

GLOBALNO SEVANJE V LJUBLJANI

GLOBAL RADIATION AT LJUBLJANA

Andrej Hočevar

551.501.721

551.521.12

SUMMARY :

In the present paper the data of global radiation are worked up for the period 1961 - 1965. The first instrument measuring global radiation at Ljubljana (299,4 m, $\varphi = 46^{\circ} 4'$, $\lambda = 14^{\circ} 31'$) was Robitzsch's actinograph (in use from 1952 till 1960), however the used data are taken from the period, when it was registred with better instruments - Stern pyranometer manufactured by P. Schenk (in use from 1960 till May 1963) and Moll - Gorczymsky solarigraph (in use from May 1963 on) manufactured by Kipp & Zonen.

The mean daily values of global radiation for separate months and years are given on table 4. The mean values for the period conserved are compared with the values for some other places viz. Beograd, Zagreb, Wiena and latitude belt $40^{\circ} - 50^{\circ}$. From the table 5 it is seen, that the values at Ljubljana are nearly always smaller than the values at the places compared. To give a thorough picture, the highest values of global radiation in separate months, (table 6) are added as well.

The known relationship between global radiation and duration of sunshine

is studied and the coefficients in linear regression equations are evaluated. It is found, that the coefficients in equation III. 1 are close to the values for Zagreb and rather different from the values for the other places (table 12). These differences can be explained with the specific properties of the atmosphere and different depth of clouds above our region.

Evaluation of the sum of global radiation for natural periods which differ from calendarian ones, is rather complicated. To overcome the troubles connected with it, we added the table with mean values for five days' periods (table 15) and the cumulative diagram (picture 5) from which the sum of global radiation can be roughly evaluated also for any vegetative period (from 2nd March and 1st November).

For a short and evident survey of global radiation at Ljubljana, picture 4 is very useful. On it we can graphically compare all important values viz: extraterrestrial direct solar radiation, the highest values of global radiation, mean month values of global radiation and the mean values for five days' periods.

Podatkov o količini sevanja, ki ga prejme zemeljska površina pri nas v Sloveniji, v literaturi ne najdemo podrobno obdelanih. Razlog za to je preprosto. Prvi instrumenti za merjenje globalnega sevanja so bili montirani pri nas v preteklem desetletju.

Prvi instrument, ki je beležil globalno sevanje v Ljubljani, je bil Robitschev aktinograf, ki je precej nenatančen. V uporabi je bil od leta 1952 do septembra 1960. Tedaj pa sta ga zamenjala natančnejša instrumenta; najprej zvezdni piranometer avstrijske izdelave (firma Schenk) do maja 1963, nato pa Moll-Gorczyński solarigraf holandske izdelave (firma Kipp & Zonen).

Registrirani trakovi so obdelani, dnevne količine globalnega sevanja pa objavljene v publikacijah Hidrometeorološkega zavoda SRS. Ti podatki, ki sami zase ne povedo mnogo, predstavljajo osnovni material za raziskavo tega za rastlinstvo še posebno pomembnega podatka.

Zakaj je za rastlinstvo prav globalno sevanje tako pomembno? Po definiciji je globalno sevanje vsota direktnega sončnega sevanja in razpršenega - difuznega - sevanja neba. Obe komponenti pa zavzemata približno isto območje valovnih dolžin, ki je za fotosintezo rastline pomembno. Razpršeno sevanje neba ni zanemarljivo majhno v primerjavi z direktnim sončnim sevanjem, ampak predstavlja znaten del globalnega sevanja. Po podatkih Saubererja (1959) predstavlja celo pri jasnem nebu razpršeno sevanje neba 16 do 21 % globalnega sevanja, pri povprečni oblačnosti pa sta obe komponenti; direktno sončno sevanje in difuzno sevanje neba, približno enaki (tabela 1).

O spektralni porazdelitvi globalnega sevanja vemo, da se ne razlikuje mnogo od spektralne porazdelitve direktnega sončnega sevanja pri jasnem nebu (Sauberer 1959). Globalno sevanje pri oblačnem nebu pa je enako difuznemu sevanju neba. To sevanje je v primerjavi z direktnim sončnim sevanjem koncentrirano nekoliko bolj pri srednjih valovnih dolžinah, medtem ko je jakost na skrajnih delih spektra, nekoliko manjša. Spektralno porazdelitev globalnega sevanja moramo omeniti zato, ker je znano (Van Wijk 1963),

da so za rastlino pomembne predvsem določene valovne dolžine.

Posamezne komponente sončnega sevanja kot so: neoslabljeno sončno sevanje na vrhu atmosfere, absorpcija v raznih plinih (ozon, CO_2 , vodna para), razpršitev na molekulah zraka in drugih delcih v zraku, so podrobno teoretično obdelali številni avtorji (Milanković, Fowle, Rayleigh, Mie in drugi). Prav tako so razni avtorji našli številne empirične zakone za razne kraje, ki dajejo zvezo med različnimi komponentami sončnega sevanja in drugimi meteorološkimi podatki.

V tem delu se bomo omejili. Obdelali bomo samo podatke o globalnem sevanju v Ljubljani in izračunali konstante, ki povezujejo globalno sevanje z drugimi meteorološkimi elementi, le za popolnejšo sliko bomo podali tudi krajše teoretične izpeljave. Na koncu bomo dodali metode za izračunavanje količine globalnega sevanja v raznih vegetacijskih obdobjih.

1. EKSTRATERESTRIČNO SONČNO SEVANJE IN PREHOD SKOZI ATMOSFERO

Pri vseh obravnavah sončnega sevanja nastopa kot osnova direktno sončno sevanje na vrhu atmosfere, oziroma kot ga krajše imenujemo ekstraterestrično sevanje. Za lažje razumevanje je zato primerno, da si ogledamo, kako ga lahko izračunamo. Milanković (1941) ga je izračunal na naslednji način.

Po Lambertovem zakonu je

$$I = I_0 \cos z \quad 1.1$$

kjer je : I jakost sončnega sevanja na horizontalni površini

I_0 jakost sončnega sevanja na ploskvi, ki leži normalno na smer žarkov

z zenitni kot

Enote v katerih merimo I in I_0 so kalorije na kvadratni centimeter na minuto $[\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}]$ oziroma longley - ji na minuto $[\text{ly min}^{-1}]$.

Količino direktnega sončnega sevanja v enem dnevu - samo ta nastopa pri ekstraterestričnem sevanju - dobimo tako, da enačbo 1. 1 integriramo po času. S časom pa se bistveno menja samo zenitna razdalja z .

$$z = z(\varphi, \delta)$$

kjer sta φ geografska širina

δ deklinacija sonca

S pomočjo sferme trigonometrije dobimo

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad 1.2$$

kjer je ω časovni kot, ki je definiran z

$$\omega = \frac{2\pi}{T} t \quad 1.3$$

kjer je T obhodna doba (v našem primeru 24 ur).

Enačbo 1. 1 lahko zapišemo tudi nekoliko drugače

$$I = \frac{dQ}{dt} = I_0 \cos z \quad 1.4$$

V tej enačbi nam predstavlja $\frac{dQ}{dt}$ količino toplote, ki jo prejme horizontalna površina v časovnem intervalu dt . Če v enačbi 1. 4 zamenjamo I_0 , ki se z razdaljo od sonca menja, z izrazom

$$I_0 = \frac{S}{q} \quad 1.5$$

kjer je : S solarna konstanta

$q = \frac{r}{r_m}$ razmerje med dejansko razdaljo sonce - zemlja in povprečno razdaljo

lahko integral v enačbi 1. 6 izračunamo in dobimo izraz 1. 7 v katerem so vse količine znane.

$$Q = \frac{S}{4} \int_{\text{vzhod}}^{\text{zahod}} \cos z \, dt \quad 1. 6$$

$$Q = \frac{S \cdot 24}{q \cdot \pi} (\omega_0 \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_0) \quad 1. 7$$

kjer je ω_0 časovni kot zahoda oziroma vzhoda sonca, ki je definiran z izrazom

$$\cos \omega_0 = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta \quad 1. 8$$

Količina ekstraterestričnega sevanja Q zavisi torej samo od geografske širine in dneva v letu.

Za solarno konstanto vzemimo vrednost $2,0 \text{ ly min}^{-1}$, ki je po novejših raziskavah (Van Wijk 1963) bolj primerna kot stara vrednost $1,94 \text{ ly min}^{-1}$. Vrednost $2,0 \text{ ly min}^{-1}$ je porabil tudi Milanković (1941) v svojih kalkulacijah ekstraterestričnega sončnega sevanja. Dnevne količine ekstraterestričnega sončnega sevanja za določene dneve za geografski širini 40 in 50° severno po Milankoviću najdemo v tabeli 2. Z linearno interpolacijo dobimo za te dneve tudi vrednosti za geografsko širino 45° severno, ki se ne razlikuje mnogo od geografske širine Ljubljane ($46^\circ 4' \text{ N}$). Pri računanju empiričnih zvez bomo porabili kar vrednost za 45° severne širine, saj nam netočnost podatkov in drugi vplivi to prav gotovo dopuščajo.

S pomočjo diagrama lahko grafično dobimo dnevno količino ekstraterestričnega sevanja za srednji dan v mesecu. Te podatke najdemo za geografsko širino 45° severno v tabeli 3.

Ekstraterestrično sončno sevanje pri prehodu skozi atmosfero oslabi zaradi raznih procesov, ki nastopajo v ozračju. Naj omenimo, da po Houghtonu (1954) ostane 2% v stratosferi, ostala energija pa se razporedi tako: Pri jasnem nebu se reflektira 17 % nazaj v stratosfero, 20 % se absorbira v troposferi in 61 % se absorbira v tleh. Pri oblačnem nebu pa se reflektira 51 %, v troposferi se absorbira 19 in v tleh 28 %. Številke so povprečne za severno hemisfero.

Od procesov, ki nastopajo v atmosferi in slabijo sončno sevanje so najvažnejši; absorpcija v ogljikovem dioksidu, vodni pari in prahu v atmosferi, kakor tudi absorpcija v ozonski plasti ter razpršitev na molekulah zraka, na vodni pari in na prahu v atmosferi. Ker teh vrednosti pri nas ne poznamo, jih ne bomo podrobno obravnavali, ampak se bomo deloma povrnili nanje pri razlagi konstant, ki jih bomo dobili iz empiričnih zakonov.

11. GLOBALNO SEVANJE

Obdelali bomo podatke o globalnem sevanju v Ljubljani v obdobju 1961 - 1965. Globalno sevanje je najprej beležil zvezdni piranometer (firma Schenk), od maja 1963 dalje pa solarigraf (firma Kipp & Zonen). Instrumenta sta nameščena na strehi meteorološkega observatorija za Bežigradom v višini 14,5 metra nad zemeljsko površino. Dnevne količine globalnega sevanja so objavljene v publikacijah Hidrometeorološkega zavoda SRS (Mesečni pregled najvažnejših podatkov meteorološkega observatorija - Ljubljana).

Iz vsote dnevnikoličin globalnega sevanja dobimo srednjo dnevno količino

za posamezne mesece in leta (tabela 4). V letu 1961 manjkajo podatki za 14. 15. 16. in 17. oktober. Vrednosti za te dneve so interpolirane na osnovi enačbe.

$$Q = 24,6 I + 88$$

11. 1

kjer je Q globalno sevanje v $ly \text{ dan}^{-1}$ in
 I sončno obsevanje v urah

Enačbo smo dobili z metodo polovičnih srednjih vrednosti (Vujević 1956) na osnovi podatkov za drugo dekada oktobra vseh petih let.

Petletne srednje vrednosti globalnega sevanja za Ljubljano, ki jih najdemo v tabeli 4 primerjamo s podatki za bližnje kraje; kot so Zagreb, Beograd in Dunaj (Milosavljević 1963). Podatke za vse štiri kraje najdemo v tabeli 5, dodana pa je tudi srednja vrednost globalnega sevanja za širinski pas $40 - 50^{\circ} N.$ (Sauberer 1959).

Srednje vrednosti v tabeli 5 so podane za razna časovna obdobja, zato jih le težko primerjamo. Ugotovimo sicer lahko, da so vrednosti Ljubljane v vseh mesecih manjše od vrednosti Beograda in Zagreba in razen v avgustu tudi manjše od vrednosti Dunaja. Ta razlika pa lahko izhaja tudi iz različnih obdelanih obdobj. Podatki za Ljubljano so namreč mlajši in možno je, da so podatki drugih postaj, ki pa še niso objavljeni, v tem obdobju tudi nižji.

Zelo zanimiva je primerjava globalnega sevanja naštetih krajev s srednjo vrednostjo za širinski pas $40 - 50^{\circ} N.$ iz tabele 5 lahko ugotovimo, da so vrednosti globalnega sevanja v naštetih krajih v štirih mesecih, ki predstavljajo sredino letnih časov, znatno manjše od vrednosti globalnega sevanja v širinskem pasu $40 - 50^{\circ} N.$ Če nekoliko natančneje primerjamo vrednosti glo-

balnega sevanja v Ljubljani z vrednostmi v širinskem pasu $40 - 50^{\circ} N.$, vidimo, da nastopajo velike razlike. Relativne spremembe so zlasti velike pozimi in spomladi (63 oziroma 43 %) medtem ko so poleti in jeseni znatno manjše (24 oziroma 9 %). Ta rezultat lahko deloma razložimo z večjo oblačnostjo in predvsem meglo v zimskih in spomladanskih mesecih, medtem ko se jeseni oblačnost v Ljubljani verjetno približuje srednji oblačnosti obravnavanega širinskega pasu.

Razen povprečnih vrednosti nas zanimajo tudi maksimalne količine globalnega sevanja. Ker že pregled podatkov pove, da ni primerno izbrati samo jasne dni kot dneve z maksimalno količino globalnega sevanja uporabimo naslednjo metodo. Iz dnevni vrednosti v posameznih mesecih vzemimo 10 največjih in tvorimo srednjo vrednost. Prav tako poiščimo tudi absolutne maksimume v posameznih mesecih. Te podatke najdemo v tabeli 6. Primerjamo jih lahko z rezultati Saubererja (1959) za širinski pas $40 - 50^{\circ} N.$ in s podatki istega avtorja za Vzhodne alpe (1955) o globalnem sevanju pri jasnih dnevih. Vrednosti najdemo v tabeli 7. Na žalost Sauberer (1959) ob teh podatkih ne navaja za katera opazovalna obdobja veljajo ti povprečki.

Iz tabele 7 lahko kljub deloma nepravilni primerjavi srednje maksimalne vrednosti globalnega sevanja z vrednostjo ob jasnih dnevih (pri nas je teh dni malo) in različnih obravnavanih obdobju sklepamo naslednje.

Primerjava podatkov za širinski pas $40 - 50^{\circ} N.$ za jasne dni s srednjimi maksimalnimi vrednostmi globalnega sevanja za Ljubljano kaže, da so vrednosti v Ljubljani ves čas manjše. Zlasti velika je razlika pozimi (relativna sprememba 30 %), znatno manjša poleti (relativna sprememba 10 %), medtem ko jo spomladi in jeseni praktično ni.

Podobna primerjava s podatki za Vzhodne alpe (Sauberer 1959) pokaže, da so spomladi srednje maksimalne vrednosti globalnega sevanja v Ljubljani znatno večje (relativna sprememba 17 %) pozimi precej manjše (relativna sprememba - 15 %) kot v Vzhodnih alpah, razlike poleti in jeseni pa so neznatne. Te ugotovitve je težko razložiti, saj je faktorjev, ki vplivajo na količino globalnega sevanja, veliko število. Manjšo vrednost globalnega sevanja v Ljubljani od vrednosti v Vzhodnih alpah si lahko razlagamo z manjšimi vrednostmi transmisijskih koeficientov v Ljubljani. Večjo vrednost globalnega sevanja v Ljubljani od vrednosti v Vzhodnih alpah spomladi pa si lahko razlagamo samo s povečanjem komponente difuznega sevanja neba, oziroma na oblakih Cu večkrat reflektiranega direktnega sončnega sevanja, saj povečanje transmisijskih koeficientov nad mestom, ki je povrhu tega še v kotlini, ne prihaja v poštev. Ta razlaga se sklada z ugotovitvami Penzarja (1959), ki razlaga maksimalne vrednosti globalnega sevanja v Zagrebu na podoben način.

III. EMPIRIČNA ZVEZA MED GLOBALNIM SEVANJEM IN RELATIVNIM SONČNIM OBSEVANJEM

Podatkov o globalnem sevanju v splošnem ni za dosti krajev na razpolago. V Sloveniji jih imamo samo za Ljubljano. Več je podatkov o sončnem obsevanju, ki ga merimo s heliografom in izražamo s številom sončnih ur. Pri računanju raznih empiričnih zvez med globalnim sevanjem in sončnim obsevanjem je važno razmerje, ki ga tvori sončno obsevanje z astronomsko možno dolžino obsevanja. To razmerje imenujemo relativno sončno obsevanje.

Med količino globalnega sevanja in relativnim sončnim obsevanjem obstoji precej tesna zveza. Lahko napišemo znano linearno regresijsko enačbo (Van Wijk 1963)

$$Q = Q_0 \left(d + z \frac{n}{N} \right)$$

III. 1

kjer je Q količina globalnega sevanja
 Q_0 količina ekstraterestričnega sevanja
 $\frac{n}{N}$ relativno sončno obsevanje
 d, z empirični konstanti

Če nam bosta znani konstanti d in z , bomo s pomočjo podatkov o relativnem sončnem obsevanju za druge kraje zvedeli tudi nekaj o količini globalnega sevanja.

Konstanti d in z bomo izračunali na naslednji način.

1. S pomočjo podatkov o srednji dolžini sončnega obsevanja in astronomsko možni dolžini sončnega obsevanja, ki jih najdemo v tabelah 8 in 9, izračunamo najprej relativno sončno obsevanje, ki je podano v tabeli 10.

Pregled tabele 10 nam pove, da je imelo relativno sončno obsevanje maksimum v avgustu 1962 in 1964 (0,63) in minimum v novembru 1962 (0,03). Če pogledamo srednje vrednosti za posamezne mesce, vidimo, da se spreminjajo od 0,10 v decembru do 0,58 v avgustu.

Naj pripomnimo, da smo absolutni maksimum našli prav tako v avgustu. Pregled srednjih vrednosti relativnega sončnega obsevanja v odvisnosti od letnega časa nam podaja slika 1. Krivulja je nesimetrična z velikimi spremembami pozimi med januarjem in februarjem ter jeseni med oktobrom in novembrom.

2. Na osnovi podatkov o količini globalnega sevanja (tabela 4) in dnevni količini ekstraterestričnega sevanja za srednji dan v mescu (tabela 3)

izračunamo relativno količino globalnega sevanja, ki je definirana kot razmerje med količino globalnega sevanja in količino ekstraterestričnega sevanja. To naredimo za vsak mesec in za srednjo vrednost vseh petih mesev skupaj (tabela 11).

3. S pomočjo enačbe III. 1 in podatkov tabel 10 in 11 izračunamo končno z metodo polovičnih srednjih vrednosti (Vujević 1954) konstanti α in β , ki v enačbi nastopata; $\alpha = 0,11$ in $\beta = 0,63$ (slika 2).

Konstanti α in β nam povesta, da znaša količina globalnega sevanja pri oblačnem nebu samo 11 procentov ekstraterestričnega sevanja ter, da je globalno sevanje močno odvisno od relativnega sončnega obsevanja ($\beta=0,63$).

Primerjava dobljenih konstant s konstantami tujih avtorjev za različne kraje, ki jih navaja Van Mijk (1963) nam pokaže naslednje (tabela 12).

Konstanta α ima najmanjšo vrednost v Ljubljani. Torej propušča atmosfera pri oblačnem nebu v Ljubljani najmanjši del ekstraterestričnega sevanja do tal. Morda si lahko razložimo ta rezultat z domnevo, da je zaradi kotlinske lege Ljubljane oblačni sloj nad Ljubljano ob popolnoma oblačnem vremenu pogosto zelo debel. Konstanta β ima v Ljubljani in Zagrebu podobno vrednost, ki pa se znatno razlikuje od rezultatov drugih avtorjev. Razlaga za te razlike moramo iskati v specifičnih lastnostih atmosfere nad našim področjem (Penzar 1959). V Ljubljani in Zagrebu je torej globalno sevanje najbolj odvisno od relativnega sončnega obsevanja od vseh v tabeli 12 naštetih krajev.

Podobno enačbo, ki povezuje količino globalnega sevanja z relativnim sončnim obsevanjem je postavil Angström že 1927 leta. V njej nastopa samo

ena empirična konstanta, njena oblika pa je naslednja

$$Q = Q_b \left[\alpha + (1 - \alpha) \frac{n}{N} \right] \quad \text{III. 2}$$

kjer pomeni Q količino globalnega sevanja

Q_b količino globalnega sevanja pri jasnem nebu

α empirično konstanto

Izračunajmo konstanto α tudi za Ljubljano. Že kratek pregled podatkov pokaže, da je jasnih dni malo in da niso maksimalne vrednosti globalnega sevanja dosežene vedno pri jasnih dnevih. Zato vzemimo za računanje kot primernejše srednje maksimalne količine globalnega sevanja, ki smo jih navedli v tabeli 6. S pomočjo teh vrednosti dobimo za konstanto α v enačbi III. 2 vrednost 0,28 (slika 3). Podatki se zaradi enostavnejše enačbe - samo ena konstanta - seveda slabše prilagajajo premici kot na sliki 2. Vrednost konstante α se iz mesca v mesec nekoliko spreminja (tabela 13) in niha od 0,33 v decembru in januarju do 0,19 v marcu in avgustu. Vrednost v marcu je izredno nizka, prave razlage zanje pa ni. Ker predstavlja konstanta α v enačbi III. 2 del globalnega sevanja pri jasnem nebu, ki pride ob popolnoma oblačnem dnevu do zemeljske površine, si izredno nizko vrednost konstante α v tem mesecu lahko razlagamo s posebnimi lastnostmi oblačne odeje (povečana refleksija na gornji meji oblakov, povečana absorpcija v oblačnem sloju, ki nastopa zato ker je morda sloj debelejši kot navadno). Vrednost konstante α je v splošnem odvisna od stanja atmosfere (propustnosti) in od vrste oblakov.

Primerjava konstante α za Ljubljano s podatki drugih avtorjev nam kaže (tabela 14), da je vrednost za Ljubljano istega velikostnega reda. Interpretacija konstante α nam pove, da pride v Ljubljani v povprečju

28 procentov maksimalne količine globalnega sevanja do tal ob popolnoma oblačnem vremenu.

IV. GLOBALNO SEVANJE V VEGETACIJSKIH OBDOBJIH

Srednje količine globalnega sevanja v posameznih mescih, ki smo se z njimi ukvarjali v prejšnjih poglavjih, se pri študiju globalnega sevanja v raznih naravnih oziroma vegetacijskih obdobjih zelo neprimerne. Le redko se namreč naravna obdobja pokrivajo s koledarskimi obdobji - mesci. Prav tako se srednja mesečna vrednost globalnega sevanja zlasti v spomladanskih in jesenskih mescih že iz čisto astronomskih vzrokov močno razlikuje od dejanskih vrednosti globalnega sevanja v začetku ali na koncu mesca. V nekaterih koledarskih obdobjih obstoja tudi iz meteoroloških vzrokov (cirkulacija, ciklonska aktivnost itd.) določena tendenca k višjim ali nižjim vrednostim globalnega sevanja.

Iz navedenih vzrokov je primerno, da izračunamo srednje vrednosti globalnega sevanja za obdobja krajša od enega mesca. V literaturi so že uvedena ta obdobja in sicer dekade in pentade. Ker želimo imeti krajša obdobja, vzamimo pentade.

Iz naših podatkov izračunajmo srednje pentadne vrednosti globalnega sevanja na dan (tabela 15). Kljub temu, da so te vrednosti povpreček iz 25 števil, vrednosti ne rastejo spomladi in padajo jeseni enakomerno od pentade do pentade, ampak padajo ali rastejo zelo neenakomerno. Zato je zaradi lepše predstave podana letna razporeditev v obliki lomljene krivulje (slika 4).

Iz slike 4 lahko razberemo poleg letne razporeditve srednjih pentadnih vred-

nosti globalnega sevanja tudi srednje mesečno globalno sevanje, maksimalno globalno sevanje v posameznih mescih in ekstraterestrično sončno sevanje.

Pri vrednotenju ekoloških pogojev v določenem časovnem obdobju nastopa pogosto problem vsote globalnega sevanja v tem obdobju. Vsote globalnega sevanja so namreč v meteoroloških poročilih računane za posamezne mesce. S pomočjo podatkov o srednjem pentadnem globalnem sevanju (tabela 15) si lahko izračunamo pentadne vsote globalnega sevanja tako, da vrednosti množimo s faktorjem 5. S temi vsotami in srednjimi vrednostmi pa lahko izračunamo tudi vsote za vsako željeno obdobje.

Za enostavno in hitro vendar precej manj natančno kalkulacijo količine globalnega sevanja v posameznih vegetacijskih obdobjih pa lahko uporabimo kumulativni diagram (slika 5). Na abscisi sta nanešeni dve skali; pentade in datumi, na ordinati pa kumulativne vsote globalnega sevanja. Kumulativno vsoto začnemo tvoriti z 2. marcem oziroma z začetkom 13. pentade in jo končamo s 1. novembrom, oziroma s koncem 61. pentade. Med tema mejnima datumoma lahko torej s pomočjo tega diagrama izračunamo vsoto globalnega sevanja za katerekoli obdobje na naslednji način.

Na absciso nanesemo datum začetka obdobja za katerega računamo vsoto globalnega sevanja ter s pomočjo kumulativne krivulje odčitamo ustrezno vrednost na ordinati v kilokalorijah na kvadratni centimeter. Prav tako naredimo tudi za datum konca obdobja. Obe vrednosti globalnega sevanja odštejemo in razlika predstavlja prav vsoto globalnega sevanja v obdobju med danima dvema podatkom. Če je datum začetka obdobja 2. marca, nam iskano vsoto globalnega sevanja predstavlja kar odgovarjajoča odčitana vrednost pri datumu konca obdobja.

Za tako direktno odčitavanje si lahko pripravimo podobne kumulativne diagrame z začetkom pri kakšnem drugem datumu, ki prihaja pri določenem delu pogosto v poštev. Dvakratno odčitavanje pa vsekakor ni tako nerodno, da bi bilo sestavljanje takih dodatnih diagramov tudi res potrebno.

V. ZAKLJUČEK

V delu smo podali nekatere rezultate o raziskavah globalnega sevanja v Ljubljani, ki smo jih primerjali tudi z rezultati tujih avtorjev za bližnje kraje. Ugotovili smo, da so v Ljubljani povprečne vrednosti globalnega sevanja skoro vedno manjše od vrednosti Zagreba, Beograda in Dunaja.

Primerjava konstant v raznih empiričnih enačbah, ki povezujejo sončno obsevanje (število sončnih ur) z globalnim sevanjem (kalorije na kvadratni centimeter na časovno enoto) je prav tako pokazala določene specifičnosti atmosfere nad našim ozemljem. Tako se konstante v linearni regresijski enačbi III. 1 ujemajo s konstantami, ki jih je dobil Penzar (1959) za Zagreb in razlikujejo od konstant drugih avtorjev za druge kraje.

Pri vrednotenju globalnega sevanja za določena naravna obdobja, ki se razlikujejo od koledarskih, naletimo večkrat na težave. Zato smo dodali tabelo pentadnih srednjih vrednosti, ki nam omogoča precej točno vrednotenje globalnega sevanja v takih obdobjih in diagram s katerim to vsoto hitro vendar manj natančno ocenimo v poljubnem obdobju med 2. marcem in 1. novembrom.

Delo je del raziskovalne teme " Globalno sevanje v vinogradih na Štajerskem in Primorskem " ter je bilo izdelano na Institutu za tla in prehrano rastlin Biotehniške fakultete v Ljubljani s sredstvi te fakultete.

LITERATURA

- | | | |
|---|-------------|--|
| Hidrometeorološki zavod
SR Slovenije | 1961 - 1965 | Mesečni pregled najvažnejših podatkov Meteorološkega observatorija Ljubljana |
| Houghton H. G. | 1954 | On the annual heat balance of the North Hemisphere, Journ. Met. 11 |
| Milanković M. | 1941 | Kanon der Erdbestrahlung, Königlich Serbische Akademie, Beograd |
| Milosavljević M. | 1963 | Klimatologija, Naučna knjiga, Beograd |
| Penzar I. | 1959 | Kakva je veza između globalne radijacije i trajanja insolacije u Zagrebu, Vesnik hidromet. službe, Beograd br. 3 - 4 |
| Sauberer F. - O. Härtel | 1959 | Pflanze und Strahlung, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K. - G. Leipzig |
| Van Wijk W. R. | 1963 | Physics of Plant Environment, North - Holland Publishing Company, Amsterdam |
| Vujević P. | 1956 | Klimatološka statistika, Naučna knjiga, Beograd |

TABELA 1

Difuzno sevanje neba pri jasnih dnevih in pri srednji oblačnosti v pasu 40 - 50° N. (v procentih globalnega sevanja)

TABLE 1

Scattered radiation in clear days and at mean cloudiness in latitude belt 40 - 50° N. (percentage of global radiation) After Sauberer (1959)

Oblacnost	Zima	Spomlad in jesen	poletje
0/10	21	16	17
4/10	61	49	47

TABELA 2

Dnevne količine ekstraterrestričnega sevanja po Milankoviću (za širino 45° interpolirano) v longley-jih na dan

TABLE 2

Daily amounts of extraterrestrial radiation after Milanković (1940) (for the latitude 45° interpolated) in ly per day

Datumi	21.3	6. 5.	22.6	8.8.	23.9	8.11	22.12	4.2.								
φ	13.4	29.5	15.7.	31.8	16.10	30.11	13.1	26.2								
50°	593	755	894	988	1020	983	886	747	586	427	295	210	181	211	298	432
45°	650	794	916	995	1021	990	908	785	642	495	369	285	254	286	373	501
40°	707	832	938	1002	1022	997	929	823	698	562	442	359	327	361	447	570

TABELA 3

Dnevne količine ekstraterrestričnega sevanja za srednji dan v mescu ($\varphi = 45^\circ$) v longley-jih na dan

TABLE 3

Daily amounts of extraterrestrial radiation for the middle day of the month ($\varphi = 45^\circ$) in ly per day

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
300	435	600	805	945	1010	990	865	690	495	340	260

TABELA 4

Srednje dnevne vrednosti globalnega sevanja v Ljubljani [ly dan⁻¹]

TABLE 4

Monthly means of global radiation at Ljubljana [ly per day]

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1961	52.4	107.0	219.5	243.2	320.4	376.8	371.9	364.5	251.6	111.5*	47.6	38.7
1962	36.6	118.0	212.6	287.9	354.7	397.4	385.4	367.7	233.7	137.5	44.7	48.4
1963	59.0	98.6	178.3	284.5	336.2	370.5	453.4	419.4	271.7	177.7	89.3	50.1
1964	77.0	138.0	141.5	358.8	460.1	522.4	506.8	419.4	302.2	129.4	95.5	37.8
1965	71.1	175.7	251.4	322.4	393.3	463.4	504.0	415.6	288.7	223.7	69.2	46.0
m	59.2	127.5	200.7	299.4	372.9	426.1	444.3	397.3	268.4	156.0	69.3	44.2

TABELA 5

Srednje dnevne vrednosti globalnega sevanja v različnih krajih po Milosavljeviću (1963) [1y dan⁻¹]

TABLE 5

Monthly means of global radiation at various places after Milosavljević (1963) in 1y per day

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Opazoval- no obdobje
Beograd	93	145	239	344	414	463	457	421	333	205	97	66	1947 - 61
Zagreb	79	153	273	342	447	472	492	447	319	183	87	57	1949 - 58
Ljubljana	59	128	201	299	373	426	444	397	268	156	69	44	1961 - 65
Wien	68	136	223	333	417	460	458	395	293	163	69	49	1938 - 56
Pas 40-50°	158	350				565		350					(Sauberer 1959)
$\frac{Lj-(40-50^{\circ})}{(40-50^{\circ})}$	-63 %	-43 %				-21 %		-9 %					

TABELA 6

Srednje maksimalne vrednosti (iz desetih podatkov) in absolutne maksimalne vrednosti globalnega sevanja v Ljubljani 1y dan⁻¹

TABLE 6

Mean maximum values (from ten data) and absolute maximum values of global radiation at Ljubljana (1y per day)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
\bar{M}_{10}	137	262	451	549	635	663	651	605	442	315	181	110
M_a	155	301	547	617	675	706	677	638	483	382	212	139
$\frac{M_a - \bar{M}_{10}}{M_a}$	13	15	21	12	6	6	4	5	9	21	17	26

TABELA 7

Srednje dnevne količine globalnega sevanja ob jasnih dnevih v pasu 40 - 50° N. in Vzhodnih alpah (Sauberer 1955 in 1959) in srednje maksimalne ter absolutne maksimalne vrednosti v Ljubljani 1y dan⁻¹

TABLE 7

Daily means of global radiation in clear days in latitude belt 40° - 50° N, in east Alps (Sauberer 1955 and 1959); mean maximum values and absolute maximum values at Ljubljana (1y per day)

	I	III	VI	VII	IX	XII
Širinski pas 40 - 50°, jasni dnevi	197	466		722	466	
Ljubljana \bar{M}_{10}	137	451	663	651	442	110
Ljubljana M_a	155	547	706	677	483	139
Vzhodne alpe višina 200 m jasni dnevi	386	691		446	130	
$\frac{\bar{M}_{10} - (40 - 50^{\circ})}{(40 - 50^{\circ})}$	-30%	-3%		-10%	-5%	
$\frac{\bar{M}_{10} - (Vzh.alpe)}{(Vzh.alpe)}$	17%	-4%		-1%	-15%	

TABELA 8

Srednje sončno obsevanje v Ljubljani ure dan⁻¹

TABLE 8

Mean duration of sunshine at Ljubljana (hours per day)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1961	1,5	3,5	6,8	4,8	5,5	7,6	8,3	8,8	7,4	2,3	1,4	1,5
1962	1,2	3,8	2,2	5,3	6,3	7,1	7,5	8,9	5,3	4,2	0,3	1,2
1963	1,6	2,2	4,2	5,5	6,5	7,1	8,8	7,5	4,5	3,9	2,0	0,6
1964	1,6	3,3	1,6	5,7	7,2	8,6	7,5	8,9	6,0	2,0	2,0	0,3
1965	0,8	3,5	4,3	4,4	5,9	7,7	9,0	6,8	5,2	5,1	1,1	0,4
m	1,3	3,3	3,8	5,1	6,3	7,8	8,2	8,2	5,7	3,5	1,4	0,8

TABELA 9

Astronomsko možno sončno obsevanje v Ljubljani ure dan⁻¹

TABLE 9

The mean day length at Ljubljana (hours per day)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	9,1	10,3	11,9	13,6	15,0	15,7	15,4	14,1	12,6	11,0	9,5	8,2

TABELA 10

Relativno sončno obsevanje v Ljubljani

TABLE 10

Relative duration of sunshine at Ljubljana

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1961	0,16	0,34	0,57	0,35	0,37	0,48	0,54	0,52	0,59	0,21	0,15	0,18
1962	0,13	0,37	0,19	0,39	0,42	0,45	0,49	0,63	0,42	0,38	0,03	0,15
1963	0,18	0,21	0,35	0,40	0,43	0,45	0,57	0,53	0,36	0,35	0,21	0,07
1964	0,18	0,32	0,13	0,42	0,48	0,55	0,49	0,63	0,48	0,18	0,21	0,04
1965	0,09	0,34	0,36	0,32	0,39	0,49	0,58	0,48	0,41	0,46	0,12	0,05
m	0,14	0,32	0,32	0,38	0,42	0,50	0,53	0,58	0,45	0,32	0,15	0,10

TABELA 11

Relativna količina globalnega sevanja v Ljubljani

TABLE 11

Relative amount of global radiation at Ljubljana

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1961	0,17	0,25	0,37	0,30	0,34	0,37	0,38	0,42	0,36	0,23	0,14	0,15
1962	0,12	0,27	0,35	0,36	0,38	0,39	0,39	0,42	0,34	0,28	0,13	0,19
1963	0,20	0,23	0,30	0,35	0,36	0,37	0,46	0,48	0,39	0,36	0,26	0,19
1964	0,26	0,32	0,24	0,45	0,49	0,52	0,45	0,46	0,44	0,26	0,28	0,15
1965	0,24	0,40	0,42	0,40	0,42	0,46	0,51	0,48	0,41	0,45	0,20	0,18
m	0,20	0,30	0,33	0,37	0,39	0,42	0,44	0,45	0,39	0,31	0,21	0,17

TABELA 12

Vrednosti konstant α in β v enačbi $Q = Q_0 (\alpha + \beta \frac{n}{n})$

TABLE 12

Values of coefficients α and β in equation $Q = Q_0 (\alpha + \beta \frac{n}{n})$

α	β	Kraj	Geografska širina in dolžina	Opazovalno obdobje	Avtor
0,18	0,55	Rothamsted	51,8 N 0,4 W	1931 - 1940	Penman 1948
0,15	0,54	Gembloux	50,6 N 4,7 E	1939 - 1950	anonimen
0,23	0,50	Versailles	48,8 N 2,5 E	1935 - 1951	anonimen
0,11	0,63	Ljubljana	46° 4' N 14° 31' E	1961 - 1965	
0,16	0,64	Zagreb	45,8 N	1949 - 1958	Penzar 1959

TABELA 13

Vrednosti konstante d v enačbi $Q = Q_b \left[d + (1-d) \frac{n}{n} \right]$
za Ljubljano

TABLE 13

Values of constant d in equation $Q = Q_b \left[d + (1-d) \frac{n}{n} \right]$
at Ljubljana

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,33	0,24	0,19	0,27	0,29	0,31	0,32	0,19	0,27	0,27	0,28	0,33

TABELA 14

Vrednost konstante d v enačbi $Q = Q_b \left[d + (1-d) \frac{n}{n} \right]$

TABLE 14

Values of constant d in equation $Q = Q_b \left[d + (1-d) \frac{n}{n} \right]$ at
different places

Kraj	Geografska širina	višina			
Blue Hill	42,0° N	195 m	0,27	Haurwitz	1934
Ljubljana	46,1° N	314 m (inst)	0,28		
Zagreb	45,8° N		0,28	Penzar	1959
Wageningen	52,0° N	40 m	0,29	De Vries	1955

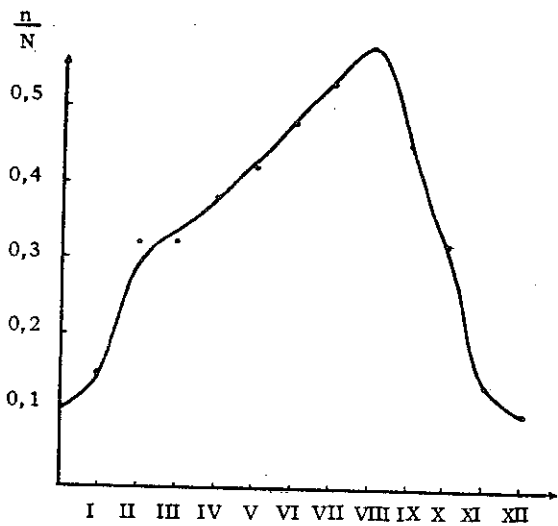
TABELA 15

Srednje pentadne vrednosti globalnega sevanja v Ljubljani (ly dan⁻¹)

TABLE 15

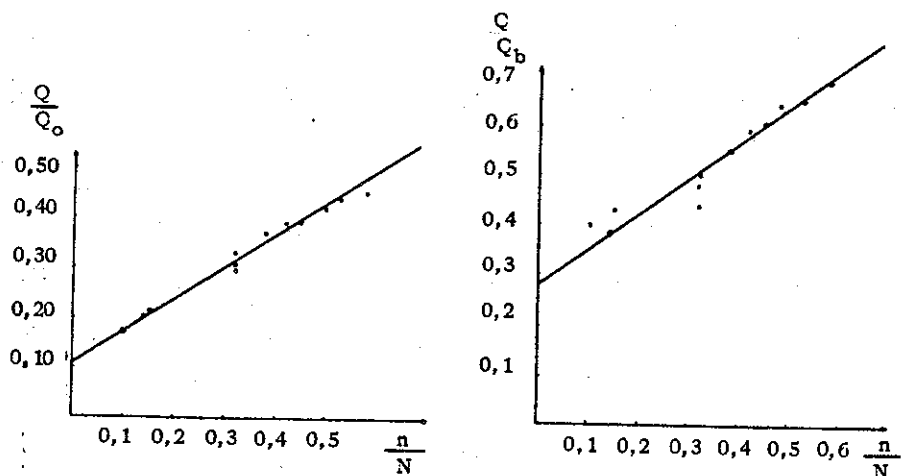
Five days' means of global radiation at Ljubljana (ly per day)

Datum	Pentada	Datum	Pentada	Datum	Pentada	Datum	Pentada
3. 1.	1. 40,1	3. 4. 19.	284,8	2. 7. 37.	470,0	30. 9.	55. 225,0
8. 1.	2. 40,2	8. 4. 20.	280,1	7. 7. 38.	456,7	5. 10.	56. 175,9
13. 1.	3. 47,0	13. 4. 21.	247,7	12. 7. 39.	421,8	10. 10.	57. 183,1
18. 1.	4. 75,4	18. 4. 22.	310,0	17. 7. 40.	459,3	15. 10.	58. 184,8
23. 1.	5. 81,6	23. 4. 23.	315,2	22. 7. 41.	446,9	20. 10.	59. 144,9
28. 1.	6. 82,3	28. 4. 24.	358,6	27. 7. 42.	445,7	25. 10.	60. 123,1
2. 2.	7. 92,6	3. 5. 25.	360,4	1. 8. 43.	409,6	30. 10.	61. 82,8
7. 2.	8. 118,0	8. 5. 26.	402,7	6. 8. 44.	490,4	4. 11.	62. 75,7
12. 2.	9. 125,6	13. 5. 27.	395,2	11. 8. 45.	408,2	9. 11.	63. 71,2
17. 2.	10. 121,4	18. 5. 28.	384,9	16. 8. 46.	373,2	14. 11.	64. 58,7
22. 2.	11. 164,6	23. 5. 29.	405,0	21. 8. 47.	386,3	19. 11.	65. 76,4
27. 2.	12. 137,2	28. 5. 30.	297,0	26. 8. 48.	380,0	24. 11.	66. 80,1
4. 3.	13. 142,1	2. 6. 31.	363,4	31. 8. 49.	300,2	29. 11.	67. 49,8
9. 3.	14. 188,0	7. 6. 32.	414,5	5. 9. 50.	293,5	4. 12.	68. 45,2
14. 3.	15. 178,2	12. 6. 33.	420,5	10. 9. 51.	272,2	9. 12.	69. 49,4
19. 3.	16. 194,5	17. 6. 34.	421,6	15. 9. 52.	300,2	14. 12.	70. 40,8
24. 3.	17. 263,5	22. 6. 35.	476,4	20. 9. 53.	241,6	19. 12.	71. 48,5
29. 3.	18. 249,2	27. 6. 36.	434,4	25. 9. 54.	246,5	24. 12.	72. 42,6
						29. 12.	73. 33,0



Slika 1
Letni potek relativnega sončnega obsevanja v Ljubljani (1961-1965)

Fig. 1
Annual course of relative duration of sunshine at Ljubljana (1961-1965)

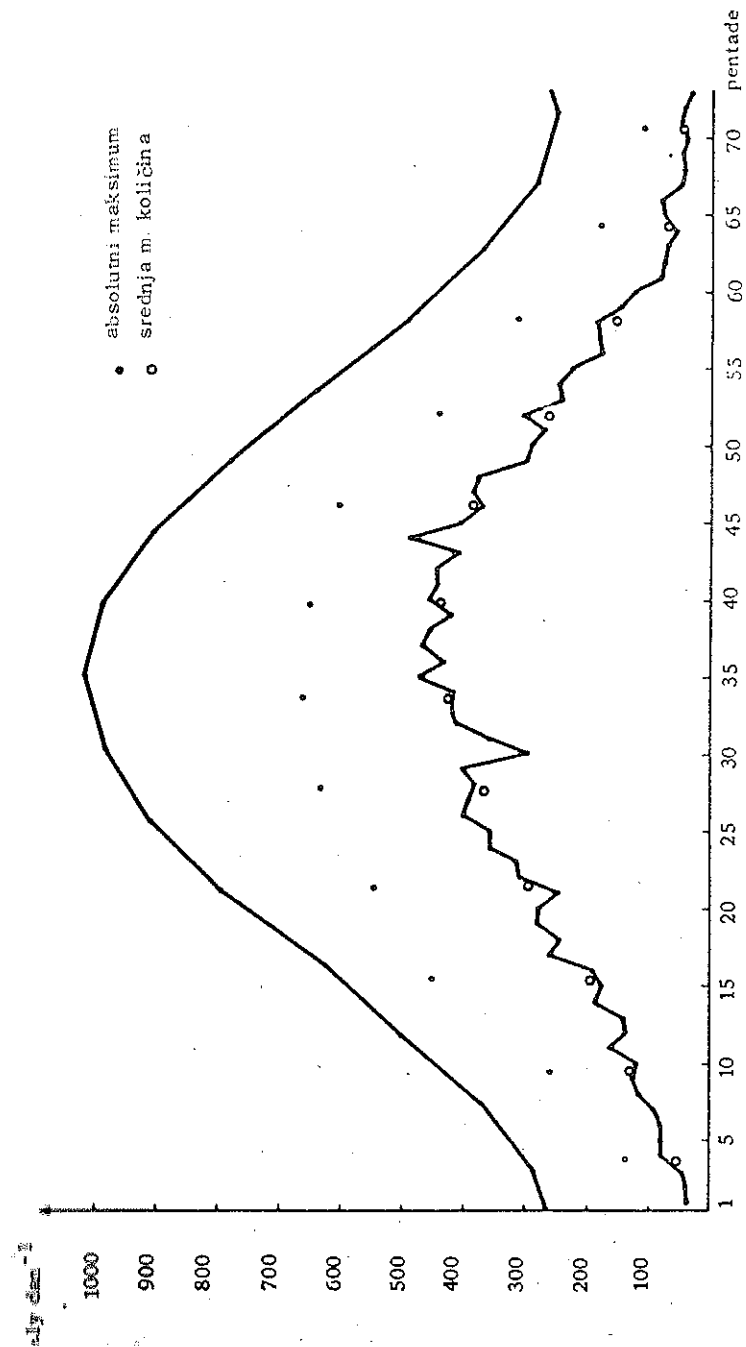


Slika 2
Relativna količina globalnega sevanja v odvisnosti od relativne dolžine trajanja obsevanja v Ljubljani (1961-1965)

Fig. 2
Relative amount of global radiation as a function of relative duration of sunshine at Ljubljana (1961-1965)

Slika 3
Relativna količina globalnega sevanja v odvisnosti od relativne dolžine trajanja obsevanja v Ljubljani (1961-1965)

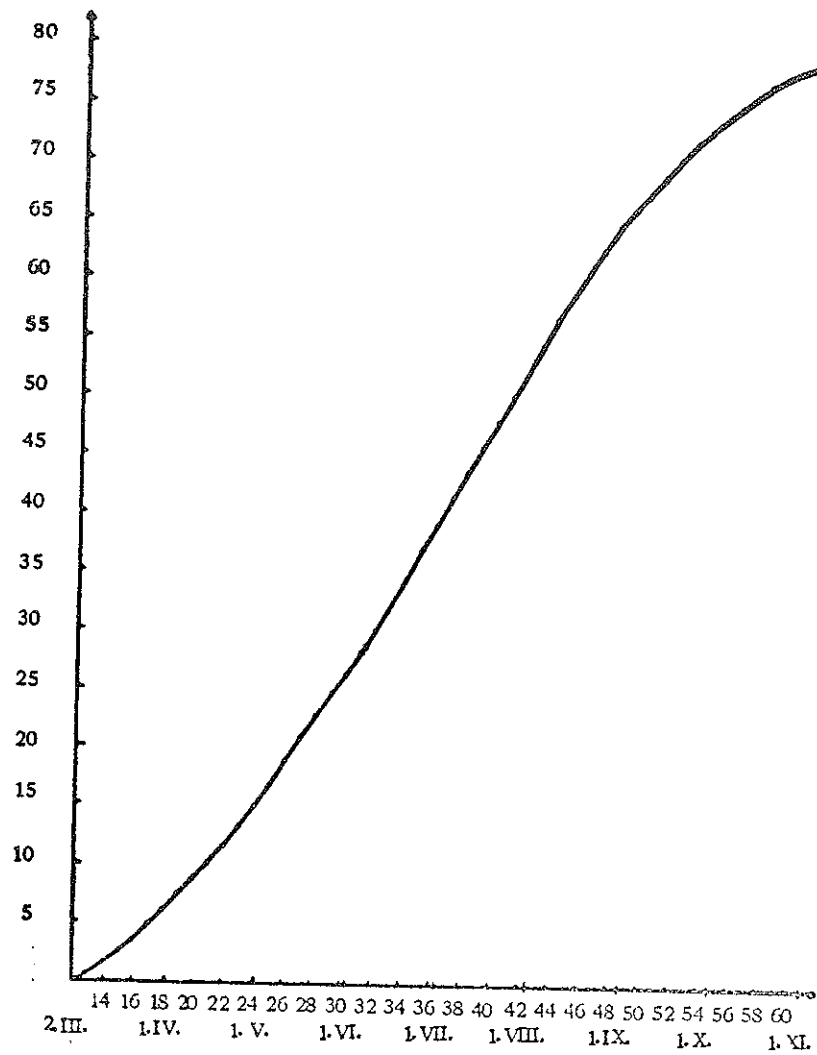
Fig. 3
Relative amount of global radiation as a function of relative duration of sunshine at Ljubljana (1961-1965)



Slika 4
Dnevne količine ekstraterrestrialnega sončnega sevanja na vrhu atmosfere ter absolutni maksimumi, srednje mesečne količine in srednje pentadne količine globalnega sevanja v Ljubljani (1961-1965) v ly na dan

Fig. 4
Daily amounts of extraterrestrial solar radiation on the top of the atmosphere and the absolute maxima, monthly means and five days' means of global radiation at Ljubljana (1961-1965) in ly per day

K cal cm⁻²



Slika 5 Kumulativni diagram globalnega sevanja v Ljubljani (1961 - 1965)

Fig. 5 Cumulative diagram of global radiation at Ljubljana (1961 - 1965)