

**Erkki Svedström**

Dosentti  
Radiologian erikoislääkäri  
Tyks, VSKK



Lääketieteessä on totuttu lähtemään Aristoteleen ajatuksesta, että tärkeintä on yrittää olla aiheuttamatta haittaa potilaalle. Yhä tärkeämpää on kuitenkin yrittää välttää myös ympäristölle koituvaa haittaa. Terveydenhuollolla, kuten kaikella ihmisen toiminnalla, on omat ympäristövaikutuksensa. Ilmaston vaikuttavien kasvihuonekaasujen päästöjen lisäksi ilmaan, maaperään ja vesistöihin päätyy monia haitallisia aineita.

## Radiologisen kuvantamisen ympäristöjalanjälki

**R**adiologinen kuvantaminen on merkittävä ympäristön kuormittaja. Energiankulutuksen vähentämiseen on valmiimpia ratkaisuja kuin esimerkiksi magneettikuvauksen tehosteaineen, gadoliniumin, vesistöhaittojen ehkäisyyn.

### Terveydenhuollon hiilijalanjälki ja muut ympäristövaikutukset

Globaalisti terveydenhuollon sektorin osuus maailman kasvihuonekaasujen päästöistä on noin 4,4 %. Suomessa tuo osuus on hieman korkeampi, noin 5,3 % (1,2). Suomen terveydenhuollon hiilijalanjälki ei ole pelkästään kotimainen ilmiö vaan suomalaisen kulutuksen hiilijalanjäljestä on tuotteiden valmistuksen myötä ulkoistettu noin 30 % OECD-maiden ulkopuolelle ja 20 % OECD-maihin (1).

Terveydenhuollon kasvihuonekaasujen päästöjalanjälki on huomattava. Monissa maissa terveydenhuollon päästöjalanjälki kilpailee ruoan kanssa neljännessä sijasta kanssa heti energiantuotannon, liikenteen ja rakentamisen jälkeen. Terveydenhuollon hiilijalanjälki on kasvava terveydenhuollon tarpeiden lisääntyessä muissakin kuin

rikkaimmissa kehittyneissä maissa (1–4). Taulukossa 1 on esitetty muutamien maiden terveydenhuollon aiheuttamien kasvihuonekaasujen osuuksia kokonaispäästöistä vuodelta 2014 (1).

Kasvihuonekaasupäästöt koostuvat rakennusten ja energian käytöstä, liikenteestä, hankintaketjuista, lääketieteellisistä laitteista, lääkkeistä, jätehuollosta ja terveydenhuollon toiminnoista. Terveydenhuollon kasvihuonekaasupäästöt jaetaan yleensä alaryhmiin: 1. sairaaloiden laitosten toiminnasta johtuvat suorat päästöt (esimerkiksi anestesikaasut), 2. energian käyttöön liittyvät päästöt ja 3. epäsuorat päästöt esimerkiksi valmistusketjun ja jätteiden käsittelyn myötä syntyvät päästöt.

USA:n terveydenhuollon kasvihuonekaasupäästöjen on arvioitu vastaavan vuonna 2013 8–10 % maan jo muutoinkin korkeista kasvihuonekaasupäästöistä (1, 5, 6). USA:n terveydenhuollon hiilijalanjälki on suurempi kuin useimpien eurooppalaisten valtioiden koko hiilijalanjälki. USA:n terveydenhuollossa energian käyttö ja toiminnasta johtuvat suorat kasvihuonekaasupäästöt muodostavat 11 % ja suorat päästöt 7 %. Hankintaketjuista ja jätteiden kä-

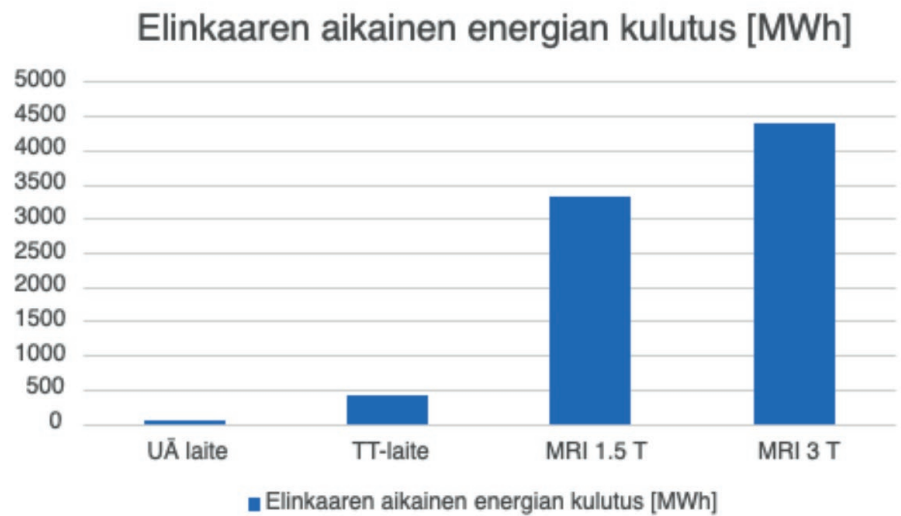
sittelyistä päästöt muodostavat pääosan 82 % (7).

Suomen muita korkeampien päästöosuuksien on katsottu liittyvän rakennusten lämmitykseen, jäähdytyksen tuottamiseen sekä pidempien etäisyyksien takia liikenteeseen. Suomessakin eri sairaaloiden kasvihuonepäästöissä on huomattavia eroja riippuen siitä, miten nopeasti on siirrytty hiilineutraaliin energiatuotantoon (8, 9). Aivan viime vuosiin asti terveydenhuollon kasvihuonekaasujen päästöt ovat olleet nousussa. Muutaman viime vuoden aikana tehdyt toimenpiteet kuten energianhankinnan uudet ratkaisut ja fossiilisten polttoaineiden käytön väheneminen ovat rajoittaneet terveydenhuollon kasvihuonekaasujen päästöjä (2).

Ympäristöjalanjälkeen kuuluvat myös muut päästöt kuten ilmaan, maaperään ja vesistöihin päätyvät typen ja rikin oksidit, orgaanisten aineiden päästöt, muovit, hiukkaspäästöt ja raskasmetallit. Terveydenhuoltosektorilla on merkitystä myös näissä päästöissä. Osa näistä päästöistä on liitetty myös terveydellisiin haittoihin (2, 5–7).

Terveydenhuollon eri alueiden toi-

**Kuva 1. Eri kuvantamislaitteiden elinkaaren aikainen energian kulutus. Kulutustiedot on kerätty useista eri laitevalmistajien lähteistä ja asteikko kuvissa on lähinnä suuntaa antava. Laitteille on laskettu 10 vuoden käyttöikä.**



mintojen ympäristövaikutuksia on selvitetty jo usean vuoden ajan. Selvityksiä on esimerkiksi leikkaustoiminnan, lääkkeiden valmistuksen ja käytön, anestesia- ja tehohoidon, kardiologisten tutkimusten sekä munuaissairauksien hoidon vaikutuksista (12–18). Radiologisen kuvantamistoiminnan ympäristöjalanjäljestä on julkaistu vain muutamia raportteja.

### Radiologisen kuvantamisen ympäristöjalanjälki ja energian käyttö

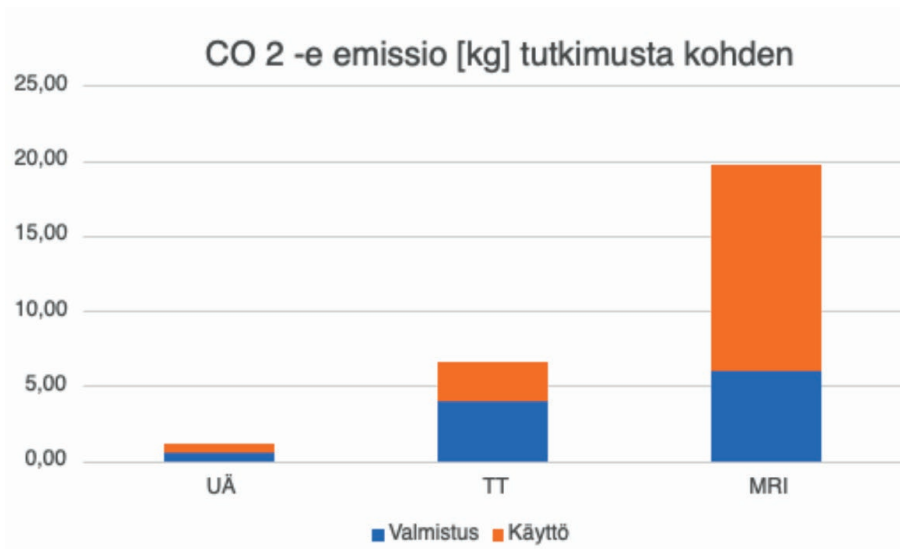
Radiologisen kuvantamisen toiminnan ympäristöjalanjälki muodostuu pääasiassa energian käytöstä ja toisaalta päästöistä, jotka liittyvät laitteiden ja tarvikkeiden hankintaan, hävittämiseen ja tutkimuksissa käytettyjen aineiden kiertoon. Kuvantamislaitteiden aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä ja energiankulutusta mitataan laitteiden koko elinkaaren aikana. Ympäristövaikutuksia arvioitaessa selvitetään valmistukseen liittyvä materiaalien hankinta, valmistusprosessi, rahdit ja energiankulutus laitteita käytettäessä. Elinkaaren lopussa oikealla komponenttien ja valmistusmateriaalin talteenottotavoilla voi energian käyttöä ja kasvihuonekaasujen päästöjä vähentää.

Kuvantamismenetelmien välillä on huomattavia eroja. Koko elinkaaren aikainen ultraäänilaitteen energian käyttö on noin 1/8 yleiskäyttöön soveltuvan TT-laitteen arvioidusta energian käytöstä. Tavalliset röntgenkuvauslait-

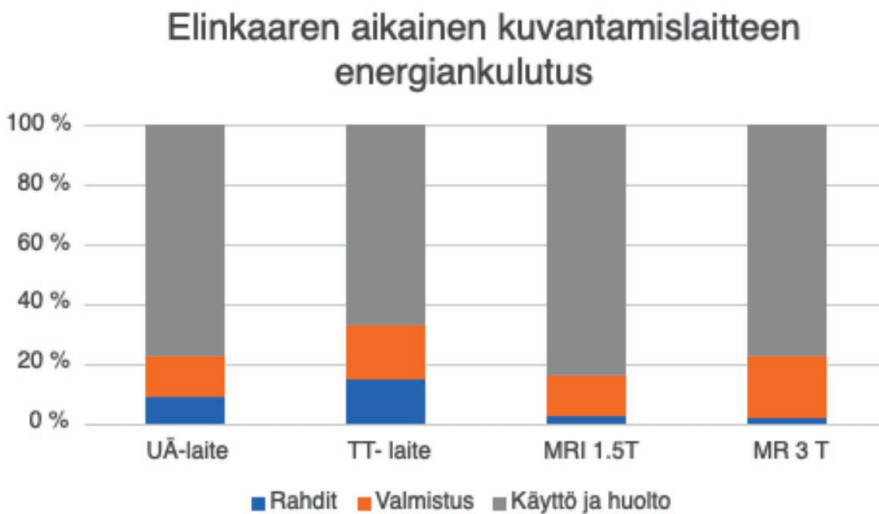
**Taulukko 1. Terveydenhuoltoon liittyvä hiilijalanjälki 2014 (1).**

Maa	Päästöt asukasta kohden [kg CO <sub>2</sub> e]	Osuus maan kasvihuonekaasupäästöistä [%]
Suomi	720	5,3
Ruotsi	420	4,5
Eesti	880	5,2
Norja	700	4,7
Saksa	680	6,7
USA	1510	7,9
Kiina	440	6,6
Intia	60	3,5

Kuva 2. Elinkaaren aikaisen energiakulutuksen jakautuminen erityyppisten kuvantamislaitteiden välillä. Kulutustiedot on kerätty eri laitevalmistajien lähteistä. Laitteille on laskettu 10 vuoden käyttöikä.



Kuva 3. CO<sub>2</sub>-e emissio kilogrammoina tutkimusta kohden vatsan alueen kuvantamisessa. Laitteen valmistuksen ja käytön osuudet tutkimusta kohden on arvoitu erikseen. Kaavio mukaillee Martin M, Mohnke, Lewis G ja Runnick N (2018) tutkimusraportin tietoja (17).



teet sijoittuvat ultraäänilaitteiden ja TT-laitteiden väliin energian käytössä. MRI-laitteen elinkaaren aikainen energian käyttö on yleensä 7–8 kertainen TT-laitteeseen nähden (kuva 1). Erot eri laitteiden välillä voivat olla suuria ja kuvantamistekniikoiden vertailu on

hankalaa. Vertailukelpoista julkaistua tietoa on vain niukasti (17).

Laitteen valmistukseen ja rahteihin kuluu 18–30 % energiasta (kuva 2). Asianmukaisella elinkaaren lopun uusio-käytöllä kokonaisenergian kulutusta voi vähentää ultraäänilaitteiden osalta 5 %

ja TT-laitteella 10 % sekä magneettikuvauslaitteilla noin 2 %.

Laitteiden tehokkaaseen käyttöön perustuva yhden tutkimuksen hiilijalanjälki on arvioitavissa (kuva 3). Tutkimusta kohden TT-laitteen energian käyttö on ultraäänitutkimukseen nähden noin viisinkertainen ja MRI-tutkimuksen 17-kertainen (kuva 3). Ultraäänilaitteiston käyttöön liittyvää energian kulutusta voidaan tehokkaasti rajoittaa sulkemalla laite tai käyttämällä energiaa vähän käyttävää lepotilaa. Myös TT-laitteen energian kulutusta voi vähentää säätämällä eri käyttövaiheiden energian kulutusta (2, 18, 19).

Energiaa kuvantamisessa kuluu paitsi laitteen toimintaan myös laitteiden ja tilojen viilennykseen, lämmitykseen ja ilmanvaihtoon. Tämän taloteknisen nk. HVAC-energiankulutuksen määrä on 0,8–1,5 kertainen laitteen omaan kulutukseen nähden (20).

Tuoreen sveitsiläisen tutkimuksen mukaan sairaalan kolmen TT-laitteen ja neljän MRI-laitteen energian kulutus oli 4 % sairaalaan koko energiakulutuksesta ja vastasi 852 ihmisen asuttaman taajaman vuotuista kulutusta. Tärkeä oli myös tutkijoiden korostama havainto siitä, että 2/3 TT-laitteen energiasta kului aikana, jolloin laite ei kuvannut. MRI-laitteella viikon aikana kulutetusta energiasta kului 1/3 aikana, jolloin kuvauksia ei tehty lainkaan eli öisin ja viikonloppuina (19). Hukkaenergiaa kuluu suprajohtavan magneettikuvauslaitteen jäähdyttämiseen.

### Helium magneettikuvauslaitteissa

Helium on jalokaasu, jota käytetään esimerkiksi hitsauksessa ja rakettitekniikassa. Heliumia käytetään ilmaa kevyempänä nostokaasuna esimerkiksi säähavaintopalloissa ja ilmapalloissa. Heliumia hengitetään sukelluskaasuna.

Tieteellisessä tutkimuksessa kylmälaboratorioissa on käytetty heliumia. Helium on harvinainen aine maapallolla. Avaruudessa helium on yleinen, heti vedyn jälkeen toiseksi yleisin alkuaine. Kookkaita uusia heliumesiintymiä on löydetty esimerkiksi Tansaniasta. Maapallon heliumvarastot ovat rajalliset ja tunnettujen heliumesiintymien on arveltu riittävän 2040-luvulle. Tämä on johtanut heliumin kallistumiseen, talteenottotekniikoiden kehittämiseen, uudelleenkäyttöön ja heliumia vähemmän käyttävien kuvantamislaitteiden kehittämiseen (21).

Magneettikuvauksessa nestemäistä heliumia on käytetty suprajohtavien magneettien jäähdyttämiseen (22). Vuodesta 2000 alkaen magneettikuvaukslaitteissa tarvittavan heliumin määrä on pienentynyt. Aiemmin tyypillinen helium täyttömäärä 1800–2000 litraa on kutistunut 20 litraan ja parin viimevuoden aikana tätäkin reilusti pienempiin heliumin käyttömääriin. Uusimmissa magneettikuvaukslaitteissa ei heliumia enää käytetä. Uusi tekniikka tulee käyttöön hitaasti erityisesti maissa, joissa taloudelliset resurssit ovat rajalliset. Tämän vuoden arviona on, että maapallolla käytetystä heliumista 20 % käytetään magneettitutkimuslaitteissa (21, 22).

### Magneettikuvauksen tehosteaineet ja juomavesi

Kaksi vuotta sitten julkaistiin tutkimus Berliinin keskustan juomaveden nopeasti kohonneista magneettikuvauksen tehosteainepitoisuuksista (23). Pitoisuudet olivat 10–100 kertaistuneet vuosikymmenen aikana. Tutkijat löysivät kohonneita pitoisuuksia myös berliiniläisten pikaruokapaikkojen virvoitusjuomista.

Gadoliniumin, harvinaisen maame tallin, käyttäminen magneettikuvauk-



Shutterstock

ssa tehosteaineena aloitettiin vuonna 1988. Arviolta joka kolmannessa magneettikuvauksessa käytetään gadoliniumipitoista tehosteainetta. Kerta-annos on pieni. Tehosteaine ruiskutetaan tutkimuksessa potilaan laskimoon (24–30). Tehosteaine muuttaa kudoksen magneettisia ominaisuuksia. Tehosteaineen käyttäminen on tärkeää tulehdusmuutosten, infektioiden, reumamuutosten, poikkeavien verisuonten sekä etenkin kasvainten osoittamisessa ja seurannassa. Tehosteaineen käyttö tarkoittaa usein potilaalle oikeaa diagnoosia ja turvallista hoitoa.

Biologiset eliöt eivät tarvitse gadoliniumia. Gadolinium on sellaisenaan elimistölle myrkyllistä. Vapaa gadoliniumioni, joka ei ole sidottu kiinteästi mihinkään kemialliseen yhdisteeseen, on elämälle tärkeän kalsiumionin kaltainen. Gadoliniumin myrkyllisyyden arvellaan liittyvän hermosolujen ja lihasten toiminnan vaurioitumiseen solukalvojen kalsiumkanavien tukkeutuessa (31). Vapaan gadoliniumin myrkyllisyyden takia magneettitutkimuksessa gadolinium on yhdisteessä, joka muodostaa stabiilin rengasmaisen molekyylin. Verenkiertoon ruiskutettuna tehosteaine erittyy nopeasti sellaise-

naan virtsaan. Pääosa tehosteaineesta löytyy virtsasta 1–2 tunnin kuluttua injektiosta. Lähes kaikki gadolinium on poistunut elimistöstä kahden vuorokauden kuluessa. Magneettikuvauksen tehosteaine on osoittautunut käyttötilanteessa turvalliseksi. Tutkimuksen aikana potilaiden reaktiot ovat harvinaisia (24).

Muutaman viime vuoden aikana on todettu, että pieniä määriä elimistöön ruiskutetusta tehosteaineesta jää elimistöön esimerkiksi aivoihin, maksaan, ihoon ja luustoon. Näiden kertymien merkitystä ei tiedetä (24, 32). Gadoliniumia sisältävän tehosteaineen etu on hajoamaton molekyyli. Samalla tehosteaineen stabiilisuus on suurin ongelma. Virtsasta tehosteainemolekyyli päätyy viemärijärjestelmään ja vedenpuhdistamoihin. Stabiili ja vesiliukoinen molekyyli ohittaa sellaisenaan jätevesien käsittelylaitokset, päätyy pintavesiin, pohjaveteen ja vedenottamoiden kautta juomaveteen. Puhdistettua jätevettä tutkimalla on todettu, että ainakin yli 95 % tehosteaineesta ohittaa jäteveden puhdistamon sellaisenaan. Loputkin molekyyleistä päätyvät usein hajoamattomana jätevesipuhdistamon kiinteämpään jätteeseen.

## Taulukko 2. Miten radiologisen kuvantamisen ympäristöjalanjälkeä voisi vähentää

- Tutkimusmäärien vähentäminen ja tarkempi kohdentaminen
- Kuvantamislaitteiden tehokkaampi käyttö
- Siirtyminen fossiilittoman energian käyttöön terveydenhuollon toiminnoissa
- Potilaiden, laitteiden, rahtien ja henkilökunnan fossiilittoman ja päästöttömän liikkumisen edistäminen
- Kuvantamislaitteiden elinkaaren pidentäminen
- Ympäristöjalanjäljen huomioiminen laitehankinnoissa ja ostopalveluissa
- Energian käytön vähentäminen TT- ja magneettitutkimuksissa (teknisin menetelmin)
- Heliumin käytön vähentäminen ja käytöstä luopuminen
- Gadolinium tehosteaineen käytön vähentäminen ja jätekäsittelyn tehostaminen

Asukasta kohden gadoliniumia käytetään eniten Euroopassa, USA:ssa ja Japanissa. Käyttö on ollut kasvussa. Magneettikuvauksen gadoliniumin vesistö päästöjen on arvioitu tänä vuonna olevan 19 tonnia EU:n alueella ja 21 tonnia USA:ssa. Nopeasti kohoavia vesistöjen gadolinium pitoisuuksia on löytynyt esimerkiksi monista Euroopan kaupungeista, Thaimaasta, Japanista, San Franciscon lahdelta ja jopa valtamerestä Brasilian edustalta. Korkeimmat mitatut vesistöjen pitoisuudet ovat olleet noin 150–200 nanogrammaa ja vedenpuhdistamojen läheisyydessä 80 mikrogrammaa litrassa. Määrät alittivat vielä tunnetut ja tunnustetut myrkyllisyyden rajat. Yleisimmin voidaan todeta, että mitä kehittyneempi terveydenhuolto ja mitä suurempi väestötiheys, sitä korkeammat pitoisuudet. Vesistöissä levissä ja simpukoissa on ravintoketjuissa havaittu kohonneita gadoliniumpitoisuuksia (23–31).

Pitäisikö olla huolissaan? Emme tiedä miten hyvin juomavedestä tehosteaine imeytyy elimistöön. Suolistoon päätyvän tehosteaineen imeytymisestä on vain rajoitetusti tietoa. Eläinkokeiden perusteella ainakin osa imeytyy suo-

listossa. Juomaveden ja ravintoketjun lisääntyvien pitoisuuksien merkitys esimerkiksi sikiöille ja lapsille on epäselvä. Emme myöskään tunne turvallista tapaa gadolinium-tehosteaineen poistamiseen vedenkäsittelyssä. Esitetyt tekniikat kuten tutkimuksen jälkeinen virtsankeruu, käänteinen osmoosi, UV-säteily eivät ainakaan vielä ole täyttäneet odotuksia. Ainakin on selvää, että tutkimusta tarvitaan lisää (24, 29, 33, 34).

### Onko mitään tehtävissä?

Radiologinen kuvantaminen on usein välttämätöntä potilaan hoidossa. Kuvantaminen varmentaa diagnoosia ja auttaa arvioimaan hoitotulosta. Kaikki kuvantaminen ei varmaankaan ole tarpeellista. Eri tutkimuksissa on todettu, että huomattava osa (20–30 %) kuvantamisesta on tarpeetonta (35–38). Näin todettu myös Suomessa.

Tutkimusten turhaa käyttöä on rajattu erityisesti säteilyn haittavaikutukset huomioiden. Turhan käytön vähentäminen tuo myös taloudellisia hyötyjä. Tuoreessa suomalaisessa väitöskirjassa (39) selvitettiin mahdollisuuksia rajoittaa turhaa käyttöä koulutuksen ja

ohjeistuksen kautta. Tällä saavutettiin 20–40 % tutkimusten käytön vähentyminen.

Turhan kuvantamisen rajoittamiseen löytyy työvälineitä. Eurooppalaisittain käytössä ovat kliinisen päätöksenteon apuväline ESR iGuide. Myös käypähoito suositukset ottavat usein kantaa kuvantamisen tarpeellisuuteen. Pidemmällä tähtäimellä turhan kuvantamisen vähentämisellä on voi olla etua paitsi sädeannoksen hallinnassa, kustannussäästöissä myös ympäristökuormituksen vähentämisessä. Ympäristön huomioiminen ja taloudellisen hyödyn saavuttaminen edellyttää huolellista suunnittelua. Suunnittelun tulisi olla kokonaisvaltaista ja osioitettua (vain oman talouden ja oman ympäristöjalanjäljen huomioiminen) ei ole hyödyllistä. Toiminnan mahdollisissa muutoksissa on suunnittelussa syytä huomioida esimerkiksi lisääntyvän liikenteen aiheuttamat ympäristöhaitat.

Lisää ehdotuksia radiologian aiheuttaman ympäristöjalanjäljen pienentämiseen on koottu taulukkoon 2.

Kuvantamislaitteiden hankinnassa elinkaaren ja ympäristövaikutuksen huomioimisella on tärkeä merkitys. Useimmissa kuvantamislaitteiden hankinnoissa kilpailutuksessa hankintahinnalla on pääpaino. Muutoin hankintapisteitys jakautuu laitteiden tuotaman kuvanlaadun, käytettävyyden ja huollon välille. Laitteiden elinkaaren ympäristövaikutukset tulisi huomioida aiempaa tarkemmin sekä vaadittavissa ominaisuuksissa että pisteytyksissä. Järjestelmällisestä hankinnan ympäristöarvioinnista voi hyötyä parempien investointien toteuttamisessa.

## Kirjallisuutta

- Pichler P, Jaccard S, Weisz U, Weisz H. International comparison of health care carbon footprints. *Environ. Res. Lett.* 14 (2019) 064004.
- Health Care's Climate Footprint. Health Care Without Harm Climate-smart Health Care Series Green Paper Number One. 2019. [https://noharm-global.org/sites/default/files/documents-files/5961/HealthCaresClimateFootprint\\_092319.pdf](https://noharm-global.org/sites/default/files/documents-files/5961/HealthCaresClimateFootprint_092319.pdf) Viimeksi avattu 15.11.2021.
- Lenzen M, Malik A, Li M. The environmental footprint of health care: a global assessment. *Lancet Planet Health.* 2020; 4: e271-e279.
- Schoen J, Chopra V. The harm we do: the environmental impact of medicine. *J Hosp Med.* 2018; 13: 353-355.
- Eckelman M, Sherman J. Environmental Impacts of the U.S. Health Care System and Effects on Public Health. *PLoS One* 11(6): e0157014.
- Eckelman M, Sherman J. Estimated Global Disease Burden from US Health Care Sector Greenhouse Gas Emissions. *Am J Public Health.* 2018;108: S120-S122.
- Shoen J, Thiel C, Gross J. Climate Change in radiology – A Primer. 2021, ARRS <https://arrsinpractice.org/climate-change-radiology-primer/> Viimeksi avattu 15.11.2021.
- Hareja O. Sairaaloiden energia-analyysi ja mahdollisuudet hiilineutraaliin energiakulutukseen. Kandidaatintyö. LUT School of Energy Systems. 2021. [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/163025/Kandidaatintyö\\_Oskari\\_Hareja.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/163025/Kandidaatintyö_Oskari_Hareja.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Viimeksi avattu 15.11.2021.
- Nakazawa T. Current understanding of the global cycling of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide. 2020; *Proc. Jpn. Acad., Ser. B* 2020; 96:394-419.
- MacNeill A, Lillywhite R, Brown C. The impact of surgery on global climate: a carbon footprinting study of operating theatres in three health systems. *Lancet Planet Health.* 2017; 1: e381-e388.
- Wormer B, Augenstein V, Carpenter C. The green operating room: simple changes to reduce cost and our carbon footprint. *Am Surg.* 2013; 79: 666-671.
- Thiel C, Woods N, Bilec M. Strategies to reduce greenhouse gas emissions from laparoscopic surgery. *Am J Public Health.* 2018; 108: S158-S164.
- Thiel C, Eckelman M, Guido R. Environmental impacts of surgical procedures: life cycle assessment of hysterectomy in the United States. *Environ Sci Technol.* 2015; 49: 1779-1786.
- Sherman J, Le C, Lamers V, Eckelman M. Life cycle greenhouse gas emissions of anesthetic drugs. *Anesth Analg.* 2012; 114: 1086-1090.
- Marwick T, Buonocore J. Environmental impact of cardiac imaging tests for the diagnosis of coronary artery disease. *Heart.* 2011; 97: 1128-1131.
- Connor A, Lillywhite R, Cooke M. The carbon footprint of a renal service in the United Kingdom. *QJM.* 2010; 103: 965-75.
- Martin M, Mohnke A, Lewis G, Dunnick R, Keoleian G, Maturen K. Environmental Impacts of Abdominal Imaging: A Pilot Investigation. *J AM Coll Radiol* 2018; 15: 1385-1393.
- Heye T, Knoerl R, Wehrle T, Mangold D, Merminara A, Loser M, Plumeyer M, Degen M, Lüthy R, Brodbeck D, Merkle E. The Energy Consumption of Radiology: Energy- and Cost-saving Opportunities for CT and MRI Operation. *Radiology* 2020; 295: 593-605.
- Shoen J, Thiel C, Gross J. Climate Change in radiology – A Primer. 2021, ARRS <https://arrsinpractice.org/climate-change-radiology-primer/> Viimeksi avattu 15.11.2021.
- Chua A, Amin R, Zhang J, Thiel C, Gross J. The Environmental Impact of Interventional Radiology. Evaluation of Greenhouse Gas Emissions from an Academic Interventional Radiology Practice. *Vasc Interv Radiol* 2021; 32: 907-915.
- Olafsdottir A, Sverdrup H. Assessing the Past and Future Sustainability of Global Helium Resources, Extraction, Supply and Use, Using the Integrated Assessment Model WORLD7. *Biophysical Economics and Sustainability* (2020) 5:6-24.
- Liquid Helium in MRI Machines- Price, Use and More. <https://lbnmedical.com/liquid-helium-in-mri-machine/> Viimeksi avattu 15.11.2021.
- Schmidt K, Bau M, Merchel G, Tepe M. Anthropogenic gadolinium in tap water and in tap water-based beverages from fast-food franchises in six major cities in Germany. *Science of the Total Environment* 2019; 687:1401-1408.
- Bau M, Dulski P. Anthropogenic origin of positive gadolinium anomalies in river waters. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1996; 43: 245-255.
- Thomssen H. Are the increasing amounts of gadolinium in surface and tap water dangerous? *Acta Radiol* 2017; 58: 259-263.
- Adeel M, Lee J, Zain M, Rizwan, M, Nawab A, Ahmad M, Shafiq M, Yi H, Jilani G, Javed R. Cryptic footprints of rare earth elements on natural resources and living organisms. *Environ. Int.* 2019; 127: 785-800.
- Ebrahimi P, Barbieri M. Gadolinium as an Emerging Microcontaminant in Water Resources: Threats and Opportunities. *Geosciences* 2019; 9:93.
- Kümmerer K, Helmers E. Hospital Effluents as a Source of Gadolinium in the Aquatic Environment. *Environ. Sci. Technol.* 2000; 34: 573-577.
- Rogowska J, Olkowska E, Ratajczyk W, Wolska L. Gadolinium as a new emerging contaminant of aquatic environments. *Environ. Toxicol. Chem.* 2018; 37: 1523-1534.
- Roth F, Lessa G, Wild C, De Kikuchi R, Naumann M. Impacts of a high-discharge submarine sewage outfall on water quality in the coastal zone of Salvador (Bahia, Brazil). *Mar. Pollut. Bull.* 2016; 106: 43-48.
- Rogosnitzky M, Branch S. Gadolinium-based contrast agent toxicity: A review of known and proposed mechanisms. *BioMetals* 2016; 29: 365-376.
- Darrah T, Prutsman-Pfeiffer J, Poreda J, Ellen Campbell M, Hauschka P, Hannigan R. Incorporation of Excess Gadolinium into Human Bone from Medical Contrast Agents. *Metallomics* 2009; 1: 479-488.
- Braun, M, Zavanyi G, Laczovics A, Berényi E, Szabo S. Can aquatic macrophytes be biofilters for gadolinium based contrasting agents? *Water Res.* 2018; 135: 104-111.
- Unruh C, Van Bavel N, Anikovskiy M, Prenner E. Benefits and Detriments of Gadolinium from Medical Advances to Health and Ecological Risks. *Molecules* 2020; 25: 5762.
- Hendee W, Becker G, Borgstede J, Bosma J, Casarella W, Erickson B, Maynard D, Thrall J, Wallner P. Addressing Overutilization in Medical Imaging. *Radiology* 2010; 257: 240-245.
- Health care without harm. <https://noharm.org/>. Accessed November 13, 2021.
- Sistrom C. The Appropriateness of Imaging: A Comprehensive Conceptual Framework. *Radiology* 2009; 251: 637-649.
- Alshqaqeeq F, McGuire C, Overcash M, Ali K, Twomey J. Choosing radiology imaging modalities to meet patient needs with lower environmental impact. *Resour Conserv Recycl.* 2020; 155: 104657.
- Tahvonen P. Appropriateness of radiological examinations exposing to ionizing radiation: the effect of active referral guideline implementation. Väitöskirja <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526230221.pdf>.