

PIENYDINVOIMALAITOKSEN TOTEUTETTAVUUSSELVITYS

LAPPEENRANNAN KAUPUNKI

LOPPURAPORTTI 25.6.2024

Rev 1.0

WWW.RAMBOLL.COM

RAMBOLL


Bright ideas.
Sustainable change.



Euroopan unionin
osarahoittama


LAPPEENRANTA

innokaupungit


ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

Rambollin Yhteyshenkilö:

Jouni Kivirinne
+358 40 334 1868
jouni.kivirinne@ramboll.fi

Ramboll Finland Oy
PL 25
Itsehallintokuja 3
02601 ESPOO

P +358 20 755 611
F +358 20 755 6201
<https://fi.ramboll.com>

Y-tunnus 0101197-5
Kotipaikka Espoo

Tarkastaja: Jouni Kivirinne
Hyväksyjä: Jouni Laukkanen

Kannen kuva: LUT University/USNC

SISÄLTÖ

1.	Johdanto	5
2.	MMR-laitoksen teknologiaT	7
2.1	MMR-energiajärjestelmän yleiskatsaus	7
2.1.1	MMR-energiajärjestelmä	7
2.2	Vedyntuotanto	9
2.3	Vedyntuotantoteknologiat	10
2.3.1	AEL (Alkalielektrolyysi)	10
2.3.2	PEM (Protoninvaihtomembraanielektrolyysi)	12
2.3.3	SOEC (Kiinteänoksidielektrolyysi)	13
2.3.4	AEM (anioninvaihtokalvo elektrolyysi)	15
2.3.5	Termokemiallinen sykli	15
2.3.6	Vedyntuotanto fossiilisista polttoaineista	15
2.3.7	Elektrolyysitekniikoiden vertailu MRR käyttötarkoitukseen	15
2.3.8	Valittu vedyntuotantokapasiteetti MMR laitoksen tehon suhteen	16
2.3.9	MMR-laitoksen toiminnan optimointi vedyn tuotannon ja sähkömarkkinan välillä	16
2.4	Syntyvän hukkalämmön hyötykäyttö ja varastointi	18
2.4.1	Soveltuvat lämpövarastot ylijäämälämmön varastointiin	22
2.5	MMR-Laitoksen logistiikka	23
2.5.1	Laitosalueen layout ja varastointitarpeet	26
3.	Investointi	28
3.1	Maanhankinta, kaavoitus ja luvat, infrastruktuuri ja sähköistys	28
3.2	Laitokset, infrastruktuuri sekä muut kustannukset	29
3.3	Luvitus	30
4.	Tukimekanismit	31
4.1	Tukimekanismien tulevaisuuden näkymät	31
4.2	Tukimekanismien tavoitteet	31
4.3	Kansalliset tukimekanismit	32
4.4	EU-tukimekanismeja	34
4.5	Globaaleja tukimekanismeja	37
5.	Hankkeen kestävyyskriteerit	40
5.1	Yleistä	40
5.2	Ydinvoima	40
5.3	Sähkön ja kaukolämmön yhteistuotanto	40
5.4	Vedyn valmistus	41
5.5	Vedyn varastointi	41
6.	Taloudellinen arvoketju ja tuotemarkkinat	43
6.1	Taloudellinen arvoketju	43
6.2	MMR-laitoksen lopputuotteiden omakustannushinta	44
6.3	MMR-laitoksen tuotteiden markkinat ja niiden arvio niiden kehityksestä	45
6.3.1	Kaukolämpömarkkinat	45
6.3.2	Sähkömarkkinat	47
6.3.3	Vetymarkkinat	49
6.3.4	Höyryn markkinat	54
6.3.5	Hapen markkinat	55

7.	Hankeyhtiö ja rahoitus	56
7.1	Yhtiömalli	56
7.1.1	Yleistä	56
7.1.2	Alkuvaihe – Development-vaihe	56
7.1.3	Toiminnan laajentuminen	57
7.1.4	Voitonjako	59
7.1.5	Laitossarjan tuoma etu hankeyhtiön näkökulmasta	59
7.2	Yhtiön rahoitusperusta	60
7.2.1	Hankeyhtiöiden rahoitusperusta	60
7.2.2	Lappeenrannan MMR-laitoksen hankeyhtiön rahoitusperusta	62
7.2.3	Lappeenrannan MMR-laitoksen hankeyhtiön rahoituskustannukset	65
8.	Kaupallinen malli	66
8.1	Kaupallisen mallin osatekijät & oletukset	66
8.1.1	Kiinteistövero	67
8.2	Hankeyhtiön kannattavuustarkastelu	68
8.3	Kiinteistöveron, vieraan pääoman koron ja investointituen vaikutukset laitoksen kannattavuuteen	70
8.4	Tilikauden voitto ja oman pääoman tuotto-%	72
9.	Ympäristötalous	77
9.1	MMR-laitoksen ympäristöllinen ja poliittinen ulottuvuus	77
9.2	Laitoksen luvitus	78
9.2.1	Kaavoitus	79
9.2.2	Pienydinvoimalan lupaprosessi ydinenergiain näkökulmasta	80
9.2.3	Lupaprosessin keskeiset vaiheet	81
9.2.4	STUK:n rooli	83
9.2.5	Ydinjätehuolto ydinenergiailaissa	84
10.	Vuorovaikutus	85
10.1	Hankkeen sidosryhmät	85
10.2	Työpaja 1: Laitos maankäytön, teknisestä, taloudellisesta ja ympäristöllisestä näkökulmasta	85
10.3	Työpaja 2: Laitoksen investointi, rakentaminen ja rahoitus	87
10.4	Hankeyhtiöön liittyvien riskien kategorisointi	89
10.5	Suosituksat vuorovaikutuksen perusteella	90
11.	Johtopäätökset	92

LIITEET

Investointikustannusten erittely

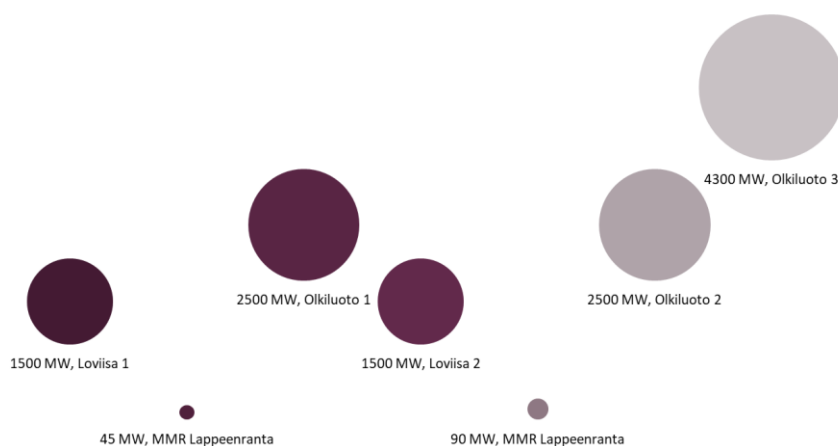
1. JOHDANTO

Tämä selvitys on kaupallinen ja teknillinen toteutettavuus selvitys Micro Modular Reactor -laitoksesta (MMR). Pienydinvoimalaitoksen rakentamista Lappeenrantaan ovat valmistelleet LUT-yliopisto yhdessä yhdysvaltalaisen ydinteknologiatoimittaja Ultra Safe Nuclear Corporation (USNC), Lappeenrannan kaupungin ja Lappeenrannan Energia Oy:n kanssa. Selvityksen tekeminen on osa Lappeenrannan-Imatran kaupunkiseudun Vihreän sähköistämisen ekosysteemisopimusta, jolla tuetaan alueen innovaatiovetoista kasvua, kilpailukykyä ja elinvoimaa. Pienreaktoriekosysteemin rakentaminen on yksi mahdollisuus vahvistaa alueen elinvoimaa kehittämällä uutta teollisuuden alaa paikallinen osaaminen huomioiden. Pienydinvoima nähdään sääriippumattomana yhtenä tulevaisuuden energijärjestelmän osana siirtymässä hiilineutraaliin energiantuotantoon ja se voi toimia vetovoimatekijänä teollisten investointien vauhdittamisessa.

MMR on pienydinenergialaitos, joka on suunniteltu tarjoamaan joustavaa, luotettavaa ja kustannustehokasta energiaa. Laitosta voidaan hyödyntää lämmön ja sähkön tuotantoon, mutta se sopii myös teollisen höyryn. Tässä selvityksessä MMR-laitoksen oletetaan tuottavan höyryä, jonka jatkokäyttö on a) pelkkä lämmön tuotanto, b) sähkön ja lämmön yhteistuotanto, c) lämmön sähkön ja vedyn kolmoistuotanto. Teknologia on ympäristöystävällinen ja turvallinen vaihtoehto perinteisille lämmöntuotantotavoille.

Pienydinenergialaitoksen ydinreaktori tulisi olemaan kaasujäähdytteinen, joka sopii hyvin höyryn tuotantoon. Teknologia mahdollistaa myös korkealämpötilaisen energian varastoinnin, jota on myös tarkasteltu selvityksessä muiden energiavarastojen lisäksi.

Ensimmäiset Suomeen rakennetut ydinvoimalat ovat otettu käyttöön Loviisassa vuosina 1977 ja 1981. Näiden kahden ensimmäisen laitoksen reaktoreiden lämpöteho on nykyisin 1500 MW_{th} ja 1500 MW_{th}. Sen jälkeen Olkiluotoon on rakennettu 3 ydinvoimalaa vuosina 1979, 1982 ja 2023, joiden lämmön tuotantokapasiteetit ovat 2500 MW_{th}, 2500 MW_{th} ja 4300 MW_{th}. Tässä selvityksessä tarkastellaan modulaaristen mikroreakteireita, joiden yhteiskapasiteetti on skenaarion mukaan 45 MW_{th} tai 90 MW_{th}. Kuva (Kuva 1-1) havainnoi miten Lappeenrantaan rakennettavan MMR-tuotantolaitoksen lämmöntuotantokapasiteetti on verrattavissa nykyisiin Suomessa sijaitseviin ydinvoimalaitoksiin.



Kuva 1-1. Suomen ydinvoimaloiden ja MMR-laitoksen mittakaavaerot

Toteutettavuusselvitys kuvaa kevyesti MMR-tekniikan ja siihen mahdollisesti liitettävän vetyteknologioiden vaihtoehdot. Toteutettavuusselvityksessä syvällisen teknologia analyysin sijaan tulee esille toteutettavuuden edellytykset, mm. tuotemarkkinoiden, rahoituksen, yhtiömallin, laitoksen taloudellisen mielekkyyden sekä vuorovaikutuksen merkityksen ja poliittisen ulottuvuuden.

Selvitys on toteutettu SMR - edistyksellistä energiaa -hankkeen toimenpiteenä. Hanke on Euroopan unionin osarahoittama (Innovaatiot ja osaaminen Suomessa 2021–2027 - EU:n alue- ja rakennepolitiikan ohjelma, Euroopan aluekehitysrahasto EAKR).

2. MMR-LAITOKSEN TEKNOLOGIAT

2.1 MMR-energiajärjestelmän yleiskatsaus

USNC:n MMR-reaktori on fissiotyyppinen mikroreaktori, joka tuottaa lämpöä MMR-energiajärjestelmään. Mikromodulaariset reaktorit (MMR) ovat kompakteja, tehdasvalmisteisia ydinvoimalaitosjärjestelmiä, joilla on suuri potentiaali tuottaa luotettavaa ja kestäväää sähköä. Tämä järjestelmä voidaan konfiguroida useille sovelluksille, kuten sähköntuotantoon, prosessilämmön jakeluun, vedyn tuotantoon ja kaukolämpöön.

2.1.1 MMR-energiajärjestelmä

Mikromodulaariset reaktorit (MMR) ovat pieniä ydinfissioreaktoreita. Ne ovat helpommin koottavia ja vaativat vähemmän materiaaleja kuin perinteiset reaktorit. Reaktoreissa neutroni aiheuttaa fission, mikä tuottaa lämpöä. Tämä lämpö siirtyy **jäähdytteeseen**, joka kuumentaa vettä höyryn tuottamiseksi, pyörittäen turbiinia ja tuottaen sähköä. Käytetty polttoaine on radioaktiivista ja vaatii turvallista käsittelyä. Muodostuvan höyryn käyttökohteita ovat esimerkiksi:

- Teolliset prosessit
- Kaukolämmön tuotanto
- Yhdistetyn sähkön- ja lämmön tuotanto (CHP-tuotanto).
- Höyryn käyttö vedyn tai metaanin valmistamiseen höyryreformointiprosessissa

MMR-energiajärjestelmän suunnittelussa käytetään todennettua ja yksinkertaista tekniikkaa. Järjestelmän tavoitteena on olla modulaarinen, huoltovapaa ja sellainen, että sen kaikki komponentit ovat pääasiassa vaihdettavissa. Tontille voidaan sijoittaa useita identtisiä reaktoriyksiköitä vastaamaan lämmöntarvetta. Reaktorit ovat kaasujäähdytteisiä ja ne rakennetaan maanpinnan alapuolelle ulkoisten vaarojen suojaamiseksi. MMR-järjestelmän komponentit ovat standardoituja. MMR-järjestelmät pääkomponentit ovat:

- **Painesäiliö**, jonka sisällä sijaitsee reaktori**sydän**. Paineastia ohjaa **jäähdytteen** virtausta.
- **Reaktori**sydän**** sisältää ydinpolttoainetta (yleensä rikastettua uraania tai plutoniumia), joka fissioidaan lämmön tuottamiseksi.
- **Jäähdyte** kuljettaa reaktori**sydämessä** tuotetun lämmön höyrygeneraattoriin tai turbiiniin. Tämä voi olla kevyttä tai raskasta vettä, kaasua, nestemäistä metallia, tai sulaa suolaa. HTGR reaktoreissa käytetään tyypillisesti heliumia **jäähdytteenä**.
- **Höyrygeneraattori / turbiini**: Reaktori**sydämen** lämpöä käytetään höyryn tuottamiseen höyrygeneraattorissa (tai suoraan kiehuvan veden reaktorin tapauksessa). Höyry käyttää sitten generaattoriin kytkettyä turbiinia sähkön tuottamiseksi, tai höyry ohjataan kaukolämmön tuotantoon tai vedyn valmistukseen.
- **Moderaattori** on yleensä vettä, grafiittia tai raskasta vettä. Moderaattori hidastaa nopeita neutroneja, mikä lisää fissiotapahtumien todennäköisyyttä.
- **Säätösauvat** absorboivat neutroneja ja niitä käytetään fissioreaktion ohjaamiseen. Säätösauvoja voidaan lisätä tai poistaa ytimeistä reaktionopeuden lisäämiseksi tai vähentämiseksi.

- **Suojarakenne**, joka on suunniteltu estämään radioaktiivisen materiaalin vapautuminen ympäristöön odottamattomissa tilanteissa.
- **Turvajärjestelmät** vastaavat reaktorin toiminnasta, kuten turvallisesta sammutuksesta sekä lämmön hallinnasta.
- **Jätehuoltojärjestelmä** tarvitaan radioaktiivisen jätteen keräämiseksi, varastoinnaksi ja hävittämiseksi.

Kaasujäähdytteisten mikroreaktorien lisäksi markkinoilla on olemassa myös muita vaihtoehtoja. MMR-tyyppin valinta edellyttää useiden tekijöiden, kuten turvallisuuden, kustannusten, jätehuolto-tekniikan, säätelyn ja energiantarpeen, huolellista arviointia.

- **Nestemetallijäähdytteiset reaktorit** käyttävät nestemäisiä metalleja, kuten natriumia tai lyijyä, ensisijaisena jäähdytteenä. Ne toimivat korkeissa lämpötiloissa, mikä tekee niistä erittäin tehokkaita, eivätkä ne tarvitse paineistusta, mikä parantaa niiden turvallisuutta.
- **Sulasuolareaktoreissa (Molten Salt Reactors, MSR)** itse polttoaine, yleensä uraani tai torium, liuotetaan sulaan suolajäähdytteeseen. Suola toimii sekä reaktorin jäähdytteenä että polttoaineväliaineena. MSR-malleissa käytetään passiivisia turvaominaisuuksia ja ne voivat mahdollisesti vähentää pitkäikäistä radioaktiivista jätettä.
- **Kevytvesireaktorit (Light Water Reactors, LWR)** ovat pienoiversioita tavanomaisista vesijäähdytteisistä ja vesimoderoiduista reaktoreista, joissa kevyttä vettä (normaalia vettä) käytetään ydinreaktorin jäähdyttämiseen ja moderointiin.

Kaikki ydinjätteet ja sivutuotteet vaativat erittäin huolellista käsittelyä säteilyvaarallisuutensa vuoksi. Asianmukainen jätehuoltojärjestelmä on välttämätön, jotta jätteet voidaan käsitellä ympäristön ja väestön kannalta turvallisella tavalla. Mikromodulaarisen reaktorien lopputuotteet sekä jätteet voidaan jaotella kolmeen pääluokkaan:

- **Käytetty ydinpolttoaine** sisältää uraania, plutoniumia ja muita radioaktiivisia aineita. Tämä polttoaine varastoidaan yleensä paikan päällä erityisesti suunniteltuihin altaisiin tai kuiviin tynnyreihin käytetyn polttoaineen jäähdyttämiseksi ja suojaamiseksi.
- **Matala- ja keskiaktiivinen jäte** syntyy ydinvoimalaitosten käytöstä poistosta ja kunnossapidosta, ja siihen kuuluvat laitteet, työkalut, suojavaatteet ja suodattimet, jotka ovat muuttuneet radioaktiivisiksi.
- **Korkea-aktiivinen jäte** on usein käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsittelyn tuote, joka sisältää erittäin radioaktiivisia aineita ja vaatii huolellista käsittelyä.

MMR-laitokset (modulaariset pienreaktorit) vaativat tehokasta lämmönhallintaa reaktorin turvallisuuden ja toiminnan varmistamiseksi. Näiden lisäksi huolto- ja tarkastusprosessit varmistavat, että kaikki järjestelmät ja komponentit tarkastetaan ja huolletaan säännöllisesti turvallisen ja luotettavan toiminnan takaamiseksi. Sähköverkkoinfra, jäähdytysinfra sekä vesihuolto ovat elintärkeitä reaktorin toimimisen kannalta.

MMR-laitoksissa on myös noudatettava paikallisia säätely- ja turvallisuusstandardeja. Jokaisella laitoksella on erityiset infrastruktuurivaatimukset, ja paikallinen laki sekä ydinvoimapolitiikka on otettava huomioon ydinvoimaan liittyvien päätösten tekemisessä.

MMR-prosessin tuottaman energian varastointi tarkoittaa tuotetun sähkön muuntamista varastoitavaan muotoon ja sen hyödyntämistä tarpeen mukaan. Tämä tasapainottaa sähkön kysynnän ja tarjonnan lyhytaikaisia vaihteluita. Yleisesti käytettyjä energian varastointitapoja ovat:

- **Akut**, jotka voivat varastoida huomattavan määrän energiaa kemiallisesti ja muuntaa sen myöhemmin takaisin sähköksi.
- **Pumpattu vesivarasto**, jossa ylimääräistä sähköä käytetään veden pumppaamiseen alemmasta säiliöstä ylempään; tarvittaessa vesi virtaa takaisin alas ja pyörittää turbiinia sähkön tuottamiseksi.
- **Lämmön varastointi** tallentaa ylimääräisen energian lämpönä eri materiaaleihin ja muuntaa sen myöhemmin takaisin sähköksi, esimerkiksi käyttämällä sulasuolaa.
- **Paineilmaenergian varastointi (CAES)** puristaa ilmaa maan alle ylimääräisellä sähköllä ja tuottaa sähköä, kun paineistettu ilma lämmitetään ja laajennetaan turbiinissa.
- **Vauhtipyörä** varastoi ylimääräistä energiaa kineettiseksi energiaksi, ja energiaa voidaan vapauttaa generaattorin käyttöön tarvittaessa.
- **Vetypoltoaineen varastointi** hyödyntää elektrolyysiä veden hajottamiseen vedyksi ja hapeksi; vety voidaan varastoida ja käyttää myöhemmin energian tuottamiseen polttokenossa.

2.2 Vedyntuotanto

Ydinvoima tuottaa jo nyt sähköä keskeisenä energiantuotantomuotona ja sen käyttö on tunnettua. Korkean käyttöasteen ansiosta ydinenergia voi olla erinomaisessa asemassa tuottamaan vähäpäästöistä vetyä uutena, laajalti soveltuvana energiankantajana.

Yksinkertaistettuna prosessissa hyödynnetään MMR tuottamaa lämpöä ja sähköä elektrolyyserilaitteiston energianlähteenä vedyn valmistamiseksi. Ydinreaktorissa syntyvä lämpöenergia muutetaan höyryksi joko osittain tai kokonaan ajamalla se turbiinin läpi sähköksi. Elektrolyysissä vesimolekyylit erotetaan ulkoisen energian avulla vedyksi ja hapeksi. Erotettu vety otetaan talteen myöhempää käyttöä varten. Elektrolyyserilaitteistolta vety kuivataan, jonka jälkeen se paineistetaan varastosäiliöön tai siirretään suoraan jatkojalostusprosessiin. Prosessin sivutuotteena syntyvä happi vapautetaan ilmakehään, jollei sille ole muuta käyttötarkoitusta. Vedyntuotanto elektrolyyserillä MMR-prosessin yhteydessä ei vapauta suoria kasvihuonekaasupäästöjä tai muita epäpuhtauksia.

Elektrolyyseriteknologian valintaan vaikuttaa hyvin moni tekijä, joista suurin osa vaikuttavat laitteiston ja vedyn hinnan elinkaaren kustannuksiin. Keskeisimpiä vedyn tuotantoon vaikuttavia tekijöitä ovat höyrysuhte, vedyn paine ja vedyn puhtaus. Elinkaarikustannuksiin vaikuttaa esimerkiksi investointihinta, kennostojen elinikä ja huoltokustannukset. Ulkoisiin piirteisiin vaikuttaa tilantarve, hukkalämmön laatu ja teknologian reagointinopeus. Elektrolyyseriteknologian valinnassa täytyy tasapainottaa näiden ja monen muun tekijän summa eikä täten voida nostaa yhtä teknologiaa muiden yläpuolelle.

Ydinenergian rooli voi seuraavan kahden vuosikymmenen aikana kehittyä vedyn tuotannossa jonkin seuraavan reitin kautta:

- **Veden kylmäelektrolyysi**
- **Matalalämpötilainen höyryelektrolyysi** käyttäen sähköä tai lämpöä ja sähköä ydinreaktoreista.
- **Korkealämpötilainen höyryelektrolyysi** käyttäen sähköä tai lämpöä ja sähköä ydinreaktoreista.
- **Korkealämpötilainen termokemiallinen prosessi** käyttäen ydinenergian lämpöä.
- Lisäksi ydinenergian tuottamaa lämpöä voidaan hyödyntää **maakaasun höyryreformointi** prosessissa, jolla tuotetaan suurin osan maailman vedystä tänä päivänä.

2.3 Vedyntuotantoteknologiat

Puhtaan vedyntuotannon keskeisin tulevaisuuden teknologia on veden elektrolyysi. Elektrolyysissa vedestä erotetaan happi ja vety sähköenergian avulla. Kun elektrolyysissa käytetty sähköenergia ei ole peräisin fossiilisista lähteistä, prosessissa ei vapaudu päästöjä. Nykyhetkellä <1 % maailmassa kulutetusta vedystä tuotetaan elektrolyysierillä, mutta tulevaisuudessa sen uskotaan kasvavan merkittävästi. Tässä luvussa esitellään neljä lupaavinta elektrolyysieriteknologiaa ja niiden toimintaperiaatteet:

- Alkalielektrolyysi (AEL)
- Protoninvaihtomembraanielektrolyysi (PEM)
- Kiinteänoksidielektrolyysi (SOEC)
- Anioninvaihtokalvo elektrolyysi (AEM)

Lisäksi käsitellään termokemiallinen reaktio sekä vedyn tuotanto fossiilisista polttoaineista.

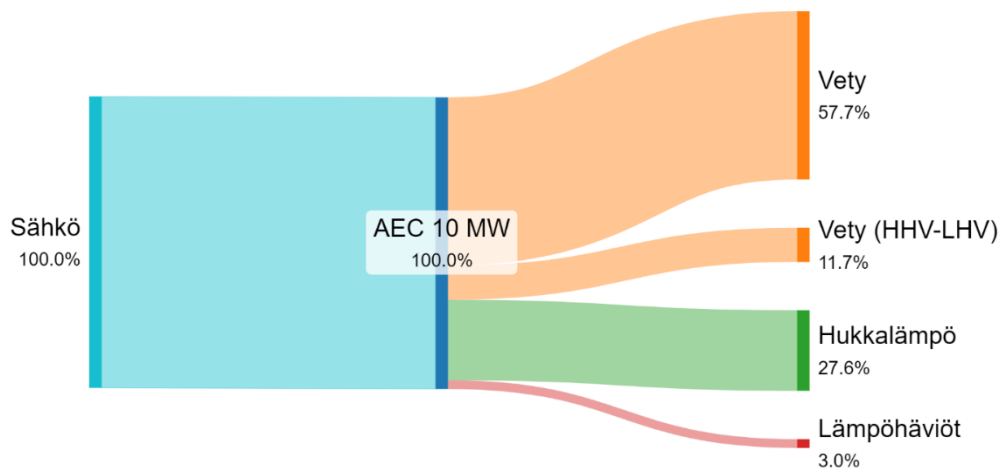
2.3.1 AEL (Alkalielektrolyysi)

AEL tekniikka on yleisin ja pisimmällä elektrolyysereistä. Siinä upotetaan kaksi elektrodia (rauta/nikkeli) elektrolyyttiliuokseen, jossa on tyypillisesti kalium- tai natriumhydroksidiliuosta (KOH tai NaOH). Elektrodit erotetaan kalvolla, joka estää kaasujen sekoittumisen elektrolyytissä. AEL tuottaa puhdasta vetyä (99–99,8 %). IEA (International Energy Agency) määrittää AEL- elektrolyysin teknologisen kypsyyden (TRL) valmiusasteeksi asteikolla 0–11 (prototyyppi – valmis) arvoon TRL9 eli teknologia on kypsää ja kaupallista. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 2-1) on lueteltu tekniikan hyviä ja huonoja puolia.

Taulukko 2-1. Alkalielektrolyysin (AEL) etuja ja haittoja

Edut	Haitat
<ul style="list-style-type: none"> • Kehittynyt teknologia • Valmis teollisen mittakaavan tuotantoon • Sopii isoille volyymeille (MW kokoluokkaan) • Edulliset materiaalit • Pitkä elinikä (yhdellä kennostolla jopa 100 000 h) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vaatii tasaisen sähkövirran • KOH elektrolyytti lisää kustannuksia (KOH:lla parempi sähkönjohtavuus) <p>Matala virtatiheys, mikä kasvattaa laitoksen kokoa</p>

Alla olevassa kuvassa (Kuva 2-1) on esitetty AEL-elektrolyysin energiatase vuoden 2020 10 MW laitteistolla. Kun vettä syötetään elektrolyysikennoihin, tapahtuu vety- (H_2) ja happi- (O_2) kaasujen muodostuminen. Prosessissa vapautuu samalla lämpöä. Koska lämmön tulee olla tiettyä lämpötilaa, jotta se voidaan syöttää kaukolämpöverkkoon, on vain osa muodostuneesta lämmöstä suoraan hyödynnettävissä.¹ Tulevaisuudessa elektrolyysin hyötysuhteen odotetaan parantuvan, jolloin tuotetun vedyn osuus kasvaa. Vuonna 2020 AEL kennoston sähkönkulutus oli 52,3 kWh/kg H_2 .² Kun otetaan koko laitteiston sähkönkulutus mukaan, niin AEL saavutti 57,7 kWh/kg H_2 tuotannon. Vuonna 2030 AEL laitteiston on ennustettu saavuttavan 56,7 kWh/kg H_2 .³



Kuva 2-1. Alkalielektrolyysilaitteiston energiatase

¹ Tärkeä seikka tehdyssä analyysissä on se, ettei siinä oteta huomioon veden latenttilämpöä vedyssä, jota tyypillisesti kutsutaan vetyyn liittyen alempana lämpöarvona (Lower Heating Value, LHV) tai ylempänä lämpöarvona (Higher Heating Value, HHV). Näin toimimalla pyritään antamaan tarkka analyysi elektrolyysillä tuotetulle käyttökelpoiselle energialle.

² kWh/kg H_2 on yksikkö, joka ilmaisee energiankulutuksen määrän tuotettua vetyä kohden. Se kertoo, kuinka paljon sähköenergiaa (kilowattitunteina, kWh) tarvitaan yhden kilogramman vedyn (kg H_2) tuottamiseen.

³ <https://ens.dk/en/our-services/technology-catalogues/technology-data-renewable-fuels>

2.3.2 PEM (Protoninvaihtomembraanielektrolyysi)

PEM tekniikassa ei ole nestemäistä elektrolyyttiä, vaan elektrolyytinä toimii kiinteä protoninvaihtomembraani (yleisin on Nafion-kalvo). Kalvo päästää läpi protonit ja estää kaasujen sekoittumisen. Prosessin hyötysuhde on samaa luokkaa kuin AEL:ssä. IEA määrittää PEM-elektrolyysin teknologisen kypsyyden asteeksi TRL9 eli teknologia on kypsää ja kaupallista.⁴ Alla olevassa taulukossa (

Taulukko 2-2) on lueteltu tekniikan hyviä ja huonoja puolia.

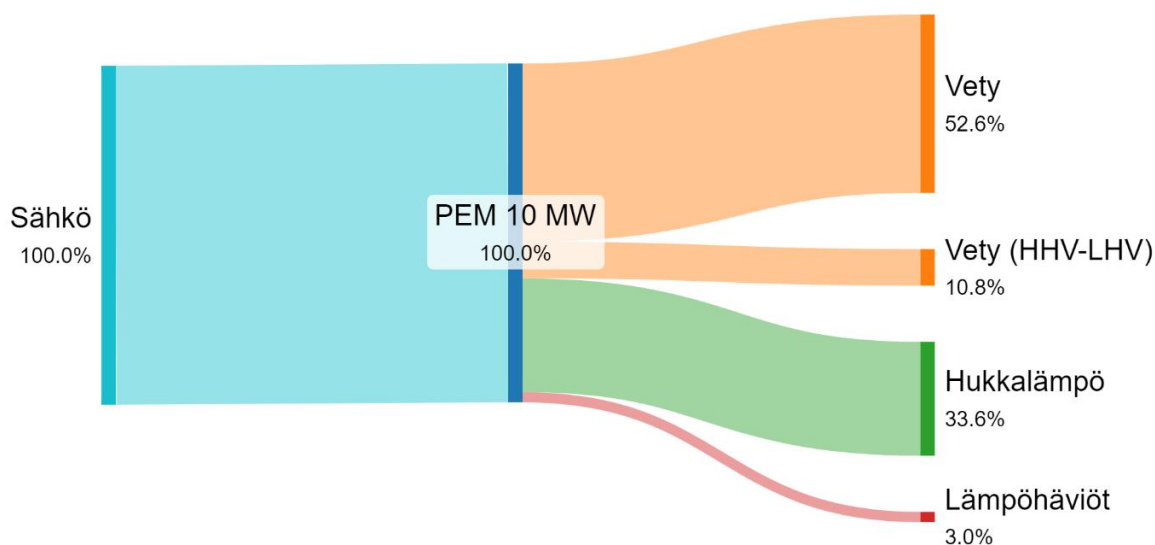
Taulukko 2-2. Protoninvaihtomembraanielektrolyysin (PEM) etuja ja haittoja

Edut	Haitat
<ul style="list-style-type: none">• Korkea tehottiheys eli vie vähemmän tilaa kuin AEL• Nopea reaktioaika• Sopii isoille volyyymeille (MW kokoluokkaan)• Tuottaa erittäin puhdasta vetyä (99,999 %)• Vety voidaan tuottaa varastoon ilman kompressointia	<ul style="list-style-type: none">• Vaatii erittäin puhdasta vettä• Kalliit katalyytit ja PEM-kalvo• Hapan ympäristö

Alla olevassa kuvassa (Kuva 2-2) on esitetty PEM-elektrolyysin energiatase vuoden 2020 10 MW laitteistolla. Kuten huomataan PEM energianlähteenä on 100 % sähkö, kuten AEL teknologiolla. Vuonna 2020 PEM kennoston sähkönkulutus oli 56,3 kWh/kgH₂. Kun otetaan koko laitteiston sähkönkulutus mukaan, niin PEM saavutti 63,3 kWh/kgH₂ tuotannon. Vuonna 2030 PEM laitteiston on ennustettu saavuttavan 56,9 kWh/kgH₂.⁵

⁴ IEA (International Energy Agency) määrittää AEL-elektrolyysin teknologisen kypsyyden (TRL) valmiusasteeksi asteikolla 0–11 (prototyyppi – valmis) arvoon TRL9 eli teknologia on kypsää ja kaupallista.

⁵ <https://ens.dk/en/our-services/technology-catalogues/technology-data-renewable-fuels>



Kuva 2-2. Protoninvaihtomembraanielektrolyysilaitteiston energiatase.

2.3.3 SOEC (Kiinteänoksidielektrolyysi)

SOEC tekniikassa katodille ajetaan normaalisti kuumaa höyryä, jossa vesi erkaantuu happimolekyyliksi ja vedyksi. SOEC prosessi tapahtuu korkeassa lämpötilassa (550–950 °C), joka edistää reaktioiden tapahtumista nostaen hyötysuhdetta, mutta se aiheuttaa ongelmia nykyisien kenno- materiaalien kestävyydelle. Katodille voidaan ajaa myös hiilidioksidia (CO₂), jolloin prosessi pilkkoo sen hiilimonoksidiksi ja hapeksi. SOEC voidaan syöttää myös hiilimonoksidia tai hiilidioksidia sisältävää synteesikaasua ja vesihöyryä, jolloin tuotteena on valmis kemikaali. Tätä kutsutaan termillä co-electrolysis. SOEC on ainoa elektrolyyseriteknologia, jota voidaan ajaa käänteisesti polttokenonona, jolloin sisään menee vetyä ja ulos saadaan sähköä ja lämpöä. Tätä kutsutaan termillä reversible operationa tai rSOEC.

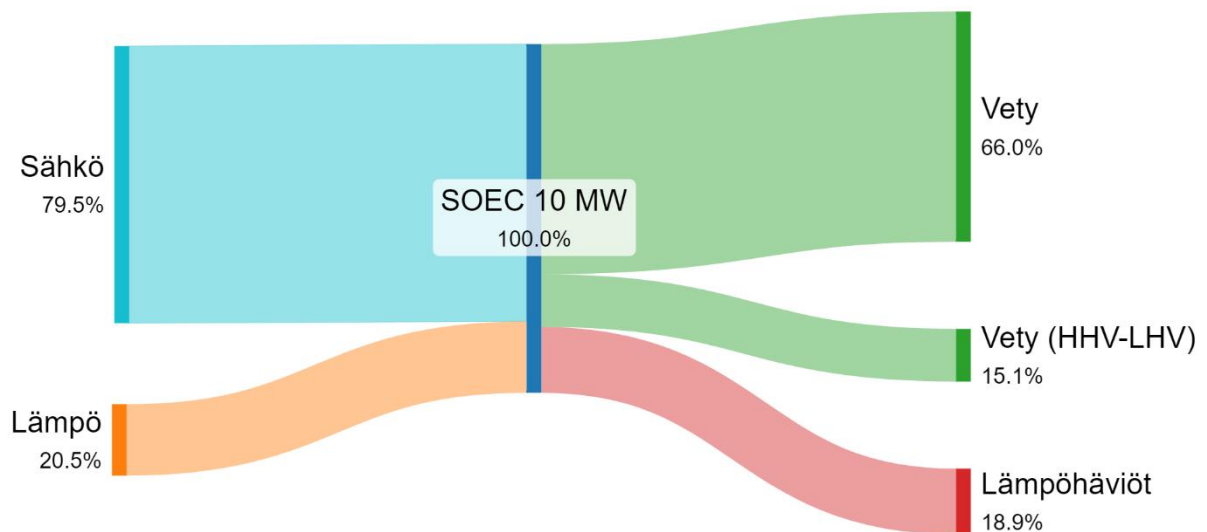
SOEC on kehittymässä kaupalliseen vaiheeseen. Maailmalla on useita megawattiluokan projekteja käynnissä. IEA määrittää sille arvon TRL7, mutta se on nousemassa arvoon TRL8.⁶ Seuraavassa taulukossa (Taulukko 2-3) on lueteltu tekniikan hyviä ja huonoja puolia.

⁶ IEA (International Energy Agency) määrittää AEL-elektrolyysin teknologisen kypsyyden (TRL) valmiusasteeksi asteikolla 0–11 (prototyyppi – valmis) arvoon TRL9 eli teknologia on kypsää ja kaupallista.

Taulukko 2-3. Kiinteänoksidielektrolyysin (SOEC) etuja ja haittoja

Edut	Haitat
<ul style="list-style-type: none"> • Voidaan ajaa suoraan synteetikaasua laitteistoon kemikaalien tuotantoon • Joustava tuotanto nopean reaktioajan ansiosta • Korkea hyötysuhde, vaatii vähemmän sähköä • Toimii käänteisesti polttokennona, voidaan käyttää sähköverkon tasehallintaan 	<ul style="list-style-type: none"> • Uutta teknologiaa, ei pitkää käyttökokemusta teollisessa kokoluokassa • Riski korroosiolle • Elinikä lyhyempi kuin AEL:ssa tai PEM:ssa • Tarvitsee kuumaa höyryä

Alla olevassa kuvassa (Kuva 2-3) on esitetty SOEC-elektrolyyserin energiatase vuoden 2020 10 MW laitteistolla. SOEC energianlähteenä on 79,5 % sähkö ja 20,5 % lämpö. Tämä erottelu on tehty, koska SOEC-kennot toimivat korkeammassa lämpötilassa, jossa vesi on muunnettava höyryksi ja toiminta tapahtuu yli 600 °C lämpötiloissa. Tämän vuoksi SOEC ylittää 80–90 % sähköstä vetyyn hyötysuhteeseen, ja myöhemmin jopa lähelle 100 % hyötysuhde on mahdollista. Tämä kuitenkin vaatii sen, että höyry/lämpö, joka syötetään laitteistoon, tulee ns. ilmaisena hukkalämpönä. Jos lämpöä ei ole suoraan saatavilla, niin se voidaan tuottaa sähköllä, mutta tällöin hyötysuhde heikkenee. Tulevaisuudessa elektrolyyserin hyötysuhteen odotetaan parantuvan, jolloin tuotetun vedyn osuus kasvaa. Vuonna 2020 SOEC kennoston sähkönkulutus oli 40,4 kWh/kgH₂. Kun otetaan koko laitteiston sähkönkulutus mukaan, niin SOEC saavutti 44,5 kWh/kgH₂ tuotannon, jonka hyötysuhde on paljon korkeampi kuin muilla teknologioilla. Vuonna 2030 SOEC laitteiston on ennustettu saavuttavan 41,9 kWh/kgH₂. Useat valmistajat markkinoivat pääsevnsä jo nyt alle 40 kWh/kgH₂ kulutukseen.⁷



Kuva 2-3. Kiinteän oksidielektrolyysilaitteiston energiatase vuonna 2020.

⁷ <https://ens.dk/en/our-services/technology-catalogues/technology-data-renewable-fuels>

2.3.4 AEM (anioninvaihtokalvo elektrolyysi)

AEM on näistä neljästä elektrolyysiteknologiasta alhaisimmassa kehitysvaiheessa. IEA määrittää sille arvon TRL6; laitteistoja valmistetaan hyvin pienessä mittakaavassa.⁸ Sen perusidea on sama kuin PEM:ssä, mutta sillä on paljon hyviä etuja mm. alhaisemmat valmistuskustannukset (ei tarvita jalometalleja) ja yksinkertainen rakenne. Teknologiaa kuitenkin tutkitaan ja kehitetään, mutta prosessi vaatii lisätutkimusta mm. materiaalikestävyyden takia. Tämän vuoksi sitä ei tarkastella selvityksessä tarkemmin.

2.3.5 Termokemiallinen sykli

Termokemialliset prosessit hyödyntävät korkeita lämpötiloja (500–2 000 °C) monimutkaisten kemiallisten reaktioiden käynnistämiseen, jotka jakavat veden vedyksi ja hapeksi. Tyypillisesti tämä prosessi ei vaadi kalliita katalyyttejä tai harvinaisia maametalleja, mikä erottaa sen elektrolyysiprosesseista, ja mahdollistaa sen, että käytettävät kemikaalit voidaan kierrättää, luoden suljetun järjestelmän. Termokemiallisia prosesseja on kaksi yleistä menetelmää: "Suoran" kaksivaiheisen menetelmän yhteydessä käytetään yksinkertaista reaktiota ceriumoksidin kanssa lämpöä hyväksi käyttäen, kun taas "hybridi"-menetelmässä, kuten kuparikloridisyklissä, tarvitaan useita kemiallisia vaiheita ja reaktioita, mutta lämpötilavaatimukset voivat olla matalampia. Prosessissa tarvitaan ainoastaan vettä ja lopputuloksena syntyy vetyä ja happea, sekä lämpöä.

2.3.6 Vedyntuotanto fossiilisista polttoaineista

Höyryreformointiprosessi on menetelmä, jossa kevyitä hiilivetyjä, kuten metaania, maakaasua ja naftaa, käytetään ylikuumennetun höyryn (700–1 000°C) kanssa reagoimiseen, tuottaen vetytitoisen kaasuseoksen. Tämä on yleisin keino vedyn tuottamiseksi tänä päivänä. Yleisesti prosessissa tarvittava lämpöenergia saadaan polttamalla maakaasua tai muuta fossiilista polttoainetta.

Höyryreformointiprosessissa vapautuu fossiilista hiilidioksidia, mikä ei tee menetelmästä kestäväää tai uusiutuvaa. Kuitenkin hiilidioksidin talteenotto (Carbon Capture and Storage, CCS) voi alentaa menetelmän ilmastopäästöjä huomattavasti. CCS:n käytön myötä prosessin lämmönlähteen alkuperä – olipa se sitten MMR tai fossiiliset polttoaineet – ei olisi merkittävässä roolissa päästöjen vähentämisen näkökulmasta. Tämän vuoksi emme näe ydinreaktorin lämmön hyödyntämistä höyryreformointiprosessissa kestäväänä tapana tuottaa vetyä.

2.3.7 Elektrolyysitekniikoiden vertailu MRR käyttötarkoitukseen

AEL ja PEM elektrolyysitekniikat käyttävät energianlähteenään sähköä. Toteutus selvityksessä nähdään AEL ja PEM teknologiat kaikista sopivimmilta MMR-järjestelmän tarkoitukseen, mutta emme näe syytä sulkea SOEC tarkastelun ulkopuolelle jatkoselvityksissä. AEL ja PEM teknologioiden erot kannattavuuteen on hyvin pieniä. Selvityksen mallinnuksissa, kaupallisessa mallissa ja investointiarviossa on käytetty AEL teknologian ominaisuuksia.

SOEC elektrolyysitekniikka nähdään myös yhteensopivana MMR-järjestelmälle, koska se voi hyödyntää energianlähteenä pelkän sähkön lisäksi myös höyryä. Tämä takaa korkeamman hyötysuhteen verrattuna muihin elektrolyysitekniikoihin. Höyryn osuus energiasta nähdään "ilmaisenä" hukkalämpönä, jonka vuoksi hyötysuhde on korkea. SOEC hyötysuhde on muutenkin korkea, vaikka

⁸ IEA (International Energy Agency) määrittää AEL-elektrolyysin teknologisen kypsyyden (TRL) valmiusasteeksi asteikolla 0–11 (prototyyppi – valmis) arvoon TRL9 eli teknologia on kypsää ja kaupallista.

höyry täytyisikin tehdä sähköenergialla. SOEC-laitteiston mitoitukseen vaikuttava kriittinen rajapinta on vaatiman sähkön ja höyryn määrä ja laadun yhteensovittaminen MMR prosessilta tulevan höyryn kanssa.

Lisäksi SOEC kennostot eivät ole yhtä nopeita reagoimaan tuotannon muutoksiin kuin PEM ja AEL kennostot, eivätkä ne nykytilassa kestä jatkuvaa alas- ja ylösajoa, koska suuri lämpötilavaihtelu lyhentää kennostojen elinikää.⁹ SOEC sopii pikemminkin jatkuvatoimiseen vedyntuotantoon. On hyvä huomioida, että SOEC teknologia on yhä kehitysvaiheessa, joten materiaalin kestävyudessa ja laitteiston ajettavuudessa voidaan nähdä suuria harppauksia.

Erilaisia termokemiallisia vedyntuotantomenetelmiä on tutkittu jo 1970-luvulta saakka, mutta niitä ei ole saatu toimimaan lukuisien ongelmien takia. Suurimpia ongelmia ovat materiaalien kestävyys korroosiota ja korkeaa lämpötilaa vastaan sekä prosessin heikko hyötysuhde. Vaikka termokemialliset prosessit ovatkin tutkimus- ja kehitysvaiheessa sekä lupaavia ehdokkaita vedyn tuotannon tulevaisuudelle, ne eivät tällä hetkellä muodosta osaa harkitsemiamme menetelmiä vedyn tuottamiseksi. Tämä johtuu siitä, että teknologia on viimekädessä vielä kehitysvaiheessa, ja alan kaupallinen kehityspolku kohti luotettavaa ja taloudellisesti kannattavaa käyttöönottoa on vielä epäselvä. Näin ollen termokemiallinen prosessointi ydinvoimalla ei ole tällä hetkellä käytännöllinen vaihtoehto hankkeellemme vedyn tuotannon suhteen.

Lämpöenergian lähteeksi prosessille on kaavailtu ydinvoimasta ja keskitetystä aurinkolämmöstä. Erityisesti mikromodulaarinen korkea-asteinen kaasujäähdytteinen reaktori (HTGR) voisi tarjota tarvittavan lämpöenergian tehokkaasti. Siitä huolimatta on tärkeää huomata, ettei ydinvoima- tai aurinkoenergiaan pohjautuvaa termokemiallista prosessia vedyn tuotantoon ole vielä integroitu kaupallisiin hankkeisiin eikä sellaisia ole julkistettu.

MMR-reaktorit voivat tarjota vaihtoehdon tuottaa tarvittava lämpö ilman fossiilisia polttoaineita, mikä edistää fossiilivapaata vedyn tuotantoa käyttäen ydinenergiaa. Vaikka nykyään maakaasua käytetään laajasti sen edullisuuden ja hyväksi koetun toimintavarmuuden vuoksi, ydinenergialla toimivaa höyryreformointia pidetään yhtenä mahdollisena polkuna tulevaisuudessa.

2.3.8 Valittu vedyntuotantokapasiteetti MMR laitoksen tehon suhteen

Työssä selvitetään vedyntuotannon kapasiteettia kahdessa skenaariossa, jotka vastaavat noin 200 H₂ kg/h ja 400 H₂ kg/h tuotantokapasiteetteja.

- **Yhdellä reaktorilla 11,4 MW elektrolyyseri**
- **Kahdella reaktorilla 22,8 MW elektrolyyseri**, joka on vastaa turbiinilta saatua tehoa, josta on vähennetty omakäyttö sähkö ja lämpöpumpun vaatima sähkö.

Mallinnuksessa on käytetty AEL teknologian ominaisuuksia. Jatkoselvityksissä voitaisiin tutkia toista vaihtoehtoa, jossa elektrolyyseri käyttää SOEC-teknologiaa, jolloin osa reaktorin tuottamasta höyrystä voidaan syöttää suoraan elektrolyyseriin. Tämä mahdollistaisi vedyntuotantokapasiteetin kasvattamisen. Mitoitus kuitenkin vaatii yksityiskohtaisempaa tarkastelua ja se täytyy tehdä yhteistyössä reaktori- ja elektrolyyseri valmistajien kanssa.

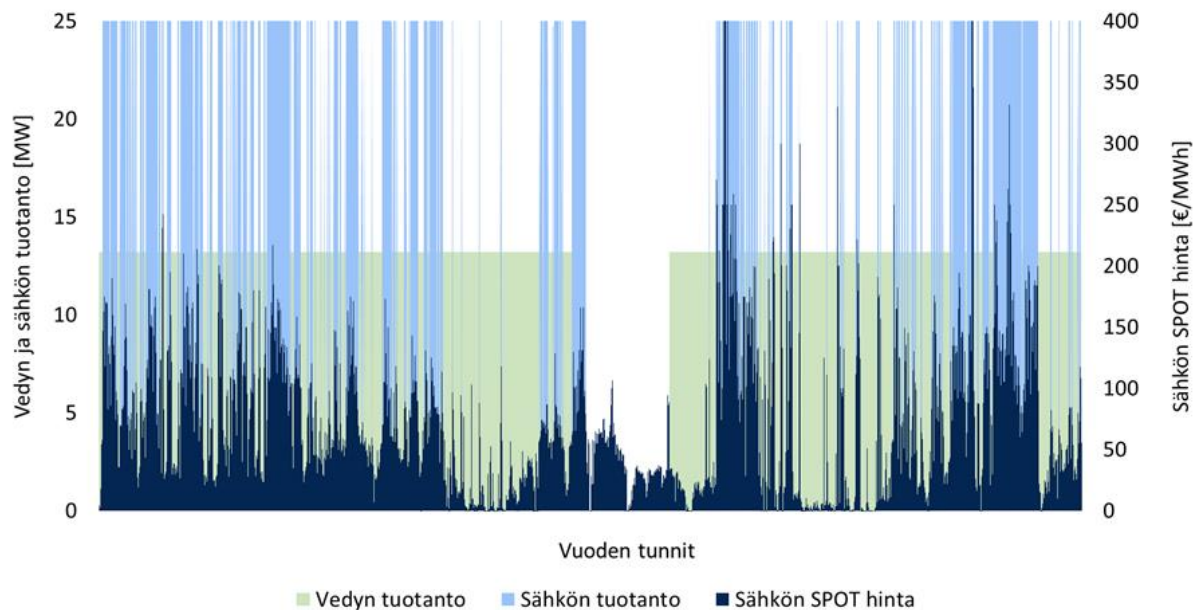
2.3.9 MMR-laitoksen toiminnan optimointi vedyn tuotannon ja sähkömarkkinan välillä

Laitos optimoi vedyntuotannon ja sähkönmyynnin Suomen alueen SPOT-markkinan kunkin tunnin markkinahinnan ja vedystä saatavan myyntihinnan mukaan. Kuvassa (Kuva 2-4) on esitetty vedyn

⁹ <https://ens.dk/en/our-services/technology-catalogues/technology-data-renewable-fuels>

ja sähkön tuotanto SPOT hinnan funktiona. Kun sähkön markkinahinta on alhainen, laitos tuottaa vetyä. Kun taas sähkön markkinahinta on korkea, laitos tuottaa markkinoille sähköä. Sähkön hinnan ollessa alhainen, laitos voi ostaa markkinoilta halpaa sähköä vedyntuotantoon, jolloin se voi lisätä kaukolämmöntuotantoa ohittamalla turbiini reduktioajolla.

Selvityksessä vedylle ei ole määritetty käyttötarkoitusta, jolloin tuotanto joustaa tuotantokustannuksien mukaan. Tällainen tuotanto optimointi voi sopia esimerkiksi joustavan vedynjalostusprosessin yhteyteen tai vetyputken yhteyteen, jossa vedyn tuottaminen jatkuvasti ei ole välttämätöntä. Jos vedyn kysyntämäärä olisi tiedossa ja laitoksella olisi velvollisuus tuottaa vetyä tietty määrä kulutukseen, täytyisi laitoksen tuottaa jatkuvasti vetyä prosessiin. Vaihtoehtoisesti laitokseen täytyisi yhdistää suuri vetyvarasto tai vetyputki tasaamaan kulutusta ja tuotantoa.



Kuva 2-4. Esimerkki tuotantokuvaaja laitoksen toiminnasta sähkömarkkinan ja vedyntuotannon kanssa kahden reaktorin skenaariorista.

Laitos voisi osallistua reservimarkkinoille, jos käytetään PEM-elektrolyyseriä, jolla on hyvin nopea reaktioaika. AEL-tekniikka voi sopia joillekin reservimarkkinoille. SOEC ei todennäköisesti sovellu reservimarkkinoille hitaan reaktioajan vuoksi, jollei teknologiassa tapahdu kehittymistä tulevaisuudessa. Reservimarkkinat huolehtivat sähköjärjestelmän tasapainotuksesta ja niitä ylläpitää Fingrid. Reserveilla tarkoitetaan voimalaitoksia, kulutuskohteita ja energiavarastoja, jotka muuttavat tehoaan tarpeen mukaan. Fingridillä on eri hintaisia reservituotteita, joilla on erilaisia velvoitteita. Reservimarkkinoille osallistumisesta saa korvauksen, joka voi tuoda MMR- ja vetylaitokselle lisätuloja. Reservimarkkinoille osallistuminen ei ole osa toteutettavuusselvityksen kaupallista mallia.

2.4 Syntyvän hukkalämmön hyötykäyttö ja varastointi

Selvityksessä laitoksen toiminta ja kannattavuus tarkasteltiin kuudella skenaariolla. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 2-4) on esitelty skenaarioiden tuotantoyksiköiden tehot.

Taulukko 2-4. Tuotantoyksiköiden tehot selvityksen skenaarioissa

Reaktorilämpöteho	45 MWth			90 MWth (2 kpl MWth)		
	1.1	2.1	3.1	1.2	2.2	3.2
Skenaario						
Kaukolämpöteho	45	45	45	90	90	90
Sähköteho		13	13		26	26
Vetylaitoksen sähköteho			4			8
Lämpöpumpun kaukolämpöteho			4.2			8.4

Vedyntuotannosta syntyvä hukkalämpö nostetaan lämpöpumpulla kaukolämpöverkkoon sopivaan lämpötilaan. Mallissa on määritetty reaktorille, kaukolämpöteholle ja sähköteholle minimitehot. Kun MMR-reaktorin tuottama höyry johdetaan höyryturbiiniin sähköntuotantoa varten, voidaan sitä ajaa vastapaine ja redukzio ajolla. Reduktiossa laitos ohittaa turbiinin ja tuottaa enemmän kaukolämpöä, tyypillisesti silloin kun sähkön hinta on alhaisempi kuin lämmöstä saatava hinta tai lämmöntarve on korkea. Vastapaine ajossa laitos tuottaa sekä sähköä ja lämpöä, joka on tyypillisin ajotapa voimalaitoksissa. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 2-5) on esitetty skenaarioiden energian tuotantotaseet.

Taulukko 2-5. Energian tuotantotaseet selvityksen skenaarioissa

Tuotantotaseet, GWh/a	1.1	2.1	3.1	1.2	2.2	3.2
Kaukolämpö	309	252	258	495	411	418
Sähkö		72	44		144	88
Vety			30			59
Vety, t/a			892			1 785
Yhteensä, GWh/a	309	324	332	495	555	565
Osuus maksimitehosta*	86 %	90 %	92 %	69 %	77 %	78 %

*Osuus maksimitehosta on tuotannon (GWh/a) osuus laskennallisesta maksimituotannosta (GWh/a), joka saataisiin laitoksen maksimiteholla (45 MW tai 90 MW). Laskennassa on huomioitu yhden kuukauden pituinen vuosittainen huolto-
seisakki.

Alla olevassa kuvassa (Kuva 2-5) nähdään kaukolämpöä tuottavan MMR-laitoksen vuosittainen lämmöntuotanto. Huomataan että edellisen vuoden syksystä seuraavan vuoden kevääseen Lappeenrannan kaukolämmöntarve on pienempi kuin MMR-laitoksen teho. Oranssilla kuvattu ylituotanto kertoo kuinka paljon energiaa olisi mahdollista tuottaa MRR-laitoksella, jos Lappeenrannan kaukolämpöverkon kysyntä ei rajoita energiantuotantoa. Alituotanto kertoo, miten ylituotanto voidaan jakaa ajallisesti hyödyntämällä lämpövarastoa. Ylituotannolla pyritään kattamaan ensiksi kesän tuotantovajaus, kun MMR-laitos ei ole päällä. Loput ylituotannosta jaetaan tasaisesti kausille, jolloin kaukolämpötuotanto on MMR-laitoksen tuotantoa suurempi. Seuraavissa kuvissa nähdään reaktorin

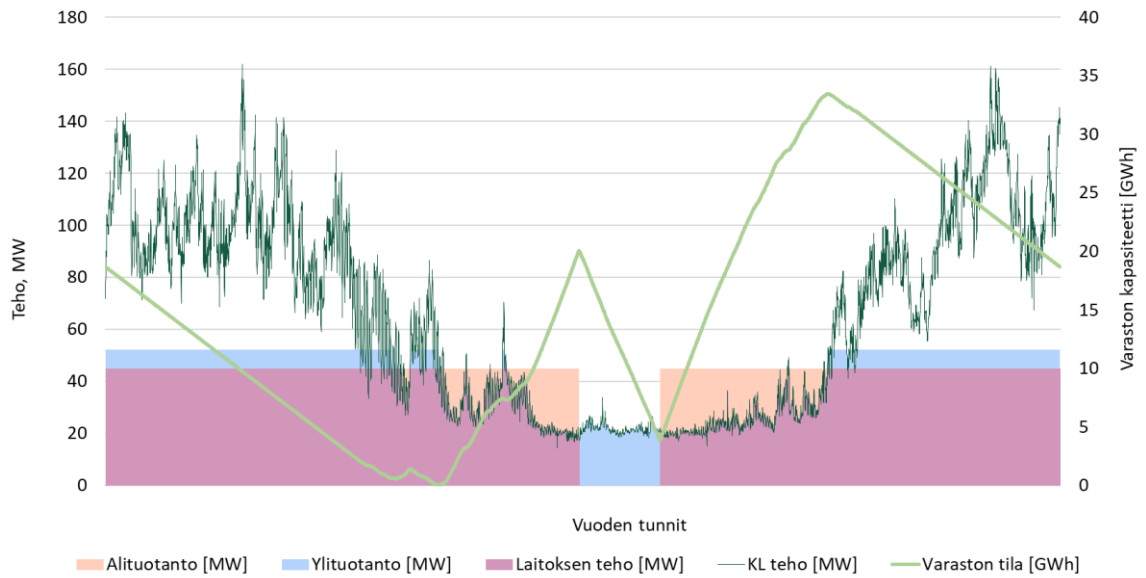
lämmöntuotanto, kun laitoksella tuotetaan myös sähköä (Kuva 2-6) tai kun laitoksella tuotetaan myös sähköä ja vetyä (Kuva 2-7).

Lämmön tuotantoa ja kulutusta voidaan tasoittaa lämpövarastojen avulla ajallisesti. Lämpövarastot ovat kaukolämpöjärjestelmässä yleisesti käytettyjä ja niitä on montaa eri teknologiaa eri käyttötarkoituksiin. Lyhytaikaisilla varastoilla tasataan vuorokauden tai viikon aikana tapahtuvan lämpöenergian kysynnän muutoksista johtuvaa tuotantotarpeen vaihtelua. Esimerkiksi lämmintä vettä voidaan varastoida terässäiliöön yöllä ja päivällä, joka siirretään verkkoon aamulla ja illalla kulutuskuippujen aikaan. Pitkäaikaisissa varastoissa lämpöä varastoidaan silloin, kun lämmöntarve on pitkään alhainen ja edullista lämpöä on paljon saatavilla. Pitkäaikaiset varastot ovat tyypillisesti suuria ja niitä ladataan kesällä ja puretaan syksyn ja talven aikana. Yleisesti taloudellisen kannattavuuden takaamiseksi lämpövaraston latauslämmön täytyy olla edullista ja korvata kalliita tuotantomuotoja kuten öljyä ja kaasua.

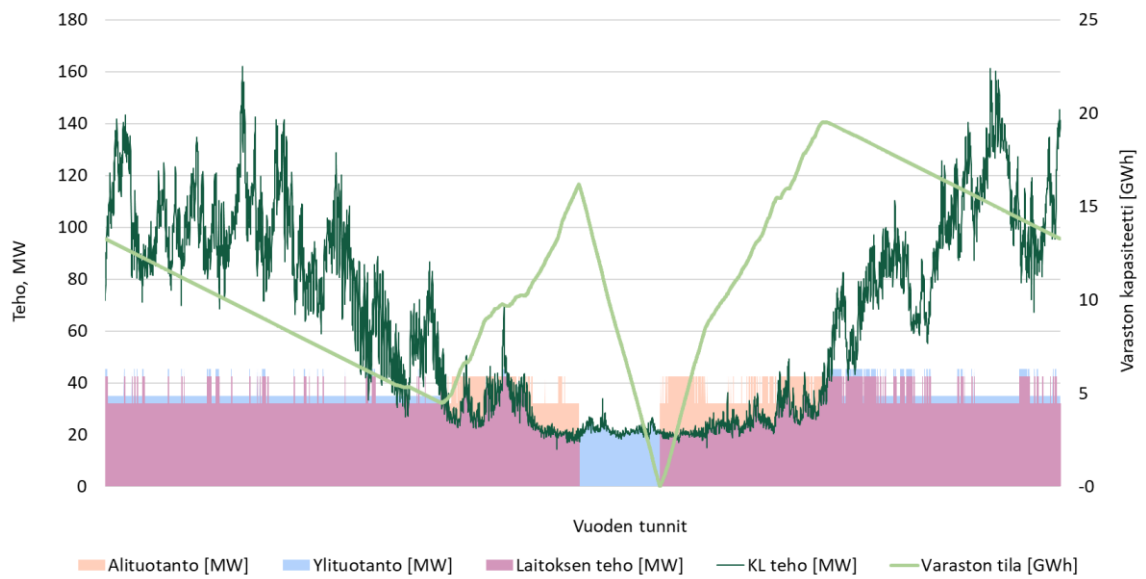
Taulukossa (Taulukko 2-6) on esitetty jokaisen skenaarion lämmön vuosittainen varastointipotentiaali. Varastoa puretaan talviaikana ja kesän huoltoseisakin aikana. Kaikkina muina aikoina varastoa pyritään lataamaan. Kaukolämmön kysyntä rajoittaa varastointipotentiaalia koska markkinoilla ei ole riittävästi kysyntää. Kuvissa 2-5 – 2-10 (Kuva 2-5, Kuva 2-6, Kuva 2-7, Kuva 2-8, Kuva 2-9 ja Kuva 2-10) on esitetty myös varaston tila vuoden aikana. Huomataan, että talviaikana varastoa puretaan ja kesäaikana varastoa ladataan. Varaston purkaminen on intensiivisempää kesäajan huoltoseisakin aikana, kun reaktori ei tuota yhtään lämpöä.

Taulukko 2-6. Varaston koko varastointienergian funktiona. GWh sarake kertoo, kuinka iso on varastointitarve eri skenaarioilla vuoden aikana. V sarake kertoo tarvittavan varaston tilavuuden kuutiometreissä käyttäen 40 asteen lämpötilaeroa. Lataus ja purkuteho kertoo suurimman lataus/purkutehon vuoden aikana.

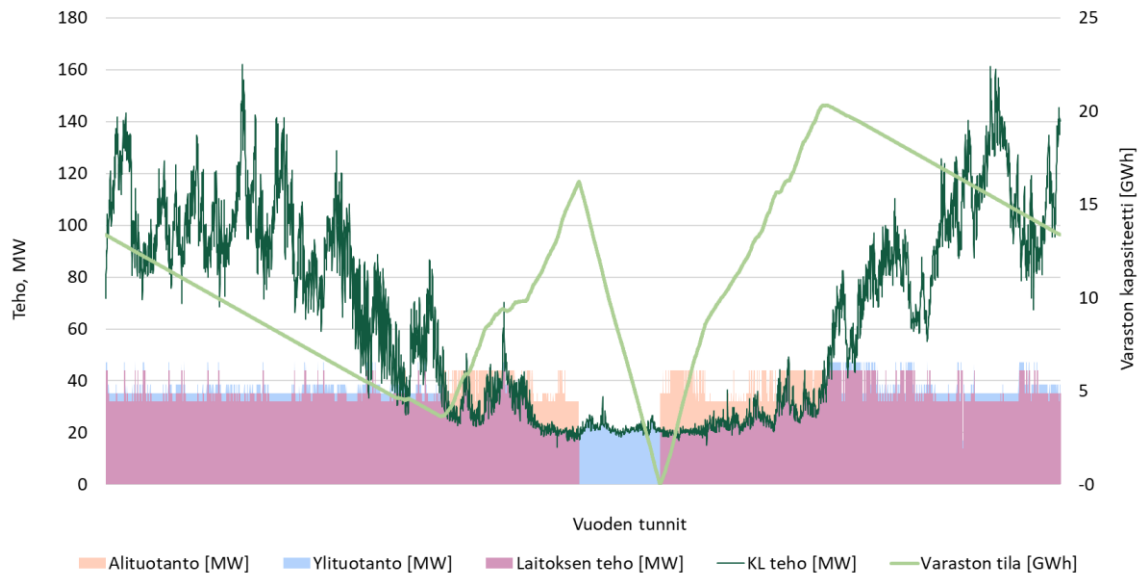
	Varastosta purettava energia [GWh]	V [m ³] (dT = 40 °C)	Latausteho [MW]
1.1	33,5	717 169	33,9
1.2	19,5	418 747	33,9
1.3	20,3	435 762	33,9
2.1	49,8	1 068 186	72,9
2.2	134,7	2 888 570	110,9
2.3	130,9	2 805 471	104,5



Kuva 2-5. Skenaarion 1.1, 45 MW reaktorin kaukolämmöntuotanto. Kesällä laitoksella on huoltoseisakki. Oranssilla esitetty ylituotanto on jaettu kesälle ja talvelle tuotantovajauksen kattamiseksi.

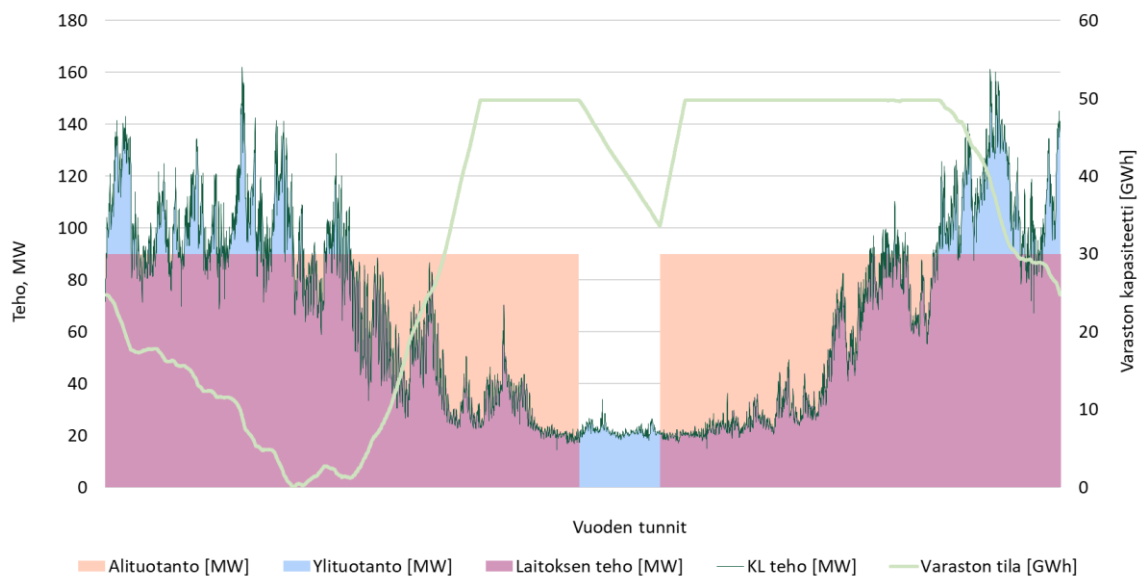


Kuva 2-6. Skenaarion 2.1 45 MW reaktorin lämmöntuotanto, kun laitoksella tuotetaan sähköä.

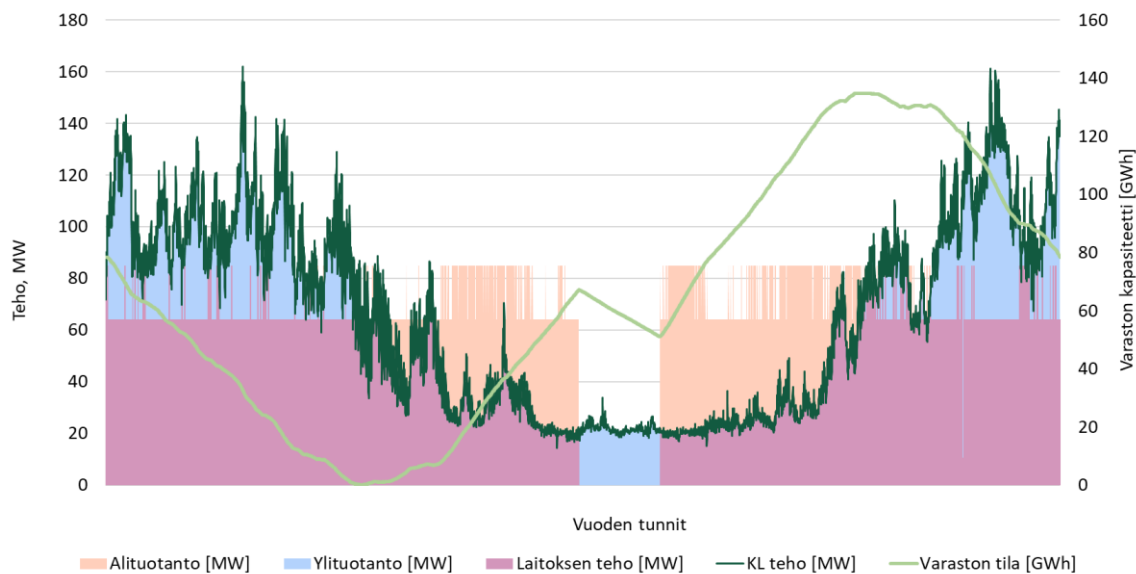


Kuva 2-7. Skenaarion 3.1 45 MW reaktorin lämmöntuotanto, kun laitoksella tuotetaan sähköä sekä vetyä.

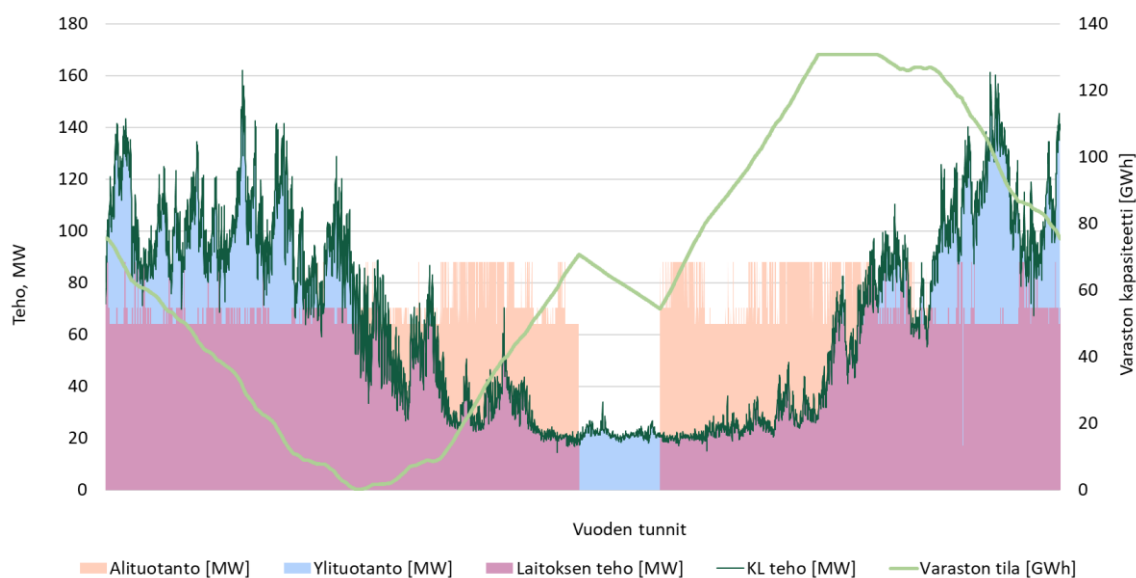
Kuva 2-8 esittää MMR-laitoksen kaukolämmön tuotannon, kun käytössä on 2 reaktoria. Tällöin kaukolämmön maksimiteho 90 MW on suurempi kuin Lappeenrannan kaukolämpöteho lämmityskauden ulkopuolella ja välillä myös talvella.



Kuva 2-8. Skenaarion 1.2, 90 MW reaktorin kaukolämmöntuotanto. Kesällä laitoksella on huoltoseisakki.



Kuva 2-9. Skenaarion 2.2, 90 MW reaktorin kaukolämmöntuotanto, kun laitoksella tuotetaan sähköä.



Kuva 2-10. Skenaarion 3.2, 90 MW reaktorin kaukolämmöntuotanto, kun laitoksella tuotetaan sähköä ja vetyä.

2.4.1 Soveltuvat lämpövarastot ylijäämälämmön varastointiin

Edellä esitetyt (Taulukko 2-6) lämpövarastojen kapasiteetit ovat suuria. Lämpövarastojen toteuttamiseen on kaksi mahdollisuutta, joko kallioluolavarasto tai kannella varustettu maakuoppavarasto. Kallioluolavaraston toteuttamisen kustannus on suuruusluokkaa 100 €/m³, ja maakuoppavaraston toteuttamisen kustannus on suuruusluokkaa 50 €/m³.

USNC:n MMR-järjestelmän sulasulasäiliö toimii myös energiavarastona. Sulasulasäiliön energian varastointikapasiteetti on kuitenkin tyypillisesti vain 1–10 tuntia täyttä reaktoritehoa, eli 90 MW:n reaktoriteholla alle 1 GWh.

Kahden reaktorin laitosten tuottama lämpö varastoituna riittää teoreettisesti kattamaan Lappeenrannan kaukolämmön tarpeen. Massiivisten, yli 1 000 000 m³:n lämpövarastojen toteuttaminen voi olla taloudellisesti haastavaa. Varstojen kannattavuus on suoraan verrannollien kaukolämmön vaihtoehtoiskustannukseen.

2.5 MMR-Laitoksen logistiikka

MMR-energiajärjestelmä koostuu kahdesta erillään olevasta rakennuksesta:

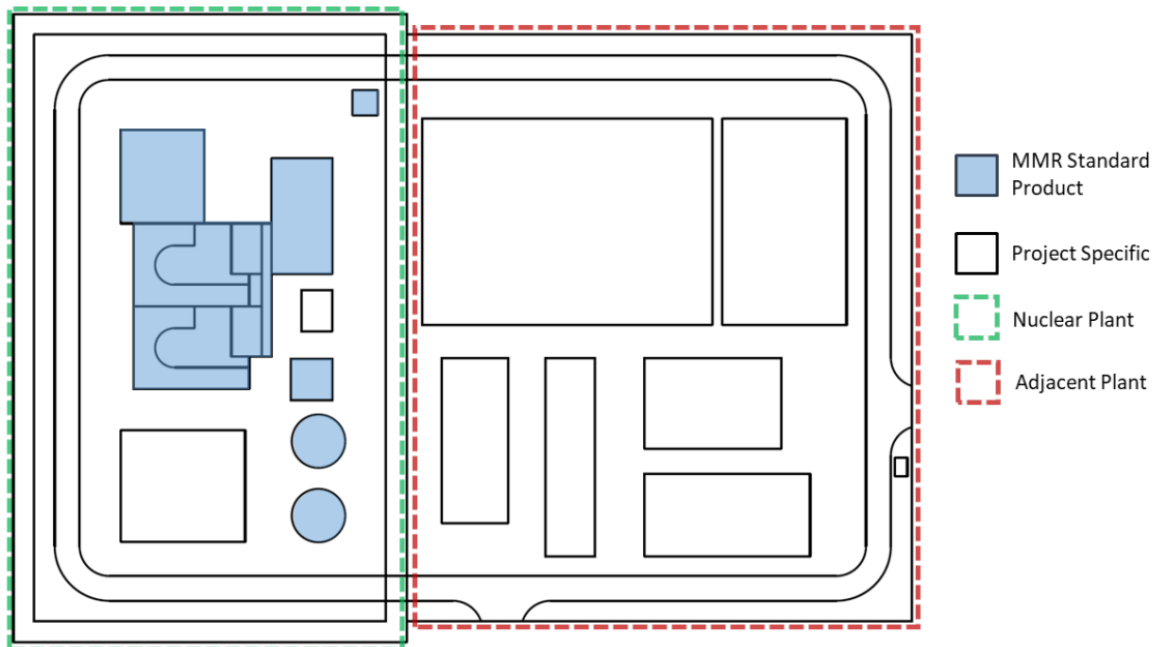
- **Ydinvoimala:** Sisältää yhden tai useamman korkean lämpötilan kaasujäähdytteisen MMR-reaktorin (High-Temperature Gas-cooled Reactor, HTGR) ja tarvittavat laitteet lämmön siirtoon.
- **Viereinen laitos:** Muu kuin ydinlaitos, joka hyödyntää tuotetun lämmön asiakkaan tarpeisiin, kuten sähköntuotantoon tai prosessilämpöön.

Tyypillinen USNC:n MMR-paketti sisältää reaktorin, apu- ja tukilaitteet, turvallisuuslaitteet ja lämpövaraston. Reaktori on sijoitettu vahvasti suojattuun rakennukseen, joka on ankkuroitu peruskallioon. Kuvassa (Kuva 2-11) on havainnollinen kuva, miltä ydinvoimalaitoksen maanalainen osuus näyttää.

Kuvassa (Kuva 2-12) näkyy tyypillinen MMR-energiajärjestelmän tonttisuunnitelma, joka on räätälöity sähkön ja lämmön yhteistuotantoon (CHP). Kuvasta nähdään, miten ydinvoimala ja CHP-laitos on sijoitettu omiksi kokonaisuuksiksi.

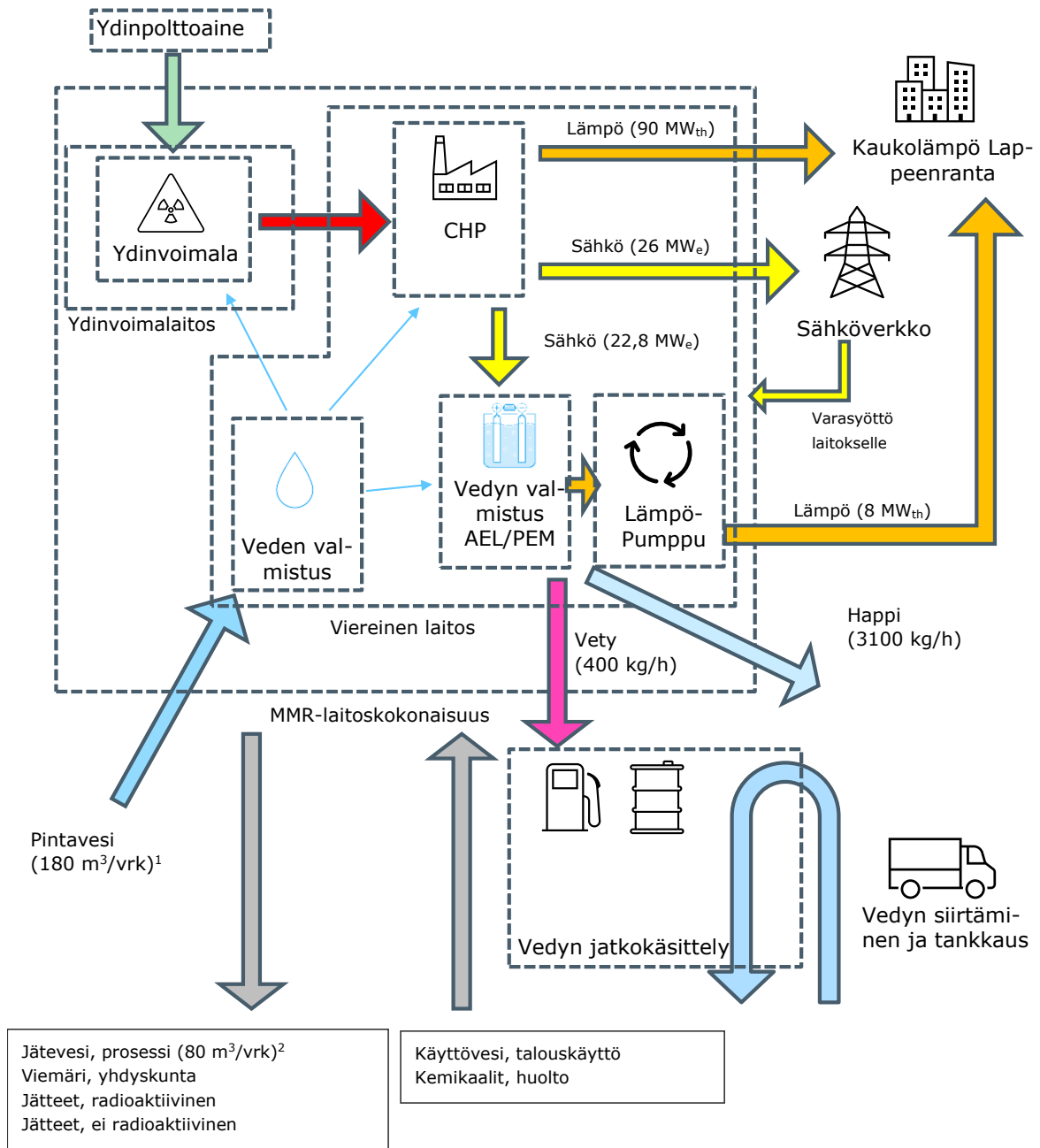


Kuva 2-11. Micro Modular Reactor (MMR), joka on räätälöity sähkön ja lämmön yhteistuotantoon (CHP).



Kuva 2-12. Tyypillinen MMR -energiajärjestelmä – rooli jaot

Kuvassa (Kuva 2-13) on kuvattu 90 MW tehoista MMR-laitoskokonaisuutta, sen logistiikkaa ja ta-sevirtoja.



1) Ydinvoimalaitos 35 m³/vrk, vetyelektrolyysi 6,3 m³/MWh_e, vrk

2) Ydinvoimalaitos 35 m³/vrk, viereinen laitos 45 m³/vrk

Kuva 2-13. MMR-laitoskokonaisuuden logistiikka ja materiaalivirrat

Energia siirretään ydinvoimalaitokselta sulasuolaliuoksen avulla voimalaitokselle. Liuos ei ole radioaktiivista, vaan kaikki radioaktiivisen aineen käsittely tapahtuu ydinvoimalaitoksen puolella. Laitosalueen rakennusten välillä voi kulkea myös muita hyödykkeitä, kuten rakennusten vaatimaa lämmitysenergiaa, sähköenergiaa, käyttövettä sekä sade- että jätevettä.

Laitoskokonaisuus tarvitsee vettä, joista suurin osa kuluu vedyn valmistuksessa elektrolyysillä. Vedden tarve 90 MW:n laitoksella on noin 180 m³/vrk. On järkevää sijoittaa laitos järven tai muun makean veden lähteen viereen, koska yhteisellä vedenkäsittelylaitoksella voidaan tuottaa tarvittava ultrapuhdas prosessivesi koko laitokselle; sekä CHP-tuotannon höyryn syöttövedeksi ja vedyn valmistuksen raaka-aineeksi. Näin ollen kaupungin vesiverkostosta tarvitaan vain käyttövettä.

Laitokselle on päivittäistä liikennettä, työntekijöitä sekä huoltoliikennettä. Laitoskokonaisuus tuottaa yhdyskuntajätettä, joka kuljetetaan kuorma-autoilla pois alueelta. Lisäksi laitokselle viedään tarvittavia kemikaaleja ja muita resursseja.

Laitoskokonaisuus pitää liittää viemäriverkostoon. Alueelta poistuva jätevesi on pääasiassa vettä, joka tulee prosessien sivutuotteena. Lisäksi alueelle on järjestettävä hulevedenpoisto.

Laitoskokonaisuuteen kuuluu vedynvalmistuslaitos. Laitos voi sijaita viereisellä laitoksella tai kokonaan omalla tontilla matkan päässä. Ydinvoimalaitoksen teholla 90 MW on arvioitu, että vetyä voisi tuottaa noin 400 kg/h (9,6 t/vrk).

Vedyn voisi siirtää laitoskokonaisuuden lähellä sijaitsevalle tankkausasemalle. Tämä tarkoittaa kohdalaista rekkaliikennettä tankkausasemalle maksimikuormalla. Aseman kapasiteetin pitäisi olla tankkauskäytössä 120 rekkaa vuorokaudessa. Vuorokauden vetytuotanto mahtuu noin kymmeneen täysiperävaunurekkaan (maksimikuorma per rekka 1000 kg).¹⁰

Luvussa 6.3 käsitellään tarkemmin MMR-laitoksen tuotteiden markkinoita ja arvioidaan niiden kehitystä.

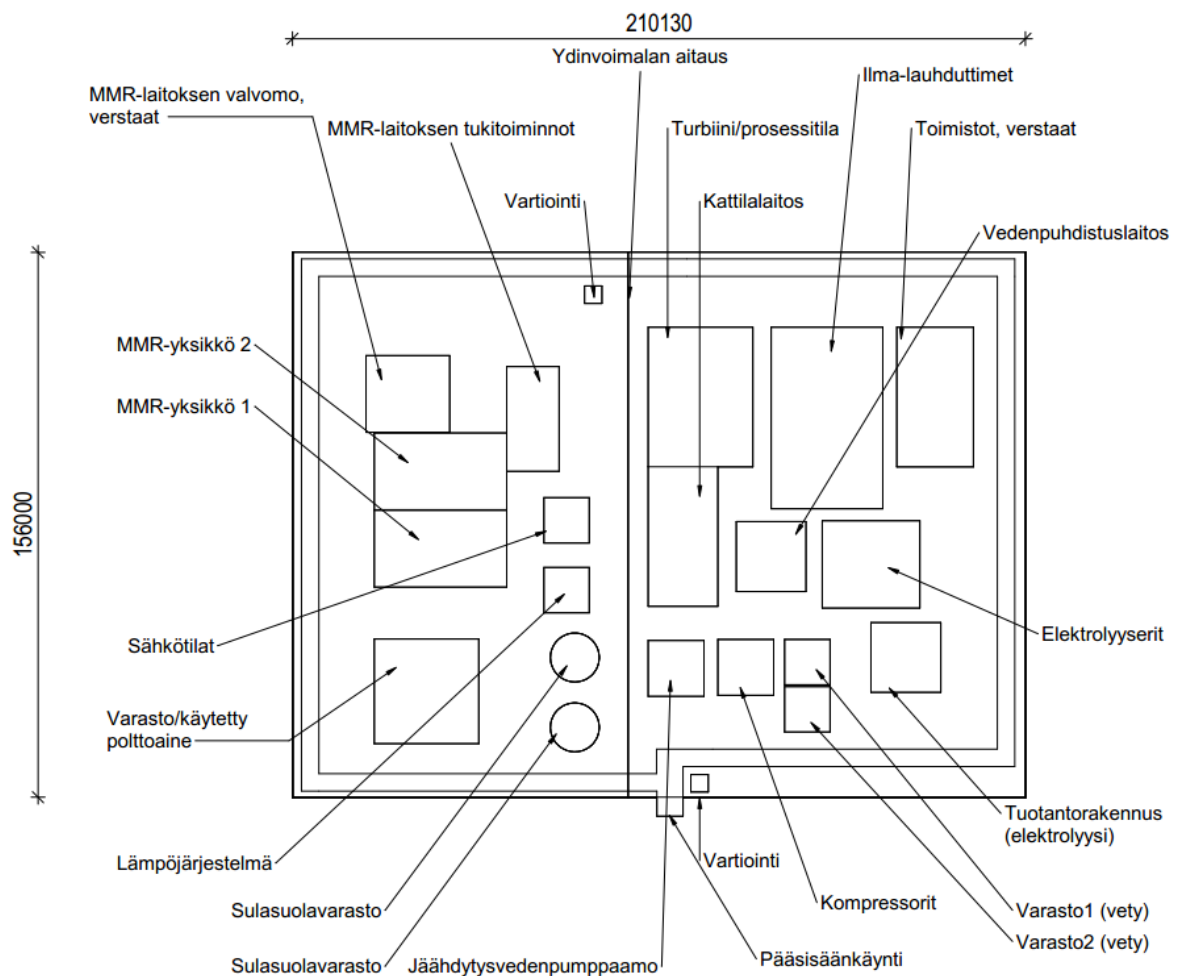
Laitos tuottaa radioaktiivista jätettä, joka varastoidaan omaan rakennukseen ydinvoimalan puolelle ja poistetaan säännöllisesti jatkokäsittelylaitokselle. Luvussa 9.2.5 käsitellään, mitä ydinvoimalassa tulee ottaa huomioon ydinjätehuollon kannalta.

2.5.1 Laitosalueen layout ja varastointitarpeet

MMR-laitoskokonaisuuden vaatimaa tilanvarausta on havainnollistettu alla olevassa kuvassa (Kuva 2-14). Rakennusten sijoittelua on päivitetty USNC – materiaalista paremmin vastaamaan tämän projektin kokonaisuutta. Kuvassa näkyy vasemmalla puolella ydinvoimalaitos, joka aidataan omaksi alueekseen. Tarvittava laitosalueen pinta-ala on ilman suojaetäisyyksiä noin 3,3 ha.

Alue ympäröidään korkealla aidalla, ja alueelle kulkua valvotaan tarkasti. Radioaktiivisen aineen käsittely tapahtuu pelkästään ydinvoimalaitoksen puolella. Oikealla taas on yhdistetty lämmön- ja sähköntuotantolaitos (CHP) ja vedyntuotantolaitos. Molemmat alueet on hahmoteltu väljäksi, jotta myös infraa tukevat toiminnot, kuten parkkipaikat, mahtuvat alueelle. On huomioitavaa, että suunnitelmien tarkentuessa sekä valitun tontin muodon mukaan, voivat laitosten sijoittelukuvat näyttää hyvin erilaisilta.

¹⁰ https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2021/11/Tech-Overview_Hydrogen-Transport-Distribution.pdf



Kuva 2-14. Alustava asemapiirros MMR-laitoskokonaisuudelle.

Ydinvoimalaitos pitää sisällään reaktorit, jotka sijaitsevat maanalla. Näiden päälle sijaitsevat ydinreaktoreja ylhäältäpäin suojaavat raskaat rakennukset. Alueella on MMR-laitoksen toimintaa tukevia rakennuksia, sosiaalitylöitä, varastoja ja oma vartiointi. Alueelle kuljetaan vieressä olevan laitoksen läpi, muuten alue on täysin aidattu. Laitos tuottaa radioaktiivista jätettä, joka varastoidaan omaan rakennukseen ja poistetaan säännöllisesti jatkokäsittelylaitokselle. Laitokselta tulee myös muuta ei-radioaktiivista jätettä, joka poistetaan kuorma-autokuljetuksella säännöllisesti.

Ydinvoimalaitoksen vieressä sijaitsee voimalaitos- ja vedynvalmistuslaitos. Ne on sijoitettu samalle tehdasalueelle, mutta vedynvalmistuslaitos voi olla erilläänkin. Energia siirretään ydinvoimalaitokselta sulasuolan avulla voimalaitokselle, mutta se ei ole radioaktiivista, vaan kaikki radioaktiivisen aineen käsittely tapahtuu ydinvoimalaitoksen puolella. Alueelle on sijoitettu tuotantoa tukevia rakennuksia, sosiaalitylöitä ja varastoja. Alueella oleva vedenpuhdistuslaitos palvelee myös ydinvoimalaa. Lisäksi laitosten välillä voi kulkea myös muita hyödykkeitä, kuten rakennusten vaatimaa lämmitysenergiaa, käyttövettä sekä sade- että jätevettä.

3. INVESTOINTI

MMR-laitoksen investointikustannus perustuu MMR-laitoksesta ja viereisestä laitoksesta tehtyyn asemapiirrookseen, jota on muokattu USNC-lähdeaineiston perusteella. Asemapiirroksen avulla on tarkasteltu laitoskokonaisuuden edellyttämää tilantarvetta. Laitoskokonaisuuden edellyttämä tilantarve voi muuttua huomattavasti seuraavissa suunnitteluvaiheissa, ja sen tarkkuus on suuntaa antava.

Investointiarvio on jaettu lukuihin 3.1 ja 3.2, joissa esitetään periaatteet investointiarvioiden rakentamisessa. Luvussa 3.1 tarkastellaan maanhankinnan, kaavoituksen ja luvituksen, infrastruktuurin sekä sähköistykseen kustannuksia. Luvussa 3.2 käsitellään kokonaisuutena ydinvoimalaitosta, turbiini- ja vetylaitosta sekä muita kustannuksia. Investointiarvion tarkkuus tässä vaiheessa on epätarkka. Vastaavia ydinvoimanlaitoksia ei ole länsimaissa rakennettu, joten referenssikustannuksia sen osalta ei ole olemassa.

Taulukossa (Taulukko 3-1) on esitetty eri tarkasteltavien vaihtoehtojen investointikustannusten arvioita. Investointikustannusten arviot esitetään päätasoilla jaotellen investointikustannukset taulukon pääluokkiin. Raportin luvussa 3.3 on eritelty tarkemmin eri optioiden lopputuotteet ja tuotantotehot. Eri vaihtoehtojen investointiarvioiden kustannukset perustuvat MMR-tekniikan osalta USNC:n antamiin kustannusarvioihin ja muut Rambollin kokemuseräiseen tietoon vastaavista hankkeista.

Taulukko 3-1. Investointikustannusten arvio

Kustannusarvio k€ (Alv. 0%)						
	Optio 1.1. Ydinlämpö- keskus	Optio 1.2. Ydinlämpö- keskus	Optio 2.1. Ydinvoima- laitos ja CHP	Optio 2.2. Ydinvoima- laitos ja CHP	Optio 3.1. Ydinvoima- laitos, CHP ja vedyn- tuotantolaitos	Optio 3.2. Ydinvoima- laitos, CHP ja vedyn- tuotantolaitos
	Summa	Summa	Summa	Summa	Summa	Summa
Maanhankinta	300	300	300	300	300	300
Kaavoitus ja luvitus	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
Infrastruktuuri	17 200	25 120	19 600	27 520	22 100	30 820
MMR-laitos	57 602	95 627	57 602	95 627	57 602	95 627
Turbiinilaitos			30 000	50 000	30 000	50 000
Vetylaitos					20 734	37 396
Sähköistys	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300
Muut kustannukset	43 095	70 078	62 123	102 853	77 769	126 754
Yhteensä, M€	125	198	177	284	216	348

3.1 Maanhankinta, kaavoitus ja luvat, infrastruktuuri ja sähköistys

Laitoksen välttämättömät alkuinvestoinnit ovat maanhankinta, siihen liittyvät kaavoitukset ja luvat, infrastruktuurin rakentaminen sekä tarvittavat sähköliitynnät.

Maanhankinnan investointikustannus on arvioitu luvussa 2.5.1 tehdyn asemapiirustuksen perusteella. Se pitää sisällään maan hankinnan kustannukset arvioidulla laitoskokonaisuuden koolla. Maanhankinnan neliökustannukset on saatu Lappeenrannan kaupungilta. Kaavoituksessa ja luvituksessa on mukana mm. ympäristövaikutusten arviointia, turvallisuusjärjestelmiä ja -koulutuksia. Luvuissa 9.2.1-9.2.3 on esitetty kaavoitukseen ja luvitukseen tunnistetut vaatimukset.

Maanrakennus- ja perustustöiden kustannus on arvioitu luvun 2.5.1 tehdyn asemapiirustuksen mukaan. Maarakennus- ja perustustöiden kustannusarviossa ei ole huomioitu tarkasteltujen sijoituspaikkojen tarkempia olosuhteita maarakentamisen edellyttämistä näkökulmista. Kustannuksen arviointi perustuu siten koko laitoksen alueen edellyttämään neliömäärään ja sen perusteella on määritetty kustannusarvio Rambollin kokemusperäisillä tiedoilla. Investointiarviot perustuvat lämmöntuotantolaitosten rakentamiskustannukseen, koska kokemusperäisiä tietoja ole voitu hyödyntää vastaavanlaisten ydinvoimalaitosten rakentamiseen liittyen.

Infrastruktuurin rakentamisen kustannuksissa on arvioitu maanrakennus- ja perustustöiden lisäksi tarvittavien kaukolämpö-, vesi- ja viemäri liittymien kustannuksia. Toimivan infrastruktuurin rakentamisen kustannuksiin vaikuttaa sijaintipaikka ja sen etäisyys nykyiseen olemassa olevaan liitettävään infraan. Infrastruktuurin rakentamista varten on selvitetty sijainneittain olemassa olevien lähimpien liittymäkohtien sijainnit. Jos liittymäkohdan sijaintipaikan soveltuvuus on ollut epävarma esimerkiksi liittymäpisteen putkikoon riittävyyteen perustuen, on liittymäkustannuksiin sisällytetty arvioitu etäisyys ja kustannusarvio lähimpään oletettuun soveltuvampaan liittymispisteen. Infrastruktuurin rakentamisen kustannuksissa tarkastellaan sijaintivaihtoehtoista kalleinta, jotta kustannuksellisesti varaudutaan haastavimman sijaintipaikan toteutumiseen. Mahdollisten sijaintivaihtoehtojen välillä on eroavaisuuksia liittymien rakentamiskustannuksissa, koska eri sijainneilta on vaihtelevat etäisyydet olemassa oleviin infroihiin. Myös rakentamisolosuhteet ovat vaihtelevat, mikä vaikuttaa lopulta tarkkoihin rakentamiskustannuksiin.

Tarvittavien kaukolämpö-, vesi- ja viemäri liittymien koko on määritetty kahden ydinreaktorin teholla, ja vaihtoehdon mukaan, jossa on voimalaitos ja vedyntuotantolaitos. Liittymien kustannusarviot on määritetty perustuen liittymien arvioituihin etäisyyksiin olemassa olevasta infrasta ja liittymien kokonaiskustannus on muodostettu huomioiden kaukolämpö- vesi- ja viemäri liittymien vaatima alustavasti määritetty koko. Lisäksi tarvittavalle lauhdelinjalle on arvioitu rakentamiskustannuksia arvioiden lauhdelinjan alustava koko ja mahdollinen reitti tarkastelluilta laitosalueilta lähimpään vesistöön. Liittymien rakentamisen kokonaiskustannusarviota pidetään kohtalaisena tässä vaiheessa selvitystä.

Sähköistyksen investointiarvio sisältää 110 kV sähkön syötön rakentamisen tarkastelluille alueilla lähimmältä mahdolliselta sähköasemalta. Investointiarvio perustuu Rambollin viimeaikaisiin hintatietoihin ja toteutuneisiin hankkeisiin. Investointiarvioon sisältyy uuden 110 kV syöttökentän rakentamisen sähköaseman yhteyteen, syöttöjohdon rakentamisen joko maakaapelina tai ilmajohdona sekä päämuuntajan hankinnan että sen sijoittamisen betonibunkkeriin. Sijaintikohtaisesti sähkön syöttöyhdän alustava pituus vaihtelee muutamien kilometrien verran, mutta kustannukset ovat suhteellisen lähellä toisiaan, mikä ei muuta sähköistyksen investointiarviota sijainnin mukaan kovinkaan merkittävästi. Jos sähkön syöttöyhteyden rakentaminen toteutettaisiin maakaapelina, olisi tällöin rakentaminen jonkin verran kalliimpaa. Sähköyhteyden investointiarvio perustuu siten toteutukseen, jossa sähköyhteys rakennetaan kokonaan maakaapelina, jolloin varaudutaan sähköistyksen investointiarviossa haastavimpaan sijaintiin.

3.2 Laitokset, infrastruktuuri sekä muut kustannukset

MMR-laitoksen investointiarvio perustuu laitetoimittajan (USNC) arvioon, mitkä kahden eri kokoluokan ydinvoimalaitoksen kustannukset olisivat. Arvio pitää sisällään luvussa 2.5.1 esitetyn asemapiirustuksen mukaiset rakennukset.

Turbiinilaitoksen investointiarvio pitää sisällään yhteisen lämmön- ja sähkötuotantolaitoksen rakentamisen kustannuksia. Tähän sisältyy rakennus- ja asennuskustannuksia, kuten laitoksen rakentamiseen ja sen pääkomponenttien asentamiseen liittyviä kustannuksia. Lisäksi mukana on laitteita

ja materiaaleja, kuten turbiinit, generaattorit, lämmönvaihtimet, putkistot, ohjausjärjestelmät ja muita laitteita.

Vedyntuotantolaitoksen investointiarvio perustuu vuoden 2030-luvun hintatason ennusteeseen¹¹. Osana vedyntuotantolaitosta on 11 tunnin tuotantoa vastaava paineistettu vetysäiliö. Vedyn käyttötarkoitusta ei ole määritetty työssä. Logistiikan kustannuksiksi määritettiin 300 metrin vetyputki ja yksi vedyn tankkausasema, joka oletetaan laitosalueen välittömään läheisyyteen. Vedyn tuotantolaitoksessa tuotetaan enemmän vetyä kuin mitä yksi tankkausasema pystyy päivässä jakamaan. Siksi tuotetulle vedylle täytyy löytää lisää käyttökohteita tai jakeluasemia. Käytettäessä matalalämpötila elektrolyysiä (AEL ja PEM), prosessista syntyy matalalämpöistä hukkalämpöä, joka voidaan nostaa lämpöpumpulla kaukolämpöverkkoon sopivaan lämpötilaan. Myös lämpöpumpuinvestointi on huomioitu.

Muut kustannukset pitävät sisällään projektikustannuksia ja hankevarauksia. Projektikustannusten suuruus on noin 10 % ja hankevarauksen suuruus on noin 30 % optiokohtaisesta investointiarviosta. Projektikustannuksiin sisältyy suunnittelutehtäviä, kuten arkkitehtonista-, rakennusteknistä-, ja sähkösuunnittelua. Lisäksi mukana on työmaan infrastruktuuriin ja logistiikkaan sekä valvontaan liittyviä kustannuksia. Hankevarauksissa on huomioitu muuttuvia kustannuksia, kuten raaka-aineiden hinnannousu, yllättävät tekniset haasteet tai muutokset lainsäädännössä. Projektin kustannusarvioissa on epävarmuutta, mikä johtuu muun muassa teknisistä, taloudellisista ja aikatauluriskeistä, ja tämän takia hankevarauksen osuus on arvioitu normaalia korkeammaksi.

3.3 Luvitus

MMR-laitoskombinaatin luvitukseen on varattava merkittävä määrä sekä ajallista että rahallista resursseja. Kaavoitukseen ja ympäristölupaan liittyvät tehtävät selvitykset noudattavan hyvin pitkälle normaalia tuotantolaitoksen kaavoitus- ja YVA-prosessia. Pienydinvoimalaitokseen liittyvissä prosesseissa viranomaiset ovat kuitenkin uuden äärellä, joten hyvä varautua normaalia tiiviimpään yhteistyöhön ja kattaviin taustaselvityksiin.

STUK:n rooli on nyky-lainsäädännön puitteissa kaikkein merkittävin lupakäsittelyssä mukana oleva taho (luku 9.2.4). STUK:n työstä olennainen osa on turvallisuuden arviointia, jota STUK tekee valtioneuvostolle jätettyjen hakemusten (periaatepäätös-, rakentamislupa- ja käyttöluvahakemus) perusteluaineistoista. Nämä turvallisuusarviot ovat isotöisiä ja aikaa vieviä, ja niihin liittyvä STUKin työ on merkittävä kustannuserä. Esimerkiksi Olkiluoto 3:n rakentamislupakäsittely vei noin 30 henkilötyövuotta. STUK:n työmäärä turvallisuusarvioissa ei skaalaudu suoraan reaktorin tehon mukaan. MMR-laitokseen liittyvien laitteiden tyyppihyväksynnät, rakentamisen valvonta, käyttöönottotarkastukset ja lopullinen käyttöönottolupa edellyttävät STUK:lta vuosittain arviolta noin 4 henkilötyövuotta (htv) a' noin 250 000 €. STUK:n osallisuus MMR-laitoksen toteuttamisprosessissa on luokkaa 12–15 htv, eli 3–3,5 M€.

¹¹ <https://ens.dk/en/our-services/projections-and-models/technology-data/technology-data-renewable-fuels>

4. TUKIMEKANISMIT

Tukimekanismien tarkoitus on tukea innovaatioiden kehittämistä ja skaalaamista. Tuen tarkoituksena on jakaa teknologian käyttöönottoon liittyvät riskit hankkeeseen ryhtyvän kanssa. Tämä edistää uusien ratkaisujen omaksumista eri toimialoilla, koska kynnys investointipäätökseen alenee alemman taloudellisen riskitason myötä.

Keskeistä tukimekanismeille on se, että hankkeiden tukikelpoisuuksien vaatimukset kasvavat. Esimerkiksi tällä hetkellä Suomessa EU:n elpymis- ja palautumistukivälinerahoituksesta (RRF) rahoitettavien energiahankkeiden, että niiden on täytettävä ”Ei merkittävää haitta -kriteeristön” vaatimukset. Tuettaville hankkeille tulee enemmän vaatimuksia niiden kestävän kehityksen mukaisuudelle. Kestävyysskriteerejä käsitellään luvussa 6.

Julkisen sektorin innovaatiotoimintaa tuetaan sekä Euroopan unionin että kansallisten tahojen toimesta. Euroopan unioni tarjoaa taloudellista tukea Horisontti-ohjelman kautta, joka rahoittaa monenlaisia tutkimus- ja innovaatiohankkeita sekä yksittäisiä tutkimusideoita. Lisäksi valtion budjetista ohjataan varoja julkisen sektorin tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoimintaan. Tällaista rahoitusta suunnataan esimerkiksi yliopistoille, valtion tutkimuslaitoksille ja Suomen Akatemialle. Lisäksi eri sektoreille on perustettu erilaisia kohdennettuja tukiohjelmia. Esimerkiksi Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) myöntää tukea innovatiivisiin energiahankkeisiin. Suomessa myös Business Finland osallistuu julkisen sektorin innovaatiotoiminnan tukemiseen rahoittamalla julkisten toimijoiden tutkimus- ja kehitystyötä yritysten kanssa.¹² Lisäksi Sitra käynnistää ja toteuttaa hankkeita yhdessä yksityisten, julkisten ja kolmannen sektorin toimijoiden kanssa, jotka tähtäävät kestävän hyvinvoinnin lisäämiseen yhteiskunnassa.¹³

4.1 Tukimekanismien tulevaisuuden näkymät

Hakuja kansallisiin tukiohjelmiin avataan Suomessa vuosittain. Tukiohjelmien suuruus määritetään valtion talousarviossa.¹⁴ Euroopan Unionin tukimekanismien aikajänne vaihtelee huomattavasti. Esimerkiksi Horizon Europe -ohjelmalle on määritetty seitsemän vuoden kesto aika aikavälille 2020–2027, kun taas esimerkiksi Euroopan energiatehokkuusrahasto (EEEF) ja Euroopan investointipankki (EIP) valitsevat tuettavia hankkeita vuosittain ilman erikseen määritettyä päättymisajankohtaa.¹⁵ Lisäksi on mahdollista, että EU julkaisee uusia tukiohjelmia tulevien vuosien aikana edistääkseen ilmastotavoitteiden saavuttamisen todennäköisyyttä. Tukiohjelmien budjeteista kerrotaan myöhemmissä luvuissa.

4.2 Tukimekanismien tavoitteet

Energiatuen yleisenä tavoitteena on tukea hankkeita, joilla arvioidaan parhaiten voitavan edistää tulevaisuuden energiaratkaisuja uusiutuvaan energiaan koskevien vuoden 2030 EU-tavoitteiden ja vuoden 2035 kansallisten tavoitteiden saavuttamiseksi.

EU edistää aktiivisesti siirtymistä vähähiiliseen talouteen. Energia-alan EU-lainsäädäntöä päivitetään parhaillaan, jotta voidaan tehdä välttämättömiä yksityisiä ja julkisia investointeja puhtaaseen energiaan. Vähähiiliseen talouteen siirtymisen tavoitteena on luoda kestävä energiasectori, joka edistää kasvua, innovointia ja työllisyyttä ja parantaa samalla elämänlaatua, lisää valinnanvaraa,

¹² Valtioneuvosto 2018.

¹³ Sitra 2024. <https://www.sitra.fi/aiheet/rahoitus-hankkeisiin/#rahoituksen-hakeminen>

¹⁴ Motiva: Energiatuki. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatehokkuuden_rahoitus/kansallinen_rahoitus_tuet_ja_avustukset/energiatuki

¹⁵ EU Komissio 2024b https://commission.europa.eu/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes_fi, EEEF

<https://www.eeef.lu/home.html> ja EIP 2024a <https://www.eib.org/en/projects/topics/energy-natural-resources/energy/index>

vahvistaa kuluttajien oikeuksia ja pienentää viime kädessä myös kotitalouksien energiakustannuksia.¹⁶

Euroopan komissio on sitoutunut politiikkatoimiin, jotka edistävät Euroopan vihreän kehityksen ohjelman tavoitetta saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2050 mennessä. Tavoitteena on myös vahvistaa energian sisämarkkinoita, jolla varmistetaan varman, kohtuuhintaisen ja kestäväen energian saatavuus. Tähän asti EU:n energiapolitiikalla on ollut kolme päätavoitetta: entistä turvallisempi, kestävämpi ja edullisempi energiajärjestelmä. Euroopan vihreän kehityksen ohjelman myötä komission päätavoitteeksi on tullut hiilineutraaliuden saavuttaminen vuoteen 2050 mennessä. EU on sitoutunut vähentämään päästöjä 55 prosentilla vuoteen 2030 mennessä (EU Fit for 55-ohjelma), mikä on vahvistettu myös EU:n lainsäädännössä.¹⁷

Suomi on asettanut tavoitteeksi nostaa vuoteen 2030 mennessä uusiutuvan energian osuuden yli 50 prosenttiin loppukulutuksesta, energiaomavaraisuuden kasvattamisen yli 55 prosenttiin, Suomen tuodun öljyn kotimaisen käytön puolittamisen sekä uusiutuvien polttoaineiden osuuden nostamisen.¹⁸ Kansallisen energia- ja ilmastostrategian mukaan ydinenergia vastaa jatkossakin merkittävästä osasta Suomen koko ajan hiilineutraalimmaksi kehittyvää energiantuotantoa. Tuuli- ja aurinkoenergian lisäämisen vaikutuksena on vaihtelevan tuotannon osuuden lisääntyminen, mikä luo sähkösektorille haasteita, joihin tarvitaan väistämättä myös energiajärjestelmätasoisia ratkaisuja. Nämä haasteet korostuvat Suomen ilmasto-oloissa. Tästäkin syystä ydinvoima on sähkösektorilla tarpeellinen pitkän siirtymävaiheen ratkaisu.¹⁹

4.3 Kansalliset tukimekanismit

Energiatukea myönnetään projekteille, jotka edistävät uuden teknologian kehitystä, sen kaupallista käyttöä ja sähköjärjestelmän joustavuutta samalla edistäen energiansäästöä ja tehokkuutta. Painotus on hankkeissa, jotka ovat valmisteltuja ja edistävät energiatukiohjelman tavoitteita tehokkaasti ilman merkittäviä ympäristöhaittoja. Uudella teknologialla tarkoitetaan innovatiivisia kaupallisia ratkaisuja, joita ei ole laajalti käytetty Suomessa. Näitä hankkeita ovat usein ensimmäiset tai ensimmäiset testilaitokset, ja niiden käyttöönottoon liittyy enemmän kustannuksia tai riskejä verrattuna perinteiseen teknologiaan.²⁰

Energiatukiohjelma pyrkii tukemaan investointeja ja selvityshankkeita, jotka edistävät uusiutuvan energian käyttöä ja energiatehokkuutta, samalla tukien Suomen hiilineutraalisuustavoitteita. Ohjelman tavoitteena on tukea hankkeita, joilla on potentiaalia saavuttaa sekä EU:n vuoden 2030 tavoitteet että kansalliset energiavoitteet, ja jotka jäisivät toteuttamatta ilman tukea. Tuen avulla pyritään myös madaltamaan teknisiä ja taloudellisia riskejä uuden teknologian hankkeissa, ja edistämään energia- ja ilmastovaikutusten lisäksi myös positiivisia ulkoisvaikutuksia. Energiatukea myönnetään erilaisiin investointi- ja selvityshankkeisiin, kuten uusiutuvan energian tuotantoon, energiansäästöön sekä hukkalämmön hyödyntämiseen. Myöntämisestä vastaa työ- ja elinkeinoministeriö investointihankkeissa ja Innovaatorahoituskeskus Business Finland muissa tapauksissa. Hyväksytyt hankkeet, joiden investointikustannukset ylittävät 5 miljoonaa euroa, käsitellään suurten uuden energiateknologian demonstraatiohankkeiden tukihaussa.²¹

Uuden energiateknologian suurten demonstraatiohankkeiden investointitukien haussa vuodelle 2023 tavoitellaan merkittäviä edistysaskelia energia-alalla. Näihin hankkeisiin myönnettävät tuet

¹⁶ Euroopan Unioni -verkkosivut 2024. https://european-union.europa.eu/priorities-and-actions/actions-topic/energy_fi

¹⁷ EU Komissio 2024a. https://commission.europa.eu/topics/energy_fi

¹⁸ Maa- ja metsätalousministeriö 2024. <https://mmm.fi/luonto-ja-ilmasto/energia-ja-ilmastopolitiikka/kansallinen-energia-ja-ilmastopolitiikka>

¹⁹ Valtioneuvosto 2022. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/79189>

²⁰ TEM 2024. <https://tem.fi/energiatuki>

²¹ TEM 2024. <https://tem.fi/energiatuki>

kohdistuvat yli 5 miljoonan euron investointeihin ja tähtäävät tulevaisuuden energiaratkaisujen kehittämiseen vuoteen 2035 mennessä. Tavoitteena on tukea innovatiivisia teknologioita, jotka voivat levitä kansallisesti ja kansainvälisesti. Vuoden 2023 talousarvio varaa suurille demonstraatiohankkeille yhteensä 200 miljoonaa euroa, joista vähintään puolet on osoitettu vetyyn liittyviin uuden energiateknologian hankkeisiin. Tukea myönnetään hankkeille, joiden teknologia on innovatiivista ja joilla on potentiaalia merkittäviin energia- ja ilmastovaikutuksiin. Hakemukset arvioidaan kokonaisharkinnan ja teknologisen uutuusarvon perusteella, ottaen huomioon hankkeen toteutettavuus, energiantuotannon määrä, kustannustehokkuus sekä muut vaikutukset. Tukea voidaan myöntää yrityksille ja yhteisöille, mutta vain hankkeille, jotka eivät toteutuisi ilman tukea, ja niiden tulee odottaa tukipäätöstä ennen hankkeen aloittamista.²²

Työ- ja elinkeinoministeriön haastattelussa kävi ilmi, että energiatukea ei myönnetä ydinvoimalle. Sen sijaan vedyssä ensimmäiset hankkeet saavat tukea. Näin ollen tämänhetkisen (v. 2024) vetyyn liittyvää osuutta saatetaan mahdollisesti tukea, mutta ei ydinvoimaa. Investointiavustuksen avulla voitaisiin mahdollisesti lieventää kaasujäähdytteisen reaktorin riskejä. Kuitenkin sekä kaasujäähdytteiset reaktorit ydinvoimatuotannossa että kiinteä oksiditeknikka vedyntuotannossa ovat edelleen riskialttiita. Haastattelun perusteella näihin hankkeisiin saattaisi olla mahdollista saada tukea.

Innovatiiviset julkiset hankinnat -rahoitus tarjoaa mahdollisuuden kehittää innovatiivisia ratkaisuja palveluiden ja toiminnan uudistamiseksi. Tämä rahoitus on suunnattu hankintalain mukaisille julkisille hankintayksiköille, kuten kunnille ja virastoille, ja sen tarkoituksena on tukea ennakoluulotonta ratkaisujen ja toimintamallien kehittämistä vastaamaan muuttuviin vaatimuksiin. Julkinen sektori voi hyödyntää innovaatioita tuottaakseen kansalaisille parempia palveluja pienemmillä kustannuksilla ja luodakseen uusia markkinoita innovaatioiden syntymistä tukemalla. Rahoitus kattaa enintään 50 % projektin kokonaiskustannuksista ja sitä voi käyttää hankinnan valmisteluun, kilpailutukseen, yhteiskehittämiseen ja pilotointiin, joista vähintään 80 % muodostuu tutkimus- ja kehitystyöstä.²³

Rahoituksella voidaan tukea esimerkiksi innovatiivisen ratkaisun hankintaa, esikaupallista hankintaa (T&K-vaiheen rahoitus) tai katalyyttihankintaa, jossa lähes valmista tuotetta tai palvelua viimeistellään ja testataan hankintayksikön toimiessa uuden ratkaisun kärkikäyttäjänä. Business Finlandilla on toiminnassaan tiettyjä strategiapainotuksia, ja rahoitettavalla ratkaisulla on oltava vaikutuksia kyseisen toimialan kehittymiseen vähintään alueellisesti. Rahoituksen vaikuttavuuden varmistamiseksi hankkeet ovat yleensä merkittäviä kokoluokaltaan ja rahoitus kohdistetaan aloille, joilla on jo käynnissä merkittävää kehitystoimintaa.²⁴

Sitra tarjoaa rahoitusta hankkeisiin, jotka tähtäävät kestäväen hyvinvoinnin lisäämiseen yhteiskunnassa. Hankkeet voivat vaihdella muutaman vuoden projekteista pieniin, lyhytaikaisiin kokeiluihin ja ne toteutetaan yhteistyössä yksityisten, julkisten ja kolmannen sektorin toimijoiden kanssa. Rahoitettavat hankkeet liittyvät Sitran toiminnan teemoihin, kuten Kestävyysratkaisut, Reilu datatalous sekä Demokratia ja osallisuus. Lisäksi Sitra toteuttaa erilaisia pienimuotoisia kokeiluja ja osallistuu tutkimuksiin ja julkaisuihin yhteistyössä asiantuntijoiden kanssa. Rahoituksen hakemiseen ei ole erillistä hakuaikaa tai -lomaketta, vaan aiheesta kiinnostuneiden kannattaa olla suoraan yhteydessä aiheesta vastaavaan yhteyshenkilöön Sitran verkkosivujen kautta.²⁵

²² TEM 2024. <https://tem.fi/energiatuki>

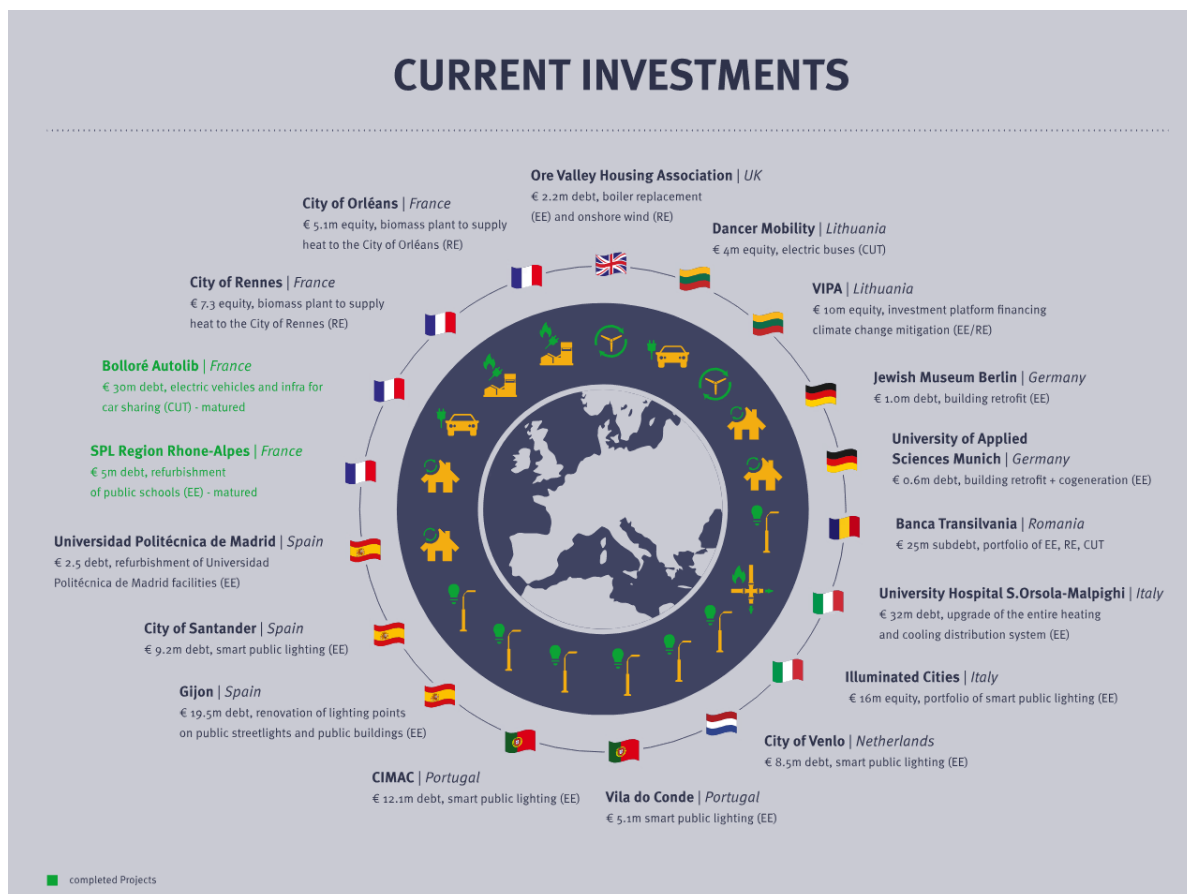
²³ Business Finland 2024. <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/tutkimus-ja-kehitysrahoitus/innovatiiviset-julkiset-hankinnat>

²⁴ Valtioneuvosto 2018. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161084/62-2018-Innovatiiviset%20menettelyt%20biotalouden%20ja%20puhtaiden%20ratkaisujen%20hankinnoissa_.pdf?sequence=1&isAllowed=y

²⁵ Sitra 2024. <https://www.sitra.fi/aiheet/rahoitus-hankkeisiin/#rahoituksen-hakeminen>

4.4 EU-tukimekanismeja

Euroopan energiatehokkuusrahasto (EEEF) pyrkii tukemaan Euroopan unionin ilmastotavoitteita (EU:n ilmasto- ja energiatavoitteet vuoteen 2030 sekä Euroopan vihreän kehityksen ilmasto-neutraalit tavoitteet) edistämällä kestävästä energiaympäristöstä ja ilmastonsuojelua mahdollistamalla hankkeita Euroopan kaupungeissa, alueilla ja yhteisöissä resilienssin infrastruktuurin rakentamiseksi. EEEF:n lopulliset edunsaajat ovat kunnalliset, paikalliset ja alueelliset viranomaiset sekä julkisia ja yksityisiä toimijoita, jotka toimivat näiden viranomaisten puolesta, kuten laitokset, julkinen liikenne, sosiaalisen asuntotuotannon yhdistykset ja energiapalveluyritykset.²⁶



Kuva 4-1. EEF Nykyiset investoinnit. ²⁷

Esimerkiksi Orleansin biomassavoimalan kokonaisinvestointi on noin 36 miljoonaa euroa. EEEF on investoinut projektiin sijoittamalla yhtiön osakkeisiin sekä osakaslainan muodossa. EEEF:n tuen osuus projektista on noin 14 %.²⁸

Liettuan VIPA-projektin tavoitteena on tukea maan vihreää siirtymää. Projektin rahoituksesta 75 % on käytetty uusiutuvan ja aurinkoenergia voimalaitosten asennuksiin, ja loput 25 % yleisen infrastruktuurin uusimiseen. EEEF on projektissa mukana osakkaana 10 miljoonan euron sijoituksella, joka on noin 27 % projektin 37 miljoonan euron kokonaisinvestoinnista.²⁹

Horizon Europe on EU:n tärkein rahoitusohjelma tutkimukselle ja innovaatioille. Se käsittelee ilmastomuutosta, auttaa saavuttamaan YK:n kestävästä kehityksen tavoitteet ja vauhdittaa EU:n

²⁶ EEEF 2024. <https://www.eeef.lu/home.html>

²⁷ <https://www.eeef.lu/files/images/content/investments/current-investments-hellblau.svg>

²⁸ EEEF: Impact Report 2022. <https://www.eeef.lu/impact-reports.html>

²⁹ EEEF: Impact Report 2022. <https://www.eeef.lu/impact-reports.html>

kilpailukykyä ja kasvua. Ohjelma edistää yhteistyötä ja vahvistaa tutkimuksen ja innovaation vaikutusta EU:n politiikkojen kehittämisessä, tukemisessa ja toteuttamisessa samalla kun se käsittelee globaaleja haasteita. Se tukee erinomaisen tiedon ja teknologioiden luomista ja parempaa levittämistä. Ohjelman kesto on tällä hetkellä 2021–2027 ja sen budjetti on 95,51 miljardia euroa.³⁰ Horisontti Eurooppa -ohjelmalla EU edistää vihreän siirtymän ja digitalisaation toteutumista, jotta sovittu tavoite ilmastoneutraalista Euroopan mantereesta voidaan saavuttaa vuoteen 2050 mennessä. Tämä on toteutettava siten, että Euroopan kilpailukyky ja omavaraisuus vankistuvat sekä TKI-toiminnan tulosten hyödynnettävyys ja käytettävyys sekä kansalaisten että yhteiskunnan näkökulmasta vahvistuvat. Tukea voivat hakea yritykset, tutkijat, korkeakoulut, tutkimuslaitokset, järjestöt, säätiöt, viranomaistahot, kaupungit, kunnat. Rahoitustyyppinä on avustukset, lainat ja sijoitukset, takuut ja hankinnat.³¹ Muutamia esimerkkejä Horizon Europe -ohjelman myönnettyistä tuista:

- **EuropeWave**, Aaltovoimaloiden R&D-projekti 2021–2026. Projektin kokonaisinvestointi noin 22,7 miljoonaa euroa, josta EU:n kontribuutio 11,35 miljoonaa euroa (~50 %)³²
- **ININTERESTING**, Tuulivoimaloiden turbiinien kehitysprojekti 2020–2022. Projektin kokonaisinvestointi ~4,75 miljoonaa euroa, josta EU:n kontribuutio 100 %.³³
- **McSAFER**, Small modular reactor -teknologian turvallisuuden kehittämisprojekti 2020–2024. Projektin kokonaisinvestointi 4,05 miljoonaa euroa, josta EU:n kontribuutio 99 %.³⁴
- **ECC-SMART**, EU-Kanada-Kiina välinen yhteistyöprojekti SMR-teknologian kehittämiseksi. 2020 – 2025, projektin kokonaisinvestointi 8,97 miljoonaa euroa, josta EU:n kontribuutio noin 4 miljoonaa euroa (~44 %)³⁵

Euroopan investointipankki (EIP) rahoittaa kestäviä energiaprojekteja ympäri maailmaa. Se auttaa vähentämään päästöjä ja energialaskuja tarjoamalla enemmän rahoitusta puhtaiden energialähteiden edistämiseen sekä innovatiivisiin ratkaisuihin. Euroopan investointipankki tukee innovaatioita ja innovatiivista energiainfrastruktuuria, kuten hajautettua energiantuotantoa, energian varastointia, sähköajoneuvoja ja innovatiivisia liiketoimintamalleja.³⁶ EIP tarjoaa hankkeisiin lainoja innovaatioiden, pk-yritysten, infrastruktuurihankkeiden ja ilmastotoimien rahoittamiseen. Lainamäärät ovat lähtökohtaisesti yli 15 miljoonaa euroa ja rahoituskokonaisuus sovitaan hankekohtaisesti.³⁷

Esimerkkiprojekteja, joita EIP on rahoittanut:

- **ATLAS IBERIA RE GREEN LOAN**, 2,5GW maatuulivoima- ja aurinkosähkövoimaloiden rakentamisen ja toiminnan osittainen rahoitus Espanjan ja Portugalin alueella. Projektin kokonaiskustannus 1,26 miljardia euroa, josta EIP:n lainaama osuus 450 miljoonaa euroa.³⁸
- **HE DREIHT OFFSHORE WIND**, 960MW merituulivoimapuiston rakentaminen Saksan rannikolle. Projektin kokonaiskustannukset ovat arviolta noin 2,4 miljardia euroa. EIP:lta haetun lainan suuruus on 1,075 miljardia euroa, josta on tällä hetkellä myönnetty 600 miljoonaa euroa.³⁹

³⁰ EU Komissio 2024b. https://commission.europa.eu/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes_fi

³¹ EU Rahoitusneuvonta 2024. <https://www.eurahoitusneuvonta.fi/ohjelmat/horisontti-eurooppa>

³² EU Komissio: CORDIS: EuropeWave. (<https://cordis.europa.eu/project/id/883751>)

³³ EU Komissio: CORDIS: ININTERESTING (<https://cordis.europa.eu/project/id/851245>)

³⁴ EU Komissio: CORDIS: McSAFER (<https://cordis.europa.eu/project/id/945063>)

³⁵ EU Komissio: CORDIS: ECC-SMART (<https://cordis.europa.eu/project/id/945234>)

³⁶ EIP 2024a. <https://www.eib.org/en/projects/topics/energy-natural-resources/energy/index>

³⁷ EU Rahoitusneuvonta 2024. <https://www.eurahoitusneuvonta.fi/ohjelmat/horisontti-eurooppa>

³⁸ EIB: Our projects. <https://www.eib.org/en/projects/pipelines/all/20200839>

³⁹ EIB: Our projects. <https://www.eib.org/en/projects/pipelines/all/20220473>

- **BORDEAUX LITHIUM ION BATTERY STORAGE**, 105MW Litium ioni akkujen varastointi- kapasiteetin rakentaminen Ranskan New-Aquitaneen alueella. Projektin kokonaiskustannukset ovat 61 miljoonaa euroa, josta EIP:n rahoittama osuus on 16 miljoonaa euroa (~26 %).⁴⁰
- **ASJA WIND REPOWERING AND NEW PROJECTS**, useiden tuuli- ja aurinkovoimaloiden rahoittaminen Italiassa. Projektin arvioidut kokonaiskustannukset ovat 231 miljoonaa euroa, johon EIP on lainannut 50 miljoonaa euroa (~22 % kokonaisinvestoinnista).⁴¹

Innovaatorahasto on Euroopan ilmasto-, infrastruktuuri- ja ympäristötoimeenpanoviraston (CINEA) hallinnoima. Sen tavoitteena on luoda taloudellisia kannustimia yrityksille ja julkisille viranomaisille investoida huipputeknologiaan vähähiilisiin ja hiilineutraaleihin teknologioihin sekä tukea Euroopan siirtymistä ilmastoneutraaliuteen. Se rahoittaa projekteja energiavaltaisilla aloilla, hiilidioksidin talteenotossa ja varastoinnissa, uusiutuvassa energiassa ja energian varastoinnissa. Innovaatorahastosta rahoitettiin vuonna 2023 suuria lippulaivahankkeita (>100 M€), keskisuuria hankkeita (20–100 M€) ja pienimuotoisia hankkeita (2,5–20 M€), jotka voivat saada aikaan merkittäviä päästövähennyksiä kaikilla EU:n päästökauppajärjestelmädirektiivin kattamilla energiaintensiivisillä teollisuudenaloilla. Rahoitustyyppinä on avustukset. (EU Rahoitusneuvonta, 2024) Innovaatorahaston rahoitusta haetaan vuosittain Fund Call -hakemuksella. Seuraavan hakemuskierroksen deadline oli 9.4.2024 klo 17:00 (CEST).⁴² Alla olevissa kuvissa (Kuva 4-2 ja Kuva 4-3) esitetty muutamia esimerkkejä CINEA:n myöntämistä tuista.

List of projects					
Project number	P... a...	Project title	EU contribution	Project location countries	
Totals			135,350,424		
101038892	NAWEP	Norse Airborne Wind Energy Project	3,350,473	Norway	
101038976	Aquilon	Airborne wind hybrid renewable microgrid with RedOX Flow battery to provide flat renew...	2,024,737	Germany	
101085995	N2OWF	Nordsee Two Offshore Windfarm Innovation Project	95,876,645	Germany	
101103465	Sustain...	Reducing maritime transport CO2 emissions using wind	4,098,569	Spain	
101132817	HIPPOW	Highly Innovative Prototype of the most Powerful Offshore Wind turbine generator	30,000,000	Denmark	

Kuva 4-2. Wind energy - Innovation Fund Project Portfolio - Innovation Fund - Portfolio of signed projects | Sheet⁴³

Kuvassa (Kuva 4-2) on esitetty CINEA:n myöntämiä tukia eri tuulivoimahankkeisiin. Nordsee 2 - tuulivoimala puiston kokonaisinvestointi on arviolta noin 4 miljardia euroa.⁴⁴ Näin ollen CINEA:n tuen osuus projektista on noin 2,5 %. Norse Airborne Wind Energy Project kokonaisinvestointi oli noin 7,45 miljoonaa euroa, joten CINEA:n tuen osuus projektista oli noin 45 %.⁴⁵

⁴⁰ EIB: Our projects. <https://www.eib.org/en/projects/pipelines/all/20220337>

⁴¹ EIB: Our projects. <https://www.eib.org/en/projects/pipelines/all/20210653>

⁴² CINEA 2024. https://cinea.ec.europa.eu/programmes/innovation-fund_en

⁴³ CINEA (https://dashboard.tech.ec.europa.eu/qs_digit_dashboard_mt/public/sense/app/6e4815c8-1f4c-4664-b9ca-8454f77d758d/sheet/bac47ac8-b5c7-4cd1-87ad-9f8d6d238eae/state/analysis)

⁴⁴ CINEA 2024. https://cinea.ec.europa.eu/programmes/innovation-fund_en

⁴⁵ CINEA (https://dashboard.tech.ec.europa.eu/qs_digit_dashboard_mt/public/sense/app/6e4815c8-1f4c-4664-b9ca-8454f77d758d/sheet/bac47ac8-b5c7-4cd1-87ad-9f8d6d238eae/state/analysis)

List of projects				
Project number	P... a...	Project title	EU contribution	Project location countries
Totals			133,019,745	
101038836	CO2-Fr...	CO2-Free Agriculture for the Mediterranean region	4,356,000	Spain
101038919	HELEXI...	Demonstrating manufacturing for innovative BIPV roof components	3,733,140	France
101039009	DMC	DECARBOMALT CROATIA	4,499,338	Croatia
101051356	TANGO	ITalian PV Giga factOry	117,675,100	Italy
101103027	AGRIV...	The Brouchy Agrivoltaic Canopy - An acceleration toward energy transition	2,756,167	France

Kuva 4-3. Solar energy - Innovation Fund Project Portfolio - Innovation Fund - Portfolio of signed projects | Sheet⁴⁶

Kuvassa (Kuva 4-3) on esitetty CINEA:n myöntämiä tukia eri aurinkovoimahankkeisiin. Esimerkiksi DECARBOMALT CROATIA kokonaisinvestointi 7,5 miljoonaa euroa, joten CINEA:n osuus koko hankkeen rahoituksesta on noin 60 %. CO2-Free Agriculture for the Mediterranean region kokonaisinvestointi 7,49 miljoonaa euroa⁴⁷, joten CINEA:n osuus hankkeesta on noin 60 %.

4.5 Globaaleja tukimekanismeja

Maailmanpankin (World Bank) tavoitteena on vähentää köyhyyttä ja edistää maailmanlaajuisia kestävä kehitystä. Tämän vuoksi Maailmanpankin tarjoamat tukimekanismit eivät sovellu tämän kyseisen hankkeen rahoitusmahdollisuuksiksi. Maailmanpankki tarjoaa muun muassa seuraavanlaista rahoitusta:

- Investointiprojektirahoitus tarjoaa rahoitusta hallituksille toimintoihin, jotka luovat köyhyyden vähentämiseksi tarvittavan fyysisen ja sosiaalisen infrastruktuurin sekä edistävät kestävä kehitystä.
- Kehityspoliittinen rahoitus tarjoaa budjettitukea hallituksille tai poliittiselle alueelle ohjelmaan, joka koostuu politiikka- ja institutionaalisista toimista, joiden avulla pyritään kestävään, jaettuun kasvuun ja köyhyyden vähentämiseen.

Tulostavoitteinen ohjelma liittyy Maailmanpankin varojen jakamisen suoraan määriteltyjen tulosten saavuttamiseen, auttaen maita parantamaan omien kehitysohjelmiensa suunnittelua ja toteuttamista sekä saavuttamaan kestäviä tuloksia vahvistamalla instituutioita, tehostamalla järjestelmiä ja rakentamalla kapasiteettia.⁴⁸

⁴⁶ CINEA (https://dashboard.tech.ec.europa.eu/qs_digit_dashboard_mt/public/sense/app/6e4815c8-1f4c-4664-b9ca-8454f77d758d/sheet/bac47ac8-b5c7-4cd1-87ad-9f8d6d238eae/state/analysis)

⁴⁷ CINEA (https://dashboard.tech.ec.europa.eu/qs_digit_dashboard_mt/public/sense/app/6e4815c8-1f4c-4664-b9ca-8454f77d758d/sheet/bac47ac8-b5c7-4cd1-87ad-9f8d6d238eae/state/analysis)

⁴⁸ Maailmanpankki 2024. <https://www.worldbank.org/en/what-we-do/products-and-services/financing-instruments>

Taulukko 4-1. Avustukset

Tukimekanismi	Painopisteet	Kohderyhmä	Tavoitteet	Mahdollinen avustuksen määrä
Energiatuki	<ul style="list-style-type: none"> • Uuden teknologian kehitys • Energiatehokkuus • Uusiutuvien energialähteiden käyttö 	<ul style="list-style-type: none"> • Investointihankkeet • Julkiset toimijat ja yritykset 	<ul style="list-style-type: none"> • Edistää energiatehokkuutta ja uusiutuvien energialähteiden käyttöä • Vähentää ympäristöhaittoja 	Enintään 30 % projekti
Innovaatiotuki (Business Finland)	<ul style="list-style-type: none"> • Julkiset hankinnat • Ennakkoluulottomat ratkaisut • Uusien toimintamallien kehittäminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Julkiset hankintayksiköt, kuten kunnat ja virastot 	<ul style="list-style-type: none"> • Edistää innovaatioita julkisissa palveluissa ja toiminnassa • Luoda uusia markkinoita ja pienentää kustannuksia 	Enintään 50 % projekti
Sitra	<ul style="list-style-type: none"> • Kestävän hyvinvoinnin lisääminen • Yhteistyö eri toimijoiden välillä 	<ul style="list-style-type: none"> • Yksityiset, julkiset ja kolmannen sektorin toimijat 	<ul style="list-style-type: none"> • Tukea hankkeita, jotka edistävät kestävästä hyvinvointia ja tekevät yhteistyötä eri toimijoiden kanssa 	Vaihtelee projekteittain
Euroopan energiatehokkuusrahasto (EEEF)	<ul style="list-style-type: none"> • Ilmastotavoitteiden saavuttaminen • Kestävän energiainfrastruktuurin rakentaminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kunnalliset, paikalliset ja alueelliset viranomaiset, yritykset, julkiset ja yksityiset toimijat 	<ul style="list-style-type: none"> • Edistää kestävästä energiainfrastruktuurin rakentamista Euroopassa 	Vaihtelee projekteittain
Horizon Europe	<ul style="list-style-type: none"> • Ilmastonmuutoksen torjunta EU:n kilpailukykyyn ja kasvun tukeminen • Tutkimuksen ja innovaation edistäminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Tutkimuslaitokset, yritykset, julkiset organisaatiot 	<ul style="list-style-type: none"> • Tukea tutkimusta ja innovaatiota, saavuttaa ilmastotavoitteet ja edistää Euroopan kilpailukykyä 	Vaihtelee projekteittain
Innovaatio-rahasto	<ul style="list-style-type: none"> • Investoinnit vähähiilisiin ja hiilineutraaleihin teknologioihin • Energia-ala, hiilidioksidin talteenotto ja varastointi, uusiutuva energia ja energian varastointi 	<ul style="list-style-type: none"> • Yritykset, julkiset ja yksityiset toimijat 	<ul style="list-style-type: none"> • Luoda taloudellisia kannustimia investoida vähähiilisiin ja hiilineutraaleihin teknologioihin ja tukea Euroopan siirtymistä ilmastoneutraaliuteen 	Vaihtelee projekteittain

Taulukko 4-2. Lainat

Tukimekaniismi	Painopisteet	Kohderyhmä	Tavoitteet	Mahdollinen lainan määrä
Euroopan energiatehokkuusrahasto (EEEF)	<ul style="list-style-type: none"> • Ilmastotavoitteiden saavuttaminen • Kestävän energiainfrastruktuurin rakentaminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kunnalliset, paikalliset ja alueelliset viranomaiset, yritykset, julkiset ja yksityiset toimijat 	<ul style="list-style-type: none"> • Edistää kestävän energiainfrastruktuurin rakentamista Euroopassa 	Vaihtelee projekteittain
Horizon Europe	<ul style="list-style-type: none"> • Ilmastonmuutoksen torjunta EU:n kilpailukyvyyn ja kasvun tukeminen; • Tutkimuksen ja innovaation edistäminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Tutkimuslaitokset, yritykset, julkiset organisaatiot 	<ul style="list-style-type: none"> • Tukea tutkimusta ja innovaatiota, saavuttaa ilmastotavoitteet ja edistää Euroopan kilpailukykyä 	Vaihtelee projekteittain
Euroopan investointipankki (EIP)	<ul style="list-style-type: none"> • Kestävien energiaprojektien rahoitus; • Innovaatioiden tukeminen energiainfrastrukturissa 	<ul style="list-style-type: none"> • Kunnalliset, paikalliset ja alueelliset viranomaiset, yritykset, julkiset ja yksityiset toimijat 	<ul style="list-style-type: none"> • Rahoittaa kestäviä energiaprojekteja ja tukee innovaatioita energiainfrastrukturissa 	Vaihtelee projekteittain

5. HANKKEEN KESTÄVYYSKRITEERIT

5.1 Yleistä

Kestävyysskriteereistä säädetään EU:n taksonomia-asetuksessa (EU) 2020/852 sekä tarkemmin toimialoittain taksonomia-asetuksen täytäntöönpanoasetuksessa (EU) 2021/2139. Näihin liittyy kiinteästi päivitetty tilinpäätösdirektiivi 2013/34/EU (CSRD) ja sen kestävyysraportointisäännökset sekä ESR-standardiasetus (EU) 2023/2772, joissa on otettu huomioon kansainvälinen kehitystyö (EFRAG, GRI, ISSB). Rahoittajat ottavat huomioon kestävän rahoituksen asetuksen (EU) 2016/1011 muutettuna asetuksilla (EU) 2019/2089 ja (EU) 2021/168. Kestävästä rahoituksesta on annettava tiedot FSRD-asetuksen (EU) 2019/2088 mukaisesti.

Teknisillä arviointikriteereillä määritetään, edistetäänkö sähkön- ja lämmön yhteistuotannolla merkittävästi ilmastonmuutoksen hillintää. Kriteerien täyttyminen varmistaa, että kasvihuonekaasupäästöjä vähennetään tai vältetään. Kasvihuonekaasupäästöihin perustuvat tekniset arviointikriteerit osoittavat tällöin, kuinka näillä toimenpiteillä hiilestä irtautuminen etenee.

Monimutkaisen sääntelyn taustalla on tarve arvioida toiminnan taloudellista, sosiaalista ja ympäristöllistä kestävyyttä. Kestävyysskriteerien mukainen toiminta vaikuttaa kestäviin hankkeisiin investoihin rahastoihin ja muihin institutionaalisiin sijoittajiin. Vaatimukset sijoittamisen rahoittamisesta voivat lyhyellä aikavälillä vaikuttaa myös sijoitettavan pääoman tuottovaatimuksiin. Sama koskee lainarahoitusta.

5.2 Ydinvoima

Ilmastoneutraalin energian merkityksen arvioinnissa komissio arvioi olemassa olevien teknologioiden mahdollisen panoksen ja toteutettavuuden. Ydinenergian osalta tämä arviointi on vielä kesken. Komissio toteuttaa jatkotoimia arvioinnin tulosten perusteella tämän asetuksen puitteissa heti kun kyseinen prosessi on saatu päätökseen. Joint Research Centre (JRC) on vuonna 2021 antanut arvion, jonka mukaan ydinvoima täyttää DNSH-kriteerit (Do No Significant Harm)⁴⁹. DNSH-periaatteen mukaan toiminta ei saa aiheuttaa merkittävää haittaa kuudelle taksonomiaregulaatiossa määritellylle ympäristötavoitteelle.

5.3 Sähkön ja kaukolämmön yhteistuotanto

Täytäntöönpanoasetuksen (EU) 2021/2139 kohdassa 4.19 on kuvattu kestävyyskriteerit lämmön tai jäädytyksen ja sähkön yhteistuotannolle uusiutuvilla ei-fossiilisilla kaasumaisilla ja nestemäisillä polttoaineilla. NACE-asetuksen (EY) N:o 1893/2006 taloudellisen toiminnan toimialaluokituksissa on useampia soveltuvia NACE-koodeja, erityisesti koodit D35.11 ja D35.30. Ydinenergialla valmistettavan höyryn sähkön ja kaukolämmön yhteistuotannolle ei ole vielä kriteereitä. **Ilmastonmuutoksen hillinnan merkittävälle edistämiseksi** (ESRS E1) on ei-fossiilisilla kaasumaisilla ja nestemäisillä polttoaineilla tuotettuna useita kriteerejä, mm. elinkaarenaikaisten kasvihuonekaasupäästöjen on oltava alle 100 g CO₂e/kWh yhteistuotannon energiatuotosta.

Erilliset kriteerit on asetettu toiminnalle sen arvioimiseksi, ettei se aiheuta merkittävää haittaa ilmastonmuutokseen sopeutumiselle (liitteen lisäys A, ESRS E1), vesivarojen ja merten tarjoamien

⁴⁹Technical assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU) 2020/852 ('Taxonomy Regulation'): <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2fd300ea-00e9-11ec-8f47-01aa75ed71a1>

luonnonvarojen kestäväälle käytölle ja suojelulle (liitteen lisäys B, ESRS E3), ympäristön pilaantumisen ehkäisemiselle ja vähentämiselle (BAT-päätelmä ja -päästötasot sekä 1–50 MW polttolaitosten BAT-päätelmien kynnyksarvot sekä direktiivin (EU) 2015/2193 liitteen II osan 2 päästöraja-arvot, ESRS E2) sekä biologisen monimuotoisuuden ja ekosysteemien suojelulle ja ennallistamiselle (liitteen lisäys D, ESRS E4).

5.4 Vedyn valmistus

Vedyn ja vetyyhdyntöjen synteettisten polttoaineiden valmistus luokitellaan NACE-koodiin C20.11 asetuksessa (EY) N:o 1893/2006 vahvistetun tilastollisen toimialaluokituksen mukaisesti. Toiminta **edistää merkittävästi ilmastonmuutoksen hillintää**, kun se täyttää direktiivin (EU) 2018/2001 25 artiklan 2 kohdassa ja liitteessä V säädetyn lähestymistavan mukaisesti elinkaarenaikaisten kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiä koskevan 73,4 % vaatimuksen vedyn osalta [elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöt ovat alle 3 tCO_{2e}/tH₂] ja 70 % vaatimuksen vetyyhdyntöjen synteettisten polttoaineiden osalta suhteessa fossiilisten polttoaineiden vertailukohtaan, joka on 94 g CO_{2e}/MJ.

Elinkaarenaikaisten kasvihuonekaasupäästöjen vähennykset lasketaan käyttämällä direktiivin (EU) 2018/2001 28 artiklan 5 kohdassa tarkoitettuja menetelmiä tai vaihtoehtoisesti standardia ISO 14067:2018 (119) tai ISO 14064-1:2018 (120). Määrälliset elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöjen vähennykset todennetaan tarvittaessa direktiivin (EU) 2018/2001 30 artiklan mukaisesti, tai ne todentaa riippumaton kolmas osapuoli. Hiilidioksidi voidaan myös ottaa talteen maanalaista varastointia varten teknisten arviointikriteerien mukaisesti.

Täytäntöönpanoasetuksessa (EU) 2021/2139 edellytetään kestävältä vedyn valmistukselta, ettei se aiheuta merkittävää haittaa Ilmastonmuutokseen sopeutumiselle, jolloin on täytettävä asetuksen (EU) 2021/2139 liitteen lisäyksen A vaatimukset. Liitteen lisäyksen B vaatimuksilla varmistetaan vesivarojen ja merten tarjoamien luonnonvarojen kestävä käyttö ja suojelu (ESRS E3).

Ympäristön pilaantumisen ehkäiseminen ja vähentämiselle ei aiheudu merkittävää haittaa, kun toiminta täyttää liitteen lisäyksen C vaatimukset (ESRS E2). Päästöjen on oltava BAT-päätelmissä määritettyjen parhaiden käytettävissä olevien tekniikoiden (BAT-päästötasot) vaihteluvälien sisällä tai niitä pienempiä, ml. mm. kemian alan jätevesien ja jätekaasujen yhdenmukaisten käsittely- ja hallintajärjestelmien BAT-päätelmät. Merkittäviä kokonaisympäristövaikutuksia ei saa esiintyä.

5.5 Vedyn varastointi

Vetyä varastoivien ja myöhemmin palauttavien laitosten rakentamista ja käyttöä ei ole luokiteltu NACE-koodiasetuksessa (EY) N:o 1893/2006 vahvistetussa tilastollisessa toimialaluokituksessa. Tähän luokkaan kuuluva taloudellinen toiminta on asetuksen (EU) 2020/852 10 artiklassa (1 i alakohta) tarkoitettua toimintaa, jos se täyttää tässä jaksossa vahvistetut tekniset arviointikriteerit. Ilmastonmuutoksen hillintää edistetään merkittävästi, kun toiminta on vedyn varastointilaitosten rakentamista, olemassa olevien maanalaisten kaasunvarastointilaitosten muuttaminen vedyn varastointiin tarkoitetuiksi laitoksiksi tai kyse on vedyn varastointilaitosten toiminnasta, kun laitokseen varastoituu vetyä täyttää edellä kuvatut (EU) 2021/2139 liitteen 3.10 jaksossa säädetyt vedyn valmistuskriteerit.

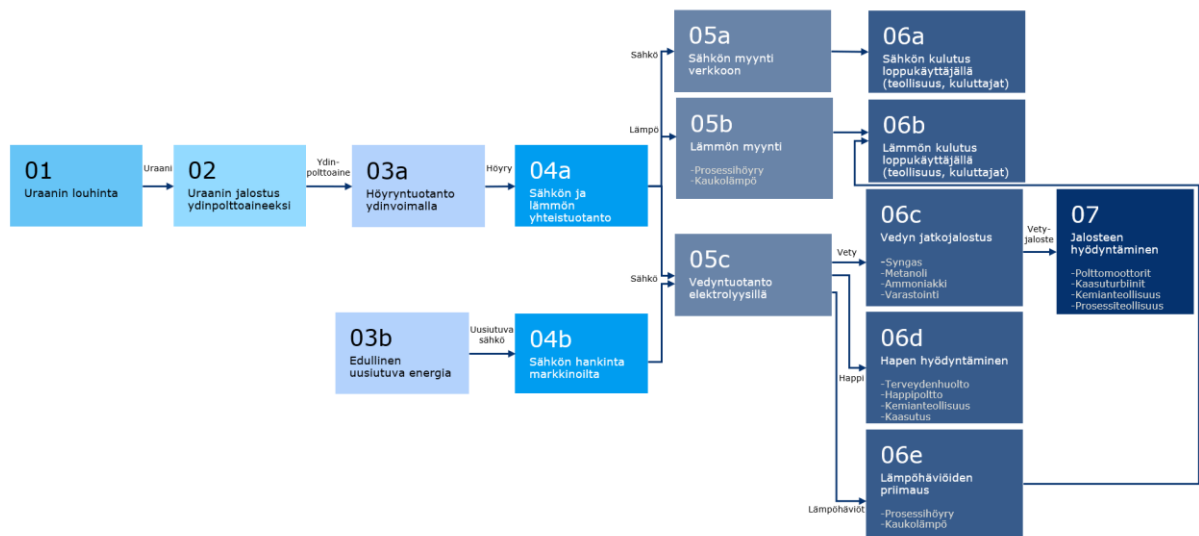
Toiminnan ei erillisten kriteerien täytyessä katsota aiheuttavan merkittävää haittaa ilmastonmuutokseen sopeutumiselle, kiertotalouteen siirtymiselle (jätehuoltosuunnitelmassa uudelleenkäyttö, uudelleenvalmistus tai kierrätys käyttöänsä lopussa, ESRS E5), ympäristön pilaantumisen ehkäisemiselle ja vähentämiselle (yli 5 t varastointimäärien kohdalla toiminnan on oltava direktiivin

2012/18/EU mukaista, ESRS E2) taikka biologisen monimuotoisuuden ja ekosysteemien suojelulle ja ennallistamiselle (liitteen lisäys D, ESRS E4).

6. TALOUDELLINEN ARVOKETJU JA TUOTEMARKKINAT

6.1 Taloudellinen arvoketju

Taloudellisella arvoketjulla kuvataan tässä tapauksessa MMR-laitoksen hankeyhtiön toimintoja ja prosesseja, joilla luodaan arvoa tuotteiden tai palveluiden kautta. Tämä ketju pitää sisällään kaikki vaiheet alkutuotannosta lähtien päätyen loppukäyttäjälle tarjottavaan arvoon. Laitoksen taloudellista arvoketjua on havainnollistettu alla olevassa kuvassa (Kuva 6-1).



Kuva 6-1. MMR-laitoksen taloudellinen arvoketju

MMR-laitoksen arvoketju lähtee liikkeelle ydinpolttoaineeksi soveltuvan uraanin louhimisesta (01) ja jatkojalostuksesta (02) reaktoriin kelpaavaksi polttoaineeksi. Ydinvoimalassa hajoamisreaktio vapauttaa lämpöenergiaa, joka otetaan talteen prosessissa kiertävään höyryyn (03a), jonka avulla tuotetaan sähköä ja lämpöä (04a).

Sähkö voidaan myydä sellaisenaan valtakunnanverkkoon, jolloin tuottaja saa siitä joko kiinteän sopimuksen mukaisen hinnan tai Spot-hinnan (05a). Sähkö kulutetaan loppukäyttäjällä, joka voi olla yksittäinen kuluttaja tai teollisuusyksikkö (06a). Sähköntuotannossa kaikkea lämpöä ei saada muunnettua sähköksi. Syntyvää lämpöenergiaa voi myydä kaukolämmöntuotantoon tai prosessiteollisuuden tarpeisiin (05-06b). Mikäli laitoksen yhteydessä on vedyntuotantolaitos, kaikkea sähköä ei tarvitse suoraan myydä verkkoon vaan tuotettua sähköä voidaan hyödyntää vedyntuotannossa. Sähkön ollessa edullista tai ilmaista paremman tuoton voi saada tuottamalla sähköllä vetyä (05c). Tällöin vetylaitos toimisi säätövoimana varastoiden energiaa.

Vety voidaan joko myydä sellaisenaan muualle, tai edelleen jatkojalostaa parantaen sen käytettävyyttä (06c). Jaloste voidaan edelleen myydä loppukäyttäjälle (07). Jalosteen hyödyntämistapa riippuu suuresti paikallisista mahdollisuuksista ja jalosteen tyypistä. Esimerkiksi metanolia pystytään hyödyntämään polttomoottoriautossa fossiilisten polttoaineiden korvaajana tai kemianteollisuuden raaka-aineena. Ammoniakkia voi hyödyntää mm. lannoitetuotannossa tai kylmäaineena.

Sähkön ollessa erittäin edullista tai jopa negatiivishintaista voi olla myös mahdollista ostaa verkosta edullista energiaa, ja tuottaa sillä vetyä (03-04b). Vedyn voi edelleen jatkojalostaa ja myydä eteenpäin edeltävän kappaleen mukaisesti.

Elektrolyysissä syntyy vedyn ohella myös happea. Hapen voi hyödyntää esimerkiksi terveydenhuollon tarpeisiin, voimalaitosten happipolttoon tai kemianteollisuuteen (06d). Vedyntuotannossa elektrolyysissä tapahtuu häviötä lämpöhäviöiden muodossa. Matalan lämpötilan häviöitä voi olla haastavaa hyödyntää. Kuitenkin esimerkiksi lämpöpumpuilla matalalämpötilaisen höyryn lämpötilaa voidaan nostaa, jolloin se soveltuu syötettäväksi kaukolämpöverkkoon (06e).

Eriteltyjen osioiden lisäksi arvoketjuun sisältyy myös merkittävästi logistiikkaa sekä eri maiden välillä että Suomen sisällä. Uraanin jalostusta lukuun ottamatta kaikki arvoketjun vaiheet voidaan toteuttaa Suomessa. Vedyn muoto raakavedyn ja pitkälle viedyn jalosteen välillä vaikuttaa oleellisesti tarvittavan logistiikan tyyppiin. Vetykaasun siirtäminen kaasuputkella on toimiva tapa, mutta jakeluverkon ulottumattomissa tai jalosteen ollessa esimerkiksi nestemäistä on toimivampaa hyödyntää meriliikennettä tai vastaavaa logistiikkaa. Kulujen ja päästöjen vähentämiseksi on kuitenkin kannattavaa sijoittaa vedyn tuotanto ja kulutus toistensa läheisyyteen.

6.2 MMR-laitoksen lopputuotteiden omakustannushinta

Omakustannushinnalla tarkoitetaan sitä hintaa, joka kattaa tuotteen tuotantokustannukset sekä tietyn osuuden laitoksen kiinteistä kustannuksista. Omakustannushinta on keskeinen tekijä energiayhtiölle, kun halutaan arvioida tuotannon kannattavuutta.

MMR-laitoksen omakustannushintojen määrittäminen perustuu laitoksen muuttuvien ja kiinteiden kustannusten kohdistamiseen laitoksen lopputuotteille eli lämmölle, sähkölle ja vedylle. Muuttuvat kustannukset pitävät tässä tapauksessa sisällään polttoainekustannukset, automaksut, sähkön ostoon liittyvät kustannukset sekä raaka- ja jätevesimaksut. Kiinteät kustannukset sen sijaan käsittävät kunnossapitokustannukset, henkilöstökustannukset, kiinteistöveron ja muut kiinteät kustannukset, kuten tonttivuokra ja vakuutukset. Lisäksi omakustannushinnoissa on huomioitu alkuinvestointikustannukset, vieraan pääoman rahoituskustannukset, laitoksen elinajan kunnossapitoon liittyvät investointikustannukset ja investointituen vaikutukset (30 %). MMR-laitoksen myydyin lämmön, sähkön ja vedyn omakustannushinnat tuotantolaitosvaihtoehdoittain vieraan pääoman takaisinmaksuajalle (25 v) on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 6-1).

Taulukko 6-1. Myytyjen lopputuotteiden omakustannushinnat tuotantolaitosvaihtoehdoittain vieraan pääoman takaisinmaksuajalle (25 v)

Lopputuote	1.1.	1.2.	2.1.	2.2.	3.1.	3.2.
Lämpö (€/MWh)	20,7	22,1	25,9	25,0	30,1	32,2
Sähkö (€/MWh)			26,5	25,6	30,7	32,8
Vety (€/kg)					2,2	2,4

Kustannukset, joita ei voi suoranaisesti kohdistaa tietyn lopputuotteen valmistukseen, on jaettu kaikille lopputuotteille energiasisällön (MWh) painottaen. Kuitenkin vetylaitosvaihtoehdoissa ve-

dylle on kohdistettu myös sen tarvitseman laitoksen tuottaman sähkön kustannukset. Kustannukset, jotka voidaan suoraan kohdistaa tietylle lopputuotteelle, kuten raaka- ja jätevesimaksut, on kohdistettu kokonaisuudessa kyseiselle lopputuotteelle.

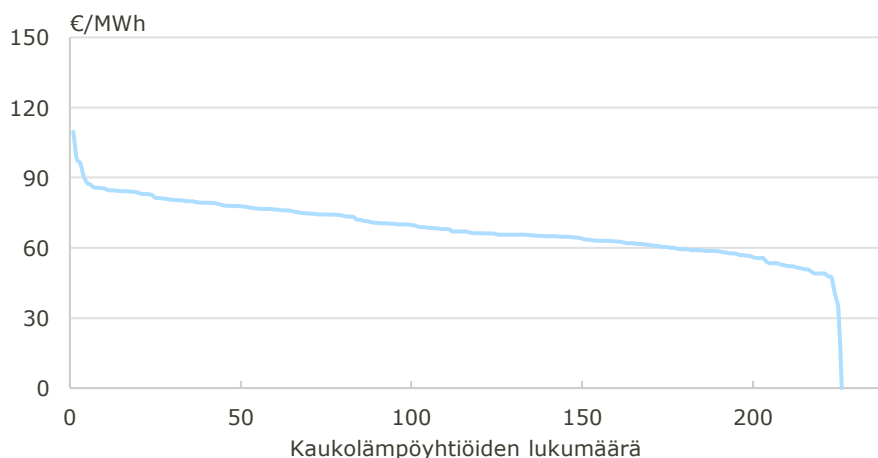
6.3 MMR-laitoksen tuotteiden markkinat ja niiden arvio niiden kehityksestä

6.3.1 Kaukolämpömarkkinat

Kaukolämmöllä on ollut pitkään merkittävä osuus Suomen lämpömarkkinoilla. Tällä hetkellä kaukolämpö kattaa koko lämpömarkkinoista hieman alle 50 %. Erilaisten kiinteistökohtaisten ratkaisujen osuus lämpömarkkinoista on kuitenkin kasvanut johtuen mm. lämmön tuotantomuotojen kehityksestä sekä asiakkaiden kasvavasta kiinnostuksesta omaan hiilineutraaliin lämmöntuotantoon ja kustannusten ennakoitavuuteen.

Kaukolämmöntuotanto toteutetaan tuottamalla lämpöä keskitetysti ja jakamalla se lämpöverkon kautta etäällä sijaitseviin käyttökohteisiin. Lämpöverkko koostuu putkista, joissa kuljetetaan kuumaa vettä tai höyryä kaukolämpöä tuottavista laitoksista eri käyttökohteisiin, kuten asuin- ja liikerakennuksiin sekä teollisuuslaitoksiin. Kaukolämmön tuottaminen perustuu tällä hetkellä voimakkaasti polttamiseen. Erilaiset biopohjaiset ja fossiiliset polttoaineet muodostavat merkittävän osan kaukolämmön tuotantolähteistä. Hukkalämpöjen hyödyntäminen on kasvanut viime vuosina.

Kaukolämmön hinnat vaihtelevat eri kaukolämpöyhtiöiden välillä. Hintaan vaikuttavat tekijät sisältävät esimerkiksi lämmöntuotantomenetelmän ja sen kustannukset, asiakastyypin sekä kaukolämpöverkon koon. Kaukolämpöyhtiöt voivat käyttää erilaisia hinnoittelumalleja, mutta tyypillisesti hinta koostuu kiinteästä perusmaksusta ja muuttuvasta maksusta kulutuksen perusteella. Suomessa Energiateollisuus ry tilastoi kaukolämpöyhtiöittäin kaukolämmön kokonaishintaa sisältäen energia- ja tehomaksun. Alla olevassa kuvassa (Kuva 6-2) on esitetty kaukolämmön energiamaksun tasoa Suomessa kaukolämpöyhtiöittäin vuonna 2024. On kuitenkin hyvä huomioida, että tällä hinnalla katetaan lämmön tuotantoon liittyvien kustannuksien lisäksi myös kaukolämpöverkon kustannuksia.



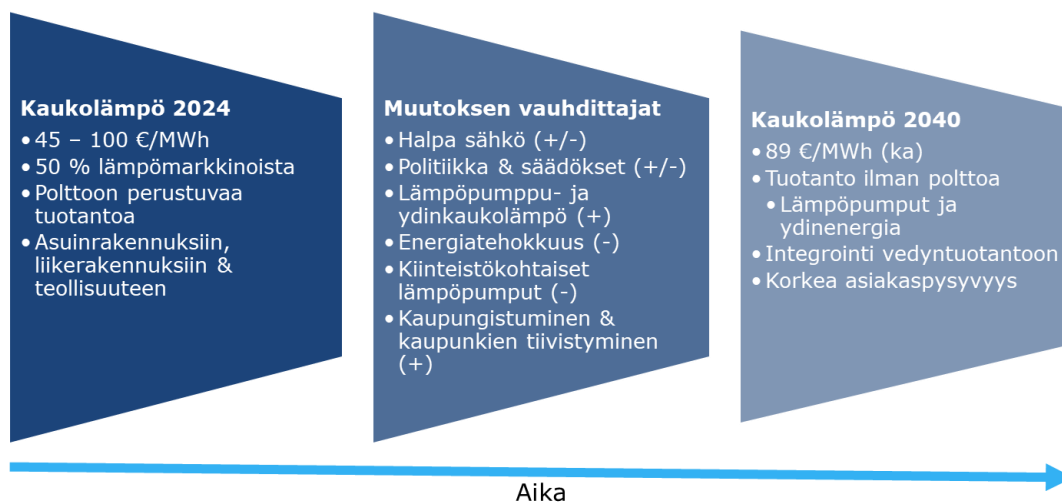
Kuva 6-2. Kaukolämmön energiamaksu kaukolämpöyhtiöittäin (€/MWh) vuonna 2024 (alv 0 %)⁵⁰

⁵⁰ Energiateollisuus ry. Kaukolämmön hinta 1.1.2024. Energiamaksu 80 asunnon kerrostalo/230 kW/ 600 MWh

Kaukolämpömarkkinoiden tulevaisuuteen vaikuttavat useat trendit. Ilmastonmuutos ja kestävyysvaatimukset lisäävät painetta siirtyä kohti kestävämpiä lämmöntuotantomuotoja. Tämä johtaa todennäköisesti ei-polttoon perustuvien tuotantomuotojen osuuden kasvuun, mikä voi tukea myös ydinvoiman osuuden kasvua lämmöntuotantomuotona. Lisäksi politiikka ja säädökset vaikuttavat kaukolämmön kysyntään ja hintaan tukemalla esimerkiksi uusiutuvien energialähteiden käyttöä tai asettamalla rajoituksia fossiilisten polttoaineiden käytölle.

Työ- ja elinkeinoministeriön tavoitteena on lämmityksen osalta mm. edistää polttoon perustuvien uusien kaukolämmön tuotantomuotojen ja varastoinnin käyttöönottoa sekä energiajärjestelmien integraatiota⁵¹. Tämän selvityksen MMR-laitos tukisinkin TEM:in tavoitteita polttoon perustuvien uusien kaukolämmön tuotantomuotojen käyttöönoton edistämistä sekä kaukolämpölaitoksen integroimista vedyntuotantoon.

Kaukolämmön kysyntään vaikuttavat niin energiatehokkuus ja rakennuskannan muutos, että taloudellinen kehitys ja väestön kasvu. Energiatehokkuuden parantuminen ja lämmitysjärjestelmien päivittäminen voi mahdollisesti johtaa kaukolämmön kysynnän vähenemiseen tulevaisuudessa. Toisaalta uusi rakennuskanta ja kaupunkien tiivistyminen, kuten myös taloudellinen kasvu ja kaupungistuminen, voivat johtaa uusien kaukolämmön kysyntäalueiden kehittymiseen ja kaukolämmön kysynnän kasvuun. Kaukolämpömarkkinoiden kehitystä on havainnollistettu alla olevassa kuvassa (Kuva 6-3).



Kuva 6-3. Kaukolämmön kehitys Suomessa

Uusiutuvan sähkön tuotannon voimakkaan kasvun ennustetaan laskevan sähkön hintaa mikä vaikuttaa myös kaukolämmön hintakehitykseen samalla, kun polttoperustuvan lämmöntuotannon arvioidaan vähentyvän. Rambollin arvioiden mukaan sähköön perustuvan kaukolämmön tuotannon arvioidaan laskevan vuoteen 2040 mennessä 31 €/MWh (alv 0 %). Sähkön hinnan laskun myötä kiinteistökohtaiset lämpöpumppuratkaisut tulevat kilpailukykyisemmäksi kaukolämpöön verrattuna, jonka seurauksena tarvitaan edullista kaukolämpöä kaukolämmön kilpailukykyisyyden säilyttämiseksi.

⁵¹ Työ- ja elinkeinoministeriö: <https://tem.fi/lampomarkkinat>

Vaikka sähkön hinta laskisi yli 50 %, kiinteistökohtaisten lämpöpumppujen sähkönkulutuskustannukset alenisivat vain sähköenergian osalta, muut sähkön käyttöön liittyvät kustannukset – sähkönsiirto ja sähkövero – pysyvät ennallaan. Sähkön siirto ja sähkövero ja arvonlisävero muodostavat noin 2/3-osaa sähkön kokonaiskustannuksesta. Suhteellisen korkeat alkuinvestoinnit kiinteistökohtaisiin lämpöpumppuihin ovat toinen tekijä, joka hillitsee asiakkaiden halua siirtyä pois kaukolämmöstä.

Vaikka kaukolämmön käyttökustannus olisi hieman korkeampi, se ei todennäköisesti aiheuta merkittävää asiakaskatoa. Rambollin arvion mukaan kiinteistökohtaisen lämpöpumpun käyttökustannus asettuu noin 65 €/MWh (alv 0 %) tasolle 2040 mennessä, ja kaukolämmön hinta, joka kattaa lämmön tuotantoon ja kaukolämpöverkkoon liittyvät kustannukset, asettuu noin 89 €/MWh (alv 0 %) tasolle 2040 mennessä.

Kaukolämmön tukkuhintana selvityksen kaupallisessa mallissa (luku 8) on käytetty 25–30 €/MWh riippuen laitosvaihtoehdon lopputuotteiden lukumäärästä ja niiden markkinahintojen suhteista. Nämä hinnat perustuvat Rambollin ja työn tilaajien yhteistyössä luotuun näkemykseen, jossa huomioidaan muiden lämmöntuotantoteknologioiden omakustannushinnat ja yleisesti kaukolämmön hinnan kehitys. Esitetyt hinnat on tarkoitettu kattamaan lämmöntuotannon liittyvät kustannukset, eikä näissä näin ollen ole otettu huomioon kaukolämpöverkon kustannusten kattamista.

6.3.2 Sähkömarkkinat

Suomen sähkömarkkina on osa Pohjoismaiden sähkömarkkinaa. Pohjoismaiden sähkömarkkina on yhteydessä muutamiin muihin Euroopan maihin. Markkina mahdollistaa vapaan kilpailun eri markkina-alueiden välillä ottaen huomioon siirtoverkkojen kapasiteetit alueiden välillä. Suomella on yhteydet Norjaan, Ruotsiin ja Viroon. Suomella on myös yhteydet Venäjälle, mutta sähkön siirto on pysähtynyt Venäjän ja Ukrainan välisen sodan vuoksi.

Tällä hetkellä sähköntuotanto Suomessa nojaa vahvasti ydinvoimaan, vesivoimaa, tuulivoimaa ja yhteistuotantoon (CHP). Sähkömarkkinat ovat kuitenkin merkittävien muutosten edessä. Uusiutuvan energian, kuten tuuli- ja aurinkovoiman, osuudet ovat merkittävästi kasvaneet viime vuosina, ja kasvun odotetaan jatkuvan. Tätä muutosta ajavat myös päästövähennyksiin ja ilmastomuutoksen etenemisen hidastamiseen tähtäävät poliittiset linjaukset. Aurinko- ja tuulivoiman sähkön tuotannon haasteena on niiden sääriippuvuus, joka luo tarpeen tasaiselle sähköntuotannolle.

Sähkön myyntihintaan vaikuttavat monet tekijät, kuten tuotannon ja kulutuksen tasapaino, polttoaineiden hinnat, sääolosuhteet, energiamarkkinoiden sääntely, kulutuspiikkien esiintyminen, toimitusvarmuus ja uusiutuvien energialähteiden osuus. Viime vuosina sähkön hinnat ovat olleet poikkeuksellisen korkeita ja toisaalta myös erittäin vaihtelevia. Muun muassa energiakriisin myötä sähkön hinnan nousi vuonna 2022 ennätyskorkealle. Markkinoiden epävarmuustekijät, kuten polttoaineiden globaalit hintamuutokset, ilmastolliset olosuhteet ja uusiutuvan energian suhteellisen osuuden kasvu energiantuotannossa ovat vaikuttaneet hintojen heilahteluihin. Erityisesti uusiutuvien energialähteiden, kuten tuuli- ja aurinkovoiman, sääriippuvuus on aiheuttanut päivittäisiä ja kausittaisia hintavaihteluita. Sähkön hinnat ovat voineet yltyä korkeiksi esimerkiksi silloin, kun tuotanto on alentunut vähäisen tuulen vuoksi, tai kun kylmät sääolosuhteet ovat nostaneet kulu- tusta. Toisaalta runsaan tuotannon aikana hinnat voivat laskea jopa negatiivisiksi.

Pitkällä aikavälillä sähkön hinnan odotetaan laskevan ydinvoiman tuotannon ja uusiutuvan energian kapasiteetin kasvaessa. On kuitenkin nähtävissä sähkön hinnan volatiliteetin kasvua johtuen sääriippuvaisesta tuotannosta, kunnes sähkövarastoja sekä joustavaa sähköntuotantoa on markkinoilla enemmän. Kun sähkön hinta on korkea, muilla energiantuotantomuodoilla on erityisen

suuri kysyntä. Toisaalta lämmöntuotannon, liikenteen ja teollisuuden sähköistyminen, mukaan lukien myös Suomeen suunnitellut vedyntuotantolaitokset, kasvattavat sähkön tarvetta tulevaisuudessa rajoittaen todennäköisesti sähkön hinnan laskua.

Sähkön hinnan ennustaminen on muuttunut haastavaksi uusiutuvien, säästä riippuvaisten energiamuotojen nopean lisääntymisen myötä, mutta kuitenkin investointien tuottavuuden arvioimiseksi sähköhinnan ennusteet ovat kriittisen tärkeitä. Tässä selvityksessä laadittiin sähkön hintaennusteita varten kolme erilaista skenaariota, jotka ottavat huomioon erilaiset painotukset sähkön tuotannon ja kysynnän kehityksessä. Nämä pohjautuvat Rambollin sähkömarkkinamallin tuntikohtaiseen arvioon sekä vuoden 2023 skaalattuun vastaavaan tuntisarjaan. Skenaarioita kuvailaan matalan, keskitason ja korkean sähkön hinnan skenaarioina, ja ne ovat osa tehtävää herkkyyksianalyysiä.

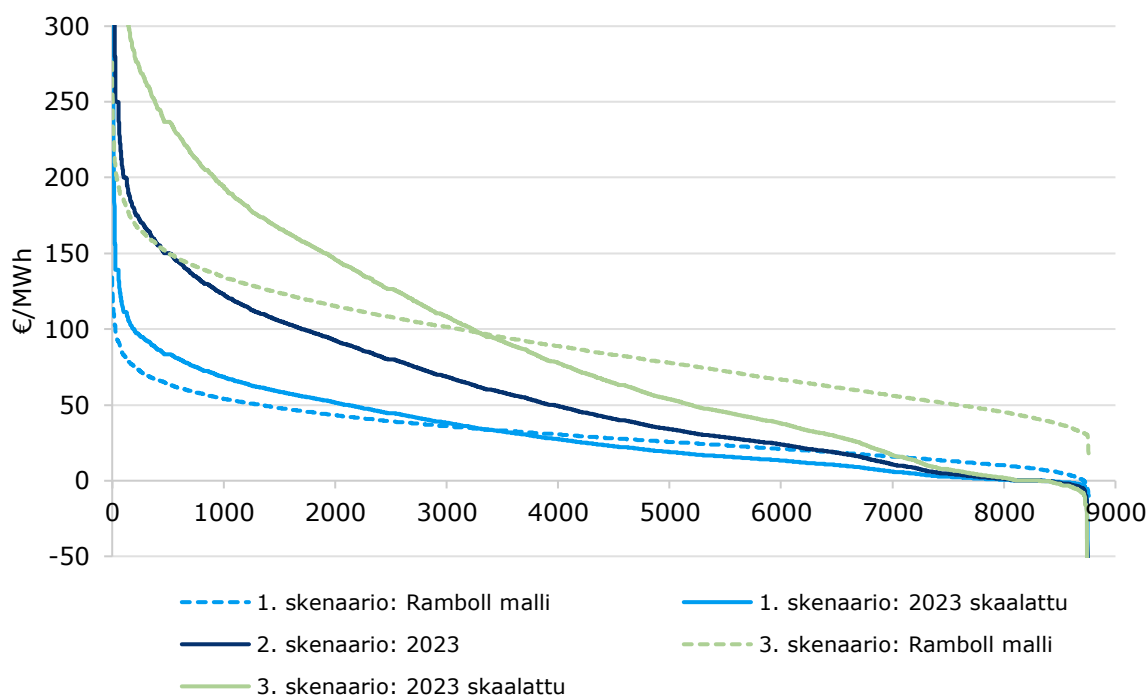
Ensimmäinen skenaario, eli matalan sähköhinnan skenaario, perustuu Rambollin sähkömarkkinamallin tuntikohtaiseen arvioon sekä vuoden 2023 skaalattuun vastaavaan tuntisarjaan. Sähköhintaennusteen luomiseksi mallissa tehdään oletuksia eri tekijöistä, kuten sähköntuotantokapasiteetista, rajasiirtoverkon kapasiteetista, kulutuksesta, sääolosuhteista, polttoaineiden hinnoista sekä Ruotsin ja Saksan säämuuttujista. Matalan sähköhinnan skenaariossa oletetaan, että tuotannossa on käytössä 9 gigawattia tuulivoimaa ja 2 gigawattia aurinkovoimaa. Kulutuksen ja sääolosuhteiden oletetaan olevan keskiarvoisia. Mallin mukaan tämän skenaarion keskimääräinen sähkönhinta on 31,4 €/MWh. Lisäksi vuoden 2023 tuntisarja skaalattiin alaspäin, jotta keskihinta vastaa mallin arviota, mahdollistaen näin matalan sähköhinnan skenaarion herkkyyden arvioinnin kahden eri sähkön pysyvyyssäyrän mukaan. Pysyvyyssäyrät eroavat toisistaan volatilitiitin, eli pysyvyyssäyrän kulmakertoimen suhteen.

Toinen skenaario, keskitason sähköhinnan skenaario, arvioidaan vuoden 2023 tuntikohtaisen sähkönhintatiedon pohjalta.

Kolmas skenaario, korkean sähköhinnan skenaario, on analysoitu käyttäen sekä Rambollin sähkömarkkinamallia että vuoden 2023 mukautettua tuntisarjaa. Korkean hinnan skenaariossa kulutuksen oletetaan kasvavan 131 terawattituntiin vuodessa, mikä tarkoittaa noin 4 gigawattitunnin lisäystä päivittäiseen kulutukseen. 131 TWh arvio pohjautuu Fingridin vuonna 2024 julkaistuun ennusteeseen Suomen sähkökulutuksesta vuonna 2030⁵². Tämän lisäksi oletetaan, että sähkökattiloiden käyttö kasvaa 3 gigawattia niinä tunteina, kun sähkön hinta on alle 30 euroa megawattitunnilta. Näiden oletusten perusteella skenaarion keskimääräinen sähkönhinta on 89 €/MWh. Kuten matalan hinnan skenaariossa, myös korkean hinnan skenaariossa vuoden 2023 tuntihinnat skaalattiin vastaamaan Rambollin mallin keskihintaa.

Kaikkien skenaarioiden sähkön pysyvyyssäyrät on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 6-4).

⁵² Fingrid – Sähkön tuotannon ja kulutuksen kehitysnäkymät, Fingridin ennuste Q1/2024



Kuva 6-4. Skenaarioissa käytetyt sähkönhinnan pysyvyyskäyrät.

Sähkön myyntihintana selvityksen kaupallisessa mallissa (luku 8) on käytetty 78,85 €/MWh ja 108,41 €/MWh riippuen laitosvaihtoehdon lopputuotteiden lukumäärästä ja niiden markkinahintojen suhteista. Korkeampaa sähkön myyntihintaa on käytetty vetyä tuottavien laitosvaihtoehtojen tapauksissa, kun on oletettu, että matalilla sähkön hinnoilla on taloudellisesti järkevämpää käyttää sähkö vedyn valmistukseen, ja kun sähkön hinta kuitenkin nousee, sähkön myynti muodostuu kannattavammaksi kuin vedyn tuotanto. Esitetyt hinnat pohjautuvat yllä esitettyyn Rambollin mallinnukseen ja näkemykseen sähkön hinnan tasosta.

6.3.3 Vetymarkkinat

6.3.3.1 Kuvaus vetymarkkinoista ja arvio niiden kehityksestä

Vedyn tarve on ollut nousussa globaalilla tasolla. Vuonna 2022 vetyä käytettiin maailmanlaajuisesti 95 miljoonaa tonnia, joka oli 3 prosentin nousu edeltävältä vuodelta. Merkittäviä vedyn kuluttajia sekä Suomessa että maailmassa ovat öljynjalostus ja biopolttoaineiden valmistus, jotka kattavat 88 % kaikesta vedyn tarpeesta. Loppu vety kuluu kemianteollisuudessa sekä kaivosteollisuudessa. Alle 0,1 % vedyntarpeesta oli peräisin vetytalouteen liittyvistä uusista lähteistä, kuten energiantuotannosta ja liikennekäytöstä.

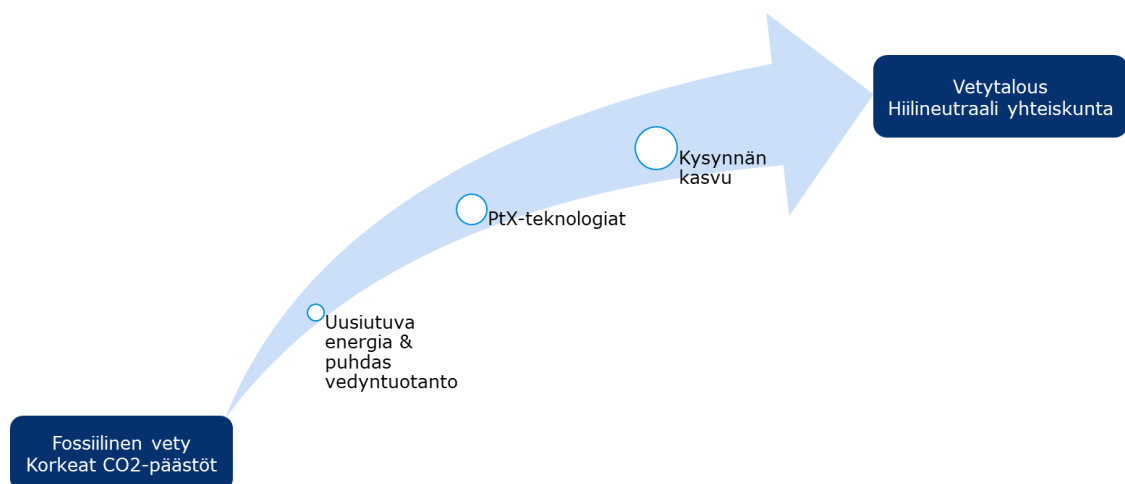
Suomen tasolla suuri vedyn kuluttaja on Nesteen Porvoon jalostamo. Jalostamo tuottaa suuren osan käyttämästään vedystä itse maakaasusta höyryreformoinnilla. Vedyn tuottaminen fossiilista polttoaineista onkin vielä yleisin tuotantotekniikka. Vuonna 2022 vain 0,7 % vedyntuotannosta globaalisti oli päästötöntä tai vähäpäästöistä.

Vetymarkkinoiden on ennustettu kehittyvän hyvin monipuolisesti tulevina vuosina, ja Ramboll on arvioinut koko PtX (Power-to-X) -markkinan globaaliksi potentiaaliksi 601–2 319 miljardia euroa. Skenaariosta riippumatta merkittävä osa potentiaalista on peräisin elektrolyysistä, jonka avulla vetyä voisi tuottaa.

Vety on sellaisenaan haastava raaka-aine. Kaasu on hyvin herkästi reagoiva, ja matalan tiheydensä vuoksi sen energiatiheys tilavuuteen suhteutettuna on heikko. Osittain tämän vuoksi vetyä pyritään jatkojalostamaan. Jatkojalostusteknologioita on mm. metanointi, metanolintuotanto ja ammoniakintuotanto. Lisäksi vetyä voidaan kuljettaa ja käyttää sellaisenaan, esimerkiksi kaasuputkiverkostoa hyödyntäen.

Vetyä pystytään hyödyntämään monipuolisesti sekä sellaisenaan että jalostettuna. Vedyntuotanto itsessään on mahdollinen säätövoiman tarjoaja, jota voitaisiin hyödyntää energiavarastona sääriippuvaisen energiantuotannon vaihtelujen tasaamiseen. Vedyn jatkojalosteista ammoniakkia pystytään hyödyntämään mm. lannoitetuotannossa, kylmäaineena, polttoaineena sekä kemianteollisuudessa. Metaania pystytään hyödyntämään mm. kaasuturbiineissa ja polttomoottoreissa sähkön- ja lämmöntuotantoon, sekä polttokennoissa sähköntuotantoon. Metanolia pystytään hyödyntämään teollisuudessa sekä uusiutuvana polttoaineena. Metanoli on normaaliolosuhteissa nestemäistä, joten se myös parantaa energianvarastointimahdollisuuksia verrattuna puhtaaseen vetyyn. MMR-laitokselle tuotetun vedyn asemaa markkinoilla sekä Lappeenrannan seudulla mahdollisia vedyn käyttäjiä on tarkasteltu tarkemmin alaluvussa 6.3.3.2.

Uusiutuvan vedyntuotannon odotetaan nousevan tulevaisuudessa merkittävästi, ja myös Suomessa on käynnissä useampi vetytalon hanke. Huomattava tekijä uusiutuvan vedyn kysyntään Suomessa on terästeollisuus. Nykypäivänä rautamalmit pelkistetään hiilipohjaisella koksilla, ja tämän pelkistykseen voisi toteuttaa myös vedyllä. Pelkästään SSAB:n Raahen terästehdas tuottaa 7 % Suomen hiilidioksidipäästöistä, joista suuren osan voisi eliminoida vetyä hyödyntämällä. Markkinan käynnistymiseen ja kehittymiseen on useita vaikuttavia tekijöitä. Vedyntuotannon sähköintensiivisyyden vuoksi edullisen sähkön saatavuus on kriittistä. Uusiutuvalle vedylle on myös oltava kysyntää. Kannattavuuteen vaikuttaa oleellisesti valtiolta ja EU:lta saatava tuki, sekä ilmastotavoitteiden vaikutus investointeihin. Vetytalon ja -markkinoiden kehitystä on havainnollistettu alla olevassa kuvassa (Kuva 6-5).



Kuva 6-5. Vetytalon kehitys Suomessa

6.3.3.2 MMR-laitoksen tuottaman vedyn asema markkinoilla

Vedyn luokitus

Vety voidaan luokitella eri värikategorioiden perusteella (Taulukko 6-2). Tavallimmat luokat ovat harmaa vety, joka tarkoittaa fossiilisista polttoaineista yleensä höyrystämällä tai reformoimalla tuotettua vetyä, sekä vihreä vety, joka on tuotettu elektrolyysillä käyttämällä uusiutuvia energianlähteitä. Ydinvoimalla päästöttömästi tuotettu vety on väriluokitukseltaan pinkkiä vetyä ja se tuotetaan elektrolyysillä. Vedyn luokituksiin tulevaisuudessa voivat vaikuttaa esimerkiksi teknologian kehitys ja poliittiset päätökset ja sääntely, kuten fossiilisesta vedystä luopuminen.

Taulukko 6-2. Vedyn väriluokitukset⁵³

Vedyn väri/luokka		Teknologia	Raaka-aine/sähkön alkuperä	Hiilijalanjälki
Sähköllä tuotettu	Vihreä	Elektrolyysi	Tuuli, aurinko, vesi, geoterminen	Hyvin pieni/merkityksetön
	Pinkki		Ydinvoima	
	Keltainen		Verkkosähkö eri lähteistä	Keskikokoinen
Fossiilisilla polttoaineilla tuotettu	Sininen	Maakaasun reformointi/ kaasutus + CCUS	Maakaasu, hiili	Pieni
	Turkoosi	Pyrolyysi	Maakaasu	Kiinteä hiili sivutuotteena
	Harmaa	Maakaasun reformointi		Keskikokoinen
	Ruskea	Kaasutus	Ruskohiili	Suuri
	Musta		Kivihili	

Vedyn tuotannon päästöt

Vedyn tuotannon päästöt muodostuvat prosessin käyttämästä energiasta, polttoaineista ja raaka-aineista. Ydinenergiaa pidetään päästöttömänä energiantuotantomuotona, koska sen tuotannosta ei aiheudu suoria päästöjä. Mikäli huomioidaan koko ydinvoiman elinkaari, syntyy uraanin louhinnasta ja jalostamisesta sekä polttoaineen valmistuksesta päästöjä 2,4–6,8 gCO₂e/kWh. Kun huomioidaan nämä ydinvoiman alkutuotannosta aiheutuvat päästöt, vedyn tuotannon päästöt ovat noin 0,1–0,3 kgCO₂e/kgH₂.⁵⁴

Vedyn tuotantoon liittyvät EU-taksonomiakriteerit

MMR-teknologialla tuotetun vedyn kannalta olennaisimmat EU:n taksonomiaan liittyvät kriteerit ovat teknisiä kriteereitä, joilla määritellään päästöjen vähenemistä edistävä toiminta. Taksonomiakriteerien mukaan tuotetun vedyn tulee vähentää kasvihuonekaasujen elinkaari- ja valmistuspäästöjä vähintään 73,4 % käytetyn vedyn osalta verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin. Se tarkoittaa sitä, että vedyn elinkaaren aikaisten kasvihuonekaasupäästöjen tulee olla alle 3 tCO₂e/tH₂. Synteettisten vetypolttoaineiden osalta vastaava elinkaari- ja valmistuspäästöjen vähennys on oltava 70 % verrattuna fossiilisten polttoaineiden vertailuarvoon 94 gCO₂e/MJ. Kasvihuonekaasupäästöt lasketaan direktiivin

⁵³ Global Energy Infrastructure. 2021. Hydrogen – data telling a story. Saatavilla: <https://globalenergyinfrastructure.com/articles/2021/03-march/hydrogen-data-telling-a-story/> (Viitattu 18.3.2024).

⁵⁴ International Energy Agency (IEA). 2023. Global Hydrogen Review.

(EU) 2018/2001 25 artiklan 2 kohdan tai ISO 14067:2018 tai ISO 14064-1:2018 standardien mukaisesti.⁵⁵

Vedyn tuotannolta vaaditaan, että ratkaisut vähentävät merkittävästi vedyn valmistukseen liittyviä tärkeitä ilmastoriskejä. Toiminnan kannalta oleellisten ilmastoriskien tunnistamiseksi on suoritettava ilmastoriskien ja haavoittuvuuksien arviointi parhailla, kuten IPCC:n suosittelimilla, menetelmillä. Ilmastoennusteiden ja vaikutusten arvioinnin on perustuttava parhaisiin käytäntöihin. Lisäksi vaaditaan, että vedyn tuotantoon liittyvät ilmastomuutokseen sopeutumisen keinot eivät saa vaikuttaa haitallisesti muiden ihmisten, luonnon, kulttuuriperinnön, omaisuuden ja muun taloudellisen toiminnan sopeutumistoimiin. Sopeutusratkaisujen on mahdollisuuksien mukaan perustuttava puhtaan tai vähähiilisen vedyn infrastruktuuriin. Ratkaisujen on oltava linjassa alueellisten tai alakohtaisten sopeutumis suunnitelmien kanssa. Seuranta ja mittaus tulisi toteuttaa ennalta määriteltyjen indikaattorien perusteella, ja korjaavia toimia on harkittava, jos indikaattoreille asetettuja tavoitteita ei saavuteta.⁵⁶

Vedyn hyödyntäjät Lappeenrannan seudulla

Puhtaan ja vähähiilisen vedyn tarkoituksena on korvata fossiilista vetyä, jota käytetään paljon useissa erilaisissa sovelluksissa. Tärkeimmät puhtaan tai vähähiilisen vedyn loppukäyttäjät ovat terästeollisuus sekä öljyn- ja biopolttoaineiden jalostus, jotka käyttävät vetyä suuria määriä.

Suomessa käytetystä vedystä suurin osa, jopa lähes 90 % käytetään öljynjalostukseen ja biopolttoaineiden tuotantoon esim. vetykrakkaukseen. Loput käytetään kemianteollisuudessa vetyperoksidin tuotantoon sekä kaivos- ja malmin jalostusteollisuudessa muun muassa rikkivedyn tuotantoon. Pieni osa vedystä käytetään terästeollisuudessa teräksen hapettumisen estämisessä. Suomessa on vähemmän kokemusta vedyn hyödyntämisestä teollisuuden toimintojen ulkopuolelta, eikä vetyä käytetä esimerkiksi liikenteessä ja kuljetuksissa.⁵⁷

Monilla suomalaisilla paljon vetyä käyttävillä yrityksillä on hallussaan koko vedyn arvoketju, mutta vähähiiliselle vedylle on tulevaisuudessa kysyntää tiukentuvien vaatimusten ja säädösten myötä. Erityisesti uudet toimialat ja toiminnot Lappeenrannan seudulla voisivat olla tuotetun vedyn mahdollisia hyödyntäjiä. Vähähiilistä vetyä voidaan käyttää tulevaisuudessa erityisesti kemianteollisuuden jalostusprosesseissa kasvipohjaisten öljyjen käytön lisääntyessä sekä P2X-tuotannossa⁵⁸.

Nykyisistä toiminnoista Lappeenrannassa UPM:n biojalostamo on suuri vedyn kuluttaja. Se käyttää noin 7 800 tonnia vetyä vuosittain nykyisellä tuotantokapasiteetillaan⁵⁹. St1 suunnittelee Lappeenrantaan uusiutuvan metanolin tuotantolaitosta, joka tarvitsee raaka-ainekseen vetyä. Muita Lappeenrannassa tai sen läheisyydessä olevia toimijoita, jotka käyttävät vetyä tuotantoprosesseissaan ovat ainakin: Stora Enso (Imatra), Metsä Group (Joutsenon sellutehdas), Valmet (Lappeenranta), Fazer (Lappeenranta), Solvay (Voikkaan vetyperoksiditehdas), Kemira (Joutseno) ja Ovako (Imatran terästehdas).

⁵⁵ Euroopan komissio. EU Taxonomy Navigator. Manufacture of hydrogen. Saatavilla: <https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/activities/activity/275/view> (Viitattu 25.3.2024)

⁵⁶ Sivill, L., Bröckl, M., Semkin, N., Ruismäki, A., Piipola, H., Laukkanen, O., Lehtinen, H., Takamäki, S., Vasara, P. & Patronen, J. 2022. Vetytalous – mahdollisuudet ja rajoitteet. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnon julkaisusarja 2022:21. Valtioneuvoston kanslia.

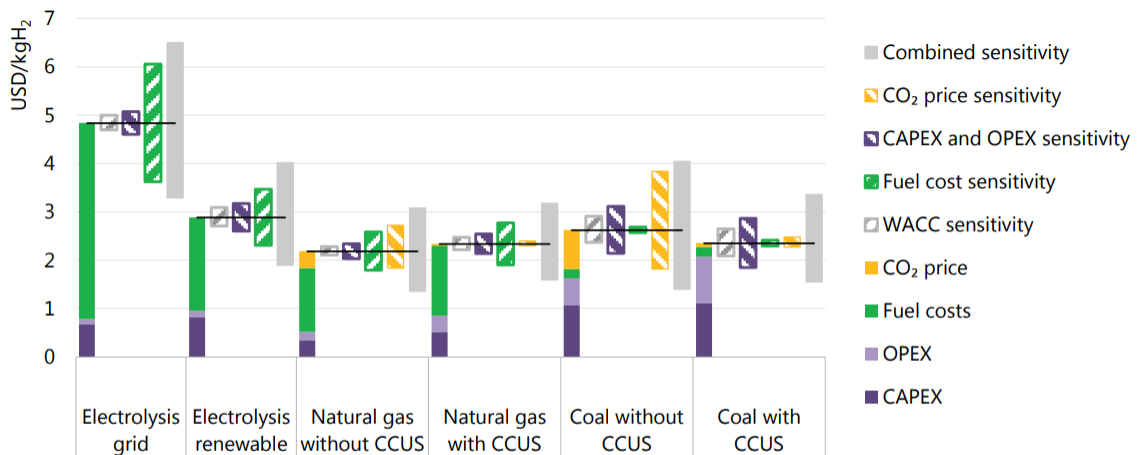
⁵⁷ Laurikko, J., Itonen, J., Kiviaho, J., Himanen, O., Weiss, R., Saarinen, V., Kärki, J. & Hurskainen, M. 2020. National hydrogen roadmap for Finland. Business Finland.

⁵⁸ Laurikko, J., Itonen, J., Kiviaho, J., Himanen, O., Weiss, R., Saarinen, V., Kärki, J. & Hurskainen, M. 2020. National hydrogen roadmap for Finland. Business Finland.

⁵⁹ Laurikko, J., Itonen, J., Kiviaho, J., Himanen, O., Weiss, R., Saarinen, V., Kärki, J. & Hurskainen, M. 2020. National hydrogen roadmap for Finland. Business Finland.

6.3.3.3 Vihreän vedyn markkinahinta

Vihreän vedyn markkinahinnan määrittäminen on tällä hetkellä haastavaa, mikä johtuu tuotannon vielä hyvin rajallisesta määrästä sekä vihreän vedyn kansainvälisen kaupankäynnin puutteesta. Vihreän vedyn myyntihinta tällä hetkellä määrittyy noin 3–8 €/kg välille, mutta jossain tapauksissa myyntihinta voi olla hyvinkin kallis, jopa 15 €/kg. Alla olevassa kuvassa (Kuva 6-6) on esitetty International Energy Agency:n⁶⁰ (IEA) ennuste vedyn tuotantohinnasta eri tekniikoilla. Merkittäviä alueellisia eroavaisuuksia vedyn hinta on havaittavissa globaalisti. Erityisesti alhainen maakaasun hinta tietyillä markkina-alueilla vaikuttaa sinisen ja harmaan vedyn tuotantohintoihin. Sinisellä vedyllä viitataan tässä maakaasusta valmistettuun vetyyn, jossa hiilidioksidi otetaan talteen ja varastoidaan niin, ettei hiilidioksidipäästöjä synny ilmakehään. Vedyn hinnan rajapisteeseen pidetään 2 €/kg, jolloin vihreän vedyn hinnan voisi katsoa olevan kilpailukykyinen fossiilisen vedyn kanssa, mikä saattaisi edesauttaa sen käytön merkittävää kasvua. Lisäksi merkittävä tekijä kannattavuudessa on vedyntuotannossa syntyvien sivutuotteiden, kuten hukkalämmön ja hapen, hyödynnettävyys ja markkinat.



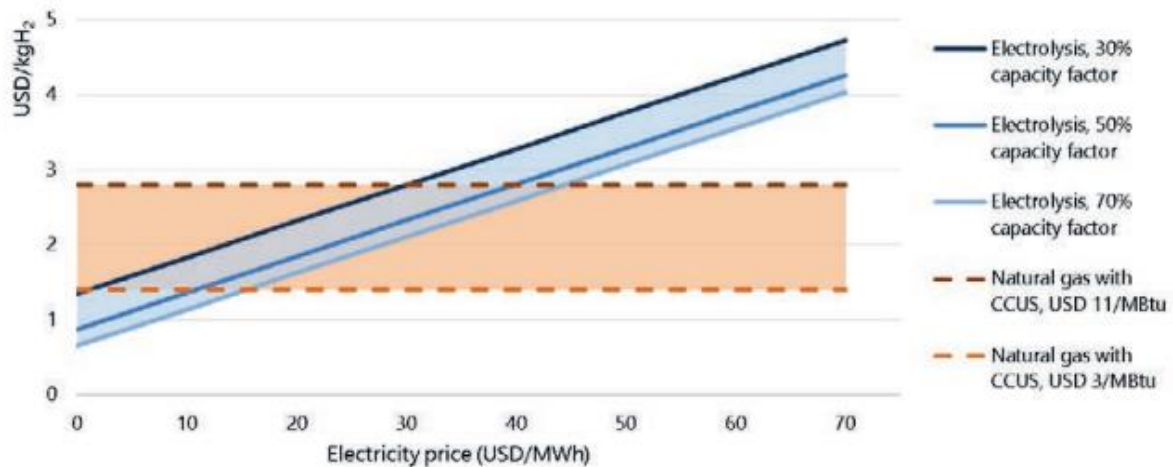
Notes: WACC = weighted average cost of capital. Assumptions refer to Europe in 2030. Renewable electricity price = USD 40/MWh at 4 000 full load hours at best locations; sensitivity analysis based on +/-30% variation in CAPEX, OPEX and fuel costs; +/-3% change in default WACC of 8% and a variation in default CO₂ price of USD 40/tCO₂ to USD 0/tCO₂ and USD 100/tCO₂. More information on the underlying assumptions is available at www.iea.org/hydrogen2019.

Source: IEA 2019. All rights reserved.

Kuva 6-6. Ennuste vedyn tuotantohinnasta eri tekniikoilla vuonna 2030 Euroopassa

Alla olevassa kuvassa (Kuva 6-7) on esitetty maakaasusta tuotetun sinisen ja vihreän vedyn hinta sähkön hinnan mukaan lähitulevaisuudessa. Markkinatilanteessa sinisen vedyn hinta, joka tuotetaan maakaasusta, on havaittu vaihtelevan 1,5–3 USD/kg. Sähkön hinnalla on merkittävä vaikutus vihreän vedyn kilpailukykyyn markkinoilla, ja vihreä vety on kilpailukykyistä sinisen vedyn kanssa, kun sähkön hinta pysyy alle 45 USD/MWh.

⁶⁰ <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>



Notes: More information on the underlying assumptions is available at www.iea.org/hydrogen2019.
Source: IEA 2019. All rights reserved.

Kuva 6-7. Sinisen vedyn ja vihreän vedyn hinta lähitulevaisuudessa sähkön hinnan mukaan

Vedyn myyntihinnan määräytymiseen vaikuttaa useita tekijöitä, kuten korvaavien menetelmien hinnoittelu, vihreän vedyn tuleva kysyntä ja tarjonta, tukimekanismien olemassaolo, päästökaupan vaikutukset ja sähkön hinnan kehitys sekä loppukäyttäjien maksuvalmius. Hinnan muodostumiseen vaikuttaa myös se, sisältyykö siihen vedyn kuljetus, paineistus tai nesteytys. Nämä kaikki edellä mainitut nostavat vedyn myyntihintaa. Vihreän vedyn hinnan on ennakoitu muuttuvan vaihtelevan merkittävästi tulevaisuudessa johtuen edellä mainittujen tekijöiden kehityksestä ja markkinadynamiikasta. Esimerkiksi vuoteen 2050 mennessä on ennustettu, että alueilla, joissa on mahdollisuus hyödyntää optimaalisesti aurinkoenergiaa, vihreän vedyn hinta voisi laskea 1–1,5 €/kg tasolle. Euroopassa taas hintatason odotetaan asettuvan 2–4 €/kg välille, mutta tähän ennusteeseen liittyy merkittävää epävarmuutta.

On hyvä huomioida, että vedyn myyntihinnan ennustaminen on haastavaa, sillä mahdollisia käyttötarkoituksia ei ole määritetty. Tämän vuoksi ei ole tiedossa korvattavaa tuotetta eikä siten vaihtoehtoja kustannusta, joita vasten vetyä voitaisiin verrata. Tämän selvityksen mukaan laitosten kannattavuutta tukisi korkeampi vedyn myyntihinta. Toisaalta yleisemmässä kontekstissa, ottaen huomioon vetytalouden kehityksen ja päästövähennystavoitteet, mahdollisimman alhainen hinta edistäisi fossiilisten polttoaineiden korvaamista. Tämän vuoksi tämän selvityksen kaupallisessa mallissa vedyn myyntihinnaksi on määritetty 3 €/kg, joka perustuu yllä oleviin ennusteisiin ja heijastuu ennustettuun keskimääräiseen hintatasoon.

6.3.4 Höyryn markkinat

Höyry on etenkin prosessiteollisuudessa yleinen tapa lämpöenergian siirtoon lyhyillä välimatkoilla. Höyryä syntyy lämpölaitoksissa sekä CHP-laitoksissa, CHP-laitoksissa sähköntuotannon sivutuotteena. Höyryn energiapitoisuutta pystytään säätämään painetasoa ja lämpötilaa muuttamalla. Höyryn käyttöpotentiaali riippuu olennaisesti sen energiapitoisuudesta.

Suomessa höyryä voi hyödyntää kaukolämmöntuotantoon sekä prosessiteollisuuden tarpeisiin. Prosessiteollisuus on kysynnän kannalta tasaisempi toimija, sillä kaukolämpöä ei tarvita vuoden ympäri. Prosessiteollisuuden kannalta olennaista on sijainti, sillä höyryä ei ole järkevää kuljettaa pitkiä matkoja. Lappeenrannasta löytyy mm. Metsä Fibren saha, jossa höyryä voisi hyödyntää

kuivausenergian hankintaan. Lisäksi UPM Kaukaan tehdasintegraatti kuluttaa suuret määrät lämpöenergiaa, joten siellä voisi olla kysyntää edulliselle lämpöenergialle.

Höyryn markkina ei ole tulevaisuudessa odotettavissa suuria muutoksia. Markkinan paikallisuuden vuoksi teollisuuslaitosten sulkeutumisen sekä uusien laitosten rakentamisen mahdollisuus kuitenkin lisää epävarmuutta. Kaukolämmön tarve on kuitenkin vuodesta toiseen tasaista.

Tulevaisuudessa merkittäväksi tekijäksi voi muodostua mahdollisuus siitä, että biopolttoaineita kuten puuta ei enää koeta uusiutuvaksi polttoaineeksi. Tämä voi lisätä kaukolämmön tarpeita biopolttolaitosten vähentyessä, jolloin hiilineutraali lämmöntuotanto voi olla mahdollinen toimija kysynnän kattamisessa.

Höyryn hinnoittelu riippuu paljon tulistusasteesta ja mahdollisista käyttökohteista. Hieman suuntaa antavaa hintaa antaa kaukolämmön kuluttajahinta Suomessa. Vuoden 2024 ensimmäisellä neljänneksellä kaukolämmön energiamaksu oli kuluttajalle keskimäärin 86 €/MWh. Summalla katsotaan myös kaukolämpöverkon kustannuksia, joten pelkälle energiantuottajalle tuotto olisi matalampi.

Selvityksen kaupallisessa mallissa ei ole määritetty höyrylle myyntihintaa, sillä sille ei ole vakiintunutta ostajakuntaa tai myyntihintaa Lappeenrannan seudulla. Höyryn myynti voidaan kuitenkin nähdä potentiaalisena lisämyyntitulojen lähteenä.

6.3.5 Hapen markkinat

Happea käytetään merkittäviä määriä mm. terveydenhuollossa ja teollisuudessa. Teollisuudessa hapenkäyttäjiä ovat esimerkiksi sellutehtaat, jäteveden käsittelylaitokset, kosmetiikantuotanto, konepajateollisuus sekä elintarviketeollisuus. Mainituista ainakin selluntuotantoa on Lappeenrannassa UPM Kaukaan tehtaalla, ja jätevedenkäsittelyä Lappeenrannan Energialla.

Hapen globaalin markkinan suuruus vuonna 2023 oli 71,2 miljardia euroa. Odotuksissa on markkinan kaksinkertaistuminen vuoteen 2033 mennessä. Välillä 2018–22 markkina kasvoi keskimäärin 6,9 % vuodessa. Syinä kasvuun olivat lähinnä teollistuminen ja terveydenhuollon kehitys. Hapen hinta teollisuudessa vuonna 2022 vaihteli globaalisti välillä 0,12–0,18 €/kg.

Vaikka hapen markkinoiden kasvuodotukset johtuvat suurilta osin teollistumisesta, niin energiamurrokseen liittyen hapella on myös kasvupotentiaalia. Happea voidaan hyödyntää kaasutuksessa, jossa jatkojalostetaan esimerkiksi biopolttoaineita kaasumuotoiseksi polttoainelosteeksi. Hapen käyttö ilman sijasta mahdollistaa matalan kaasun typpipitoisuuden, jolloin kaasun lämpöarvo on korkea ilmankin typenpoistoa.

Lisäksi happea voisi hyödyntää voimalaitoskattiloissa happipoltossa, jossa kattilaan puhalletaan ilman sijasta puhdasta happea. Tällöin polttoaineen palaminen on puhtaampaa, typpipäästöjä syntyy merkittävästi vähemmän, ja matalan typpipitoisuuden ansiosta savukaasu soveltuu erinomaisesti CCS- ja CCU-hankkeisiin.

Selvityksen kaupallisessa mallissa ei ole määritetty hapelle myyntihintaa, sillä sille ei ole toistaiseksi selkeitä, vakiintuneita markkinoita. Hapen myynti voidaan kuitenkin nähdä potentiaalisena lisämyyntitulojen lähteenä.

7. HANKEYHTIÖ JA RAHOITUS

7.1 Yhtiömalli

7.1.1 Yleistä

Työssä tarkastellaan mahdollisia toimintamaleja hankeyhtiön perustamis- ja kehittämisvaiheissa. Valittava hankeyhtiömalli riippuu liiketoiminnasta, osakkaista ja rahoittajista. Tarkasteltavat mallit muotoutuvat liiketoiminnan harjoittamista sekä oman ja vieraan pääoman rahoittajien tarpeita palvelemaan, ei toisinpäin. Koska tarkoituksena on kuitenkin kehittää vihreää siirtymää palveluvaa liiketoimintaa, organisaatiomuotona tarkoitusta palvelee parhaiten osakeyhtiömuotoinen organisaatio. Liiketoiminnan tuotteita ovat MMR-yksikön tuottama ydinenergia suoraan loppukäyttäjille ja/tai tukkuna lopputuotteiden valmistukseen sekä sähkön ja kaukolämmön yhteistuotannossa lämpöenergia jakeluverkon asiakkaille sekä sähköenergia Nord Pooliin. Vetytuotetta myydään liikenne- ja teollisuusasiakkaille sekä varastoidaan myyntiä varten.

7.1.2 Alkuvaihe – Development-vaihe

Toiminnan alkuvaiheessa kartoitetaan liiketoiminta ja sen tuotteet sekä etsitään sijoittajat ja rahoittajat sekä paikkakunta, jossa toimintaa ensin harjoitetaan.

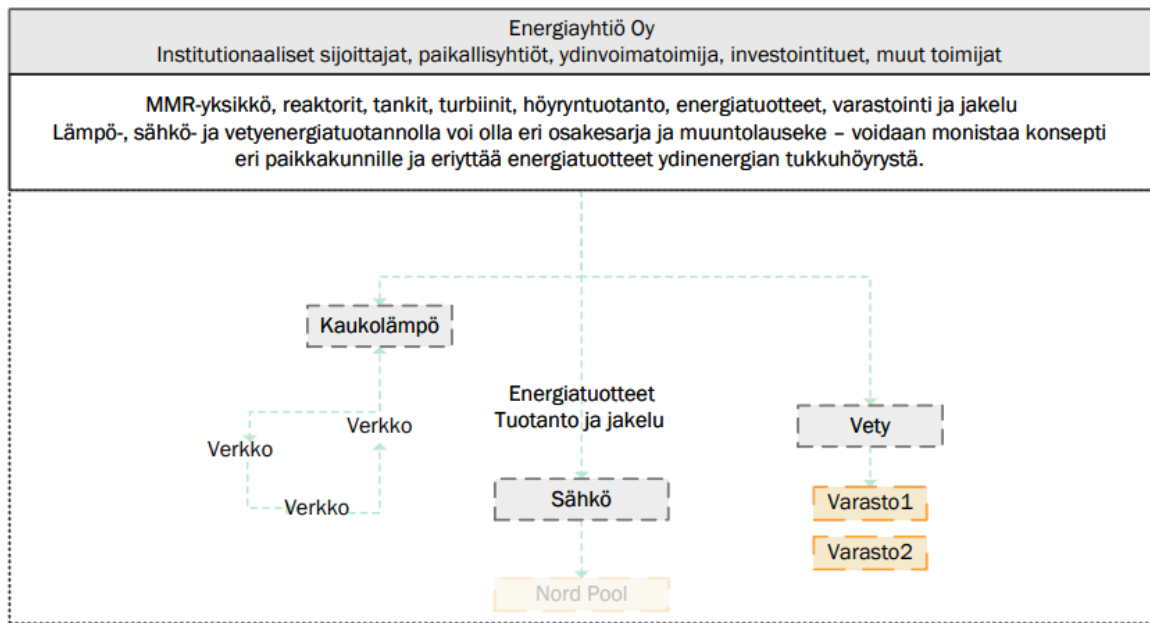
Kehitysvaiheessa hankeyhtiön on panostettava riittävän oman pääoman keräämiseen. Rahoituksen saamisen edellytyksenä on liitännäisyys vihreään/puhtaaseen siirtymään. Oman pääoman keräämiseen edellytyksenä on uskottavasti esitetty, sijoituskelpoinen sekä teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoinen hanke. Hankeyhtiön alkuvaiheessa oman pääoman ehtoista sijoitusrahoi- tusta hakiessa sillä on oltava:

- Ydintiimi, jolla on vahva osaaminen hankekehityksestä, rahoituksesta ja markkinoinnista paikallisella, alueellisella ja laajemmalla tasolla
- Teknologiat, jotka ovat koeteltuja ja uskottavia hankeyhtiön toimialoilla
- Esisopimukset raaka-aineiden hankinnasta sekä väli- ja lopputuotteiden myynnistä
- Laitospaikka, joka on sijainniltaan hyvä ja on kaavoitettavissa toimintaan ja sen muutok- siin sopivaksi
- Ymmärrys urakka-, rakennus- ja laitehankinnoista ja niiden aikatauluista
- Ymmärrys lupaprosessista ja niiden aikatauluista.

Jo alkuvaiheessa ymmärretään, että ydinenergian tuottamiseen pienvoimaloissa sekä ydinjätteen käsittelyn asianmukaiseen järjestämiseen tarvitaan mukaan ydinenergia-alan in house -osaamista (modulaariset reaktorit, tankit, turbiinit, ydinjäte jne.).

Samaa osaamista tarvitaan toiminnan laajetessa maakunnalliselle ja valtakunnalliselle tasolle monistettaessa MMR-yksiköitä modulaaristen reaktoreiden sarjatuotannossa sekä vastattaessa ydin- jätteen määrän kasvun haasteisiin. Osakkaina voi olla ydinenergia-alan toimijan lisäksi institutio- naaliset sijoittajat. Sähkön ja kaukolämmön sekä vedyn myynti on perinteistä paikalliselle tasolle soveltuvaa liiketoimintaa, joka voi houkuttaa alan toimijoita sekä paikallisia rahoittajia. Alkuvai- heessa yhtiömallin hajauttaminen ei ole tarpeen, ellei laajemmasta konseptista ole vielä sitovia sopimuksia.

Hankeyhtiö toimii hankekehitysvaiheessa kustannuksista vastaavana hankekehittäjänä. Hankeyh- tiön kehitysvaiheen kustannukset katetaan omapääomaehtoisena rahoituksena.



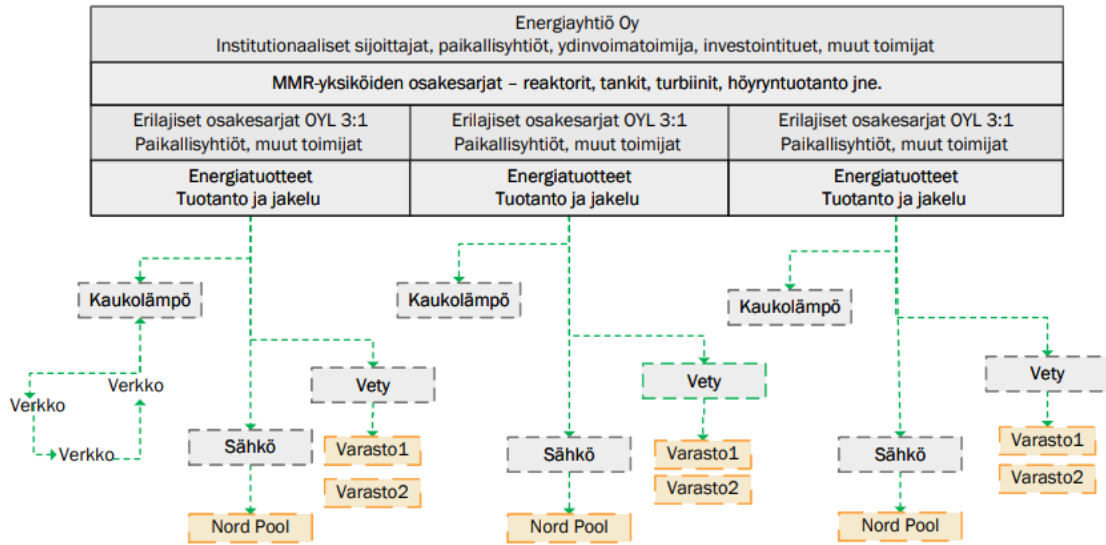
Tekijä: Tomi Rinne

Kuva 7-1. Yhtiömallin periaatekuva toiminnan alkuvaiheessa

7.1.3 Toiminnan laajentuminen

Toiminnan laajentuminen tarkoittaa muiden paikkakuntien mukaantuloa sekä MMR-yksiköihin liittyvien modulaaristen reaktoreiden sarjatuotannon alkamista. Tässä vaiheessa voidaan tarvittaessa eriyttää osakelajeja tai perustaa konsernirakenne, joka palvelee valtakunnallista, alueellista ja paikallista osaamis- ja toimintatasoja sekä vastaa eri tasoilla toimivien sijoittajien ja rahoittajien vaatimuksiin.

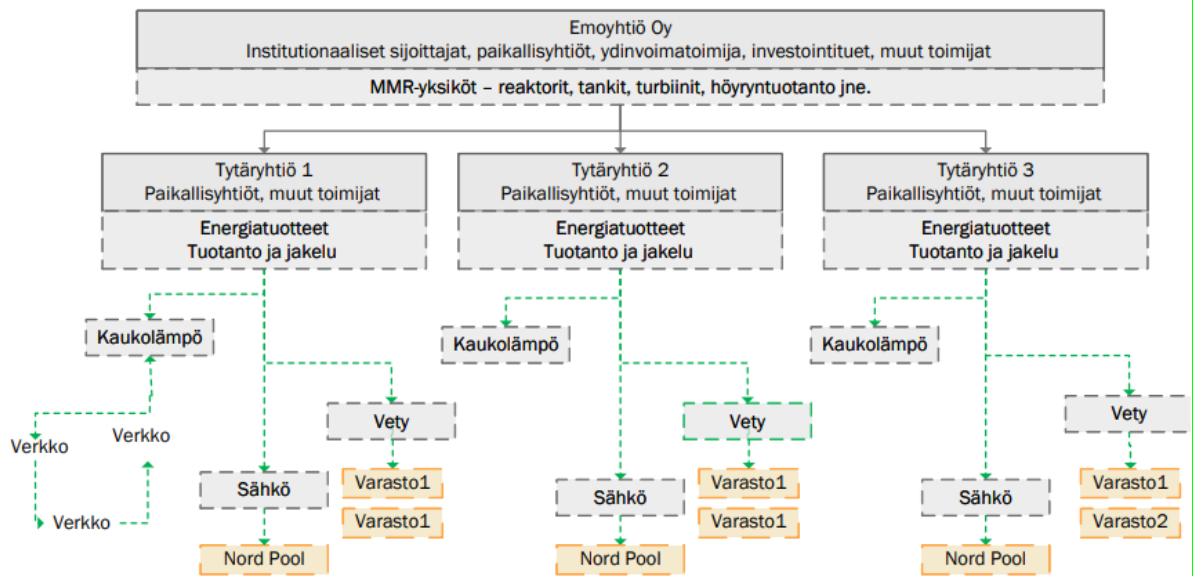
Erilaisia osakkaita ja rahoittajia sekä samalla osaamis- ja liiketoimintatasoja voidaan palvella mm. osakelajikohtaisella ratkaisulla (Kuva 7-2).



Tekijä: Tomi Rinne

Kuva 7-2. Osakelajikohtaisen yhtiömallin periaatekuva

Investointi valtakunnallisen toimijan erilajisiin osakkeisiin ei välttämättä tyydytä liiketoiminnallista ohjaustarvetta paikallisella tasolla, jolloin konsernimalli (Kuva 7-3) tai eri mallien yhdistelmä voi olla toimivin ratkaisu.



Tekijä: Tomi Rinne

Kuva 7-3. Konsernimallin periaatekuva

7.1.4 Voitonjako

Konsernimallissa emoyhtiön tulo muodostuu kokonaan tai osittain emoyhtiön ja tytäryhtiöiden välisestä konserninsisäisestä liikevaihdosta. Emoyhtiön voitonjakoko osakkaiden kesken perustuu osakkuuksiin ja/tai sovitaan osakassopimuksissa. MMR-laitoksen tuottaman höyryn pääomakustannus on ensimmäisessä MMR-laitoksella korkeampi kuin seuraavia laitoksia toteutettaessa. Laitossarjan toteuttamisessa pääomakustannuksen yksikköhinta tyypillisesti alenee toteutettavien yksiköiden määrän kasvaessa. Taulukossa (Taulukko 7-1) havainnollistuu höyryn yksikkökustannuksen aleneminen MMR-laitossarjan edetessä.

Emoyhtiön keskeinen funktio on jakaa laitosten sarjamuotoisesta toteuttamisesta koitua hyöty kaikkien laitosten tytäryhtiöille tuottaman höyryn hintaan. Tämä edellyttää sitä, että osakassopimuksissa on määritetty kohteiden rakentumisjärjestys. Rakentumisjärjestykseen vaikuttaa kunkin kohteen markkina-alueella vallitseva lopputuotteiden, höyryn, lämmön, vedyn ja hapen kysyntä ja hinta. Emoyhtiö rakennuttaa ensimmäisen laitoksen siihen sijaintiin, missä lopputuotteilla on suurin arvo osakkaille. Tästä yksinkertaisen esimerkkinä on kaukolämmön vallitseva tuotantokustannus. Siellä missä kaukolämmön nykyinen tuotantokustannus on korkein ja rajahyöty suurin, on todennäköisin ensimmäinen sijoittumispaikkakunta.

Tytäryhtiöiden tulovirta tulee lämmön, sähkön, vedyn ja hapen myynnistä. Tytäryhtiöiden voitonjako sovitaan osakassopimuksissa yhtiökohtaisesti. Tytäryhtiön toiminnan kannalta on merkityksellistä se, että sen saama tulovirta lämmöstä on riittävän korkea suhteessa emoyhtiölle maksettavaan höyryn hintaan.

Lopullinen yhtiömalli kehittyy palvelemaan valittavia liiketoimintaratkaisuja sekä osakkaita ja rahoittajia. Yhtiömallia voi myös tarkistaa toiminnan laajentuessa ja liiketoiminnan kehittyessä.

Konsernimallia puoltaa myös:

- MMR-laitoksen rakentamis- ja käyttö lupia varten erittäin keskeisen ydinvoimaosaamisen keskittyminen alueelliseksi tai valtakunnalliseksi laajenevaan emoyhtiöön ja keskitetyn osaamisen hyödyntäminen omistuksen myötä myös tytäryhtiöissä
- tytäryhtiöiden paikallinen luonne vastaa paikallisen markkinan, erityisesti lämmitysmarkkinan toimintaympäristöä paikallisessa ohjauksessa
- konserniavustusten käyttö toiminnan laajentumisvaiheessa tukemaan osin tytäryhtiöiden toimintaa alkuvuosina.
- Emoyhtiön rooli MMR-laitosten tilaussarjan valmistelussa on keskeinen, sillä emoyhtiö on MMR-laitossarjan tilaaja.

7.1.5 Laitossarjan tuoma etu hankeyhtiön näkökulmasta

Hankeyhtiön tavoitteena on mahdollistaa laitossarjan rakentaminen. Laitossarjalla tavoitellaan sarjan myötä tulevaa MMR-laitoksen kustannusalenemaa, ja siten helpottaa ensimmäisten laitoksen pääomakustannusta, kun kaikki MMR-laitokset tulevat saman emoyhtiön taseeseen. Taulukossa (Taulukko 7-1) esitetään MMR-laitoskokonaisuuden pääomakustannusalenema, kun oletuksina on 10% kustannusalenema kullekin kahden vuoden välein aloitettavalle MMR-laitokselle.

Taulukko 7-1. Tuotetun höyryn omakustannushinta €/MWh laitossarjan eri vaiheissa

Laitos nro.	Investointikerroin	Höyryn OKH €/MWh		Ero
		Yksittäislaitos	Sarja	
1	1,00	12,7	11,8	-7 %
2	0,90	12,2	11,6	-6 %
3	0,81	11,7	11,4	-3 %
4	0,73	11,2	11,2	0 %
5	0,66	10,8	11,1	2 %

Kustannusalanemalla saavutettava alenema tuotetun höyryn omakustannushintaan on verrattain pieni kokonaisinvestointiin nähden, eikä se yksin puolla nyt esitettyä yhtiömallia. Esitetyn yhtiömallin etu tulee esille taloudellisen riskin jaossa sekä rakentamis- ja käyttöluvan saamisessa. Mikäli kustannus sarjan ensimmäisessä MMR-laitoksessa nousee merkittävästi, ei ylitys ja hankkeen taloudellisen kannattamattomuuden tuoma rasite jää vain yhden yhtiön kannettavaksi, vaan rasitetta on jakamassa useampia toimijoita.

Nyt esitetyllä yhtiömallilla on ydinvoimaosaamiseen liittyvä etu. Nykyisessä ydinenergiailaissa edellytetään ydinenergian käytön toimiluvan hakijalta riittävää, todennettua ydinlaitoksen rakentamisen, ydinenergian käytön ja ydinjätteen käsittelyn edellyttämän ydinturvallisuuden osamista. Hankeyhtiömallissa ydinlaitosteknologiaosaaminen on keskitetty emoyhtiöön. Lämpötehoon yli 50 MW laitoksen rakentaminen edellyttää yleiseltä merkitykseltään huomattavana myös valtioneuvoston periaatepäätöstä. Tilanteessa, missä erilliset hankkeet ovat erillisissä yhtiöissä, toimiluvan saamiseksi edellytettävän riittävän ydinvoimaosaamisen saatavuus voi olla vaikeaa, jopa mahdotonta. Sama tilanne tulee käsilä MMR-laitoksen käyttö- ja huolto-organisaatioissa.

7.2 Yhtiön rahoitusperusta

Teknisiltä ja kestävyyskriteereiltään toteuttamiskelpoisen yhtiön rahoitus edellyttää taloudellista toteuttamiskelpoisuutta. Tavoitteena on varmistaa riittävä rahoitus yrityksen toiminnalle ja investoinneille sekä optimoida rahoitusrakenne kustannustehokkuuden ja riskienhallinnan näkökulmasta. Tehokas rahoitusstrategia on yhdistelmä oman ja vieraan pääoman rahoitusta, mikä luo pohjan taloudelliselle kestävyydelle. Yrityksen johto joutuu tasapainottelemaan näiden rahoitusvaihtoehtojen välillä, tarkastellen sekä rahoituskustannuksia että toiminnan taloudellisia riskejä. Optimaalinen rahoitusratkaisu minimoi kustannukset samalla, kun se tukee yrityksen operatiivista toimintaa ja kasvumahdollisuuksia. Tärkeä osa päätöksenteon prosessia on ymmärtää, kuinka rahoituksen kokonaiskustannus vaikuttaa yrityksen pitkän aikavälin suunnitelmiin, kykyyn investoida tulevaisuuden mahdollisuuksiin ja lopulliseen nettotuloon.

Tässä luvussa tarkastellaan ensin yleisessä tasolla hankeyhtiöiden rahoitusperustaa ja -lähteitä. Tämän jälkeen muodostetaan arvio MMR-laitoksen hankeyhtiölle soveltuvasta rahoitusperustasta ja soveltuvista rahoituslähteistä sekä tarkastellaan näihin liittyviä erityispiirteitä. Tämän luvun loppuun esitetään Rambollin arvio rahoitusperustan jakaantumisesta sekä rahoituskustannuksista.

7.2.1 Hankeyhtiöiden rahoitusperusta

Hankeyhtiö, joka on usein erillinen oikeushenkilönsä, perustetaan toteuttamaan tarkasti rajattua hanketta. Yleisesti kyseisten yhtiöiden rahoitusperusta on suunniteltu tukemaan erityisesti yksittäisen projektin tai investoinnin käynnistämistä ja hallinnointia. Tämä sisältää kaikki tarvittavat

resurssit, kuten oman pääoman ja vieraan pääoman (velkarahoitus), jotka ovat tarpeen projektin suunnitteluun sekä laitosten rakentamiseen ja ylläpitoon.

Hankeyhtiön rahoitusperusta vaihtelee tyypillisesti hankkeen luonteesta, koosta kestosta ja vaatimuksista riippuen, mutta myös markkinoiden olosuhteista ja sääntelystä riippuen. Tyypillisimmin hankeyhtiöiden rahoitusperusta koostuu useista lähteistä, kuten osakepääomarahoituksesta, velkarahoituksesta, kuten lainoista ja joukkovelkakirjoista, sekä erilaisista tuista ja avustuksista. Osakepääomarahoitusta voidaan muodostaa sekä omista varoista että sijoittajien osallistumisesta. Lisäksi välirahoitus (*mezzanine financing*) voi olla soveltuva hankeyhtiön rahoitusmuoto.

Osakepääomarahoituksella viitataan rahoitusmuotoon, jossa yhtiöön hankitaan varoja yhtiön osakkeita vastaan. Tyypillisimpiä sijoittajia ovat toiset yhtiöt, pääomasijoitusyhtiöt sekä muut institutionaaliset sijoittajat ja toimijat. Vastineeksi sijoittamilleen varoille sijoittajat saavat osan yrityksen omistajuudesta ja potentiaalisesti oikeuden osinkoihin sekä äänioikeuden yhtiön päätöksenteossa. Osakepääomarahoitusta ei yleensä sisällä takaisinmaksuvelvoitetta, kuten lainoissa, koska osakkeiden ostajat ottavat suuremman riskin sijoitukselleen. Heidän tuottoensa perustuu yleensä yrityksen menestykseen ja arvon kasvuun. Toisaalta, jos yhtiö ei menesty, sijoittajat voivat menettää osan tai koko sijoittamansa pääoman. Osakepääoman rahoituksen etuja voidaan pitää siinä, että se vähentää hankeyhtiön velantarvetta ja korkokustannuksia. Lisäksi se mahdollistaa riskin jakamisen sijoittajien kesken, heidän sitouttamisensa yhtiön toimintaan sekä heidän tuomansa osaamisen, tietotaidon ja kontaktien hyödyntämisen yhtiön toiminnan tukena. Osakepääomarahoitusta on hankeyhtiön rahoitusmuoto hankekehitysvaiheessa.

Velkarahoitus koostuu lainoista, joita hankeyhtiö ottaa erilaisilta rahoituslaitoksilta, kuten pankkeilta, sijoitusyhtiöiltä ja rahastoilta sekä muilta institutionaalisilta sijoittajilta. Lisäksi yrityksen omistajat voivat sijoittaa oman pääoman lisäksi vierasta pääomaa yhtiöön. Velkarahoitus voi sisältää erilaisia lainamalleja, kuten lyhytaikaisia tai pitkäaikaisia lainoja, joukkovelkakirjoja tai pankkilainoja. Nämä lainamallit perustuvat siihen, että yritys sitoutuu maksamaan lainan takaisin sovitun ajan kuluessa yleensä korkoa vastaan. Nämä lainat voivat olla järjestetty monella tavalla, esimerkiksi hankerahoituksena, missä lainan vakuutena on itse hanke ja sen tulevat kassavirrat.

Hankerahoituksen etu on, että lainanottajan riski rajataan hankkeeseen, ja lainanottajan vastuu tai muut takuut voivat olla rajoitettuja. Lisäksi velkarahoitus voi tarjota veroetuja korkokulujen vähennettävyyden muodossa. Toisaalta liiallinen velkarahoitus voi lisätä yrityksen taloudellista riskiä ja altistaa sen maksukyvyttömyysriskeille erityisesti heikossa taloustilanteessa. Lisäksi vieraan pääoman alaisen velkarahoituksen saatavuus voi olla heikkoa, mikäli yhtiöön ei sijoiteta tarpeeksi omaa pääomaa.

Välirahoitus, tunnettu myös nimellä mezzanine-rahoitus, on yritysten rahoitusmuoto, joka sijoituu riskin ja tuottovaatimusten puolesta keskelle oman pääoman ja velkapääoman välimaastoon. Se on yhdistelmärahoitusmuoto, jossa rahoitus järjestetään usein velkainstrumenttina, jolla on mahdollisuus muuntua osakepääomaksi tai johon sisältyy osakkeiden osto-optio. Tämän kaltaisia rahoitusinstrumentteja ovat optiolaina, vaihtovelkakirjalaina ja pääomalaina.

Tuet ja avustukset voivat sisältää erilaisia rahoitusmekanismeja, kuten suoria taloudellisia avustuksia, verohelpotuksia, edullista tai takaajalta saatuja lainoja, sekä erityisiä investointitukia, jotka ovat usein suunnattu edistämään yhteiskunnallisesti tärkeitä hankkeita kuten infrastruktuuria, energiaa tai ympäristöteknologiaa. Tukimekanismeja on tarkasteltu yksityiskohtaisemmin raportin luvussa 4.

7.2.2 Lappeenrannan MMR-laitoksen hankeyhtiön rahoitusperusta

Lappeenrannan MMR-laitoksen hankeyhtiön yhtiömalli perustuu konsernirakenteeseen, jonka emoyhtiön potentiaalisia omistajia ovat kuntayhtiöt, institutionaaliset sijoittajat, ydinvoimatoimijat ja muut toimijat. Yhtiömallia on kuvattu tarkemmin alaluvussa 7.1. Tässä alaluvussa tarkastellaan hankeyhtiön rahoitusrakennetta koko konsernin tasolla pitäen sisällään aluksi emoyhtiön ja yhden tytäryhtiön oletuksella, että tytäryhtiön on 100 % emoyhtiön omistuksessa. On kuitenkin hyvä huomioida, että tytäryhtiön ja emoyhtiön omistuspohjan poikkeavuudella on vaikutusta myös rahoitusrakenteen tarkasteluihin.

MMR-laitoksen hankeyhtiön rakenne tukee oman pääoman alaista rahoitusta, joka on peräisin hankeyhtiön sijoittamista pääomista. Toisaalta yhtiörakenne mahdollistaa myös vieraan pääoman alaisen rahoituksen ja investointitukien hyödyntämisen osana rahoitusperustaa.

Tuotantolaitosinvestointikustannus vaihtelee tuotantolaitosvaihtoehdon mukaan 111,8–333,4 M€ välillä, ja investoinnin toteuttaminen edellyttääkin merkittävää rahoituksen hankkimista ja kannustaa laajaan rahoitusperustaan. Laaja rahoitusperusta mahdollistaa useamman erilaisen rahoituslähteen hyödyntämisen, kuten oman pääoman, vieraan pääoman ja investointituen. Useamman erilaisen rahoituslähteen, kuten oman pääoman, vieraan pääoman ja investointituen, hyödyntäminen mahdollistaa investointiin tarvittavan rahoituksen kokoamista. On todennäköistä, etteivät oman pääoman alaiset sijoitukset välttämättä riitä kattamaan investointikustannusta, ja toisaalta omistajat todennäköisesti haluavat jakaa riskiään rahoituksen näkökulmasta myös vieraan pääoman alaisen rahoituksen suuntaan. Lisäksi investointituen saaminen vähentäisi kokonaisrahoituksen tarvetta.

Kyseisen MMR-laitoksen hankeyhtiön investoinnin voidaan katsoa olevan keskimääräistä korkeamman riskin investointi, sillä vastaavatyypistä laitosisinvestointia ei toteutettu Suomessa. Toisaalta laitteisto on hyvinkin kehittyntä ja laitoksen lopputuotteille, etenkin sähkölle ja lämmölle on vaakaat markkinat. Tämän tyyppiseen hankeeseen, voi olla haastavampaa saada vieraan pääoman alaista lainarahoitusta, koska lainanantajat tarvitsevat takuita takaisinmaksusta. Tämän vuoksi yhtiön on todennäköisesti turvauduttava myös merkittävin osin omistajien rahoitukseen, jolloin omistajat jakavat sekä riskin että tuotot. Toisaalta todennäköisesti vieraan pääoman saatavuus paranee, mikäli yhtiöön on sijoitettu omaa pääomaa. Lisäksi tässä tapauksessa vieraan pääoman korkotaso voi olla alhaisempi alhaisemman riskitason takia. Alhaisempi korkotaso laskee rahoituskustannuksia ja parantaa yhtiön kannattavuutta. Edelleen laajempi rahoitusperusta voi houkuttaa erilaisia sijoittajia, kuten institutionaalisia sijoittajia, yksityissijoittajia ja julkisia tukia, mikä voi lisätä investoinnin legitimitettä ja vähentää rahoituksen saatavuuden riskejä.

MMR-hankeyhtiön tasolla laajempi rahoitusperusta voi alentaa kokonaisrahoituskustannuksia. Pääomankustannus vaihtelee riippuen siitä, onko kyseessä oman vai vieraan pääomanalainen sijoitus. Toisaalta riskialtis lainarahoitus nostaa vieraan pääoman kustannusta, mutta toisaalta myös oman pääoman tuottovaatimus voi olla korkeampi kuin vieraan pääoman, sillä koska omistajille sijoitetun pääoman riski on suurempi. Omistajien odotetaan saavan korkeampaa tuottoa osakkeidensa riskin kompensoimiseksi. Tämä pätee tässäkin hankeyhtiön tapauksessa etenkin institutionaalisten sijoittajien tapauksessa, joilla on sijoituksilleen selvät tuottovaatimukset. Lisäksi monipuolinen rahoitusperusta lisää yhtiön joustavuutta ja hajauttaa yhtiön riskiä, mikä vähentää yhtiön altistumista yksittäisten rahoittajien vaatimuksille tai markkinoiden muutoksille.

Rahoituksen tarpeen ajoittuminen, takaisinmaksuvelvoitteet ja verotukselliset tekijät puoltavat kokonaisuudessaan rahoitusperustan jakaantumista oman ja vieraan pääoman välille. Takaisinmaksuvelvoitteiden eroavaisuus vieraan ja oman pääoman välillä lisää yhtiön joustavuutta. Vieras

pääoma on maksettava takaisin korkoineen lainaehtojen mukaisesti yhtiön taloudellisesta tilasta riippumatta. Sen sijaan oma pääoman suhteen ei ole takaisinmaksuveloitetta. Yhtiön osakkeenomistajille maksetaan tuottoa yleensä osinkojen muodossa vain, kun yhtiön taloudellinen tilanne sen sallii. Pakottavaa takaisinmaksuveloitteeseen liittyvää riskiä voidaan pienentää oman pääoman alaisella rahoituksella, ja toisaalta samalla voidaan ottaa huomioon laitoksen kaupallista käyttöönottoa oleva aika, jolloin positiivista kassavirtaa ei vielä synny, mutta rahoituksen tarve on merkittävä. Toisaalta verotuksellisesti hankeyhtiön kontekstissa on hyvä huomioida, että vieraan pääoman kustannukset ovat useimmiten vähennyskelpoisia, mikä pienentää maksettavien verojen määrää. Sen sijaan oman pääoman kustannuksia ei voi vähentää verotuksessa, ja osinkoja voidaan jakaa vasta verojen maksun jälkeisestä tuloksesta.

Näiden yllä tunnistettujen tekijöiden vuoksi onkin perusteltua, että investointi koostuu useasta rahoituslähteestä. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 7-2) on esitetty hankeyhtiölle soveltuva rahoitusperusta toimijoittain, joka koostuu omasta pääomasta, vieraasta pääomasta ja investointituesta. Lisäksi taulukossa on esitetty näiden rahoituslähteiden saatavuus, lähteeseen liittyvät vastuut, velvollisuudet ja riskit sekä tase- ja tuloslaskelmavaikutukset.

Taulukko 7-2. MMR-laitoksen hankeyhtiölle soveltuva rahoitusperusta toimijoittain

Toimija	Saatavuus	Rahoitusmuoto	Vastuut, velvollisuudet ja riskit	Tase- ja tuloslaskelmavaikutukset
Kuntayhtiöt, ydinvoima-toimijat	Useita potentiaalisia kunnallisia energiayhtiöitä, markkinoilla rajoitetusti ydinvoimatoimijoita	Oma pääoma (osakepää-oma)	<ul style="list-style-type: none"> Osingonmaksu Omistajien näkemysten huomioiminen hankeyhtiön päätöksenteossa Riski sijoitetun pääoman menettämisestä 	<p>Tase: Vastattavaa puolella oman pääoman (osakepääoman) alla</p> <p>Tuloslaskelma: Ei vaikutuksia</p>
Institutionaaliset sijoittajat	Useita potentiaalisia toimijoita, kuten venture- ja kasvurahastot, yksityiset sijoitusyhtiöt, yksityissijoittajat, eläke- ja vakuutusyhtiöt, kaupalliset pankit, rahoitus- ja luottolaitokset sekä julkiset rahoituslaitokset	Oma pääoma (osakepää-oma)	<ul style="list-style-type: none"> Osingonmaksu Osaomistus Omistajien näkemysten huomioiminen hankeyhtiön päätöksenteossa Riski sijoitetun pääoman menettämisestä 	<p>Tase: Vastattavaa puolella oman pääoman (osakepääoman) alla</p> <p>Tuloslaskelma: Ei vaikutuksia</p>
		Vieras pääoma (lainarahoitus)*	<ul style="list-style-type: none"> Takaisinmaksuvelvollisuus ja rahoituskustannuksien kattaminen Rahoituskustannuksien riskienhallinta Liiallinen velkaantuminen ja rahoitusvaikeudet 	<p>Tase: Vastattavaa puolella vieraan pääoman alla</p> <p>Tuloslaskelma: Rahoituskustannukset</p>
Tukia ja avustuksia tarjoavat toimijat, kuten kansalliset toimijat ja EU	Useita mahdollisia toimijoita (ks. tarkemmin luvusta 4)	Vieras pääoma (tukiperusteinen lainarahoitus)	<ul style="list-style-type: none"> Takaisinmaksuvelvollisuus ja rahoituskustannuksien kattaminen Rahoituskustannuksien riskienhallinta Liiallinen velkaantuminen ja rahoitusvaikeudet 	<p>Tase: Vastattavaa puolella vieraan pääoman alla</p> <p>Tuloslaskelma: Rahoituskustannukset</p>
		Investointituki	<ul style="list-style-type: none"> Mahdolliset raportointi- ja seurantaveloitteet Sijoitusten käyttö sovittu ja tehokkaasti hankkeen toteuttamiseen ja kehittämiseen Mahdolliset rajoitusten ja ehtojen huomioiminen hankeyhtiössä 	<p>Tase: Vastattavaa puolella oman pääoman alla (esim. sijoitetun vapaan pääoman rahasto tai muu vastaava pääoman erä)</p> <p>Tuloslaskelma: Ei vaikutuksia</p>

*Kuntarahoitus ei lähtökohtaisesti ole soveltuva tämän hankeyhtiön tarkoitukseen, sillä hankeyhtiö ei täytä täysin kuntarahoituksen ehtoja. Kuntarahoituksen ehdoissa on määritetty, että rahoitusta saa vain ei-kilpailuilla markkinoilla toimimiseen. Teoriassa kuntarahoitus voisi mahdollinen rahoituslähde, mikäli kaukolämpöliiketoiminnan investoinnin osuus pystyttäisiin eriyttämään erilliseksi sähkö- ja vetyliiketoiminnasta.

7.2.3 Lappeenrannan MMR-laitoksen hankeyhtiön rahoituskustannukset

Kuten aiemmassa alaluvussa todettiin, niin on perusteltua, että investointi koostuu useasta rahoituslähteestä, kuten oman pääoman sijoituksista, vieraan pääoman alaisista rahoituslähteistä ja investointituesta.

Huomioiden rahoitusperustaan vaikuttavat tekijät, Rambollin arvion mukaan hankeyhtiön rahoitusperusta jakautuisi oman ja vieraan pääoman välillä seuraavasti:

- 30 % omaa pääomaa
- 70 % vierasta pääomaa

Lisäksi investointitukea on arvioitu saatavan 30 % investoinnista vähentäen kokonaisuudesta vieraan ja oman pääoman alaista rahoitusta.

Keskimääräisen vuotuisen pääoman tuottovaatimuksen on oletettu olevan oman pääoman tapauksessa 6 % ja vieraan pääoman tapauksessa 3 %. Vieraan pääoma laina-ajaksi on oletettu 25 v. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 7-3) on esitetty vuosittaiset vieraan pääoman annuiteettierät (sis. lyhennyksen ja korkokustannukset) sekä oman pääoman tuotto-odotukset eri tuotantolaitosvaihtoehdoille.

Taulukko 7-3. MMR-laitoksen vieraan pääoman rahoituskustannukset ja oman pääoman tuotto-odotus

Tuotantolaitosvaihtoehto	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2
Vieraan pääoman annuiteettierä	2,97 M€/a	5,37 M€/a	4,25 M€/a	7,35 M€/a	5,12 M€/a	8,87 M€/a
Oman pääoman tuotto-odotus	1,41 M€/a	2,55 M€/a	2,02 M€/a	3,49 M€/a	2,43 M€/a	4,20 M€/a

On kuitenkin hyvä huomioida, että vieraan pääoman rahoituskustannukset on maksettava riippumatta yrityksen taloudellisesta tilanteesta. Sen sijaan omalle pääomalle voidaan maksaa tuottoa vain, mikäli yrityksen taloudellinen tilanne sen sallii. Kaupallinen malli -luvussa on tarkasteltu tuotantolaitosvaihtoehdoittain, paljonko osinkoa voitaisiin jakaa, kun otetaan huomioon yhtiön liikevaihto, liiketoiminnan kulut, rahoituskustannukset ja verot.

8. KAUPALLINEN MALLI

Laitoksen kaupallisen mallin tavoitteena on tuottaa näkymän hankekokonaisuuden taloudellisesta kannattavuudesta. Kaupallisessa mallissa on otettu huomioon laitoksen investointikustannusarvio, positiiviset kassavirrat tuotemyynneistä, käytön operatiiviset kustannukset, hallintoon liittyvät kustannukset, rahoituskustannukset sekä verotukseen liittyvät näkökohdat.

Tässä luvussa tarkastellaan ensin kaupallisen mallin osatekijöitä. Sen jälkeen tarkastellaan ja arvioidaan mallin eri osatekijöistä muodostuvaa kuvaa yhtiön kannattavuudesta. Kaupallisen mallin luvuissa ei ole huomioitu inflaation vaikutusta eivätkä luvut sisällä arvonlisäveroa.

8.1 Kaupallisen mallin osatekijät & oletukset

Kaupallisessa mallissa jokaiselle alla olevan taulukon (Taulukko 8-1) mukaiselle tuotantolaitosvaihtoehdolle on samat osatekijät: Rahavirta & nettonykyarvo, Myynnit, Primääri toimintakulut, Käyttö- ja kunnossapitokulut sekä Muut kulut. Osatekijät sisältävät muuttujina esimerkiksi sekä kiinteitä, että muuttuvia kuluja, mutta mallin selkeyttämiseksi esimerkiksi muuttuvat kulut ovat mallinnettu keskiarvoisina kuluina koko mallinnusajan pituudelle. Monen osatekijän muuttujien laskentaa varten on käytetty oletettuja alkuarvoparametreja kuten korkokantoja tai arvonalenemaa.

Taulukko 8-1. Kaupallisen malliin muuttuvat kustannukset laitosvaihtoehdoille 1.1 – 3.2

Muuttuvat kustannukset	Laskentatapa & yksikköhinta, määrä	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2
Polttoainekustannukset	EnergyPRO, €/MWh	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	5.0
	Määrä GWh	360	721	360	721	357	711
Antomaksu	EnergyPRO, €/MWh	0	0	0.61	0.61	0.61	0.61
	Määrä GWh	0	0	72	144	44	89
Spot-sähkön osto	EnergyPRO, €/MWh	58.65	58.65	0.0	-500	2.38	4.81
	Määrä GWh	4.0	8.0	0	0.004	22	52
Sähkön tuontimaksut	EnergyPRO, €/MWh	4.81	4.81	0.0	4.10	4.10	4.10
	Määrä GWh	4.0	8.0	0.0	0.004	22	52
Raakavesimaksu	EnergyPRO, €/m ³	0	0	0	0	1.62	1.62
	Määrä 1000 m ³	0	0	0	0	14	28
Jätevesimaksu	EnergyPRO, €/m ³	0	0	0	0	2.37	2.37
	Määrä 1000 m ³	0	0	0	0	0.32	0.64
Ydinjätemaksu	Posivan tilinpäätös* €/MWh	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
	Määrä GWh	335	670	335	670	335	670

*Arvio ydinjätemaksujen suuruudesta perustuu Posivan tilinpäätöstietojen liitteissä (2021–2023) esitettyjen vuosittaisten kulujen suuruuteen ja kehitykseen suhteessa tuotettuun ydinvoimalla tuotettuun energiaan vuosilta.

Laitosvaihtoehtojen käyttökulut (henkilöstö) on laskettu vaadittavan miehityksen sekä kokemusperäisen lämpö/voimalaitoksen kunnossapitotarpeiden mukaan. Operatiivista organisaatiota on lisäksi säädetty sähkön ja vedyntuotannon laitosvaihtoehdoille laajenevien vastuukokonaisuuksien mukaan. Operatiivista organisaation suuruutta on hahmotettu alla olevassa taulukossa (Taulukko 8-2).

Taulukko 8-2. Operatiivisen organisaation kolmen henkilöstökategorian mukaan kuulle laitosvaihtoehdolle (1.1 – 3.2)

	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2
Johto (sis. laitospäällikkö & domain päällikkö)	1	1	2	3	4	4
Keskijohto (sis. vuoropäälliköt, kupi työnjohto)	4	4	5	6	6	6
Operaattorit & asentajat (valvomo, mekaaninen, sähkö & automaatio)	6	6	9	9	9	10
Yhteensä FTE	11	11	16	18	19	20

Kunnossapitokulut on määritetty skaalautuvasti prosenttina laitosvaihtoehdon alkuinvestoinnista, mitä on hahmotettu alla olevassa kuvaajassa (Kuva 8-1).



Kuva 8-1. Tyypillisen voimalaitoksen keskimääräiset vuotuiset kunnossapitokulut % alkuinvestoinnista laitoksen elinkaaren aikana

Kuvassa esitetyn käyrän muoto on kaareva koska laitoksen ollessa uusi suuret korjauskulut tapahtuvat usein takuuajalla. Laitoksen optimaalisen ja turvallisen toiminnan ylläpitämiseen suurimmat panostukset on syytä tehdä teknisen iän puolella välissä, jolloin voidaan toteuttaa laajasti näitä seikkoja edistäviä investointeja. Laitoksen iän loppuvaiheessa on syytä keskittyä pääosin turvallisuuteen ja muihin välttämättömiin korjauksiin.

8.1.1 Kiinteistövero

Omistaja tai omistajanveroinen haltija maksaa kiinteistöveroä tonteista jne. itsenäisistä yksiköistä, jotka merkitään kiinteistöinä kiinteistörekisterilain (392/1985) mukaisesti kiinteistörekisteriin. Kiinteistövero määräytyy kiinteistöverolain (654/1992) ja varojen arvostamisesta verotuksessa annetun lain (VeroAL, 1142/2005) 5 luvun mukaisesti. Kunta (valtuusto) määrittää kiinteistöveroprosentin vuosittain. Kiinteistövero on kiinteistöveroprosentin mukainen osuus kiinteistön

arvosta. Kiinteistön verotusarvo määrätään erikseen maapohjan ja rakennusten osalta. Maapohjan yleiseksi kiinteistöveroprosentti saa olla 1,30–2,00 (esim. Lappeenranta 1,43 %).

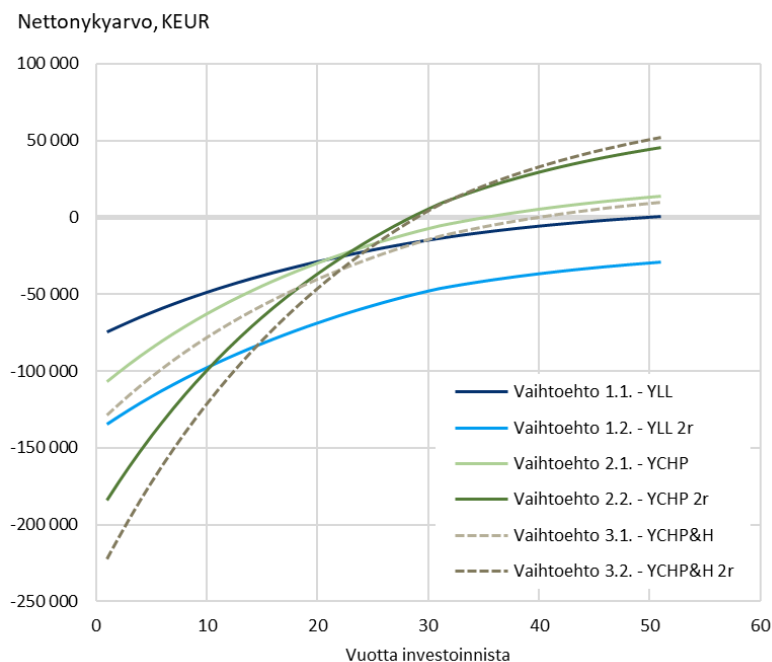
Maapohjan verotuksessa otetaan huomioon kiinteistön käyttötarkoitus, mm. nimellisteholtaan yli 10 mVA voimalaitoksen tai verkon taikka ydinpolttoaineen loppusijoituslaitokseen kuuluvien rakennuksien ja rakennelmien veroprosentiksi voidaan määrätä enintään 3,10 (Lappeenrannassa kaikkien voimalaitosten kiinteistöveroprosentti on ollut jo vuosia 2,85 %). Alarajaa ei ole määrätty yleisen veroprosentin ulkopuolella. Koska veroprosentti määrätään vuosittain, kunta voinee ottaa huomioon veroprosentissaan sen ilmasto- ja energiatavoitteiden mukaiset laitokset, jos sitä ei tulkita kilpailu vääristäväksi tai kielletyksi valtiontueksi. Verohallinto lähettää verovelvolliselle kiinteistöveron perusteena olevat kiinteistötiedoista, jotka verovelvollinen tarkistaa ja korjaa (mm. maapohjan pinta-ala, kaavoitus ja rakennusoikeus, käyttötarkoitus, omistus- ja hallintaoikeus, rakennuksen jälleenhankinta-arvon laskentaperusteet ja käyttötarkoitus).

Maapohjan verotusarvoon vaikuttavat käyttötarkoituksen lisäksi rakennusoikeus, sijainti, liikenne yhteydet, sopivuus rakennustarkoituksiin, kunnallisteknisten töiden valmiusaste sekä laadultaan ja sijainniltaan vastaavien maapohjien vertailukauppatietojen mukainen hintataso (VeroAL 29 §). Välittömästi ydinvoimalaitostoimintaa palvelevan rakennuksen tai rakennelman vuotuiset ikävähennykset (vuotuispoistot) ovat 2,5 %, puisella voima- asemalla 5 % (kivinen 4 %), tehtaalla 4 §, toimistorakennuksella 1,25 % ja varastolla 10 % (VeroAL 30 §).

8.2 Hankeyhtiön kannattavuustarkastelu

Hankeyhtiön kannattavuuden tarkastelemiseksi mallissa on visualisoitu kaksi tekijää – nettonykyarvo sekä tilikauden voitto. Tässä luvussa tarkastelemme kannattavuutta laitosvaihtoehtojen nettonykyarvon kautta.

Alla olevassa kuvassa (Kuva 8-2) on piirretty eri laitosvaihtoehtojen nettonykyarvokäyrät.



Kuva 8-2. Laitosvaihtoehtojen nettonykyarvokäyrät

Molemmat ydinlämpölaitosvaihtoehdot (YLL) 1.1 ja 1.2 eivät ole kilpailukykyisiä koko tarkasteluvälillä. Sen sijaan kevyemmät yhden reaktorin vaihtoehdot ydinvoimalaitoksesta ja vedyntuotannon kanssa (2.1. ja 3.1) ovat vasta laitoksien myöhemmän iän aikana kannattavia: noin 35 vuotta yhden reaktorin ydinvoimalaitokselle (YCHP) ja noin 40 vuotta vedyntuotannon yhdistäville yhden reaktorin ydinvoimalaitokselle (YCHP&H). Sen sijaan vaihtoehdot 2.2 (Ydinvoimalaitos kahdella reaktorilla) ja 3.2 (Ydinvoimalaitos kahdella reaktorilla ja vedyn tuotanto) muuttuvat kannattavaksi noin 28 vuoden päästä investoinnista, jolloin ensimmäinen kokonaisen vuoden nettonykyarvon tulos on positiivinen. Kuvaajan perusteella vaihtoehdot 2.2 ja 3.2 ovat eri laitoskokoisuuksista kaikkein kannattavimpia.

Laitosten kustannusrakenne on samanlainen mallin kaikille vaihtoehdoille, joten merkittävimäksi kannattavuutta nostava tekijäksi nousee kaikki mahdolliset myyntivirrat (lämpö, sähkö & vety). Pelkkien lämpölaitoksien ainoa tulovirta ei kykene kattamaan toiminnan kiinteitä ja muuttuvia kuluja suhteessa saavutettuun liikevaihtoon. Tätä kustannustasoa sekä liikevaihtoa tuotettuun höyryyn nähden on hahmoteltu alla olevassa taulukossa (Taulukko 8-3).

Taulukko 8-3. Laitosvaihtoehtoien höyrytehokohtaiset kustannukset ja liikevaihto

	Kustannukset/ Höyryteho	Liikevaihto / Höyryteho	Liikevaihto/ Kustannukset
	KEUR/kW	KEUR/kW	
Vaihtoehto 1.1. - YLL	0.065	0.17	2.66
Vaihtoehto 1.2. - YLL 2r	0.052	0.14	2.66
Vaihtoehto 2.1. - YCHP	0.075	0.27	3.58
Vaihtoehto 2.2. - YCHP 2r	0.058	0.24	4.15
Vaihtoehto 3.1. - YCHP&H	0.088	0.31	3.50
Vaihtoehto 3.2. - YCHP&H 2r	0.092	0.31	3.38

Laitosvaihtoehtoien liikevaihdon ja kustannusten välinen suhde kuvaa tehokohtaista kannattavuutta (kolmas sarake vasemmalta). Esimerkiksi lämpölaitosvaihtoehtoien suhdeluku jää selkeästi alle voimalaitos sekä vetyä tuottavien voimalaitoksien luvuista. Taulukon laskelma ei kuitenkaan huomioi esimerkiksi kaikkia rahoituksen kuluja, jotka vaikuttavat oleellisesti kannattavuuteen investoinnin aikajänteellä. Taulukossa esitetyn suhdeluvun mukana yhden reaktorin voimalaitosvaihtoehdot (2.1 ja 3.1) ovat näennäisesti kannattava, mutta Kuva 8-2 ensimmäinen positiivinen nettonykyarvo on niin kaukana investoinnin alkuhetkestä (noin 40 vuotta), ettei virhemarginaalin puitteissa niitä ole syytä pitää täysin kannattavina.

Kannattavuuden jatkotarkasteluissa on siis syytä keskittyä kyvykkäimpiin, kahden reaktorin vaihtoehtoihin 2.2 ja 3.2.

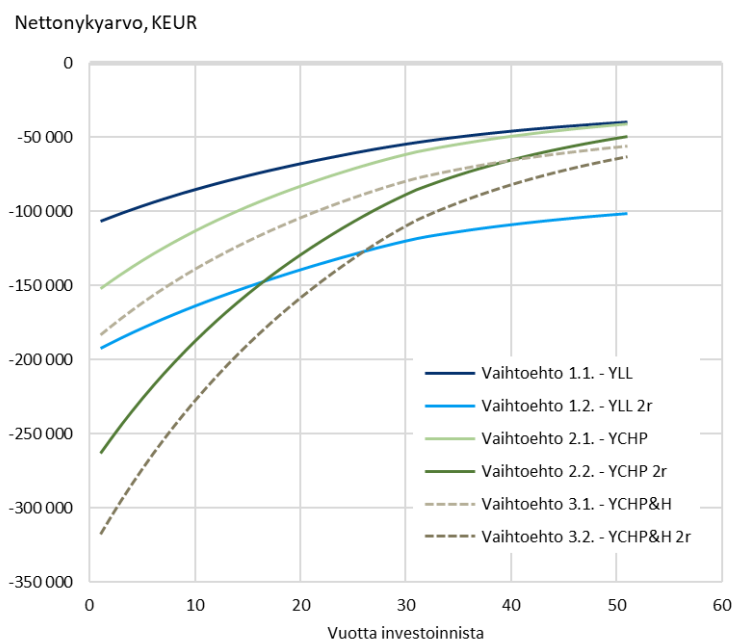
8.3 Kiinteistöveron, vieraan pääoman koron ja investointituen vaikutukset laitoksen kannattavuuteen

Eri vaihtoehtojen kannattavuudella on useita vaikuttavia tekijöitä, joista suuri osa on laitosprojektin onnistumisen ja toiminnan tehokkuuden varassa. Mutta kannattavuusmallinnuksessa on havaittu muutama kriittinen ulkoinen tekijä, jotka voivat kokonaan tehdä jopa kannattavimmistakin laitosvaihtoehdoista kannattamattomia. Tässä luvussa tutkittavat tekijät ovat investointituki, kiinteistövero sekä vieraan pääoman korko. Sekä mallin oletusarvoiset ulkoiset muuttujat sekä herkkistetyt arvot ovat listattuna alla olevassa taulukossa (Taulukko 8-4).

Taulukko 8-4. Kaupallisen mallin laskennan merkittävien ulkoisten tekijöiden oletusarvot, sekä herkkyyssarvot

	Investointituki	Kiinteistövero	Vieraan pääoman korko
	%	%	%
Mallin laskennan oletusarvo	30	1.0	2.5
Herkkyytys	0	3.1	5.0

Investointituki on mallissa oletettu 30%, jota ilman jokaisen hankkeen kannattavuus pysyy negatiivisena koko tarkasteluajan (50 vuotta). Tätä vaikutusta on hahmoteltu alla olevassa kuvassa (Kuva 8-3).



Kuva 8-3. Kaikkien laitosvaihtoehtojen nettonykyarvo ilman investointitukea (Investointituki = 0%)

Yksikään laitosvaihtoehdoista ei ole siis kannattava ilman investointitukea, mutta aiemmin Kuva 8-2 perusteella heikoimmin kannattaviksi todetut yhden reaktorin laitosvaihtoehdot (1.1, 1.2 ja 3.1) ovat tässä tilanteessa kannattavuuden kärjessä. Tämä selittyy helposti suoraan matalammilla investointikustannuksilla – vastaavasti suurin hyöty investointituesta saadaan kalliimmille laitosvaihtoehdoille. Kuvaajista on selvästi havaittavissa, että vaihtoehtojen 2.2 ja 2.3 arvon tuotto (muutos) on kaikkein suurin.

Nettonykyarvon lisäksi on siis hyvä vertailla myös esimerkiksi sisäistä korkokantaa (IRR). Yleisesti ottaen mitä korkeampi sisäinen korkokanta on, sitä kannattavampi investointi on. Sisäinen korkokanta on yhdenmukainen erityyppisille investoinneille, ja sitä voidaan käyttää useiden mahdollisten investointien tai hankkeiden asettamiseen paremmuusjärjestykseen suhteellisen tasapuolisesti. Alla kootussa taulukossa (Taulukko 8-5) on laskettuna IRR% sekä investointituen kanssa (30%) sekä ilman investointitukea (0%) kaikille laitosvaihtoehdoille. Lisäksi laskenta on tehty ensimmäiselle 30 vuodelle ja 40 vuodelle erikseen.

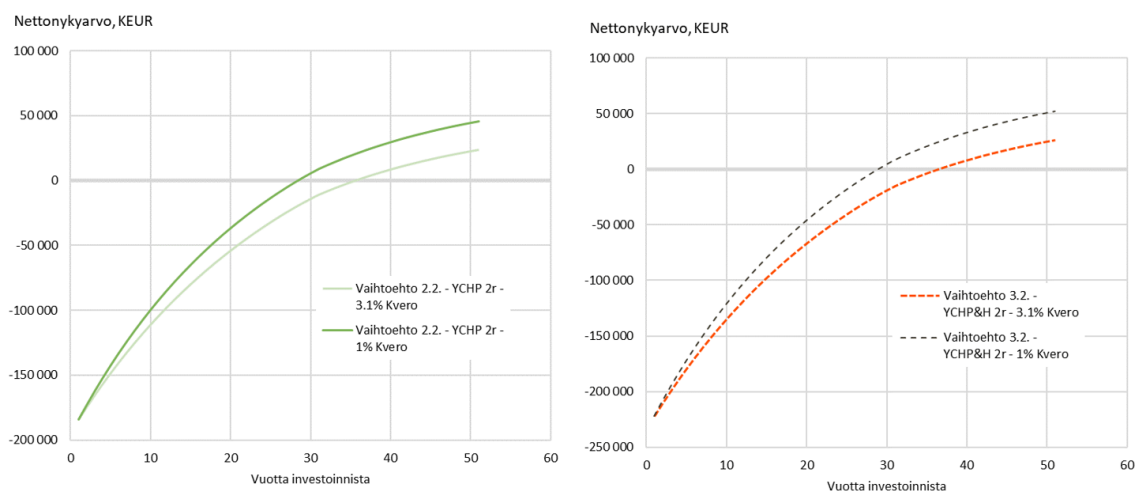
Taulukko 8-5. Sisäinen korko (IRR) 30 ja 40 vuotta kaikille laitosvaihtoehdoille. Tulokset laskettu sekä oletetulla 30% investointituella sekä ilman (investointituki = 0%)

		1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2
30% Investointituki	IRR (30 vuotta)	2.9 %	1.9 %	4.6 %	5.4 %	4.2 %	5.3 %
	IRR (40 vuotta)	3.9 %	3.1 %	5.4 %	6.2 %	5.1 %	6.1 %
0% Investointituki	IRR (30 vuotta)	-0.2 %	-1.1 %	1.4 %	2.0 %	1.0 %	2.0 %
	IRR (40 vuotta)	1.3 %	0.5 %	2.6 %	3.2 %	2.3 %	3.1 %

Tuloksista voidaan tulkita selkeästi, että ydinlämpölaitosvaihtoehdot 1.1 ja 1.2 eivät tällä sisäisen korkokannan tarkastelulla pärjää neljälle kärkivaihtoehdolle 2.1, 2.2, 3.1 ja 3.2. Lisäksi ilman investointitukea, lämpölaitoksen kannattavuus on negatiivinen 30 vuoden tarkasteluajalla. Neljän kannattavimman laitosvaihtoehdon selkeän eron lämpölaitoksiin selittyy laajemmilla myynnin tulovirroilla (sähkö & vety).

Vaihtoehdot 2.2 ja 3.2 ovat silti sekä investointituen kanssa, että ilman sitä kannattavampia 30 ja 40 vuoden tarkasteluvälillä. Investointituen kautta voidaan siis kahdelle kannattavimmalle laitosvaihtoehdolle todeta toteutettavuuden raja-arvo - eli kuinka paljon investointi voi maksaa ollakseen kannattava: Vaihtoehto 2.2 (YCHP 2r), 184 MEUR ja Vaihtoehto 3.2 (YCHP&H 2r) 222 MEUR.

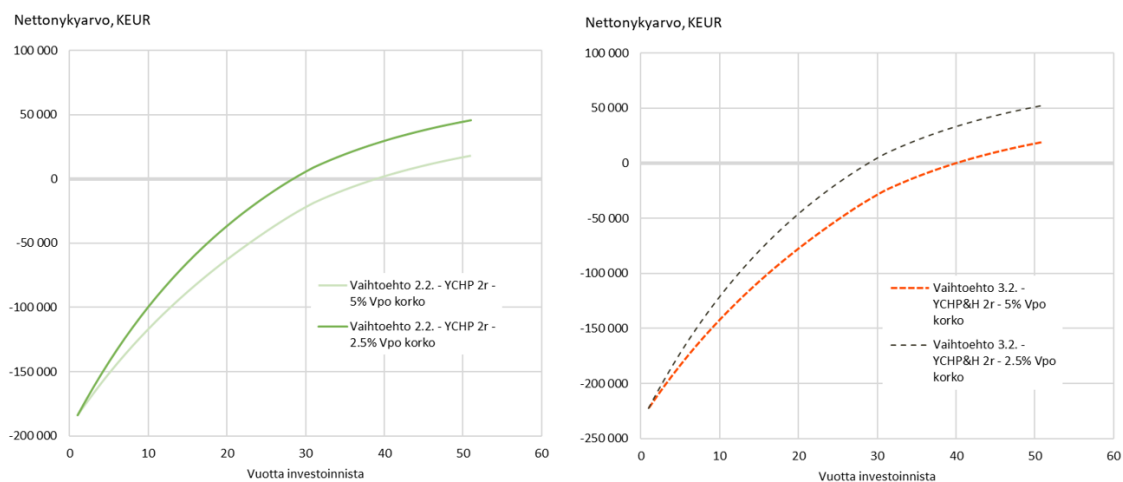
Myös kiinteistöverolla on vahva vaikutus laitosten kannattavuuteen. Alla olevassa kuvassa (Kuva 8-4) on esitetty kiinteistöveron vaikutus kahteen kannattavimpaan laitosvaihtoehtoon.



Kuva 8-4. Laitosvaihtoehtojen 2.2 (vasemmalla) ja 3.2 (oikealla) nettonykyarvolaskelmat herkkyytettynä kiinteistöveron mukaan

Mikäli laitokseen kohdennetaan 3.1 % kiinteistövero niin laitosvaihtoehto 2.2. (Ydinvoimala kahdella reaktorilla) nettonykyarvon nollassa viivästyy seitsemällä vuodelle eteenpäin 35 vuoteen investoinnista. Vastaavasti vetyä tuottavan kahden reaktorin laitosvaihtoehdon 3.2 nettonykyarvon nollassa viivästyy noin kahdeksalla vuodelle 36 vuoteen investoinnista (noin 28 vuotta 1% kiinteistöverolla). Kiinteistöverolla on merkittävä vaikutus MMR- laitoksen taloudelliseen onnistumiseen. Kohdassa 8.1.3. on tarkasteltu tilikauden voittoa ja tarkasteltu ulkoisen pääoman sekä poistojen vaikutusta kannattavuuteen.

Vieraan pääoman korko on vähemmän hallittavissa mutta sillä on voimakas vaikutus hankkeen kannattavuuteen. Tätä vaikutusta on vertailtu alla olevassa kuvassa (Kuva 8-5), jossa oletettua korkotasoa 2.5 % on verrattu 5 %:iin.



Kuva 8-5. Laitosvaihtoehtojen 2.2. (vasemmalla) ja 3.2. (oikealla) nettonykyarvolaskelmat herkkyytettynä vieraan pääoman mukaan

Vieraan pääoman korkeampi arvo siirtää kannattavuuden alkamisajankohtaa noin seitsemällä vuodelle vaihtoehdolle 2.2. Vastaavasti laitosvaihtoehdon 3.2 kannattavuus viivästyy noin kahdeksalla vuodelle. Molemmissa tapauksissa siirtymä on hyvin merkittävä ja virhemarginaalin valossa on myös todennäköistä, että korkeamman koron tapauksessa laitosvaihtoehdot eivät ole lainkaan kannattavia.

8.4 Tilikauden voitto ja oman pääoman tuotto-%

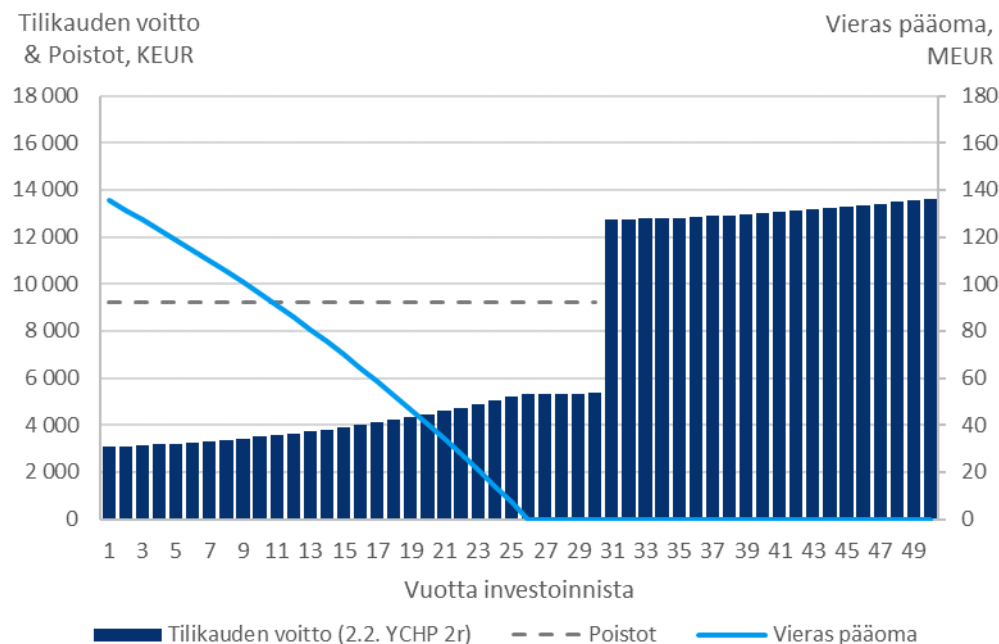
Tässä alaluvussa on tarkasteltu kahdelle kannattavimmalle laitosvaihtoehdolle tilikauden tuloksen ja oman pääoman tuoton (ROE) kehitystä perustuen näille vaihtoehdoille kaupallisen mallin yhteydessä muodostettuihin tuloslaskelmiin.

Tilikauden tuloksella tarkoitetaan yrityksen voittoa tai tappiota tiettyinä tilikautena. Se kuvaa yrityksen nettovoittoa tai -tappiota tilikauden jälkeen, ottaen huomioon liikevaihdon, kulut, kuten liiketoiminnan kulut, henkilöstökulut, rahoituskulut, ja verot. Tilikauden tulos on keskeinen mittari yrityksen taloudellisessa menestymisessä, joka tarjoaa sidosryhmille, kuten sijoittajille ja lainantantajille, arvokasta tietoa yrityksen taloudellisesta suoritumisesta. Se kuvaa yrityksen kykyä hallita resurssejaan ja luoda omistaja-arvoa kyseisellä tilikaudella. Voitollinen tilikauden tulos voi antaa yritykselle mahdollisuuden maksaa osinkoja omistajilleen. Tuloksen suuruus onkin yksi tekijä, joka vaikuttaa osingonmaksukykyyn ja -päätöksiin.

Oman pääoman tuotto (Return on Equity, ROE) on taloudellinen tunnusluku, joka mittaa yrityksen kykyä tuottaa voittoa suhteessa omistajiensa sijoittamaan pääomaan. Tämä prosenttiluku lasketaan jakamalla tilikauden tulos yrityksen oman pääoman keskimääräisellä määrällä. Oman pääoman tuottoa pidetään tärkeänä mittarina omistajille ja mahdollisille tuleville sijoittajille, koska se kertoo, kuinka tehokkaasti yritys käyttää omistajiensa sijoittamat varat voiton tuottamiseen ja voi olla vertailukelpoinen indikaattori yritysten välillä, kun arvioidaan sijoitusten tuottavuutta. Korkea ROE-% voi indikoida tehokasta pääoman käyttöä ja vahvaa kannattavuutta, mikä voi viitata hyvään kykyyn maksaa osinkoja, koska yrityksellä on enemmän varoja omistajilleen jaettavaksi. Kuitenkin on syytä huomata, että osingonmaksukyky riippuu myös yrityksen rahoitustilanteesta, tulevista investointitarpeista ja hallituksen osinkopolitiikasta.

8.4.1.1 Laitosvaihtoehto 2.2

Alla olevassa kuvassa (Kuva 8-6) on esitetty laitosvaihtoehdolle 2.2 vuosittaista tilikauden tulosta (KEUR), vuosittaisia poistoja (KEUR) ja vieraan pääoman määrää (MEUR).



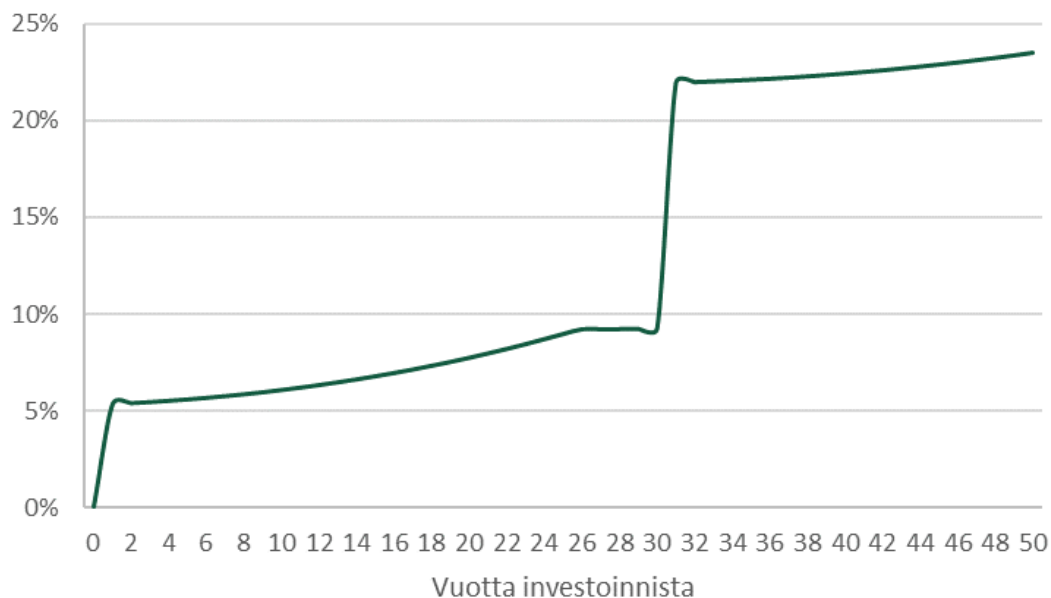
Kuva 8-6. Laitosvaihtoehdon 2.2 (Ydinvoimalaitos kahdella reaktorilla) tilikauden voitto

Tilikauden tulos on positiivinen koko ajanjakson aikana, kun on oletettu 1 % kiinteistöverokanta, vieraan pääoman takaisinmaksuajaksi 25 v sekä poistoajat 30 v (alkuinvestointi) ja 10 v (kunnossapitoinvestoinnit). Alkuvuosina tilikauden voitto on noin 3,5–4 MEUR tasolla, jonka jälkeen se nousee vuositasona, kun rahoituskulut laskevat vieraan pääoman vähentyessä, ja laitoksen arvon alenemisen seurauksena myös kiinteistöveron määrä alenee. Vuosien 25 ja 30 välillä tilikauden voitto pysyy tasaisena johtuen pidemmästä poistoajasta suhteessa vieraan pääoman takaisinmaksu-aikaan. Alkuinvestoinnin poistoajan päättyessä tilikauden tulos nousee merkittävästi, noin 13 MEUR tasolle. Onkin havaittavissa, että tilikauden voitto muuttuu merkittävästi laitoksen teknillisen käyttöiän aikana. Tilikauden voitto pysyessä selkeästi matalammalla tasolla hyvin merkittävän osan käyttöiästä ja noustessa merkittävästi vasta loppuvaiheessa voi johtaa moniin haitallisiin vaikutuksiin. Alkuvaiheen heikko osingonjakokyky sekä hankeyhtiön arvon hidaskasvu voivat hei-

kentää kuntayhtiöiden ja institutionaalisten sijoittajien kiinnostusta tuotto-odotuksen ollessa heikompi alkuvuosina. Kassavirran matala taso voi vaikeuttaa päivittäistä toimintaa ja investointien rahoitusta alkuvuosina, ja lisärahoituksen saaminen voi olla haasteellista. Tämä voi vaarantaa yhtiön kykyä selviytyä taloudellisista vastoinkäymisistä, laajentaa toimintaansa tai vastata kilpailupaineisiin sekä rajoittaa yhtiön menestymismahdollisuuksia pitkällä tähtäimellä.

Kuten edellisessä luvussa esitettiin, kiinteistöverokanta laitokselle on kunnan päätävällässä ja merkittävä tekijä vaikuttamaan hankeyhtiön kannattavuuteen ja vuosittaiseen tilikauden tulokseen. Mikäli kiinteistöverokanta pidettäisiin alhaisempana alkuvuosien ajan, parantaa se yhtiön tuloksetekokykyä, kassavirran tasaisuutta ja houkuttelevuutta sijoittaa yhtiöön. Lisäksi yhtiön tulokseteko kyky paranee kokonaisuudessaan, mikäli yhtiön tarve vieraalle pääomalle on kohtuullinen, ja yhtiö saisi edullisemmalla korkokannalla vierasta pääomaa. Investointituki on kriittinen investoinnin toteutumisen ja yhtiön kannattavuuden kannalta.

Seuraavassa kuvassa (Kuva 8-7) on esitetty laitosvaihtoehdolle 2.2 oman pääoman tuotto-% (ROE-%) kehitystä.

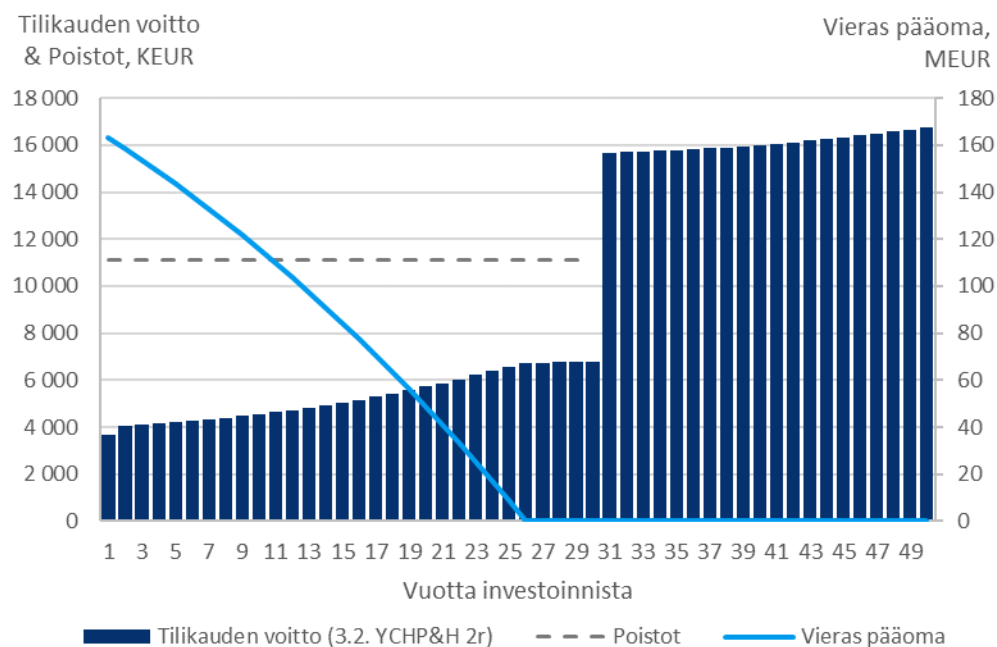


Kuva 8-7. Laitosvaihtoehdon 2.2 (Ydinvoimalaitos vedyntuotannolla kahdella reaktorilla) oman pääoman tuotto-%

Kuten tilikauden tuloskin, ROE-% muuttuu vastaavanlaisesti johtuen vieraan pääoman määrän muutoksesta, poistoajasta ja kiinteistöveron määrän vähentymisestä laitoksen arvon laskiessa. Pääoman tuotto-% alittaa alkuvuosina raportin hankeyhtiön rahoitusta koskevassa luvussa esitetyn 6 % oman pääoman tuottovaatimuksen. 10 vuoden jälkeen hankeyhtiön ROE-% nousee tätä korkeammalle tasolle. Vieraan pääoman takaisinmaksun ja alkuinvestoinnin jälkeen ROE-% on yli 20 %, mikäli ylittää 6 %:n tuottovaatimuksen. Havaitaan siis, että ROE-% muuttuu merkittävästi laitoksen teknillisen käyttöiän aikana. On kuitenkin hyvä huomioida, että alkuvaiheen matala ROE-% saattaa heikentää sijoittajien kiinnostusta sijoittaa yhtiöön. Vuositasolla tasaisempi ROE-% lisää kiinnostusta. On kuitenkin hyvä huomata, että osa sijoittajista, kuten pääomansijoitusyhtiöt, voivat vaatia korkeampaa tuottovaatimusta, jonka vuoksi yllä olevassa kuvassa esitetty hankeyhtiön oman pääoman tuotto-% alkuvuosina on heidän portfolioonsa liian alhainen. Edelleen alkuvaiheen alhaisempi kiinteistöverokanta, alhaisempi vieraanpääoman tarve ja sen korkokanta sekä investointituki parantavat myös ROE-%: a.

8.4.1.2 Laitosvaihtoehto 3.2

Alla olevassa kuvassa (Kuva 8-8) on esitetty laitosvaihtoehdolle 3.2 vuosittaista tilikauden tulosta (KEUR), vuosittaisia poistoja (KEUR) ja vieraan pääoman määrää (MEUR).



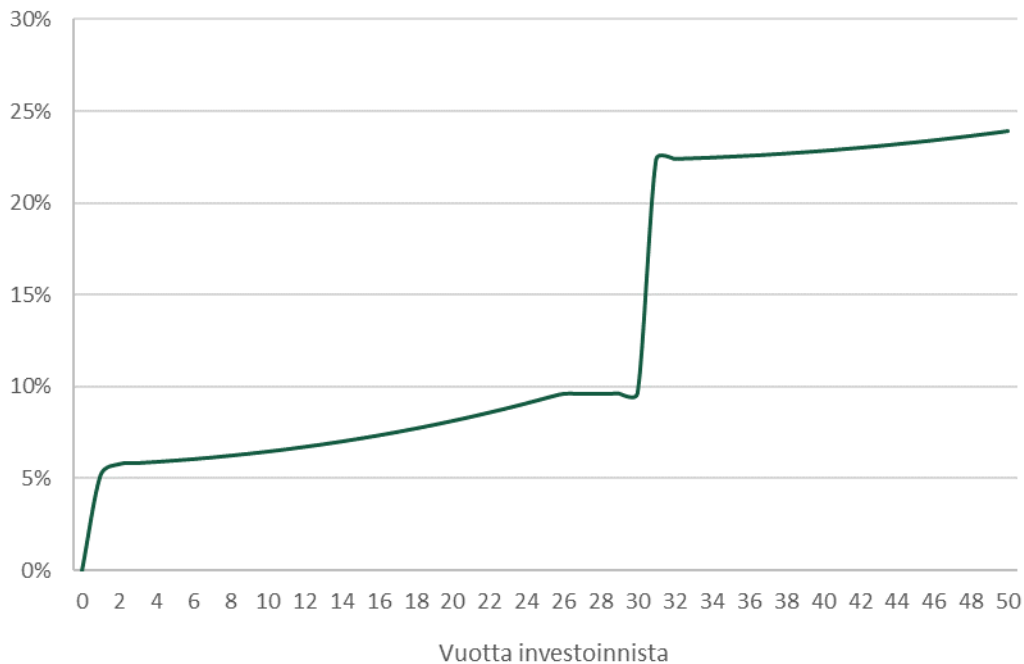
Kuva 8-8. Laitosvaihtoehdon 3.2 (Ydinvoimalaitos vedyntuotannolla kahdella reaktorilla) tilikauden tulos

Tilikauden tulos on positiivinen koko ajanjakson aikana, kun otetaan huomioon 1 % kiinteistövero, vieras pääoman takaisinmaksuajaksi 25 v sekä poistoajat 30 v (alkuinvestointi) ja 10 v (kunnossapitoinvestoinnit). Alkuvuosina tilikauden tulos on noin 4–5 MEUR tasolla, jonka jälkeen se nousee vuositasolla, kun rahoituskulut laskevat vieras pääoman vähentyessä, ja laitoksen arvon alenemisen seurauksena myös kiinteistöveron määrä alenee. Vuosien 25 ja 30 välillä tilikauden tulos pysyy tasaisena johtuen pidemmästä poistoajasta suhteessa vieras pääoman takaisinmaksu-aikaan. Alkuinvestoinnin poistoajan päättyessä tilikauden tulos nousee merkittävästi, noin 16 MEUR tasolle. Onkin havaittavissa, että tilikauden tulos muuttuu merkittävästi laitoksen teknillisen käyttöikänsä aikana. Tilikauden tulos pysyessä selkeästi matalammalla tasolla hyvin merkittävän osan käyttöikästä ja noustessa merkittävästi vasta loppuvaiheessa voi johtaa moniin haitallisiin vaikutuksiin. Alkuvaiheen heikko osingonjakokyky sekä hankeyhtiön arvon hidas kasvu voivat heikentää kuntayhtiöiden ja institutionaalisten sijoittajien kiinnostusta tuotto-odotuksen ollessa heikompi alkuvuosina. Kassavirran matala taso voi vaikeuttaa päivittäistä toimintaa ja investointien rahoitusta alkuvuosina, ja lisärahoituksen saaminen voi olla haasteellista. Tämä voi vaarantaa yhtiön kykyä selviytyä taloudellisista vastoinkäymisistä, laajentaa toimintaansa tai vastata kilpailupaineisiin sekä rajoittaa yhtiön menestymismahdollisuuksia pitkällä tähtäimellä.

Kuten edellisessä luvussa esitettiin, kiinteistövero on kunnan päätävällässä ja merkittävä tekijä vaikuttamaan hankeyhtiön kannattavuuteen ja vuosittaiseen tilikauden tulokseen. Mikäli kiinteistövero pidettäisiin alhaisempana alkuvuosien ajan, parantaa se yhtiön tuloksentelekykyä, kassavirran tasaisuutta ja houkuttelevuutta sijoittaa yhtiöön. Lisäksi yhtiön

tulokseteko kyky paranee kokonaisuudessaan, mikäli yhtiön tarve vieraalle pääomalle on kohtuullinen, ja yhtiö saisi edullisemmalla korkokannalla vierasta pääomaa. Investointituki, vihreän vedyn tuotantotuki tai fiskaalirasite mustalle ja harmaalle vedylle on kriittinen investoinnin toteutumisen ja yhtiön kannattavuuden kannalta.

Seuraavassa kuvassa (Kuva 8-9) on esitetty laitosvaihtoehdolle 3.2 oman pääoman tuotto-% (ROE-%) kehitystä.



Kuva 8-9. Laitosvaihtoehdon 3.2 (Ydinvoimalaitos vedyntuotannolla kahdella reaktorilla) oman pääoman tuotto-%

Kuten tilikauden tuloskin, ROE-% muuttuu vastaavanlaisesti johtuen vieraan pääoman määrän muutoksesta, poistoajasta ja kiinteistöveron määrän vähentymisestä laitoksen arvon laskiessa. Pääoman tuotto-% alittaa alkuvuosina raportin hankeyhtiön rahoitusta koskevassa luvussa esitetyn 6 % oman pääoman tuottovaatimuksen. 5 vuoden jälkeen hankeyhtiön ROE-% nousee tätä korkeammalle tasolle. Vieraan pääoman takaisinmaksun ja alkuinvestoinnin jälkeen ROE-% on yli 20 %, mikäli ylittää 6 %:n tuottovaatimuksen. Havaitaan siis, että ROE-% muuttuu merkittävästi laitoksen teknillisen käyttöiän aikana. On kuitenkin hyvä huomioida, että alkuvaiheen matala ROE-% saattaa heikentää sijoittajien kiinnostusta sijoittaa yhtiöön. Vuositasolla tasaisempi ROE-% lisää kiinnostusta. On kuitenkin hyvä huomata, että osa sijoittajista, kuten pääomansijoitusyhtiöt, voivat vaatia korkeampaa tuottovaatimusta, jonka vuoksi yllä olevassa kuvassa esitetty hankeyhtiön oman pääoman tuotto-% on alkuvuosina heidän portfolioonsa liian alhainen. Edelleen alkuvaiheen alhaisempi kiinteistöverokanta, alhaisempi vieraanpääoman tarve ja sen korkokanta sekä investointituki tai muut vihreän vedyn asemaa parantavat tuet vaikuttavat positiivisesti myös ROE-%:iin.

9. YMPÄRISTÖTALOUS

9.1 MMR-laitoksen ympäristöllinen ja poliittinen ulottuvuus

Lyhyellä aikajänteellä laitoksen tuoma taloudellinen hyöty on alueellisesti ja omistajillekin maltillinen. Pitkällä aikajänteellä MMR-laitos muodostuu hyvinkin kannattavaksi sijoituskohteeksi. Poliittiseksi ongelmaksi voi muodostua uuden teknologian riskin ja taloudellisen tulontuottokyvyn ajallinen epäsymmetria: laitoksen vaikutuspiirissä olevat asukkaat ja elinkeinoelämä voivat kokea ympäristöllisten riskien välittömän läsnäolon ja saatavien voittovarojen tuloutumisen vasta vuosikymmenten päästä ongelmalliseksi.

Aluepoliittisesti uuden laitoksen saaminen alueelle tuo väistämättä myönteistä ajattelua ja antaa mahdollisuuden uudelleenlaisen teollisuus-/energiaklusterin muodostumisen alueelle. MMR-laitos tuo hetkellisen lisäyksen työvoiman kysyntään laitoskokonaisuuden rakentamisaikana. Laitoksen käytön aikana sen työllisyysvaikutus on maltillinen noin 20–25 htv.

Energiapoliittisesti MMR-laitosten mahdollistuminen helpottaa energiatuotannon päästövähennys tavoitteita ja tuo vaihtoehdon polttamiseen perustuvaan sähkön ja lämmöntuotantoon. 2030-luvulla Suomen kaupunkien energiahuolto nojautuu biomassan käyttöön. Biomassan laajamittaisen käytön ongelmana on kestävä biomassan saatavuuden rajallisuus. Vuonna 2024 biomassan näkymä on se, että ainakin ei-kestäväksi luokitetulle biomassan käytölle tulee samankaltaisia fiskaaleja rasitteita kuin fossiililla polttoaineilla on. MMR-laitosten muodostumisella on suuri merkitys kestävä biomassan tarpeen pienentäjänä.

Energiapolitiikan tavoitteena on riippumattomuus muiden valtioiden energiapolitiikoista ja geopoliittikasta yleisesti. MMR-laitokset ovat varsin riippumattomia. Suomessa on saatavilla uraania Talvihaarasta, mutta tällä hetkellä sitä ei kuitenkaan jalosteta Suomessa.

Ydinvoimateknologian käyttöönottoon liittyy vahvoja mielikuvia. Fennovoima Oy:n Pyhäjoen hankkeen kaatuminen luo mielikuvan erittäin vaikeasta hanketyypistä, jonka kehittäminen on vaikeaa. Toisaalta TVO:n Olkiluodon kolmosyksikön pitkä rakentumisaika lisää mielikuvaa ydinvoiman rakentamisen vaikeudesta. Toisaalta ydinvoiman hyväksyttävyyden on hyvällä tasolla Suomessa, joten MMR-hankkeiden edistäminen mm. energiapoliittisilla toimilla osoittaa politiikkatoimijoiden edistyksellisyyden. Poliittikkatoimissa on jo ollut konkreettisia toimenpiteitä, joista merkittävimpinä on ydinenergiain uudistus, joka on tulossa lausunnoille vuoden 2025 aikana.

MMR-laitosten leviäminen ei ole pelkästään energiapolitiikkaa, vaan niihin liittyy myös teollisuuspolitiikka. MMR-laitoksen on saatava tulovirtaa myös muista tulolähteistä kuin lämmöstä. Vedyn valmistus MMR-laitoksen yhteydessä on suotavaa. Jotta puhtaan MMR-laitosten yhteydessä tapahtuva puhtaan vedyn valmistaminen leviää koko Suomen alueelle, on Suomen energia-, teollisuus- ja aluepolitiikan löydettävä yhtenäinen tavoitetila.

MMR-laitokset ovat ympäristöpolitiikan kannalta suotuisia. Niihin ei kohdistu päästösääntelyn tavoitteita, MMR-laitokset tukevat ilmastotavoitteita ja niillä ei ole merkittävää vaikutusta luonnon monimuotoisuuteen, kun laitospaikat valitaan harkiten.

Kokonaisturvallisuus:

MMR-laitosten kokonaisturvallisuus on oltava samalla tasolla kuin suurten ydinvoimayksiköiden. MMR-laitoksiin liittyvissä Poliittikkatoimissa on huomioitava MMR-laitosten pienuus verrattuna Suomessa tavanomaisiin ydinvoiman tuotantoyksiköihin: Olkiluodon ydinvoimalaitoskokonaisuuden reaktoriteho on 9 800 MW. Kahden 45 MW:n reaktorin MMR-laitoskokonaisuus on teholtaan vain

noin 0,9 % Olkiluodon kokonaisuudesta. Tämä suuri mittakaavaero huomioitava, kun arvioidaan poliittisesti tarvittavan sääntelyn tiukkuutta mm. ydinvoimalaitoksen luvituksen osalta. Mittakaavaero on myös tuotava esille kansalais- ja sidosryhmien kanssa käytävässä vuorovaikutuksessa. Tällä on mahdollista vähentää NIMBY-ilmiön esiintymistä ja osaltaan vahvistaa pienydinvoiman hyväksyttävyyttä.

Kokonaisturvallisuuden kannalta merkittäväksi turvallisuusriskiksi yhteiskunnalle muodostuu polttoaineketju. Toimitusketjujen lisääntyminen tarkoittaa mahdollisuuden lisääntymistä sille, että vaarallista materiaalia päätyy tahoille, joilla on yhteiskunnalle vaarallisia päämääriä.

MMR-laitoksiin liittyy useita mahdollisuuksia, jotka voivat toteutua vain poliittisten toimien avulla. MMR-laitoskonseptin ensimmäisten laitosten taloushyöty tulee vasta yli kahdenkymmenen vuoden kuluttua käynnistymisestä, kun poistot eivät enää rasita liiketulosta. Tämän vuoksi MMR-laitoksiin kohdentuvat politiikka- ja muu yhteiskunnan sääntelyn on oltava pitkäjänteistä ja muutosten on oltava ennakoitavissa ainakin viiden vuoden aikajänteellä.

Kunnallispolitiikassa on ymmärrettävä, että kiinteistöveron maksukyky alkaa laitoksen elinkaaren puolivälissä. Energiapolitiikassa on nähtävä linkki teollisuuspolitiikkaan ja vetytalouden kasvuun sekä kaupunkien lämmitysenergiahuoltoon. Ympäristöpoliittisesti MMR-laitokset ovat lähes neutraaleja. Niiden välittömät ympäristövaikutukset ovat vähäisiä, mutta välilliset vaikutukset merkittäviä.

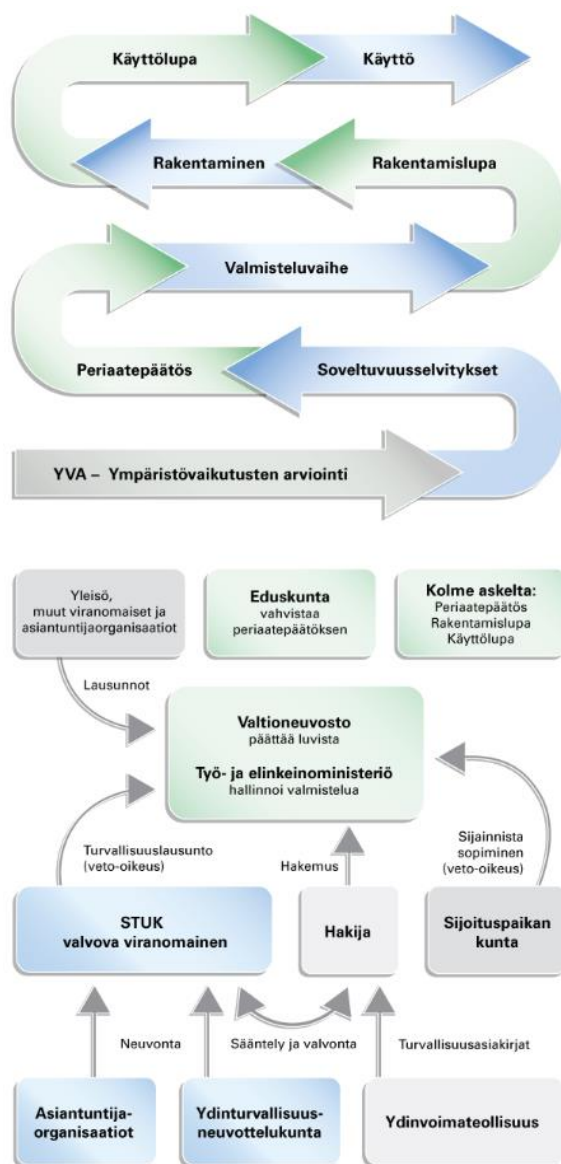
9.2 Laitoksen luvitus

Ydinvoimalaitoksen toteuttaminen on monivaiheinen ja moniulotteinen prosessi. Pienydinvoimalaitoksen lupaprosessi kaavoituksesta Säteilyturvakeskuksen (STUK) myöntämään käyttö lupaan saakka edellyttää laajaa yhteistyötä sidosryhmien ja poliittisten päättäjien kanssa, turvallisuuskatsauksia, teknisten ja turvallisuussuunnitelmien hyväksytyä toteutusta (Kuva 9-1).

Poliittisilla linjauksilla on oma roolinsa pienydinvoimalaitosten lupaprosesseissa ja käyttöönotossa. Pienydinvoiman edistäminen politiikkatoimin on vahvasti sidoksissa valtion energia- ja ilmastostrategiaan, aluepolitiikkaan ja kunnallispolitiikkaan. Poliitikot ja päätöksentekijät osallistuvat aktiivisesti ydinenergiaprojektien valmisteluun ja niitä koskevaan keskusteluun, ottaen kantaa mm. kansalliseen energiastrategiaan, ilmastopolitiikkaan ja turvallisuuskysymyksiin. Poliittiseen prosessiin kuuluu strategisten suuntaviivojen laatiminen, lainsäädäntötyö, määrärahojen myöntämistä tukipäätöksiä ym.

Poliittiset päätökset ovat usein laitoksen perustamisen edellytys, sillä ydinenergiaprojektit vaativat vahvaa yhteiskunnallista ja taloudellista sitoutumista valtakunnan politiikasta kunnallispolitiikkaan. Lupaprosessit edellyttävät yhtenäistä poliittista näkemystä ja yleistä hyväksyntää, sekä kansallisella että paikallisella tasolla.

Laitoksen luvitus- ja käyttöönotto edellyttävät avoimuutta ja vuorovaikutusta paikallisyhteisön ja muiden sidosryhmien kanssa. Paikallisten asukkaiden mielipiteet ja huolenaiheet otetaan huomioon tiedotustilaisuuksissa ja kuulemistilaisuuksissa.



Kuva 9-1. Ydinvoimalaitoksen lupaprosessi⁶¹

9.2.1 Kaavoitus

Ydinlaitosta koskevassa kaavoituksessa ja sijaintipaikan valinnassa on tavoitteena ydinlaitoksen suojaaminen siihen kohdistuvilta ulkoisilta uhkatekijöiltä sekä laitoksen ympäristölleen aiheuttamien haittojen ja uhkien pitäminen mahdollisimman pienenä. Sijoituspaikean valinnassa on otettava huomioon paikallisten olosuhteiden vaikutus turvallisuuteen sekä turva- ja valmiusjärjestelyt.

⁶¹ <https://stuk.fi/ydinlaitosten-luvitus>

Pienydinvoimalan kaavoitusprosessi edellyttää yhteistyötä viranomaisten ja sidosryhmien kanssa. Kaavoituksella varmistetaan, että voimalaitos sijoitetaan sopivaan paikkaan ottaen huomioon ympäristölliset, yhteiskunnalliset ja turvallisuuteen liittyvät näkökohdat. Ennen ydinlaitoksen sijoituspaikaksi tarkoitetun alueen asemakaavan laatimista ja kaavan hyväksymistä, on asiasta hankittava STUKin lausunto. STUK antaa lausunnot uusien ydinlaitosten sijaintipaikkojen kaavoituksesta ja nykyisten ydinvoimalaitospaikkojen kaavamuutoksista maakunta-, yleis- ja asemakaavatasolla.

Eri sijaintivaihtoehdoille tarkastellaan mm. kaavoitustilanne, maaperän soveltuvuus, alueen infrastruktuurin tarkastelu, logistiikkayhteydet, sekä arvioidaan ympäristöllisten ja yhteiskunnalliset vaikutukset alustavasti ennen sijaintipaikan valinnan perustaksi. Sijoituspaikan on oltava sellainen, että laitoksen ympäristölleen aiheuttamat haitat ja uhat ovat hyvin pienet ja laitoksen lämmönpoisto ympäristöön voidaan toteuttaa luotettavasti. Yleisperiaatteena, että laitos sijaitsee harvaan asutulla alueella ja etäällä merkittävistä asutuskeskuksista. Ydinvoimalaitoksen läheisyydessä ei myöskään saa harjoittaa toimintaa, joka saattaisi ulkoisesti aiheuttaa vaaratilanteen laitoksessa.

Osayleiskaava:

Pienydinvoimalan sijoituspaikan alueella voimassa olevan yleis- tai osayleiskaavan maankäytön periaatteiden on mahdollistettava ao. laitoksen sijoittamisen alueelle.

Asemakaava:

Tarkempi asemakaava laaditaan voimalan tarkkaa sijoittamista varten. Asemakaavassa määritellään laitoksen rakentamisalueet, korkeudet, suojavyöhykkeet, liittynät ympäröivään maankäyttöön ja muut tekniset yksityiskohdat.

9.2.2 Pienydinvoimalan lupaprosessi ydinenergialain näkökulmasta

Ydinenergialain viidennen luvun säädökset liittyvät ydinlaitostoiminnan lupamenettelyihin ja niissä noudatettavaan vaatimukseen, jotka koskevat turvallisuutta, ympäristönsuojelua ja ydinjätehuoltoa, sekä prosesseja, joiden avulla yleisö voi osallistua ja vaikuttaa päätöksentekoon.

Ydinenergialain viidennessä luvussa tule esille ne lupamenettelyt, joita tarvitaan ydinlaitostoiminnan eri vaiheissa. Lupaviranomaisina toimivat valtioneuvosto, työ- ja elinkeinoministeriö sekä Säteilyturvakeskus, riippuen toiminnan laadusta. Ydinenergialupaa voidaan myöntää vain Euroopan unionin jäsenvaltion lainkäyttövallan alaisille tahoille muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta.

Ennen luvan myöntämistä ydinlaitoksen rakentamiseen, käyttämiseen tai käytöstä poistamiseen on täytettävä tietyt turvallisuutta, ympäristönsuojelua, ydinjätehuollon järjestämistä sekä asiantuntemusta ja taloudellisia mahdollisuuksia koskevat vaatimukset. Ydinlaitoksen sijoituspaikan on täytettävä asetetut turvallisuuskriteerit, ja siellä on voitava järjestää turva- ja valmiusjärjestelyt.

9.2.3 Lupaprosessin keskeiset vaiheet

Uuden ydinvoimalaitoshankkeen ensimmäinen vaihe on ympäristövaikutusten arviointi, jonka avulla pyritään vähentämään tai kokonaan estämään hankkeen haitallisia ympäristövaikutuksia. Tämän jälkeen ydinlaitoshanke voi hakea valtioneuvostolta periaatepäätöstä.

Ympäristövaikutusten arviointi (YVA):

- Ennen rakentamislupaa on suoritettava ympäristövaikutusten arviointi (YVA) normaalin YVA-prosessin mukaan suunnitellulla laitoksella valikoituneeseen sijaintiin. YVA-prosessissa arvioidaan hankkeen vaikutukset ympäristöön. Tämä prosessi sisältää julkisen kuulemisen ja on yleensä edellytys ympäristöluvan saamiselle.
- YVA on suunnittelun apuväline, jonka tulokset on otettava huomioon hankkeen lupaharkinnassa. Prosessissa on kaksi vaihetta: ensin hankkeesta vastaava toiminnanharjoittaja valmistelee ohjelman ja sitten selostuksen. Molempien vaiheiden yhteysviranomaisena toimii työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). STUK antaa TEMille oman lausuntonsa niin YVA-ohjelmista kuin YVA-selostuksista.

Valtioneuvoston periaatepäätös:

- Ennen varsinaisen lupaprosessin aloittamista pienydinvoimalahankkeen (yli 50 MW) täytyy saada valtioneuvoston periaatepäätös, joka osoittaa hankkeen olevan yhteiskunnallisesti hyväksyttävä ja tarpeellinen. Valtioneuvoston periaatepäätös on valtiovallan poliittinen hyväksyntä hankkeelle. Periaatepäätöstä haettaessa on esitettävä esittäjä alustava turvallisuusarvio ja vaikutusten arviointi ympäristöön ja yhteiskuntaan.
- Tämänhetkisen lainsäädännön puitteissa alle 50 MW:n ydinvoimalaitokset eivät tarvitse valtioneuvoston periaatepäätöstä.

Ympäristölupa:

- Ympäristölupa myönnetään, jos hankkeen ympäristövaikutukset katsotaan hyväksyttäväksi. Ympäristöluvan myöntää alueellinen aluehallintovirasto AVI

Rakentamislupa:

- Rakentamislupaa varten hakijan on toimitettava Säteilyturvakeskukselle (STUK) kattava tekninen dokumentaatio, joka sisältää suunnitteluratkaisut, turvallisuusanalyysyjä, onnettomuusanalyysyjä ja riskinarviointeja.

STUK:n lausunto:

- STUK arvioi toimitetut dokumentit ja antaa lausuntonsa hankkeen turvallisuudesta valtioneuvostolle.

Valtioneuvoston päätös:

- Valtioneuvosto päättää rakentamisluvan myöntämisestä mm. STUK:n lausunnon perusteella. Tämä prosessi voi kestää useita vuosia.

Rakentamisen ja asennuksen valvonta:

- Rakentaminen edellyttää viranomaisten aktiivista osallistumista valvontatehtävissä. Taavoitteena on taata, että infrastruktuuri toteutetaan suunnitelmien mukaisesti ja että käytössä olevat materiaalit ja menetelmät täyttävät asetetut standardit.

Käyttölupa:

- Ennen virallista käyttöönottoa ydinvoimalaitos läpikäy perusteellisen testausjakson, jolla varmistetaan systeemien toiminta ohjeistuksen mukaan ja turvallisuusnormien mukaisesti. Testausvaiheeseen sisältyy käytännön testejä ja simuloitteja.

Käyttöönottotestit ja koekäyttö:

- Ennen käyttöluvan hakemista voimalaitoksessa suoritetaan laajat ja moninkertaiset käyttöönottotestit ja koekäytöt, joiden aikana varmistetaan, että kaikki järjestelmät toimivat suunnitellulla tavalla ja että laitos täyttää kaikki turvallisuusvaatimukset.

Käyttölupahakemus:

- Hakijan on toimitettava STUK:lle käyttöluvan hakemusta varten tarvittavat dokumentit, jotka sisältävät käyttöönottestien tulokset, laitoksen käyttöohjeet, huolto-ohjelmat ja muut tarvittavat turvallisuusasiakirjat.

STUK:n lausunto:

- STUK arvioi toimitetut dokumentit ja käyttöönottestien tulokset. Jos kaikki vaatimukset täyttyvät, STUK antaa myönteisen lausunnon valtioneuvostolle.

Valtioneuvoston päätös:

- Käyttölupa myönnetään valtioneuvoston päätöksellä STUK:n lausunnon perusteella. Käyttölupa on edellytys laitoksen kaupalliselle käytölle.

Ydinvoimalaitoksen

lupaprosessin jokaisessa vaiheessa on tarkat vaatimukset ja perusteellinen arviointi. Arvioinnin suorittavat eri viranomaiset, erityisesti STUK. Lisäksi tarvitaan useita muita lupia ja hyväksyntöjä liittyen rakentamiseen, työturvallisuuteen ja jätteenhuoltoon. Kaikkien näiden lupien ja hyväksyntöjen saaminen on edellytys laitoksen kaupalliselle käyttöönotolle.

Lupaprosessiin liittyy hankkeen edistymisen aikana myös seurantaa, mm.:

Turvallisuuskatsaukset ja arvioinnit:

Turvallisuus on ydinvoimalaitoshankkeen kriittisin osa-alue. Viranomaiset harjoittavat jatkuvaa valvontaa suunnittelun, rakentamisen ja käytön eri vaiheissa. Viranomaisen valvoo laitoksen suunnittelua ja rakentamista, jotta varmistetaan suunnittelun ja rakentamisen vastaavan vaadittuja turvallisuusstandardeja.

Koulutukset ja pätevydet:

Henkilökunnan koulutus ja pätevyys ovat kivijalka ydinvoimalaitoksen turvalliselle toiminnalle. Viranomaiset ovat vastuussa koulutusohjelmien arvioinnista ja hyväksynnästä sekä henkilöstön pätevyyksien tarkistuksesta.

Jatkuvat turvallisuusarviointit:

Kun ydinvoimalaitoksen käyttö on aloitettu, seuranta ei pääty. Viranomaiset jatkavat laitoksen toiminnan valvontaa ja turvallisuusarviointia koko sen toimintaiän ajan.

Pienydinvoimalan rakentaminen hankeselvityksestä kaupallisessa käytössä olevaan laitokseen on monivaiheinen ja moniulotteinen prosessi. Lupaprosessissa huomioidaan tavoitteellisesti kaiken kattavasti teknisiä, ympäristöllisiä, turvallisuuteen ja ihmisiin liittyviä tekijöitä. Prosessi vaatii tiiviin yhteistyön ja vuorovaikutuksen viranomaisten, yhteisön ja poliittisten päättäjien välillä.

9.2.4 STUK:n rooli

Säteilyturvakeskuksen (STUK) rooli pienydinvoimalaitoksen (MMR/SMR) rakennuslupan hakuprosessissa, rakentamisen aikana ja käyttöönottovaiheessa on merkittävä ja pitkäkestoinen. STUK arvioi rakentamislupaan liittyvässä turvallisuusarviossa laajalti laitostoimittajan ja alihankkijoiden suorituskykyä. Vastaavasti käyttölupaan liittyvässä turvallisuusarviossa STUK arvioi luvanhaltijan organisaation kyvykkyyttä ja valmiutta käyttää laitosta turvallisesti. STUK:n keskeiset tehtävät ja vastuut kussakin vaiheessa:

Esivalmistelut ja ennakoarvioinnit:

- STUK osallistuu laitoksen suunnittelun alkuvaiheessa antamalla lausuntoja ja ennakoarvioita turvallisuusvaatimuksista. Tämä voi sisältää teknisiä neuvotteluja laitostoimittajien ja muiden sidosryhmien kanssa.

Lupahakemuksen arviointi:

- Hakijan tulee toimittaa STUK:lle laaja tekninen dokumentaatio, joka sisältää tiedot laitoksen suunnittelusta, turvallisuusanalyseista, onnettomuusanalyseista, sekä suunnitelluista turvallisuusjärjestelmistä. STUK arvioi näitä dokumentteja varmistaakseen, että laitos täyttää kaikki kansalliset ja kansainväliset turvallisuusstandardit.

Turvallisuusarviointi:

- STUK suorittaa yksityiskohtaisen turvallisuusarvioinnin, joka kattaa laitoksen tekniset ratkaisut, turvallisuusjärjestelyt ja riskianalyysit. Tämä arviointi voi kestää useita vuosia.

Rakentamisen valvonta:

- STUK valvoo, että rakennustyöt suoritetaan hyväksytyjen suunnitelmien ja turvallisuusvaatimusten mukaisesti. Tämä sisältää säännölliset tarkastukset ja valvontakäynnit.

Dokumentaation seuranta:

- STUK seuraa jatkuvasti laitoksen rakentamiseen liittyvää dokumentaatiota, kuten rakennustöiden edistymisraportteja, testaussuunnitelmia ja laadunvalvontadokumentteja.

Turvallisuuskulttuurin arviointi:

- STUK arvioi rakentamisen aikana myös toimittajan ja aliurakoitsijoiden turvallisuuskulttuuria ja työmenetelmiä varmistaakseen, että ne vastaavat asetettuja standardeja.

Käyttöönottovaihe:

- STUK valvoo laitoksen koekäyttöä ja varmistaa, että kaikki turvallisuusjärjestelmät toimivat suunnitellulla tavalla ennen kuin laitos otetaan kaupalliseen käyttöön.

Lopullinen käyttöönottolupa:

- STUK antaa lausunnon valtioneuvostolle lopullisen käyttöönottoluvan myöntämiselle vasta, kun se on todennut, että kaikki turvallisuuteen liittyvät edellytykset ja vaatimukset on täytetty.

Jatkuva valvonta:

- Käyttöönoton jälkeen STUK jatkaa laitoksen toiminnan jatkuvaa valvontaa. Tämä sisältää säännöllisiä tarkastuksia, raportointia ja valvontakäyntejä laitoksen elinkaaren ajan.

STUK:lla on pienydinvoimalaitoshankkeessa koko hankkeen ajan kestävä jatkuva valvova ja hyväksyvä rooli. Ilman STUK:n myönteistä lausuntoa ei valtioneuvosta voi tehdä myönteisiä päätöksiä rakentamisen käynnistämiseksi, koekäyttöille tai lopulliselle käyttöönotolle. Lupaprosessi ja rakentamisen valvonta voivat kestää vuosia. STUK:n tehtävät eivät pääty laitoksen kaupallisen käytön aloittamiseen, vaan se jatkaa valvontaa koko laitoksen käyttöiän ajan varmistaakseen, että laitos toimii turvallisesti ja luotettavasti.

9.2.5 Ydinjätehuolto ydinenergialaissa

Ydinjätelain luvussa 6 on määritelty ydinjätteiden valvonnan vapauttamiseen liittyvät menettelyt, ja ympäristöministeriölle kuuluvat kuulemiset huolehtimisvelvollisuuden toteuttamisesta päätettävässä. Luvun keskeiset periaatteet kohdistuvat ydinjätteen määrän vähäisenä pitämiseen ja johdonmukaiseen, turvalliseen ydinjätehuoltoon. Säädökset korostavat jätehuoltovelvollisten vastuuta ja mahdollistavat valtion väliintulon tarvittaessa. Valtion vastuu korostuu, kun huolehtimisvelvollisuus on loppunut, ja valtiolla on tällöin oikeus ryhtyä kaikkiin tarvittaviin toimenpiteisiin ydinjätteiden turvallisuuden varmistamiseksi.

10. VUOROVAIKUTUS

10.1 Hankkeen sidosryhmät

Työssä haastateltiin syvähaastattelumenetelmällä kaupungin kehittäjiä ja asiantuntijoita ympäristötoimesta ja maankäytöstä. Lisäksi haastateltiin viranomaistahoja ja akateemisia tutkimustahoja. Yhteensä haastateltiin 8 henkilöä.

Syvähaastatteluissa kerättiin näkemystä MMR ja vetylaitoksen toteutettavuuden edistävästä ja hidastavista tekijöistä. Haastateltavilta saatiin näkemystä ympäristöluvista, vihreän siirtymän energianäkökulmista, hankkeen hyväksyttävyydestä ja vihreän siirtymän oikeudenmukaisuudesta. Haastattelut tehtiin TEAMSin välityksellä. Niistä kerättiin näkemys ensimmäiseen työpajaan, jossa syvennettiin näkemystä ja luotiin yhteinen tulkinta. Ensimmäiseen työpajaan kutsuttiin kaupungin asiantuntijoita ja viranomaistahoja. Toiseen työpajaan kutsuttiin toteuttajatahoja eli energia-alan yrityksiä, laitetoimittajia, viranomaisia ja ydinvoiman asiantuntijatahoja. Toisen työpajan tavoitteena oli saattaa yhteen tahoja, jotka voisivat muodostaa tulevan hankeyhtiön sekä tunnistaa toteuttamiseen liittyvät haasteet.

10.2 Työpaja 1: Laitos maankäytön, teknisestä, taloudellisesta ja ympäristöllisestä näkökulmasta

Ensimmäisen työpajan tavoite oli luoda yhteinen näkemys MMR-vetylaitoksen toteutettavuutta edistävästä ja hidastavista tekijöistä. Tämän luvun näkökulmat ovat syntyneet haastatteluiden ja ensimmäisen työpajan tuloksena.

MMR-vetylaitoksen toteutuksessa suurimmat haasteet liittyvät laitoksen kaupallistamiseen ja hyväksyttävyyteen. Teknologia ei muodostu haasteeksi, vaikkei pienydinvoimaloita vielä olekaan yleisesti. Laitosta suunniteltaessa eri toimijat antavat lupauksia liittyen lopputulokseen. Näitä lupauksia luonnollisesti tarvitaan, jotta hanke etenee. Yhteiskunnalliseen keskusteluun nousee liian suuret lupaukset – lupaukset, jotka eivät toteudukaan ja jotka todetaan hypetykseksi.

Yhteiskunnallisen keskustelun tärkeimmät teemat, jotka tulee ottaa huomioon toteutusselvityksessä ovat turvallisuus, laitoksen sijainti ja ydinjätehuolto. Turvallisuus -teema liittyy ydinvoiman pelkoon. Ydinvoimaan liittyvät pelot ovat seurausta menneistä vaara- ja häiriötilanteista. Lisäksi geopoliittisen tilanteen vuoksi kyberturvallisuus mietityttää. Tässä maailman tilanteessa mielikuvat myös prosessin turvallisuudesta voimistuvat.

Tässä selvityksessä esitetään, että MMR-laitos tulisi maan alle. Keskusteluun nousee teema, onko tällaista toteutettu jo jossain muualla. Millaisia uusia asioita ilmenee, jos maahan kaivaminen on ainutlaatuista? Vety ja pienydinvoima ovat kummatkin vieraita asioita. Näiden kahden yhdistäminen pelottaa. Maan alle sijoittamista voidaan perustella, esim. turvallisuudella, sillä terroriteko on hankalampaa. Tai voidaan kertoa, että vaikka vety on räjähdysherkkää, siitä ei tule kemiallista tuhoa, sirpaleita toki. Kaikkia näitä pelkoja herättäviä teemoja voidaan vähentää tiedottamisella, mutta hankkeen edistämiseksi suosittelimme aitoa dialogia. Avoimuus luo luottamusta asukkaille. Dialogissa oleellista on käydä sitä aidosti, suoraviivainen tiedotus, tiedon lisääminen ja tätä kautta tietämyksen lisääminen ei lisää asukkaiden myötämielisyyttä. Kaikkiin kysymyksiin ei pidä olla vastauksia, vaan vastauksia tulee etsiä yhdessä, näin vastapuoli oikeutetusti kokee, että hänen näkökulmallaan on merkitystä.

Ydinvoimaan liittyy olennaisesti ydinjäte. Myös ydinjätteen turvallisuus pelottaa. Niin ydinvoiman raaka-aineeseen kuin jätteeseen liittyy myös kuljetukset ja niiden reitit, joista dialogia on hyvä

käydä. Vaikkei reittejä tiedetäkään vielä, kun ei loppusijoituspaikka ole tiedossa, se ei poista dialogin tarvetta vaan vahvistaa sitä. Dialogi suositellaan aloitettavan jo silloin, kun asia on vielä abstrakti, eikä laitoksen ja ydinjätteen sijainnin vaihtoehtoja vielä ole. Yleensä ennen potentiaalisten sijaintien julkaisua asukkaat eivät ole kiinnostuneita. Kun paikat valitaan, kiinnostus herää.

Puhtaan siirtymän hankkeissa oikeudenmukaisuuden teema on selvä yhdistävä tekijä, hankkeesta riippumatta. Tyypillisesti ihmiset haluavat vihreitä vaihtoehtoja, esim. kannattavat sähköautoilua ja vihreän energian tuotantomuotoja. Mutta kun tuotantolaitos tulee omalle takapihalle, sitä vastustetaan. Vastustus on ilmeinen, sillä ympäristöhaitta tulee asukkaalle, taloudellinen hyöty muualle. Vertauskuvallisesti aiemmin sellutehtaan hajusta sanottiin "raha haisee", sillä sellutehdas toi kaupungille ja monelle sen asukkaalle vaurautta. Vihreän siirtymän hankkeista puuttuu tällä hetkellä hintamekanismit, jolla ympäristöhaitta korvattaisiin. Tämän vuoksi vihreän siirtymän hankkeissa keskustelu oikeudenmukaisuudesta on oleellinen. MMR-vetylaitos tulee lähelle asutusta, joten se synnyttää alueellisen eriarvoisuuden. Onko oikein, että takapihalleni tulee ympäristöhaitta? Miten käy kiinteistön arvolle? Oleellista on vähintään käydä dialogia avoimesti alusta alkaen. Näin asukkaille on annettu mahdollisuus vaikuttaa. Mahdollisuuden olemassaolo vähentää vastustusta, vaikkei sitä itse olisikaan käyttänyt.

Oleellista keskustelussa on, että hankkeen edistäjät puhuvat teknologia/tuotanto teemoista tässä energian tuotantomuodossa. Yhteiskunnallinen keskustelu siirtyy toiselle tasolle; "mikä olisi paras energian tuotantomuoto vähähiilisemmälle energialle". Suosittelemme, että muiden vaihtoehtoisten energiamuotojen selvitykset ovat esillä ja niistä viestitään läpinäkyvästi sidosryhmille. Lisäksi suosittelemme, että MMR-vetylaitoksen sijaintivaihtoehdoista tehdään YVA-tyyppinen selvitys, jossa selvitetään vaihtoehdoista vähintään ympäristöhaittaa aiheuttava.

Yhteiskehittäminen voisi luoda myötämielisen maaperän. Yhteiskehittäminen tarkoittaa, että osallistettavilla on aidosti mahdollisuus vaikuttaa asioihin. Jos yhteiskehittämisen nimissä pidetään tiedotustilaisuuksia, ne kääntyvät itseään vastaan. Yhteiskehittämistä tulisi tehdä ennen kuin potentiaaliset paikat valitaan ja julkaistaan.

Päätöksentekijöille on oleellista, että hankkeella on asukkaiden hyväksyntä. Päätäjät siten kannattavat, jos asukkaat kannattavat hanketta. Suosittelemme tekemään Benchmark selvityksen Eurajoen tai Pyhäjoen hankkeiden osallistamisen prosessista, jolla asukkaat on saatu ydinvoiman puolelle. Hyväksyttävyyttä riippuu paljon mielikuvista. Ihmiset muodostavat käsityksensä eri tavalla hankkeen hyödyistä ja haitoista. Näihin ei ole olemassa yksiselitteistä vastausta. Keskustelu myös siitä kuka saa päättää ja kenen pitäisi päättää, vaikuttaa vastustukseen. Jos syntyy hyvin vahva vastustava liike, vaikuttaa se luonnollisesti päättäjiin. Kansanliikkeen verran hankkeella todennäköisesti on vastustusta, mutta se kuinka suuri joukko lähtee vastustamaan hanketta, on oleellisempi näkökulma, kuin pyrkiä peittoamaan koko vastustus. *"Enemmän tulee yllätyksiä siitä, mitä kaikkea voidaankaan vastustaa"*, kommentoi yksi haastatelluista tahoista.

Haastatelluilta saadun tiedon mukaan naiset suhtautuvat ydinvoimaan kriittisemmin. Tämä ei selity tulotasolla tai tiedon määrällä. Myös ikä vaikuttaa, mutta vastustus ei suoraan lisääny iän karttuessa vaan on olemassa ikäryhmiä, joissa vastustus on kovempaa kuin toisissa.

Lupaprosessin haastateltavat arvelevat menevän valitusten ja tuomioistuinten kautta, joten se tulee olemaan pitkä. Haastateluissa arveltiin, että prosessi voi kestää 2030-luvun puoleen väliin, joka sekin saattaa olla optimista ajattelua ja vaatia monen asian suotuisaa etenemistä. Oleellista on tunnistaa hankkeen show-stopperit ja selvittää ne erityisellä tarkkuudella ja laajuudella. MMR-vetylaitosta haastatteluiden perusteella arvellaan AVIN pitävän vihreän siirtymän hankkeena (vähintään vedyn vuoksi), jota AVI priorisoi lupaprosesseissaan. Lappeenrannan laitoksesta arvellaan

tulevan ennakkotapaus, jonka mukaan lainsäädäntöä muutetaan, sillä lainsäädäntöä ei vielä ole. Haastatteluissa ennakoitiin poliittista kädenvääntöä ja "lehmänkauppoja" taustalla hankkeen toteutumiseksi. Lainsäädännöllinen kehikko tulisi kuitenkin hahmotella, sillä prosessi on erilainen kuin perinteisen ydinvoiman luvitus, johon hanketta verrataan. Laitoksen vety osuus lisää hankkeen järkevyyttä, sillä vety toimii energian varastona ja siirtoaineena.

10.3 Työpaja 2: Laitoksen investointi, rakentaminen ja rahoitus

Hallintomallin tulisi luoda vihreän siirtymän hyötyjä. Tällaisia hallintomalleja vasta kehitellään kansainvälisestikin. Ilmaston muutoksen torjuminen ja vihreä siirtymän kannattaminen jäävät syrjään, jos hanke tulee liian lähelle asukasta itseään. Tarvitaan mekanismeja, jolla vihreän siirtymän hankkeet luovat insentiivejä alueille, joille ympäristöhaitta kertyy. Kompensointi tulisi sisällyttää tuotteeseen. Ilmastoehyöty edellyttää systeemitason optimointia, joka ulottuu myös kansalliseen tasolle ja EU-tasolle.

Potentiaalisia hankkeen edistäjiä ovat vetyputki-suunnitelmat Imatralta Porvooseen, joka tukee vetytalouden syntymistä. Lisäksi Lappeenrannassa on osoitettu uusiutuvalle energialle paikat, joista on tehty kohdekortit.

Investorit luottavat suomalaiseen yhteiskuntaan, STUK on luotettavimpia viranomaisia ja Suomi koetaan korkean luottamuksen maana – suomalainen tekee sen, minkä lupaa. Suomi on poliittisesti vakaa, suomalainen ei blokkaa traktoreilla liikennettä, eikä polta renkaita. Suomi on ennustettava, eikä Suomessa tapahdu luonnonoikkuja. Itäraja on kiinni, liittyminen Natoon on vahvistanut luottamusta. Suomessa on jopa ydinjätteen loppusijoituspaikasta pystytty sopimaan.

Ajureina nähdään myös se, että pienydinvoima on puhdasta, joka tekee energian tuottomuodosta hyväksyttävämpää. Aurinko- ja tuulivoiman ei nähdä ratkaisevan energian tarpeeseen liittyviä haasteita. Aurinkovoimasta saadaan tällä hetkellä vain pieni osa (2023: 1 % energian tarpeesta) ja sen vaatima maa-ala on teollisessa mittakaavassa luonnon monimuotoisuuden vaikuttava energian tuottomuoto. Suomi on ydinvoimateknologiassa kokoaan suurempi toimija. Kukaan ei vielä valmista sarjatuotantona pienydinvoimaloita, Lappeenrannan toteutus olisi edelläkävijän roolissa, mutta myös Kuopioon on suunnitteilla pienydinvoimaa.

Riskit jaettiin työpajassa nelikentän avulla riskin toteutumisen todennäköisyyden ja riskin vaikutavuuden suhteen.

Kiusallisiksi riskeiksi arviointiin kaavoitusprosessin läpimenoaika, valitukset, hankkeen hyväksyttävyyden naapurikuntien ja kansainvälisten tahojen näkökulmasta. Lisäksi kiusallisiksi arvioitiin painelaiteluokitukset ja niiden tarkastukset.

Hankkeen toteutuksen pieniksi haitoiksi tunnistettiin:

- kumppanien löytäminen
- tilanne, jossa ei löydetä kohteita, joissa olisi tehokkaat muunteluratkaisut
- kombinaatin sovittaminen tehollisesti eri kaupunkien tuotantoportfolioon ja kaukolämmön kysyntään
- operointihenkilöstön osaaminen ja saatavuus
- eri tuotteiden tuotantovelvoitteet
- rakenteiden säteilyturvallisuus (rakenteiden ylityö)

Vaikuttavuudeltaan suuriksi, mutta todennäköisyydeltään pieniksi riskeiksi (Ohut jää) tunnistettiin:

- Ydinpolttoaineen käsittelyyn ja varastointiin liittyvät toimenpiteet.
- Toteuttajien osaaminen ensiöpiirin laitteissa, piireissä ja paineastioissa.
- Muun hukkalämmön tarjonnan lisääntyminen.
- Ei osata kehittää sitä lopputuotetta, jolle olisi parhaimmat markkinat.

Suuriksi riskeiksi tunnistettiin:

- Investoinnin suuruus
- Alueellisen toimitusketjun syntyminen
- Hyväksyttävyyden asukkaiden näkökulmasta sekä kansallisella tasolla
- Luvitus: Elyn suhtautuminen ja STUKin suhtautuminen
- Teknologiatoimittajan suorituskyky
- Pitkän valmisteluajan tuoma materiaalien hintariski
- Skaalautuvuuden ja monistettavuuden edellytykset
- Riittääkö tuki-instrumentteja kahdelle yhtiölle
- Kotimainen ydinekosysteemin syntyminen

Työpajassa ideoitiin ratkaisuja ja etenemistapoja suurten riskien osalta. Jotta hyväksyttävyyttä saataisiin kansallisella tasolla, tulisi tiedonvaihtoa käydä viranomaisien kanssa paljon (muutenkin kuin pakolliset), pitää yllä suhdetoimintaa ja lobata. Asukkaiden suhteen työpajassa suositeltiin tekemään benchmark selvitys siitä mitä Pyhäjoella on tehty oikein. Mediasuhteita tulisi hoitaa viestintäsuunnitelman mukaisesti ja työstää siten viestintäsuunnitelma, jossa dialogi lähiasukkaiden kanssa huomioidaan erikseen. Paikalliset luotettavat toimijat lisäävät hyväksyttävyyttä ja se, että paikallinen toimija itse kertoo hankkeesta. Asukkaille hankkeen hyötynä voisi työpajan osallistujien arviona nostaa:

- paikallinen hanke – paikalliset hyödyt
- halvempi kaukolämpö
- Uudet työpaikat syntyvät hankintaketjun sisään. Tulee huomioida viestinnässä, ettei lupaa uutta isoa työnantajaa, sillä sitä pienydinvoima ei ole.

Luvitukseen liittyy Elyn ja STUKin suhtautuminen hankkeeseen. Työpajassa painotettiin, että keskustelun tulee olla avointa, sitä pitää olla paljon ja tapahtua vuoropuhelussa yhdessä haasteita ja ongelmia ratkoen (dialogi). Vuoropuhelu tulee suunnitella samalla tavoin kuin vuoropuhelu asukkaiden kanssa, jotta se on systemaattista ja jatkuvaa ja kaikki osapuolet ovat siitä tietoisia.

Työpajan riskeissä puhututti teknologiatoimittajien suorituskyky, onko riittävän kompetentteja tekijöitä olemassa ja onko valmistamiseen liittyvät luvat riittävät. Osallistujat näkivät, että hankkeessa tulee käyttää toimittajien hyväksymismenettelyä, joka varmistaa, että lupa osallistua arvioidaan. Nähtiin myös, että lainsäädännölle ja ohjeistukselle (standardeille) on tarvetta, jota odotetaan Euroopan tasolta, TEMiltä ja STUKilta. Investoinnin suuruus ja materiaalikustannusten riskeissä uskotaan hyvän esisuunnittelun, joka ei jätä kysymysmerkkejä, auttavan. Jos jonnekin muualle maailmaan tulisi ennen Suomea, saataisiin toki kokemuksia muualta.

Kotimaisen ekosysteemin muodostumista tulee vahvistaa vuoropuhelulla ja dialogilla vakiintuneiden toimijoiden kanssa, suunnittelusta lähtien. Toimittajia tulee vuoropuhelussa olla mukana käytöstä, kunnossapidosta, polttoaineesta, huollosta ja jätehuollosta. Myös alueellisten toimijoiden ja laitostoimijoiden kanssa tulee käydä vuoropuhelua. Aluksi tulee selvittää mahdolliset toimijat, joita voivat olla myös nykyiset ydinvoiman toimijat. Työpajassa keskusteltiin tässä yhteydessä myös siitä, lähtisivätkö nykyiset toimijat hylkimään tätä hanketta, mutta nähtiin yhteisesti, että todennäköisyys on pieni.

Hankeyhtiön johdon ja hankkeen työntekijöiden tulee olla alan huippuosaajia, eikä poliittisella mandaatilla valittuja. Työntekijöiden koulutuksesta tulee huolehtia. Skenaario muun hukkalämmön -tarjonnan lisääntyminen voi olla hankkeen show-stopper. Suosittelemmekin skenaariotarkastelua ja show-stoppereiden tunnistamista omana selvitystyönä.

10.4 Hankeyhtiöön liittyvien riskien kategorisointi

Laitoksiin liittyviä riskien tunnistaminen tapahtui yhteisessä keskustelussa työpajassa. Osallistujat tunnistivat riskejä ja ideoivat keinoja niiden pienentämiseksi, mikä mahdollisti myös ajatusten vaihdon siitä, millaista yhteistyötä hankkeen onnistuminen edellyttää. Riskeissä ei käsitelty ydinturvallisuuteen ja teknologiaan liittyviä riskejä.

Mahdollisia riskejä tunnistettiin työpajassa seuraaviin kategorioihin:

Kiusalliset riskit: Näillä on pieni vaikuttavuus, mutta suuri todennäköisyys.

Esimerkkejä: kaavoitusprosessien läpimenoaika, valitukset, hyväksyttävyys naapurikunnissa.

Pienet riskit: Pieni vaikuttavuus ja todennäköisyys.

Esimerkkejä: Operointihenkilöstön osaaminen ja saatavuus, löytyykö kumppanit, oikean asiakasmarkkinan löytäminen.

Suuret riskit: Suuri vaikuttavuus ja suuri todennäköisyys.

Esimerkkejä: Teknologian investointisuuruus, alueellisen toimitusketjun synty, asukkaiden ja kansallinen hyväksyttävyys.

Ohut jää: Suuri vaikuttavuus, mutta pieni todennäköisyys.

Esimerkkejä: Ydinpolttoaineen käsittelyyn ja varastointiin liittyvät toimenpiteet, toteuttajien osaaminen ensiöpiirin laitteissa.

Tunnistettuja riskien voi minimoida seuraavilla menettelyillä:

Toimittajien hyväksyttämismenettely: Varmistetaan, että kaikki toimittajat täyttävät vaaditut standardit ennen osallistumistaan, sisältäen luvan osallistua ja arvioinnin.

Lainsäädännön ja ohjeistusten kehittäminen: Tarvitaan selkeitä lakeja ja ohjeistuksia, jotta voidaan toimia standardien mukaisesti ja välttää oikeudellisia riskejä.

Hyvä esisuunnittelu: Vältetään kysymysmerkkejä ja materiaalien hintariskiä valmisteluvaiheessa.

Vuoropuhelu ja yhteistyö: Vuoropuhelu ja dialogi vakiintuneiden toimijoiden kanssa auttaa rakentamaan kotimaisen ydin ekosysteemin ja tunnistamaan alueellisen toimitusketjun potentiaalin. Vuoropuhelua tulee suunnitella ja hoitaa samalla tavalla kuin tiedotusta, ja se on yhtä tärkeää kuin tekniset ratkaisut.

Aito dialogi viranomaisten kanssa: Kuten TEM/STUK, jotta voidaan ymmärtää vaatimukset ja saada aikaan luottamusta.

Ratkaisumallien benchmarkkaus: Esimerkiksi Pyhäjoella tehtyjen toimien arviointi voi tarjota oppeja hyväksyttävyyden parantamiseksi.

Paikallisten toimijoiden mukanaolo: On hyödyllistä huomioida ja ottaa mukaan paikallisyhteisön tarpeet ja näkemykset.

Kokeneiden henkilöiden valinta johtotehtäviin: Se, että johto koostuu oikeanlaisesta asiantuntijuudesta, on keskeistä, kuten myös pätevän operointihenkilöstön koulutus ja saatavuus

Toimenpiteiden lisäksi on syytä tarkastella eri teemakohtaisten riskien ulottuvuutta. Joitakin riskejä ei voida minimoida, mutta samalla vaikutusakselilla (markkina, yhteiskunta, ympäristö ja lainsäädäntö) voi olla positiivisia vaikutuksia. Alla olevassa kuvassa on esitettyä Rambollin analyysi sekä yllä tunnistettujen riskien negatiivisesta vaikutuksesta, että vastaavien positiivisten mahdollisuuksien vaikutuksesta (Kuva 10-1). Analyysissä ei ole huomioitu riskien tai mahdollisuuksien todennäköisyyttä, mutta sen sijaan on tarkasteltu vaikutuksen suuruutta teemoittain.



Kuva 10-1. MMR laitoshankkeen toteutumisen riski- ja mahdollisuusanalyysi

Esimerkiksi markkinaan liittyvän muun lämmön tarjonnan riskin vastakkaisena vaikutuksena voi toteutuessaan olla muutokset biomassan sääntelyssä. Vaikka muu lämmöntarjonta kasvaisi, mutta samalla biomassan poltto vähenee, niin voidaan olettaa, että pienreaktorien kaltaiset ratkaisut ovat silloin oleellinen vaihtoehto lämmöntuotannossa. Vastaavasti ydinvoiman hyväksyttävyyttä voi lieventää energian omavaraisuuden arvostaminen.

10.5 Suositukset vuorovaikutuksen perusteella

Kootusti vuorovaikutuksen suositukset:

- Kaikkia pelkoja herättäviä teemoja voidaan vähentää tiedottamisella, mutta hankkeen edistämiseksi suosittelemme aitoa dialogia. Dialogissa oleellista on käydä sitä aidosti, suoraviivainen tiedotus, tiedon lisääminen ja tätä kautta tietämyksen lisääminen ei lisää asukkaiden myötämielisyyttä. Kaikkiin kysymyksiin ei pidä olla vastauksia, vaan vastauksia tulee etsiä yhdessä, näin vastapuoli oikeutetusti kokee, että hänen näkökulmallaan on merkitystä.
- Dialogi suositellaan aloitettavan jo silloin, kun asia on vielä abstrakti, eikä laitoksen ja ydinjätteen sijainnin vaihtoehtoja vielä ole.

- Suosittelemme, että muiden vaihtoehtoisten energiamuotojen selvitykset ovat esillä ja niistä viestitään läpinäkyvästi sidosryhmille. Lisäksi suosittelemme, että MMR-vetylaitoksen sijaintivaihtoehtoista tehdään YVA-tyyppinen selvitys, jossa selvitetään vaihtoehtoista vähintään ympäristöhaittaa aiheuttava.
- Suosittelemme tekemään Benchmark selvityksen Eurajoen ja Pyhäjoen osallistamisen prosessista, jolla asukkaat on saatu ydinvoiman puolelle.
- Keskustelun tulee olla avointa myös viranomaisten suuntaan. Sitä pitää olla paljon ja tapahtua vuoropuhelussa yhdessä haasteita ja ongelmia ratkoen (dialogi).
- Vuoropuhelu tulee suunnitella niin asukkaiden kuin hankkeen toimijoiden ja viranomaisten kanssa, jotta se on systemaattista ja jatkuvaa ja kaikki osapuolet ovat siitä tietoisia.
- Suosittelemmekin skenaariotarkastelua ja show-stoppereiden tunnistamista omana selvitystyönä.

11. JOHTOPÄÄTÖKSET

Hankeyhtiö

Kehityskelpoisen hankeyhtiön alku edellyttää osaavaa ja määrätietoista ydintiimiä hankekehitysvaiheessa. Kehitysvaiheessa riittävän oman pääoman kerääminen on hankeyhtiön ensisijainen tehtävä. Tämä edellyttää vahvan ydintiimin lisäksi uskottavasti todennetun teknologian ja sen monistettavuuden, esisopimukset tuotteiden raaka-aineiden hankinnasta ja valmiiden tuotteiden off-take sopimuksista, hyvät laitossijainnit ja sekä selkeä käsityksen siitä lupaprosessi kokonaisuudesta, jolla hankeyhtiö voi toimiluvan saada.

Hankeyhtiön muotona kehityskelpoisimmaksi osoittautui konserniyhtiö: emoyhtiössä on ydinvoimaosaaminen ja operatiivinen vastuu ydinvoimalla tuotetun höyryn toimittamisesta eri paikkakunnilla niihin perustettaville tytäryhtiöille. Konsernimallin ydinvoimaosaamisen keskittämisen ajurina emoyhtiöön on oletus siitä, että uudistettavassakin ydinenergialaissa luvan hakijan on osoitettava riittävä osaaminen ja resurssit laitoksen turvalliseen käyttöön.

Teknologia – ei pelkkä lämpölaite

Toteutettavuus selvityksen perusteella MMR-ydinlaitoksen käyttö pelkkään lämmöntuotantoon ei ole taloudellisesti perusteltua. MMR-laitoksen yhteyteen on hyvä sijoittaa ainakin sähköntuotantoa ja vedyntuotantoa. Tämän yhdistelmän kyky tuottaa liikevaihtoa ja tulosta on kaikkein paras suhteutettuna tehtyyn investointiin. Mitä enemmän laitostokombinaatilla on tulovirtoja eri markkinoilta (lämpö, sähkö, vety, happi) sen paremmin laitoksen talous kestää markkinoiden muutokset.

Tuet – kestävyys ja taksonomia

MMR-laitostokombinaatti on tällä hetkellä kallis. MMR-laitossarjan toteutuminen edellyttää nettoinvestoinnin alemmaa tasoa ja maltillista rahoituskustannusta. Tämän tason saavuttaminen on tukikriittinen niin investointituen kuin vieraan pääoman korkotuenkin osalta. Yksi mahdollinen kansallinen tukimuoto voi olla myös päästöttömällä sähköllä tuotetun vedyn tuotantotuki. Tukia arvioitaessa MMR-laitosten ensimmäistä sarjaa voi verrata infrainvestointeihin, joissa niiden vaikuttavuuden muuntaminen talouden luvuiksi on haastavaa.

Rahoitus

Oman pääoman keräämisen lisäksi hankkeella on oltava vakaa rahoitusperusta. MMR-hankkeiden rahoitusmahdollisuudet ovat moninaiset. Jotta MMR-hanke pääsee vihreän rahoituksen piiriin, on MMR-teknologian täytettävä kestävyyskriteerit ja hankeyhtiön toiminnan oltava EU-taksonomian mukaista.

Luvitus

Pienydinvoimalaitoksen lupaprosessi on raskas nykyisellään. Lupaprosessi korostuu STUK:n ja valtiovallan roolin ohella. Muu lupaprosessi noudattelee hyvin normaalia teollisuuslaitoksen lupaprosessia kaavoituksen ja YVA-menettelyn osalta.

Ydinenergialainsäädännön uudistuksessa huomioitavaa

Ydinenergialainsäädännön uudistuksessa Työ- ja elinkeinoministeriön tulisi huomioida pienydinvoiman mittakaava. 90 MW:n reaktoritehon MMR-laitos on alle 1 % TVO Oy:n Olkiluodon ydinvoimalaitostokokonaisuudesta. Valtion rooliksi pienydinvoimassa on hyvä harkita tyyppihyväksytyn pienydinvoiman sallimisen periaatepäätöksen tekemistä. Varsinaisen toimiluvan voi myöntää esim. TEM sellaiselle toimijalle, joka täyttää uudistetussa ydinenergialaissa määritetyt kriteerit, ja joka kykenee antamaan ennallistamistakuut, sekä täyttää ne ydinjätehuollon vaateet ja velvoitteet, jotka toimijalle on määritetty nykyisen ydinenergialain puitteissa.

Poliittinen ulottuvuus

Pienydinvoima tukee Suomen energiahuollon ilmastotavoitteiden saavuttamista sekä välittömin että välillisin vaikutuksin. MMR-laitoksen ympäristövaikutukset ovat vähäisiä ja prosessista syntyvän lämmön hyödyntäminen Suomen kaupunkien kaukolämmityksessä alentaa kestävän biomasan ja puhtaan sähkön kysyntää. Pienydinvoiman edistyminen edellyttää poliittista konsensusta energia-, ilmasto- ja teollisuuspolitiikassaan. Teknologian leviäminen vaatii selvää näkymää pitkäjänteisestä ja yhdensuuntaisista linjauksista mm. ilmastotavoitteisiin pääsemisen keinoista em. politiikkasegmenteissä.

Talous

Hanke vaatii oman pääoman sijoittajilta erittäin pitkäjänteistä omistajastrategiaa. Siinä vaiheessa, kun poistot ja vieraanpääoman korkokulut eivät rasita tulosta on MMR-laitoskombinaatin tuloksenteko kyky hyvällä tasolla. Tämä tuo esille sen, että energia-alan investoinnit ovat edelleen pitkäjänteisiä. MMR-kombinaatin toteutumista ja rahoituksen saamista edesauttaa se, että sen tuottamien tuotteiden kysyntä ei lopu markkinoilta.

Kaupallisuuden toteutuminen, energia-alan 25 vuoden kvartaalit, pitkäjänteisyys tuotto-odotuksille. Investointia ja tukia arvioitaessa MMR-laitosten ensimmäistä sarjaa voi verrata infainvestointeihin, joissa niiden vaikuttavuuden muuntaminen talouden luvuiksi on haastavaa.

Sarjatuotantotilauksen tuoma hyöty

Sarjatuotannosta saatava kustannusaleneman tuoma hyöty pienydinvoiman tuottaman höyryn omakustannushintaan on varsin maltillinen, alle 10%. Viiden pienydinvoimalan tilaus teknologia-toimittajalle tuo mahdollisuuden panostaa tuotekehitykseen ja valmistusprosessiin, joilla tavoitellaan kustannussäästöjä. Sarjatuotanto voi myös toimia houkuttimena pääomasijoittajille ja muille mahdollisille rahoittaville tahoille.

Vuorovaikutuksen merkitys

Hankkeen toteutettavuutta ei määritä pelkästään teknologia, talous tai politiikkatoimet. Pienydinvoiman yleisen hyväksyttävyyden on oltava niin korkealla, että MMR-laitoksen sijoittuminen ei aiheuta vastarintaa paikallisyhteisössä tai muissa sidosryhmissä. Paikallinen hyväksyttävyyden on saatavissa aktiivisella ja suunnitelmallisella vuorovaikutuksella. Jo hankekehitysvaiheessa on hyvä aloittaa vuorovaikutteinen keskustelu paikallisyhteisön kanssa, jotta keskustelu alkaa heti todellisten asioiden perusteella.

Paikallinen hyväksyntä pienydinvoimalle antaa myös vahvan signaalin politiikkatoimijoille siitä, että pienydinvoimalla on edellytykset toteutua ilman paikallisyhteisöjen vastustusta. Tämä signaali auttaa politiikkatoimijoita edistämään pienydinvoimaan kohdistuvan sääntelyn kehittymistä.

LIITE: Investointikustannusten erittely

Kustannusarvio k€ (Alv. 0%)							
		Optio 1.1.	Optio 1.2.	Optio 2.1.	Optio 2.2.	Optio 3.1.	Optio 3.2.
		Ydinlämpö-keskus	Ydinlämpö-keskus	Ydinvoimalaitos ja CHP	Ydinvoimalaitos ja CHP	Ydinvoimalaitos, CHP ja vedyn-tuotantolaitos	Ydinvoimalaitos, CHP ja vedyn-tuotantolaitos
		Summa	Summa	Summa	Summa	Summa	Summa
Maanhankinta	Yhteensä	300	300	300	300	300	300
Kaavoitus ja luvitus	Yhteensä	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
Infrastruktuuri	Yhteensä	17 200	25 120	19 600	27 520	22 100	30 820
Infrastruktuuri		9 900	10 700	12 300	13 100	14 800	16 400
Infrastruktuuri	Maarakennus- ja perustustyöt	7 300	14 420	7 300	14 420	7 300	14 420
	KL-,vesi-,viemäri- ja lauhde liittymät						
MMR-laitos	Yhteensä	57 602	95 627	57 602	95 627	57 602	95 627
MMR-laitos		56 037	10 700	12 300	13 100	14 800	16 400
	MMR tuotantoyksikkö						
MMR-laitos		1 565	14 420	7 300	14 420	7 300	14 420
	Kaukolämmön siirrasema						
Turbiinilaitos	Yhteensä			30 000	50 000	30 000	50 000
Vetylaitos	Yhteensä					20 734	37 396
Vetylaitos						11 374	22 756
Vetylaitos	Vetylaitos						
Vetylaitos						3 220	6 000
Vetylaitos							
Vetylaitos						2 640	2 640
Vetylaitos						3 500	6 000
	Lämpöpumppulaitos						
Sähköistys	Yhteensä	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300
Muut kustannukset	Yhteensä	43 095	70 078	62 123	102 853	77 769	126 754
Muut kustannukset		9 156	14 261	12 756	20 083	15 337	24 605
	Suunnittelu (noin 10 % kokonaisinvestoinnista)						
Muut kustannukset		33 939	55 818	49 368	82 770	62 431	102 149
	Varaukset (noin 30 % kokonaisinvestoinnista)						
Yhteensä, M€		125	198	177	284	216	348