

E-metaanilaitoksen käyttöönoton suunnittelu

Käyttöönottologiikka ja operatiivinen suorituskyky

Henri Kosonen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2025

Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuotetekniikan tutkinto-ohjelma

KOSONEN, HENRI:
E-metaanilaitoksen käyttöönoton suunnittelu
Käyttöönotologiikka ja operatiivinen suorituskyky

Opinnäytetyö 44 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Toukokuu 2025

Opinnäytetyö käsittelee Nordic Ren-Gas Oy:n Tarastenjärvelle rakennettavan e-metaanilaitoksen käyttöönottoa ja siihen liittyvää käyttöönotologiikkaa. Työn taustalla oli tarve varmistaa laitoksen turvallinen ja tehokas käyttöönotto, joka on keskeinen osa laitoksen elinkaarta. Työ toteutettiin yhteistyössä Nordic Ren-Gas Oy:n kanssa ja työssä sovellettiin Operational Readiness and Assurance (OR&A) -konseptia.

Tavoitteena oli selvittää kirjallisuuskatsauksen avulla, millaisia vaatimuksia käyttöönottovaihe asettaa laitokselle. Tämän lisäksi selvitettiin, mitkä tekijät vaikuttavat laitoksen operatiiviseen suorituskykyyn ja miten käyttöönotto tulisi suunnitella ja dokumentoida onnistuneesti. Käyttöönoton vaiheet, kuten mekaaninen valmistuminen, käyttöönotto-ohjelma ja koeajot, käytiin työssä systemaattisesti läpi. Laitoksen toiminnallista valmiutta arvioitiin vaiheittain toteutettavien suorituskykytestien avulla. Käsiteltyihin suorituskykytesteihin kuului muun muassa käyttöönottovaiheen kylmä- ja kuumakäyttöönottoajot.

Tulokset osoittivat, että laitoksen operatiivinen suorituskyky saavutetaan suunnitelmien mukaisesti ja käyttöönotto etenee hallitusti. Koeajot ja testaukset tarjoavat konkreettisen todisteen laitteiden ja järjestelmien toimivuudesta. Laitoksen pitkäaikaisessa käytössä korostuvat kestävyyttä tukevat näkökulmat, kuten energiatehokkuus ja päästöjen hallinta. Tulokset tukevat Ren-Gas Oy:n tavoitteita uusiutuvan energian skaalautuvassa ja toimitusvarmassa tuotannossa.

Työssä osoitettiin, että onnistuneen käyttöönoton kulmakivet ovat huolellinen suunnittelu, selkeä dokumentointi, henkilöstön riittävä koulutus sekä varaosien ja huoltosuunnitelmien ennakointi. Kehittämisehdotuksina esitettiin muun muassa kriittisten komponenttien elinkaaren hallinnan tehostamista ja käyttöönottoprosessin jatkokehitystä tulevia laitoksia varten.

Asiasanat: e-metaani, power-to-gas (P2G), käyttöönotto, projektinhallinta

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Bioproduct and Process Engineering
Bioproduct and Process Engineering

KOSONEN, HENRI:

Commissioning planning of the e-methane plant
Commissioning sequence and operational performance

Bachelor's thesis 44 pages, appendices 1 page
May 2025

This thesis examined the commissioning and operational readiness of the e-methane plant being constructed by Nordic Ren-Gas Oy in Tarastenjärvi. The objective was to identify the requirements for commissioning the plant and to assess its operational performance using the Operational Readiness and Assurance (OR&A) framework.

The study analyzed the company's preparedness and actions across different stages, such as mechanical completion, equipment installation, testing, and performance measurement. The data was collected from the documentation and evaluations provided by the equipment suppliers.

The results indicated that the commissioning process was progressing according to plan and that the plant's performance was meeting the set objectives. The test runs confirmed the system's functionality and enhanced risk management. Important sustainability aspects, such as emissions monitoring and energy efficiency, were also identified. The findings support the company's future renewable energy projects.

The conclusions emphasized the importance of careful planning and relevant documentation during the commissioning phase. Critical stages, such as mechanical completion and test runs, should be thoroughly planned. Recommendations for improvement included ensuring staff training and planning the management of critical spare parts. Confidential information has been omitted from the public version of the report.

Key words: e-methane, power-to-gas (P2G), commissioning, project management

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	E-METAANILAITOKSEN TOIMINTA JA KÄYTTÖÖNOTTO	7
	2.1 Yritysesittely ja laitosesittely	7
	2.2 Prosessit ja laitokset	8
	2.2.1 CCU – hiilidioksidin talteenotto ja hyödyntäminen	9
	2.2.2 Vihreä vedyn tuotanto	10
	2.2.3 Metanointi	11
	2.2.4 Kaasujen käsittely ja nesteytys	13
	2.2.5 Lämpöenergia	14
	2.3 Käyttöönottovaihe	14
	2.4 Operatiivisen suorituskyvyn mittaaminen	16
3	KÄYTTÖÖNOTTOVAIHEEN EDELLYTYKSET	19
	3.1 Lainsäädäntö	19
	3.1.1 Toiminnanharjoittajan käyttöönotto-ohje	20
	3.2 Operational Readiness & Assurance (OR&A)	21
	3.3 Yrityksen sisäinen käyttöönottosuunnitelma	24
	3.3.1 Mekaaninen valmistuminen	24
	3.3.2 Käyttöönotto-ohjelma	25
	3.3.3 Koeajo	25
4	KÄYTTÖÖNOTTOLOGIIKKA	27
	4.1 Laitoksen perusinfrastruktuuri	27
	4.2 Prosessilaitteiden asennus	28
	4.2.1 Prosessilaitteet	29
	4.2.2 Automaatio- ja ohjausjärjestelmät	30
	4.3 Asennusten ja koeajojen organisointi	31
	4.3.1 Riskienhallinta	33
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	35
6	POHDINTA	38
	LÄHTEET	40
	LIITTEET	44
	Liite 1. Käyttöönoton vaiheet	44

LYHENTEET JA TERMIT

AEL	Alkalinen elektrolyysiteknologia (Alkaline Electrolyzer).
BoP	Tuotantolaitoksen tukikomponentteja ja apujärjestelmiä (Balance of Plant), jotka ovat välttämättömiä laitoksen toiminnan kannalta, mutta eivät ole suoraan osa pääprosessia.
DCS	Tuotantolaitoksen hajautettu ohjausjärjestelmä (Distributed Control System), jolla valvotaan ja ohjataan laitosprosesseja.
e-metaani	Synteettinen ja uusiutuva kaasu, joka tuotetaan yhdistämällä uusiutuvalla energialla tuotettua vetyä ja hiilidioksidia kemiallisen synteesisprosessin avulla.
fleet control	Jatkuva prosessi, jossa optimoidaan resurssien käyttöä, ylläpidetään laitteiden kuntoa, standardisoidaan toimintoja ja kerätään dataa suorituskyvystä kaikista resurssiverkoston osista.
P2X	Lyhenne sanoista Power-to-X, joka tarkoittaa teknologioita ja prosesseja, joissa sähköenergiaa (Power) muunnetaan muiksi energiamuodoiksi tai tuotteiksi (X).
vihreä vety	Vetyä, joka on tuotettu uusiutuvilla energianlähteillä, kuten aurinko- ja tuulivoimalla, elektrolyysin avulla.

1 JOHDANTO

Fossiilisten polttoaineiden käyttöä on haastettava, jos energiasektori aikoo siirtyä kohti puhtaampaa ja kestävämpää tulevaisuutta. Erityisesti liikenteessä ja teollisuudessa tarvitaan vaihtoehtoisia ratkaisuja, jotka mahdollistavat päästöjen merkittävän vähentämisen ilman suuria muutoksia olemassa olevaan infrastruktuuriin. Yksi lupaavimmista ratkaisuista on e-metaanin tuotanto – synteettinen, uusiutuvalla sähköllä valmistettu polttoaine, joka voidaan integroida suoraan nykyisiin kaasuverkkoihin ja käyttöjärjestelmiin.

Nordic Ren-Gas Oy:n Tarastenjärvelle rakentuva e-metaanilaitos toimii tässä murroksessa tienraivaajana. Kyseessä on yhtiön ensimmäinen tuotantolaitos, jonka käyttöönotto on paitsi teknisesti vaativa, myös strategisesti ratkaiseva vaihe koko liiketoiminnan kehityksen kannalta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella laitoksen käyttöönottoon liittyviä keskeisiä teknisiä, organisatorisia ja operatiivisia toimenpiteitä. Katsauksen tavoitteena on tunnistaa kirjallisuuden pohjalta parhaat käytännöt käyttöönoton suunnitteluun ja toteutukseen siten, että ne tukevat laitoksen häiriötöntä ja turvallista käynnistystä sekä pitkäjänteistä ja varmaa tuotantoa.

Työssä hyödynnetään kansainvälisesti käytettyä Operational Readiness and Assurance (OR&A) -konseptia, joka tarjoaa systemaattisen lähestymistavan käyttöönoton suunnitteluun ja riskienhallintaan. Tulosten avulla pyritään tukemaan Ren-Gasin strategisia tavoitteita skaalautuvan, vähäpäästöisen ja toimitusvarman e-metaanituotannon kehittämisessä.

2 E-METAANILAITOKSEN TOIMINTA JA KÄYTTÖNOTTO

2.1 Yritysesittely ja laitosesittely

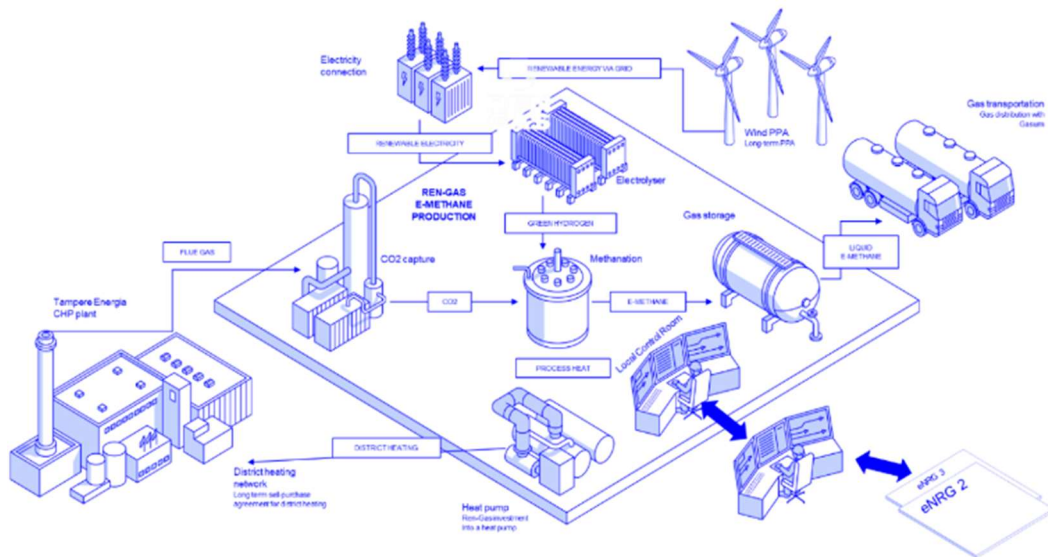
Nordic Ren-Gas Oy on Suomessa vuonna 2021 perustettu projektikehitysyritys, joka investoi P2X-kaasupolttoaineiden tuotanto- ja jakelupaikkoihin Suomessa. Tuotantolaitokset tuottavat sähkön avulla demineralisoidusta vedestä uusiutuvaa vetyä, jota jatkojalostetaan synteettiseksi metaaniksi. Yrityksen tavoitteena on toteuttaa sektori-integraatiota hyödyntäen P2X-kaasupolttoaineiden tuotanto- ja jakeluketju Suomeen. (Ren-Gas n.d.a.) Ren-Gas Oy:n tavoitteena on rakentaa Suomeen tuotantoverkosto, jolla vuoteen 2030 mennessä pystytään tuottamaan noin 20 % raskaan liikenteen käyttämästä polttoaineesta ja 8 %:a Suomen kaukolämmön tarpeesta. Toteutuneet hankkeet vähentävät Suomen kasvihuonepäästöjä yli 1,5 miljoonaa tonnia vuodessa. (Ren-Gas n.d.b.)

Ren-Gasin hankkeiden investoinnit puhtaan energian tuottamiseen ovat yli 2 miljardia euroa vuoteen 2030 mennessä. Yrityksen ensiaskel tavoitteidensa toteuttamisessa on Tampereen Tarastenjärvelle rakennettava Power-to-Gas-tuotantolaitos. Hankkeen tavoitteena on rakentaa tuotantolaitos, joka tuottaa vihreää vetyä ja metaania. Näiden lisäksi tuotantolaitos tuottaa prosesseista syntyvästä lämpöenergiasta kaukolämpöä Tampereen Energia Oy:n hallinnoimaan kaukolämpöverkoston. (Ren-Gas n.d. b.)

Laitoksen suunniteltu sijaintipaikka on Tammervoima Oy:n Tarastenjärven voimalaitoksen välittömässä läheisyydessä. Voimalaitoksen sijainti mahdollistaa hiilidioksidin toimituksen energiayhtiöltä laitosintegraatioon. Laitoksen ensimmäisen vaiheen rakentaminen on suunniteltu vuosille 2025–2027, ja tavoitteena on saada laitos tuotantoon vuoden 2027 aikana. (Ren-Gas n.d.b.)

Yrityksen suunnitelman mukaan vuoteen 2028 mennessä on saavutettu investointitavoitteet sekä luotu verkosto, jota pystytään ohjaamaan CCR eli keskusohjausjärjestelmän kautta. CCR on keskeisessä asemassa laitehallinnassa eli Fleet

controllissa. Fleetillä optimoidaan resurssien käyttö, jonka avulla ylläpidetään laitteiden kuntoa, standardisoidaan toimintoja ja kerätään dataa suorituskykyä kaikista resurssiverkoston osista (kuva 1). (Yrityksen sisäinen materiaali.)

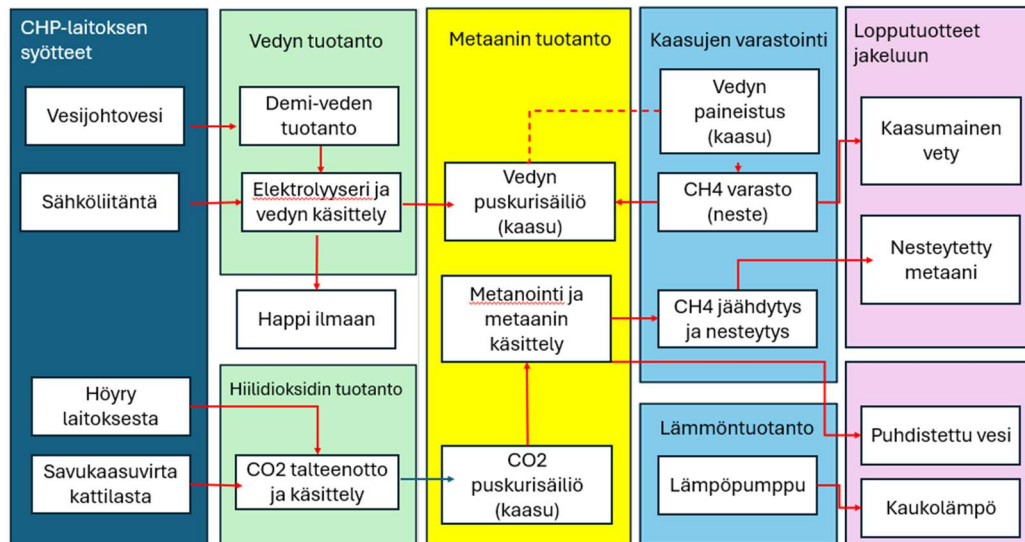


KUVA 1. Tuotantolaitoksen prosessit ja keskusohjausjärjestelmä (Yrityksen sisäinen materiaali).

2.2 Prosessit ja laitosyksiköt

Tarastenjärven P2G-tuotantolaitos tuottaa Tammervoima Oy:n voimalaitokselta kerätystä hiilidioksidista ja tuotantolaitoksella eristetystä vedystä vihreää metaania eli e-metaania. Tämän lisäksi uusiutuvan synteettisen metaanin ja vedyn valmistusprosesseista talteenotetaan lämpöenergiaa kaukolämpöverkostoon. Laitoksen prosesseissa käytetään Suomessa tuotettua tuulisähköä. (Ojanperä 2022.)

Laitos koostuu teknologiakokonaisuudesta, joka jaetaan seitsemään osa-alueeseen (kuva 2). Näitä osa-alueita ovat vedyn tuotanto, hiilidioksidin tuotanto savukaasuista, metaanin tuotanto, metaanin jatkokäsittely, kaasun käsittely ja nesteytys, sekä lämmöntuotanto apulaitteineen, integraatioineen ja rakennuksineen. (Ren-Gas n.d.b.)



KUVA 2. Laitoksen teknologiakokonaisuus. (Yrityksen sisäinen materiaali)

2.2.1 CCU – hiilidioksidin talteenotto ja hyödyntäminen

CCU-teknologia mahdollistaa teollisten prosessien hiilidioksidipäästöjen vähentämisen ja hyödyntämisen uusien tuotteiden, kuten synteettisten polttoaineiden ja kemikaalien valmistuksessa. Yksi viimeisimmistä hiilidioksidin talteenottoteknologioista on Saipem Bluenzyme™-järjestelmä. (Saipem n.d.a)

CCU perustuu hiilidioksidin talteenottoon teollisuuden savukaasuista ja sen hyödyntämiseen. Perinteisesti talteenotto on perustunut amiinipohjaisiin kemiallisiin yhdisteisiin. Uudemmat teknologiat, kuten Saipemin entsyymipohjainen Bluenzyme™, hyödyntää hiilihappohydraasi-entsyymiä prosessissa. Hiilihappohydraasi-entsyymi on luonnollinen katalyytti hiilidioksidin sitomisessa ja vapauttamisessa. Entsyymi mahdollistaa hiilidioksidin erottamisen ja puhdistamisen matalissa lämpötiloissa, mikä vähentää huomattavasti prosessin energiankulutusta ja kustannuksia. (Saipem 2023.)

CCU-järjestelmä koostuu kaasujen esikäsittelystä, hiilidioksidin talteenottoyksiköstä ja hiilidioksidin käsittely-yksiköstä. Kaasujen esikäsittelyssä savukaasuista poistetaan epäpuhtauksia, kuten rikkiyhdisteitä ja raskasmetalleja. Esikäsittelyn jälkeen kaasusta talteenotetaan hiilidioksidi talteenottoyksikössä entsyymaattisen menetelmän avulla, jossa käytetään hiilihappohydraasi-entsyymiä. Talteenotettu

hiilidioksidi regeneroidaan puhtaaksi hiilidioksidiksi strippaamalla eli vapautetaan liuoksesta lämmittämällä. Tämän jälkeen puhdas hiilidioksidikaasu nesteytetään varastointia varten. (Saipem n.d.b)

Saipem valittiin Ren-Gasin hankkeeseen Bluenzyme™-järjestelmän energiatehokkuuden, ympäristöystävällisyyden ja modulaarisuuden vuoksi. Järjestelmä tarjoaa integroitumismahdollisuuden sekä uusiin että jo olemassa oleviin laitoksiin ilman merkittäviä rakenteellisia muutoksia. Teknologian matala energiankulutus ja vähäinen kemikaalien tarve tekevät Bluenzyme-järjestelmästä varteennettävän vaihtoehdon perinteisten hiilidioksidin talteenottomenetelmien tilalle. (Ren-Gas 2024a.)

2.2.2 Vihreä vedyn tuotanto

Vihreän vedyn tuotantoprosessi perustuu elektrolyysiin, jossa uusiutuvista energialähteistä saadulla sähkövirralla hajotetaan vettä vedyksi (H_2) ja hapeksi (O_2). Tämä reaktio tapahtuu elektrolyysierissä, joka koostuu kahdesta elektrodista, anodista ja katodista, sekä elektrolyyttiliuoksesta. Tasavirran kulkeutuessa elektrolyytin läpi vesi hajoaa anodilla happimolekyyliksi, neljäksi vetyioniksi ja neljäksi elektroniksi. Katodilla vetyionit ja elektronit reagoivat, jolloin vety pelkistyy kahdeksi vetymolekyyleiksi. (Endress n.d.)

Tarastenjärven tuotantolaitokselle valittiin saksalaisen elektrolyysivalmistajan, Sunfiren, valmistama paineistettu alkalinen elektrolyysitekniikka (AEL) (kuva 3). Sunfire tulee vastaamaan laitteiden suunnittelusta, tuotannosta, testauksesta, toimituksesta, asennuksien ja käyttöönoton valvonnasta sekä suorituskyvyn testauksesta koko projektin aikana. Tämä kattava laajuus varmistaa, että projekti hyötyy Sunfiren huipputeknologiasta ja asiantuntemuksesta kaikissa vaiheissa alkuperäisestä suunnittelusta lopulliseen suorituskyvyn validointiin. (Ren-Gas 2024b.)

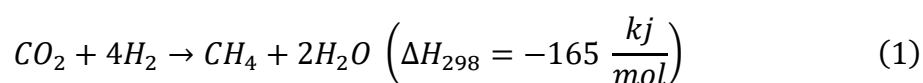


KUVA 3. Sunfiren valmistama 10 megawatin AEL-moduuli. (Ren-Gas 2024b.)

Sunfiren valmistamat AEL-laitteistot toimivat 30 baarin paineessa, joka vähentää kompressiorien pääoma- ja käyttökustannuksia. Järjestelmä tarjoaa korkean hyötysuhteen ja tuottaa kaasun puhdistuksen jälkeen puhdasta, jopa 99,8-prosenttista vetyä. Sunfiren elektrolyyserit ovat suunniteltu kestämään yli 30 vuotta, joka tekee niistä hyvin luotettavia ja varmoja valintoja pitkäikäisen laitoksen suunnittelussa ja rakentamisessa. (Sunfire n.d.)

2.2.3 Metanointi

Metanointi on tuotantolaitoksen keskeinen pääprosessi, jossa elektrolyyseriällä tuotetusta vedystä ja CCU:lla talteenotetusta hiilidioksidista valmistetaan synteettistä metaania. Metanoinnissa hiilidioksidi (CO_2) ja vety (H_2) reagoivat muodostaen metaania (CH_4) ja vettä (H_2O). Metanoinnissa tapahtuva reaktio on eksoterminen (Qpower n.d.). Tämä reaktio tunnetaan myös nimellä Sabatier-reaktio, joka on tärkeä osa Power-to-Gas (P2G) -teknologiaa (kaava 1).



Sabatier-reaktiossa käytetään yleisesti katalyytteinä nikkelpohjaisia metalleja, mutta reaktiossa voidaan käyttää myös muita metalleja, kuten ruteniumia, kobolttia ja rautaa. Katalyytin tukimateriaalina käytetään usein alumiinioksidia (Al_2O_3), joka lisää reaktiopinta-alaa sekä tuo reaktioon mekaanista kestävyyttä. (Master-Class, 2021). Sabatier-reaktio ei tapahdu spontaanisti huoneenlämmössä, vaan se vaatii korkean lämpötilan, joka on tyypillisesti 250–400 °C. Lisäksi reaktio suoritetaan usein korkeassa, jopa 30 baarin paineessa, mikä Le Châtelierin periaatteen mukaisesti siirtää reaktiotasapainoa metaanin muodostumisen suuntaan. (Helmeth n.d.) (LibreTexts n.d.)

Prosessin eksotermisen reaktion takia lämmönhallinta on tärkeää, jotta reaktori pysyy optimaalisessa lämpötilassa. Reaktiossa syntyvä lämpöenergia sidotaan lämmöntalteenottojärjestelmän avulla lämpöpumppujen kautta kaukolämpöverkoon. (Yrityksen sisäinen materiaali).

Tampereen laitoksen metanointireaktori käyttää noin 40 000 tonnia hiilidioksidia, joka otetaan talteen vuosittain Tarastenjärven jätteenpolttolaitoksen savukaasuista. Laitoksen odotetaan tuottavan vuosittain noin 200 GWh uusiutuvaa polttoainetta raskaalle maantie- ja meriliikenteelle. (Tampereen energia n.d.) (Ren-Gas 2024c.)

Tarastenjärven tuotantolaitoksen metanoinnin laitetoimittajaksi valittiin saksalainen MAN Energy Solutions. MAN toimittaa Tampereen tuotantolaitokselle 50 megawatin tehoisen metanointireaktorin (kuva 4). MAN vastaa laitoksen suunnittelusta, valmistuksesta, esivalmistuksesta, testauksesta, toimituksesta, asennusvalvonnasta, käyttöönotosta ja suorituskyvyn testauksesta. (Ren-Gas 2025.)



KUVA 4. MAN Energy Solutions:n valmistama 50 MW metanointireaktori. (MAN Energy Solutions 2025.)

2.2.4 Kaasujen käsittely ja nesteytys

E-metaanilaitoksessa kaasujen käsittely sekä varastointi ovat keskeisiä prosesseja, jotka vaikuttavat merkittävästi laitoksen tehokkuuteen ja turvallisuuteen. Laitoksen käsiteltäviä kaasuja ovat pääasiassa typpi, vety ja metaani. E-metaanilaitoksella kaasujen käsittelyn keskiössä ovat vedyn kompressointi-, metaanin jäädytys- ja nesteytysprosessit. (Yrityksen sisäinen materiaali).

Vedyn käsittelyssä kompressorit ovat olennainen osa prosessia, sillä ne mahdollistavat vedyn tehokkaan siirron ja varastoinnin. Vety paineistetaan noin 20 baarin paineeseen siirtoa varten (Yrityksen sisäinen materiaali). Metaania käsitellään erilaisilla tekniikoilla, jotta tuotetta pystytään varastoimaan sekä siirtämään tehokkaasti. Kustannustehokkainta sekä turvallisinta on varastoida sekä siirtää metaania nestemäisessä olomuodossa (Työterveyslaitos 2025). Metaanikaasua pystytään nesteyttämään jäädyttämällä kaasua tyypellä. Metaanin jäädytysprosessissa

on olennaista jäähdyttää kaasua vaiheittain lämmönvaihtimien ja kompressorijärjestelmien avulla (Yrityksen sisäinen materiaali). Jäähdytyksen jälkeen metaani nesteytetään typen ja paineen avulla. (Gasum 2025.)

2.2.5 Lämpöenergia

Vedyn ja metaanin valmistuksen lisäksi Tampereen Power-to-Gas-tuotantolaitos talteenottaa prosesseissa syntyvää lämpöenergiaa kaukolämpöintegraatioon. Suurin osa lämpöenergiasta otetaan talteen metanointiprosessista, jossa syntyy runsaasti lämpöä sekä eksotermisen reaktion että käyttöolosuhteiden seurauksena. (Yrityksen sisäinen materiaali).

Lämmöntalteenotto sekä lämpöenergian syöttäminen prosesseista kaukolämpöverkkoon vaatii erillisen lämpöpumppujärjestelmän, jonka Ren-Gas Oy on suunnitellut tehdasalueellensa. Järjestelmään kuuluu kolme lämpöpumppua, joiden tehtävänä on syöttää kaukolämpöverkkoon prosesseista talteen kerättyä lämpöenergiaa lämmönvaihtimien avulla. Kaukolämpöverkossa kulkeva vesi lämmitetään lämmönvaihtimien avulla haluttuun lämpötilaan, jonka jälkeen se syötetään lämpöpumppujen avulla takaisin lämpöverkoston. Kaukolämpöverkosta palautuvat jäähtynyt vesi ohjataan vesipumpulle, josta vesi pumpataan lämmönsiirtimien kautta päälämmönsiirtimille. Ren-Gas on arvioinut Tampereen tuotantolaitoksensa tuottavan vuodessa 180 GWh lämpöenergiaa kaukolämpöverkkoon. (Yrityksen sisäinen materiaali).

2.3 Käyttöönottovaihe

Käyttöönottovaihe on yksi tuotantolaitoksen toiminnan ensi askelista, jossa suunnitellaan sekä varmistetaan laitoksen turvallinen ja tehokas toiminta. Käyttöönottovaihe jaetaan kolmeen osa-alueeseen: mekaaninen valmistuminen, käyttöönotto ja koeajot (Ismail, K. 2022). Käyttöönottovaiheen osa-alueet vaativat laajoja sekä tarkkoja suunnitelmia ja selvityksiä, jotta projektiin tarvittavat resurssit saadaan kartoitettua. Kuten yleisestikin projekteissa, aikataulutukset sekä resurssien

ideaali käyttö ovat myös käyttöönottovaiheessa keskeisiä onnistumisen mittareita.

Mekaanisella valmistumisella tarkoitetaan konkreettisten laitosrakennuksien sekä laitousyksikkökokonaisuuksien rakentamista ja asentamista. Mekaanisessa valmistumisessa varmistetaan, että laitosalueella on kaikki tarvittavat puitteet tuotantotoiminnan aloittamiseen. Tässä vaiheessa laitosalueelle rakennetaan suunnitelmien mukaiset rakennukset sekä asennetaan prosessilaitteet että prosessien toiminnalle välttämättömät instrumentit ja linjat. Mekaaniseen valmistumiseen kuuluu myös putkistojen, säiliöiden ja laitteiden puhdistus. Kaikki nämä puhdistetaan perusteellisesti roskista, epäpuhtauksista ja suojapinnoitteista. Puhdistuksen avulla varmistetaan, ettei järjestelmiin jää jäänteitä, jotka voisivat vaarantaa prosessilaitteen toimintaa. Instrumenttien ja putkistojen pesun lisäksi niille suoritetaan painekoe, jossa laitteet ja putkistot paineistetaan. Paineekokeen avulla varmistetaan, ettei putkistoissa tai prosessilaitteissa ilmene vuotoja ja että ne kestävät suunnitellut painetasot. (Trackertechnologies 2024)

Käyttöönotto puolestaan on jatkoa mekaaniselle valmistumiselle. Käyttöönotolla viitataan vaiheeseen, jossa laitousyksiköt ja laitekokonaisuudet otetaan käyttöön yksilöllisesti sekä rinnastettuina toisiinsa. Tähän vaiheeseen kuuluu sekä konkreettisten laitteiden että ohjelmistojen käyttöönotto. Laitteiden ja kokonaisuuksien käyttöönotto tapahtuu useimmiten käyttöönottologiikan mukaisesti järjestelmällisesti, niin että käyttöönotto aloitetaan tuotantolaitoksen pääprosesseista. Käyttöönotossa oleellista on tehdä puutelista, jonka avulla voidaan korjata mahdollisesti ilmi tulleita epäkohtia laitteesta tai järjestelmästä jo käyttöönottoprosessin aikana. Kuten mekaaniselle valmistumiselle, myös käyttöönotolle laaditaan kattava ohjelma, jonka mukaisesti urakoitsijat sekä yrityksen henkilöt toimivat. Käyttöönotto ja koeajovaihe toteutuvat hyvin rinnastetusti vaiheittain, sillä ne sisältävät kaksi yhteistä lisävaihetta, joita kutsutaan kylmäksi ja kuumaksi käyttöönotoksi. (Ismail, K. 2022.) (Yrityksen sisäinen materiaali.)

Kylmäkäyttöönotto tarkoittaa kaikkia niitä toimintoja ja tarkastuksia, jotka tehdään ennen kuin järjestelmä kytketään sähköverkkoon ja otetaan käyttöön. Tämä vaihe sisältää asennuksen yleisen tarkastuksen, kaapeloinnin ja putkistojen tarkistuksen sekä yksittäisten komponenttien testauksen. Tavoitteena on varmistaa,

että kaikki järjestelmän osat on asennettu oikein ja että ne toimivat suunnitellusti ilman käyttövoimaa. (MB Drive Services 2024.)

Tarkastetun ja hyväksytyin kylmäkäyttöönnoton jälkeen laitteille sekä yksiköille voidaan suorittaa koeajoja käytännön käyttöolosuhteissa. Koeajoissa testataan laitteen ja järjestelmien toiminta sekä tehdään mahdollisia optimointeja laitteille.

Kuumakäyttöönnotto tarkoittaa järjestelmän testausta ja käyttöönottoa sen jälkeen, kun se on kytketty sähköverkkoon ja käynnistetty. Tässä vaiheessa järjestelmässä käytetään todellisia raaka-aineita tai prosessimateriaaleja ja sen toimintaa tarkastellaan käytännön käyttöolosuhteissa. Kuumakäyttöönottovaiheessa varmistetaan, että järjestelmä toimii suunnitellusti ja että se saavuttaa halutut suorituskykytavoitteet. (Yrityksen sisäinen materiaali.) (Ismail, K. 2022.)

2.4 Operatiivisen suorituskyvyn mittaaminen

Tuotantolaitoksen operatiivisen suorituskyvyn mittaaminen ja seuranta on keskeinen osa laitoksen tehokasta johtamista ja toiminnan kehittämistä. Suorituskykyä voidaan arvioida kolmesta näkökulmasta, jotka ovat tuotannon tehokkuus, laatu ja kustannustehokkuus. (OEE n.d.) Suorituskykyyn vaikutetaan jo tuotantolaitoksen suunnitteluvaiheessa, laitevalinnoilla ja prosessikokonaisuuksien suunnittelulla. Käyttöönottovaiheessa operatiivista suorituskykyä mitataan ja seurataan laitetestauksilla.

Operatiivisen suorituskyvyn keskeisin mittari on tuotannon tehokkuus, joka arvioi laitoksen kykyä hyödyntää resurssejaan optimaalisesti tuotannon aikana. Tehokkuutta mitataan muun muassa tuotantonopeuden, käyttöasteen ja läpimenoajan perusteella. Näiden mittareiden avulla voidaan tunnistaa mahdolliset pullonkaulat ja kehittää prosesseja entistä tehokkaammiksi. Tarastenjärven tuotantolaitoksen merkittävimpiä suorituskyvymittareita ovat vedyn ja metaanin tuotantokapasiteetti sekä käyttöaste (Yrityksen sisäinen materiaali). Tuotannon tehokkuutta arvioidaan ja suunnitellaan laitevalintojen yhteydessä sekä prosessikokonaisuuden suunnittelussa. On tärkeää suunnitella ja valita laitteet ja järjestelmät, jotka ovat

yhteensopivia keskenään, jotta laitoksen tuotantotehokkuus voidaan optimoida käytettävissä olevien raaka-aineiden ja resurssien mukaan. (Finkova n.d.)

Tuotantolaitoksen käyttöönottovaiheessa on oleellista analysoida prosessien suorituskkyä sekä tuotantotavoitteiden täyttymistä. Laitetoimittajat ovat vastuussa luvattujen tuotantotavoitteiden saavuttamisesta. Laitteiden ja järjestelmien testaukset ja koeajot tulevat merkittävästi esiin tuotantotavoitteiden todentamisessa, sillä testauksien ja koeajojen myötä yritys saa konkreettiset todisteen laitoksen toimivuudesta ja prosessien sujuvuudesta. (Finkova n.d.)

Toisena tärkeänä operatiivisen suorituskyyyn mittarina toimii kustannustehokkuus. Kustannustehokkuus määrittelee tuotannossa syntyvien kustannuksien suhteen tuotettuun hyötyyn. Yleisimpiä mittareita ovat tuotantokustannukset, materiaalikustannukset ja työvoimakustannukset. Mittareiden tarkoituksena on realisoida, kuinka paljon tuotantolaitoksen toiminta kustantaa yritykselle kokonaisuudessaan. Mittareiden avulla pystytään optimoimaan tuotantolaitoksen kustannustehokkuus, jolloin operatiivinen tehokkuus paranee. Kustannustehokkuutta arvioidaan ja mitataan projektin alkumetreiltä asti suunnitelmien ja selvityksien pohjalta. Kustannustehokkuus on tärkeää realisoida jo projektin alussa, sillä sen avulla pystytään arvioimaan projektin vaatimia resursseja ja kustannuksia. (Paljug, K. 2025.)

Operatiivinen suorituskky kattaa myös konkreettisen tehokkaan tuottamisen lisäksi myös tuotteen laadullisia näkökulmia. Tuotannolle ja yrityksen toiminnalle merkityksellistä on se, että saadaan tuotettua standardien mukaista tuotetta ilman lisätoimenpiteitä. Laadun mittaaminen vaikuttaa myös suoraan verrannollisesti laitoksen kustannustehokkuuteen, sillä standardien mukainen tuote kuluttaa suunnitellun määrän energiaa sekä materiaaleja. (Qerimi, A., & Qerimi, F. 2023. 173.) Kuten tuotantotavoitteiden niin myös laadullisissa näkökulmissa on tärkeää suorittaa testauksia tuotantolaitoksen prosesseille, jotta yritys saa takuita laitteiden suorituskyyystä ja tuotetun tuotteen laadusta.

Operatiivisessa suorituskyyssä puhutaan useasti myös tuotantolaitoksen tuotantovasteesta. Metaanilaitoksen tuotantovasteella viitataan siihen, kuinka nope-

asti laitos pystyy reagoimaan muutoksiin tuotantotarpeissa. Tämä sisältää esimerkiksi kyvyn lisätä tai vähentää metaanin tuotantoa kysynnän ja saatavilla olevien käyttöhyödykkeiden ja raaka-aineiden mukaan. (Yrityksen sisäinen materiaali). Tarastenjärvelle suunniteltu laitos hyödyntää kehittyneitä teknologioita, jotka mahdollistavat korkean tuotantovasteen. Näitä korkean tuotantovasteen omaavia laitteita ovat esimerkiksi Sunfiren valmistamat elektrolyysit. Sunfiren valmistamat elektrolyysit kykenevät toimimaan 25–100 % tehokkuudella ja kykenee mukautumaan tuotantoon 37 %:n teholla minuutissa. Tämän suuren joustavuuden avulla vedyn tuotantoon saadaan merkittävä tuotantovaste. (Sunfire n.d.)

3 KÄYTTÖÖNOTTOVAIHEEN EDELLYTYKSET

3.1 Lainsäädäntö

Metaanilaitoksen rakentaminen ja käyttöönotto Suomessa vaatii useiden erilaisten lupien hankkimista, joilla varmistetaan laitoksen ympäristöystävällisyys, turvallisuus ja lainmukaisuus. Lupaprosessi kattaa ympäristöön, turvallisuuteen ja rakennettuun ympäristöön liittyvät näkökohdat ja sitä valvovat useat viranomaiset yhteistyössä toiminnanharjoittajan kanssa.

Ympäristölupa vaaditaan, jos laitos aiheuttaa merkittävää ympäristökuormitusta kuten päästöjä ilmaan, veteen tai maaperään tai käsittelee kemikaaleja, jotka voivat aiheuttaa ympäristöriskejä. Lupaa haetaan alueelliselta elinkeino- ja ympäristökeskukselta (ELY) tai aluehallintovirastolta (AVI), ja sen myöntäminen perustuu ympäristönsuojelulakiin. Tarvittaessa laitoksen on suoritettava myös ympäristövaikutusten arviointi (YVA-menettely), erityisesti jos kyseessä on suuri tai herkässä ympäristössä toimiva laitos. (AVI 2024.) (Ympäristö.fi 2023.)

Turvallisuuteen liittyvät näkökulmat edellyttävät turvallisuuslupaa sekä kemikaaliturvallisuusilmoitusta, jotka käsitellään Turvallisuus- ja kemikaalivirastossa (Tukes). Kemikaalien vähäistä käsittelyä ja varastointia valvoo pelastusviranomainen, mutta laajamittaisessa toiminnassa vastuu valvonnasta siirtyy Tukesille. Laajamittainen toiminta selvitetään suhdelukulaskennalla, jossa määritetään laitoksen käytössä olevien kemikaalien suhdeluku. Mikäli suhdeluku ylittää luparajan, täytyy toiminnasta ilmoittaa Turvallisuus- ja kemikaalivirastolle. (Tukes n.d.) Tämän lisäksi, jos laitos kuuluu Seveso III -direktiivin piiriin, esimerkiksi käsitellessään suuria määriä vetyä tai metaania, sen on laadittava kattava turvallisuus selvitys ja toimintaperiaateasiakirja (Direktiivi 2012/18/EU). Tarastenjärven tuotantolaitoksen kemikaalimäärät täyttävät Seveso III -direktiivin kriteerit, joten laitokselle on laadittava kattava turvallisuus selvitys laitoksen toiminnasta ja toimintaperiaateasiakirja.

Turvallisuus- ja ympäristölupien lisäksi yrityksen tulee hakea laitoskokonaisuuksille rakennuslupa. Rakennuslupa on välttämätön aina, kun metaanilaitos rakennetaan tai sitä laajennetaan. Lupaa haetaan kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta ja sen myöntäminen edellyttää maankäyttö- ja rakennuslain mukaista suunnittelua ja määräysten noudattamista. Pelastusviranomaisen antaa lausunnon muun muassa paloturvallisuudesta, pelastusteistä ja sammutusvesijärjestelyistä varmistuen, että rakennus täyttää pelastuslain vaatimukset. (Finlex 1999, 125 §.) (Toptenrava 2024.)

3.1.1 Toiminnanharjoittajan käyttöönotto-ohje

Tukes on luonut toiminnanharjoittajille käyttöönotto-ohjeet, joiden avulla yrityksen on helpompi käsittää lainsäädännöllisiä toimenpiteitä, joita Tukes vaatii ennen laitoksen käyttöönottoa. Tämä ohjekirja sisältää selkeät ohjeet, kuinka laitoksen riskejä arvioidaan ja hallitaan. Ohjekirjassa luetellaan tyypillisiä ratkaisuja, joilla varmistetaan laitoksen turvallista toimintaa. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2025.)

Turvallisuus- ja kemikaaliviraston ohjekirjan mukaan organisaation tulee jo laitoksen suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa huomioida turvallisuusanalyysit ja tehdä ratkaisuja niiden perusteella onnettomuusriskien vähentämiseksi. Näitä ratkaisuja ovat esimerkiksi prosessiturvallisuustietojen ajantasaisuuden varmistaminen sekä kemikaalien aineominaisuuksien dokumentointi. Näiden lisäksi ohjekirjassa painotetaan tunnistamaan konkreettiset riskikohdat prosesseista ja laitteista, joissa voi syntyä esimerkiksi vuotoja. Riskikohtien tunnistamisen lisäksi tulee arvioida niiden seuraukset sekä etsiä keinot ehkäistä vuotoja ja rajoittaa niiden seurauksia. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2025.)

Tukesin ohjeiden mukaan yrityksen tulee valmistautua suorittamaan käyttöönottotarkastus ennen toiminnan aloittamista. Käyttöönottotarkastuksen valmistelu sisältää hankkeen esittelyn, laitoksen lupahakemuksen toimittamisen, lisätietojen pyytämisen, kuulemisen ja lausuntojen pyytämisen. Tämän tarkastuksen suorittaa Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, jonka päätös ja pöytäkirja dokumentoidaan. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2025.)

Toiminnanharjoittajan on myös huolehdittava, että henkilöstö saa riittävän koulutuksen kemikaaleihin ja prosessiturvallisuuteen liittyvistä muutoksista. Erityishuomiota tulee kiinnittää e-metaanin ja vihreän vedyn tuotantoon liittyviin turvallisuuskäytänteisiin. Elektrolyysiprosessissa tuotettava vihreä vety tulee varastoida ja käsitellä asianmukaisesti ottaen huomioon vedyn erityiset varastointi- ja kuljetushaasteet. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2025.)

Tukesin ohjekirjan mukaan toiminnanharjoittajan on laadittava sisäinen pelastussuunnitelma, jossa kuvataan toimenpiteet kemikaalionnettomuuksien vaikutusten torjumiseksi ja seurausten rajoittamiseksi. Suunnitelmassa on oltava toimintaohjeet eri onnettomuustyypeittäin sekä määriteltävä tarvittavat henkilöresurssit ja pelastuskalusto, suojarusteet ja hälytysjärjestelmät. Lisäksi toiminnanharjoittajan on järjestettävä säännöllisiä harjoituksia ja koulutuksia kaikille alueella työskenteleville henkilöille. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2025.)

Lopuksi toiminnanharjoittajalla on oltava myös dokumentoitu auditointiohjelma, jonka perusteella säännöllisin aikavälein koko prosessiturvallisuusjärjestelmä auditoidaan. Yrityksen johdon on katselmoitava prosessiturvallisuusjohtamisjärjestelmän toimivuus säännöllisesti dokumentoidun menettelytavan mukaisesti. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2025.)

3.2 Operational Readiness & Assurance (OR&A)

Operational Readiness & Assurance (OR&A) on järjestelmä ja prosessi, joka varmistaa, että teollisuusprojektit, kuten e-metaanilaitokset, ovat täysin valmiita turvalliseen ja tehokkaaseen käyttöön heti niiden valmistuttua. OR&A:n päätaavoitteena on minimoida riskit, optimoida toiminnan suorituskyky ja varmistaa sujuva käyttöönotto. (Powell 2024, 54–55). OR&A:a käytetään aputyökaluna tunnistamaan Ren-Gasin projektin tavoitteita sekä edellytyksiä tavoitteiden saavuttamiseksi.

OR&A-prosessi yhdistää projektintiiimit, insinöörit, urakoitsijat sekä käyttöhenkilöstön varmistukseksi, että laitos saavuttaa ”Ready to Operate” -tilan. OR&A:n

mukaan on olemassa kolme pääkomponenttia, joiden avulla organisaatio kykenee saavuttamaan tavoitellun tuotannollisen valmiustilan. Näitä pääkomponentteja ovat projektin toimitukset, käyttövaatimukset ja toiminnan valmistelu. (OR&A 2019).

OR&A:n ensimmäisenä pääkomponenttina toimii projektin toimitus, jolla viitataan projektin dokumentointiin ja yhteisten pelisääntöjen rakentamiseen. Tässä vaiheessa varmistetaan, että kaikki suunnitellut ja sovitut toimitukset ovat valmiina ennen laitoksen käyttöönottoa. Tämä pääkomponentti sisältää suunnittelun ja rakentamisen dokumentaation, toimitusketjun hallinnan, käyttöönoton ja suorituskyvyn testauksen. Projektinhallinnan toimivuuden varmistamiseksi on ensisijaisen tärkeää dokumentoida selkeään muotoon valmistuneet suunnitelmat sekä analyysit. Huolellisesti laaditut dokumentaatiot toimivat riskien minimoinnissa suuressa roolissa, sillä dokumentaatioilla, kuten esimerkiksi käyttöturvallisuusanalyysillä, tuetaan turvallista toimintaa projektin keskellä. (OR&A 2019).

Tämän lisäksi projektin toimituksessa korostetaan viestinnän ja kommunikoinnin tärkeyttä. Kommunikointi ja viestintä tulee olla läpinäkyvää ja selkeää projektinhallinnan sisällä sekä ulkopuolella. Kommunikoinnin tärkeys tulee selkeästi esiin laite- ja järjestelmätoimituksissa, sillä laitetoimituksien aikataulut ja järjestys määrittävät pitkältä asennusjärjestyksen. Projektihenkilöstöä tulee informoida selkeästi milloin ja mitä laitteita tai järjestelmiä saapuu työmaalle ja milloin niitä voidaan asentaa. Kommunikoinnin tärkeys pätee myös toimitusketjun hallinnassa, jolla viitataan komponenttien ja materiaalien oikea-aikaiseen saapumiseen ja asennukseen. (OR&A 2019, 7).

OR&A:n toinen pääkomponentti on käyttövaatimukset. Tällä komponentilla varmistetaan laitoksen operoimisen ja ylläpidon suunniteltu suorittaminen käyttöönoton aikana ja jälkeen. Osiossa käsitellään operatiivista suorituskykyä ja turvallisuusvaatimusten hallinnoimista. Avainasemassa ovat käyttöturvallisuusanalyysien ja riskienhallintasuunnitelmien teko, prosessien tarkastelu ja optimointi sekä henkilöstön osallistaminen suunnitteluvaiheeseen. Tavoitteena on luoda toimiva laitkokokonaisuus, jossa henkilöstö on päässyt mukaan suunnitteluvaiheessa vaikuttamaan käyttöliittymien ja valvontajärjestelmien suunnitteluun. Tämä toinen

pääkomponentti kattaa komissiointivaiheen. Komissiointi ja suorituskyvyn validointi ovat kriittinen vaihe ennen tuotannon aloittamista, sillä halutaan varmistaa yhdessä asiantuntijoiden kanssa kaikkien järjestelmien ja laitteiden täysivaltainen toimivuus. (OR&A 2019).

OR&A:n kolmas pääkomponentti on toiminnan valmistelu, jolla viitataan projektin työvaiheiden valmisteluun ennen operatiivisen toiminnan aloittamista, kuten esimerkiksi henkilöstön koulutukseen ja varaosien sekä huoltosuunnitelmien hallintaan. Toiminnan valmisteluun sisältyy laaja kokonaisuus toimenpiteitä, jotka tukevat kahden aiemman pääkomponentin suorittamista ja onnistumista. Esimerkiksi laitoksen kestävän toiminnan varmistamisella on kriittinen rooli laitoksen toiminnassa. Tuotantolaitoksen tulee pystyä toteuttamaan asetettuja ympäristö- ja kestävyystavoitteita. Tämä on välttämätöntä laitoksen pidempi aikaisen toiminnan kannalta, sillä ilman päästöjen seuranta, energiatehokkuuden optimointia tai jätehuoltostrategiaa yrityksen kestävä toiminta pysähtyy nopeasti. Käyttöönottovaiheen osalta olennaisinta tässä komponentissa on kuitenkin tuotantoon valmistautumiseen liittyvät tekijät. Näitä tekijöitä ovat henkilöstön koulutus ja valmiuden arviointi sekä varaosien ja huoltosuunnitelmien hallinta. (OR&A 2019).

Tuotantolaitos halutaan toimintaan siten että on pystytty rekrytoimaan ja kouluttamaan työntekijöitä työskentelemään prosessikokonaisuuksien keskuudessa tehokkaasti ja oikein. Henkilöstön koulutuksen puutteellisuus on OR&A:n mukaan yksi selkeimpiä riskejä laitoksen toiminnassa. OR&A:ssa tunnistetaan tyypilliset kriittiset riskien minimointikeinot, ja näitä ovat muun muassa huolellisesti suunniteltu ja toteutettu varaosien hankinnat ja huoltosuunnitelmat. Laitoksen kunnossapidon tulee olla laadittu yhdessä laitetoimittajien kanssa huoltosuunnitelma käyttöönotettaville laitteille. Huoltosuunnitelman laatimisen lisäksi yrityksen tulee organisoida riittävä valmius korjata mahdollisesti ilmi tulevia laite tai komponenttirikkoja jo käyttöönottovaiheessa. (OR&A 2019). Huolellisesti laadittu huolto- ja varaosasuunnitelma tuo yritykselle merkittävän voimavaran pahimman sattuessa. E-metaanilaitoksen kaltaisessa tuotantolaitoksessa komponenttien tilaaminen tai osaavien laitekorjaajien tavoittaminen voi viedä hyvin paljon aikaa pois käyttöönotolta tai tuotannolta.

3.3 Yrityksen sisäinen käyttöönottosuunnitelma

Ren-Gas Oy:lla on luotu yhteiset pelisäännöt käyttöönottovaiheen seurantaan ja toteuttamiselle. Yrityksen omassa käyttöönottosuunnitelmassa ilmenee paljon samankaltaisuuksia OR&A:n kanssa, joka tuo vaikuttavan kuvan yrityksen projektiin valmistautumisesta.

Käyttöönottosuunnitelma koostuu useista tärkeistä osista, kuten mekaanisesta valmistumisesta, käyttöönotto-ohjelmasta ja koeajoista (liite 1). Jokainen näistä osista on suunniteltu varmistamaan, että laitos toimii suunnitellusti ja täyttää kaikki asetetut vaatimukset ja tavoitteet.

Ren-Gasilla on lisäksi käytössä projektin etenemistyökalu, josta projektissa työskentelevät henkilöt sekä johtoryhmä voivat seurata eri vaiheiden valmistumista. Projektin etenemistä seurataan Teams-ohjelmiston Planner-ohjelman välityksellä. Järjestelmään on kirjattu eri disiplineihin kuuluvia tavoitteita ja vastuuhenkilöt toimille. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

3.3.1 Mekaaninen valmistuminen

Yrityksen käyttöönottosuunnitelmassa mekaanisella valmistumisella tarkoitetaan kaikkien laitteiden ja instrumenttien asennusta ja testaamista. Jokaisen laitteen mekaaninen valmistuminen hyväksytetään tilaajalta, jonka jälkeen se dokumentoidaan puutelistoilla, joista ilmenee testauksien aikana ilmenneet virheet. Virheet luokitellaan kolmeen tason: A, B ja C, virheen vakavuuden mukaisesti. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

Laitteiden käyttöönotto ja testaus suoritetaan yksityiskohtaisilla ohjelmilla, jotka urakoitsijan tulee toimittaa tilaajan hyväksyttäväksi. Urakoitsijan tulee huolehtia tarvittavista resursseista, turvallisuusmääräyksistä sekä asiakirjojen toimittamisesta. Laitteen mekaanisen valmistumisen todistus myönnetään, kun kaikki vaatimukset ja tarkastukset ovat suoritettuina. Todistus voidaan myöntää pienien vikojen (luokka B) puitteissa, mutta vikojen korjaaminen on odotettavaa. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

3.3.2 Käyttöönotto-ohjelma

Käyttöönotto on prosessi, jossa laitteet varmistetaan toimiviksi yksittäisinä sekä kokonaisuutena. Yrityksen käytössä olevan käyttöönotto-ohjelman mukaan urakoitsijan tulee varmistaa, että kaikki suojajärjestelmät testataan ja että tilaajan henkilöstölle tarjotaan riittävä koulutus operoimaan prosesseja. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

Käyttöönotto-ohjelma määrittelee laitteen tai järjestelmän käyttöönoton vaiheittaiset toimenpiteet ja aikataulut. Ohjelmaan kuuluu kaksi testausvaihetta, kylmäkäyttöönotto ja kuumakäyttöönotto. Kylmässä käyttöönotossa laite testataan ilman käyttöaineita, ja se voidaan suorittaa, kun kaikki turvajärjestelmät ja ohjauslaitteet ovat asianmukaisesti testattu. Kuumakäyttöönotto puolestaan on testaus, jossa laitteen ja järjestelmän toimivuutta testataan käytännön käyttöolosuhteissa, mutta ilman täyttä kuormitusta. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

Käyttöönotto katsotaan suoritetuksi, kun kaikki testauksien aikana ilmi tulleet viat ovat korjattu, kylmä- ja kuumakäyttöönotto on suoritettu, ja testien tulokset ovat dokumentoitu. Käyttöönoton valmistumistodistus toimitetaan tilaajalle vaatimusten ollessa täytetty. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

3.3.3 Koeajo

Laitteille ja järjestelmille suoritetaan koeajoja, joilla varmistetaan laitekokonaisten toiminnallisuus ja suorituskyky eri käyttöolosuhteissa. Jokainen näistä koeajoista on suunniteltu varmistamaan, että laitos toimii turvallisesti ja tehokkaasti eri käyttöolosuhteissa. Urakoitsija vastaa testien suorittamisesta ja dokumentoinnista, ja tilaajan henkilöstö käyttää laitetta urakoitsijan ohjeiden mukaisesti testien aikana. Tilaajalla on oikeus sisällyttää koeajoon alasajoja ja käynnistyksiä. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

Koeajon tarkoituksena on osoittaa laitoksen vakaa ja turvallinen toiminta halutuissa käyttöolosuhteissa. Koeajo kestää tietyn ajan, jonka aikana laitetta käy-

tään tilaajan määrittelemän syöttönopeuden mukaisesti. Koeajojen aikana pystytään keräämään prosessien kulusta dataa, joiden perusteella voidaan määrittää yksittäisten laitteiden ja prosessikokonaisuuksien suorituskykyä. Koeajojen hallintaan tarvitaan ohjausjärjestelmä, DCS, jonka avulla ohjataan ja valvotaan prosesseja yksityiskohtaisesti. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

Hajautettu ohjausjärjestelmä (DCS) on olennainen osa laitoksen toimintaa ja käyttöönottoa, sillä se valvoo ja ohjaa kaikkia prosesseja keskitetysti. DCS jakaa prosessien ohjauksen useisiin paikallisiin ohjausyksiköihin, jotka keskustelevat keskusjärjestelmän kanssa. DCS:n avulla voidaan seurata ja säätää laitoksen toimintaa reaaliaikaisesti. Järjestelmä mahdollistaa nopean reagoinnin mahdollisiin häiriötilanteisiin ja optimoi resurssien käytön jo koeajojen aikana. DCS:llä kerätyn datan avulla varmistetaan, että laitos toimii suunnitellusti ja täyttää kaikki vaatimukset ennen täysimittaista käyttöä. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

4 KÄYTTÖÖNOTTOLOGIIKKA

4.1 Laitoksen perusinfrastruktuuri

Tuotantolaitoksen operatiivisen toiminnan peruspilareina toimii huolellisesti rakennetut perusinfrastruktuurit sekä luotettavat resurssilähteet. Perusinfrastruktuurilla viitataan esimerkiksi tuotantolaitoksen rakennuksiin sekä käyttöhyödyke-
linjoihin.

Suunnittelujohtaja Mikko Lehtisen (2025) mukaan perusinfrastruktuurin rakennusvaihe on tärkeää saada käynnistettyä suunnitelmien mukaisesti, jotta prosessilaitteiden asentaminen ja testaaminen saadaan aloitettua mahdollisimman aikaisin. Tuotantotilat itsessään on suunniteltu valmistumaan ennen laitteiden asennuksia ja testauksia, mutta tilanteen mukaan on mahdollista, että tiettyjä prosesseja ja laitteita voidaan asentaa ja testata jo rakennusvaiheessa. Ennen testauksia on varmistettava kuitenkin kaikki prosessiedellytykset ja puitteet. (Lehtinen 2025.)

Putkistot ovat metaanilaitoksen toiminnassa ja käyttöönotossa avainasemassa, sillä ne toimivat konkreettisena yhteytenä laitteiden ja järjestelmien välillä. Putkistoilla luodaan yhteydet ja suunnat prosesseille. Lehtisen mukaan Tampereen tuotantolaitoksen putkistot ovat suunniteltu kahteen eri rakennusvaiheeseen: BoP:hen ja putkisiltoihin. BoP:lla (Balance of Plant) tarkoitetaan tuotantolaitoksen prosessiputkistoja, jotka tukevat laitoksen toimintaa, kuten jäähdytys, höyry- ja vesijärjestelmiä. Putkisilloilla puolestaan viitataan tehdasalueella sijaitseviin putkistoihin, joissa siirretään vetyä, typpeä, hiilidioksidia ja metaania paikasta A, paikkaan B. (Lehtinen 2025.)

Käyttöönoton puolesta BoP-putkistojen rakennus on yksi kriittisimmistä vaiheista, sillä putkistojen läsnäolo on välttämätöntä prosessilaitteiden ja laitosten asennus- ja testausvaiheessa. Putkistot yksistään eivät useimmiten riitä käyttöönottovaiheeseen, vaan laitosalueelle tarvitaan säiliöitä ja pumppuja, joiden avulla putkistoihin saadaan tuotettua halutut virtaukset ja paineet. On siis tärkeää

suunnitella tarvittavien prosessiaineiden, kuten hiilidioksidin ja vedyn, puskurisäiliöt putkistojen kanssa samaan rakennusvaiheeseen. (Lehtinen 2025.)

Putkistojen lisäksi laitosalueelle rakennetaan muitakin linjoja, kuten sähkölinjat ja syötöt. Laitoksen jokainen instrumentti vaatii käyttöhyödykkeitä toimiakseen, joten niiden varmistaminen ja prosessilaitteille tuominen on tärkeää rakentamisen alkumetreillä. (Lehtinen 2025.)

Prosessien toteuttaminen edellyttää aineellisten käyttöhyödykkeiden ohella merkittävää sähköenergian saatavuutta. Sähkön saatavuus ja varmistaminen on kriittisessä asemassa erityisesti vedyn ja metaanin tuotannossa, jossa prosessien jatkuva ja tehokas ylläpito vaatii suuritehoista sähkösyöttöä. Esimerkiksi elektrolyysiyksiköiden käyttö edellyttää korkeita sähkövirtoja, mikä puolestaan edellyttää erillisen muuntajayksikön integroimista osaksi laitoksen infrastruktuuria. Muuntaja yhdessä sähkönjakelukeskusten kanssa varmistaa sähkön jatkuvan saatavuuden ja vakaan syötön kaikille kriittisille prosessilaitteistoille. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

4.2 Prosessilaitteiden asennus

Tuotantolaitoksen prosessilaitteiden asentaminen voidaan aloittaa perusinfrastruktuurin ollessa loppusuoralla tai viimeistään ollessa täysin valmis. Prosessilaitteiden asennusjärjestys riippuu hyvin paljon laitetoimittajien kanssa sovituista toimitusajoista ja mahdollisista viivästyksistä. (Lehtinen 2025.)

Suunnitelmien mukaan prosessilaitteiden asentaminen aloitetaan pääprosesseista, jolloin laitteiden ja järjestelmien toimivuutta pystytään testaamaan loogisessa järjestyksessä kriittisyyden mukaan. Asennusvaiheessa on varmistettava, että laitoksen pääprosessilaitteet saadaan asennettua ennen muita, ei prosessin kulkuun vaikuttavia laitteita. Näitä laitoksen pääprosessilaitteita ovat metanointi-reaktori, elektrolyysarit ja hiilidioksidin talteenotto (CCU).

4.2.1 Prosessilaitteet

Laitoksen prosessit voidaan jakaa kuvan 2 mukaisesti seitsemään osa-alueeseen, joiden kautta laitteiden ja prosessiyksiköiden asennusjärjestys on helpompaa yksilöidä ja hahmottaa. Tuotantolaitoksen pääprosessit ovat hiilidioksidin talteenotto, vedyn ja metaanin tuotanto. Näiden pääprosessien asennus ja toimivuus tulee varmistaa ensimmäiseksi. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

Prosessiyksiköitä ja instrumentteja ei tietysti välttämättä asenneta yksitellen, vaan samanaikaisesti voidaan asentaa useampi prosessi eri puolilla laitosta. Pääperiaatteena on kuitenkin, että laitteet asennetaan järjestelmällisesti loogisessa järjestyksessä käyttöönotto- ja käyttökäytännön mukaisesti. Tavoitteena on asentaa prosessikokonaisuuksia valmiiksi siten, että niille voidaan suorittaa yksilölliset koeajot mahdollisimman pian valmistumisen jälkeen. Yksilöllisten koeajojen jälkeen voidaan aloittaa rinnastamaan prosesseja yhteen, jonka jälkeen suoritetaan laajempia koeajoja järjestelmille sekä prosesseille. Tästä hyvänä esimerkkinä toimii vedyn tuotantoprosessi, joka voidaan asentaa ja testata käytännössä valmiilla muualta hankituilla käyttöhyödykkeillä. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

Vedyn tuotantoprosessin yksilöity testaus vaatii elektrolyysereiden, vedyn käsittelylaitteiston asentamisen sekä vetysäiliön rakentamisen, että kytkemisen prosessiin. Näiden laitteiden ja instrumenttien lisäksi prosessin kaikki liitokset, painelinjat ja pumput tulevat olla koeponnistettu ennen virallisen testauksen aloittamista. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

Vedyn tuotantoprosessi on looginen asennuksien aloitus osa-alue, jonka jälkeen voidaan asentaa ja testata metaanin tuotannon prosessilaitteet. Vedyn tuotannon prosessilaitteiden asennus on tärkeää suorittaa ensimmäisenä, sillä vetyä tarvitaan metaanin tuotannon koeajoissa raaka-aineena. Vedyn lisäksi metaanin tuotanto vaatii hiilidioksidia, jota saadaan testivaiheeseen hiilidioksidin talteenotto-prosessista. Hiilidioksidin talteenotto ei kuitenkaan ole välttämätöntä asentaa ennen metanointiprosessin käyttöönottoa, sillä toisin kuin vetyä, hiilidioksidia voidaan ostaa varastoituna koeajoja varten. Välttämätöntä on kuitenkin rakentaa ja

kytkeä hiilidioksidin syöttösäiliöt, metaanin käsittelylaitteistot ja metaanin varastosäiliöt, jotta metanointiprosessin käyttöönotto ja testaukset voidaan suorittaa täysimittaisesti. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

Pääprosessien asennuksien jälkeen voidaan keskittyä pienempiin prosesseihin, kuten metaanin varastointiprosessin ja demineralisoidun veden tuotantoprosessin asentamiseen. Asennusjärjestyksessä tulee huomioida, mitkä prosessit ja instrumentit ovat välttämättömiä pääprosessien näkökulmasta ja vasta tämän jälkeen voidaan suunnitella ja toteuttaa ei-niin-kriittisten laitteiden ja prosessien käyttöönottoa. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

4.2.2 Automaatio- ja ohjausjärjestelmät

Tuotantolaitoksen prosessit sisältävät monimutkaisia kemiallisia reaktioita, lämpötilan- ja paineenhallintaa sekä kaasujen puhdistusta ja varastointia. Näiden prosessien turvallinen ja tehokas hallinta edellyttää kehittyneitä automaatio- ja ohjausjärjestelmiä. Järjestelmillä varmistetaan prosessien optimaalinen toiminta sekä valvotaan jatkuvasti kriittisiä prosessiparametreja, kuten lämpötilaa ja painetta. Kriittisten prosessiparametrien valvonnalla varmistetaan, että prosessien toiminta- ja käyttöolosuhteet pysyvät suunnitelluissa rajoissa.

Turvallisuus- ja kemikaaliviraston mukaan automaatio- ja ohjausjärjestelmien käyttöönotossa on olennaista huolehtia järjestelmien suunnittelusta, asennuksesta ja yhteensopivuudesta. Järjestelmien tulee pystyä kommunikoimaan keskenään ja muodostaa yhtenäinen kokonaisuus, joka tukee laitoksen turvallisuusjärjestelmää. Tukesin mukaan toimiva ja testattu automaatiojärjestelmä on keskeinen osa prosessiturvallisuutta, ja sen avulla voidaan ehkäistä onnettomuuksia sekä hallita vikatilanteita tehokkaasti. (Tukes 2024a.)

Käyttöönottovaiheessa automaatiojärjestelmät mahdollistavat prosessien reaaliaikaisen valvonnan ja säätämisen. Tämä on erityisen tärkeää turvallisuuden kannalta, sillä toimivien järjestelmien avulla pystytään havaitsemaan ja korjaamaan

käyttöolosuhteiden poikkeamat nopeasti ja hallitusti. Tukesin mukaan käyttöönottotestaukset sekä turvallisuus- ja yhteensopivuusarviointit ovat välttämättömiä ennen järjestelmän lopullista käyttöönottoa. (Tukes 2024b.)

Lopullista käyttöönottoa edeltää laaja testausvaihe, jossa tarkastellaan niin laitteiden ja järjestelmien perustoimintaa kuin järjestelmän reagointikykyä vikatilanteissa. Kun laitteet ja järjestelmät on testattu, ne otetaan käyttöön alhaisessa kuormituksessa ja optimointi jatkuu porrastetusti vaiheittain lisäämällä kuormitusta. Porrastetulla kuormituksen lisäämisellä varmistetaan, että kaikki toimii suunnitellusti kaikilla eri kuormitusmäärillä. Käyttöönoton aikana on tärkeää testata kaikki järjestelmien osat perusteellisesti ja optimoida niitä jatkuvasti, jotta prosessit saavuttavat mahdollisimman parhaan suorituskyvyn. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

4.3 Asennusten ja koeajojen organisointi

Tarastenjärven tuotantolaitoksen käyttöönottovaiheen asennukset, koeajot ja suorituskykytestit ovat luokiteltu pääasiassa laitetoimittajien vastuiksi. Laitetoimittajat sitoutuvat suorittamaan laitekokonaisuuksille tarvittavat asennukset, suorituskykytestaukset sekä prosessikokonaisuuksien koeajot. Tilaaja, tässä tapauksessa Ren-Gas Oy, valvoo ja hyväksyy yhdessä asiantuntijoiden kanssa suoritettut testit, mikäli tulokset ja suorituskyky vastaa suunniteltuja tavoitteita. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

Ren-Gas Oy laatii ennakkoon yhdessä laitetoimittajien kanssa käyttöönottosuunnitelman sekä selkeän vastuujaon, jossa selvitetään vastuuhenkilöt kaikille tarvittaville toimenpiteille. Yrityksellä on käytössä vastuunjakotaulukko RACI-matriisi (taulukko 1). (Yrityksen sisäinen materiaali). RACI-matriisi on selkeässä muodossa oleva taulukko, josta ilmenee toimenpide sekä vastuuhenkilö. RACI-matriisissa kerrotaan mitä tehdään, kuka tekee ja mihin mennessä. RACI-matriisin avulla saadaan varmistettua, että kaikki tarvittavat toimenpiteet ovat huomioitu ja että kunkin tahon rooli ja tehtävät ovat selkeästi määritelty ennen työn aloittamista. (Norian n.d.)

TAULUKKO 1. Esimerkki laitteen käyttöönoton RACI-matriisista.

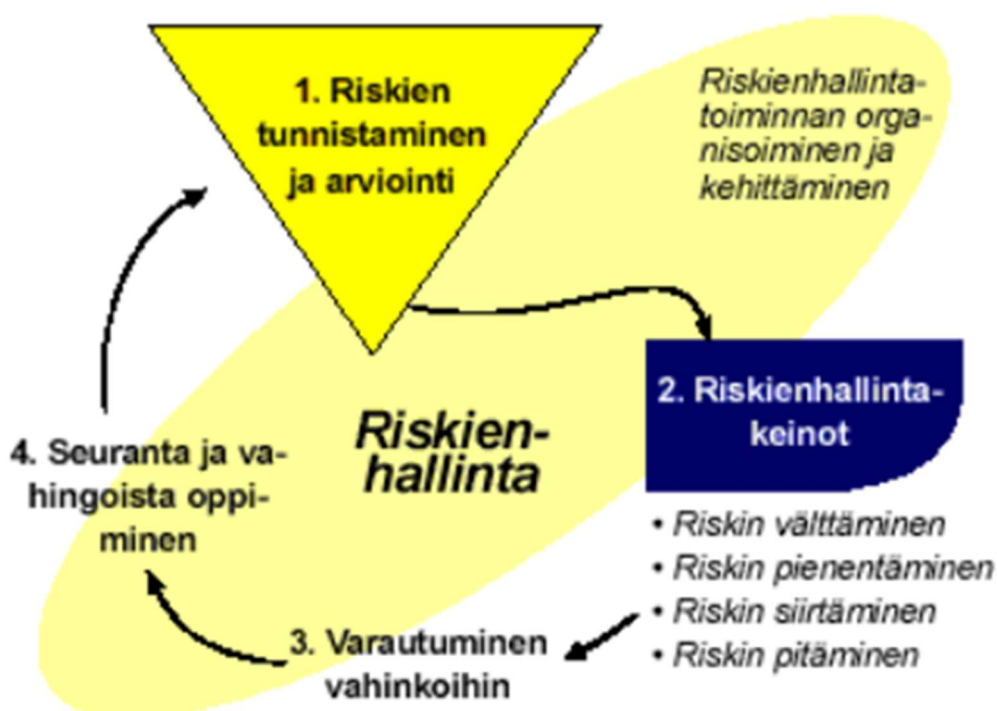
Tehtävä	Asentaja	Projektipäällikkö	Tekninen asiantuntija	IT-tuki	Asiakas
Suunnittelu ja valmistelu	C	A	C	C	I
Laitteiston toimitus ja tarkastus	R	I	C	C	I
Asennus ja kytkentä	R	I	C	A	I
Testaus ja vi-anmääritys	C	I	R	A	I
Dokumentointi ja käyttöohjeiden luonti	C	A	C	I	I
Käyttöönotto ja valvonta	C	A	C	R	I

RACI-matriisi on saanut nimensä rooleista, joita ovat R, A, C ja I. R (Responsible) tarkoittaa henkilöä, joka on vastuussa työn tekemisestä. A (Accountable) puolestaan tarkoittaa henkilöä, joka on vastuussa työn lopputuloksesta ja valmistumisesta. C (Consulted) on henkilö, joka antaa asiantuntija-apua, mutta ei ole vastuussa työn konkreettisesta tekemisestä. I (Informed) tarkoittaa henkilöä, jolle tiedotetaan työn etenemisestä, mutta ei osallistu työhön aktiivisesti. (Sefrcbc n.d.)

Ennen koeajoja ja järjestelmien testaamista prosessien kaikki tarvittavat asennukset ja toimenpiteet tulee olla valmiita. Asennusten ja toimenpiteiden valmistuksen seurannan tukena toimii vastuunjakotaulukot, joissa on määritelty selkeästi suoritettavien toimenpiteiden aikamääreet. Taulukoiden avulla urakoitsijat ja prosessiasennuksien parissa työskentelevät tahot pystyvät laatimaan tarkan paikkaansa pitävän suunnitelman koeajojen aloittamisesta. Tuotantolaitoksen prosessilaitteiden testaus järjestetään ensisijaisesti laitetoimittajien ilmoittaman ja Ren-Gas Oy:n hyväksymän suunnitelman mukaisesti. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

4.3.1 Riskienhallinta

Riskienhallinta on olennainen osa laitoksen käyttöönottoprosessia. Ennen prosessin aloittamista laaditaan kattavat riskianalyysit, joissa tunnistetaan mahdolliset tekniset, taloudelliset ja turvallisuuteen liittyvät riskit (kuva 5). Näiden analyysien perusteella laaditaan riskienhallintasuunnitelma, joka sisältää toimenpiteet riskien minimoimiseksi ja hallitsemiseksi. Esimerkiksi Hazop-analyysit ovat yleisiä menetelmiä, joilla tunnistetaan ja arvioidaan prosessien riskejä. (PQRI 2015.)



KUVA 5. Riskienhallintaprosessin vaiheet. (SRHY n.d.)

Jo ennen prosessin aloittamista tulee olla laadittu kattavat selvitykset, joissa tunnistetaan kaikki mahdolliset riskit. Riskienhallintasuunnitelmiin ja -selvityksiin voidaan osallistaa konsultoivia asiantuntijoita, joiden kokemus ja näkökulmat voivat tuoda arvokkaita lisätietoja yritykselle. Konsultoivien asiantuntijoiden osallistaminen riskienhallinnan suunnitteluun parantavaa suunnitelmien laatua merkittävästi. Selvityksissä riskit arvioidaan vakavuuden ja todennäköisyyden pohjalta, jotta ne voidaan priorisoida. (SRHY n.d.)

Riskienhallinta korostuu suuresti käyttööntovaiheen toteuttamisen aikana. Käyttööntovaiheessa konkretisoituu aiemmin laaditut suunnitelmat ja selvitykset turvallisesta prosessi- ja työympäristöstä. Ennakkoon tehdyt turvallisuus- ja riskianalyysit tuotantolaitoksen prosesseista tuovat varmuutta toteuttaa turvallinen ja toimiva prosessikokonaisuus (SRHY n.d.). Käyttööntöä varten laaditaan riskienhallintasuunnitelma, jossa jokaiselle riskille nimetään vastuuhenkilö. Vastuuhenkilön tehtävänä on seurata riskienhallintaa, toteuttaa tarvittavat toimenpiteet ja pitää sidosryhmät ajan tasalla riskin tilasta. Riskienhallintasuunnitelmaa seurataan ja tarkistetaan säännöllisesti, erityisesti muutosten jälkeen, jotta se pysyy ajan tasalla ja tehokkaana. (Yrityksen sisäinen materiaali.)

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Nordic Ren-Gas Oy:n lähtökohdat käyttöönottovaiheen aloittamiseen vaikuttavat lupaavilta, ja Operational Readiness & Assurance (OR&A) -konsepti tarjoaa toimivan viitekehyksen sujuvan ja turvallisen käyttöönoton varmistamiseksi. Käyttöönoton eri vaiheet edellyttävät huolellista suunnittelua ja dokumentointia. Suunnitelmat, kuten resurssien kartoitus, aikataulut ja riskienhallinta sekä niiden dokumentointi auttavat varmistamaan, että kaikki toimet ovat valmiita ennen tuotannon aloittamista. Dokumentointi vähentää epävarmuutta ja mahdollistaa toimenpiteiden seurannan ja arvioinnin.

Viestinnän selkeys ja avoimuus eri projektiosapuolten välillä ovat keskeisiä tekijöitä projektin hallinnan onnistumisen kannalta. Esimerkiksi laite- ja järjestelmätoimitusten sekä toimitusketjun hallinnan sujuvuus edellyttävät saumatonta kommunikointia. Viikoittaiset kokoukset ja digitaaliset työkalut, kuten Teamsin Planner, tukevat tiedonkulkua ja varmistavat, että kaikki ovat tietoisia projektin tilanteesta ja mahdollisista muutoksista.

OR&A-konsepti toimii tukirakenteena, jonka avulla voidaan varmistaa, että kaikki tarvittavat järjestelmät, prosessit ja resurssit ovat käyttövalmiina ennen operatiivisen toiminnan aloittamista. Tarastenjärven tuotantolaitoksessa konseptia voidaan hyödyntää erityisesti kriittisten järjestelmien, kuten turvallisuusjärjestelmien ja kunnossapidon arvioinnissa. Lisäksi konseptissa korostetaan sidosryhmien yhteistyötä ja vastuunjakoa, esimerkiksi säännöllisten katselmusten avulla.

Käyttöönottovaiheessa korostuu dokumentoidun tiedonhallinnan merkitys. Tämä tarkoittaa muun muassa käyttöohjeiden, turvallisuusasiakirjojen ja prosessikuvausten saatavuutta ja jakamista kaikille osapuolille ennen laitoksen luovutusta. Yrityksellä vaikuttaakin olevan selkeät käytännöt yhteistyötahojen kanssa sovitujen dokumentointikäytäntöjen suhteen.

Henkilöstön koulutus ja kriittisten varaosien hallinta ovat myös keskeisiä edellytyksiä onnistuneelle käyttöönotolle ja laitoksen jatkuvalla toiminnalla. E-metaani-

laitoksen monimutkaiset prosessit, kuten elektrolyysi, metanointi ja kaasujen nesteytyminen vaativat korkeatasoista teknistä osaamista. Koulutuksen tulee perustua tarkasti määriteltyihin pätevyysvaatimuksiin. Sen on sisällettävä sekä teoreettista että käytännön opetusta, joka kattaa muun muassa keskusohjausjärjestelmän käytön, häiriötilanteiden hallinnan ja kunnossapidon. Koulutuksen käynnistäminen jo käyttöönottovaiheessa auttaa henkilöstöä ymmärtämään ja hallitsemaan laitoksen prosessit käytännön tasolla.

Kriittisten varaosien hallinta tulee integroida osaksi kunnossapito- ja käyttöstrategiaa jo varhaisessa vaiheessa. Pitkien toimitusaikojen vuoksi erityisesti elektrolyysereiden kennot, metanointireaktorin katalyytit ja automaatiojärjestelmien ohjainyksiköt on syytä tunnistaa kriittisiksi varaosiksi ja huomioida varaosastrategiassa. Samalla on tärkeää arvioida, mitkä varaosat ovat aidosti kannattavia hankkia varastoon, jotta vältetään tarpeettomia kustannuksia.

Käyttöönottoon liittyy myös muita riskejä, kuten suunnitelmien virheellisyys tai resurssien aliarviointi. Nämä voivat aiheuttaa merkittäviä viivästyksiä asennuksissa ja käyttöönotossa. Yrityksen täytyy jo suunnitteluvaiheessa arvioida asennuksiin tarvittavat resurssit, aikataulut ja vastuut selkeästi yhteistyössä laitevalmistajien kanssa.

Asennustyöt ja niiden aikataulutus tulee suunnitella käyttöönotologiikan avulla. Tarastenjärvellä kriittisimmät prosessilaitteet ovat elektrolyserit, metanointireaktori ja hiilidioksidin talteenottolaitos (CCU). Näistä elektrolyserit tulee asentaa ensin, sillä vedyn tuotanto on välttämätöntä metanointiprosessin käyttöönotossa. Hiilidioksidia voidaan tarvittaessa syöttää metanointiin varastosäiliöstä, mutta CCU:n käyttöönotto ennen metanointireaktoria on silti toivottavaa kustannusten ja toimintavarmuuden näkökulmasta.

Pääprosessien lisäksi tarvitaan muun muassa metaanin käsittely- ja varastointilaitteistot sekä prosessien syöttö- ja painelinjat. Näiden tulee olla asennettu, huuhdeltu ja koeponnistettu ennen käyttöönottoa. Kriittisimpien laite- ja järjestelmäsennusten jälkeen asennetaan 1-kriittisyysasteen prosessilaitteet, kuten kaasujen käsittelylaitteet, lämpöpumput, ja demineralisoidun veden tuotantolaitteet.

Prosessikokonaisuuksien asentamisen jälkeen laitteille suoritetaan laajamittaiset suorituskäytön testaukset. Laajamittaiset testaukset, kuten kylmä- ja kuumakäytön testaukset, ovat keskeisiä prosessikokonaisuuden toimivuuden varmistamiseksi. Koeajot ja suorituskäytön validointi antavat konkreettisen käsityksen laitoksen toiminnasta ennen täysimittaista tuotantoa.

6 POHDINTA

Tampereen Tarastenjärven tuotantolaitos on Nordic Ren-Gas Oy:n ensimmäinen laitosprojekti, mikä tekee sen onnistuneesta käyttöönotosta erityisen merkityksellisen koko yrityksen tulevaisuuden kannalta. Käyttöönoton onnistuminen ei ole pelkästään tekninen virstanpylväs, vaan sillä on myös huomattavan suuri strateginen ja taloudellinen painoarvo. Yrityksen kyky toteuttaa tulevaisuuden laitosprojektejaan riippuu pitkälti siitä, kuinka sujuvasti ja tehokkaasti tämä ensimmäinen laitos saadaan toimimaan. Onnistunut projekti lisää yrityksen uskottavuutta sidosryhmien ja sijoittajien silmissä. Erityisesti tuotantolaitoksen pankitettavuus, eli kelpoisuus rahoitettavaksi, riippuu pitkälti laadituista suunnitelmista ja sopimuksista, jotka osoittavat projektin toteuttamiskelpoisuuden ja kannattavuuden.

Laitoksen tekninen suunnittelu ja kokonaisprosessi vaikuttavat huolellisesti suunniteltuilta ja vakuuttavilta. Työn aikana heräsi kuitenkin kysymys typen hankintastrategiasta. Koska metaanin nesteytysprosessi vaatii huomattavia määriä typpeä, on perusteltua pohtia, olisiko typpigeneraattorin hankkiminen järkevä vaihtoehto ulkopuoliselle typen toimituksen sijaan. Vaikka generaattori on alkuinvestointina merkittävä, voisi tämän avulla varmistaa laitoksen jatkuva toiminta ja mahdollisesti myös tuottaa typpeä tulevien tuotantolaitosten tarpeisiin. Tämä avaisi uuden näkökulman tuotantolaitoksen omavaraisuuteen ja resurssienhallintaan. Samalla on kuitenkin todettava, että uuden lisäprosessin integroiminen jo valmiiksi suunniteltuun prosessikokonaisuuteen voi aiheuttaa haasteita projektin hallinnassa. Typpigeneraattorin integroiminen nykyiseen prosessikokonaisuuteen edellyttäisi myös huolellista suunnittelua, jotta kokonaisuuden hallinta säilyisi.

Työn aikana korostui vahvasti, ettei käyttöönoton haasteet rajoitu vain teknisiin asennuksiin tai järjestelmien testaukseen. Käyttöönoton todelliset vaikeudet liittyvät usein projektin sisäiseen ja ulkoiseen yhteistyöhön, selkeään dokumentointiin sekä vastuukysymyksiin. Käyttöönotto on se vaihe, jossa suunnitteluvaiheen ratkaisut kohtaavat käytännön toteutuksen ja myös mahdolliset virheet tai puutteet konkretisoituvat. Tässä vaiheessa riskienhallinta, selkeä vastuunjako ja vies-

tintä ovat keskeisiä onnistumisen edellytyksiä. Erityisesti uuden ja suuren mittaluokan laitoksen kohdalla korostuu tarve saumattomalle yhteistyölle eri toimijoiden välillä.

LÄHTEET

Aluehallintovirasto. 2024. Luvat, ilmoitukset ja hakemukset. Vesi ja ympäristö. Ympäristölupa. Verkkosivu. Viitattu 11.4.2025. <https://avi.fi/asioi/yritys-tai-yhteiso/luvat-ilmoitukset-ja-hakemukset/vesi-ja-ymparisto/ymparistolupa>

Direktiivi 2012/18/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi vaarallisista aineista aiheutuvien suuronnettomuusvaarojen torjunnasta sekä neuvoston direktiivin 96/82/EY muuttamisesta ja myöhemmästä kumoamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti. Viitattu 15.4.2025. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32012L0018#d1e775-1-1>

Finlex. 1999. Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. Verkkosivu. Viitattu 13.4.2025. https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/1999/132#OT17_OT0

Endress. n.d. Miten vetyä tuotetaan, Vihreä vety. Verkkosivu. Viitattu 16.2.2025. https://www.fi.endress.com/fi/kest%C3%A4v%C3%A4n-kehityksen-ratkaisut-teollisuuteen/vedyn-tuotanto?utm_source=chatgpt.com#toc40

Energiavirasto. n.d. Tietoa meistä. Verkkosivu. Viitattu 4.3.2025. <https://energiavirasto.fi/energiavirasto>

Gasum. 2025. Maakaasu ja nesteytetty maakaasu (LNG). Verkkosivu. Viitattu 1.3.2025. <https://www.gasum.com/fi/gasum/tuotteet-ja-palvelut/maakaasu-ja-nesteytetty-maakaasu-lng/>

Helmeth. n.d. Methanation process. Verkkosivu. Viitattu 22.2.2025. <http://www.helmeth.eu/index.php/technologies/methanation-process>

Ismail, K. 2022. Systematic Approach for Safe Mechanical Completion, Pre-commissioning, Commissioning, and Startup. Artikkel. Viitattu 12.3.2025. <https://hsseworld.com/systematic-approach-for-safe-mechanical-completion-pre-commissioning-commissioning-and-startup/>

LibreTexts, n.d. Le Chatelier's Principle. Tietopankki. Viitattu 4.4.2025. [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_\(Physical_and_Theoretical_Chemistry\)/Equilibria/Le_Chateliers_Principle](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Equilibria/Le_Chateliers_Principle)

Lehtinen, M. suunnittelujohtaja. 2025. Tapaaminen 12.2.2025. Ren-Gas Oy.

MAN Energy Solutions. 2025. Ren-Gas selects MAN Energy Solution's methanation technology for its Tampere e-methane plant. Verkkosivu. Viitattu 28.2.2025. https://www.man-es.com/docs/default-source/press-releases-new/man-es_pr_ren-gas_eng.pdf?sfvrsn=9d36c01_1

MasterClass. 2021. What Is the Sabatier Reaction? Learn How Astronauts Create Water and Oxygen in Space, How Does the Sabatier Reaction Work? Verkkosivu. Viitattu 22.2.2025. <https://www.masterclass.com/articles/what-is-the-sabatier-reaction#78c7vzvr6B3oyyxxP6Z1CS>

MB Drive Services. 2024. What is the difference between cold and hot commissioning, cold commissioning. Verkkosivu. Viitattu 2.3.2025. https://mb-drive-services.com/what-is-the-difference-between-cold-and-hot-commissioning/#google_vignette

Norian. n.d. Mitä RACI tarkoittaa? Verkkosivu. Viitattu 1.4.2025. <https://norian.fi/raci/>

OEE. n.d. What is OEE? Verkkosivu. Viitattu 21.3.2025. <https://www.oee.com/>

Ojanperä, S. 2022. Suomalainen vihreän kaasun tuotanto sai miljoonien eurojen rahoituksen Saksasta – yhtiö suunnittelee laitoksia viiteen kaupunkiin. Verkkosivu. Viitattu 24.2.2025. <https://yle.fi/a/74-20007748>

OR&A. 2019. An introduction to operations readiness & assurance (OR&A). Verkkosivu. Viitattu 11.3.2025. <https://www.avnishint.com/download-brochure/OR&A-briefing-2019.pdf>

Paljug, K. 2025. Operating Costs: Definition, Formula, Types, and Examples. Nettiartikkeli. Viitattu 23.3.2025. <https://www.investopedia.com/terms/o/operating-cost.asp>

PQRI. 2015. Hazard and operability analysis (HAZOP) Training guide. Verkkosivu. Viitattu 2.4.2025. https://pqri.org/wp-content/uploads/2015/08/pdf/HAZOP_Training_Guide.pdf

Qerimi, A., & Qerimi, F. 2023. The impact of total quality management on operational performance. Journal of Governance & Regulation, <https://doi.org/10.22495/jgrv12i1art16>

Qpower. n.d. Biometanointi. Verkkosivu. Viitattu 28.2.2025. <https://qpower.fi/fi/teknologia/biometanointi/>

Powell, D. 2024. Operational readiness & assurance (OR&A) – The Definitive Reference. ORANDA Ltd.

Ren-Gas Oy. n.d .a. Mikä Ren-Gas. Verkkosivu. Viitattu 9.2.2025. <https://ren-gas.com/>

Ren-Gas Oy. n.d. b. Projektit. Verkkosivu. Viitattu 2.2.2025. <https://ren-gas.com/projekti/tampere/>

Ren-Gas Oy. 2024. a. Ajankohtaista, Ren-Gas on valinnut Saipemin hiilidioksidin talteenottoteknologian toimittajaksi Tampereen e-metaanihanikkeelle. Verkkosivu. Viitattu 15.2.2025. <https://ren-gas.com/ajankohtaista/ren-gas-on-valinnut-saipemin-hiilidioksidin-talteenottoteknologian-toimittajaksi-tampereen-e-metaanihanikkeelle/>

Ren-Gas Oy. 2024. b. Ren-Gas selects Sunfire electrolyzer for its Tampere e-methane plant. Verkkosivu. Viitattu 20.2.2025. <https://ren-gas.com/en/news/ren-gas-selects-sunfire-electrolyzer-for-its-tampere-e-methane-plant/>

Ren-Gas Oy. 2024. c. Ajankohtaista, Ren-Gasin e-metaanihanke Tampereella saanut lainvoimaisen ympäristöluvan. Verkkosivu. Viitattu 5.3.2025. <https://ren-gas.com/ajankohtaista/ren-gasin-e-metaanihanke-tampereella-saanut-lainvoimaisen-ymparistoluvan/>

Ren-Gas Oy. 2025. Ren-Gas selects MAN Energy Solution's methanation technology for its Tampere e-methane plant. Verkkosivu. Viitattu 28.2.2025. <https://ren-gas.com/en/news/ren-gas-selects-man-energy-solutions-methanation-technology-for-its-tampere-e-methane-plant/>

Saipem. 2023. Bluenzyme200. YouTube-video. Julkaistu 14.9.2023. Viitattu 15.2.2025. <https://youtu.be/aJv54IQxaQE>

Saipem. n.d. a. CCUS – Carbon Capture Utilization and Storage, Carbon Capture, Bluenzyme™. Verkkosivu. Viitattu 14.2.2025. <https://www.saipem.com/en/solutions-energy-transition/reduce-co2-emissions/co2-capture-storage/carbon-capture/bluenzyme>

Saipem. n.d. b. CO2 solutions bu Saipem – intro. Verkkosivu. Viitattu 12.4.2025. https://www.saipem.com/sites/default/files/2024-09/Saipem_Simply_Better_Carbon_Capture_Technology_intro.pdf

South-East Finland-Russia CBC. n.d. RACI-matriisi. Verkkosiv. Viitattu 24.3.2025. <https://sefrcbc.fi/fi/ukk/raci-matriisi/>

Sunfire. n.d. Sunfire-HyLink Alkaline. Verkkosivu. Viitattu 20.2.2025. <https://sunfire.de/en/products/pressurized-alkaline-electrolyzers-ael/>

Sunfire. n.d. Sunfire-HyLink Alkaline, hydrogen production. Verkkosivu. Viitattu 22.2.2025. <https://sunfire.de/en/products/pressurized-alkaline-electrolyzers-ael/>

Suomen Riskienhallintayhdistys. n.d. PK-RH-riskienhallinta, riskienhallintaprosessin vaiheet. Tietopankki. Viitattu 22.3.2025. <https://pk-rh.fi/riskienhallintaprosessi.html>

Tampereen energia. n.d. Energiantuotanto Tampereella, Hiilidioksidi muuttuu vetytuhjaiseksi polttoaineeksi ja hukkalämmöksi. Verkkosivu. Viitattu 13.2.2025. <https://www.tampereenergia.fi/tampereen-energia/energia/energiantuotanto-tampereella/power-to-gas-tuotantolaitos/>

Toptenrava. 2024. Pelastusviranomaisen rooli rakennuslupaprosessissa. Verkkosiv. Viitattu 15.4.2025. <https://toptenrava.fi/ohjekortti/pelastusviranomaisen-rooli-rakennuslupaprosessissa/>

Trackertechnologies. 2024. Preparing for pre-commissioning and commissioning. Verkkosivu. Viitatti 1.4.2025. <https://www.trackertechnologies.co/blog/preparing-for-pre-commissioning-and-commissioning/>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. 2024. a. Turva-automaatio prosessiteollisuudessa. Verkkosivu. Viitattu 15.4.2025. <https://tukes.fi/turva-automaatio-prosessiteollisuudessa>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. 2024. b. Käyttö ja kunnossapito. Verkkosivu. Viitattu 15.4.2025. <https://tukes.fi/prosessiturvallisuusjarjestelma/kaytto-ja-kunnossapito>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. 2025. Prosessiturvallisuusjärjestelmä, Käyttö ja kunnossapito, Prosessiturvallisuusjärjestelmän arviointityökalu toiminnanharjoittajalle. Verkkosivu. Viitattu 5.3.2025. <https://tukes.fi/documents/5470659/6373020/Prosessiturvallisuusj%C3%A4rjestelm%C3%A4n+arviointi.xlsx/a4411d53-bae5-64ca-f38b-5b63b4dd2159?t=1742277041584>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. n.d. Kemikaalilaitokset, Laitoksen elinkaari. Verkkosivu. Viitattu 5.3.2025. <https://tukes.fi/teollisuus/kemikaalilaitokset/laitoksen-elinkaari>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. n.d. Toiminnan luvanvaraisuuden selvittäminen. Verkkosivu. Viitattu 19.4.2025. <https://tukes.fi/teollisuus/kemikaalilaitokset/toiminnan-laajuuden-maarittaminen#c36367ad>

Työterveyslaitos. 2025. OVA-ohjeet, metaani. Verkkosivu. Viitattu 28.2.2025. <https://ova.ttl.fi/metaani>

Ympäristö.fi. 2023. Ympäristövaikutusten arviointi. Verkkosivu. Viitattu 11.4.2025. <https://www.ymparisto.fi/fi/osallistu-ja-vaikuta/ymparistovaikutusten-arviointi>

LIITTEET

Liite 1. Käyttöönoton vaiheet.

