

Keskkonnaministeerium
Tartu Observatoorium

PÄIKE, OSOONIKIHT JA INIMENE

Tallinn, 2007

Koostaja: Uno Veismann

Konsultandid: Kalju Erme, Valentina Laius, Joel Valge,
Jüri Truusa, Ene Kriis, Rutt Koppel

Kogumiku koostamist, kirjastamist ja trükkimist rahastas Keskkonnaministeerium.

Kogumik ei ole müügis.

© Keskkonnaministeerium 2007

ISBN: 978-9949-15-326-8

Eessõna

Keskkonna reostatuse probleemid on tänapäeval aktuaalsed kõigis riikides, olles mõneski loigus muutunud ühiskonna valupunktideks. Looduslike keskkonnaosiste – pinnase, õhu ja vee – otsese saastamise kõrval nimetatakse tihti ka kiirgusohtu. Ligi pool sajandit on kiirgussaastest rääkides siiski silmas peetud radioaktiivsetest heitmetest lähtuvat ioniseerivat kiirgust. Nüüdseks on ilmnunud, et ohud inimeste tervisele võivad seostuda ka pikemaajalise (mitteioniseeriva) kiirgusega, sealhulgas meile nii omaseks saanud päikesekiirguse ultraviolettosaga. Viimane omakorda sõltub maakera atmosfääri lausa tühisena näivast koostisosast – osoonist. Kuidas inimtegevusest on vähenenud osoonihulk atmosfääris ja mida võib põhjustada tugevnev ultraviolettkiirgus, sellest käesolevas trükises räägitaksegi, suunatuna Eesti huvilistele ja esitades Eestis tehtud mõõtmiste ja uuringute tulemusi.

Valentina Laius,

EV Keskkonnaministeeriumi

keskkonnakorralduse ja tehnoloogia osakond

Päikesekiired läbi õhkkonna

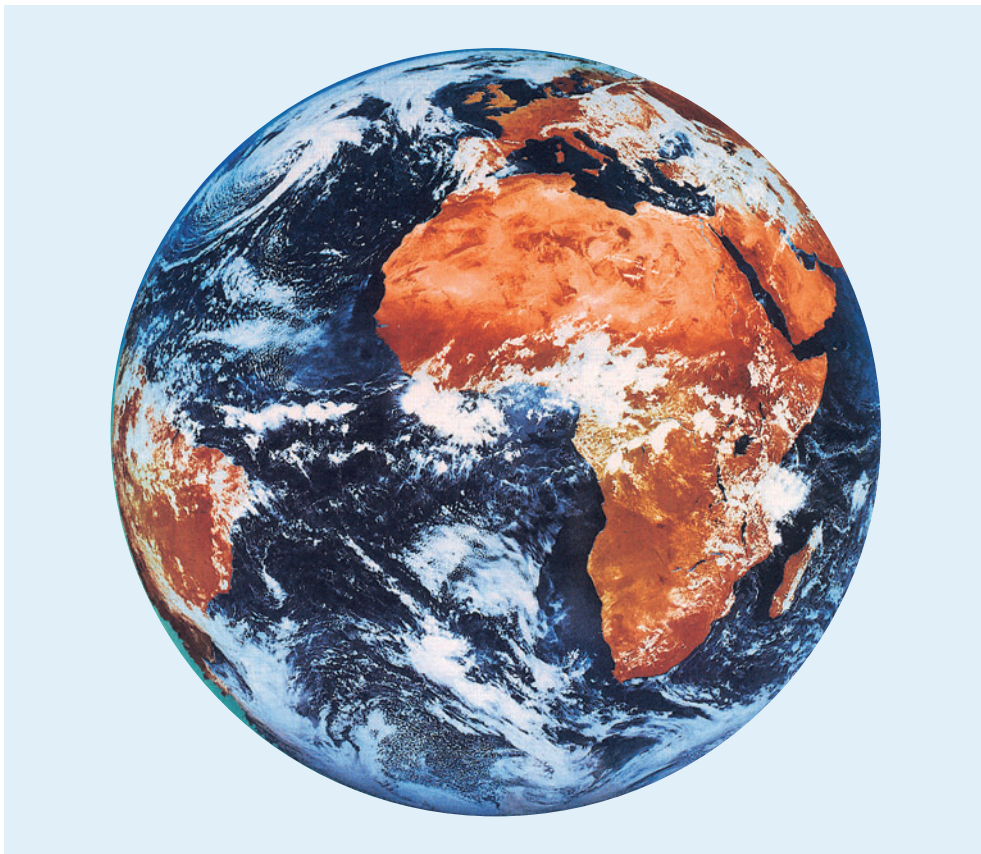
Et elame õhuookeani põhjas, mida kütab päike, see oli juba ammu teada. Nüüd märkame seda ka maakerast tehtud satelliidifotodelt. Õhukiht pole kuigi paks: vaid ligikaudu sajandik planeedi läbimõõdust. Õhuta ei saa me elada – seda öeldes peetakse tavaliselt küll silmas ainult hingamist. Mitte vähem tähtis pole aga õhkkonna kaitsev roll päikesekiirguse “kurja” lühilainelise osa eest. Lausa imepäraselt hoiab planeet Maa oma õrna elustikku päikesekiirguse ohtliku osa eest.

Päike – valguse
ja soojuse allikas



Postimees / Scanpix

Seesama kiirgus tekitab õhuhapnikust osooni – “kolmeosalise hapniku”. Osoon omakorda pehmendab ähvardavat ultraviolettkiirgust. Kui niisugust kaitset poleks, tapaksid ultraviolettkiired kiiresti kõik elusolendid. Levinud arvamuse kohaselt tekkis fotosünteesiv elu esmalt süvamere hämaruses ja liikus siis üsna aeglaselt valguse kätte. Kaasnes hapnikuaatmosfääri teke ja osoonifiltri moodustumine. Poolpimedas elutsenud merevetikad ja bakterid tootsid hapnikku, millest sai tähtsaim aine kõrgemate eluvormide moodustumiseks. Organismide ultravioletti-tundlikkus kohanes osoonifiltri paksusega. Musta tulevikutsenaariumi kohaselt seisaks meil atmosfäärist osooni kadumise korral ees vastupidine tee: algul lahkuda mägedest, lõpuks pugeda peitu vette või maa alla.



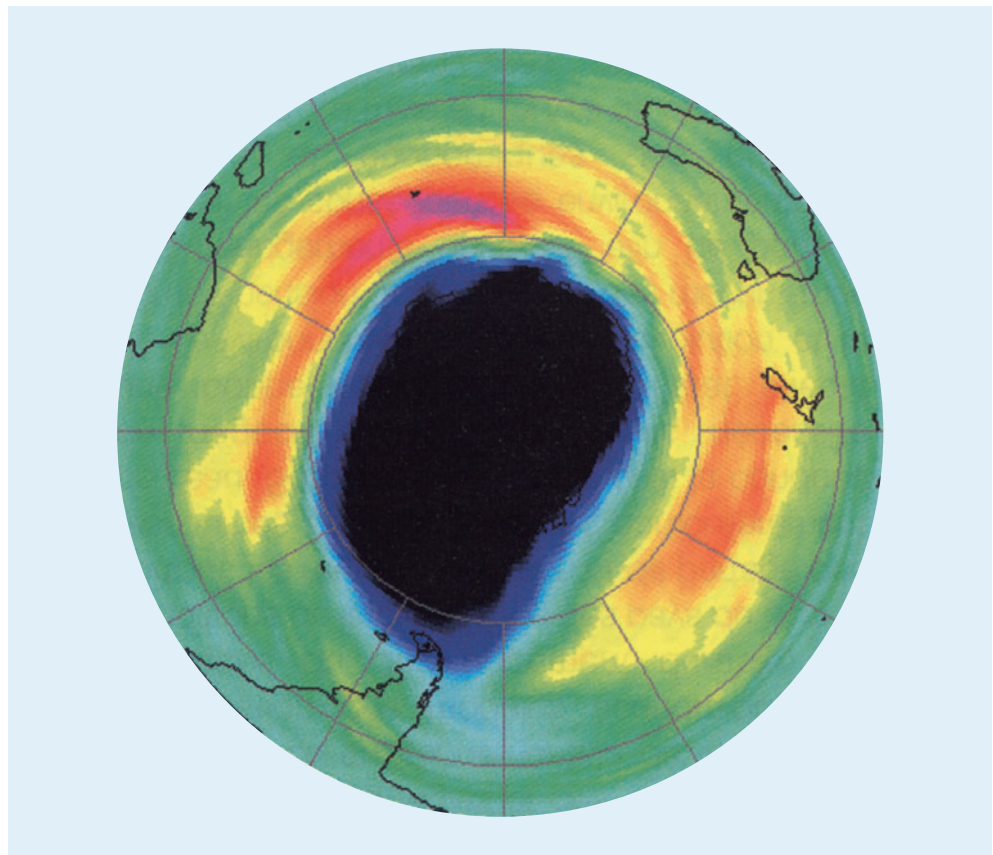
Koduplaneet Maa

Et inimtegevus võib mõjutada atmosfääri osoonisisaldust, sellele vihjasid keemiateadlased eelmise sajandi seitsmekümnendail: 1970 arvas **Paul Crutzen**, et osooni võiks lagundada reaktiivlennukite ja põlluväetiste poolt eraldatav lämmastikoksiid; 1974 väitsid **Sherwood Rowland** ja **Mario Molina** juba, et külmikutest pihkuv gaas võib tõusta kõrgele stratosfääri ja kahjustada osooni. Etteruttavalt mainigem, et need kolm teadlast said oma pioneerlike uuringute eest 1995. aastal Nobeli keemiaauhinna. 1985. aastal avalikustasid Suurbritannia atmosfääriuurijad lõunanaba lähedal saadud mõõtmistulemused – kevaditi on Antarktika kohalt kadunud umbes pool osoonist. Algul usumatuna tunduvat avastust kinnitasid kordusmõõtmised – Antarktika kohal laius kevaditi hiiglaslik kahanenud osooniga laik, mida varsti hakati osooniauguks kutsuma. Märtsis 1988 avaldasid enam kui sada eksperti aruande atmosfääriosooni olukorrast ja muutumisest, kinnitades järeldust osoonisisalduse vähenemisest atmosfääris ja viidates

selle põhjusena inimeste poolt õhku paisatavatele kemikaalidele. Antarktika kohal paiknevat osooniauku ei peetud algul otseselt ohtlikuks, sest sellel territooriumil elab vähe inimesi. Kui aga atmosfääriosoon kahaneb ka mujal, siis ultraviolettkiirguse tugevnemise tõttu võiksid teadlaste arvates kaasneda järgmised nähtused:

- suuremat hulka inimesi hakkavad ohustama nahavähk ja silmakae;
- tekivad organismide kahjustused planktonis, mis omakorda häirib toitumisahelat ookeanis;
- soodustub happelise sudu tekkimine;
- väheneb toiduteraviljade, näiteks riisi, saak;
- immuunsüsteemide kahjustamise tõttu võivad hakata levima mõned nakkushaigused.

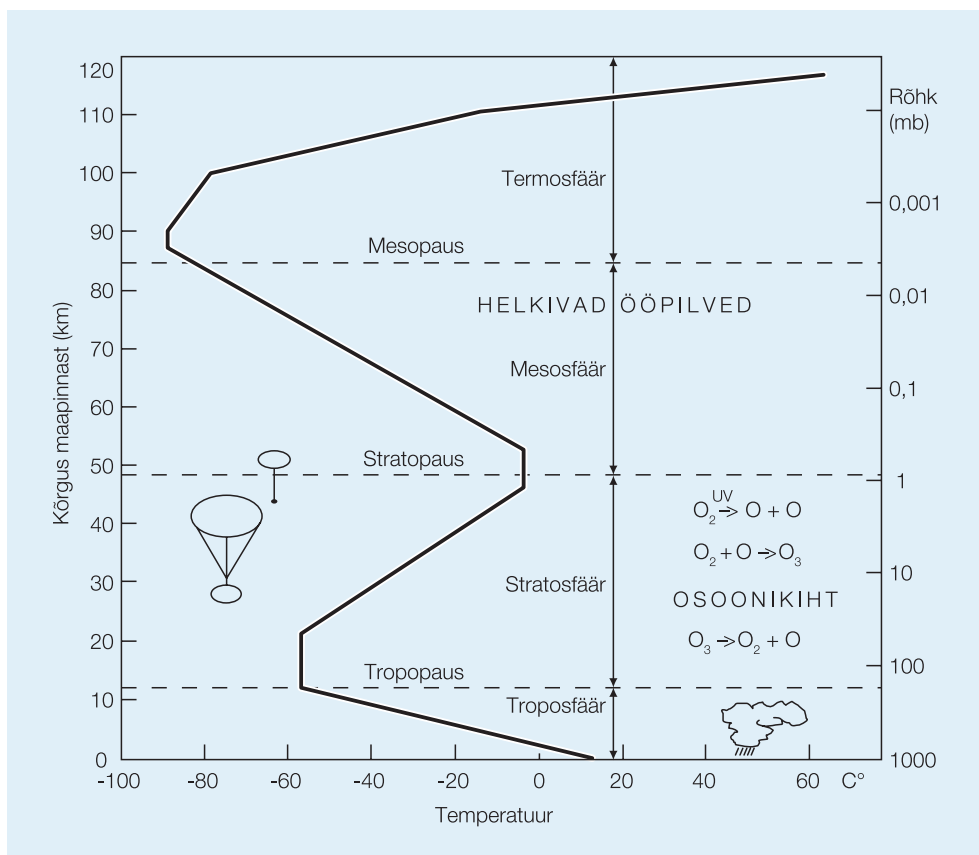
Osooniauk
Antarktika kohal



Kuhu ja kuidas kaob atmosfäärist osoon, kui palju tugevneb sellest maapinnani jõudev päikese ultraviolettkiirgus ja millised tagajärjed see endaga kaasa võib tuua – sellest järgnevas räägitakse, kasutades lisaks kirjanduse andmetele ka Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi (EMHI), Tartu Observatooriumi (TO) ja Keskkonnauuringute Keskuse uuringute ning projektide tulemusi.

Osoonikiht stratosfääris ja selle paksuse mõõtmine

Maakera ümbritseva õhkkonna ehk atmosfääri ülapiir ei ole täpselt määratletav – väga hõre atmosfäär ulatub maapinnast tuhandete kilomeetrite kaugusele, lennuaparaatide jaoks aga on loetud 100 km kõrguselt algavaks kosmost. Atmosfäär jagatakse kihtideks, lähtudes esmajoones temperatuurist: troposfäär; stratosfäär, mesosfäär, termosfäär; nende üleminekul tropopaus, stratopaus, mesopaus.



Atmosfääri kihid

Puhas kuiv õhk koosneb valdavalt lämmastikust ja hapnikust, lisaks vähesest argoonist ning suurest hulgast väikekomponentidest (kokku sajandiku protsendi ringis). Viimaste hulka kuulub ka järgnevas käsitluses kesksel kohal olev osoon. Veeauru sisaldus on muutlik, ulatudes kuni protsentideni, kõrgusega kahaneb veeauru hulk kiiresti. Väga väikeste tahkete või vedelikuosakeste segud moodustavad õhuga looduslikud aerosoolid (pilved, suits, tolm), vedelike pihustamiseks toodetavad aerosoolpudelid sisaldavad õhu asemel muid gaase.

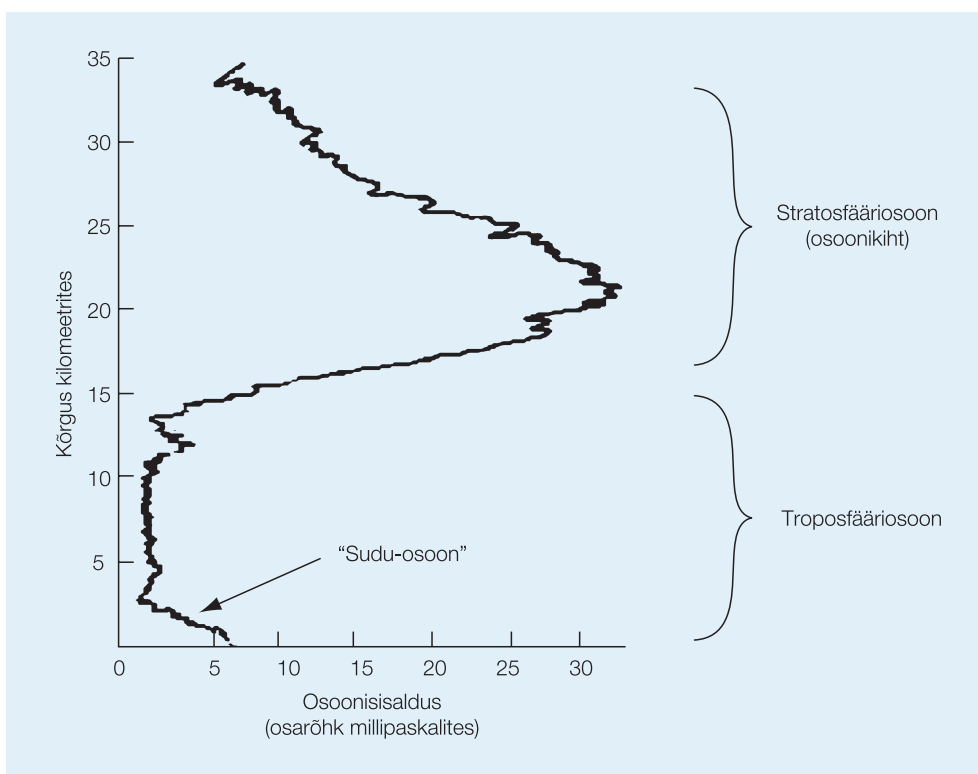
Atmosfääri
gaaskomponendid
mahu järgi

Gas	Kontsentratsioon
Põhikomponendid	
N ₂ Lämmastik	78,1%
O ₂ Hapnik	20,9%
H ₂ O Veeaur	0,1–1%
Ar Argoon	0,93%
ppm-tase	miljondikud 1/1 000 000
CO ₂ Süsihappegaas	380×10 ⁻⁶
Ne Neon	18×10 ⁻⁶
He Heelium	5,2×10 ⁻⁶
C ₄ Metaan	1,75×10 ⁻⁶
Kr Krüpton	1,1×10 ⁻⁶
ppb-tase	miljardikud 1/1 000 000 000
H ₂ Vesinik	500×10 ⁻⁹
N ₂ O Dilämmastikoksiid	318×10 ⁻⁹
O ₃ Osoon	10–6000×10 ⁻⁹
ppt-tase	triljondikud 1/1 000 000 000 000
CF ₂ Cl ₂ Freoon CFC-12	480×10 ⁻¹²
CFCl ₃ Freoon CFC-11	280×10 ⁻¹²
SO ₂ Vääveldioksiid	40–105×10 ⁻¹²
NO ₂ Lämmastikdioksiid	40–105×10 ⁻¹²
NO Lämmastikoksiid	3–105×10 ⁻¹²
CH ₃ Br Metüülbromiid	10×10 ⁻¹²

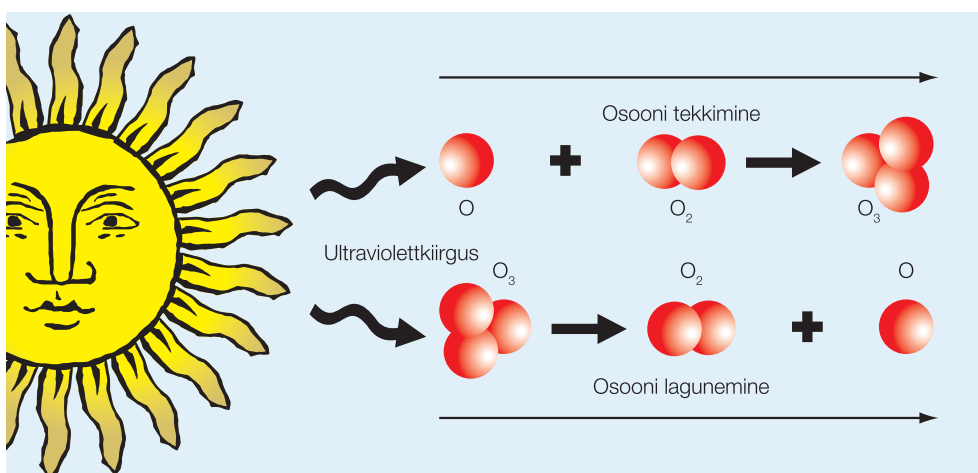
Lühema kui 400 nm lainepikkusega kiirgust on atmosfääri ülapiirile jõudvas päikese-kiirguses alla 10%. Sellegi ultraviolettkiirguse jõudmist maapinnani piirab nn osoonikiht stratosfääris. Tegelikult polegi tegemist päris kihiga, vaid põhiosa osoonist jaotub kõrguste vahemikule 10–50 km, maksimumiga 20–25 km juures.

Atmosfääriõhu osoonisisaldus on ka seal üpris väike: stratosfääris sisaldub teda 1 m³, õhus mitte üle 10 cm³ ehk 10 miljondikku. Mõni protsent osoonit koguhulgast paikneb maapinna lähedases õhus (troposfääriosoon). Osooni neelav mõju ultraviolettkiirgusele kasvab kiiresti kiirguse lainepikkustel alla 320 nm ja lainepikkusega alla 290 nm päikesekiirgus maapinnani peaaegu üldse ei jõua.

Osoon on hapniku kolmeatomiline teisend. Tal on terav lõhn, mida võib mõnikord täheldada elektrimootorite läheduses ja äikese ajal. Stratosfääriosoon ei pärine maapinnalt, vaid on puhtalt atmosfääris tekkiv ja lagunev gaas. Osooni tekkimiseks stratosfääris on just vaja päikese lühilainelist ultraviolettkiirgust (lainepikkusega vähem kui 240 nm), mis suudab lõhkuda hapnikumolekule aatomiteks. Hapniku aatomite ja molekulide ühinemisel tekivad osoonimolekulid, mis omakorda võivad jälle laguneda. Osooni tekkimise-lagunemise tasakaalu teooria avaldas Suurbritannia teadlane Sidney Chapman 1930. aastal. Umbes kolmekümne aasta pärast said selgeks lagunemist oluliselt mõjutavad katalüütilised protsessid, mida põhjustasid hüdroksüül, lämmastikoksiidid ja halogeenid kloor ning broom. Järgmine samm atmosfääri osoonikihi keemia selgitamises tehti pärast Antarktika osooniaugu tuvastamist.



Osooni jaotumine atmosfääris



Osooni tekkimine ja lagunemine

Gordon Miller Bourne Dobson (1889–1976) jälgis eelmise sajandi algul Oxfordi ülikooli juures meteooore ning tuli järeldusele, et umbes 50 km kõrgusel peab õhutemperatuur olema suhteliselt kõrge, mis sai tuleneda vaid päikesekiirte neeldumisest seal paiknevas osoonis. Kahekümnendatel konstrueeris Dobson osoonikihi paksuse mõõtmiseks spetsiaalse spektromeetri, mida järgnevatel aastakümnetel valmistati enam kui sada eksemplari ja mis on tänapäevalgi veel kasutusel paljudes maailma meteoroloogiajaamades. Regulaarselt toimiv stratosfääriosooni jälgimise jaamade võrk moodustus rahvusvahelisel geofüüsika aastal 1957. Nüüdseks on neis jaamades Dobsoni spektromeetrit asendamas Breweri spektromeeter – arvutijuhitav optika-elektronikainstrument, mille hind on umbes 100 000 dollarit. Eestile lähemad Breweri spektromeetrid asuvad Soomes, Rootsis ja Leedus.

Osoonikihi paksust (ka: osooni kogusisaldust, osooni koguhulka, *total ozone content*, *column ozone*) mõõdetakse **Dobsoni ühikutes DU** (*Dobson Unit*), mis väljendab atmosfääri vertikaalsest sambast maapinna tingimustele taandatud osooni kihipaksust tuhandikes sentimeetrites. Osoonikihi maksimaalsed paksused maakeral võivad ületada 600 DU (kihi taandatud paksus 6 mm), minimaalsed paksused Antarktika kohal on olnud alla 100 DU (1 mm). Stratosfääriosooni süstemaatiliste mõõtmistega hakkas **rahvusvaheline meteoroloogiaorganisatsioon WMO** (World Meteorological Organization) tegelema umbes 40 aasta eest, kuigi siis näis, et sel on vaid akadeemiliselt teaduslik eesmärk. Nüüdseks kuulub vaatlusvõrku üle 140 jaama 60 riigis.

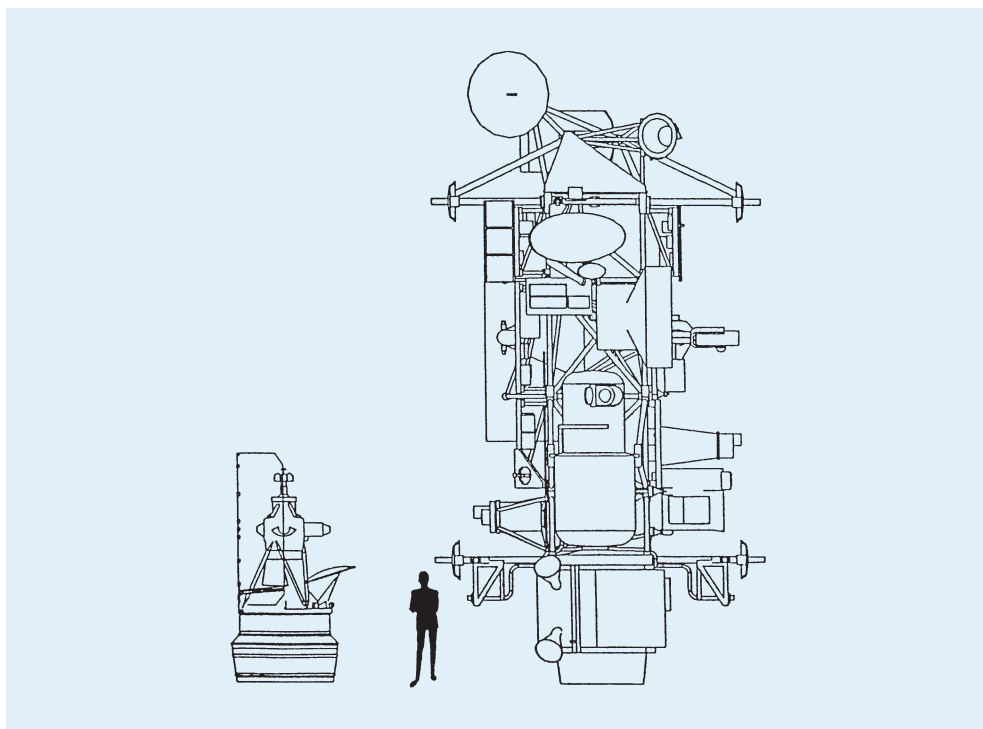
Breweri spektromeetrid
Fairbanksis Alaskal



Osooni vähenemise atmosfääris tuvastasid esimestena Suurbritannia Antarktika-ekspeditsioonis osalenud teadlased Joe Farman, Brian Gardiner ja Jonathan Shanklin, kes avaldasid sellel teemal 1985. aastal kirjutise teadusajakirjas Nature. Halley Bay uurimisjaamas oli atmosfääriosooni mõõdetud alates 1957. aastast. Reastades kõigil aastatel oktoobris saadud mõõtmistulemused, ilmnes seitsmekümnendatest alates järsk langus. Varasemate aastate keskmisega võrreldes ulatus siis langus ligi 50 protsendini; tänaseks teame, et kevaditi on osooni jäänud Antarktika kohale vaid kolmandik.

Esmakordselt püüti kosmosest osoonikihti jälgida 60ndate lõpul (1967 – USA orbitaalne geofüüsikaobservatoorium OGO 4). Hiljem paigutati kaugseireinstrumente Nimbusseeria meteoroloogiasatelliitidele. Mõningaid mõõtmiskatseid tehti N. Liidu tehiskaaslastelt Meteor ja Kosmos, samuti orbitaaljaamadest. 1978. aastal orbiidile viidud Nimbus 7 pardal oli juba mitu spektromeetrit, nende seas nüüdseks üldtuntud **TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer)**, mis mõõtis atmosfääris hajunud ultraviolettkiirgust kuuel lainepikkusel. Need riistad võimaldasid kaardistada osooni jaotumist kogu maakera kohal, edastades andmeid päevast päeva kümnete aastate jooksul.

Osooniaugu tekkimisest peale Antarktika ka põhjapooluse kohale oligi esimene hoiatus saadud 1989. aastal satelliidilt Nimbus 7. Colorado ülikoolis koostatud arvutimudel aga viitas umbes kolmandiku osooni kadumisele talvel. See muutis tõsiseks nii atmosfäärfüüsikute kui ka poliitikute suhtumise. Käivitati EASOE (European Arctic Stratospheric Ozone Experiment), milles osales umbes 250 uurijat 17 riigist, nende käsutuses oli kolm erilennukit. Umbes 50 valget õhupalli tõstis igaüks 40 kg mõõteriistu kuni 35 km kõrgusele (seal sai palli kubatuuriks 10 000 m³). Põhja-Rootsist Kirunast startisid geofüüsikalised uurimiseraketid.



Satelliidid
Nimbus-7 ja UARS

1991. aastal viis USA kosmosesüstik Space Shuttle orbiidile kõigi aegade suurima ja kalleima atmosfääriobservatooriumi **UARS (Upper Atmosphere Research Satellite)**, mille põhiülesandeks oli inimtegevusest tingitud keskkonnamuutuste uurimine. Tulpunktis oli seejuures osoonikihi seisund.

Kõrvalepõikena olgu märgitud, et siinkohal käsitleme ainult stratosfääriosooni, jättes kõrvale maapinnalähedase osooni. Viimase hulka, vastupidi stratosfääri omale, kasvab, ning ta mõjub inimesele ja loomadele-taimedele kahjulikult. Paradoksaalne küll, kuid inimene hävitab osooni seal, kus seda just vaja oleks, ja lisab sinna, kus seda juba niigi kahjutoovalt palju on.

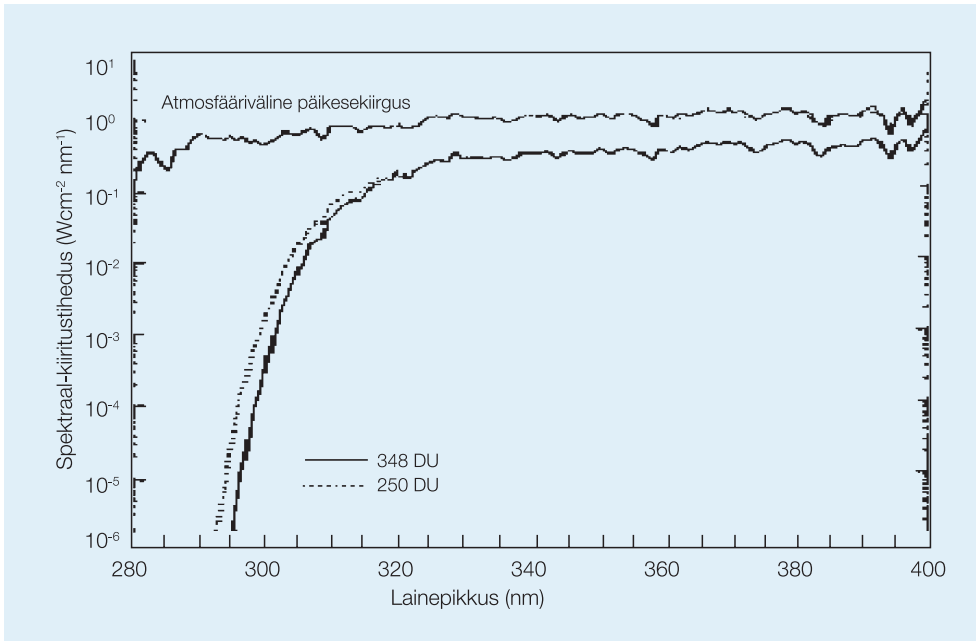
UARS orbiidil



Regulaarselt hakati atmosfääriosooni koguhulka (täpsemalt: atmosfääri vertikaalses sambas leiduva osooni normaaltingimustele taandatud kihi paksust) Tartu Observatooriumis Tõraveres mõõtma 1994. aasta algusest ühe selleks kohandatud laboratooriumi-spektromeetriga. 2003. aasta algusest toimetatakse EMHIs päikesepaistelisel ilmadel vaatlusi USA firma Solar Light kantava osoonimonitoriga Microtops II. Neeldumine osoonis arvutatakse päikese UV-kiirguse mõõtmistest lainepikkustel 305 nm, 312,5 nm ja 320,5 nm. Nagu nähtub joonisest, on osooni mõju kiirgusele 300 nm juures eriti suur, lainepikkustel 320 nm juures aga väike – nendest mõõtmistest saabki osoonihulga arvutada. Maailma maapealsete jaamade andmed kogutakse Kanada meteoroloogiateenistuse juures asuvasse rahvusvahelisse keskusse **WOUDC (World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre)**.

Alates 1978. aasta novembrist on järjekindlalt tehtud osooni koguhulga globaalse ulatusega määramist USA satelliitidelt, peamiselt aparatuuriga **TOMS**. Interneti kaudu

(<http://jwocky.gsfc.nasa.gov>) saab jälgida osooni koguhulga väärtusi Eesti kohal peaaegu iga kuupäeva kohta, enamikul juhtudel ei erine need kohalike maapealsete mõõtmiste tulemustest üle 10–20 DU. Mõõtmistega kosmosest on küll puudulikult kaetud ajavahemik maist 1993 kuni juulini 1996. USA keskuse NOAA satelliidiandmeid edastatakse Interneti-aadressil <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/tovsto> globaal-värvikaartidena skaala-astmega 30 DU.

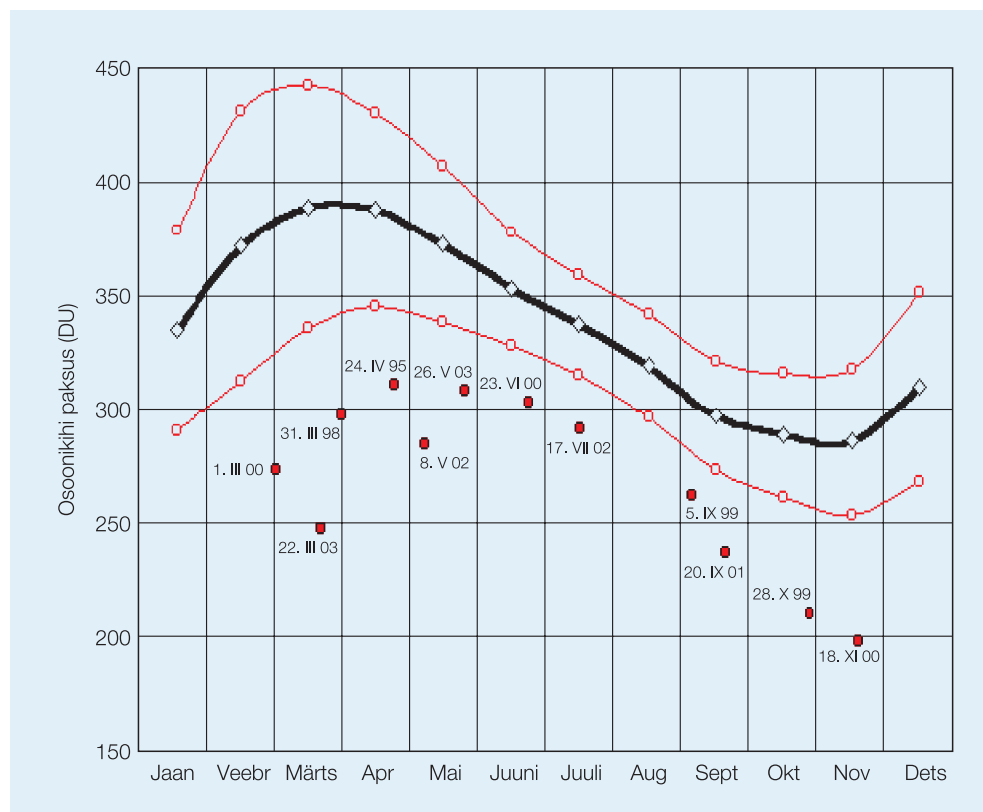


Maapinnale jõudva ultraviolettkiirguse sõltuvus osoonikihi paksusest

Kui paks on osoonikiht Eesti kohal?

Osoonikihi paksus muutub aasta jooksul umbes samal viisil, nagu paljud teised aasta-
aegadega seotud suurused. Kõige paksem on osoonikiht meie kohal talvel-varake-
vadel, kõige õhem hilissügisel. NASA satelliidiandmete 1979–2000. aasta statistilise
töötlemise kaudu on Tõraveres leitud Eesti kohal osooni koguhulga keskmine aastane
muutumiskäik, et mõista, mida selle foonil võiksime lugeda anomaalseks (näiteks mini-
osooniauguks). Lisaks keskväärtuste graafikule on joonisel näidatud päevaste väärtuste
standardhälbed ja viimaste aastate mõnede ekstreemsete hõrenemiste juhud.

Osoonikihi paksuse aastane
muutumine Eesti kohal



Stratosfääriõhu meridionaalse tsirkulatsiooni aastasest tsüklis tingituna saavutab osooni koguhulk atmosfäärisambas Eesti kohal suurima väärtuse (390–400 DU) märtsis-aprillis ja kahaneb seejärel miinimumini (280–290 DU) oktoobris-novembris. Suurim muutlikkus esineb vahemikus veebruarist aprilli lõpuni: registreeritud on väärtusi alla 200 DU kuni 550 DU. Suvekuudel on osooni koguhulga standardhälve ning keskväär-tuse aastast aastasse kõikumine ligi kaks korda väiksemad kui talvel ja kevadel.

Märgatavalt alla pikaajalise keskmise langes osooni koguhulk vulkaanide El Chichon (1982) ja Mt. Pinatubo (1991) tugevatele, stratosfääri küündivatele pursetele järgnenud aastatel 1983 ja 1992–1993. Siis esines nii talvel kui ka suvel tavapärasest sagedamini päevi, mil osooni koguhulk langes alla standardhälvega määratud piiri. Pärast Mt. Pinatubo tekitatud aerosooli mõju lõppu on osooni keskmine koguhulk märtsis-aprillis olnud pikaajalisest keskmisest 30–50 DU võrra madalam 1996. ja 2000. aasta kevadel ning 20 DU võrra madalam 2003. ja 2005. aasta kevadel. Seejuures 2005 kevadel esines Arktika kohal kõigi aegade kõige ulatuslikum osooniauk ning 1996. aasta osooniauk oli suuruselt järgmine. Sügisene osooni miinimum on 2000., 2004. ja 2005. aastal olnud 20 DU võrra tavalisest sügavam. Maapealsetest vaatlusjaamadest ja satelliitidelt tehtud paljudest mõõtmistest ilmneb, et põhjapoolkera 50.–65. laiuskraadil esineb osooni kogu-hulga kahanemise trend. Kümne aasta kohta vähenes WMO aruande kohaselt osooni koguhulk vahemikus detsembrist maini 4,4% ja juunist novembrini 2,8%. Tõraveres uuriti osooni koguhulga muutumist ja võimalikke trende ka Eesti kohta. Selleks kasu-tati maapealse vaatlusvõrgu jaamade andmeid ajavahemike 1957–1967 ning 1973–1978 kohta, mis saadi Torontos asuvast WMO WOUDC rahvusvahelisest andmebaasist (<http://www.msc.ec.gc.ca/woudc>). Osooni koguhulga kahanemise trend 3% kümne aasta kohta alates 1980. aastast on Eesti jaoks täheldatav üksnes ajavahemiku veebruarist aprillini kohta. Teistel aastaegadel usaldusväärset süstemaatilist kahanemist ei leitud. Seda ei ilmnenud ka kevadkuudel enne 1980. aastat. Pärast 1980. aastat täheldatav osooni kahanemise trend kevaditi pole Eesti kohal tõenäoliselt seotud osooni keemilise hävimisega, vaid kajastab pigem muutusi stratosfääri ja troposfääri õhuringluses ning troposfääri ülaosa madalrõhkkondade ja kõrgrõhkkondade paiknemise mustris.

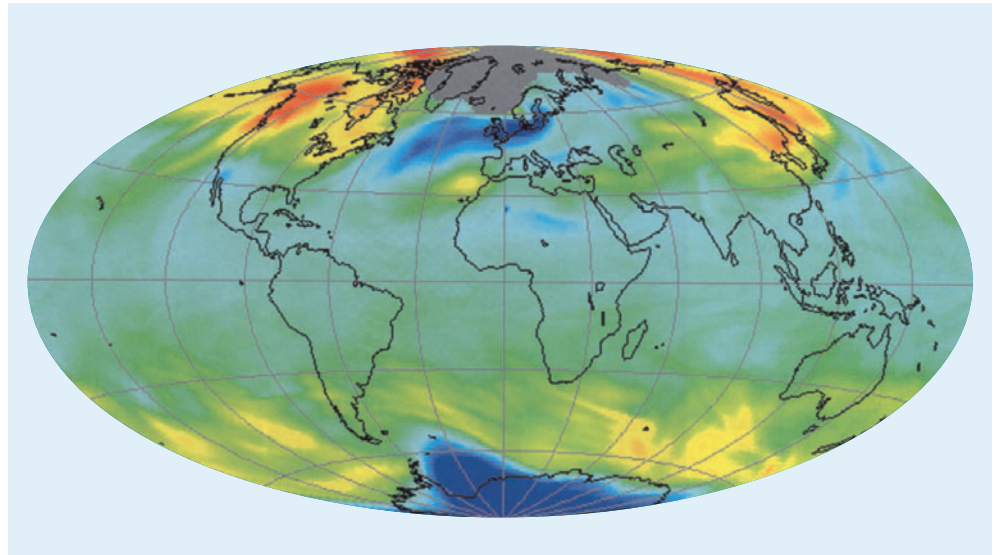
Osooni koguhulga erilise madalseisu episoode (osooni koguhulk alla 250 DU ja isegi alla 200 DU) esineb meil septembri teisest poolest märtsini, mil madalalt käiva päikese ultraviolettkiirgus maapinnal sellest siiski kuigi intensiivseks ei saa muutuda. Arves-tatavamat ohtu võivad tekitada osooni koguhulga madalseisu episoodid aprillis ja mai alguses. Eriliste meteoroloogiliste olukordade tõttu on neid Eesti kohal esinenud 1993. ja 1997. aasta kevadel (kummalgi korral 295 DU tavapärase keskmise 385 DU asemel), 1990. ja 1995. aastal (307 DU kummalgi juhul) ning 2003.–2005. aastal (ühapäevased vahemikus 280–320 DU). Eriti kestev oli osooni koguhulga madalseis 3.–16. maini 2002 miinimumiga 8. mail (284 DU).

28. oktoobril 1999 Eesti kohal registreeritud madal osoonikihi paksus (209 DU) vastas sel ajal Põhja-Euroopa kohal laiunud õhenemisele, mis oli kogu ulatuses jälgitav kaug-seiresatelliidilt **ERS-2** aparatuuriga **GOME (Global Ozone Monitoring Experiment)**.

Sinised kuni mustad alad globaalvaatel tähistavad väikesi osoonikihi paksusi – alla 225 DU. Osoonikihi anomaalseid õhenemisi (kuni 200 DU) registreeriti veel kohati Euroopas 30. novembril 1999 ja 8. novembril 2001. Need töid kaasa ultraviolettkiirguse taseme kasvu maapinnal 20–30%.

Antarktika osooniauk laiub umbes 25 miljoni ruutkilomeetri kohal, vähimad osoonikihi paksused septembri lõpus või oktoobri alguses on olnud 85 DU lähedal.

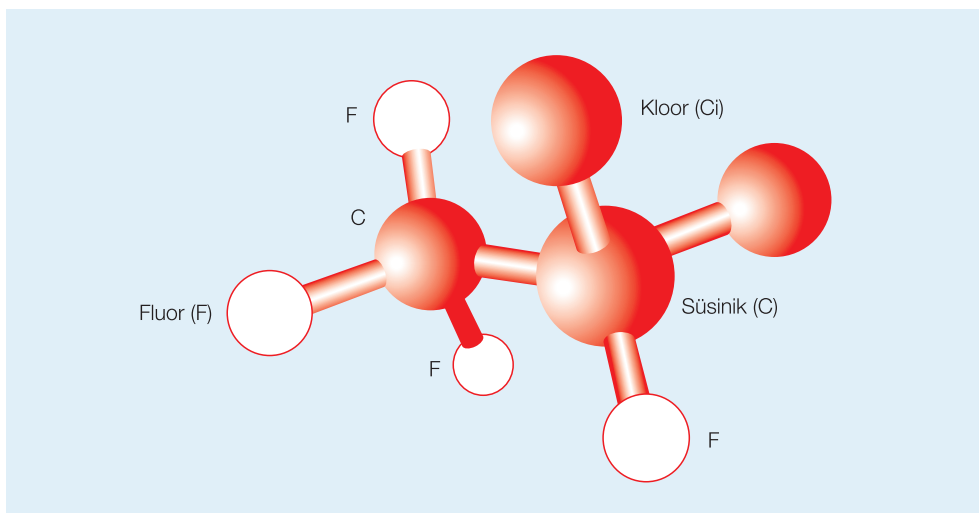
Õhenenud osoonikiht
Euroopa kohal



Osoonikihi kahjustamise lugu

Mõttele, et inimtegevus võib muuta osoonihulka atmosfääris, tulid 1971. aastal sõltumatult Harold Johnson (USA) ja Paul Crutzen (Holland/Saksamaa). Nad kirjeldasid arvatavat lämmastikuühendite (NO, NO₂, N₂O) osooni lagundavat toimet ja kahtlustasid nende ühendite atmosfääri viimises reaktiivlennukeid. Samamoodi süüdistati siis osoonikihi lõhkujatena asjatult veel lämmastikväetisi ja tahkekütusrakette.

Täielikult halogeenitud klorofluorosüsivesinikud, mida lühendatult tähistatakse **CFC** (klorofluorosüsiniikud, *chlorofluorocarbons*), avastati 1928. aastal. Thomas Midgley sünteesis siis General Motorsi laboratooriumis paljulubava gaasi, mida ta USA keemiaseltsi aastakoosolekul 1930. aastal avalikkusele demonstreeris. Ta hingas seda sisse, suunas küünlaleegi kohale: täiesti ohutu ja kahjutu! See gaas näis olevat lausa ideaalne külmkappide süsteemide, aerosoolipudelite ja vahtplastide täiteaine. Ta on värvitu ja lõhnatu, ei põle ega ole happeline, rääkimata mürgisusest. Tavaelus ei reageeri ta ühegi ettejuhtuva ainega, vaid käitub inertsena.



Freoni CFC-113 molekuli skeem

Mitte miski ei tundunud piiravat selle gaasi kõige laialdasemat kasutuselevõttu ja ka pihkumist loodusesse. Nii see läkski: keemiafirmad hakkasid iga aastaga rohkem seda liiki gaase tootma ja turustama. Firma DuPont poolt patenteeritud gaasile CFC-12 anti nimeks freoon.

Teise maailmasõja ajal leiti uue kasutusala vaht-soojustusmaterjalide tootmine (Styrofoam), veidi hiljem malaariavastaste propellantide pihustamine. Ligikaudu iga aastakümme tõi uue kasutusala ja freooni tootmise kahekordistumise. Veel hiljuti kasutati Euroopas ja Jaapanis aastas iga inimese kohta 0,9 kg sellist gaasi, USAs poolteist korda enam. Kodukülmikute ja tööstuse-külmaseadmete järel said uskumatu leviku aerosoolpakendid – lakkide, värvide, šampoonide, lõhnaõlide, arstimite, putukatõrjevahendite, vahustite ja paljude muude ainete pihustamiseks. CFC-tüüpi gaaside aastatoodang ületas kaheksakümnendatel maailmas miljon tonni. Neid kolme keemilise elemendi – kloori, fluori ja süsiniku – ühendeid (CCl_2F_2 , CCl_3F jt) toodetakse maailmas mitmete nimetuste all, nagu arktoonid, freoonid, geoonid ja genetronid; meil muutus üldkasutatavaks USAst pärit nimetus freoonid.

Siin peitusid
osoonikihi lõhkujad



Postimees / Scanpix

CFC kasutusala
kaheksakümnendatel

	Euroopa Ühendus	Jaapan	USA
Aerosoolides	45%	10%	4%
Külmaseadmetes	9%	31%	40%
Vahtplastides	28%	22%	33%
Lahustites	18%	37%	23%

1970. aastal katsetas Suurbritannia keemiateadlane James Lovelock oma ülitundlikku gaasikromatograafi ja üllatuseks leidis Iirimaa õhust klorofluorosüsiniku tüüpi ühendid. Edasiste mõõtmistega tuvastas **Lovelock** keemiatööstusest tuntud gaasid CFC-11 ja CFC-12 (freoon-11 ja freoon-12) ning määras nende ligikaudse sisalduse õhus – see vastas küll vaid ühele tilgale ujulatäie vee kohta. Kahtlusi tekitavaks asjaluks oli aga see, et gaasid ise on väga püsivad ja ei allu atmosfääri endapuhastusele. Tõsist ohtu Lovelock siiski ei näinud ja jättis uuringud pooleli, edasi läks teatepulk Rowlandi ja Molina kätte. Nemad märkasid, et freoonide sisaldus õhus vastab ligilähedasetl nende tootmistasemele ja neil tekkis kahtlus, et freoonid võivad üsna aeglaselt, ent järjekindlalt tõusta kõrgemale – stratosfääri välja. Seal aga võivad nad laguneda päikese ultraviolettkiirguse mõjul. Edasi esitas Rowland Molinale loogilise küsimuse: “Mis saab lagunemisel vabanevast klooriaatomist?” Molina süvenes keemiliste reaktsioonide peensustesse ja nägi kohe, et kloor reageerib osooniga ning tekivad kloori monoksiid ja hapnik. See pole aga kaugeltki kõik – klooriaatom võib uuesti vabaneda ja osooni lagundamise protsess kordub. Nii osutub kloor katalüsaatoriks, mis hävitab ikka ja jälle osooni, ise taastudes.

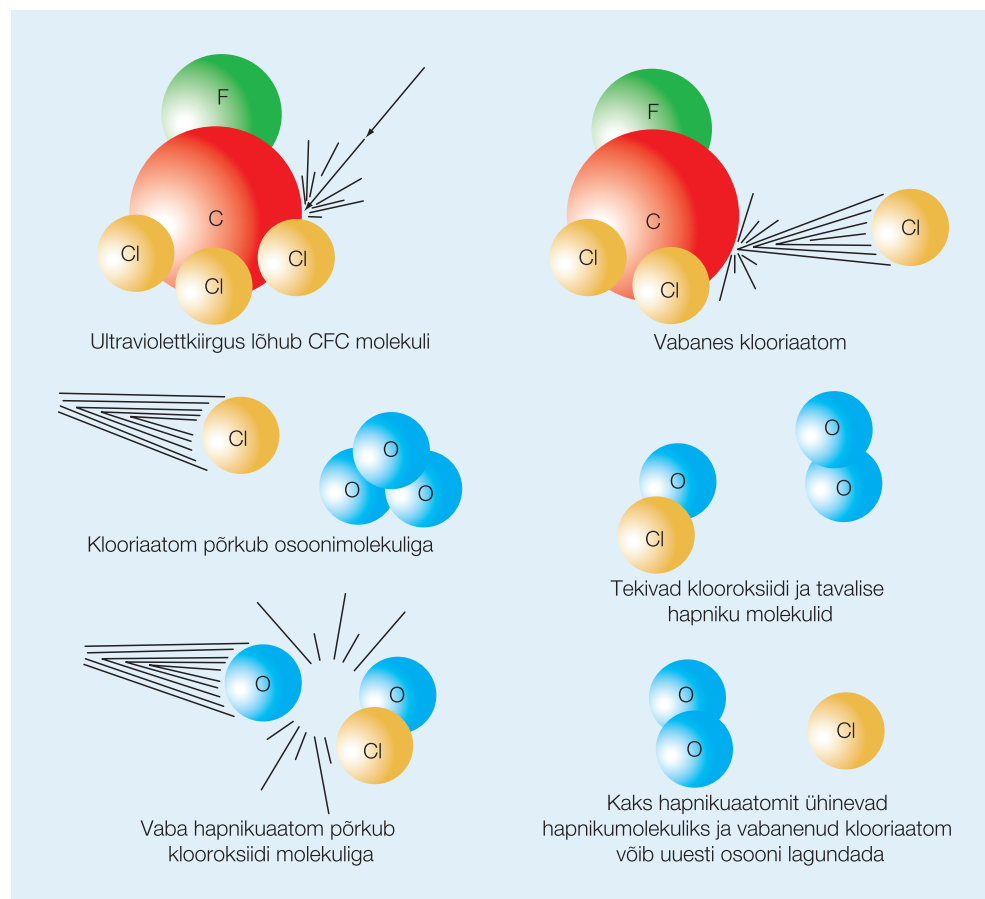
Molina ja Rowland jõudsid järeldusele, et teatud hetkel õhku pihkunud freoonid jõuavad stratosfääri aastate pärast. Sellest tulenes edasi, et kolmekümnendatel alanud ning kuuekümnendatel-seitsmekümnendatel täisvõimsuse saavutanud freoonitootmise jäägid alles tõusevad kõrgemale, kuid samal viisil jätkates on saja aasta pärast osooni hulk stratosfääris kahanenud 7–13%. Maise elu jaoks oleks sellel ülimalt ohtlikud tagajärjed.

Seitsmekümnendate keskpaiku ulatus hoiatus avalikkuseni, algas CFCde-vastane kampaania. 1978. aastal keelustas president Carteri valitsus USA-s gaasi kasutamise aerosoolpudelite täitmiseks. Hakkasid selguma ka muud CFCde seni varjatud ebameeldivad omadused. Nad küll metallidega ei reageeri, ent lagundavad näiteks kummi – seetõttu pole kummitihendid külmasüsteemides kasutatavad. CFCde kõrget pihkumisvõimet näitab see, et nad suudavad tungida läbi halli malmi pooride. CFC leket peaaegu ei saagi avastada lõhna järgi – seda tunneme alles suurematel kui 20protsendistel sisaldustel õhus. Tavaliselt ei peeta neid gaase tule- ega plahvatusohtlikeks, ammugi mitte mürgisteks, ent kokkupuutel pinnaga, mille temperatuur on üle 500 °C, võivad nad laguneda ja üheks laguproduktiks võib osutuda väga ohtlik mürkgaas fosgeen.

Stratosfääri kaitsekilpi hakkasid CFCd tekitama mõrasid, mis edasi võisid laieneda lõhedeks ja aukudeks. CFC hävitustööle said seejuures tublisti kaasa aidata näiteks võimsad vulkaanipursked. 1991. aasta 15. juunil paiskas Pinatubo vulkaan Filipiinidel kõrgele atmosfääri kümneid miljoneid tonne tolmu ja gaasi. Need moodustasid tohutu pilve, mis laienes üle kogu maakera. Tekkinud väävli-aerosoolid võivad aga stratosfääris veel aastaid hiljemgi osoonikihti mõjutada. Igatahes näitasid esimesed mõõtmised UARSilt kaheldamatult Pinatubo purskest tekkinud väävli-aerosoolide pilve olemasolu ja spiraalikulujulist laienemist põhja suunas. Aerosoolipilv tekib vulkaanipurskel stratosfääri paiskunud vääveldioksiidist ja veeaurust moodustunud väävelhappe piiskadest. Piiskadeks

kondenseerub aerosool stratosfääri alumistes kihtides, kus on selleks piisavalt madal temperatuur. Väävelhappe tilgakeste sisemuses toimuvad heterogeensed keemilised reaktsioonid, mis muudavad muidu passiivsed ühendid osooni lagunemise katalüsaatoriteks. Veel üks sarnase võimsusega vulkaanipurse võiks juba niigi kahjustatud osoonikihti ka põhjapoolkeral väga ohtlikult lõhkuda.

Freooni roll osooni lagundamisel stratosfääris



Miks on Antarktika kohal osooniauk suurem ja sügavam kui Arktika kohal? Antarktika osooniaugu tekkimise üks põhjuseid on suure hulga kloori ja broomi aatomite vabanemine polaar-stratosfääripilvede (varem nimetati pärlmutterpilvedeks) jäätunud lämmastikhappe ja vee segust koosnevatest osakestest polaarpäeva hommikul. Kloori ja broomi kontsentratsioon on siis sadu kordi tavalisest suurem. Antarktika kohal on stratosfääris talviti 10–20 °C külmem kui Arktika kohal, pilvede tekkeks piisab temperatuurist -80 °C. Arktikas on osooni lagunemine peamiselt varakevadine nähtus, Antarktika eriti külmas õhus kestab see suvise pööripäevani.

Kõige enam tekib stratosfääri osooni ekvaatori läheduses, kust stratosfääri meridionaalne õhuringlus, nn Brewer-Dobsoni tsirkulatsioon, kannab osoonirikast õhku talvise poolkera pooluse suunas. Sellest tulenevalt jääb osoonikiht troopikavööndi kohal õhukeseks (250–280 DU), paksenedes pooluste suunas. Suureneb ka keskmise paksuse sesoonne muutlikkus (meie laiustel näiteks 280–400 DU). Tsirkulatsioon on mõlemal poolkeral teineteisest peaaegu sõltumatu. Külma Antarktika mandri kohal tekib talviti püsiv

õhukeeris ehk polaartsüklon. Selles ringlev õhk on isoleeritud ekvaatori poolt saabuvast osoonirikkast õhust. Stratosfäär jahtub talve jooksul tugevasti – kuni $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja enam. Siis moodustuvad seal peamiselt lämmastikhappe kristallidest koosnevad pilved, mis aktiveerivad ka kloori ja broomi ühendeid.

1979–1985 saadud andmetest leiti, et kogu meie planeedi ümbert oli kadunud keskmiselt 2,5% osoonist. NASA atmosfääripetsialist Michael Kurylo pidas olukorda halvemaks, kui arvati – ka põhjapooluse kohalt oli osoonikiht kahanenud umbes kümnenäädiku võrra. Arvuliselt ei olnud olukord lõunapoolkeraga võrreldes nii hull, kuid see-eest ulatus õhenemine polüübikujuliselt kaugemale inimasustusega aladele, küündides Madridi ja New Yorgi laiusteni. Küsimusele, kas loodus ise ei leia lahendust osooniprobleemile, vastas atmosfäärifüüsik S. Rowland: “Loodus jääb elama. Küsitav on aga, millist rolli jääb inimene looduses etendama.” Ühes ÜRO keskkonnaorganisatsiooni aruandes väideti, et iga protsent osoonikihi õhenemist tekitab maailmas juurde 100 000 pimedat. Ameerika Ühendriikide kongressi istungil süüdistati president George H. W. Bushi olulise probleemi ignoreerimises. Inimesi haaras paanika. Osteti päevitusvastaseid huulepulki ja kreeme, loobuti suusatusikutest kõrgmägedesse, nahaarstide ootetubadesse ilmusid vähihirmus patsientide järjekorrad. Saksamaa keskkonnaministeerium ja tervishoiuamet soovitasid piirata päikese käes viibimist poolesajale päevale aastas, hiljem on seda aega kärbitud juba kolmekümnele päevale.

Osoonikihti kahandavad ained

Täielikult halogeenitud klorofluorosüsinike tootmisel leiti üha uusi variatsioone ning edasi ka analooge samade ülesannete täitmiseks, mida koostiselt ei saa enam ühendada CFC mõistega. Siinse käsitluse seisukohalt on nad kõik **osoonikihti kahandavad ained**.

Osoonikihti kahandavad ained sisaldavad kas kloori (Cl) või broomi (Br). Need ained on lenduvad ja väga stabiilsed, mis tähendab seda, et nad jõuavad stratosfääri, kus asub ka osoonikiht. Neil on suur osoonimolekulide lõhustamise võime, mida määratletakse **osoonikihi kahandamise potentsiaalina ODP** (ingl – *Ozone Depleting Potential*). Ühikuks loeti CFC-11 (keemiline ühend CCl_3F) osoonikihi kahandamise potentsiaal, millega võrreldes enamik teisi CFCsid on mõnevõrra vähem kahjulikud.

Tuleb aga öelda, et osoonikihti kahandavate ainete kahjulikkus avaldub lisaks veel nn kasvuhooneefekti süvendamises. Ka siin reastatakse gaasid globaalse soojenemise tekitamisvõime järgi, kusjuures ühikuliseks loetakse tavalise süsihappegaasi CO_2 kasvuhooneefekti tekitav mõju. See annab võimaluse mitmesuguste kasvuhoonegaaside emissioone summeerida riigi või riikide grupi efektiivseks koguemissiooniks. CFC molekulide globaalse soojenemise tekitamise võime on kõrge, mõnedel isegi tuhandeid kordi suurem kui süsihappegaasil. Muidugi mõista paisatakse neid mahuliselt atmosfääri palju vähem kui süsihappegaasi.

Osoonikihti kahandavatel ainetel on ka atmosfääris säilimise aeg erinev – mõnest aastast mõnesaja aastani. Osoonikihile hävitavalt mõjuv broom satub atmosfääri veel metüülbromiidil CH_3Br baseeruvatest taimekaitsevahenditest. Et enam kui pooled taimekaitsevahendid sisaldavad metüülbromiidi, siis on õhku pihkuva aine hulk maailmas väga suur. Päikesekiirte mõjul vabaneva broomi lõhustamisvõimet osooni suhtes hinnatakse umbes 60 korda suuremaks CFCdest vabaneva kloori potentsiaalset.

Klorofluorosüsinikud (CFC-d)

ODP 0,6-1

Vahud CFC-11/12/13	Autopolsterdus, mööbel, rõivad, madratsid, kingatallad, soojusisolatsioon, pakendid
Külmutus- ja kliimaseadmed CFC 11/12/113/114/115	Kliimaseadmed, soojuspumbad, kodu-, kaubandus- ja tööstuskülmutusseadmed
Lahustid CFC-11/13	Rõivaste keemiline puhastus, peenmehhaanika puhastus, optiliste vahendite töötlus.
Aerosoolid CFC-11/12/113/114/115	Inhalaatorravimid ja muud aerosoolid
Steriliseerimine CFC-12	Meditsiinitehnika puhastus

CFC-11 jääb atmosfääri keskmiselt 50 aastaks, CFC-12 102 aastaks, CFC-113 85 aastaks ja CFC-114 300 aastaks.

Haloonid

ODP 3,0–10,0

Haloonid kasutatakse tulekustutussüsteemides ja kantavates tulekustutites. Haloonide osoonikihti kahandav potentsiaal on eriti kõrge. Kasutusel on haloon 1211, haloon 1301 ja haloon 2402. Haloonid püsivad atmosfääris 20–85 aastat.

Süsiniktetrakloriid CCl₄

ODP 1,1

Süsiniktetrakloriid on magusalõhnaline kergesti aurustuv vedelik, mida kasutatakse rõivaste kuivpuhastuses, rasvaemaldajana ja keemilise sünteesi toorainena. Süsiniktetrakloriidi lõhustumiseks atmosfääris kulub 42 aastat.

1,1,1-triklooretaan (metüülkloroform) CH₃CCl₃

ODP 0,1

1,1,1-triklooretaani kasutatakse rasvaemaldajana ning elektriliste komponentide puhastusvahendina ning propellandina. 1,1,1-triklooretaan püsib atmosfääris 5,4 aastat.

Metüülbromiid CH₃Br

ODP 0,7

Väga toksilist metüülbromiidi kasutatakse kahjuritõrjes, muuseumieksponaatide ja ajaloolistehoonete konserveerimisel, kaupade transpordieelsel töötlusel ning keemiliste komponentide sünteesimisel. Metüülbromiid püsib atmosfääris 0,7 aastat.

Bromofluorosüvesinikud (HBFCd)

ODP 0,02–7,5

Bromofluorosüvesinikud pole laialdaselt levinud, kuid nad on Montreali protokollil alusel kontrollitavate ainete nimekirja lülitatud, et hoida ära nende uusi kasutusalasid.

Klorofluorosüsivesinikud (HCFCd) ODP

0,02–0,11

HCFCd töötati välja CFCde esimeseks asendusaineks. HCFCd lagunevad tunduvalt kergemini kui CFCd. Kuigi HCFCd on osoonikihile tunduvalt ohutumad kui CFCd, aitavad ka nemad kaasa osoonikihi kahanemisele ja on seetõttu vaheetapil kasutusel üleminekuainena.

Polüureteenvahud HCFC 141b/142b	Autode polsterdus, madratsid ja kingad
Jäigad polüuretaanvahud HCFC- 141b/142 b	Soojusisolatsioon, pakkematerjalid
Külmutus- ja kliimaseadmed HCFC- 22/123 ja segud	Külmutus, soojapumbad, kodu-, kaubandus- ja tööstuskülmikud
Lahustid HCFC-123/141b/142b/225	Kangapesu, peenmehhaaniline töötlus, optika töötlemine
Tulekustutus HCFC-22/123/124	Paiksed ja portatiivsed tulekustutid
Aerosoolid HCFC-22	Ravimid ja muud aerosoolid
Steriliseerimine HCFCd 124/142b)	Meditsiinitehnika puhastus

Klorobrommetaan

ODP 0,12

Uus osoonikihti kahandav aine, mis toodi turule 1998. aastal, Montreali protokolliga võeti see aine juba 1999. aastal.

Võitlus osoonikihi säilimise eest

Kümnete riikide valitsused ühendasid oma jõud mures osoonikihi saatuses pärast, võttes **1985.** aastal vastu **Osoonikihi kaitsmise Viini konventsiooni**. Juba kahe aasta pärast **16. septembril 1987** võtsid konventsioonile alla kirjutanud riigid vastu **Osoonikihti kahandavate ainete Montreali** protokoll. Eesti ühines Viini konventsiooni ja Montreali protokolliga 1996. aastal. Montreali protokoll jõustus Eesti jaoks 15.01.1997.

Montreali protokoll on rahvusvaheline õigusakt, mis sisaldab osoonikihti kahandavate ainete tootmise ja kasutamise vähendamise või lõpetamise tähtaegu ning reguleerib kontrollitavate ainete kauplemist riikide vahel. Montreali protokoll ja selle hilisemate paranduste lõppeesmärk on osoonikihti kahandavate ainete ja neid aineid sisaldavate toodete tootmise ning kasutamise täielik lõpetamine kogu maailmas. Seni kestab nende ainete järk-järguline käibelt kõrvaldamine. Ainete kasutuselt kõrvaldamise tähtajad sõltuvad sellest, kas on tegemist arenenud riikidega või arengumaadega. Arengumaade abistamiseks loodi 1990ndal aastal ka finantsmehhanism koos spetsiaalse fondiga, mida rahastavad arenenud riigid.

Montreali protokoll on alates selle vastuvõtmisest parandatud ja muudetud 4 korda:

- **1990. aastal Londonis** (esimene parandus) - Londoni parandustega laiendati kontrolli all hoitavate ainete loendit, lisati vähemohtlike esmaste asendusainete kategooria ja karmistati osoonikihti kahandavate ainete järk-järgulise kõrvaldamise tähtaegu.
- **1992. aastal Kopenhaagenis** (teine parandus) - Kopenhaagenis märgiti, et osoonikihi edasine hõrenemine ning osooniaukude kiire laienemine kestab. Seetõttu karmistati 1992. aasta Kopenhaageni parandustega osoonikihti kahandavate ainete tootmise, tarbimise, impordi ning ekspordi nõudeid veelgi.
- **1997. aastal Montrealis** (kolmas parandus) - Montreali parandustega karmistati

osoonikihti kahandavate ainete käitlemise kontrolli meetmed veel kord ning protokoll täiendati ainete impordi ja ekspordi litsentsimise süsteemiga, mis lihtsustab nende ainete ja toodete liikumise kontrolli. Karmistati ka metüülbromiidi tootmise ja kasutamise tingimusi ning lühendati tootmise ja kasutamise täieliku lõpetamise tähtaegu.

▪ **1999. aastal Pekingis** - Montreali protokolliga neljanda ja siiani viimase parandusega laiendati osoonikihti kahandavate ainete nimekirja veelgi. Pekingi paranduste põhieesmärk on karmistada juba olemasolevaid meetmeid ja lühendada tähtaegu klorofluorosüsivesinike osas.

Eesti Vabariik on ühinenud kõigi nimetatud parandustega.

Et teadusuuringud on kinnitanud Antarktika osooniaugu pidevat suurenemist, lühendab iga uus Montreali parandus osoonikihti kahandavate ainete ja neid sisaldavate toodete tootmise ning tarbimise vähendamise tähtaegu. Igal aastal toimub ka Montreali protokolliga liitunud riikide konverents, kus võetakse vastu pooltele siduvaid täiendavaid otsuseid.

Montreali protokolliga oli 1. mai 2007 seisuga ühinenud 191 riiki, Londoni parandustega 185 riiki, Kopenhaageni parandustega 177 riiki, Montreali parandustega 153 riiki ning Pekingi parandustega 125 riiki (täpne seis aadressil http://ozone.unep.org/Ratification_status/). 2006. aasta lõpuks ei olnud Montreali protokolliga siiski ratifitseerinud 5 riiki, peale Iraagi ja Timor Leste'le on ülejäänud kõik väikeriigid, sealhulgas Andorra, Vatikan ja San Marino Euroopas.

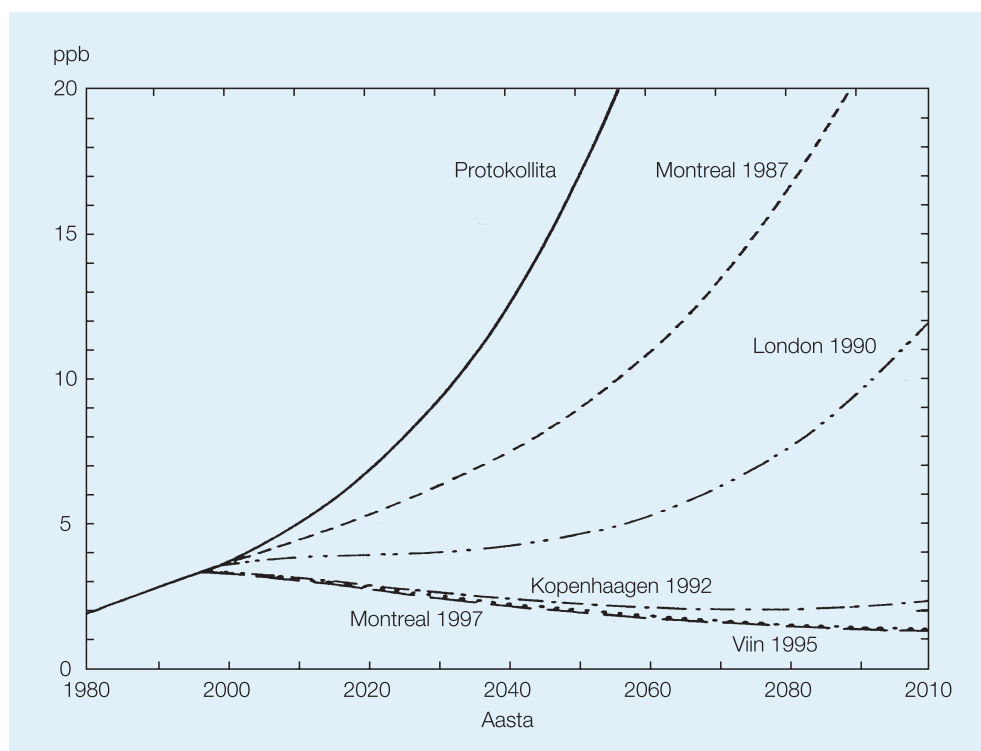
Montreali protokolliga nõuded

Vastavalt Montreali protokolliga sätetele peab iga Montreali protokolliga osapool (Eesti kuulub Montreali protokolliga kohaselt arenenud riikide hulka) kindlustama täieliku kontrolli osoonikihti kahandavate ainete tootmise, kasutamise, impordi ja ekspordi üle. Järgnev tabel annabki neist nõuetest ülevaate.

* Montreali protokolliga järgi tähendab "kasutamine" kontrollitavate ainete toodangut, millele on lisatud kontrollitavate ainete import ja maha arvatud eksport

Aine	Arenenud maad (art 2)		Arenegumaad (art 5)	
	Kasutamistaseme külmutamine	Kasutamise lõpetamine	Kasutamistaseme külmutamine	Kasutamise lõpetamine
CFC-d	1. juuli 1989	1. jaan 1996	1. juuli 1999	1. jaan 2010
Haloonid	-	1. jaan 1994	1. jaan 2002	1. jaan 2010
Muud täielikult halogeenitud CFC-d	-	1. jaan 1996	-	1. jaan 2010
Süsiniktetrakloriid	-	1. jaan 1996	-	1. jaan 2010
1,1,1 trikloroetaan	1. jaan 1993	1. jaan 1996	1. jaan 2003	1. jaan 2015
HCFC-d	1. jaan 1996	1. jaan 2030	1. jaan 2016	1. jaan 2040
Metüülbromiid	1. jaan 1995	1. jaan 2005	1. jaan 2002	1. jaan 2015

Rahvusvaheliste
lepete mõju kloori- ja
broomiühendite
sisaldusele atmosfääris



Ained	Võrdlusaasta	Eesmärk 1	Eesmärk 2	Tootmise lõpp
CFCd	1986			1996
HCFCd	1989	2004 65%	2015 10%	2030
CCl ₄ , CH ₃ CCl ₃	1989			1996
Haloonid	1986			1994
CH ₃ Br	1991	2001 50%	2003 30%	2005

Osoonikihti kahjustavate
ainete tootmisest
kõrvaldamise kava

Euroopa Liidu nõuded

29. juunil 2000.a. võtsid Euroopa Parlament ja nõukogu vastu määruse 2037/2000 (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/et/dd/15/05/32000R2037ET.pdf>), mis on rangem ka Montreali protokollist ja selle parandustest. Kuna tegemist on määrusega, rakendus see Eesti suhtes automaatselt otse liitumisel, s.t. 1. mail 2004.

Määrus eeldab mittekriitiliste halooni sisaldavate tuletõrjesüsteemide mahamonteerimist. CFC-de ja neid sisaldavate toodete turustamine on keelatud. Määrus kehtestab ka HCFC-de järk-järgulise kasutuselt kõrvaldamise graafiku. Juba praegu on nende kasutamine keelatud aerosoolides, lahustitena, vahtplastide tootmisel ja terves reas külmutusseadmetes. Esmaste HCFC-de turustamine ja kasutamine on lõplikult keelatud alates 1. jaanuarist 2010 ning taasväärtustatud ja sügavpuhastatud HCFC-de turustamine ja kasutamine alates 1. jaanuarist 2015. Täpsemalt on reguleeritud ka laborikemikaalide kasutamine. Euroopa Liit nõuab ka riikide poolt kehtestatud miinimumkvalifikat-

siooninõudeid OKA-de käitlejatele ja iga-aastast täpset aruandlust nii kogutud, taasväärtustatud ja hävitatud ainete kui OKA-sid sisaldavate jäätmete (nt külmaseadmed) käitlemise korraldamise kohta. Osoonikihti kahandavate ainete impordi- ja ekspordilitsentse annab välja Euroopa Komisjon liikmesriigi pädeva asutuse nõusolekul.

Viimasel ajal pööratakse nii Euroopa Liidus ja ka laiemal rahvusvahelisel tasemel eriti suurt tähelepanu metüülbromiidile, mida kasutatakse maailmas suhteliselt suurtes kogustes kahjuritõrje eesmärgil.

Lisaks määrusele juhindutakse Euroopa Liidus arvukatest strateegiatest (metüülbromiidi strateegia, CFC- baasiliste dosaatorinhalaatorite strateegia jne.)

Maailma riike ühendav osoonikihi kaitsmise lugu võib kiidelda märkimisväärsete edusammudega. Ilma protokollita oleks 2050ndaks aastaks osoonikihi kahanemine põhjapoolkera keskmistel laiuskraadidel ulatunud vähemalt 50%-ni ning lõunapoolkera laiuskraadidel 70%-ni. Osoonikihti kahandavate ainete emissioon oleks olnud 5 korda suurem, mille tulemused oleksid olnud kohutavad: 19 miljonit mittemelanoomse nahavähi, 1,5 miljonit melanoomse nahavähi ja 130 miljonit silmakae juhtumit rohkem kui ilma protokolliga ja selle lisadega kehtestatud meetmete rakendamiseta.

Kuna on teada, et osoonikihti kahandavate ainete eluiga ulatub kõige püsivamate gaaside puhul paarisaja aastani, siis ei aita ka osoonikihile ohtlike ainete tootmise ja kasutamise päevapealt lõpetamine osoonikihti kohe taastada. Arvatakse, et kui kõik riigid täidavad oma kohustusi, siis võib käesoleva sajandi keskpaigaks (2050) osoonikiht hulk taastuda ja saavutada eelmise sajandi 80ndate aastate taseme. Samas ei pruugi 2050ndaks aastaks atmosfääri olukord olla sama kui 80ndatel aastatel, kuna inimtegevuse tulemusena on õhku paisatud ka väga suured kogused kasvuhooonegaase.

Praegu on osoonikihti kahandavate ainete sisaldus stratosfääris (kõrgem atmosfäärikiht) jõudnud või jõudmas maksimumini. Samas näitab nende ainete sisaldus troposfääris (madalam atmosfäärikiht) juba aeglast langustendentsi. Ka osooniaugu tekkimist Arktika kohale peetakse ebatõenäoliseks. Seega on olukord paranemas. Muret teevad aga illegaalne kaubandus ning tuletõrjes kasutatava osoonikihile eriti ohtlike haloonide sisalduse kasv atmosfääris, kuigi üheski riigis ei toodeta neid aineid juba 1994. aastast alates.

Väljakutseks on ka OKA-de ja kliimagaaside ühine järkjärguline kasutuselt kõrvaldamine, kuna osoonikihti kahandavatel ainetel on ka märkimisväärne kasvuhoooneefekt.

Osoonikihi taastumine

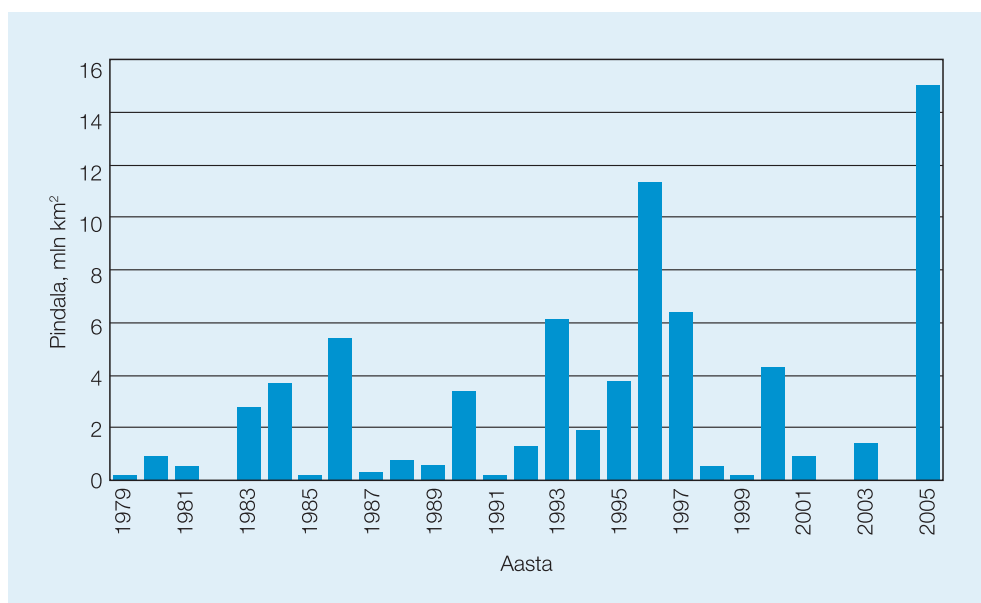
Osoonikihti kahjustavate ainete järk-järguline käibelt kõrvaldamine on osutunud üheks edukamaks rahvusvaheliste lepete varal koordineeritud ettevõtmiseks. Freoonide seni kiires tempos kasvanud sisaldused atmosfääri alumistes kihtides pöördusid langusele aastatel 1992–1994. Umbes viis aastat hiljem hakkas languse tendents avalduma ka stratosfääris. Ka aastatele 1997–1998 langenud broomiühendite sisalduse tipp troposfääris on juba möödas. Kuna mõned Montreali protokolliga ja tema lisade nimekirjades olevatest gaasidest on väga pika elueaga, siis kogu nimekirja ulatuses ei õnnestu langustendentsi veel selgesti tuvastada. Kindlasti on aga stratosfääri osoonile ohtlike lisandgaaside koostis järk-järgult lähenemas osooniaukudeni viinud saastamise eelsele tasemele.

Osoonikihi taastamise uurimine ja prognoosimine ongi käesoleval ajal maailma osooniuurijate üheks peaülesandeks. Probleem ei osutu sugugi nii lihtsaks, kui esmapilgul võiks paista. Isegi kui õnnestub osooni lagunemist katalüüsivate ainete sisaldused viia täies ulatuses varasema loodusliku olukorra tasemele, ei garanteeri see osoonikihi samasugust seisundit nagu oli 1950ndatel ja 1960ndatel. Põhjus on selles, et Kyoto protokolliga reguleeritavate kasvuhoonegaaside sisalduse osas pole lootustki sellele ajale vastavat looduslikku olukorda taastada. Osa selle protokolliga nimekirja kuuluvatest gaasidest on ühtlasi Montreali protokolliga ja selle lisade nimekirja gaasid. Osoonikihi muutuste ja kliimamuutuste vahel toimivad keerukad vastastikused seosed, mis senini ei ole täiel määral selged. Kasvuhoonegaaside oluliselt suuremast sisaldusest tingituna on stratosfääri temperatuur ligemale kahe kraadi võrra madalam kui mõnikümmend aastat tagasi. Stratosfääri alumiste kihtide jahtumine toimub praegu kiirusega ligikaudu 0,6 kraadi kümne aasta kohta ja ülemiste kihtide jahtumine veelgi kiiremini, 50 km kõrgusel umbes 2 kraadi kümne aasta kohta. Põhjus on jahtumine mõnevõrra aeglustunud. Et osooni tekkimise ja lagunemisega seotud keemiliste reaktsioonide kiirus sõltub temperatuurist, siis kulgevad nii mõnedki neist varasemast aeglasemalt. Ühtlasi kulgeb õhuringlus stratosfääris varasemast erinevalt. Kõigi nende asjaolude adekvaatne arvestamine teebki tuleviku prognoosi keeruliseks.

Kevadtalvised osooniaugud on polaarregioonide kohal esinev nähtus ja põhiosa osooni keemilisest hävimisest toimubki nendes. Peetakse tõenäoliseks, et Antarktika osooniaugu kõige reljeefsema avaldumise aastad on juba möödumas ja pärast 2000. aastat tema regulaarset pindala kasvu ega süvenemist ei toimu. Kuigi 2006. aasta oktoobri-novembri osooniauk ületas mõlema näitaja osas seniseid rekordeid. Antarktika osooniaugu täielikku kadumist ehk osoonikihi paksuse püsimummist 1980ndate eelsel tasemel ei ole oodata varem kui aastatel 2060–2075. Täpsemat informatsiooni osoonikihi praeguse seisundi ja selle taastumise kohta võib leida aadressidel http://www.wmo.int/web/arep/reports/ozone_2006/ozone_asst_report.html ja <http://ozone.unep.org/index.asp>. Neli aastat varem avaldatud prognoosid olid 15–20 aasta võrra optimistlikumad.

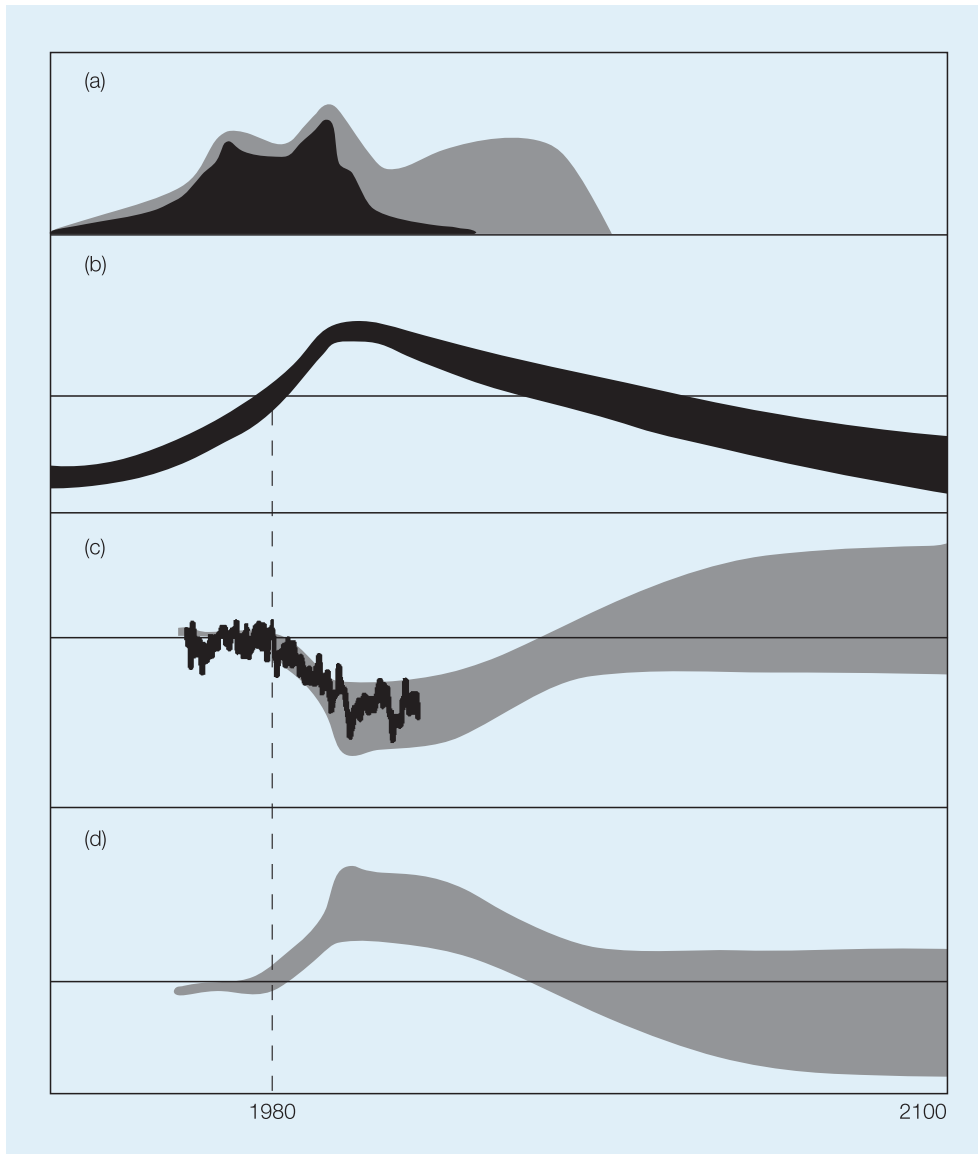
Arktika kohal saavutas osooniauk esmakordselt Antarktika omaga võrreldava ulatuse 2005. aasta kevadel. Eelmine, tunduvalt mõõdukam tippmark pärineb viimase aja ühe külmema talvega 1996. aastast. Vähemalt järgneva 15 aasta vältel ei ole loota ka Arktika kevadiste osooniaukude kadumist, kuigi nad ei tarvitse tekkida igal aastal. Osoonikihi 1980ndate-eelset taset loodetakse Arktika kohal enne 2050. aastat. Külmunud lämmastikhappe kübemetest koosnevate polaarsete stratosfääripilvede moodustumise abil soodustab madalam temperatuur polaaralade kohal osooniaukude teket.

Arktika osooniaugu pindala aastatel 1979–2005



Tiheda inimasustusega mõõdukate laiuskraadide kohal esinev osoonikihi näiv hõrenemine on suurel määral seotud pigem kasvahoonegaaside kasvavast kontsentratsioonist tingitud muutustega atmosfääri õhuringluses ja õhu vertikaalses kihistuses. Kliima soojenemine tähendab, et troposfääri soojema õhuga ala laieneb pooluste suunas ja meile nii tuttav tsüklonite läänest itta kulgemise trass piki polaarfronti nihkub kõrgemale laiuskraadidele. Soojem troposfäär küünib ühtlasi kõrgemale ja tema kohal paiknev senisest jahedam stratosfäär tõmbub õhemaks. Osoonikihi efektiivne kõrgus polaarfronti lähedal oleva varasemast soojema troposfääri kohal kasvab ja kõrgemale hõredamasse õhku pressitud osoonikiht õheneb näivalt. Osooni molekulide lagunemist

põhjustavad keemilised reaktsioonid toimuvad jällegi jahedamas stratosfääris aeglase-
malt ja kompenseerivad osaliselt alumiste kihtide soojenemisest tulenevat osoonikihi
õhenemist. Põhjustavatest mõjutamata laiuskraadide kohal soodustab stratosfääri jahtu-
mine osooni säilimist. Kardetakse koguni, et 21. sajandi lõpul võib osoonikiht liiga
paksuks minna.



Osooni hävitavate kloori- ja
broomiühendite toodang (a),
sisaldus atmosfääris (b),
osoonisisaldus stratosfääris
võrreldes 1980ndate-
eelse ajaga (c) ja
ultraviolettkiirguse
tase maapinnal (d)
kuni aastani 2100

Ultraviolettkiirguse ohtlikkusest

Päevitamine muutus Euroopas moeasjaks ligi sada aastat tagasi. Päevitunud nahka hakati pidama hea tervisliku seisundi tunnuseks. Kuigi arstide hulgas kaheldi helioteraapia kasulikkuses juba eelmise sajandi keskpaiku, jäi rannas päevitamine endiselt populaarseks. Alles nüüd, kus nahavähi ja pahaloomulise pigmentkasvaja melanoomi esinemis-sagedused arenenud riikides kasvavad, on inimeste hoiatamine liigse UV-kiirguse eest saanud üheks vähivastaste programmide koostisosaks. Arstide arvates eksisteerivad kõigi lainepikkuste UV-kiirgusel naha suhtes negatiivsed kõrvaltoimed. Viimased võivad olla kas lühiajalised (päikesepõletus) või pikaajalised (naha vananemine, melanoom, nahavähk, fotodermatoosid). Melanoom saab alguse tumedapigmentilisest sünnimärgist, mis päikesekiirte toimel või ka hõõrumise tagajärjel hakkab kasvama, värvust ja kuju muutes. Samal ajal võivad mujal organismis juba tekkida siirded.

USA keskkonnakaitse ametkond laskis arvutada, mida tooks kaasa viieprotsendiline osoonikihi õhenemine Põhja-Ameerika kohal. Nahavähki haigestumine kasvaks poolelt miljonilt juhult (nagu see viimased 50 aastat USAs keskmiselt oli) 12 miljonini. Senise 9300 inimese asemel sureks igal aastal nahavähki umbes 200 000 ameeriklast. See ei ole veel kõik. Eespool oli juba mainitud ultraviolettkiirguse kahjulikkust silmadele. Näiteks on eakate taevavaatlejate silmahädades süüdi just aja jooksul saadud ultraviolettkiirguse doos.

Montreali protokolliga ignoreerimise korral oleks 2050. aastal osoonikihist järel põhjapoolkera keskmistel laiustel 50% ja lõunapoolkera keskmistel laiustel 30% – ligilähedaselt kümme korda halvem olukord kui praegu. UV-B-kiirgus oleks kasvanud vastavalt kaks ja neli korda. Selle tulemusena omakorda tekiks maailmas 19 miljonit mitterelanoomse vähi haiget, 1,5 miljonit melanoomijuhtu ja 130 miljonit silmakae ehk katarakti juhtu.

Saksamaa parlamendi erikomisjoni aruandes “Maa atmosfääri kaitse” mainitakse veel järgmisi tendentse:

- mitmed taimed hakkavad aeglasemalt kasvama või kärbuvad, taimede liigiline koosseis muutub, väheneb toiduainete tootmine;
- kahjustub plankton meres, millega muutuvad kalade ja vähiliste toitumisahelad ning väheneb ookeanide bioproduksioon.

Tugeva ultraviolettkiirguse lühemaajaline eluvaenulikkus ulatub valkude lagundamiseni ja isegi DNA-molekulide kahjustamiseni. Planktoni jälgimine näitas, et ultraviolettkiirgus tungib palju sügavamale merre, kui arvati. Seega satub kiirguse mõjuvälja ka suur hulk mereelanikke. Esimesed suuremad kahjustused on juba ilmnunud Antarktika vetes, kus 1987. aastast tänaseni on fütoplanktoni hulk vähenenud enam kui 10 protsenti.

Eesti vähiregistri andmetel suureneb nahavähi esinemissagedus meil üsna kiiresti: meestel 6, naistel 7,2 protsenti võrra aastas. Võrdluseks olgu nimetatud, et näiteks rinnavähi sagedus kasvab märksa aeglasemalt – 2,5 protsenti aastas. 2000. aastal oli Eestis nahavähk meestel sageduselt neljandal ja naistel teisel kohal vähipaikmete seas. Haigestumine nahavähki kasvas 1970–2000 umbes poolteist korda. Soomes kasvas nahavähki haigestumine 1970–1991 kolm korda, kuid seda seostatakse esmajoones koduste solaariumide arvu järsu kasvuga samal perioodil. Kuidas osoonikihi õhene mine neid arve mõjutab, pole päris selge. Vähi leviku uurijad on arvamusel, et seni on nahavähk Eestis saagenud siiski muudel põhjustel.



Melanoom

Saksamaa nahaarstid levitasid mõne aasta eest aktsiooni “Laps ja päike” raames üsna hirmutavat hoiatust: lapsed, keda praegu tõmmupruuniks päevitatakse, peavad arvestama suurema nahavähi võimalusega vanemas eas. Haigus võib kätte jõuda 15–20 aastat pärast kiiritusdoosi saamist. Nahavähi-haigeid oli Saksamaal ka eelmise sajandi lõpuaastatel kaks korda rohkem kui kümmeaastase eest. Sealsed arstid arvavad, et praegused haigestujad olid innukad päevitajad seitsmekümne ja kaheksakümne aastal, mil algas sakslaste rändamine Vahemere-äärsetesse kuurortidesse. Bonni kiir-

guskaitseteenistus soovib palja kehaga päikese käes viibida mitte üle 50 korra aastas ja mitte kunagi lasta nahal minna punetuseni. Lapse päikesepõletust tuleks aga kvalifitseerida kui alaealisele täiskasvanu ettevaatamatusest tekitatud kehavigastust. Nii teatasid aktsiooni “Laps ja tervis” liidrid ning nõudsid selle lugemist kriminaalseks teoks. Kui laps enne viieteistkümnendat eluaastat saab päikesepõletusi, on elu jooksul suhteline melanoomirisk tavalisest 2,7 korda suurem.

Milleni võivad viia UV-kiirguse põletused, seda kirjeldatakse üksikasjalikult dr S. Kauri raamatus “Naha päikesekahjustused”. Raamatus toodud nahavähi juhud eeldavad siiski üsna suurte UV-kiirgusdooside kogumist, mis meie tingimustes on harva võimalik. Ohtlikum on põhjamaalasele harjumatu päikesekiirgus Vahemere rannikul või Aafrikas.

Ultraviolettkiirguse mõõtmine

Eespool oli juttu osoonikihi paksusest ja selle mõõtmisest, kuid otseselt elu huvides on oluline teada ultraviolettkiirguse absoluutset tugevust (**kiiritustihedust**) maapinnal. Kiiritustihedus muutub suurtes piirides ööpäevaselt ja aasta jooksul ning sõltub veel mitmetest teguritest (ilm, õhu puhtus, Päikese aktiivsus jm). Pole välistatud ka osoonikihi paksuse kohalikud hälbep. Tervise seisukohalt tähtis näitaja on nn erüteemselt efektiivne kiirgus (erüteem on pindmiste veresoonte laienemise tagajärjel tekkiv nahapunetus). Sellise kiirgusmõõtmisega tegeleb biofotomeetria, mille puhul mõõtmis-
metoodika ja ühikud seostuvad tekitatava bioloogilise efektiga. Kõige erüteemsema toimega on ultraviolettkiirgus lainepikkustel 270...300 nm. Pigmentatsiooni tekitamise seisukohalt on mõjusad suuremad lainepikkused.

Loodusliku ultraviolettkiirguse taset reguleerib atmosfääriosoon, mis alla 290 nm lainepikkusega kiirgust üldse läbi ei lase. Osoonikihi õhenemisel kümnendiku võrra kasvaks aga maapinnal ultraviolettkiirgus lainepikkusel 300 nm 1,6 korda, 293 nm juures 6 korda ja lainepikkusel 288 nm 50 korda.

Huvi loodusliku ultraviolettkiirguse mõõtmise vastu on viimastel aastatel kasvanud kogu maailmas, nii keskkonnakaitse ja tervishoiuga tegelejate kui ka pikemalt päikese käes viibijate (põllutöölised, meremehed, suusatajad, päevitajad) huvides. Nii ongi ilmateadetes ilmunud ka andmed UV-kiirguse tugevuse kohta.

UV-A	315–400 nm
UV-B	280–315 nm
UV-C	100–280 nm

Ultraviolettkiirgust tavatsetakse jaotada kolmeks alapiirkonnaks

Viimase alapiirkonna kiirgus neeldub atmosfääris peaaegu täielikult, UV-B kiirguse maapinnani jõudmine sõltub suurel määral osoonikihi paksusest, UV-A kiirgus

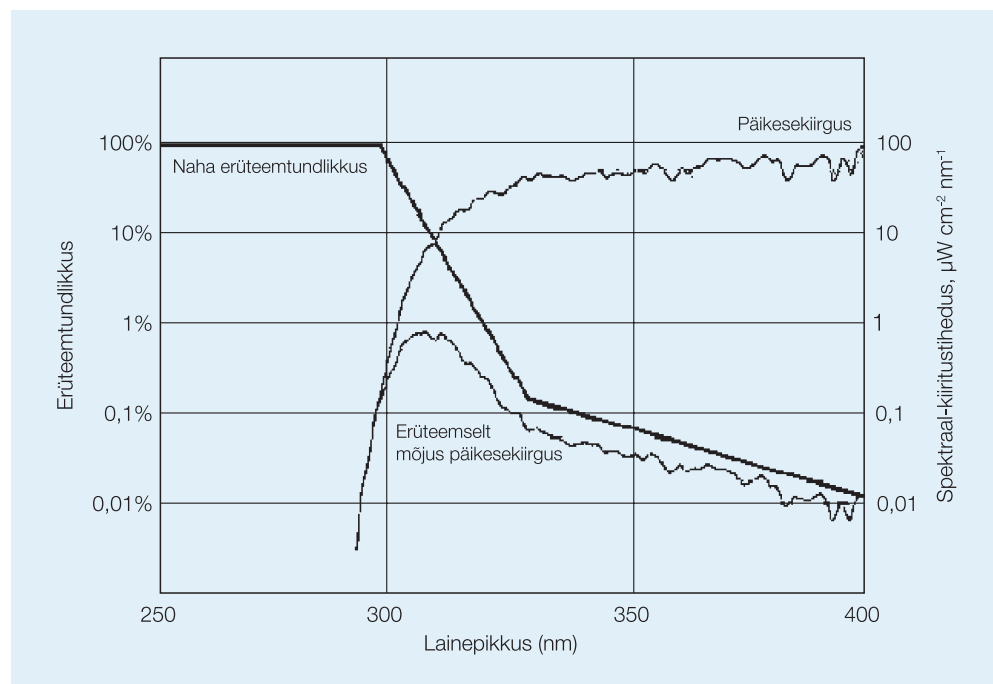
neeldub osoonikihis vähesel määral. Kuna tehniliselt ei ole võimalik ehitada teravapiirilisel kiirguse UV-A ja UV-B piirkonda eraldavaid tajureid, siis toimetatakse mõõtmisi laia- või kitsasribaliste sensoritega piirkonna sees. Tõraveres mõõdetakse lisaks laiariibalistele UV-A- ja UV-B-sensoretele veel näiteks UV-B-kiirgust Kipp&Zoneni firma sensoriga CUVB1, mille spektraaltundlikkuse maksimum asub lainepikkusel 306 nm ja ribalaius on 2 nm.

Levinuimad on siiski UV-sensorid, millede spektraaltundlikkus vastab inimnaha erüteemtundlikkusele. See on seatud rahvusvaheliseks standardiks: nahk on kõige tundlikum lainepikkustele alla 297 nm ja sellest suuremate lainepikkuste poole tundlikkus väheneb kiiresti. UV-kiirgusele lainepikkusega 340 nm on inimnahk juba tuhat korda tuimem. **Erüteem-mõjususe tunnusköver** on fikseeritud Rahvusvahelise Valgustuskomisjoni CIE normiga 1987 (DIN 5050). Efektiivse kiiritustiheduse saamiseks tuleb mõõdetud spektraal-kiiritustihedus igal lainepikkusel läbi korrutada CIE erüteem-efektiivsuse koefitsiendiga, mis lainepikkustel alla 297 nm on 100%, lainepikkusel 339 nm näiteks 0,1%. Sel viisil kaalutud kiirguse mõõtühikuteks võiksid olla W_{ef} / m^2 ja J_{ef} / m^2 , kuid on fikseeritud ka spetsiaalsed ühikud. Varem esitati mõõdetav erüteemsel efektiivne kiiritustihedus ühikutes MED/h ja doos ühikutes MED (meditsiiniliselt efektiivne doos, minimaalne erüteemi tekitav doos), kusjuures 1 MED vastas doosile 250 efektiivset J/m^2 nahatüübi II puhul. Viimasel ajal soovivad Ülemaailmne Meteoroloogiaorganisatsioon WMO ja Ülemaailmne Terviseorganisatsioon WHO erüteem-kiiritustihedust üldsusele esitada **UV-indeksina** (UVI), kusjuures UV-indeks 1 tähistab 0,025 erüteemsel efektiivset W/m^2 .

$$1 \text{ MED/h} = 250 J_{ef} / m^2 h = 0,0694 W_{ef} / m^2 = UVI / 2,778$$

$$UV\text{-indeks } 1 = 0,36 \text{ MED} / h = 90 J_{ef} / m^2 h = 0,025 W_{ef} / m^2.$$

Naha erüteemtundlikkus
sõltuvalt kiirguse
lainepikkusest



Päikese ultraviolettkiirgus Eestis

UV-kiiritustihedus maapinnal sõltub:

- Päikese kõrgusest horisondist;
- stratosfääri osoonikihi paksusest;
- aerosooli hulgast, koostisest ja paiknemisest troposfääris;
- pilvisusest (pilvede hulgast, kõrgusest ja liikidest);
- aluspinna peegeldamisomadustest (albeedost).

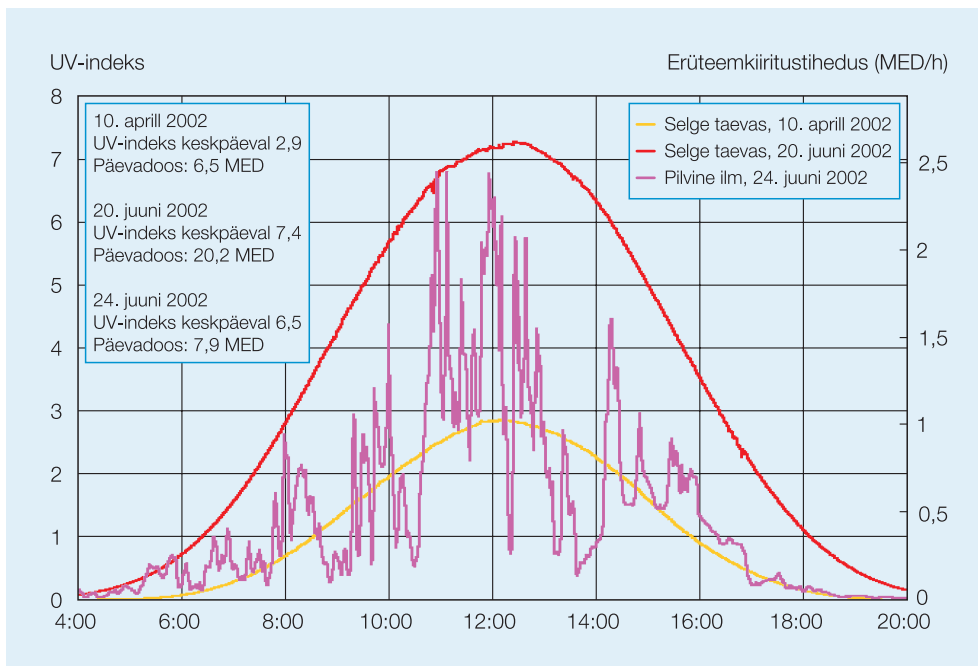
Tõraveres on UV-kiirgust mõõdetud järjepidevalt alates 1. jaanuarist 1998. Iga minuti tagant registreeritud erütem-kiiritustiheduse väärtustest arvutatakse päevased kiiritusdoosid, kümmepäevakute ja kuude doosid ning aastadoosid. On uuritud erütem-kiiritustiheduse sõltuvust seda mõjutavatest teguritest ja leitud seosed erütemkiirguse päevadooside ning neid reguleerivate peamiste tegurite vahel erinevatel aastaegadel. Teguritena on käsitletud päikese kõrgust kohalikul keskpäeval, päeva keskmist madalate pilvede hulka pallides ja atmosfääriosooni koguhulka Dobsoni ühikutes.



UV-kiirguse sensorid
Tartu-Tõravere
meteoroloogiajaamas

Erütemne UV-kiirgus
pöörpäevade ajal selge
ilmaga 1998–2006

Kuupäev	Erütem- kiiritustihedus keskpäeval	UV-indeks keskpäeval	Päeva erütem-dosis
	MED/h	UVI	MED
23. märts 1998	0,86	2,4	5,1
20. märts 1999	0,77	2,1	4,3
20. märts 2000	1,04	2,9	5,5
23. märts 2001	0,94	2,6	4,2
23. märts 2003	0,96	2,66	5,15
22. märts 2004	0,68	1,88	1,93
20. märts 2005	1,37	3,82	7,25
21. märts 2006	0,95	2,64	5,33
21. juuni 1998	2,43	6,7	12,7
23. juuni 1999	2,30	6,4	14,4
22. juuni 2000	2,16	6,0	15,2
25. juuni 2001	2,20	6,1	16,5
22. juuni 2002	2,66	7,4	14,2
24. juuni 2003	1,86	5,2	12,4
23. juuni 2004	2,37	6,6	13,1
24. juuni 2005	2,66	7,39	15,1
24. juuni 2006	2,5	6,94	16,4
21. sept 1998	1,15	3,2	6,04
19. sept 1999	1,16	3,2	6,6
18. sept 2000	1,04	2,9	6,0
23. sept 2001	1,06	3,0	6,0
19. sept 2002	1,11	3,08	4,2
21. sept 2003	1,23	3,41	5,0
19. sept 2004	1,28	3,54	6,5
18. sept 2005	1,21	3,36	5,9
21. sept 2006	1,15	3,2	6,5
22. dets 1998	0,053	0,15	0,21
25. dets 1999	0,089	0,25	0,32
25. dets 2000	0,051	0,14	0,17
24. dets 2001	0,085	0,24	0,31
24. dets 2003	0,09	0,26	0,3
24. dets 2004	0,09	0,26	0,23
23. dets 2005	0,1	0,27	0,35

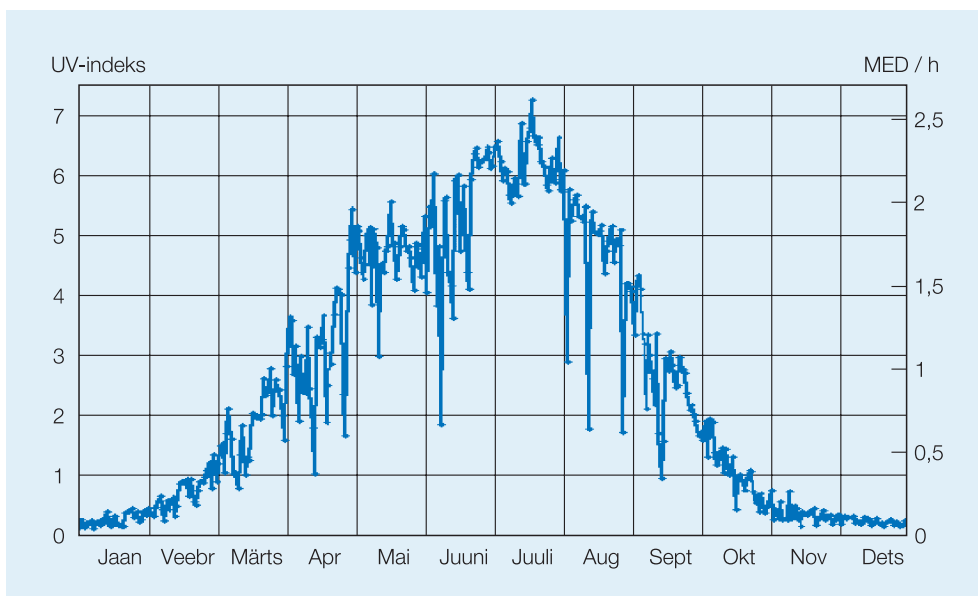


Kuidas UV-kiirgus muutub erinevatel päevadel

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
UVI > 5	61	89	79	78	98	56	87	99	94
UVI > 7	3	8	3	1	25	0	6	22	11

Suurte UV-indeksi väärtusega päevade arv (Tõraveres)

Kui UV-indeksi väärtused osutuvad suuremaks kui 5, soovitatakse päevitamisel kasutada nahka kaitsvaid vahendeid. UV-indeksi väärtuste korral üle 7 peetakse päevitamist juba ohtlikuks. Suurimaks UV-indeksi väärtuseks on Tõraveres registreeritud 8. Kõige suuremad UV-indeksi väärtused ei esinegi päris selge ilmaga, vaid siis, kui taevas on osaliselt kaetud kiud- ja rümpilvedega.

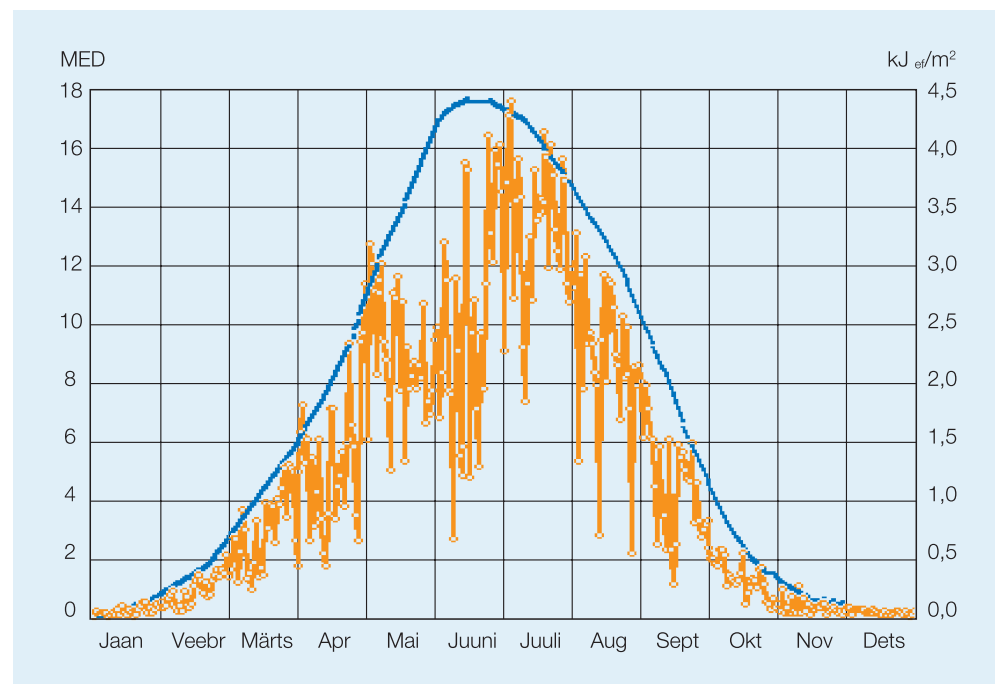


UV-kiirguse päevamaksimumid 2001. aastal

Horisontaalsele pinnale langev UV-kiirgus koosneb otsesest (päikese) kiirgusest ja hajuskiirgusest. Ka pilvitu ilmaga on hajuskiirguse osa UV-kiirguses suur, oluliselt suurem kui hajusa kiirguse osa pikemalainelises kiirguses. Suvise pööripäeva paiku moodustab meil hajuskiirgus keskpäeval päikese kõrgusel 55° keskmiselt 50% ning päikese kõrguse kahanedes järjest suurema osa horisontaalpinnale langevast summaarsest erütemsest UV-kiirgusest. Osaliselt pilvedega kaetud taeva heledusjaotuse uuringud on näidanud, et ka pilved võivad suurendada taeva hajuskiirgust. Päikese kõrgusel alla 30° kiudpilved ja rümpilved erütemsesse UV-hajuskiirgusesse märgatavat täiendavat panust ei anna. Päikese suurematel kõrgustel rümpilvede hulgas 3–7 palli lisavad selge taeva UV-hajuskiirgusele keskmiselt 10% ja mõnikord isegi rohkem. Rümpilved võivad olla selgest taevast kuni 2,5 korda heledamad.

UV-kiiritust suurendab ka hästi peegeldav ehk suure albeedoga ümbruskond. Selliseks saab olla esmalt värske lumi, mis võib peegeldada isegi üle 90% langevast kiirgusest. Ka liivalt peegeldumine on märksa suurem (näiteks 20%) kui taimkattelt (2–3%). Veepinna albeedo võib UV-kiirgusele olla 5–10%. Peegeldatud-hajutatud kiirgus suurendab hajuskiirguse osa, aga võib ka otse jõuda päevitaja silmadesse või näole.

Erütem-ultraviolettkiirguse päevadoosid 2001. aastal. Võrdluseks kujuteldava selge ilma doosi aastane käik



Maapinnani jõudev päikese UV-kiirgus avaldab mõju lisaks inimeste tervisele veel biosfääri produktiivsusele (ka põllu- ja metsamajandusele), materjalidele (hapraks muutumine ja värvide luitumine) ja atmosfääriprotsessidele (eriti oksüdeerimisvõimele ja troposfääriosooni tekkeprotsessile). Ultraviolettkiirguse **dooside** määramine on oluline passiivsete keskkonnaobjektide mõjutamise seisukohalt. Loomade, taimede ja ka tehismaterjalide korral ei saa doosi aktiivselt reguleerida kiiritamiskestuse/varjumise kaudu. Dooside põhilised looduslikud reguleerijad on päeva pikkus ja pilvisus.

Võimalikud on olukorrad, kus kiiritustihedus omandab lühiajaliselt kõrgeid väärtusi (selge taevas, suvised keskpäevad), aga päeva-, nädala- või kuudoosid osutuvad väikeseks (pilves ilmad); samuti vastupidi. Suurlinna sudu takistab UV-kiirguse maapinnani jõudmist, mille tagajärjeks peetakse rahhiiti haigestumist. Ka põllu- ja aiakultuuride kasvu võivad UV-kiirguse doosid mõjustada.

Nelja talvekuu doos ei ületa meil mõnda protsenti aastadoosist, nelja suvekuu doos on ligikaudu 70% aastadoosist. Kui kogu aasta jooksul oleksid ainult täiesti pilvitud ilmad, oleks erüteemse kiirguse võimalik aastadoos Eestis umbes $650 \text{ kJ}_{\text{ef}} / \text{m}^2$. Kujuteldava täiesti selgete ilmadega suvise poolaasta doosist moodustas eriti ilusate ilmadega 2002. aastal registreeritud erüteemse UV-kiirguse doos 82% ja viimase 50 aasta pilvisel, 1998. aastal 70%. Osooni koguhulga aastastest muutumisest tingituna osutuvad selge ilma doosid ja keskpäevased kiiritustihedused kevadise pööripäeva paiku ligi 25% võrra väiksemaks kui sügisese pööripäeva ajal ning sama suur efektiivne kiiritustihedus saavutatakse 5° võrra kõrgema päikese korral. Osaliselt pilves ilmade korral on päevased erüteemsed doosid tugevas korrelatsioonis päikesepaiste suhtelise (protsentides võimalikust) kestusega.

Nõuandeid päevitajaile

Õigesti doseerituna on UV-kiirgus inimesele kahtlemata kasulik, sest selle mõjul toimub vitamiini D₃ süntees. See vitamiin on oluline luude moodustumisel ja kaitseb osteoporoosi ehk luuhõrenemise eest. Kaltsium ladestub luudesse just vitamiini D₃ toimel. Vitamiin D₃ tekkimiseks vajalik previtamiin D₃ sünteesitakse inimnahas lühilainelise UV kiirguse toimel provitamiin D₃st. Võrreldes toiduga saadava ja suu kaudu manustatavate preparaatidega, ei teki kiirguse abil sünteesitava D₃ vitamiini puhul organismile mürgiseks osutuvate liigsete koguste ohtu. Sünteesi suhtes efektiivseim lainepikkus on 297 nm juures ja 310 nm juures vitamiin D₃ sünteesi enam ei toimu. Eriti saastatud õhuga linnades on täheldatud lastel rahhiiti, sest päikese ultraviolettkiirgus ei jõua läbi saaste maapinnani. Väidetavalt vajab inimene D-vitamiini normaalseks sünteesimiseks aastas 50 MED ületavat doosi. Pärnu kurortoloogiaarsti Mai Vahti korraldatud uuringud näitasid ka, et päevitamisest tugevnes katsealuste immuunsüsteem ja tõusis füüsiline koormustaluvus ning töövõime. Üle 50 küündivatel laiuskraadidel esineb pikem või lühem ajavahemik nn “vitamiini D talv”, mil lühilainelise UV-kiirguse kiiritustihedus ei küüni ka keskpäeval vitamiini D₃ sünteesiks vajaliku läveni. Eestis kestab “vitamiini D talv” selge ilma ja atmosfääri aastaajale vastava normaalse osoonihulga korral orienteerivalt 6. novembrist 19. veebruarini. Lauspilves ilmadega võib see periood alata kuni kaks nädalat varem ja kesta umbes sama palju kauem. Otstarbekas oleks enne kõnealuse perioodi algust ja vahetult pärast selle lõppu keskpäeva paiku võimalikult näole ja ka kätele päikest võtta. Suvel koguneb piisav doos, kui kahel-kolmel korral nädalas katmata näo ja käsivartega 10–15 minutit päikese käes viibida.

1928. aastal Eesti Tervishoiu Muuseumi väljaandel ilmunud teabelehes kirjutas dr Joh Waldmann, et päikesevalguse tervendavat mõju olevat tuntud juba 4000 aasta eest, keskajal see aga unustati. Uuesti olevat katsetanud päikesevannidega ravimist 1855. aastal Šveitsi arst Arnold Rikli, ent populaarsuse leidis “tervise kosutamine päikese valgusega” sanatooriumides 20. sajandi algul.

Maapinnani jõudev päikese ultraviolettkiirgus (UV-kiirgus) **võib** õhema osoonikihi korral olla tugevam ning inimesi, loomi ja taimi kahjustav. Ent siiski ainult **võib**, aga kaugeltki ei pruugi seda olla igas olukorras. Alustame ilmselgest: osoonikiht jääb lauspilves ilmaga ja õõselgi selleks, mis ta päeval on, ent ultraviolettkiirgust pole. Kui päike on horisondi kohal madalal, siis läbivad kiired õhukihti kaldu ning ultraviolettkiirgus nõrgeneb oluliselt.

Postimees / Scampix



Mõõdukas päevitamine on tervislik

Tuleb arvestada ka vastupidist: ultraviolettkiirgus ei jõua meieni mitte ainult otse päikeselt, vaid ka õhkkonnas hajununa ning maapinnalt peegeldununa igast küljest (liivarannas või merel võtab päike ka vilus). Ka õhuke pilvisus ei pea kiirgust päriselt kinni, mõnel juhul võib isegi tugevdada. UV-A-kiirgus tungib pilvedest läbi märksa paremini kui nähtav kiirgus, seejuures seda paremini, mida lühem on lainepikkus. Veel lühema lainepikkusega UV-B-kiirgus seevastu aga neeldub troposfääri osooni molekulidel, kuna läbib korduvate hajumiste tõttu suhteliselt pika teepikkuse ja see suurendab osooni molekulidega kokkusattumise tõenäosust.

Naha esmased reaktsioonid ultraviolettkiirgusele on päevitus ja punetus. Päevitus on melaniini produktsiooni suurenemise tulemus. Vahepeal naha tumenemine tekib päikesekiirguse mõjul väga lühikese ajaga ja kestab mõnest minutist mõne tunnini. Hiline päevitusreaktsioon algab 2–3 päeva pärast, on kõige intensiivsem 4–10 päeva möödudes ja kestab keskel läbi ühe kuu, välja arvatud väike osa, mis võib jääda kogu eluks.

Keerulisemaks teeb tavainimesele asja see, et erinevatel nahatüüpidel on UV-kiirguse tundlikkus erinev (rääkimata siinkohal loomadest ja taimedest). Nagu teada, on tume-

dama naha, sealhulgas päevitunud naha tundlikkus väiksem. Üsna tumedale ja mustale nahale vastavad V ja VI nahatüüp on tabelist välja jäetud.

Naha tüüp	Päevitumata naha värv	Inimtüüp	Tundlikkus UV-kiirguse suhtes	Erüteemväärtus, J/m ²	Naha reaktsioon UV-kiirgusele
I	Valge	Keldi või iiri päritolu (sinised silmad, punased juuksed)	Väga tundlik	150–300	Põletus kergelt tekkiv, ei pigmenteeru
II	Valge	Nn õrna nahaga inimesed, sageli blondid	Väga tundlik	250–350	Põletus kergelt tekkiv, pigmenteerub minimaalselt
III	Valge	Enamik valge rassi esindajaid	Tundlik	300–500	Mõõdukas põletuse võimalus, pigmenteerub järk-järgult (helepruun)
IV	Helepruun	Hispaanlased, asiaadid	Mõõdukalt tundlik	450–600	Minimaalne põletuse võimalus, pigmenteerub hästi (mõõdukalt pruun)

Punetuse tekkimiseks peab nahk päeva jooksul saama teatud doosi UV-kiirgust. Minimaalne normaalsele kaitsekreemideta ja päevituseeta nahale punetust tekitav doos ongi ühikuks MED. Kiirguse intensiivsust mõõdetakse vastavalt MED/tunnis. Kui näiteks päikese UV-kiirguse intensiivsus on 3 MED/tunnis, siis naha punetus tekib 1/3 tunniga). Normaalse aasta aprilli päiksepaistel päevadel on meil UV-kiirgus keskpäeval 1 MED/tunnis ümber ning ei ületa Tõraveres tavaliselt 1,5 MED/tunnis.

Maailmaturult leiame ka päevitajatele kohaseid UV-kiirguse mõõteriistu, mis enamasti näitavad nii jooksvat kiirguse intensiivsust (MED/tunnis) kui ka lubavad summeerida ning inditseerida kehale saadud doosi. Taskulambi või ka käekella suurused uvimeetrid maksavad umbes paar tuhat krooni.

UV-kiirguse indeks	Hinnang kiirgusele	Päevitusaeg keskmistele nahatüüpidele
1	Nõrk	3,25 tundi
2	Nõrk	1,75 tundi
3	Nõrk	1 tund
4	Keskmine	50 minutit
5	Keskmine	40 minutit
6	Keskmine	35 minutit
7	Tugev	30 minutit
8	Tugev	25 minutit
9	Väga tugev	22 minutit
10	Väga tugev	20 minutit

Tehiskaaslaselt määratud/arvutatud UV-kiirguse päevadooside väärtused leiame järgmisel päeval arvutivõrgust aadressil <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>.

Paljude riikide massimeedias edastatakse avalikkusele UV-kiirguse indeksit, seda on viimastel aastatel teinud EMHI andmeid kasutades ka Eesti raadiojaamad.

Tundliku (õrna) naha korral peaks päevitusaeg olema 2/3 ülalnäidatust, tumedama naha korral võib see olla suurem. Imikutel ei tooda nahas asuvad pigmendirakud veel vajalikul hulgal pigmenti, seetõttu tuleb imikuid liigse päevitamise eest eriti hoida. Päevituskreemide kaitsefaktor näitab päevitusaaja suurendamisvõimalust ja neid võib kasutama hakata ka imikutel alates kuuendast elukuust. Elu jooksul saadavast UV-kiirguse kogudoosist on siiski suur osa saadud lapseas, kuna lapsed viibivad tavaliselt rohkem väljas.

Riskirühma kuuluvad need inimesed, kelle nahal leidub ebakorrapäraseid, muutustega sünnimärke ehk neevusi ja kelle perekonnas on esinenud pigment-kasvajaid. Muutusi on aga võimalik varakult avastada ja sel juhul osutub nahavähk ravitavaks.

Looduses päevitamise asemel on üsna levinud solaariumi kasutamine, seda enam, et talveperioodil ei piisa Põhja-Euroopas päikesekiirgust D-vitamiini küllaldaseks sünteesimiseks. Tallinnas pakub solaariumiteenust sadakond ettevõtet, mõnedel on mitu päevitamisaparaati. Saksamaal on solaariume ligi 10 000 ja neid kasutab üle 60% elanikest. Ent solaariumi ettevaatamatu kasutamise või lampide kiirguse muutumisega kaasnevad ka siin põletusohud. Soomes ajavahemikul 1970–1991 täheldatud nahavähi juhtumite kolmekordistumisel oli ilmselt üsna suur roll solaariumide arvu hüppelisel kasvul.

Soome kiirguskaitsekeskuse poolt solaariumidele kehtestatud piirnormid on UV-A-kiirgusele 200 W/m², UV-B-kiirgusele 2,5 W/m² ja UV-C-kiirgusele 0,001 W/m². Ka neid näitajaid ületamata jättes on oluline jälgida, et UV-B-kiirgus moodustaks 0,8–1,5% UV-A-kiirgusest. Eestis tegeleb solaariumide kontrollimisega Tallinna Tervisekaitsetalitus. Soovituslikud päevituskestused tulenevad seadmes kasutatavate lampide võimsusest, kaugusest päevitajani ja viimase füüsilis-tervislikust seisundist. Üsna paljudel juhtudel peetakse solaariumi kasutamist ebasoovitavaks, näiteks: alla 18aastastel, nahavähi ohu korral (sünnimärgid, palju tedretähti, suguvõsas esinenud nahavähk jms), kiirgusravi saanutel, silmakäe korral, rasedatel ja imetavatel emadel, haavade ja armide olemasolul. Suurel määral kehtib see ka looduses intensiivse päevitamise kohta.

Osoon hingatavas õhus

Ometi räägitakse kõige viimasel ajal ka osoonisisalduse kasvust õhus. Selguse saamiseks tuleb täpsustada, kus ja mil määral? Atmosfääri osoonikihi all mõistetakse, nagu eelpool näidatud, põhiliselt **stratosfääris** paiknevat osooni. Madalamal paiknevas **troposfääris** oli osooni alati alla kümnendiku koguhulgast. Just selle **maapinnalähedase osooni** kontsentratsioon on hakanud viimastel aastakümnetel kasvama, mida seostatakse ka inimtegevusega, esmajoones autode heitgaasidega ultraviolettkiirguse mõjul toimuvate fotokeemiliste protsessidega. Maapinnal mõõdavad õhu osoonisisaldust keskkonna- ja tervisekaitseteenistused osonomeetritega. Õhu osoonisisalduse ühik on mikrogramm osooni kuupmeetri õhu kohta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Tavaliselt on maapinnalähedase õhu osoonisisaldus väike, paarikümne mikrogrammi ümber kuupmeetri kohta.

Siinkohal tuleb kummutada üht pikka aega rahvasuus levinud väidet tervislikust osoonirikast õhust männimetsas. Siin on korraga kaks eksitust: **osoonirikas õhk on hingamiseks kahjulik** ja (õnneks) **männimetsa õhk ei pruugi olla osoonirikas**. Osooni kahjulikkuse astme selgitamiseks jätkatakse siiski katseid loomadega, tervisekaitsetalitustel polegi lõplikult põhjendatud norme õhu lubatava osoonisisalduse kohta töökohtadel ja välisõhus.

Osoon kahjustab eeskätt kopsu, ent mõjub ka silmadele, tekitades nn kuivad silmad. Seda liiki haigust on näiteks Saksamaal 6–8 miljonil inimesel, kuigi ainuüksi osooni süüks seda ajada ei saa. Pikemaajaline osoonirikka õhu hingamine kahandab kopsude (bronhide) töövoimet, soodustab allergilisust, nõrgendab immuunsust ja tõstab kopsuvähi riski. Kõrgem tundlikkus on lastel. Kahjustused sõltuvad kõigil muidugi ka töö raskusest, sest sellest oleneb omakorda hingamise intensiivsus. Osoon võib põhjustada tõsisemaid häireid inimorganismi tegevuses, hakates kõrgetel kontsentratsioonidel koguni lagundama veres olevat hemoglobiini. Sudu tekitajana on osoonil oluline mõju hingamisteedele (astma).

Euroopa arenenud riikides on õhu osoonisisaldust pidevalt jälgitud umbes 20 aastat. 1992–1994 viidi Münchenis läbi teadusuuring “Osoonist tingitud põllukultuuride

kahjustuste ulatus”. Selgus, et juba osoonikontsentratsioonid 70–100 µg/m³, kestusega 7–8 tundi päevas, vähendavad tomatisaaki 10% ja nisusaaki 30%. Üks USA kohta tehtud arvutus näitas, et osoonist tingitud saagikahjustus ulatuvat isegi 2–3 miljardi dollarini aastas. Oma osa etendab osoon ka metsade hävimisel, atmosfäärist pärit olevate kahjustuste hulgas on osoonist põhjustatu jõudnud kolmandale kohale. Puid mõjutab osoon lehtede või okaste rakkudesse tungimise kaudu ja nende pinnal olevate mikroorganismide tapmise (“desinfitseerimisel”) tõttu. Eestis on mõõdetud õhu osoonisalduse mõju ristiku ja aedoa produktsioonile. Osooni mõju protsessidele taimelhehes on pikka aega eksperimentaalselt uurinud Agu Laisk, Heino Moldau ja Vello Oja Tartu Ülikoolis.

Õhu osoonisalduse mõjud inimestele

30–40 g/m ³	– eriti tundlike inimeste aistingulävi
40–80 g/m ³	– foon puhtas looduses
70 g/m ³	– köha ja silmade kipitus tundlikel inimestel
100 g/m ³	– kerge peavalu
120 g/m ³	– hingamisteede ja silmade ärritus
160 g/m ³	– mõne tunniga hingeldamine ja köha, eriti füüsilise töö korral
180 g/m ³	– sportimiseks ebasoovitav, lastel mitte üle tunni õues olla, Saksamaal piiratakse autode kiirust, inimesi hoiatatakse raadio kaudu
200 g/m ³	– suurim lubatud kontsentratsioon töö juures, ohtlik astmaatikutele
240 g/m ³	– tunni ajaga hingamishäired, maanteedel fotosudu tekkimine, Euroopa Liidu häirenorm
300 g/m ³	– kolmandikul inimestest hingamisteed ja nina limaskest ärritatud, silmad kipitavad, hingamisraskused
360 g/m ³	– elanikkonda tuleks meediavahendite kaudu alarmeerida valitsevast ohust (Euroopa Liidu norm)
400 g/m ³	– valud rinnas, südamehaigetel tugevad hingamisraskused, halveneb nägemine, kõnehäired, oht kesknärvisüsteemile
1000 g/m ³	– katsealuste hiirte kopsude jäädav kahjustumine, mõne tunni pärast kromosoomide kahjustumine

Maapinnalähedasel osoonil otsesid suuri kohalikke allikaid pole. Küll aga tekib osoon teatud tingimustel mitmete keemiliste reaktsioonide tulemusel (kombinatsioon: hapnik, lenduvad orgaanilised ühendid, lämmastikoksiidid, ultraviolettkiirgus, kõrge õhutemperatuur). Lenduvateks orgaanilisteks ühenditeks (ingl *Volatile Organic Compounds*) loetakse kõiki inimtekkelisi ja biogeenilisi orgaanilisi ühendeid, välja arvatud metaan, mis võivad päikesekiirguse toimel lämmastikoksiididega reageerides tekitada fotokeemilisi oksüdante (osoon). Lenduvad orgaanilised ühendid tekivad naftatööstuses ja naftatööstuse produktide kasutamisel (keemiatööstus, bensiinis sisalduvate lenduvate fraktsioonide aurumine bensiinihoidlates ja -tanklates, viimistlusmaterjalide kasutamine, automootorid), prügilates ja põllumajanduses. Lämmastikoksiidid tekivad erinevate kütuste kõrgetemperatuurilisel põletamisel katlamajades, tööstuslikes protsessides ja autodes. Looduses tekib NO_x äikese ja fotokeemiliste reaktsioonide tulemusel. Olulisteks saasteallikateks on veel metsade põlengud.

Piirkondades, kus osooni põhjustavad saasteallikad puuduvad, võib siiski esineda probleeme osooniga, mis võib olla sinna sattunud saasteainete kauglevi tulemusel teistest riikidest. Nii on täheldatud kõrgemaid osooni kontsentratsioone Saaremaal, kus puuduvad osooni tekkimiseks vajalike saasteainete allikad, kuid puuduvad ka nn osooni neelajad, sest tugeva oksüdeerijana reageerib osoon teiste saasteainetega (lämmastikoksiidid, väävli ja orgaanilised ühendid). Nii on osooni näol tegemist ka atmosfääri puhastajaga. Näiteks linnaõhus reageerib osoon hästi autodest tekkinud lämmastikoksiidiga, moodustades lämmastikdioksiidi ja vähendades nii lämmastikoksiidi kui ka osooni enda kontsentratsiooni. Lämmastikdioksiid on aga tuntud kui oluline astma põhjustaja.

Euroopa Liidus on osooni häiretase ühe tunni keskmise väärtusena $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mõõdetuna või prognoosituna kolme järjestikuse tunni jooksul. Aastast 2010 peab osooni maksimaalne päevane kaheksa tunni libisev keskmine väärtus inimese tervise kaitsmiseks olema alla $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sudu (ingl – *smog*, sõnadest *smoke* – suits ja *fog* – udu) oli esmalt kasutusel Londoni udude kohta, kuid üldtuntuks sai viiekümnendatel autode heitgaasidest reostatud õhu puhul Los Angelese näitel. Osoonsudu tekkimiseks on vajalik veel päikesekiirgus (fotokeemilised protsessid) ja seepärast kasutatakse sõna fotosudu. Fotosudus on osoon üks määravamaid komponente. Mõnedel aastatel on Los Angeleses $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ piir ületatud mitmekümnel päeval. Üks osoonsudu kõrgperioode Kesk-Euroopas oli 1994. aasta suvel, kui pikka aega kestsid kuumad (kuni 40°C) päikesepaistelised ilmad. Mitmetes linnades ulatus tol korral õhu osoonisaldus üle $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (normaalselt oli see $30\text{--}90 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Tasemeni $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ulatuvad kontsentratsioonid on Euroopas lühiajaliselt registreeritud Ateenas ja Barcelonas, fotosudu on täheldatud ka Frankfurdis, Krakowis, Milanos, Prahas ja Stuttgardis. Meenutame, et kõige varasemad ajaloost teadaolevad mõõtmised Pariisi lähedal andsid tulemuseks vaid $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ümber! Seoses sellega kavandatakse suvesudu vastu mõnes riigis üpris karme liikluskitsendusi. Nii jõudis osooniprobleem Euroopa transpordipoliitikasse. Rohelised keskkonnaorganisatsioonid hakkasid nõudma alalisi kiirusepiiranguid (linnades 30 km/h !) ja osooniohu prognoosi korral liikluse täielikku peatamist, edasi autovabade linnaosade (tulevikus tervete linnade) moodustamist. Sellega ei saadud täielikult autostunud ühiskonnas leppida ja ajakirjandusse jõudsid jõulised pareeringud: osooniauk teadlaste ajudes, vaba sõit vabadele inimestele, mobiilsus on prioriteet jne. Et linnades reageerib osoon teiste saasteainetega, eriti efektiivselt lämmastikoksiidiga, siis võib sellest osooni kontsentratsioon ka väheneda.

Kuigi osoon on tervisele kahjulik, kasutatakse seda ometi raviks, millest on põhjalikumalt kirjutatud meditsiiniväljaannetes. Neis on räägitud mitmesugustest ravimeetoditest ja -võimalustest osooni kasutamisel tervise turgutamiseks, ent samas on ka selgesõnaliselt öeldud: “Osooni saab manustada mitmel viisil, kuid ta ei tohi gaasina sattuda hingamisteedesse.” Just niisugusesse olukorda võib aga meist igaüks sattuda osoonirikast õhku hingates ja seda oli just eespool osooni kahjulikkusest kirjutades silmas peetudki. Väga tugeva oksüdeerijana on osooni juba sajand kasutatud veepuhastuses.

Maapinnalähedase osooni mõõtmised Eestis

Eestis alustati troposfääriosooni pidevmõõtmisi UV-absorptsioonanalüsaatoriga 1995. aastal Vilsandil. Aasta pärast käivitati osooni mõõtmised Tallinna kesklinnas Viru jaamas. Käesoleval ajal mõõdetakse osooni pidevalt 7 mõõtejaamas: linnaõhu seirejaamades (3 Tallinnas ja 1 Kohtla-Järvel) ning õhuseire taustajaamades (Vilsandil, Lahemaal ja Saarejärvel). Välisõhu kvaliteedi seiret tehakse vastavuses Eesti seadusandluse ja ELi direktiividega ning rahastatakse riikliku keskkonnaseire programmist. Praegu hooldab kõiki Eestis töötavaid automaatjaamu Eesti Keskkonnauuringute Keskus.

Maapinnalähedase osooni kui sekundaarse saasteaine kontsentratsioon varieerub olenevalt tekke- ja lagunemistingimustest nii ööpäeva kui ka aasta jooksul märgatavalt, ka maal ja linnas on ööpäevamuutused erinevad. Taustajaamades püsib keskmine osoonisaldus üldiselt kõrgemal, kujuures Vilsandil on ööpäevaste kõikumiste ulatus väiksem kui Lahemaal. See on seletatav nii osooni depositsiooni erinevustega mere ja maismaa kohal kui ka osooni lähteainete olemasoluga. Kõrgeimad Eesti taustajaamades mõõdetud ühe tunni keskmised osooni kontsentratsioonid ulatuvad $177 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Võrreldes 1 tunni keskmiste saastetaseme piirväärtustega (elanikkonna informeerimise kohustus $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ületamisel ja häiretase $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$), pole tegemist väga kõrgete kontsentratsioonidega. Ligikaudu 99% mõõtmistulemustest jääb alla $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mis on inimese tervise kaitseks kehtestatud saastetaseme 8 tunni keskmine piirväärtus. Linnaõhus on osooni kontsentratsioon üldiselt madalam: saasteallikate lähedal reageerib osoon teiste saasteainetega (CO, NO, süsivesinikud) ja kontsentratsioonid kahanevad. Siiski võib äärelinnas (näit Öismäel) esineda O_3 kõrgeimad tasemeid. Seda tingivad osooni transport õhumassidega linnaümbrusest ja ka kõrgematest õhukihtidest. Osooni kuukeskmiste kontsentratsioonide võrdlemine näitab, et osooni sisaldus hakkab suurenema pärast novembrit, maksimumid on tavaliselt mõõdetud kevadeti märtsist maini, mil O_3 moodustumist soodustavad fotokeemilised tingimused ja osooni lähteainete kuhjumine talve jooksul. Aasta keskmine kontsentratsioon on Vilsandil $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Lahemaal $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Saarejärvel $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Tallinnas Viru $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Rahu $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Öismäel $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Üldiselt pole aasta keskmine kontsentratsioon osoonisaaste hindamiseks kuigi hea näitaja. Arvestades osooni looduslikku fooni, kasutatakse osoonisaaste hindamiseks ühe tunni piirkontsentratsiooni $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (40 ppb) ületava summaarse ekspositsiooni indeksit (AOT 40). See põhineb eeldusel, et rohkem kui lühiajalised kõrged kontsentratsioonid, mõjutab ökosüsteeme pikaajaline ekspositsioon aktiivsel kasvuperioodil. Indeksi piirväärtused on $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ arvatuna maist juulini taimestiku kaitseks ja $20\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ arvatuna aprillist septembrini metsade kaitseks. Vilsandi ja Lahemaa mõõtmistulemused näitavad, et metsade kaitseks kehtestatud AOT 40 väärtust on viimase kolme aasta jooksul ühel korral ületatud. Taimestiku kaitseks kehtestatud piirväärtust on Vilsandil ja Lahemaal ületatud kõigil kolmel viimasel aastal. Piirväärtuse ületamine ei tähenda veel tingimata taimekahjustusi, mis olenevad taimeliigist ja teisest stressitingimustest, vaid näitab ainult kahjustuste riski olemasolu. Rahvusvahelise Toidu- ja Põllumajandusorganisatsiooni FAO koostatud ülevaattetabelis hinnatakse osoonist tingitud teraviljasaagi langust ning lehtpuude biomassi juurdekasvu vähenemist Eestis üheksakümnendate algul mõlemaid 7 protsendile aastas. Saksamaa jaoks on mõlemad kahjud hinnatud kaks korda suuremateks.

Kokkuvõtteks

- Osoonikiht atmosfääris reguleerib päikeselt ultraviolettkiirguse maapinnani jõudmist
- Õhu pihkuvad freonitaolised ühendid kahjustavad osoonikihti
- Tugevam ultraviolettkiirgus suurendab nahavähi riski päevitajail
- Mõõdukas päevitamine on tervislik
- Osoonirikka õhu sissehingamine on tervisele kahjulik

Kes on kes selles valdkonnas Eestis

Keskkonnaministeeriumi keskkonnakorralduse ja -tehnoloogia osakond (www.envir.ee): rahvusvahelised lepped ja nende täitmine Eestis - Valentina Laius; Keskkonnaministeeriumi jäätmeosakond: osoonikihti kahandavaid aineid sisaldavate jäätmete käitlemise korraldamine; Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi Tartu / Tõravere meteoroloogiajaam (www.emhi.ee): osoonikihi paksuse ja Päikese ultraviolettkiirguse regulaarne mõõtmine - Ain Kallis, Enn-Märt Maasik; Tartu Observatoorium (www.aai.ee): ultraviolettkiirguse klimatoloogia ja mõõtmiste teaduslik interpreteerimine, sensorite testimine ja arendus – Uno Veismann, Kalju Eerme, Ilmar Ansko, Silver Lätt; Eesti Keskkonnauuringute Keskus (www.klab.ee): osoonikihti kahandavate ainete kogumine, taasväärtustamine, sügavpuhastamine, lekkek kontroll – Inari Truuma; Euroopa Ühenduse osoonikihti kahandavate ainete õigusaktide rakendamise korraldamine koos Keskkonnaministeeriumiga – Ene Kriis; Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus: osoonikihti kahandavate ainete riiklike andmebaaside haldamine – Kai Luht; Maksu- ja Tolliamet – osoonikihti kahandavate ainete ja neid sisaldavate toodete ekspordi ja impordi kontroll Eesti välispiiril – Elika Brosman.

Kasutatud kirjandus

A. Koorits, L. Nei. Sissejuhatus keskkonnakeemiasse. Tartu, 1998. Eesti kiirguskliima teatmik. Koostanud A. Kallis ja V. Russak. Tallinn, 2003. Th. E. Graedel, P. J. Crutzen. Atmosphere, Climate and Change. New York, 1995. U. Feister. Ozon – Sonnenbrille der Erde. Leipzig, 1990. S. Kaur. Naha päikesekahjustused. Tartu, 1999. Ultraviolet Radiation. Environmental Health Criteria 160. World Health Organization, Geneva, 1994. Э. Л. Александров и др. Озонный щит земли и его изменения. Санкт-Петербург, 1992. A. R. Webb. UVB Instrumentation and Applications. Gordon and Breach, 1998. World Meteorological Organization. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998. Global Ozone Research and Monitoring Project. Report no. 44. Geneva, 1999. World Meteorological Organization. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002. Global Ozone Research and Monitoring Project. Report no. 47. Geneva, 2002. World Meteorological Organization /United Nations Environmental Programme. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006. Executive Summary. http://www.wmo.int/web/arep/reports/ozone_2006/ozone_asst_reports.html

The Sun and the Ozone Layer: Impacts for Man on Earth

The stratospheric ozone layer - protecting life on the Earth from harmful solar ultraviolet radiation - and its destruction due to human activity during the last half century or so, is an important part of world environmental policy, research and monitoring. This book examines key issues in this area, including: measurements of total stratospheric ozone levels, Estonian work in ozone climatology, solar ultraviolet radiation levels in Estonia, the effects of ultraviolet radiation on human health and plant growth as well as ground level ozone quantities in Estonia. In addition, a brief overview is given on related international agreements and the EC legal framework.

Sisukord

Eessõna.....	3
Päikesekiired läbi õhkkonna.....	4
Osoonikiht stratosfääris ja selle paksuse mõõtmine.....	7
Kui paks on osoonikiht Eesti kohal?.....	14
Osoonikihi kahjustamise lugu.....	17
Osoonikihti kahandavad ained.....	22
Võitlus osoonikihi säilimise eest.....	25
Osoonikihi taastumine.....	29
Ultraviolettkiirguse ohtlikkusest.....	32
Ultraviolettkiirguse mõõtmine.....	35
Päikese ultraviolettkiirgus Eestis.....	37
Nõuandeid päevitajaile.....	42
Osoon hingatavas õhus.....	46
Maapinnalähedase osooni mõõtmised Eestis.....	49
Kokkuvõtteks.....	50
Kes on kes selles valdkonnas Eestis.....	51
Kasutatud kirjandus.....	51
The Sun and the Ozone Layer: Impacts for Man on Earth.....	51