

Päikese ultraviolettkiirgus Eestis: mõõtmine, sõltuvus ja mõju

Kalju Eerme¹, Mai Vaht², Uno Veismann¹ – ¹Tartu Observatoorium, ²Pärnu Haigla

UV-kiirgus, osoonikiht, D-vitamiin

Artiklis käsitletakse UV-kiirguse mõõtmise meetodeid, UV-kiirguse taset, selle sõltuvust meteoroloogilistest parameetritest ning lühi- ja pikaajalisi muutusi Eesti tingimustes. Osoonikihi paksuses Eesti kohal ei ole täheldatud olulisi muutusi alates 1979. aastast. UV-kiirgust mõõdetakse Tõraveres alates 1997. aastast. Integraalse päikesekiirguse mõõtmistulemuste abil on rekonstrueeritud erüteemse UV-kiirguse doosid tagasiulatavalt 1953. aastani. Suvisel poolaastal koguneb 89% aastasest erüteemsest ja 80% integraalsest kiirgusest. Erüteemse kiirguse doosid varieeruvad aastati vähem kui integraalse kiirguse doosid. Talvel esineb 50ndast suurematel laiuskraadidel periood, kus D-vitamiini sünteesiks ei ole piisavalt UV-kiirgust. Tõraveres kestab see normaaltingimustel 6. novembrist kuni 19. veebruarini.

Enamiku keskkonnategurite puhul ilmneb vääruste vahemik (piirkond), milles nende toime on kõige soodsam ja kahjulikud mõjud kõige väiksemad. Inimestel ja teistel organismidel on selline optimaalne intervall kujunenud kohastumise teel suhteliselt stabiilsetes tingimustes kulgenud paikse eluviisi kaudu. Oma elu ja tegevuse korraldamisel on mõistlik seda vahemikku endale teadvustada ja püüda tema piiridest mitte väljuda.

Juba 1936. a täheldati positiivset statistilist seost ultraviolettkiirguse (UV-kiirguse) ja nahavähki haigestumuse/suremuse vahel. Pärast Antarktika osooniaugu avastamist 1985. a ja selle tekkemehhanismi selgitamist 1987. a keskendus UV-kiirguse toime uurimine esmajoonel tervisekahjulikule mõjule. Ultraviolettkiirguse põhjustatud nahakahjustustest on ka Eestis mõne aasta eest ilmunud põhjalik ülevaade (1). Viimasel ajal on hakatud pöörama tähelepanu UV-kiirguse positiivsele rollile D-vitamiini sünteesil ja selle kaudu tema vähivastasele toimele (2). Päikesekiirgus, eriti kõige lühematel maapinnani jõudvatel lainepikkustel, on oluline D-vitamiini produtseerija inimese nahas. Tervena püsimiseks on vajalik D-vitamiini piisava koguse olemasolu organismis.

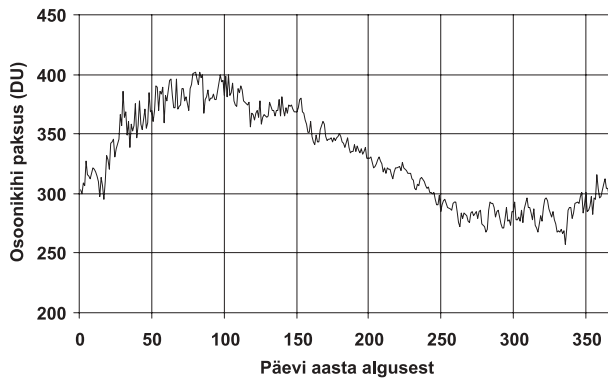
Nii negatiivsete kui ka positiivsete mõjude käsitlemise aluseks saab olla päikesekiirguse ja seda

mõjutavate atmosfäärinähtuste (osoonikiht, pilvisus, aerosool) kvantitatiivne kirjeldamine regioonis. Eestis maapinnale jõudva päikesekiirguse parameetrid, nende sesoonseid ja pikaajalisi muutusi, olenevust pilvisusest, atmosfääri läbipaistvusest ja aluspinna seisundist on kirjeldatud Eesti kiirguskliima teatmikus (3). See sisaldab ka lühiülevaadet ultraviolettkiirguse mõõtmise tulemustest Tõraveres.

Alljärgnevalt leiavad käsitlemist UV-kiirguse mõõtmise meetodid, UV-kiirguse tase, selle sõltuvus meteoroloogilistest parameetritest ning lühi- ja pikaajalised muutused lähtuvalt eeldatavatest mõjudest inimeste tervisele. Optimaalse kiirgusdoosi kindlaksmääramine sõltub ühelt poolt taevast (poolsfäärist) saabuvast kiirgusvoost ning teiselt poolt kiiritatava objekti (inimnaha) omadustest ja seisundist.

Osoonikihi paksus Eesti kohal

Osoonikihi paksus (osooni koguhulk atmosfääri vertikaalses sambas), mida mõõdetakse Dobsoni ühikutes (maapinna tingimustele taandatud kihi-paksus tuhandikes sentimeetrites), muutub vastavalt aastaajale, olles Eesti kohal suurim kevadel ja kõige õhem hilissügisel. Keskmised osoonikihi paksuse arväärtused ajavahemikul 1979–2000 olid meil leitud ja avaldatud peamiselt satelliidimõõtmiste analüüsi põhjal (3, 4). Alates 1994. a on Tõraveres



Joonis 1. Osoonikihi keskmine paksus Eesti kohal 1996–2006 TOMSi ja OMI andmete põhjal.

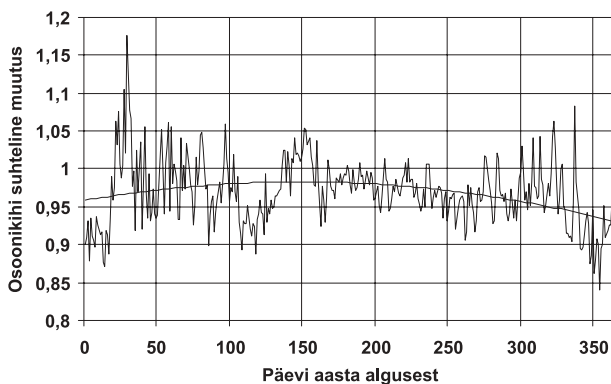
toimunud ka kohalikud mõõtmised, algul selleks kohandatud laboratoorse spektromeetriga ja hiljem spetsiaalse päikesefotomeetriga MICROTOPS-2. Süstemaatilist osoonikihi õhenemist sai olemasolevatest andmetest tuvastada vaid kevadkuudel: umbes 3% kümne aasta kohta. Kahanemise põhjus ei ole ilmingimata osooni keemiline hävimine. Tõenäolisemalt tuleneb ta siin muutustest atmosfääri õhuringluse režiimis. NASA instrumentidega TOMS (*Total Ozone Mapping Spectrometer*) ja viimasel ajal selle asemel OMI (*Ozone Monitoring Instrument*) määratud osoonikihi paksuse tulemused on Eesti jaoks iga päeva kohta otse jälgitavad Interneti-aadressil <http://jwocky.gsfc.nasa.gov/>. Andmete 1979.–2006. a arhiivis sisaldub tühimik 1994.–1995. a kohta, kui seda tüüpi instrumenti orbiidil ei olnud.

Küllalt pikk viimane mõõtmiste rida 1996–2006 võimaldab selle perioodi keskmisi osooniväärtusi võrrelda tühimikule eelnevaga, et tuvastada süstemaatilist muutumist. Joonisel 1 on esitatud osoonikihi paksuse keskmistatud käik Eesti kohal aastatel 1996–2006 ja joonisel 2 selle suhe aastate 1979–1993 keskmisega.

Päikese ultraviolettkiirguse mõõtmine: UV-A, UV-B, UVI

Päikeselt maapinnale jõudvat ultraviolettkiirgust tavatsetakse jaotada kaheks alampiirkonnaks: 1) UV-A – lainepikkuste vahemik 315–400 nm, 2) UV-B – lainepikkuste vahemik 280–315 nm.

Lühema kui 280 nm lainepikkusega kiirgus maapinnani peaaegu ei jõua. Tehniliselt on peaaegu võimatu valmistada kiirgustajureid, mis



Joonis 2. Osoonikihi keskmise paksuse muutumine aastate 1996–2006 / 1979–1993 suhtena.

registreeriks UV-kiirgust kogu alampiirkonnas võrdse efektiivsusega ega reageeriks üldse väljastpoolt seda vahemikku saabuvale kiirgusele. Sel põhjusel võivad erinevate firmade sensoritega mõõdetud UV-A ja UV-B kiirguste väärtused erineda, mõõtemääramatused ulatuvad 5–10%ni. Levinuimate UV-kiirguse sensorite spektraaltundlikkus on seatud vastavusse kiirguse eriteemse mõjususega inimnahale (CIE 1987, DIN 5050) ja mõõtmistulemused saadakse eriteemefektiivse kiiritustihedusena, millest saab tuletada avalikkuse informeerimiseks üldkasutatava UV-indeksi: $UVI\ 1 = 0,025\ W_{ef}/m^2$.

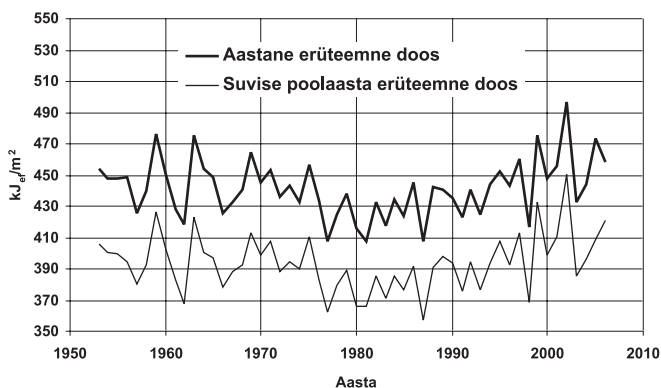
Eriteemne mõjususe iseloomustab UV-kiirguse päikesepõletust tekitava toime sõltuvust lainepikkusest. Et mõõtmine nn lairibasensoritega ei taga kiirguse spektraaljaotuse detailsemat kirjeldamist ega ka küllaldast mõõtmistäpsust, siis on viimase kümne aasta jooksul hakatud registreerima päikese UV-kiirguse spektreid. Euroopa riikide ühisprojekti EDUCE (*European Database for UV Climatology and Evaluation*) raames aastatel 1999–2003 saadud ja varasemad spektrid läbisid kvaliteedikontrolli ning salvestati rahvusvahelisse andmepanka. Alates 2004. aastast on ka Tõraveres käigus spektrite järjepideva mõõtmise süsteem, milles minispektromeetriga AvaSpec-256 saadavad spektrid salvestatakse automaatselt observatooriumi arvutivõrguga ühendatud juhtimisarvutisse. Mõõtmisprotsessi on võimalik jälgida igast võrku

ühendatud arvutist, samuti saab siseneda spektrite arhiivi. Spektraalsete mõõtmiste korral registreeritakse kogu UV-kiirguse vahemikus kiiritustihedused (energia hulk ajaühikus) lainepikkuse ühiku kohta. Analoogselt eriteemse mõjususega on olemas sarnased mõjutegurid ka teiste bioloogiliste toimete kohta. UV-kiirguse mõõdetud spektraalsete kiiritustiheduste korrutamisel mõjuteguritega (kaalumine) ja integreerimisel saadakse vastavad bioloogilised doosid. Spektraalset kiiritustihedust ühe lainepikkuse (näiteks 306 nm) juures mõõdetakse kitsasribasensoritega, mida on Eestis üles seatud koos meteo-automaatjaamadega.

Tartu-Tõravere meteoroloogiajaamas on klassikalise integraalse päikesekiirguse mõõtmisi tehtud üle poole sajandi ja nende mõõtmiste pikki aegridasid saab kasutada UV-kiirguse andmete töötlemisel ning analüüsil. Integraalne kiirgus on maapinnani jõudev päikesekiirgus kõigil lainepikkustel kokku.

Ultraviolettkiirguse mõõtmistulemusi Tõraveres

Päikese ultraviolettkiirguse mõõtmisi alustati Tõraveres 1997. aastal firma Scintec sensoriga UV-SET/C. See on klassikalise tööpõhimõttega sensor, milles taeva poolsfäärist horisontaalsele pinnale langenud UV-kiirgus muundatakse luminofoorkihi abil valguseks ja see omakorda fotodiodi abil elektriliseks signaaliks. Sensori spektraaltundlikkus vastab eriteemmõjususele. Esmane kokkuvõte



Joonis 3. Eriteemse kiirguse aastaste ja suvise poolaasta dooside muutumine aastatel 1953–2006.

Eestis maapinnale jõudvast erüteemsest ultraviolettkiirgusest oli tehtud 1998. aasta kohta (5). Regulaarsete mõõtmisandmete aegrida algabki 1998. aastaga.

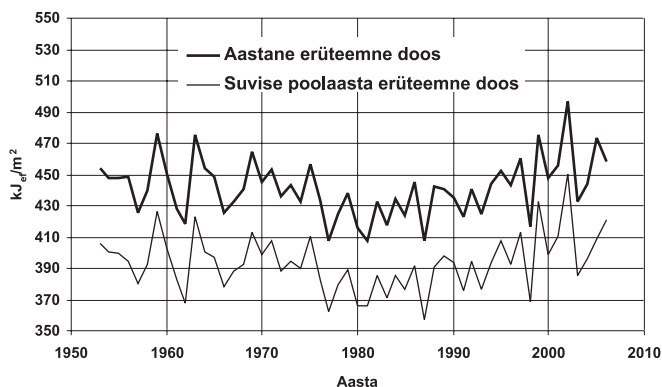
Integraalse päikesekiirguse kohta on Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi (EMHI) arhiivis alates 1953. aasta algusest kõigi päevade kohta olemas summaarse (päike + taevafäär) ja 1955. aastast ka päikese otsekiirguse päevasummad. Aastatel 1953–1954 ei ole otsekiirgust regulaarselt mõõdetud, kuid olemas on päikesepaiste kestuse andmed iga päeva kohta. Samuti on need olemas 1967. aastast edasi. Integraalse kiirguse andmete abil, kasutades lisaks olemasolevaid atmosfääriosooni koguhulga ja atmosfääri läbipaistvuse väärtusi, on osutunud võimalikuks rekonstrueerida erüteemse UV-kiirguse päevadoosid tagasiulatuvalt kuni 1953. aastani (6). Vastav töö kuulub Euroopa Liidu COST 726 aktsiooni (2004–2008) raamidesse. Tervishoiu aspektist on tähtis teada, millistes piirides nii integraalse kui ka UV-kiirguse doosid aastast aastasse muutuvad ja kas selles muutumises esineb mingeid süstemaatilisi trende.

Joonisel 3 ja 4 on esitatud erüteemse kiirguse ja integraalse kiirguse aastased ja suvise poolaasta doosid vahemikus 1953–2006. Suviseks poolaastaks on siin peetud ajavahemikku kevadisest pööripäevast sügisese pööripäevani, mille vältel koguneb 80,5% integraalse kiirguse aastasest

doosist ja 89% erüteemse kiirguse aastasest doosist. Kuigi näivalt tunduvad aastad väga erinevad, osutub maapinnani jõudva kiirgusenergia hulk küllaltki stabiilseks. Kuna erüteemses kiirguses on hajuskiirguse panus suurem kui integraalses, siis ongi ootuspäraselt tema muutlikkus aastati väiksem.

Tabelis 1 on esitatud erüteemse ja integraalse kiirguse doosi muutumise amplituudid keskmise suhtes protsentides, samuti päikese otsekiirguse doosi ja päikesepaiste kestuse muutlikkuse amplituudid. Ühtlasi on näidatud kõigi nende suuruste varieeruvust iseloomustavad standardhälbed protsentide skaalas. Nagu joonistel 3 ja 4 näha määravad amplituudi ulatuse üksikud ekstremaalsed aastad, mida kummaski suunas esineb keskmiselt kord kümnendis. Ülejäänud n-ö tavalistel aastatel on suvise poolaasta kiirgusdoosi muutumise amplituud peaaegu kaks korda väiksem. Erüteemse kiirguse doosi kõikumine keskmise suhtes mahub enam kui 80% aastate ulatuses $\pm 5,5\%$ sisse.

UV-kiirguse doose reguleerivad pilvisus, atmosfääriosooni koguhulk ja atmosfääris paikneva aerosooli hulk ning optilised omadused. Osooni mõju on seda suurem, mida lühem on kiirguse lainepikkus. UV-A kiirgust osoon peaaegu ei mõjuta. Aerosoolidest nõrgendavad UV-kiirgust kõige tõhusamalt tahm ja ravaoksiide sisaldav mineraalne tolm. Pilvedest tuleb UV-kiirgus läbi suhteliselt paremini kui nähtava spektriosa kiirgus, kuid



Joonis 4. Integraalse kiirguse aastaste ja suvise poolaasta dooside muutumine aastatel 1953–2006.

Tabel 1. Erüteamse kiirguse doosi, integraalse summaarse kiirguse ja otsekiirguse ning päikesepaiste kestuse muutlikkus keskmise suhtes suvisel ja talvisel poolaastal

Suvine poolaasta	Diapasoon (%)	SD (%)	Protsent aastastest doosist
Erüteamne	92,0–111,0	4,2	89,0
Summaarne kiirgus	89,7–114,4	5,65	80,5
Otsekiirgus	74,4–132,2	12,9	87,2
Päikesepaiste kestus	79,8–132,9	9,9	75,0
Talvine poolaasta			
Erüteamne	87,0–114,0	6,4	11,0
Summaarne kiirgus	75,1–119,1	9,7	19,5
Otsekiirgus	59,5–139,0	19,6	12,8
Päikesepaiste kestus	70,6–143,5	15,6	25,0

UV-B kiirgus neeldub seejuures troposfääri osoonil molekulidel. Kogunevaid tegelikke erüteamseid (ja muul viisil kaalutud) doose on otstarbekas vaadata kujuteldava, nn normaaltingimustele vastava selge ilma doosi suhtes.

Tabelist 2, kus on antud vastavad erüteamseid doosid kalendrikuude kaupa, on näha, et nii suhteliselt kui ka absoluutselt suurimad doosid esinevad suvekuudel maist augustini, kuid suhteliselt läheneb doos selge ilma väärtusele samavõrra ka märtsis ja veebruaris, kuna lume ja pilvede vastasmõju võimendab sel ajal erüteamset kiirgust.

Eelnevalt võisime veenduda, et nii integraalse päikesekiirguse kui ka erüteamseid kaalutud UV-kiirguse võimalikud doosid osutuvad aastate kaupa üsnagi stabiilseks just ajal, kui koguneb nende põhiline osa. Muutlikkus on suurem talvisel poolaastal. Et erüteamseid kaalutud kiirgus sisaldab mõlemat, nii atmosfääriosooni poolt reguleeritavat UV-B kiirgust kui ka osoonil hulgast sõltumatut UV-A kiirgust, siis on ootuspäraselt UV-B kiirguse muutlikkus suurem.

Mõlemat kiirgust neelab oluliselt õhus sisalduv tahm, mistõttu saastatud linnaõhus võivad kiiritustihedused osutada kuni kaks korda väiksemaks kui saastamata õhuga ümbruses.

D-vitamiini süntees

Prægusel ajal on suure aktuaalsuse omandanud D-vitamiini sünteesiga ja D-vitamiini defitsiidiga seotud probleemid. Lühilainelist UV-kiirgust efektiivse lainepikkusega 297 nm ümbruses nimetatakse vahel teisisõnu antirahhiitiliseks kiirguseks, rõhutades seost D-vitamiini sünteesiga. D-vitamiini süntees naha pindmises kihis toimub vaid siis, kui kiiritustihedus ületab teatud läviväärtust. Talvisel ajal esineb 50ndast suurematel laiuskraadidel kõikjal periood, kui D-vitamiini sünteesiva kiirguse tase jääb lävest allapoole. Polarjoone taga kestab nn D-vitamiini talv mitu kuud (7). Selge ilma ja atmosfääri läbipaistvuse ning osoonil koguhulga tavapärase sesoonsete väärtuste korral ehk nn normaaltingimustel kestab Tõraveres D-vitamiini

Tabel 2. Erüteamse doosi muutlikkus kuude kaupa Tõraveres

Kuu	Keskmine doos		Suhe: tegelik doos/selge ilma doos		
	KJ _e /m ²	Selge ilma doos KJ _e /m ²	keskmine %	min %	max %
Jaan	2,73	3,89	70	51	87
Veebr	8,65	11,63	74,5	55	90
Märts	22,35	29,45	76	59	97
Apr	40,20	56,60	71	52,5	83,5
Mai	75,33	100,61	75	59	94
Juuni	90,40	120,05	75,5	65,5	85,5
Juuli	86,47	115,70	74,5	61	89,5
Aug	63,80	86,55	73,5	55,5	93,5
Sept	32,32	46,50	69,5	56,5	84,5
Okt	11,86	18,38	64,5	49,5	79,5
Nov	3,24	5,60	58	43,5	76,5
Dets	1,84	2,75	67	40,5	83,5

talv 6. novembrist 19. veebruarini (8). Nimetame seda vahemikku edaspidi konventsionaalseks D-vitamiini talveks. Vahemik on määratud 306 nm lainepikkusel tehtud kiiritustiheduse mõõtmiste alusel, lähtudes lävest $1 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ sellel lainepikkusel (7). UV-B kiiritustihedus on väga tundlik osooni koguhulga suhtes, mis kevadel muutub amplituudiga maksimaalselt kuni $\pm 50\%$ ja sügisel kuni $\pm 30\%$. Eriti paksu osoonikihi korral võivad D-vitamiini talve tingimused alata kuni kümme päeva enne selle konventsionaalset algust ning kevadel samavõrra hiljem ka lõppeda. Ekstreemselt õhukese osoonikihi korral võib "D-vitamiini talv" osutuda umbes samavõrra lühemaks. Paksult pilves ilmadega võib D-vitamiini sünteesiks vajaliku UV-B kiirguse tase langeda koguni 3–4%ni vastavast selge ilma väärtusest. Üksikuid lauspilves ja paksu osoonikihiga päevi, mil UV-B kiiritustihedus D-vitamiini sünteesiks vajalikku läve ei ületa, on esinenud vahemikus 7. oktoobrist 23. märtsini. Katsete alusel ja arvutuslikult on leitud, et D-vitamiini sünteesiks piisab veerandist kuni poolest päikesepõletust tekitavast doosist (9). Juba on alustatud ka D-vitamiini sünteesiva kiirguse tasemete prognoosi meetodite väljatöötamist (10).

D-vitamiini tähtsus kaltsiumi ainevahetusele ja selle puudusest tingitud tugiaparaadi haigused on hästi teada, kuid viimasel ajal on leitud epidemioloogilistes uuringutes seoseid UV-kiirguse taseme vähesuse ja ka teiste haiguste vahel. On viiteid, et väiksem risk haigestuda eesnäärme, rinnanäärme, kolorektaalsesse vähki, non-Hodgkini lümfoomi, multiipelsesse skleroosi, II tüüpi diabeeti ja reumatoidartriiti on inimestel, kellel on elu jooksul suurem ekspositsioon päikesekiirgusele ja kõrgem D-vitamiini tase vereseerumis (11, 12). Kasvajate puhul seostatakse seda efekti D-vitamiini rakkude

proliferatsiooni takistava, rakkude diferentseerumist ja apoptoosi soodustava toimega (2, 11, 13). Autoimmuunhaiguste teket vähendab UV-kiirguse toimel tekkinud immuunsupressioon, mis on vahendatud reguloorsete rakkude ($\text{CD4} + \text{CD25} +$), mitmete tsütokiinide ja mediaatorite, aga ka D-vitamiini poolt (14). Ameerika Ühendriikide kohta avaldatud uuringus (15) on tehtud nii ülemäärasest kui ka liiga vähesest päikesekiirgusest põhjustatud haiguste majandusliku kahju hinnangud. Ülemäärasest päevitamise põhjustatud vähijuhtumite tekitatud kahju on osutunud kogu riigi mastaabis aga D-vitamiini puudusest tingitud juhtumite omast 7–8 korda väiksemaks (16). Vaatamata nimetatud majanduslikule võrdlusele tuleb ikkagi jätkuvat tähelepanu pöörata ka ülemäärase päevitamise vältimisele.

Kokkuvõte

Kuigi Eestis mõõdetakse UV-kiirgust alates 1997. aastast, on võimalik tänu rekonstruktsioonile arvutada erüteemseid UV-kiirguse doose alates 1953. aastast. Vastupidi üldlevinud arvamusele ei ole UV-kiirgus selle aja jooksul intensiivistunud. Küll aga on esinenud üksikuid suure UV-kiirguse tasemega ekstreemseid aastaid. UV-kiirguse seiret jätkatakse, et hinnata võimalikke muutusi UV-kiirguse doosides ja mõjus inimese tervisele. Kõige enam kasutatakse seireks kogu maailmas UV-kiirguse erüteemmõjususele vastavaid lairibasensoreid. Laieneb ka UV-kiirguse spektraalne mõõtmine, mis võimaldab hinnata erinevate bioloogiliste toimete tugevuse muutust aja jooksul.

Tänuavaldus

Tööd finantseeris ETF (grant nr 5348). Täname Enn-Märt Maasikut entusiastlike UV-kiirguse ja osooni koguhulga mõõtmiste eest Tartu-Tõravere meteoroloogiajaamas.

Kirjandus

1. Kaur S. Naha päikesekahjustused. Tartu: Atlex; 1999.
2. Moon SJ, Fryer AA, Strange RR. Ultraviolet radiation, vitamin D and risk of prostate cancer and other diseases. *Photochem Photobiol* 2005;81: 1252–60.
3. Eesti kiirguskliima teatmik. Koost. V. Russak ja A. Kallis. Tallinn: EMHI; 2003.
4. Eerme K, Veismann U, Koppel R. Estonian total ozone climatology. *Ann Geophys* 2002;20:247–55.
5. Veismann U, Eerme K, Koppel R. Solar erythemal ultraviolet radiation in Estonia in 1998. *Proc Estonian Acad Sci Phys Math* 2000 (49);2:122–32.
6. Eerme K. Variations of total solar radiation and estimated erythemal UV doses in Estonia during 1953–2004. *Annalen der Meteorologie* 2005;41:663–6.
7. Engelsen O, Brustad M, Aksnes L, et al. Daily duration of vitamin D synthesis in human skin with relation to latitude, total ozone, altitude, ground cover, aerosols and cloud thickness. *Photochem Photobiol* 2005;81:1287–90.
8. Eerme K, Veismann U, Ansko I, Lätt S. Year-to-year variations of the vitamin D synthesis related UV-B radiation in Estonia in autumn and spring. In: Proceedings of SPIE. Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere 2006;6362(15):1–7.
9. Holick MF. Sunlight “Dilemma: risk of skin cancer or bone disease and muscle weakness”. *The Lancet* 2001;357:4–5.
10. Schmalwieser AW, Schauburger GA. First approach of forecasting the vitamin D effective UV radiation. *Annalen der Meteorologie* 2005;41(2):672–5.
11. Berwick M, Kesler D. Ultraviolet radiation exposure, vitamin D, and cancer. *Photochem Photobiol* 2005;81:1261–6.
12. Smedby KE, Hjalgrim H, Melbye M, et al. Ultraviolet radiation exposure and risk of malignant lymphomas. *J Natl Cancer Inst* 2005;97:199–209.
13. Lehmann B. The vitamin D₃ pathway in human skin and its role for regulation of biological processes. *Photochem Photobiol* 2005;81:1246–51.
14. Ponsonby A-L, Lucas RM, van der Mei IAF. UVR, vitamin D and three autoimmune diseases – multiple sclerosis, type I diabetes, rheumatoid arthritis. *Photochem Photobiol* 2005;81:1267–75.
15. Grant WB, Garland CF, Holick MF. Comparison of estimated economic burdens due to insufficient solar ultraviolet irradiance and vitamin D and excess solar UV irradiance for the United States. *Photochem Photobiol* 2005;81: 1276–86.
16. Wright CY, Reeder AI. Youth solar ultraviolet radiation exposure, concurrent activities and sun-protective practices: a review. *Photochem Photobiol* 2005;81:1331–42.

Summary

Solar ultraviolet radiation in Estonia: measurements, relationships and impacts

For the environmental factors there appears a domain where the impact is most suitable for living organisms. The present paper discusses briefly the measurement methods of UV radiation, the available UV dose and its variations at a typical Estonian rural site, at the Tartu-Tõravere Meteorological Station. The summer half-year between the vernal equinox and the autumnal equinox accounts for about 80% of annual total solar radiation and nearly 90% of annual erythemally weighted radiation. The interannual variations of erythemal radiation are lower than the variations of global solar radiation. Four years out of five deviations from the average remain between

5.5% and 8%. The extreme highest half-yearly doses have reached 11% and 14.5% above average.

At the geographic latitudes above 50° there is a period in each winter when the level of short-wave ultraviolet radiation (UVR) remains below the threshold needed for vitamin D synthesis in the human skin. The “vitamin D winter” at the Tartu-Tõravere Meteorological Station site lasts from about Nov 6 to Feb 19 in cloudless weather and in climatic total ozone conditions. During the 10 days closest to this conventional “vitamin D winter”, in the most unfavourable conditions, there can be no availability of vitamin D synthesizing irradiance above its threshold level.

kalju@aai.ee