



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

EMIL NYBLOM

Elektrokemiallisen vedenkäsittelylaitoksen mekaniikkasuunnittelu

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2022

Tekijä Nyblom Emil	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Kuukausi Vuosi 10/2022
	Sivumäärä 36	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Elektrokemiallisen vedenkäsittelylaitoksen mekaniikkasuunnittelu		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikka		
Tiivistelmä Projektissa tehtiin suunnittelutyötä asiakkaalle Suomessa sijaitsevaan akkutehtaaseen. Tehtävänä oli suunnitella elektrokemiallista vedenkäsittelylaitosta mekaniikkasuunnittelun, sähkösuunnittelun sekä layout-suunnittelun osalta. Tavoitteena projektissa oli suunnittelun osalta valmis vedenkäsittelylaitos sekä valmiit piirustukset ja 3D-mallit asiakkaalle. Tehdyn työn sekä tavoitteiden pohjalta raportoitiin projekti. Raporttiin sisällytettiin kunnossapidon suunnitelma, kriittisyysanalyysi sekä HAZOP-analyysi. Suunnittelutyö toteutettiin Solidworks 3D- ja Autocad-ohjelmistoilla. Analyysien tulosten perusteella kehitettiin suunnittelua kohteeseen sekä huomioitiin kriittisimmät kohteet.		
Avainsanat Vedenkäsittelylaitos, kunnossapito, mekaniikkasuunnittelu, elektrolyysi		

Author Nyblom Emil	Type of Publication Bachelor's thesis	Date Month Year 10/2022
	Number of pages 36	Language of publication: Finnish
Title of publication Mechanical Design of an Electrochemical Water Treatment Plant		
Degree programme Mechanical engineering		
Abstract <p>In the project, design work was done for the customer's battery factory in Finland. The task was to design an electrochemical water treatment plant in terms of mechanical design, electrical design and layout design. The goal in the project was a finished water treatment plant as well as ready-made drawings and 3D models for the customer. Based on the work done and the goals, the project was reported. The report included a maintenance plan, criticality analysis and HAZOP analysis. The design work was carried out with Solidworks 3D and Autocad softwares. Based on the results of the analyses, the design for the site was developed and the most critical sites were taken into account.</p>		
Keywords Water treatment plant, maintenance, mechanical design, electrolysis		

ALKUSANAT

Kiitos Co-Engineering Oy mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta.
Opinnäytetyöhön saatiin tukea työpaikalta sekä koulusta.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 TOIMEKSIANTAJA	8
3 KOHDE.....	9
4 TEORIA	10
4.1 Kriittisyysanalyysi (PSK 6800).....	10
4.2 Kunnossapito.....	12
4.2.1 Yleinen kunnossapitoteoria	12
4.2.2 Kunnonvalvonta, ennakoiva kunnossapito	13
4.2.3 Kunnonvalvonta vedenkäsittelylaitoksessa	14
4.3 TPM.....	15
4.4 HAZOP-analyysi.....	16
5 TOTEUTUSVAIHE.....	17
5.1 Laitossuunnittelu	17
5.2 Osastointi / modulointi (kontit).....	18
5.3 Konttien sekä laitteiston suunnittelu ja laitoksen kasaaminen.....	19
5.3.1 Tuet	19
5.3.2 Säiliöt.....	20
5.3.3 Elektrolyysisäiliö	21
5.3.4 Putkisto	22
5.3.5 Sähköistys	23
5.3.6 Pumput.....	24
5.3.7 Pakokaasusuodattimet.....	25
5.3.8 Nosturi	26
5.3.9 Kaiteet.....	27
5.3.10 Kokoamisvaihe	28
5.4 Laitoksen toiminnan varmistaminen	29
5.5 Kriittisyysanalyysin suorittaminen.....	30
5.6 Tulosten hyödyntäminen kunnonvalvonnan suuntaamisessa ja ennakoivan kunnossapidon suunnitelmassa.....	31
5.7 HAZOP-analyysi vedenkäsittelylaitoksesta.....	33
5.8 Käyttäjien tekemä kunnossapito	34
6 YHTEENVETO	35
LÄHTEET.....	36

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

TPM Total Productive Maintenance

HAZOP Vaara- ja käytettävyystudkimus

Kontti Merikonttirunko

PI-kaavio Putkitus- ja instrumentointikaavio

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä raportoidaan Co-Engineeringin asiakkaalle tehtävää elektrokemiallisen vedenkäsittelylaitoksen mekaniikkasuunnittelua. Laitos käsittelee jätevetä, jota syntyy litiumhydroksidia jalostavasta akkutehtaasta. Vedenkäsittelylaitoksen tarkoituksena on puhdistaa jätevesi. Suunnittelun tavoitteena on mekaniikkasuunnittelun, layoutsuunnittelun sekä sähkösuunnittelun osalta valmis vedenkäsittelylaitos. Laitos koostuu moduloiduista merikonttirungoista, jotka suunnitellaan konttikohtaisesti siten, että laitteistot on helppo liittää toisiinsa työkohteessa. Asennustyöt kohteessa pidetään mahdollisimman pienenä. Suunnitteluun kuuluvat konttien lisätuet, sähköistys, kiinnikkeet, putkitukset, laitteiston sijoittelu sekä kiinnitys.

Raporttiin sisällytetään kunnossapidon suunnitelma, HAZOP-analyysi sekä kriittisyysanalyysi. Kriittisyysanalyysi tehdään suunnittelun valmistuttua ja analyysin tulosten perusteella kohdennetaan ennakoivaa kunnossapitoa sekä kunnonvalvontaa kriittisimmiksi havaittuihin kohteisiin. Kunnossapitoa suunnitellaan jo suunnittelutyön alkaessa.

Suunnittelutyö toteutetaan Solidworks 3D- ja Autocad-ohjelmistoilla. Työn lopputuloksena ovat valmiit piirustukset, joiden pohjalta laitos rakennetaan. Lopputuloksena syntyy kriittisyysanalyysin tuloksiin pohjautuva kunnossapidon suunnitelma. Valmistuvaa laitosta pääsee seuraamaan kohteeseen rakennusvaiheessa.

2 TOIMEKSIANTAJA

Co-Engineering Oy on suomalainen perheyrittäjä, joka toteuttaa prosessiteollisuuden, energia-alan, sähköjakelun ja sähköntuotannon sähkö- ja automaatio suunnittelua. Osaamisalueita ovat myös käyttöönotto ja asennuspalvelut eri teollisuuden kohteissa. Yrityksen osaamisalueita ovat erityisesti prosessiteollisuus, sähköjakelu, aurinko- ja tuulivoima, vesivoima sekä ydinvoima. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2021 8,4 M€ ja henkilöstön määrä 90. Vuonna 2022 yrityksen toimintaan tuli mukaan pääomasijoittaja Juuri Partners tukemaan yrityksen kasvua.

3 KOHDE

Kohde on Suomessa sijaitseva akkutehdas, jossa jalostetaan litiumhydroksidia. Merikonttikehikoita apuna käyttäen rakennetaan vedenkäsittelylaitos, jonka tarkoituksena on puhdistaa akkutehtaasta muodostuvaa jätevettä kuonasta sekä bakteereista elektrolyysin ja kaavinnan avulla. Jätevedestä suodatetaan hiekkaa hiekkasuodattimien avulla. Elektrolyysi tehdään yksikköön, johon lasketaan metallilevypakka, johon johdetaan sähköä. Elektrolyysilevyt vaihdetaan puhtaisiin tasaisin väliajoin. Elektrolyysista syntyvät kaasut johdetaan pakokaasunsuodattimiin. Pakokaasunsuodattimissa on vaihdettavat aktiivihiilipussit. Laitos sisältää useita pumppuja veden kierrättämiseen.

Laitos on päällä vuorokauden ympäri ja huoltokatkot pyritään pitämään mahdollisimman lyhyinä. Prosessin keskeytyessä vettä johdetaan säiliöihin, koska veden virtaus ei pääty huollon aikana. Tarkoituksena on, että tehtaan prosesseja ei pysäytetä huollon aikana.

4 TEORIA

4.1 Kriittisyysanalyysi (PSK 6800)

Kyseessä on suomalainen standardisointiyhdistyksen laatima standardi laitekriittisyyden määrittämiseen taloudellisuuden, ympäristövaikutusten sekä ihmisturvallisuuden näkökulmasta (PSK 6800, s. 1, 3). Kriittisyysanalyysin pohjana käytetään PSK 6800-standardia.

PI-Kaavion sekä yhtälön avulla arvioidaan kriittisyyttä luokkien mukaisesti. Kriittisyyden arviointiin käytetään seitsemää eri vaihetta,

1. Määritetään sekä rajataan tarkasteltava alue.
2. Määritellään tuotannonmenetykselle arvo standardin mukaisesti
3. Määritellään tarkasteltavien kohtien paino-arvot
4. Määritetään tarkasteltavat laitekokonaisuudet
5. Arvioidaan tarkasteltavat kohteet määrittämällä kohteet
6. Lasketaan indeksit kriittisyydelle
7. Lajitellaan kriittisyysindeksi K mukaisesti arvioidut laitteet. (PSK 6800, 2008, s. 3).

Yhtälö kriittisyysindeksin määrittämistä varten

$$K = p \times (Ws \times Ms + We \times Me + Wp \times Mp + Wq \times Mq + Wr \times Mr)$$

Kaavassa:

- p tarkoittaa vikaantumisväliä
- Ws tarkoittaa turvallisuusriskin painoarvoa
- Ms tarkoittaa turvallisuusriskin kerrointa
- We tarkoittaa ympäristöriskin painoarvoa
- Me tarkoittaa ympäristöriskin kerrointa
- Wp tarkoittaa tuotannon menetyksen painoarvoa
- Mp tarkoittaa tuotannon menetyksen kerrointa
- Wq tarkoittaa laatu-kustannusten painoarvoa
- Mq tarkoittaa laatu-kustannusten kerrointa
- Wr tarkoittaa korjaus- tai seurauskustannusten painoarvoa

-Mr tarkoittaa korjaus- tai seurauskustannusten kerrointa (PSK 6800, 2008, s. 7)

Kriittisyysindeksin mukaan pystytään määrittämään kriittisyys. Kohteet jaotellaan kolmen osaluokan mukaisesti, kuten ympäristövaikutukset sekä turvallisuus, seuraus- ja korjauskustannuksen sekä tuotantovaikutukset (PSK 6800, 2008, s.7, 9).

PSK-6800 mukainen taulukko laitekriittisyyden määrittämiseen (PSK 6800, 2008, s. 7)

Kuva 1. Taulukko laitekriittisyyden määrittämiseen

Kohde	Painoarvo [W]	Vikaantumisväli [p]	Kerroin [M]	Valintakriteeri	
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit $W_s = 30$	1 = Pitkä vikaantumisväli esimerkiksi yli 5 vuotta 2 = Pitkähkö vikaantumisväli esimerkiksi 2 – 5 vuotta 4 = Lyhyehkö vikaantumisväli esimerkiksi 0,5 – 2 vuotta 8 = Lyhyt vikaantumisväli esimerkiksi 0 – 0,5 vuotta	$M_s = 0$	Ei turvallisuusriskiä	
			$M_s = 2$	Vähäinen turvallisuusriski	
			$M_s = 4$	Kohtalainen turvallisuusriski	
			$M_s = 8$	Merkittävä turvallisuusriski	
			$M_s = 16$	Vakava turvallisuusriski	
	Ympäristöriskit $W_e = 20$		$M_e = 0$	Ei ympäristöriskiä	
			$M_e = 2$	Vähäinen ympäristöriski	
			$M_e = 4$	Kohtalainen ympäristöriski	
			$M_e = 8$	Merkittävä ympäristöriski	
			$M_e = 16$	Vakava ympäristöriski	
Tuotantovaikutukset	Tuotannon menetys $W_p = 0 \dots 100$	$M_p = 0$	Laitteen toimimattomuudella ei ole merkitystä osaprosessille tai osastolle		
		$M_p = 1$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi (esimerkiksi $\leq 3h$)		
		$M_p = 2$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi (esimerkiksi $\leq 10h$)		
		$M_p = 3$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi (esimerkiksi 10 - 24h)		
	Laatukustannus $W_q = 30$	$M_p = 4$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (esimerkiksi $>24h$)		
		$M_q = 0$	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia		
		$M_q = 1$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi $\leq 1h$)		
		$M_q = 2$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi $\leq 3h$)		
		$M_q = 3$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 3 - 8h)		
		$M_q = 4$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi $> 8h$)		
		Korjaus- tai seurauskustannus	Korjaus- tai seurauskustannus $W_r = 20$	$M_r = 0$	Korjauskustannuksilla tai seurauskustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin
				$M_r = 1$	Vähäiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi $\leq 2h$)
$M_r = 2$	Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi $\leq 10h$)				
$M_r = 3$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 10- 24h)				
		$M_r = 4$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi $> 24h$)		

4.2 Kunnossapito

4.2.1 Yleinen kunnossapitoteoria

Erilaiset prosessit syntyvät yhteiskuntaan tuottamaan hyödykkeitä. Kaikki nämä hyödykkeet ovat ajallisesti rajoittuneita keston suhteen. Kunnossapito on keino, jolla hidastetaan hyödykkeiden kulumista sekä huononemista. Kunnossapidolla ei voida täysin estää koneiden rikkoutumista. Huononeminen ei pelkästään esiinny koneissa ja valmistusprosesseissa vaan kaikkialla yhteiskunnassa (Järviö, 2007).

Kunnossapitoa tehdään paljon kaikkialla maailmassa. Tilastokeskuksen mukaan kiinteiden investointien osuus pääomakannasta oli 402 mrd. euroa jo vuonna 2005. Kunnossapidon on tarkoitus olla sopivaa sekä hallittua. Sopivuuden määrittää markkinat, eli paljonko yrityksen tuotteita tai palveluita ostetaan. Perinteisesti kunnossapito ymmärretään vikojen korjaamisena, tämä on kuitenkin liian rajoittunut nimitys kunnossapidolle. Nimensä mukaisesti kunnossapito on omaisuuden tuottokyvyn ylläpitämistä, säätämistä sekä säilyttämistä (Järviö, 2007).

Kunnossapitoon kuuluvia tärkeimpiä asioita ovat:

- Laitteen toiminnan ylläpitäminen
- Laite kykenee tuottamaan laadukkaasti
- Laite on turvallinen käyttää
- Laitteen elinikä pystytään määrittelemään
- Käyttöolosuhteet pysyvät normaalina
- Alkuperäiseen kuntoon palauttaminen
- Koneen tai laitteen modernisointi sekä päivitys
- Suunnitteluvirheiden korjaaminen
- Kehitettävyyden etenkin käyttöä ja kunnossapitoa ajatellen (Järviö, 2007).

Suomessa käytetään PSK standardisointiyhdistyksen laatimaa suomenkielistä PSK-standardisointia, joka toimii yhdessä EN-standardien kanssa. Kunnossapitoon liittyen on paljon normeja, jotka ovat laitekohtaisia sekä määrittelevät kunnossapitoon liittyviä asioita. EU-määräysten mukaan kansallisten standardien on sovellettava yhteen EN-standardien kanssa (Järviö, 2007).

4.2.2 Kunnonvalvonta, ennakoiva kunnossapito

Ennakoiva kunnossapito on menetelmä, joka perustuu niiden tekijöiden tarkasteluun, jotka määrittävät kohteen suorituskyvyn huononemista. Ennakoiva kunnossapito parantaa kohteen luotettavuutta, tuottavuutta sekä kilpailukykyä muihin kilpailijoihin verrattuna (Järviö, 2007). Ennakoivaan kunnossapitoon kuuluu säännölliset tarkastukset, huollot sekä mahdolliset korjaukset. Ennakoivia toimenpiteitä ovat esimerkiksi vuosihuolto, vuositarkastus, puhdistus, rasvaus, säätö sekä kulutusosien vaihto ennakoivasti. Tarkastetuista kohteista on tärkeää tehdä raportti, jotta nähdään puutteet ja epäkohdat sekä turvallisuusriskit. Turvallisuuden kannalta on tärkeää, että puutteet ja virheet huomataan, jotta tarvittaviin toimiin ryhdytään ajoissa.

Ennakoivan kunnossapidon hyötyjä ovat:

- Turvallisuuden parantaminen
- Kustannussäästöt
- Vähemmän keskeytyksiä sekä häiriöitä
- Laitteiston tarkkailu
- Lisää tuottavuutta
- Automaation lisääminen kunnossapitoon
- Ennakkoon suunniteltava varaosavarasto

Koneiden kunnonvalvonta ja erityisesti värähtelymittaukset ovat tulleet yhdeksi tärkeäksi tekijäksi teollisuuden kunnossapidossa. Yhä useammassa tuotantolaitoksessa on havaittu kunnonvalvonnan myönteinen vaikutus koneiden käyttöasteeseen ja toiminnan kannattavuuteen. Tähän on vaikuttanut erityisesti tietokoneavusteisen kunnonvalvonnan käyttöönotto. Viimeisen kymmenen vuoden aikana, minkä ansiosta suurta mittaustietomäärää pystytään hallitsemaan ja käsittelemään siten, että tuotantolaitoksen koneiden kunto on jatkuvasti tiedossa (Opetushallitus, ei pvm.)

4.2.3 Kunnonvalvonta vedenkäsittelylaitoksessa

Vedenkäsittelylaitoksen kunnonvalvonta on pohdittu etukäteen, koska kyseinen prosessi on jo olemassa Suomessa testikäytössä. Kunnonvalvontaa suoritetaan analysoimalla prosessivesinäytteitä, seuraamalla antureiden avulla lämpötiloja sekä värähtelyjä kohteessa.

Muuttuvia taajuuksia voidaan tarkastella taajuusmittarin HZ asennolla. Mittaukset kohdistuvat prosessin laitteisiin. Taajuusmittaukset kohteessa hoitaa kunnossapitäjät sekä käyttöönottajat. Mittauksen suorittaja analysoi mittauksen tulokset ja toimittaa ne arvioitaviksi johtoportaalille.

Sähkömoottorien kunnonvalvontaa suoritetaan mittaamalla värinätasoa sekä lämpötilaa. Korkea lämpötila sekä liiallinen värinä laskee sähkömoottorin käyttöikä. Värinää on syytä valvoa jatkuvasti, näin voidaan tehdä tarvittavia toimia, kuten rasvauksia, säätöjä sekä linjauksia moottoreihin. Kohteessa käytetään sähkömoottoreita pumpuissa, joten niiden kunnonvalvonta on erityisen tärkeää.

Näiden tulosten perusteella voidaan suunnata kunnossapitoa sekä tehdä parannuksia prosessin toimintaan ja luotettavuuteen. Mahdollisia toimia voivat ovat lämpötilan säätely vedelle tai huoneelle, värinän vaimennus, puhdistus, rasvaus, veden virtauksen muokkaaminen sekä ilmanvaihdon muutokset.

4.3 TPM

TPM (Total Productive Maintenance) voidaan suomentaa *kokonaivaltaiseksi tuottavaksi kunnossapidoksi*. TPM:n päämääränä on saada tuotannon koneille optimaaliset toimintaolosuhteet sekä pitää näitä olosuhteita yllä. Alunperin TPM-järjestelmä on Japanista kotoisin 1970-luvun lopulta.

TPM-kehitysohjelma on yritykselle pitkä prosessi, joka vaatii kaikkien sitoutumista (Järviö, 2007).

Arvioitu kesto prosessille on noin 10 vuotta, ja sisältää kolme vaihetta:

1. Yritys valitsee prosessin auditoitavaksi
2. Toinen auditointi, jonka kohteet valitsee JIPM (Japan Institute for Plant Maintenance)
3. Aikaisintaan kymmenen vuoden kuluttua suoritetaan viimeinen auditointi, tässä auditoinnissa auditoitava esittelee valitsemansa prosessin (Järviö, 2007).

TPM:n onnistumiseen tarvitaan täyttä panostusta ja prosessin mukanaan tuoma kulttuuri tulee omaksua. TPM:n mukaisesti käyttäjä on vastuussa koneen luotettavuudesta. Käyttäjän tulee valvoa koneen käyttöä sekä tilata tarvittavat korjaustyöt kunnossapitäjiltä (Järviö, 2007).

TPM:n käyttöönotto vedenkäsittelylaitoksessa vaatii tiimiltä historiatiedon keräämistä, analysointia vikaantumisesta sekä yleistarkastuksen ohjeiden parantamistesta. Esimiesten tulee opastaa käyttäjiä sekä kunnossapitäjiä laatimaan käyttö- ja vianetsintäohjeita. Kehitystyö kohteessa tulee olla jatkuvaa, mikäli halutaan TPM:n toimivan.

TPM:n toiminnasta muodostuu myös omia kuluja, kuten koulutus, modernisointi sekä alihankinta. Tavoitteena vedenkäsittelylaitoksessa on ylläpitää ihanteellisia käyttöolosuhteita, kuten veden virtausta ja oikeaa lämpötilaa. Toimintoja tulee automatisoida ja helpottaa automaatiolla. Koneiden ja laitteiden modernisoinnilla pyritään helpompaan käytettävyyteen (Järviö, 2007)

4.4 HAZOP-analyysi

HAZOP (Hazard and Operability Study) on poikkeamatarkasteluanalyysi, jolla pyritään tunnistamaan vaaroja sekä arvioimaan poikkeaman seurauksia. Poikkeamatarkastelu toimii hyvin riskien laajempaan tunnistamiseen. Menetelmä perustuu ohjaaviin kysymyksiin liittyen kohteen käyttötarkoitukseen sekä toimintaehtoihin.

HAZOP-analyysi käsittelee kaikkia poikkeamia suunnittelun osalta. Poikkeamat johtuvat suunnittelun puutteellisuudesta, komponenteista tai toimintaehtojen saavuttamattomuudesta.

HAZOP-analyysin laatimisen vaiheet:

1. Projektisuunnitelman tekeminen
2. Fasilitaattori tutustuu kohteeseen, jonka pohjalta laaditaan raportti poikkeamista
3. Asiakirjan laatiminen kerätyn tiedon perusteella
4. Käydään läpi havainnot sekä ehdotetut korjaavat toimenpiteet asiakkaan kanssa
5. Fasilitaattori tarjoaa asiakirjojen päivitystä ylläpitopalveluna (Protect, ei pvm.)

Kuva 2. Riskimatriisi

				SEVERITY							
		LIKELIHOOD		1	2	3	4	5	6	7	
RISKMATRIX	P	Persons	First Aid case (FAC)	Medical treatment (MT)	Lost time Incident (LTI)	1 Fatality	1 - 5 Fatalities	5 - 50 fatalities	Over 50 fatalities		
	E	Environment	No offsite impact	Minor impact & Clean-up	Moderate impact & clean-up. No residual	Serious mid-term impact, major clean-up	Serious long-term impact, major rehabilitation	Near eradication of Hi-value ecosystem	Eradication of Hi-value ecosystem		
	R	Reputation	No public concern	Local public concern	Regional public concern	National public concern	Internat. public concern	Internat. condemnation, single licence to op. loss	Prolonged internat. condemnation, multi licence to op. loss		
	S	Social	Short term local	Medium term local	Permanent local	Medium term regional	Permanent regional	Medium term international	Long term international		
	L	Legal	No formal notice	Breach notice issued	Prosecution & mod. Fine	Prosecution & major fine	Class actions	Multi litigation	Long multi litigation. Closure of Ops.		
	F	Financial	< \$ 0.01M	< \$ 0.1M	< \$ 1M	< \$ 10M	< \$ 100M	< \$1,000M	> \$1,000M		
		FREQ	LIKELIHOOD		SEVERITY						
Almost certain: >1/yr	10	5	2	3	4	4	4	4	4		
Likely: 1/yr	1	4	1	3	4	4	4	4	4		
Possible: 1/10yr	1,0E-01	3	1	2	3	4	4	4	4		
Unlikely: 1/100yr	1,0E-02	2	1	1	2	4	4	4	4		
Rare: 1/1000yr	1,0E-03	1	1	1	2	3	4	4	4		

5 TOTEUTUSVAIHE

5.1 Laitossuunnittelu

Asiakkaalle tehdään suunnittelytyötä, joka sisältää detail-suunnittelun, kaiteiden ja hoitotasojen suunnittelun, sähkösuunnittelun, mekaanisen- ja putkisuunnittelun sekä layout-suunnittelun. Suunnittelualue rajautuu detail-suunnittelun osalta kontteihin ja niiden laitteistoihin, mutta layout-suunnittelua suoritetaan isommassa mittakaavassa.

Suunnittelutyö aloitetaan valmiista merikonttirungosta, johon lisätään tukia, kiinnikkeitä sekä laitteistoja tarpeen sekä asiakkaan toivomusten mukaisesti. Suunnittelytyön alkuvaiheessa tutustutaan annettuihin materiaaleihin, kuten PI-kaavioon, laitteiden piirustuksiin sekä annettuihin 3D-malleihin. Suunnittelun onnistumisen kannalta on tärkeää ymmärtää käytettävän tilan määrä, prosessin toiminta, kuten veden kulku, puhdistusmenetelmät sekä poikkeustilanteet.

Tärkeimmät sijoitettavat laitteet ovat elektrolyysisäiliö, hiekkasuodattimet, kaavinta-allas, sähkökeskukset, pumput sekä pakokaasusuodattimet. Suurin haaste sijoittelun kannalta on vähäinen tila, sillä konteissa olevat tuet sekä rakenteet rajoittavat tilankäyttöä.

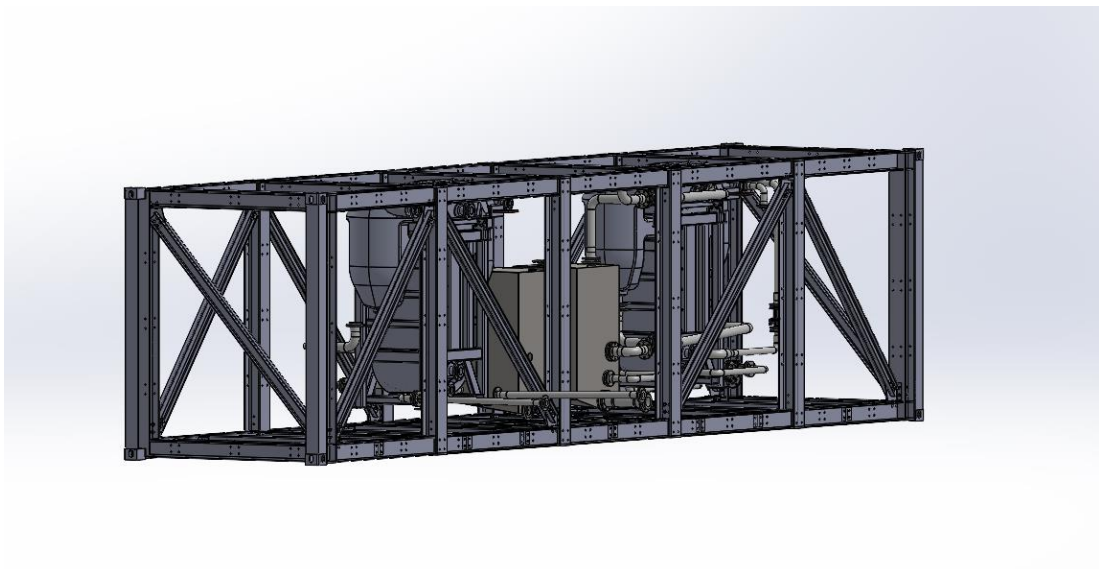
5.2 Osastointi / modulointi (kontit)

Moduloinnin tavoitteena on, että kontit ovat valmiiksi kasattuja laitteistoinen, jotta ne pystytään helposti liittämään toisiinsa kohteessa. Kontin nimeäminen määritetään sisälle tulevan laitteiston mukaisesti.

Moduloinnin hyötyjä projektissa ovat vähäinen työmäärä kohteessa ja mahdollisuus tuottaa lisää kontteja helposti muihin kohteisiin pienillä muutoksilla sekä kustannustehokkaasti. Valmiiksi suunniteltu rakenne konttikohtaisesti pienentää virheiden mahdollisuutta. Moduloiduista konteista toimitetaan asiakkaalle valmiit 3D-mallit sekä piirustukset.

Valmis moduloitu kontti voidaan kuljettaa myös ulkomaille käytettäväksi. Kontti soveltuu hyvin käytettäväksi ulkomailla, koska kontin teräsrakenteet kestävät vaihtelevia lämpötiloja sekä sääolosuhteita.

Kuva 3. Elektrolyysisäiliökontti



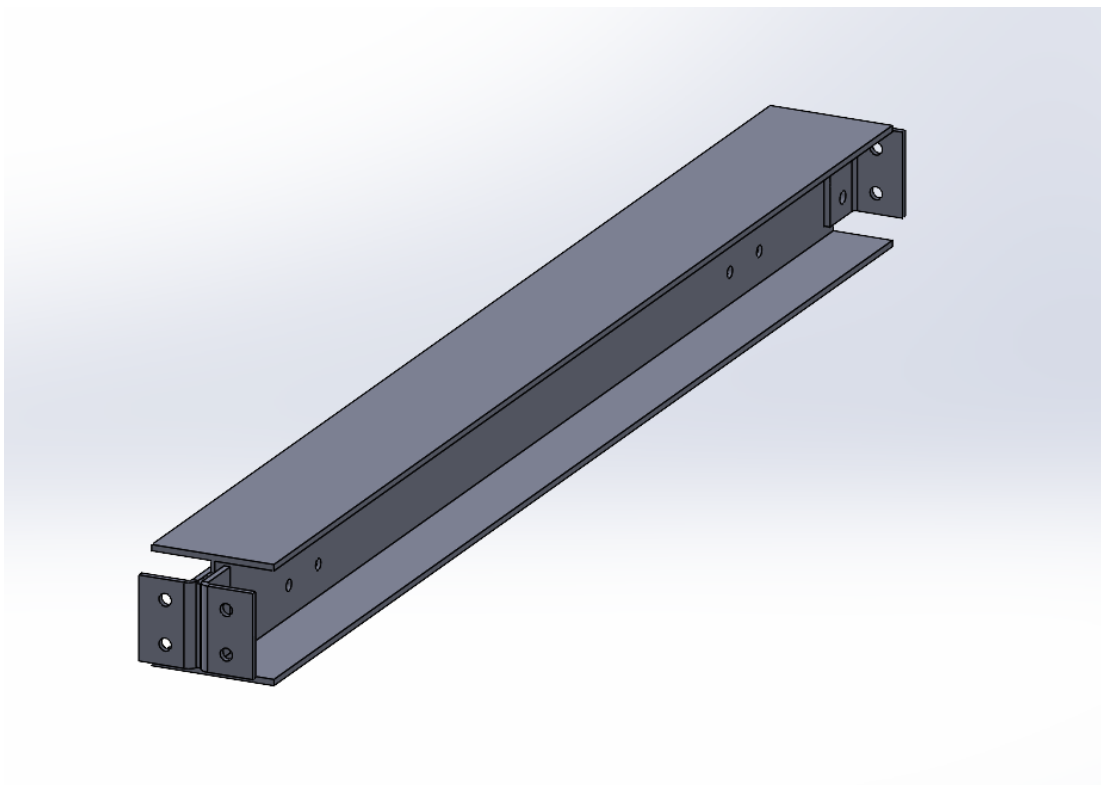
5.3 Konttien sekä laitteiston suunnittelu ja laitoksen kasaaminen

5.3.1 Tuet

Kontin runko on valmis 3D-malli, jonka asiakas luovuttaa yrityksellemme projektin alussa. Konttiin tehdään tarvittavia lisäyksiä sekä muutoksia tarpeen mukaan. Ensimmäisenä konttiin suunnitellaan tarvittavat tuet sijoitettavalle laitteistolle, sillä konttiin tuleva lattia ei kykene kannattelemaan laitteiston painoa.

Tukiin käytetään IPE-palkkeja, joiden päihin tehdään leikkaukset siten, että palkki mahtuu kääntymään haluttuun väliin kontin rungossa. Tuet kiinnitetään pulteilla kulmarautoja apuna käyttäen.

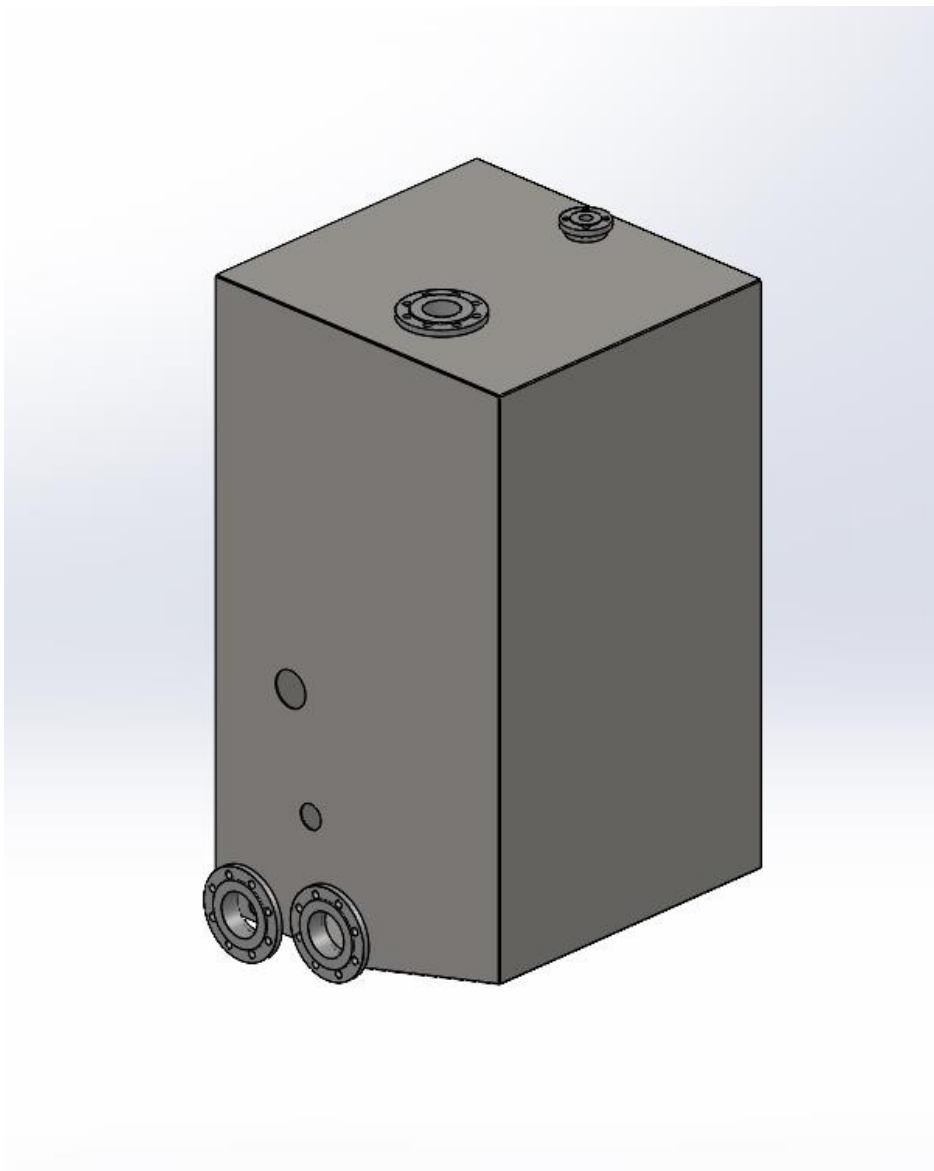
Kuva 4. Kontin lattian tukipalkki



5.3.2 Säiliöt

Ylimääräiselle vedelle suunnitellaan ylivuotosäiliöt, joita sijoitetaan konttiin kaksi kappaletta. Säiliö valmistetaan ruostumattomasta teräksestä ja kasataan hitsiliitoksin. Säiliön pohjassa on kaato, jotta veden kulku olisi mahdollisimman optimaalista. Säiliön putkiosat valitaan EN 1092-1 Type 11 mukaisesti. Säiliön korkeus on tarkka vesikierron toiminnan kannalta. Säiliö vaatii lisätuet lattian alle painon vuoksi.

Kuva 5. Ylivuotosäiliö

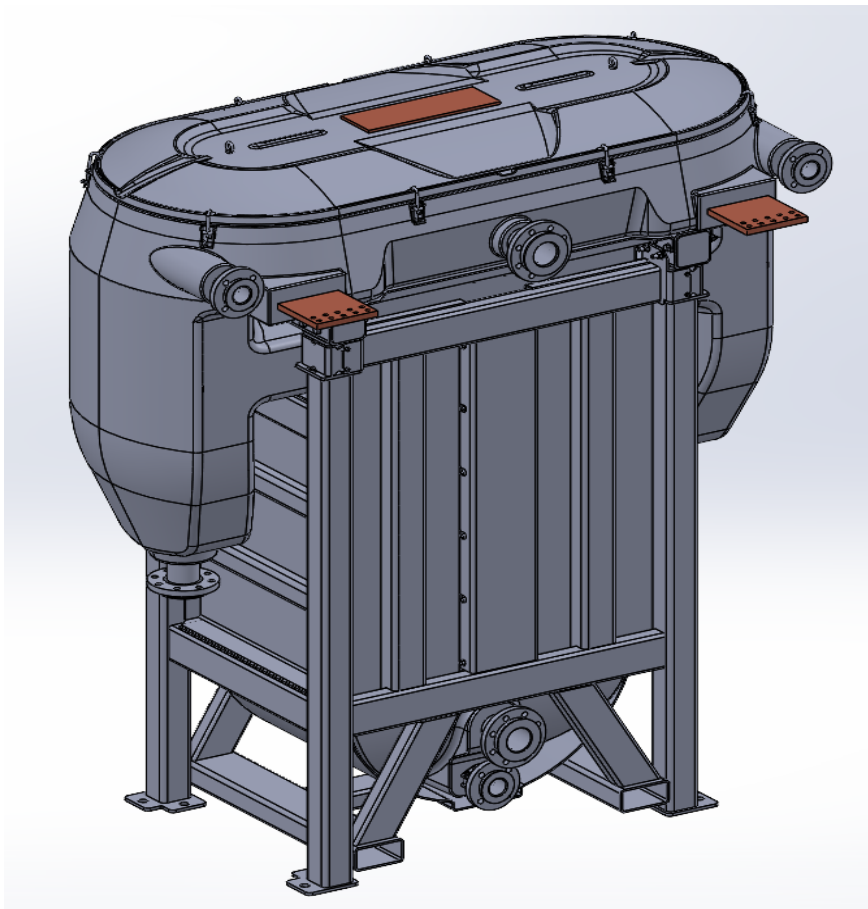


5.3.3 Elektrolyysisäiliö

Elektrolyysisäiliö on valmis tuote, joka sijoitetaan kontin sisälle. Elektrolyysisäiliö tarvitsee tulenkestävät seinät ympärilleen mahdollisen räjähdysvaaran vuoksi. Elektrolyysin ollessa käynnissä prosessista vapautuu haitallisia kaasuja, jotka voivat syttyä. Kuparikiskojen läpivienti seinän lävitse sekä turvaetäisyys sähkökeskukseen on sijoittelun haastavin osa. Säiliö nostetaan jalustan avulla lattiatasoa korkeammalle, jotta levynvaihtoluukun saa helposti avattua ilman tikkaita yläpuolella sijaitsevasta kontista.

Säiliö on valmistettu muovista, mutta ollessaan täynnä vettä, painoa on enemmän kuin lattia jaksaa kannatella. Konttiin lisätään pultattavat tuet säiliön jalustan alapuolelle. Elektrolyysilevyt vaihdetaan puhtaisiin viikon välein. Vaihdot jaksotetaan siten, että levyt vaihdetaan yhdellä kertaa vain toiseen säiliöön. Tämä takaa prosessin sujuvan jatkumisen.

Kuva 6. Elektrolyysisäiliö

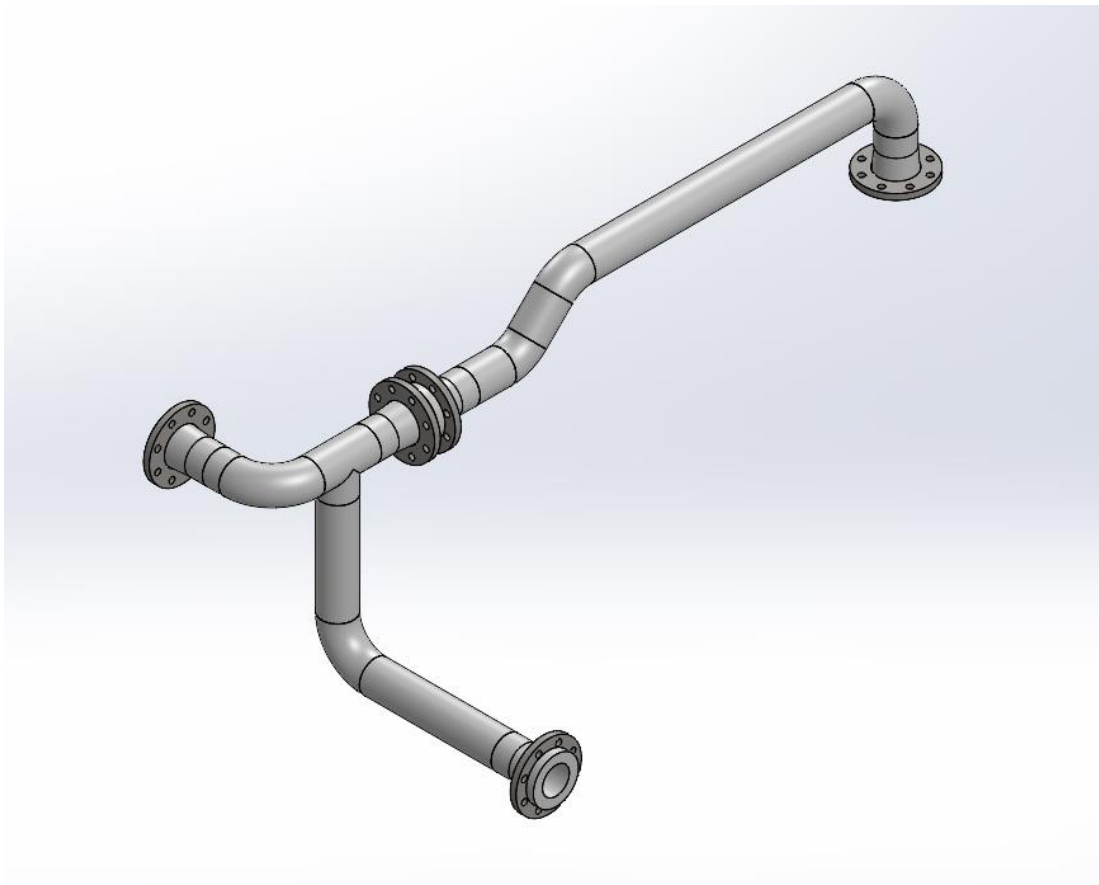


5.3.4 Putkisto

Putkiston suunnittelu on koko projektin suurin osa-alue ja vaatii eniten mietintää sekä huolellisuutta tarkkojen standardien ja asiakkaan vaatimusten vuoksi. Putkiston suunnittelussa noudatetaan asiakkaan määrittämiä standardeja sekä toiveita. Putkisto valmistetaan ruostumattomasta teräksestä.

Putkiston osien 3D-mallit ladataan valmiina, minkä jälkeen putkisto kootaan Solidworks-ohjelmistolla. Täten putket ovat valmiiksi oikean kokoisia ja suunnittelutyö on sujuvaa. Putkisuunnittelussa tulee ottaa huomioon putken oikeaoppinen muotoilu, ettei putkireititykseen synny taskuja, joihin vesi jää makaamaan.

Kuva 7. Ylivuotolinja

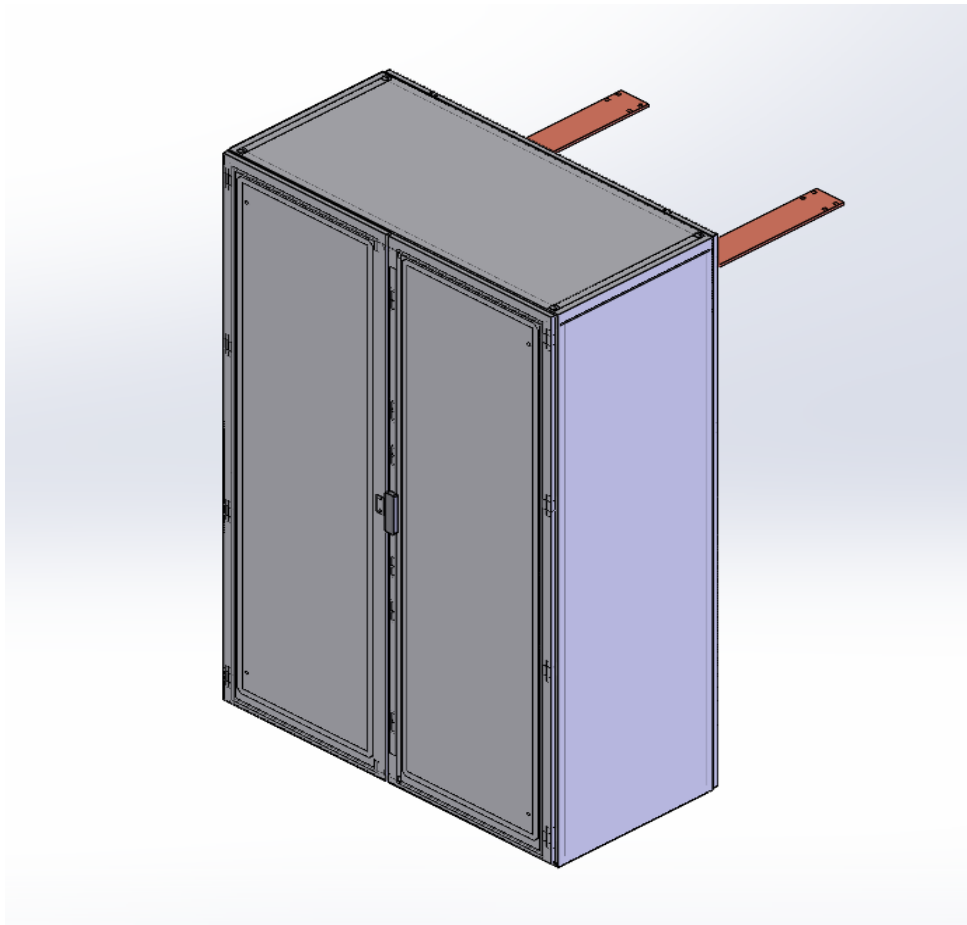


5.3.5 Sähköistys

Sähköistyksen osalta suunnitteluun kuuluu sähkökeskuksen sijoittaminen konttiin sekä kuparisten johdinkiskojen reititys. Sähkökeskus hankitaan alihankintana haluttua kokoa noudattaen. Sähkökeskuksia laitokseen tulee kaksi kappaletta. Laitokseen sijoitetaan myös jakokoteloita laitteiden läheisyyteen.

Sähkökeskus kiinnitetään kontin seinään korkeammalle kuin lattiataso. Johdinkiskot suunnitellaan siten, että matka elektrolyysisäiliölle olisi mahdollisimman suora ja lyhyt. Tarvittaessa käytetään joustavia johdinkiskon osia mahdollisen korkeuseron vuoksi. Kiskot tulee suojata ja niille tehdään läpivienti tuliseinän lävitse.

Kuva 8. Sähkökeskus johdinkiskoilla

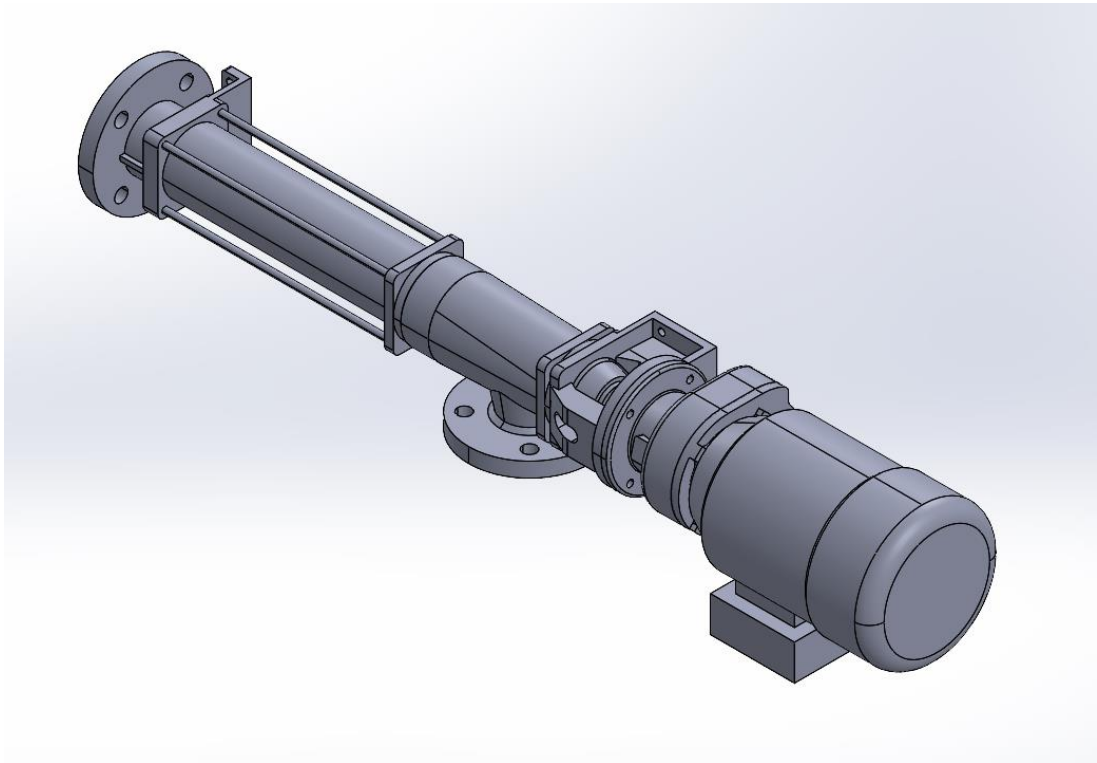


5.3.6 Pumput

Pumput hankitaan alihankintana asiakkaan toimesta. Pumpuista toimitetaan 3D-mallit yrityksellemme. Pumput asennetaan kontin lattialle ja niihin suunnitellaan tarvittavat korokeyhennikkeet asentamista varten. Pumppujen tulee olla helposti vaihdettavissa sekä putkireitityksen optimaalinen hyvän virtauksen saavuttamiseksi.

Ruuvipumpuille tulee olla paineturva käytössä, ettei paine putkistoissa kasva liian suureksi. Paineturva suojaa ihmisiä sekä laitteita vaurioilta.

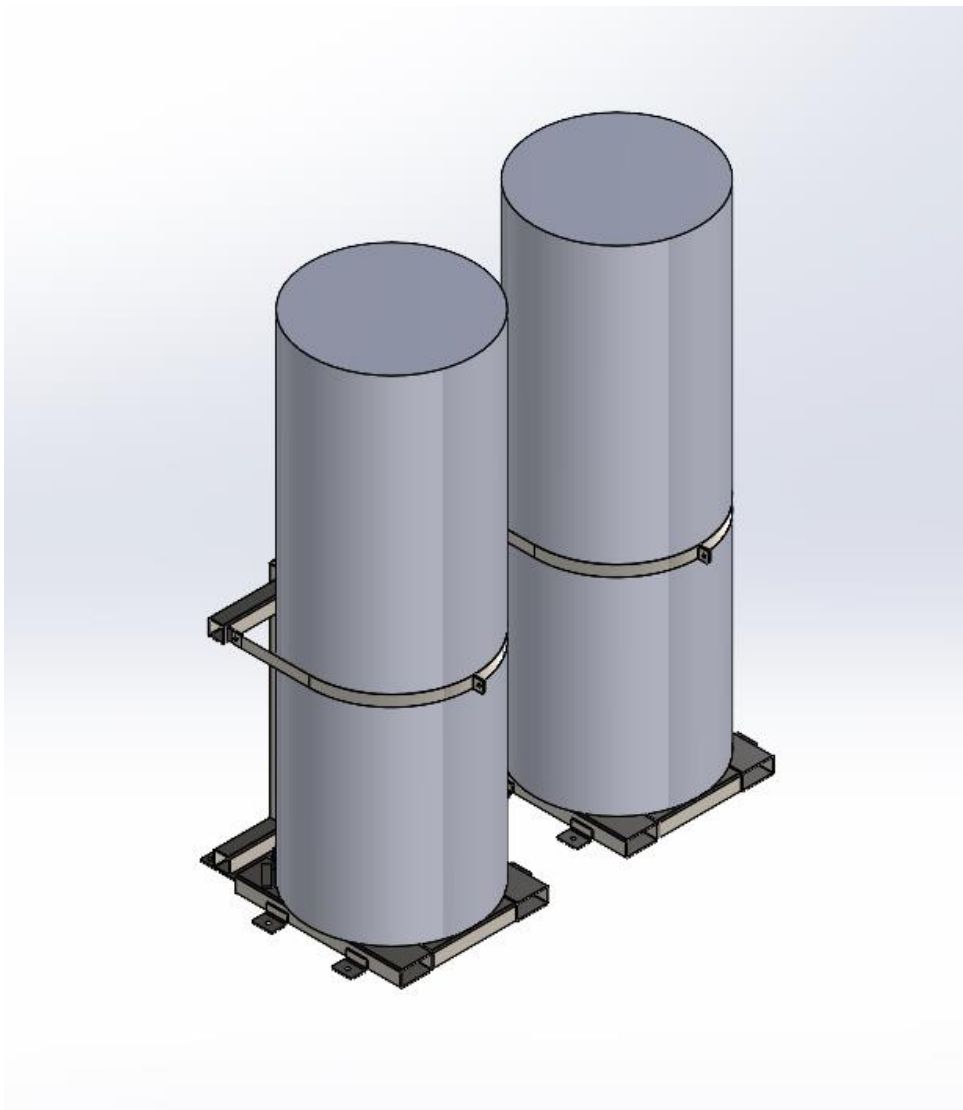
Kuva 9. Syöttöpumppu



5.3.7 Pakokaasusuodattimet

Pakokaasusuodattimista asiakas toimittaa valmiin 3D-mallin yrityksellemme. Pakokaasusuodattimista tehdään yksinkertainen 3D-malli kiinnityksen suunnittelua varten. Suodattimien poistoputkien reititys tehdään lyhintä reittiä ulos kontista. Pakokaasusuodattimet paikoitetaan siten, että sisällä olevat 20kg painavat aktiivihiilipussit pystytään vaihtamaan mahdollisimman helposti. Aktiivihiilipussit huolehtivat haitallisten kaasujen turvallisesta suodattamisesta matalilla kustannuksilla.

Kuva 10. Pakokaasusuodattimet telineessä

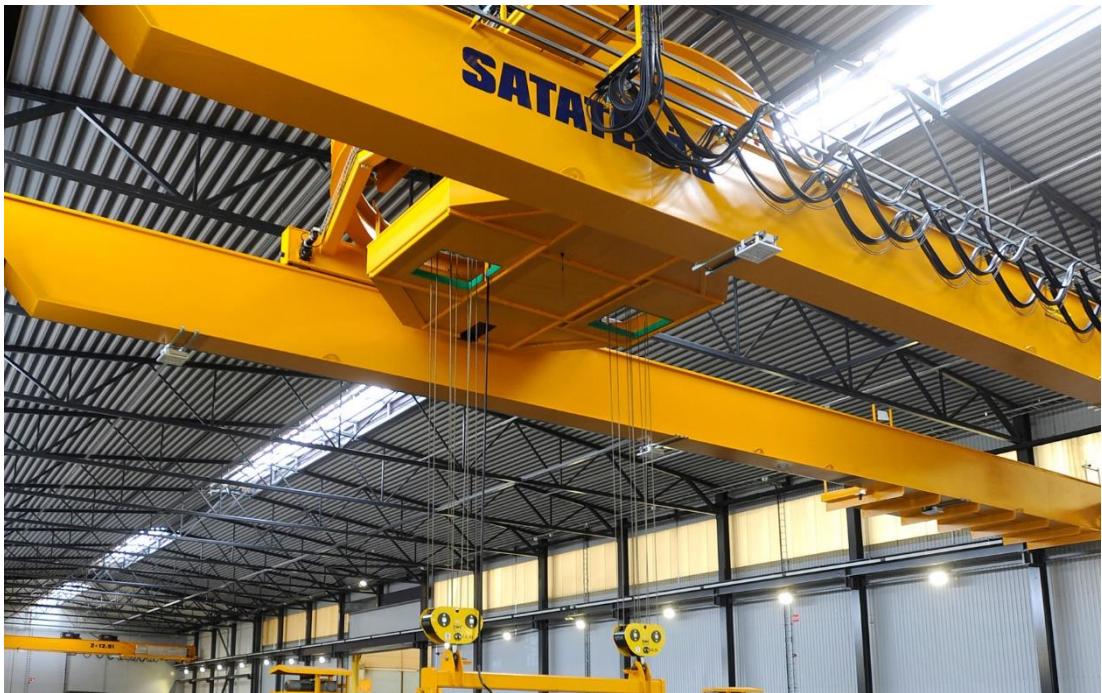


5.3.8 Nosturi

Elektrolyysilevypakkoja ja pakokaasunsuodattimen suodatinpusseja liikutetaan nosturilla, nosturi suunnitellaan sekä asennetaan alihankkijan toimesta. Nosturi on malliltaan siltanosturi. Painavin nostettava kuorma nosturille on noin 1600kg.

Omassa suunnittelussa otetaan huomioon nosturi ja sen käyttö, joka vaatii tietyntlaiset aukot ja sijoitukset laitteistoille. Nosturi on edullisempi hankkia alihankintana, sillä uuden nosturin suunnittelu vie liikaa aikaa ja vaatii tarkkaa työtä etenkin standardien osalta.

Kuva 11. Satateräs-siltanosturi



5.3.9 Kaiteet

Kaiteet suunnitellaan helposti kiinnitettäväksi konttiin, kaiteiden korkeudeksi valitaan 1150mm. Materiaalina kaiteissa toimii teräs, joka maalataan tarvittaessa. Kaiteet kiinnitetään pulttiliitoksilla pohjasta sekä tarvittaessa lisäksi pannoilla seiniin. Kaiteisiin lisätään portteja tarpeen mukaan. Kaiteet estävät putoamis tapaturmia etenkin päällekkäin kasatuissa konteissa, joissa putoamiskorkeus on 3100mm.

Kuva 12. Kaiteet

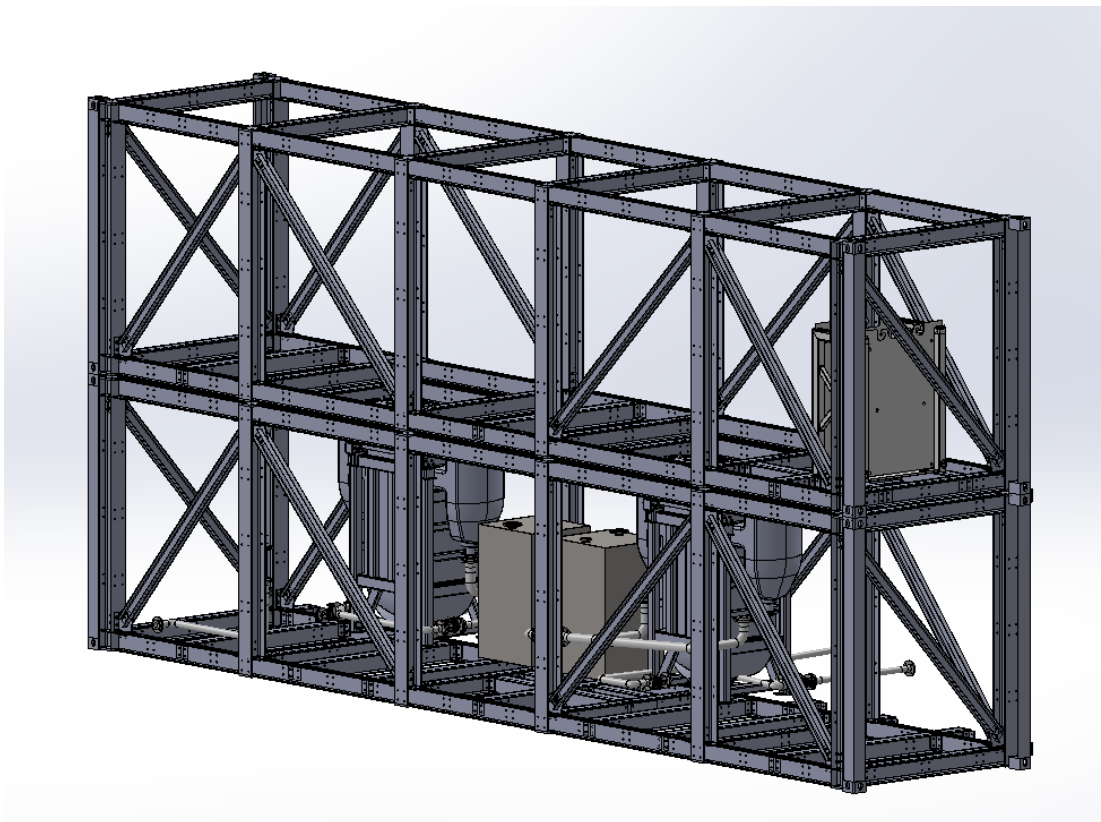


5.3.10 Kokoamisvaihe

Moduloitujen konttien ollessa valmiit ne voidaan kuljettaa kohteeseen ja yhdistää toisiinsa sekä tehtaaseen. Kasaaminen aloitetaan yhdistämällä kontit ja niiden putkistot sekä laitteistot toisiinsa. Tehtaasta tuodaan sähkö, vesi sekä paineilma linjat konteille.

Layout suunnittelun ansiosta asentajat pystyvät nopeasti paikottamaan kontit oikeaan paikkaan. Konttien pinoamiseen tarvitaan iso nosturi. Asiakas päättää ilmalämpöpumppujen sekä ilmanvaihdon asentamisesta ja suunnittelusta. Ilmalämpöpumpun tarpeellisuus on vähäinen, koska prosessista syntyy paljon lämpöä, mutta prosessilla on kuitenkin mahdollisuus keskeytyä, tällöin ilmalämpöpumppu on hyvä olla varalla.

Kuva 13. Päällekkäin pinotut kontit



5.4 Laitoksen toiminnan varmistaminen

Laitoksen toiminnan varmistamisen kannalta tärkeimpiä asioita ovat anturointi, varaosat, työntekijät sekä kunnossapito. Prosessilla tulee olla jatkuva valvonta vuorokauden ympäri. Prosessi sisältää paljon antureita, jotka havaitsevat virheellistä toimintaa ja vian ilmaantuessa kytkevät hälytyksen.

Varaosa tulee olla tarvittava määrä ja tilattaville osille varmuus. Varaosia voidaan asentaa suoraan käyttövalmiiksi, kuten pumput, joita voidaan kytkeä varalle toimintavalmiuteen. Varaosien vaihdolle varataan tarpeeksi aikaa, mutta vaihtoajan tulee olla mahdollisimman lyhyt, ettei prosessia tarvitse keskeyttää.

Sähkökatkon varalta tulee olla varavirtageneraattori, joka varmistaa prosessin jatkumisen katkosta huolimatta. Varavirta pystytään toteuttamaan lähes katkeamattomasti. Prosessin keskeytyessä vettä voidaan ajaa säiliöihin talteen, joten tehtaan prosesseja ei tarvitse pysäyttää.

5.5 Kriittisyysanalyysin suorittaminen

Suoritetaan kriittisyysanalyysi omien arvioiden pohjalta. Analyysin tarkoituksena on löytää kohteet, joiden vikaantumisilla on suurimmat negatiiviset vaikutukset prosessin toiminnan kannalta. Kohteeseen ei suoriteta virallista analyysiä yrityksemme suunnittelutoiminnan aikana. Kriittisyysanalyysi tehdään Excel-ohjelmistolla. Tarkasteltavaksi alueeksi valitaan konttien sisäpuoleinen alue, sillä se kuuluu yrityksemme suunnittelualueeseen ja sisältää kriittisimmät kohteet prosessin toiminnan kannalta.

Kriittisimmiksi kohteiksi valitaan pumput, anturit, pakokaasu-suodattimet, veden tulo sekä venttiilit. Analyysistä huomataan pumppujen sekä vedentulon olevan tarkasteltavien kohteiden kriittisimmät. Tehdyn analyysin pohjalta asiakas kykenee kohdentamaan tarvittavia toimia kriittisiin kohteisiin.

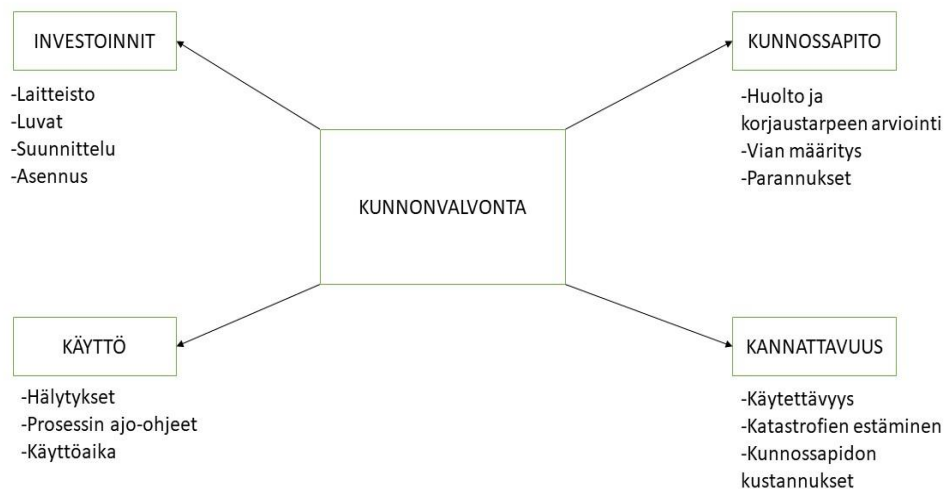
Kuva 14. Kriittisyysanalyysi

Kohde	Vikaantumisväli (1-8)	Tuotannon menetys (0-4)	Lopputuotteen laadukustannus (0-4)	Korjauskustannus (0-4)	Kriittisyysindeksi	Kriittisyyden osaindeksit		
	Painoarvot->W	100	30	20	K	Kp	Kq	Kr
Pumput	2	2	0	3	460	400	0	60
Anturit	1	2	0	3	260	200	0	60
Pakokaasu-suodattimet	1	2	0	2	240	200	0	40
Veden tulo	1	4	0	3	460	400	0	60
Venttiilit	1	2	0	1	220	200	0	20
					MAX 400			

5.6 Tulosten hyödyntäminen kunnonvalvonnan suuntaamisessa ja ennakoivan kunnossapidon suunnitelmassa

Tulosten pohjalta suunnitellaan tarvittava kunnonvalvonnan ja ennakoivan kunnossapidon määrä. Tuloksista todetaan, että pumput sekä vedentulo ovat kriittisimmät kohteet laitoksessa, joten ne tulee huomioida suunnitelmaa tehtäessä. Tulosten perusteella todetaan, että varalle kannattaa asentaa pumppuja käyttövalmiuteen sekä varavirtageneraattori sähkökatkoja varten. Kunnossapidon osalta on tärkeää palkata tarvittava määrä kunnossapitäjiä sekä siivoajia eri työtehtäviin tarvittaessa vuorokauden ympäri.

Kuva 15. Kunnonvalvonnan ajatuskartta vedenkäsittelylaitoksesta



Kunnonvalvonnan suuntaamisesta vastaa johtoporras. Hyvin suunniteltu kunnossapito on helppo suunnata oikein.

Ennakoivan kunnossapidon suunnitelma laitoksessa:

1. Tarkastukset
2. Kunnan valvominen
3. Määräystenmukaisuus
4. Testaus
5. Käynninvalvonta
6. Vikatietojen analysointi

Laitoksen valmistuessa aloitetaan tarkastukset. Hyväksytyjen tarkastusten jälkeen aloitetaan kunnan valvonta sekä pidetään huoli, että kunnossapito on määräysten mukaista. Testaamalla saadaan raportoitavaksi tärkeää dataa prosessin toiminnasta.

Käynninvalvonnalla varmistetaan prosessin sujuva toiminta sekä pystytään reagoimaan nopeasti vian ilmaantuessa. Vikatietoja analysoidaan ja seurataan säännöllisesti, täten saadaan optimoitua kaikki toiminta laitoksessa. Laitokseen voidaan tarvittaessa luoda oma valvomo jatkuvaa seurantaa varten. Valvomoon tarvitsee palkata tarvittava henkilöstö seurantaa varten.

5.7 HAZOP-analyysi vedenkäsittelylaitoksesta

HAZOP-analyysin avulla tunnistetaan poikkeamia, eli vaaroja kohteessa. Analyysiin osallistuvat asiakas, suunnittelijat sekä projektipäälliköt. Analyysille päätetään tarkka ajankohta ja se voidaan suorittaa myös etänä. Analyysiä varten valitaan puolueeton itsenäinen fasilitaattori, jonka kaikki projektin jäsenet hyväksyvät.

Analyysissä keksityään aina pääosin ihmisiin kohdistuviin riskeihin. Fasilitaattori kysyy kysymyksiä riskikohteisiin liittyen. Fasilitaattorin kanssa käydään läpi PI-kaaviot, joista kysytään kysymyksiä tarpeen mukaan.

Kohteen suurimmat riskit ihmisturvallisuuden näkökannasta ovat sähköiskun saaminen, tulipalo, valokaari sekä kaasun hengittäminen. Nämä vaarat käsitellään HAZOP-analyysissä.

Analyysin lopussa keskitytään korjaaviin toimenpiteisiin, eli miten voidaan suunnittelun osalta pienentää havaittuja vaaroja sekä riskejä. Suunnittelun osalta pidetään huolta että tilattava laitteisto on räjähdysturvallinen sekä määräysten mukainen. Vaaralliseen tilaan kulkua voidaan rajoittaa sekä asentaa tarvittavia aitauksia ja suojia vaaran eliminoimiseksi.

Esimerkkinä otetaan poikkeamatarkasteluun elektrolyysisäiliö ihmisriskien osalta.

Kuva 16. Elektrolyysisäiliön poikkeamatarkastelu

Vaaran tyyppi	Vaaran vaikutus	Vaaran läsnäolo	Vaaran pienennys
Kipinä	Henkilö/laitteisto	Aina sähköjen ollessa päällä.	Räjähdysturvalliset laitteet.
Sähköisku	Henkilö	Aina sähköjen ollessa päällä.	Kuparikiskon eristäminen.
Valokaari	Henkilö/laitteisto	Aina sähköjen ollessa päällä.	Eristyshäkki kuparikiskolle.
Kaasun hengitys	Henkilö	Levyjen vaihto	Kaasunaamari

5.8 Käyttäjien tekemä kunnossapito

Kunnossapidosta laitoksessa vastaavat tehtaan omat työntekijät. Kunnossapitäjän tehtäviin laitoksessa kuuluu laitteiden toiminnan valvonta, laitteiden kunnosta huolehtiminen, jaksotetut tarkastukset, toiminnan muutoksien havaitseminen sekä raportointi laitteiden käyttäytymisestä. Kunnossapitäjien tulee huolehtia laitoksen siisteydestä säännöllisesti. Virheet huomataan helpommin ympäristön ollessa siisti.

Kunnossapidon onnistumisen kannalta on tärkeää kouluttaa kunnossapitäjät toimimaan yhteistoiminnalla. Ohjeet kunnossapidosta asiakas toimittaa käyttäjille, suunnittelun osalta vaikuttaa laitteiden kunnossapitoon tilan sekä sijainnin kannalta. Käyttäjillä tulee olla tarvittavat suojaimet, kun kunnossapitoa suoritetaan.

Kunnossapitäjien on tärkeää pystyä työskentelemään turvallisesti. Turvallisuutta varmistetaan turvallisuuskoulutuksilla, hyvillä työvarusteilla sekä hyvin suunnitellulla laitoksella. Tarvittavat suojaimet kunnossapitäjälle ovat suojalasit, kypärä, huomioliivi, turvakengät, kuulosuojaimet sekä tarvittaessa kaasunaamari.

6 YHTEENVETO

Yrityksemme tulee seuraamaan projektin edistymistä valmistumiseen saakka lähitulevaisuudessa. Suunnittelun osalta tavoitteet saavutettiin projektin laajoista muutoksista huolimatta. Yrityksemme suunnittelijat ovat mukana HAZOP-analyysissä. Yrityksemme osalta suunnittelutyön kesto on yhteensä noin puolitoista vuotta.

Yhteenvetona voidaan todeta, että mekaniikkasuunnittelun sekä kunnossapidon osuus projektissa on suuri. Suunnittelun onnistumiseen vaikuttivat eniten palaverit, HAZOP-analyysi sekä kunnossapidon tuomat vaatimukset kohteessa. Kohteessa ei päästy vierailemaan suunnittelun aikana, mutta vastaavaa prosessia kyseisellä laitteistolla päästiin seuraamaan. Projektin aikana kasvatettiin osaamista suunnittelutyöstä sekä kunnossapidosta ja standardeista.

Suunnittelutyö sisälsi mekaniikkasuunnittelun, layout-suunnittelun sekä sähkösuunnittelun. Projektin sujuvan etenemisen kannalta lähtötiedoissa oli puutteita. Ylimääräistä työtä aiheuttivat laajat muutokset laitteiden sijoitteluun liittyen. Projektin tuloksista nähtiin kunnossapidon tarve ja laitoksen kriittisimmät kohteet.

LÄHTEET

Järviö, J. (2007). *Kunnossapito* (4. uudistettu painos). KP-Media Oy.

Opetushallitus. (ei pvm.). Johdanto kunnonvalvontaan. Haettu 25.08.2022 osoitteesta http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_johdanto_kunnon_valvontaan.html

Protect. (ei pvm.). HAZOP-poikkeama-analyysi. Haettu 29.09.2022 osoitteesta <https://protect.fi/asiakirjojen-laatiminen/hazop-poikkeama-analyysi/>

PSK 6800. (2008). *Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa*. PSK-Standardisointi.

Siltanosturi (kuva). <https://www.satateras.fi/fi/tuotteet-siltanosturit/>