

---

# Ultravioletinės radiacijos intensyvumas Kaune ir Vilniuje 2001 metų šiltuoju laiku

---

Egidijus Rimkus, Arūnas Bukantis, Saulius Kazakevičius

*Vilniaus universitetas*

*El. paštas: egidijus.rimkus@gf.vu.lt*

*El. paštas: arunas.bukantis@gf.vu.lt*

*Geografijos institutas*

*El. paštas: saulius.kazakevicius@centras.lt*

---

## ĮVADAS

Saulė savo energiją į kosminę erdvę spinduliuoja plataus diapazono bangomis – nuo pačių trumpiausių rentgeno iki ilgųjų metrinių, tačiau Žemės paviršių pasiekia tik dvi bangų ilgio spektro sritys, esančios tarp 0,29 ir 24 μm bei tarp 0,8 ir 20 cm. Pirmoji sritis dar vadinama optiniu langu, nes Žemės atmosfera praleidžia apie 80% Saulės spinduliavimo tokio ilgio bangomis. Antroji sritis – tai Saulės radijo spinduliavimas. Optinės srities spinduliuotė susideda iš ultravioletinės (UV), matomosios ir infraraudonosios spektro dalių. UV radiacijos bangų ilgis – nuo 100 iki 400 nm. Be to, priklausomai nuo bangų ilgio UV radiacija dalijama į tris tipus: UVC (100–280 nm), UVB (280–315 nm) ir UVA (315–400 nm) (Matveev, 1984; Roy, Gies, Toomey, 1997). Kai kurie autoriai nurodo, jog UVB bangų ilgis yra nuo 290 iki 320 nm, todėl atitinkamai susiaurėja UVA ir praplatėja UVC spektro dalis (Gibson, 1991). Žemės paviršių pasiekianti UV radiacija susideda apytikriai iš 95% UVA ir 5% UVB, o UVC radiaciją sugeria Žemės atmosfera (daugiausia ozonas).

Pastaruoju metu daugelyje išsivysčiusių šalių tiriamas UV radiacijos poveikis augalų produktyvumui, ligų plitimui, žmonių sveikatai (Longstreth etc., 1995; Parisi, Wong, Galea, 1996 ir kt.). Tokie tyrimai reikalauja tikslių UV radiacijos išteklių duomenų bei informacijos apie jų trumpalaikes fluktuacijas (Frederick, Siuser, Bigelow, 2000).

## DUOMENYS IR DARBO METODIKA

UV radiacijos intensyvumo fluktuacijos buvo analizuojamos remiantis Kauno meteorologijos stoties (MS) ir Geografijos instituto (GI), esančio Vilniuje, automatinės meteorologijos stoties matavimais, atliktais 2001 m. gegužės–rugpjūčio mėnesiais. Pradi-

niai duomenys: UV ir bendrosios Saulės radiacijos intensyvumas per parą, ozono koncentracija (tik Kauno MS), debesuotumas, krituliai, vandens garų slėgis. Kauno MS UV radiacija buvo matuojama „Solar Light“ firmos UV-metru, o GI – „DAVIS Health“ firmos UV-metru. Automatinė meteorologinė stotis „DAVIS Health“ įrengta ant Geografijos instituto stogo, maždaug 30 metrų aukštyje nuo žemės paviršiaus. Horizontaliai orientuoti UV ir bendrosios radiacijos davikliai yra 2 metrų aukštyje virš dirbtine tamsia danga padengto stogo. Dėl mažo stogo dangos paviršiaus albedo sumažėja į daviklius patenkančios atspindėtos radiacijos kiekis, o tai padidina atliekamų matavimų tikslumą. Matavimų duomenys automatiškai įrašomi į stoties pultą.

UV radiacija tiek Vilniuje, tiek Kaune matuojama MED'ais, bendroji radiacija Vilniuje – W/m<sup>2</sup>, Kaune – MJ/m<sup>2</sup>. Suvienodinant matavimų vienetus abejuose stotyse UV radiacija buvo perskaičiuota į W/m<sup>2</sup> (1MED = 250J = 0,0694W/m<sup>2</sup>), o bendroji – į kW/m<sup>2</sup>.

Siekiant išsiaiškinti kai kuriomis dienomis didelių paros UV radiacijos skirtumų tarp Vilniaus ir Kauno priežastis, buvo naudojami Vilniaus ir Kauno MS 9, 12 ir 15 valandų debesuotumo duomenys. Šios valandos pasirinktos todėl, kad tuomet Saulės spinduliuotės (o kartu ir UV) prietakos intensyvumas yra didžiausias. Taip pat atsižvelgta ir į paros kritulių kiekį, kuris yra debesodaros indikatorius bei turi įtakos įvairių priemaišų koncentracijoms ore.

## UV RADIACIJOS PRIETAKOS INTENSIVUMO KAITĄ LEMIANČIŲ VEIKSNIŲ APŽVALGA

Pagrindiniai veiksniai, lemiantys UV radiacijos prietakos iki žemės paviršiaus dydį, yra Saulės aukštis

virš horizonto bei šviesaus paros meto trukmė. Abu jie priklauso nuo vietovės, kurioje yra atliekami matavimai, platumos. Didėjant Saulės aukščiui virš horizonto bei ilgėjant dienai ir maksimalios UV radiacijos intensyvumo reikšmės, ir suminis prietakos dydis auga.

Kuo Saulė aukščiau, tuo mažesnė atmosferos optinė masė ir tuo didesnis radiacijos kiekis patenka ant Žemės paviršiaus. Pagal Relėjaus dėsnį, išsklaidymas idealioje (be priemaišų) atmosferoje yra atvirkščiai proporcingas išsklaidomos bangos ilgiui ketvirtame laipsnyje. Tai reiškia, jog trumposios bangos išsklaidomos daug stipriau nei ilgosios. Didėjant išsklaidymui, išauga ir UV radiacijos dalis, nepatenkanti ant Žemės paviršiaus. Todėl didėjant Saulės aukščiui virš horizonto UV radiacijos intensyvumas auga greičiau nei bendrosios Saulės radiacijos.

Su Saulės aukščiu virš horizonto yra susijusi ir šviesaus paros meto trukmė. Pastarasis veiksnys lemia bendrąją UV radiacijos reikšmę per tam tikrą laikotarpį. Aiškiai determinuota Saulės aukščio virš horizonto kaita veikia metinį UV radiacijos kaitos cikliškumą. Kai Saulė pakyla aukščiausiai (birželio II–III dekada), dažniausiai užfiksuojamos didžiausios UV radiacijos reikšmės.

Kitas labai svarbus veiksnys, lemiantis UV prietaką, – vietovės aukštis virš jūros lygio. Daugelio Europos šalių tyrimais nustatyta, jog kalnuotose teritorijose UV reikšmė gerokai didesnė (Meloni ir kt., 2000). UVB intensyvumas kylant didėja 6–7%/1000 m. Tai siejama su keliomis priežastimis: pirma, sutrumpėja Saulės spindulio kelias (mažėja išsklaidymas), antra, dažnai toliau nuo urbanizuotų teritorijų esančiuose kalnuose sumažėja aerozolio koncentracija (vėlgi mažėja išsklaidymas) bei troposferinio ozono kiekis (sumažėja UV radiacijos sugėrimas). Lietuvos teritorijoje absoliutaus aukščio skirtumai yra palyginus labai nedideli, todėl pastarojo veiksnio įtaką gana sunku įvertinti.

Platuma ir absoliutus vietovės aukštis nekinta, todėl jei UV radiacijos prietaką lemtų tik šie veiksniai, ji būtų pakankamai tiksliai apskaičiuojama neatliekant matavimų. Gauti rezultatai neatspindėtų galimų UV radiacijos dydžių fluktuacijų, kurias lemia daugelis kitų nemažiau svarbių veiksnių, kurių poveikio stiprumas nuolat kinta laike ir erdvėje. Prie pastarųjų galima būtų priskirti debesuotumą, ozono bei aerozolio koncentraciją atmosferoje, vietovės albedą.

Iš išvardytųjų vietovės albedas yra mažiausiai kaitus veiksnys. Jo reikšmė priklauso nuo metų laiko. Šiltuoju metu vietovės albedas vykstant vegetacijai kinta nedaug, tuo tarpu iškritus sniegui rodiklis staiga pasikeičia. Jei matavimo prietaiso daviklis yra orientuotas horizontaliai, atspindėta UV radiacija į daviklį gali patekti tik po to, kai ji vėl yra išsklaidoma atmosferoje. Tuo tarpu jei matavimo prietaiso

daviklis yra orientuotas į Saulę, atspindėta UV radiacija į daviklį gali patekti tiesiogiai. Taigi didelis paviršiaus albedas gali padidinti UV radiacijos prietaką.

Debesuotumo kaita daro įtaką didelės amplitudės UV radiacijos prietakos fluktuacijoms per parą arba tarp kelių gretimų parų. Debesį sudarantys vandens lašeliai ar ledo kristalėliai, kurių kiekis priklauso nuo debesų storio bei jų morfologijos, gali sugerti, atspindėti arba išsklaidyti UV radiaciją. Antra vertus, dalinis debesuotumas, kai Saulės diskas nėra dengiamas, didina UV radiacijos prietaką. Tai galima paaiškinti tuo, jog nuo Žemės paviršiaus atspindėjęs Saulės spindulys gali vėlgi atspindėti nuo debesies.

Būtina atkreipti dėmesį, jog debesuotumas stipriau veikia matomąją bei infraraudonąją nei UV radiaciją. Jei Saulė nepersišviečia pro debesis, bendroji radiacija yra lygi išsklaidytajai. Kaip jau minėta, kai dangus giedras, UV radiacija yra labiau išsklaidoma nei kitos Saulės radiacijos spektro dalys, todėl jos dalis tiesioginėje radiacijoje yra mažesnė. Tai reiškia, jog apsiniaukęs dangus lems santykinai mažesnius UV radiacijos pokyčius.

Ore esantis aerozolis, kaip ir pastovios dujos, atspindi, išsklaido bei sugeria Saulės radiaciją. Didėjanti gamtinės ar antropogeninės kilmės aerozolio koncentracija ore mažina UV radiacijos prietaką. Aerozolio (ne debesų) nulemti UV radiacijos kiekio pasikeitimai gali siekti 20–45%. Dėl šios priežasties ir dar dėl to, jog virš stambių pramonės centrų išauga ir troposferinio ozono kiekis, šiose vietovėse UV radiacija yra daug mažesnė nei aplinkinėse teritorijose.

Ypač didelę reikšmę UV radiacijos prietakos fluktuacijoms turi ozono kiekis atmosferoje. Kaune 2001 metų gegužės–rugsėjo mėnesiais vidutinė ozono kiekio kaita tarp parų sudarė 5%, o atskirais atvejais siekė net 20%. Ozono kiekiui būdinga ir aiški metinė kaita: Šiaurės pusrutulyje pavasarį pradedantis mažėti ozono kiekis minimalias reikšmes pasiekia rudenį. Nustatyta, jog ozonas stipriausiai sugeria UVB diapazono bangas, kurios kelia didžiausią pavojų žmonių sveikatai, tuo tarpu UVA diapazono bangos sugeriamos silpniau (Moseley, Mackie, 1997). Tyrimais Škotijoje nustatyta, jog ozono kiekiui atmosferoje sumažėjus 1% UV-B radiacija išauga 2–3% (Varotsos ir kt., 1998). Tai reiškia, kad ozono kiekio kaita lemia ne tik UV radiacijos prietakos fluktuacijas, bet keičia jos spektrinę sudėtį. UV radiacijos prietakos intensyvumas siejasi ir su sinoptine situacija. Apskaičiuota, jog Lietuvoje ozono kiekis cikluose yra net 7% didesnis nei anticiklonuose. Ozono kiekio padidėjimą lemia ir šilti frontai, tuo tarpu šalti frontai duoda atvirkštinį efektą (Stanaitytė, 2001).

## UV RADIACIJOS INTENSYVUMO KAITA 2001 METŲ GEGUŽĖS–RUGPJŪČIO MĖNESIAIS

Šiame skyriuje analizuojami du UV radiacijos rodikliai: maksimalus paros UV radiacijos intensyvumas bei vidutinė paros intensyvumo reikšmė ( $W/m^2$ ). Siekiant įvertinti UV radiacijos dalį bendrojoje Saulės radiacijoje, analizuoti ir analogiški pastarojo parametro rodikliai.

Bendroji Saulės radiacija yra matuojama Pasaulinės meteorologijos organizacijos nustatytais terminais, be to, yra prisilaikoma tam tikrų reikalavimų. Pvz., jei debesys matavimų metu dengia daugiau nei pusę dangaus skliauto, matuojama tada, kai Saulės diską dengia debesys. Taigi neretai pasitaiko, jog visi paros matavimai atliekami, kai Saulės diskas yra uždengtas. To pakanka vidutiniam bendrosios radiacijos intensyvumui įvertinti, tačiau maksimalus intensyvumas nustatomas ne visai tiksliai. Tuo tarpu UV radiacija yra matuojama nenutrūkstamai, ir maksimalus UV radiacijos kiekis bei laikas užfiksuojamas automatiškai. Todėl įmanoma ganėtinai tiksliai palyginti abiejų analizuojamų parametrų vidutinį paros intensyvumą, o lyginant maksimalias reikšmes galimi netikslumai dėl paminėtos priežasties.

Kaip ir kitus atmosferos būklę apibūdinančius rodiklius, UV radiacijos prietakos intensyvumą sąlygoja daugelis veiksnių, todėl vienas svarbiausių uždavinių – apibrėžti kiekvieno (Saulės aukščio, debesuotumo, aerozolio kiekio, ozono sluoksnio storio, albedo) poveikį.

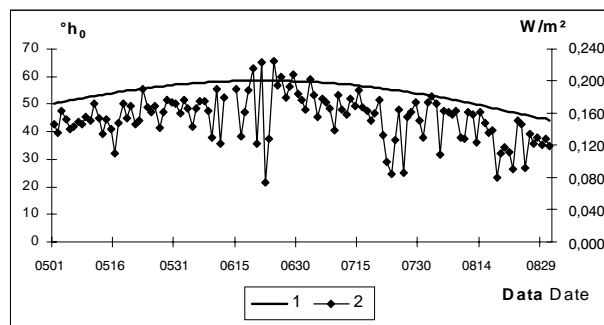
Kadangi visas tyrimo periodas patenka į vegetacijos laikotarpį, tai ir vidutinė paklotinio paviršiaus albedo reikšmė kinta labai nedaug. Būtina atkreipti dėmesį, jog albedo reikšmė priklauso ir nuo Saulės aukščio virš horizonto, nors, antra vertus, kai Saulės aukštis virš horizonto yra ganėtinai didelis, albedo reikšmės mažai keičiasi. Nagrinėjamu metu maksimalus UV radiacijos intensyvumas buvo fiksuojamas Saulei esant  $43\text{--}59^\circ$  aukštyje, todėl šiame darbe paklotinio paviršiaus albedas buvo laikomas konstanta, o jo poveikis UV radiacijai – nekintančiu.

Saulės aukštis ( $h_0$ ) virš horizonto maksimalaus UV radiacijos intensyvumo metu buvo nustatomas pagal formulę:

$$\sin h_0 = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \theta; \quad (1)$$

čia  $\varphi$  – vietovės platumas,  $\delta$  – deklinacija,  $\theta$  – dydis, parodantis kampą, kuriuo Saulė nutolusi nuo vietovės meridiano.

Pirmame paveikslėlyje pavaizduotas maksimalaus Saulės aukščio virš horizonto bei maksimalaus UV radiacijos intensyvumo kaita Kaune analizuojamu laiku. Kaip matome iš grafiko, šie du parametrai yra aiškiai funkciškai susiję ir jų bendra kaitos tenden-



1 pav. Maksimalus Saulės aukštis virš horizonto  $h_0$  (1) bei maksimalus UV radiacijos intensyvumas ( $W/m^2$ ) (2) Kauno meteorologijos observatorijoje 2001 m. gegužės–rugpjūčio mėnesiais

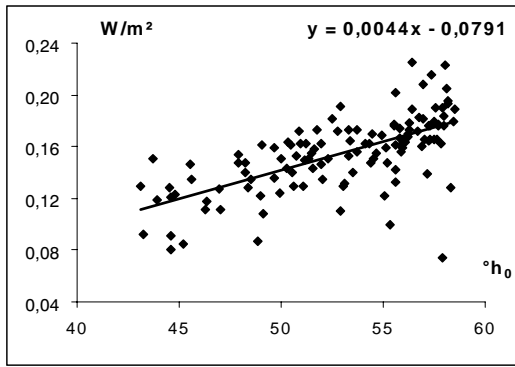
Fig. 1. Maximum value of sun-angle ( $h_0$ ) (1) and maximum UV irradiance ( $W/m^2$ ) (2) in May–August 2001 in Kaunas

cija yra vienoda. Didžiausios UV radiacijos reikšmės fiksuojamos paskutinę birželio dekadą, kai Saulė pakyla aukščiausiai. Likusieji trumpalaikiai UV radiacijos matavimai yra susiję su kitais veiksniais, todėl, norint išnagrinėti jų įtaką maksimaliai UV radiacijai, būtina eliminuoti Saulės aukščio poveikį.

Maksimalus UV radiacijos intensyvumas ne visada tiksliai sutampa su periodu, kai Saulė yra pakilus aukščiausiai (t. y. vidurdieniu). Jei vidurdienį Saulės diską dengia debesys, o vėliau jie išsisklaido, maksimalios Saulės radiacijos prietakos maksimumo laikas gali skirtis nuo tikrojo vidurdienio laiko keliomis valandomis.

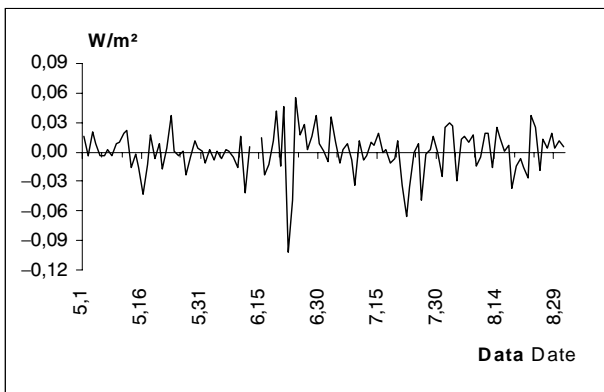
Darbe buvo nustatytas ryšio, siejančio Saulės aukštį virš horizonto bei maksimalų UV radiacijos intensyvumą, glaudumas bei pobūdis. Ryšys yra tiesinis, o Pirsono koreliacijos koeficientas – teigiamas bei statistiškai patikimas (pagal 95% garantiją) ir siekia 0,65. Likusiai dispersijos daliai įtaką daro kiti veiksniai (debesuotumas, ozono ir aerozolio kiekis). Teoriškai šis ryšys neturėtų būti tiesinis. Kaip jau minėta, UV radiacija išsklaidoma stipriau nei kitų Saulės spektro dalių bangos, todėl ji yra ypač jautri atmosferos optinės masės pokyčiams. Atmosferos optinė masė kinta netolygiai: kai Saulė arti horizonto, jos reikšmė ypač sparčiai didėja, tuo tarpu Saulei pakilus aukštai, optinė masė beveik nesikeičia. Analizuojamu laiku maksimalaus UV radiacijos intensyvumo metu optinė masė kito labai nedaug – nuo 1,17 iki 1,46. Tuo galima paaiškinti tiesinį ryšio pobūdį. Regresijos lygtis (2 pav.) buvo panaudota hipotetinėms UV reikšmėms nustatyti, kurios parodo UV radiacijos prietakos dydį esant tam tikram Saulės aukščiu, jei kitų anksčiau išvardytų veiksnių poveikis nesikeičia.

Iš matavimų metu nustatytos maksimalios UV radiacijos intensyvumo reikšmės atėmę hipotetinę UV



2 pav. Maksimalaus UV radiacijos intensyvumo ( $W/m^2$ ) priklausomybė nuo Saulės aukščio ( $h_0$ ) virš horizonto Kaune 2001 m. gegužės–rugpjūčio mėnesiais  
 Fig. 2. Relationship between maximum UV irradiance ( $W/m^2$ ) and sun-angle ( $h_0$ ) in May–August 2001 in Kaunas

reikšmę, gausime UV radiacijos reikšmes, funkciškai nesusijusias su Saulės aukščiu virš horizonto (3 pav.).  
 Debesuotumo poveikis maksimalioms UV radiacijos reikšmėms yra gerokai mažesnis nei vidutinėms. Net ir apsiniaukusiomis dienomis vasarą yra tikimybė, jog kažkuriuo metu Saulė išlįs pro debesis. Beveik visomis analizuoto laikotarpio dienomis maksimali UV radiacijos reikšmė užfiksuota šviečiant nedengiamai Saulei. Ypač stiprius neigiamus nuokrypius nuo hipotetinės UV radiacijos reikšmės lėmė tos retos dienos, kai danguje prošvaisčių nebuvo. Būta atvejų (12%), kai nuokrypio reikšmė buvo mažesnė už  $-0,025 W/m^2$ , o vidutinis debesuotumas viršijo 9,5 balo. Antra vertus, kai kuriomis dienomis vidutinis debesuotumas įvertintas 10 balų, tuo tarpu UV radiacijos nuokrypis buvo teigiamas. Tokią dieną (birželio 24 d.) buvo užfiksuotas ir maksimalus teigia-



3 pav. Maksimalaus UV radiacijos intensyvumo ( $W/m^2$ ) nuokrypiai eliminavus Saulės aukščio poveikis 2001 m. gegužės–rugpjūčio mėnesiais Kaune  
 Fig. 3. Deviations of maximum UV irradiance ( $W/m^2$ ) after sun-angle influence elimination in May–August 2001 in Kaunas

mas nuokrypis ( $0,047 W/m^2$ ). Tai susiję su ankstesniame skyriuje minėtu dvigubo atspindžio efektu.  
 Kasdieninis ozono kiekis atmosferoje yra išreikšiamas Dobsono vienetais. Kaune nustatomas bendras ozono kiekis atmosferoje, kurį sudaro ir stratosferinis, ir troposferinis ozonas. Neigiamas silpnas, tačiau statistiškai reikšmingas ryšys siejo maksimalų UV radiacijos intensyvumą su ozono sluoksnio storium ( $r = -0,23$ ). Daug stipresnis koreliacinis ryšys tarp šių dviejų parametru užfiksuotas gegužės mėnesį ( $r = -0,54$ ). Gegužė pasižymėjo dideliu giedrų bei mažai debesuotų dienų skaičiumi, santykinai maža vandens garų slėgio kaita bei gana dideliais ozono kiekio koncentracijos svyravimais tarp parų. Todėl susidarė palankios sąlygos, išryškinusios ozono poveikį maksimaliam UV radiacijos intensyvumui.

Analizuojamu metu didžiausias UV radiacijos intensyvumas Kaune buvo užfiksuotas birželio 24 dieną 11 val. 23 min. –  $0,225 W/m^2$ . Nors ši diena buvo apsiniaukusi (vidutinis debesuotumas – 10 balų), apie vidudienį pro debesų plyšį išlindusi Saulė UV radiaciją spinduliavo ypač intensyviai, juolab kad lyginant su birželio 23 d., ozono kiekis atmosferoje buvo sumažėjęs net 10% (nuo 382 iki 343 DV).

Buvo nustatytas santykis tarp maksimalių UV ir maksimalių bendrosios radiacijos intensyvumo reikšmių. Vidutinė santykio reikšmė –  $0,025$ . Išsiskyrė dideli teigiami maksimalių rodiklio reikšmių nuokrypiai tomis dienomis, kai UV radiacijos maksimumas užfiksuotas Saulei šviečiant pro debesų tarpą. Bendroji radiacija buvo nustatoma, kai Saulė buvo dengiama debesų. Visomis šiomis išsiskiriančiomis dienomis vidutinis debesuotumas buvo didesnis nei 9 balai. Svarbiausias veiksnys, lemiantis šio rodiklio kaitą, – debesuotumas. Atlikus principinių komponentų analizę, paaiškėjo, jog nuo debesuotumo priklauso 47% santykio tarp UV ir bendrosios radiacijos maksimalių reikšmių dispersijos. Kaip jau minėta, apsiniaukus bendrosios radiacijos intensyvumas susilpnėja labiau nei UV, todėl ir santykio reikšmė išauga. Didelė dispersijos dalis (28%) priklauso nuo ozono kiekio bei Saulės aukščio maksimalaus radiacijos intensyvumo metu.

Vidutinio UV radiacijos intensyvumo kaitą per parą analizuojamu laiku daugiausia lėmė šie veiksniai: maksimalus Saulės aukštis virš horizonto, šviesaus paros meto trukmė, debesuotumas ir ozono sluoksnio storis. Šių trijų veiksnių įtakos pobūdis pastarajam rodikliui šiek tiek skiriasi nuo jų poveikio maksimalioms UV radiacijos reikšmėms.

Jei analizuojant maksimalaus UV radiacijos intensyvumo kaitą debesuotumas buvo ne toks svarbus (tik retais atvejais maksimali UV reikšmė nustatyta, kai Saulės diskas uždengtas), tai šiuo atveju debesuotumo įtaka vidutinės UV radiacijos sklaidai yra bene pati svarbiausia. Dėl debesuotumo viduti-

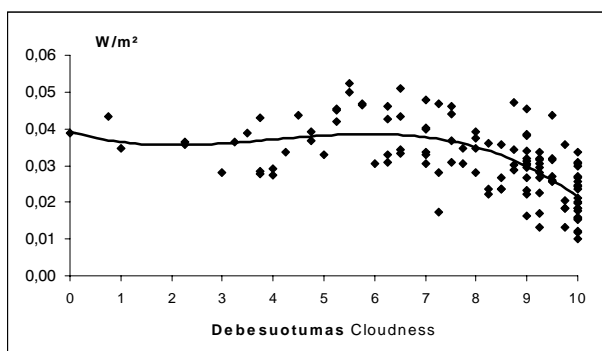
nė UV reikšmė gegužės, birželio ir liepos mėnesiais yra beveik vienoda ( $0,032$ – $0,034$   $W/m^2$ ). Didelis debesuotumas birželį beveik kompensavo ilgesnio šviesaus paros meto bei maksimalaus Saulės aukščio virš horizonto poveikį.

Pateiktame grafike (4 pav.) matyti, jog kol vidutinė debesuotumo reikšmė pasiekia 6–7 balus, vidutinė UV radiacijos prietaka mažai keičiasi. Kai debesuotumas nėra didelis (2–3 balai), dvigubo atspindžio efektas nestiprus, šiek tiek sumažėja vidutinė UV radiacija. Tuo tarpu debesuotumui pasiekus 5–6 balus, didžiąją laiko dalį Saulės diskas tebėra atviras, minėtas atspindžio efektas tampa stiprus ir vėl padidėja vidutinės UV reikšmės. Tik vidutiniam debesuotumui viršijus 7 balus, vidutinės UV radiacijos reikšmės staiga ima mažėti.

Analizuojant santykį tarp vidutinių UV ir bendrosios radiacijos intensyvumo reikšmių, nustatyta, jog šio rodiklio reikšmė labiausiai priklauso nuo debesuotumo ( $r = 0,43$ ) ir vandens garų slėgio ( $r = 0,46$ ). Ankstesniame skyriuje minėta, kad didėjant debesuotumui, vis didesnė santykinė UV radiacijos dalis pasiekia žemės paviršių, nes Saulę dengiantys debesys labiau sumažina bendrosios nei UV radiacijos reikšmes. Glaudus teigiamas ryšys su vandens garų slėgio reikšme vėlgi gali būti aiškinamas tuo, jog vandens garai daug stipriau sugeria Saulės radiaciją matomajame arba infraraudonajame bangų diapazone.

Ozono sluoksnis yra dar vienas papildomas veiksnys, lemiantis nagrinėjamo santykio dydį. Statistiškai patikimas neigiamas koreliacijos koeficientas ( $r = -0,28$ ) rodo, jog storėjant ozono sluoksniui, santykio reikšmė mažėja: ozono molekulių atmosferoje labai stipriai sugeria UV radiaciją ir beveik visai nekeičia kitų radiacijos spektro dalių bangų intensyvumo.

Būtent ozono sluoksnio storio pokyčiais galima paaiškinti ir nagrinėjamo rodiklio chronologinę eigą



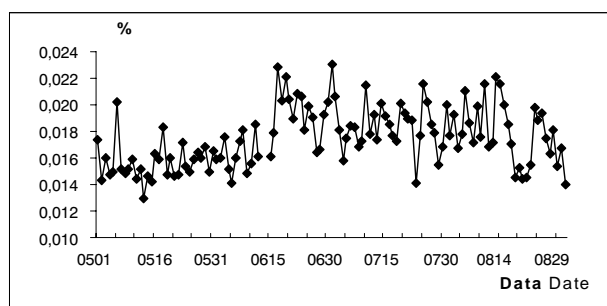
4 pav. Ryšio tarp vidutinių debesuotumo ir UV radiacijos reikšmių 2001 m. gegužės–rugpjūčio mėnesiais Kaune grafikas

Fig. 4. Relationship between cloudiness and UV irradiance ( $W/m^2$ ) in May–August 2001 in Kaunas

2001 metų gegužės–rugpjūčio mėnesiais Kaune (5 pav.). Birželio viduryje pradėjęs plonėti ozono sluoksnis (tai susiję su metiniu ciklu) lėmė ir santykio reikšmės padidėjimą. Jei analizuojamu laikotarpiu iki birželio 15 d. vidutinis ozono kiekis atmosferoje siekė net 375 DV, tai likusiomis periodo dienomis vidutinė rodiklio reikšmė sumažėjo iki 319 DV. Antra priežastis, lėmusi tokį santykio tarp vidutinės UV bei bendrosios radiacijos intensyvumo padidėjimą, – antroje periodo dalyje išaugęs debesuotumas bei vandens garų slėgis atmosferoje. Šie veiksniai, kaip jau minėta, labiau veikia (mažina) bendrosios radiacijos, o ne UV reikšmę.

Įdomu, jog santykio vidurkis ( $0,017$ ) tarp vidutinių reikšmių yra net 47% mažesnis nei analogiškas santykis tarp maksimalių reikšmių. Viena vertus, vėlgi galima akcentuoti tam tikrą maksimalių UV ir bendrosios radiacijos reikšmių matavimo nesinchroniškumą. Antra vertus, tai galima sieti ir su tuo, jog UV radiacijos prietakos intensyvumas per dieną kinta daug greičiau nei bendrosios. Kai Saulė arti horizonto, padidėja jos optinė masė ir ypač išauga ozono molekulių, kurias Saulės spindulys sutinka savo kelyje, skaičius – taigi žemės paviršių pasiekia labai mažas UV radiacijos kiekis. Nors bendrosios radiacijos intensyvumas taip pat priklauso nuo atmosferos optinės masės, tačiau ji pastovių atmosferos dujų yra daugiau išsklaidoma nei sugerama ir didesnė ar mažesnė bendrosios radiacijos dalis pasiekia žemės paviršių. Dėl šių priežasčių rytinėmis ir vakarinėmis valandomis santykio reikšmė yra daug mažesnė nei vidurdienį, kai Saulė yra zenite ir dažniausiai fiksuojamas maksimalus UV ir bendrosios Saulės radiacijos intensyvumas.

Lyginant maksimalų ir vidutinį UV radiacijos intensyvumą nustatyta, jog pastarųjų dydžių santykis vėlgi daugiausia priklauso nuo debesuotumo bei ozono kiekio atmosferoje. Ryšys tarp šio santykio dydžio ir vidutinio debesuotumo yra ypač glaudus ( $r = 0,62$ ). Kol vidutinis debesuotumas yra mažesnis



5 pav. Santykis tarp vidutinių UV ir bendrosios radiacijos intensyvumo reikšmių Kauno meteorologijos stotyje 2001 m. gegužės–rugpjūčio mėnesiais

Fig. 5. Ratios between mean values of UV and global irradiance in May–August 2001 in Kaunas

nei 6 balai, santykio dydis kinta nedaug: vidutinis UV radiacijos intensyvumas yra didelis, nes didžiąją laiką, kai Saulė pakyla aukščiausiai, dalį Saulės diskas nėra uždengtas debesų. Tuo tarpu vidutiniam debesuotumui dar labiau padidėjus, vidutinis UV radiacijos dydis ima mažėti, o maksimali UV reikšmė, kaip jau minėta, mažai su tuo susijusi. Santykio reikšmė išauga ir storėjant ozono sluoksniui (statistiškai patikimas koreliacijos koeficientas  $r = 0,24$ ). Nors maksimalios rodiklio reikšmės sumažėja, tačiau ir UV radiacijos kaita per dieną yra gerokai ryškesnė.

Atlikus koreliaciją tarp Vilniaus ir Kauno vidutinio paros UV radiacijos intensyvumo per parą, glaudžiausias ryšys užfiksuotas gegužės mėnesį – 0,94, silpniausias – liepą – 0,57 (lentelė). Santykinai silpnas ryšys birželį ir liepą yra veikiamas didesnių mezosferos skurtumų, atsiradusių dėl konvekcinių kilmių debesų, nevienodų debesų morfologinių parametrų bei padidėjusio netolygaus kritulių lauko. Vidutinis tiriamojo laikotarpio koreliacijos koeficientas tarp Vilniaus ir Kauno UV radiacijos intensyvumo per parą reikšmių – 0,73.

Lentelė. UV radiacijos intensyvumo, bendrosios radiacijos ir debesuotumo koreliacija tarp Vilniaus ir Kauno duomenų sekų  
Table. Correlation between UV irradiance, solar radiation and cloudiness obtained in Vilnius and Kaunas meteorological stations

Mėnuo Month	UV radiacijos intensyvumas UV irradiance	Bendroji radiacija Global irradiance	Debesuotumas Cloudiness
2001 05	0,94	0,90	0,87
2001 06	0,68	0,79	0,46
2001 07	0,57	0,59	0,29
2001 08	0,81	0,80	0,69

Ištyrus atvejus, kai susidarė santykinai dideli skirtumai tarp Vilniaus ir Kauno UV radiacijos intensyvumo per parą reikšmių, paaiškėjo, jog maksimalius skirtumus lėmė nevienodas debesuotumas bei vandens garų kiekis ore, kritulių kiekis, taip pat skirtingos oro masių savybės. Tiek Vilniaus, tiek Kauno platumas, albedas (abi stotys įrengtos ant pastatų stogų) yra panašūs. Aukščių skirtumą tarp stočių šiuo atveju galima laikyti nereikšmingu, kadangi dėl jo susidarę UV radiacijos pokyčiai neturėtų viršyti 0,6–0,7% (Meloni ir kt., 2000).

## IŠVADOS

1. Maksimalaus ir vidutinio paros UV radiacijos intensyvumo kaitą 2001 metų gegužės–rugpjūčio mėnesiais Kaune ir Vilniuje daugiausia lėmė maksimalus Saulės aukštis virš horizonto, šviesaus paros meto trukmė, debesuotumas, vandens garų kiekis ore ir ozono sluoksnio storis.

2. Vidutinis santykis tarp maksimalių UV ir bendrosios radiacijos intensyvumo reikšmių – 0,025. Svarbiausias veiksnys, lemiantis šio rodiklio kaitą, – debesuotumas. Debesuotumas paaiškina 47% santykio dispersijos. Apsiniaukus bendrosios radiacijos intensyvumas susilpnėja labiau nei UV, todėl santykio reikšmė išauga. Didelę dispersijos dalį (28%) paaiškina ozono kiekio bei Saulės aukščio kaita maksimalaus radiacijos intensyvumo metu.

3. Analizuojant santykį tarp vidutinių UV ir bendrosios radiacijos intensyvumo reikšmių nustatyta, jog šio rodiklio reikšmė labiausiai priklauso nuo debesuotumo ( $r = 0,43$ ) ir vandens garų slėgio ( $r = 0,46$ ). Storėjant ozono sluoksniui, santykio reikšmė mažėja: ozono molekulės atmosferoje labai stipriai sugeria UV radiaciją ir beveik nekeičia kitų radiacijos spektro dalių bangų intensyvumo.

4. Lyginant maksimalų ir vidutinį UV radiacijos intensyvumą nustatyta, jog pastarųjų dydžių santykis vėlgi daugiausia yra nulemtas debesuotumo reikšmės bei ozono kiekio atmosferoje. Ryšys tarp šio santykio dydžio ir vidutinio debesuotumo yra ypač glaudus ( $r = 0,62$ ).

5. Vidutinis tiriamojo laikotarpio koreliacijos koeficientas tarp Vilniaus ir Kauno UV radiacijos intensyvumo per parą reikšmių – 0,73. Didžiausi skirtumai susidarė dėl nevienodo debesuotumo bei vandens garų kiekio ore, kritulių kiekio, taip pat dėl skirtingų oro masių savybių.

6. Šiuolaikinių UV radiacijos modelių panaudojimas būtų labai svarbus žingsnis analizuojant

UV kaitos ypatumus bei sudarant trumpalaikes prognozes, kurios ypač reikšmingos helioterapijai ir helioprofilaktikai.

## PADĖKA

Straipsnio autoriai dėkoja Valstybiniam mokslo ir studijų fondui, parėmusiam šiuos tyrimus.

Gauta 2002 01 18  
Parengta 2002 03 21

## Literatūra

- Frederick J. E., Siusser J. R., Bigelow D. S. (2000). Annual and Internnual Behavior of Solar Ultraviolet Irradiance Revealed by Broadband Messurements. *Photochemistry and Photobiology*. 72(4): 488–496.  
Gibson J. H. (1991). Justification and Criteria for the Monitoring of UV Radiation. *Report of UV-B-Measurements workshop*. Denver.

- Longstreth J. D., de Kripke F. R., Takizawa Y., van de Leun J. C. (1995). Effects of increased solar ultraviolet radiation on human health. *Ambio*. 24(3): 153–165.
- Matvejev L. T. (1984). *Kurs obščei meteorologiji*. Leningrad.
- Meloni D. ir kt. (2000). Solar UV Dose Patterns in Italy. *Photochemistry and Photobiology*. 71(6): 681–690.
- Moseley H., Mackie R. M. (1997). Ultraviolet B radiation was increased at ground level in Scotland during a period of ozone depletion. *British Journal of Dermatology*. 137: 101–102.
- Parisi A. V., Wong C. F., Galea V. (1996). A method for evaluation of UV and biologically effective exposures to plants. *Photochemistry and Photobiology*. 64(2): 326–333.
- Roy C. R., Gies H. P., Toomey, S. (1997). Monitoring UV-B at the Earth's surface. *Australian Meteorological Magazine*. 46: 203–210.
- Stanaitytė J. (2001). *Bendro ozono kiekio pokyčiai atmosferoje* (bakalauro darbas). Vilniaus universiteto Hidrologijos ir klimatologijos katedra.
- Varotsos C. A. ir kt. (1998). Total ozone and Solar ultraviolet radiation as derived from satellite and ground-based instrumentation at Dundee, Scotland. *International Journal of Remote Sensing*. 19(17): 3301–3305.
- Wong J. C. F., Parisi A. V. (1999). Assessment of ultraviolet radiation exposures in photobiological experiments. *Protection Against the Hazards of UVR, Internet Conference, 18 Jan-5 Feb 1999*.

**Egidijus Rimkus, Arūnas Bukantis,  
Saulius Kazakevičius**

#### ULTRAVIOLET IRRADIATION PATTERNS IN THE WARM PERIOD OF 2001 IN KAUNAS AND VILNIUS

##### S u m m a r y

Fluctuations of UV irradiation in Kaunas and Vilnius were analyzed. Measurements from May to August 2001 are used for this study.

Sun-angle is the main factor that determines UV irradiation ( $r = 0.65$ ). Another part of dispersion can be described by the influence of clouds, ozone and aerosols. The relationship between maximum UV irradiation and ozone variations is quite weak ( $r = -0.23$ ). A closer relation in May ( $r = -0.54$ ) can be explained by a large number of cloudless days, a relatively small variation of water vapor amount and great day-to-day variations in ozone.

A principal component analysis shows that clouds account for 47% of dispersion of the UV maximum / global maximum irradiation ratios. Overcast conditions influence the global irradiance stronger than UV. Due to this the value of the ratio increases. A smaller part of ratio dispersion (28%) is influenced by ozone variations and differences in solar angle during solar radiation maximum. Clouds and water vapors mostly predetermine UV mean / global mean irradiance ratio variation ( $r = 0.43$  and  $r = 0.46$  respectively). A statistically significant negative correlation ( $r = -0.28$ ) between UV / global mean irradiance ratios and ozone variations can be explained by a selective absorption of global irradiance in ozone layer.

Ozone and cloudiness variations are the main factors that predetermine the maximum/mean UV irradiance ratio fluctuations. The relationship between this ratio and cloudiness is very close ( $r = 0.62$ ). The positive effect of ozone on the value of ratios ( $r = 0.28$ ) can be explained by a more significant influence of ozone on the mean UV radiation value (especially in the morning and evening, when the atmosphere optical thickness is extremely large).

A correlation between UV irradiance data obtained in the Vilnius and Kaunas meteorological stations is quite large ( $r = 0.73$ ). The highest differences are influenced by local peculiarities of cloudiness, water vapor and precipitation.