

Sami Korppi

HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTTO- LAITTEISTO

Opinnäytetyö
Prosessitekniikka

2019



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Sami Korppi	Insinööri (AMK)	Helmikuu 2019
Opinnäytetyön nimi		44 sivua
Hiilidioksidin talteenottolaitteisto		
Toimeksiantaja		
CarbonReUse Finland Oy		
Lehtori		
Jarkko Männynsalo		
Tiivistelmä		
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli rakentaa siirrettävä hiilidioksidin talteenottolaitteisto. Tavoitteena oli rakentaa laitteisto, joka on helppo ja nopea siirtää mittauskohteeseen. Laitteiston pystytyksen ja ylösajon tulisi olla mahdollisimman jouhevaa ja nopeaa. Myös laitteiston muokkauksen tulisi olla helppoa mahdollisten prosessimuutosten ja testausten vuoksi. Tarkoituksena oli kokeilla myös uusia mallinnettuja sovelluksia opinnäytetyössä. Mallinuksen ja suunnittelun myötä päädyttiin rakentamaan laitteisto isolle perävaunulle.</p> <p>Hiilidioksidin talteenottolaitteiston toiminta perustuu CO₂:n fysikaaliseen vesiabsorptioon. Fysikaalisessa vesiabsorptiossa CO₂ liukenee veteen, jossa ei ole lainkaan kemikaaleja. Näin ollen prosessi on turvallinen ja ekologinen. Hiilidioksidi liukenee veteen huomattavasti nopeammin ja happi liukenee veteen huomattavasti hitaammin. Kyseiset kaasut ovat myös hyvin inerttejä veden kanssa. Tästä johtuen vesi on hyvin selektiivinen kyseisten kaasujen suhteen. Prosessin päävaiheita ovat vastavirta-absorptio, esidesorptio, desorptio ja jälkidesorptio. Vastavirta-absorptio tapahtuu kuplakolonissa, missä CO₂ liukenee veteen. Esidesorptiossa poistetaan vedestä liuenneet typpi- ja happikaasut sekä muut epäpuhtaudet. Desorptiosta saadaan tuotekaasu CO₂. Jälkidesorptiossa poistetaan vedestä jäljellä oleva CO₂.</p> <p>Hiilidioksidin talteenottolaitteiston suunnittelu tehtiin CarbonReUse Finlandin toimistolla. Laitteiston rakentaminen tapahtui CarbonReUse Finlandin varastolla. Referenssilaitteistona toimi CarbonReUse Finlandin pilot-laitteisto. Opinnäytetyön laitteisto on toimintaperiaatteelta lähes identtinen pilot-laitteiston kanssa. Opinnäytetyön tavoitteet toteutuivat hyvin opinnäytetyössä ja laitteistosta tuli odotusten mukainen.</p>		
Asiasanat		
CO ₂ , hiilidioksidi, absorptio, desorptio, jälkidesorptio, vastavirta-absorptio, fysikaalinen absorptio, kuplakolonne, hiilidioksidin talteenotto,		

Author (authors)	Degree	Time
Sami Korppi	Bachelor of Engineering (AMK)	February 2019
Thesis title Carbon capture equipment		44 pages
Commissioned by CarbonReUse Finland Oy		
Lecturer Jarkko Männynsalo		
<p data-bbox="164 723 300 757">Abstract</p> <p data-bbox="164 797 1465 1014">The purpose of the thesis was to build a mobile carbon capture equipment. The goal was to build the equipment that is easy and quick to move to the measuring target. The erection of the equipment and the uphill should be as smooth and fast as possible. Also, modification of the equipment should be easy because of possible process changes and testing. The aim was also to try new modeled applications in the thesis. Modeling and design made it possible to build equipment for a large trailer.</p> <p data-bbox="164 1055 1465 1417">The operation of carbon capture equipment is based on the physical water absorption of CO₂. In physical water absorption, CO₂ dissolves in water with no chemicals at all. Thus, the process is safe and ecological. Carbon dioxide dissolves in water much better than oxygen and oxygen dissolves in water much better than nitrogen. These gases are also very inert with water. Because of this, water is highly selective for these gases. The main stages of the process are countercurrent absorption, pre desorption, desorption and post desorption. The reversible absorption occurs in a bubble column, where CO₂ is soluble in water. Pre-sorption of nitrogen and oxygen dissolved in water and other impurities is removed from the water. Desorption is a product gas of CO₂. The residual CO₂ is removed from the water in the after-sorption</p> <p data-bbox="164 1458 1465 1641">The carbon capture equipment design was done at CarbonReUse Finland's office. The construction of the equipment took place at CarbonReUse Finland's warehouse. Our reference equipment was the pilot equipment of CarbonReUse Finland. The equipment used in this thesis was almost identical to the pilot equipment. The objectives of the thesis were fulfilled well in the thesis and the equipment became as expected.</p>		
<p data-bbox="164 1675 320 1709">Keywords</p> <p data-bbox="164 1749 1409 1821">CO₂, carbon dioxide, absorption, desorption, the trace of desorption, countercurrent absorption, physical absorption, bubble column, carbon dioxide capture</p>		

Tämä opinnäytetyö tehtiin yritykselle CarbonReUse Finland Oy. Opinnäytetyö oli ELY-keskuksen tukema projekti. Rahoittajina opinnäytetyölle toimivat CarbonReUse Finland Oy sekä ELY keskus.

Haluan esittää kiitokseni CarbonReUse Finlandin väelle Timo Juutilaiselle ja Juha Silvenoiselle, hyvin sujuneesta yhteistyöstä ja ohjauksesta opinnäytetyön suhteen. Haluan kiittää myös opettajaani Jarkko Männynsaloa, opinnäytetyön ohjaamisesta.

Lisäksi haluan kiittää Tomi Putkosta, hänen antamastaan teknisestä tuesta Solidworksin käytössä, sekä Lauri Sorosta ja Teijo Linnasta ohjeista ja avusta opinnäytetyön aikana. Kiitän myös Power Tech Groupia ja Hydturneria saamastani avusta opinnäytetyön suhteen.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TAVOITTEET	8
3	SUUNNITTELU	8
4	AMIINIPROSESSI	10
5	PROSESSIKUVAUS	10
5.1	Kaasukierto	10
5.2	Vesikierto	11
6	FYSIKAALINEN ABSORPTIO	11
7	FYSIKAALINEN DESORPTIO	12
8	PROSESSILAITTEIDEN KUVAUS	12
8.1	Absorptiokolonni (1)	13
8.2	Esidesorptiokolonni (2)	14
8.3	Desorptiokolonni (3)	14
8.4	Jälkidesorptiokolonni (4)	15
8.5	Pumppaussäiliö (5)	15
9	PROSESSIMUUTTUJAT JA -TEORIAT	16
9.1	Haitta-aineet	16
9.2	Hiilidioksidin talteenottolaitteiston Käyttökohteet	16
9.3	Hiilidioksidipitoisuudet	17
9.4	Aineensiirron tehokkuus täytekappalekolonnissa	17
9.5	Aineensiirron tehokkuus kuplakolonnissa	18
9.6	Ominaispinta-ala	19
9.7	Le Châtelier'n periaate	19
9.8	Henryn laki	20
10	KONKREETTINEN OSUUS	21
11	SUUNNITTELU	21
11.1	Laitteiston alustan valinta	21

11.2	Miten saadaan helposti muokattavissa oleva laitteisto	22
11.3	Etäohjattava automaatio	24
11.4	Kehikon suunnittelu	25
12	LAITTEIDEN LISTAAMINEN JA MITOITTAMINEN	27
13	TARJOUSTEN KYSELY JA TILAUSTEN TEKEMINEN.....	28
14	PERÄVAUNUN KORJAAMINEN JA MUOKKAAMINEN	28
15	LAITTEISTON RAKENTEIDEN HITSAAMINEN	29
15.1	Kehikon alusta	30
15.2	Kehikko	33
15.3	Vinssin vaijerin tolppa	34
15.4	Tukijalat	36
15.5	Vinssin teline	36
15.6	Sähkökaapin teline	37
15.7	Sekoitus säiliö	38
16	LAITTEISTON KONEISTETTAVAT OSAT	39
16.1	Kolonnien päätylaipat	40
16.2	Kiinnitystangot	42
16.3	Absorptiosäiliön ilmastin	42
17	JOHTOPÄÄTÖKSET	42
	LÄHTEET	44

1 JOHDANTO

Hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen on monia keinoja. (CCU, Carbon capture and utilisation) tarkoittaa hiilidioksidin talteenottoa prosessi- tai savukaasuista, minkä jälkeen talteen otettu hiilidioksidi käytetään prosesseissa, joissa se tuo lisäarvoa. (Bio-CO₂, VTT). Tämä on Yksi vaihtoehto hiilidioksidi päästöjen vähentämiseen. Talteenoton etuna on, että talteen otettua hiilidioksidia on mahdollista käyttää kohteissa, joissa tarvitaan puhdasta hiilidioksidia. Tällä hetkellä yleisesti hiilidioksidin käyttökohteissa hiilidioksidi on ostettu hiilidioksidia, mikä on verraten kallista ja tuotetaan joltain osin epäekologisesti (Koponen 2018).

Hiilidioksidi on merkittävin kasvihuonekaasu ilmakehässämme. Ilmastonmuutos on merkittävä maailmanlaajuinen asia, joka vaikuttaa meihin kaikkiin. Hiilidioksidi päästöjä radikaalisti pienentämällä pystyisimme saavuttamaan Pariisin ilmasto sopimuksen tavoitteen estää maapallon keskilämpötilan nousun yli 1,5 celsius asteen verraten esiteolliseen aikaan. (European Union 2016.) Maailmassa yhteenlasketut hiilidioksidipäästöt ovat olleet 36 gigatonnia vuonna 2017, kun tutkimusten mukaan maailman hiilidioksidipäästöt tulisi saada nopeasti alle 4 gigatonniin vuodessa, jotta lämpeneminen saataisiin rajoitettua 1,5 celsius asteeseen. (Nykänen 2017).



Kuva 1. Eri maiden hiilidioksidipäästöt asukasta kohti (Mikkonen 2017)

Kuvasta 1. Nähdään kuinka vuodesta 1970 vuoteen 2017 Suomen hiilidioksidi päästöt ovat laskeneet 1 %, kun taas naapuri maamme Ruotsin hiilidioksidi päästöt ovat laskeneet samana aikana 58 %. EU:n hiilidioksidi päästöt ovat laskeneet samalla aika välillä 22 %. Näiden tietojen pohjalta voidaan päätellä kuinka hyvin Suomi, on suoriutunut hiilidioksidi päästöjen vähentämisessä. Nykyisillä teknologioilla pystyttäisiin vähentämään maailman hiilidioksidi päästöjä merkittävästi, jos kaikki maat sitoutuisivat kunnian himoiseen Pariisin ilmastopöytäkirjaan. (European Union 2016.)

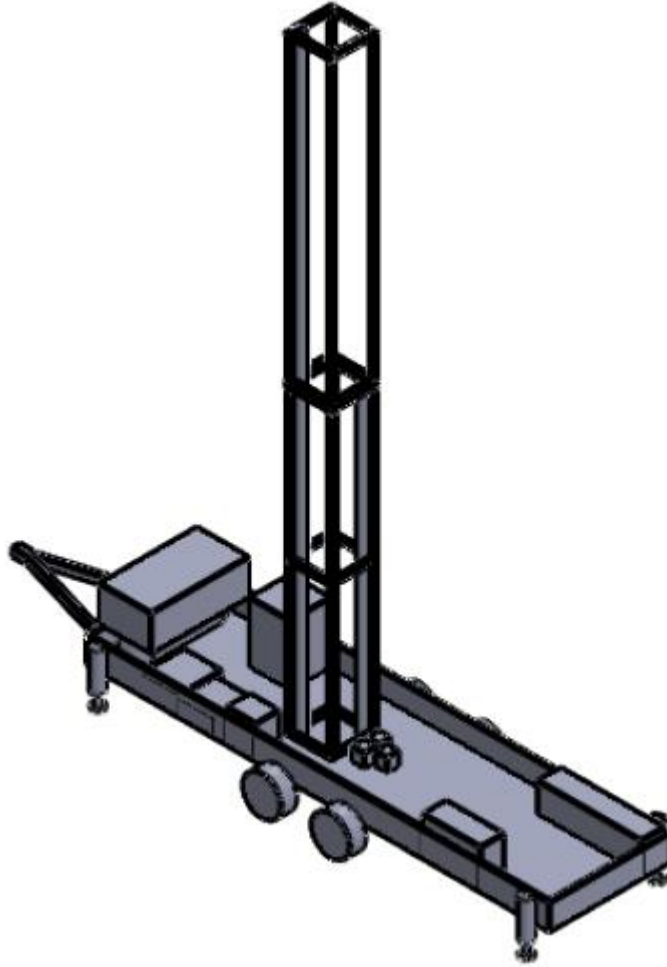
Teoreettisessa osuudessa kerrotaan opinnäytetyön tavoitteista ja laitteiston suunnittelusta. Käydään läpi prosessia ja sen toimintaperiaatteita. Kerrotaan prosessissa vallitsevista fysikaalisista ilmiöistä. Käydään läpi muuttujia, joita tulee eriävistä prosessin käyttökohteista. Vertaillaan myös, kuinka hyvin ve-
siabsorptio prosessi pärjää vertailussa yleisimmin käytetylle kemialliselle amiini (MEA) prosessille.

2 TAVOITTEET

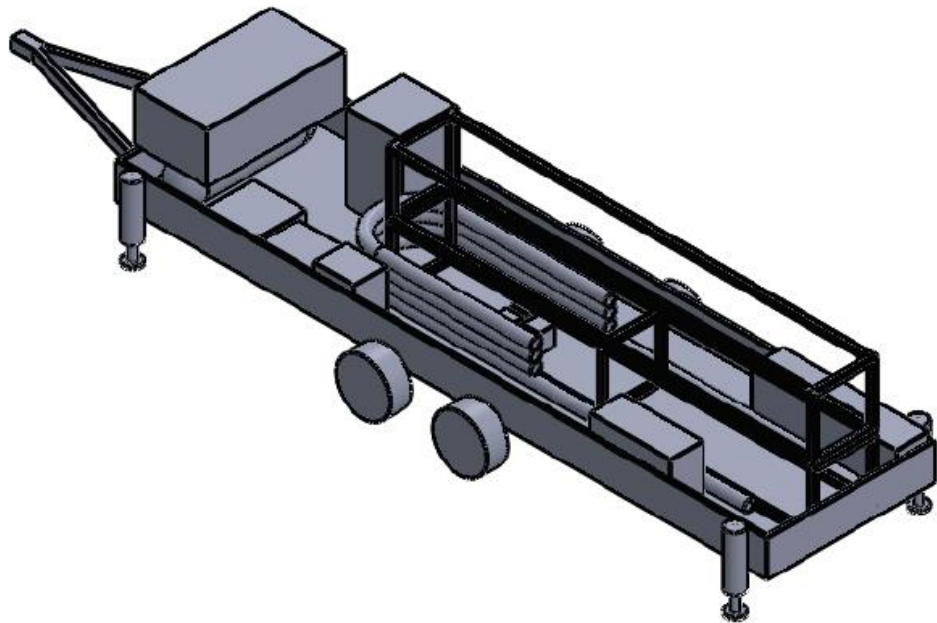
Projektin idea CarbonReUse Finlandilla syntyi, kun pilot-laitteistoa siirrettiin testauspaikasta toiseen rekka-autolla useita kertoja vuodessa. Huomattiin että siirtäminen rekalla vei aikaa ja aikataulujen yhteensovittamisessa kuljetusliikkeen kanssa oli välillä haasteita. Huomattiin myös, että pilot-laitteiston muokkaaminen ajan saatossa syntyneiden ideoiden ja sovellusten toteuttamiseksi oli haastavaa. Näistä syistä päätettiin käynnistää projekti, jonka tarkoituksena oli tehdä Hiilidioksidin talteenottolaitteisto, jota olisi helppo siirtää testikohteisiin ja mikä olisi helposti modulaarisesti muokattavissa.

3 SUUNNITTELU

Suunnittelussa mietimme ensimmäisenä mille alustalle laitteisto on järkevintä rakentaa. Järkevimmäksi kohteeksi osoittautui iso henkilöautolla vedettävissä oleva perävaunu. Laitteet, komponentit ja tarvikkeet valittiin laskelmien perusteella. Perävaunusta piirrettiin havainnekuvat 2 ja 3, joiden pohjalta piirrettiin 3D kuvat Solidworks ohjelmalla.



Kuva 2. Käyttöasennossa oleva laitteisto.



Kuva 3. Kuljetusasennossa oleva laitteisto.

4 AMIINIPROSESSI

Amiiniprosessi (MEA) on käytetyin kemialliseen hiilidioksidin talteenottoon perustuva prosessi. Amiini prosesseja on dietanoliamiini (DEA), metyyli-dietanoli-amiini (MDEA), monoetanoliamiini (MEA) sekä erilaiset yhdisteet. Muita kemiallisessa talteenotossa käytettyjä kemikaaleja on mm. ammoniakki, karbonaattit, aminohapposuolaliuokset ja ioniset nesteet. Monoetanoliamiini (MEA) on käytetyin ja useimmissa käyttökohteissa toimivin kemikaali kemiallisessa hiilidioksidin talteenotossa. (Keskitalo 2013, 22.) Siksi otamme sen vertailukohdaksi vesiabsorptiolle. Amiiniprosessin hyvä puoli vesiabsorptioon nähden on korkeampi talteenottoaste. Vesiabsorption hyviä puolia amiiniprosessiin nähden ovat huomattavasti pienempi laitteiston hankintahinta, lyhyempi takaisinmaksu aika ja ympäristöystävällisyys. Amiiniprosessista häviää nestepoistojen ja poistokaasujen kautta kemikaaleja luontoon. Amiiniprosessiin täytyy, lisätä tasaisin väliajoin amiinia, sekä kemikaaleja pH:n säätöön ja korroosion estoon. (Linnanen 2012, 129).

5 PROSESSIKUVAUS

Prosessin periaate lyhyesti on, rikastaa raakakaasun sisältämää hiilidioksidia veteen, poistaa raakakaasun sisältämät epäpuhtaudet ja ottaa mahdollisimman puhdasta hiilidioksidia prosessista ulos. Prosessiin käy raakakaasuksi minkäläinen kaasuseos tahansa, kunhan se sisältää hiilidioksidia mitä rikastaa. Tuotekaasun hiilidioksidi pitoisuus määrittyy pitkälti raakakaasun hiilidioksidi pitoisuuden mukaan. Esimerkiksi 10 % CO₂ sisältävästä raakakaasusta saadaan 95 % CO₂ sisältävää tuotekaasua. Kun taas 70 % CO₂ sisältävästä raakakaasusta saadaan 99,7 % CO₂ sisältävää tuotekaasua.

5.1 Kaasukierto

Raakakaasu tulee sisään prosessiin pumppaussäiliöön mistä se kulkee ylös jälkidesorptiokolonniin vastavirtaan veden kanssa. Kaasu kulkee täytekappalekerroksen läpi ottaen noustessa mukaansa veteen liuennutta hiilidioksidia.

Jälkidesorptiokolonnista kaasu menee absorptiokolonniin, missä kaasu nousee kuplina säiliötä ylöspäin ja imeytyy vastakkaiseen suuntaan virtaavaan veteen. Imeytymätön kaasu lähtee absorptiokolonnin yläosasta poistoon. Tätä kaasua sanotaan poistokaasuksi ja se sisältää enimmäkseen typpeä, happea ja muita epäpuhtauksia. Absorptiokolonnissa veteen liennut kaasu kulkee veden mukana absorptiokolonnista esidesorptiokolonniin. Esidesorptiokolonnissa veteen lienneista kaasuista poistetaan typpeä, happea ja muita epäpuhtauksia. Kaasut lähtevät esidesorptiokolonnista jälkidesorptiokolonniin missä ne sekoittuvat raakakaasuun. Veteen lienneeksi jäänyt hiilidioksidi lähtee esidesorptiosta desorptioon, missä vedestä otetaan hiilidioksidi talteen. Tätä kaasua kutsutaan tuotekaasuksi.

5.2 Vesikierto

Prosessin käyttämä vesi on normaalia vesiverkostovettä. Vesi otetaan prosessin ylösajo vaiheessa, minkä jälkeen vettä ei enää tarvitse lisätä prosessiin, koska vettä ei poistu juuri lainkaan poistokaasujen tai tuotekaasun mukana. Vesi otetaan ylösajo vaiheessa jälkidesorptiokolonniin, mistä se menee pumppaussäiliöön. Pumppaussäiliöstä vesi lähtee pumpun avustamana absorptiokolonniin. Absorptiokolonnissa vesi virtaa alaspäin samalla liuottaen kaasua itseensä. Absorptiokolonnista vesi menee esidesorptiokolonniin, missä vesi virtaa kolonnia alaspäin samalla luovuttaen liuenneita kaasuja. Esidesorptiokolonnista vesi menee desorptiokolonniin, missä vesi virtaa kolonnia alaspäin samalla luovuttaen liunneen hiilidioksidin. Desorptiokolonnista vesi menee takaisin jälkidesorptiokolonniin.

6 FYSIKAALINEN ABSORPTIO

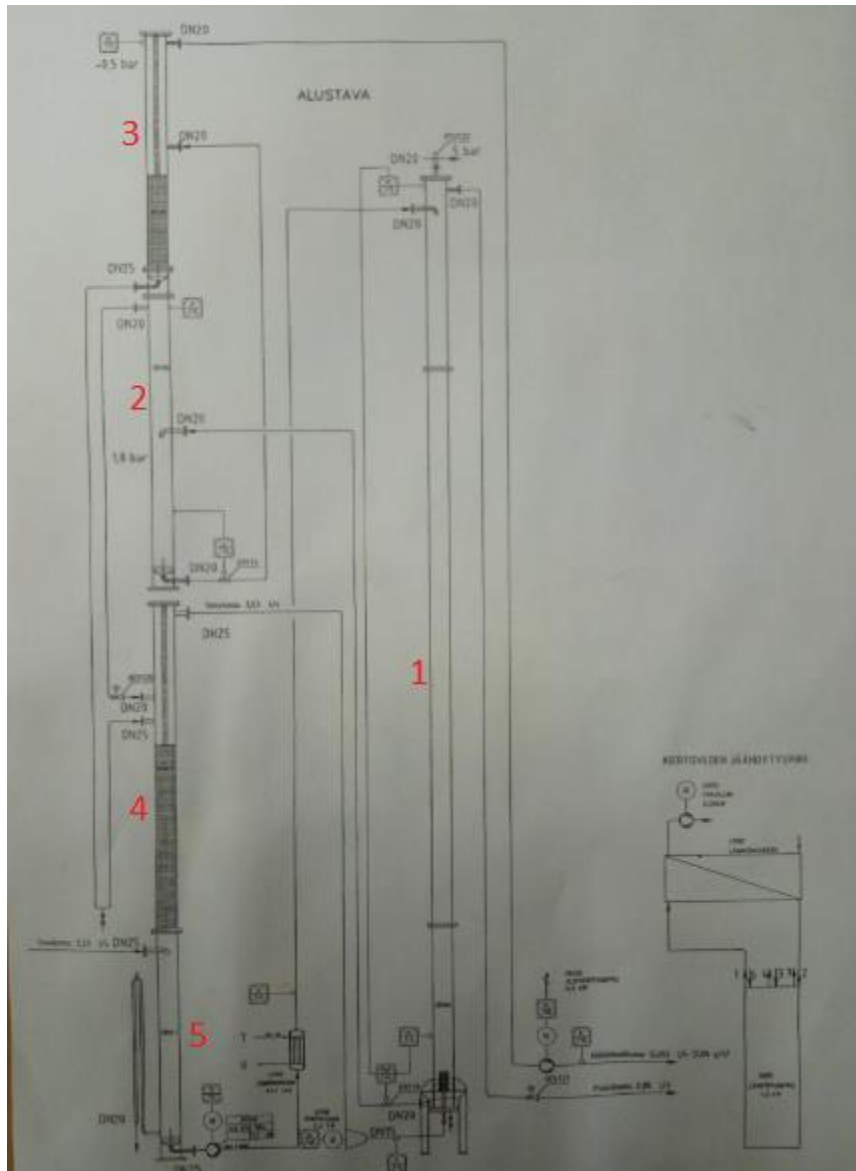
Absorptiolla tarkoitetaan kaasun liukenemista nesteeseen. Fysikaalisessa absorptiossa paineella ja lämpötilalla on vaikutusta kaasujen liukenemisessä nesteeseen. Paineen kasvattaminen nopeuttaa kaasujen liukenemistä nesteeseen, sekä kasvattaa nesteen kapasiteettia liuottaa kaasuja. Nesteen lämpötilan nousu sen sijaan heikentää nesteen kapasiteettia absorboida kaasuja. (Linnanen 2012, 11.)

7 FYSIKAALINEN DESORPTIO

Desorptiolla tarkoitetaan nesteeseen liuenneiden kaasujen vapautumista nesteestä. Desorptiossa vallitsee samat fysikaaliset ilmiöt mitä absorptiossakin. Desorptiossa paineella on vaikutusta nesteen kykyyn luovuttaa liuenneita kaasuja. Mitä pienempi vallitseva paine on sen paremmin neste luovuttaa liuenneita kaasuja. Nesteen lämpötilan nousu parantaa nesteen kykyä luovuttaa liuenneita kaasuja.

8 PROSESSILAITTEIDEN KUVAUS

Tässä osiossa käsitellään opinnäytetyön prosessilaitteita ja niiden toimintaa. Käydään läpi kunkin laitteen tarkoitusta ja toimintaa. Alla olevassa kuvassa 4 on numeroituna kolonnit ja säiliö. Sama numerointi näkyy otsikoissa, näin näemme missä mikin prosessilaitte sijaitsee.



Kuva 4. Prosessikaavio.

8.1 Absorptiokolonne (1)

Opinnäytetyön absorptiokolonne on 8 metriä korkea kuplakolonne, jonka toiminta perustuu fysikaaliseen vastavirta-absorptioon. Kolonnissa on 6 baarin absoluuttinen paine. Veden lämpötila on noin 3 celsius astetta koko prosessikierron ajan. Mitä kylmempää vesi on sitä enemmän siihen voi liueta hiilidioksidia. Paineella on sama vaikutus, mitä suurempi paine sitä enemmän veteen voi liueta hiilidioksidia. 6 baaria on havaittu laskelmissa olevan sopiva paine (Linnanen 2012, 115). Paineen nostaminen vie energiaa, minkä vuoksi ei ole energiatehokasta nostaa painetta korkeammaksi vaikka, sillä saavutettaisiinkin parempi CO₂:n liukoisuus. Absorptiokolonnissa kaasu tulee kolonnin ala-

osasta ilmastimen läpi. Ilmastin on valmistettu kumimembraanista, ilmastin jakaa kaasun sopivan kokoiseksi kupliksi koko kolonnin leveydelle. Kuplakoko on tärkeä kolonnin toimivuuden kannalta. Mitä pienempiä kuplat ovat sitä suurempi ominaispinta-ala kaasulla on. Kuplat eivät saa kuitenkaan olla liian pieniä, ettei kuplien virtausnopeus laske liikaa. Tämä aiheuttaisi pahimmassa tapauksessa kuplien kulkeutumisen veden virtauksen mukana kolonnista pois liukenematta kunnolla veteen. Vesi tulee kolonnin huipulta virraten kolonnia alaspäin samalla liuottaen kaasua, etenkin kaasun sisältämää hiilidioksidia itseensä. Vastavirtakolonne on myötävirtakolonna tehokkaampi, johtuen siitä, että vastavirtakolonnissa on keskimäärin suurempi ajava voima mitä myötävirtakolonnissa. Kolonnin yläosassa kyllästymätön vesi kohtaa kaasukuplan, missä hiilidioksidin osapaine on pieni, liukenee hiilidioksidi vielä kaasukuplasta veteen osapaine eron vuoksi. Kolonnin alaosassa hiilidioksidista kylläinen vesi kohtaa kuplan, jossa hiilidioksidin osapaine on suuri, siirtyy hiilidioksidia veteen osapaine eron takia (Silvennoinen 2018, 11.)

8.2 Esidesorptiokolonne (2)

Opinnäytetyön esidesorptiokolonne on fysikaalinen desorptiokolonne. Kolonnissa on täytekappaleita kolonnin puolesta välistä lähes ylös asti. Kun ylhäältä pisarana tippuva vesi osuu täytekappaleeseen, pisara pirstaloituu pienemmiksi pisaroiksi. Täytekappale aiheuttaa myös osumapaineen myötä nesteiden rajapinnan sekoittumista. Kun neste valuu täytekappaleiden pintaa pitkin, on sillä myös paljon enemmän kontaktipinta-alaa ympäröivän kaasun kanssa. Kolonnin paine auttaa kaasua irtoamaan nesteestä. Paine on 3,5 abs. baaria esidesorptiokolonnissa, mikä on todettu CarbonReUse Finlandin mittauksissa sopivaksi paineeksi typen, hapen ja muiden epäpuhtauksien poistumiseen nesteestä. Nesteestä vapautuneet kaasut lähtevät kolonnin yläosasta kulkeutuen jälkidesorptiokolonnein. Kun vesi lähtee esidesorptiokolonnin pohjalta kohti desorptiokolonna, on siinä liuenneena suurimmalta osin vain hiilidioksidiä.

8.3 Desorptiokolonne (3)

Desorptiokolonni on rakenteeltaan ja toiminnaltaan samankaltainen, mitä esidesorptiokolonni. Ainoa merkittävä ero on kolonnin paineessa, desorptiokolonnissa paine on 0,6 abs. baaria. Alipaine desorptiokolonniin tehdään alipainekompressorilla. Mitä suurempi alipaine säiliössä vallitsee sen paremmin vesi luovuttaa liuenneen hiilidioksidin. Mitä suuremman alipaineen kolonniin tekee, sitä enemmän alipainekompressorin vie sähköä. CarbonReUse Finlandin laskelmien mukaan alle 0,6 abs. painetta ei ole järkevää tehdä, koska prosessin energiatehokkuus kärsii liikaa saavutettaviin hyötyihin nähden.

8.4 Jälkidesorptiokolonni (4)

Vesi tulee jälkidesorptiokolonniin desorptiokolonnista. Jälkidesorptiokolonniin tarkoitus on puhdistaa raakakaasua. Veteen on liuenneena pieniä määriä hiilidioksidia, mikä strippaa kaasuja, kuten typpeä ja happea raakakaasusta pois (CarbonReUse Finland 2018) Jälkidesorptiokolonniin vesi tulee kolonnin huipulta suutimesta virraten kolonnin pisaroiden muodossa alaspäin. Jälkidesorptiokolonnissa on desorptiokolonnin ja esidesorptiokolonnin tapaan täytekappale kerros, mutta kolonnin pohjalta lähes ylös asti. Jälkidesorptiokolonnissa raakakaasu tulee kolonnin alaosaan, mistä se virtaa kolonnin ylöspäin täytekappale kerroksen läpi aina ylös asti. Ylhäällä raakakaasu yhdistyy esidesorptiokolonnista tulevan kaasun kanssa. Ylhäältä kaasut lähtevät absorptiokolonniin. Jälkidesorptiokolonnissa ei ole vesikerrosta pohjalla, vaan vesi valuu kolonnin pohjalta pumppaus säiliöön. Tarkalleen ottaen jälkidesorptiokolonni ja pumppaussäiliö ovat samaa kolonnirakennetta, mutta koska niillä on eri tehtävät prosessissa, on ne hyvä pitää asian selkeyden kannalta erillään.

8.5 Pumppaussäiliö (5)

Pumppaussäiliöön vesi valuu pumppaussäiliön yläpuolella sijaitsevasta jälkidesorptiokolonnista. Pumppaussäiliöstä vesi lähtee vesipumpun avustamana absorptiokolonnin huipulle.

9 PROSESSIMUUTTUJAT JA -TEORIAT

Tässä osiossa käsitellään yleisiä prosessiin liittyviä asioita. Käydään läpi prosessiin liittyviä teorioita ja fysiikanlakeja. Osiossa kerrotaan myös laitteiston käyttökohteista ja haitta-aineiden vaikutuksista laitteiston toimintaa ja suunnittelua silmällä pitäen.

9.1 Haitta-aineet

Talteenottoprosessia suunniteltaessa yksi haastavimmista osa-alueista on haitta-aineiden poisto. Prosessissa vesi kiertää suljetussa kierrossa, minkä vuoksi haitta-aineiden rikastumisen ehkäisy on erittäin tärkeää laitteiston toimivuuden kannalta. Tämä ongelma esiintyy sellaisilla haitta-aineilla, mitkä eivät poistu prosessista kaasuna vaan liukenevat veteen. Haasteellisia ovat myös kaasut, joiden maksimi pitoisuusrajat tuotekaasussa ovat niin tiukkoja, että niihin on haastavaa päästä. Prosessilaitteiston suunnittelussa on huomioitava käyttökohteen mahdolliset haasteellisesti poistettavissa olevat haitta-aineet. Jos käyttökohteessa on jokin tällainen haitta-aine, on sen poistamiseksi rakennettava varmatoiminen pesuri laitteistoon.

9.2 Hiilidioksidin talteenottolaitteiston Käyttökohteet

Vartenotettavia käyttökohteita opinnäytetyön kaltaiselle laitteistolle on monia. Tämä johtuu laitteiston tuottamista edullisista CO₂ tonneista. CarbonReUse Finlandin pilot-laitteistolla tehdyistä koeajoista saaduilla mittaustuloksilla on voitu todentaa, että laitteiston käyttämä teknologia on toimiva ja energiatehokas tapa hiilidioksidin talteenottoon. Yrityksille oleellista on takaisinmaksuaika, mikä kertoo kuinka nopeasti laitteisto maksaa hankintahintansa takaisin. Xamkin (iFORMINE) – Innovatiiviset kaivosvesien puhdistusratkaisut ja ekotehokkaat pilotoinnit – hankkeessa tutkittiin metsäteollisuudessa käytettävien teknologioiden soveltamista kaivosteollisuudessa. Yksi tutkinnan kohteista oli kultakaivoksen vaahdotusrikastuksessa käytettävän ilman korvaaminen hiilidioksidilla. Tehtyjen kokeiden tuloksista on pystytty toteamaan, että hiilidioksidin

käyttö kullanvaahdotusrikastuksessa parantaa kullan saantia 3,5 % mikä tarkoittaa vuositasolla 8,6 miljoonan euron kultamäärää (Haatainen 2018, 68). CarbonReUse Finlandilla laskimme, että talteenottolaitteiston takaisinmaksuaika kultakaivokselle olisi alle kolme kuukautta.

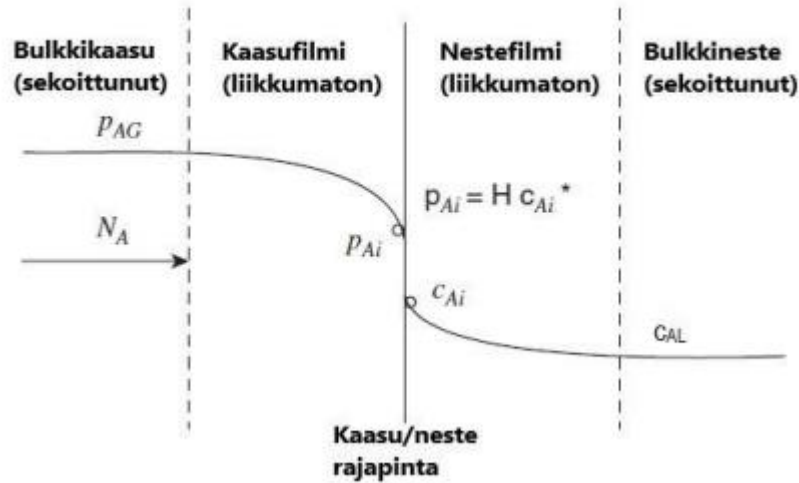
9.3 Hiilidioksidipitoisuudet

Desorptiokolonnista saatava tuotekaasu on CO₂ pitoisuudeltaan 90-99,6 % välillä riippuen täysin raakakaasun hiilidioksidi pitoisuudesta. Jos prosessiin syötettävän raakakaasun CO₂ pitoisuus on 70 %, saadaan tuotekaasuksi 99,6% hiilidioksidia. Loput 0,4 % ovat enimmäkseen typpeä ja happea, mutta sisältää mahdollisesti myös haitallisia epäpuhtauksia. Osassa hiilidioksidin loppukäyttökohteista niinkään oleellista ei ole kuinka suuri hiilidioksidi pitoisuus on, vaan kuinka suuri haitta-ainepitoisuus tuotekaasussa on. Prosessiin tulevan raakakaasun hiilidioksidipitoisuudella on vaikutusta myös alipainekompressorin tarpeellisuuteen. CarbonReUse Finlandin tekemät laskelmat ovat osoittaneet, että jos raakakaasu on CO₂ pitoisuudeltaan yli 70 % ei ole enää järkevää käyttää alipainetta lainkaan. Tämä johtuu hiilidioksidin osapaineista kaasussa sekä vedessä. Jälkidesorptiossa veden sisältämän hiilidioksidin osapaineen tulee olla suurempi, kuin jälkidesorptioon tulevan hiilidioksidin osapaine raakakaasussa. Jos veden sisältämän hiilidioksidin osapaine on pienempi kuin kaasun sisältämän hiilidioksidin osapaine, liukenee kaasun hiilidioksidi jälkidesorptiossa veteen. Tällaisessa tilanteessa on järkevintä jättää alipaineen tekeminen desorptioon kokonaan pois, jolloin desorptiosta jälkidesorptioon tulevan veden osapaine kasvaa ja jälkidesorption toiminta paranee (CarbonReUse Finland 2018.)

9.4 Aineensiirron tehokkuus täytekappalekolonnissa

Täytekappalekolonnin tehokkuus perustuu aineensiirron paranemiseen nesteen ja ympäröivän kaasun välillä. Kun ylhäältä pisarana tippuva neste osuu täytekappaleeseen se aiheuttaa paineen myötä nesteen rajapinnassa liikettä, mikä aiheuttaa pisaran sisällä ja pisaran rajapinnassa nesteen liikehdintää. Nesteen ja kaasun rajapinnassa on esitetty olevan kaksoisfilmi, mikä heiken-

tää aineensiirtoa nesteen ja kaasun välillä (Welty ym. 2008, 555.) Kuva 5 havainnoi, kuinka nesteen ja kaasun konsentraatio eroista huolimatta kaasun ja nesteen aineensiirto ei ole tehokasta, ellei rajakerrokseen saada vaihtuvuutta.



Kuva 5. Kaksoisfilmiteorian mukainen konsentraatioero kaasun ja nesteen välillä (Welty ym. 2008, 555)

Rajakerroksen sekoittuminen faasissa pienentää faasin sisäisiä konsentraatio eroja, jolloin konsentraatio erot faasien rajapinnoilla kasvavat, minkä seurauksena aineensiirto faasien välillä tehostuu.

9.5 Aineensiirron tehokkuus kuplakolonnissa

Absorption tehokkuutta ja tehostamista on tutkittu paljon. Kuplakolonnin tehokkuus perustuu suureen kaasun ominaispinta-alaan ja sen pintakerroksen vaihtuvuuteen. Kuplan noustessa vastavirtaan nesteen kanssa, sen pintaan kohdistuu virtausvoimia. Nämä virtaukset aiheuttavat kuplan sisäisiä virtauksia, jolloin kuplan rajakerros vaihtuu jatkuvasti. Samoin nesteen rajakerros vaihtuu jatkuvasta (Linnanen 2012, 36.) Rajakerrosten vaihtuvuuden ansiosta nesteen, sekä kaasun sisäiset konsentraatio erot pysyvät pieninä, jolloin aineensiirto on tehokasta. Kuplakolonnin korkeudella on vaikutusta kuplan viipymäaikaan kolonnissa. Kuplakolonnin leveydellä on vaikutusta virtausnopeuksiin kolonnissa, mikä myös vaikuttaa kuplan viipymäaikaan. Kuitenkin korkeudella on havaittu olevan suurempi vaikutus kolonnin tehokkuuteen. Tästä johtuen kolonnit mitoitetaan tilanteen salliessa optimaaliseen korkeuteen mikä on yleensä 12-14 metriä.

9.6 Ominaispinta-ala

Ominaispinta-alalla on suuri vaikutus aineensiirto nopeuteen. Ominaispinta-ala voidaan laskea ominaispinta-alan yhtälöllä (Treybal 1981, 144)

$$a = \frac{6\varphi_G}{d} \quad (1)$$

jossa	a	ominaispinta-ala [m ² / m ³]	
	φ_G	kaasun tilavuus	[m ³]
	d	kuplan läpimitta	[m]

Kun tiedetään kaavan kaasutilavuus φ_G ja kuplan läpimitta d . Saadaan kohtaan a vastaukseksi ominaispinta-ala. Mitä suurempi ominaispinta-ala, sitä tehokkaampaa aineensiirtyminen faasien välillä on.

9.7 Le Châtelier'n periaate

Le Châtelier'n periaate selventää monia kaasun absorptioon ilmiöitä. Periaatteen ydin on, että kaasu pyrkii muuttamaan kaasun ja nesteen tasapainoa siihen suuntaan missä muutoksen tai voiman vaikutus on vähäisin. Le Châtelier'n periaatteesta käy ilmi, että kaasuun liukeneminen veteen laskee veden lämpötilaa, jolloin absorptio nopeus hidastuu. Veden viileneminen myös parantaa veden kapasiteettia sitoa hiilidioksidia itseensä. Kaasun liuetessa veteen kaasufaasin paine laskee, mikä johtuu liuenneen kaasun osapaineesta. (Saarinen 2012). Kun kaasu liukenee nesteeseen, siirtyy kaasun sisältämä osapaine kaasufaasin puolelta kaasun mukana nesteeseen. Paineen vaikutuksia absorptioon käsittelee Henryn laki. Henryn lain sisältämä Henryn vakio taas huomioi lämpötilan vaikutuksen absorptioon.

9.8 Henryn laki

Henryn laki käsittelee kaasun liukenemistä nesteeseen. Kaasun liukeneminen nesteeseen on suoraan verrannollinen kaasun osapaineeseen. Henryn lakia käyttämällä voidaan siis määrittää kuinka paljon nesteeseen voi kaasua liueta. Henryn laki on esitetty yhtälössä (Linnanen 2012, 105).

$$C = \frac{P_1}{K_H} \times M \quad (2)$$

jossa	C	kaasun liukoisuus nesteeseen	[g/l]
	P_1	kaasun osapaine	[atm]
	K_H	Henryn vakio	[l*atm/mol]
	M	kaasun moolimassa	[g/mol]

Kaavassa P_1 on osapaine kokonaispaineesta, on kokonaispaine * osuus kaasussa (mol-%). M on kaasun moolimassa (g/mol). K_H on kaasun ominainen lämpötilasta riippuva vakio eli Henryn vakio (l*atm/mol). Henryn vakion pysytymme laskemaan Van 't Hoffin vakion yhtälöllä (Sander 2015, 5).

$$K_H(T) = K_H(T^*) \times e^{-C_K \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T^*} \right)} \quad (3)$$

jossa	$K_H(T)$	Henryn vakio annetussa lämpötilassa	[l*atm/mol]
	$K_H(T^*)$	referenssilämpötila (298.15K)	[K]
	C_K	kaasun lämpötilariippuvuusvakio	[K]
	T	vertailulämpötila	[K]
	T^*	referenssilämpötila 298.15K	[K]

Henryn vakiossa $K_H(T^*)$ on referenssilämpötilan (298.15K) Henryn vakion arvo. C_K on lämpötilariippuvuusvakio (K). T on vertailulämpötila (K). T^* on referenssilämpötila 298.15K. Kaavassa kaikki muut arvot ovat taulukoissa ilmoit-

tettuja vakioita paitsi T eli lämpötila. Näillä tiedoilla saadaan kaavasta ulos tarvittava K_H , minkä jälkeen K_H syötetään takaisin yhtälöön (2). Yhtälöstä (2) saadaan vastaukseksi C , mikä kertoo kaasun liukoisuuden nesteeseen (g/l) (Linnanen 2012, 105).

Kaasu	$K_H(T^*)$ (l · atm) / mol	M (g / mol)	C_k (K)	Absorptio (g/l)
CO ₂	29	44.01	2400	1.518
O ₂	769	28.02	1500	0.036
N ₂	1538	32.00	1300	0.021

Kuva 7. Kuva Henryn lain taulukosta (Linnanen 2012, 105)

10 KONKREETTINEN OSUUS

Konkreettinen osuus eli testilaitteiston rakentaminen oli ajallisesti koko opin-
näytetyöstä yli 80%. Konkreettisen osuuden vaiheet pääpiirteittäin olivat suunnittelu, laitteiden listaaminen sekä mitoittaminen, tarjousten kysely, osien ja tarvikkeiden tilaaminen, perävaunun korjaaminen ja muokkaaminen, laitteiston rakenteiden hitsaaminen, osien koneistaminen, laitteiston kokoaminen ja laitteiston testaaminen

11 SUUNNITTELU

Suunnittelu lähti liikkeelle alku tiedoista, jotka olivat seuraavat, laitteiston on oltava helposti siirrettävissä mieluiten kevytperävaunulla, laitteiston on oltava helposti muokattavissa, laitteistossa tulee olla etäohjattava automaatio ja laitteisto kapasiteetin tulee olla puolet jo olemassa olevan pilot laitteiston kapasiteetista.

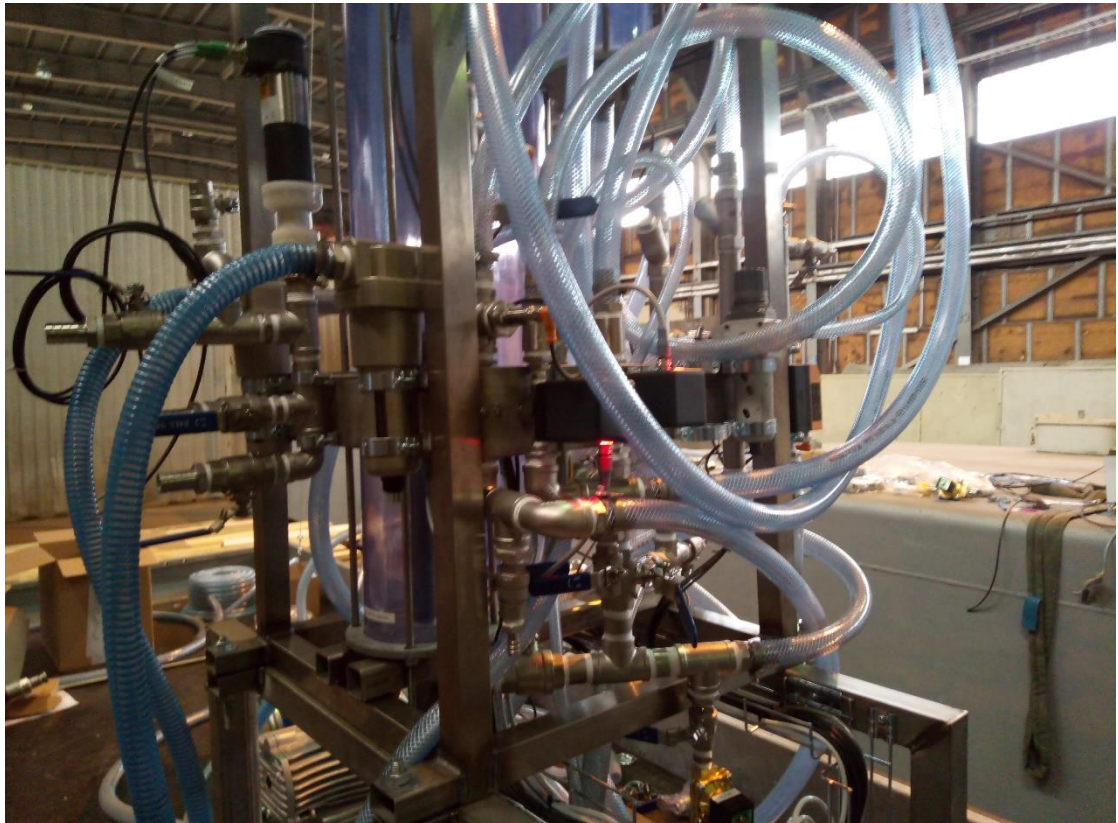
11.1 Laitteiston alustan valinta

Heti alkuun tajusimme, että laitteisto kannattaa rakentaa perävaunulle. Pakettiautoon tai lava-autoon laitteistoa olisi mahdoton mahduttaa. Suunnittelun alkumetreillä tajusimme myös, että laitteisto on oltava hyvin suojattu likaa ja vettä vastaan kuljetusten ajaksi. Melko alkuvaiheessa ymmärsimme myös,

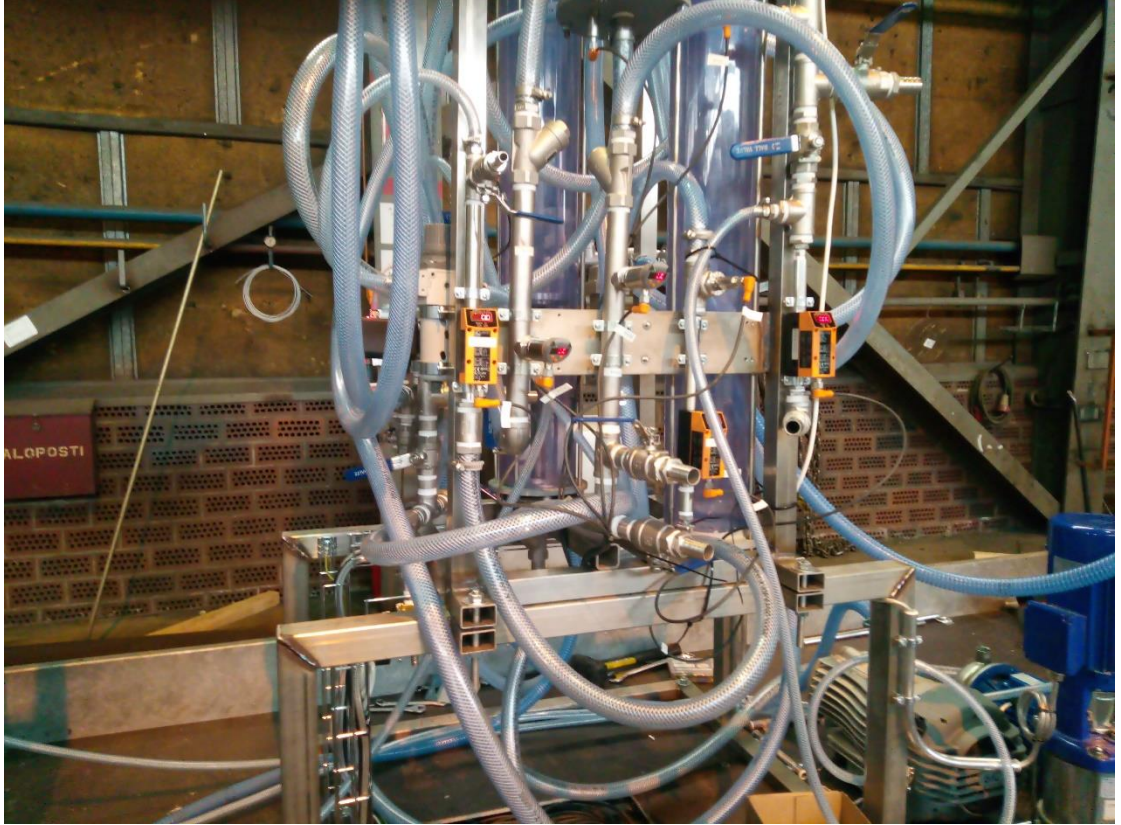
ettei kyseisen kokoluokan laitteisto tule, mahtumaan kevytperävaunuun eli alle 750kg kokonaisuudessaan perävaunuun. Ei koon, eikä massan puolesta. Laskelmiemme mukaan tarvitsemme vähintään 5m pitkän ja 1,5m leveän perävaunun. Lopulta päädyimme hankkimaan 6m pitkän ja 1,5m leveän perävaunun. Laskelmiemme mukaan perävaunun kokonaisuutensa kaikkine laitteineen tulisi 1260kg, mikä osoittautui myöhemmin liian pieneksi arvioksi. Kokonaisuutensa lopulta tuli lukuisten matkalla tulleiden muutosten myötä 1500kg.

11.2 Miten saadaan helposti muokattavissa oleva laitteisto

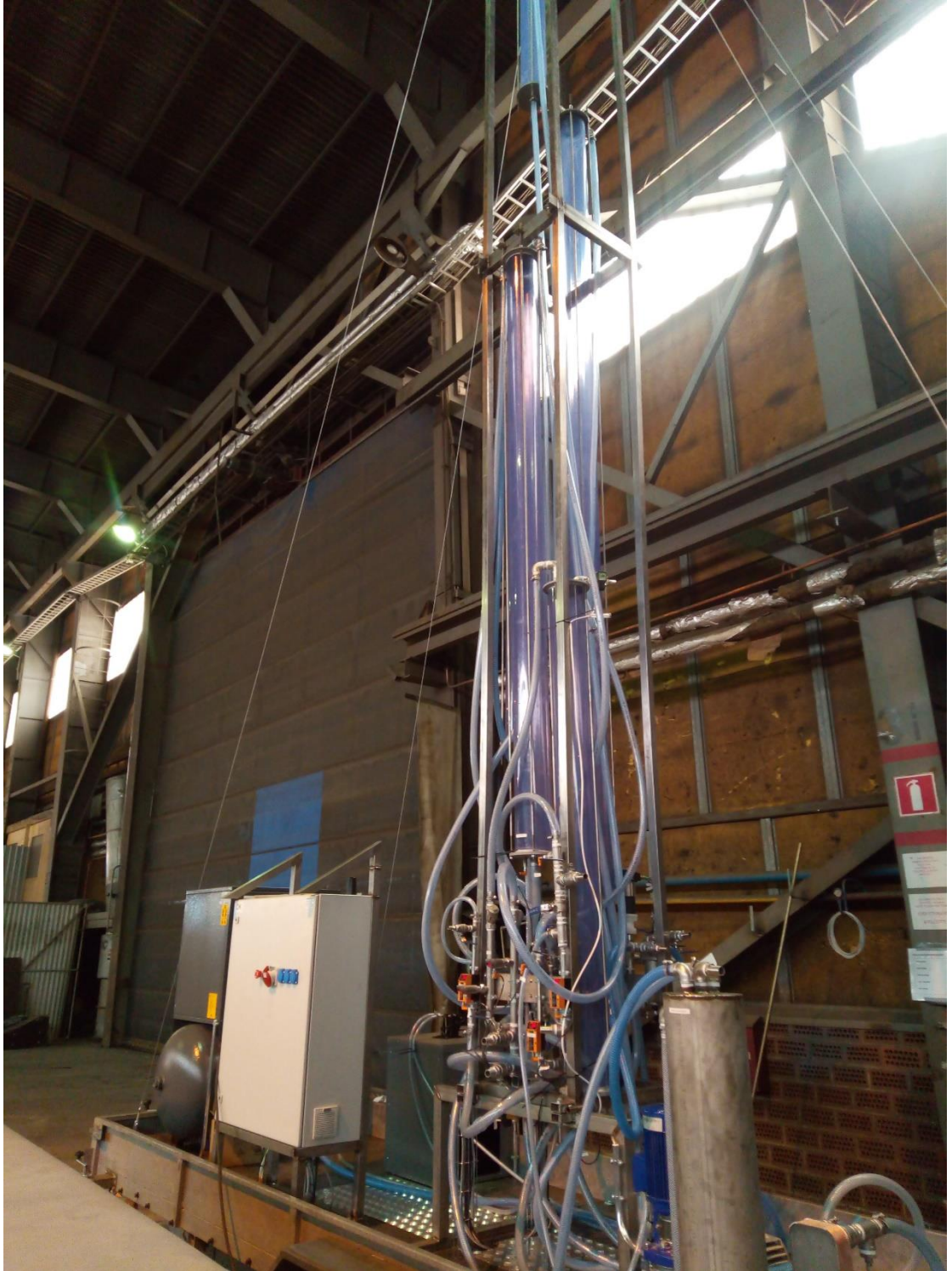
Totesimme CarbonReUse Finlandilla, että laitteiston kolonnit, vesilinjat ja kaasulinjat tulee rakentaa jollain muulla keinolla kuin hitsaamalla. Lukuisten ideoiden jälkeen päädyimme siihen tulokseen, että kolonnit tehdään läpinäkyvästä paineen kestävästä muoviputkesta. Näin ollen voimme myös tarkkailla kuinka kuplat käyttäytyvät absorptiokolonnissa. Vesi- ja kaasulinjat päätimme vetää muoviletkuilla. Sekä kolonnien että vesi- ja kaasulinjojen liitokset suunniteltiin osista koottaviksi hitsaamisen sijaan. Näin pystymme tarpeen tullen tekemään helpommin muutoksia laitteistoon. Kuvista 5, 6 ja 7 näkee, kuinka letkujen, mittareiden ja venttiileiden liitokset on tehty.



Kuva 5. Kehikon alaosa.



Kuva 6. kehikon alaosa toiselta puolelta laitteistoa.

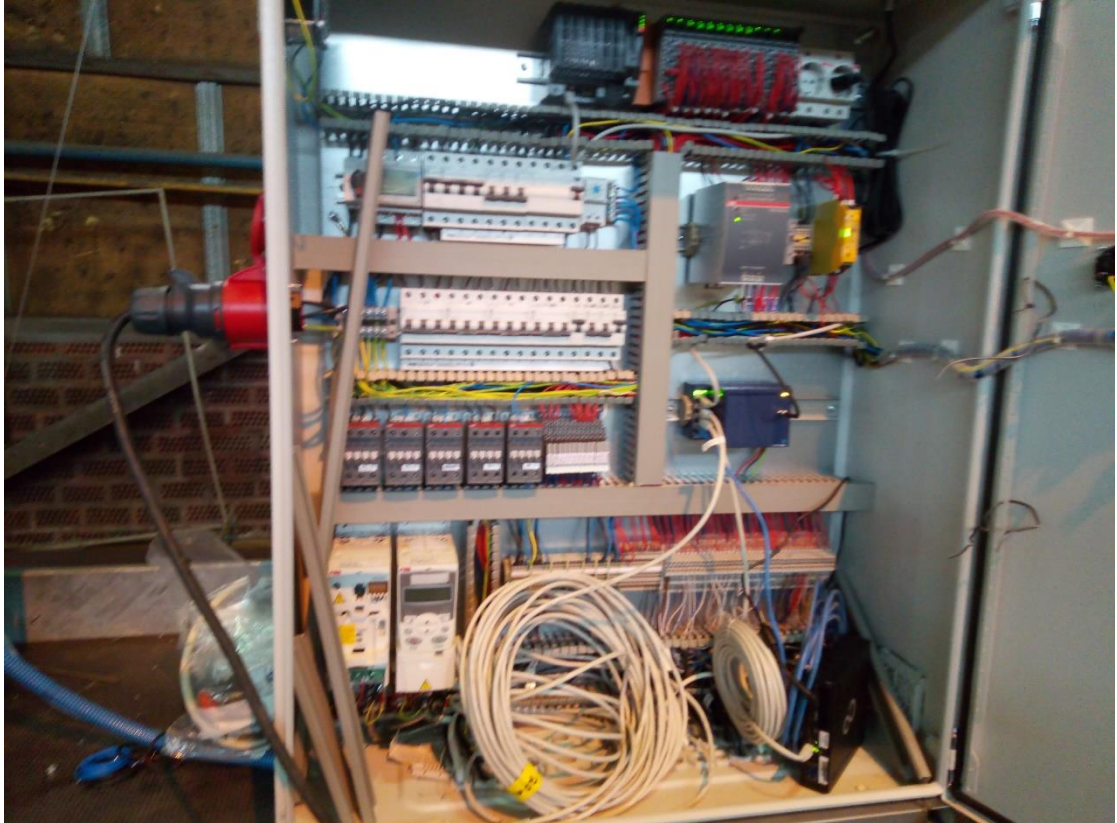


Kuva 7. Kehikko ja muita laitteita (Korppi 2019)

11.3 Etäohjattava automaatio

Automaation asentajaksi valikoitui yritys nimeltä Softmec. Heidän kanssa mieitimme mitä kaikkia ominaisuuksia automaatioon tarvitsemme. Piirsimme Softmecille virtauskaavion laitteistosta ja annoimme osaluettelon kaikista laitteista mihin tulee sähköä. Lisäksi selvensimme mitä mikin laite tekee. Kun tarvittavat

tiedot olivat selvillä, suunnitteli Softmec sähkökaapin, minkä valmisti yritys nimeltä s-kojeisto. Kun sähkökaappi oli valmis, teimme sähkökaapin mittojen mukaan sille telineen. Kun sähkökaappi oli asennettu telineeseen, hoiti sähkömies sähkötyöt sähkökaapin ja koko laitteiston osalta. Lopuksi Softmec asensi automaation ja tarvittavat logiikka- ja tietokoneohjelmat. Kuvassa 8 näkyy sähkökaapin sisältö.



Kuva 8. Sähkökaappi.

11.4 Kehikon suunnittelu

Laitteiston kolonneille, mittareille ja venttiileille täytyi suunnitella kehikko. Suunnittelimme ja piirsimme ensiksi layout kuvat perävaunusta. Lukuisten muutosten ja mietintöjen jälkeen päädyimme viimeisimpään versioon perävaunun layoutista ja kehikon rakenteesta. Suunnittelimme kehikon kaksiosaiseksi, että se mahtuisi hyvin perävaunun kyytiin kuljetuksen ajaksi. Suunnittelimme aluksi kehikosta leveydeltään hiukan suuremman mutta päädyimme leveydessä 0,58 metriin myös kuljetusergonomisista syistä. Kehikko kootaan ensiksi kahdesta 4 metrin mittaisesta osasta. Kun kehikko on täydessä mitas-

saan kyljellään, nostetaan se vinssin avulla pystyyn. Kuvissa kehikko on tyhji-
lään mutta todellisuudessa kehikon sisällä on myöhemmissä kuvissa näkyvät
kolonnit, mittarit, venttiilit ja letkut. Hitsasimme kehikon 1,5mm seinämän rst
neliöputkesta, jolloin koko kehikon painoksi tuli vain 80kg. Kevyen painon an-
siosta tyhjää kehikkoa on helppo siirrellä jopa yksin. Kehikko painaa siihen
kiinnitettävien osien kanssa arviolta 250kg. Alkuperäisien laskelmiemme mu-
kaan kehikon painoksi tulisi vain 130kg. Emme osanneet ottaa alkuperäisissä
laskelmissamme kaikkea huomioon, mutta painoon vaikutti myös suuresti lu-
kuisat matkan varrella tulleet muutokset. Kuvista 9 ja 10 näkee, kuinka kehi-
kon pystytys tapahtuu.



Kuva 9. Kehikko on kyljellään ja vinssin vaijeri on kiinnitetty kehikon yläosaan.



Kuva 10. Kehikko pystyssä.

12 LAITTEIDEN LISTAAMINEN JA MITOITTAMINEN

Suunnittelu vaiheen jälkeen alkoi listaaminen kaikista laitteista, osista ja tarvikkeista mitä työhön tarvitaan. Kun olimme listannut työhöni tarvitsemat laitteet, aloimme etsiä sopivia laitteita. Kyselimme myös laitevalmistajilta ja jälleenmyyjiltä mitä heillä olisi tarjolla.

13 TARJOUSTEN KYSELY JA TILAUSTEN TEKEMINEN

Kun sopivat laitteet, osat ja tarvikkeet oli löydetty, alkoi tarjousten kysely. Tarjousta kysyessä kysyimme aina myös toimitusajan ja yllätyimme että joidenkin tuotteiden kohdalla toimitusaika oli 8 viikkoa. Joidenkin tuotteiden kohdalla edes tuo 8 viikon toimitusaika ei pitänyt vaan toimitus kesti sovittua pidempään.

14 PERÄVAUNUN KORJAAMINEN JA MUOKKAAMINEN

Ostimme laitteiston pohjaksi sisämitoiltaan 6 metriä pitkän, 1,5 metriä leveän kaksiakselisen ja kuomullisen perävaunun. Perävaunuksi valikoitui käytetty perävaunu koska kyseisen kokoluokan kuomulliset kärrit maksavat paljon. Kun olimme hakeneet perävaunun, huomasimme ensimmäisenä, että perävaunun sähköt ei toimi niin kuin kuuluisi, joten korjasimme ne ensimmäisenä. Seuraavaksi rakensimme perävaunuun valepohjan, minkä sisään sähköjohdot sai nätisti piiloon. Valepohjan korkeudeksi tuli 1 tuuma. Kuvasta 11 näemme valepohjan rimoituksen.



Kuva 11. Valepohjan rimoitus.

Valepohjan jälkeen teimme perävaunun nurkkiin tukijalat, jotta vaunu saadaan tukevasti tasapainoon laitetta käytettäessä.

15 LAITTEISTON RAKENTEIDEN HITSAAMINEN

Kaikki opinnäytetyöni hitsaukset teimme puikkohitsauskoneella lukuun ottamatta kehikon hitsauksia, mitkä teimme tig hitsauskoneella. Hitsaukset suoritimme iltaisin, koska jouduimme lainaamaan hitsauskoneita Hydturner konepajalta. Iltaisin heillä ei yleensä ollut itsellä niille tarvetta, jolloin saimme lainata niitä. Kuvassa 12 näkyy käyttämämme puikkohitsauskone.



Kuva 12. Puikkohitsauskone.

15.1 Kehikon alusta

Kehikon alustan suunnittelimme ja valmistimme siten että se on tukeva, helppo kiinnittää perävaunuun ja että alapuolella on riittävästi tilaa letkuille. Ensiksi sahasimme teräsputket vannesahalla oikeanlaisiksi pätkiksi. Leikatut putket näkyy kuvassa 13.



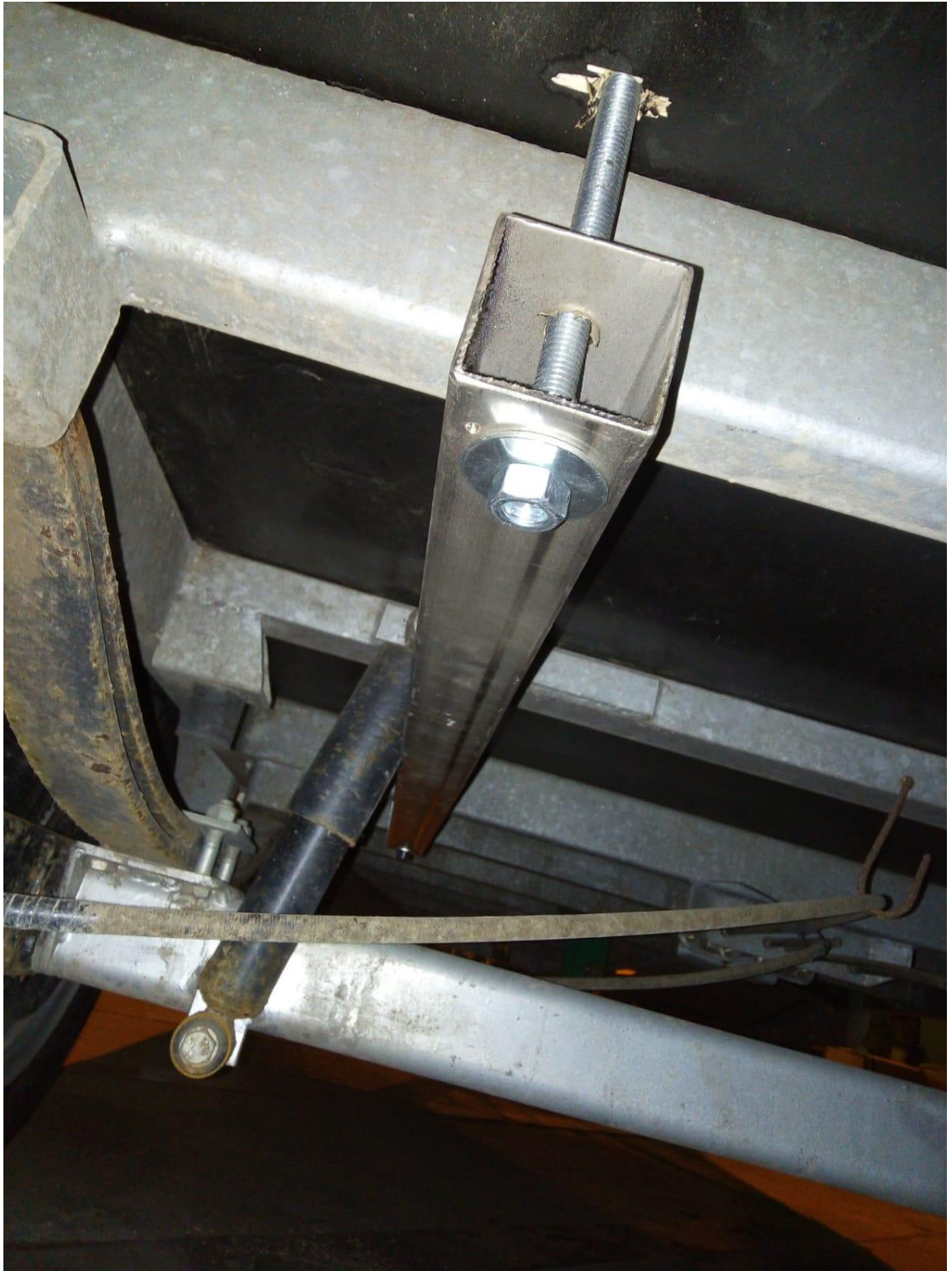
Kuva 13. Jalustan teräsputket.

Minkä jälkeen hitsasimme putket yhteen kuten kuvasta 14 näkyy. Hitsasimme myös tekemämme saranat jalustaan mitkä eivät näy vielä kuvassa 14.



Kuva 14. Jalusta hitsattuna.

Saranoiden avulla kehikko saadaan nostettua pystyyn ja laskettua kyljelleen. Lopuksi porasimme pulteille sopivat reiät jalustan nurkkiin. Pultit menevät perävaunun läpi kiinnittyen perävaunun pohjassa oleviin kiinnike rautoihin, mikä näkyy kuvasta 15. Tällä tavalla jalusta on riittävän tukevasti perävaunussa kiinni.



Kuva 15. Kiinnitysrauta.

15.2 Kehikko

Kehikon suunnittelimme kaksiosaiseksi siksi että se mahtuisi hyvin perävaunun kyytiin kuljetuksen ajaksi. Suunnittelimme aluksi kehikosta leveydeltään hiukan suuremman mutta päädyimme leveydessä 0,58 metriin jotta se mahtuisi paremmin perävaunun kyytiin kuljetuksen ajaksi. Kehikon rakentaminen

alkoi sillä, että sahasimme sopivan mittaiset pätkät teräsputkea, minkä jälkeen alkoi hitsaaminen. Hitsauksen suoritimme tig hitsauskoneella koska kehikossa käyttämämme teräsputki oli seinämävahvuudelta vain 1,5mm paksua. Näin ohutta metallia hitsatessa on helpompi käyttää tig konetta puikko koneen sijaan. Muissa hitsaamissamme rakenteissa putkien seinämävahvuus oli 2-3mm.

15.3 Vinssin vaijerin tolppa

Vinssin vaijerille piti tehdä tolppa, jonka avulla kehikon nostokulmaa saadaan nostettua riittävästi. Teimme arviot kuinka paljon kehikko kestää vääntävää voimaa minkä pohjalta laskimme tarvittavan nostokulman, välttääksemme kehikon putkien vääntymisen. Vaijeri tolpan rakentaminen alkoi kuten muidenkin putkirakenteiden tekeminen eli putkien sahaamisella. Yhden putken leikkauskulmat ylittivät kuitenkin 60 astetta, mikä on suurin kulma, mitä vannesaha pystyy sahaamaan. Niinpä jouduimme leikkaamaan yhden putken kulmahiomakoneella. Kun saimme kaikki osat leikattua, hitsasimme osat ja porasimme vaijerin ohjaimelle pultin reiät. Vaijerin ohjain pitää vinssin vaijerin oikealla kohdallaan vinssiä käytettäessä. Kuvassa 16 näkyy vinssin vaijeria ohjaava vaijeriohjuri. Kuvassa 17 näkyy vaijerin tolppa kokonaisuudessa.



Kuva 16. Vaijerin ohjain.



Kuva 17. Vaijerin tolppa.

15.4 Tukijalat

Oikeanlaiset tukijalat löytyivät, mutta riittävän pitkiä tukijalkojen kiinnike osia ei löytynyt mistään. Niinpä päädyin rakentamaan sellaiset itse. Suunnittelemani kiinnikkeet aioin pultata perävaunun runkoon kiinni, mistä en ollut täysin varma onko se luvallista. Niinpä varmistin ensiksi katsastuskonttorilta, että perävaunun runkoon, poraaminen on sallittua. Saamieni rajaehtojen ja ohjeiden puitteissa pystyin valmistamaan sopivat tukijalkojen kiinnikkeet. Tukijalkoihin hitsasin 120mm pitkät jatko palat eli 80mm leveät ja 50mm paksut 3mm seinämällä olevat putken pätkät. Jatko palojen toiseen päähän hitsasin 5mm paksut levyn palat, joihin tein pultin reiät.

15.5 Vinssin teline

Vinssin telineen suunnittelussa oli haasteena se, ettei vetoaisaan saa porata minkäänlaisia reikiä, saati sitten hitsata mitään. Niinpä suunnittelin vinssin telineen siten että se tuli jo olemassa oleviin pultteihin kiinni. Vinssin telineen hitsasin 2mm seinämän putkesta ja 3mm paksusta lattaraudasta. Samoin vinssin akulle jouduin suunnittelemaan ja valmistamaan telineen mikä tuli vetoaisassa jo olemassa olevilla pulteilla kiinni. Leikkasin alumiinista ensiksi akun mittojen mukaan sopivat palaset. Koska suunnittelin akun telineen alumiinista ja koska minulla ei ollut mahdollisuutta lainata mistään alumiinin hitsaamiseen soveltuvaa hitsauskonetta, Jouduin teettämään hitsauksen ammatti hitsarilla. Hitsattuun koteloon porasin lopuksi pultin reiät ja niittasin kannen kuten kuvassa 18 näkyy.



Kuva 18. vetoaisan osat.

15.6 Sähkökaapin teline

Sähkökaapin telineen suunnittelimme pitkälti samalla periaatteella kuin kehikon jalustan. Sähkökaapin tuli olla tukeva, helposti perävaunuun kiinnitettävä ja työskentelykorkeuden tuli olla sähkömiehelle mieluisa. Lisäksi telineessä tuli olla jonkinlainen suoja enimmänsä sateen varalta. Näiden tietojen pohjalta pystyimme määrittämään tarvittavat mitat sähkökaapin telineelle. Mittojen mukaan leikkasimme sopivan kokoiset palat 40mm paksua ja 2mm seinämällä olevaa teräsputkea ja hitsasimme niistä telineen. Telineen pohjaan tuli reiät samantyyppiselle pulttikiinnitykselle, kuin kehikon telineessä. Lisäksi telineeseen tuli pultinreiät sähkökaapin kiinnitykseen. Lisäksi kehikkoon valikoitui kattomateriaaliksi vaneri ja vanerin päälle huopa. Lisäsimme huovan pelkästään esteettisistä syistä. Koska testilaitteistoa käytetään mahdollisten tulevien asiakkaiden nähdessä, on laitteiston oltava myös silmää miellyttävä. Kuvassa 19 ei näy telineen kattoa koska kuva on otettu aikaisemmassa vaiheessa. Kuvan 19 valkoinen kaappi on sähkökaappi ja sen ympärillä näkyy sähkökaapin teline mihin sähkökaappi on kiinnitetty.



Kuva 19. perävaunun etuosa.

15.7 Sekoitussäiliö

Sekoitussäiliö oli alun perin tarkoitus tehdä myös läpinäkyvästä muoviputkesta. Samalla tavalla kuin kolonnit ja pumppaussäiliö. Koska kehikon alaosa oli jo melko ahdas, päätimme tehdä sekoitus säiliön kokonaan metallista ja toiseen paikkaan. Sekoitussäiliö syntyi 20cm halkaisijaisesta ja 1500 senttimetrin pituisesta 2mm seinämällä olevasta teräs putkesta, John hitsasimme 2mm levyä leikkaamamme pyöreät päätylevyt. Päätylevyihin ja putken kylkeen porasimme kierteellisille hitsinipoille reiät. Reikien kohdille hitsasimme hitsinipat, mihin saimme myöhemmin kiinnitettyä letkut. Sekoitussäiliön pohjaan hitsasimme kiinnike levyn, minkä avulla sekoitus säiliön sai pultattua perävaunun pohjaan kiinni. Sekoitussäiliö paikalleen asennettuna kuvassa 20.



Kuva 20. Sekoitussäiliö.

16 LAITTEISTON KONEISTETTAVAT OSAT

Laitteiston kaikki koneistettavat osat koneistimme myös itse. Koneistukset suoritimme konepajalla nimeltä Hydturner. Kyseinen konepaja on erikoistunut

isojen kappaleiden CNC-koneistukseen. Siksi konepajan pienet manuaali koneet ovat vähällä käytöllä. Ne olivat useimmiten vapaina, jolloin saimme käyttää niitä.

16.1 Kolonnien päätylaipat

Kolonnien päätylaipat oli koko opinnäytetyöni ainoita osia mitkä teimme mustasta raudasta rst:n eli ruostumattoman teräksen tai hst:n eli hapon kestävän teräksen sijaan. Tämä johtui osaltaan siitä, kun saimme laippoihin tarvitsemamme metallin ilmaiseksi. Tarvittavan metallin tilaaminen rst:n olisi maksanut noin 1500 euroa, niinpä päätimme valmistaa laipat mustasta raudasta ja lopuksi maalata laipat ruosteenesto pohjamaalilla. Laipat tuskin kestävät laitteen koko käyttöikä. Laipat on helppo vaihtaa, joten valmistamme uudet, kunhan vanhat ovat kuluneet huonoon kuntoon. Ajatuksenamme ei ollut ainoastaan säästää rahaa vaan myös selvittää kuinka nopeasti laipat ruostuvat kyseisissä prosessiolosuhteissa. Lisäksi pelasimme varman päälle siinä, jos suunnittelemamme kolonnirakenne ei toimikkaan, joudumme rakentamaan kolonnit jollain muulla tavalla ja laipat ovat sen jälkeen meille lähes arvottomia.

Laippojen valmistamisen ensimmäisenä vaiheena, sahasimme vannesahalla oikean paksuisia kiekkoja pyörötangosta. Kiekoista sorvasimme tasapaksuja, minkä jälkeen sorvasimme kiekkoihin putken päädyn kokoiset urat. Kun saimme sorvaukset tehtyä, porasimme kiinnitystankojen reiät. Lisäksi porasimme kiekkoihin sopivan kokoisia reikiä tuuman ja 1/4 tuuman kierteille. Kierreet teimme reikiin käsin kierretapilla ja kierrevääntimellä. Tuuman kierrereiät olivat letkun kiinnityksiä varten ja 1/4 tuuman kierrereiät olivat paineantureita varten. Kun kaikki koneistukset oli tehty, maalasimme laipat ruosteenesto pohjamaalilla, mikä näkyy kuvista 21 ja 22.



Kuva 21. Laipat ennen maalausta.



Kuva 22. Laipat maalattuna.

16.2 Kiinnitystangot

Jokainen kolonni on yhtenäinen paketti mihin kuuluu putki, kaksi päätylaippaa ja neljä kiinnitystankoa. Jokaisen putken molemmissa päädyissä on päätylaippa. Kiinnitystangot menevät päätylaippoihin tehtyjen reikien läpi. Kiristystankojen molemmissa päissä on kierteet, jolloin pulteilla tasaisesti tiukat päätylaipat vetävät toisiaan puoleensa, saaden päätylaipat painautumaan tiukasti putken päätyjä vasten. Kiinnitystangot ovat 10mm paksuja ja 200mm kiinnitettävää kolonnia pidempiä. Kiinnitystangot ovat tarkoituksella pidempiä. Kiinnitystankojen päätylaipan ylittävä osuus toimii kolonnin kiinnityksenä kehikkoon. Kierretangot menevät kehikon reunan yli, jolloin kolonni rakenne saadaan kiinnike raudoilla kiinnittymään kehikkoon

Valmistuksen ensimmäisenä vaiheena, saahasimme tangot sopivan pituisiksi. Tämän jälkeen teimme sorvia apuna käyttäen, jokaisen kiinnitystangon päähän 100mm matkalle M10 kierteen.

16.3 Absorptiosäiliön ilmastin

Absorptiosäiliön ilmastimen tarkoituksena on kuplittaa absorptiokolonniin syötettävä kaasu oikean kokoisiksi kupliksi. Ilmastimen rungosta teimme kaksi osaisen. Osat kiinnittyvät toisiinsa M120 hienokierteen avulla. Runko on koivistettu niin, että ilmastimen kumimembraani asetetaan rungon alemman eli pohja osan päälle, minkä jälkeen rungon toinen osa eli kansi kierretään kiinni. Kumimembraani jää puristukseen osien väliin ja kestää puristuksen voimasta paikallaan. Käytettävä kumimembraani on 3mm paksuista kumimattoa, missä on pieniä reikiä. Kaasun tullessa reiän läpi muodostuu 5mm kokoinen kupla mikä on optimaalinen koko kyseiseen absorptiokolonniin.

17 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä laitteisto mitä on helppo siirtää ja muokata. Tekemäämme laitteistoa on helppo siirtää paikasta toiseen ja siihen pysyy tekemään vaivattomasti haluttuja muutoksia. Opinnäytetyö eteni tahdikkaasti ja lopputuloksena syntyi siirrettävä hiilidioksidin talteenottolaitteisto mitä tullaan, käyttämään testaus- sekä mittauslaitteistona.

Johtopäätöksenä työstä voi sanoa, että opinnäytetyö onnistui kokonaisuutena mainiosti. Laitteistosta tuli sellainen mitä CarbonReUse Finlandin halusi. Opinnäytetyönä laitteiston tekeminen oli haastavaa, mutta se antoi hyvän lähtölaukauksen tulevalle insinöörin uralleni. Pääsin näyttämään osaamistani ja opin valtavasti uutta.

Koe ajot ovat vielä kesken ja siksi en pysty sanomaan tässä johtopäätöksissä, että toimiko laitteisto lopulta odotusten mukaisesti. Toistaiseksi kaikki näyttää laitteiston toimivuuden kannalta hyvältä, eikä ongelmia laitteiston toimivuudessa ole ilmennyt.

LÄHTEET

Bio-CO₂ - Biopohjaisen hiilidioksidin arvoketjut. WWW-dokumentti saatavissa: <https://www.vtt.fi/sites/BioCO2/tausta> [viitattu 18.3.2019]

CarbonReUse Finland. 2018. Osapaine esitys. Sisäinen tutkimusraportti

European Union. 2016. Pariisin ilmastopöytäkirja. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/climate-change/timeline/> [viitattu 18.3.2019]

Haatainen, N. 2018. Innovatiiviset kaivosvesien puhdistusratkaisut ja ekotehokkaat pilotoinnit (iFORMINE). Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Xamk Kehittää 48. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/152747/URNISBN9789523440982.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [viitattu 18.3.2019]

Keskitalo, E. 2013. Savukaasujen hiilidioksidin talteenotto-prosessin vaikutukset olemassa olevaan monipolttoaine-CHP-voimalaitokseen. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö. Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201305291357.pdf> [viitattu 18.3.2019]

Koponen, J. 2018. Tiesitkö, että virvoitusjuomasi kuplat ovat usein muun teollisuuden sivutuotetta. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10404460> [viitattu 18.3.2019].

Linnanen, T. 2012. CO₂:n fysikaaliset erotusprosessit savukaasuista – vesiansorption soveltuvuus ja kustannukset. Mikkelin ammattikorkeakoulu. PDF-dokumentti. Sisäinen julkaisu.

Nykänen, M. 2017. "Tilanne huolestuttava" -tutkimus: maapallon hiilibudjetista on käytetty jo lähes puolet. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.tekniikkatalous.fi/tiede/kestava_kehitys/tilanne-huolestuttava-tutkimus-maapallon-hiilibudjetista-on-kaytetty-jo-lahes-puolet-6630993 [viitattu 18.3.2019]

Saarinen, T. 2011. CO₂:n fysikaalisen erotusprosessin prosessiolosuhteet. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikka. Opinnäytetyö. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/39376/Saari-nen_Tuire.pdf?sequence=1 [viitattu 18.3.2019]

Sander, R. 2015. Compilation of Henry's law constants (version 4.0) for water as solvent. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 15. 4399–4981. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.atmos-chem-phys.net/15/4399/2015/acp-15-4399-2015.pdf> [viitattu 18.3.2019]

Silvennoinen, J. 2018. Absorption tehostaminen hiilidioksidin talteenotto-prosessissa. Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu. Prosessitekniikka. Opinnäytetyö. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/141417/Silvennoinen_Juha.pdf?sequence=1 [viitattu 18.3.2019]