

Työraportti-97-24

# Loppusijoituskapselien kuvaus ja kustannusarvio

Heikki Raiko

VTT Energia

Elokuu 1997

POSIVA OY

Mikonkatu 15 A, FIN-00100 HELSINKI

Puhelin (09) 2280 30

Fax (09) 2280 3719

**Työraportti-97-24**

# **Loppusijoituskapselien kuvaus ja kustannusarvio**

**Heikki Raiko**

VTT Energia

**Elokuu 1997**

<b>Suorittajaorganisaatio ja osoite</b> VTT Energia, Ydinenergia PL 1604 02044 VTT  <b>Projektipäällikkö</b> Heikki Raiko  <b>Diaarinumero</b> ENE4-46T-96	<b>Tilaaaja</b> Posiva Oy Mikonkatu 15 A 00100 Helsinki  <b>Tilaaajan yhdyshenkilö</b> Jukka-Pekka Salo <i>Jukka-Pekka Salo</i>  <b>Tilaus- tai viitenumero</b> 9755/96/JPS, 12.12.1996	
<b>Projektin nimi ja suoritustunnus</b> Loppusijoituskapselin tutkimus- ja kehitystyö (N6SU00017)	<b>Raportin numero ja sivumäärä</b> ENE4/28/97 14 s.	<b>Päiväys</b> 15.08.1997

**Raportin nimi ja tekijät**

**LOPPUSIJOITUSKAPSELIN KUVAUS JA KUSTANNUSARVIO**

Heikki Raiko

**Tiivistelmä**

Tässä raportissa kuvataan Teollisuuden Voima Oy:n Olkiluodon ja Imatran Voima Oy:n Loviisan ydinvoimalaitoksien tuottaman käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen suunnitellut 12 polttoainepun kapselit, niiden valmistustekniikkaa ja esitetään tämän päivän tekniikkaan perustuvilla valmistusmenetelmillä tapahtuvasta kapselien valmistuksesta arvioidut kustannukset. Kustannukset on arvioitu elokuun 1997 kustannustasossa. Lisäksi kapselikonstruktion ominaisuuksia arvioidaan kvalitatiivisesti aikaisempaan yksityiskohtaisesti analysoituun 11 polttoainepun kapselimalliin verrattuna.

Loppusijoituskapselin kehitystyö kuuluu osana Posiva Oy:n T-2000 -ohjelmaan.

**Raportin päävastuullinen laatija**

*Heikki Raiko*

Erikoistutkija Heikki Raiko

**Hyväksynyt**

*Lasse Mattila*

Tutkimuspäällikkö Lasse Mattila

**Tarkastanut**

*Seppo Vuori*

Ryhmäpäällikkö Seppo Vuori

**Julkisuus**

Julkaistaan Posiva Oy:n työraporttisarjassa

Posivan työraporteissa käsitellään käynnissä olevaa tai keskeneräistä työtä. Esitetyt tulokset ovat alustavia.

Raportissa esitetyt johtopäätökset ja näkökannat ovat kirjoittajien omia, eivätkä välttämättä vastaa Posiva Oy:n kantaa.

## **TIIVISTELMÄ**

Tässä raportissa kuvataan Teollisuuden Voima Oy:n Olkiluodon ja Imatran Voima Oy:n Loviisan ydinvoimalaitoksien tuottaman käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen suunnitellut 12 polttoainenipun kapselikonstruktiot, niiden valmistustekniikka ja esitetään tämän päivän tekniikkaan perustuvilla valmistusmenetelmillä tapahtuvasta kapselien valmistuksesta arvioidut kustannukset. Arviot vastaavat kustannuksia elokuun 1997 hintatasossa. Lisäksi kapselikonstruktion ominaisuuksia arvioidaan kvalitatiivisesti aikaisempaan yksityiskohtaisesti analysoituun 11 polttoainenipun kapselimalliin verrattuna.

## **ABSTRACT**

This report describes the design, the manufacturing principles and cost estimates of the canisters for spent nuclear fuel from the Olkiluoto (2x710 MWe BWR) and Loviisa (2x445 MWe VVER 440 PWR) nuclear power plants. The manufacturing technology is based on technologies available today and the cost estimates are based on the referenced budgetary offer prices from manufacturing industry. The price level estimation is fixed to August 1997. In addition, the performance capabilities of the new design are assessed qualitatively to the former canister design, which was previously analysed in more details.

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	KAPSELIN RAKENNE	2
3	RAKENTEEN VERTAILU AIKAISEMPAAN MALLIIN	8
4	KAPSELIN VALMISTAMINEN	10
5	KUSTANNUSARVIOT	12
6	VIITTEET	14

## 1 JOHDANTO

Posiva Oy:n suorittamassa käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustekniikan kehitystyössä on esitetty päivitetty suunnitelma loppusijoituskapselin konstruktioksi. Tämä konstruktio perustuu massiivisella sisärakenteella ja 50 mm kuparivaipalla varustettuun ratkaisuun, jonka sisärakennetta on jouduttu hieman muuttamaan sen vuoksi, että BWR-polttoaineen virtauskanavat voidaan loppusijoittaa samassa yhteydessä loppusijoituskapseliin. Kapselin kapasiteettia on nostettu 12 nippuun, kun se aikaisemmin vuonna 1996 esiteltyssä valetussa ratkaisussa oli 11 nippua [1]. Kapselin valmistustekniikkaa on tarkasteltu uusimpien tekniikoiden ja valmistusdemonstraatioiden valossa [3], jolloin kustannusarviot on saatu entistä konkreettisemmalle tarkkuustasolle. Lisäksi kapselikonstruktion ominaisuuksia arvioidaan kvalitatiivisesti aikaisempaan yksityiskohtaisesti analysoituun kapselimalliin verrattuna.

Tässä raportissa esitetään yhteenveto kapselivalmistuksen kustannuksista siten, että kokonaishinta vastaa tilannetta, jossa valmistetut ja kokoonpannut kapselit on tarkastettuina toimitettu kapselointilaitokselle. Kapselin yläpään kannet ovat tässä vaiheessa asentamatta paikoilleen.

Kapselointilaitoksessa kapselille tapahtuvat operaatiot (polttoaineen asennus, kansien asennus, kaasuatmosfäärin vaihto, kuparikannen hitsaus ja tarkastukset sekä siirrot) eivät kuulu kapselin valmistuskustannuksiin, vaan ne kuuluvat kapselointilaitoksen käyttökustannuksiin.



## 2 KAPSELIN RAKENNE

Ydinpolttoaineen loppusijoituskapseli on massiivisella pallografiittivalusta valmistetusta sisärakenteesta ja sitä ympäröivästä 50 mm paksuisesta hapettomasta kuparista valmistetusta päällysvaipasta muodostuva 19 - 25 tonnin painoinen tiivis, pitkäikäinen ja erittäin luja säiliö.

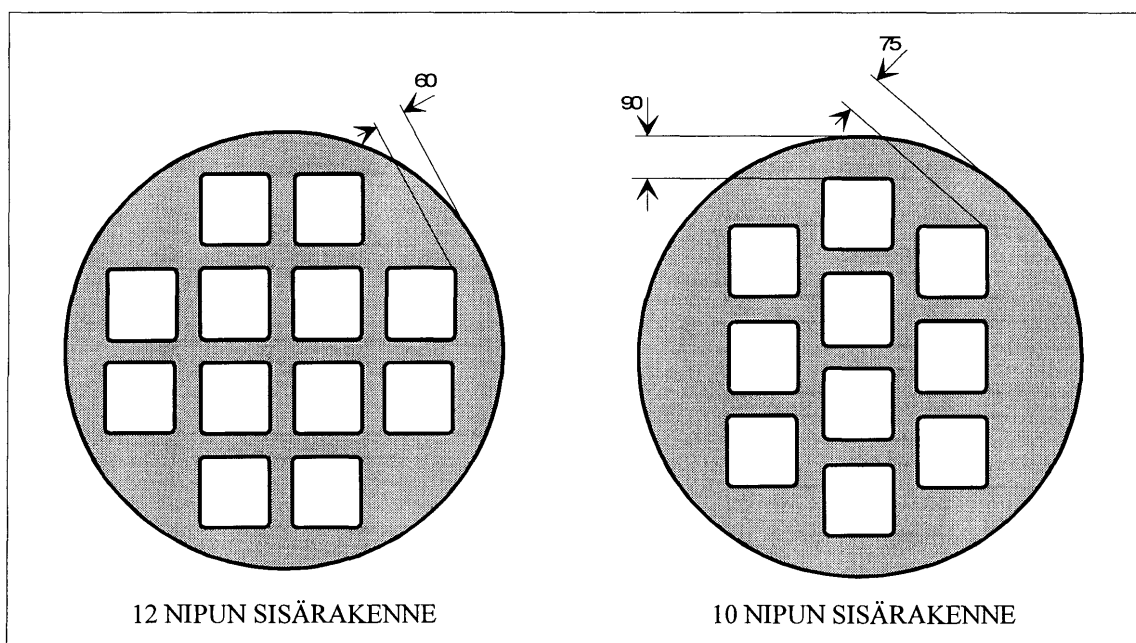
Ensisijainen kapselivaihtoehto on sama molempien Suomessa käytössä olevien reaktori-tyyppien polttoainenuipuille. Vain säiliön pituus ja sisärakenteen aukkojen muoto on sovitettu erikseen sekä TVO:n BWR-polttoainetta ja IVOn VVER 440-polttoainetta varten. Kumpaakin polttoainetyyppiä on suunniteltu sijoitettavan 12 nippua sille tarkoitettuun kapseliin. Eri polttoainetyypille suunniteltujen kapselien rakenne ja päämitat on esitetty kuvissa 2 ja 3. Tarkempia tietoja mitoista, painoista ja tilavuuksista on annettu taulukoissa 1 - 4.

Kapselin sisäosa on valamalla valmistettu integroitu osa. Se toimii kapselin kuormaa kantavana osana, nippujen sijoitustelineenä, omalta osaltaan myös säteilysuojana, lämmönjoh-teenä, alikriittisen geometrian muodostajana ja tyhjän tilan täytteenä. Sisärakenteen ulko-pinta ja päädyt ovat koneistetut ja niiden mittatarkkuus on luokkaa +/- 0,5 mm. Polttoai-neen sijoituskanavat muotoillaan sisärakenteen valumuotin avulla. Valussa pyritään näissä kohteissa mahdollisimman suureen mitta- ja muototarkkuuteen. Kanavien pinnat puhdis-tetaan valun jäljiltä hiekkapuhalluksella, mutta vaikean muodon ja pituuden vuoksi niitä ei kyetä koneistamaan. Sisärakenteen päädyissä on pultiliitoksella kiinnitetyt teräskannet. Kansien liitoksen tiiveys toteutetaan O-rengas -tyyppisellä tiivisteellä. Valmistustekniik-kaa kehitettäessä tutkitaan myös mahdollisuutta suorittaa sisäosan valu siten, että toinen pää jää umpeen, toisin sanoen toinen päätykansi olisi rakenteen integroitu osa. Sisäsäiliön tiiveyttä tarvitaan vain päälle tulevan kuparivaipan kannen hitsauksen aikana. Kuparikan-nen hitsaus suoritetaan elektronisuihkuhitsauksena, joka suorituksen aikana vaatii tyhjän.

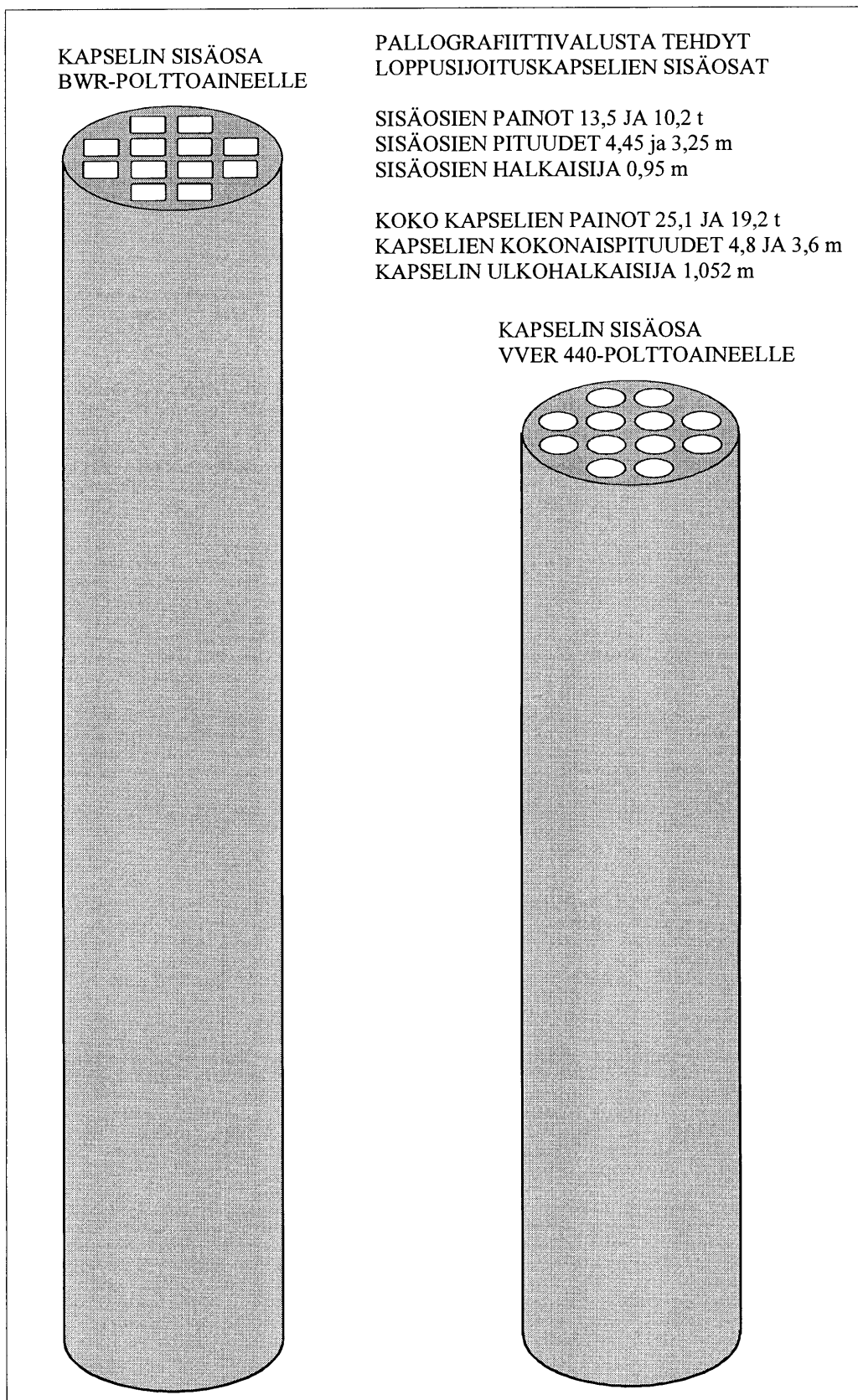
Kuparivaippa on erillinen 50 mm paksuisesta kuparista valmistettu, kaikilta pinnoiltaan koneistettu lieriömäinen säiliö, joka asennetaan jo konepajavalmistuvaiheessa alapään kannella varustetun sisärakenteen päälle. Kapselointilaitoksessa kapseli täytetään polttoai-nenipuilla, sisäkansi asennetaan, sisätilan ilma-atmosfääri vaihdetaan suojakaasuatmosfää-

riin sisäkannessa olevien venttiilien, läpivientien ja putkistojen kautta ja lopuksi asennetaan ja hitsataan kuparikansi kiinni kuparilieriöön. Kapselin käsittelyä, polttoaineen sijoittamista ja kapselin sulkemista sekä tarkastuksia on käsitelty yksityiskohtaisemmin viitteessä [1].

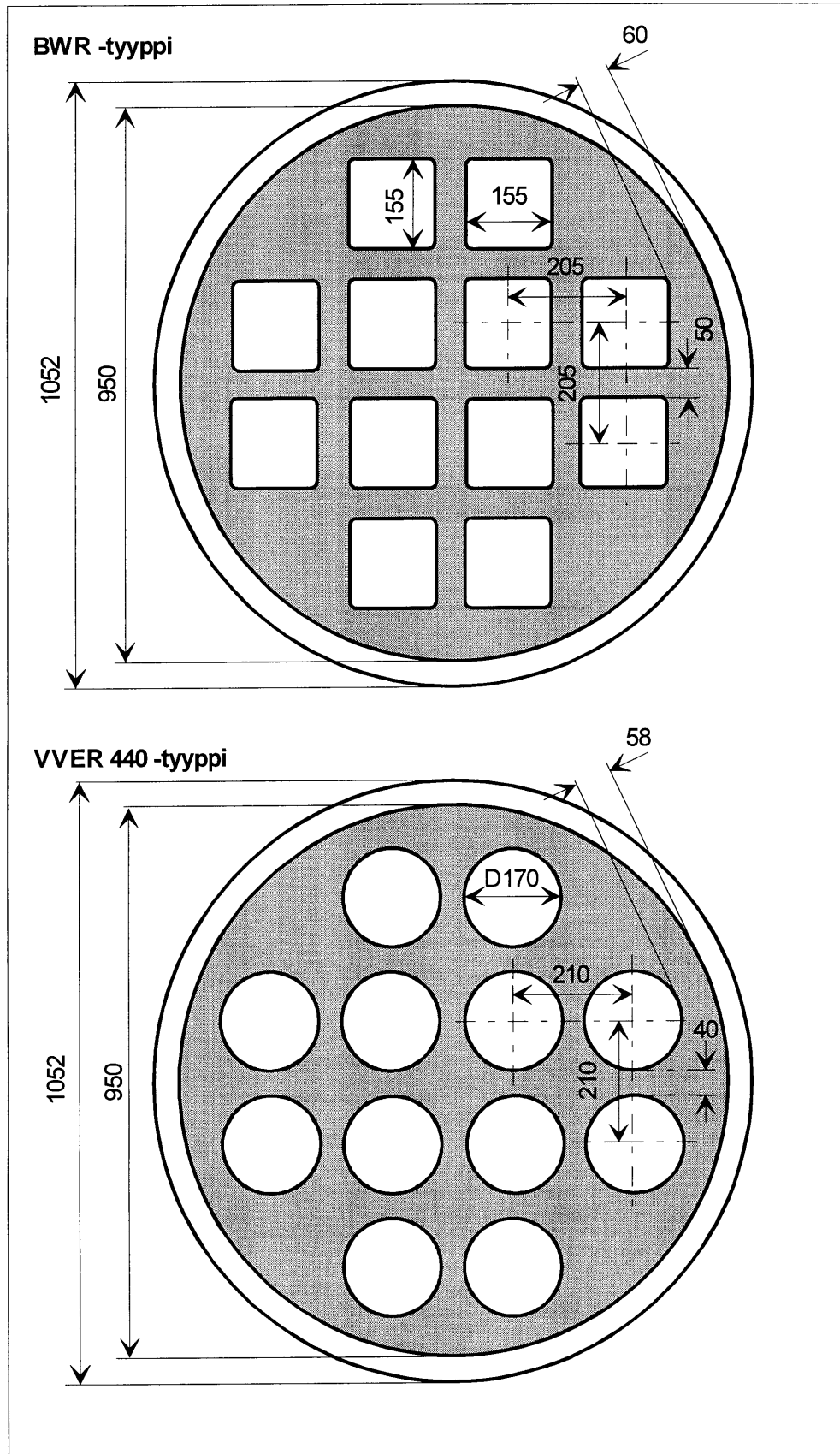
Kapselin suunnittelussa on varauduttu myös mahdollisuuteen, että polttoainetekniikan kehittyminen tulevaisuudessa voi johtaa huomattavasti nykyistä korkeampiin poistopalamarvoihin. Tästä seuraa, että polttoainetta kertyy vähemmän, mutta sen jälkilämmön tuotto ja säteilytaso ovat nykyisiin polttoaineisiin verrattuna korkeammat. Varautuminen merkittävästi korkeampiin poistopalamiin toteutetaan suunnittelemalla samoilla ulkomiotoilla vaihtoehtoisia kapselin sisärakenteita, joissa on vähemmän nippupositioita, mutta samalla voidaan kasvattaa seinämän suojavahvuuksia, jolloin säteilytaso kapselin ulkopinnalla saadaan pysymään suunnilleen samalla tasolla kuin nykyisilläkin suunnitteluarvoilla. Säteilysuojavaikutus kaksinkertaistuu, kun sisärakenteen rautaseinämän paksuus ohuimmassa kohdassa kasvaa noin 16 mm. Sijoittamalla sisärakenteeseen 12:n sijasta esim. 10 positiota voidaan uloimman position alinta suojavahvuutta kasvattaa 60 mm:stä 75 mm:iin. Kuvassa 1 on esitetty 12 ja 10 nipun sisärakenteen vaihtoehdot.



KUVA 1. BWR-loppusijoituskapselin vaihtoehtoisia poikkileikkauksia.



KUVA 2. Periaatekuvat BWR- ja VVER 440-polttoaineelle tarkoitettujen loppusijoituskapselien valetuista sisäosista.



KUVA 3. Loppusijoituskapselien poikkileikkaukset ja päämitat.

TAULUKKO 1. *Mitta- ja massatietoja 12 BWR-polttoainenipun kapselityypille. Mikäli sisärakenteessa on vain 10 positiota polttoainenipuille, sisärakenteen paino on 1540 kg suurempi.*

	<b>Valettu sisä- rakenne</b>	<b>Teräs- kansi</b>	<b>Kupari- lieriö</b>	<b>Kupari- kansi</b>	<b>Poltto- aine + kanava</b>
<b>Ulkohalkaisija [m]</b>	0,950	0,950	1,052	1,052	
<b>Seinämän paksuus [m]</b>		0,050	0,050	0,050	
<b>Pituus [m]</b>	4,450		4,700*		4,398
<b>Tiheys [kg/m<sup>3</sup>]</b>	7200	7850	8900	8900	8555
<b>Materiaalitulavuus [m<sup>3</sup>]</b>	1,8713	0,0354	0,740	0,052	0,0347
<b>Massa [kg]</b>	13473	278	6586	463	297
<b>Osien lukumäärä [-]</b>	1	2	1	2	12
<b>Kokonaismassa [kg]</b>	13473	556	6586	926	3564

\* Kapselin kokonaispituus on kansissa olevien tartuntaolakkeiden takia noin 4,80 m.

TAULUKKO 2. *Massa- ja tilavuussyhtenveto 12 BWR-nipun kapselityypille.*

	<b>Kuparia</b>	<b>Terästä tai rautaa</b>	<b>Poltto- aine- niput</b>	<b>Tyhjää tilaa</b>	<b>Yhteensä</b>
<b>Massa [kg]</b>	7512	14029	3564	-	25105
<b>Tilavuus [m<sup>3</sup>]</b>	0,844	1,942	0,416	0,867	4,069

TAULUKKO 3. *Mitta- ja massatietoja 12 VVER 440-polttoainenipun kapselityypille.*

	<b>Valettu sisä- rakenne</b>	<b>Teräs- kansi</b>	<b>Kupari- lieriö</b>	<b>Kupari- kansi</b>	<b>Poltto- aine- nippu</b>
<b>Ulkohalkaisija [m]</b>	0,950	0,950	1,052	1,052	
<b>Seinämän paksuus [m]</b>		0,050	0,050	0,050	
<b>Pituus [m]</b>	3,250		3,500*		3,20
<b>Tiheys [kg/m<sup>3</sup>]</b>	7200	7850	8900	8900	8168
<b>Materiaalitulavuus [m<sup>3</sup>]</b>	1,418	0,0354	0,551	0,052	0,0262
<b>Massa [kg]</b>	10213	278	4903	463	214
<b>Osien lukumäärä [-]</b>	1	2	1	2	12
<b>Kokonaismassa [kg]</b>	10213	556	4903	926	2568

\* Kapselin kokonaispituus on kansissa olevien tartuntaolakkeiden takia noin 3,60 m.

TAULUKKO 4. *Massa- ja tilavuusyhteenveto 12 VVER 440-nipun kapselityypille.*

	<b>Kuparia</b>	<b>Terästä tai rautaa</b>	<b>Poltto- aine- niput</b>	<b>Tyhjää tilaa</b>	<b>Yhteensä</b>
<b>Massa [kg]</b>	5829	10769	2568	-	19166
<b>Tilavuus [m<sup>3</sup>]</b>	0,655	1,489	0,314	0,530	2,988

### 3 RAKENTEEN VERTAILU AIKAISEMPAAN MALLIIN

Vuonna 1996 esiteltiin viitteessä [1] valetulla sisärakenteella toteutettu loppusijoituskapselikonstruktio. Siinä oli 11 positiota nipuille. Kapselin keskustassa oli kolmelle nipulle yhteinen tila, joka BWR-polttoaineen osalta edellytti yhden nipun purkamista osiin, jotta tällainen tilankäyttö oli mahdollista. Myöhemmin on nähty tarpeelliseksi varautua myös polttoainekanavien loppusijoittamiseen nippujen yhteydessä kapseleihin. Tästä seuraa, että nippuja ei voida purkaa osiin ja kullekin nipulle on varattava virtauskanavan mittojen mukainen tila kapselissa.

Tässä raportissa nyt esitetty malli on 12 nippua sisältävä hieman suurempi malli. Tälle ei vielä ole tehty yksityiskohtaisia suunnittelu- tai mitoitusanalyysyjä, mutta kvalitatiivisesti sitä voidaan verrata edelliseen tarkemmin analysoituun malliin.

Erilaisia kapselityyppejä on vertailtu keskenään [6]:ssä. Perusratkaisu on vaihdettu 11 polttoainenipun kapselista 12 nipun kapseliin, koska vuonna 1997 päätettiin virtauskanavien loppusijoittamisesta BWR-nippujen kanssa loppusijoituskapseleissa. Samalla kapselin halkaisijaa jouduttiin kasvattamaan 70 mm ja kapselia pidentämään kanavien vuoksi noin 250 mm, mikä suurentaa kapselin jäähdytyspinta-alaa. Tämä tehostaa jälkilämmön poistoa kapselista ympäristöön ja siten mahdollistaa kapseliin sijoitettavan polttoainemäärän noston 12 nippuun kapseleille vaadittavan loppusijoitusetäisyyden kasvamatta merkittävästi.

Seuraavassa vertaillaan lyhyesti tämän 12 polttoainenipun kapselimallin ominaisuuksia edelliseen malliin [1].

#### **Rakennemateriaalit**

Rakennemateriaalit eivät ole muuttuneet.

#### **Valmistustekniikka**

Kapselin valmistustekniikka ei ole muuttunut.

### **Kapselin koko ja paino**

Kapselin pituus, halkaisija ja paino ovat kasvaneet hieman.

### **Lujuus**

Kapselirakenteen paineenkestävyys on suunnilleen sama. Taivutuslujuus on halkaisijan kasvaessa hieman noussut.

### **Säteilysuojaominaisuudet**

Säiliön seinämän minimipaksuus on noussut muutamalla millimetrillä. Se alentaa säiliön pinnalla vallitsevia säteilytason maksimiarvoja. Kapselin sisärakenteessa pallografiittirau-dassa säteilytaso ( $\gamma$ -säteily) puoliintuu noin 16 mm matkalla.

### **Alikriittisyys**

Alikriittisyys on parantunut olennaisesti. Tässä konstruktiossa jokainen polttoainenippu on yksinään omassa positiossaan. Positioiden välillä on 40 - 50 mm rautaa, joka tekee konfi-guraation paljon alikriittisemmäksi kuin aikaisemmassa mallissa, jossa keskipositiossa oli 3 polttoainenippua samassa tilassa ilman mitään väliseiniä.

### **Tyhjän tilan osuus kapselin sisällä**

Tyhjän tilan osuus polttoainenippua kohti on suunnilleen sama kuin aikaisemmassa mal-lissa.

### **Pitkäaikaisturvallisuus**

Kapselin ominaisuudet pitkäaikaisturvallisuusmielessä eivät ole merkittävästi muuttuneet aikaisemmasta mallista. Olkiluodon reaktoreiden polttoainekanaavien sijoittaminen käyte-tyyn polttoaineen kapseleihin purkujätteen loppusijoitustilan asemasta otetaan huomioon loppusijoitusratkaisujen turvallisuusanalyysin tulevilla päivityksillä.



## 4 KAPSELIN VALMISTAMINEN

### Valettu sisärakenne

Kapselin valmistaminen tapahtuu konepajatyönä. Sisärakenteen aihio tehdään valamalla pallografiittiraudasta valimossa. Aihio koneistetaan sorvissa ulkopinnoiltaan vaadittuihin mittoihinsa ja pinnanlaatuun. Lieriön ulkopinta ja päätyjen tiivistyskohdat tarkastetaan ainetta rikkomattomilla menetelmillä, jotta haitallisen suuret sisäiset tai pintaan ulottuvat viat havaittaisiin. Sisärakenteen sisäosien tarkkaa eheysvaatimusta ei rakenteen kantokyvyn vuoksi tarvitse asettaa, mutta niiden osalta joudutaan kuitenkin mitat tarkistamaan ja aukkojen suoruus on koestettava polttoainepun kokoisella mallilla (tuurnalla).

Sisäosan päihin porataan kannen ruuviliitosta varten reiät, jotka kierteytetään kiinnitysruuveja (vaarnaruuvit) varten. Mikäli toisen pään kansi valetaan suoraan rakenteeseen, tarvitaan irrallinen kansi vain toiseen päähän.

Sisäosan valmistusmateriaali on pallografiittirauta. Sen laatu on SFS 2113 normin mukainen GRP-400. Laatu vastaa saksalaisen DIN 1693-73 normin laatua GGG-40 tai ruotsalaisen SIS 1407 normin laatua 0717-02. Kapselin valetun sisärakenteen valmistustekniikkaa on arvioitu VALMET Paperikoneet Oy:n valimon kanssa. VALMETilla on tänä päivänä tekniset valmiudet valmistaa kyseessä olevaa valutyyppejä näin suurina yksikköinä, tarjous viitteenä [4].

Sisärakenteen kannet valmistetaan kuumavalssatusta teräslevystä, esim. paineastiateräksestä P265GH. Kannet koneistetaan sorvissa, kansiin koneistetaan tiivisterengasta varten ura ja porataan kiinnitysruuveja varten reiät. Tiiviste on O-rengas -tyyppinen tiiviste. Tiivisteeltä vaaditaan joustavuutta, sitkeyttä ja tiiveyttä vain niin kauan, että kapselin kannen hitsaus saadaan suoritetuksi. Kapselin sisäosan alapään kansi asennetaan tiivisteineen jo konepajassa. Selvityksiä on tehty myös sisärakenteen toisen päädyn toteuttamisesta suoraan valamalla. Tällöin ei tarvittaisi irrallista kantta ja ruuviliitoksia sisärakenteen toiseen päähän.

## **Kuparivaippa**

Kapselin kuparivaipan valmistus tapahtuu seuraavasti. Kuparilieriö valmistetaan joko hitsaamalla kuumavalssatuista ja taivutetuista kuparilevyistä tai vaihtoehtoisesti kuumapurottamalla valetusta aihioista. Tämän jälkeen lieriöaiho koneistetaan kärki- tai karusellisorvissa oikeisiin mittoihinsa ja erityisesti hitsattavien kansien liitospinnan osalta myös vaadittuun pinnanlaatuunsa.

Kuparikansien aihiot valmistetaan valamalla, takomalla ja koneistamalla sorvissa. Kannot ovat puhtaasti pyörähdyskappaleita. Kapselin alapään kansi hitsataan EB-hitsauksella kuparilieriön toiseen päähän. Eri vaiheissa tehdyt hitsit tarkastetaan aina heti hitsausvaiheen jälkeen ja suoritetaan mahdolliset korjaukset. Samaten koneistuksien eri vaiheissa suoritetaan mitta- ja muototoleranssien tarkastuksia.

Kuparivaipan valmistusmateriaali on periaatteessa SFS 2905 standardin vaatimukset täyttävää hapetonta kuparia, laatu Cu-OF, johon on tarkoituksellisesti seostettu 40 - 60 ppm fosforia. Tämä mikrooseostus on tehty sen vuoksi, että tällä seoksella saavutetaan paremmat virumissitkeysominaisuudet korkeammissa lämpötiloissa (+200 - +300 °C). Fosforilla mikroseostettu laatu ei ole standardoitu, mutta Outokummun piirissä tuotteesta on alettu käyttää laatutunnusta Cu-OFP. Kuparivaipan valmistusteknologiaa ja kustannuksia on kuvattu viitteessä [3]. Materiaalin laatuvaatimuksia on esitetty [1]:ssä.

## **Kapselin kokoonpano**

Kapselin sisäosa, jossa alapään kansi on kiinnitetty paikalleen, ja kuparivaippa, jonka alapäässä on hitsattu kuparikansi, asennetaan konepajassa sisäkkäin. Näin muodostuu kuljetuskelpoinen (riittävän jäykkä) moduli, joka kuljetetaan kokoonpanopaikkakunnalta kapselointilaitokseen. Samaten yläpään irralliset teräs- ja kuparikannet kuljetetaan kapselointilaitokseen.

## 5 KUSTANNUSARVIOT

Seuraavassa esitetään vuoden 1997 hintatasossa valmistuskustannukset 12 nipun valetulla sisärakenteella varustetun konstruktion mukaisille loppusijoituskapseleille sekä BWR- että VVER 440-polttoaineelle, joihin sijoitetaan polttoainenippujen kanssa myös virtauskanavat.

Taulukossa 5 on esitetty arvio uusien valetulla sisärakenteella varustettujen kapselien hankintakustannuksista vuoden 1997 elokuun kustannustasossa. Hinta-arviot on johdettu vuonna 1996 tehdyistä tarjouksiin perustuvista hinta-arvioista [5] hieman pienemmälle 11 nipun kapseliversiolle. Nyt esitetyt hinta-arviot on saatu edellä mainituista osahinnoista kyseisien komponenttien muuttuneisiin massamääriin ja valmistusmateriaalin raaka-ainehintoihin perustuen. Hinnoissa ei ole mukana arvonlisäveron vaikutusta.

Kuparivaipan hinta-arvio perustuu Outokummun esittämään budjettihintaan [3], ja valetun sisärakenteen hinta-arvio VALMET Rautpohjan valimon budjettitarjoukseen [4]. Arvio on päivitetty kuparin raaka-ainehintoja 14,67 mk/kg (MPK-hinta 7.8.1997) ja 13,11 mk/kg (LME -hinta 7.8.1997) sekä muuttuneita komponenttien painoja vastaaviksi. Viitteessä [3] on esitetty kuparivaipalle hinta-arviokaava, jota on käytetty kuparivaipan hinnan osalta tässä esitetyn arvion tekemiseen. Hinnoissa on huomioitu valmistuksessa tapahtuva osittainen raaka-aineiden kierrätys. Hinta-arviot tarkoittavat hyväksyttävästi tarkastettuja toimitettavia tuotteita, eivätkä siis valmistusprosessin aikana mahdollisesti hylättävät komponentit aiheuta muutoksia kustannusarvioon.

Muiden kokonaishintaan vaikuttavien komponenttien kustannusarviot perustuvat asiantuntijakeskusteluihin perustuviin omiin arviointeihin. Niiden kokonaisvaikutus hinta-arvioon on kuitenkin erittäin vähäinen. Aikaisemmissa hinta-arvioissa mukana ollut valetun sisäosan lämpökäsittely on jätetty pois, koska valimoiden esittämien selvitysten mukaan se on kyseisellä materiaalilla tarpeeton.

Budjettitarjouksilla saatuja arviohintoja voitaneen pitää varovaisina, siis ylöspäin varmuuden vuoksi pyöristettyinä, koska toistaiseksi hintakyselyjä ei ole tehty useammilta potentiaalisilta tarjoajilta kilpailumielessä. Valetun sisäosan hinta-arvio on samaa suuruusluok-

kaa kuin SKB:n ruotsalaisilta valimoyrityksiltä vuonna 1996 tilaamien vastaavanlaisten kappaleiden demonstraatiovalmistusten hinnat.

TAULUKKO 5. *Kustannusarviot vuoden 1997 elokuun hintatasossa (mk, ilman ALV:tä) valetulla sisärakenteella varustetuille 12 nipun kapselleille.*

Kohde	12 nipun kapseli BWR- polttoaineelle	12 nipun kapseli VVER 440- polttoaineelle
<b>Kuparivaippa + kannet</b> Vaippa levystä taivuttamalla ja hitsaamalla, sis. koneistukset ja tarkastukset, Outokumpu	457 500 mk 7512 kg	382 700 mk 5829 kg
<b>Valettu sisärakenne koneistettuna</b> Pallografiittivalua (GRP-400), VALMET	272 000 mk 13473 kg	231 000 mk 10213 kg
<b>Teräskannet + ruuvit + tiivisteet</b> Sisältää myös koneistuksen ja tarkastukset	25 000 mk 556 kg	25 000 mk 556 kg
<b>Asennus ja tarkastukset</b> Sisäosan asennus kuparivaippaan	10 000 mk	10 000 mk
<b>Kuljetus kapselointilaitokselle</b> Osavalmistus kotimaassa	5000 mk	4000 mk
<b>Kustannus-kapasiteettisuhde (mk/kgU)</b>	363	453
<b>Kustannus painoyksikköä kohti (mk/kg)</b>	36	39
<b>Kustannukset yhteensä kapselia kohti</b>	769 500 mk	652 700 mk

**6 VIITTEET**

- [1] Raiko, H., Salo, J.-P. 1996. Design report of the canister for nuclear fuel disposal. Report POSIVA-96-13, Posiva Oy, Helsinki.
- [2] Raiko, H., Salo, J.-P. 1992. The design analysis of ACP-canister for nuclear waste disposal. Report YJT-92-05, Nuclear Waste Commission of Finnish Power Companies, Helsinki.
- [3] Aalto, H., Rajainmäki, H & Laakso, L. 1996. Production methods and costs of oxygen free copper canisters for nuclear waste disposal. Report POSIVA-96-08, Posiva Oy, Helsinki.
- [4] Budjettitarjous 30.10.1995. VALMET Rautpohjan valimo / Kimmo Lehto.
- [5] Raiko, H. 1996. Ydinpolttoaineen loppusijoituskapselien kustannusarviot. Työraportti TEKA-96-10, Posiva Oy, Helsinki.
- [6] Autio, J., Saanio, T., Tolppanen, P., Raiko, H., Vieno, T. & Salo, J.-P. 1996. Assessment of alternative disposal concepts. Report POSIVA-96-12, Posiva Oy, Helsinki.