LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
School of Engineering Science
Kemiantekniikan koulutusohjelma

Joni Nygård

VEDYN PULLOTUSLAITOKSEN SUUNNITTELUUN JA INVESTOINTIKUSTANNUKSIIN PERUSTUVA VAIHTOEHTORATKAISUJEN VERTAILU

Työn tarkastajat: Dosentti Arto Laari
Professori Tuomas Koiranen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
School of Engineering Science
Kemiantekniikan koulutusohjelma

Joni Nygård

Vedyn pullotuslaitoksen suunnitteluun ja investointikustannuksiin perustuva vaihtoehtoratkaisujen vertailu

Diplomityö
2021
59 sivua, 26 kuvaa, 6 taulukkoa ja 2 liitettä
Tarkastajat: Dosentti Arto Laari
Professori Tuomas Koiranen

Hakusanat: Vety, vedyn pullotus, vetyturvallisuus

Tässä diplomityössä esitetään neljä eri vaihtoehtoa Woikoski Oy:n Kokkolan vetytehtaan uuden pullotuslaitoksen toteuttamistavoiksi ja suositellaan näistä yhtä toteutettavaksi kokonaisarvioinnin perusteella. Työn tavoitteena oli suunnitella ja valita nykyisen pullotuslaitteiston tilalle uusi, toimivampi ja turvallisempi vetypullojen ja –pattereiden pullotusratkaisu.

Uuden pullotuslaitoksen esisuunnittelu, alustavien laite- ja automaatioratkaisujen ehdottaminen sekä alustavien budjettihintojen kartoittaminen annettiin tehtäväksi insinööritoimisto Merius Oy:lle, jonka toimittaman materiaalin perusteella tehtiin kokonaisarviointi kullekin vaihtoehdolle.

Diplomityön kirjallisessa osassa on esitelty työn teettäjänä toimivan Woikoski Oy:n Kokkolan tehtaiden toimintaa, tehtaan nykyiset pullotusratkaisut sekä vedyn turvallisessa käsittelyssä huomioon otettavia seikkoja.

Diplomityön soveltavassa osassa tehdyn arvioinnin perusteella toteutettavaksi vaihtoehdoksi esitettiin vaihtoehtoa numero 1, missä käytettävissä oleva tontin osuus voitiin kustannustehokkaasti hyödyntää kattamalla uusi pullotuslaitteisto kokonaisuudessaan säältä suojaan, varata riittävä laajennusvara tulevaisuuden tarpeita ajatellen sekä sijoittaa pullojen preparointilaitteisto saman katon alle. Kyseisen ratkaisun katsottiin olevan Kokkolan tehtaille lähtötavoitteet huomioon ottaen kokonaisuudessaan järkevin ratkaisu. Arviointia suoritettiin myös koko Woikosken ja Kokkolan tehtaan pitkäjänteisen toiminnan kehittämisen näkökulmasta ja pyrittiin luonnollisesti valitsemaan myös näitä tekijöitä tukeva ratkaisu.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT
School of Engineering Science
Department of Chemical Technology

Joni Nygård

Comparison between design options and investment costs of hydrogen bottling facility

Master's Thesis
2021
59 pages, 26 figures, 6 tables ja 2 appendixes
Examiners: Adjunct professor Arto Laari
Professor Tuomas Koiranen

Keywords: Hydrogen, hydrogen bottling, hydrogen safety

This Master's Thesis presents four different options for carrying out a new bottling facility for Woikoski Oy's Kokkola site. One of these four options was recommended to be carried out after thorough evaluation. The aim of this Thesis was to design and choose a new, improved and safer bottling facility to replace the existing one.

The pre-design work, pre-selection of equipment and automation equipment and budget price quotations were conducted by engineering company Merius Oy. Based on these materials, evaluation was conducted to each of the four options.

The literature part of this thesis presents the company Woikoski Oy, its' operations at the Kokkola site, the current hydrogen bottling practices at the site as well as general safe operations practices when operating with hydrogen.

Based on the evaluation conducted in the practical part of this thesis, the design option number 1 was chosen. This option ensures the most efficient usage of site's available land area, additionally it is possible to cover all operations of the new bottling facility under one roof, including space for possible future production scale-up needs and space for separate preparation unit for gas bottles. This option would be the most preferable one when considering the original targets as well as the total evaluation results. The long-term development targets as well as the overall success of the company and Kokkola site were also considered when choosing this particular option.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö tehtiin Oy Woikoski Ab:n toimeksiannosta. Toimiessani Woikosken Kokkolan tehtaan johtajana, yksi tärkeimmistä tavoitteistani on ollut kehittää tehtaan päivittäistä toimintaa ja prosesseja turvallisempaan ja käyttäjäystävällisempään suuntaan. Vedyn pullotustoiminnan kehittäminen onkin ollut yksi ensimmäisiä asioista, joita olen Kokkolan tehtaalla halunnut lähtea parantamaan. Toivonkin, että tässä diplomityössä suosittelemani toteutusratkaisu saataisiin toteutettua jossain vaiheessa tehtaan elinkaarta ja toimintaa sen myötä kehitettyä turvallisempaan suuntaan.

Diplomityön tekeminen työn ohessa on osoittautunut haasteelliseksi etenkin aikataulusyistä ja lisäksi työn tekeminen limittyy loppuosastaan myös työpaikan vaihtamiseen ja muuttoon toiselle paikkakunnalle. Tästä syystä ehdotetun ratkaisun mahdollinen toteuttaminen jää minulta näkemättä, mutta kuten todettua, toivon todella, että siinä onnistutaan.

Haluan osoittaa kiitokseni erityisesti perheelleni ymmärtäväisyydestä ajankäyttöni suhteen niin tämän diplomityön tekemiseen, kuin koko diplomi-insinööriksi opiskeluun käytetyn ajankin suhteen. Lisäksi haluan kiittää diplomityön tarkastajia dosentti Arto Laaria ja professori Tuomas Koirasta.

Kokkolassa 23.5.2021
Joni Nygård

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	4
	1.1 Työn tausta	4
	1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset	5
	1.3 Oy Woikoski Ab	6
	1.4 Kokkolan tehtaat	7
I	KIRJALLISUUSOSA	8
2	VETYTEHDAS	8
	2.1 Vedyn valmistus Kokkolan tehtaalla	8
	2.2 Vedyn pullotusprosessi	9
	2.3 Haasteet nykyisessä täyttötoiminnassa	11
3	VEDYN PULLOTUSLAITOS	12
	3.1 Pullotuslaitoksen suunnittelussa huomioitavia yleisiä seikkoja	12
	3.2 Tyypilliset laitteistot	14
	3.3 Pullotuslaitoksen sijoittuminen ja layout	16
	3.4 Vedyn pullotuslaitoksen turvallinen operointi	18
4	VEDYN TURVALLINEN KÄYTTÖ	19
	4.1 Vety aineena	19
	4.2 Vedyn varastointi	22
	4.3 Vetyputkiston rakentamisen ja operoinnin näkökohtia	24
II	SOVELTAVA OSA	25
5	SUUNNITTELUN PERUSTEET	25
6	PULLOTUSLAITOKSEN TOTEUTUSVAIHTOEHTOJEN ESITTELY	26
	6.1 Vaihtoehto 1	26
	6.2 Vaihtoehto 2	31
	6.3 Vaihtoehto 3	36
	6.4 Vaihtoehto 4	42
7	TOTEUTUSVAIHTOEHTOJEN VERTAILU	47
	7.1 Vaihtoehto 1	47
	7.2 Vaihtoehto 2	49
	7.3 Vaihtoehto 3	50
	7.4 Vaihtoehto 4	52
8	TOTEUTUSVAIHTOEHDON VALINTA	53
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	56

LÄHTEET 57

LIITTEET
I Easy Systems kuljetinjärjestelmän tarjous
II Intolog kuljetinjärjestelmän tarjous

LYHENNELUETTELO

HAZOP = Hazard and Operability Study

SIL = Safety Integrity Level

EX = räjähdyssuojaus, esim. räjähdyssuojattu laite

Atex = räjähdysvaarallisten tilojen standardisointi ja ko. tiloissa käytettävien laitteiden lainsäädäntö

EIGA = European Industrial Gases Association

LOHC = Liquid organic hydrogen carrier

LEL = Lower Explosion Limit

UEL = Upper Explosion limit

MESG = Maximum Experimental Safe Gap

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Oy Woikoski Ab:n Kokkolan tehtaat koostuu kolmesta tehtaasta, vuonna 2006 valmistuneesta hiilidioksidin talteenottolaitoksesta, vuonna 2014 valmistuneesta ilmakaasutehtaasta (happi, typpi, argon) sekä vuonna 2015 valmistuneesta vetytehtaasta.

Vetytehtaalla valmistetaan vetyä elektrolyysimenetelmällä ionivaihdetun veden ja sähkön elektrolyysissä. Vetyä valmistetaan ja pullotetaan useaan erilaiseen toimitus-, varastointi- ja kuljetusmuotoon. Valtaosa tehtaan tuotannosta toimitetaan putkea pitkin alueen muiden teollisuusyritysten käyttöön. Vetyä toimitetaan myös pienemmässä mittakaavassa kuljetuskonteissa, pullopattereissa tai yksittäisissä pulloissa.

Laitoksella valmistettavaa vetyä voidaan siis varastoida ja pakata edellä mainittuihin kuljetuskontteihin, jotka koostuvat useista vedyn varastoimiseen soveltuvista lasikuituisista, vaakatasoon sijoitetuista paineastioista. Näihin kuljetuskontteihin vetyä voidaan varastoida 200 bar:n ja 300 bar:n paineessa. 200 bar:n kuljetuskontteja käytetään tyypillisesti asiakastoimituksissa ja 300 bar:n kuljetuskonteissa varastoidaan vetyä tasaamaan paikallisten asiakkaiden kulutusten muutoksia. Kuljetuskontteja voidaan lisäksi käyttää vedyn pullotukseen menevän vedyn välivarastona ennen varsinaista pullotustapahtumaa.

Teräksisten pullopattereiden täyttämistä varten tehtaalla on oma täyttöasemansa, joka koostuu trukilla täytettävistä täyttöpisteistä, joihin pullopatterit asetetaan. Tämän jälkeen täyttöletkut kytketään pattereihin ja täyttö voi alkaa. Tyhjät ja täytetyt pullopatterit varastoidaan omalla, läheisellä varastokentällään odottamaan joko täyttämistä tai kuljetusta asiakkaalle.

Yksittäisten, teräksisten vetypullojen täyttö tapahtuu niille varatussa katoksessa, johon pulloja mahtuu täytettäväksi noin kymmenen kappaletta kerrallaan. Tyhjät ja täydet pullot varastoidaan yleensä niille tarkoitetuissa koreissa varastokentällä. Vetypulloja voidaan toimittaa asiakkaasta riippuen joko yksittäisinä tai useamman pullon toimituksina.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Edellä kuvatut vetypullojen ja –pattereiden täyttöprosessit on tarkoitus suunnitella nyt kokonaisuudessaan uudestaan. Nykyisiä prosesseja ja niihin käytettävää laitteistoa halutaan paikallisesti kehittää turvallisempaan, käytännössä toimivampaan ja mahdollisuuksien mukaan myös automatisoidumpaan suuntaan. Uuden vedyn pullotuslaitoksen suunnittelussa tärkeimpiä huomioon otettavia tekijöitä tuleekin olemaan laitoksen turvallisuus sekä operoitavuus. Myös automatisoinnin tasoa pyritään lisäämään, jos se on kustannustehokkaasti mahdollista toteuttaa nykyisellä pullotustarpeella.

Yhtenä toiminnallisena haasteena on lisäksi ollut vetypullojen vuototarkastuksen suorittaminen nykyisissä toimintaolosuhteissa. Vuotojen etsiminen käsikäyttöisellä kaasunhaistelijalla ulkona tuulisissa olosuhteissa ei ole paras mahdollinen ratkaisu. Toisaalta myös vetypullojen puhtauden varmistaminen ennen pullojen täyttöä eli ns. preparointiprosessi, suoritetaan tällä hetkellä tarpeen mukaan yhtiön Voikosken toimipisteessä. Vetypullojen preparoinnin tekeminen paikan päällä Kokkolassa toisi useita etuja niin pullologistiikan kuin koko pullotusprosessin toiminnallisuuden näkökulmasta muutenkin.

Johtavana ajatuksena diplomityöhön valmistautuessa onkin ollut yhdistää nykyiset pullopatterien ja yksittäisten pullojen täyttötoiminnot saman katon alle, ns. säältä suojaan, laadukkaan ja turvallisen täyttö- ja vuototarkastusprosessin takaamiseksi. Lisäksi tarkoituksena on suunnitella samalla tilat joko heti tai myöhemmin samaan laitokseen sijoitettavalle pullojen preparointilaitteistolle. Diplomityön soveltava osuus muodostuu ulkopuolisen suunnittelutoimiston tuottamasta suunnittelumateriaalista, joka pitää sisällään

useamman vaihtoehdon pullotuslaitoksen toteuttamiselle. Näiden vaihtoehtojen muuttujina tulee olemaan pullotuslaitoksen koko, sen toiminnallisuudet, käytettävät laitteistot sekä automaation eri tasot. Näiden muuttujien myötä toteutusvaihtoehdoille muodostuu eri kustannusarviot. Suunnittelutoimiston toimeksiantoon kuuluu siis myös eri vaihtoehtojen teknisten ratkaisujen ehdottaminen ja joidenkin yksittäisten laitteiden tarjouspyyntöjen kysyminen ja liittäminen toimitettavaan materiaaliin.

Tässä diplomityössä ei ole tarkoitus tutkia uuden täyttölaitoksen sijoittumista alueella tai sen vaatimia, mahdollisia uusia, logistisia ratkaisuja vaan diplomityössä laitoksen sijoittumispaikka katsotaan jo ratkaistuksi ja mahdollisten muutosten alueen logistiikassa katsotaan olevan melko pieniä eikä niitä siis ole tässä työssä tarvetta laajemmin tarkastella.

Investoinnin mittakaava tulee toteutuessaan olemaan Kokkolan tehtaille merkittävä, joten uuden laitoksen suunnittelu, vaihtoehtojen vertailu sekä lopulta valittavan vaihtoehdon esittäminen yhtiön johdolle toteutettavaksi kannattavana investointina on toiminnan jatkuvuuden kannalta tärkeä kokonaisuus.

1.3 Oy Woikoski Ab

Oy Woikoski Ab on suomalainen, itsenäinen, kaasuteollisuuden perheyritys. Yritys on perustettu vuonna 1882 ja sen pääkonttori sijaitsee Mäntyharjun Voikoskella. Yrityksen omistaa Palmbergien suku ja toimitusjohtajana toimii omistajasuvun edustaja Clas Palmberg. (Oy Woikoski Ab, 2020)

Woikoski valmistaa kaasuja useille teollisuuden aloille sekä julkiselle sektorille. Teollisuuden lisäksi suurimpia asiakkuuksia ovat julkinen ja yksityinen terveydenhuolto, lääketieteen yritykset, kunnat ja kaupungit, ympäristönsuojelu sekä yksityiset kuluttaja-asiakkaat. (Oy Woikoski Ab, 2020)

Woikoskella on tuotanto- ja asiakaspalvelutoimipaikkoja päätoimipiste Voikosken lisäksi Kokkolassa, Järvenpäässä, Varkaudessa, Pirkkalassa sekä Oulussa. Pääosa Woikosken liiketoiminnasta tapahtuu Suomen rajojen sisäpuolella, mutta yhtiöllä on jonkin verran vientiä myös Venäjälle, Baltian maihin sekä manner-Eurooppaan (Oy Woikoski Ab, 2020). Woikosken palaveluksessa työskentelee vakituisesti noin 190 henkilöä.

1.4 Kokkolan tehtaat

Kokkolan tehtaat on toinen Woikosken varsinaisista teollisista tuotantolaitoksista Voikosken tehtaan lisäksi muiden toimipaikkojen keskittyessä erilaisten lopputuote- ja seoskaasujen pullotustoimintaan. Kokkolan tehtaat on puolestaan näistä kahdesta tuotantolaitoksesta selkeästi kapasiteetiltaan suurempi. Kokkolan tehtailla työskentelee vakituisesti 14 henkilöä.

Woikoski on toiminut Kokkolan suurteollisuusalueella (KIP, Kokkola Industrial Park) vuodesta 2006 saakka, jolloin otettiin käyttöön hiilidioksidin talteenottolaitos. Laitoksen toiminta perustuu teollisuusalueen yrityksiltä talteen otettavien hiilidioksidipitoisten sivuvirtojen puhdistamiseen. Prosessi vaatii tyypillisesti korkean (> 90 %) hiilidioksidipitoisuuden raakakaasussa ollakseen tehokas. Tehdas tuottaa hiilidioksidia kaasumaisena tuotteena teollisuusalueen asiakkaiden käyttöön, suurempi osa tuotannosta toimitetaan kuitenkin asiakkaille ja yhtiön omille pullotuslaitoksille nestemäisenä säiliöautojen kuljettamana ympäri Suomen. Hiilidioksidia valmistetaan teollisena, lääkkeellisenä ja elintarvikelaatuisina tuotteina.

Kokkolan ilmakaasutehdas on valmistunut vuonna 2014. Ilmakaasutehtaalla raaka-aineena toimivasta ilmasta tislataan matalassa lämpötilassa (n. -180 °C – -190 °C) erilleen tärkeimmät komponentit eli happi, typpi ja argon. Suurin osa tuotannosta toimitetaan kaasumaisena putkilinjoja pitkin alueen asiakkaille ja loput tuotannosta kuljetetaan nestemäisenä säiliöautoilla alueen ulkopuolisille asiakkaille ja omille pullotuslaitoksille. Happea ja typpeä valmistetaan teollisena, lääkkeellisenä ja elintarvikelaatuisina tuotteina, argonia ainoastaan teollisena laatuna.

Kolmas Kokkolan tehtaiden tuotantolaitoksista on vuonna 2015 käyttöön otettu vetytehdas. Tämän tehtaan toiminnasta kerrotaan lisää seuraavassa luvussa.

Kuva 1. KIP teollisuusalue ja Woikosken sijoittuminen alueella

I KIRJALLISUUSOSA

2 VETYTEHDAS

2.1 Vedyn valmistus Kokkolan tehtaalla

Kokkolan vetytehdas (kuva 2) on otettu käyttöön vuonna 2015 ja lähes kaikki tehtaan tuotanto toimitetaan putkea pitkin noin 15 bar:n paineessa alueen teollisuusyritysten käyttöön. Kuten jo aikaisemmin on mainittu, vetyä varastoidaan paikan päällä 300 bar:n varastokonteissa ja toimitetaan 200 bar:n kuljetuskonteissa sekä pullopattereissa ja yksittäisissä pulloissa myös alueen ulkopuolisille asiakkaille.

Vetytehtaalla valmistetaan vetyä elektrolyysimenetelmällä ionivaihdetun veden ja sähkön elektrolyysissä. Ionivaihdettu vesi saadaan prosessiin teollisuusalueen vesilaitokselta ja sähkö hankitaan normaalia reittiä kantaverkosta. 25 %:sen elektrolyyttivesiliuoksen elektrolyyttinä käytetään kaliumhydroksidia (KOH). Sähkö johdetaan elektrolyyseriin, missä läpi kiertävän elektrolyyttivesiliuoksen reaktiossa syntyy liuokseen vety- ja happikaasua. Kaasut erotellaan liuoksesta, minkä jälkeen ne puhdistetaan ja varastoidaan. Elektrolyyttiliuosta regeneroidaan säännöllisesti, koska sitä kierrätetään systeemissä jatkuvasti uudelleen.

Kuva 2. Vetytehdas

2.2 Vedyn pullotusprosessi

Vetytehtaan pullotusprosessi koostuu varsinaisen valmistuksen jälkeisistä laitteistoista sekä korkeampaan paineeseen täytettävistä varastointi- ja kuljetuskonteista. Vaikkakin vetytehtaan tuotannosta lähes kaikki toimitetaan putkitoimituksina teollisuusalueelle, on täyttötoiminta silti päivittäistä, varsinkin kuljetuskonttien osalta. Pullokoreja ja yksittäisiä pulloja täytetään viikon aikana muutamia kertoja menekistä riippuen.

Valmistusprosessin jälkeen vety siis varastoidaan valmistuspaineessa (n. 15 bar) väliaikaiseen varastosäiliöön, joka sijaitsee tehtaan välittömässä läheisyydessä. Kuljetuskonttien, pullokorien ja yksittäisten pullojen täyttäminen tapahtuu kompressorin avulla. Kompressorilla vedyn paine nostetaan tarpeen mukaan joko 200 bar:n paineeseen (kuljetuskontit ja pullot) tai 300 bar:n paineeseen (back-up kontit). Näiden konttien tilavuus on kontista riippuen n. 2500-3000 m^3 eli noin 40000 kg.

Vety johdetaan kompressorilta kiinteitä, haponkestävästä teräksestä valmistettuja, linjoja pitkin täyttökatokseen, mistä vety johdetaan metallipunosletkuja pitkin täytettävään konttiin tai pulloon. Vetypattereiden täyttämiseen on nykyisessä prosessissa oma täyttöalustansa (kuva 3), mihin pullopatterit nostetaan noin 20 senttimetriä maanpinnan yläpuolelle. Kyseinen alusta on sijoitettu 300 bar:n kuljetuskontin viereen mahdollisimman lyhyen täyttöletkun käyttämiseksi. Yksi pullopatteri koostuu 12:sta yksittäisestä vetypullosta ja painaa noin 900 kg. Pullopatterin pohjan mitat ovat noin 800 mm x 1000 mm korkeuden ollessa noin 1700 mm. Yksittäisen pullon tilavuus on 50 l, joten pullopatterin kokonaistilavuus on 600 l ja vedyn kokonaismassa noin 9 kg.

Kuva 3. Vetypullopattereiden täyttöalusta ja vetykontteja

Vetypullojen täyttämiseen on olemassa oma, pienempi ja suljettavissa oleva täyttökoppinsa (kuva 4). Koppi on sijoitettu täyttökatoksen vetytehtaan puoleiseen päätyyn. Vety täyttökoppiin johdetaan kiinteitä linjoja pitkin täyttökatoksen kautta.

Kuva 4. Vetypullojen täyttökoppi

2.3 Haasteet nykyisessä täyttötoiminnassa

Suurimmat haasteet nykyisessä toiminnassa kohdistuvat pullopatterien täyttöalustan toimivuuteen. Täyttöalustan sijoitus muutettiin nykyiselleen noin kaksi vuotta sitten. Aikaisemmin kyseinen täyttöalusta toimi samassa tarkoituksessa, mutta se seisoi noin metrin korkuisten jalkojen varassa. Täyttöalusta lastattiin täyteen tyhjiä pullopattereita ja se siirrettiin täyttöä varten aina jonkin 200 bar:n kuljetuskontin tilalle näiden lähtiessä asiakkaalle. Kun kuljetuskontti taas palasi takaisin, siirrettiin alusta täysine pulloineen rekka-auton avustuksella säilytykseen hiilidioksiditehtaan länsipuolelle.

Kyseisessä toiminnassa nähtiin kuitenkin puutteita liittyen etenkin turvallisuuteen ja sisäiseen logistiikkaan. Tuolloin alustan jalat päätettiin poistaa ja alustan siirtelystä tontin toiselle puolelle luovuttiin. Alustalle määritettiin kiinteä sijoituspaikka 300 bar:n back-up –

kontin etupuolelle (kuva 3), koska nämä kontit eivät ole alueen ulkopuolisessa asiakaskäytössä, eivätkä siten koskaan poistu paikoiltaan.

Nämä muutokset paransivat selvästi aikaisempia puutteita, mutta käytännössä talvi lumisateineen sekä tuuliset ja sateiset olosuhteet luovat edelleen omat vaikeutensa ilman katosta seisovan alustan operoinnille. Pullojen ja patterien täyttämiseen liittyy olennaisena osana lisäksi laadun analysointi, pullojen kunnon arviointi sekä mahdollisten vuotojen tarkistaminen. Etenkin vuotojen tarkistaminen käsikäyttöisen vetyhaistelijan avulla ulkona tuulisissa olosuhteissa on osoittautunut haasteelliseksi ja vuotavista vetypattereista vastaanotetaankin vuosittain aina muutamia asiakasreklamaatioita.

Toinen haaste liittyy käytettyjen pullojen puhtauteen. Nykyisellään Kokkolan tehtaalla ei ole lainkaan vetypullojen preparointi- eli puhdistuslaitteistoa. Koska pullot ja pullopatterit lähetetään Kokkolasta suoraan loppuasiakkaalle ja ne palautuvat tyhjinä aina suoraan Kokkolaan, on niiden puhtaustarkastus käytännössä täytön jälkeisen analysoinnin varassa. Tyypillisesti pulloihin voi muodostua kosteutta tai muita epäpuhtauksia. Jos laatuanalyysi ei täytä vaatimuksia, on vaihtoehtoina joko pullon huuhtelu paikan päällä Kokkolassa tai sen lähettäminen Voikosken toimipisteelle perusteellisempaa preparointia varten. Tämä prosessi luonnollisesti pidentää preparointiin käytettävää aikaa ja pitää pullot pidempään poissa asiakaskierrosta.

3 VEDYN PULLOTUSLAITOS

3.1 Pullotuslaitoksen suunnittelussa huomioitavia yleisiä seikkoja

Pullotuslaitokset ovat tyypillisesti hyvin erilaisia ja muuttujia on useita aina pullotettavasta kaasusta alkaen haluttuun layoutiin ja laitoksen kompleksisuuteen saakka. Laitoksen tyyppiin ja kokoon vaikuttavat sellaiset tekijät kuin haluttu maksimi tuotantomäärä, pullojen ja -patterien koko ja tyyppi sekä eri tuotelaatujen määrä ja ominaisuudet. Tästä syystä

pullotuslaitoksen rakentamista suunnittelevan onkin usein järkevää kääntyä ammattimaisen suunnittelutoimiston ja/tai laitevalmistajan puoleen laadukkaiden suunnitteluprosessien ja toimivan tuotantoprosessin varmistamiseksi (WLPGA, 2017). Markkinoilta löytyy tällä hetkellä useita laitevalmistajia, jotka voivat toimittaa kaasupullojen täyttöön sekä valmiita sovelluksia, että asiakkaan tarpeisiin räätälöityjä ratkaisuja. Tällaisen vaihtoehdon hankkimisessa on useita etuja lähtien paikallisten lakisääteisten vaatimusten kartoittamisesta kokonaissuunnittelun tarjoamiseen ja laitevalinnasta aina niiden asennusvaiheeseen ja käyttöönottoon saakka (Cryovation, 2021).

Pullotuslaitoksen määrittelyssä ja detaljisuunnittelussa tulisi ottaa huomioon tuotantomäärän lisäksi myös turvallisuus- ja laatuseikat. Määrittelyyn kuuluvat myös muun muassa seuraavat seikat:

- Laitoksen perustoimintojen määrittely kuten täyttö-, vuototestaus- ja kunnossapitotoiminnot
- Käsiteltävät tuotteet ja niiden ominaisuudet
- Standardien ja lainsäädännön asettamat vaatimukset laitoksen turvallisen ja ympäristöystävällisen toiminnan varmistamiseksi sekä henkilöstön ja ympäröivän yhteiskunnan suojaamiseksi
- Mahdolliset lisenssit ja muut vaatimukset riskien hallinnan näkökulmasta
- Pullo- ja pullokorityypit ja niiden koot sekä pullojen venttiilityypit
- Tuotekohtaiset tuotantomäärät pullokokoja kohden, maksimituotannot eri aikayksiköille tarpeen mukaan
- Käytettävissä oleva tuotantoaika
- Sallitut poikkeamat asetetuista rajoista liittyen esimerkiksi tuotelaatuun, täyttö- ja vuotomääriin tai prosessihälytyksiin
- Työntekijämäärä ja automaation taso
- Pullojen kuljetusmenetelmät ja muu käsittely
- Varastointialueet (WLPGA, 2017).

ATEX -määräysten huomioon ottaminen jo suunnittelun alkuvaiheessa on järkevää, koska se asettaa melko tiukat reunaehdot toiminnan suunnittelulle. Kokkolan vetytehtaan nykyiset

pullotustoiminnot on luokiteltu tiettyyn ATEX -luokkaan ja samaa lainsäädäntöä täytyy seurata myös uuden pullotuslaitoksen suhteen. Mihoub et al. (2020) toteaa, että ATEX -alueiden määrittelyiden tarkoituksena on pienentää räjähtävän kaasuseoksen muodostumisen mahdollisuutta sekä varsinaisen syttymisen estäminen. Alueiden määrittelyprosessi pienentää toiminnan kokonaisriskiä ja toimii prosessisuunnittelun tukena. Myös laitteiden oikea sijoittelu layout -mielessä on tärkeää mahdollisten syttymislähteiden luoman riskin pienentämiseksi. Varsinainen ATEX -alueiden määrittely koostuu mahdollisten vuotolähteiden paikantamisesta (esim. venttiilit, laipat), kuinka usein vuoto todennäköisesti tapahtuu, kuinka usein ja laajasti ihmiset voivat altistua vuodolle, vuotoalueen muiden olosuhteiden määrittelystä, vuotavan määrän arvioinnista sekä lopulta yhteenvetona saadaan vuodon laajuus/vakavuus ja vuodon vaikutusalue.

Vedyn ominaispiirteet on myös tärkeää kaikkien suunnitteluprosessiin osallistuvien ja tehtaalla työskentelevien tuntea, mm. alempi (LEL 4,0 %) ja ylempi (UEL 77 %) räjähdysraja sekä paineen vaikutus räjähdysrajojen muuttumiseen ovat kriittisiä toiminnan turvallisuuden näkökulmasta. On tärkeää ymmärtää, että vedyn räjähdysrajat muuttuvat suhteellisen paljon 0-20 bar:n välillä. Eurooppalaisessa ATEX -direktiiveissä (99/92/EC ja 94/9/EC) käytetään kokeellista maksimi turvaetäisyyttä (MESG) kaasujen luokittelemiseksi eri räjähdysryhmiin. Myös sähköisten laitteiden ja järjestelmien tulee olla hyväksyttyjä kyseisen räjähdysryhmän kaasuille tietyssä tilassa. Vety on luokiteltu korkeimpaan räjähdysryhmään IIC (Molnarne et al., 2019).

3.2 Tyypilliset laitteistot

Pullotuslaitokselle tulevan vedyn tulee olla paineistettua pienemmän varastointitilavuuden saavuttamiseksi. Kokkolan tehtaalla paineistus tapahtuu mäntäkompressorilla, jolla paine nostetaan noin 200 bar:iin. Koska kompressori on kuitenkin osa varsinaista tuotantolaitosta, eikä sen toimintaa ole tarkoitus muuttaa uuden pullotuslaitoksen suunnittelun myötä, jätetään kompressorin tarkempi käsittely ja toiminta laitteena tässä työssä tähän.

Vety pullotuslaitokselle johdetaan tyypillisesti haponkestävästä teräksestä valmistettuja prosessiputkistoja pitkin. Putkistojen rakentamisesta ja operoinnista on kerrottu tulevissa kappaleissa tarkemmin, joten niidenkään yksityiskohtiin ei tässä yhteydessä pureuduta tämän tarkemmin.

Asiakkaalta takaisin täyttöön saapuvien vetypullojen ja –patterien puhtaus voi joskus olla liian huono onnistuneen ja laadukkaan täytön tekemiseksi. Tästä syystä pullotuslaitokselle on usein tarpeellista rakentaa oma esikäsittelytila, jossa pullot voidaan huuhdella ja vakumoida riittävän puhtauden varmistamiseksi ennen täyttöä. Esikäsittelylaitteisto voidaan suunnitella toimimaan automaattisesti, manuaalisesti tai näiden kahden yhdistelmänä, tarpeesta ja kohteesta riippuen. Nyt Kokkolaan suunniteltavaan laitokseen ei kuitenkaan ole tarkoitus kyseistä laitteistoa ensi vaiheessa toteuttaa vaan sille tullaan varaamaan ainoastaan riittävän suuri ja käyttöön soveltuva tila uuteen laitokseen.

Yleisesti voidaan siis todeta, että muut tarpeelliset laitteet riippuvat paljon siitä, millaista automaation tasoa laitokseen halutaan lähteä toteuttamaan ja kuinka paljon esimerkiksi tarvittavasta pullojen siirtelystä halutaan jättää operaattoreiden tehtäväksi. Pullojen ja pattereiden liikuttelu voidaan haluttaessa toteuttaa kuljetinratojen ja robottien toimesta. Kokkolan tehtaan täyttötarve ei kuitenkaan toiminnan tässä vaiheessa ole vielä riittävän suuri siihen, että robottien käyttö olisi perusteltua. Kuljetinratojen käyttäminen saattaisi kuitenkin tulla kysymykseen, etenkin jos nykyiseen kapasiteettiin otetaan lisäksi kohtuullinen tulevaisuuden kasvuodotus huomioon.

Pullojen ja pattereiden täyttämisessä tarvitaan näihin kiinnittyvät täyttöpäät. Täyttöpäiden toimintakin voidaan haluttaessa automatisoida kokonaan tai osittain. Varsinainen yksittäisten pullojen täyttöyksikkö voidaan toteuttaa esimerkiksi automaattisena täyttökarusellina tai ainoastaan yhden pullon manuaalisena täyttöpaikkana. Nyt tehtävissä suunnitelmissa on huomioitu ainoastaan manuaaliset täyttöpisteet eli toiminta jatkuisi nykyisen kaltaisena. Myös vetypattereiden täyttöpisteet voidaan haluttaessa automatisoida pullopatterien kuljettamisen helpottamiseksi.

Täyttölaitos vaatii luonnollisesti myös useita erilaisia venttiilejä aina tavallisista sulkuventtiileistä, paineenrajoitusventtiileihin ja takaiskuventtiileihin. Automaation

toiminnan ja laadunvalvonnan näkökulmista laitokseen tarvitaan myös useita erilaisia mittauskomponentteja esimerkiksi virtaus- ja lämpötilatietojen sekä kosteus- ja painetietojen tarkkailuun. Lähtökohtaisesti analytiikan osalta voidaan hyödyntää vetytehtaan nykyisiä analysaattoreita, mutta tarvittavat analyysipisteet tulee detaljisuunnittelussa huomioida. Analysaattoreiden tiedot voidaan ohjata esimerkiksi automaatiojärjestelmään, joka vertaa tuloksia tuotelaadulle asetettuihin vaatimuksiin ja joko hyväksyy tai hylkää tuotteen. Kaasupullot on tyypillisesti varustettu viivakoodeilla, jotka voidaan kehittyneemmässä automaatiojärjestelmässä lukea ja sen perusteella ohjata pullot analyysiin määritellyn näytteenottotaajuuden mukaisesti (Podesva et al., 2014). Myös täyttölaitoksen tarvitsema sähkön syöttö ja toteutustavasta riippuen tarvittavat paineilmakytkennät tulee huomioida.

Kuten edellä on usein kerrottu, laitoksen laitteistojen valintaa ja toimintaa ohjaa paljon se, millaista automaation tasoa laitokseen halutaan lähteä toteuttamaan. Automatisoinnin tasolla on myös valtavan suuri vaikutus laitoksen investointikustannukseen ja siten se on olennaisen tärkeä osa investoinnin kokonaisarviota tehtäessä. Erittäin suuri vaikutus on myös sillä, millaiseen EX –luokkaan täyttölaitos tulee asettumaan. ATEX –tiloihin soveltuvilla laitteilla ja laitekokonaisuuksilla on usein merkittävästi korkeampi hankintahinta.

3.3 Pullotuslaitoksen sijoittuminen ja layout

Suunniteltavan pullotuslaitoksen toteuttamiseksi tehdään tämän diplomityön myötä useampia, toisistaan poikkeavia vaihtoehtoja. Näiden eri vaihtoehtojen vertailu pohjautuu tässä työssä pääosin teknis-taloudelliseen lähestymistapaan. Tekninen lähestymistapa luonnollisesti pitää sisällään erilaisten laitteistojen vertailua vaihtoehtojen välillä, mutta olennainen osa uuden pullotuslaitoksen toimivuuden ja käytettävyyden arvioinnissa pohjautuu myös laitoksen sijoittumiseen ja layoutin toimivuuteen.

Nyt suunniteltavalle pullotuslaitokselle on sijoittumispaikka tehdasalueelle jo valittu. Tämä asettaa suunnittelulle tietyt rajoitukset, koska ensinnäkin tilaa ei ole käytettävissä rajattomasti ja toiseksi, valittu sijoituspaikka on tietyn mallinen ja omaa tietyt mitat. Uuden pullotuslaitoksen sijoittumisessa huomioon otettavia tärkeimpiä näkökohtia ovat olleet laitoksen sijoittuminen nykyisen vetytehtaan ja vetykonttien täyttöpaikan läheisyyteen,

tyhjien ja täysien vetypullojen ja –pullopatterien varastointipaikan läheisyys, tonttimaan tehokas käyttö, alueen turvallisuusnäkökohdat ympäröivät toimijat huomioiden sekä alueen logistiset näkökohdat.

Kuva 5. Uuden pullotuslaitoksen sijoittuminen tehdasalueelle

Kuva 6. Uudelle pullotuslaitokselle varattu tyhjä osa tontista

Lähtökohtaisesti minkä tahansa tuotantolaitoksen layoutilla on merkittävä vaikutus niin laitoksen tuotantokustannuksiin, välivarastoihin, läpimenoaikoihin kuin tuottavuuteenkin. Hyvin suunnitellulla tuotantolaitoksen layoutilla voidaan tuotantokustannuksia pienentää jopa 50 % ja näin ollen vaikutus suuremman tehdaskokonaisuuden toimivuuteen ja kannattavuuteen voi olla merkittävä (Drira et al., 2007). Myös Matlock ja Coulter (2006) ovat osoittaneet, että tehtaan layoutin toimivuus on tehokas keino parantaa nimenomaa kaasuyhtiöiden kannattavuutta ja pienentää toiminnan kiinteitä kustannuksia.

3.4 Vedyn pullotuslaitoksen turvallinen operointi

Turvallinen työskentely ja tapaturmien ehkäiseminen ovat usein tärkeimpiä mittareita kemianteollisuudessa ja sitä ne ovat myös Woikoskella. Vaarallisten kaasujen ja kemikaalien kanssa työskentely asettaa jo lähtökohtaisesti omat haasteensa päivittäiselle toiminnalle, riskien arvioinnille sekä työntekijöiden perehdytykselle. EIGA:n mukaan kaasuteollisuuden pullotuslaitosten operoinnissa tapahtuu noin 30 % alan poissaoloon johtaneista tapaturmista (EIGA, 2003). Tästä syystä uuden pullotuslaitoksen suunnittelun tärkeimpiin tehtäviin kuuluu myös laitoksen riskien kartoittaminen turvallisuusnäkökulmasta. Alueella liikkuminen ja tuotannon virtaussuuntien suunnittelu siten, että ihmisten ja koneiden kohtaamiset minimoidaan sekä työskentelyn ergonomiset näkökohdat ovat vain osa huomioon otettavista turvallisuusseikoista yksityiskohtaista suunnitelmaa luotaessa.

Pullotuslaitoksen operointiin liittyy siis useita erilaisia turvallisuusriskejä. Esimerkiksi pullojen ja pullopatterien siirtelyyn ja lastaukseen/purkamiseen liittyy useita riskejä, joissa osatekijöinä voivat olla muun muassa alueen sisäinen trukkiliikenne, korkeat nostot, pullojen kaatuminen tai alueella liikkuvien ihmisten loukkaantuminen. Samankaltaisia riskejä voi liittyä myös pullojen käsittelyyn, täyttötoimintaan itsessään sekä laitoksen ja kaasupullojen kunnossapitoon ja testaukseen. Vaaralliset kemikaalit, korkeat paineet ja pahimmassa tapauksessa huolimattomuus voivat aikaansaada suurta vahinkoa. Tyypillisimpiin kaasuteollisuudessa sattuneisiin tapaturmiin voidaan lukea käsi- ja jalkavammat, päävammat sekä muut sisäiset vammat, jotka yleensä syntyvät viilloista, iskuista ja hiertymistä (EIGA,

2003). Kokkolan tehtaillakin on käytössä useita riskien arviointiin ja tapaturmien ehkäisemiseen tähtääviä työkaluja, kuten muutoksen hallinta, työlupakäytäntö ja turvallisuuskierrokset. Kaikkien turvallisuusjärjestelmien jälkeenkin vastuu turvallisesta työskentelystä jää käytännössä aina kuitenkin lopulta yksilön vastuulle.

Yksi tärkeimmistä, ellei tärkein, turvallisuuteen vaikuttava tekijä onkin ihmisen käyttäytyminen. Vuorotyö, usein toistuvat rutiininomaiset tehtävät sekä näiden myötä väsymys ja tylsistyminen ovat riskitekijöitä turvalliselle työskentelylle. Työnantajan tärkeimpiä tehtäviä onkin työntekijöiden perehdyttäminen sekä motivointi kehittämään omaa työtään, keskusteleminen sen mahdollisista riskeistä sekä siitä, kuinka näitä riskejä voidaan kunkin työntekijän toimesta poistaa. Palautteen ja tunnustuksen antaminen työntekijän hyvästä työstä sekä esimerkiksi työtehtävien itsenäisyyden lisääminen ovat hyviä keinoja työmotivaation ja siten esimerkiksi turvallisuuskulttuurin kehittämisen näkökulmasta. Tehtävä ei ole missään nimessä helppo, mutta sitä tulisi jokaisen esimiehen ja työnantajan jaksaa väsymättä tehdä.

4 VEDYN TURVALLINEN KÄYTTÖ

4.1 Vety aineena

Vety on maailmankaikkeuden yleisin alkuaine ja on siten hyvin laajasti käytössä useissa sovelluksissa jo tänä päivänä. Vedyn tärkeys tulevaisuuden polttoaineena on kuitenkin koko ajan vahvistumassa ja uusia käyttösovelluksia sekä valmistustapoja kehitetään jatkuvasti johtuen etenkin globaalista tarpeesta siirtyä fossiilisten polttoaineiden käytöstä uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämiseen.

Vedyn yleisimpiä valmistusmenetelmiä ovat höyryreformointi maakaasusta sekä elektrolyysimenetelmä, jossa vety ja happi erotetaan sähkövirran avulla vedestä. Vedyn suosio perustuu sen kykyyn sitoa suuria määriä energiaa massayksikköä kohti, mutta vedyn

varastoinnin ja toimittamisen näkökulmista huonompi ominaisuus on sen kyky sitoa vähän energiaa tilavuusyksikköä kohti, jolloin varastointi- ja kuljetusyksikköjen suuret koot nousevat helposti käytännöllisyyden ja kannattavuuden näkökulmista liian suuriksi. Tyypillisesti tätä haastetta voidaan yrittää ratkaista paineistamalla vetykaasu esimerkiksi 200 - 300 bar:n paineeseen, kuten Woikosken Kokkolan tehtaalla toimitaan.

Kuten Dagdougui et al. (2010) on todennut, usein vety kuljetetaan tuotantolaitokselta loppuasiakkaalle joko välivarastoitavaksi tai suoraan asiakkaan kulutuskohteeseen putkistoja pitkin. Putkitoimitus onkin toistaiseksi osoittautunut kustannustehokkaimmaksi vedyn toimitusmenetelmäksi erityisesti laajassa mittakaavassa. Erityyppisten toimitusketjujen eri vaiheista aiheutuu kuitenkin vedyn ominaisuuksista johtuen monia riskejä toimitusketjuun ja siitä syystä jokainen ketjun osa tuleekin erikseen arvioida mahdollisten riskien näkökulmasta.

Vedyn valmistuksella ja käytöllä on prosessiteollisuudessa pitkät perinteet. Petrokemian-, elektroniikka-, elintarvike- ja metalliteollisuus ovat jo pitkään hyödyntäneet vetyä valmistusprosesseissaan ja siten kerryttäneet käytännön kokemusta niin vetyturvallisuudesta kuin vedyn ainutlaatuisista ominaisuuksistakin. Vety on siis kuitenkin enenevässä määrin tulossa tutuksi myös kuluttajamarkkinoille polttokennotekniikan kehityksen myötä. Vetyautot ja vetybussit ovat yleistymässä liikennekäytössä etenkin useissa Keski-Euroopan maissa. Tästä syystä vedyn yleisten ominaisuuksien ja vetyturvallisuuden ainakin osittainen tunteminen on tulossa yhä useampien ihmisten arkeen (Saffers et al., 2014).

Vety ei aineena ole sen turvallisempi tai vaarallisempi kuin muutkaan polttoaineet, mutta sen turvallisessa käytössä tulee huomioida vedyn tärkeimmät ominaisuudet ja vaarat. Vetykaasu on väritön, hajuton, mauton sekä laajalla pitoisuusalueella (4 – 75 tilavuus-% ilmassa) syttyvä kaasu. Vedyn tärkeimmistä ominaisuuksista sen pieni tiheys (0,0873 kg/m^3 NTP:ssa) asettaa tiettyjä vaatimuksia vedyn valmistukselle ja käytölle, sillä pienestä tiheydestä johtuen vety pääsee suhteellisen helposti vuotamaan pienistäkin halkeamista tai liitoskohdista. Palaessaan vety muodostaa kuuman, sinertävän tai lähes näkymättömän liekin, joka myös osaltaan vaikeuttaa vuotojen havaitsemista. Vedyn syttymiseen tarvittava

energia on hyvin pieni (0,017 mJ) ja tämä yhdistettynä laajaan syttymispitoisuusalueeseen mahdollistaa vedyn herkän syttymisen. (Saffers et al., 2014).

Vuototilanteessa vety nousee ilmaa kevyempänä kaasuna ylöspäin. Vuotavan vetykaasun kertyessä katon rajaan ja tilan ollessa suljettu, kipinän aikaansaama leimahdus ja räjähdys voi olla erittäin voimakas ja aikaansaada suurta tuhoa. Rodgers et al. (2010) onkin todennut tuuletuksen olevan todennäköisesti tärkein vetyturvallisuutta parantava yksittäinen tekijä. Barleyn ja Gawlikin (2009) mukaan jopa painovoimainen ilmanvaihto voi pienentää vetypitoisuutta riittävästi, jotta jopa suurehkot vetyvuodot laimentuvat turvalliselle tasolle. Avoin ilmanvaihtoventtiili oikeassa kohdassa voi siis hyvinkin taata riittävän ilmanvaihdon vedyn poistamiseksi tilasta. Vedyn käsittely- ja valmistustilojen onkin syytä olla varustettu myös turvatoiminnoilla kuten vetyhaistelijoilla, riittävällä tuuletusmahdollisuudella ja sähkölaitteiden maadoituksella. Myös vetyprosessien turva-automaatiolla on suuri merkitys turvallisen operoinnin takaamiseksi. Turva-automaation toiminnallisuudet määrittelevät esimerkiksi sen, milloin jokin prosessiin määritelty raja-arvo aikaansaa tehtaan automaattisen alasajon. Tyypillisimpinä esimerkkeinä yleisesti ottaen jonkin prosessin osan liian alhainen paine, liian korkea lämpötila tai vaikkapa vetytehtaan tapauksessa liian korkea happipitoisuus tuotevedyssä.

Vetypullojen ja -konttien täyttötoimintaan liittyvien henkilöiden on erittäin tärkeää tuntea vedyn ominaisuudet, toimintaan liittyvät riskit sekä pyrkiä ennakoimaan näiden riskien realisoituminen vaaratilanteeksi tai jopa onnettomuudeksi saakka. Tästä syystä operaattorien on tärkeää tietää esimerkiksi kuinka pullotusprosessi keskeytetään hätätilanteessa ja välttää vedyn sekoittumista hapettavien kaasujen kanssa räjähdysherkän seoksen syntymisen estämiseksi. Myös perusasioista, kuten kaasupullojen oikeasta säilytyksestä ja korkkien kiinnityksestä tulee aina huolehtia pullojen kaatumisen ja venttiilien vikaantumisen välttämiseksi (EIGA, 2018).

4.2 Vedyn varastointi

Vedyn varastoinnin tarkoituksena on pakata tämä pienitiheyksinen molekyyli mahdollisimman lähelle toisiaan ja siten saavuttaa suurin mahdollinen tiheys tilavuuden suhteen. Vedyn varastointi tarkoittaa siis käytännössä suuren vetykaasumäärän pakkaamista huomattavasti pienempään tilavuuteen. Ympäristön lämpötilassa ja ilmakehän paineessa 1 kg vetykaasua vie 11 m^3 tilavuuden. Vedyn tiheyden kasvattamiseksi vetyä voidaan joko komprimoida korkeampaan paineeseen, laskea vedyn lämötilaa alle kriittisen lämpötilapisteen eli nesteyttää vety tai saattamalla vety kontaktiin eri metallien kanssa ja muodostamalla näin erilaisia metallihydridejä (Zuttel, 2003).

Vedyn varastointia teollisessa mittakaavassa ja korkeassa paineessa on harjoitettu jo 1800 -luvun loppupuolelta saakka. Ensimmäiset teräksestä valmistetut, vedyn varastointiin tarkoitetut paineastiat kykenivät pitämään noin 120 bar:n paineen. 1960 -luvulle tultaessa teräksisten kaasupullojen kehitys salli 150 bar:n paineen ja nykyiset pullot kestävät tyypillisesti jo 200 bar:n ja 300 bar paineita. Komposiittipullojen kehitys puolestaan on alkanut 1950 -luvulla ja materiaali- sekä rakennekehityksen myötä näillä pulloilla päästään jo samankaltaisiin paineisiin kuin teräksisillä pulloillakin (Barthelemy, 2012).

Vedyn kaupallisen jakelun alkuvaiheet sijoittuvat myös 1900 -luvun alkupuolelle, jolloin kaasuhitsaus alkoi yleistyä. Vety paineistettiin ja sitä kuljetettiin teräspulloissa tai pienissä säiliöissä joko autoilla tai rekoilla. Vedyn kuljettamisen perusperiaatteet ovat säilyneet hyvin pitkälle saman kaltaisina tähän päivään, mutta jatkuvasti kasvava tarve vedylle on johtanut yhä suurempien ja hienostuneempien kuljetusyksiköiden käyttämiseen niin maantie- kuin rautatiekuljetuksissakin. Yritykset myös käyttävät usein kuljetusyksiköitään varastointitarkoitukseen asiakkaan sovelluskohteessa tai käyttävät vaihtoehtoisesti kiinteitä varastosäiliöitä asiakaskohteessa. 1970 -luvun loppupuolella niin Euroopassa kuin Pohjois-Amerikassakin havaittiin lukuisia vedyn vuototapauksia ja jopa vuotojen aikaansaamia räjähdyksiä niin kuljetus- kuin varastointiyksiköissäkin (EIGA, 2020).

Materiaalien sopivuuden näkökulmasta suurimmat haasteet vedyn varastoinnissa liittyvät vedyn kykyyn haurastuttaa terästä. Tämä ilmiö johtaa teräksen jännityskorroosioon ja halkeamiin teräksen rakenteessa sekä ennen pitkää varastosäiliön halkemiseen ja mahdolliseen räjähdykseen. Vedyn varastointiin tarkoitettuihin säiliöihin onkin kehitetty erityyppisiä polymeerejä kuten polyetyleeni ja polyamidi, joita voidaan käyttää vetyvarastojen vuorauksissa estämään vedyn tunkeutumista perusmateriaaliin tai vuorauksen ja komposiittirakenteen väliin. Vedyn teollinen varastointi vaatiikin huolellisista analyysiä lopullisen materiaalivalinnan tekevältä henkilöltä (Barthelemy, 2012).

Erilaisia vedyn varastointitapoja on useita, yleisimpinä voidaan mainita korkean paineen hyödyntäminen eli komprimoitu vetykaasu, kryogeenisen nestemäisen vedyn varastointi, kiinteä olomuoto sekä elektrokemiallinen varastointi. Tyypillisimpiä esimerkkejä elektrokemiallisesta vedyn varastoimisesta lienevät polttokennosovellukset (Kaur et al., 2019). Tehokkaita vedyn varastointimuotoja on kehitetty jo vuosikymmeniä. Tutkimus aiheen ympärillä oli pitkään keskittynyt autoteollisuuden tarpeeseen löytää turvallinen ja tehokas vedyn varastointimuoto. Viimeisen kymmenen vuoden aikana tutkimus on kuitenkin painottunut enemmän globaalisti uusiutuvan energian tarpeen näkökulmasta vedyn kemialliseen varastointiin ja vedyn ominaisuuteen sitoa suuri määrä energiaa itseensä (Hirscher et al., 2020). Tutkimuksessa on otettu tärkeitä edistysaskeleita muun muassa materiaalikehityksen ja vedyn varastointikonseptien näkökulmasta, mutta yhtä ainoaa tehokasta ratkaisua vedyn varastoinnin ratkaisemiseksi ei vielä toistaiseksi ole löydetty. Esimerkkejä näistä kehitysaskeista ovat esimerkiksi tutkimus huokoisten materiaalien soveltuvuudesta vedyn varastointiin sekä kemiallisten ja metallihydridien hyödyntäminen vedyn sitoutumisessa ja uudelleen vapauttamisessa (Ren et al., 2016).

Hyvä esimerkki uusien varastointimuotojen hyödyntämisestä on EU -rahoitteinen yhteistyöprojekti Oy Woikoski Ab:n, VTT:n ja saksalaisen Hydrogenius LOHC Technologies GmbH:n kesken. Projektissa Woikosken Kokkolan tehtaalla valmistettu kaasumainen vety imeytetään nestemäiseen väliaineeseen ympäröivässä ilmanpaineessa, kuljetetaan konteilla VTT:n Espoon Bioruukki -testauskeskukseen ja vapautetaan väliaineesta siellä. Vapautettu väliaine puhdistetaan testauskeskuksessa ja sen puhtauden

tulee olla riittävä käytettäväksi polttoaineena vetyautossa. Jos koeajoissa onnistutaan myös jatkossa, tulevaisuudessa vety tultaisiin vapauttamaan suoraan vetyautojen tankkauskohteessa käytettäväksi välittömästi äärimmäisen puhtaana polttoaineena (Oy Woikoski Ab, 2021).

4.3 Vetyputkiston rakentamisen ja operoinnin näkökohtia

Vedyn käsittelyssä ja valmistuksessa oikeilla materiaalivalinnoilla on hyvin kriittinen merkitys. Vedyn korkea diffuusiokyky, pieni molekyylipaino ja matala viskositeetti vaikuttavat osaltaan vedyn vuotoherkkyyteen ja lisäksi sopimattomien materiaalien käyttäminen voi johtaa materiaalien haurastumiseen (Saffers et al., 2014).

Vedyn käyttöön soveltuvat putkistot jaetaan usein maanpäällisiin ja maanalaisiin putkistoihin vaadittavien ominaisuuksien mukaan. Myös olosuhteet, joissa vetyä käsitellään tai siirretään putkistoja pitkin, määrittävät valittavien materiaalien ominaisuuksia. Tärkeimpiä huomioon otettavia olosuhteita ovat vedyn faasi, lämpötila, paine ja konsentraatio. Yleisesti ottaen, kaikkien maanpäällisiin vetysovelluksiin käytettävien putkistojen tulee olla valmistettu hyvien mekaanisten valmistuskäytäntöjen mukaisesti ja hitsattuja liitoksia tulee käyttää aina kun mahdollista. Putkistojen käsittelyä esimerkiksi maalaamalla tulee harkita jos ympäröivät olosuhteet voivat altistaa eristämättömät putkistot ulkopuoliselle korroosiolle. Lisäksi riittävän maadoituksen järjestämisestä tulee huolehtia staattisen sähkön tai mahdollisen salamaniskun varalta. (EIGA, 2014). Eri metalliseosten ja esimerkiksi tiivistemateriaalien käyttämiseen kussakin kohteessa on olemassa omat suosituksensa riippuen käsiteltävän vedyn ominaisuuksista. Kokkolan tehtaalla vetyputkistot on valmistettu poikkeuksetta haponkestävästä teräksestä ja esimerkiksi putkistojen venttiililiitokset pyritään valmistamaan aina hitsattuina liitoksina.

EIGA:n suosituksen mukaan ennen vetyputkiston rakentamisen aloittamista, tulisi rakennettavalle putkistolle ja laitteistolle suorittaa aina riskin arviointi. Riskin arvioon voidaan sisällyttää lukuisia tekijöitä riippuen muun muassa sijoituspaikasta. Tällaisia tekijöitä voivat olla esimerkiksi putkistolle aiheutuva ylipaine, riittämättömän inertoinnin

vaikutukset tai ajoneuvon törmäyksen aiheuttamat riskit (EIGA, 2014). Vetyputkistojen rakentamisessa tulee lisäksi huomioida muun muassa kunkin alueen muut ympäröivät olosuhteet, kuten riittävät suojaetäisyydet, mahdolliset vetyputkistolle aiheutuvat kemikaalialtistukset sekä EX –luokituksen tarve. Luonnollisesti tärkeä osa riskin arviointia ovat prosessi- ja laiteturvallisuuteen liittyvät työkalut kuten HAZOP- ja SIL –arvioinnit. Ennen vetyputkiston käyttöönottoa tulee putkistolle aina suorittaa riittävä puhdistus sekä hyväksytty painekoe.

Laajempien vetyjärjestelmien turvallinen käyttö vaatii aina seurantaa, niin jatkuvatoimisesti esimerkiksi pitoisuusmittauksin kuin silmämääräisesti ihmisen toimestakin. Turvallisen operoinnin näkökulmasta säännöllisten silmämääräisten vuototarkistusten tekeminen tulisikin kuulua rutiininomaisesti kunkin laitoksen kunnossapitojärjestelmään. Kaasumaisen vedyn vaikeasta havaittavuudesta johtuen myös esimerkiksi ääneen perustuvan vuototarkastuksen tekeminen säännöllisin väliajoin olisi suositeltavaa. Vedyn vuotoherkkyyden näkökulmasta inertointikaasun, yleisimmin typen, saatavuus tulisi aina varmistaa joko manuaalisesti tai prosessiautomaation keinoin.

II SOVELTAVA OSA

5 SUUNNITTELUN PERUSTEET

Uuden pullotuslaitoksen suunnitteluun haluttiin lähtökohtaisesti mukaan useampi vaihtoehto valinnan tueksi. Vaihtoehdot poikkeavat toisistaan niin teknisten toteutusten kuin investointikustannustenkin osalta merkittävästi. Pullotustoiminnan ollessa tässä vaiheessa vielä määriltään suhteellisen maltillista, ei suunnitteluun haluttu mukaan kaikista automatisoiduimpia ja kehittyneimpiä ratkaisuja, vaan vaihtoehdot on yritetty rajata ikään kuin seuraavan luonnollisen kehitysaskeleen näkökulmasta. Jos pullotustoiminta tulevaisuudessa kasvaa, ovat tilat tällöin ainakin jossain määrin laajennettavissa suuremmalle kapasiteetille. Myös laitteistot, kuten yksittäisten pullojen täyttöpiste, ovat muunnettavissa kehittyneemmälle automaation tasolle kohtuullisin kustannuksin.

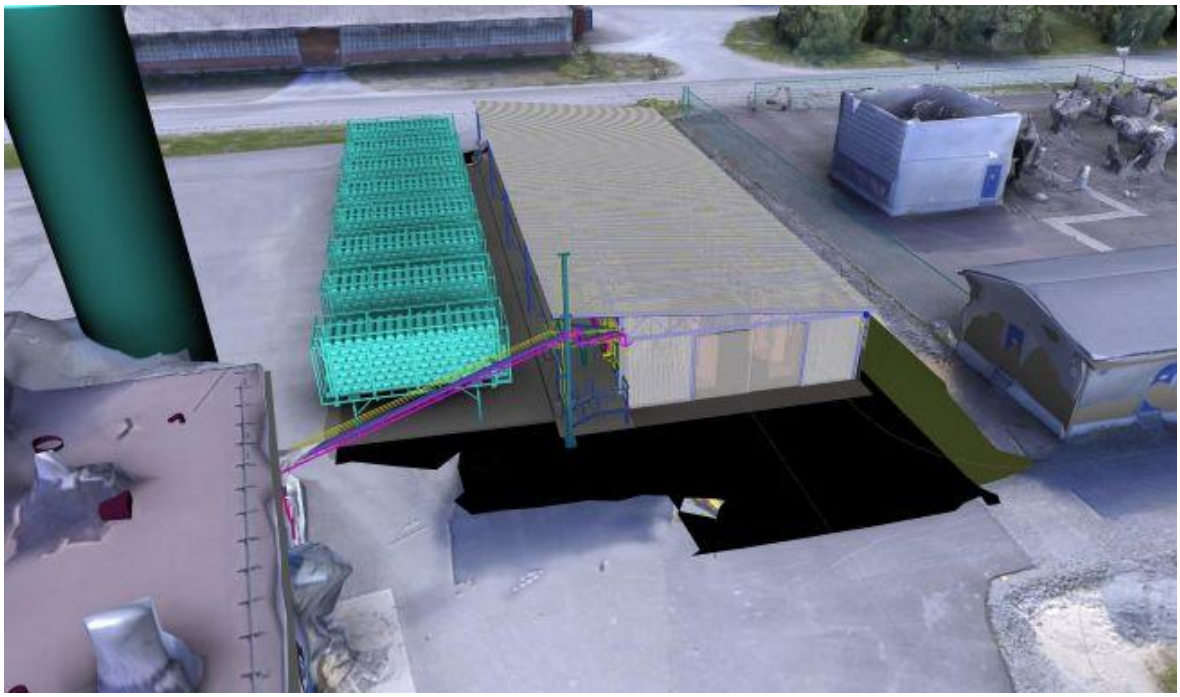
Kuten kirjallisessa osassa on kerrottu, vedyn varastoimiseen ja kuljettamiseen on olemassa jo kehittyneempiäkin vaihtoehtoja. Monet näistä vaihtoehdoista ovat kuitenkin vielä testaus ja koeajovaiheessa, esimerkkinä Kokkolan tehtaalla käytössä oleva vetykaasun imeyttäminen (LOHC) väliaineeseen. Toistaiseksi vedyn varastoimiseksi ja kuljettamiseksi suhteellisen pienissä määrissä ei ole kehitetty parempaakaan keinoa kuin pullottaminen korkeassa paineessa. Tästä syystä asiakkaiden tuotteen vastaanottoon ja käyttöön liittyvät menettelyt ja toiminnot on aina rakennettu vastaamaan toimitusmuotoa. Uuden pullotuslaitoksen suunnittelun perusteissa on siis haluttu pysyä perinteisissä, jo olemassa olevissa ja asiakkaan näkökulmasta toimiviksi havaituissa tavoissa. Uusia vedyn varastointi ja kuljetusmenettelyitä kuitenkin kehitetään koko ajan, myös Woikosken ollessa eturintamassa tässä työssä. Toistaiseksi uudet sovellutukset ovat kuitenkin siis enimmäkseen testivaiheessa, eikä niitä siksi ole haluttu tässä työssä ottaa mukaan realistisina toteutusvaihtoehtoina.

6 PULLOTUSLAITOKSEN TOTEUTUSVAIHTOEHTOJEN ESITTELY

6.1 Vaihtoehto 1

Vaihtoehdossa 1 koko käytettävissä oleva alue suunnitellusta sijoituspaikasta on pyritty kattamaan säältä suojaan (kuva 7). Teknisesti tässä vaihtoehdossa ollaan jatkettu olemassa olevaa peltikatosta, jolloin on saatu aikaiseksi noin 10 metriä leveä ja noin 34 metriä pitkä, katettu tuotanto- ja varastointitila. Rakennuksen runkorakenne on valmistettu teräksestä ja sähkökeskuksen puoleisella pitkällä sivulla on seinän alaosa valmistettu noin metrin korkuisena betonivaluna. Päätyaukkojen ja pitkien sivujen suojana voidaan käyttää esimerkiksi valokatetta sekä kulkuaukkojen suojaus voidaan järjestää esimerkiksi liukuovilla. Tässä suunnitelmassa rakennuksen molemmat päädyt toimivat kulkuaukkoina ja pääosa keskelle jäävästä kulkuväylästä on noin viisi metriä leveä. Kulkuaukon ja tuotantotilan työskentelykorkeus on noin kolme metriä.

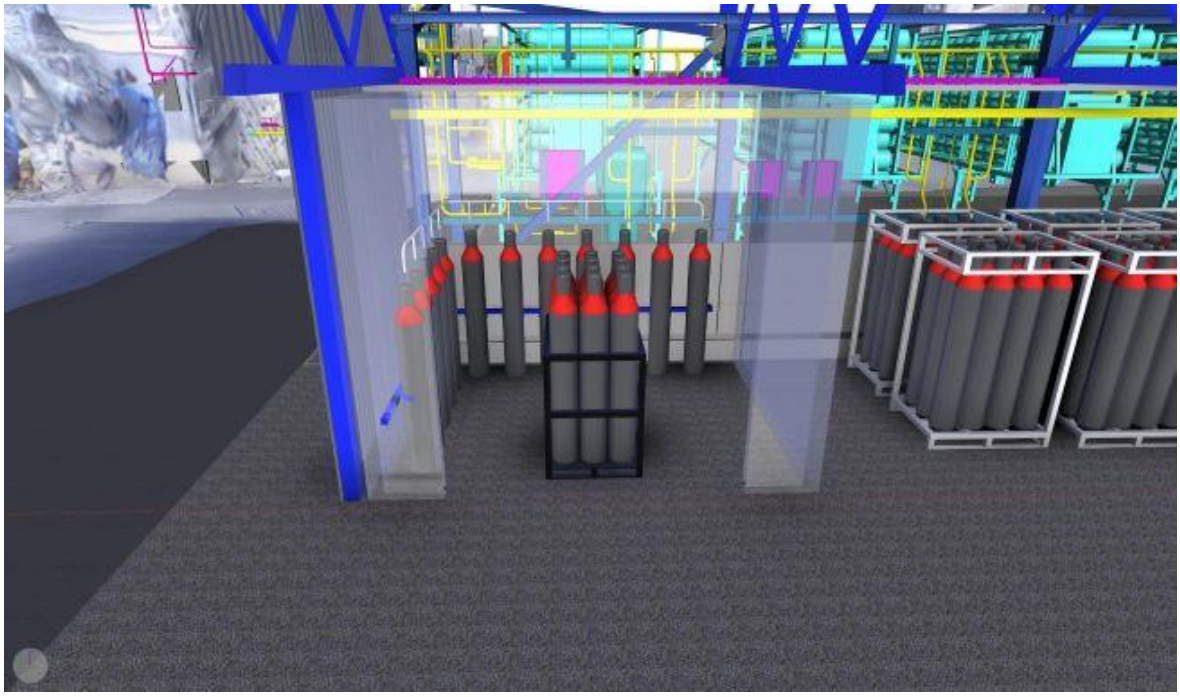
Kuva 7. Vaihtoehto 1 sijoittuminen



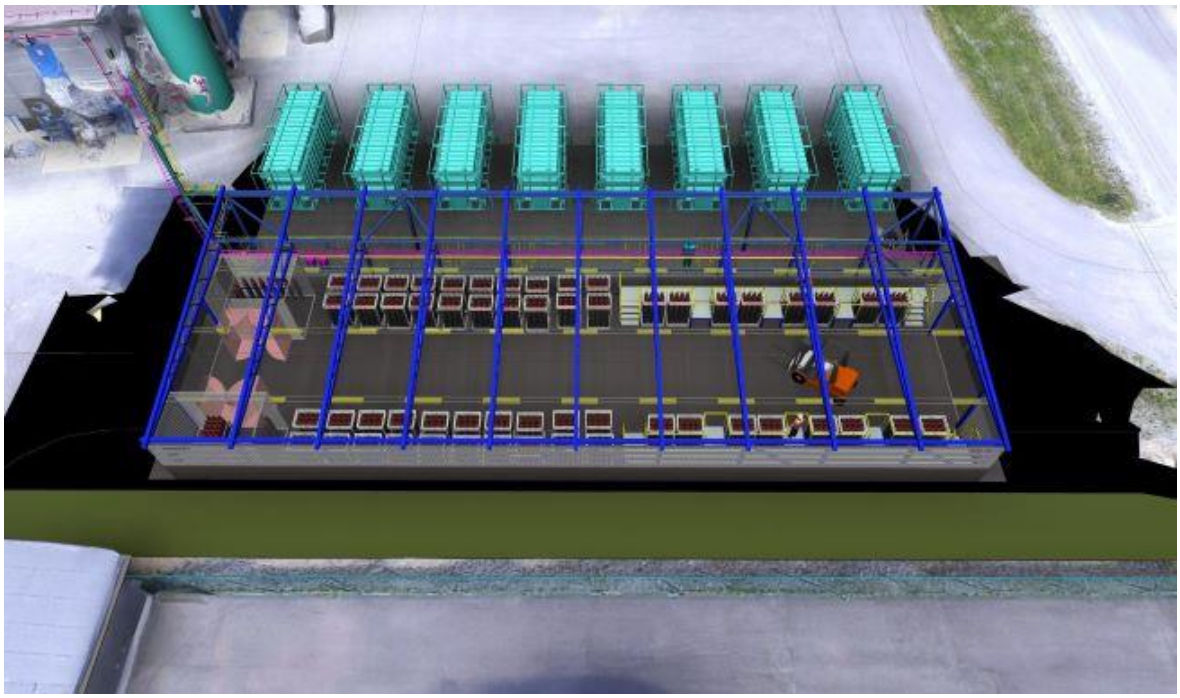
Kuva 8. Vaihtoehto 1 vetytehtaan suunnasta kuvattuna

Kuva 9. Vaihtoehto 1 kuvattuna vetytehtaan suuntaan

Rakennuksen vetytehtaan puoleiseen päätyyn, kuljetuskonttien puoleiselle pitkälle sivulle, on suunniteltu yksittäisten pullojen täyttämiseen varattu, seinillä ja ovilla suljettu, noin 10 m^2 koppi (kuva 10). Tätä koppia vastapäätä on varattu suurin piirtein saman kokoinen, seinillä ja ovilla suljettava alue pullojen preparointilaitteistolle (Kuva 11). Preparointitila voidaan vaihtoehtoisesti sijoittaa myös vastakkaiselle puolelle rakennusta eli esimerkiksi yksittäisten pullojen täyttöön tarkoitetun kopin viereen. Rakennuksen Rantalaiturintien puoleisessa päädyssä pullopatterien täytölle on varattu noin 15 metrin leveydeltä tilaa molemmin puolin pitkiä sivuja. Loppuosa pitkillä sivuilla olevasta tyhjästä tilasta on ajateltu toimivan tyhjien ja täysien pullopatterien ja pullojen väliaikaisena säilytystilana.



Kuva 10. Vaihtoehto 1 yksittäisten pullojen täyttökoppi



Kuva 11. Vaihtoehto 1 pohjapiirustus

Tässä toteutusvaihtoehdossa pullopatterien täyttöpisteitä tulisi alkuvaiheessa rakennettavaksi kahdeksan kappaletta, joihin kuhunkin mahtuu kaksi patteria kerrallaan, yhteensä täytössä olisi siis 16 pullopatteria kerrallaan. Täyttöpisteiden ja ulkoseinien väliin rakennetaan noin 70 cm korkea kulkusilta, samoin kunkin täytössä olevan patteriparin molemmille puolille tulee asennettavaksi kulkusillan tasoon työskentelytaso, jotta patterien päällä operointi eli käytännössä täyttöpäiden kiinnitys/irrotus sekä vuototarkastuksen suorittaminen voitaisiin tehdä mahdollisimman turvallisesti ja ergonomisesti.

Rakennukseen tulevat vetylinjat tuodaan sisään olemassa olevan runkolinjan haarasta ja päälinjat kulkevat molemmin puolin rakennuksen pitkiä sivuja. Työskentely rakennuksen sisällä eli pullopatterien ja pullojen liikuttelu tapahtuu pääasiassa trukilla, mutta täyttöpäiden kiinnitys ja esimerkiksi venttiilien operointi tapahtuu lähtökohtaisesti aina käsin. Trukilla työskentely vaatii tarkkaavaisuutta etenkin, koska kulkuväylällä ei ole tilaa millään tavalla liikaa, mutta kääntämiseen tarvittava tila on kuitenkin suunnitelmassa huomioitu ja sen tulisi sujua siis turvallisesti.

Kaasu- tai polttoainetoimisen trukin käyttäminen uudessa tilassa tulee huomioida ennen lopullisen investointipäätöksen tekemistä, koska tila ja sen rakenteet luovat edellytykset sille, kuinka tila tullaan sähköturvallisuus- eli Atex -mielessä luokittelemaan. Jokainen tapaus on aina omanlaisensa eikä tässä vaiheessa suunnittelua luokitteluun ole lähdetty ottamaan mitään kantaa, koska päätöstä tilaluokitukselle joudutaan aina hakemaan kullekin tapaukselle erikseen. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta tähän ja muihinkin vaihtoehtoihin liittyen, että vedyn ollessa kyseessä, riittävä ilmastointi olisi suotavaa tavalla tai toisella järjestää toimintaa rajoittavan ja käytännössä trukin käytön estävän EX –luokituksen välttämiseksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että katon ja seinien rakenne on jätettävä sellaiseksi, että riittävä ilman vaihtuminen voidaan varmistaa. Tästä luonnollisesti seuraa, että tällaista vaihtoehtoa, missä työskentely tapahtuu suurelta osin trukin avustuksella, on mahdoton rakentaa täysin lämpimäksi tilaksi. Toisaalta jo seinillä ja katolla katettu tila on huomattava parannus nykyiseen toimintaan.

Vaihtoehdon 1 kustannusarvio on esitetty taulukossa 1. Kokonaiskustannusarvio olisi siis noin 500 000 euroa sisältäen teräsrakenteiden ja laitteiden suunnittelutyöt, materiaalikustannukset sekä asennustyöt. Vastaavasti kustannusarvioon kuuluvat rakennustekniset työt suunnitteluineen sekä putkistot ja liittyvät laitteet materiaaleineen. Kustannusarviossa ei ole huomioitu optiona olevaa pullojen preparointilaitteistoa tai sille tarkoitettua koppia. Lisäksi arviosta puuttuu esimerkiksi täyttöpäiden hankintahinta, mutta nämä ovat melko pieniä hankintoja kokonaisuuden kannalta, preparointilaitteistoa lukuun ottamatta. Tämän vuoksi kokonaiskustannusarvioon voisi lisätä 10 % sijaan esimerkiksi 20 - 25 % osuuden ennalta arvaamattomille kuluille.

Taulukko 1. Vaihtoehdon 1 kustannusarvio

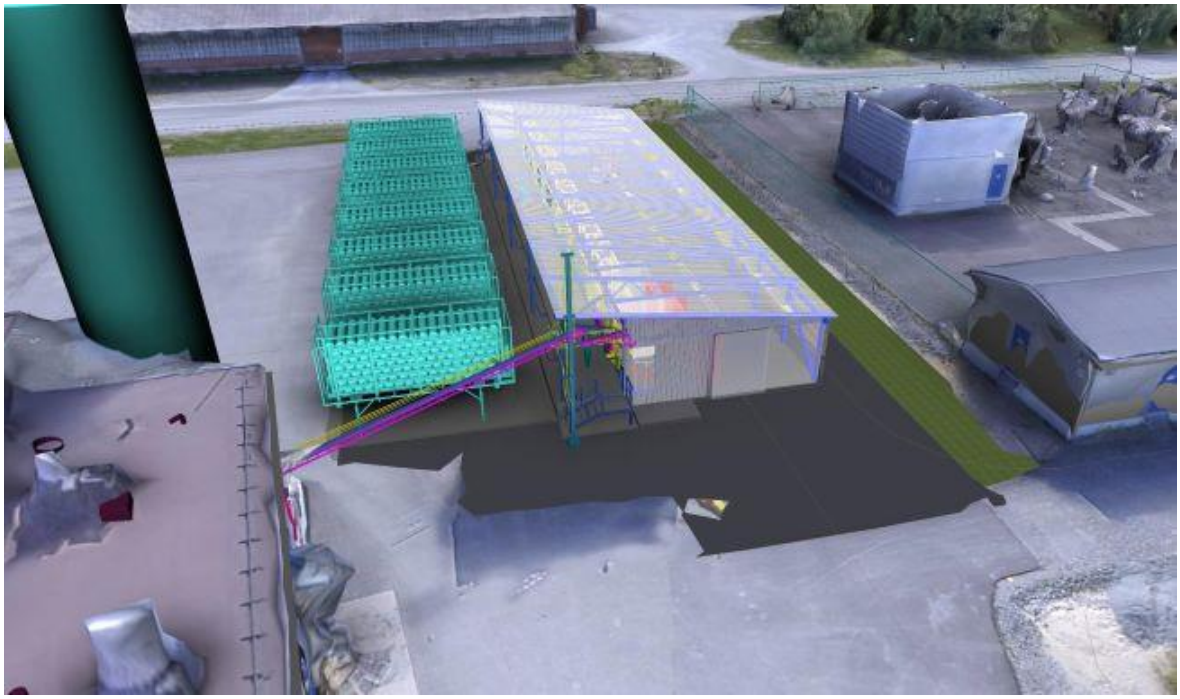
Kohde	Yksikkö	Määrä	Yksikköhinta €	Yht. €	Arvion lähde
1. Teräsrakenteet ja laitteet					
Suunnittelutyöt				18 000 €	Merius
Katoksen ja hoitotasojen teräsrakenne (sis. asennus)	kg	15000	6 €	90 000 €	Merius
2.Rakennustekniset työt					
Rakennustyöt (sis. suunnittelu, rakentaminen, materiaalit yms.)	m2	340	800 €	272 000 €	Idea Structura
3.Putkistot					
Suunnittelutyöt				12 000€	Merius
Putkimateriaalit (Asennettuna)				28 000€	LCP
Venttiilit ja toimilaitteet				30 000€	Starline/Merius
			YHTEENSÄ	450 000€	
Arvaamattomat kulut 10%				45 000€	
			KAIKKI YHTEENSÄ	495 000€	
4.Projektijohto (OPTIO)					
Projektipäällikkö (kokonaisuus)	h	160	70	12 000€	Merius

6.2 Vaihtoehto 2

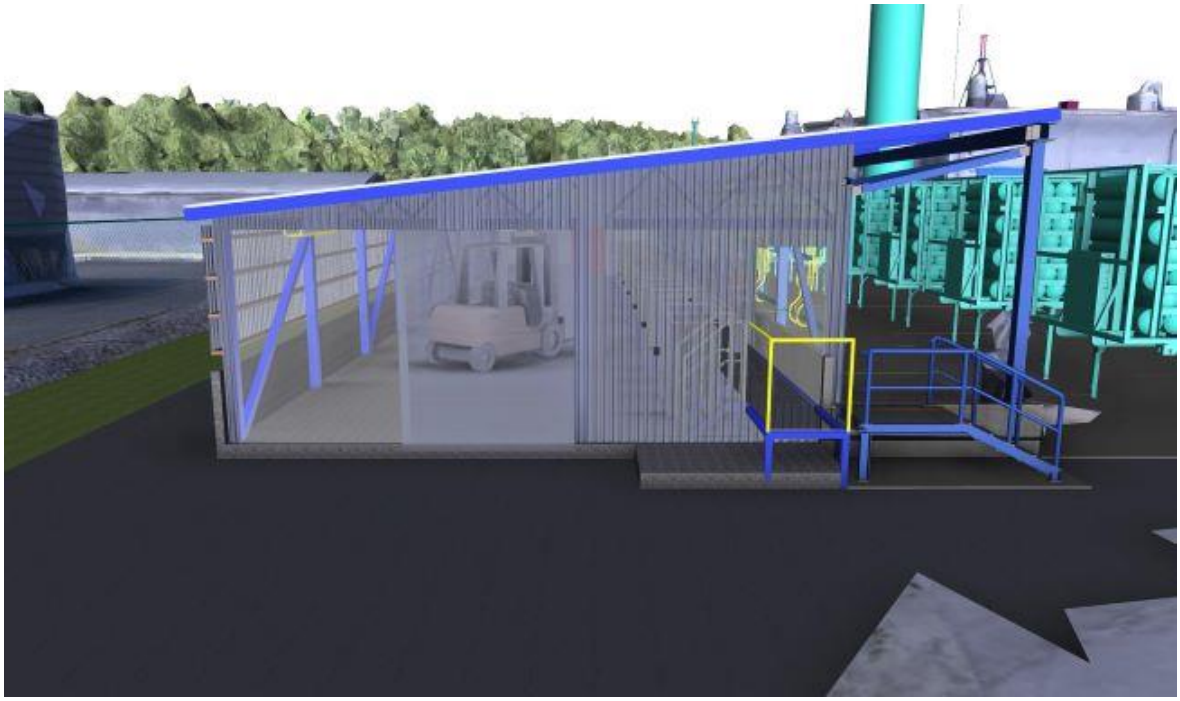
Vaihtoehdossa 2 katettua tuotantotilaa on hieman pienennetty vaihtoehtoon 1 nähden, käytettävissä oleva alue olisi noin 8 m x 34 m. Rakennuksen rakenne olisi vastaava kuin vaihtoehdossa 1 eli teräs/betonirunko päällystettynä peltikatolla ja seinissä olevalla

valokatteella. Myös tässä vaihtoehdossa molemmat päädyt ovat avattavissa ja voivat siten toimia kulkuaukkoina. Tilan sisällä oleva kulkuväylä on hieman edellistä vaihtoehtoa leveämpi, noin kuusi metriä ja työskentelykorkeus on noin kolme metriä.

Kuva 12. Vaihtoehto 2 sijoittuminen

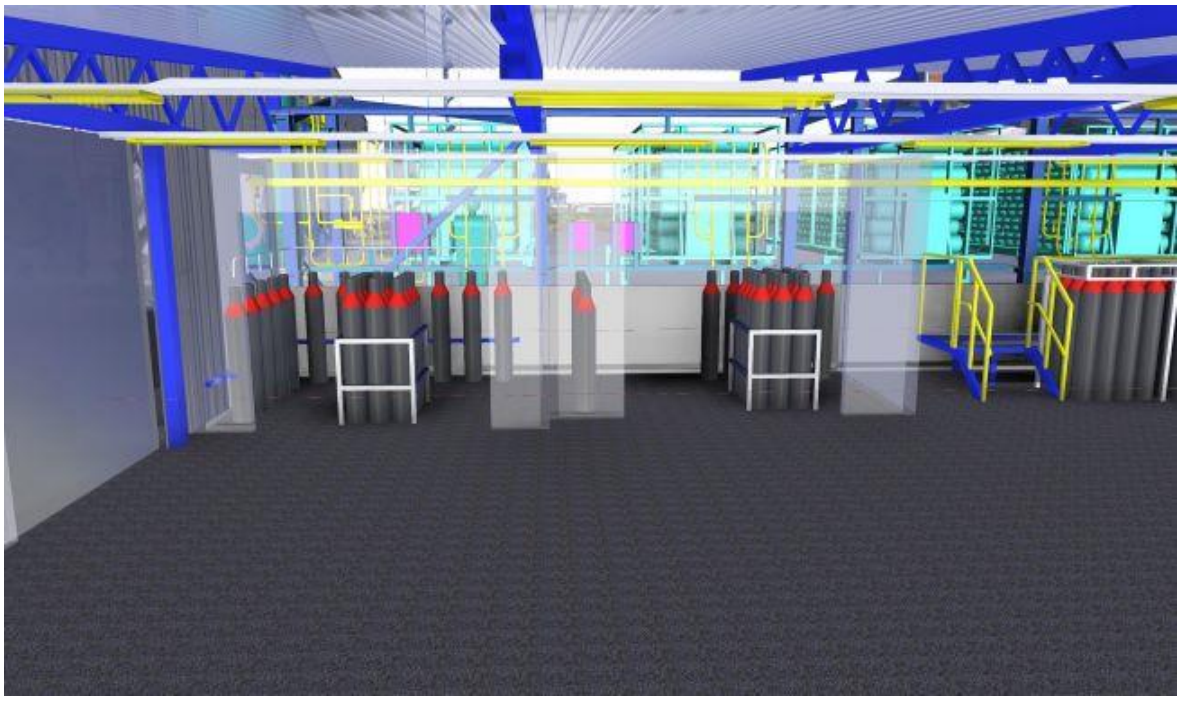


Kuva 13. Vaihtoehto 2 vetytehtaan suunnasta kuvattuna

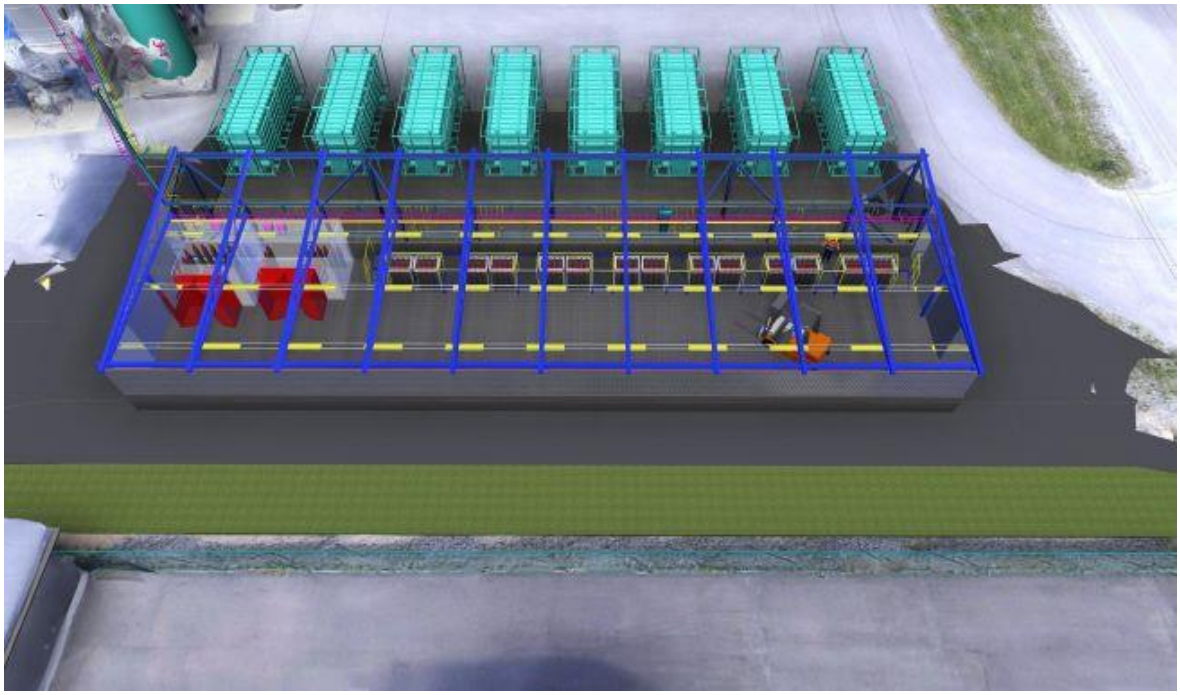


Kuva 14. Vaihtoehto 2 Rantalaiturintien suunnasta kuvattuna

Vetytehtaan puoleiseen päätyyn olemassa olevan lastauslaiturin puolelle sijoittuu tässäkin vaihtoehdossa yksittäisten pullojen täyttökoppi sekä sen viereen pullojen preparointiin tarkoitettu työskentelytila. Samalle pitkälle sivulle on sijoitettu pullopatterien täyttöpisteet kuten vaihtoehdossa 1. Täyttöpaikkoja tässä suunnitelmassa olisi vähemmän, yhteensä seitsemälle patteriparille eli 14 pullopatterille. Vaihtoehtoisesti preparointilaitteistolle suunniteltu tila voitaisiin sijoittaa omana erillisenä tilanaan rakennuksen ulkopuolelle, esimerkiksi yksittäisten pullojen täyttämiseen tarkoitetun täyttökopin toiselle puolelle tai sitä vastapäätä. Tämä kuitenkin tarkoittaisi rakennuksen katetun osan kasvattamista nyt suunniteltuun nähden. Tämä vaihtoehto voi kuitenkin suunnittelun edetessä muodostua varteen otettavaksi vaihtoehdoksi, jos esimerkiksi samanaikaisesti täytössä olevien pullopatterien määräksi halutaan asettaa minimissään 16 kappaletta. Tässä vaihtoehdossa kaikkien tyhjien ja täysien pullojen ja pullopatterien säilytys tapahtuisi kuten tälläkin hetkellä, lastauslaituria vastapäätä olevalla varastokentällä.



Kuva 15. Yksittäisten pullojen täyttökoppi ja preparointitila



Kuva 16. Vaihtoehto 2 pohjapiirustus

Pullopatterien täyttöpisteiden ja seinän välissä kulkee tässäkin tapauksessa kulkusilta ja täyttöpisteiden väliin on sijoitettu työskentelytaso turvallisen operoinnin varmistamiseksi. Rakennuksen vedyn päälinja yhdistyy täyttölaiturilla kulkevaan vanhaan runkolinjaan ja kulkee täyttölaiturin puoleisella seinällä rakennuksen sisällä, josta otetaan haaroitukset kullekin täyttöpisteelle. Vaihtoehdossa 2 työskentely tapahtuu samalla tavalla kuin vaihtoehdossa yksi eli pääosin trukin avustuksella, joten tilan mahdolliseen luokitteluun vaikuttavat asiat tulee tässäkin vaihtoehdossa huomioida. Käytännössä edelliseen vaihtoehtoon verrattuna ainoa muuttuja onkin käytettävissä olevan tilan leveys, sen ollessa tässä vaihtoehdossa noin metrin leveämpi. Tällä on tietysti vaikutusta operaattorien näkökulmasta trukin käsittelyn suhteen.

Taulukossa 2 on nähtävissä vaihtoehdon 2 kustannusarvio. Vaihtoehdossa 2 säästöä syntyy tarvittavien teräs- ja putkistomateriaalien osalta menekin ollessa rakennuksen pienemmästä koosta ja pienemmän täyttöpistemäärän myötä selvästi pienempi. Kokonaiskustannusarvio on noin 430 000 euroa sisältäen samat kokonaisuudet kuin vaihtoehto 1. Myös tähän vaihtoehtoon olisi syytä kasvattaa arvaamattomien kulujen osuutta noin 20-25 prosenttiin.

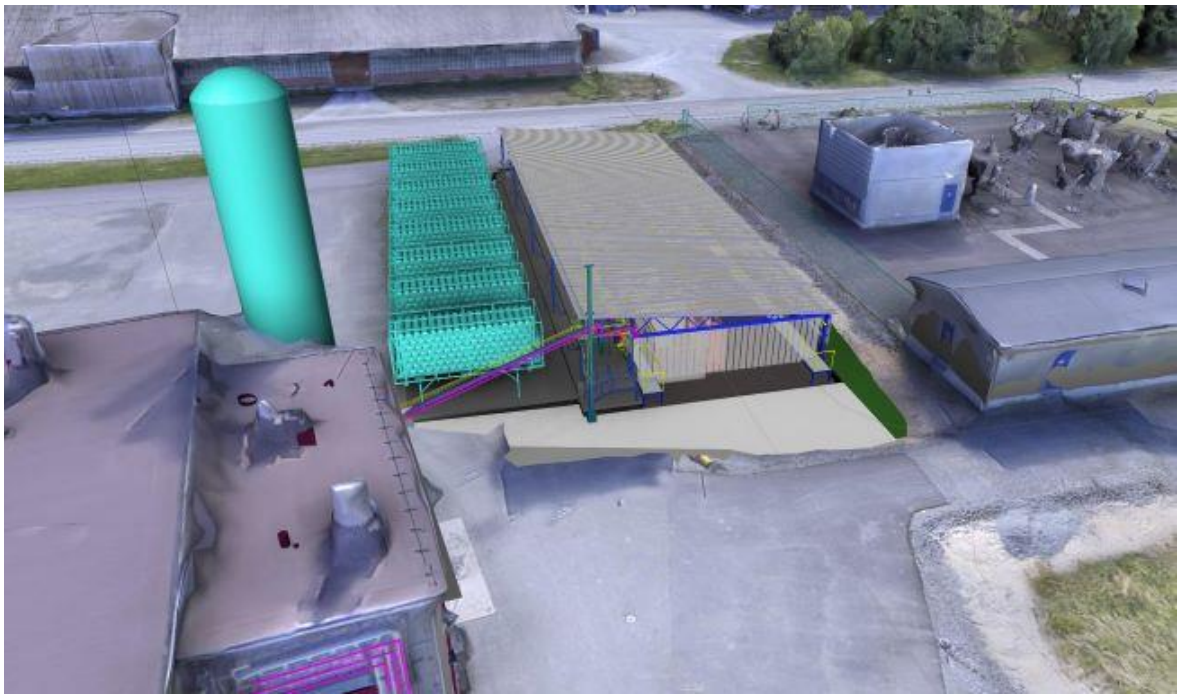
Taulukko 2. Vaihtoehdon 2 kustannusarvio

Kohde	Yksikkö	Määrä	Yksikköhinta €	Yht. €	Arvion lähde
1. Teräsrakenteet ja laitteet					
Suunnittelutyöt				18 000 €	Merius
Katoksen ja hoitotasojen teräsrakenne (sis. asennus)	kg	15000	6 €	84 000 €	Merius
2.Rakennustekniset työt					
Rakennustyöt (sis. suunnittelu, rakentaminen, materiaalit yms.)	m2	340	800 €	224 000 €	Idea Structura
3.Putkistot					
Suunnittelutyöt				12 000€	Merius
Putkimateriaalit (Asennettuna)				26 000€	LCP
Venttiilit ja toimilaitteet				30 000€	Starline/Merius
			YHTEENSÄ	394 000€	
Arvaamattomat kulut 10%				39 000€	
			KAIKKI YHTEENSÄ	433 000€	
4.Projektijohto (OPTIO)					
Projektipäällikkö (kokonaisuus)	h	160	70	12 000€	Merius

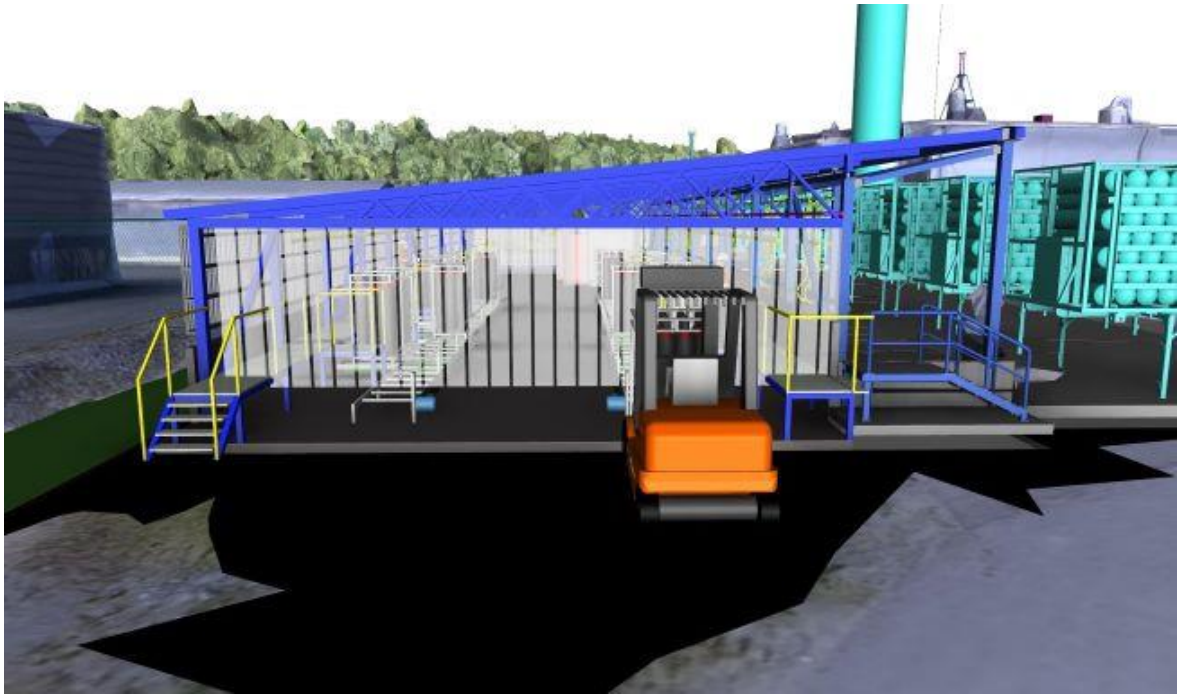
6.3. Vaihtoehto 3

Vaihtoehdossa 3 koko käytettävissä oleva alue suunnitellusta sijoituspaikasta on jälleen pyritty kattamaan säältä suojaan (kuva 17). Rakennuksen runkorakenteet ovat muuten samankaltaiset kuin edellisissäkin vaihtoehdoissa 1 ja 2, mutta päätyaukkojen suojana käytetään joko suikaleverhoja tai pressuja. Rakennuksen mitat ovat samat vaihtoehto 1 kanssa (10m x 34 m) työskentelykorkeus mukaan lukien.

Kuva 17. Vaihtoehto 3 sijoittuminen

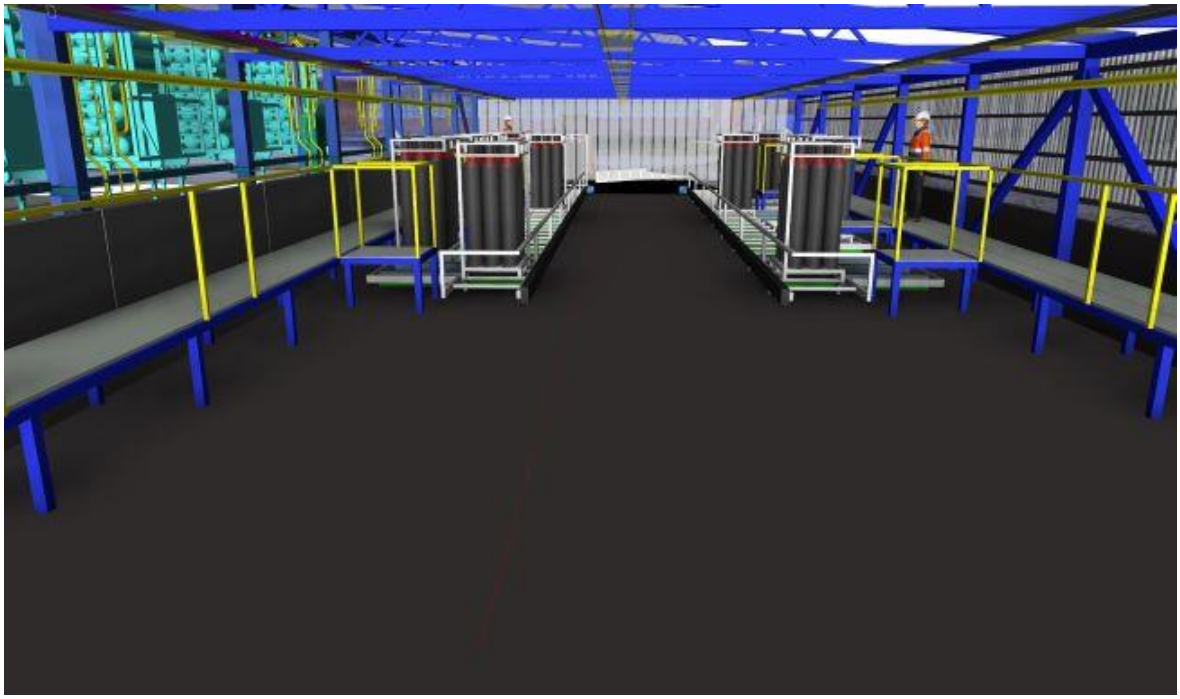


Kuva 18. Vaihtoehto 3 vetytehtaan suunnasta kuvattuna

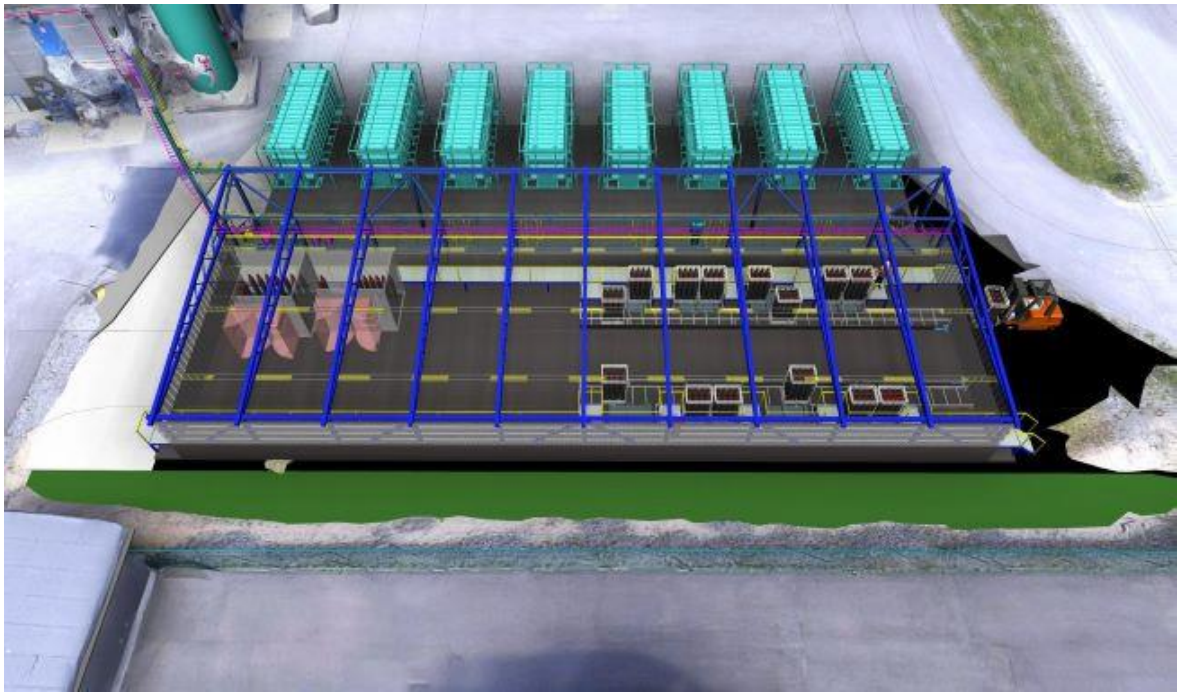


Kuva 19. Vaihtoehto 3 Rantalaiturintien suunnasta kuvattuna

Yksittäisten pullojen täyttökoppi sekä tila preparointilaitteistolle on varattu tässäkin vaihtoehdossa rakennuksen vetytehtaan puoleiseen päätyyn. Preparointilaitteisto voidaan haluttaessa sijoittaa myös vastapäätä pullojen täyttökoppia rakennuksen mittojen mahdollistaessa myös tämän vaihtoehdon. Vaihtoehdon 3 tärkein muutos kahteen edelliseen vaihtoehtoon verrattuna on mahdollisuus syöttää pullopatterit rakennuksen ulkopuolelta rullakiskoja pitkin rakennuksen sisään. Kuten vaihtoehdossa 1, myös vaihtoehdossa 3 on molemmille pitkille sivuille varattu yhteensä 8 täyttöpistettä patteriparia kohti, yhteensä tilaa on siis 16 täytössä olevalle pullopatterille. Täyttöpisteiden ja pullojen täyttökopin/preparointitilan väliin jää tyhjää tilaa tulevaisuuden laajennusta tai pullopatterien väliaikaista varastointia varten. Sujuvan työskentelyn ja työturvallisuuden takaamiseksi on myös tähän vaihtoehtoon sijoitettu kulkusillat patterien täyttöpisteiden ja seinän väliin sekä työtasot patteriparien väliseen tilaan. Vetylinjojen tuonti rakennukseen sekä sijoitus on samankaltainen vaihtoehdon 1 kanssa.



Kuva 20. Vaihtoehto 3 sisätilat



Kuva 21. Vaihtoehto 3 pohjapiirustus

Vaihtoehdossa 3 on pyritty siis välttämään trukilla ajamista rakennuksen sisällä ja tästä syystä kuljetinratojen syöttöpaikat on sijoitettu rakennuksen ulkopuolelle. Alkuperäinen lähtöajatus on siis ollut se, että tila joudutaan joka tapauksessa luokittelemaan EX –tilaksi ja trukin tilaluokitellussa tilassa muodostama riski voitaisiin näin eliminoida. Kuten vaihtoehdon 1 yhteydessä on kerrottu, asia ei kuitenkaan ole ihan näin yksinkertainen vaan tilaluokitukselta voidaan välttyä esimerkiksi riittävän ilmanvaihdon järjestämisellä.

Toinen näkökulma tämän vaihtoehdon takana on ollut, että tällainen kuljetinratkaisu voisi olla ensimmäinen askel hieman automatisoidumman pullotustoiminnan suuntaan. Teknisistä ratkaisuista riippuen, rullakuljettimet ja täyttöpisteille tarvittavat sivuttaissiirtimet saattavat kuitenkin muodostua mahdollisen EX –luokituksen näkökulmasta hankaliksi. Merius Oy:n suorittamissa budjettikyselyissä Atex –luokiteltujen laitteistojen hinnat ovat olleet moninkertaiset tavallisiin laitteisiin verrattuna. On myös mahdollista, että vetypatterien koko ja massa ovat niin suuria, että toteutus Atex –luokitelluilla laitteilla ei ole ylipäätään mahdollista. Asia vaatisi siis vielä lisäselvitystä niin EX –luokituksen osalta kuin laitevalmistajienkin taholta.

Kokonaiskustannusarvio vaihtoehdossa 3 olisi noin 800 000 euroa sisältäen samat pääkokonaisuudet kuin edellisetkin vaihtoehdot. Vaihtoehdossa 3 suurin muuttuja edellisiin on kuljetinratkaisujen aiheuttamat lisäkustannukset, halvimmillaan noin 260 000 euroa. Kuten aikaisemmissa vaihtoehdoissa, myös vaihtoehtoon 3 olisi syytä arvaamattomien kulujen osuutta kasvattaa vastaavasti kuin kahdessa aikaisemmassakin vaihtoehdossa.

Taulukko 3. Vaihtoehdon 3 kustannusarvio

Kohde	Yksikkö	Määrä	Yksikköhinta €	Yht. €	Arvion lähde
1. Teräsrakenteet ja laitteet					
Suunnittelutyöt				18 000 €	Merius
Katoksen ja hoitotasojen teräsrakenne (sis. asennus)	kg	15000	6 €	90 000 €	Merius
Kuljetinratkaisut				263 000 €	Easy-Systems
2.Rakennustekniset työt					
Rakennustyöt (sis. suunnittelu, rakentaminen, materiaalit yms.)	m2	340	800 €	272 000 €	Idea Structura
3.Putkistot					
Suunnittelutyöt				12 000€	Merius
Putkimateriaalit (Asennettuna)				28 000€	LCP
Venttiilit ja toimilaitteet				30 000€	Starline/Merius
			YHTEENSÄ	713 000€	
Arvaamattomat kulut 10%				71 000€	
			KAIKKI YHTEENSÄ	784 000€	
4.Projektijohto (OPTIO)					
Projektipäällikkö (kokonaisuus)	h	160	70	12 000€	Merius

Taulukossa 4 on esitetty kahdelta toimittajalta saadut kilpailevat tarjoukset pelkistä kuljetinratkaisuista ilman Atex –luokiteltuja laitteita.

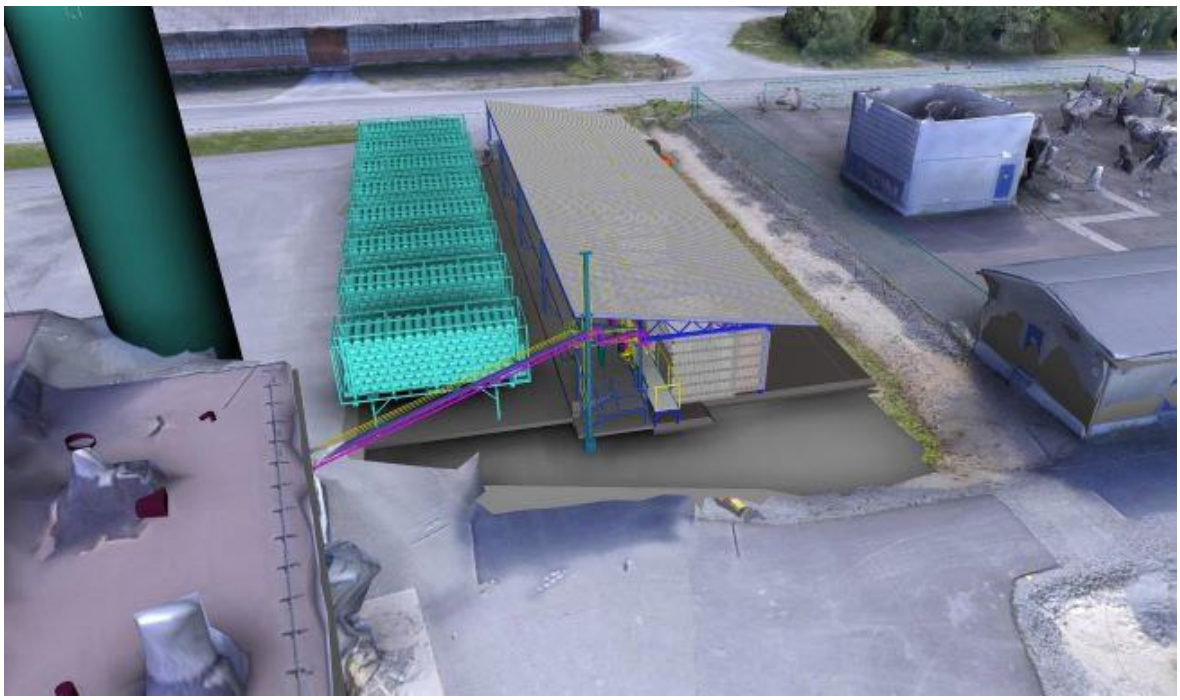
Taulukko 4. Vaihtoehdon 3 kuljetinratkaisujen tarjousvertailu

Kohde	Yksikkö	Määrä	Yksikköhinta €	Yht. €	Arvion lähde
Easy-Systems (ALV 0)					
1. Rullalavakuljetin yksikkö					
Anturi + taajuusmuutto-ohjauksella. Sis jalat.	kpl	36	3300 €	118 800€	Easy-Systems
2.Risteysasema rullakuljettimella					
Risteyasema + risteysketjut + sähköinen nosto					
taajuusmuutto-ohjauksella. Sis jalat.	kpl	16	9000 €	144 000€	Easy-Systems
YHTEENSÄ				**262 800€**	
Intolog (ALV 0)					
1. Rullakuljetin Syöttö	kpl	2	6380€	12 760€	Intolog
2. Rullakuljetin Risteys	kpl	8	7330€	58 640€	Intolog
3. Ketjukuljetin	kpl	16	7720€	123 520€	Intolog
4. Automaatio	kpl	1		108 800€	Intolog
5. Rahti, asennus & projektointi	kpl	1	47 200€	47 200€	Intolog
YHTEENSÄ				**350 920€**	

6.4 Vaihtoehto 4

Vaihtoehto 4 (kuva 22) on neljästä tässä esitetyistä suunnitelmista rakentamisen kannalta kevyin ratkaisu. Tässäkin vaihtoehdossa koko käytettävissä oleva alue vapaasta tonttimaasta tulee käyttöön, mutta rakenneratkaisut ovat siis hieman kevyempiä ja siten edullisempia. Rakennuksen kiinteiden seinien mitat ovat noin 4metriä kertaa 34 metriä ja nyt olemassa olevaa peltikattoa jatketaan tässä suunnitelmassa hieman vähemmän. Rakennuksen päätyjen suojana toimii valokate ja toisen, avoimen pitkän sivun suojana toimivat avattavat pressut.

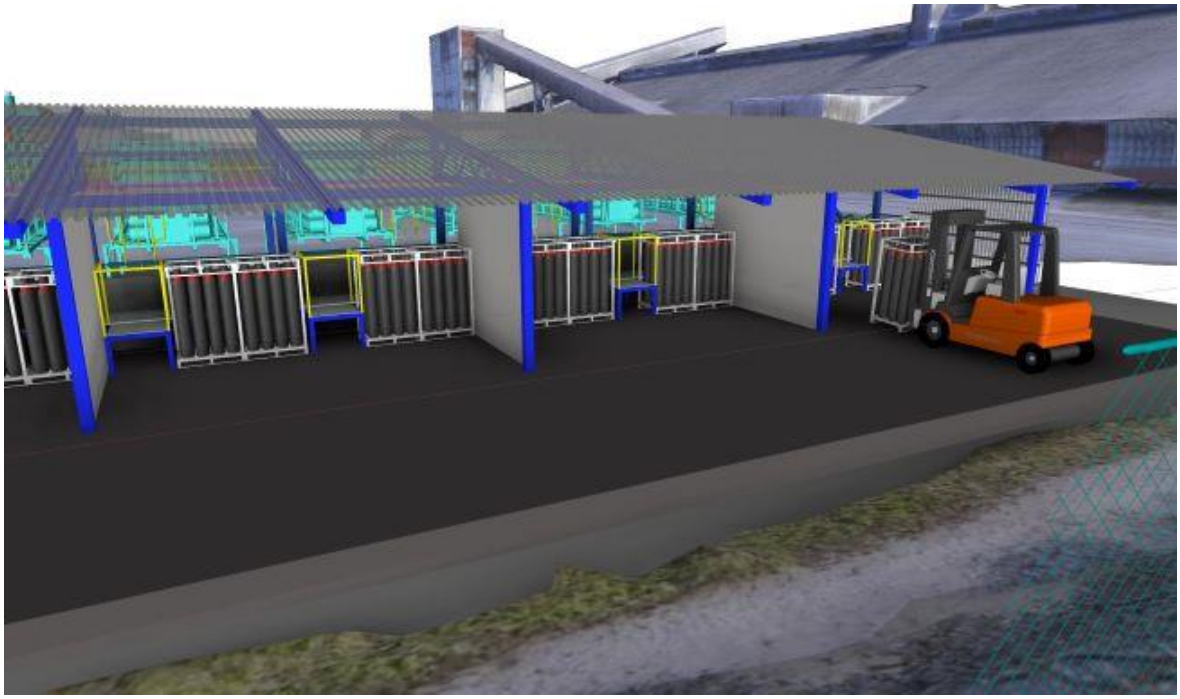
Kuva 22. Vaihtoehto 4 sijoittuminen



Kuva 23. Vaihtoehto 4 vetytehtaan puolelta kuvattuna

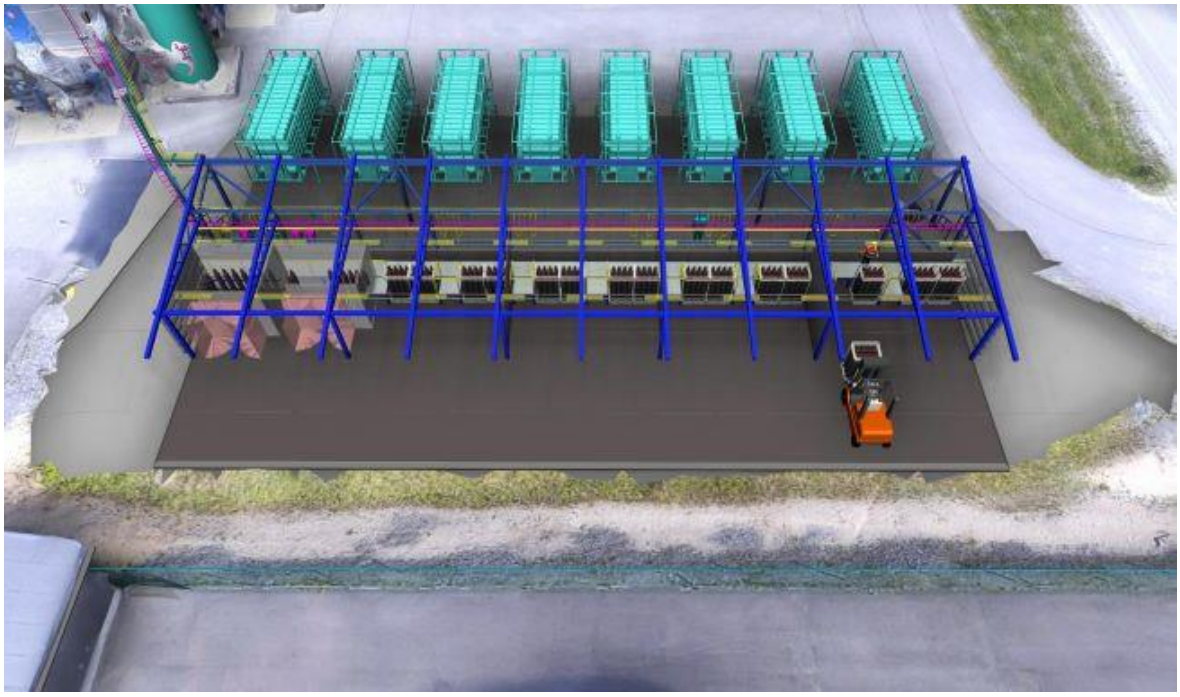
Kuva 24. Vaihtoehto 4 Rantalaiturintien puolelta kuvattuna

Avoin pitkä sivu muodostuu neljästä, seinillä toisistaan erotelluista lohkoista, joissa kussakin on tilaa neljälle pullopatterille, yhteensä patterien täyttöpaikkoja on siis 16 kappaletta. Työskentelykorkeus myös tässä vaihtoehdossa on noin kolme metriä. Yksittäisten pullojen täyttökoppi sekä pullojen preparointia varten oleva tila on sijoitettu tässäkin vaihtoehdossa vetytehtaan puoleiseen päätyyn katoksen alle. Tyhjien ja täysien vetypullojen ja –pattereiden säilytys tapahtuisi tässä vaihtoehdossa aina nykyisellä varastokentällä.



Kuva 25. Vaihtoehto 4 täyttöpisteet

Uuteen rakennukseen tuleva vetylinja noudattelee edellisten vaihtoehtojen linjaa eli linja voidaan haaroittaa olemassa olevasta päälinjasta ja yksittäiset täyttöpisteet puolestaan voidaan haaroittaa tästä uudesta vetylinjasta, joka kulkee rakennuksen takaseinällä. Samalla seinustalla kulkee myös kulkusilta, jossa on kunkin patterin välissä työskentelytaso.



Kuva 26. Vaihtoehto 4 pohjapiirustus

Kuten edellä todettua, vaihtoehto 4 on kevyt ratkaisu, missä pullopatterien täyttöpaikalle tuonti ja pois vienti tapahtuu aina trukin avustuksella. Rakennuksen rakenne on hyvin avoin etenkin toiselta pitkältä sivultaan, joten mahdollinen Atex –luokitus ei todennäköisesti nousisi ongelmaksi myöskään trukin käytön näkökulmasta.

Vaihtoehdon 4 kokonaiskustannusarvio olisi kaikista neljästä edullisin, noin 360 000 euroa sisältäen samat kokonaisuudet kuin edellisetkin vaihtoehdot. Myös vaihtoehtoon 4 olisi syytä arvaamattomien kulujen osuutta kasvattaa vastaavasti kuin muissakin vaihtoehdoissa.

Taulukko 5. Vaihtoehdon 4 kustannusarvio

Kohde	Yksikkö	Määrä	Yksikköhinta €	Yht. €	Arvion lähde
1. Teräsrakenteet ja laitteet					
Suunnittelutyöt				18 000 €	Merius
Katoksen ja hoitotasojen teräsrakenne (sis. asennus)	kg	15000	6 €	78 000 €	Merius
2.Rakennustekniset työt					
Rakennustyöt (sis. suunnittelu, rakentaminen, materiaalit yms.)	m2	340	800 €	160 000 €	Idea Structura
3.Putkistot					
Suunnittelutyöt				12 000€	Merius
Putkimateriaalit (Asennettuna)				26 000€	LCP
Venttiilit ja toimilaitteet				30 000€	Starline/Merius
			YHTEENSÄ	324 000€	
Arvaamattomat kulut 10%				32 000€	
			KAIKKI YHTEENSÄ	356 000€	
4.Projektijohto (OPTIO)					
Projektipäällikkö (kokonaisuus)	h	160	70	12 000€	Merius

7 TOTEUTUSVAIHTOEHTOJEN VERTAILU

Vaihtoehtojen teknis-taloudellisessa vertailussa pyritään arvioimaan eri toteutusvaihtoehtoja niin teknisestä kuin taloudellisestakin näkökulmasta. Teknisessä vertailussa pohditaan kunkin vaihtoehdon hyviä ja huonoja puolia teknisen toteutuksen eli esimerkiksi rakennuksen tilankäytön, materiaalien, layoutin tai turvallisen operoinnin osalta. Taloudellisessa pohdinnassa yhtälöön tuodaan mukaan muun muassa investointikustannuksiin vaikuttavia seikkoja sekä mahdollisesti käyttökustannuksissa huomioon otettavia seikkoja.

7.1 Vaihtoehto 1

Vaihtoehdon 1 teknisessä ratkaisussa on lähdetty liikkeelle siitä, että uudelle pullotuslaitokselle osoitettu osa tontista tulisi mahdollisimman tehokkaasti käyttöön. Toiselle pitkälle sivulle valetaan noin metrin korkuinen betoniseinä, jonka päältä

seinärakenne jatkuu kevytrakenteisena valokatteena ylöspäin. Seinä- ja runkorakenteet voidaan toteuttaa melko kevyinä teräsrakenteina tukemalla ne osittain olemassa oleviin kuljetuskonttien täyttölaiturin katokseen. Kuljetuskonttien täyttölaiturin katosta voidaan jatkaa lähes samassa kulmassa kuin nykyinen katos tällä hetkellä on, joten mittavilta muutostöiltä vältytään.

Uuden katoksen seinustoilla kulkevat hoitotasot sekä pullopatterien väliin jäävät työskentelytasot ovat välttämätön rakenne turvallisen ja ergonomisen työskentelyn varmistamiseksi. Pullopattereihin joudutaan siis aina kiinnittämään ja irrottamaan täyttöpäät, avaamaan ja sulkemaan venttiileitä ja lopuksi tekemään vuototarkastus. Työskentelytasot ja niihin liittyvät kaiderakenteet tulee suunnitella ja rakentaa siten, että työskentely on sujuvaa eikä vaadi liiallista kurkottelua tai kiipeilyä eli työskentelystä ei saa aiheutua operaattorille mitään turvallisuusriskejä.

Alkuvaiheessa pullopatterien täyttöpaikkoja on tarkoitus rakentaa ainoastaan nykyiseen tarpeeseen eli 16 kappaletta, mutta katetun ja käytettävissä olevan alan ollessa laajempi, jää tulevaisuuden mahdollisille laajennuksille hyvinkin tilaa. Tätä tyhjää tilaa voidaan siihen saakka hyödyntää pullopatterien välivarastona, missä patterit varastoidaan ennen niiden siirtämistä täysinä varsinaiselle varastokentälle tai vaihtoehtoisesti tyhjät patterit voidaan tuoda talviaikana rakennuksen sisään odottamaan täyttämistä. Patterit voidaan kuljettaa täysinä välivarastosta myös suoraan niitä noutamaan tulleen rekan kyytiin tai patterit voidaan kuljettaa välivarastoon kun ne saapuvat tyhjinä tehtaalle. Tämän vaihtoehdon toteutuminen riippuu paljon siitä, kuinka paljon pattereita tehtaalla ja varsinaisella varastokentällä on. Lähtökohtaisesti täysien ja tyhjien patterien kuljetusmatka rekan luo on kuitenkin pidempi uudesta rakennuksesta kuin nykyiseltä varastokentältä, joten myös operaattorin hetkellinen työkuorma ja siitä mahdollisesti aiheutuva kiire määrittelevät sen, miten sisäinen logistiikka tässä vaihtoehdossa tulee käytännössä toimimaan.

Rakennuksen sisään on myös suunniteltu täyttökoppi yksittäisille pulloille sekä pullojen preparointia varten oma erillinen tilansa. Tällä ratkaisulla kaikki pullotustoimintaan liittyvät toiminnot analysointilaitteistoa lukuun ottamatta voidaan keskittää tehokkaasti suhteellisen

pienelle alueella ja tarpeettoman pitkiltä siirtomatkoilta vältytään. Rakennuksen keskellä on hyvin tilaa liikkua trukilla, tosin tarkkuutta vaaditaan kääntymis- ja peruutustilanteissa etenkin pullopattereita siirrellessä. Rakennukseen sisään ja ulos liikkuminen voi tapahtua kummasta päädystä tahansa rakennuksen päiden ollessa avoimia, käytännössä lyhyempi ja sujuvampi reitti kulkee Rantalaiturintien puoleisesta päädystä.

Kustannuksiltaan tämä vaihtoehto asettuu kaikista vaihtoehdoista keskivaiheille kustannusarvion ollessa noin 500 000 euroa arvaamattomine kuluineen. Teräsrakenteiden osalta kustannusarviota kasvattaa rakennuksen suuri koko sekä sen vaatimat, hieman mittavammat rakennustyöt. Tässä vaihtoehdossa uusien vetylinjojen rakentamiseen tarvittavan uuden putkiston määrä voidaan pitää maltillisena, ainoastaan käytävän molemmin puolin sijoittuvat täyttöpisteet lisäävät rakennettavan vetylinjaston kustannuksia hieman, käytännössä puhutaan kuitenkin ainoastaan muutamista kymmenistä metreistä.

Vaihtoehdossa 1 tonttimaa tulee tehokkaasti käytettyä, tuotantokapasiteetti on halutun suuruinen ja sitä on tulevaisuudessa mahdollista tilojen puolesta kasvattaa noin kaksinkertaiseksi. Myös katettu tila työskentelyyn sekä pullopatterien säilyttämiselle ovat positiivisia seikkoja, vaikkakaan katettu tila varastoinnille ei lähtökohtaisesti mikään tavoite ollutkaan.

7.2 Vaihtoehto 2

Vaihtoehtoa 2 voisi lyhyesti kuvata vaihtoehdon 1 budjettiversioksi. Tässä vaihtoehdossa kaikki uuden rakennuksen rakenteet ovat samankaltaiset kuin vaihtoehdossa 1, ainoa ero syntyy rakennuksen leveydestä, vaihtoehdon 2 ollessa noin 2,5 metriä kapeampi. Käytännössä tämä näkyy siinä, että täyttöpisteitä on sijoitettu ainoastaan rakennuksen toiselle pitkälle sivulle ja preparointilaitteistolle varattu tila vie kahden pullopatterin tilan, jolloin täyttöpisteitä on yhteensä vain 14 patterille, mikä on toivottua hieman pienempi määrä.

Koska rakennus on koko pituudeltaan kapeampi, ei tässä vaihtoehdossa rakennuksen sisään jää tilaa pullopatterien välivarastoinnille. Tästä seuraa se, että jokainen pullopatteri on aina kuljetettava kauemmas varastokentälle kun patterin vaihdon aika tulee. Tämän ei kuitenkaan pitäisi muodostua ongelmaksi niin kauan kuin täyttötarve on nykyisen kaltainen eli melko harvoin toistuva. Työt voidaan varmasti myös järjestellä siten, että patterien siirtämiselle kauemmaksi rakennuksesta on operaattorilla hyvin aikaa. Rakennuksessa on hyvin tilaa liikkua trukilla ja törmäysvaara kiinteisiin rakenteisiin tai pullopattereihin on melko pieni. Myös tässä vaihtoehdossa rakennuksen molemmat päädyt ovat avoimet, jolloin kulku sisään ja ulos on vaivatonta.

Myös kustannusarviosta näkyy kustannusten edullisuus vaihtoehtoon 1 nähden, säästöä syntyy noin 60 000 euroa. Teräsrakenteisiin ja hoitotasoihin materiaaleja kuluu vähemmän, samoin rakennusteknisiin töihin voidaan budjetoida kuluja hieman vähemmän. Vetylinjaston putkia tarvitaan niitäkin hieman vähemmän, jolloin niiden osalta kustannus on noin 2000 euroa pienempi kuin vaihtoehdossa 1.

Tämän vaihtoehdon paras puoli liittyy kustannuksiin kuten edellä todettu sekä luonnollisesti mahdollisuus pullojen täyttämiselle sisätiloissa. Huonoihin puoliin kuuluvat vähemmän tehokas tonttimaan käyttö ja tuotannon kapasiteetin laajennusvaran puute sekä hieman haluttua pienempi tuotantokapasiteetti.

7.3 Vaihtoehto 3

Vaihtoehto 3 puolestaan poikkeaa kahdesta edellisestä vaihtoehdosta merkittävästi. Kuten vaihtoehdossa 1, myös tässä vaihtoehdossa tarkoitukseen varattu alue tontista tulee täysimääräisesti hyödynnettyä. Myös rakennuksen runkorakenne ja huoltotasot toimintoineen vastaavat vaihtoehdon 1 rakenteita. Suurin ero tässä vaihtoehdossa verrattuna edellisiin on rullakuljettimien avulla täyttöpisteille tapahtuva pullopatterien syöttö. Patterit syötetään molemmin puolin rakennusta rullakuljettimille, jotka kuljettavat patterit sisään rakennukseen ja kullekin patterille varatun täyttöpisteen kohdalle. Kun patteri on saapunut

oikeaan kohtaan, siirretään se sivuttaissiirtimillä varsinaiseen täyttöpisteeseen. Yhteensä täyttökapasiteettia riittää tässä vaihtoehdossa 16 patterille.

Tällä menettelyllä on ensinnäkin haluttu välttää tarve ajaa trukilla sisään rakennukseen mahdollisista Atex –rajoitteista johtuen. Toiseksi tämä ratkaisu vapauttaa hieman operaattorin aikaa pullopatterien siirtelyyn, koska patterit liikkuvat automaattisesti rakennukseen sisään ja ulos. Tässä suunnitelmassa operaattorin tehtäväksi jäisi kuitenkin edelleen täyttöpäiden kiinnitys ja irrotus sekä vuototestauksen tekeminen. Näidenkin toimintojen automatisointi jollain aikajaksolla voisi olla kannattavaa.

Kuten aikaisemmin on todettu, tämän vaihtoehdon toimivuus ja toteutettavuus riippuvat suuresti siitä, kuinka rakennuksen sisätilat tulee lopulta luokitella räjähdysvaarallisuuden näkökulmasta. Jos tilan Atex –luokitus voidaan välttää, voidaan rakennukseen kulkea sisään trukilla ja rakennuksessa olevaa tyhjää tilaa voidaan hyödyntää mahdollisesti esimerkiksi pullojen ja patterien välivarastona. Toisaalta, jos kulku rakennuksen sisään on mahdollista trukilla, voidaan koko siirtokuljettimien tarpeellisuuskin kyseenalaistaa.

Vaihtoehdon 3 pohjakuvasta poiketen rakennuksen leveys mahdollistaa myös preparointitilan siirtämisen vastakkaiselle pitkälle sivulle eli vastapäätä yksittäisten pullojen täyttökoppia. Jos kulku rakennuksen sisään on trukilla mahdollista, ovat rakennuksen molemmat päät avoimia myös tässä vaihtoehdossa. Tosin ajaminen siirtokuljettimien välissä vaatii suurta huolellisuutta tai vaihtoehtoisesti kulku trukilla rakennukseen sallitaan ainoastaan vetytehtaan puoleisesta päädystä.

Kustannuksiltaan vaihtoehto 3 on selkeästi näistä vaihtoehdoista kallein, 784 000 euroa. Korkeampaan hintaan vaikuttaa tarvittavat kuljetinratkaisut, jotka halvemmassakin kilpailutetussa tarjouksessa maksavat 263 000 euroa. Muuten hinta on identtinen vaihtoehdon 1 kanssa. Lisäksi täytyy pitää mielessä, että tässä kuljetinratkaisussa ei ole huomioitu Atex –laitteiden asettamia vaatimuksia. Jos ne huomioitaisiin, olisi kuljetinratkaisujen kustannus niitä tarjonneiden toimittajien mukaan moninkertainen.

Vaihtoehdon 3 kustannuksen ollessa suurin negatiivinen seikka, sen parhaita puolia on mahdollisuus hoitaa pullotustoiminta sisätiloissa ja säältä suojassa. Lisäksi vaihtoehdossa otetaan ensimmäinen askel automatisoidumman pullotustoiminnan suuntaan, mutta kehittämisvaraa automatisoinnin näkökulmasta jää edelleen etenkin varsinaisen täyttötoiminnan osalta. Lisäksi myös tämä vaihtoehto mahdollistaa tyhjän tuotantotilan näkökulmasta kapasiteetin kasvattamisen tulevaisuudessa noin kaksinkertaiseksi.

7.4 Vaihtoehto 4

Myös vaihtoehto 4 on täysin poikkeava aikaisemmista vaihtoehdoista. Tässä vaihtoehdossa rakennuksen rakenteet ovat teräsosiltaan ja siten rakennuskustannuksiltaan merkittävästi pienemmät. Tässäkin vaihtoehdossa tontin koko käytettävissä oleva alue asfaltoidaan, mutta rakennuksen nykyistä kattoa jatketaan ainoastaan neljä metriä ja toinen pitkä sivu jää avonaiseksi. Nykyisen täyttölaiturin katoksen seinustalle rakennetaan koko matkalta hoitotaso ja täyttöpisteet erotellaan toisistaan neljään lohkoon, joissa kussakin on täyttöpisteet neljälle patterille, yhteensä siis 16 pullopatterille. Kukin lohko voidaan suojata esimerkiksi sivuun vedettävillä pressuilla tarpeen mukaan.

Pullojen täyttämiseen ja preparointilaitteistolle on molemmille varattu omat koppinsa rakennuksen vetytehtaan puoleiseen päätyyn. Trukilla ajaminen tapahtuu aina ulkotiloissa ja tarpeen mukaan täyttöpisteille voi kulkea molemmilta puolilta rakennusta. Tyhjien ja täysien patterien varastointi tapahtuu hieman kauempana nykyisellä varastokentällä.

Vaihtoehdon 4 parhaita puolia on kevyestä rakenteesta ja siten aiheutuvasta halvemmasta rakentamiskustannuksesta johtuva kustannustehokas kokonaishinta, noin 350 000 euroa. Yksinkertaisen rakenteen ja suhteellisen edullisen investoinnin huonoina puolina voidaan nähdä jonkinlainen alttius sääolosuhteille eli saadaanko täyttölohko aina riittävästi eristettyä tuulelta ja lumisateelta, jotta parannus nykyiseen toimintaan on riittävän merkittävä investoinnin perustelemiseksi.

8 TOTEUTUSVAIHTOEHDON VALINTA

Edellä esiteltyjen vaihtoehtojen vertailussa ja parhaan vaihtoehdon valinnassa voidaan käyttää tuotesuunnittelun menetelmiä. Käyttämällä Cusslerin ja Moggridgen (Cussler et al., 2011) esittämää menetelmää määritellään valintaan vaikuttavat tekijät, tässä tapauksessa investointikustannus, käytettävissä oleva kapasiteetti, yleinen työskentelyergonomia, turvallisuusnäkökohdat, tuotannon laajennettavuus, tila preparointilaitteistolle, automatisoinnin taso sekä säältä suojattu työskentelytila. Kullekin tekijälle annetaan painoarvo (0-1), arvotetaan eri tekijät antamalla kullekin pisteet (1-10) ja lopuksi lasketaan painotetut pisteet yhteen. Tällä tavoin saadaan suoritettua vaihtoehdoille numeerinen vertailu, vaikka mukana on sekä kvalitatiivisia että kvantitatiivisia tekijöitä.

Investointikustannus on painoarvoltaan suurimpia päätöksentekoon vaikuttavia seikkoja nykyisen kapasiteetin turvaamisen ja turvallisuusnäkökohtien lisäksi. Se, että tilassa työskentely on ergonomisesti oikea oppista ja mahdollistaa toimimisen säältä suojatussa tilassa tulevat tärkeysjärjestyksessä heti näiden jälkeen. Preparointilaitteiston mahdollistava tila kannattaa suunnittelu- ja rakennusvaiheessa ottaa huomioon, oli sen investoinnin aika joko nyt tai joskus tulevaisuudessa. Tuotannon laajennettavuus kannattaa myös ottaa jo rakennusvaiheessa huomioon, koska lisätilan tarve ei ole valtavan suuri ja toiseksi rakentaminen jo tässä vaiheessa on varmasti kustannustehokkaampaa kuin tilan lisääminen myöhemmin olemassa olevaan rakennukseen. Automatisoinnin lisääminen pullotusprosessiin on yksi tavoite, mutta ei kuitenkaan välitön edellytys tämän investoinnin eteenpäin viemiseksi, paremminkin tulevaisuuden optio jos tarvetta sellaiselle joskus nähdään.

Taulukko 6. Vaihtoehtojen vertailu

		Vaihtoehto 1		Vaihtoehto 2		Vaihtoehto 3		Vaihtoehto 4	
Tekijä	Painoarvotekijä (0-1)	Tekijän pisteet	Pisteet yht.	Tekijän pisteet	Pisteet yht.	Tekijän pisteet	Pisteet yht.	Tekijän pisteet	Pisteet yht.
Investointikustannus	1	6	6	7	7	3	3	10	10
Kapasiteetti	1	10	10	8	8	10	10	10	10
Ergonomia	0,8	8	6,4	8	6,4	8	6,4	8	6,4
Turvallisuus	1	8	8	8	8	9	9	7	7
Laajennettavuus	0,4	7	2,8	4	1,6	7	2,8	4	1,6
Tila preparointilaitteistolle	0,6	9	5,4	9	5,4	9	5,4	9	5,4
Automatisoinnin taso	0,3	6	1,8	6	1,8	8	2,4	6	1,8
Tila säältä suojattu	0,8	8	6,4	8	6,4	8	6,4	5	4
		Summa	**46,8**	**Summa**	**44,6**	**Summa**	**45,4**	**Summa**	**46,2**

Eri vaihtoehtojen kokonaisarvioinnin ja pisteytyksen tuloksena esitän vaihtoehtoa 1 ensisijaiseksi investointikohteeksi. Vaihtoehdon 1 parhaisiin puoliin lukeutuu tuotannon näkökulmasta nykyiselle tuotantomäärälle riittävä kapasiteetti sekä tulevaisuutta ajatellen mahdollisuus kohtuullisin kustannuksin laajentaa kapasiteettia kaksinkertaiseksi täyttöpisteiden määrää lisäämällä. Käytännössä molemmille pitkille sivuille siis rakennettaisiin lisää täyttöpisteitä ja hoito- sekä työskentelytasoja jatkettaisiin vastaavasti.

Vaihtoehdossa 1 voidaan myös pullotuslaitoksen käyttöön varattu osa tontista hyödyntää täysimääräisesti. Vaihtoehdossa koko käytettävissä oleva alue voidaan kattaa ja rakentaa seinät rakennuksen ympärille, jolloin tilasta voidaan tehdä täysin säältä suojattu. Riippuen siitä, miten laitos tullaan räjähdysvaarallisuuden näkökulmasta luokittelemaan, tämän vaihtoehdon rakenteet mahdollistavat myös rakennuksen saattamisen ainakin puolilämpimäksi tilaksi lisäämällä esimerkiksi kiinteät nosto-ovet molempiin päihin ja tiivistämällä seinä- ja kattorakenteita. Tämän vaihtoehdon ergonomiaan turvallisuusratkaisuihin on myös kiinnitetty huomiota, esimerkkeinä sellaiset, ehkä merkityksettömiltäkin vaikuttavat seikat kuin se, että pullojen ja -patterien ylitse ei tarvitse liiaksi kurkotella täyttöpäitä kiinnitettäessä ja esimerkiksi kaikki jalankulkijan ja trukkiliikenteen kohtaamiset on onnistuttu järkevin toimenpitein minimoimaan. Yksittäisiä turvallisuuteen liittyviä ratkaisuja on toki syytä vielä erikseen pohtia ennen rakennusvaiheen aloittamista.

Mahdollisuus hyödyntää alkuvaiheessa rakennuksen sisään tyhjäksi jäävää tilaa esimerkiksi pullopatterien säilyttämiseen voidaan myös laskea saavutettaviin hyötyihin. Vaihtoehto 1 ei myöskään sulje pois jatkossa mahdollisuutta nostaa automaation tasoa asteittain jos siihen nähdään tarvetta. Hyvänä lähtökohtana voidaan käyttää vaihtoehdon 3 rullarataratkaisuja ja lisätä kokonaisuuteen jossain vaiheessa esimerkiksi täyttöpisteiden automatiikkaa.

Käyttökustannuksia ei ole tässä vaiheessa suunnittelua lähdetty eri vaihtoehtojen osalta erittelemään, koska etenkin vaihtoehdot 1, 2 ja 4 ovat hyvin samankaltaisia toiminnoiltaan, eivätkä vaadi esimerkiksi korkeita energiakustannuksia toimiakseen. Vaihtoehdon 3 kuljetinratojen vaatima automatiikka tietysti kasvattaa korkeahkojen investointikustannusten lisäksi hieman myös käyttökustannuksia. Jos vaihtoehtoon 3 kuitenkin jossain vaiheessa päädyttäisiin, on syytä tarkastella toiminnan aiheuttamat, lisääntyvät käyttökustannukset ennen investointipäätöstä.

Vaihtoehdon 1 investointikustannukset asettuvat muihin vaihtoehtoihin nähden kohtuulliseen tasoon. Vaihtoehtoon 2 verrattuna kustannusten nousu on maltillinen ja tällä syntyvällä lisäkustannuksella voidaan kuitenkin samalla kattaa suurempi osa käytettävissä olevasta tonttialasta ja samanaikaisesti saadaan rakennettua tilaa myös mahdollisiin tulevaisuuden laajennustarpeisiin. Vaihtoehtoon 3 nähden kustannus on huomattavasti pienempi rullaratojen puuttuessa ja vaihtoehto 4 on puolestaan perusajatukseltaan erilainen ja siten jo huomattavasti edullisempi ratkaisu. Useimpiin vaihtoehtoihin suosittelen arvaamattomien kulujen osuuden kasvattamista 10 prosentista 20-25 % prosenttiin johtuen täysin henkilökohtaisen kokemuksen tuomasta realismista suhteessa alkuvaiheen kustannusarvioiden toteutumiseen projektin päättyessä.

Vaihtoehtoiseksi ratkaisuksi esitän lisäksi vaihtoehtoa 4, joka on siis selkeästi halvempi ratkaisu investointikustannuksiltaan. Perustoiminta toki on samankaltaista kuin vaihtoehdossa 1, mutta operointi tapahtuu pääasiassa ulkotiloissa ja eristäminen sääolosuhteilta on selkeästi haastavampaa kuin vaihtoehdossa 1. Tässä vaihtoehdossa tuotannon kasvattaminen täyttöpaikkoja lisäämällä on mahdotonta ja myöskään rakennuksen laajentaminen jälkikäteen ei ole halpaa eikä siten vaikuta järkevältä, etenkään muiden vaihtoehdossa 1 välittömästi saavutettavien hyötyjen näkökulmasta. Automatiikan

lisääminen esimerkiksi täyttöpisteisiin saattaisi tulla kysymykseen, mutta sen toteuttaminen ja häiriötön toiminta täysin kylmässä ja vaihtoehtoa 1 suojattomammassa tilassa saattaa muodostua haasteelliseksi. Vaihtoehto 4 on kuitenkin varmasti toimiva ratkaisu ja jos investoinnin kustannus nousee päätöstilanteessa kynnyskysymykseksi, on tämä vaihtoehto varsin kannatettava.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kokonaisarvioinnin ja tehdyn pisteytyksen perusteella suosittelen siis vaihtoehtoa 1 uuden vetypullotuslaitoksen investoinnin konseptiksi. Kyseinen vaihtoehto vastaa toiminnoiltaan parhaiten Kokkolan tehtaan paikalliseen tarpeeseen, sekä nykyiset toiminnot että uuden laitoksen suunnittelun tarpeet ja lähtökohdat huomioiden. Valittu vaihtoehto ei ole investointikustannuksiltaan suurin, mutta ei toisaalta pieninkään, pystyen kuitenkin takaamaan riittävästi monellakin tavalla parantuvat toimintaolosuhteet, tämän hetken tarpeeseen riittävän tuotantokapasiteetin sekä mahdollisuuden tulevaisuuden laajennuksiin.

Tässä työssä ei ole otettu teknisestä näkökulmasta kantaa yksittäisten pullojen pullotuslaitteistoon vaan on pyritty ainoastaan löytämään sille sopiva tila uudesta rakennuksesta. Sama pätee preparointilaitteistoon, jota tällä hetkellä ei tehtaalla ole lainkaan. Yksittäisten pullojen täyttötoimintaa olisi syytä kehittää nykyisestä myös automatisoidumpaan suuntaan, etenkin jos täytöt tulevaisuudessa lisääntyvät. Kuitenkin nykyisen kaltaisen, yksittäisten pullojen täyttötoiminnan siirtäminen hieman parempiin ja ehkä jopa puolilämpimiin tiloihin olisi jo huomattava edistysaskel. Preparointilaitteiden hankinta mahdollisen pullotuslaitosinvestoinnin kanssa samaan aikaan toisi myös pidemmällä tähtäimellä kustannussäästöjä sekä toimivamman vaihtoehdon nykyisen kaltaiselle preparointiprosessille, missä pulloja lähetellään edestakaisin eri toimipaikkojen välillä.

LÄHTEET

1. Oy Woikoski Ab. https://www.woikoski.fi/woikoski/tietoa-woikoskesta.html. Lainattu 13.11.2020

2. World LPG Association (WLPGA). Guidelines for Good Industry Practices LPG Cylinder Filling. 2017, 7-8.

3. Mihoub Zakarya, Ouslati Ahmed, Smadi Hacene, May Bilal. Determination and Classification of Explosive Atmosphere Zones While Considering the Height of Discharges. Journal of Failure Analysis and Prevention. 2020, 503-504.

4. Molnarne Maria, Schroeder Volkmar. Hazardous properties of hydrogen and hydrogen containing fuel gases. Process Safety and Environmental Protection 130. 2019, 2-4.

5. CryoVation. https://cryovation.com/portfolio-items/fill-plants/. Lainattu 14.5.2021

6. Podesva Petr, Fojtik David, Gebauer Jan. Automation of measurement and data collection for gas filling line. 15th International Carpathian Control Conference. 2014, 1.

7. Drira Amine, Pierreval Henri, Hajri-Gaboul Sonia. Facility layout problems: A survey. Annual reviews in control 31. 2007, 255.

8. Matlock P., Coulter A. Lean Thinking in the Compressed Gas industry. CryoGas International. 2006, 18-22.

9. European Industrial Gases Association. Doc. 02/03 Job motivation and safe operations in cylinder filling stations. European Industrial Gases Association. 2003, 1-27.

10. Dagdougui Hanane, Garbolino Emmanuel, Paladino Ombretta, Sacile Roberto. Hazard and risk evaluation in hydrogen pipelines. Management of Environmental Quality: An international Journal. Emerald Group Publishing Limited. 2010, 712-713.

11. Saffers Jean Bernard, Molkov Vladimir. Hydrogen safety engineering framework and elementary design safety tools. International journal of hydrogen energy 39. 2014, 6269-6270.

12. Rodgers Steven F., Vudumu Shravan K., Grasman Scott E., Murray Susan L., Koylu Umit O. Hydrogen Safety – A focus on power generation applications. American Society of Safety Engineers. 2010, 42.

13. Barley C.D., Gawlik K. Analysis of buoyancy driven ventilation of hydrogen from buildings. International Journal of Hydrogen Energy 34. 2009, 5592-5603.

14. European Industrial Gases Association. Doc. 23.07/18. Safety training leaflet 07 hydrogen. European Industrial Gases Association. 2018, 2.

15. Zuttel Andreas. Materials for hydrogen storage. Materials today, September 2003 issue. 2003, 24.

16. European Industrial Gases Association. Doc. 100/20. Hydrogen cylinders and transport vessels. European Industrial Gases Association. 2020, 1-2.

17. Barthelemy Herve. Hydrogen storage – Industrial prospectives. International Journal of Hydrogen Energy 37. 2012, 17364-17367.

18. Kaur Manmeet, Pal Kaushik. Review on hydrogen storage materials and methods from an electrochemical viewpoint. Journal of Energy Storage 23. 2019, 237.

19. Hirscher Michael, Yartys Volodymyr A. Materials for hydrogen-based energy storage – past, recent progress and future outlook. Journal of Alloys and Compounds 827. 2020, 27.

20. Ren Jianwei, Musyoka Nicholas M., Langmi Henrietta W., Mathe Mkhulu, Liao Shijun. Current research trends and perspectives on material-based hydrogen storage solutions: A critical review. International Journal of Hydrogen Energy 42. 2016, 305.

21. Oy WoikoskiAb. https://www.woikoski.fi/en/woikoski/news-and-events/successful-commissioning-of-the-lohc-storage-and-release-plants-at-23-degrees-celsius-ambient-temperature-in-the-eu-project-hystoc-in-finland.html. Lainattu 14.5.2021

22. European Industrial Gases Association. Doc. 121/14 Hydrogen pipeline systems, European Industrial Gases Association. 2014, 14-17.

23. Cussler E.L., Moggridge G.D. Chemical Product Design, Second Edition. Cambridge University Press 2001 and E.Cussler and G. Moggridge 2011, 1-160.

LIITE I Easy Systems kuljetinjärjestelmän tarjous

Easy Systems budjettihinnat				
Hintaerittely		lkm	hinta	valuutta
1	Risteysasema yksikkö	1	9000	e
2	Lavarullakuljetin yksikkö	1	3300	e
WO14 vetypatterien täyttölaituri layout 3 kustannusarvio				
Risteysasemien lkm.		16	144000	e
Lavarullakuljetin lkm		36	118800	e
		Summa	262800	e

VR Veli-Pekka Räikkä <v-p.raikka@easy-systems.fi>
To Janne Mäntynen
You replied to this message on 12/10/2020 8.16.

Moi.

Tässä budjettihintoja.

L=1400 lavarullakuljetin. Anturilla + taajuusmuuttajaohjauksella. Jalat. 3300€/kpl.

Risteysasema. Rullakuljettimella L=1400. Risteysketjuilla L=1000. Sähköinen nosto. Taajuusmuuttajaohjauksella + antureilla. Jalat. 9000€/kpl.

HINNAT ALV.0.

Sähköt laskettu niin että yhteinen isompi ohjauskeskus.

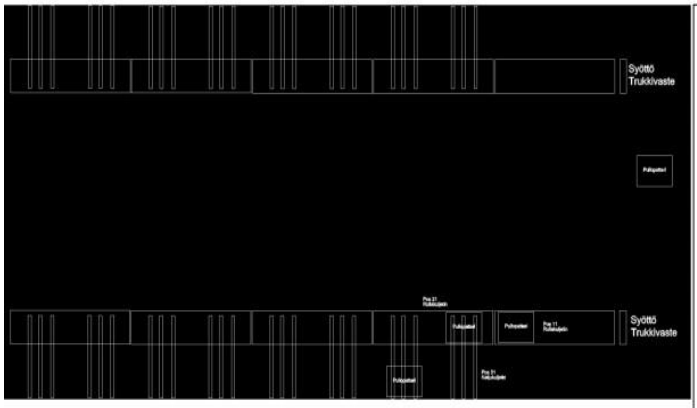
Kiitos.

Hyvää Viikonloppua.

Vellu

easy SYSTEMS

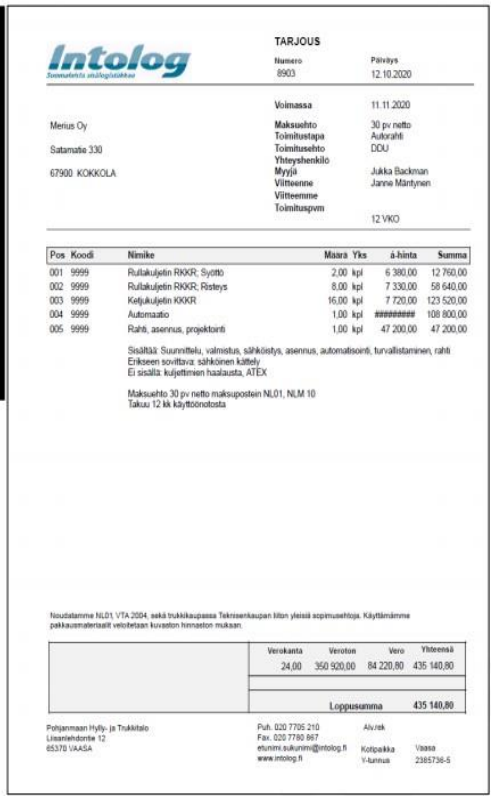
LIITE II Intolog kuljetinjärjestelmän tarjous



Intolog

https://www.intolog.fi/

Sisällysluetteloon



Intolog
Suunnitelta ratkaisuksi

TARJOUS

Numero	**Päiväys**
8903	12.10.2020
Voimassa	11.11.2020
Maksuehto	30 pv netto
Toimitustapa	Autorahti
Toimitusehto	DDU
Yhteyshenkilö	
Myyjä	Jukka Backman
Viitteenne	Janne Mäntynen
Viitteemme	
Toimituspvm	12 VKO

Merius Oy

Satamatie 330

67900 KOKKOLA

Pos	Koodi	Nimike	Määrä	Yks	á-hinta	Summa
001	9999	Rullakuljetin RKKR; Syöttö	2,00	kpl	6 380,00	12 760,00
002	9999	Rullakuljetin RKKR; Risteys	8,00	kpl	7 330,00	58 640,00
003	9999	Ketjukuljetin KKKR	16,00	kpl	7 720,00	123 520,00
004	9999	Automaatio	1,00	kpl	#########	108 800,00
005	9999	Rahti, asennus, projektointi	1,00	kpl	47 200,00	47 200,00

Sisältää: Suunnittelu, valmistus, sähköistys, asennus, automatisointi, turvallistaminen, rahti
Erikseen sovittava: sähköinen kättely
Ei sisällä: kuljettimien haalausta, ATEX

Maksuehto 30 pv netto maksupostein NL01, NLM 10
Takuu 12 kk käyttöönotosta

Noudatamme NL01, VTA 2004, sekä trukkikaupassa Teknisenkaupan liiton yleisiä sopimusehtoja. Käyttämämme pakkausmateriaalit veloitetaan kuvaston hinnaston mukaan.

Verokanta	Veroton	Vero	Yhteensä
24,00	350 920,00	84 220,80	435 140,80
		Loppusumma	**435 140,80**

Pohjanmaan Hylly- ja Trukkitalo
Liisanlehdontie 12
65370 VAASA

Puh. 020 7705 210
Fax. 020 7780 667
etunimi.sukunimi@intolog.fi
www.intolog.fi

Alv.rek
Kotipaikka
Y-tunnus

Vaasa
2385736-5