

Teemu Pietilä

SÄTEILY JA SEN HYÖDYNTÄMINEN TEOLLISUUDESSA

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

2015

SÄTEILY JA SEN HYÖDYNTÄMINEN TEOLLISUUDESSA

Pietilä, Teemu
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tammikuu 2015
Ohjaaja: Santanen, Teemu
Sivumäärä: 64
Liitteitä: 0

Asiasanat: Säteily, Säteilyturvallisuus, Teollisuus

Opinnäyte työn tehtävänä oli selvittää, minkälaisia tarpeita teollisuudella on säteilyn käytössä, materiaalien tarkastuksessa, menetelmien kautta, että säteilyn vaikutukset säteily työtä tekevän ihmisen terveyteen.

Tuon erilaisia säteilyn muotoja suurempaan tietoisuuteen, sekä niiden erilaisia esiintymismuotoja. Aluksi säteilymuodot tutkittiin, sitten niiden käyttäytymis malleja että niiden rakennetta. Kerrotaan säteilyn olemassa olon havaitsemisesta sekä sen historiasta.

Työssä tulee muun muassa ilmi, Säteilyturvallisuusviranomaisten määrittelemät säteilyrajoineen, että heidän suorittamansa valvonta, säteilyn osalta. Ydinvoimaloista tullaan myös käsittelemään fissioreaktioiden periaatteita. lisäksi erilaisia säteilyn avulla tehtäviä ainetta rikkomattomia tarkastuksia.

RADIATION AND ITS EXPLOITATION OF INDUSTRY

Pietilä, Teemu

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Program in Mechanical and Production Engineering

January 2015

Supervisor: Santanen, Teemu

Number of pages: 64

Appendices: 0

Keywords: Radiation, Radiation safety, Industry

The thesis work was to find out what the needs of the industry is the use of radiation, materials inspection, the mechanisms of the effects of radiation in radiation work to do on human health.

A range of different forms of radiation that greater awareness, as well as a variety of occurrences of. Initially, the radiation forms were examined, then the behavioral patterns of their structure. Multiply the existence of radiation detection, as well as its history.

The work will, inter alia, the Radiation safety authorities defined radiation limits that their control, radiation. Nuclear power plants will also deal with the principles of the fission reaction In addition to a variety of radiation using a non-destructive inspection tasks..

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	SÄTEILY	6
2.1	Yleistä	6
2.1.1	Säteilyn yksiköt	7
2.1.2	Käänteisen neliön laki	10
2.1.3	Säteilyn historia	12
2.2	Säteilymuodot	13
2.2.1	Hiukkas-säteily	15
2.2.2	Sähkömagneettinen säteily	17
2.2.3	Gravitaatio säteily.....	26
3	SÄTEILYTURVALLISUUS	27
3.1	Säteilyturvakeskus	27
3.2	Säteilytyötekijöiden turvarajat	29
3.3	Säteilyn lähteitä teollisuudessa	36
4	SÄTEILYN HYÖDYNTÄMINEN TEOLLISUUDESSA.....	37
4.1	Materiaalianalyysit.....	37
4.1.1	Rikkomaton aineenkoestus	38
4.1.2	Lämpökäsittely	40
4.2	Ydinvoima.....	44
4.2.1	Ydinreaktio	47
4.2.2	Ydinjäte	49
4.3	Ydinjätteen sijoitus	51
4.3.1	Ydinjätteen väliaikainen varastointi	52
4.3.2	Ydinjätteen loppusijoitus.....	54
5	TULOSTEN TARKASTELU	58
6	YHTEENVETO	59
	LÄHTEET.....	60
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössäni perehdytään säteilyyn, sen ominaisuuksiin sekä sen erilaisiin muotoihin. Aiheeni opinnäytetyöhön sain kun kävin Satakunnan Ammattikorkeakoulun Säteily ja Säteilyturvallisuus -opintojakson, innostuin tästä kyseisestä opintojaksosta sen verran paljon, että tein siitä opinnäytetyöni. Säteilyä ja sen sovellutuksia lähestytään tutkivan analyttisesti sekä työni materiaali on pääosin säteilyä koskevilta internet-sivustoilta. Kesätyökokemukseni kautta, minulla on kokemusta säteilyn käytöstä teollisuudessa.

Säteilyä käytetään nykypäivänä sekä teollisuudessa että sairaaloissa. Säteily on erittäin palkitsevaa koska, sillä voidaan esimerkiksi paperiteollisuudessa nopeuttaa valmiin paperin kuivumista ja niin edelleen, sen avulla tehdään kattilalaitoksissa pinnankorkeusmittauksia, sekä arvioidaan kattilalaitoksen höyrykattiloiden kuntoa Teollisuuden putkistojen ja kattiloiden kuntoa voidaan tarkistaa menetelmillä, jotka kuitenkin varsinaista prosessia häiritsemättä, tämä voidaan toteuttaa rikkomattoman aineenkoestus menetelmien avulla esimerkiksi röntgen säteilyllä. Säteilyn hyödyt huomioidaan ydinvoimaloissa, jotka perustuvat uraaniytimien säteilyyn.

Opinnäytetyöni on suunniteltu Satakunnan ammattikorkeakoululle, käytin todella paljon aikaa opinnäytetyön aiheen valitsemisen ja sisällön suunnittelun parissa.

2 SÄTEILY

2.1 Yleistä

Säteily voi olla kahta yleisintä tunnettua päätyyppiä: sähkömagneettista säteilyä, tai hiukkanen-säteilyä, nämä kaksi säteilylajia poikkeavat toisistaan säteilyn kantaman ja läpäisykyvyn osalta. Erona on myös rakenteellinen, hiukkanen-säteilyssä hiukkaset ovat aktiivisia yksiköitä, kun taas sähkömagneettisessa säteilyssä ei ole väliainetta, joka säteilee joten esimerkiksi ympäröivä ilma siis jokin väliaine ei pysty kovinkaan paljon vaikuttamaan siihen. Sitten on olemassa vielä kolmas säteilylaji gravitaatio-säteily, joka perustuu Albert Einsteinin (1879 -1955) luomaan yleiseen suhteellisuusteoriaan. Gravitaatio säteilyn perustuessa pääosin massan kappaleiden aiheuttaman kiihtyvän suoraviivaisen liikkeen. Säteilyä on aikoinaan pidetty vaarattomana koska sitä ei ole voinut nähdä, kuulla, haistaa tai maistaa saati sitten tuntea.

(Scenario Development Environment, 2014)

2.1.1 Säteilyn yksiköt

Säteilyn havainnollistamiseen säteilyannoksissa, käytetään erilaisia yksiköitä mittaamaan säteilyn aiheuttamia annosnopeuksia. Absorboitunut säteily tarkoittaaakin kudosten vastaanottamaa todellista ionisoivaa säteilyenergiaa säteilyannoksesta, tämä säteilyannos mittaa aineen vastaanottamaa säteilyä massayksikköä kohti. Absorboituneen säteilyn yksiköksi on yleisesti sovittu Gray (Gy). (Terve, Perustietoa säteilystä, 2)

Gray, on kuitenkin suuri yksikkö. Joten luonnollisesti teollisuudessa käytetään joko mGy (milliGray) tai μ Gy (mikroGray). Gray on fysiikassa tunnettu SI-yksikkö ja sen yksiköksi muodostuu $Gy = 1 \text{ J} / \text{Kg}$. Gray yksikkönä tuli tunnetuksi fyysikko Louis Harold Grayn tutkimusten tuloksena. Alla olevassa taulukossa 1, Liike-energian Vapautuminen massa yksikköä kohden, on selitetty enemmän miten Grayn yksikkö oikein muodostuu, taulukossa 2, Absorboitunut annos, taas analysoidaan Absorboituneen annoksen ilmiön tuloksia.

(Oliver Scott, 1953), (Ernst Schwenk, 1994)

Taulukko 1, Liike-energian Vapautuminen massa yksikköä kohden (STUK, Säteilyn suuret ja yksiköt, Säteily sen havaitseminen, Ikäheimonen T.K, Hämeenlinna, 2002)

Kerma, K [J/kg, Gy]



Louis Harold Gray

- Kinetic Energy Released per unit MAss
- Kermalla mitataan varauksettomien hiukkasten tuottamien sekundaarihiukkasten saamaa liike-energiaa niiden syntyhetkellä
 - Varauksettomilla hiukkasilla tarkoitetaan fotoneita ja neutroneita, sekundaarihiukkasilla lähinnä elektroneita
 - Kerma mittaa tapahtumapaikalta poistuville sekundaarihiukkasille luovutettua energiaa
- Säteilyenergian muuntumista kuvaava suure
- Säteilyannosmittauksissa mitattava suure radiologiassa käytetyllä energia-alueella (yleensä ilmakerma tai K_{ilma})
- Vastaavasti on määritelty kermanopeus [Gy/s, jne.]

Taulukko 2, Absorboitunut annos (STUK, Säteilyn suureet ja yksiköt)

Absorboitunut annos, D [J/kg, Gy]

- Säteilyn absorptiolla tarkoitetaan säteilyenergian luovuttamista väliaineen atomeille ja molekyyleille
- Tarkastellaan pientä tilavuusalkiota, johon tulevan ja josta poistuvan energian erotuksena saadaan tilavuuteen absorboitunut annos
 - Poistuvaa energiaa ovat tilavuusalkiosta ulosvuotavat sekundaarielektronit
 - Tulevaa energiaa ovat sekundaarielektronit, jotka ovat muodostuneet alkion ulkopuolella tapahtuneesta ionisaatiosta ja sironneet tarkastelualkioon
- Käytännön säteilysuojelutyössä absorboituneen annoksen mittaaminen on lähes mahdotonta.
- Röntgendiagnostiikassa käytetyllä energia-alueella (20 – 200 keV) ilmakehää (K_{ilma}) ja absorboitunutta annosta ilmassa (D_{ilma}) voidaan pitää yhtä suurina
- Vastaavasti on määritelty annosnopeus [Gy/s, jne.]

Toisin kuin Absorboitunut annos, Efektiivinen säteily annos ei kuvaa aineen todellista säteily määrää, koska se kaikki muut säteily suureet perustuvat asiantuntijoiden tekimiin lausuntoihin, niistä aiheutuviin haittoihin nähden. (Terve, Perustietoa säteilystä)

Efektiivisen annoksen yksiköksi on sovittu tiedemaailmassa Sv(Sievert), ja mutta se ei kuitenkaan ole suoraan mitattavissa oleva yksikkö, vaan se on laskettavissa aineeseen tai kudokseen aiheutettu, absorboitunut säteilyvaurio, sekä eri säteilylajeille määritellyt haittakertoimet ja kunkin kudoksen säteilyherkkyyden ilmaisevan painokertoimen avulla.

(Terve, Perustietoa säteilystä), (Suomen Radiologi yhdistys, 2000)

Radioaktiiviset aineet taas, ovat atomeja jotka hajoavat tietyn ajan kuluttua, jota kutsutaan puoliintumis ajaksi, sitä yksikköä joka kuvastaa atomien hajoamis nopeutta sekunnissa on aktiivisuus, jonka yksikkönä käytetään Bq(Becquerel). 1Bq siis kuvastaa tilannetta, jossa yksi atomi sekunnissa hajoaa. $1 \text{ Bq} = 1/\text{s}$. Alla olevassa kuva1, Radioaktiivisuus, on havainnollistettu radioaktiivisen hajoamisen periaatetta.

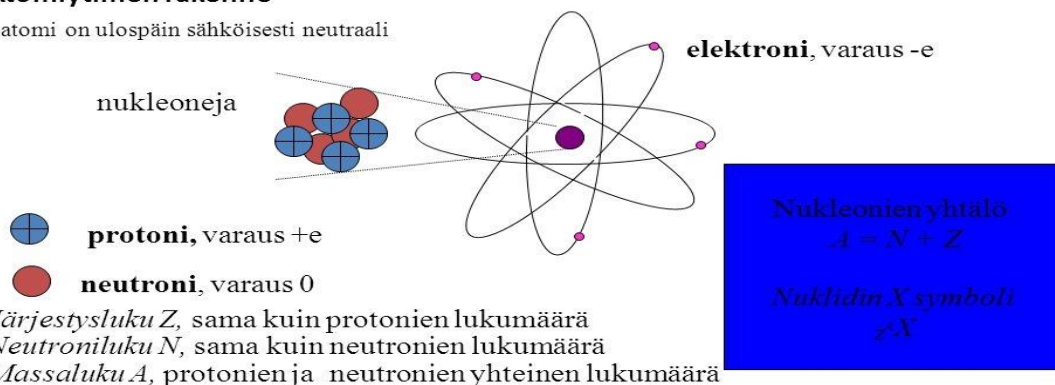
(Suomen Radiologiyhdistys, 2000)

Radioaktiivisuus, ytimen hajoaminen (Henri Becquerel 1896)

- luonnossa on havaittu yli 70 radioaktiivista nuklidia, keinotekoisesti radioaktiiviseksi saatuja yli 1000

Atomiytimen rakenne

- atomi on ulospäin sähköisesti neutraali

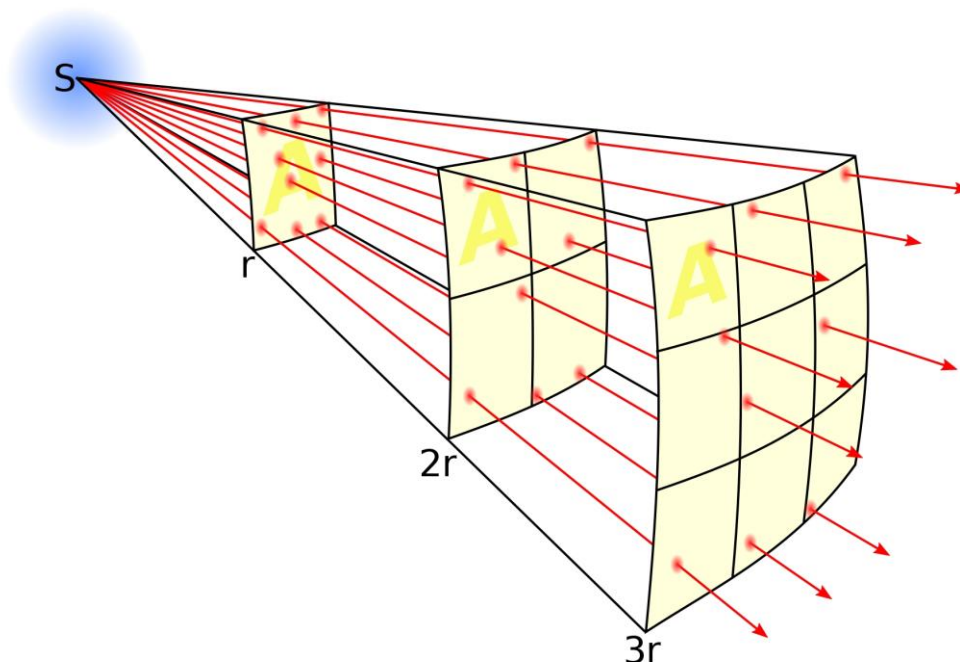


- saman alkuaineen eri **isotoopeilla** on sama protoniluku, mutta eri neutroniluku
 - **viritystilassa oleva ydin on epästabiili** ja viritystilan lauetessa ytimestä lähtee hiukkanen (α tai β) tai sähkömagneettisen säteilyn γ -kvantti. Samalla vapautuu energiaa ja ydin siirtyy kohti stabiilia tilaa \Rightarrow aine muuttuu toiseksi.

Kuva 1, Radioaktiivisuus (Henri Becquerel, 1896)

2.1.2 Käänteisen neliön laki

Alla olevassa kuvassa, (kuva 2, Käänteisen neliön laki), havainnollistetaan tämän lain perus periaatteita

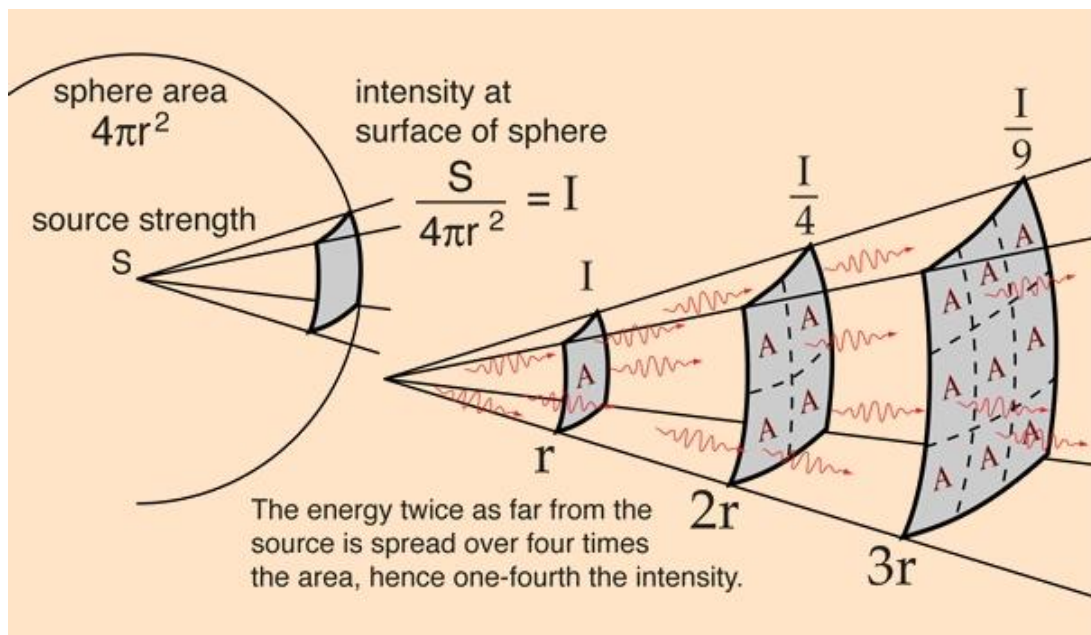


Kuva 2, Käänteisen neliön laki (Wikimedia, 2009)

Säteily heikkenee sitä mukaan väliaineen vastustuksen ja säteilyn kohdistuessa suuremmalle pinta-alalle, jolloin ulkopuolisiin ihmisiin sekä säteilylähteen ulkopuolella olviin kappaleisiin kohdistuu pienenevä säteily annos etäisyyden funktiona.

Käänteisen neliön lakia noudattavat muun muassa säteily, gravitaatio sekä sähkökenttä. Alla olevassa kuvassa 3, on hieman tieteellisempi selitys ilmiölle sekä hieman enemmän tarkasteltu ilmiötä kuin luonnos kuvassa 2.

(Inverse Square Law, 2001)



Kuva 3, Säteily etäisyyden funktiona (Inverse Square Law, Radiation, 2001)

I = Intensiteetti, kertoo säteilyn voimakkuuden jonka SI-yksikkö riippuu siitä minkä tyyppistä säteilyä se mittaa. jos kyse on radioaktiivisesta Isotoopista, silloin käytetään radioaktiivisen säteilyn yksikköä Becquerel (Bq), muussa tapauksessa yksikkönä käytetään Sievert(Sv).

S = englanniksi kirjoitettuna, Source Strength, eli säteilylähteen voimakkuus, eli kuinka paljon säteilyä lähtee yhdestä pallomaisesta säteilylähteestä kolmiulotteiseen avaruuteen sekunnissa.

$A_p = 4\pi r^2$, tämä tarkoittaa ”pallon” vaipan pinta alaa, eli toisin sanoen pinta alaa johon säteily etenee kolmiulotteisessa avaruudessa. Mitä suuremmalla alueella säteily laajenee, sitä heikompaa on sen lähettämä säteilyn aktiivisuus, säteilyllä ja Intensiteetillä on käänteisen neliön relaatio säteilyn Intensiteettiin.

2.1.3 Säteilyn historia

1800-luvun loppupuolella, Wilhem Röntgen on tehnyt havaintoja jotka johtivat siihen että radio-aktiivinen säteily havaittiin. Wilhelm Röntgen, huomasi fluorisoivan aineen, joka tarkoittaa ainetta joka hohtaa kun siihen tuodaan säteilyä kuten UV tai Röntgen säteilyä joka absorboituu, eli imeytyy aineeseen, jolloin säteily emittoituu eli heijastuu takaisin näkyvän valon aallonpituuksilla ihmis-silmään olevaa säteilyä, Röntgen säteilyn aiheuttavan, fluorisoivan aineen, pahvissa kuvastavansa Wilhelm Röntgenin käden luustoa, silloin kun hän tutki katodisäde putkea vuonna 1895. Tämä löydös aiheutti suurta tieteellistä kiihkoa tiedenaisten ja – miesten parissa. Näin havaittiin ensimmäistä kertaa läpivalaiseva säde, joka sai nimensä löytäjänsä Wilhelm Röntgenin mukaan.

(Energiateollisuus, Hyvä Tietää Säteilystä, 2007)

Hieman myöhemmin Wilhelm Röntgenin tekemän löydön jälkeen vuonna 1896, teki Henry Becquerel, tieteellisiä kokeita suolalla joka sisälsi uraania sekä valokuvaukseen tarkoitettulla levyllä, levyyn muodostui kehitysvaiheessa mustia läiskiä joita Henry Becquerel ei kyennyt selittämään.

(Energiateollisuus, Hyvä Tietää Säteilystä, 2007)

Myöhemmin Marie Curie kiinnostui Henry Becquerelin tekemästä tutkimuksesta, ja näin ollen alkoi myös itse tutkia toriumia, ja havaitsi melko nopeasti sen säteilevän uraanin lailla. Curien kerrotaan löytäneen muitakin radioaktiivisia aineita kuten poloniumin ja radiumin.

(Energiateollisuus, Hyvä Tietää Säteilystä, 2007)

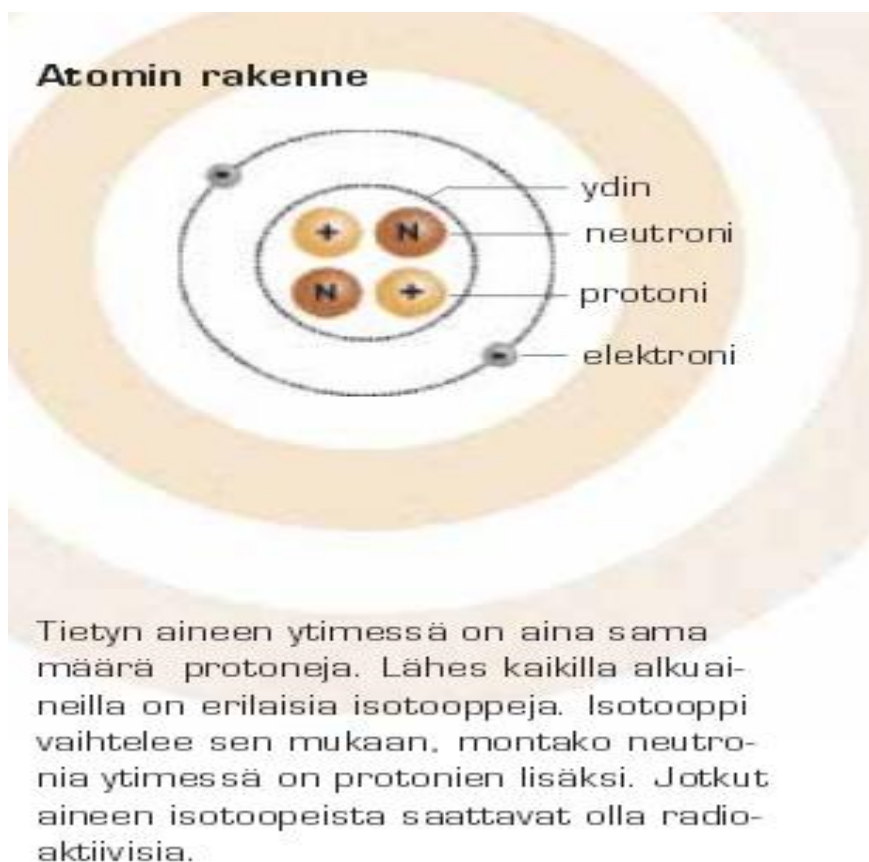
2.2 Säteilymuodot

Sähkömagneettisessa säteilyssä ei ole minkäänlaista väliainetta kuljettamassa säteilyä kolmiulotteisessa avaruudessa. Vaan tämä säteilytyyppi etenee sähkömagneettisten kentän aaltoliikkeiden avulla, toisinaan sähkökentät aiheuttavat toisinaan häiriötä toisiin sähkökenttiin.

(Säteilyturvakeskus, 2014), (Työterveyslaitos, 2014)

Hiukkas-säteily on luonteeltaan erilaista, kuin sähkömagneettinen säteily. Hiukkas säteily kuten esimerkiksi alfa- tai beetasäteily, alfa säteily on hiukkas rakenteeltaan raskaampaa kuin beetta säteily. Hiukkas-säteily on atomeista irronneiden elektronien tai vastaavien protonien irtoaminen emä-atomista. Myös neutroni ja neutriino säteily, ovat tähän luokkaan kuuluvia säteilylähteitä. Alla olevassa kuvassa 4, asia on selitetty hieman tarkemmin.

(Energiateollisuus, 2007)



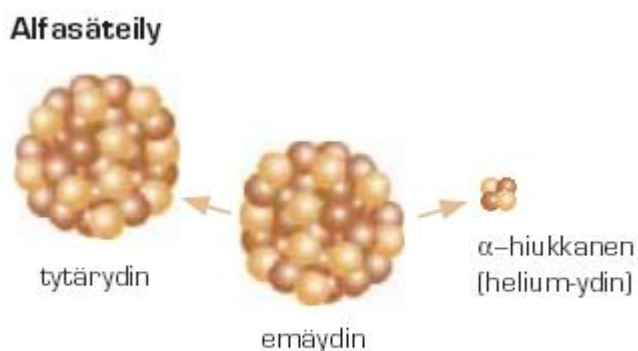
Kuva 4, Atomin rakenne (Energiateollisuus, 2007)

Gravitaatiosäteily on avaruudessa etenevää gravitaatioaalloista, jotka syntyvät massan ollessa kiihtyvässä liikkeessä, Albert Einstein kuvaa suhteellisuusteorian tarjoamilla matemaattisilla kenttäyhtälöillä gravitaatiosäteilyn syntyä, kyseinen ilmiö on varsin uudehko ja nykypäivänäkin melko tutkimaton tieteen ala, Gravitaatio säteily perustuu, Albert Einsteinin (1879 - 1955), luomaan suhteellisuusteoriaan.

(SDE, 2014),(Einstein Biography, 2015)

2.2.1 Hiukkas-säteily

Alfa-säteily, on läpäisykyvyltään heikoimpia tunnettuja säteilijöitä. Alfa hajoamisen esiintyvyys on lähinnä raskaissa ytimissä, joiden sidosvoimat eivät kykene pitämään ydintä koossa, jolloin tämä epävaka ydin pyrkii tasapainoon irrottamalla itsestään Alfa-hiukkasen. Alapuolella olevassa kuvassa 5, havainnollistetaan Alfa-hajoamista. (Energiateollisuus, 2007)



Kuva 5, Alfa-hajoaminen (Energiateollisuus, 2007)

Alfa-hiukkasilla on kuitenkin valtava massa jos Alfa-hiukkasia verrataan sen kohtaamiin hiukkasiin, kuten elektroneihin, ja neutroneihin nähden. Jo ainoastaan tämän suureen koon takia Alfa-hiukkasten toiminta etäisyys on vain muutamia senttimetrejä.

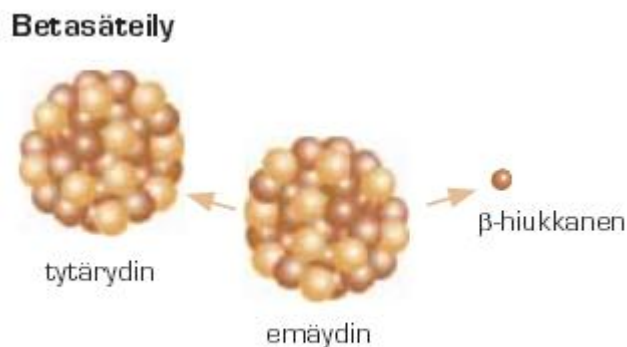
(Energiateollisuus, 2007)

Alfa-säteily pysähtyy tavalliseen paperiin, sekä vaatteisiin. ihonpintasolukko pystyy pysäyttämään Alfa-säteilyn. Mutta muun muassa Kallio perästä tuleva kaasu sisältää Alfa-hiukkasia ja on hengitettynä haitallista.

(Energiateollisuus, 2007)

Beetasäteily on sekin hiukkas-säteilyä, mutta aavistuksen verran voimakkaampaa kuin Alfa-säteily. sillä beeta hajoamisessa atomista lähtee negatiivisesti varautunut elektroni tai vastaavasti positiivisen varauksen protoni. Alla olevassa kuvassa 6,kerrotaan hieman enemmän Beeta-hajoamisesta.

(Energiateollisuus, 2007)



Kuva 6, Beeta-hajoaminen (Energiateollisuus, 2007)

Beeta-säteily koostuu pienienpienistä Beeta-hiukkasista. Beeta hiukkasten massa on yleisesti ottaen paljon pienempi, kuin siihen törmäävät molekyylit tai atomit.

(Energiateollisuus, 2014)

Beeta-säteilyn kantomatka on muutamia metrejä ilmassa, kuitenkin Beeta-hiukkaset kantomatkansa aikana poukkoilevat ja törmäilevät toisiin hiukkasiin niin kauan kunnes niiden energia on kulunut loppuun.

(Energiateollisuus, 2007)

Beeta-säteilyn voidaan pysäyttää esimerkiksi muovilla, mutta esimerkiksi ihmisen vaatteetkin riittävät pysäyttämään Beeta-säteilyn.

(Energiateollisuus, 2007),(TVO, 2015)

2.2.2 Sähkömagneettinen säteily

Sähkömagneettinen -säteily jaetaan kahteen pääryhmään, niihin jotka ionisoivat kohteensa ja niihin, jotka eivät ionisoi kohdettaan. Ionisoiva sähkömagneettinen säteily, jaetaan kahteen päätyyppiin; röntgen ja gamma-säteilyyn.

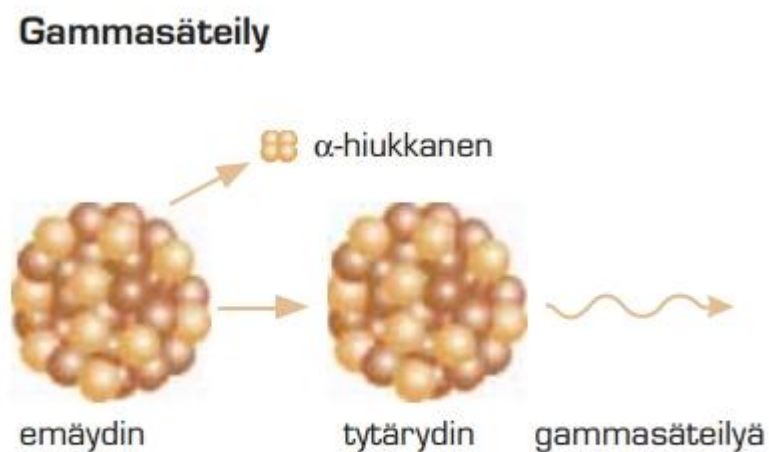
(Energiateollisuus, 2007)

Gamma säteilyn aallonpituus on 0,001 nm – 0,01nm. Gamma säteily on nopeasti etenevää sähkömagneettista säteilyä, eikä sillä ole massaa.

(Energiateollisuus, 2007)

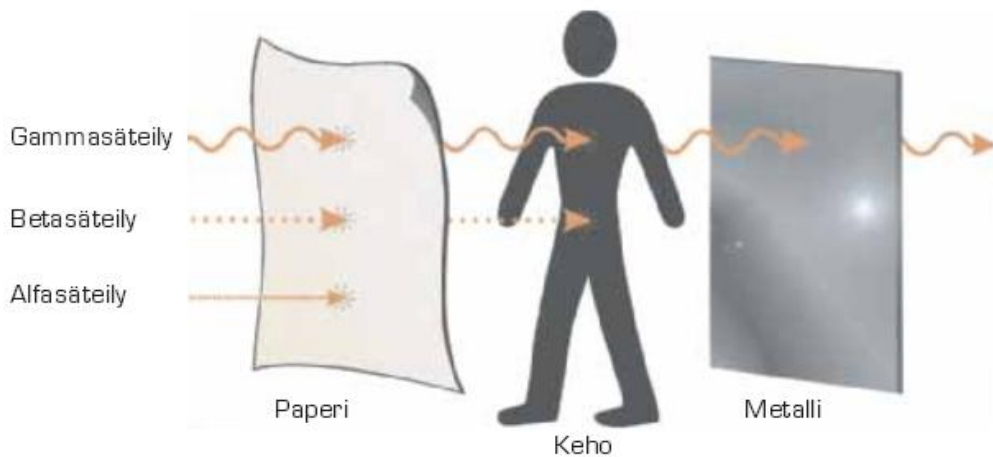
Gammasäteilyä esiintyy usein Alfa- tai Beetasäteilyn yhteydessä. Emäytimestä irtoaa ensin hiukkanen, jonka jälkeen siitä lähtee vielä gammasäteilyä. Gammasäteily etenee paksujenkin ainekerrosten läpi. Säteilyn voimakkuus vähenee sitä enemmän, mitä raskaamman ainekerroksen läpi se on kulkenut. Alla oleva kuva 7, Gamma-hajoaminen selventää tilannetta.

(Energiateollisuus, 2007)



Kuva 7, Gamma-hajoaminen (Energiateollisuus, 2007)

Gamma-säteily on erittäin läpitunkevaa hiukkas-sähkömagneettista säteilyä, joka etenee ilmassa jopa satoja metrejä. Alla olevaan kuvaan 8, Gamma säteilyn läpäisykyky viitaten demonstroin Gamma-säteilyn läpitunkeutuvuutta. (Energiateollisuus, 2007), (TVO, 2015)

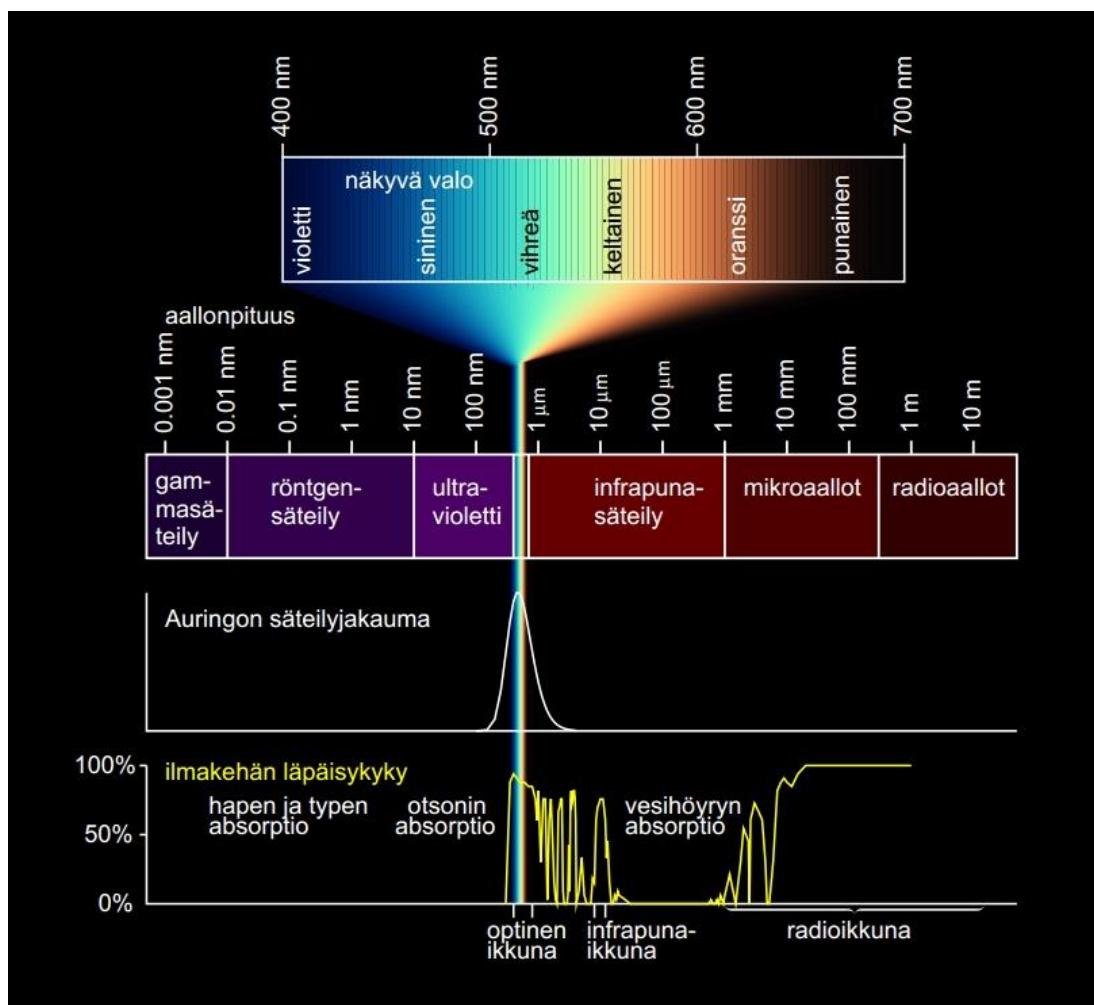


Alfa- ja betasäteily pysähtyvät helposti väliaineeseen, mutta gammasäteilyllä on suuri läpäisykyky.

Kuva 8, Gamma säteilyn läpäisykyky (Energiateollisuus, 2007)

Röntgen säteily yhdessä Gamma-säteilyn kanssa ovat molemmat ionisoivia säteilyä. Ionisoiva säteily tarkoittaa sitä, että atomilla on radioaktiivinen Isotooppi, jonka se pyrkii neutralisoimaan ottamalla elektroneja naapuri atomeilta. Alapuolella on perusteellinen selvitys sähkömagneettisten säteilyn, aallon pituuksista. Kuva 9, Sähkömagneettisen säteilyn aallonpituudet.

(STUK, 2014),(TVO, 2015)



Kuva 9,Sähkömagneettisen säteilyn Spektri (UTU, 1997)

Röntgensäteily on sähkömagneettista säteilyä, jota tuotetaan röntgenputkessa. Röntgenputki on tyhjiöputki, jossa on hehkukatodi ja lämmönkestävästä aineesta valmistettu anodi.

(STUK, 2014)

Katodin ja anodin välille kytketään jännite, joka voi olla 5 kV - 400 kV. Tämän jälkeen hehkukatodilta irtoavat elektronit liikkuvat suurella nopeudella kohti anodia ja lopulta törmäävät siihen. Elektronien nopeuden hidastuessa osa elektronien liike-energiasta muuttuu sähkömagneettiseksi säteilyksi, jota kutsutaan Röntgen-säteilyksi.

(STUK, 2014)

Ultravioletti-valo, näkyvä valo, Infrapuna-säteily, mikro-aallot, että radio aallot ovat kaikki ionisoimattomia sähkömagneettisen säteilyä.

(Energiateollisuus, 2007)

Infrapuna-säteily on paljain silmin näkymättömissä oleva lämpö-säteily, Infrapuna säteilyn aallon pituus on näkyvää valoa suurempi (1 μm - 1000 μm). Se saa kuitenkin väliaineen atomin värähtelemään, josta seuraa aineen lämpeneminen.

(STUK, 2010), (Energiateollisuus, 2007)

Lämpö tuntuu iholla ja ihonalaisissa kudoksissa. Silmään osuvasta infrapunasäteilystä suurin osa jää silmän etuosiin ja vain pieni osa pääsee verkkokalvolle asti.

(STUK, 2010)

Ultravioletti-säteily, on auringosta peräisin olevaa säteilyä. Ultraviolettivalo on silmälle näkymätöntä. Silmään osuessaan se voi suurina annoksina vahingoittaa sarveiskalvoa tai mykiötä. Ihmisen ihossa UV-säteily saa aikaan erilaisia valokemiallisia ja -biologisia reaktioita.

(STUK, 2010)

Ultraviolettivaloa on olemassa kolmenlaista tyyppiä; UV-A, UV-B ja UV-C.

Yleisesti ottaen UV-A, Aallonpituus (315 - 400 nm) välillä oleva ultra violetti säteily, on ultravioletti säteilyn vaarattomin säteilyalue, mikä johtuu siitä, että sen fotoni, sähkömagneettisen säteilyn välittäjähiukkanen, on vähiten energiaa sisältävä ultravioletti säteily tyypeistä, mutta se vanhentaa ihoa ja saattaa aiheuttaa geenivaurioita ja siten ihosyöpää., tunkeutuu ihon syvimpiin kerroksiin ja ruskettaa ihossa olevaa pigmenttiä sekä aiheuttaa ihon ennenaikaista vanhenemista. Myös UV-A- säteily edistää melanooman eli ihosyövän syntyä

(STUK, Auringon Ultravioletti-säteily, 2014), (STUK, FAQ, 2015)

UV-B, Aallonpituus (280 – 315 nm), tunkeutuu vain ihon pintaosiin. Sen vaikutuksesta ihon pintasolukko lisääntyy ja pigmenttihiukkasten määrä ihossa kasvaa. UV-B-säteily polttaa ihoa ja altistaa suurina määrinä ihosyöville. Ilmakehän otsoni, vesihöyry, happi ja hiilidioksidi vaimentavat auringon UV-B-säteilyä noin 90 %.

(STUK, Auringon Ultravioletti-säteily, 2014), (STUK, FAQ, 2015)

UV-C, aallonpituus on (100–280 nm), suodattuu kokonaan pois ilmakehän yläkerroksissa. UVC-säteily on erittäin polttavaa, ja sitä käytetään esimerkiksi erikoislampuissa, jotka on tarkoitettu bakteerien tappamiseen. UVC-säteilyn mikrobeja tuhoavat säteet tunkeutuvat mikrobien solujen sisään ja vaurioittavat solun molekyylisidoksia ja DNA-rakennetta. Mikrobit altistetaan pitkäksi ajaksi mikro-organismeja tuhoavalle ultravioletti-valolle, joka läpäisee mikrobin solukalvon ja onnistuu hajottamaan solun molekyylisidoksia.

(STUK, Auringon Ultravioletti-säteily, 2014),(Duodecim, 2012)

Valo on se kapea alue aallonpituudeltaan jonka ihmissilmä on näkevä. Valoaallot eivät tarvitse väliainetta (toisin kuin ääniaallot). Valohiukkanen eli foton on massaton ja varaukseton hiukkanen.

(TUT, 1997)

Fotonit eli valohiukkaset, etenevät tyhjiössä aina valonnopeudella

$c = 299\,792\,458$ m/s. Fotonilla on aina tietty energia. Energia on sitä suurempi, mitä lyhempi on säteilyn aallonpituus:

(TUT, 1997)

$$E = h * \nu = \frac{h * c}{\lambda}$$

h = Planckin vakio	= $6,6256 \cdot 10^{-34}$ Js
ν = Säteilyn taajuus	= Hz
λ = Aallonpituus	= nm
c = Valon nopeus	= $299\,792\,458$ m/s

(TUT, 1997)

Mikroaallot, Mikroaaltojen taajuus on (0,3-300 GHz). Mikroaaltoja käytetään meille kaikille tutussa mikroaaltouunissa. Työpaikoilla käytetään kuivatukseen mikrosäteilyyn perustuvia kuivaimia. Niiden toiminta perustuu vesimolekyylin resonanssitajuuden hyväksikäyttöön.

(Työterveyslaitos, 2014)

Radio-aaltoja, Taajuus (3 - 300 000 000 kHz), käytetään esimerkiksi Suomessa Radiolähetysten lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Langattomassa tiedonsiirrossa antenni lähettää radioaaltoja vastaanottimille. Osa radioaaltojen kuljettamasta energiasta absorboituu, eli käytännössä absorboituminen tarkoittaa kohteeseensa osuvan säteilyn imeytymistä kudoksiin. Antennin lähellä oleviin ihmisiin. Ihmiset saavat radioaalloista altistumia myös omien matkapuhelimiensa kautta.

(STUK, Radioaallot ympäristössämme, 2009)

Radio-aalloille altistumisen merkittävin tekijä on radioaaltolähteen antennin etäisyys ihmisiin, kyse on kuitenkin myös siitä millä teholla ja taajuudella kyseinen antenni lähettää radio-aaltoja, antennin ominaisuudet ja muu ympäristö vaikuttavat kuitenkin omalla osallaan asiaan. Alempana on Taulukko 3, Radioaaltojen altistumisen terveysvaikutukset. jossa tarkastellaan radioaaltojen voimakkuuden vaikutusta terveyteen. (STUK, Radioaallot ympäristössämme, 2009)

Taulukko 3, Radioaaltojen Altistumisen terveystvaikutukset

Altistumisen suuruus, SAR (paikallinen altistuminen)	Biologinen vaikutus
<1 W/kg	Ei todettuja terveysthaittoja
2 W/kg	Lämpötila nousee kudoksissa enimmillään noin 0.3 °C pitkäkestoisessa altistuksessa. Viitteitä proteiinimuutoksista.
10 W/kg	Lämpötila nousee kudoksissa normaalin vaihteluvälin (37 ± 1 °C) ylärajalle, lievä lämpöaistimus.
50–100 W/kg	Lämpötilan nousu voi aiheuttaa kudostvaurioita (palovamma, harmaakaihi).

Seuraavassa ,Taulukossa 4,SAR-arvot, Tarkastellaan SAR- arvoa, eli kuinka paljon haittaa jokin tietty radioaalto altistus haittaa ihmistä

Taulukko 4, SAR-Arvot (STUK, Radioaallot ympäristössämme, 2009)

SAR-arvo kuvaa altistumisen suuruutta

Altistumisen mittana käytetään yleisesti ominaisabsorptionopeutta eli SAR-arvoa (Specific Absorption Rate), joka kuvaa radioaallosta kehoon tai sen osaan imeytyvää tehoa. Suureen yksikkö on W/kg.

Kun koko keho altistuu säteilylle, ylimääräinen lämpö on poistettava kehon ulkopuolelle hikoilemalla. Jos altistus taas on paikallista, riittää, että ylimääräinen lämpö tasaantuu ympäröiviin kudoksiin. Tämän vuoksi keho sietää paikallisesti suurempaa altistumista kuin jos altistuminen kohdistuisi koko kehoon.

Paikallisen altistumisen mittana käytetään SAR-arvoa 10 gramman kuutiomaisen kudossmassan keskiarvona. Kuution sivun pituus riippuu jonkin verran kudostyyppistä, mutta tyyppillinen arvo on noin 2,2 cm.

Väestön SARin enimmäisarvot ovat koko keholle 0,08 W/kg, paikallisesti pään tai vartalon alueelle 2 W/kg ja raajojen alueelle 4 W/kg. Näin ollen esimerkiksi matkapuhelinten SAR-raja on 2 W/kg.

SAR-rajoista on johdettu helpommin mitattavia viitearvoja sähkökentälle (V/m), magneettikentälle (A/m) ja niistä lasketulle tehotiheydelle (W/m²). Jos kentänvoimakkuus on korkeintaan viitearvon suuruinen, siihen joutuva ihminen ei altistu pahimmassakaan tapauksessa SAR-rajat ylittävälle säteilylle. Pahinta tapausta määritettäessä on huomioitu ihmisten koko- ja painoerot sekä erilaiset asennot, joten useimmissa tapauksissa viitearvot lievästi ylittävä kenttä ei vielä aiheuta rajat ylittävää SAR-arvoa.

2.2.3 Gravitaatio säteily

Gravitaatio-säteily on fyysikko Albert Einsteinin luoman suhteellisuus teorian ennustama. Klassiselle mekaniikalle tuntematon, aihealue on Gravitaatiosäteily. Kun Gravitaatio säteilyä vertaa aalto-hiukkas-dualismiin, niin tässä kohtaa näitä vastaa gravitoni. Einstein tutki suhteellisuusteoriassaan näitä ilmiöitä, luomiensa kenttäyhtälöiden turvin. Suhteellisuus teorian ennustamina gravitaatio-aaltoja, ei kuitenkaan saa sekoittaa hydrodynamiikan painovoima-aaltoihin. Kuitenkin suhteellisuus teorian kenttä yhtälöt kuvaavat matemaattisesti sitä, Gravitaatio-aaltojen syntymekanismia, kun massa on kiihtyvässä liikkeessä.

(Scenario Development Environment, 2014)

Ihmissilmin havaittavia gravitaatio-säteilyä, saattaa näkyä esimerkiksi pulsarien eli neutronitähtien muodossa, joka on niin sanottu tähden jäännös, neutronitähti joka on syntynyt linnunradan aurinkoa suuremman supernova räjähdyksessä, sekä neutronitähtien yhteydessä, näiden ollessa nopeasti kiihtyvässä nopeudessa.

(Scenario Development Environment, 2014)

3 SÄTEILYTURVALLISUUS

3.1 Säteilyturvakeskus

Säteilyturvakeskuksen, lyhennettynä (STUK), päätehtävänä on vähentää mahdollisimman paljon ihmisiin kohdistuvaa säteily altistusta, joka johtuu ihmisestä itsensä, sekä vähentämään erinäisillä toimenpiteillä luonnosta tulevaa luonnon mukaista säteilyä. Säteilyturva keskuksen työnkuvaan mukaan luetaan, myös ydinjäte huollon rahoittamista ja toiminnan ohjaamista, jotka ovat Säteilyturvakeskukselle annettuja tilaustutkimuksia viranomaisten vaatimuksista, jotka kuitenkin suoritetaan eri tutkimuslaitoksissa.

(STUK, Säteilyturvakeskuksen tutkimustoiminta ja tutkimushankkeet, 2014)

Säteilyturvakeskuksen (STUK), työtehtäviin kuuluvat perehtyvät haitalliselta säteilystä suojautumiseen että säteilyn aiheuttamiin terveyshaittoihin ihmisessä.

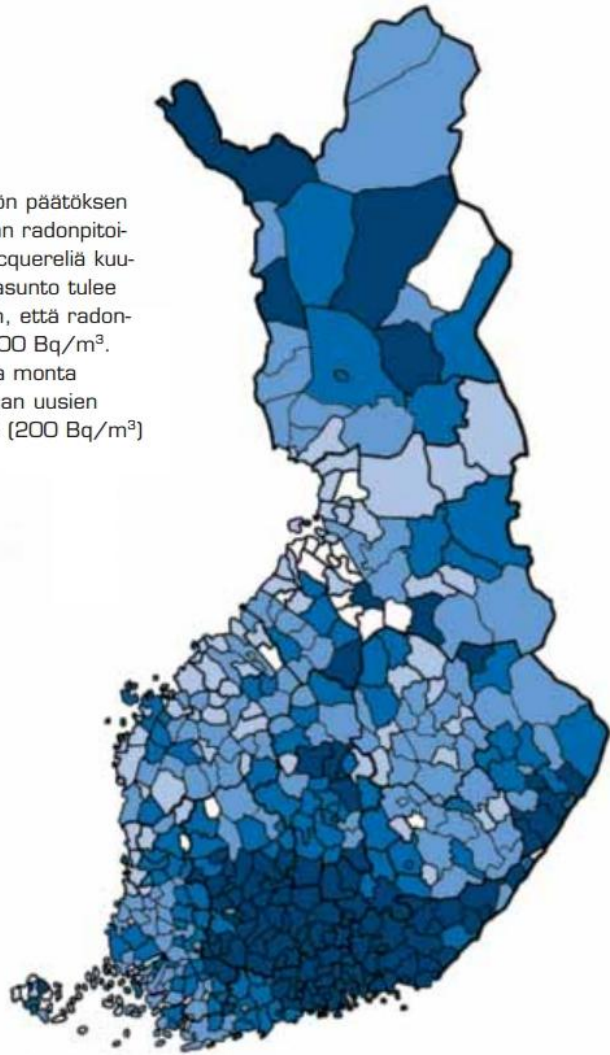
Säteilyturvakeskus valvoo siis myös ihmisten altistumista luonnossa esiintyvälle Radon säteilylle, joista STUK tarjoaa palveluita paikantamaan Radon säteilyn lähteet rakennuksissa, STUK on myös mittauttanut Suomen Radon pitoisuudet alueittain joista kuva 10, hahmottaa missä päin Suomea on suurimmat Radon pitoisuudet.

(STUK, Säteilyturvakeskuksen tutkimustoiminta ja tutkimushankkeet, 2014)

Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen mukaan asunnon huoneilman radonpitoisuus ei saisi ylittää 400 becquereliä kuutiometrissä (Bq/m^3). Uusi asunto tulee suunnitella ja rakentaa siten, että radonpitoisuus ei ylittäisi arvoa $200 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Kartan värit kuvaavat kuinka monta prosenttia mittausten mukaan uusien asuntojen radon-tavoitearvo ($200 \text{ Bq}/\text{m}^3$) ylittyy eri alueilla.



Lähde: STUK



Kuva 10, Suomen Radonpitoisuudet
(Energiateollisuus, Hyvä Tietää Säteilystä, 2009)

3.2 Säteilytyöntekijöiden turvarajat

Säteilytyötä tekeville säteilyviranomaiset, jotka ovat määrittäneet tutkimuksiin perustuvat säteilyturvarajat, joita noudattamalla säteilyn aiheuttamat haitat pyritään pienentämään, säteilylle altistavissa töissä niin vähäisiksi kuin mahdollista. Tästä säteilyvalvonnasta vastaavat säteilyviranomaiset ja sekä työnantajan vastuulle, jää myös säteilyn vaikutusalueella olevien työntekijöiden terveydestä huolehtiminen, joka on pääasiassa Suomessa Valtakunnallisesti Säteilyturvakeskuksen huolenaiheena, seuraavaksi suurimmassa vastuussa ovat työnantajat jotka työllistävät työntekijät säteilyä sisältäville työ aloille.

Säteilyviranomaiset ovat määrittäneet rajat säteilytyössä työskenteleville, etteivät he turhaan altistuisi liialliselle säteilylle, jolla on ikävät vaikutukset ihmiseen, kuten DNA- juosteen, tuhoutumista säteilyn kautta, lievemmissä tapauksissa pahoinvointia, kilpirauhasen vajaatoimintaa, ja pahimmassa tapauksessa kuolema.

Säteilytyössä viiden vuoden aikana työntekijä saa altistua korkeintaan 100 mSv annokselle, eikä säteilyn aiheuttama vuosittainen annos ylitä 50 mSv säteilymäärää. Säteilyaltistusta kuitenkin tarkkaillaan jatkuvasti, työolosuhteiden huomioimisella että annosnopeuksien tarkkaillulla.

(TVO, Säteilytyö, 2015)

Säteilyä sisältävässä työssä käytettävää säteilyannosnopeuden mittaria kutsutaan dosimetriksi. Alapuolella oleva kuva 11 on tilanteesta jossa säteilytyöntekijä, on pukeutunut säteilyltä eristävään haalariin, lisäksi laki sanoo että jokaisella säteilytyöntekijällä tulee olla oma henkilökohtainen dosimetri.

(TVO, Säteilytyö, 2015),(STUK, Säteilyaltistuksen seuranta, 2015)

Jokaisella säteilyn kanssa tekemisiin joutuvalla työntekijällä on lain mukaan oltava henkilökohtainen säteilyannosmittari. Ydinvoimalaitoksessa on erikoiskoulutettu säteilysuojeluhenkilöstö, joka valvoo ja huolehtii kaikkien työntekijöiden säteilysuojelusta ja annostarkkailusta. Kaikkea säteilyn käyttöä Suomessa valvoo Säteilyturvakeskus (STUK).



Kuva 11, Säteilytyöntekijä ja vaadittu henkilökohtainen dosimetri (Energiateollisuus, Hyvä tietää säteilystä, 2007)

Säteilytyöntekijöille on määritetty turvarajat A ja B, joka siis tarkoittaa että olosuhteet joissa vuosittainen säteilyannos voi nousta yli 6 mSv, luokitellaan A –luokkaan. B-säteilyluokkaan luokitellaan he, joiden työolosuhteissa kertyvä vuosittainen säteilyannos jää alle 6 mSv. Raskaana olevat työntekijät, luokitellaan B- säteilytyöluokkaan jottei kehittyvä sikiö vaurioituisi. Raskauden aikana työntekijä saa saada korkeintaan 1 mSv:n suuruisia säteily-annosta, sekä raskaana olevat työntekijät eivät voi työskennellä raskauden aikana A-säteilyluokassa. Säteilytyöntekijöiden turvarajojen vaatimustasojen perusteella, säteilyrajat määritellään. Näin tehden, varmistetaan että terveydentila vastaa säteilyturvaluokitusta. Töissä on varmistettava säteilytyön turvallisuus ja vaikutus ihmisen terveyteen. Siksi myös säteilyn kanssa työskennellessä, on lain mukaan oltava mukana säteilyannosmittari. Säteilyä sisältävissä töissä ja sillä mitattava henkilökohtaisella säteily-annos mittarilla eli dosimetrilla, työntekijään kohdistuvaa säteilyannosta josta kuva 12 näyttää.

(TVO, Säteilytyö, 2015)



Kuva 12, Henkilökohtainen säteilyannosmittari eli dosimetri
(STUK, Säteilyaltistuksen seuranta, 2015)

Säteilyluokka A- on työskentelemistä sellaisessa säteilyssä, jossa säteilyn annos määrä vuodessa voi nousta yli $6 \mu\text{Sv}/\text{vuosi}$, ryhmään kuuluvat myös henkilöt jotka joutuvat käyttämään raskasta suojaruustusta säteilyn määrän vähentämiseksi, näitä ovat esimerkiksi ylimääräinen suojarahku, hengityssuojain. Säteilyturvaluokassa A työskenteleville on järjestettävä annostarkkailu, annostarkkailu tarkoittaa että tarkistetaan ihmiseen kohdistuvia säteily tasoja säteilymittarein ja säännöllisin terveystarkastuksin, jonka jakson pituus on enintään kuukauden mittainen. Alla oleva Kuva 13, on näyttöä siitä miten vakavasti säteilyltä suojautuminen tulee ottaa kun työskennellään, säteilylle enemmän altistavan A-säteilyluokan työtehtävissä.

(TVO, Säteilytyö, 2015)



Kuva 13, Säteilytyön lisävarusteet A-säteilyluokassa (TVO, Säteilytyö, 2015)

A-luokkaan kuuluvilla säteilytyöntekijöillä, Pitää olla alkutarkastus ennen työhön ottoa, jonka suorittava taho on lääkäri jonka STUK on nähnyt päteväksi tehtävään. Tämän lisäksi, Säteilyturvaluokkaan A-kuuluvan työntekijän tulee osallistua vuosittaiseen Terveyden tarkastukseen, jotta nähdään voiko työntekijä terveystensä puolesta jatkaa tehtävässä.

(STUK, Terveystarkkailu, 2014)

Suuri säteilyannos tuhoaa paljon elinvoimaisia soluja johtaen lopulta säteilysairauteen asti. Säteilysairaudet voivat aiheuttaa soluperimän muutoksia ihmisen DNA-juosteessa, kuitenkin säteilyn vaarallisuus on siitä kiinni tuleeko annos lyhyen vai pitkän ajan kuluessa. Säteily voi kerryttää radioaktiivista jodia ihmisen kilpirauhasen joka liian suuren annoksen saatuaan voi johtaa kilpirauhasen vajaatoimintaan. Alapuolella on kuva 14 siitä miten Ionisoiva säteily vaikuttaa ihmisen DNA-juosteen rakenteeseen.

(STUK, Säteilyn terveysvaikutukset, 2009),(STUK, Miksi Joditabletteja nautitaan, 2009),(STUK, Säteilyonnettomuuden vaikutukset, 2014)

Säteilyn seurauksena solun vesimolekyyleistä syntyy vapaita radikaaleja, jotka ovat erittäin reaktiivisia ympäristönsä kanssa. Vapaat radikaalit katkovat molekyylien sidoksia ja synnyttävät solulle vaarallisia molekyyliä ja uusia vapaita radikaaleja. Erittäin haitallisia vapaita radikaaleja ovat osuessaan solun perimään eli DNA-molekyyliin. Kuvassa hydroksyyliiradikaali on iskemässä DNA:n sokeriosaan.

Lähde: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory



Kuva 14, Säteilyn vaikutus ihmisen perimään

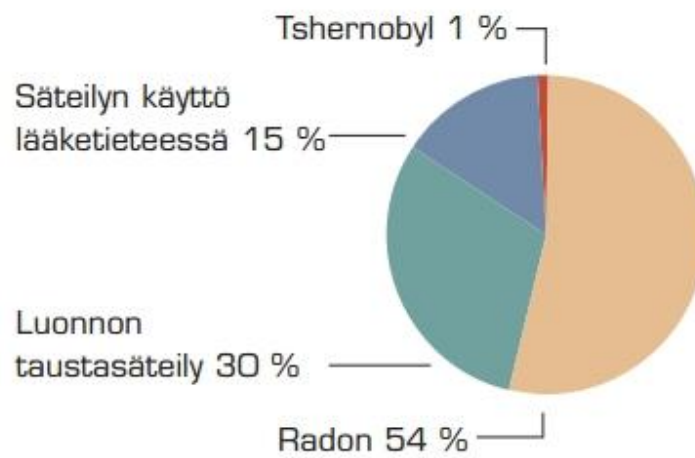
(Energiateollisuus, Hyvä Tietää Säteilystä, 2009)

Säteilyluokassa B työskentelevältä, vaaditaan Alkutarkastus, mutta hänellä ei ole tarvetta säännöllisen terveyden tilan tarkkailuun johtuen säteilysuojeluun liittyvistä tarpeista. Mutta heidänkin on kuitenkin tehtävä vaadittava alkutarkastus ennen töihin ottamista, tai viimeistään kuukausi töihin ottamisen jälkeen, Kuitenkaan lääkärin joka alkutarkastuksen tekee, ei tarvitse olla Säteilyturvakeskuksen hyväksymä, jos tarkastuksen kohde kuuluu B-säteilyturvaluokkaan. B- Säteilyturvaluokassa ei tarvita raskaita suojapukuja säteilyn vaimentamiseksi, koska säteilylähteet ovat paljon heikompiä kuin A-säteilyturvaluokassa.

(STUK, Terveystarkkailu, 2014)

Seuraavassa vaiheessa onkin kyse siitä että, ihmisen tulee karttaa mahdollisista luonnollisista säteilylähteistä kuin mahdollista, on kuitenkin otettava huomioon sekin seikka että ihmisessä itsessäänkin on radioaktiivisia aineita, ei kuitenkaan niin paljon että siitä olisi nähtävää haittaa. Ihmiskehon sisäinen säteily annos on noin 0,3 mSv/vuosi, kyseinen radioaktiivisuus kehossa johtuu pääosin luuston Kalium-40 (K-40), Isotoopista, jonka osuus kehon sisäisestä säteilystä on noin 0,2 mSv. Alla oleva kuva 15, selkeyttää käsitystä muista säteilylähteistä mistä Suomalaiset saavat säteilyä

(Energiateollisuus, Hyvä Tietää Säteilystä, 2009)



Suomalaisen saama keskimääräinen säteilyannos vuodessa on noin 4 millisievertiä, josta ydinvoiman osuus on noin 0,0002 millisievertiä.

Kuva 15, Suomalaisten säteilylähteet
(Energiateollisuus, Hyvä Tietää Säteilystä, 2009)

3.3 Säteilyn lähteitä teollisuudessa

Säteilyä on kaikkialla, luonnon tausta säteily ja avaruudesta peräisin oleva kosminen säteily, ihmiskehon sisäinen säteily, altistavat ihmiskuntaa jatkuvasti pienimuotoiselle säteilylle. Kuitenkin on olemassa vielä ihmisen keinotekoisesti luomaa säteilyä, jossa ihminen tarkoituksella tuottaa jonkin säteilylähteen avulla säteilyä jotain suurempaa hyötyä varten, ja tässä on teollisuuden säteilylähteiden käytössä kyse.

Teollisuudessa esiintyvistä säteilystä voidaan magneettikentät tuoda esille, teollisuudessa on myös erinäisiä infrapunasäteilyn, infrapuna säteily tarkoittaa lämpösäteilyä, lähteitä, röntgen säteilyä joita on käytetty teollisuudessa säiliöiden, kattilaitosten kattiloiden pinnankorkeuden mittaamiseen että tiheyden sekä kosteuspitoisuuksien mittaamiseen.

(Tekniikka ja Talous, Teollisuuden käytetyt säteilylähteet talteen, 2002)

4 SÄTEILYN HYÖDYNTÄMINEN TEOLLISUUDESSA

4.1 Materiaalianalyysit

Tapa joka on todettu luontevaksi materiaalien tutkimusmenetelmäksi, on melko lailla vielä uudenkarhea tapa joka perustuu mikroaaltoskannaukseen, kuitenkin tulosten ollessa ehdottoman luotettavia, varsinkin sähköä johtamattomille materiaaleille.

Mikro aalto skannaus - menetelmää käytettäessä, tutkittavan materiaalin ei tarvitse olla aivan kiinni mikro aalto skannerissa. Tarkastus menetelmä toimii niin, että mikro aalto skanneri lähettää mikro aaltoja kohteeseen. Mikro aalto energia, joka lähetetään kappaleen sisälle, heijastuu kappaleen sisäpinnasta signaalina, jonka mikro aalto skanneri mittaa voltteina.

(Inspecta, Asiakaslehti, 2014)

Mikroaalto skannerilla, pystytään havaitsemaan materiaalien heikkouksia, kuten; halkeamia, huokosia, paksuuseroja, ilmakuplia ja laminointivirheitä. Esimerkiksi Yhdysvalloissa menetelmää on käytetty tarkastamaan lentokoneiden ja panssarivau-
nujen materiaalien kuntoa. Mikroaalto skannerilla pystytään tulevaisuudessa esimer-
kiksi tutkimaan seinäpintojen takana olevien kosteuksien havaitsemiseen. Suomessa mikroaaltoja käytetään kemian teollisuudessa ja prosessi teollisuudessa lasikuituisten putkien ja säiliöiden tarkastukseen.

(Inspecta, Asiakaslehti, 2014)

4.1.1 Rikkomaton aineenkoestus

Ainetta rikkomattomat tarkastusmenetelmät eli NDT-menetelmät (NDT, on sanalyhenne joka , tulee englannin kielisistä sanoista Non Destructive Testing) ovat tärkeä osa sekä tuotteiden, tuotannon että materiaalien laadun varmistusta, jolla pyritään varmistamaan, tuotteen täyttävän käyttäjän tarpeet ja odotukset.

(NDT- tarkastuskäsikirja, Jukka Martikainen, 1993)

Radiografisia tarkastus menetelmiä röntgen kuvaus sekä gamma kuvaus Isotooppien avulla (kuten Iridium-192, Coboltti-60 ja Cesium-137), sekä kiihdytinkuvaus (kuten esimerkiksi mikrotroni, beatron, lineaarikiihdytin ja van de Graaff- generaattori).

(NDT- tarkastuskäsikirja, Jukka Martikainen, 1993)

Radiografinen tarkastus on aineeseen kohdistettua ionisoivaa säteilyä, useimmiten radiografinen tarkastelu tulos pystytään tutkimaan vasta tarkistettavan aineen takana olevalla virheiden havainnollistajalla, yleensä röntgen säteilyn käyttöön tarkoitettulla filmillä.

(NDT- tarkastuskäsikirja, Jukka Martikainen, 1993)

Kun radiografinen tarkastus on tehty, tulokset näkyvät filmillä, johon tulee mustemilla kohdilla virheet näkyviin, ehjien kohteiden jäädessä vaaleammiksi, ja tältä kyseiseltä röntgen filmiltä tarkistetaan aineen sisältämät virheet. Tästä voidaan nähdä että röntgen säteilyn perustuva tarkastusmenetelmä perustuu aineen paksuuksien mittauksiin.

(NDT- tarkastuskäsikirja, Jukka Martikainen, 1993)

Radiografisen, Ionisoivaan säteilyyn perustuvan aineentarkastusmenetelmän huonoihin puoliin ehtoina pidetään virheen suuntaa säteilyyn nähden, eli jos virheen koko on ionisoivan säteilyn suunnassa, 1% - 2% tarkastettavan aineen paksuudesta.

(NDT- tarkastuskäsikirja, Jukka Martikainen, 1993)

Radiografisen tarkastusmenetelmän heikkouksiin voidaan mukaan lukea, aineen pinnassa olevien tasomaisten virheiden, esimerkiksi halkeamien tarkasteleminen aineen pintaa vastaan, joten ei voida varmasti tietää että radiografinen tarkastusmenetelmä havaitsisi varmasti niitä, sillä jos niiden suunta on epäedullinen lähtevän säteen kulmaan nähden, niin silloin näitä tasomaisia virheitä ei välttämättä havaita.

(NDT- tarkastuskäsikirja, Jukka Martikainen, 1993)

Röntgen säteilyn hyviin puoliin kuulu että sillä voidaan tarkastaa suurella todennäköisyydellä kaikki, kolmiulotteiset virheet kuten huokokset, kuonasulkeumat, sekä erilaiset muotovirheet. Se on lähes ainoa tapa tarkistaa alle 5 mm paksuisia teräksiä.

(NDT- tarkastuskäsikirja, Jukka Martikainen, 1993)

4.1.2 Lämpökäsittely

Lämpösäteilyä eli toiselta nimeltään Infrapuna-säteilyä, käytetään esimerkiksi rakennusten lämpö-vuotojen tarkastelussa. Kyseinen tekniikka perustuu, siihen että kohdeaineessa vallitsee tietty lämpötila, jonka kohde lähettää takaisin vastaanottimelle, jolloin eri lämpötilat näkyvät lämpökamerassa eri väreillä.

(Paikkatiетоikkuna, 2014)

Lämpökameran näyttämät värit pitää kuitenkin osata tulkita oikein, sillä ne ovat riippuvaisia aineen ominaisuuksista, käyttäytymisestä eri lämpötiloissa sekä materiaalin lämpöteknisestä toiminnasta. Epätasaisissa kohteissa, kuten rakennuksen ulkoseinällä, lämpökuvajaajan tulee tietää milloin on kyse viasta ja milloin sen syyksi paljastuu materiaalin luonnollinen ominaisuus.

(Paikkatiетоikkuna, 2014)

Kun Lämpökamerakuvaukset tehdään ilmasta käsin, näin voidaan teollisuuden käyttämiä voimansiirtolinja ja kytkinkenttien kuntoa tarkastella yläilmoista käsin. Paperiteollisuus käyttää samaa tekniikkaa yhtenä osanapaperin tuotto prosessin kunnossapitoa, näiden tulosten perusteella tehdään tarvittavat korjaustoimenpiteet.

(Paikkatiетоikkuna, 2014)

Metalli-alan yrityksillä, on käytössä tarkkaan kohdennettua lämpökäsittely tekniikkaa, kun halutaan yhdistää kaksi metalli kappaleita toisiinsa, jonka jälkeen kyseisille hitsaus-saumoille, voidaan työvaiheen jälkeen tehdä Lämpökamera kuvaus, jossa nähdään mahdolliset sauma virheet.

(Bodycote, 2015)

Kohdennetun lämpökäsittelytekniikka joka käyttää hehkulankaa apuna erittäin suurten elektronisuihkun luomiseen, menetelmän nimi on Elektronisuihku hitsaus, jossa periaatteellisesti käytetään hehkulangan avulla saatavaa paljon energiaa sisältävää elektroni suihkua. (EBW) Elektronisuihkuhitsaus, kyjossa kyseinen tekniikka on erityinen liitostekniikka, jossa saadaan lähes täydellisen tarkka liitos luotua mahdollisimman pienillä virheillä.

(Bodycote, 2015)

Elektronisuihkuhitsauksessa tämä elektroni suihku ohjataan hitsausta vaativaan liiketukseen. Kun hitsauksessa kohdennetaan lämpötilan nousu pienelle alueelle, niin silloin lämpötilan nousu on erittäin paikallinen, jolla ei ole vaikutusta kokoonpanon runkoon, joka pysyy prosessin ajan viileänä ja stabiilissa tilassa. Alapuolelle on taulukko 5 jossa olen kertonut käsittelyyn liittyvistä eduista, johon tällä tekniikalla voidaan päästä.

(Bodycote, 2015)

Taulukko 5, Elektronisuihku hitsauksen edut (Bodycote, Edut, 2015)

- Alhainen kuumuuden tuotto hitsatuille osille;
- Minimaalinen vääristymä;
- Kapea sulamisvyöhyke (MZ) ja kapea lämmön vaikutusalue (HAZ);
- Syvä läpihitsautuminen 0,05 mm – 200 mm (0,002” – 8”) yksittäisessä pistossa;
- Suuri hitsausnopeus;
- Kaikkien metallien hitsaus, myös niiden joiden lämmönjohtavuus on suuri;
- Sellaisten metallien hitsaus, joiden sulamispisteet poikkeavat toisistaan;
- Tyhjiöprosessi tuottaa puhtaan ja uudelleen työstöön sopivan ympäristön;
- Luonnollinen hitsausprosessi happitaipevaisille materiaaleille, kuten titaanille, zirkoniumille ja niobiumille;
- Koneprosessi, jolla taataan käyttöolosuhteiden luotettavuus ja uudelleen työstettävyys;
- Kustannustehokas hitsausprosessi suurtuotannossa automaattisessa tilassa; ja
- Osia voidaan tavallisesti käyttää hitsatussa tilassa – ei vaadi jälkityöstöä.

Kyseessä on siis melko teknisesti tuore menetelmä. Elektronisuihku hitsaus yllä olevan kuvan perusteella on suhteellisen edullinen tapa. Elektronisuihku hitsaus perustuu seurantasäde menetelmään, josta johtuen, hitsaus kulmien ympäri sekä kulmien jotka ovat sisäänpäin kääntyneitä, ei tällä menetelmällä onnistu.

(Bodycote, 2015)

Kyseinen hitsaus menetelmä on aika salliva, sillä sen avulla voidaan jo kertaalleen lämpökäsiteltyjä metallikokoonpanoja tai osia hitsata. Elektroni suihku-hitsauksella on hyvä toistettavuus tietokoneen prosessin valvonnalla, pystytään tuottamaan tasalaatuisia tuotteita komponenttiterissä.

(Bodycote, 2015)

”Tämä on erittäin taloudellinen menetelmä sellaisten komposiittihammaspyörien tuottamiseen, joiden hammaspyörät on pintakarkaistu ja akseli päästökäsitelty.”, Taulukossa 6 osoitan mille materiaaleille ja käyttökohteille tällaista käsittelyä voidaan hyödyntää.

(Bodycote, 2015)

Taulukko 6, Elektronisuihkuhitsaukseen sopivat Materiaalit ja Käyttökohteet
(Bodycote, Materiaalit ja Käyttökohteet, 2015)

- Ilmailu
 - Suihkukoneiden moottorikomponentit
 - Rakenneosat
 - Vaihteisto-osat
 - Anturit
- Tehon tuottaminen
- Avaruus
 - Titaani säiliöt
 - Anturit
- Tyhjiöjärjestelmät
- Lääketiede
- Autoteollisuus
 - Vaihteisto-osat
 - Hammaspyörät
 - Turboahntimen osat
- Sähkö-/elektroniikkateollisuus
 - Kuparimateriaalista valmistetut osat
- Ydinvoima
 - Polttoaine altaat
 - Rakenneosat
 - Venttiilit
 - Instrumentit
- Tutkimuskeskukset
 - Kupariosat
 - Huippujohtavat materiaalikomponentit
- Sekalaiset käyttökohteet
- Kaikki metallit, myös ne, joiden lämmönjohtavuus on suuri;
 - Teräs ja ruostumaton teräs
 - Alumiini ja seokset
 - Kupari ja seokset
 - Nikkeliseokset ja tulenkestävät metallit
 - Titaani ja seokset
 - Zr, Mo, Ta, Hf, W, Nb, jne.
- Sellaisten metallien hitsaus, joiden sulamispisteet poikkeavat toisistaan;
 - Kuparista teräkseksi
 - Kuparista nikkelseoksiksi
 - Teräksestä nikkelseoksiksi
 - Tantaalista volframiksi

4.2 Ydinvoima

Ydinvoimalan perusidea on tuottaa sähköä, sekä aiheuttaa pommittamalla Uraaniytimiä neutroneilla, jolloin Uraani U-238 muuttuu, Uraanin radioaktiivisen hajoamisen seurauksena, plutoniumiksi, ja energiaa vapautuu atomin hajotessa kahdeksi toiseksi atomiksi. ydinreaktion avulla kuluttajan tarpeisiin, ja tämä kyseinen sähkö tuotetaan ydinreaktorissa tapahtuvan uraanin fissioreaktion tuloksena. Uraania käytetään polttoaineena siitä syystä, että se on kohtalaisen halpa ja yleinen alkuaine maaperässä.

(Energiateollisuus, Hyvä Tietää Uraanista, 2006)

Luonnonvaraisena löytyy Uraanin Isotooppeja U-238 jota on noin 98 % ja noin 0,7 % fissiiliä eli hajotettavissa olevaa Isotooppia U-235. Uraani-atomeita pommitetaan neutroneilla. Uraanin Isotooppi U-238 voi muuttua, keinotekoisen neutronipommituksen seurauksena, halkeavaksi Plutoniumiksi (Pu-239).

(Energiateollisuus, Hyvä Tietää Uraanista, 2006)

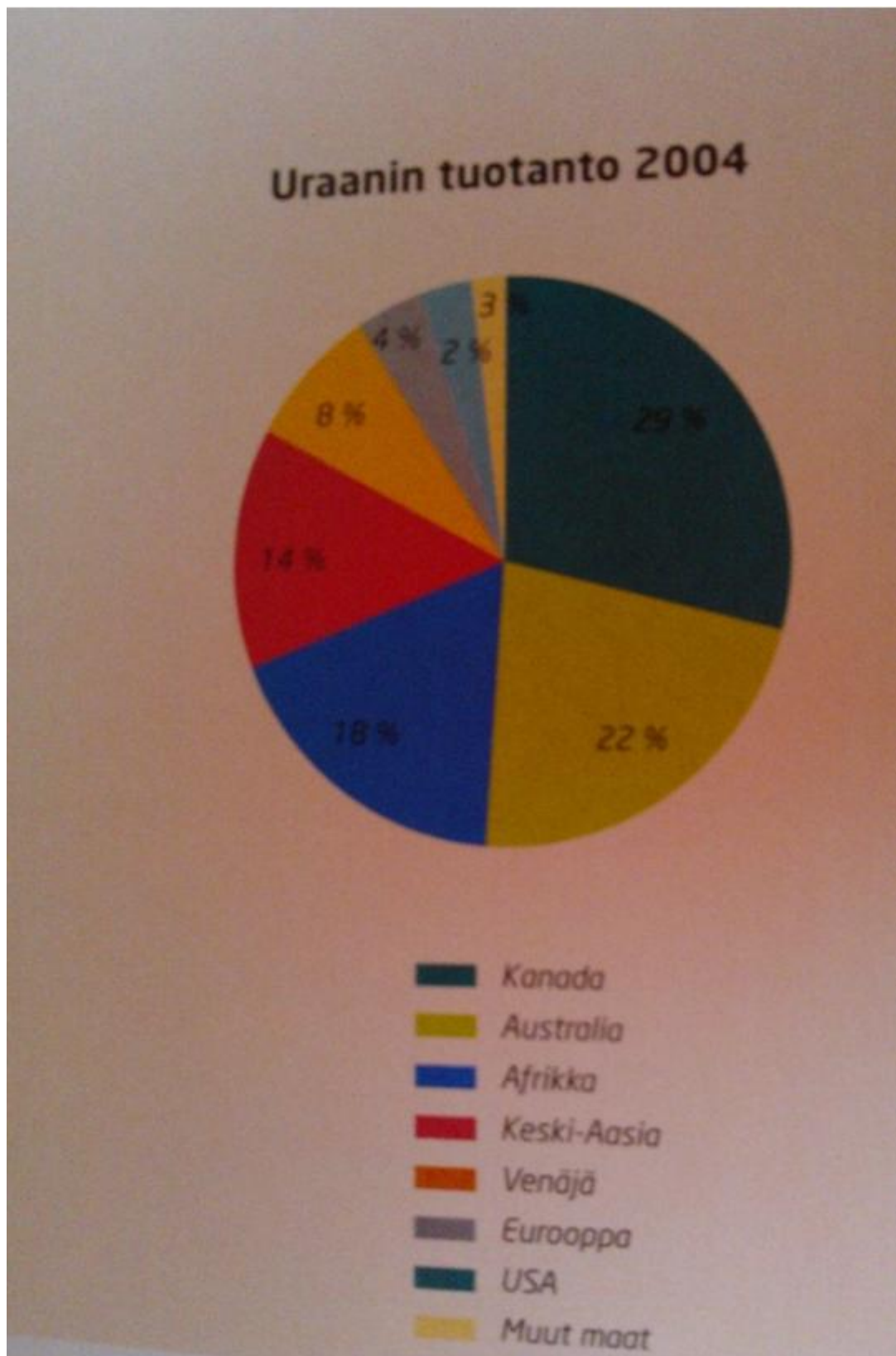
Ydinvoimalan käyttämä polttoaine, Uraani läpäisee ennen voimalaitokselle tuloaan pitkän ja monivaiheisen Uraanin-jalostuksen. Kaikki alkaa Uraanin louhinnasta kaivoksista, jossa on suurimmat tunnetut uraani varannot ovat Australiassa, Pohjois-Amerikassa, Kazakstanissa, Venäjällä, Etelä-Afrikassa, Nigeriassa ja Namibiassa. Uraanin nykyiset kohtuullisin kustannuksin louhittavat varannot ovat suuruudeltaan noin 3 Miljoonaa tonnia. Alapuolelle olen sijoittanut kuvan 16, jossa näkyvät Uraanilähteiden sijainnit maailmalla

(Energiateollisuus, Hyvä Tietää Uraanista, 2006)



Kuva 16, Suurimmat Uraanintuottajamaat vuonna 2004
(Energiateollisuus, Hyvä Tietää Uraanista, 2006)

Uraanin tuotannon jakautuminen yllä olevien maiden, kesken menee kuvan 17, jossa tarkastellaan Uraanin tuotantomääriä vuonna 2014. Kuvassa tuodaan esiin kuitenkin Uraanin suurimmat tuottajat Globaalissa mittakaavassa.



Kuva 17,Uraanin Tuotanto 2004

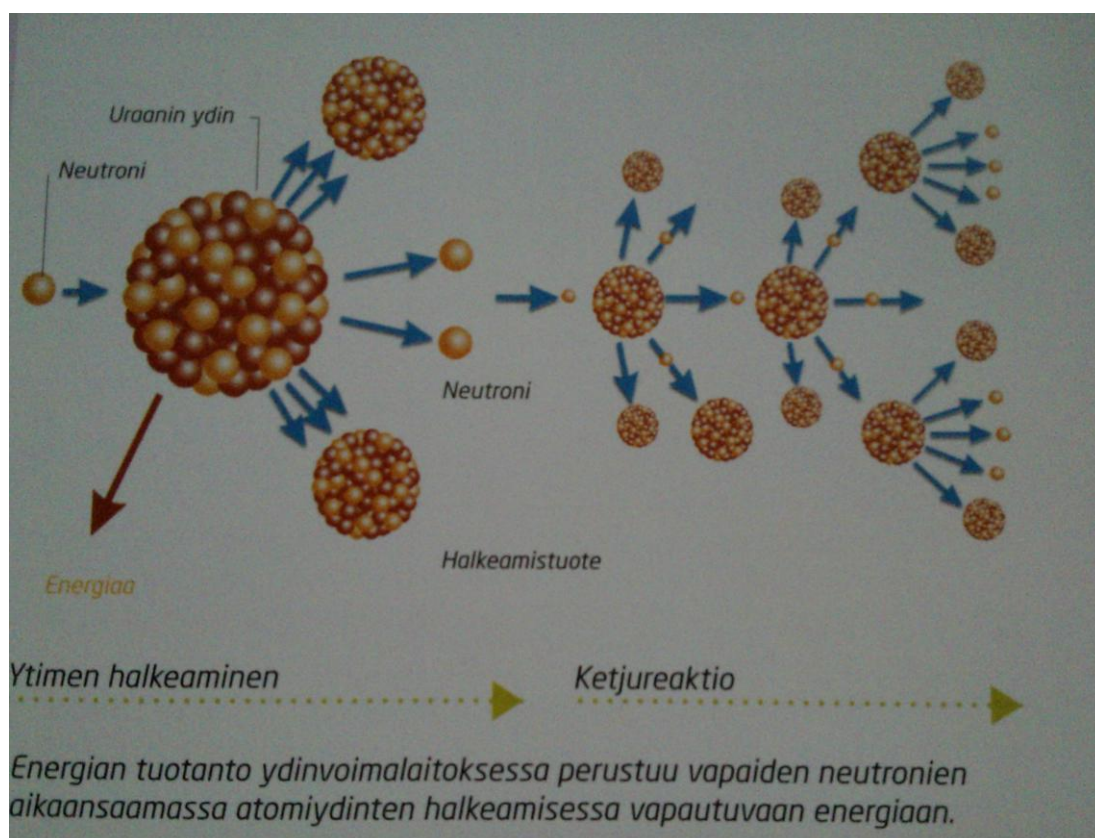
(Energiateollisuus, Hyvä Tietää Uraanista, 2006)

4.2.1 Ydinreaktio

Ydinreaktiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa luonnon raskaimman alkuaineen Uraanin, hajoaa pienemmiksi ytimiksi, kuten Uraanin Isotooppi U-238, Isotooppi tarkoittaa saman alkuaineen atomia jossa on poikkeava määrä neutroneita. Useimmiten ydinreaktiossa käytettävä Uraani on tyyppiä U-235.

(TVO, Ydinreaktio, 2015)

Tähän alla olevaan kuvaan 18 viittaa, ja siinä esiintyy ydinreaktion periaate



Kuva 18, Ydinreaktion periaate

(Energiateollisuus, Hyvä Tietää Uraanista, 2006)

Ydinvoimalan Fissio-ydinreaktiota säädelään ydinreaktorin neutronien tasapuolisuuden avulla. kun reaktorisydämeen lisätään neutroneja imevää materiaa, niin reaktorin teho heikkenee.

(TVO, Ydinreaktio, 2015)

Jos reaktorisydämeen taas lisätään neutroneja, niin silloin ydinreaktorin teho vastavasti suurenee.

(TVO, Ydinreaktio, 2015)

Fissio tuli tutuksi Saksalaisten kemistien Otto Hahn ja Fritz Strassman kautta vuonna 1939. He löysivät fissio-reaktion, syöttämällä neutroneita uraaniliuokseen, jonka seurauksena liuokseen syntyi ennestään tuntemattomia aineita.

(TVO, Ydinreaktio, 2015)

James Chadwick, englantilainen fyysikko, jonka omien tieteellisten kokeiden perusteella löysi neutronin vuonna 1932. Kyseinen neutroni oli poikkeuksellinen hiukkanen, sillä sähköisesti neutraalina hiukkasena, osuessaan atomiytimeen käynnistäen erilaisia kemiallisia ja fysikaalisia reaktioita.

(TVO, Ydinreaktio, 2015)

4.2.2 Ydinjäte

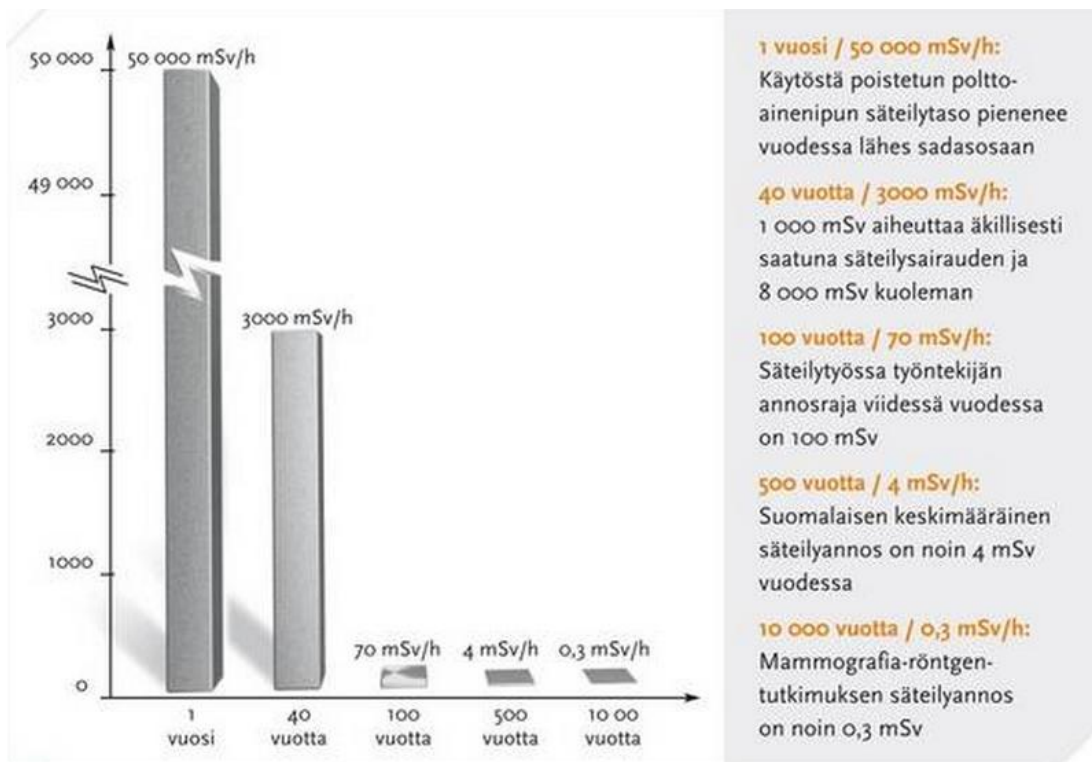
Kun Uraani poltto-ainesauvat, poltto-aine sauvat tarkoittavat reaktoriin sijoitettuja polttoaine nippuja joilla on tiivis ulkokuori jonka tarkoituksena on vaimentaa säteilyä sekä käytön aikana, on ollut ydinreaktorissa noin 3 vuotta, sitä on käytetty niin paljon että siitä ei ole energian tuotannon eikä siitä ole myöskään taloudellista etua. alla oleva kuva 19 näyttää Uraani-polttoaineen kierron ydinvoimaloissa, kaivoksista radioaktiiviseksi ydinjätteeksi.



Kuva 19, Ydinpolttoaineen kierto (STUK, Polttoainekierto, 2013)

Ydinjäte on vielä pitkään senkin jälkeen hengenvaarallisen korkean radioaktiivisen säteilyn omaavaa, kun se poistetaan käytöstä. Tämän säteilyvaaran takia ydinvoimaloiden käyttämä polttoaine pitää hävittää jollain tavalla, joka ei altista ihmisiä turhalle radioaktiiviselle säteilylle. Alapuolella oleva kuva 20 selventää radioaktiivisuuden vähentymistä ajan suhteen.

(TVO, Ydinjätehuolto, 2015)



Kuva 20, Ydinjätteen aktiivisuus (Posiva, 2015)

4.3 Ydinjätteen sijoitus

Ydinvoimalassa käytetyn uraanin polttoaine pellettien elämänkaaren loppupäässä, jotka ovat näytetty kuvassa 21, ovat käytön jälkeen käyttökelvottomia uusintakäyttöön.



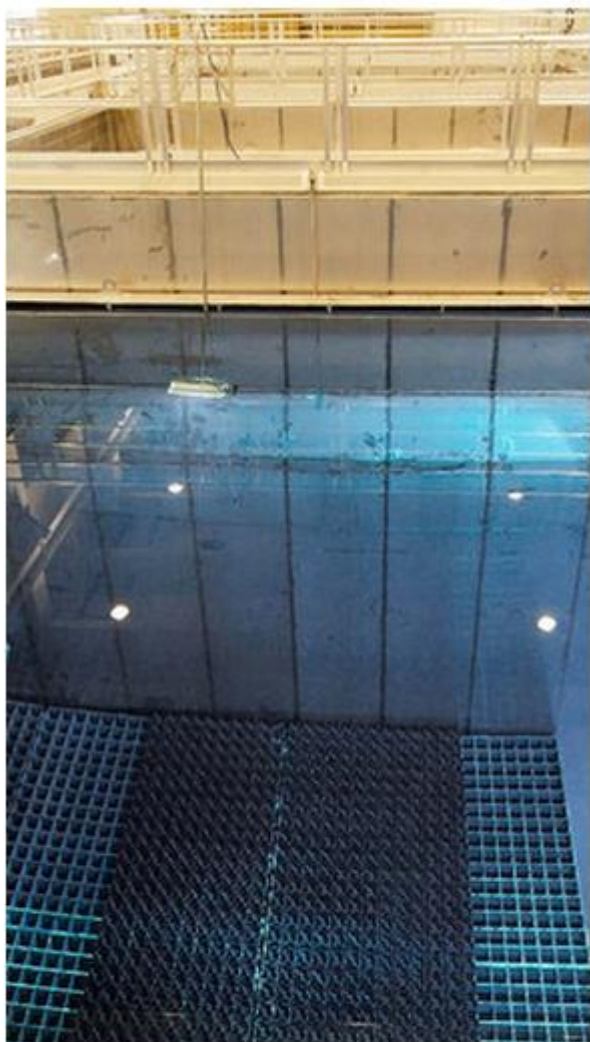
Kuva 21, Uraani polttoaine pellettejä (Posiva, 2015)

4.3.1 Ydinjätteen väliaikainen varastointi

Ydinpolttoainenippuja, jotka ovat poistettu ydinreaktorista, jäähdytetään vesialtaissa jossa niiden annetaan olla muutama ensimmäinen vuosi. Alla on kuva 22 polttoaineen välivarastoinnista vesialtaassa.

(Posiva, 2015)

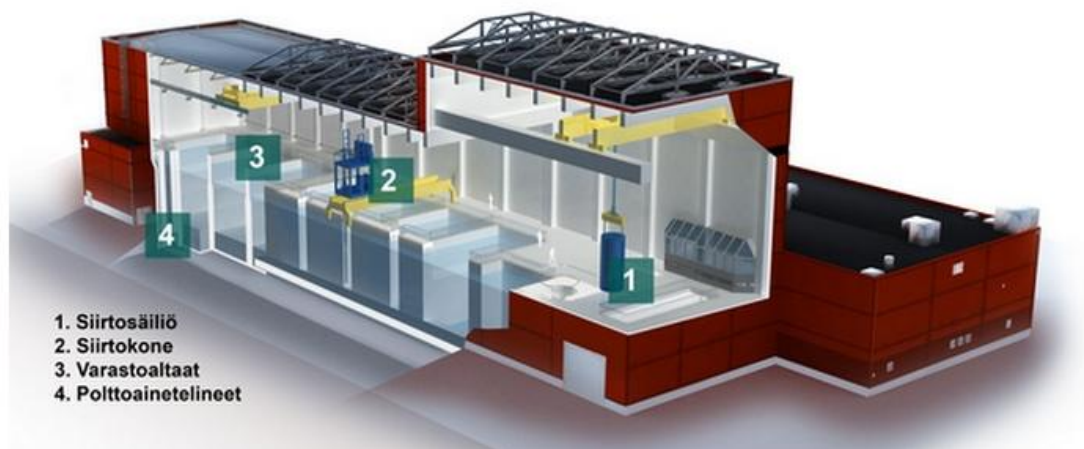
Kuva 22, Käytetyn Ydinjätteen väliaikavarasto (Posiva, 2015)



*Käytettyjä polttoainenippuja Olkiluodon
käytetyn polttoaineen välivarastossa*

Alapuolella oleva kuva 23 antaa kokonaisvaikutelman, väliaikavaraston rakenteesta. Ydin jätettä tulee Olkiluodossa noin 150 – 200m³ ja Loviisassa 100 – 150m³. Matala-aktiiviset ydinjätteet puristetaan 200 litran tynnyreihin, Matala-aktiivinen jäte tarkoittaa esineitä tai asioita joihin on tarttunut radioaktiivisia aineita. (Posiva, 2015)

Kuva 23, Käytetyn Ydinpolttoaineen väliaikavaraston rakennus (Posiva, 2015)



Keskiaktiivinen jäte tarkoittaa voimalaitoksen vesien puhdistusmassaa, johon on liuennut radioaktiivisia aineita. Ja niin kutsuttu korkea –aktiivinen jäte on käytettyä poltto ainetta joita ydinvoimaloissa käytetään. (Posiva, 2015),(TVO, Ydinjätehuolto, 2015)

Kuitenkin Vastuu Ydinjäte huollosta on pääasiallisesti Voimalaitoksen huolenaihe. Ydinjäte pitää Suomen lain mukaan, varastoida Suomeen, ja lisäksi sen vienti ulkomaille on kiellettyä. (TVO, Ydinjätehuolto, 2015)

4.3.2 Ydinjätteen loppusijoitus

Ennen kuin käytettyä ydinvoimalan polttoaineita voidaan loppusijoittaa, se tarvitsee ydinenergialain lupia ennen kuin voimalaitokselle myönnetään lupa loppusijoittaa, käyttämänsä polttoaineen, sekä matala- että keskiaktiiviset jätteet.

(Posiva, 2015)

Loppusijoituksen toteuttaminen vaatii Loppusijoituksen Periaatepäätöksen, jonka Valtioneuvoston, Työ ja Elinkeino Ministeriö myöntää. Periaate päätökseen kuuluu, ennen hakemista yleinen katsaus laitoksen pääpiirteistä, sekä sen mahdollisista vaikutuksista ympäristöön että alueen ihmisiin. Liitteenä pitää kuitenkin olla Ympäristövaikutusten arviointi selostus.

(Posiva, 2015)

Tämän lisäksi Loppusijoitusluolaan ja kapselointi laitokseen vaaditaan rakennuslupa. Rakennukselle on haettava vielä Loppusijoitus ja kapselointilaitoksen käyttö lupaa. Myöskin kunta johon Loppusijoitusta rakennetaan vaati omat lupansa, kuten kunnan myöntämän rakennusluvan, johon kuuluu sekä seutu- ja yleiskaava että rakennus- tai asemakaava.

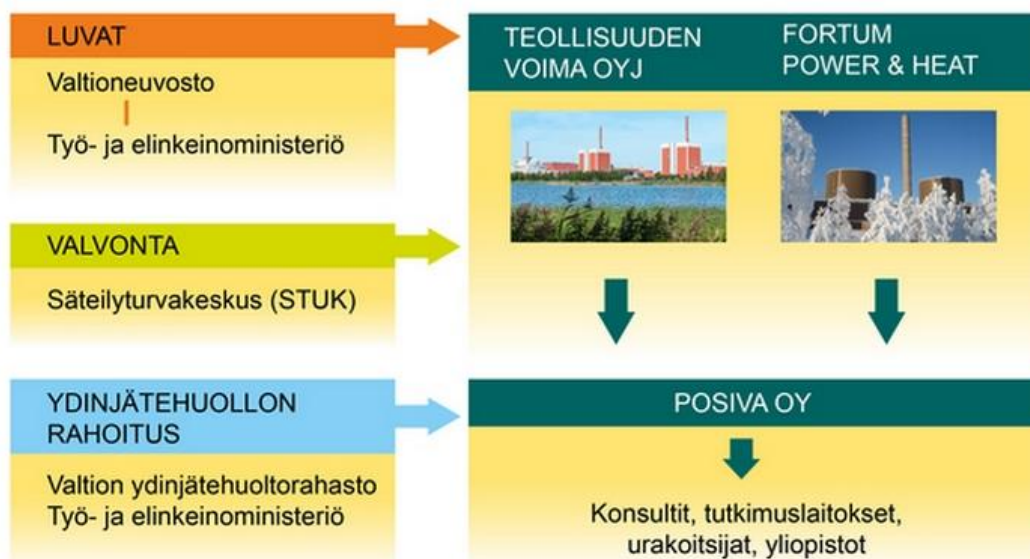
(Posiva, 2015)

Sekä tarvitaan myös paljon muita lupia kuten Säteilyturvakeskuksen (STUK), myöntämän radioaktiivisten aineiden kuljetuslupa. Lisäksi tähän kuuluu Ympäristölupa sekä huomioitava Suomen valtion ympäristön suojeluohjelmat. Sekä muita Tie lakeja että Voimalaitoksen sähköistämiseen liittyvät lait. Alapuolella oleva kuva 24, antaa selkeyttä lupamenettelyihin.

(Posiva, 2015)

Kuva 24, Ydinjätehuolto Suomessa (Posiva, 2015)

Ydinjätehuolto Suomessa

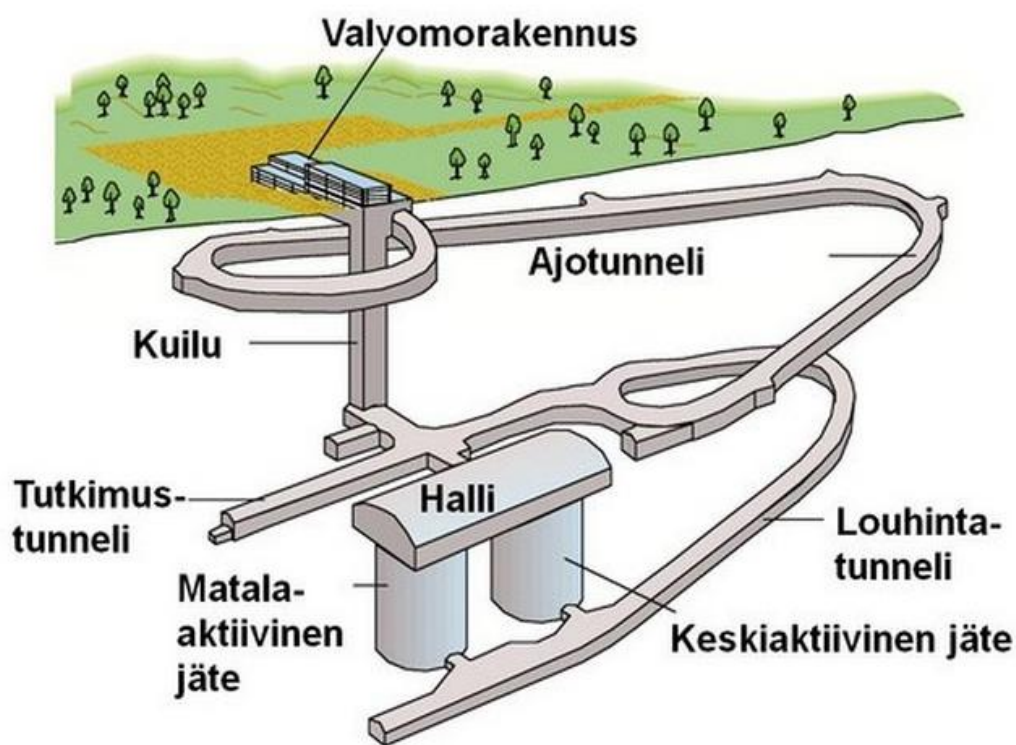


Varsinaisen Loppusjoiutusluolan rakentaminen alkaa vasta kun kaikki luvat ovat kunnossa. Esimerkiksi Teollisuudenvoima (TVO) ja Fortum perustivat Posiva Oy, vuonna 1995, jonka tehtäväksi ulkoistettiin voimalaitosten radioaktiivisten ydinjätteen loppusijoitus.

(TVO, Loppusijoitus, 2015)

Käytetty polttoaine tuodaan Väliaikaisesta käytetyn polttoaineen välivarastoista Voimalaitoksella, Joista se siirretään Kapselointilaitoksen autojen erikois-säiliöiden turvin erikoiskuljetuksena, Kapselointi laitokselle, jossa sijaitsee ydinjätteen loppusijoitus loppusijoituskapseleihin. Alapuolella on kuva 25, Loppusijoitusluolasta jota Olkiluodon Voimalaitokset käyttävät.

(TVO, Loppusijoitus, 2015)



Olkiluodossa käytössä oleva voimalaitosjäteluola.

Kuva 25, Olkiluodon Loppusijoitus luola (Posiva, 2015)

Kun Ydinjäte on saatu Loppusijoituskapseleihin, se kuljetetaan hissillä, Loppusijoitus luolaan.

(TVO, Loppusijoitus, 2015)

Loppusijoitus perustuu siihen että kaikki mahdolliset vapausasteet, joista radioaktiivinen säteily voisi päästä läpi, pyritään estämään kaikin keinoin. Tällä tavoin varmistetaan Ydinpolttoaineen ja muun prosessijätteen turvallinen loppusijoitus, ja varmistetaan, ettei aineita pääse elolliseen luontoon ja ettei ihmiset saa turhia säteilyaltistuksia.

(TVO, Loppusijoitus, 2015)

Vapausasteita Loppusijoituksessa ovat seuraavat asiat, kuten polttoaineen tyyppi, sekä loppusjoituskapseli, betoniitti puskuri että tunneleiden täyte. Näin toimien varmistamme, ettei yhden turvallisuustekijän rikkoontuminen, vaarana ydinjätteen eristystä

(TVO, Loppusijoitus, 2015)

5 TULOSTEN TARKASTELU

Säteilyä on siis paljon käytetty teollisuudessa, siitä syystä että sen avulla voidaan tehdä monenlaisia tarkastuksia teollisuuden prosesseissa kuitenkin tarvitsematta haitata tuotantoa, tarkastukset tehdään NDT- menetelmällä (Non Destructive Testing), joka tarkoittaa rikkomatonta aineenkoestus menetelmää. Muunlaisiakin tarkastuksia voidaan tehdä myös lämpökameroilla jotka paljastavat rakenteiden lämpövuodot.

on myös huomattavaa edistystä tapahtunut, esimerkiksi paperiteollisuudessa joka hyöty käyttää infrapuna-säteilyä tuotannon apuna, jotta paperi massan kuivuminen olisi nopeampaa kuin, että se tulee paperi-koneesta ulos. Säteilyä on käytetty myös rakennusten kunnon tarkastuksissa, joissa etsitään kosteusvaurioita sekä lämpövuotoja.

Säteilyturvallisuuden valvonta on vakavasti otettava asia, ja Säteilyturvakeskuksen työntekijät ymmärtävät säteilyn vakavuuden ja näin ollen opastavat ihmisiä suojautumaan ylimääräiseltä säteilyltä, mikä sinänsä kuulostaa järkevältä sillä sen avulla voidaan ennalta ehkäistä monia sairauksia jotka aiheutuvat säteilystä, tai sen aiheuttamista liitännäis-sairauksista.

Säteily tulee tulevaisuudessa saamaan entistä enemmän jalansijaa teollisuudessa, kun sen hyödyntämisen lisäämiseksi tehdään tutkimuksia, opitaan mahdollisesti käyttämään optimaalisesti säteilyä, kuitenkin niin, että kun siitä tiedetään enemmän, sen avulla todennäköisesti pystyttäisiin osittain automatisoimaan teollisuuden prosesseja sijoittamalla robotteja, säteilytasoltaan ihmiselle hengenvaarallisille säteilyannoksia saavalle alueelle joista voitaisiin tehdä jatko tutkimuksia ja seurata prosessin kehitystä.

6 YHTEENVETO

Säteilyä on olemassa sekä ionisoivaa että ionisoimatonta, näistä kahdesta säteilytyypistä ionisoiva säteily on terveydelle haitallista kun taas ionisoimaton säteily ei ole ollenkaan vaarallista, ionisoivan säteilyn vaarallisuus perustuu siihen että se rikkoo ehjiä soluja ihmisessä, jolloin syntyy vapaita radikaaleja siis tavallaan ioneja jotka ovat valmiita saamaan takaisin menettämänsä elektrodin jolloin on syntynyt kehä joka ruokkii itseään.

Ydinvoimaloissa säteilyä käytetään halkaisemaan uraani-ytimiä, halkeaminen tapahtuu reaktorin sisällä, olevassa polttoaine sauvassa, jonka aiheuttama ytimien hajoaminen aiheutuu ulkopuolelta tulevasta neutroni pommituksesta, joka laukaisee radioaktiivisen hajoamis prosessin. Ytimien hajoamisessa vapautuva energia käytetään sähkön tuottamiseen.

Rikkomattomalla aineenkoestus menetelmällä, voidaan tutkia materiaaleja, silloinkin kun jokin prosessi on käynnissä teollisuudessa, sitä ei tarvitse pysäyttää siksi että tehdään tarkastus, jossa tarkistetaan osan tai toimielimen kunto.

LÄHTEET

SDE, Scenario Development Environment, 2014

Gravitaatiosäteily

http://www.itec-sde.info/fi/search_results?search=%23Gravitational_wave

Viitattu: 16/01/2015

Terve, Perustietoa Säteilystä, Anu Tilsala-Timisjärvi

Säteilyannokset

<http://www.terve.fi/terveyden-abc/perustietoa-sateilysta>

Viitattu: 18/01/2015

The events leading to the birth of the Gray Laboratory at Mount Vernon Hospital,
Oliver Scott, 1953

About Louis Harold Gray

<http://www.lhgraytrust.org/lhgraybiography.html>

Viitattu: 18/01/2015

My Name is BECQUEREL. The stories of the scientists whose names were given to
the international units of measure, Ernst Schwenk, 1994

About Louis Harold Gray

<http://www.lhgraytrust.org/lhgraybiography.html>

Viitattu: 18/01/2015

STUK, Säteilyturvakeskus, Säteilyn suureet ja yksiköt, Jussi Aarnio, 2013

Etelä-Savon Sairaanhoidopiirin kuntayhtymä

http://www.stuk.fi/proinfo/koulutus/fi_FI/RT2013/files/90377850529136035/default/Aarnio-Jussi-RT2013.pdf

Viitattu: 18/01/2015

STUK, 2014

Säteilyturvakeskuksen tutkimustoiminta ja tutkimushankkeet

http://www.stuk.fi/yhteisty/hankkeet/fi_FI/tutkimushankkeet/

Viitattu: 24/02/2015

TVO, 2015

Säteilytyö

<http://www.tvo.fi/S%C3%A4teilyty%C3%B6>

Viitattu: 24/02/2015

STUK, 2015

Säteilyaltistuksen seuranta

http://www.stuk.fi/proinfo/vaatimukset_kaytolle/tyontekijoiden_suojelu/fi_FI/altistuksen_seuranta/

Viitattu: 24/02/2015

STUK, Säteilyturvakeskus, 2014

Ionisoiva säteily

http://www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily/mitaonsateily/fi_FI/ionisoiva/

Viitattu: 3/02/2015

STUK, Säteilyturvakeskus, 2010

Ionisoimaton säteily

http://www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily/mitaonsateily/fi_FI/ionisoimaton/

Viitattu: 3/02/2015

STUK, Säteilyturvakeskus, 2014

Sähkömagneettiset kentät

http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/magneettikentat/fi_FI/sahkomagneettiset-kentat/

Viitattu: 31/01/2015

STUK, Säteilyturvakeskus, 2014

Auringon Ultraviolettisäteily

http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/uvsateily/fi_FI/uvsateily/

Viitattu: 3/02/2015

STUK, 2014

Säteilyonnettomuuden vaikutukset

http://www.stuk.fi/sateilyvaara/fi_FI/onnettomuuden/

Viitattu: 24/02/2015

STUK, 2009

Miksi Joditabletteja nautitaan

http://www.stuk.fi/sateilyvaara/toimintaohjeet/fi_FI/jodi/

Viitattu: 24/02/2015

STUK, 2009

Säteilynterveysvaikutukset

http://www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily/sateilyn_terveysvaikutukset/fi_FI/etusivu/

Viitattu: 24/02/2015

STUK, 2014

Terveystarkkailu

http://www.stuk.fi/proinfo/vaatimukset_kaytolle/tyontekijoiden_suojelu/fi_FI/tervey_starkkailu_1/

Viitattu: 24/02/2015

STUK, Säteilyturvakeskus, 2013

Polttoainekierto

http://www.stuk.fi/ydinturvallisuus/polttoainekierto/fi_FI/polttoainekierto/

Viitattu: 10/02/2015

STUK, Säteilyturvakeskus, 2015

FAQ, Frequently Asked Questions: Mitä eroa on UV-A- ja UV-B-säteilyllä?

http://www.stuk.fi/ajankohtaista/ukk/uvsateily/muut_uv-kysym/fi_FI/muut_uv2/_print/

Viitattu: 3/02/2015

STUK, Säteilyturvakeskus, 2009

Radio-aallot ympäristössämme

http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI/katsaukset/files/87327465798369328/default/radioaallot-ymparistossamme_tammikuu2009.pdf

Viitattu: 3/02/2015

Tarja. K. Ikäheimonen, Säteily ja sen havaitseminen, 2002

Säteilyturvakeskus

Suomen Radiologi yhdistys, Minna Rantanen, 2000

Sädeturvaluento

<http://www.sry.fi/index.php?44>

Viitattu: 18/01/2015

Henri Becquerel, 1896

Aktiivisuus

http://images.slideplayer.fi/7/1913686/slides/slide_3.jpg

Viitattu: 18/01/2015

Käänteisen neliön laki, Wikimedia, 2009

Käänteisen neliön lakia havainnollistava kuva

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/28/Inverse_square_law.svg/2000px-Inverse_square_law.svg.png

Viitattu: 18/01/2015

Inverse Square Law, Carl Nave, 2001

Hyper Physics: Radiation

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/forces/isq.html>

Viitattu: 31/01/2015

Työterveyslaitos, 2014

Säteily

<http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sateily/sivut/default.aspx>

Viitattu: 31/01/2015

Energiateollisuus, 2007

Hyvä Tietää Säteilystä

http://energia.fi/sites/default/files/hyva_tietaa_sateilysta_lr_130808.pdf

Viitattu: 31/01/2015

Energiateollisuus, 2006

Hyvä Tietää Uraanista vihkonen

Viitattu: 10/02/2015

Albert Einstein Biography, 2015

Physics

<http://www.biography.com/people/albert-einstein-9285408>

Viitattu: 3/02/2015

TUT, Turun Yliopisto, 1997

Valo ja muu Sähkömagneettinen säteily

<http://www.astro.utu.fi/edu/kurssit/perusteet/sateily.pdf>

Viitattu: 3/02/2015

Duodecim, 2012

Ultraviolettisäteily (UV) ja sen vaikutus ihmiseen

[http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00682](http://www terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00682)

Viitattu: 3/02/2015

Työterveyslaitos, 2014

Mikroaallot

http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sateily/ionisoimaton_sateily/sahkomagneettiset_kentat/mikroaallot/sivut/default.aspx

Viitattu: 3/02/2015

TVO, Teollisuuden Voima, 2015

Säteilylajit

<http://www.tvofinland.fi/S%C3%A4teilylajit>

Viitattu: 3/02/2015

TVO, Teollisuudenvoima, 2015

Ydinreaktio

<http://www.tvofinland.fi/Ydinreaktio>

Viitattu: 10/02/2015

TVO, Teollisuudenvoima, 2015

Ydinjätehuolto

<http://www.tvofinland.fi/Ydinjatehuolto>

Viitattu: 11/02/2015

TVO, Teollisuudenvoima, 2015

Loppusijoitus

<http://www.tvofinland.fi/Loppusijoitusyky>

Viitattu: 11/02/2015

Posiva, 2015

Mitä Ydinjäte on?

http://www.posiva.fi/loppusijoitus/ydinjatehuolto/mita_ydinjate_on#.VNsCyfmsWCk

Viitattu: 11/02/2015

Paikkatietoikkuna, 2014

Anttoni Jaakkola, Geodeettinen laitos ja Timo Kauppinen, VTT

Lämpökuvauksilla tietoa rakennusten kunnosta

http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/positio_3_2014_lampokuvauksilla_tietoa_rakennusten_kunnosta

Viitattu: 12/02/2015

Bodycote, 2015

Elektronisuihkuhitsaus

<http://www.bodycote.fi/fi-FI/services/metal-joining/electron-beam-welding.aspx>

Viitattu: 12/02/2015

Bodycote, 2015

Elektronisuihkuhitsauksen edut

<http://www.bodycote.fi/fi-FI/services/metal-joining/electron-beam-welding.aspx#tab1>

Viitattu: 12/02/2015

Bodycote, 2015

Elektronisuihkuhitsauksen materiaalit ja käyttökohteet

<http://www.bodycote.fi/fi-FI/services/metal-joining/electron-beam-welding.aspx#tab2>

Viitattu: 12/02/2015

Suomen Hitsausteknillinen yhdistys R.Y

NDT- Tarkastuskäsikirja, 1993

Jukka Martikainen, Erkki Niemi

ISBN 951-96954-0-0

Viitattu: 18/03/2015

Inspecta, 2014

Asiakaslehti 2/2014

http://issuu.com/inspecta/docs/iq_0214-finalpdf-www-hq

Viitattu: 30/03/2015

Tekniikka ja Talous

Teollisuuden käytetyt säteilylähteet talteen, 2002

<http://www.tekniikkatalous.fi/energia/teollisuuden+kaytetyt+sateilylahteet+talteen/a25936>

Viitattu: 23/04/2015