

# Mikä on säteilyannos ja miten se syntyy

*Sairaalafysiikka Minna Husso, KYS Kuvantamiskeskus*

---

## Säteilyannoksen fysiikkaa

Säteily on yksi energian ilmenemismuoto. Tämän energialuonteensa perusteella säteilyllä on kyky tehdä työtä. Kun säteilykvantti eli fotoni kohtaa biologisen kudoksen, fotoni joko jatkaa matkaansa läpi potilaan 'muuttumattomana' ja päättyy kuvailmaisimelle, tai se kokee erilaisia vuorovaikutuksia biologisen kudoksen molekyylien atomien kanssa. Sellaiset fotonit, jotka läpäisevät potilaan ilman vuorovaikutuksia, muodostavat pääosan kuvadetektorilla havaituista säteilykvanteista. Suurin osa fotoneista kuitenkin kokee erilaisia vuorovaikutuksia väliaineessa. Vuorovaikutuksissa säteilyn energia( $E$ ) siirtyy väliaineeseen. Tämä siirtynyt energia = säteilyannos. Seuraavana esitellään ne vuorovaikutukset, joissa energiaa siirtyy säteilyltä väliaineeseen, eli syntyy säteilyannos.

### *Valosähköinen ilmiö*

Valosähköisessä ilmiössä säteilykvantti osuu atomin elektroniin, ja aiheuttaa sen irtoamisen elektronikuorelta. Osa säteilykvantin energiasta kuluu elektronin irrottamiseen ja loppu jää irrotetun elektronin liike-energiaksi. Irrotettu elektroni poistuu tämän liike-energian saaneena tapahtumapaikalta. On tapahtunut ionisaatio. Tämän vuorovaikutuksen seurauksena säteilykvantti häviää, eli lakkaa olemasta kokonaan. Valosähköinen ilmiö on sitä todennäköisempi mitä alhaisempi on säteilyn energia, ja mitä suurempi on väliaineen järjestysluku. Valosähköinen ilmiö tuottaa potilaalle säteilyannosta, koska koko säteilykvantin energia siirtyy potilaan kudokseen. Toisaalta, tämä vuorovaikutus on välttämätön röntgenkuvan synnyn kannalta: Osa säteilystä pysähtyy kudoksiin, ja osa pääsee läpi. Tästä syntyy kuvan kontrasti. [1]

### *Compton-sironta*

Säteilyn energian kasvaessa valosähköistä ilmiötä todennäköisempi vuorovaikutusilmiö on Compton-sironta. Tässä vuorovaikutuksessa säteilykvantti osuu atomin elektroniin ja irrottaa sen. Jälleen tapahtui ionisaatio. Säteilykvantilla on nyt kuitenkin niin paljon energiaa että se

ei kokonaan lakkaa olemasta, vaan jatkaa matkaansa alkuperäisestä suunnasta poikenneena ja energialtaan heikompana. Osa säteilykvantin energiasta siis siirtyy väliaineeseen ja näin aiheuttaa potilaalle annosta. Säteilysuojelun ja kuvanlaadun kannalta harmillista on, että Compton-sironnassa säteilykvantti muuttaa kulkusuuntaansa eli siroaa. Sironnut säteily huonontaa kuvanlaatua aiheuttamalla kuvaan kohinaa. Ilmiön seurauksena potilaasta ulospäin siroaa säteilyä, mikä aiheuttaa säteily-altistusta ympäristössä mahdollisesti olevalle henkilökunnalle. [1]

### *Parinmuodostus*

Parinmuodostuksessa säteilykvantti vuorovaikuttaa atomin ytimen kanssa muuttuen elektroniksi ja positroniksi (= elektronin antihiukkanen, elektronin kanssa yhtä suuri massa ja varaus, mutta positiivinen), jotka poistuvat atomin ytimestä. Biologisessa kudoksessa on aina runsaasti vapaita elektroneja. Positroni kohtaakin tällaisen vapaan elektronin väistämättä melko nopeasti, ja seuraa annihilaatio. Annihilaatiossa positroni ja elektroni häviävät, ja niistä muodostuu kaksi gammakvanttia jotka poistuvat paikalta  $180^\circ$  kulmassa toisiinsa nähden. Parinmuodostus edellyttää säteilykvantilta suurta energiaa, jotta se pystyy vuorovaikuttamaan atomin ytimen kanssa. Röntgendiagnostiikassa ei säteilyllä ole näin suurta energiaa, vaan kyseessä on käytännössä atomin ytimestä peräisin oleva gammasäteily. PET-kuvaus perustuu parinmuodostuksen tuottaman gammasäteilyn havaitsemiseen.

### **Säteilybiologiaa**

Elävään kudokseen absorboitunut energia ja siitä seuraava ionisaatio käynnistää sekä fysikaalisia että kemiallisia reaktioita, jotka aiheuttavat biologisia muutoksia.

Biologisesti suurin haittavaikutus on silloin, kun säteilyn kohdemolekyylillä on DNA, eli solun perimäaine. Vauriot voivat ilmetä joko yhdessä DNA:n juosteessa, tai molemmissa juosteissa. Kaikkein haitallisimpia ovat nk. kaksoisjuostekatkokset. Yhden fotonin kulkiessa DNA-molekyylin läpi, on tuloksena usein kaksoisjuosteen katkos. Tällainen fysikaalinen reaktio, eli fotonin suora osuminen DNA-molekyyliin, on varsin epätodennäköinen tapahtuma. Sen sijaan on huomattavasti todennäköisempää, että fotoni ionisoi muita molekyyliä tuottaen vapaita radikaaleja. Nämä radikaalit ovat usein toksisia. Erittäin reaktiivisi-

na vapaat radikaalit myös muodostavat halukkaasti yhdisteitä ympäröivien aineiden kanssa. Nämä reaktiotuotteet ovat myös usein toksisia.

Vaikka DNA:ssa voi syntyä paljon ja monentyppisiä vaurioita, solu yleensä pystyy korjaamaan vauriot. Mikäli vaurio jää korjautumatta tai korjautuu väärin, on syntynyt mutaatio. Tällöin seuraavassa solunjakautumisessa käytetään DNA:n kahdentuessa mallina virheellistä solua, jolloin virhe periytyy jälkeläissolun DNA:han. DNA-vaurioiden seurauksena solu voi myös menettää jakautumiskykynsä tai jopa kuolla. Ajan mittaan samaan soluun voi kasautua useita mutaatioita, minkä seurauksena voi olla syöpä. [3]

## **Annossuureita**

### *Absorboitunut annos*

Absorboitunut annos on massayksikköön säteilyltä siirtynyt energia:

$$D = \frac{E}{m}$$

Absorboituneen annoksen yksikkö on Gray (Gy).

### *Ekvivalenttiannos*

Erlaisilla säteilylaaduilla on erilainen kyky ionisoida, ja siten aiheuttaa biologisia (haitta)vaikutuksia. Arvioitaessa absorboituneen annoksen biologista haittaa, säteilylaadun vaikutus otetaan huomioon laatukerroimella. Ekvivalenttiannos ( $H$ ) määritellään:

$$(H) = W_R \cdot D$$

missä  $W_R$  on säteilylaadun painotuskerroin. Painotuskertoimet on esitetty taulukossa 1 [2].

*Taulukko 1.* Säteilyn painotuskertoimet  $w_R$

Säteilylaji	Säteilyn painotuskerroin $w_R$
Fotonit	1
Elektronit <sup>3</sup> ja myonit	1
Protonit ja varatut pionit	2
Alfa-hiukkaset, fissiofragmentit, raskaat ionit	20
Neutronit	Neutronin energiasta riippuva jatkuva funktio (kuva 1 ja yhtälö 4.3)

Kaikki arvot koskevat kehoon ulkoapäin kohdistuvaa säteilyä tai sisäisen säteilyn kyseessä ollen, kehon sisällä olevien radionuklidien emittoivaa säteilyä.

<sup>3</sup> Auger-elektroneja käsitellään erikseen kappaleessa Fotonit, elektronit ja myonit.

Ekvivalenttiannoksen yksikkö on Sievert (Sv).

### *Efektiivinen annos*

Efektiivinen annos ( $H_E$ ) kuvaa säteilyn yksilölle aiheuttamaa biologista kokonaisriskiä. Efektiivinen annos määritetään kertomalla säteilylle altistuneiden kudosten ja elinten ekvivalenttiannokset niiden painokerroimilla, ja laskemalla näin saadut tulot yhteen. Matemaattinen määritelmä:

$$H_E = \sum w_i H_i$$

missä painokertoimet  $w_i$  on esitetty taulukossa 2 [2].

*Taulukko 2.* Kudosten painotuskertoimet

Kudos	$w_r$	$\Sigma w_T$
Luuydin, paksusuoli, keuhkot, mahalaukku, rinta, muut kudokset <sup>3</sup>	0.12	0.72
Sukurauhaset	0.08	0.08
Virtsarakko, ruokatorvi, maksa, kilpirauhanen	0.04	0.16
Luun pinta, aivot, sylkirauhaset, iho	0.01	0.04
	Yht.	1.00

<sup>3</sup> Muut kudokset: lisämunuaiset, rintakehän ulkopuoliset hengitystiet, sappirakko, sydän, munuaiset, imurauhaset, lihakset, suun limakalvot, haima, eturauhanen, ohutsuo-li, perna, kateenkorva, kohtu/kohdunkaula

Efektiivisen annoksen yksikkö on Sievert (Sv).

### *Kollektiivinen efektiivinen annos*

Kollektiivinen efektiivinen annos (S) on jonkun ryhmän kaikkien yksilöiden efektiivisten annosten summa tarkasteltavana ajankohtana tai toimenpiteen aikana. Kollektiivista efektiivistä annosta käytettäessä tulisi määritellä annoksen vaihteluväli ja altistuksen ajanjakso [2]. Kollektiiviannoksen yksikkö on mansievert (manSv).

### **Kirjallisuutta**

- [1] STUK: Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarja: Säteilyn käyttö
- [2] STUK: Säteilysuojelun perussuosituksen 2007, Suomenkielinen lyhennelmä julkaisusta ICRP-103
- [3] STUK: Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarja: Säteilyn terveysvaikutukset