

# YDINLAITOKSEN IKÄÄNTYMISEN HALLINTA

1	JOHDANTO	3
2	SOVELTAMISALA	4
3	YLEISET VAATIMUKSET	4
4	SUUNNITTELU JA HANKINNAT	5
5	VALMISTUS	6
6	KÄYTTÖ	7
7	KUNNONVALVONTA JA KUNNOSSAPITO	7
7.1	Kunnonvalvonta	7
7.2	Kunnossapito	8
7.3	Ohjelmat ja ohjeet	9
7.4	Varaosat	9
8	MUUTOSTYÖT	9
9	TOIMITETTAVAT ASIAKIRJAT	10
9.1	Ikääntymisen hallinnan periaatesuunnitelma	10
9.2	Ikääntymisen hallintaohjelma	11
9.3	Ikääntymisen seurantaraportti	11
10	SÄTEILYTURVAKESKUKSEN VALVONTAMENETTELYT	12
	MÄÄRITELMÄT	12
	VIITTEET	13
	LIITE A TYPILLISIÄ IKÄÄNTYMISMEKANISMEJA	14

Uusien ydinlaitosten osalta tämä ohje on voimassa 1.6.2014 alkaen toistaiseksi. Rakenteilla olevilla ja käyville ydinlaitoksilla tämä ohje saatetaan voimaan erillisellä STUKin päätöksellä. Ohje kumoaa ohjeen YVL A.8, 15.11.2013.

Toinen, uudistettu versio  
Helsinki 2014

ISBN 978-952-478-925-7 (nid.) Kopijyvä Oy 2014  
ISBN 978-952-309-021-7 (pdf)  
ISBN 978-952-309-022-4 (html)

# Valtuutusperusteet

Ydinenergiain (990/1987) 7 r §:n mukaan Säteilyturvakeskuksen tehtävänä on asettaa ydinenergiain mukaisen turvallisuustason toteuttamista koskevat yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset.

## Soveltamissäännöt

YVL-ohjeen julkaiseminen ei sinänsä muuta Säteilyturvakeskuksen ennen ohjeen julkaisemista tekemiä päätöksiä. Vasta kuultuaan asianosaisia Säteilyturvakeskus antaa erillisen päätöksen siitä, miten uutta tai uusittua YVL-ohjetta sovelletaan käytössä tai rakenteilla oleviin ydinlaitoksiin ja luvanhaltijoiden toimintoihin. Uusiin ydinlaitoksiin ohjeita sovelletaan sellaisenaan.

Kun Säteilyturvakeskus harkitsee YVL-ohjeissa esitettyjen, uusien turvallisuusvaatimusten soveltamista käytössä tai rakenteilla oleviin ydinlaitoksiin, se ottaa huomioon ydinenergiain (990/1987) 7 a §:ssä säädetyt periaatteet: *Ydinenergian käytön turvallisuus on pidettävä niin korkealla tasolla kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista. Turvallisuuden edelleen kehittämiseksi on toteutettava toimenpiteet, joita käyttökokemukset ja turvallisuustutkimukset sekä tieteen ja tekniikan kehittyminen huomioon ottaen voidaan pitää perusteltuina.*

Ydinenergiain 7 r §:n kolmannen momentin mukaan *Säteilyturvakeskuksen turvallisuusvaatimukset velvoittavat luvanhaltijaa, kuitenkin niin, että luvanhaltijalla on oikeus esittää muunkinlainen kuin vaatimuksissa edellytetty menettelytapa tai ratkaisu. Jos luvanhaltija vakuuttavasti osoittaa, että esitetty menettelytapa tai ratkaisu toteuttaa tämän lain mukaisen turvallisuustason, Säteilyturvakeskus voi sen hyväksyä.*

# 1 Johdanto

101. Ydinlaitoksen järjestelmiin, rakenteisiin ja laitteisiin kohdistuu lukuisia rasituksia, minkä seurauksena niiden eheys ja toimintakyky voivat heiketä. Järjestelmiin, rakenteisiin ja laitteisiin liittyvät vaatimukset voivat myös ydinlaitoksen käyttöiän aikana muuttua ja saatavilla oleva teknologia voi kehittyä niin, että järjestelmät, rakenteet ja laitteet eivät enää vastaa vaatimustasoa. Näihin tekijöihin eli järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden ikääntymiseen varaudutaan jo suunnitteluvaiheessa ja niitä hallitaan valvomalla ja ylläpitämällä järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden vaatimuksenmukaisuutta aina niiden käytöstä poistoon asti.

102. Tämän ohjeen oikeusperustana ovat seuraavat säädökset.

Ydinenergiain (990/1987) [1] mukaan:

7 a §: *Ydinenergian käytön turvallisuus on pidettävä niin korkealla tasolla kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista. Turvallisuuden edelleen kehittämiseksi on toteutettava toimenpiteet, joita käyttökokemukset ja turvallisuustutkimukset sekä tieteen ja tekniikan kehittyminen huomioon ottaen voidaan pitää perusteltuina.*

7 f §: *Turvallisuuden on oltava etusijalla ydinlaitoksen rakentamisessa ja käytössä.*

*Tämän lain 5 luvussa tarkoitetun rakentamisluvan haltija vastaa siitä, että ydinlaitos rakennetaan turvallisuusvaatimusten mukaisesti.*

*Tämän lain 5 luvussa tarkoitetun käyttöluvan haltija vastaa siitä, että ydinlaitosta käytetään turvallisuusvaatimusten mukaisesti.*

*Ydinlaitoksen kuntoa ja käyttökokemuksia on seurattava ja arvioitava järjestelmällisesti.*

Ydinenergia-asetuksen (161/1988) [2] mukaan

111 §: *Säteilyturvakeskus valvoo ydinlaitoksen käyttöä sen varmistamiseksi, että laitoksen käyttö on turvallista ja että sen käytössä noudatetaan lupaehtoja ja hyväksytyjä suunnitelmia*

*ja että käyttö on muutoinkin ydinenergiain ja sen nojalla annettujen määräysten mukaista. Ydinenergian käytön valvonta kohdistuu myös ydinlaitoksen järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden huoltoon, korjauksiin, tarkastuksiin ja testauksiin.*

Valtioneuvoston asetuksen ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta (717/2013) [3] mukaan

3 §: *Ydinvoimalaitoksen turvallisuutta on arvioitava rakentamislupaa ja käyttöilupaa haettaessa, laitosmuutosten yhteydessä sekä määräaikaisten turvallisuusarviointien yhteydessä laitoksen käytön aikana. Turvallisuusarvion yhteydessä on osoitettava, että ydinvoimalaitos on suunniteltu ja toteutettu siten, että turvallisuusvaatimukset täyttyvät. Turvallisuusarvion tulee kattaa laitoksen kaikki käyttötilat. Ydinvoimalaitoksen turvallisuutta on arvioitava myös tapahtuneen onnettomuuden jälkeen ja, mikäli tarpeellista, turvallisuustutkimusten tulosten perusteella.*

4 §: *Turvallisuustoimintoja toteuttavat sekä niihin liittyvät järjestelmät, rakenteet ja laitteet on suunniteltava, valmistettava ja asennettava sekä niitä on käytettävä siten, että niiden laatutaso ja laatutason todentamiseksi tarvittavat arvioinnit, tarkastukset ja testaukset, mukaan lukien ympäristökelpoisuus, vastaavat kohteen turvallisuusmerkitystä.*

5 §: *Ydinvoimalaitoksen suunnittelussa, rakentamisessa, käytössä, kunnonvalvonnassa ja kunnossapidossa on varauduttava turvallisuuden kannalta tärkeiden järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden ikääntymiseen sen varmistamiseksi, että ne täyttävät laitoksen käyttöiän ajan suunnittelun perustana olevat vaatimukset tarvittavin turvallisuusmarginaalein. Järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden käyttökuntoisuutta heikentävän ikääntymisen ennalta estämiseen sekä niiden korjaus-, muutos- ja vaihtotarpeen varhaiseen tunnistamiseen on oltava järjestelmälliset menettelyt. Teknologisen ajanmukaisuuden varmistamiseksi on turvallisuusvaatimuksia ja uuden tekniikan soveltuvuutta säännöllisesti arvioitava sekä seurattava varaosien ja tukitoimintojen saatavuutta.*

24 §: *Turvallisuuden kannalta merkittävät käytötapahtumat on tutkittava perussyiden selvittämiseksi ja korjaavien toimenpiteiden määrittämiseksi ja toteuttamiseksi. Turvallisuuden jatkuvaksi parantamiseksi tulee säännöllisesti seurata ja arvioida oman laitoksen sekä muiden ydinvoimalaitosten käyttökokemuksia, turvallisuustutkimuksen tuloksia ja tekniikan kehittymistä. Käyttökokemusten ja turvallisuustutkimuksen sekä tekniikan kehittymisen esiin tuomia mahdollisuuksia teknisiin ja organisatorisiin turvallisuusparannuksiin on arvioitava ja toteutettava siinä määrin kuin se on ydinenergialain (990/1987) 7 a §:ssä säädettyjen periaatteiden mukaan perusteltua.*

26 §: *Ydinvoimalaitoksen turvallisuuden kannalta tärkeiden järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden on oltava käyttökuntoisia suunnittelun perustana olevien vaatimusten mukaisesti. Käyttökuntoisuutta ja käyttöympäristön vaikutuksia on valvottava tarkastusten, testien, mittauksien ja analyysien avulla. Käyttökuntoisuus on ennakolta varmistettava säännöllisillä huolloilla sekä kunnostamiseen ja korjauksiin on varauduttava käyttökuntoisuuden heikkenemisen varalta. Kunnonvalvonta ja kunnossapito on suunniteltava, ohjeistettava ja toteutettava niin, että järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden eheys ja toimintakyky luotettavasti säilyvät koko niiden käyttöajan.*

Valtioneuvoston asetuksen ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta (736/2008) [4] mukaan

18 §: *Ydinjätelaitoksella on oltava kunnonvalvonta- ja kunnossapito-ohjelma järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden eheyden ja luotettavan toiminnan varmistamiseksi. Laitteiden huoltoa ja korjauksia varten on annettava kirjalliset määräykset ja niihin liittyvät ohjeet.*

103. Ohjeen vaatimusperustana ovat kansainväliset vaatimustasot [5] ja [6].

## 2 Soveltamisala

201. Tässä ohjeessa annetaan ydinlaitoksen järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden (laitososien) ikääntymisen hallintaan liittyvät vaatimukset

luvanhaltijan (luvanhakija ennen rakentamisluvan myöntämistä) suunnittelu-, käyttö- ja kunnossapitotoiminnalle sekä kuvataan se viranomaisvalvonta, jolla STUK seuraa näiden vaatimusten noudattamista.

202. Ohjetta sovelletaan kaikkiin ydinlaitoksiin kaikissa elinkaaren vaiheissa siten, kuin näiden laitosten ydin- ja säteilyturvallisuuden kannalta tärkeiden järjestelmien, rakenteiden ja laitteiden käyttökuntoisuuden varmistaminen edellyttää.

203. Ydinlaitoksen ikääntymisen hallintaan liittyviä vaatimuksia suunnittelu-, käyttö- ja kunnossapitotoiminnasta sekä niiden teknisestä ja hallinnollisesta toteutuksesta, raportoinnista ja valvonnasta esitetään seuraavissa ohjeissa

- YVL A.1 Ydinenergian käytön turvallisuusvalvonta
- YVL A.3 Ydinlaitoksen johtamisjärjestelmä
- YVL A.5 Ydinlaitoksen rakentaminen ja käyttöönotto
- YVL A.7 Ydinvoimalaitoksen todennäköisyysperusteinen riskianalyysi ja riskien hallinta
- YVL A.6, Ydinvoimalaitoksen käyttötoiminta
- YVL A.9 Ydinlaitoksen toiminnan säännöllinen raportointi
- YVL A.10 Ydinlaitoksen käyttökokemustoiminta
- YVL B.1 Ydinvoimalaitoksen turvallisuus suunnittelu
- YVL B.5 Ydinvoimalaitoksen primääripiiri
- YVL B.7 Varautuminen sisäisiin ja ulkoisiin uhkiin ydinlaitoksessa
- YVL C.3 Ydinlaitoksen radioaktiivisten aineiden päästöjen rajoittaminen ja valvonta
- YVL C.6 Ydinlaitoksen säteilymittaukset
- YVL D.2 Ydinaineiden ja ydinjätteiden kuljetus
- YVL D.3 Ydinpolttoaineen käsittely ja varastointi
- YVL D.5 Ydinjätteiden loppusijoitus
- YVL E-sarja, Ydinlaitoksen rakenteet ja laitteet.

## 3 Yleiset vaatimukset

301. Luvanhaltijan on kuvattava ikääntymisen hallinta osana ydinlaitoksen johtamisjärjestelmää.

**302.** Luvanhaltijan on määriteltävä ydinlaitoksen ikääntymisen hallintaohjelma, joka sisältää toiminnot, tehtävät ja vastuut ydinlaitoksen turvallisuuteen liittyvien laitososien (myöhemmin laitososien, kts. määritelmä) käyttökuntauisuuden ja teknologisen vaatimuksenmukaisuuden varmistamiseksi niiden käyttöiän ajan.

**303.** Luvanhaltijan on kohdennettava ydinlaitoksen ikääntymisen hallinta kaikkiin laitososiin.

**304.** Luvanhaltijalla on oltava menettelyt tunnistaa laitososissa sekä oletettuja että uusia ikääntymismekanismia. Ikääntymismekanismien tunnistamisessa on hyödynnettävä tutkimustietoa, ydinlaitosten käyttökokemuksia sekä luvanhaltijan käyttö- ja kunnossapito-organisaatioilta saatavaa palautetta. Tyypillisiä ydinlaitoksella esiintyviä ikääntymismekanismia esitetään liitteessä A.

**305.** Laitososien yksilölliseen ikääntymiseen on varauduttava. Moninkertaisuusperiaatteella toteutettuun järjestelmään kuuluvan osajärjestelmän käyttökuntauisuus on varmistettava itsenäisesti ja riippumattomasti muista osajärjestelmistä.

**306.** Ydinlaitoksen fyysistä ikääntymistä on hallittava laitososien suunnitteluratkaisuilla, kunnonvalvonnalla ja kunnossapidolla sekä välttämällä tarpeettomia rasituksia aiheuttavia käytötapoja ja -olosuhteita. Poikkeuksellisen ikääntymisen edellyttämiin korjauksiin ja muutoksiin on varauduttava.

**307.** Ydinlaitoksen teknologista ikääntymistä on hallittava arvioimalla säännöllisesti laitososien vaatimuksenmukaisuutta ja ajanmukaisuutta. Sellaiset laitososat, joiden vaatimuksenmukaisuudessa havaitaan poikkeamia voimassa oleviin turvallisuusvaatimuksiin nähden, on saatettava vaatimusten mukaisiksi. Myös ydinlaitoksen turvallisuutta parantavien uusien teknisten ratkaisujen ja menetelmien soveltuvuus on aina selvitettävä.

**308.** Luvanhaltijalla on oltava organisaatiossaan ydinlaitoksen laitososien ikääntymisen hallintaa varten eri tekniikka-aloilta vastuuhenkilöt, joiden tehtävät ja keskinäinen koordinaatio on määri-

telty. Vastuuhenkilöillä on oltava koulutus ja kokemus sellaisten ratkaisujen löytämiseksi, joilla ikääntymismekanismien haitalliset vaikutukset laitososien käyttökuntauisuudelle voidaan estää.

**309.** Luvanhaltijalla on oltava dokumentoidut menettelyt, joilla varmistetaan, että tehtävien hoidossa tarvittavat keskeiset tiedot ja osaaminen säilyvät henkilöstömuutoksissa.

**310.** Luvanhaltijan on säännöllisesti arvioitava ikääntymisen hallintaohjelman kattavuutta ja vaikuttavuutta. Ikääntymisen hallintaa on parannettava erityisesti silloin, kun laitososien kunnostustarpeen tai vikaantumistiheyden havaitaan kasvavan.

**311.** Luvanhaltijan on seurattava suunnitteluratkaisujen, valmistustekniikkojen sekä kunnonvalvonta- ja kunnossapitomenetelmien kehitystä laitososien ikääntymisen hallinnan parantamiseksi. Vaatimus koskee myös uudistuvia säännöksiä ja standardeja.

**312.** Luvanhaltijan on tallennettava ja ylläpidettävä laitososien ikääntymisen hallinnassa tarvittavia viitetietoja. Tällaisia ovat suunnitteluasiakirjat (suunnitteluperusteet, tekniset määrittelyt, rakennemateriaalit, piirustukset, toimintakuvaukset) sekä kelpoistustiedot, valmistuksen tulosaineistot ja muutostyöaineistot.

## 4 Suunnittelu ja hankinnat

**401.** Laitososien on koko käyttöikänsä ajan täytettävä ne suunnitteluperusteet, jotka on määritelty niille vaatimuksiksi normaalissa käytössä sekä häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Vaatimukset on määriteltävä laitososien suunnittelulle, mitoitukselle, laadulle, toiminnalle, käytölle, käyttöympäristölle, tarkastettavuudelle ja kunnossapidettävyydelle.

**402.** Suunnitteluratkaisuilla on minimoitava laitososien ikääntymistä, ja niillä on varmistettava edellytykset sille, että laitososien käyttökuntauisuus on valvottavissa ja ylläpidettävissä koko niiden käyttöiän ajan. Tämän mukaisesti:

a. Laitososille on valittava sellaiset materiaalit, joiden tiedetään kestävän suunnitteluperus-

- teisten käyttötilanteiden ja ympäristöolosuh-  
teiden mekaanisia, kemiallisia ja muita mah-  
dollisia rasituksia.
- b. Oletettuihin ikääntymismekanismeihin on  
varauduttava laitososien suunnittelussa ja  
mitoituksessa. Esimerkkejä tästä ovat reaktoripainesäiliön säteilyhaurastuminen sekä  
terminen väsyminen virtausten sekoittumis-  
kohdissa.
- c. Laitososan eheyden on oltava tarkastettavis-  
sa. Laitososalla on oltava valmiudet (muoto,  
materiaalivalinta, luoksepäästävyys) sellai-  
sille ainetta rikkomattomille testausmene-  
telmille, joilla voidaan määräjain varmistua  
laitososan eheyden vaatimuksenmukaisuus-  
desta.
- d. Laitososan toimintakyvyn on oltava toden-  
nettavissa. Laitososalla on oltava valmiudet  
(mittaukset, prosessikytkennät, testilaitteis-  
to) toiminnallisiin testeihin tai muulla tavoin  
on voitava määräjain varmistua laitososan  
toiminnan vaatimuksenmukaisuudesta.
- e. Suunnittelussa on varauduttava laitososan  
reaaliaikaiseen kunnonvalvontaan (laiteyh-  
teensopivuus, instrumentointivalmius, tieto-  
järjestelmien kapasiteetti), jos reaaliaikainen  
tieto laitososan käyttökuntoisuudesta oleelli-  
sesti lisää ydinlaitoksen turvallisuutta.
- f. Laitososan on oltava kunnossa pidettävissä.  
Säännöllisillä kunnossapitotehtävillä ja  
tarvittavilla osien vaihdolla on voitava var-  
mistaa käyttökuntoisuus laitososan käyttöiän  
ajan.

**403.** Laitososan vaaditun käyttökuntoisuuden  
on säilyttävä luotettavasti ikääntymisen vai-  
kutuksista huolimatta epäsuotuisimmissa-  
kin suunnitteluperusteisissa käyttötilanteissa.  
Käyttökuntoisuuteen liittyviä epävarmuusteki-  
jöitä suunnittelussa, mitoituksessa, valmistuk-  
sessa, käyttöolosuhteissa, kunnonvalvonnassa ja  
kunnossapidossa on tutkittava ja vähennettävä  
suhteessa laitososan turvallisuusmerkitykseen.

**404.** Laitososan suunnitteluratkaisut on kelpois-  
tettava käyttökokemuksilla, analyysillä ja tes-  
teillä. Jos laitososan käyttökuntoisuutta ei voida  
muilla tavoin luotettavasti varmistaa, suunnitte-  
luratkaisut on kelpoistettava kokeellisesti (tes-  
teillä).

**405.** Luvanhaltijalla on oltava teknisesti perus-  
teltu arvio ikääntymiselle alttiiden laitososien  
käyttöiästä. Käyttöikäarviota voidaan tarvitta-  
essa pidentää, jos laitososan käyttökuntoisuu-  
den säilyminen alkuperäistä arviota pidemmälle  
voidaan osoittaa, ja sitä on lyhennettävä, jos  
laitososan ikääntyminen havaitaan oletettua no-  
peammaksi. Lujuusanalyysiin perustuvat me-  
nettelyt käsitellään ohjeessa YVL E.4.

**406.** Luvanhaltijan on huolehdittava laitososan  
hankinnassa siitä, että toimitus sisältää asian-  
mukaiset laitososan käyttö-, kunnonvalvonta- ja  
kunnossapito-ohjeet, varaosa- ja tarvikesuosi-  
tukset sekä koulutuksen ja teknisen tuen.

**407.** Ydinlaitoksen suunnitteluratkaisujen on ol-  
tava sellaisia, että laitososien kunnonvalvonta-  
ja kunnossapitotehtävät eivät aiheuta tarpeeton-  
ta säteily- tai työturvallisuusriskiä henkilökun-  
nalle. Vaihdeettavaksi suunniteltujen laitososien  
vaihtotyö on ennakoitava tilaratkaisuissa niin,  
että tarvittavat nostot ja siirrot voidaan turval-  
lisesti toteuttaa.

**408.** Luvanhaltijan on määriteltävä suunnittelu-  
ja hankintaohjeistossaan vaatimukset laitososi-  
en ikääntymisen hallintaa varten.

## 5 Valmistus

**501.** Laitososan valmistuksessa ja valmistuksen  
aikaisissa korjauksissa on käytettävä sellaisia  
valmistusmenetelmiä, jotka eivät myötävaikuta  
haitallisten ikääntymismekanismien kehitty-  
miseen.

**502.** Valmistuksenaikaisilla tarkastuksilla ja tes-  
teillä on varmistuttava siitä, että laitososassa  
ei ole sellaisia materiaali- tai valmistusvikoja,  
jotka voivat aiheuttaa vikaantumista tai odotta-  
matonta ikääntymistä suunnitteluperusteisissa  
käyttötilanteissa. Tarkastus- ja testauslaajuuden  
on oltava suhteessa laitososan turvallisuusmer-  
kitykseen.

**503.** Luvanhaltijan on huolehdittava siitä, että  
ennen käyttöä laitososasta tallennetaan ver-  
tailu- tai lähtötaso sellaisille tiedoille, joiden

avulla laitoksen käyttökuntoisuutta valvotaan myöhemmin käytön aikana. Vertailutasot tyyppillisesti tarvitaan painelaitteiden ainetta rikkomattomille tarkastuksille, putkistojen seinämänpaksuusmittauksille ja pyörivien koneiden värähtelyille. Valokuvia voidaan käyttää niille tarkastuskohteille, joille tehdään silmämääräisiä tarkastuksia.

**504.** Luvanhaltijan on kerättävä ja taltioitava materiaalinäytteet vähintään niistä laitososista, joita ei ole suunniteltu vaihdettavaksi ydinlaitoksen käyttöänsä aikana ja joiden rakennemateriaalista voidaan myöhemmin tarvita vertailutietoa laitoksen käyttökuntoisuuden tai korjausmenetelmän arviointia varten.

**505.** Luvanhaltijan on huolehdittava siitä, että kuljetukset, varastointi ja asennus eivät vaaranna laitoksen käyttökuntoisuutta eivätkä myötävaikuta haitallisten ikääntymismekanismien kehittymiseen.

## 6 Käyttö

**601.** Laitoksen käyttöparametreja sekä kuormitus-, prosessi- ja ympäristöolosuhteita on valvottava, ja ne on pidettävä suunnitteluperusteisten käyttötilanteiden rajoissa.

**602.** Luvanhaltijan on hyödynnettävä ydinlaitoksen käyttökokemuksia sekä omalta käyttö- ja kunnossapito-organisaatioilta saatavaa palautetta. Näiden tietojen avulla on arvioitava niitä laitososien vaihtoehtoisia käyttötapoja, joilla voidaan vähentää ikääntymisen haitallisia vaikutuksia laitososien käyttökuntoisuudelle.

**603.** Luvanhaltijan on ohjeistettava ja koulutettava käyttöhenkilökunta optimoimaan ydinlaitoksen ajotapoja. Ajotavoilla on vältettävä laitososien tarpeettomia rasituksia, nopeita prosessitransienteja (mm. paine, lämpötila ja vesikemia) ja muita epäedullisia käyttötilanteita.

**604.** Jos havaitaan, että laitossosaa on rasitettu sellaisilla kuormituksilla, jotka eivät kuulu suunnitteluperusteisiin, tai laitoksen käyttökuntoisuus on jostakin muusta syystä saattanut vaarantua, laitoksen jatkokäytön edellytykset

on varmistettava tarkastuksilla, testeillä, laskennallisilla analyyseillä tai muilla selvityksillä.

**605.** Jos laitososa on menettänyt käyttökuntoisuutensa ja sen käyttökuntoisuus ei ole enää palauttavissa, laitososa on poistettava käytöstä.

**606.** Luvanhaltijan on valvottava laitososien kelpoistuksen edellytysten säilymistä. Uusi kelpoistus on käynnistettävä hyvissä ajoin ennen kuin kelpoistuksen voimassaolo päättyy.

## 7 Kunnonvalvonta ja kunnossapito

### 7.1 Kunnonvalvonta

**701.** Luvanhaltijan on valvottava ydinlaitoksen laitososien käyttökuntoisuutta. Laitoksen kunnostustarve on kyettävä luotettavasti havaitsemaan ennen vikaantumista ja laitoksen vika reaaliaikaisesti. Kunnonvalvonta voi perustua silmämääräisiin tarkastuksiin, ainetta rikkomattomiin testauksiin, toimintakokeisiin ja paine- ja vuototesteihin tai muihin sellaisiin toimiin, joilla saadaan suoraa tietoa laitoksen käyttökuntoisuudesta. Kunnonvalvonnaksi katsotaan myös sellaiset mittaukset ja näytteet, joilla saadaan välillistä tietoa laitoksen käyttökuntoisuudesta tai tietoa käyttökuntoisuuteen vaikuttavista olosuhteista (esim. kuormituskertymät, vesikemian parametrit tai käyttöolosuhteisiin sijoitetut materiaalinäytteet).

**702.** Laitoksen kunnonvalvonnan kattavuuden, käytettyjen menetelmien, valvontavälien, resurssin, hyväksymisrajojen ja muiden kunnonvalvonnan vaikuttavuuteen liittyvien tekijöiden on oltava suhteessa valvottavan laitoksen turvallisuusmerkitykseen, jonka arvioinnissa on hyödynnettävä todennäköisyysperusteista riskianalyysiä. On varauduttava tunnistamaan myös sellaista ikääntymistä ja havaitsemaan sellaisia vikatyyppejä, joita ei voi olettaa käyttökokemusten perusteella.

**703.** Laitososien kunnonvalvonnassa on noudatettava E-sarjan YVL-ohjeissa esitettyjä vaatimuksia laitekohtaisesta laajuudesta sekä painelaitteiden määräaikaistarkastuksista.



**704.** Laitososan kunnonvalvonnan on oltava reaaliaikaista silloin, kun reaaliaikaisuus oleellisesti lisää laitososan kunnonvalvonnan vaikuttavuutta verrattuna määrävälein toteutettuun kunnonvalvontaan. Tämä tulee kysymykseen esimerkiksi värähtelyjen, vuotojen, väsymisen ja irto-osien valvonnassa sekä venttiilien toiminnan diagnostiikassa.

**705.** Luvanhaltijan on tallennettava keskeiset kunnonvalvontatiedot sekä seurattava niiden kehityssuuntaa vertailutasoista lähtien. Silloin kun muutoksia tunnistetaan, muutosten merkitys laitososan käyttökuntauisuudelle ja käyttöiälle on selvitettävä.

**706.** Luvanhaltijan on seurattava tärkeimpiin painelaitteisiin väsyttäviä kuormituksia aiheuttavia käyttötilanteita ja -tapahtumia. Kuormitusseurannan tuloksia on käytettävä painelaitteiden ikääntymisarvioissa, joissa toteutuneita rasituskertymiä verrataan laitososan suunnittelu- perusteina oleviin kuormituksiin. Tarkempia vaatimuksia esitetään ohjeessa YVL E.4.

**707.** Kunnonvalvonnassa käytettävät mittaus- ja analyysilaitteet on määrävälein kalibroitava tai niiltä vaadittu tarkkuus on muilla tavoin varmistettava. Kalibroinnin voimassaolon on oltava todennettavissa laitekohtaisista kalibrointitodistuksista.

## 7.2 Kunnossapito

**708.** Luvanhaltijan on huolehdittava siitä, että käytössä tai käyttövalmiudessa oleva laitososa täyttää käyttökuntauisuusvaatimukset normaaleissa käyttötilanteissa sekä kaikissa suunniteluperusteisissa häiriö- ja onnettomuustilanteissa.

**709.** Kun laitososalla on todettu kunnostustarve, kunnostus on tehtävä ennen kuin käyttökuntauisuus menetetään. Laitososaa ei saa tarkoituksellisesti käyttää vikaantumiseen asti.

**710.** Laitososan kunnossapidon kattavuuden, menetelmien, huoltovälien, resursoinnin ja muiden kunnossapidon vaikuttavuuteen liittyvien tekijöiden on oltava suhteessa laitososan turvallisuusmerkitykseen, jonka arvioinnissa on hyödynnettävä todennäköisyysperusteista riskianalyysiä.

**711.** Laitososan kunnostuksen tai korjauksen yhteydessä luvanhaltijan on selvitettävä, esiintyykö sama kunnostustarve tai vika sellaisenaan tai piilevänä muissa rakenteeltaan, toiminnaltaan tai käyttöolosuhteiltaan vastaavissa ydinlaitosten laitososissa (yhteisvika). Samassa yhteydessä on arvioitava, onko havaittu käyttökuntauisuuden heikentyminen tai menetys vältettävissä vastaisuudessa kehittämällä laitososan kunnonvalvontaa tai kunnossapitoa.

**712.** Laitososan kunnostus- ja korjaustöissä on noudatettava E-sarjan YVL-ohjeiden mukaisia hyväksyntämenettelyjä. Hyväksyntämenettelyistä voidaan kuitenkin sopia tapauskohtaisesti sellaisissa kiireellisissä korjaustöissä, jotka on tehtävä viipymättä ydinlaitoksen turvalliseen tilaan saattamiseksi tai turvallisesa tilassa pitämiseksi.

**713.** Prosessi-, sähkö- ja automaatiokytkennät on varmistettava kunnossapitotyön ajaksi ja muutetut kytkennät palautettava kunnossapitotyön päätteeksi niin, ettei kunnossapitotyöstä aiheudu välitöntä tai välillistä vaaraa henkilöstölle tai turvallisuudelle. Tarkempia vaatimuksia esitetään ohjeessa YVL A.6.

**714.** Huolletun, kunnostetun tai korjatun laitososan käyttökuntauisuus on varmistettava tarkoitukseen soveltuvilla tarkastuksilla tai testeillä ennen laitososan käyttöä.

**715.** Luvanhaltijan on tallennettava laitososien käyttö- ja kunnossapitohistoria. Laitososalla on oltava yksilöseuranta niin, että huolto-, korjaus- ja muutostyöt sekä laitososan kokemat rasitukset ja vikaantumiset ovat jäljitettävissä laitososan käyttöänsä ajan.

**716.** Niillä laitososilla, joiden käyttöpaikka voi vaihtua esim. huoltokierrossa, on oltava pysyvä tunnistusmerkintä jäljitettävyyden varmistamiseksi.

**717.** Kunnossapitotöissä käytettävien työkalujen on sovellettava tarkoitukseen ja ne on huollettava ja varastoitava asianmukaisesti. Säättöä vaativat työkalut on tarkastettava määrävälein.



### 7.3 Ohjelmat ja ohjeet

**718.** Luvanhaltijalla on oltava ohjelmat, joissa määritellään laitospaikoille tehtävät kunnonvalvonta- ja kunnossapitotyöt aikatauluineen tai määräväleineen. Ohjelmien laadinnassa on hyödynnettävä riskitietoisia menetelmiä ohjeen YVL A.7 mukaisesti.

**719.** Laitososan kunnonvalvonta- ja kunnossapitotöiden on oltava yksiselitteisesti ja havainnollisesti ohjeistettuja. Luvanhaltijan on koulutuksella ja opastuksella varmistettava ohjeistuksen mukainen toiminta.

**720.** Laitososan kunnonvalvonnan ja kunnossapidon ohjelmien ja ohjeiden on perustuttava soveltuviin standardeihin, valmistajan suosituksiin ja luvanhaltijan omiin tai muilta ydinlaitoksilta saatuihin käyttökokemuksiin.

**721.** Luvanhaltijalla on oltava sellaiset toimintatavat ja tietojärjestelmät, joilla varmistetaan, että laitososan kunnonvalvonta ja kunnossapito toteutuu suunnitellusti.

**722.** Kunnonvalvonta- ja kunnossapito-ohjelmia ja niiden ohjeistusta on säännöllisesti arvioitava ja tarkistettava ikääntymisen hallinnasta saatun palautteen perusteella. Havaitut muutostarpeet on analysoitava ja vaikuttavuutta parantavat toimenpiteet pantava täytäntöön ohjelma- ja ohjepäivityksissä.

### 7.4 Varaosat

**723.** Luvanhaltijan on säännöllisesti valvottava ja arvioitava laitospaikoitten kunnossapidossa tarvittavien varaosien riittävyttä ja käyttökuntoisuutta ydinlaitoksella. Tämä koskee myös laitospaikoitten kunnonvalvonnan ja kunnossapidon mittaus- ja analyysilaitteiden ja työkalujen varaosia.

**724.** Luvanhaltijalla on oltava laitospaikalla varaosat niille toiminnoille, joilla varmistetaan ydinlaitoksen pitäminen turvallisessa tilassa pitkäkestoisten häiriö- ja onnettomuustilanteiden aikana. Tällaisissa toiminnoissa varaosavarannon on katettava vähintään yksi kapasiteetiltaan sataprosenttinen osajärjestelmä (redundanssi), joka yksin riittää toiminnon ylläpitämiseen.

Varaosavarantoon on sisällyttävä sellaiset laitospaikoitten varaosat tai vaihto-osat, jotka voivat vikaantua pitkäaikaisessa käytössä ja jotka ovat kriittisiä toimintojen käyttökuntoisuudelle.

**725.** Varaosien ja tarveaineiden on täytettävä niille asetetut suunnitteluperusteet. Varaosan tai tarveaineen vaatimuksenmukaisuus on tutkittava huolella ja sillä on ennen asennusta oltava E-sarjan YVL-ohjeiden mukainen hyväksyntä.

**726.** Luvanhaltijalla on oltava varaosan ja tarveaineen hankintaa, vastaanottoa ja varastointia varten ohjeistetyt menettelyt varmistamaan, että laitospaikoissa käytettävät varaosat ja tarveaineet ovat vaatimuksenmukaisia.

**727.** Ydinlaitoksella säilytettävillä varaosilla ja tarveaineilla on järjestettävä jäljellä olevan varastointi- ja käyttöajan valvonta.

**728.** Luvanhaltijalla on oltava menettelyt, joilla se luotettavasti estää tuoteväärnökset varaosien hankintaketjussa.

**729.** Luvanhaltijan on säännöllisesti selvitettävä laitospaikoitten varaosien ja teknisen tuen saatavuutta. Jos saatavuus on päättymässä, luvanhaltijan on hyvissä ajoin käynnistettävä toimenpiteet, joilla puutteet korvataan muuttuneessa tilanteessa.

## 8 Muutostyöt

**801.** Luvanhaltijan on seurattava järjestelmällisesti ydinlaitoksen fyysistä ja teknologista ikääntymistä ja tunnistettava ydinlaitoksen muutostyötarpeet. Muutostöiksi katsotaan myös laitospaikoitten tai sen varaosan korvaaminen muulla kuin alkuperäisellä ja uuden laitospaikoitten lisääminen ydinlaitokseen.

**802.** Suurten muutos- tai korjaushankkeiden suunnittelu on käynnistettävä niin aikaisin, että hankkeet pystytään toteuttamaan vaatimusten ja ennalta laadittujen suunnitelmien mukaisesti. Laitosmuutosten suunnittelua koskevia vaatimuksia esitetään ohjeessa YVL A.5 Ydinlaitoksen rakentamistoiminta.

**803.** Luvanhaltijan on käynnistettävä voimaan saatettujen turvallisuusvaatimusten edellyttämien muutostöiden valmistelu viipymättä.

**804.** Luvanhaltijan on arvioitava muutostyön turvallisuusvaikutukset suunnitteluvaiheessa. Muutostyöllä ei saa heikentää ydinlaitoksen turvallisuutta eikä laitososien kunnonvalvonnan tai kunnossapidon edellytyksiä.

**805.** Muutostyön suunnittelussa on tunnettava voimassa olevat järjestelmä- ja laitetason suunnitelmat, suunnitteluperusteet ja todelliset rakenteet sekä tunnistettava niiden perusteella mahdolliset laitososan muutostyötä rajoittavat tekijät. Suunnitteluvaiheessa on myös selvitetävä muutostyön vaikutukset ydinlaitoksen muihin laitososiin.

**806.** Luvanhaltijan on laadittava muutostyötä järjestelmä- ja laitetason suunnitelmat. Muutostyön ennakkotarkastuksessa ja toteutuksessa on noudatettava muissa YVL-ohjeissa esitettyjä hyväksyntämenettelyjä.

**807.** Muutostyöstä aiheutuvat päivitystarpeet piirustuksissa, ohjeissa ja muissa asiakirjoissa on selvitettävä ja päivitykset tehtävä viipymättä muutostyön yhteydessä.

**808.** Luvanhaltijan on koulutuksella huolehdittava, että käyttö- ja kunnossapito-organisaatiot saavat tiedon muutostyön vaikutuksista laitososan ja ydinlaitoksen käyttöön, kunnonvalvontaan ja kunnossapitoon.

**809.** Luvanhaltijan on ylläpidettävä rekisteriä laitososien suunnitteluperusteista ja toteutetuista muutostöistä.

**810.** Luvanhaltijan on pidettävä STUK tietoisena laitososien tulevista muutostöistä, joita se suunnittelee toteuttavansa ydinlaitoksen käyttöä aikana.

## 9 Toimitettavat asiakirjat

### 9.1 Ikääntymisen hallinnan periaatesuunnitelma

**901.** Luvanhakijan on ydinlaitoksen rakentamislupaa hakiessaan toimitettava STUKille hyväksyttäväksi periaatesuunnitelma laitososien ikääntymisen hallinnasta.

**902.** Ikääntymisen hallinnan periaatesuunnitelmassa on kuvattava ne periaatteet, joilla rakennettavan ydinlaitoksen laitososien ikääntymisen hallinta suunnitellaan toteutettavaksi. Suunnitelman on sisällettävä seuraavat pääkohdat:

- a. ikääntymisen hallinnan toimeenpanon edellytykset ydinlaitoksella
  - hallinnollinen organisointi
  - asiantuntemuksen varmistaminen
- b. ikääntymiseen varautuminen laitososien suunnittelussa, hankinnassa ja valmistuksessa
  - ikääntymistä vähentävät suunnitteluratkaisut
  - laitososien tarkastettavuus ja kunnossapidettävyyys
  - hankinnan ja valmistuksen laatuvaatimukset
  - muista ydinlaitoksista saatavien vertailutietojen hyödyntäminen
- c. ikääntymisen hallinta ydinlaitoksen rakentamisen ja käytön aikana
  - laitososien kunnonvalvonta- ja kunnossapitokonseptit
  - tarpeettomia rasituksia aiheuttavien käyttötapojen ja -olosuhteiden välttäminen
- d. laitososien kelpoistaminen ikääntymistä vastaan
  - toimenpiteet sen osoittamiseksi, että laitososat täyttävät niille asetetut vaatimukset suunnitteluperusteisissa käyttötilanteissa käyttöikänsä loppuun asti.

## 9.2 Ikääntymisen hallintaohjelma

**903.** Luvanhakijan on toimitettava uuden ydinlaitoksen käyttö lupaa hakiessaan STUKille hyväksyttäväksi ydinlaitoksen ikääntymisen hallintaohjelma, jota noudatetaan ydinlaitoksen käytön aikana. Ohjelmassa on esitettävä ydinlaitoksen ikääntymisen hallinnan toimintaprosessi seuraavassa laajuudessa:

- a. ikääntymisen hallinnan organisointi (vastuut, tehtävät, koordinointi)
- b. ikääntymisen hallinnan tuloksellisuuden mittaaminen (esim. laitososien vikatrendit, transienttikertymät, vesikemian parametrit ja muut vastaavat tekijät, joiden perusteella voidaan arvioida laitososien käyttökuntoisuuden kehityssuuntaa pitkällä aikavälillä)
- c. kunnonvalvonnan ja kunnossapidon palaute-tiedon, muiden ydinlaitosten käyttökokemuksen ja ikääntymiseen liittyvän tutkimustiedon hyödyntäminen laitososien ikääntymisen hallinnassa
- d. laitososien ikääntymisen hallinnan suhde turvallisuusmerkitykseen (esim. kunnonvalvonta- ja kunnossapitolaajuuden määrittely laitososan turvallisuusmerkityksen perusteella)
- e. seuraavat laitososakohtaiset tiedot:
  - laitepaikkatunnukset
  - käyttöolosuhteet, suunnitteluperusteet, materiaalit, rakenne ja muut ikääntymisen kannalta oleelliset tiedot
  - tunnistetut ikääntymismekanismit
  - kunnonvalvonta- ja kunnossapito-ohjelmat ja liittyvät ohjeistukset
  - kelpoistussuunnitelmat (ne laitososat, joilta edellytetään kelpoistusta ydinlaitoksen käyttöönoton jälkeenkin)
  - varaosavarannot (ne laitososat, joita tarvitaan pitkäkestoisten häiriö- ja onnettomuustilanteiden hallintaan liittyvissä toiminnoissa)
- f. menettelyt laitososien teknologisen ikääntymisen hallitsemiseksi
- g. ikääntymisen seurantaraportin sisällysluettelo

**904.** Laitososatiedoista on ikääntymisen hallintaohjelmassa esitettävä vähintään viitteet niihin asiakirjoihin, jotka sisältävät vaaditut tiedot. Viiteasiakirjojen on oltava toimitettuja STUKille tai niiden on oltava STUKin tarkastajan saatavilla laitospaikalla.

## 9.3 Ikääntymisen seurantaraportti

**905.** Luvanhaltijan on ydinlaitoksen käytön aikana toimitettava vuosittain STUKille tiedoksi laitososien ikääntymisen hallinnan seurantaraportti vuoden ensimmäisellä kolmanneksella.

**906.** Seurantaraportissa on esitettävä ikääntymisen hallintaan kuuluvista laitososista seuraavat tiedot:

- a. vikojen lukumäärien ja vikatyypin kehityssuunta pitkällä aikavälillä
- b. merkittävät seurantajakson aikana tehdyt huolto-, korjaus-, vaihto- ja muutostyöt
- c. arvio käyttökuntoisuudesta ja ikääntymisen aiheuttamista turvallisuusmarginaalien muutoksista
- d. ikääntymisen hallinnan kehitystarpeet (kunnonvalvonta, kunnossapito, laitososien vaihtotarve, tutkimus) lyhyellä ja pitkällä aikavälillä
- e. kelpoistuksien voimassaolo ja muutokset seurantajakson aikana
- f. yhteenveto varaosista (varanto, kunto).

Muista kuin ydinlaitoksen päälaitteista tiedot voidaan esittää yhteenvetona tarkoituksenmukaisella ryhmittelyllä esim. järjestelmäkohtaisesti.

**907.** Seurantaraportissa voidaan tarvittaessa viitata eri seurantamenettelyistä kertyviin tulostietoihin ja muihin asiakirjoihin, jotka on erikseen toimitettu STUKille tai jotka ovat STUKin tarkastajan saatavilla laitospaikalla.

**908.** Jos ikääntymisen hallintaohjelmaan on tehty muutoksia, sen päivitys on toimitettava STUKille tiedoksi seurantaraportin yhteydessä.

## 10 Säteilyturvakeskuksen valvontamenettelyt

**1001.** Rakentamislupavaiheessa STUK käsittelee ydinlaitoksen ikääntymisen hallinnan periaatesuunnitelman. Hyväksytty ikääntymisen hallinnan periaatesuunnitelma on yksi edellytys STUKin myönteiselle lausunnolle rakentamislupahakemuksesta.

**1002.** Käyttölupavaiheessa STUK käsittelee ikääntymisen hallintaohjelman. Hyväksytty ikääntymisen hallintaohjelma on yksi edellytys STUKin myönteiselle lausunnolle käyttölupahakemuksesta.

**1003.** Ydinlaitoksen käytön aikana STUK valvoo ikääntymisen hallintaohjelman täytäntöönpanoa luvanhaltijan vuosittain laatiman seurantaraportin perusteella.

**1004.** STUK valvoo ydinlaitoksen ikääntymisen hallinnan vaikuttavuutta käytönaikaisen tarkastusohjelman (KTO-tarkastukset) ja muiden tekemiensä tarkastusten osana sekä myös ohjeessa YVL A.1 kuvattujen määräaikaisten turvallisuusarvioiden ja käyttölupahakemusten käsittelyn yhteydessä.

## Määritelmät

### Fyysinen ikääntyminen

Fyysisellä ikääntymisellä (physical degrading) tarkoitetaan rakenteellisten tai toiminnallisten ominaisuuksien heikkenemistä käytössä tai ajan mukana fyysikaalisten, kemiallisten ja/tai biologisten mekanismien takia. Fyysinen ikääntyminen voi johtaa laitoksen käyttökunnon menetykseen.

### Ikääntyminen

Ikääntymisellä (ageing) tarkoitetaan sekä fyysistä että teknologista ikääntymistä, jota voi tapahtua ydinlaitoksen laitososissa.

### Ikääntymisen hallinta

Ikääntymisen hallinnalla tarkoitetaan laitosten käyttökunnon ja teknologisen vaatimuksen mukaisuuden varmistamista ydinvoimalaitoksen käyttöänsä ajan.

### Ikääntymisen hallintaohjelma

Ikääntymisen hallintaohjelmalla tarkoitetaan niitä luvanhaltijan määrittelemiä toimintoja ja tehtäviä, joilla luvanhaltija toteuttaa ydinlaitoksen ikääntymisen hallinnan.

### Kelpoistus

Kelpoistuksella tarkoitetaan prosessia, jonka perusteella osoitetaan kyky täyttää määritellyt vaatimukset (vastaa ISO 9000:n pätevyysprosessia).

### Korjaus

Korjauksella tarkoitetaan ohjeessa A.8 viikaantuneen laitososan käyttökunnon palauttamista.

### Kunnonvalvonta

Kunnonvalvonnalla tarkoitetaan laitoksen käyttökunnon valvontaa.

### Kunnossapito

Kunnossapidolla tarkoitetaan laitoksen suunniteltua huoltoa, jolla vikaantumisen todennäköisyyttä vähennetään ennalta, tai havaittuun tarpeeseen perustuvaa laitoksen kunnostusta tai korjausta.

### Kunnostus

Kunnostuksella tarkoitetaan havaittujen poikkeamien tai puutteiden poistamista laitoksen rakenteessa tai toiminnassa laitoksen vielä täyttäessä käyttökunnon vaatimukset.

### Käyttöikä

Käyttöikä tarkoitetaan sitä aikaa, jonka käyttöpaikalleen asennettu laitososan arvioidaan säilyttävän luotettavasti käyttökuntonsa.

**Käyttökuntoisuus**

Käyttökuntoisuudella tarkoitetaan laitoksen eheyttä ja toimintakykyä laitoksen suunnitteluperusteiden mukaisesti.

**Laitososa**

Laitososalla tarkoitetaan ohjeessa YVL A.8 ydinlaitoksen turvallisuuden kannalta tärkeää mekaanista, sähkötekniistä, automaatiotekniistä tai rakennustekniistä järjestelmää, rakennetta ja laitetta (Systems, Structures and Components), joka kuuluu joko turvallisuusluokkaan 1, 2 tai 3 tai luokkaan EYT/STUK.

**Muutostyö**

Muutostyöllä tarkoitetaan järjestelmän, rakenteen tai laitteen muuttamista siten, että se ei enää vastaa aikaisempia suunnitelmia.

**Teknologinen ikääntyminen**

Teknologisella ikääntymisellä (obsolescence) tarkoitetaan sitä, että laitososa ei vastaa voimaan tulleita turvallisuusvaatimuksia tai laitososa ei enää edusta vallitsevaa teknistä kehitystä turvallisuuden varmistamisessa. Teknisen tuen tai varaosien puute katsotaan myös laitoksen teknologiseksi ikääntymiseksi.

**Vika, vikaantuminen**

Vialla tai vikaantumisella tarkoitetaan ohjeessa A.8 sitä, että laitososa ei enää täytä käyttökuntoisuudelle asetettuja vaatimuksia.

**Viitteet**

1. Ydinenergialaki (990/1987).
2. Ydinenergia-asetus (161/1988).
3. Valtioneuvoston asetus ydinvoimalaitoksen turvallisuudesta (717/2013).
4. Valtioneuvoston asetus ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta (736/2008).
5. IAEA, Ageing Management for Nuclear Power Plants, Safety Guide No. NS-G-2.12, 2009.
6. WENRA Reactor Safety Reference Levels, Issue I: Ageing Management, Issue K: Maintenance, Inservice Inspections and Functional Testing.

## LIITE A Tyypillisiä ikääntymismekanismeja

Fyysinen ikääntyminen	Alttiit kohteet
<b>Mekaaniset komponentit</b>	
<b>A01. Jännityskorroosio</b> (Stress Corrosion Cracking; SCC) – Metalliin muodostuu murtumia korroosion ja vetojännityksen vaikutuksesta. Vetojännitystila puolestaan voi olla seurausta sisäisistä jännityksistä ja/tai ulkoisesta kuormituksesta. Jännityskorroosiomurtumaan johtava korroosioympäristö on materiaalikohtainen.	Austeniittiset ruostumattomat, hiili- ja niukkaseosteiset teräkset, Ni-seokset mukaan lukien hitsausliitokset ja niiden ympäristö; reaktorin sisäosat, putkistot primaari- ja sekundaaripiirissä, reaktorin tukirakenteet, höyrytimet, paineistin.
<b>A02. Raerajajännityskorroosio</b> (Inter-Granular Stress Corrosion Cracking; IGSCC) – Metallin raerajoja pitkin etenevä jännityskorroosio herkistyneessä austeniittisessa materiaalissa (ks. jännityskorroosio).	Austeniittisten ruostumattomien terästen hitsausliitokset; putkistot primaari- ja sekundaaripiirissä, reaktorin sisäosat, palkeet.
<b>A03. Rakeiden läpi etenevä jännityskorroosio</b> (TransGranular Stress Corrosion Cracking; TGSCC) – Metallin rakeiden läpi etenevä jännityskorroosio (ks. jännityskorroosio).	Austeniittiset ruostumattomat ja hiiliteräkset mukaan lukien hitsausliitokset ja niiden ympäristö; höyrytimen vaippa, putkistot, mm. pääkiertoputkistot, säätösauvakoneistot; suojarakennuksen teräsvaippaan liittyvät putkistot; ruostumatonta terästä olevat palkeet, laippaliitosten pultit.
<b>A04. Komponentin ulkopinnasta ydintyvä kloridien aiheuttama jännityskorroosio</b> (External Chloride Stress Corrosion Cracking; ECSCC) – Vetojännityksen alaisen komponentin, yleensä putkiston, ulkopinta altistuu kloridipitoiselle vedelle esim. putkivuodon ja klorideja sisältävän eristemateriaalin takia (ks. jännityskorroosio).	Austeniittiset ruostumattomat teräkset ja hitsausliitokset; kaikki putkistot.
<b>A05. Painevesireaktorin primäärivedessä tapahtuva jännityskorroosio</b> (Primary Water Stress Corrosion Cracking; PWSCC) – Hapettomassa korkealämpötilaisessa vedessä tapahtuva jännityskorroosio (ks. jännityskorroosio).	Ni-seokset; yhteen ja hitsausliitokset, joita ei ole jännityksenpoistohehkutettu tai joita on kylmämuokattu, höyrytimien lämmönsiirtoputkien primaari- ja sekundaari- ja säätösauvakoneiston yhteen, paineistin.
<b>A06. Muodonmuutoksen aiheuttama jännityskorroosio</b> (Strain-Induced Corrosion Cracking; SICC) – Monotonisesti kasvava dynaaminen kuormitus saattaa happipitoisessa vedessä tai höyryssä johtaa murtumiin, jotka muistuttavat jännityskorroosiota.	Niukkaseosteiset ferriittiset teräkset; syöttövesiyhteen ja vaakasuorat putkistot, ohutseinämäiset putket ja putkikäyrät.
<b>A07. Boorihappokorroosio</b> (Boric Acid Corrosion) – Primaariveden vuoto voi aiheuttaa boorihappokorroosiota hiili- ja niukka-seosteisissa teräksissä. Mekanismi on yleinen korroosio ja/tai materiaalihäviö (wastage).	Niukkaseosteiset ferriittiset teräkset; säätösauvakoneiston läpiviennit ja reaktoriastian kansi, suojarakennuksen teräsvaippa, pulttiliitokset.
<b>A08. Eroosikorroosio</b> (Erosion Corrosion) – Eroosikorroosiossa virtaava neste irrottaa metallin pintaa suojaavaa (korroosiotuotetta) kerrosta ja siten nopeuttaa korroosiota, kun virtausnopeus ylittää kriittisen arvonsa.	Hiiliteräkset ja niukkaseosteiset teräkset; pyörteitä aiheuttavat virtauksen epäjatkuvuuskohdat, kuten putkimutkat, -haarat ja virtausten tuloaukot ja supistukset, sisäpuolelta huonosti muotoillut hitsit sekä virtausmittauslaippojen jättöpuolet.
<b>A09. Vesi-iskut</b> (Water Hammering) – Vesi-iskut voivat aiheuttaa suuria dynaamisia kuormia.	Virtauksen pysähtyminen esim. venttiilin sulkeutuessa nopeasti.
<b>A10. Mikrobiologinen korroosio</b> (Microbiologically-Influenced Corrosion) – Orgaanisen aineksen kontaminoima vesi esim. raakavesisysteemissä voi aiheuttaa korotetuissa lämpötiloissa ja hiljaisella virtausnopeudella paikallista korroosiota, erityisesti rako-olosuhteissa.	Austeniittiset ja ferriittiset teräkset mukaan lukien hitsausliitokset ja eriparihitsit; erilaiset apuputkistot, suojarakennuksen teräsvaippa, jänneteräkset.

<b>Fyysinen ikääntyminen</b>	<b>Alttiit kohteet</b>
<b>A11. Pistekorrosio</b> (Pitting) – Putkistoissa, joissa toisinaan tai aina on vähäinen virtausnopeus, vesi on happipitoista ja kontaminoitunutta (esim. fluorideja tai klorideja), voi muodostua paikallisia korroosiokuoppia.	Austeniittiset ja ferriittiset teräkset sekä Ni-seokset mukaan lukien hitsausliitokset ja eriparihitsit; höyrystimien lämmönsiirtoputket, pultit reaktorin kannessa, höyrystimen runko.
<b>A12. Rakokorroosio</b> (Crevice Corrosion) – Raoissa korotetuissa lämpötiloissa ja hapettavissa olosuhteissa esiintyvä korroosionmuoto.	Austeniittiset ja ferriittiset teräkset sekä Ni-seokset; termiset suojat, laippaliitokset, suojarakennuksen teräsvaippa yms.
<b>A13. Kavitaatiokorroosio/eroosio</b> (Erosion-Cavitation) – Nestevirtauksessa paine laskee paikallisesti vallitsevaa lämpötilaa vastaavaan höyrynpaineeseen tai sen alapuolelle. Muodostuneet höyrykuplat painuvat äkillisesti kokoon, kun höyrynpaine jälleen ylittyy virtauksessa. Ilmiö synnyttää paikallisia paineiskuja, jotka edistävät korroosiota irrottamalla suojakerrosta pinnalta tai aiheuttavat voimakkaimmillaan mekaanisia vaurioita pintoihin.	Kaikki metalliset materiaalit sellaisissa laitteissa, joissa paine voi laskea alle höyrynpaineen suurten virtausnopeuksien tai poikkeuksellisen korkean lämpötilan vuoksi; venttiilit, pumput, höyrystimien sisäosat.
<b>A14. Raerajakorroosio</b> (Inter-Granular Attack; IGA) – Materiaalin raerajoja pitkin etenevä korrosio herkistyneessä austeniittisessä materiaalissa, useimmiten raerajajännityskorroosion aiheuttama murtuminen (ks. jännityskorroosio; raerajajännityskorroosio).	Austeniittiset ruostumattomat teräkset ja Ni-seokset mukaanlukien hitsausliitokset; höyrystimien lämmönsiirtoputket sekundaaripuolella.
<b>A15. Galvaaninen korrosio</b> (Galvanic corrosion) - Sähkökemiallinen korroosio prosessi, johon osallistuu kaksi sähköä johtavaa metallia ja elektrolyytti. Alhaisemman elektrodipotentiaaloin metallista tulee anodi ja se liukenee elektrolyyttiin.	Ferriittisen ja ruostumattoman teräksen pari merivesijärjestelmässä, jonka katodinen suojaus ei toimi. Metallien lisäksi myös grafiitti (tiiviste) voi toimia katodina ja aiheuttaa metallipinnan korroosiota.
<b>A16. Yleinen korrosio</b> (General Corrosion) – Metallin syöpyä samalla nopeudella tasaisesti koko pinnalta.	Suojaamattomat hiili- ja niukkaseosteiset teräkset, kovakromatut pinnoitteet korkeissa lämpötiloissa.
<b>A17. Väsyminen</b> (Fatigue) – Mekaanisen vaihtokuormituksen tai lämpötilavaihtelun alaisessa rakenteessa etenevä vaurio, jonka vaiheet ovat mikrosärön ydintyminen, särönkasvu ja murtuma.	Kaikki metalliset rakenteet. Alttiita kohteita ovat värähtelevät ja pyörivät rakenteet, virtausten sekoituskohdat sekä hitsausliitokset yhteiden ja vastaavien jännityskeskittymien alueilla.
<b>A18. Terminen väsyminen</b> (Thermal Fatigue) – Eri syistä johtuvat lämpötilavaihtelut (mm. kuumen ja kylmän veden sekoittuminen) aiheuttavat vaihtokuormitusta, mikä johtaa metallin väsymiseen (kts. Väsyminen)	Austeniittiset ja ferriittiset teräkset, Ni-seokset, perusaine ja hitsausliitokset; yhteet, T-liitokset, jännityskonsentraatiokohdat putkistoissa
<b>A19. Korroosioväsyminen</b> (Corrosion Fatigue) – Metallin väsymisen, vaihtokuormituksen tai lämpötilavaihteluiden alainen ja sen väsymiskestävyys heikkenee (murtuma ydintyy nopeammin ja/tai kasvaa nopeammin) korrodoivan ympäristön takia.	Austeniittiset ruostumattomat ja niukka-seosteiset ferriittiset teräkset mukaan lukien hitsausliitokset, erityisesti yhteissä ja muissa jännityskonsentraatiokohdissa.
<b>A20. Terminen vanheneminen</b> (Thermal Ageing, Thermal Embrittlement) – Korkeat käyttölämpötilat aiheuttavat termistä vanhenemista, joka johtaa metallin haurastumiseen.	Ruostumattomat teräkset, joissa austeniittis-ferriittinen rakenne, kuten valetut austeniittiset ja duplex-ruostumattomat teräkset, epäpuhtauksia sisältävät ferriittiset teräkset ja erkautuskarkenevat lujat ruostumattomat teräkset; reaktorin sisäosat, säätösauvakoneisto, putkistot, venttiilit, pumput, akselit.
<b>A21. Jännityksen relaksaatio</b> (Stress Relaxation) – Korotetuissa lämpötiloissa tapahtuva jännityksen alaisen metallin myötäminen, elastinen venymä muuttuu plastiseksi venymäksi. Neutronisäteily voi edesauttaa ilmiötä.	Austeniittiset ja ferriittiset teräkset, Ni-seokset; esikieristetyt pultit mm. reaktorin sisäosissa ja erilaisissa laippaliitoksissa.
<b>A22. Säteilyhaurastuminen</b> (Radiation embrittlement) – Materiaalin, yleensä teräksen, lujuus kasvaa ja sitkeys pienenee materiaalin altistuessa neutronisäteilylle. Teräksen puhtaudella on merkittävä vaikutus haurastumisen voimakkuuteen.	Reaktoripaineastiateräkset; perusaine ja hitsausliitokset; austeniittiset ruostumattomat teräkset, Ni-seokset; reaktorin sisäosat.



Fyysinen ikääntyminen	Altiit kohteet
<b>A23. Säteilyn aiheuttama jännityskorroosio</b> (Irradiation-Assisted Stress Corrosion Cracking; IASCC) – Säröily tapahtuu tietyn kynnyksarvon ylittävän neutroniannoksen aiheuttamana, kun muut jännityskorroosion edellytykset täyttyvät (ks. jännityskorroosio).	Austeniittiset ruostumattomat teräkset; reaktorin sisäosat, mm. erilaiset pultit.
<b>A24. Säteilyn aiheuttama turpoaminen</b> (Swelling) – Suuret neutroniannokset voivat tietyissä austeniittisissa ruostumattomissa teräksissä synnyttää koloja ja makroskooppista rakenteen muodonmuutosta.	Austeniittiset ruostumattomat teräkset; reaktorin sisäosat.
<b>A25. Vetyvaurio</b> (Hydrogen damage) – Vauriot, jotka liittyvät vedyn vaikutuksiin metallissa. Esimerkiksi vetyhauraus (hydrogen embrittlement), vetyläikät (hydrogen blistering) tai hitsauksen vety- eli kylmähalkeilu (hydrogen cracking).	Yleisimmin ferriittiset teräkset. Vetyhauraus aiheuttaa muodonmuutoskyvyn alenemisen. Vetyläikät ja -halkeilu aiheuttavat viivästynyttä halkeilua. Valuissa ja hitseissä metallisulassa ollut vety voi lisäksi aiheuttaa huokosmuodostusta. Vetyhauraus voi syntyä käytönaikaisena kun vedyn lähteenä toimivat esimerkiksi radioliysi tai korroosiossa vapautuva vety.
<b>A26. Kuluminen</b> (Erosion, Wear, Wastage) – Materiaali irtoaa kuluvalta pinnalta eri mekanismien välityksellä. Tästä seuraa painohäviöitä, mitta- ja muodonmuutoksia ja pinnan laadun heikkenemistä.	Austeniittiset ja ferriittiset teräkset, Ni-seokset; reaktorin sisäosat, säätösauvakoneistot, höyrystimien lämmönsiirtoputket, putkistot yleensä, venttiilit, pumput jne.
<b>A27. Hankautuminen</b> (Fretting) – Ilmiö tapahtuu kahden toisiaan vastaan puristetun pinnan välissä silloin, kun pinnat värähdellessään pääsevät liikkumaan. Ilmiön seurauksena metalli voi kulua ja siinä voi tapahtua korroosiota tai väsymistä.	Austeniittiset ja ferriittiset teräkset, Ni-seokset; reaktorin ja höyrystimien sisäosat.
<b>A28. Lommoutuminen</b> (Denting) – Höyrystimien ohutseinämäiset putket lommoutuvat tukilevyjen kohdalta putken ja tukilevyn väliin muodostuvan korroosiotuotekerroksen takia. Ilmiötä edesauttaa, jos tukilevy on hiiliterästä ja sekundaaripuolen vedessä on epäpuhtauksia, esim. klorideja.	Austeniittiset ruostumattomat teräkset, Ni-seokset; höyrystimien lämmönsiirtoputket.
<b>A29. Viruminen</b> (Creep) – Korkeissa lämpötiloissa ( $T > 0,3 \times T_{sulamis piste (K)}$ ) vakiojännityksen tai kuormituksen alaisena tapahtuva ajasta riippuva muodonmuutos. Neutronisäteily saattaa kiihdyttää virumista.	Kaikki metalliset materiaalit; kevytvesireaktoreiden mekaaniset osat toimivat normaalisti lämpötila-alueella, jossa viruminen on vähäistä. Reaktorin sisäosissa olevat pultit saattavat olla alttiita säteilyn kiihdyttämälle virumiselle. Viruminen tulee merkittäväksi sisäosille polttoaineen ylikuumentuessa.
<b>A30. Voiteluaineiden ja -rasvojen ikääntyminen</b> – Virtaus- tai voiteluominaisuuksien heikkeneminen esim. epäpuhtauksien, hapettumisen, säteilyn, sähkövirran, separoitumisen tai polymeeroitumisen takia.	Laakerit ja voitelua tarvitsevat liuku- ja ohjainpinnat.
<b>A31. Koneperustusten värähtelyt</b> – Koneperustuksista välittyvät värähtelyt aiheuttavat vaurioita (painaumat) kosketuspintoissa.	Seisovien pumppujen ja moottorien laakerit.
<b>Sähkö- ja automaatiokomponentit</b>	
<b>A32. Lämpövanheneminen</b> – Lämpötila aiheuttaa eristemateriaalin sähköisten, kemiallisten ja erityisesti mekaanisten ominaisuuksien heikentymistä kuten haurastumista, esim. adipiinihapon erottuessa polymeerimateriaaleista.	Eristemateriaalit, läpiviennit ja liittimet.
<b>A33. Sähköinen vanheneminen</b> – Jännite aiheuttaa eristeen läpilyöntilujuuden huononemista. Sähköinen vanheneminen yhdessä lämpövanhenemisen ja osittaispurkausten kanssa saattaa johtaa sähkölujuuden menetykseen.	Eristemateriaalit.

<b>Fyysinen ikääntyminen</b>	<b>Alttiit kohteet</b>
<b>A34. Mekaanisten ominaisuuksien heikkeneminen –</b> Värähtely, veto, vääntö, lämpölaajeneminen ja -kutistuminen sekä kytkentä- ja katkaisutapahtumissa esiintyvät ylijännitteet aiheuttavat materiaalin sitkeyden ja lujuuden heikkenemistä.	Eristemateriaalit, johdinliitokset ja elektroniikan jäähdytyspuhaltimet.
<b>A35. Kosteuden aiheuttama vanheneminen –</b> Suuri suhteellinen kosteus tai ilmasta lauhunut vesi voi aiheuttaa eristemateriaalin läpilyönnin ja korroosiota. Seurauksena saattaa olla eristeen paisuminen ja vesipuiden muodostuminen.	Eristemateriaalit, läpiviennit ja liittimet.
<b>A36. Ionisoivan säteilyn aiheuttama vanheneminen (Ageing due to Ionizing Radiation) –</b> Ionisoiva säteily aiheuttaa eristemateriaalien haurastumista ja niiden mekaanisten ominaisuuksien heikentymistä.	Eristemateriaalit, läpiviennit ja liittimet.
<b>A37. Korroosio –</b> Metallipinnan kemialliset reaktiot aiheuttavat kosketuspinnossa impedanssin kasvua tai katkaisevat virtapiiriin.	Rele- ja katkaisijakontaktorit, liittimien kosketuspinnat, johtimien liitokset.
<b>A38. Kuitukideilmiö (Whisker) –</b> Sinkki-, tina- ja hopeapinnoitteissa tapahtuva ilmiö, jossa syntyy pinnasta poispäin kasvavia erittäin ohuita hiusmaisia metallikiteitä. Whiskerit voivat aiheuttaa oikosulkuja virtapiiriin.	Sähkökaapit, kaapelikourut, releiden koskettimet.
<b>A39. Metallien diffuusio (Metallic Diffusion) –</b> Virran aiheuttamasta kuumenemisestä johtuva sähköliitoksen materiaalien koostumuksen muutos, joka voi johtaa sähkönjohtavuuden ja/tai mekaanisten ominaisuuksien heikkenemiseen.	Juotokset sähkö- ja automaatiolaitteissa.
<b>A40. Sähköeroosio –</b> Virtapulssien jatkuva purkautuminen laakerien kautta voi vähitellen kuluttaa laakerien vierintäpintaa ja aiheuttaa laakerivaurioita. Samoin avautuvien koskettimien kipinäointi kuluttaa kosketinpintoja.	Kontaktorien koskettimet, sähkömoottorien ja generaattorien laakerit.
<b>A41. Elektrolyyttikondensaattorien kuivuminen –</b> Kondensaattorin kapasitanssi romahtaa elektrolyytin määrän laskiessa. Voi aiheuttaa myös eristeenä toimivan alumiinioksidikalvon ohenemisen, mikä johtaa läpilyöntiin ja mahdolliseen kondensaattorin räjähtämiseen.	Elektrolyyttikondensaattorit
<b>Betonirakenteet</b>	
<b>A42. Yleinen korroosio (General Corrosion) –</b> Ks. Mekaaniset komponentit, A15.	Jänneteräokset, ankkuripultit, teräsvuoraus; hiili- ja ferriittiset niukkaseosteiset teräokset.
<b>A43. Pistekorroosio (Pitting) –</b> Ks. Mekaaniset komponentit, A11.	Jänneteräokset, ankkuripultit, teräsvuoraus; hiili- ja niukkaseosteiset ferriittiset teräokset.
<b>A44. Vetyhauraus (Hydrogen embrittlement stress cracking, HESC) –</b> Happamien vesiliuosten, kloridien, sulfiittien tai sähkövirtojen kiihdyttämästä korroosiosta vapautuu katodisesti vetyä, joka aiheuttaa teräksen vetyhaurautta. Teräksen jatkuva vetorasitus aiheuttaa säröilyä.	Kylmävedetyt jänneteräokset, ankkuripultit. Korroosio edellyttää rakenteen kosteutta. Betonin sideaine sisältää sulfiitteja, teräksen vaikuttaa kemiallinen rasitus klorideista, ammoniumyhdisteistä tai sulfiiteista. Galvanismi tai sähköiset hajavirrat kiihdyttävät korroosiota. Betonirakenteessa teräksiä suojaava oksidikerros on vaurioitunut jonkin muun vauriomekanismin seurauksena tai rakennusaikainen sääsuojaus on riittämätöntä ennen jänteiden injektointia.
<b>A45. Jäätymis-sulamisrasitus (Freeze-thaw Deterioration) –</b> Betonin kapillaarihuokosissa oleva vesi laajenee jäätyessään. Syntynyt paine rapauttaa betonin pintaa.	Ulkotilojen betonirakenteet, joiden suojahuokosien, $\phi$ 0,01–0,8 mm, suhde muihin huokosiin on pieni.

Fyysinen ikääntyminen	Alttiit kohteet
<p><b>A46. Karbonatisoituminen</b> (Carbonation of Concrete) – Kemiallisessa reaktiossa veteen liuennut hiilidioksidi reagoi betonin alkalisten hydroksidien kanssa, jolloin betonin emäksisyys vähenee. Karbonatisoitumisnopeus riippuu betonin tiiveydestä, sementtimäärästä ja betonin suhteellisesta kosteudesta.</p> <p>Terästen korroosio alkaa, kun betonin emäksisyys pienenee betoniterästen ympärillä riittävän alhaiseksi, pH &lt; 9.</p>	<p>Betonirakenteet kosteissa olosuhteissa 40 % &lt; RH &lt; 90 %.</p>
<p><b>A47. Kloridien tunkeutuminen</b> (Chloride Attack on Concrete) – Kloridi-ionien tunkeutuminen betoniin aiheuttaa korroosiota, vaikka betonin pH olisi korkeakin. Kloridien vaikutuksesta korroosiolta suojaava oksidikalvo rikkoontuu ja teräksen korroosio alkaa.</p>	<p>Betonissa käytetyt runkoaineet, sideaine ja vesi ovat voineet sisältää klorideja haitallisia määriä, tai klorideja tunkeutuu vesiliuoksena betoniin ympäristöstä huokosten kautta diffuusiona tai suoraan betonin halkeamien kautta (merivesi, tiesuolaus, kemikaalit).</p>
<p><b>A48. Myöhästynyt ettringiitin muodostuminen</b> (Delayed Ettringite Formation, DEF) – Jos betonin kovettumisvaiheen lämpötila on suuri, häiriintyy betonin hydrataatio ja huokosrakenteeseen kiteytyy kovettumisen jälkeen ettringiittiä, joka aiheuttaa tilavuuden kasvua. Seurauksena on betonin halkeilua ja rapautumista. Huokosrakenteen täytyminen heikentää lisäksi pakkasrasituskestävyyttä.</p>	<p>Lämpökäsitellyt betonivalmisteet ja massiiviset betonirakenteet, joiden sitoutumisen aikainen lämpötila on yli 70 °C. Sementti sisältää trikalsiumaluminaattia.</p>
<p><b>A49. Sulfaattirasitus</b> (Sulfate attack on concrete) – Ulkoisesta lähteestä peräisin olevat sulfaatti-ionit reagoivat sementin hydrataatiotuotteiden kanssa muodostaen paisuvia yhdisteitä mm. ettringiittiä. Paisumisen aiheuttama halkeilu helpottaa edelleen sulfaattien tunkeutumista betoniin, ja rakenne voi hajota kokonaan. Sulfaattirasituksessa voi muodostua myös thaumasiittia (thaumasite form on sulfate attack, TSA), joka paisuttaa ja heikentää betonin lujuutta.</p>	<p>Betonin altistuessa sulfaatteja sisältävälle (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> &gt; 200 mg/l) liikkuvalla vedellä (pohjavesi, viemäriveresi). Betonin sideaine sisältää kalsiumhydroksidia ja kalsiumaluminaatteja.</p>
<p><b>A50. Alkalikiviainesreaktio</b> (Alkali-Aggregate Reaction, AAR) – Jotkin runkoaineen piidioksidit liukenevat betonin alkalisisäisessä ympäristössä, ja kemiallisissa reaktioissa huokosveden alkaliin (Na+ ja K+) ja hydroksyyli-ionien kanssa muodostuu hygroskooppista alkaligeeliä. Tämä aiheuttaa paisumista ja niiden seurauksena halkeilua.</p> <p>Kolme erilaista alkalikiviainesreaktiota on tunnistettu: alkalipiidioksidireaktio, alkalisilikaattireaktio ja alkalikarbonaattireaktio.</p>	<p>AAR:ta esiintyy, kun betonin runkoaine sisältää tiettyntyyppisiä amorfisia tai heikosti kiteytyneitä piidioksidin muotoja (opaali, kalsedoni, limsiö ja osa deformatiivisista kvartseista) tai piidioksidin ja silikaattimineraalien sekafaaseja (joita voi esiintyä esimerkiksi graniiteissa, liuskeissa ja grauvakassa).</p>
<p><b>A51. Pehmeän veden liuottava vaikutus</b> (Demineralised Water on Concrete) – Pehmeä vesi liuottaa sementtikiven kalsiumhydroksidia tehokkaasti. Betonin vesitiiviyyden ollessa heikko suuren vesi-sementtisuhteen tai halkeilun takia vesi kulkeutuu betonin sisään ja liuottaa sementtikiven kalsiumhydroksidia. Betonin lujuus alenee ja tiiveys heikkenee.</p>	<p>Betonirakenteet, jotka joutuvat kosketuksiin pehmeän veden (kovuus ≤ 3 °dH) kanssa.</p>
<p><b>A52. Alhaisen pH:n liuottava vaikutus</b> (Acid Attack on Concrete) – Liuokset, joilla on alhainen pH, liuottavat sementtikiveä. Happamia liuoksia esiintyy luonnossa, tai niitä joutuu käytön aikana betonipinnoille.</p>	<p>Happamille liuoksille (pH &lt; 6,5) altistuvat betonipinnat laitoksen sisätiloissa, perustukset, altaat.</p>

<b>Fyysinen ikääntyminen</b>	<b>Alttiit kohteet</b>
<b>A53. Kemiallinen rasitus</b> (chemical attack) – Useat kemialliset aineet ovat haitallisia betonille, kuten magnesiumsulfaatti, magnesiumkloridi ja ammoniumsulfaatti. Ne vaikuttavat sementtiseidaineeseen muuttamalla sen fysikaalisia ominaisuuksia.	Maanalaiset betonirakenteet, kun pohjavesi sisältää liuenneita kemiallisia aineita (ammonium $\text{NH}_4^+$ > 15 mg/l, magnesium $\text{Mg}^{2+}$ > 300 mg/l, aggressiivinen $\text{CO}_2$ > 15 mg/l).
<b>A54. Biologiset organismit</b> – Biologinen vaikutus voi syntyä suoraan organismin tunkeutuessa rakenteeseen, tai organismin biologisen prosessin tuotteena syntyy rakennetta vahingoittavia kemikaaleja, kuten sulfaatteja.	Merivesirakenteet, altaat, kosteat olosuhteet.
<b>A55. Rakenteen pakkovoimat</b> (Restraint Forces) – Pakkovoimia aiheuttavat lämpöliikkeet, kosteuden muutokset ja betonin kutistuminen. Lämpöliikkeitä voi syntyä betonin sitoutumisen tai käytön aikana. Jos liike on estetty ja rakenne ei kykene vastaanottamaan syntyynyttä jännitystä, rakenne voi vaurioitua tai halkeilla.	Betonirakenteet, joissa ei ole otettu huomioon pakkovoimia.
<b>A56. Sähköiset hajavirrat</b> (Stray Current Corrosion) – Sähköisten hajavirtojen aiheuttama korroosionopeuden lisäys.	Maanalaiset betonirakenteet ja metalliputket, jotka altistuvat sähköisille hajavirroille (sähkölinjat, katodinen suojaus viereisissä rakenteissa).
<b>A57. Eroosio</b> (Erosion) – Virtaavan veden aiheuttaman kulumisen, eroosion, voimakkuus riippuu mm. veden sisältämien kuluttavien hiukkasten määrästä.	Rakenteet, jotka altistuvat virtaavan veden vaikutukselle.
<b>A58. Korkea lämpötila</b> (High Temperature) – Korkean lämpötilan vaikutuksesta sementtikivessä oleva vesi höyrystyy. Tämä heikentää betonin lujuusominaisuuksia. Korkeammissa lämpötiloissa kalsiumhydroksidi hajoaa ja runkoaineeseen tulee muutoksia. Tilavuuden muutos aiheuttaa sisäistä jännitystä ja rakenteen lohkeilua. Betonin pinta rapautuu ja aiheuttaa riskin lisävaurioihin.	Tulipalon tai korkean lämpötilan, > 90 °C, aiheuttamat vauriot betonirakenteille.
<b>A59. Ionisoiva säteily</b> – Ionisoiva säteily aiheuttaa lujuuden menetystä ja tilavuuden kasvua. Lujuuden menetys voi johtua muutoksista rakenteessa tai säteilyn lämmittävästä vaikutuksesta.	Reaktoripaineastian viereiset säteilysuoja-rakenteet, biologiset suojat.
<b>A60. Relaksaatio</b> (Relaxation) – Relaksaatioissa jänneteräksen jännitys pienenee, kun venymä pysyy vakiona (ks. jännityksen relaksaatio; mekaaniset komponentit).	Jänneteräkset.
<b>A61. Viruminen</b> (Creep) – Virumisessa betonin jännitystilasta johtuva muodonmuutos etenee alkutilan jälkeen ajan funktiona. Virumasta johtuva muodonmuutos ei ole palautuva.	Betonirakenteet, joiden jännitystilasta ja käyttölämpötila ovat korkeat.
<b>A62. Kutistuminen</b> (Shrinkage) – Betoni kutistuu kuivuessaan ja laajenee vastaavasti kosteuden lisääntyessä. Sitoutumisen aikainen kutistuminen ei ole palautuvaa.	Kaikki betonirakenteet.

<b>Teknologinen ikääntyminen</b>
<b>A63. Kansalliset ja kansainväliset säädökset</b> – Laitososat eivät vastaa uusissa kansallisissa tai kansainvälisissä säädöksissä niille asetettuja vaatimuksia. Poikkeamat voivat liittyä esim. laitososien suunnittelun perusteena oleviin vaatimuksiin, kelpoistukseen, turvallisuuskysymyksiin ja/tai rinnakkaisuuteen tai erilaisuuteen.
<b>A64. Standardit</b> – Laitososat eivät vastaa niitä standardipäivityksiä tai uusia standardeja, joita käytetään viitteinä laitososien suunnittelua, valmistusta ja materiaaleja koskevissa vaatimuksissa.
<b>A65. Laitetekniikka</b> – Laitososat eivät edusta vallitsevaa teknistä kehitystasoa. Saataville voi tulla sellaista kelpoistettua tekniikkaa, joka oleellisesti parantaa ydinlaitoksen turvallisuutta.
<b>A66. Kunnonvalvonta- ja kunnossapitotekniikka</b> – Laitososien kunnonvalvonta tai kunnossapito ei edusta vallitsevaa teknistä kehitystasoa. Saataville voi tulla uusia menetelmiä, jotka oleellisesti tehostavat laitososien kunnonvalvontaa tai kunnossapitoa.
<b>A67. Tekninen tuki</b> – Laitososan tekninen tuki päättyy valmistajan tai toimittajan lopettaessa toimintansa.
<b>A68. Varaosien saatavuus</b> – Varaosien saatavuus päättyy laitteen valmistajan tai muiden varaosavalmistajien lopettaessa toimintansa.