab. 24 Daily course of the direct radiation intensity ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for the vertical surface turned to the east or west for cloudless and turbid atmosphere polluted by the average quantity of aerosols at Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts  $I_{E(W)}(a_R+a_M)$  in cal  $\text{cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ . 33
- Tab. 25 Daily course of the direct radiation intensity ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for the vertical surface turned to the south-east for cloudless and turbid atmosphere, polluted by the average quantity of aerosols in Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts  $I_{SE}(a_R+a_M)$  in cal  $\text{cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ . 33

- Tab. 26 Daily course of the diffuse radiation intensity ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for the horizontal surface for cloudless and turbid atmosphere, polluted by the average quantity of aerosols in Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts  $D(a_R+a_M)$  diffuse radiation in cal  $\text{cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ . 35
- Tab. 27 Daily course of the diffuse radiation intensity in parts of the Solar spectrum given in percents of total intensity of diffuse radiation at Zagreb for cloudless atmosphere polluted by the average quantity of aerosols for sixteenth day of month. 35
- Tab. 28 Daily course of the global radiation intensity ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for the horizontal surface for cloudless and turbid atmosphere polluted by the average quantity of aerosols at Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts  $G(a_R+a_M)$  of global radiation in cal  $\text{cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ . 37
- Tab. 29 Daily course of the global radiation intensity in parts of the Solar spectrum given in percents of total intensity of the global radiation at Zagreb for cloudless atmosphere polluted by the average quantity of aerosols for sixteenth day of a month. 37
- Tab. 30 Daily course of the direct radiation intensity ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for cloudless and turbid atmosphere polluted by the average quantity of aerosols and the average quantity of precipitable water in Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts  $I(a)$  in cal  $\text{cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ,  $I_B$  and  $I_A$  are obtained values of global radiation for Belgrade and Austria. 39

- Tab. 31 Daily course of the direct radiation intensity in parts of the Solar spectrum given in percents of the total intensity of direct radiation at Zagreb for sixteenth day of a month, when the atmosphere is polluted by average quantity of aerosols and the average quantity of precipitable water. 41
- Tab. 32 Daily course of the direct radiation intensity ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) on the horizontal surface in cloudless and turbid atmosphere polluted by the average quantity of aerosols and the average quantity of precipitable water at Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts  $I_H(a)$  in cal  $\text{cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ . 42
- Tab. 33 Daily course of the direct radiation intensity ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for the vertical surface turned to the north in cloudless and turbid atmosphere polluted by the average quantity of aerosols and average quantity of precipitable water at Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts  $I_N(a)$  in cal  $\text{cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ . 42
- Tab. 34 Daily course of the direct radiation intensity ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for the vertical surface turned to the south-east for cloudless and turbid atmosphere polluted by the average quantity of aerosols and average quantity of precipitable water at Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts  $I_{SE}(SW)$  in cal  $\text{cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ . 45
- Tab. 35 Daily course of the direct radiation intensity ( $10^{-3}$  cal  $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for the vertical surface turned to the south for cloudless, turbid and

- we' atmosphere at Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts  $I_S(a)$  in  $\text{cal cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ,  $I_{S,B}$  is the corresponding value for Belgrade. 46
- Tab. 36 Daily course of the direct radiation intensity ( $10^{-3} \text{ cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for the vertical surface turned to the east or west for cloudless, turbid and wet atmosphere at Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts  $I_{E(W)}(a)$  in  $\text{cal cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ . 46
- Tab. 37 Daily course of diffuse radiation intensity ( $10^{-3} \text{ cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for the horizontal surface in cloudless and turbid atmosphere polluted by the average quantity of aerosols and the average quantity of precipitable water at Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts  $D(a)$  in  $\text{cal cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ . 48
- Tab. 38 Mean values of the diffuse radiation ( $10^{-2} \text{ cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) measured at observatory Zagreb-Grič on some clear days. 49
- Tab. 39 Hourly and daily amounts of diffuse radiation ( $\text{cal cm}^{-2}$ ): Z - calculated for Zagreb from Tab. 37, B - measured by the instrument at the observatory Belgrade. 50
- Tab. 40 Daily course of the global radiation intensity ( $10^{-3} \text{ cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ ) for the horizontal surface for cloudless and turbid atmosphere, polluted by the average quantity of aerosols and the average quantity of precipitable water at Zagreb for sixteenth day of each month, annual course of daily amounts  $G(a)$  global radiation in  $\text{cal cm}^{-2}\text{day}^{-1}$ . 52

- Tab. 40 Daily course of total depletion of radiation in percents of extraterrestrial radiation when the atmosphere is cloudless, turbid and wet at Zagreb. 53
- Tab. 42 Depletion of the Solar radiation separately in a dry air, on the average quantity of aerosols of water vapor and the total depletion at Zagreb (percents of extraterrestrial radiation) for various optical masses. 54

## LIST OF FIGURES

	Page
Fig. 1 Daily course of the potential intensity of global radiation (G), diffuse radiation (D) and direct Solar radiation at Zagreb for the surface perpendicular to Sun's rays (O), for the horizontal surface (H), for the vertical surface turned to the north (N), east (E), west (W), south (S), south - west (SW) and south - east (SE).	13
Fig. 2 Annual course of daily amounts of the potential direct, diffuse and global Solar radiation at Zagreb; the labels of the curves are the same as on Fig. 1..	17
Fig. 3 Daily course of intensity of direct, diffuse and global Solar radiation for the turbid atmosphere, polluted by average quantity of aerosols and precipitable water at Zagreb; the labels of the curves are the same as on Fig. 1.	43
Fig. 4 Annual course of daily amounts of the direct, diffuse and global Solar radiation at Zagreb for the turbid atmosphere polluted by the average quantity of aerosols and precipitable water; the labels of the curves are the same as on Fig. 1.	44
Fig. 5 Solar radiation balance for cloudless atmosphere, polluted by average quantity of aerosols and precipitable water at Zagreb when the optical mass is 1 and 4.	56