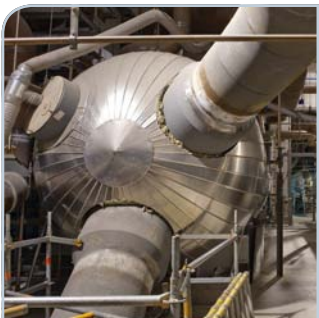




# Ydinvoimalaitosyksikkö Olkiluoto 3





# Sisällys

TVO – alansa edelläkävijä	3
Olkiluoto 3	4
Monen rakennuksen laitosyksikkö	9
■ <b>PRIMÄÄRIPIIRI</b>	<b>13</b>
Reaktoripaineastia ja sisäosat	15
Reaktorisydän ja polttoaine	17
Reaktorin käyttö ja tehonsäätö	23
Pääkiertojärjestelmä	25
■ <b>SEKUNDÄÄRIPIIRI</b>	<b>31</b>
Turbiinit ja generaattori	33
Lauhdutin	37
■ <b>MERIVESIPIIRI</b>	<b>39</b>
■ <b>YDINTURVALLISUUS</b>	<b>41</b>
■ <b>VESIKEMIA JA TILAVUUDENSÄÄTÖJÄRJESTELMÄT</b>	<b>47</b>
■ <b>AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT</b>	<b>49</b>
■ <b>SÄHKÖJÄRJESTELMÄT</b>	<b>51</b>
■ <b>JÄTTEIDENKÄSITTELYJÄRJESTELMÄT</b>	<b>53</b>
■ <b>KOULUTUSSIMULAATTORI</b>	<b>57</b>
Tekniset tiedot	58

*Reaktoripaineastia nostettiin reaktorikuoppaan kesäkuussa 2010.*



# TVO – alansa edelläkävijä

Teollisuuden Voima Oyj (TVO) on vuonna 1969 perustettu osakeyhtiö, joka tuottaa sähköä omistajilleen omakustannushinnalla. TVO on Olkiluodon ydinvoimalaitoksen rakentaja, omistaja ja käyttäjä.

Olkiluodon ydinvoimalaitosyksikköjen Olkiluoto 1:n (OL1) ja Olkiluoto 2:n (OL2) tuotanto kattaa noin kuudenneksen Suomessa käytetystä sähköstä. Tästä sähköstä noin puolet menee teollisuuden käyttöön ja toinen puoli kotitalouksille, palvelusektorille ja maatalouteen.

Muun muassa sähköntuotannon omavaraisuusasteen lisäämisen ja sähköntuotannon lisäkapasiteetin tarpeen myötä TVO on rakennuttamassa Olkiluotoon kolmatta ydinvoimalaitosyksikköä, Olkiluoto 3:a (OL3). OL3 on sähköteholtaan noin 1 600 MWe:n laitosyksikkö, ja se lähes kaksinkertaistaa TVO:n sähköntuotantokapasiteetin Olkiluodossa. Eduskunta myönsi kesällä 2010 TVO:lle luvan rakentaa Olkiluotoon neljännen laitosyksikön, Olkiluoto 4:n (OL4).

## Vankkaa ydinvoimaosaamista

TVO:n palveluksessa on noin 800 henkilöä, josta isolle osalle on kertynyt vuosikymmenien vankka kokemus ydinvoimalaitoksen käytöstä ja kunnossapidosta. Tätä osaamista hyödynnetään ja kehitetään myös OL3- ja OL4-yksiköiden rakentamisessa.

TVO on koko toiminnan ajan kouluttanut henkilöstöään ja kehittänyt henkilöstön ydinalan osaamista. Asiantuntemusta ylläpidetään muun muassa osallistumalla kansainvälisiin tutkimushankkeisiin. Myös Olkiluodon käytössä olevien yksiköiden tehonkorotus- ja modernisointihankkeet sekä muut kehitys- ja rakentamisprojektit kehittävät osaamista. Vuosien varrella toteutetut modernisointihankkeet ovat parantaneet Olkiluodon laitoksen turvallisuutta, tuotantokykyä ja tuotannon taloudellisuutta.

## Kansainvälisen vertailun huippua

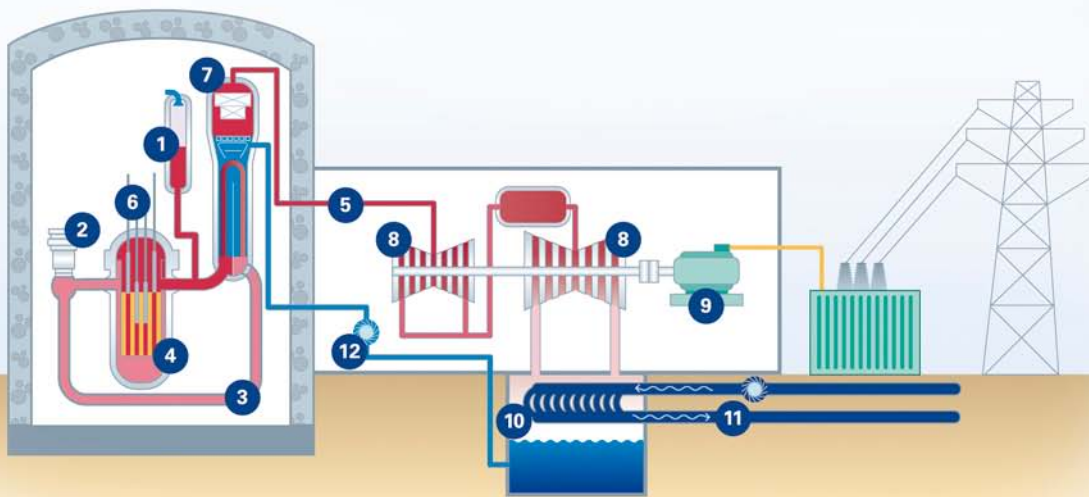
TVO:n vankka ydinvoimaosaaminen kiteytyy Olkiluodon laitosyksiköiden korkeisiin käyttökertoimiin. Ne ovat 1990-luvulta alkaen vaihdelleet välillä 93–98 prosenttia. Lukemat ovat pitkään olleet kärkisijoilla kansainvälisessä vertailussa.

Korkeat käyttökertoimet kertovat muun muassa laitosyksiköiden luotettavasta toiminnasta. Saavutettuihin tuloksiin on päästy huolellisella, ennakoivalla vuosihuolto- ja muutostyösuunnittelulla.

Hyviin tuloksiin on päästy myös henkilöstön säteilyannoksissa, jotka ovat olleet pieniä Olkiluodon voimalaitoksella – myös kansainvälisesti verrattuna.

## TVO:n tapa toimia

TVO on ydinvoimayhtiönä sitoutunut korkeatasoiseen turvallisuuskulttuuriin, joka perustavanlaatuisesti ohjaa kaikkea toimintaa. Sen periaatteisiin kuuluu, että jokainen asia käsitellään turvallisuusmerkityksensä mukaisesti ja toiminnassa tavoitellaan suurta luotettavuutta ja tuotantovarmuutta. Turvallisuus ja siihen vaikuttavat tekijät asetetaan aina taloudellisten tavoitteiden edelle. TVO:n tulevaisuuden visio on olla arvostettu suomalainen ydinvoimayhtiö ja alansa edelläkävijä. Tähän tavoitteeseen TVO pyrkii vastuullisesti, ennakoiden, jatkuvan parantamisen periaatetta noudattaen ja avoimesti, hyvässä yhteistyössä eri sidosryhmien kanssa.



## Olkiluoto 3

Olkiluoto 3 (OL3) päätettiin rakentaa monesta syystä. Yksikön tuoma lisäkapasiteetti paitsi kattaa sähkön kulutuksen kasvua myös korvaa käytöstä poistuvien laitosten tuotantoa. Toisaalta OL3 edesauttaa yhdessä uusiutuvan energian käytön kanssa Suomea toteuttamaan hiilidioksidipäästöjen vähentämistavoitteita, lisää sähkön hinnan vakautta ja ennustettavuutta sekä vähentää sähkön tuontiriippuvuutta.

Tältä pohjalta TVO jätti marraskuussa 2000 valtioneuvostolle periaatepäätöshakemuksen uuden ydinvoimalaitosyksikön rakentamisesta. Valtioneuvosto teki asiasta myönteisen päätöksen 17.1.2002 ja eduskunta vahvisti sen 24.5.2002. Periaatepäätöksen mukaan ydinvoimalaitosyksikön rakentaminen on yhteiskunnan kokonaisedun mukaista.

Tarjouskilpailun jälkeen TVO teki joulukuussa 2003 investointipäätöksen teholtaan noin 1 600 MWe:n painevesireaktorilla varustetun laitosyksikön rakentamisesta Olkiluotoon. Voimalaitosyksikön tyyppinimi on EPR (European Pressurized water Reactor). Laitosyksikön rakentaa kokonaistoimituksena AREVA NP:n ja Siemensin muodostama konsortio. AREVA NP vastaa konsortiossa reaktorilaitoksen ja Siemens turbiinilaitoksen toimituksesta.

### Kokenut laitostoimittaja

Kumpikin päätoimittajista on johtava alallaan. AREVA NP on toimittanut pääkomponentit yhteensä 100 kevytvesireaktorilaitosyksikköön, joista 94 on painevesityyppistä (PWR) ja kuusi kiehuvesityyppistä (BWR). Viimeisimmät käyttöönotetut PWR-laitosyksiköt, joissa AREVA NP on ollut pääkomponenttien toimittaja, ovat ranskalaiset Civaux 1 ja 2, jotka otettiin käyttöön 1997 ja

1999. AREVA NP on myös toimittanut pääkomponentit vuonna 2002 käyttöönotettuihin yksiköihin Brasiliassa (Angra 2) sekä Kiinassa (Ling Ao 1 ja 2).

Siemens puolestaan on yksi maailman johtavista voimalaitostoimittajista. Sen toimittamien voimalaitosten asennettu kapasiteetti on yhteensä yli 600 GW.

### Tekniikka pohjautuu hyviin käyttökokemuksiin

Olkiluoto 3 on edistysellinen verrattuna nykyisin käytössä oleviin laitoksiin. Se edustaa niin sanottua evoluutiotyypin, jonka perusratkaisut pohjautuvat käytössä olevien laitosten käytännössä koeteltuun tekniikkaan. Kehityksen esikuvina ovat olleet N4-laitostyyppi Ranskassa ja Konvoi-laitostyyppi Saksassa.

Erityisesti turvallisuusominaisuuksia on edelleen kehitetty. Suunnittelussa on jo alusta lähtien otettu huomioon esimerkiksi vakavien reaktorionnettomuuksien hallinta (sulaneen sydämen hallinta) sekä suuren lentokoneen törmäys (reaktorirakennuksen kaksoisseinä).

#### Saksa (Konvoi)

Neckarwestheim 2	1 269 MWe	1989
Isar 2	1 400 MWe	1988
Emsland	1 290 MWe	1988

#### Ranska (N4)

Chooz 1	1 450 MWe	1996
Chooz 2	1 450 MWe	1997
Civaux 1	1 450 MWe	1997
Civaux 2	1 450 MWe	1999

## Painevesireaktorin toimintaperiaate

Painevesilaitoksessa on lämmönsiirtoon kaksi erillistä piiriä. **Paineistimen (1)** avulla korkeassa paineessa pidettävä vesi kiertää **pääkiertopumppujen (2)** avulla **primääripiirissä (3)** ja luovuttaa **reaktorin (4)** tuottaman lämmön **sekundääripiirille (5) höyrystimessä (7)**. Reaktorin tehoa säädetään **säätöelementeillä (6)**. Sekundääripiirin paine on huomattavasti primääripiirin painetta pienempi, joten sekundääripiirin vesi kiehuu höyrystimessä. Höyrystimessä syntynyt vesihöyry pyörittää **turbiinia (8)**. Turbiini pyörittää samalle akselille kytkettyä **generaattoria (9)**, joka tuottaa sähköä. Turbiinista tuleva höyry jäähdytetään takaisin vedeksi **lauhduttimessa (10) meriveden (11)** avulla. Lauhdevesi syötetään takaisin höyrystimeen **syöttövesipumpulla (12)**, ja lämmennyt merivesi palautetaan mereen.

## 60 vuotta käyttöikä

Turvallisuuden lisäksi OL3:n suunnittelussa on kiinnitetty erityistä huomiota taloudellisuuteen. Muun muassa laitosesikön hyötysuhde, runsaat 37 %, on noin neljä prosenttiyksikköä suurempi kuin alunperin Olkiluodon nykyisillä laitosesiköillä.

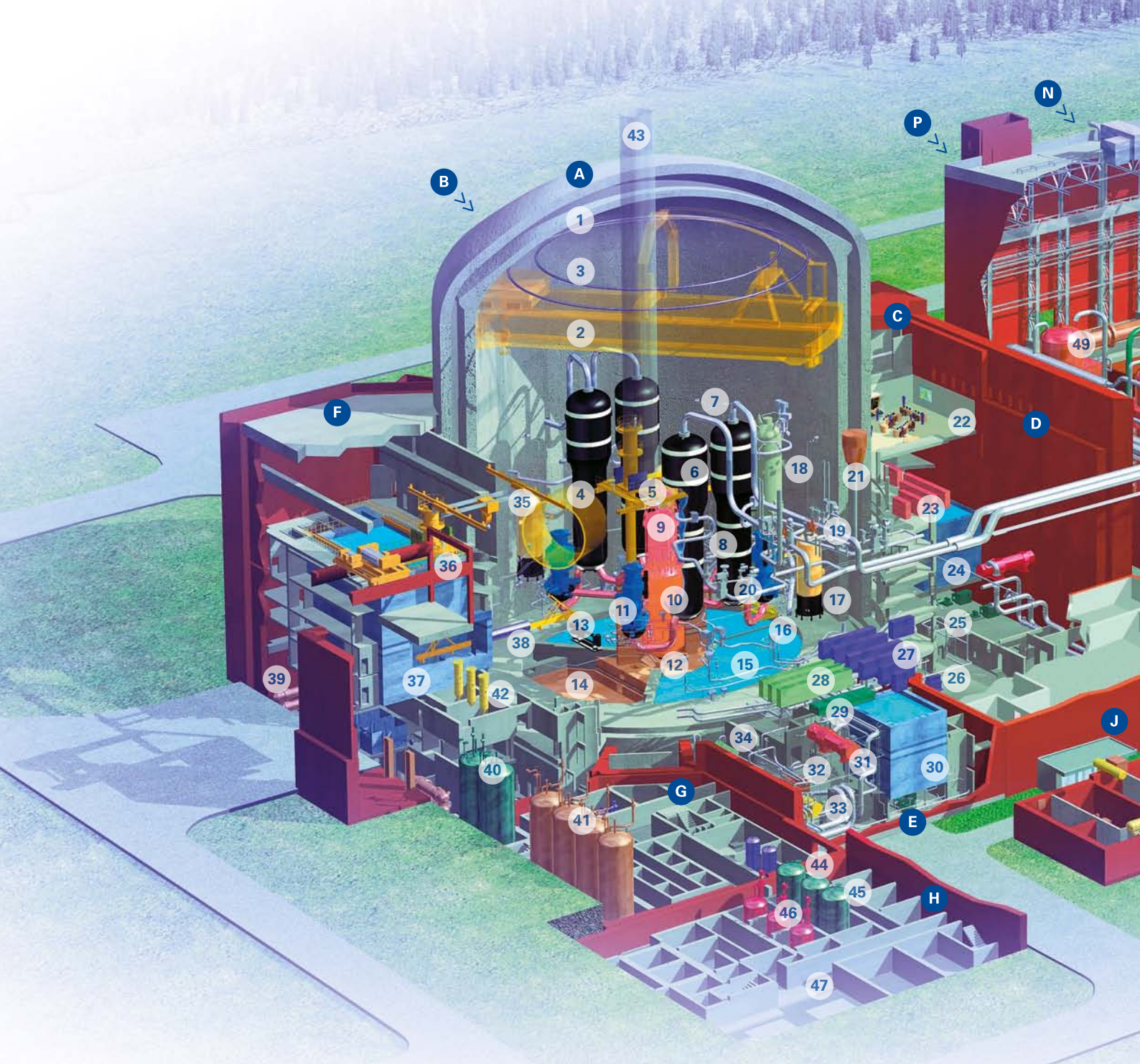
Voimalaitosesikön suurimpien rakenteiden ja laitteiden suunnittelun lähtökohtana käytetään vähintään 60 vuoden käyttöikä ja helpommin vaihdettavien rakenteiden ja laitteiden osalta vähintään 30 vuotta. Varautumalla ennalta rakenteiden ja laitteiden uusintaan on laitoksen mahdollista päästä taloudellisesti vähintään 60 vuoden toiminta-aikaan.

Verrattuna viimeisimpiin Euroopassa käyttöön otettuihin laitoksiin on OL3:n reaktoriteho noin prosentin verran suurempi ja sähköteho noin 10 prosenttia suurempi.

OL3 toimitetaan avaimet käteen -periaatteella. TVO:n osuutena ovat olleet aluetyöt ja Olkiluodon infrastruktuurin laajennus. Aluetöihin ovat kuuluneet esimerkiksi maansiirtotyöt, louhintatyöt, teiden rakentaminen, työmaan sähköistäminen ja jäähdytysvesitunnelien rakentaminen. AREVA NP-Siemens-konsortion vastuulla olevat varsinaiset rakennustyöt käynnistyivät vuonna 2005.

*Moniportaisessa laadunvalvonta- ja tarkastustoiminnassa ovat mukana TVO:n lisäksi laitosten toimittajan, alihankkijoiden ja viranomaisten edustajat.*





**A Reaktorirakennus**

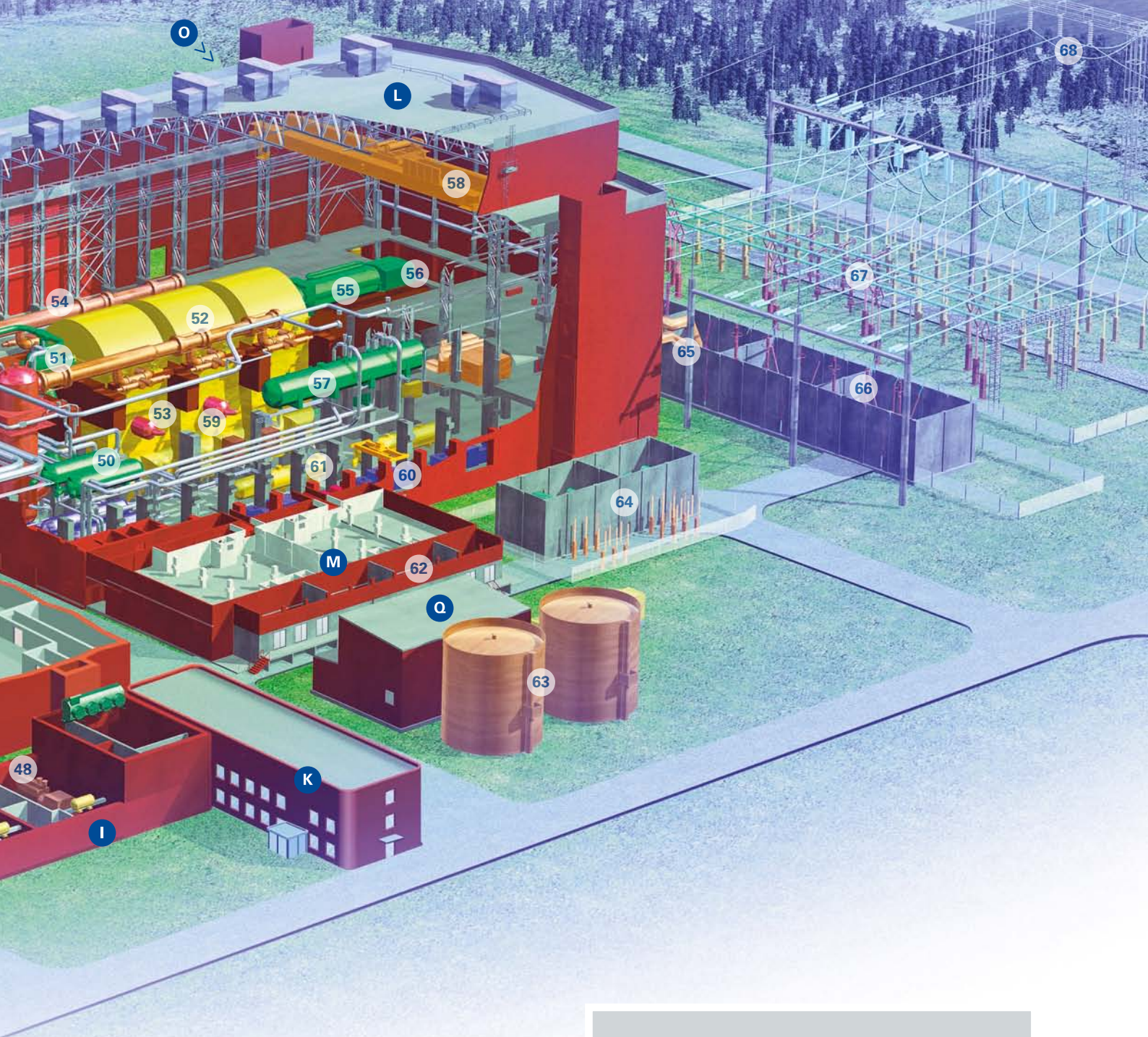
- 1 Sisempi ja ulompi suojarakennus
- 2 Reaktorirakennuksen päänosturi
- 3 Suojarakennuksen jäähdytysjärjestelmä: ruiskutussuuttimet
- 4 Materiaaliluukku (isot laitteet)
- 5 Polttoaineen siirtokone
- 6 Höyrystin
- 7 Päähöyrylinjat
- 8 Pääsyöttövesilinjat
- 9 Reaktorin säätösauvakoneisto
- 10 Reaktoripaineastia
- 11 Primääripiirin pääkiertopumppu
- 12 Primääripiirin jäähdyteputkisto
- 13 Primääripiirin tilavuuden säätöjärjestelmän lämmönvaihtimet
- 14 Sydänsulan leviämisalue
- 15 Häätäjäähdytysvesiallas

- 16 Reaktorin häätäjäähdytysjärjestelmien ja suojarakennuksen jäähdytysjärjestelmän imusihdit
- 17 Reaktorin häätäjäähdytysjärjestelmän paineakku
- 18 Primääripiirin paineistin
- 19 Päähöyryventtiilit
- 20 Syöttövesiventtiilit
- 21 Päähöyryjärjestelmän varo- ja paineenalennusventtiilien ulosvirtauksen äänenvaimennin
- B Turvallisuusjärjestelmä rakennus 1**
- C Turvallisuusjärjestelmä rakennus 2**
- 22 Päävalvomo
- 23 Tietokonehuone
- 24 Hätäsyöttövesisäiliö
- D Turvallisuusjärjestelmä rakennus 3**
- 25 Hätäsyöttövesipumppu

- 26 Keskipaineinen häätäjäähdytyspumppu
- E Turvallisuusjärjestelmä rakennus 4**
- 27 Sähkötila
- 28 Automaatiotila
- 29 Akkuhuoneet
- 30 Hätäsyöttövesisäiliö
- 31 Komponenttien välijäähdytyspiirin lämmönvaihdin
- 32 Matalapaineinen häätäjäähdytyspumppu
- 33 Suojarakennuksen jäähdytysjärjestelmän lämmönvaihdin (merivesipuoli)
- 34 Suojarakennuksen jäähdytysjärjestelmän lämmönvaihdin
- F Polttoainerakennus**
- 35 Polttoainerakennuksen nosturi

- 36 Polttoaineen siirtokone
- 37 Polttoainealtaat
- 38 Polttoaineen siirtoputki
- 39 Polttoainealtaan jäähdytysjärjestelmän lämmönvaihdin
- G Reaktorilaitoksen apurakennus 40 ja 41**
- Primääripiirin jäähdytysveden varastointisäiliöt
- 42 Poistokaasujen viivästyssäiliö
- 43 Ilmastointipiippu
- H Jätteenkäsittelyrakennus**
- 44 Jäteveden keräyssäiliö
- 45 Valvontasäiliöt
- 46 Konsentroitinsäiliöt
- 47 Jätetynnyrivarasto
- I Dieselerakennus**
- 48 Varavoimadieselit





**J Sisäänkulkurakennus**

**K Toimistorakennus**

**L Turbiinirakennus**

49 Välitulistin

50 Syöttöveden korkeapaine-esilämmittimet

51 Korkeapaineturbiini

52 Matalapaineturbiini

53 Lauhduttimet

54 Tulistetun höyryn ylivirtausputket

55 Generaattori

56 Magnetointikone

57 Syöttövesisäiliö

58 Turbiinirakennuksen päänosturi

59 Syöttöveden matalapaine-esilämmittin

60 Syöttövesipumput

61 Syöttöveden matalapaine-esilämmittin

**M Kytkinlaitos**

62 Muuntajat

**N Merivesipumppaamo**

**O Varmennetun merivesijärjestelmän pumppaamo**

**P Suponestojärjestelmän pumput**

**Q Apuhöyrykattilarakennus**

63 Täyssuolanpoistetun veden varastointisäiliöt

64 Varasyöttömuuntaja

65 Päämuuntajat

66 Omakäyttömuuntajat

67 Kytlinkenttä

68 Korkeajännitelinjat

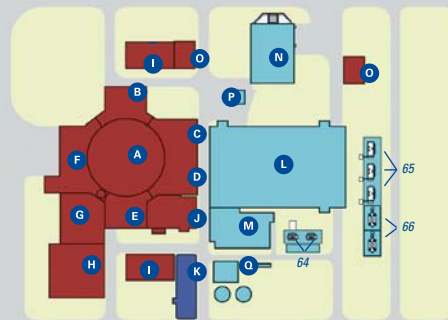
Tietokonegraafikka: Images & Process

### Olkiluoto 3:n rakennuskokonaisuudet

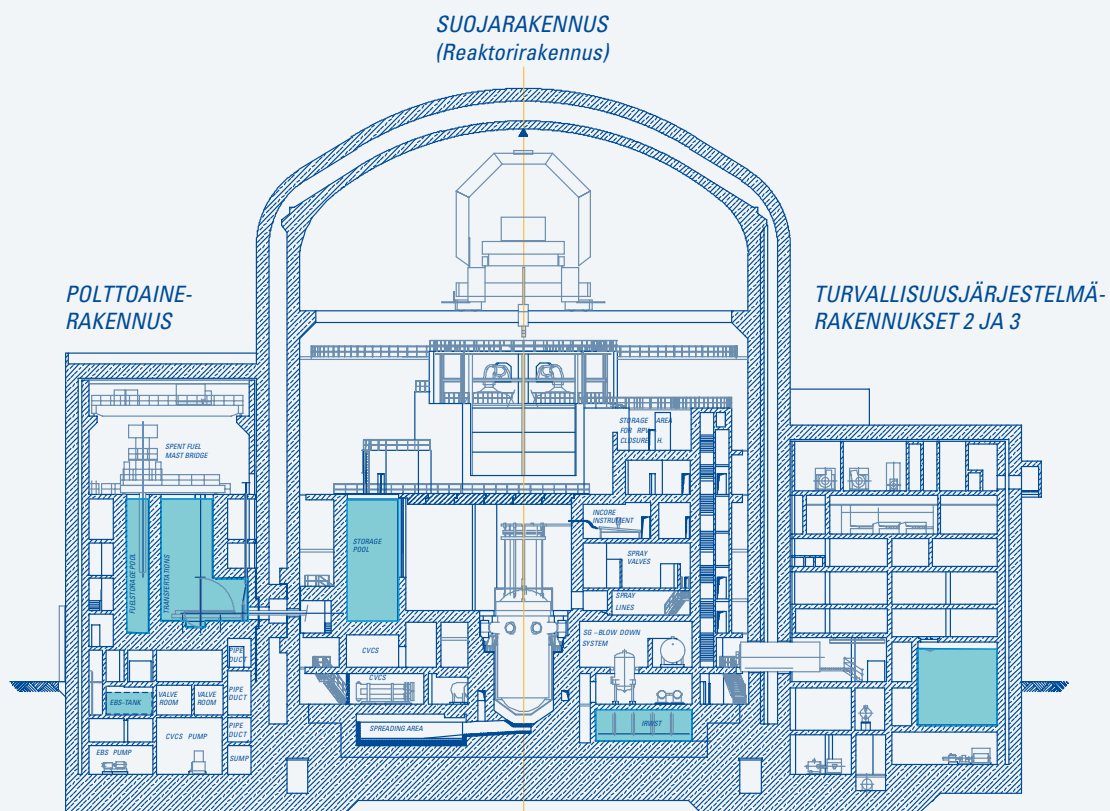
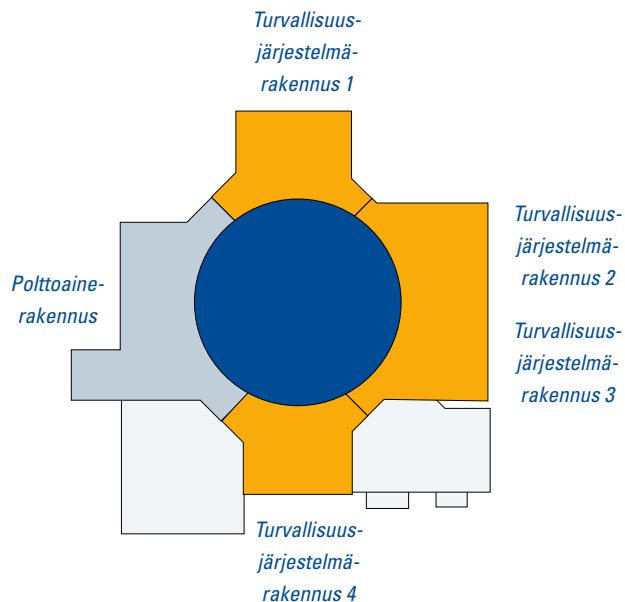
■ AREVA NP (reaktorilaitos)

■ Siemens PG (turbiinilaitos)

■ TVO (toimistorakennus)



Reaktorirakennusta ympäröivät polttoainerakennus ja neljä toisistaan riippumatonta turvallisuusjärjestelmärakennusta.



# Monen rakennuksen laitosyksikkö

Uusi voimalaitosyksikkö rakennetaan nykyisten yksiköiden länsipuolelle. Laitosyksikön rakennukset voidaan karkeasti jakaa kolmeen kokonaisuuteen: reaktorilaitokseen ja turbiinilaitokseen sekä apu- ja tukirakennuksiin.

## Reaktorilaitos

Reaktorilaitoksen päärakennukset ovat reaktorin suojarakennus ja sitä ympäröivät turvallisuus- ja polttoainerakennukset. Reaktorin primääripiiri on sijoitettu tiiviiseen ja painetta kestävään, kaksikuoriseen suojarakennukseen, jota kutsutaan myös reaktorirakennukseksi.

Polttoainerakennus, jossa ovat tuoreen ja käytetyn polttoaineen säilytysaltaat, on reaktorirakennuksen eteläisellä puolella. Sen pituus on noin 50 m, leveys noin 20 m ja kokonaiskorkeus maanalaiset tilat mukaan luettuna yli 40 m. Polttoainerakennuksessa on tuoreen ja käytetyn polttoaineen varastojen lisäksi korjaamotiloja. Polttoainerakennuksen vieressä ovat reaktorilaitoksen apurakennus ja jätteenkäsittelyrakennus. Jätteenkäsittelyrakennuksessa käsitellään voimalaitosjätteitä.

Reaktorirakennuksen, polttoainerakennuksen ja turvallisuusjärjestelmärakennusten suunnittelussa on varauduttu erilaisiin ulkoisiin häiriövaikutuksiin kuten maanjäristyksiin ja räjähdysten aiheuttamiin paineaaltoihin. Kaikki nämä rakennukset on sijoitettu yhteiselle pohjalaatalle.

Reaktorirakennus, turvallisuusjärjestelmärakennuksista kaksi ja polttoainerakennus on suojattu suuren lentokoneen törmäystä vastaan.

## Reaktorin suojarakennus

OL3:n reaktoriyksikkö on varustettu teräsbetonisella, kaksikuorisella suojarakennuksella.

Reaktorin suojarakennuksen muoto on valittu lujuus- ja rakennusteknisiin perusteisiin. Sisempi suojarakennus on esi-

jännitetty teräsbetonisylinteri, jossa on elliptinen yläpäätty. Se on mitoitettu kestäväksi mahdollisista putkikatkoista aiheutuvat paine- ja lämpötilakuormitukset. Massiivinen ulompi suojarakennus on raudoitettu betonisylinteri, ja se on samalla pohjalaatalla kuin sisempi suojarakennus ja suojaa sisempää suojarakennusta ulkoisilta häiriövaikutuksilta. Tämä kaksoisena on uusi, täydentävä turvallisuusratkaisu verrattuna aiempiin laitoksiin.

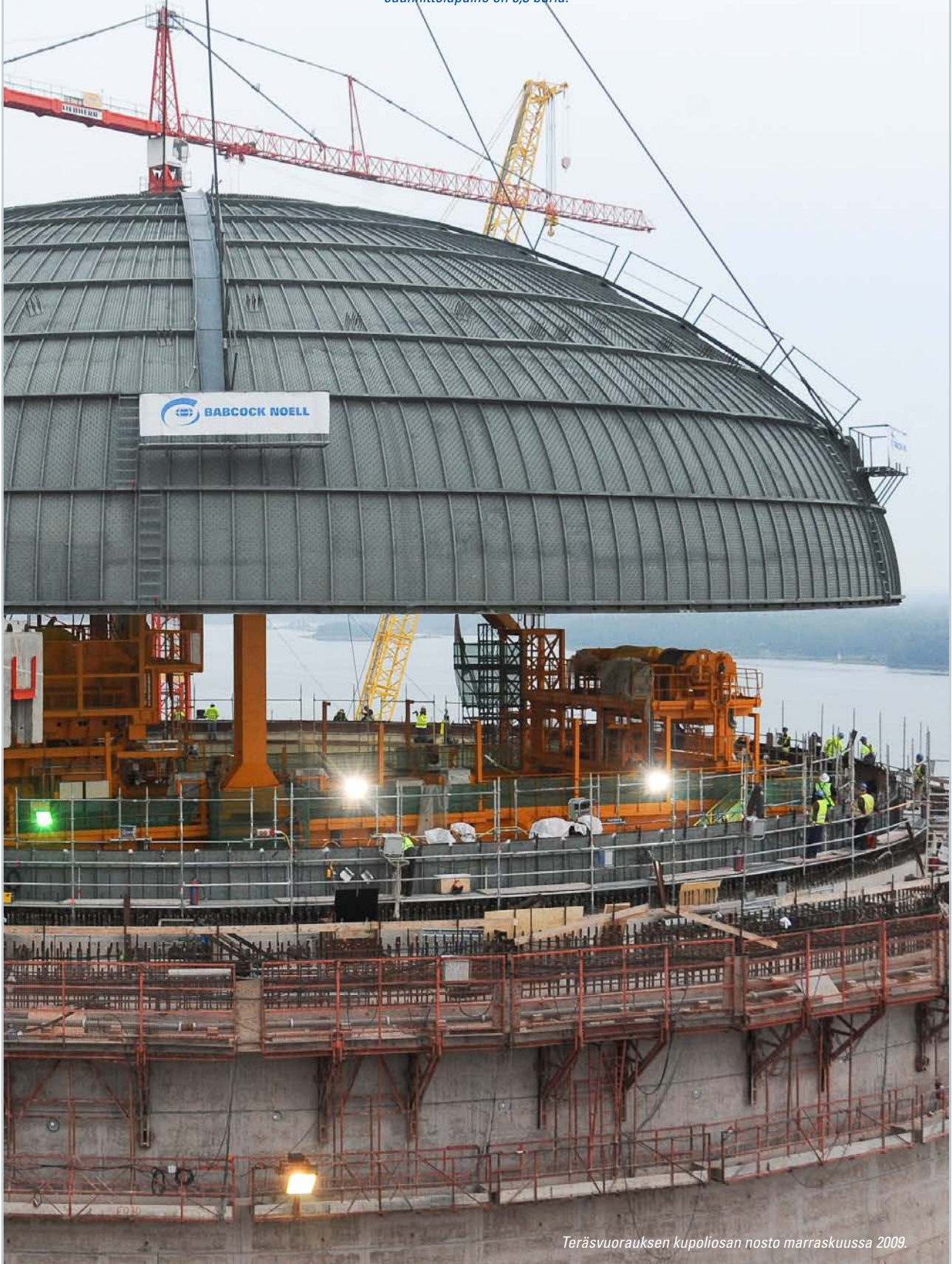
Radioaktiivisuuden pitäminen suojarakennuksen sisäpuolella onnettomuustilanteissa asettaa korkeita vaatimuksia suojarakennuksen tiiveydelle, minkä vuoksi siinä on teräksinen suojavuoraus. Suojarakennuksen tiiveyttä valvotaan tarkasti: mahdolliset vuodot kerätään ulomman ja sisemmän suojarakennuksen välitilaan. Tämän jälkeen ne suodatetaan ja viivästetään välitilan ilmanpoistojärjestelmällä ennen niiden johtamista ilmastointipiippuun.

Henkilökulku hoidetaan laitoksen normaalin käytön aikana erityisen sulun kautta. Sulun molemmissa päissä on kaksinkertaisesti tiivistetyt ovet, joista kerrallaan vain toinen voi olla auki. Henkilösulku sijaitsee maanpinnan tasolta. Kulku suojarakennukseen ja sieltä pois voidaan suorittaa myös noin 19 metrin korkeudessa olevalta huoltotasolta, jossa sijaitsee varahenkilösulku.

Iso materiaaliluukku sijaitsee huoltotasolla, josta rakennusaikana ja huoltoseisokeissa tuodaan kaikki isot komponentit ja laitteet suojarakennuksen sisään. Suojarakennuksen huoltotason yläpuolella on reaktorirakennuksen päänosturi, jonka nostokapasiteetti on 320 tonnia.

Reaktorirakennuksen ulkohalkaisija on noin 57 m, tilavuus noin 80 000 m<sup>3</sup> ja kokonaiskorkeus maanalaiset tilat mukaan luettuna noin 70 m. Rakennuksen poistoilmapiippu kohoo noin 100 metrin korkeuteen maanpinnasta.

*Sisempi suojarakennus on vuorattu teräksellä, millä varmistetaan rakennuksen kaasutiiveys. Suojarakennuksen suunnittelupaine on 5,3 baria.*



*Teräsvuorauksen kupoliosan nosto marraskuussa 2009.*

### Turvallisuusjärjestelmärakennukset

OL3-laitosyksikön moninkertaiset, rinnakkaiset ja fyysisesti toisistaan erotetut turvallisuusjärjestelmät varmistavat laitosyksikön turvallisen käytön kaikissa olosuhteissa. Turvallisuusjärjestelmät on jaettu neljään itsenäiseen osajärjestelmään, joilla on oma erillinen turvallisuusjärjestelmärakennuksensa. Kussakin rakennuksessa on matala- ja keskipaineinen hätäjähdytysjärjestelmä, jälkilämmönpoistojärjestelmä, väli- ja merivesijähdytysjärjestelmä sekä hätäsyöttövesijärjestelmä. Järjestelmiin liittyvät sähkö- ja automaatiojärjestelmät ovat turvallisuusjärjestelmärakennusten ylemmillä tasoilla. Valvomotiila sijaitsee yhdessä turvallisuusjärjestelmärakennuksista.

Turvallisuusjärjestelmärakennukset 2 ja 3 ovat reaktorirakennuksen ja turbiinirakennuksen välissä, ja rakennukset 1 ja 4 on sijoitettu reaktorirakennuksen vastakkaisille sivuille. Turvallisuusjärjestelmärakennusten pituus on noin 30 m, leveys 20 m ja korkeus vajaa 30 m.

Laitosyksiköllä on ulkoisten sähköyhteyksien menetyksen varalta neljä turvallisuusjärjestelmiä syöttävää varavoimadieseliä sekä kaksi näistä riippumatonta lisä-

dieseliä. Varavoima- ja lisädieselien avulla varmenneetaan laitosyksikön turvallisuusjärjestelmien sähkönsyöttö myös poikkeuksellisissa tilanteissa.

### Turbiinilaitos

Turbiinirakennuksen pituus on lähes 100 m, leveys lähes 60 m ja korkeus maanalaiset tilat mukaan luettuna lähes 60 m. Rakennuksen tilavuus on noin 250 000 m<sup>3</sup>. Turbiinirakennuksen kyljessä ovat merivesipumppaamo ja kytkinlaitosrakennus. Pää- ja omakäyttömuuntajat sijaitsevat turbiinirakennuksen pohjoispuolella.

### Apu- ja tukirakennukset

Turvallisuusjärjestelmärakennusten 2 ja 3 kyljessä on sisäänkulkurakennus, jossa sijaitsevat puku- ja peseytymistilat ja valvottu kulkupaikka säteilyvalvonta-alueelle. Sisäänkulkurakennuksesta on kulkusilta toimistorakennukseen, jossa on vuosihuollon aikana myös säteilyvalvonta-alueen toimistotiloja. Lisäksi laitosalueelle sijoittuvat erilliset dieselrakennukset, merivesijärjestelmien pääosin maanalaiset rakennukset ja joukko pienempiä tukijärjestelmärakennuksia.



*Primääripiirin pääkomponentit*

- 1 Reaktoripaineastia
- 2 Pääkiertoputken kuumahaara
- 3 Höyrystin
- 4 Pääkiertoputken välihaara
- 5 Pääkiertopumppu
- 6 Pääkiertoputken kylmähaara
- 7 Paineistin
- 8 Paineistimen yhdysaara



OL3:n primäärijärjestelmä perustuu nelipiiriseen ratkaisuun. Sen suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta ja sen rakenne on mitoitettu kestäämään kaikki mahdolliset käyttö- ja onnettomuustilanteiden aiheuttamat kuormitukset.

## Primääripiirin päätoiminnot

Jokaisessa neljässä kiertopiirissä reaktorin paineastian lähtevä, 328-asteinen jäähdye (= primääripiirin vesi) menee pääkiertoputkia pitkin höyrystimeen, jossa tapahtuu lämmönsiirto sekundääripiiriin. Höyrystimessä noin 296 asteeseen jäähtynyt jäähdye palaa pääkiertopumpun avulla takaisin reaktoriin sen tuloyhteiden kautta. Reaktoripaineastian sisällä jäähdye virtaa ensin alas reaktorisydämen ulkopuolella. Paineastian alaosaan virtaus suuntautuu ylöspäin läpi sydämen, jossa jäähdye lämpenee virratessaan ylös ydinpoltoainesauvojen ja niiden muodostamien nippujen välissä.

Reaktoriin kuuluvan paineistimen tehtävä on pitää reaktorin paine niin korkeana, ettei jäähdye pääse kiehumaan. Näin jäähdytyspiiri pidetään normaalikäytössä täynnä lämpöä tehokkaasti siirtävää vettä. Paineistin on yhdistetty yhteen neljästä kiertopiiristä. Aikaisempiin laitoksiin verrattuna paineistimen tilavuutta on lisätty, jolloin saadaan järjestelmään tasaisempi vaste käytössä mahdollisesti ilmeneviin paineeseen vaikuttaviin häiriöihin. Näin painepiikkien määrä vähenee ja reaktoriin päälaitteiden käyttöikä pitenee.

Turvallisuusjärjestelmien suunnitteluperiaatteena on pyrkiä poikkeustilanteissa reaktorin nopeaan sammuttamiseen eli reaktoripikasulkuun. Nopean pikasulun ansi-

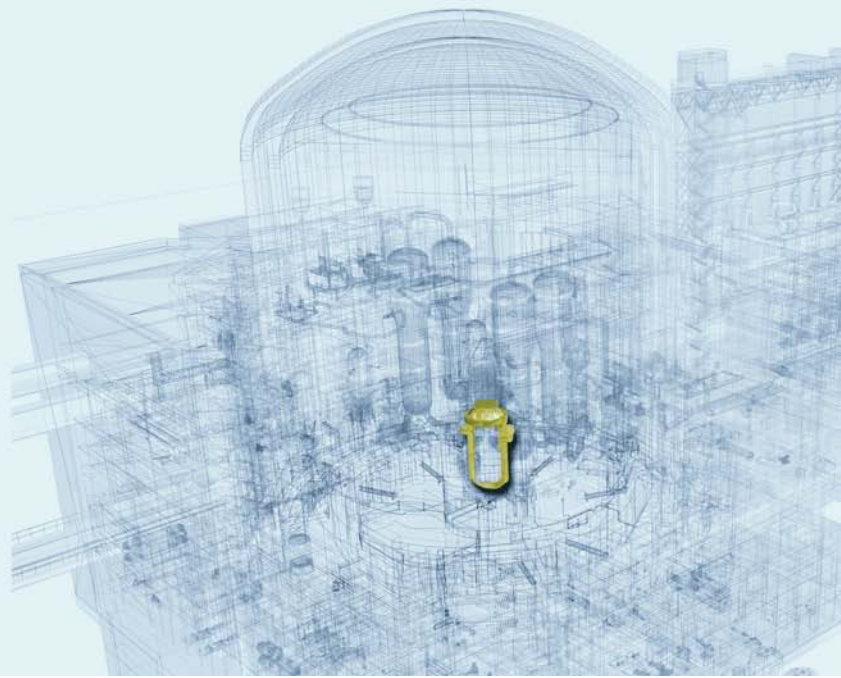
osta reaktorista vapautuu mahdollisimman vähän energiaa. Samalla pikasulun painetta vähentävä vaikutus on mahdollisimman tehokas. Ratkaisumalli myös vähentää varoventtiilien käytön minimiin.

Välihaaran paikalleen kohdistus.



## Reaktorin jäähdytysjärjestelmän ominaisuuksia

Reaktorin lämpöteho	4 300 MWth
Reaktorin pääkiertovirtaus	23 135 kg/s
Jäähdytysvirtaus piiriä kohti	28 330 m <sup>3</sup> /h
Jäähdytteen sisääntulolämpö	296 °C
Jäähdytteen poistolämpötila	328 °C
Primääripiirin suunnittelupaine	176 bar
Primääripiirin käyttöpaine	155 bar
Sekundääripiirin suunnittelupaine	100 bar
Päähöyrpaine normaaliolosuhteissa	78 bar
Päähöyrpaine kuumaseisokissa	90 bar



## Reaktoripaineastian ja sen sisäosien ominaisuuksia

### Reaktoripaineastia

Suunnittelupaine	176 bar
Suunnittelulämpötila	351 °C
Suunniteltu elinikä (käyttöaste 90 %)	60 vuotta
Sisähalkaisija (pinnoitteen alla)	4 885 mm
Seinämän paksuus (pinnoitteen alla)	250 mm
Pohjaseinämän paksuus	145 mm
Korkeus kannen kanssa	12 708 mm
Perusmateriaali	16 MND 5
Pinnoitemateriaali	ruostumaton teräs (kobolttia =< 0,06 %)
Paino kannen kanssa	526 t
Neutronivuo käyttöiän lopussa (E > 1 MeV)	
- suunnitteluarvo	$2,65 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$
- odotettavissa oleva arvo	$n. 1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$

Perusmateriaalin RT <sub>NDT</sub> haurastumislämpötila käyttöiän lopussa	n. 30 °C
--	----------

### Paineastian kansi

Seinämän paksuus	230 mm
Läpivientien määrä:	
- säätösauvatoimilaitteille	89 kpl
- kuvun lämpötilamittaukselle	1 kpl
- sydäninstrumentoinnille	12 kpl
- jäähdytysveden pinnan ja lämpötilan mittauksille	4 kpl
Perusmateriaali	16 MND 5*
Pinnoitemateriaali	ruostumaton teräs (kobolttia =< 0,06 %)

### Ylemmät sisäosat

Ylätukilevyn paksuus	350 mm
Yläsydänlevyn paksuus	60 mm
Perusmateriaali	Z3 CN 18-10 / Z2 CN 19-10**

### Alemmat sisäosat

Alatukilevyn paksuus	415 mm
Alaosien materiaali	Z3 CN 18-10 / Z2 CN 19-10**

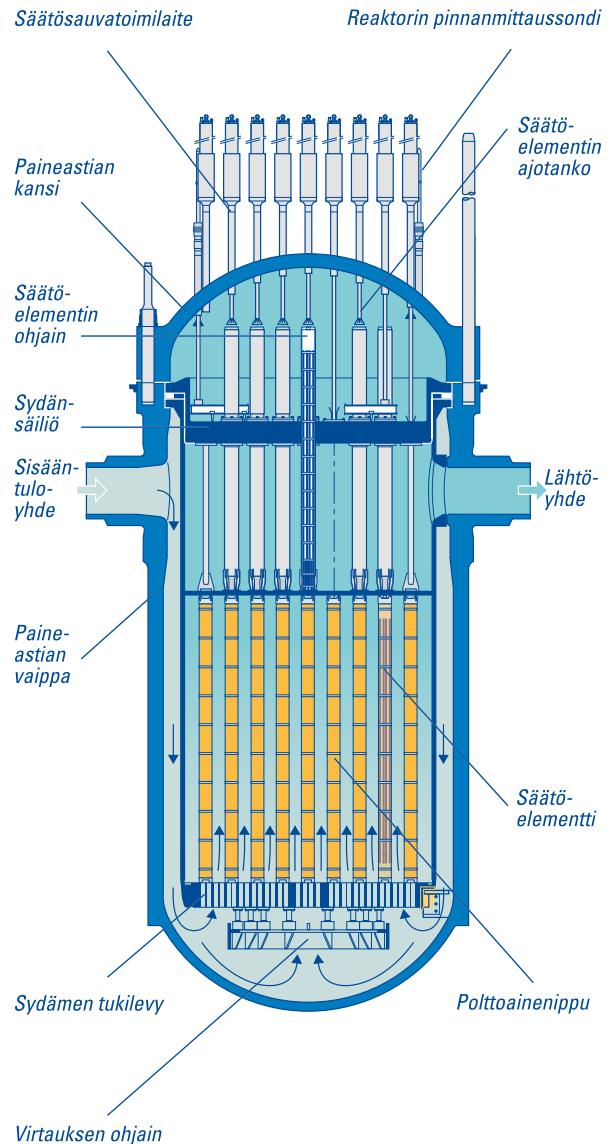
### Neutroniheijastin

Materiaali	Z2 CN 19-10**
Paino	90 t

\*matalaseoksinen ferriittiteräs

\*\*austeniittinen ruostumaton teräs

## Reaktoripaineastia ja sisäosien poikkileikkaus





## Paineastia

Reaktorisydän on reaktoripaineastian sisällä. Sekä reaktoripaineastia että sen kansi on valmistettu taotusta ferriitteräksestä. Paineastian ja kannen sisäpuoli on lisäksi pinnoitettu ruostumattomalla teräksellä korroosion estämiseksi.

Paineastia on tuettu tukipalkeilla, jotka makaavat reaktorikuilun yläosassa olevan tukirenkaan päällä, kahdeksan pääkiertoputken alla. Paineastian kansi on kiinnitetty pulttien ja tiivisteen avulla.

Hitsaussaumojen määrän minimoimiseksi on paineastian yhde- ja laippa-alue työstetty yhdestä takeesta. Laipan ja putkiyhteiden välillä ei ole hitsaussaumoja. Yhdessä putkiyhteiden rakenteen kanssa ratkaisu mahdollistaa verraten suuren etäisyyden ja veden täyttämän tilavuuden putkiyhteiden ja sydämen yläosan välillä. Näin minimoidaan rakenteiden saama neutronisäteily.

## Sisäosat

Reaktoripaineastian sisäosat tukevat polttoainenuppuja sydämen sisällä, jolloin sydämen reaktiivisuutta voidaan ohjata säätöelementeillä, ja polttoainetta voidaan jäähdyttää vedellä kaikissa olosuhteissa. Sisäosat poistetaan osittain polttoaineenvaihdon ajaksi ja kokonaan haluttaessa tarkastaa paineastian sisäseinämää.

Varsinaisten sisäosien ohella reaktoripaineastiassa on myös ylempiä sisäosia, jotka tukevat polttoainenuppujen yläpäitä ja pitävät ne aksiaalisesti oikeassa asennossa.



Lähde: AREVA

Reaktoripaineastian ylemmät sisäosat, (Chooz 1, Ranska).

Näitä ylempiä sisäosia ovat säätöelementtien ohjausputket, joiden kiinnikkeet ja palkit on kiinnitetty ohjausputkien tukilevyyn ja yläsydänlevyyn.

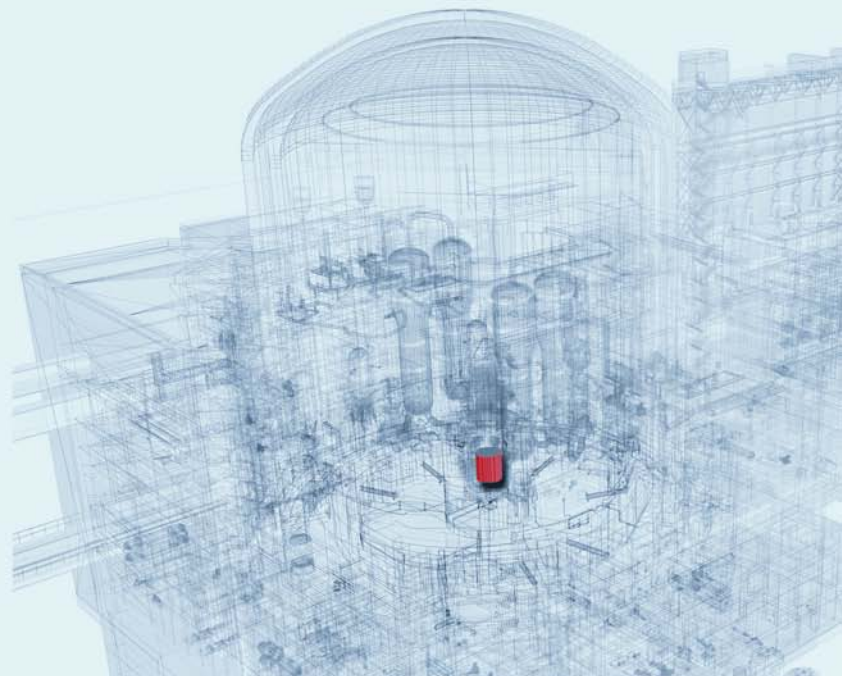
## Sydänsäiliö

Sydänsäiliön laippa lepää paineastian laipasta työstetyn reunan päällä, ja suuri jousi pitää sitä paikallaan. Polttoainenuppu lepäävät reikälevyn, sydämen tukilevyn, päällä. Tämä levy on työstetty valetusta ruostumattomasta teräksestä ja hitsattu sydänsäiliöön. Jokaista polttoainenuppua pitää paikallaan kaksi nipun vastakkaisilla puolilla olevaa tukea.

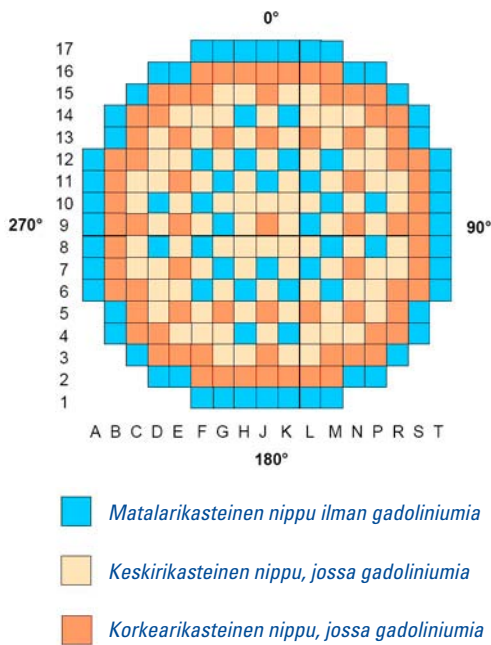
## Neutroniheijastin

Sydämen ympärille, monikulmaisen sydämen ja sylinterimäisen sydänsäiliön väliin, on sijoitettu teräksinen neutroniheijastin. Heijastin vähentää sydäimestä pakenevien neutronien määrää ja tasaa tehojakaumaa. Se myös vähentää reaktoripaineastiaan kohdistuvaa, materiaalia haurastuttavaa neutronivuota sekä vaimentaa reaktorin sisäosiin ja polttoaineeseen mahdollisissa putkikatkoissa kohdistuvia paineiskuja.

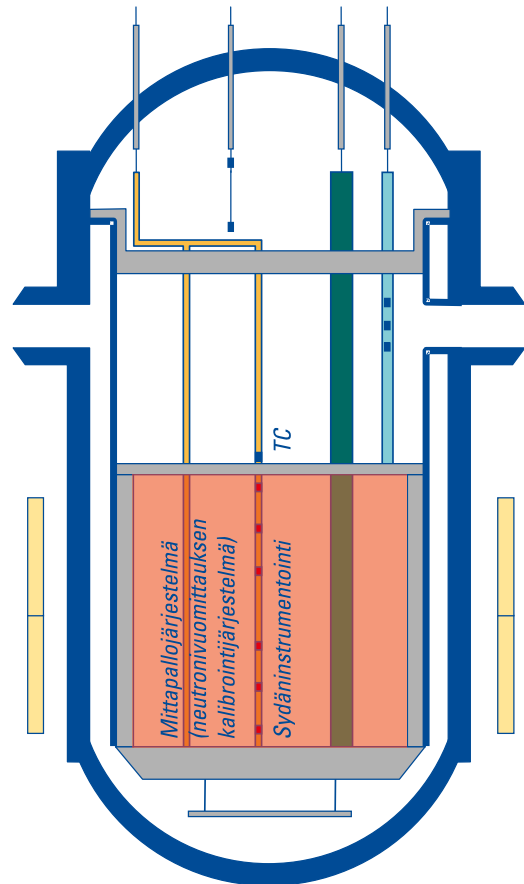
Heijastin koostuu ruostumattomasta teräksestä valmistetuista, päällekkäin pinotuista ja toisiinsa kytketyistä kappaleista. Sydämen tukilevyyn pultatut sidossauvat pitävät kappaleita aksiaalisesti paikallaan. Teräksen sisällä gammasäteilyn myötä syntyvä lämpö poistuu jäähdytteen avulla heijastimessa olevien jäähdytyskanavien kautta.



Sydämen alkulataus



Sydämen sisäpuolinen instrumentointi



- 12 sondikannatinta, joissa kussakin:  
 3 sydämen ulostulon lämpötila-anturia  
 6 sydämen sisäpuolista neutronivuodetektoria  
 3:sta 4:ään neutronivuomittauksen kalibrointilaitetta
- 89 säätöelementtiä
- 4 pinnanmittausta
- sydämen ulkopuoliset neutronivuomittaukset  
 TC eli lämpötilamittaus

### Reaktorisydämen ominaisuuksia

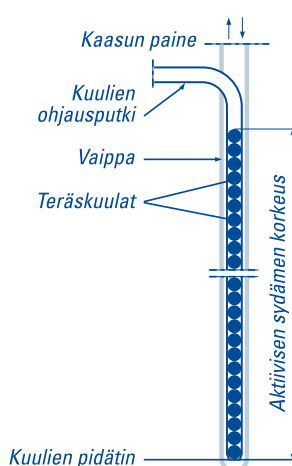
Lämpöteho	4 300 MWth
Käyttöpaine	155 bar
Reaktorin jäähdytteen tulolämpötila	296 °C
Reaktorin jäähdytteen poistolämpötila	329 °C
Reaktorisydämen ekvivalenttihalkaisija	3 767 mm
Reaktorisydämen aktiivisen osan korkeus	4 200 mm
Polttoainenippujen lukumäärä	241 kpl
Polttoainesauvojen lukumäärä	63 865 kpl
Keskimääräinen lineaariteho	156,1 W/cm

OL3:n reaktorisydän koostuu 241:stä, rakenteeltaan samankaltaisesta polttoainepipusta. Alkulatausta varten niput jaetaan väkevöintiasteittain kolmeen ryhmään siten, että kahdessa korkeimmin <sup>235</sup>U-pitoisuudeltaan väkevöidyssä ryhmässä on mukana gadoliniumia neutroniabsorbaattorina, joka pienentää alkuvaiheen reaktiivisuutta ja tasaa tehojakautumaa.

Vuosittain vaihdettavien tuoreiden polttoainepipujen määrä ja ominaisuudet riippuvat valitusta polttoainehallintasuunnitelmasta, etenkin latausjärjestyksestä ja käyttöjakson pituudesta.

Reaktorisydämen käyttöjakso voi olla 12–24 kuukautta.

Reaktori-jäähdytteen koostumus muodostaa merkittävän neutroneja hidastavan ja heijastavan toimintaympäristön. Jäähdyte siirtää lämpöä pois sydämeästä noin 155 barin paineessa ja keskimäärin 312 °C:n lämpötilassa. Jäähdytteeseen on liuotettu booria, joka kaappaa osan neutroneista. Booripitoisuutta muuttamalla hallitaan verraten hitaita reaktiivisuuden muutoksia, kuten polttoaineen palaman vaikutuksia. Nopeita reaktiivisuuden muutoksia ja tehonvaihteluja hallitaan säätöelementeillä.



### Mittapallojärjestelmä

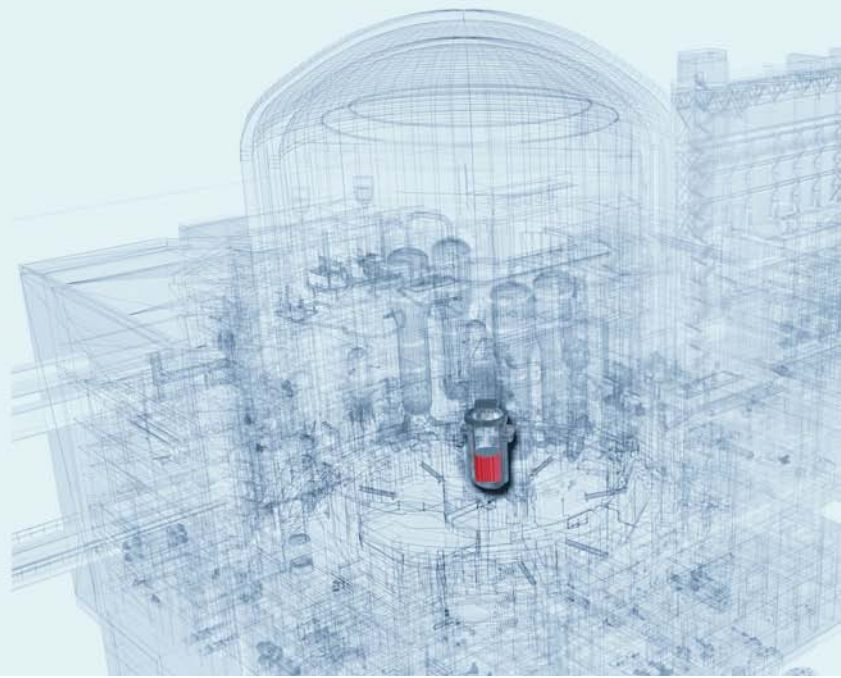
Reaktorin yläpuolelta ohjataan 40 pieneen näyteputkeen vanadiumseoksesta valmistettuja kuulia ja kuljetetaan ne pneumaattisesti reaktorin sydämeen polttoainepipujen sisällä olevien ohjauskanavien kautta. Yhdessä näyteputkessa olevien kuulien aktivoituminen mitataan 36 kohdasta. Tulosten perusteella kalibroidaan sydämen neutronivon mittaukseen käytettäviä mittalaitteita.

Sydämen tärkeimmät ominaisuudet ja käyttöolosuhteet on valittu siten, että saavutetaan korkea lämpöteho ja alhaiset polttoainekustannukset. OL3:n reaktorisydän on myös suunniteltu joustavaksi erilaisten polttoainekäyttöjaksojen ja käyttötilanteiden mukaan.

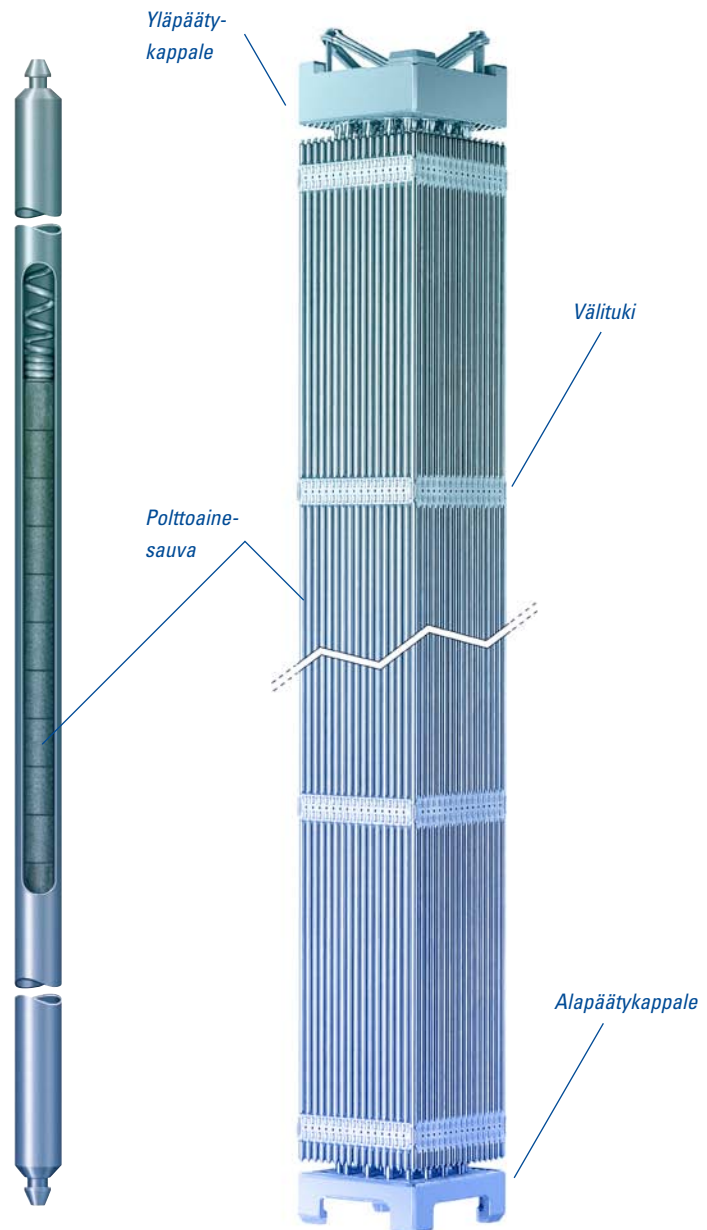
### Sydämen instrumentointi

Sydämen tehoa mitataan sekä sydämen sisäisellä että ulkoisella instrumentoinnilla. Kiinteä sydämen sisäpuolinen instrumentointi koostuu neutronivuo- ja lämpötilamittauksista, joilla seurataan neutronivuo jakaumaa sydämessä ja lämpötilajakaumaa sydämen yläosassa. Sydämen ulkopuolista instrumentointia käytetään tehon mittauksen ohella myös kriittisyyden valvontaan seisokkien aikana. Kaikki sydämen instrumentoinnin vaatimat läpiviennit ovat paineastian kannessa.

Sydämen tehojakaumaa mitataan säännöllisin väliajoin myös sydämeen kulkevien mittapallojen avulla. Tällä tavoin saatujen tulosten perusteella kalibroidaan kiinteät sydämen sisäpuoliset neutronivuomittaukset.



### 17 x 17 polttoainenippu



#### Polttoaineen ominaisuuksia

Polttoaine	uraanidioksidi (UO <sub>2</sub> )
Nipputyppi	17 x 17 HTP
Polttoainesauvoja nipussa	265 kpl
Ohjausputkien määrä nipussa	24 kpl
Nipun välitukien määrä	10 kpl
Polttoainenipun pituus	4,8 m
Polttoainenipun paino	735 kg
Polttoainenipun sivupituus	213,5 mm
Suojakuorimateriaali	M5™
UO <sub>2</sub> -tablettien tiheys	10,45 g/cm <sup>3</sup>
Polttoaineen poistopalama	45 MWd/kgU

### Polttoainenippu

Polttoainenippu muodostuu polttoainesauvoista, ohjausputkista, välituista sekä ylä- ja alapäätykappaleesta. Ohjausputket yhdessä välitukien ja päätykappaleiden kanssa muodostavat nipun kantavan rakenteen.

Polttoainesauvat muodostavat 17x17-neliömäisen sauvamatriisin. Kussakin polttoainenipussa on 265 polttoainesauvaa, 24 ohjausputkea ja 10 poikittaissuuntaista välitukea sekä päätykappale nipun kummassakin päässä.

Polttoainenipun alapäätykappaleen muotoilu auttaa tasoittamaan jäähdytteen virtausta. Alaosassa on myös vierasesinesivilä, jolla estetään reaktoripiiriin mahdollisesti päässeiden esineiden kulkeutuminen nippuun. Esineet voisivat aiheuttaa polttoainenipun mekaanisen vaurioitumisen.

Yläpäätykappaleessa on jokaisella sivulla lehtijousipakat. Nämä jouset säätävät voimaa, jolla nippuja pidetään paikoillaan jäähdytteen virtausta vastaan.

Polttoainenipun kahdeksan keskimmäistä välitukea on valmistettu zirkoniseoksesta. Näissä välituissa ovat myös virtausohjaimet lämmönsiirron tehostamiseksi sauvojen



Lähde: AREVA

*OL3:n reaktorin polttoaineen valmistaja on AREVA NP.*

pinnoilta. Ylin ja alin välituki on suurempien lujuusvaatimusten vuoksi valmistettu nikkelipohjaisesta seoksesta.

### Polttoainesauvat

Polttoainesauva muodostuu putkesta, jonka sisällä on keraamisia, uraanidioksidista (UO<sub>2</sub>) puristettuja tabletteja. Sauvat on suljettu tiiveyshitsaamalla ja paineistettu heliumilla. Reaktorin energia on peräisin tablettien uraanin, pääosin <sup>235</sup>U-isotoopin fissiona. Tablettien väkevöintiaste vaihtelee ollen maksimissaan vähän alle 5 %. Osassa polttoainesauvoja polttoainetabletit on valmistettu UO<sub>2</sub>-Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-seoksesta,

joka pienentää reaktiivisuutta ja auttaa tasaamaan tuoreen polttoaineen tehojakaamaa.

Polttoainesauvojen suojakuori-putket on valmistettu zirkoniseoksesta. Suojakuori on ensimmäinen este radioaktiivisille päästöille erottaessaan polttoaineen ja fissiotuotteet jäähdytteestä. Sauvassa on fissiokaasuille tila, joka rajoittaa ydinreaktiossa uraanitableteista vapautuvien kaasujen aiheuttamaa, sauvan sisäistä paineen nousua. Tabletteja pitää paikallaan sauvan sisällä, yläpäässä oleva jousi.

### Polttoaineen käsittely

Tuoreet polttoaineniput varastoidaan joko tuoreen polttoaineen kuivavarastossa tai polttoainealtaiden varastointitelineissä, joissa säilytetään myös käytettyjä nippuja. Polttoaineenvaihtoseisokin aikana osa reaktorissa olevista, tehonsa menettäneistä polttoainenipuista korvataan tuoreilla. Käytettäessä reaktoria esimerkiksi vuoden jaksoissa vaihdetaan jaksoa kohden neljäsosa polttoaineesta. Ominaisuuksiltaan erilaiset polttoaineniput sijoitetaan reaktoriin siten, että reaktorisydämen ja polttoaineen käytölle määritellyt rajoitukset täytetään.

Reaktorin ja polttoainerakennuksen välillä polttoaineniput kuljetetaan siirtoputken kautta. Polttoainennippujen siirtoja varten on sekä reaktori- että polttoainerakennuksessa kummassakin oma polttoaineen siirtokoneensa.

Sydämen purkaminen vie kokonaisuudessaan noin 40 tuntia, ja polttoaineen siirto takaisin sydämeen yhdessä siirtokoneen kameralla tehtävän sydämen lopputarkastuksen kanssa kestää noin 45 tuntia. Lopputarkastuksella varmistetaan polttoainennippujen oikea lataussuunnitelman mukainen sijoittaminen sydämeen. STUK, Euratom ja IAEA osallistuvat lopputarkastukseen polttoaineen käytön asianmukaisen hallinnan ja valvonnan varmistamiseksi.

Reaktorissa olleita polttoainennippuja käsitellään aina veden alla, jotta varmistetaan riittävä jäähdytys ja säteily-suojaus. Jo noin metri vettä on riittävä säteilysuoja, mutta Olkiluodossa vesikerroksen paksuus nippujen siirron aikana on noin 3 metriä.

### Käytettyjen polttoainennippujen käsittely

Reaktorista poistamisen jälkeen käytettyjä polttoainennippuja säilytetään muutama vuosi polttoainerakennuksen polttoainealtaissa jäähtymässä. Jäähtymisen ohella käytetyn polttoaineen radioaktiivisuus vähenee voimakkaasti.

Riittävän jäähtymisen jälkeen käytetty polttoaine kuljetetaan laitosalueella sijaitsevaan käytetyn polttoaineen välivarastoon siirtosäiliöllä, joka telakoidaan erityisellä siirtolavetilla täyttöaltaan alapuolelle.

Ennen loppusijoitusta käytettyä polttoainetta säilytetään välivarastossa vedellä täytetyissä varastoaltaissa useita kymmeniä vuosia. Tänä aikana polttoaineen radioaktiivisuus ja lämmöntuotto laskevat alle tuhannesosaan alkupe- räisestä, jolloin polttoaineen käsittely yksinkertaistuu.

Käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitos rakennetaan Olkiluotoon, ja sen rakentamisesta ja käytöstä vastaa Posiva Oy, joka on TVO:n ja Fortum Power and Heat Oy:n omistama yhtiö. Olkiluodon loppusijoitustilaan sijoitetaan myös Loviisan laitostyöyksiköiden tuottama käytetty polttoaine. Loppusijoitus alkaa vuonna 2020.

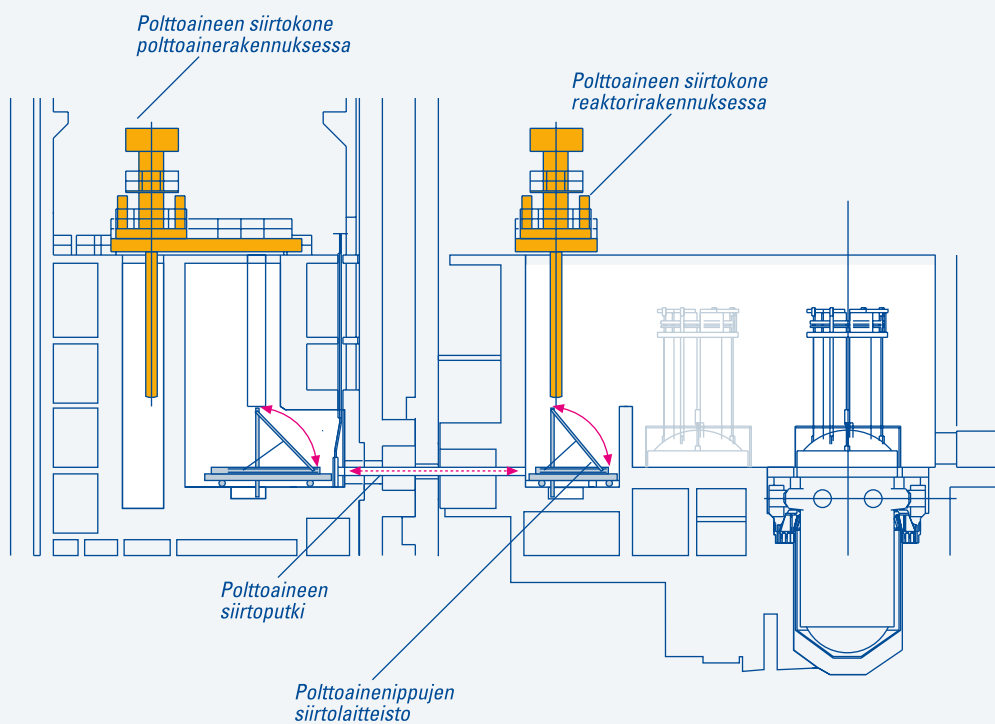
### Polttoaineen siirto sydäimestä pois ja takaisin

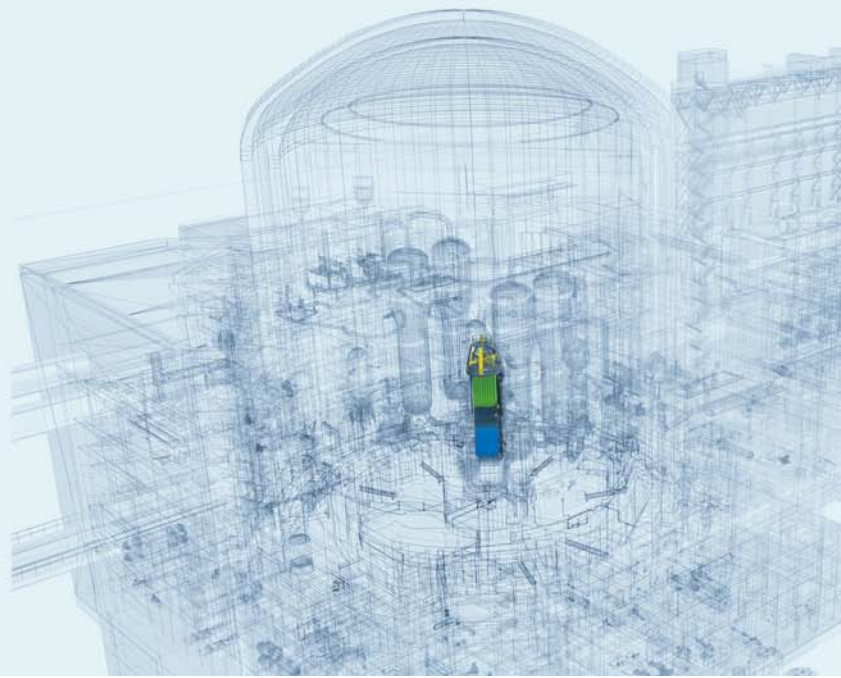
Polttoainenippu nostetaan siirtokoneella pois reaktorisydäimestä ja vietään siirtolaitteiston pystysuorassa olevaan siirtokapseliin. Siirtolaitteisto kääntää siirtokapselin vaakasuoraan asentoon ja kuljettaa kapselin polttoaineen siirtoputken läpi reaktorirakennuksesta polttoaineraken-

nukseen. Polttoainerakennuksessa kapseli käännetään pystyasentoon. Polttoaineen siirtokone hakee nipun ja siirtää sen polttoainealtaassa olevaan polttoaineen varastointitelineeseen.

Polttoaineen siirto sydämeen tehdään purkua vastaavasti, mutta päinvastaisessa järjestyksessä.

### Polttoaineen siirtolaitteistot reaktori- ja polttoainerakennuksessa





### Säätösauvatoimilaitteen poikkileikkaus

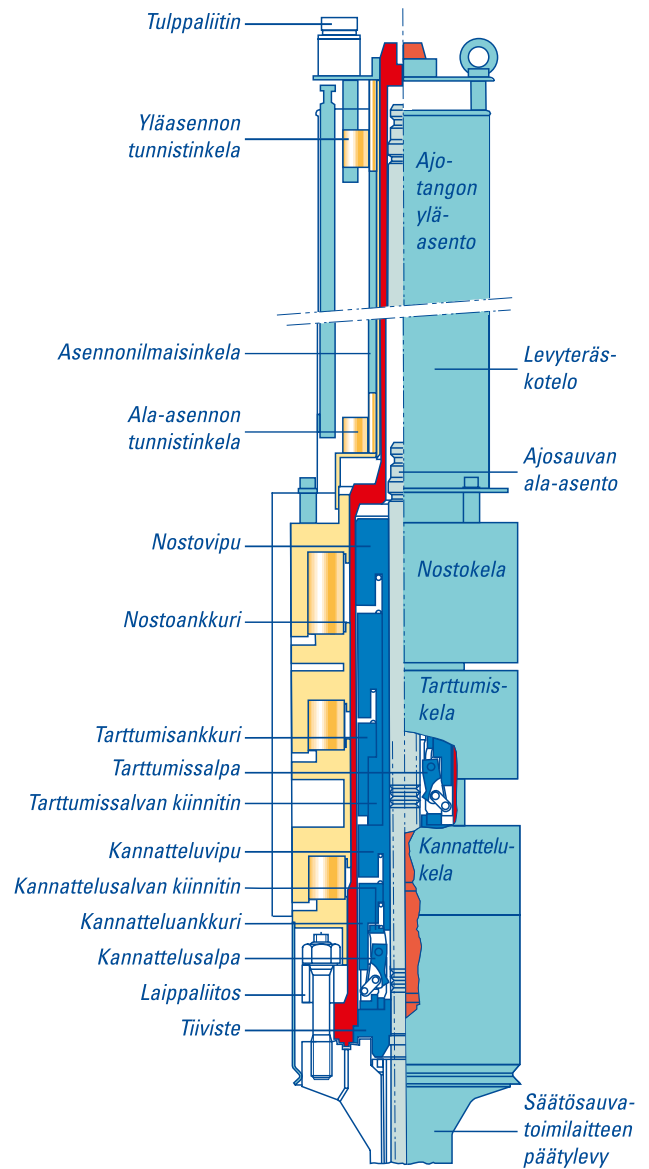
#### Säätösauvajärjestelmän ominaisuuksia

##### Säätöelementit

Lukumäärä	89 kpl
Paino	61,7 kg
Säätösauvoja elementissä	24 kpl
<i>Absorbaattori</i>	
B <sub>2</sub> C-osa (yläosa)	
- luonnonbooria	19,9 % B-10-atomeja
- ominaismassa	1,79 g/cm <sup>3</sup>
- ulkohalkaisija	8,47 mm
- pituus	1 340 mm
AIC-osa (alaosa)	
- paino-osuudet:	
hopea, indium, kadmium	80, 15, 5 %
- ominaismassa	10,17 g/cm <sup>3</sup>
- ulkohalkaisija	8,65 mm
- pituus	2 900 mm
<i>Kuori</i>	
Materiaali	ruostumaton teräs
Pintakäsittely (ulkopinta)	ioninitraus
Ulkohalkaisija	9,68 mm
Sisähalkaisija	8,74 mm
Täytekaasu	helium

##### Säätösauvatoimilaitteet

Lukumäärä	89 kpl
Paino	403 kg
Nostovoima	> 3 000 N
Liikealue	4 160 mm
Askelpöysä	375 mm/min tai 750 mm/min
Suurin sallittu pikasulku-aika	3,5 sek
Materiaalit austeniittinen ja martensiittinen ruostumaton teräs	





Reaktorin tehoa säädetään säätöelementeillä. Lyhyen aikavälin tehonsäädön ohella ne tasaavat myös reaktorisydämen pystysuuntaisia tehovärähtelyjä. Pitkällä aikavälillä booripitoisuuden laskulla kompensoidaan palaman aiheuttaman reaktiivisuuden vähenemistä.

## Säätösauvajärjestelmä

Reaktorin tehonsäätömekanismia kutsutaan säätösauvajärjestelmäksi. Siihen kuuluvat säätösauvoista muodostuvat säätöelementit, säätösauvatoimilaitteet ja toimilaitteiden ohjausjärjestelmä. Säätösauvajärjestelmä mahdollistaa reaktorin tehonsäädön ja reaktoripikasulun. Säätösauvat menevät reaktorisydämeen polttoainepuissa olevien ohjausputkien kautta.

Säätösauvajärjestelmää ohjaavat reaktorin ohjaus-, valvonta- ja rajoitusjärjestelmät sekä reaktoriohjaajien toimenpiteet. Reaktoripikasulun laukaisee automaattisesti suojausjärjestelmä tai sen varajärjestelmä, langoitettu turva-automaatiojärjestelmä. Myös ohjaaja voi laukaista reaktoripikasulun.

## Säätöelementit

Säätöelementtejä on 89. Kaikki elementit ovat samanlaisia ja koostuvat 24:stä identtisestä absorbaattorisauvasta, jotka on kiinnitetty yhteiseen ripustuskappaleeseen. Sauvoina on neutroneja absorboivia materiaaleja (hopea, indium, kadmium ja boorikarbidi). Kun sauvat ovat kokonaan sydämen sisällä, ne peittävät polttoaineniippujen aktiivisen pitoisuuden lähes kokonaan.

Säätöelementit on asetettu erillisiin säätöryhmiin. Suurin osa eli 53 elementtiä on pikasulkuryhmässä, joka tarvittaessa huolehtii reaktorin nopeasta pysäytyksestä.



Lähde: AREVA

*Reaktorin säätöelementtien sormisäätösauvat liikkuvat nipun sisällä olevissa ohjausputkissa. Samoja ohjausputkia käytetään myös instrumentoinnin ja neutronilähteiden sijoittamiseen.*

Loput 36 elementtiä puolestaan säätävät reaktoripiirin lämpötilaa ja tasaavat reaktorisydämen pystysuuntaisia tehovaihteluita.

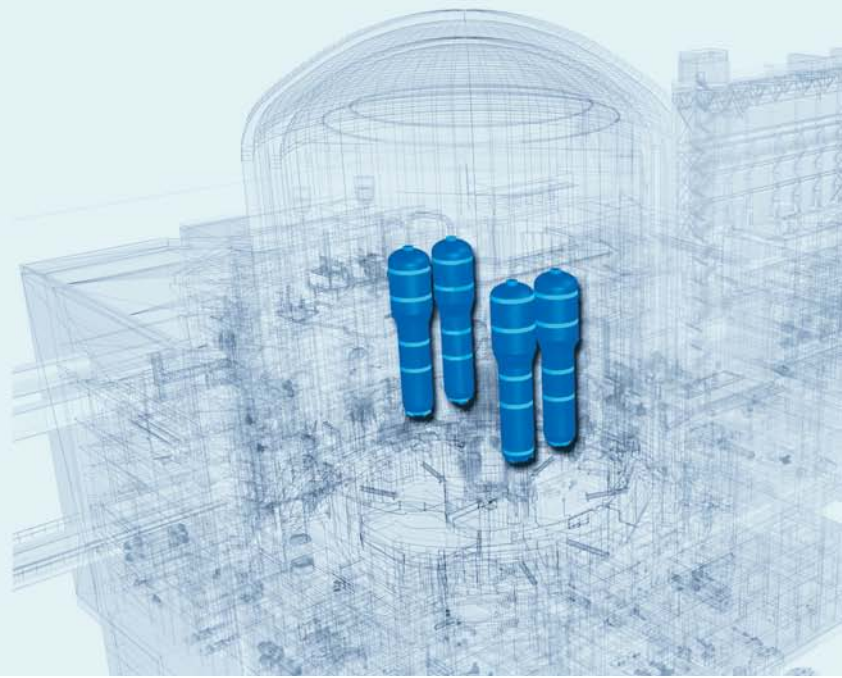
Säätävän ryhmän säätöelementit on edelleen jaettu neljän elementin ryhmiin, joilla muodostetaan erilaisia käyttöjakson vaiheesta riippuvia ajosekvenssejä ja ohjaustapoja. Käytössä olevaa ohjaustapaa ja säätöelementtiryhmää voidaan muuttaa milloin tahansa laitoksen tehosta riippumatta.

Käytössä olevaa säätöelementtiryhmää vaihdetaan tasaisin väliajoin, noin 30 tehoajopäivän välein. Näin säätösauvojen kulumisen eli palama ei muuta säädön tehokkuutta ja samalla tasoitetaan polttoaineen palamaa.

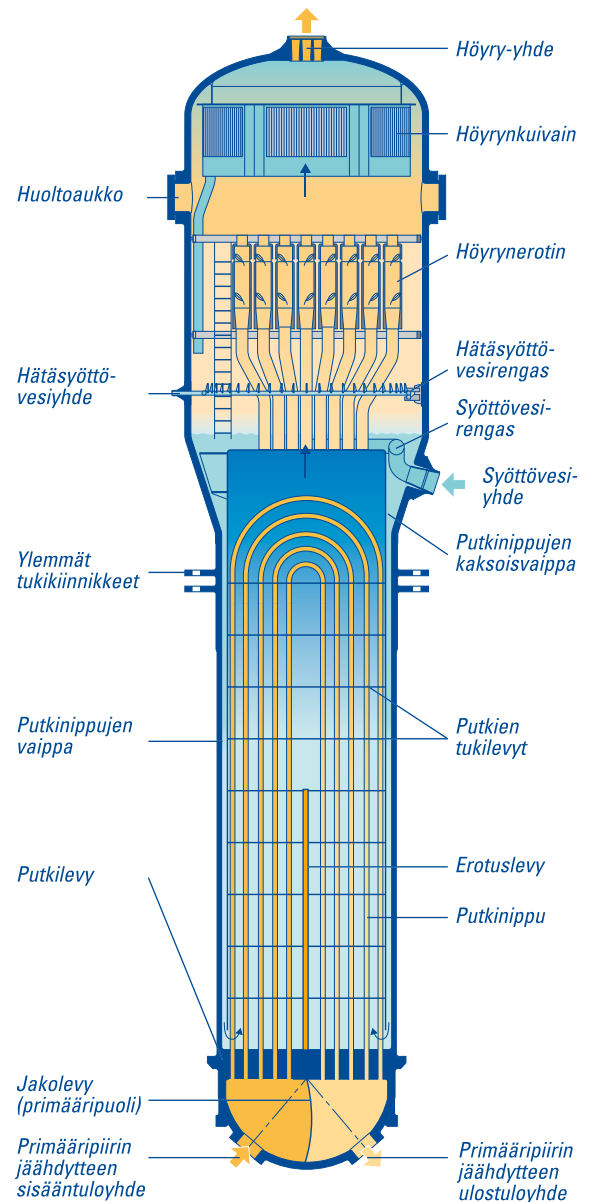
## Säätösauvatoimilaitteet

Säätösauvatoimilaitteet koostuu painerungosta laippaliitännöineen, salpamekanismista, ajotangosta ja käyttökeleloista suojuksineen. Reaktorin ohjauksessa säätösauvatoimilaitteiden tehtävä on liikuttaa 89 säätöelementtiä koko sydämen matkalta ja pitää ne valitussa asennossa. Niiden toinen tehtävä on pudottaa säätöelementit reaktoriin ja erityisesti pikasulkutilanteessa sammuttaa reaktoriin muutamassa sekunnissa pysäyttämällä ketjureaktio. Kun reaktorin pikasulkusignaali on aktivoitunut, kaikki käyttökelat kytkeytyvät pois, salvat irtoavat jousien avulla sauvojen urista ja säätöelementit putoavat sydämeen painovoiman avulla.

Säätösauvatoimilaitteet on asennettu reaktorin painestian kanteen hitsattuihin yhteisiin. Jokainen toimilaitte on itsenäinen kokonaisuus, joka voidaan asentaa tai poistaa muista riippumattomasti.



## Höyrystimen poikkileikkaus



### Höyrystimien ominaisuuksia

Lukumäärä	4 kpl
Lämmönsiirtopinta höyrystintä kohden	7 960 m <sup>2</sup>
Primääripiirin suunnittelupaine	176 bar
Primääripiirin suunnittelulämpötila	351 °C
Sekundääripiirin suunnittelupaine	100 bar
Sekundääripiirin suunnittelulämpötila	311 °C
Lämmönsiirtoputken ulkohalkaisija / seinän paksuus	19,05 mm/1,09 mm
Putkien lukumäärä	5 980 kpl
Putkien välimatka	27,43 mm
Kokonaiskorkeus	23 m

### Materiaalit

Putket	Metalliseos Inconel 690 lämpökäsiteltynä
Vaippa	18 MND 5*
Pinnoitelevy	Nikkeli-kromi-rautaseos
Putkien tukilevyt	13 % kromikäsiteltyä ruostumatonta terästä

### Muuta

Kokonaispaino	520 t
Syöttöveden lämpötila	230 °C
Päähöyryn kosteus	0,25 %
Päähöyryvirtaus	2 443 kg/s
Päähöyryn lämpötila	293 °C
Päähöyryn kylläinen paine	78 bar
Paine kuumaseisokissa	90 bar

\*matalaseoksinen ferriittiteräs

## Höyrystimet

Höyrystin on lämmönvaihdin, jossa reaktorin tuottama lämpö siirtyy primääripiirin vedestä sekundääripiirin veteen. Lämmönvaihtimille tyypilliseen tapaan primääri- ja sekundääripiirin vedet eivät ole kosketuksissa toisiinsa. EPR-laitoksen höyrystin on pystytyyppinen.

Primääripiirin vesi kulkee höyrystimen läpi U-muotoisten putkien kautta. Höyrystimien vaippapuolella kiertää höyrystettävä sekundääripuolen vesi. Höyry erotetaan vedestä höyrystimen sekundääripuolen yläosassa olevilla höyrynerottimella ja -kuivaimella. Erotettu vesi palautuu takaisin alas höyrystimen ulkokehää pitkin. Höyrystimen sekundääripuolelle lisätään syöttövesiputkistosta jatkuvasti vettä turbiiniin menevää höyryä vastaava määrä.

Suuremman lämmönvaihtoalan lisäksi pystysuuntainen syöttöveden esilämmitin mahdollistaa 78 barin kylläisyyspaineen, joka on merkittävä osatekijä korkeassa hyötysuhteessa (37 %). Höyrystimen putkiryhmä on tehty rasiutusta ja korroosiota kestävästä metalliseoksesta Inconel 690:stä, jonka kobolttipitoisuus on alle 0,015 %.

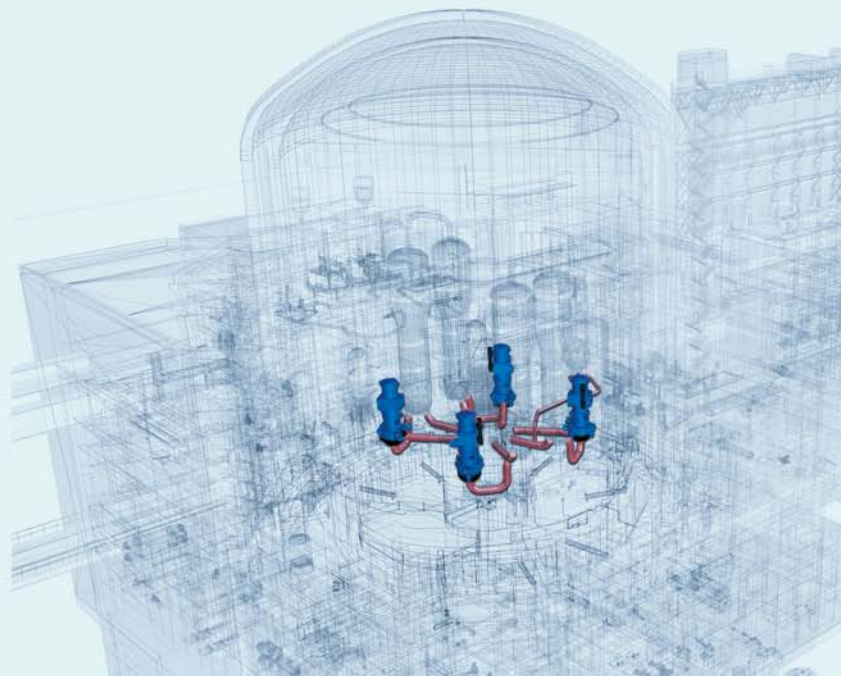
Höyrystimen vaippa on tehty 18 MND 5 -teräksestä.

Suunnitteluratkaisu, jossa kylmään syöttöveteen sekoittuu vain 10 % lämpimämpää, jälleenkierrossa olevaa vettä, mahdollistaa suuremman lämpötilaeron ja tehokkaamman lämmönsiirron. Näin OL3:n höyrystin tuottaa 3 baria korkeamman tuorehöyryn paineen kuin esikuvana olleet laitokset, jos verrataan samaa lämmönsiirtopinta-alan arvoa. Höyrystimen tehokkuus saadaan aikaan johtamalla syöttövesi toispuoleisesti erilliseen, höyrystimen seinistä erotettuun kanavaan.

OL3:n höyrystimien suunnittelussa on kiinnitetty erityistä huomiota sekundääripuolen ristivirtausten ja tehokkaan lämmönsiirtoratkaisun aiheuttaman lämpötilakerrostumisen haittojen torjuntaan. Höyrytilaa on suurennettu, joten höyryn määrä on suurempi.

Toisaalta, esikuvina olleisiin laitoksiin verrattuna höyrystimen vesitilavuutta on lisätty. Tämä parantaa turvallisuusmarginaalia ja lisää toiminta-aikaa, mikäli kaikki syöttövesijärjestelmät lakkaisivat toimimasta eikä höyrystimeen saataisi jäähdytysvettä.





Pumpun pesä

### Pääkiertopumppujen ja -putkien ominaisuuksia

#### Pumppu

Lukumäärä	4 kpl
Suunnittelupaine	176 bar
Suunnittelulämpötila	351 °C
Jäähdytevirtaus	28 330 m <sup>3</sup> /h
Suunniteltu nostokorkeus	100,2 m ± 5%
Tiivistevesivirtaus	1,8 m <sup>3</sup> /h
Paluuviesivirtaus tiivisteeltä	0,680 m <sup>3</sup> /h
Nopeus	1 465 rpm
Kokonaiskorkeus	9,3 m
Kokonaispaino ilman vettä ja öljyä	112 t

#### Moottori

Teho	9 000 kW
Taajuus	50 Hz

#### Pääkiertoputket

Sisähalkaisija	780 mm
Seinämän paksuus	76 mm
Materiaali	Z2 CN 19-10*

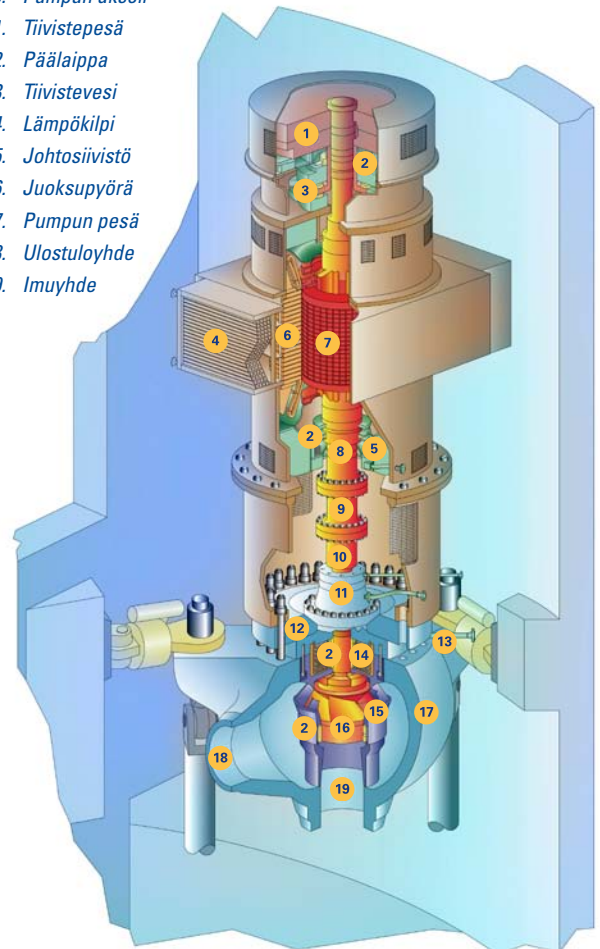
#### Paineistimen yhdysputki

Sisähalkaisija	325,5 mm
Paksuus	40,5 mm
Materiaali	Z2 CN 19-10*

\*matalahiilinen, ruostumaton austeniittiteräs

### Reaktorin pääkiertopumpun poikkileikkaus

1. Huimamassa
2. Laakerit
3. Painelaakeri
4. Ilmanjäähdytin
5. Öljyjäähdytin
6. Moottori (staattori)
7. Moottori (roottori)
8. Moottorin akseli
9. Kytkin
10. Pumpun akseli
11. Tiivistepestä
12. Päälaippa
13. Tiivistevesi
14. Lämpökilpi
15. Johtosiivistö
16. Juoksupyörä
17. Pumpun pesä
18. Ulostuloyhde
19. Imuyhde



## Pääkiertopumput

Pääkiertopumput kierrättävät vettä primääripiirissä. Näin lämpö siirtyy reaktorisydäimestä höyrystimille, mistä se siirtyy edelleen sekundääripiiriin. Pääkiertopumppu on jokaisessa neljässä kierto-  
piirissä höyrystimen ulostuloputken ja reaktorin sisääntuloputken välissä.

Pääkiertopumppu on hydrostaattisesti laakeroitu, millä saavutetaan alhainen värinätaaso. OL3:n pääkiertopumpuissa on normaalien kolmen erillisen akselitiivisteiden tiiveys varmistettu vielä ylimääräisellä, kaasupaineella toimivalla seisontatiivisteellä.

Pääkiertopumppu koostuu kolmesta pääosasta: pumpusta, akselitiivisteistä ja moottorista.

Pumpun pesä koostuu juoksupyörästä, johtosiivistöstä ja imuohjaimesta. Pumpun akseli on kaksiosainen ja osia yhdistää kytkin, joka voidaan poistaa tiivisteiden huoltoa varten. Akselia tukee kolme laakeria: kaksi öljyvoideltua laakeria moottorissa ja yksi hydrostaattinen laakeri juoksupyörän kohdalla. Kaksitoiminen painelaakeri moottorin akselin yläpäässä, vauhtipyörän alla, tasaa akselin suuntaisia voimia.



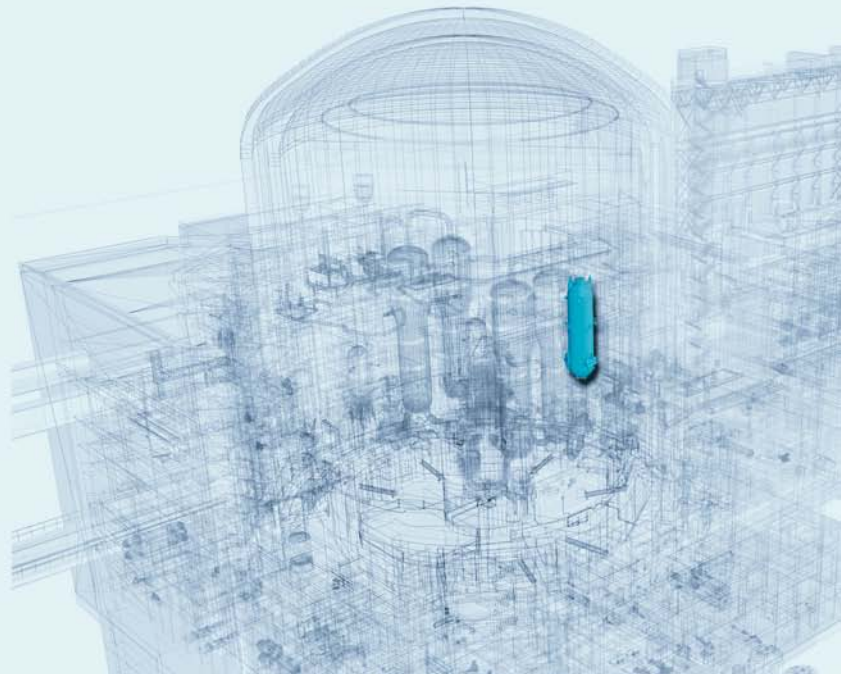
Lähde: AREVA

*Pääkiertopumppu  
Jeumontin tehtaalla Ranskassa  
(N4, 1 500 MWe).*

Akselitiivistejärjestelmä koostuu kolmesta limittäin koteloidusta dynaamisesta tiivisteestä sekä seisontatiivisteestä. Ensimmäinen tiiviste on hydrostaattisesti kontrolloitu vuototiiviste, joka ottaa vastaan koko primääripaineen. Toinen tiiviste on hydrodynaaminen tiiviste, joka ottaa vastaan loput paineesta, mutta kestää tarvittaessa myös koko primääripaineen. Kolmas tiiviste on myös hydrodynaaminen, ja se varmistaa vuototiiviuden. Seisontatiiviste puolestaan varmistaa, ettei jäähditysvettä häviä sähkökatkon tai kaikkien akselitiivisteiden yhteisvikaantumisen seurauksena pumpun ollessa pysähdyksissä.

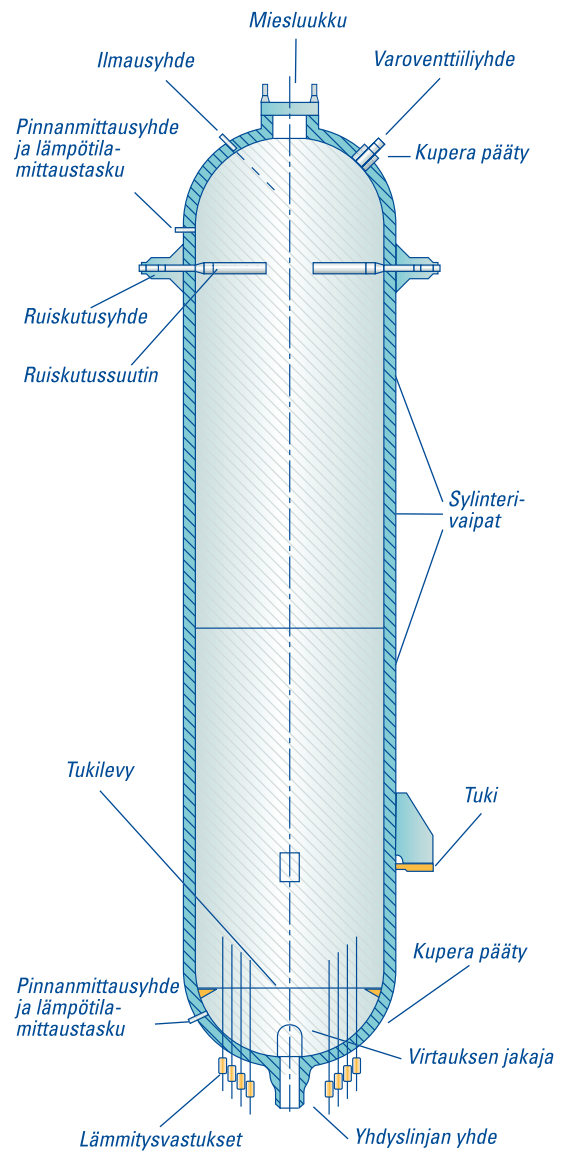
Käytön aikana akselitiivisteitä jäähdytetään ja voidellaan tiivistevedellä, jota syötetään tiivisteiden alapuolelle hieman reaktorin jäähditysvettä korkeammalla paineella. Kahta ensimmäistä tiivistettä varmistava kolmas akselitiiviste saa jäähditysvetensä täyssuolanpoistetun veden jakelujärjestelmästä.

Moottori on vuotosuojattu häkkikäännyttämömoottori. Pumpun ja moottorin akselien välinen kytkin sekä akselitiivisteiden kotelorakenne mahdollistavat tiivistepaketin huollon ilman moottorin irrottamista.



Lähde: AREVA

### Paineistimen poikkileikkaus



### Paineistimen ominaisuuksia

Suunnittelupaine	176 bar
Suunnittelulämpötila	362 °C
Kokonaistilavuus	75 m <sup>3</sup>
Kokonaispituus	14,4 m
Materiaali	18 MND 5*
Vaipan seinämän paksuus	140 mm
Vastuksien lukumäärä	108 kpl
Kokonaispaino tyhjänä	150 t
Kokonaispaino vedellä täytettynä	225 t
Varoventtiilien lukumäärä ja kapasiteetti suunnittelupaineessa	3 x 300 t/h
Paineenalennuslinjan kapasiteetti suunnittelupaineessa (venttiilien osalta kahdennettu)	1 x 900 t/h

\*matalaseoksinen ferriittiteräs

## Paineistin

Paineistimen alaosassa on pääkiertopiirin vettä ja yläosassa vesihöyryä. Paineistin on osa primääripiiriä, ja se on yhdistetty yhdyslinjalla yhteen pääkiertopiirin kuumaan haaraan. Paineistimen tehtävä on pitää reaktoripiirin paine säädettyjen rajojen sisällä.

Reaktoripiirin painetta kontrolloidaan säätämällä vesihöyryn painetta. Paineen säätämiseksi paineistimen alaosassa ovat lämmittimet, joilla höyrystetään vettä, ja yläosassa ruiskutusjärjestelmä, jolla lauhdutetaan höyryä.

Paineistimen yläosassa olevat paineenalennus- ja varoventtiilit suojaavat reaktoripiiriä ylipaineelta. Kahden rinnakkaisen paineenalennuslinjan venttiilien avulla käyttöhenkilökunta voi harvinaisessa onnettomuustilanteessa nopeasti alentaa reaktoripiirin painetta. Tällä tavoin reaktoripiiristä poistettu jäähyte johdetaan paineistimen ulospuhallussäiliöön, jonka murtolevy aukeaa ja jäähyte purkautuu suojarakennukseen. Suojarakennuksessa höyry lauhtuu vedeksi, joka kulkeutuu suojarakennuksen alaosassa olevaan hätäjäähdytysvesialtaaseen. Hätäjäähdytysvesialtaasta vesi pumpataan takaisin reaktoriin.

Paineistimen ulkokehää kiertävä hoitotaso helpottaa lämmittimien vaihtoa ja vähentää säteilyannoksia venttiilihuollon aikana.

Kaikki paineistimen vaipan osat, lukuun ottamatta lämmittimien läpivientejä, on tehty taotusta ferriitteräksestä ja niissä on kaksi pinnoitekerrosta. Materiaali on sama kuin reaktorin paineastiassa. Lämmittimien läpiviennit on tehty ruostumattomasta teräksestä, ja ne on hitsattu korroosiota kestäväällä metalliseoksella. Paineistinta tukevat sen runkoon hitsatut kiinnikkeet.

Aiempiin, esikuvana olleisiin laitoksiin verrattuna OL3-paineistimen tilavuutta on lisätty. Näin saadaan taotettua mahdollisia käytön aikaisia painevaihteluita.

## Pääkiertoputket

Neljän pääkiertopiirin putkistot sekä paineistimen yhdyslinja ovat osa reaktorirakennukseen asennettua reaktorin jäähdytysjärjestelmää. Pääkiertoputket kuljettavat jäähdytysveden reaktorin paineastiasta höyrystimille ja sen jälkeen pääkiertopumpuille, jotka pumpaavat sen takaisin paineastiaan. Yksi neljästä pääkiertopiiristä on yhdistetty paineistimeen.

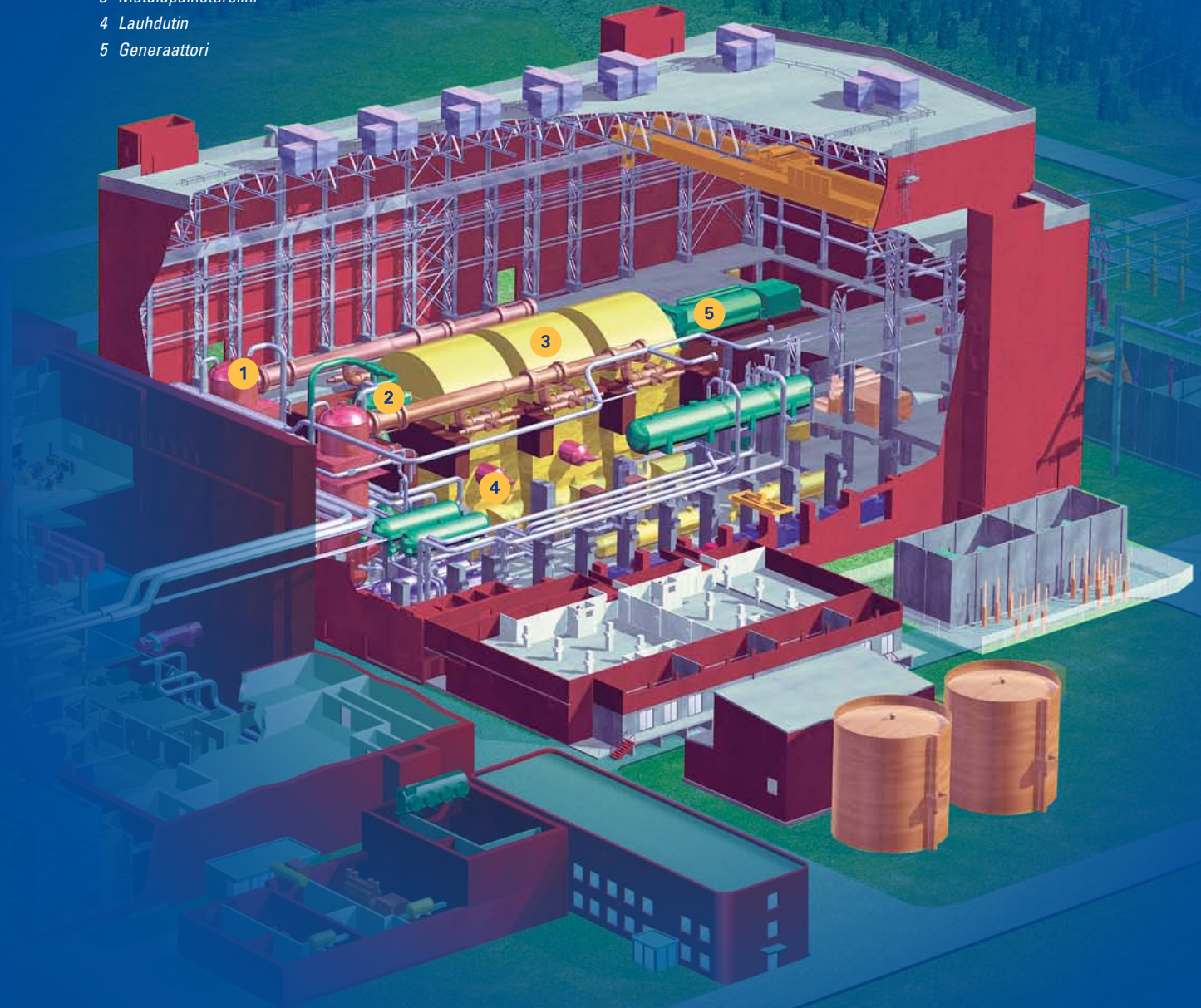
Jokainen neljästä jäähdytyspiiristä koostuu kolmesta osasta: kuumasta haarasta reaktorin paineestialta höyrystimelle, välihaarasta höyrystimeltä pääkiertopumpulle ja kylmästä haarasta pääkiertopumpulta reaktorin paineestiaan.

Pääkiertoputkien materiaali on taottua austeniittista, ruostumatonta terästä, joka kestää lämpövanhenemistä ja joka voidaan tarkastaa ultraäänellä.



*Paineistin vietiin paikalleen marraskuussa 2010.*

- 1 Välitulistin
- 2 Korkeapaineturbiini
- 3 Matalapaineturbiini
- 4 Lauhdutin
- 5 Generaattori





Turbiinilaitoksen sekundääripiirin vesi-höyryprosessin tehtävä on muuttaa reaktorilaitokselta tulevan tuorehöyryn lämpöenergia mahdollisimman tehokkaasti turbiinigeneraattorilla sähköenergiaksi ja palauttaa sekundääripiirin syöttövesi reaktorilaitoksen höyrystimille. Sekundääripiirissä ei ole radioaktiivista säteilyä, koska primääri- ja sekundääripiirin vedet eivät ole kosketuksissa toisiinsa.

## Päähöyryjärjestelmä

Primääripiiriin kuuluvissa höyrystimissä syntyvä tuorehöyry johdetaan turbiinilaitokselle neljää päähöyryputkea pitkin. Jokaisessa päähöyrylinjassa olevan pikasulku- ja säätöventtiilin kautta tuorehöyry johdetaan korkeapaineturbiiniin. Jokainen päähöyrylinja on varustettu ulospuhalluslinjalla, varoventtiileillä ja eristysventtiilillä häiriötilanteita varten. Ulospuhalluslinjan ja varoventtiilien kautta höyry johdetaan suoraan ilmaan.

Korkeapaineturbiinista tuleva höyry kuivataan ja tulistetaan kosteudenerotinvälitulistimissa. Höyryä tulistetaan kahdessa vaiheessa korkeapaineturbiinin väliottohöyryn ja päähöyrylinjan tuorehöyryn avulla.

Höyry virtaa välitulistimilta kolmelle matalapaineturbiinille matalapaineturbiinien pikasulku- ja säätöventtiilien kautta.

Matalapaineturbiineilta tuleva höyry lauhdutetaan kolmessa erillisessä merivesilauhdutinlohkossa. Matalapaineturbiinin poistohöyryn lauhduttamisen lisäksi lauhdutin toimii turbiinin ohitushöyryjärjestelmän höyryn lauhduttajana.

Turbiinin ohitushöyryjärjestelmän avulla säädetään tuorehöyryn painetta laitoksen ajotilanteen mukaisesti.

## Päälauhdejärjestelmä

Päälauhdepumppuja on kolme, joista kaksi pumppaa päälauhdetta lauhduttimen lauhdekammioista syöttövesisäiliöön päälauhteen esilämmitysjärjestelmän kautta. Kolmas päälauhdepumppu on varalla.

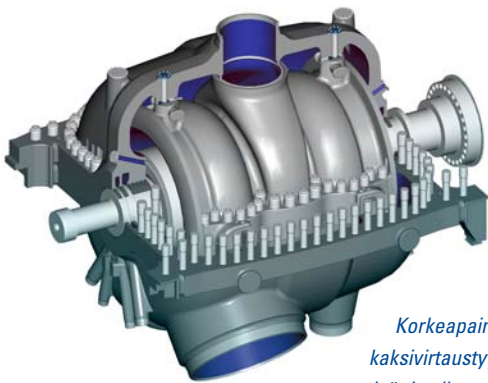
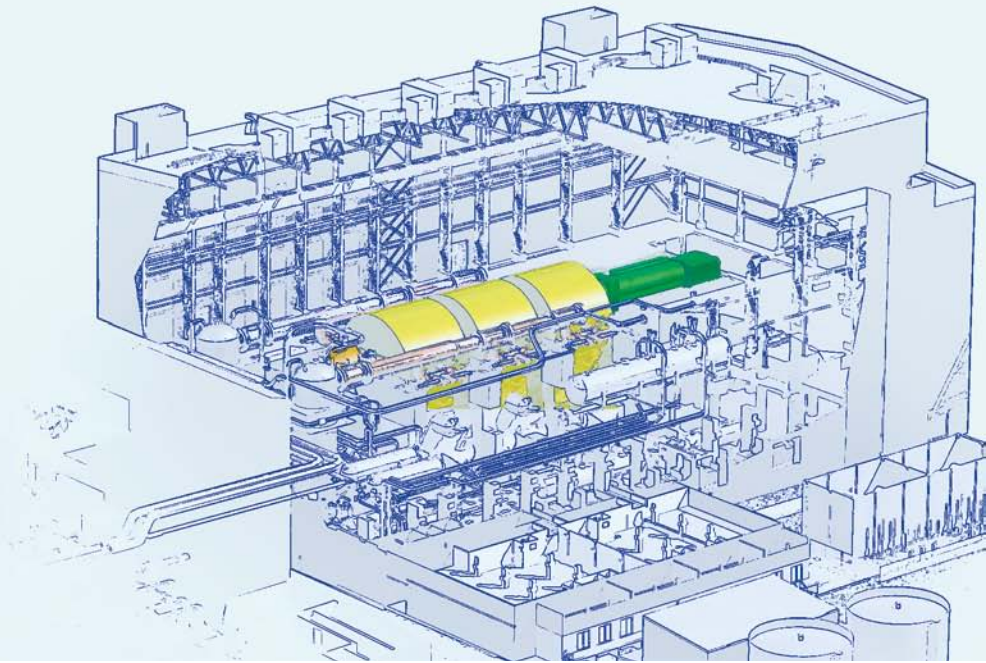
Päälauhdetta esilämmitetään prosessin hyötysuhteen parantamiseksi neljässä vaiheessa, minkä jälkeen lauhde johdetaan syöttövesisäiliöön. Päälauhdejärjestelmä sisältää myös lauhteen mekaanisen puhdistusjärjestelmän, jolla lauhdesta voidaan tarvittaessa poistaa epäpuhtauksia.

## Syöttövesijärjestelmä

Syöttövesipumppuja on neljä, joista kolme pumppaa syöttövetä syöttövesitankista esilämmitysjärjestelmän kautta höyrystimiin. Neljäs syöttövesipumppu on varalla.

Syöttöveden esilämmitys tapahtuu kahdessa rinnakkaisessa kolmivaiheisessa esilämmitysjärjestelmässä, joka käsittää kaksi korkeapaine-esilämmitintä ja välitulistuslauhteiden jäähdyttimet. Höyry johdetaan korkeapaine-esilämmittimiin korkeapaineturbiinista. Esilämmitysjärjestelmän jälkeen syöttövesi johdetaan reaktorilaitoksen turvallisuusjärjestelmäarakennuksissa sijaitsevien syöttövesiventtiilien kautta höyrystimiin.





*Korkeapaineturbiini on kaksivirtaustyyppinen, ja sen sisä- ja ulkopesä muodostuvat vaakasuunnassa jaetuista sisä- ja ulkopesärakenteista.*



*Korkeapaineturbiinin roottorin nosto paikalleen syyskuussa 2008.*

### Turbiinilaitoksen ominaisuuksia

#### Yleistä

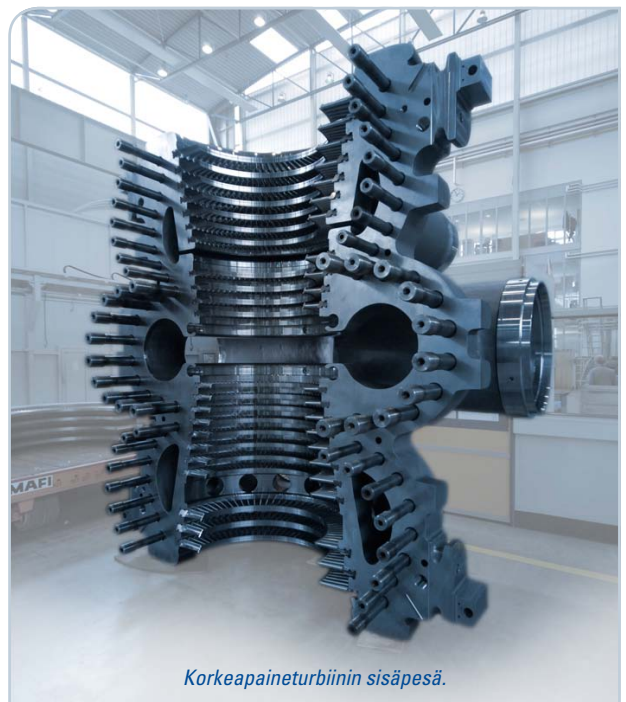
Sähköteho, brutto	1 720 MWe
Sähköteho, netto	1 600 MWe
Höyryn paine turbiinilla	75,5 bar
Höyryn lämpötila	290 °C
Höyryn virtaus	2 443 kg/s
Kierros-luku	1 500 1/min
Korkeapaineturbiini	1 kpl
Matalapaineturbiini	3 kpl
Viimeinen siipivöhyke	
- poistoala	30 m <sup>2</sup>
- siiven pituus	1 830 mm
- kärjen halkaisija	6 720 mm
Turbiinigeneraattoriyhdistelmän pituus	68 m

#### Lauhdutin

Jäähdytyspinta-ala	110 000 m <sup>2</sup>
Jäähdyttävä aine	merivesi
Jäähdytysveden virtausmäärä	53 m <sup>3</sup> /s
Tyhjä täydellä teholla	24,7 mbar abs.
Lämpötilan nousu	12 °C

#### Syöttövesi

Esilämmitysasteita	7 kpl
Syöttöveden loppulämpötila	230 °C



*Korkeapaineturbiinin sisäpesä.*

Reaktorissa syntynyt lämpöenergia muuttetaan turbiineissa mekaaniseksi liikeenergiaksi, joka edelleen muutetaan generaattorissa sähköenergiaksi. OL3:n suuri, noin 1600 MWe:n sähköteho perustuu osittain turbiinigenaattoriyhdistelmän korkeaan hyötysuhteeseen.

OL3:ssa toteutettu turbiinitekniikka edustaa alan kärkeä – turbiinigenaattoriyksikkö on valmistusajankohtanaan maailman suurin. Yksiakselinen turbiinigenaattorikoneikko koostuu yhdestä korkeapaine- ja kolmesta matalapaineturbiinista, generaattorista ja magnetointikoneesta. Kukin turbiiniroottori on asennettu kahden laakerin varaan, eli jokaisella matalapaineturbiinilla on kaksoislaakerointi.

Turbiinin pyörimisnopeus on 1500 kierrosta minuutissa, ja sen akselin kokonaispituus on 68 m. Turbiinin vaihdettavien osien osalta käyttöikä on laskettu 30 vuotta, kun kokonaisuudessaan turbiinilaitoksen suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta.

## Korkeapaineturbiini

OL3:n korkeapaineturbiini tuottaa noin 40 % eli 650 MWe:a laitoksen bruttosähkötehosta. Se on täyssyöttöinen, kaksijuoksuinen reaktioturbiini, jonka pääosat ovat:

- sisäpesä (valuterästä)
- ulkopesä (valuterästä)
- roottori (6,26 m ja 100 t, taottu)
- 12 paisunta- eli johto- ja juoksusiipivöhykettä (siipipannallisia).

Korkeapaineturbiinin sisä- ja ulkopesä muodostuvat vaakasuunnassa jaetuista sisä- ja ulkopesäarakenteista. Sisäpesä on kiinnitetty ulkopesän rakenteeseen. Korkeapaineturbiinin johtosiivet sekä juoksusiipien vastintiivistenauhut on kiinnitetty korkeapaineturbiinin sisäpesään. Akselitiivisterakenteet on puolestaan kiinnitetty korkeapaineturbiinin ulkopesään.

Korkeapaineturbiinin roottori on koneistettu takeesta.



*OL3:n matalapaineturbiinit ovat kaksivirtaustyyppisiä, ja niiden juoksusiivet on kiinnitetty turbiinin akseliin kutistusliitoksella liitettyihin siipikiekkoihin.*

Roottorin juoksusiivet ja johtosiipien vastintiivistenauhut on kiinnitetty roottoriin koneistettuihin uriin.

## Matalapaineturbiinit

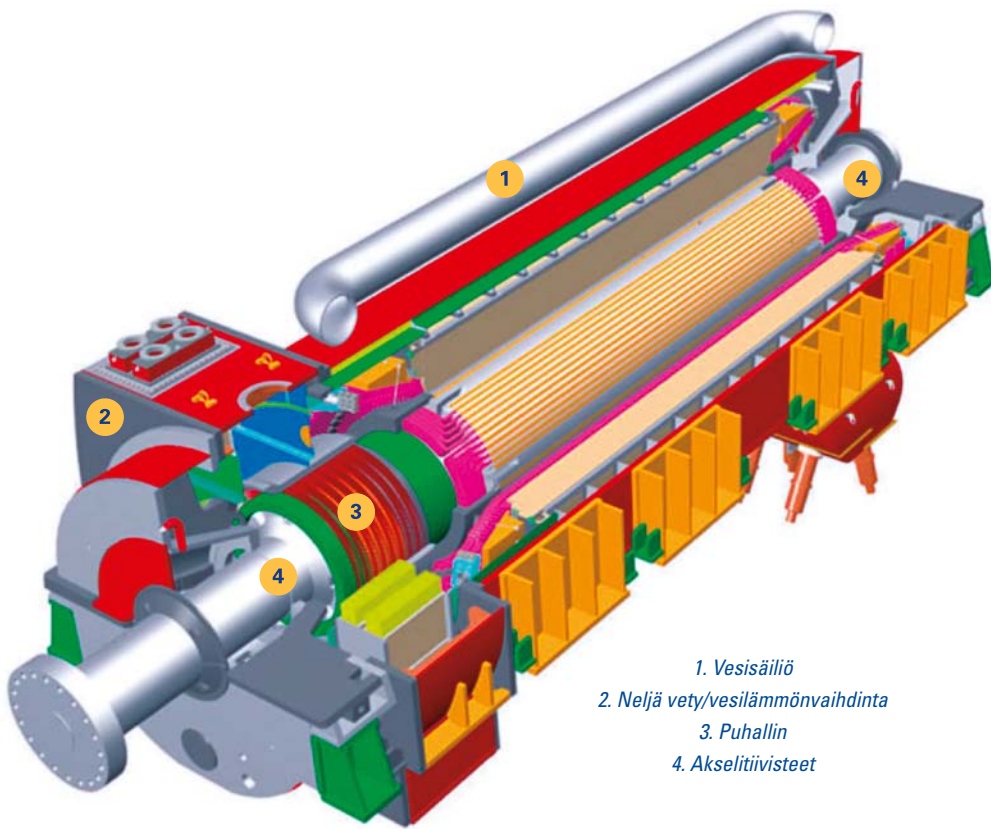
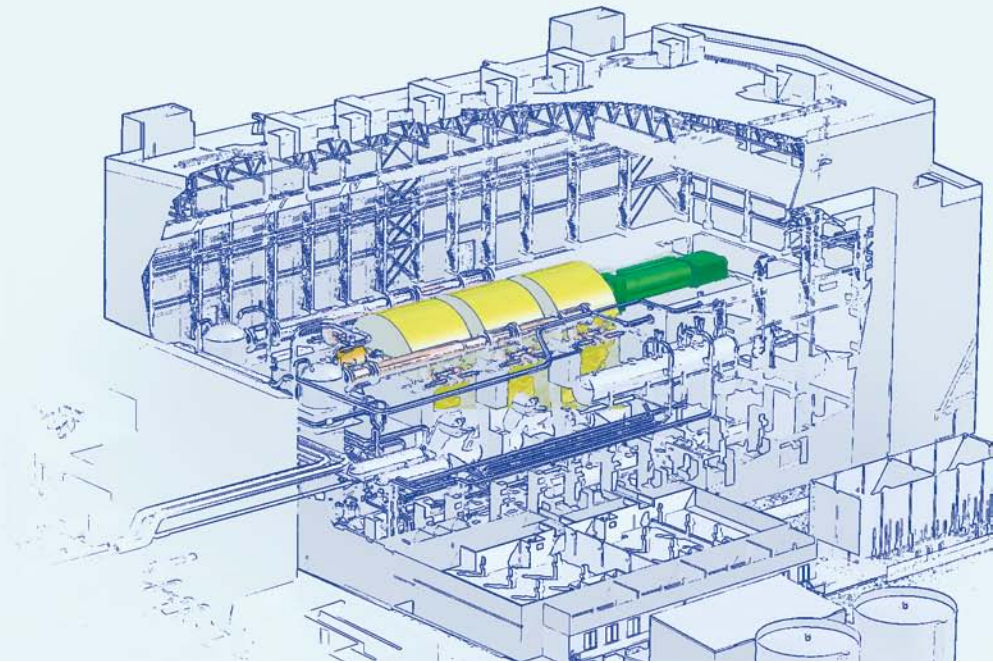
Kaikki kolme matalapaineturbiinia tuottaa kukin noin 320 MWe:a (yhteensä 60 %) laitoksen bruttosähkötehosta. Turbiinityyppi on kaksijuoksuinen reaktioturbiini, jonka pääosat ovat:

- sisäpesä
- ulkopesä
- 9 paisunta- eli johto- ja juoksusiipivöhykettä (6 siipipannallista ja 3 vapaasti seisovaa)
- roottori (takeista kokoonpantu, siipikiekkorakenne).

Matalapaineturbiinin sisä- ja ulkopesä muodostuvat vaakasuunnassa jaetuista sisä- ja ulkopesäarakenteista. Matalapaineturbiinin sisäpesä on kiinnitetty turbiinin perustukseen ja ulkopesä on hitsattu kiinteästi lauhduttimen rakenteisiin. Matalapaineturbiinin johtosiivet sekä juoksusiipien vastintiivistenauhut on kiinnitetty matalapaineturbiinin sisäpesäarakenteeseen. Matalapaineturbiinin ulkopesäarakenteiden lämpöliikehdintä on erotettu turbiinin sisäpesä- ja roottorirakenteista.

Matalapaineturbiinin roottori muodostuu läpiporatus- akselista, jonka ympärille on kiinnitetty kutistusliitoksella kahdeksan siipikiekkoa (neljä kussakin juoksussa). Myös matalapaineturbiinin roottorien kytkinlaipat on kiinnitetty kutistusliitoksilla roottorin akselille.

Matalapaineturbiinin juoksusiivet ja johtosiipien vastintiivistenauhut on kiinnitetty siipikiekkoihin koneistettuihin uriin. Kuuden ensimmäisen juoksusiipivöhykkeen siivet ovat siipipannallisia ja kolmen viimeisen juoksusiipivöhykkeen siivet vapaasti seisovia. Viimeisen juoksusiipivöhykkeen poistoala on 30 m<sup>2</sup>, mikä saavutetaan viimeisen juoksusiiven 1830 mm:n profiilipituudella. Viimeisen johtosiipivöhykkeen siivet ovat onttoja, ja höyryn kosteutta poistetaan niiden virtauspinnassa olevista leikkauksista ennen viimeisiä juoksusiipiä.



1. Vesisäiliö
2. Neljä vety/vesilämmönvaihdinta
3. Puhallin
4. Akselitiivistet

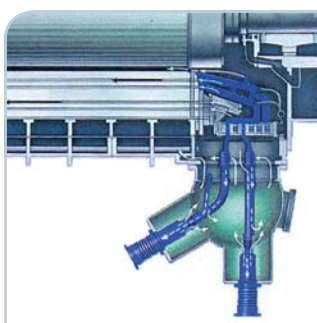
### Generaattorin ominaisuuksia

Kierrosnopeus	1 500 1/min
Taajuus	50 Hertz
Päätöteho	1 793 MW <sub>el</sub>
Nimellisteho	1 992 MVA
Tehokerroin	0,9
Jännite	27 kV ± 5%
Hyötysuhde	n. 99 %
Magnetointivirta	9 471 A
Jäähdytysveden lämpötila	45 °C
Vetyjäähdytteen lämpötila	40 °C



## Generaattori

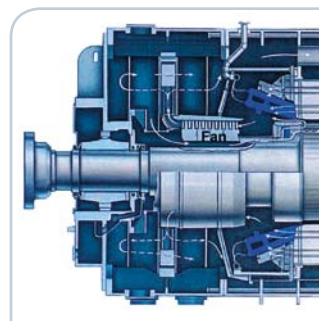
OL3:n generaattori on nelinapainen, vetyjähdytteinen ja harjattomasti magnetoitu. Staattorin käämit ja ulosottoläpiviennit ovat vesijähdytettäviä jäähdytyksen tehostamiseksi.



Roottorikämit jäähdytetään vedyllä, joka johdetaan käämien läpi aksiaalisuunnassa 5 barin paineessa. Vety jäähdytetään vety/vesilämmönvaihtimissa. Vetykierto generaattorin sisällä saadaan aikaiseksi roottorille asennetulla, moniportaisella puhaltimella.

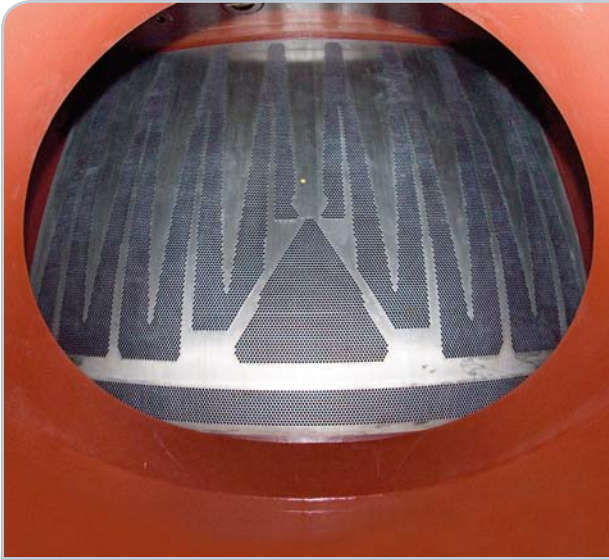


*Generaattorin ulosottokotelon avulla siirretään generaattorin tuottama sähköteho putkikiskon kautta päämuuntajalle ja sieltä edelleen valtakunnan verkkoon.*



*Generaattorin vetyjähdytteinen roottori pyörii 1500 kierrosta minuutissa, painaa 250 tonnia ja on pituudeltaan lähes 17 metriä.*





*Lauhdutinlohkojen jäähdysvesituubien konstruktio (lauhduttimen tuubilevy).*



*Lauhdutinlohko sisältä.*



*Turbiinilaitoksen kolmesta lauhdepumpusta kaksi on käytössä, yksi varalla.*

Lauhduttimessa matalapaineturbiineilta tuleva höyry lauhdutetaan vedeksi. Jokaisen matalapaineturbiinin alapuolella sijaitsee yksi lauhdutinlohko, joka on jaettu kahteen erilliseen merivesikammioon. Rakenteensa ansiosta kunkin lauhdutinlohkon toinen merivesikammio voidaan erottaa käytöstä ja tarkastaa käynnin aikana.

Matalapaineturbiinin poistohöyryn lauhduttamisen lisäksi lauhdutin ottaa vastaan eri prosessijärjestelmistä poistettavia lauhde- ja kaasuvirtauksia.

Lauhduttimen tuubien kokonaisjäähdytyspinta-ala on noin 110 000 m<sup>2</sup> ja materiaalina on käytetty titaania, jolla on hyvät korroosionkesto-ominaisuudet merivettä

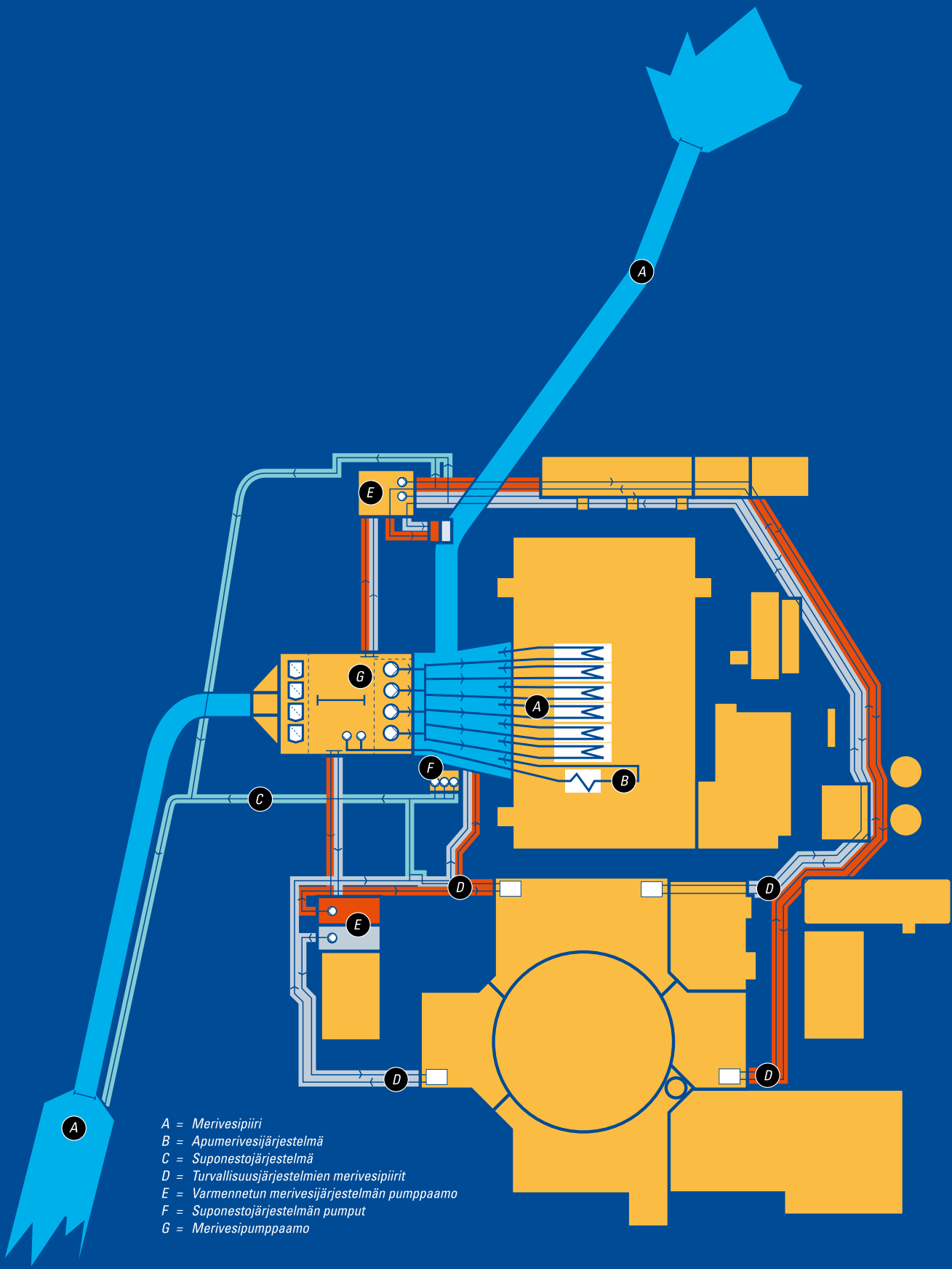
vastaan. Jäähdytysvetenä käytettävä merivesi johdetaan tuubeihin vesikammioiden kautta. Jäähdytysveden lämpötilannousu lauhduttimessa on noin 12 °C.

Lauhduttimen tuubien sisäpintoja puhdistetaan syöttämällä jäähdytysvesivirtaan pehmeitä puhdistuspalloja, jotka kerätään talteen niiden kuljettua lauhduttimen tuubien läpi.

Tehokkaan toiminnan edellytys on, että lauhduttimessa on hyvä alipaine. Alipainejärjestelmän tyhjäpumpuilla ylläpidetään lauhduttimessa mahdollisimman hyvä alipaine poistamalla sinne kerääntynyttä ilmaa ja lauhtumattomia kaasuja.



*Yksi lauhdutinlohkon merivesikammio painaa noin 250 tonnia. Niitä on kaikkiaan kuusi, kaksi kutakin matalapaineturbiinia kohden.*





Merivettä johdetaan 57 m<sup>3</sup>/s omaa maanalaista jäähdytysvesitunnelia myöten OL3:n pumppurakennukseen. Ennen tunnelia suurimmat epäpuhtaudet poistetaan merivedestä karkeavälppien avulla. Pumppurakennuksessa vesi johdetaan neljän puhdistuslinjan läpi merivesipumpuille. Puhdistuslinjat koostuvat hienovälppästä ja ketjukorisuodattimista, joiden avulla merivedestä poistetaan pienemmät epäpuhtaudet.



*Jäähdytysveden sisäänottotunnelin poikkipinta-ala on noin 60 m<sup>2</sup>.*

*Merivesipumppujen pumppaama jäähdytysvesi johdetaan merivesilauhduttimeen kuvassa olevan jakotukin välityksellä.*

Pumppurakennuksessa on neljä merivesipumppua, jotka ovat pysty akselisia betonipesäpumppuja. Jokainen pumppu pumppaa jäähdytysvettä lauhduttimeen noin 13 m<sup>3</sup>/s. Kokonaismerivesivirtauksesta käytetään 4 m<sup>3</sup>/s laitossyksikön järjestelmien jäähdytykseen. Lauhduttimen jälkeen vesi johdetaan aaltoilutilaan, josta se johdetaan poistotunnelia pitkin takaisin mereen. Purkukanava on yhteinen OL1:n ja OL2:n kanssa.



*Turvallisuusjärjestelmä koostuu neljästä rinnakkaisesta osajärjestelmästä, joista jokainen pystyy itsenäisesti suorittamaan vaaditun turvallisuustoiminnon. Jokainen osajärjestelmä on sijoitettu omaan rakennukseensa reaktorirakennuksen eri puolille samasta syystä aiheutuvan yhtäaikaisen vaurioitumisen estämiseksi.*



Yleisenä tavoitteena on ydinvoimalaitoksen turvallisuuden varmistaminen siten, että ydinvoimalaitoksen käytöstä ei aiheudu työntekijöiden tai ympäristön väestön terveyttä vaarantavia säteilyhaittoja eikä muuta vahinkoa ympäristölle tai omaisuudelle. Perusperiaate on, että radioaktiiviset aineet eivät saa päästä ympäristöön.

Poikkeuksellisia tilanteita varten OL3:lla ovat turvallisuusjärjestelmät, jotka koostuvat neljästä rinnakkaisesta osajärjestelmästä. Näistä jokainen pystyy itsenäisesti suorittamaan tarvittavan turvallisuustoiminnon.

Reaktoriturvallisuus edellyttää kolmen tekijän toimintaa kaikissa olosuhteissa:

1. Ketjureaktion ja sen tuottaman tehon hallinta.
2. Polttoaineen jäähtytys myös ketjureaktion sammuttamisen jälkeen eli jälkilämmön poisto.
3. Radioaktiivisten aineiden eristäminen ympäristöstä.

Turvallisuuden perustana ovat kolme sisäkkäistä radioaktiivisten aineiden vapautumisestettä ja syvyysuuntainen turvallisuusajattelu.

## Kolme vapautumisestettä

Reaktorin polttoaineessa syntyvien radioaktiivisten aineiden ja ympäristön välillä on useita tiiviitä fyysisiä esteitä, jotka estävät radioaktiivisuuden pääsyn ympäristöön.

### Ensimmäinen este

Uraanipolttoaine, jossa radioaktiiviset aineet muodostuvat, on suljettu metallisiin polttoainesauvoihin.

### Toinen este

Primääripiiri on paksusta teräksestä rakennettu suljettu piiri, jonka osana on reaktorin paineastia. Sen sisällä on suojaquoriin suljettu uraanipolttoaine reaktorisydämessä.

### Kolmas este

Primääripiiri on kokonaan paksuseinäisen betonirakenteisen, kaasutiiviin suojarakennuksen sisällä. OL3:n suojarakennuksessa on kaksi betoniseinämää, jotka on rakennettu paksun pohjalaatan päälle. Sisempi suojarakennus on lisäksi varustettu tiiviillä teräsvuorauksella.

Yhdenkin vapautumisesteen tiiveys riittää varmistamaan, ettei radioaktiivisia aineita pääse ympäristöön.

## OL3:n turvallisuuspiirteet

OL3 on kehitetty uusimpien saksalaisten Konvoi-laitosten ja ranskalaisten N4-laitosten pohjalta. Kehittämisessä on otettu huomioon näiden laitosten käyttökokemukset. Kehittämisen pääpaino on ollut turvallisuusjärjestelmissä sekä vakavien reaktorionnettomuuksien estämisessä ja onnettomuuden aiheuttamien vahinkojen minimoimisessa.

Turvallisuusjärjestelmien suunnitteluperusteena ovat nelinkertaiset järjestelmät. Tämä tarkoittaa, että järjestelmät koostuvat neljästä rinnakkaisesta osajärjestelmästä, joista jokainen pystyy itsenäisesti suorittamaan tarvittavan turvallisuustoiminnon. Neljä rinnakkaista osajärjestelmää on fyysisesti erotettu toisistaan, ja ne on sijoitettu omiin rakennuksiinsa reaktorin eri puolille ja omiin erillisiin tiloihinsa.

Jokainen neljästä turvallisuusjärjestelmärakennuksesta sisältää matala- ja keskipaineisen hätäjäähdytysjärjestelmän ja niitä jäähdyttävät välijäähdytys- ja merivesipiirit, höyrystimen hätäsyöttövesijärjestelmän sekä näiden jär-

1. este



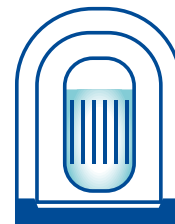
Keraaminen polttoaine kaasutiiviissä polttoainesauvassa

2. este



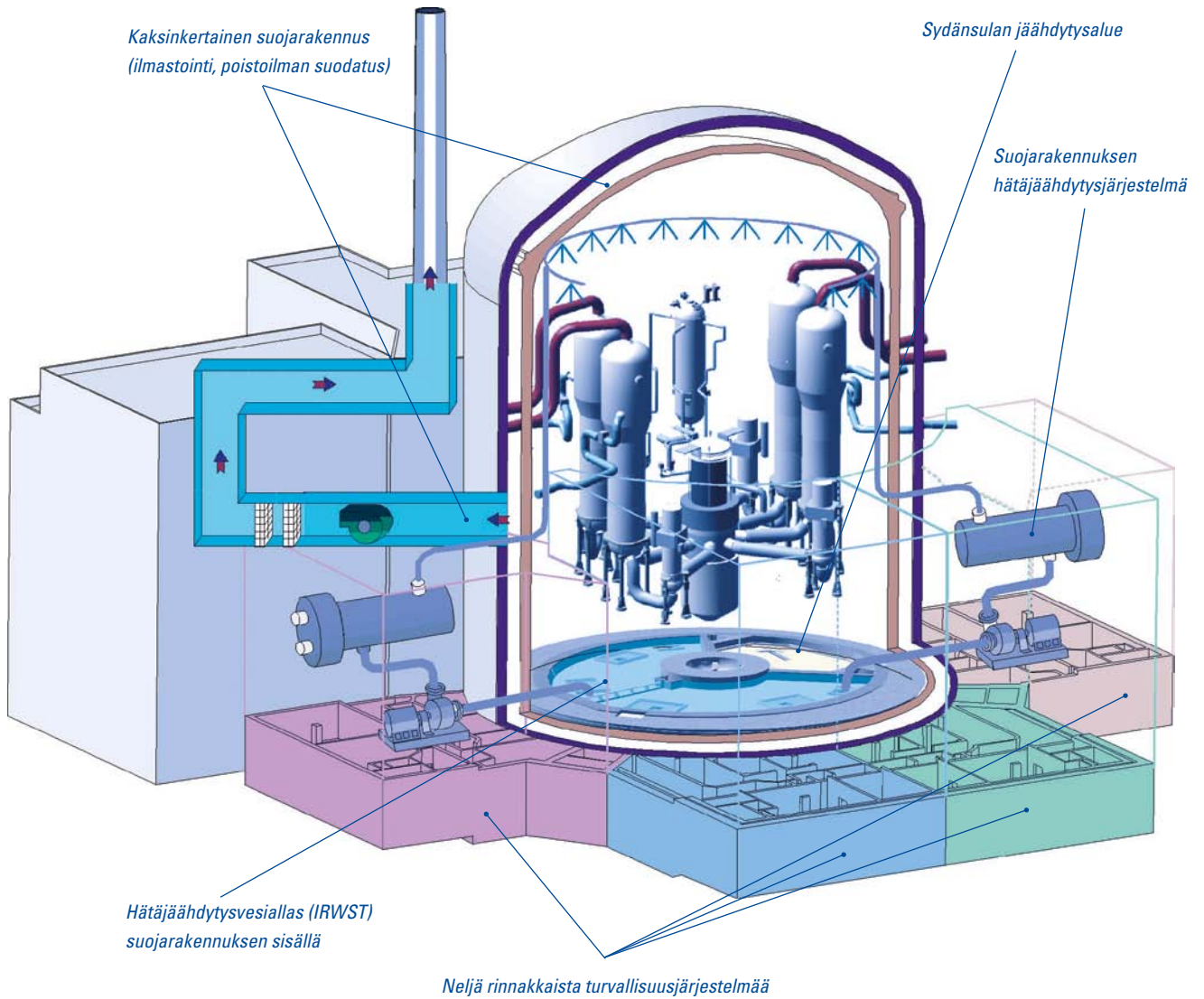
Reaktoripaineastia ja primääripiiri

3. este



Kaksiseinäinen kaasutiivis reaktorin suojarakennus

Esimerkkejä Olkiluoto 3:n keskeisistä turvallisuusominaisuuksista



jestelmien sähkölaitteet sekä automaattiset ohjaus- ja säätöjärjestelmät.

Hätäjäähdytysjärjestelmät ottavat vetensä suojarakennuksen sisällä sijaitsevasta hätäjäähdytysvesialtaasta.

Vakavan reaktorionnettomuuden todennäköisyyttä on aikaisempiin laitoksiin verrattuna edelleen vähennetty lisäämällä poikkeuksellisten tilanteiden varalle rakennettuja järjestelmiä. Lisäksi OL3:een on suunniteltu järjestelmät, joilla rajoitetaan merkittävästi vakavan onnettomuuden seurauksia.

### Turvallisuussuunnittelun perusta

Häiriö- ja onnettomuustilanteissa lyhyellä aikavälillä tarvittavat reaktorin suojaus- ja turvallisuustoiminnot on automatisoitu. Tämä mahdollistaa laitosyksikön valvomon 30 minuutin pituiseen korjaavien toimenpiteiden suunnitteluajan.

OL3:n turvallisuussuunnittelu perustuu ajatukseen ajaa laitosyksikkö häiriötilanteessa automaattisesti hallittuun tilaan, kuumaseisokkiin, ja tästä edelleen käsiohjauksien avulla pitkäaikaisesti turvalliseen, kylmään seisokitilaan. Hallittu tila saavutetaan käyttämällä ensisijaisesti hätäsyöttövesijärjestelmää, höyrystimien ulospuhallusjärjestelmää sekä primääripiirin hätäboorausjärjestelmää. Jälkilämmönpoiston toimintatasolle (30 bar ja 180 °C) päästään jäähdytyksellä sekundääripiirin kautta ja alentamalla primääripiirin painetta. Tästä edelleen kylmään seisokitilaan pääsemiseksi käytetään jäähdytystä hätäjäähdytys- tai jälkilämmönpoistojärjestelmällä.

Reaktorin suurimpien komponenttien, kuten paineastian, paineastimen ja höyrystimien tilavuuksia on aikaisempiin laitoksiin verrattuna kasvatettu. Tämä hidastaa reaktorin tilassa tapahtuvia muutoksia ja antaa ohjaajille enemmän aikaa korjaavien toimenpiteiden käynnistämiseen.

Höyrystimen suuri höyrytilavuus hidastaa höyrystimen täyttymistä primääripiirin vedellä mahdollisessa lämmönsiirtoputken vauriossa. Vaurioituneesta höyrystimestä höyry johdetaan ensisijaisesti lauhduttimeen eikä suoraan ilmaan ulospuhalluslinjan kautta. Kun lauhdutin

ei ole käytettävissä, höyrystimien primääri-sekundääripiirien välisten vuotojen aiheuttamat ympäristöpäästöt on lisäksi minimoitu paineen alennuksella sekundääripiirin ulospuhallusventtiilien kautta ja automaattisella vauriohöyrystimen eristämällä. OL3:n hätäjäähdytysjärjestelmien toimintapaineet ovat höyrystimien varoventtiilien avautumispainerajojen alapuolella, millä vältetään primääripiirin ja sekundääripiirin välisen vuototilanteen yhdistämien piirien paineennousu yli höyrystimen varoventtiilin aukeamisrajan.

### Hätäjäähdytys- ja jälkilämmönpoistojärjestelmät

Hätäjäähdytysjärjestelmä koostuu matala- ja keskipaineisesta hätäjäähdytysjärjestelmästä, tyypellä paineistetusta paineakuista ja suojarakennuksessa olevasta hätäjäähdytysvesialtaasta. Järjestelmä toimii normaalikäytön aikana jälkilämmön poistojärjestelmänä, kun alasajon yhteydessä laitos on saatava kylmään seisokitilaan. Järjestelmässä on neljä erillistä osajärjestelmää, joista jokainen pystyy itsenäisesti syöttämään vettä reaktoripiiriin keski- ja matalapaineisten hätäjäähdytyspumppujen avulla. Jokainen osajärjestelmä on sijoitettu omaan turvallisuusjärjestelmärakennukseensa. Osajärjestelmät syöttävät hätäjäähdytysvettä yhteen neljästä primääripiirin haarasta, kukin eri haaraan. Järjestelmä takaa riittävän jäähdytyskapasiteetin jäähdytteenmenetystilanteissa.

### Hätäbooraus

Suunnitteluperusteissa on otettu huomioon harvinainen reaktoripikasulun epäonnistuminen. Säätöelementtien ylösjääminen automaattisten pikasulkuehtojen tultua voimaan aiheuttaa pääkiertopumppujen pysähtymisen ja kaksilinjaisen, kolmella pumpulla varustetun hätäboorausjärjestelmän käynnistymisen. Hätäboorausjärjestelmän käynnistymisen. Hätäboorausjärjestelmän käynnistymisen. Hätäboorausjärjestelmän käynnistymisen. Hätäboorausjärjestelmän käynnistymisen. Hätäboorausjärjestelmän käynnistymisen. Hätäboorausjärjestelmän käynnistymisen. Hätäboorausjärjestelmän käynnistymisen. Hätäboorausjärjestelmän käynnistymisen.

### Jälkilämmönpoisto

Käytön aikana tai onnettomuustilanteessa ylimääräinen energia ja polttoaineen tuottama jälkilämpö voidaan poistaa höyrystimien kautta sekundääripiiriin. Käytön aikana höyrystimiin saadaan vettä syöttövesijärjestelmällä ja onnettomuustilanteissa hätäsyöttövesijärjestelmällä.

Hätäsyöttövesijärjestelmä muodostuu neljästä erillisestä, toisistaan riippumattomasta rinnakkaisesta osajärjestelmästä, jotka syöttävät vettä kukin yhteen höyrytimeen. Jokainen hätäsyöttöpumppu saa vetensä omasta hätäsyöttövesitankistaan. Nämä tankit ja järjestelmät on sijoitettu kukin omaan osastonsa turvallisuusjärjestelmärakennuksissa.

Jälkilämpö voidaan poistaa joko höyrystimien kautta sekundääripiiriin ja edelleen lauhduttimen kautta mereen tai puhaltamalla puhdasta höyryä sekundääripuolen ulospuhallusventtiilien kautta ulkoilmaan. Tilanteissa, joissa sekundääripuolen jäähditys menetetään kokonaan, primääripiirin painetta voidaan alentaa paineistimen paineenalennuslinjojen tai varoventtiilien kautta suojarakennukseen. Tällöin primääripiiriin syötetään lisävettä keski- ja matalapaineisilla hätäjäähdityspumpuilla, ja jäähdytetään samalla suojarakennuksessa olevaa noin 2000 vesitonnin hätäjäähditysvesialtaan vettä dieselvarmennetulla välipiirillä tai riippumattomalla suojarakennuksen jäähditysjärjestelmällä. Lämpö siirtyy reaktorin jäähditysjärjestelmästä, varmennetusta välijäähditysjärjestelmästä ja merivesijärjestelmästä muodostuvan jäähditysketjun kautta lopulliseen lämpönietuun. Turvallisuusjärjestelmien imuputkistot on ensimmäiseen eristysventtiiliin asti varustettu suojaputkella, joka ehkäisee vesihäviöitä imuputkien katkeamistilanteissa.

### Varmennettu merivesijärjestelmä

Varmennettu merivesijärjestelmä on turvallisuusjärjestelmä, joka käsittää neljä toisistaan fyysisesti erotettuja eri turvallisuusjärjestelmärakennuksiin sijoitettua pumpausketjua. Järjestelmä siirtää turvallisuusjärjestelmiä jäähdyttävän varmennetun välijäähditysjärjestelmän lämmönvaihtimilta tulevan lämmön mereen.

Neljän pääketjun lisäksi varmennetussa merivesijärjestelmässä on kaksi lisäpumpausketjua, joiden tarkoituksena on toimia osana riippumatonta, vakavien onnettomuuksien varalle tarkoitettua lämmönsiirtoketjua.

### Varautuminen vakaviin reaktorionnettomuuksiin

OL3:n suunnittelussa on varauduttu myös vakavaan reaktorionnettomuuteen: mikäli moninkertaiset ja toisistaan riippumattomat turvajärjestelmät pettäisivät, sen seuraukset laitosalueen ulkopuolella olisivat siitä huolimatta vähäiset sekä ajallisesti että alueellisesti.

Tilanteet, joissa merkittävä määrä radioaktiivisia aineita vapautuisi ympäristöön, on käytännössä eliminoitu.

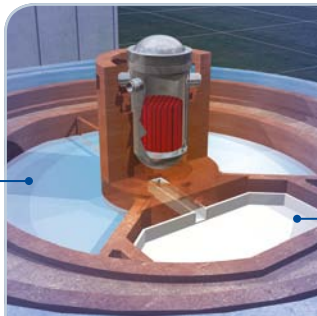
Reaktorin suojarakennuksen tiiveys on varmistettu reaktorin sydämen sulamisen varalta sydänsulan etene mistä hidastavilla rakenteilla ja passiivisella sydänsulan jäähditysjärjestelmällä. Suojarakennuksen alaosa on sydänsulan leviämialue, jonka muodostaa kiinteä, 10 cm:ä paksulla suojabetonilla päällystetty metallirakenne (sydänsieppari). Sen tarkoituksena on jäähdyttää sydänsula ja suojata reaktorirakennuksen pohjaa vaurioilta, jotka voisivat johtaa vuotoihin. Leviämialueen alapuolella on jäähdityskanavia, joissa virtaa vesi. Vesi nousee myös sydänsulan päälle. Leviämialueen suuri pinta-ala (170 neliometriä) varmistaa sydänsulan jäähtymisen.

Jos reaktoripaineastia rikkoutuu, sydänsula kerätään reaktorikuilussa paineastian alla olevaan keräytymistilaan. Sydänsulan siirtyminen reaktorikuilusta leviämialueelle käynnistyy passiivisella järjestelyllä: reaktorisydämen sulaessa syntyvä kuuma massa sulattaa puhki reaktorikuilun pohjalla olevan alumiinitulpan. Alumiinitulpan päällä oleva 50 cm:ä paksu suojabetonikerros sulaa sydänmassaan viivästyttäen tulpan rikkoutumista, kunnes kaikki sydänsula on kerääntynyt reaktorikuiluun reaktoripaineastian alle.

Sydänsulan kulkeutuessa leviämialueelle sen jäähditys käynnistyy passiivisesti kuumuudessa sulavan tulvituslaitteen avatessa venttiilit. Sydänsiepparin päällä oleva suojabetoni sulaa kuumaan sydänmassaan. Jäähditys tapahtuu edelleen passiivisesti, kun vesi valuu painovoiman vaikutuksesta sydänsiepparin alla oleviin kanaviin ja sydänsulan päälle reaktorin suojarakennuksen sisällä olevasta säiliöstä.

Jäähditys on riittävän tehokas, jotta sydänsula jäähmettyy täydellisesti muutamassa päivässä, jonka jälkeen voidaan käynnistää vakavan onnettomuuden jälkeiset puhdistustoimenpiteet.

Hätäjäähdytysvesiallas (IRWST)



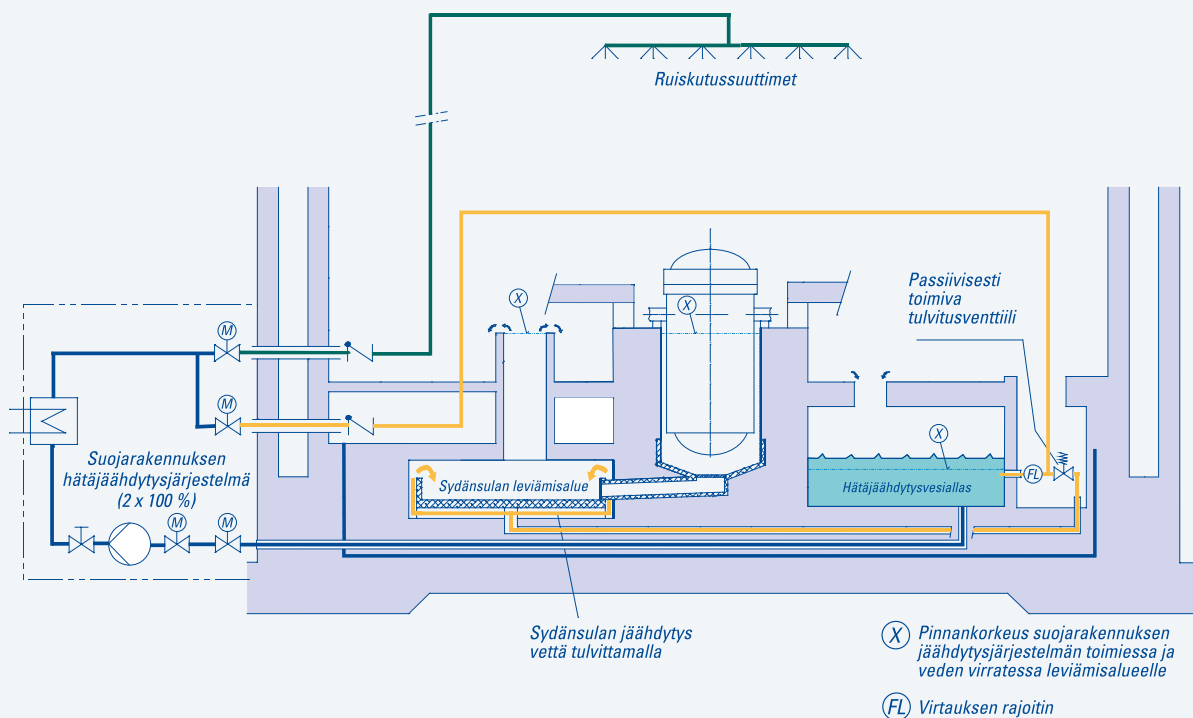
Lähde: AREVA

Sydänsulan leviämialue

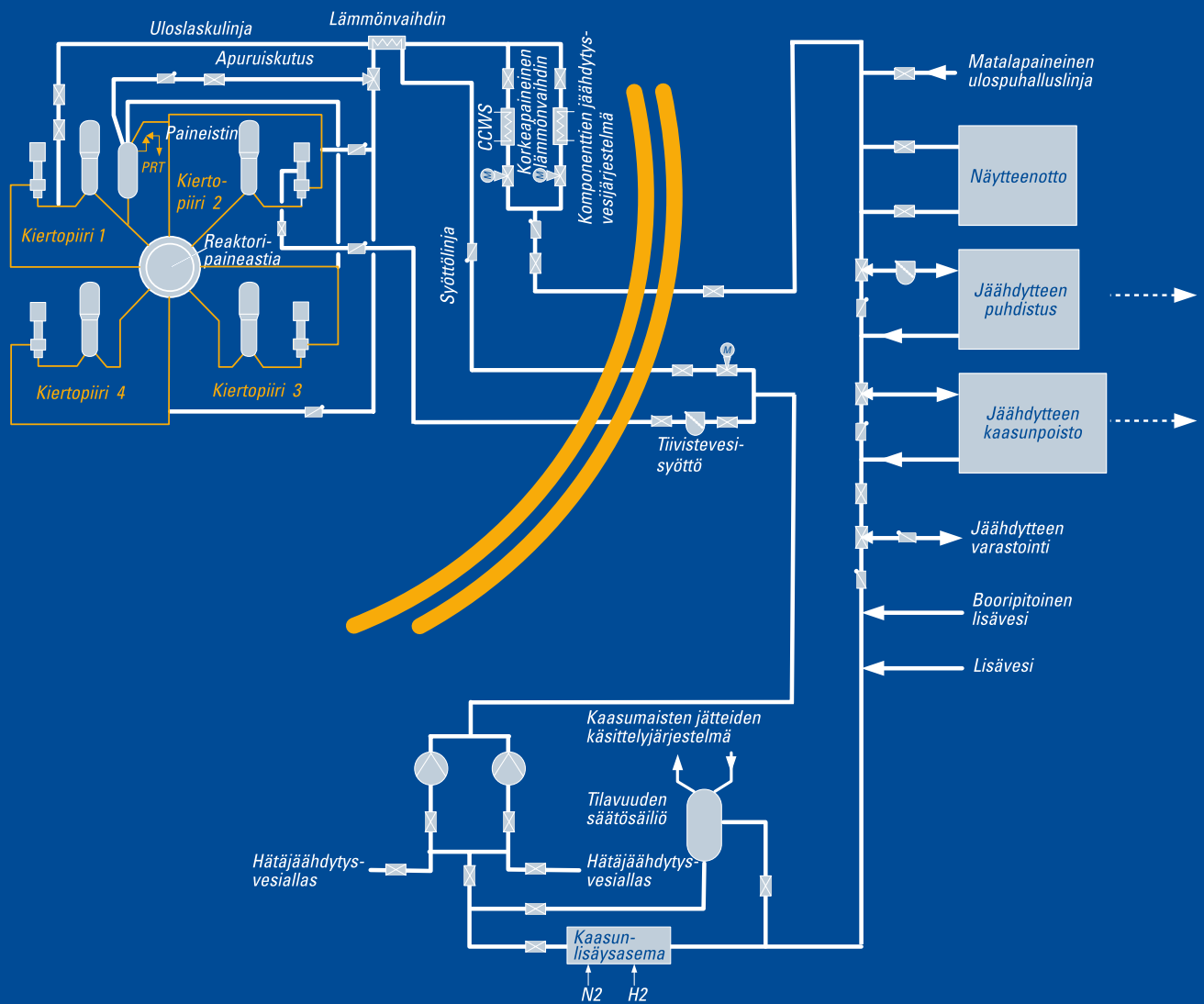


### Sydänsulan jäähdytysjärjestelmä

OL3:ssa erittäin epätodennäköisessä vakavassa onnettomuustilanteessa sydänsula johdetaan sydänsulan leviämialueelle, jossa se jäähdytetään jähmeään tilaan.



## Jäähdytteen käsittelyjärjestelmä





# VESIKEMIA JA TILAVUUDEN- SÄÄTÖJÄRJESTELMÄT

OL3:lla on yhteensä noin 120 prosessijärjestelmää, joissa käsitellään neste-, höyry- sekä kaasuvirtauksia. Reaktorilaitoksen kemikaalien- ja tilavuudensäättöjärjestelmä on käyttötoiminnan kannalta keskeinen järjestelmä. Järjestelmä toimii rajapintana reaktorin korkeapaineisen primääripiirin ja matalapaineisten järjestelmien välillä.

Jäähdytteen käsittelyjärjestelmillä huolehditaan primääripiirin jäähdytteen booripitoisuudesta, vesikemiasta, kierrossa olevan jäähdytteen puhdistuksesta, kemikaalien ja liuenneiden kaasujen injektoinnista ja säätelystä sisään syötettävään jäähdytteeseen sekä uloslasketun jäähdytteen kaasunpoistosta, käsittelystä ja varastoinnista laitoksen eri käyttötilanteissa. Lisäksi järjestelmillä valmistetaan ja varastoidaan sekä syötetään laitoksen eri järjestelmissä tarvittavaa booriliuosta. Laitoksen seisokin aikana järjestelmien avulla huolehditaan primääripiirin tyhjennyksen ja täytön yhteydessä tarvittavan lisäveden saannista.

Jäähdytteen käsittelyjärjestelmiin kuuluvista osajärjestelmistä käyttötoiminnan kannalta tärkein on kemikaalien- ja tilavuudensäättöjärjestelmä. Se liittyy suoraan primääripiirin jäähdytteen kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien, muun muassa booripitoisuuden ja tilavuuden, säätöön.

Kemikaalien- ja tilavuudensäättöjärjestelmä huolehtii myös pääkiertopumppujen tiivisteveden syötöstä sekä kerrää tiivisteiden vuotovedet. Tilavuudensäättöjärjestelmän syöttölinjasta saadaan jäähdytettä myös paineistimen apuruiskutusjärjestelmään. Paineistimen painetta voidaan alentaa järjestelmän apuruiskutuksella.

OL3:lla käytettävän boorin kemiallinen muoto on boorihappo, jota on liuotettu veteen. Reaktorijäähdytteen booripitoisuutta säädetään lisäämällä piiriin syötettävään jäähdytteeseen joko puhdasta vettä tai boorihappoliuosta tarpeen mukaan. Primääripiiriin lisättävän ja vastaavasti ulos lasketavan jäähdytteen määrän on vastattava käyttötilannetta.



*Primääripiiriin syötettävän lisäveden booripitoisuutta tarkkaillaan kahden- ja kolmen prosentin mittalaitteilla, jotka ohjaavat automaattista turvallisuustoimintaa.*

## Boori- ja lisävesijärjestelmä

Jäähdytteen sisältämä boori on toisen luonnollisen isotooppinsa (B-10-isotooppi) suhteen väkevöityä (n. 30–32 at%), ja sillä kompensoidaan reaktorisydämen ylijäämäreaktiivisuutta. Boorihappoliuos varastoidaan 4 %:n väkevöisenä, joka vastaa noin 7 000 ppm booria. Kaikki laitoksen järjestelmiin valmistettavat liuokset laimennetaan puhtaalla täyssiulapoistetulla vedellä tästä varastoliuoksesta.

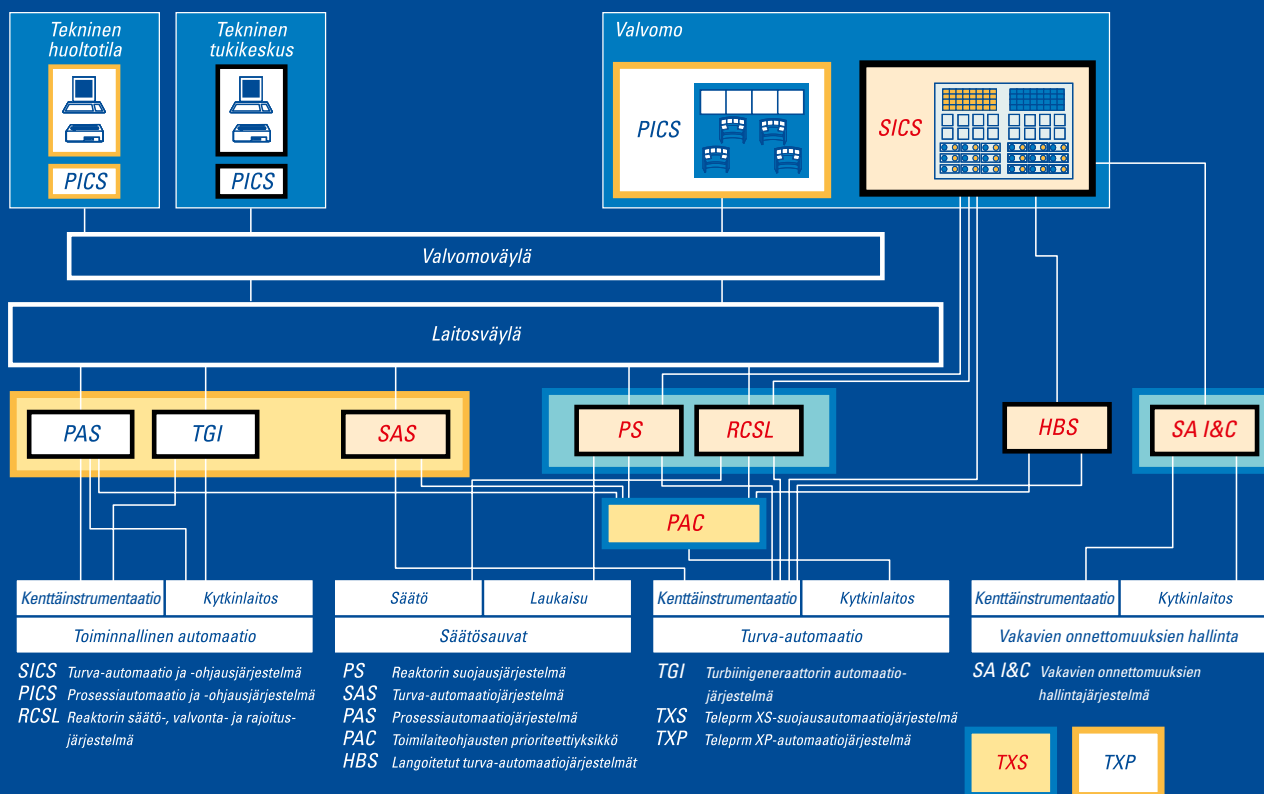
## Sydämen reaktiivisuuden säätö

Sydämen reaktiivisuus on korkein käyttöjakson alussa tuoreen polttoaineen vaikutuksesta. Kun tuoretta polttoainetta ladataan sydämeen, kaikki säätöelementit

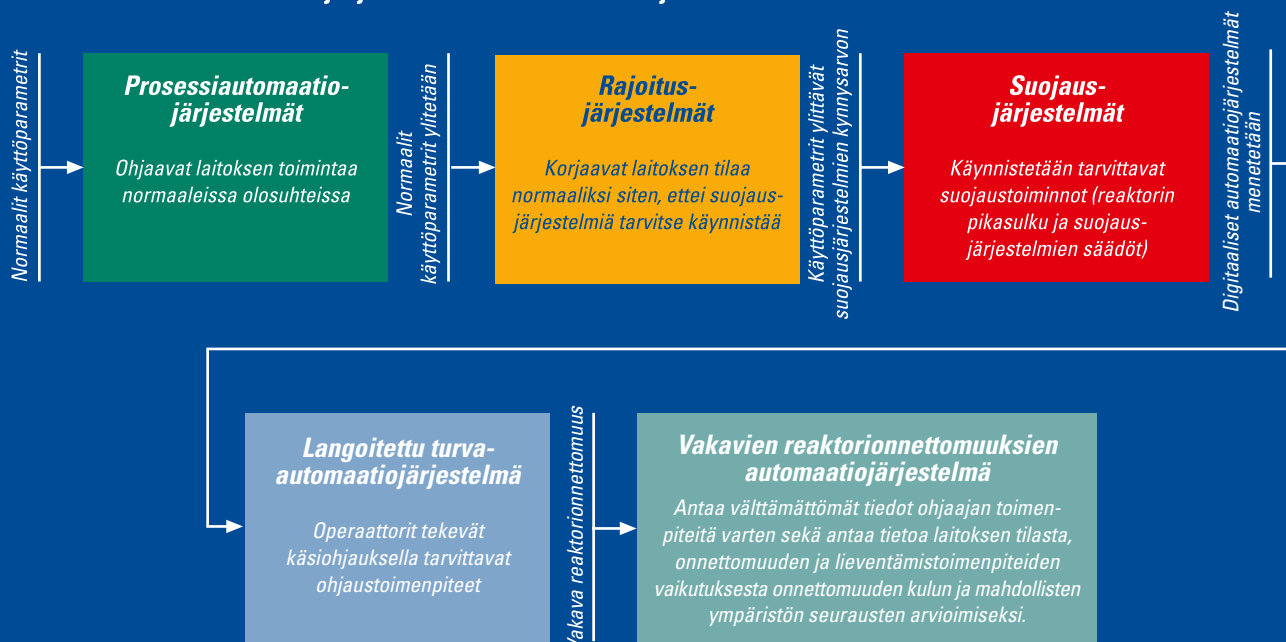
ovat sisällä ja primääripiiri, reaktoriallas sekä siirtolallas täytettynä booriliuoksella, jonka pitoisuus on noin 1 550 ppm:ää. Boorausjärjestelmää käytetään muutenkin aina ajettaessa reaktori kylmäseisokkiin, jotta alikriittisyys voidaan varmistaa reaktorin lämpötilasta riippumatta. Reaktoria käynnistettäessä säätöelementtejä vedetään ensin pois sydäimestä, minkä jälkeen primääripiirin booripitoisuutta vähennetään laimentamalla, kunnes kriittisyys on saavutettu. Käytön aikana tarvittava booripitoisuus rajoittuu aina alle 1 200 ppm:ään.

Hitaita, pitkän aikavälin tehon muutoksia ja käyttöjakson aikaisesta polttoaineen palamasta johtuvaa neutronivuon laskua kompensoidaan käyttöjakson aikana alentamalla jäähdytteen booripitoisuutta polttoaineen vaihtoa edeltävään, n. 5 ppm:n pitoisuuteen asti.

## Automaatiojärjestelmien arkkitehtuuri



## Automaatiojärjestelmien turvallisuusajattelun mukaiset toiminnalliset tasot



Automaatiojärjestelmät koostuvat kenttäinstrumentaatiosta, ohjaus- ja säätöjärjestelmistä sekä automaation käyttöliittymistä, joita käytetään laitoksen valvontaan ja ohjaukseen.

OL3:n automaatiojärjestelmien suunnittelussa on kiinnitetty huomiota turvallisuuteen ja käytön joustavuuteen. Laitoksen ohjaus- ja säätöjärjestelmät on täysin automatisoitu käyttäen koeteltua digitaalitekniikkaa. Perinteinen langoitettu tekniikka toimii varmennuksena.

## Suunnitteluperusteet

Automaatiojärjestelmät – kuten muutkin järjestelmät – on toimintoinen ja laitteinen luokiteltu niiden ydinteknisen turvallisuusmerkityksensä mukaan. Turvallisuusluokasta riippuen automaatiojärjestelmät toteutetaan vaadittavan laatuoluokituksen mukaisilla laitteilla.

OL3:n automaatio sekä siihen kuuluvat toiminnot ja laitteet on suunniteltu siten, että ne noudattavat ydinturvallisuuden yleisiä periaatteita. Näitä periaatteita ovat fyysinen ja toiminnallinen erottelu, erilaisuus sekä moninkertaisuus. Esimerkiksi hätäjähdytysjärjestelmällä ja hätäsyöttövesijärjestelmällä, jotka koostuvat neljästä rinnakkaisesta ja riippumattomasta järjestelmästä, on edelleen neljä rinnakkaista ja riippumatonta ohjaus- ja säätöjärjestelmäkanavaa.

Laitoksen suunnitteluperusteena suojausautomaation tulee hoitaa häiriö- ja onnettomuustilanteiden ensimmäiset 30 minuuttia ilman valvomossa työskentelevän käyttöhenkilöstön toimenpiteitä. Tämä antaa käyttöhenkilöstölle harkinta-aikaa selvittää häiriötilanteen syy ja ottaa käyttöön tarvittavat häiriö- ja hätätilanneohjeet.

Laitoksen valvonta ja ohjaus suoritetaan päävalvomossa sijaitsevan työasemapohjaisen käyttöliittymän avulla. Kullekin valvomossa työskentelevälle operaattorille on määritelty työpiste, joka sisältää useita näyttöpäätteitä. Näyttöpäätteillä esitetään laitoksen ohjaukseen ja valvontaan tarvittava tieto, jonka avulla operaattori suorittaa tarvittavat toimenpiteet. Työasemapohjainen käyttöliittymä on varmennettu perinteisellä, kiinteästi langoitettulla paneelilla, jota käytetään, jos työasemapohjainen järjestelmä ei ole käytettävissä. Poikkeustilanteissa yksikkö voidaan ajaa hallitusti turvalliseen tilaan myös erillisestä varaohjauspaikasta.

## Arkkitehtuuri

Automaatioarkkitehtuuri on suunniteltu toimimaan syvyysuuntaisen turvallisuusajattelun mukaisesti. Turvallisuuden takaamiseksi on määritelty seuraavat toiminnalliset tasot:

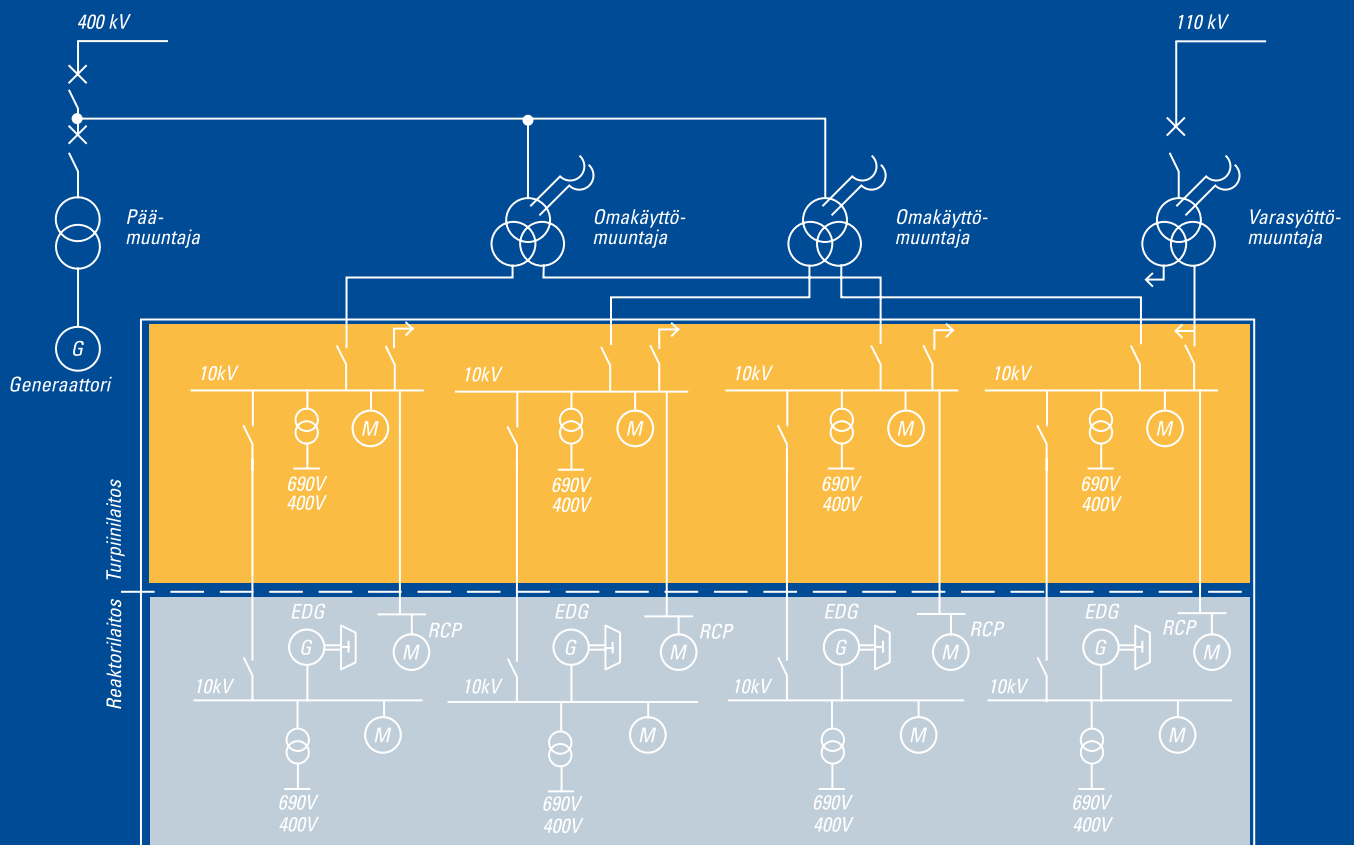
1. Prosessiautomaatiojärjestelmät, jotka säilyttävät laitoksen tilan normaalien käyttöparametrien puitteissa.
2. Rajoittavat automaatiojärjestelmät, jotka korjaavat laitoksen tilan takaisin normaaliksi, jos normaalit käyttöparametrit ylitetään.
3. Reaktorisuojausjärjestelmä, joka käynnistää automaattisesti tarvittavat turvallisuustoiminnot (reaktorin pikasulku ja suojausjärjestelmän käynnistämät tilannekohtaiset toiminnot), jos parametrit ylittävät jonkin suojausjärjestelmän kynnysarvoista. Reaktorin suojausjärjestelmä ja sen käynnistämät turvallisuusjärjestelmät ovat pääosin nelinkertaiset.
4. Digitaalisten automaatiojärjestelmien menetyksen varalle laitos on varustettu muusta automaatiosta riippumattomalla langoitettulla turva-automaatiojärjestelmällä.
5. Vakavien reaktorionnettomuuksien hallitsemiseksi laitoksella on edellä mainituista automaatiojärjestelmistä riippumaton vakavien onnettomuuksien automaatiojärjestelmä.

## Automaatiojärjestelmien tehtävät

Automaatiojärjestelmän jokainen osajärjestelmä (mittaukset, säädöt, automaatio, käyttöliittymä) on jaettu toiminnoittain tasoihin seuraavasti:

- Taso 0 (prosessi-instrumentaatio eli liityntä itse prosessiin) koostuu muun muassa antureista ja kytkimistä.
- Taso 1 (automaatiojärjestelmätaso) sisältää ohjaus- ja säätöpiirit, joiden tehtävinä ovat reaktorisuojaus, reaktorin ohjaus, valvonta ja rajoitustoiminnot, turvallisuusautomaatiikka ja prosessiautomaatiikka.
- Taso 2 (prosessin valvonta ja ohjaus) sisältää käyttöliittymät eli työasemat, päävalvomon ohjauspaneelit, varaohjauspaikan ja teknisen tukikeskuksen. Lisäksi tähän kuuluvat automaatiojärjestelmät, jotka toimivat linkkinä käyttöliittymien ja järjestelmätason automaatiikan välillä.

Olkiluoto 3 -laitosyksikön yksinkertaistettu pääkaavio



Sähköjärjestelmillä on kaksi käyttötarkoitusta: toinen on tuotetun sähkön siirto ulkoiseen verkkoon ja toinen laitoksen itsensä tarvitseman sähkön tuottaminen. Edelliseen kuuluvat generaattorikisko, päämuuntaja sekä 400 kV:n kytkinlaitos ja voimajohto. Jälkimmäiseen kuuluvat omakäyttömuuntajat, keskijännitekojeistot, dieselgeneraattoriyksiköt ja pienjännitesähkön jakelu.

Generaattorin ja päämuuntajan väliset generaattorikiskot on tehty itsenäisistä, yksivaiheisista kiskoista, joissa ovat maadoitetut metalliset vaihat. Päämuuntaja koostuu kolmesta yksivaiheisesta yksiköstä. Muuntajaa jäähdytetään käämien läpi virtaavalla öljyllä, jota jäähdytetään erillisellä ulkoisella vesijäähdytyspiirillä.

Laitosyksikön omakäyttö sähkö saadaan 400 kV:n verkosta kahden omakäyttömuuntajan kautta. Niiden varmistuksena on varasyöttömuuntaja, joka on kytketty 110 kV:n verkkoon. Nämä kaksi tehositytöreittä ovat toisistaan riippumattomia.

Reaktorilaitoksen sähkönjakelujärjestelmä on jaettu neljään fyysisesti erotettuun ja rinnakkaiseen osajärjestelmään. Jokaisen osajärjestelmän turvallisuuden kannalta tärkeiden laitteiden sähkönkäyttö on varustettu 7,8 MVA:n varavoimadieselgeneraattorilla. Varavoimadieselien sähkösäilytys on lisäksi erillinen syöttömahdollisuus Olkiluodon kaasuturbiinilaitokselta.



400 kV:n sähkölinjan eristinketju.

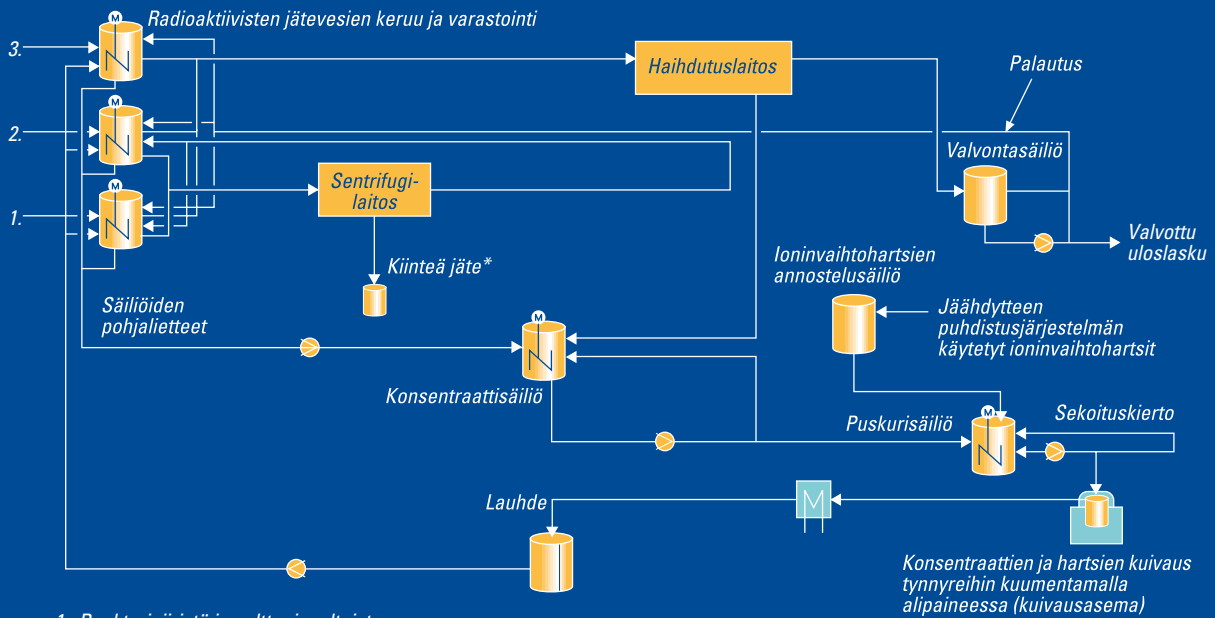
Järjestelmät on mitoitettu niin, että ydinturvallisuuden kannalta kapasiteetti on riittävä, vaikka yksi osajärjestelmä olisi käyttökunnon ja toinen osajärjestelmä olisi samanaikaisesti poissa käytöstä huoltotöiden takia.

Turvallisuuden kannalta tärkeät järjestelmät on liitetty varmennettuihin sähkönsyöttöjärjestelmiin. Nämä yhdessä vastaavat muun muassa reaktorin turvallisesta pysäyttämistä ja jälkilämmön poistosta sekä estävät radioaktiivisuuden leviämisen.

Kaikkien ulkoisten sähköyhteyksien sekä lisäksi neljän dieselgeneraattorin yhtäaikaisen vikaantumisen eli täydellisen vaihtosähkön menetyksen varalta laitoksella on kaksi pienempää, noin 3 MVA:n dieselgeneraattoria. Näin varmistetaan vielä erikseen poikkeustilanteissa tarvittava sähkönsyöttö turvallisuuden kannalta tärkeille järjestelmille.



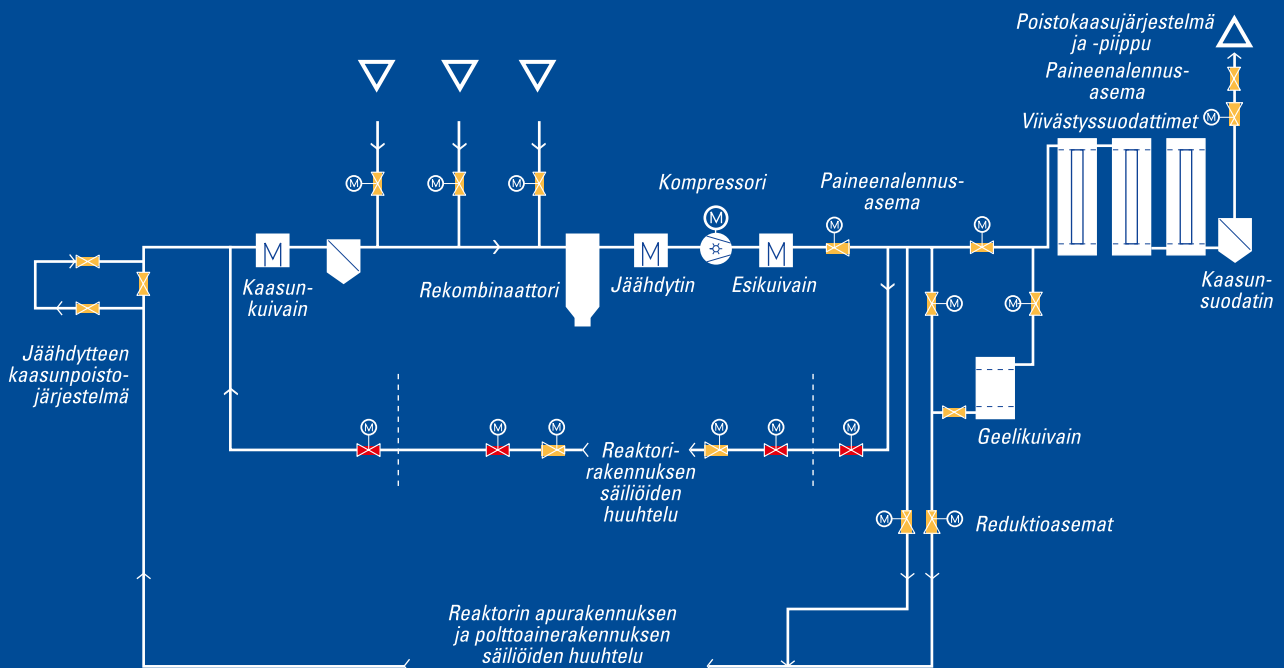
## Nestemäisten jätteiden käsittelyn periaatekaavio



1. Reaktoripiiristä ja polttoainealtaista peräisin olevat radioaktiiviset vedet ja dekontaminointivedet
2. Vähän radioaktiiviset vedet esim. pesulasta ja saniteettitiloista
3. Mahdollisesti radioaktiiviset vedet höyrystimien ulospuhallusjärjestelmästä

\*Sentrifugissa erottunut jäte kuivataan lisäksi kuumentamalla alipaineessa (kuivausasema) ja kuivaustynnyri täytetään edelleen kiinteytettävällä jätteellä

## Kaasumaisten jätteiden käsittelyn periaatekaavio



# JÄTTEIDENKÄSITTELY- JÄRJESTELMÄT

Radioaktiiviset jätteet erotellaan niiden aktiivisuuden sekä fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Ne käsitellään kullekin jätetyypille sopivilla menetelmillä. Runsaasti aktiiviset jätteet pidetään koko käsittelyn ajan erillään lievästi aktiivisista jätteistä, ja erityyppisillä kiinteillä, nestemäisillä ja kaasumaisilla jätteillä on kullakin omat käsittelylinjansa.

## Kiinteät voimalaitosjätteet

Kiinteät voimalaitosjätteet lajitellaan matala- ja keskiaktiivisiin jätteisiin. OL3 ei lähtökohtaisesti tuota loppusijoitettavaa keskiaktiivisen jätteen (KAJ) ryhmään kuuluvaa kiinteää jätettä.

Matala-aktiivinen jäte (MAJ) koostuu materiaaleista ja aineista, joihin on tarttunut radioaktiivisuutta. Tällaisia ovat muun muassa palosuojakankaat, suojamuovit, käytetyt suojavarusteet ja järjestelmistä poistetut matala-aktiiviset kappaleet kuten tiivisteet. Matala-aktiivinen jäte on jaettu seuraaviin ryhmiin: sekalainen huoltojäte, metalliromu, tynnyriin kuivattu jäte, suodatinpatruunat, suodatinsauvat ja kiinteytetyt sekalaiset nesteet.

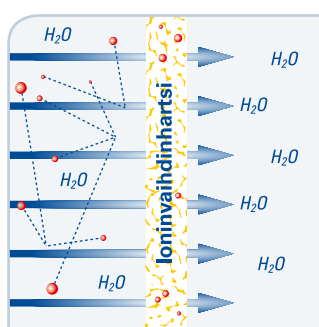
## Sekalaisen huoltojätteen ja metalliromun käsittely

MAJ-jätteisiin kuuluvat niin sanotut pienet kappaleet kerätään jätteen syntypaikoilla joko muovisäkkeihin tai suoraan 200 litran terästynnyreihin ja viedään lajiteltavaksi aktiivisuussisältönsä ja tyyppinsä mukaisesti. Säkkeihin kerätty jäte pakataan myöhemmin tynnyreihin. Tynnyreihin pakattu kokoonpuristuva jäte puristetaan tynnyreissä pienempään tilavuuteen, ja osa näistä tynnyreistä puristetaan lisäksi korkeussuunnassa puoleen alkuperäisestä koostaan.

Suuria kappaleita pakataan joko teräslaatikoihin tai pakkaamattomina suoraan betonilaatikoihin, joihin myös tynnyrit laitetaan ennen loppusijoitusta voimalaitosjätteen luolaan eli VLJ-luolaan. Sekalainen huoltojäte on etupäässä hyvin matala-aktiivista.

## Tynnyriin kuivatun jätteen ja suodatinpatruunoiden käsittely

Tynnyriin kuivattu jäte koostuu pääosin haihdutinkonsentraateista, tankinpohjalietteistä, ioninvaihtohartsista sekä prosessivesien puhdistukseen käytetyistä suodatin-



*Kemiallisen reaktion seurauksena jäähdytteessä olevat epäpuhtaudet sitoutuvat ioninvaihtohartsin poistuvan jäähdytekierrosta.*

patruunoista. Näitä jätteitä sekoitetaan keskenään kuivauksessa, jota ennen niitä varastoidaan tankeissa.

Tankkivarastoinnin jälkeen ioninvaihtohartsit, haihdutinkonsentraatit ja muut lietteet kuivataan OL3:n jäterakennuksessa olevilla tynnyrinkuivauslaitteilla. Ennen kuivauksen aloitusta tynnyriin voidaan asettaa suodatinpatruuna, joka jää kuivatusprosessissa kuivuvan materiaalin sisään.

Kuivattava jäte laitetaan 200 litran tynnyriin ja kuivataan kuumentamalla alipaineessa, kunnes 90 prosenttia jätteestä on kuivaa. Jätettä kuivataan edelleen noin 130 °C:ssa niin, että kaikki irtovesi haihtuu pois. Syntyvä lauhde palautetaan nestemäisten jätteiden käsittelyprosessiin.

Tynnyriin kuivatun jätteen ja suodatinpatruunoiden aktiivisuustaso voi aluksi olla keskiaktiivisen jätteen tasoa. Näitä jäteryhmiä väliarastoidaan aluksi OL3-yksikön tiloissa ja myöhemmin TVO:n KAJ-jätteen väliarastossa, jolloin jätteen aktiivisuuden aiheuttajana toimiva päänukliidi (>90 %), Co-60, ehtii puoliintua 5–10 kertaisesti. Tämän vuoksi nämä jätteet loppusijoitetaan VLJ-luolaan kuten muutkin MAJ-jätteet.

## Kiinteytettyjen sekalaisen nesteiden käsittely

Kiinteytettyjen sekalaisen nesteiden ryhmään kuuluvat muun muassa erilaiset, aktiivisuutta sisältävät jäteöljyt. Jäteöljyjen aktiivisuus mitataan, ja ne siirretään 200 litran tynnyreissä kiinteytettäväksi OL1:n ja OL2:n jo käytössä olevaan järjestelmään.

## Loppusijoitus

OL3:n kiinteät voimalaitosjätteet loppusijoitetaan betonilaatikoissa Olkiluodossa sijaitsevaan VLJ-luolaan, joka on yhteinen OL1:n ja OL2:n kanssa. Kaikesta kiinteästä jätteestä (aktiivisuustiedot ja sijainti VLJ-siilossa) pidetään tarkkaa kirjanpitoa.

### Nestemäiset jätteet

Kaikki yksiköltä poistettava vesi kerätään nestemäisten jätteiden keräys- ja käsittelyjärjestelmistä tarkastussäiliöihin, joista otetaan näytteet aktiivisuus- ja kemiallisia analyysimittauksia varten. Hyväksytyt tarkastustulokset jälkeen vesi voidaan erillisellä luvalla laskea ulos yksiköstä.

### Kaasumaiset jätteet

Kaasumaiset radioaktiiviset jätteet ovat lähinnä ydinpoltto-aineesta vapautuneita fissiokaasuja, jotka ovat lienneet primääripiiriin jäähdysteeseen ja siihen liittyvien apujärjestelmien säiliöiden kaasutilaan.

Näitä ovat muun muassa jalokaasut krypton ja ksenon. Fissiokaasujen sekä jäähdytteen vaatimien kemiallisten olosuhteiden luomiseksi lisätyn vedyn ja muiden liuenneiden kaasujen pitoisuuksia kontrolloidaan kaasunpoistimessa, joka kuuluu primääripiiriin kemikaalien- ja tilavuuden säätöjärjestelmään. Tarvittaessa jäähdysteeseen lienneet kaasut voidaan poistaa kokonaan. Fissiokaasujen määrä jäähdytteessä on verrannollinen polttoaineen eheyteen. Kevytvesireaktoreissa syntyy myös kaasumaista jätettä, kun neutronisäteily aktivoi ilmassa olevan luonnollisen argonin, jota esiintyy reaktoripainesäiliön rakenteita ympäröivässä kaasutilassa sekä primääripiiriin jäähdysteeseen mahdollisesti lienneena jäämäpitoisuutena. Lyhytkestoinen argon-41 isotooppi puoliintuu vajaassa kahdessa tunnissa.

Kaasumaisten päästöjen minimoimiseksi käyttöön on valittu puolisuljettuun kiertoon perustuva kaasumaisten jätteiden käsittelyjärjestelmä, joka koostuu huuhtelu- ja viivästysosasta. Huuhteluosa on suunniteltu ottamaan vastaan kaasunpoistimesta sekä jäähdytteen varastosäiliöiltä tulevat kaasut, rajoittamaan näiden kaasujen vetypitoisuuksia katalyyttisesti muuntamalla vetykaasua vedeksi sekä huuhtelemaan inertillä typpikaasulla erilai-



*Poistokaasut johdetaan laitokselta viivästettyinä ja suodatettuina 100 metriä korkean piipun kautta ilmaan.*

sia varastosäiliöitä, joihin jätteenkaasuja voi kertyä. Järjestelmän viivästysosan paineistetut aktiivihilisuodattimet on suunniteltu pidättämään radioaktiivisia jalokaasuja (ksenon, krypton) niiden aktiivisuustason laskemiseksi hyväksyttävälle tasolle ennen vapauttamista. Viivästysosan jälkeen kaasumaiset jätteet johdetaan vielä erillisillä suodattimilla varustettuun ilmastointijärjestelmään edelleen käsiteltäväksi.

Laitoksen ylös- ja alasajon aikana prosessin käyttötoimenpiteet ja esimerkiksi reaktoripaineastian kannen typpihuuhtelu aiheuttavat suuren kaasuvirtauksen kaasumaisten jätteiden käsittelyjärjestelmään.

Tällöin ylimääräkaasu ohjataan jätteenkaasujen käsittelyjärjestelmän paineistetun osan viivästysyksikön aktiivihilisuodattimien kautta ja edelleen ilmastointijärjestelmän mekaanisten karkea- ja mikro-suodattimien kautta poistokaasupiippuun. Ilmastointijärjestelmän aktiivisuusanalyysimittaus ohjaa tarvittaessa kaasuvirtauksen mekaanisten suodattimien lisäksi vielä jodikäsiteltyyn aktiivihilisuodatukseen, mikäli poistokaasuissa havaitaan liian suuri määrä radioaktiivisuutta. Ilmastointijärjestelmän mekaaniset suodattimet pidättävät jäteilmassa mahdollisesti olevia radioaktiivisuutta sisältäviä aerosoleja sekä muita pienhiukkasia. Saman järjestelmän jodikäsitellyt aktiivihilisuodattimet sitovat mahdollista radioaktiivista jodia, jos edellä mainittua ainetta on joutunut jätteenkaasun esimerkiksi vakavan polttoainevaurion seurauksena.

Jätteenkaasujen käsittelyyn osallistuvien järjestelmien tehtävänä on kokonaan pidättää tai edelleen viivästyttää kaasujen mukana liikkuvia radioaktiivisia aineita kunnes niiden sisältämä aktiivisuus on puoliintumisen seurauksena laskenut sallitulle alhaiselle tasolle. Lopuksi kaikkien laitokselta poistuvien kaasujen aktiivisuutta valvotaan vielä poistokaasupiipun jatkuvatoimisin analyysimittauksin.

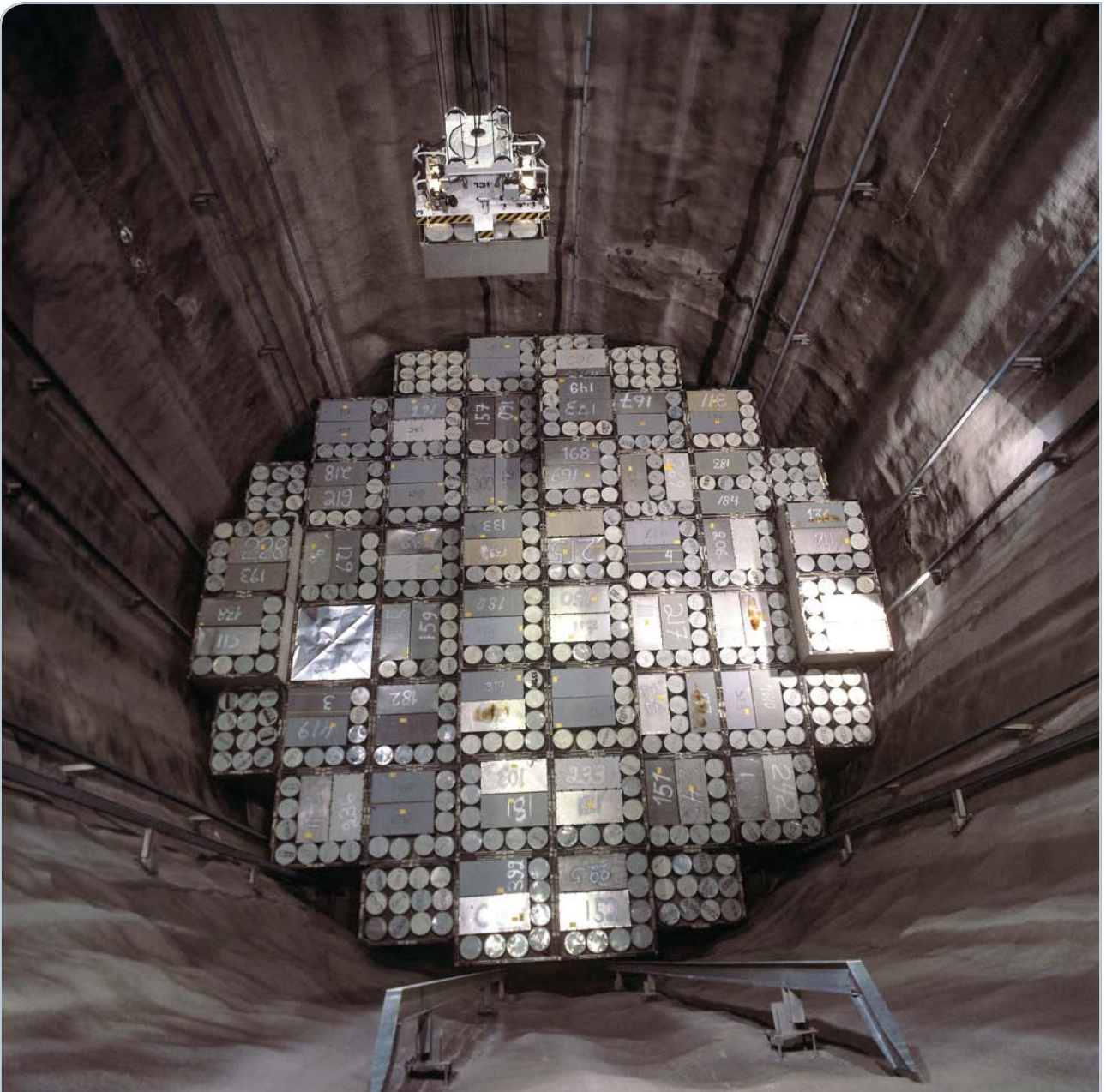




*Osa kiinteistä voimalaitosjätteistä pakataan 200 litran tynnyreihin.*

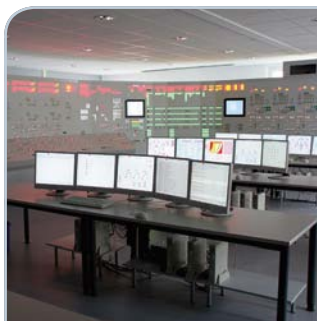


*Erikoisajoneuvo kuljettaa jätepakkaukset Olkiluodon voimalaitosjäte- eli VLJ-luolaan.*





Osana OL3 laitoskokonaisuutta TVO:n käyttöön tulee täysimittakaavainen koulutussimulaattori, joka valmistuu koulutuskäyttöön vuotta ennen uuden laitosesikön polttoaineen latausta. Simulaattori vastaa toiminnoiltaan tulevaa laitosesiköä ja simulaattorin valvomo on sen täysimittakaavainen kopio. Simulaattoria käytetään pääasiassa valvomohenkilökunnan koulutukseen ennen laitosesikön käyttöönottoa ja sen jälkeen vuosittain järjestettävissä täydennyskoulutuksissa.



*Simulaattorin valvomo testauksessa valmistajan tiloissa.*

Koulutussimulaattorilla harjoitellaan kaikkia mahdollisia laitoksen tapahtumia, myös häiriö- ja onnettomuustilanteita sekä varmistetaan käyttö-, häiriö- ja hätätilanneohjeiden oikeellisuus.

Laitostoimittaja vastaa simulaattorin suunnittelusta ja toteutuksesta yhdessä useiden tunnettujen alan toimijoiden kanssa. Simulaattori tarvittavine aputiloineen sijoitetaan TVO:n nykyisen koulutuskeskuksen yhteyteen rakennettavaan lisäosaan.



*Prosessien 3D-malleja hyödynnetään valvomohenkilökunnan koulutuksessa.*

# Tekniset tiedot

## Yleistä

Reaktorin lämpöteho	4 300 MWth
Sähköteho, brutto	1 720 MWe
Sähköteho, netto	1 600 MWe
Hyötysuhde	n. 37 %
Pääkiertovirtaus	23 135 kg/s
Reaktorin paine	155 bar <sub>abs</sub>
Jäähdytteen keskilämpötila reaktoripaineastiassa	312 °C
Jäähdytteen lämpötila kuumahaarassa	328 °C
Jäähdytteen lämpötila kylmähaarassa	296 °C
Vuotuinen sähköntuotanto	n. 13 TWh
Merivesivirtaus	57 m <sup>3</sup> /s
Käyttöikä	n. 60 v.
Rakennustilavuus	n. 1 000 000 m <sup>3</sup>
Suojarakennuksen tilavuus	80 000 m <sup>3</sup>
Suojarakennuksen suunnittelupaine	5,3 bar

## Reaktorisydän

Polttoainenippujen määrä	241 kpl
Reaktorisydämen aktiivikorkeus	4,2 m
Reaktorisydämen halkaisija	3,77 m
Uraanin määrä reaktorissa	n. 128 tU
Polttoaineen rikastusaste, alkulataus	1,9–3,3 % U-235
Polttoaineen rikastusaste, vaihtolataukset	1,9–4,9 % U-235
Polttoaineen kulutus vuodessa	n. 32 tU
Vuotuinen polttoainekulutus vuodessa	n. 60 nippua

## Polttoaine

Polttoaine	uraanidioksidi UO <sub>2</sub>
Nipputyyppe	17x17 HTP
Polttoainesauvoja nipussa	265 kpl
Ohjausputkien määrä nipussa	24 kpl
Nipun välitukien määrä	10 kpl
Polttoainenipun pituus	4,8 m
Polttoainenipun paino	735 kg
Polttoainenipun sivupituus	213,5 mm
Suojakuorimateriaali	M5™
UO <sub>2</sub> -tablettien tiheys	10,45 g/cm <sup>3</sup>
Polttoaineen poistopalama	45 MWd/kgU

## Säätöelementit

Säätöelementtien lukumäärä	89 kpl
Kokonaispituus	4 717,5 mm
Absorbaattoriosan pituus	Yläosa: 1 340 mm Alaosa: 2 900 mm
Absorbaattoriaine	Yläosa: boorikarbidi Alaosa: hopea, indium, kadmium

## Reaktoripaineastia

Sisähalkaisija	4,9 m
Sisäkorkeus	12,3 m
Seinämän paksuus	250 mm
Pohjaseinämän paksuus	145 mm
Ruostumattoman pinnoitteen paksuus	7,5 mm
Suunnittelupaine	176 bar
Suunnittelulämpötila	351 °C
Paino kannen kanssa	526 t

### Turbiinilaitos

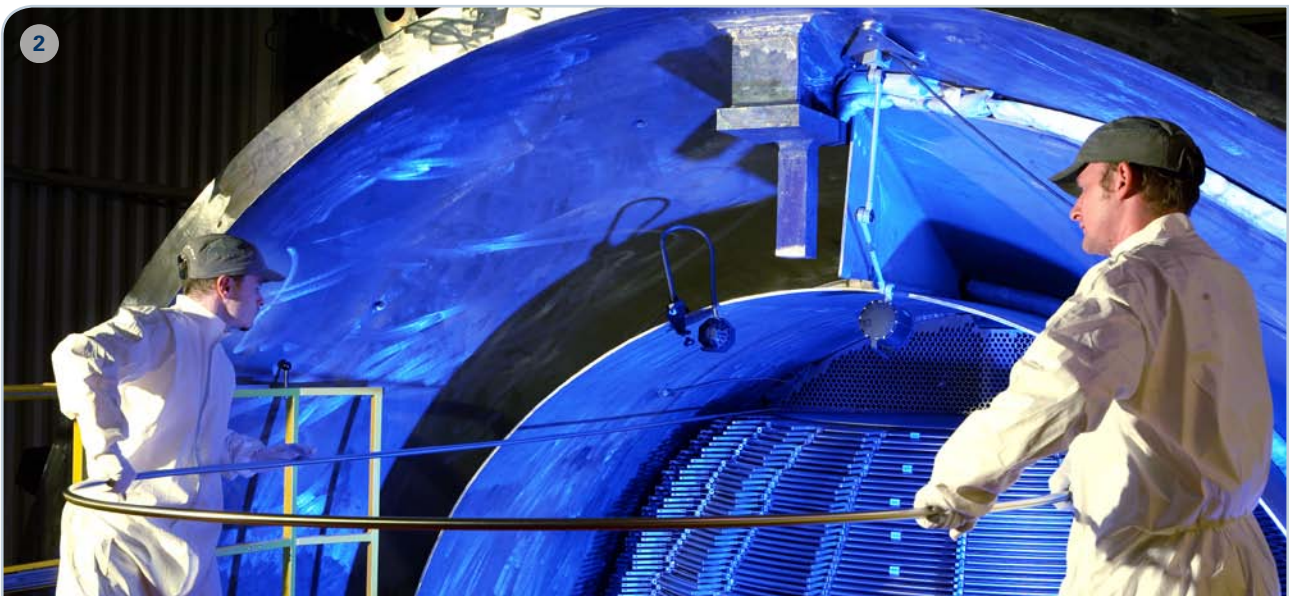
Turbiinigeneraattoriyksikkö	1 kpl
Nimellisteho	n. 1 720 MW
Höyryn paine turbiinilla	75,5 bar
Höyryn lämpötila	290 °C
Höyryn virtaus	2 443 kg/s
Kierrosnopeus	1 500 1/min
Korkeapaineturbiini	1 kpl
Matalapaineturbiini	3 kpl
Korkeapaineturbiinin sulku- ja säätöventtiilit	4/4 kpl
Matalapaineturbiinin sulku- ja säätöventtiilit	6/6 kpl
Viimeinen siipivyöhyke	
- poistoala	30 m <sup>2</sup>
- siiven pituus	1 830 mm
- kärjen halkaisija	6 720 mm
Turbiinigeneraattorin akselin pituus	68 m
<b>Lauhdutin</b>	
Jäähdytyspinta-ala	110 000 m <sup>2</sup>
Jäähdyttävä aine	merivesi
Jäähdytysveden virtausmäärä	53 m <sup>3</sup> /s
Tyhjö täydellä teholla	24,7 mbar
Lämpötilan nousu	12 °C
<b>Syöttövesi</b>	
Esilämmitysasteita	7 kpl
Syöttöveden loppulämpötila	230 °C

### Generaattori

Nimellisteho	1 992 MVA
Tehokerroin, nimellinen	0,9
Nimellisjännite	27 kV ± 5 %
Taajuus	50 Hertz
Kierrosnopeus	1 500 1/min
Jäähdytys, staattorikäämit	vesi
Jäähdytys, roottori	vety
Magnetointivirta	9 471 A
Jäähdytysveden lämpötila	45 °C
Vetyjäähdytteen lämpötila	40 °C

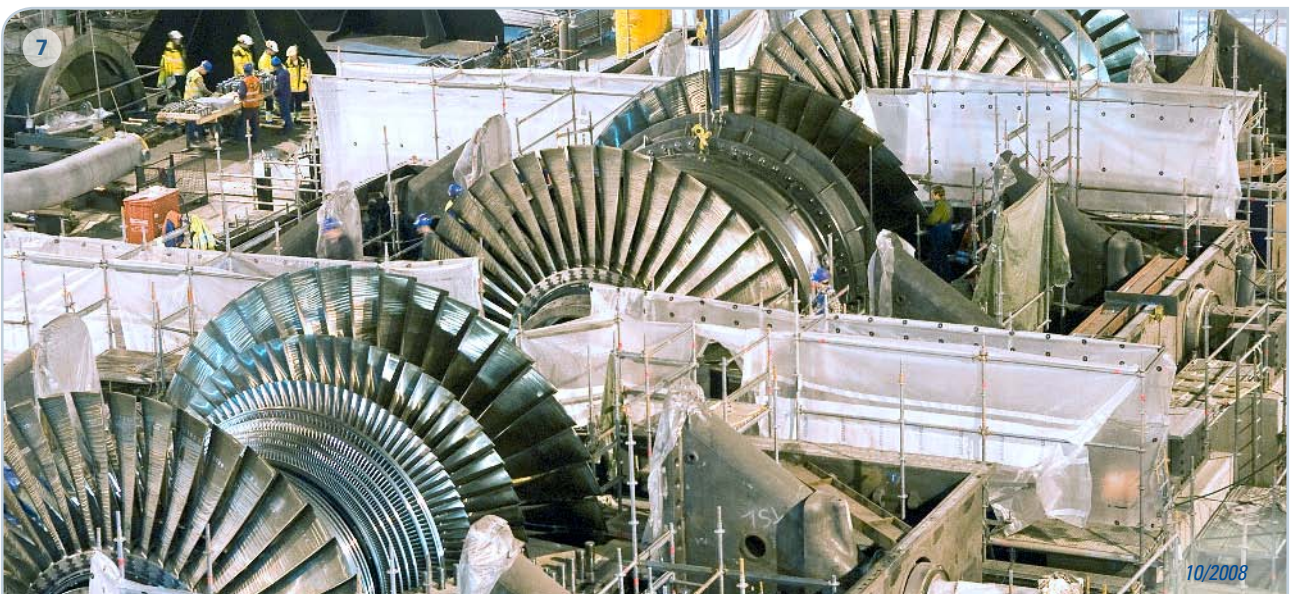
### Sähkönsyöttö

<b>Päämuuntaja</b>	3 x 1 vaihe
Nimellisteho	3 x 701 MVA
Nimellisjännite	410/27 kV
<b>Omakäyttömuuntajat</b>	2 kpl
Nimellisteho	90/45/45 MVA
Nimellisjännite	400/10,5 kV
<b>Varasyöttömuuntaja</b>	1 kpl
Nimellisteho	100/50/50 MVA
Nimellisjännite	110/10,5 kV
<b>Hätädieselgeneraattorit</b>	4 x EDG ja 2 x SBO
Nimellistehot	4 x 7,8 MVA ja 2 x 3,0 MVA
<b>Turbiinilaitoksen diesel</b>	1 kpl
Nimellisteho	1,6 MVA



1. Teräsrakenteiden asentaminen sisemmän kupoliosan päälle oli reaktorirakennuksen ulomman kupoliosan rakentamista edeltävä työvaihe.
2. Höyrystimen lämmönsiirtoputkien asennus.
3. Höyrystimien toimitus OL3:lle.

4. Akustojen hapotus turbiinilaitoksella.
5. Reaktoripaineastian nosto.
6. Reaktorin paineastian kannen siirto reaktorirakennukseen.
7. Matalapaineturbiinien roottorit.





Teollisuuden Voima Oyj  
Olkiluoto  
27160 EURAJOKI  
Puhelin 02 83 811  
Faksi 02 8381 2109  
[www.tvo.fi](http://www.tvo.fi)

Teollisuuden Voima Oyj  
Töölönkatu 4  
00100 HELSINKI  
Puhelin 09 61 801  
Faksi 09 6180 2570

Teollisuuden Voima Oyj  
4 rue de la Presse  
1000 BRUSSELS, BELGIUM  
Puhelin +32 2 227 1122  
Faksi +32 2 218 3141