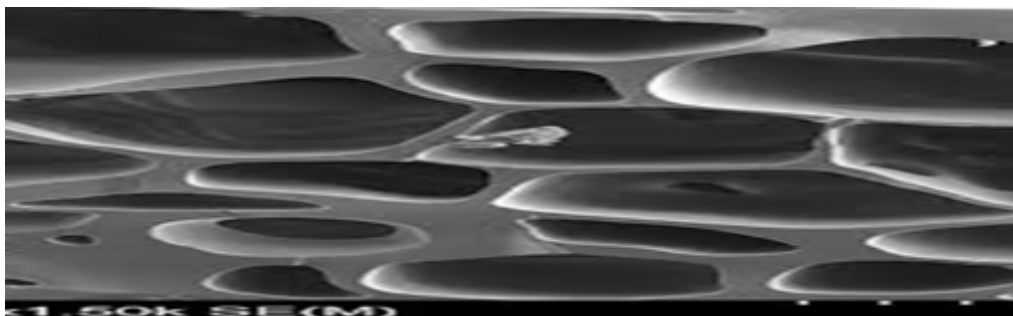


ASIAKASRAPORTTI, PIKES OY, LIFE 15 IPE/FI/004 CIRCWASTE



Hienojakoisen puujakeen jalostaminen termokemiallisesti biohiileksi

Tilaaaja: Pielisen Karjalan Kehittämiskeskus PIKES Oy / Circwaste -hanke ja Biotalous teknologiapilotit vihreän teollisuuden alueella –hankkeet

Laatijat:

Juha Solio, Hannu Kuopanportti, Hannu Sarvelainen, Kalle Tarhonen ja Maunu Kuosa

II-vaiheen RAPORTTI 19.6.2018

Toteuttajaorganisaatio:

Xamk TKI: Metsä, ympäristö ja energia / BioSampo tutkimuskeskus

19.6.2018

Sisällysluettelo

1 Alkutilanne raportin II-vaiheeseen ja prosessivaihtoehdot.....	3
2 Kuivatusprosessin lämmönsiirto ja mitoitus	4
3 Materiaalien valinta.....	6
4 Pyrolyysinesteiden käsittely	7
LIITE 1 Hitaan pyrolyysiprosessin tekninen toteutus ja mittakaava.	9

19.6.2018

1 Alkutilanne raportin II-vaiheeseen ja prosessivaihtoehdot

I-Vaiheen Raportin perusteella tilaaja haluaa keskittyä kahteen prosessivaihtoehtoon, joilla voidaan käsitellä sahanpurua sekä märkää uutosta otettua kuoriainesta. Hienojakoisen puuaineksen pyrolysointi tullaan toteuttamaan spiraali täryttimen avulla uunissa, jossa vallitsee tasainen 600 °C lämpötila. Kuoriaineksen käsittelyyn liittyvä selvitys perustuu FlipHop menetelmään, johon on yhdistetty koloni uuttoaineiden regenerointia varten. Tässä selvityksessä etsitään ratkaisuja kaasujen käsittelyyn ja kondensoituneiden kemikaalien erotusvaihtoehtoihin. Tämän raportin lisäksi, sen ohessa, toimitetaan Xamk:n oppilaiden Kymelaakson Jäte Oy:lle tekemä harjoitus ”selvitys aluelämmityskattilan hankinnasta”, jossa AB-luokitettun puuaineksen poltto energiaksi on selvitetty, jonka mukana on myös budjettilaskelma yhden tekniikan käytöstä.

Prosessilaitte 1

Hitaan pyrolyysin prosessilaitte, sahajauhon ja muiden hienojakoisten puuainesten prosessoinnista biohiileksi, on pilottilaitos, jonka kapasiteetti on 50-250 kg/h purua. Tarkoituksena on prosessoida puuaines niin, että mekaaninen rasitus on mahdollisimman vähäistä. Laitos toimii uuniperiaatteella, jossa tasainen 600 °C lämpötila pidetään yllä. Materiaalin syötöllä säädetään laitoksen lämpötila pysymään sallituissa rajoissa. Laitos toimii lämmönvaihdin periaatteella, josta kuvassa 1 esitetään prosessin savukaasun ja raaka-aineen kierto. Laitoksen polttimen tuottaman savukaasun lämpö menee puuaineksen hiiltämiseen. Laitoksella voidaan myös tuottaa lämpökäsiteltyä puuainesta, ns. torrefioitua puuta. Palakoko on rajoitettu maksimissaan 30 mm kokoon. Valmis hiili jäähdytetään hapettomassa tilassa alle 100 °C lämpötilaan, jolla turvataan laitoksen paloturvallisuus. Prosessissa syntyvät kaasut johdetaan lauhduttimen kautta kondensointiasiaan ja kondensoitumattomat kaasut käytetään hyväksi laitoksen prosessilämmön tuotannossa. Prosessilämpö tuotetaan kaksoispolttimella, jossa ylösajon aikana käytetään polttoöljyä tai biopolttoöljyä. Laitos on jatkuvatoiminen. Kun se on saavuttanut normaalin prosessitehon, siirrytään käyttämään kondensoitumattomia kaasuja. Kaasut poltetaan polttimella, josta savukaasut johdetaan reaktorin keskellä olevan putken kautta ylhäältä alaspäin savukaasuumuria käyttäen. Materiaali syötetään laitoksen alaosassa olevaan keräysmaljaan, josta tärytyksen taajuutta muuttamalla annostellaan sopiva patja ylöspäin spiraalikuljettimen avulla. Spiraali kuljettimen värinätaajuus on säädettävissä täryttimien moottorien taajuusmuuntimien avulla. Valmis hiili pudotetaan retortin jälkeen hapettoman putken kautta vesialtaaseen. Putki on varustettavissa vesihuntu suuttimilla, sekä hiilidioksidi syötöllä, joiden vaikutuksesta saadaan lisäpinta-alaa hiilelle.

Prosessilaitte 2

Prosessilaitte 2 on optio, mikäli asiakas haluaa jatkosuunnittelua kuoren käsittelylle uuttoprosessin jälkeen. Tämä prosessilaitte perustuu flip-hop menetelmään, jossa koko lämmitettävä uuniyksikkö liikkuu jousitetulla pedillä ja hypyttää materiaalia spiraalirataa ylöspäin. Laitos toimii uutetun kuoriaineksen kemikaalien tislauslaitteena. Laitos lämmitetään alhaalta ylöspäin laitoksen keskellä olevan putken kautta. Laitoksen yläosaan sijoitetaan lauhdetorni, josta kerätään uuttoalkoholi ja muut tislautuvat kemikaalit alle 130 °C lämpötilassa. Lauhdutinkoloni varustetaan keräystasoilla, joista johdetaan kondensoituneet kemikaalit keräysastioihin. Flip-hop prosessin taajuutta säädetään materiaalin liikkumisen ehdoilla. Prosessi on tasalämpöinen ja materiaalin siirtonopeudella säädetään oikeanaikainen tislautuminen. Laite on esikäsitteilyyn sopiva, jonka jälkeen kuivatettu kuoriaines siirretään prosessilaitteeseen 1, jossa kuoriaines

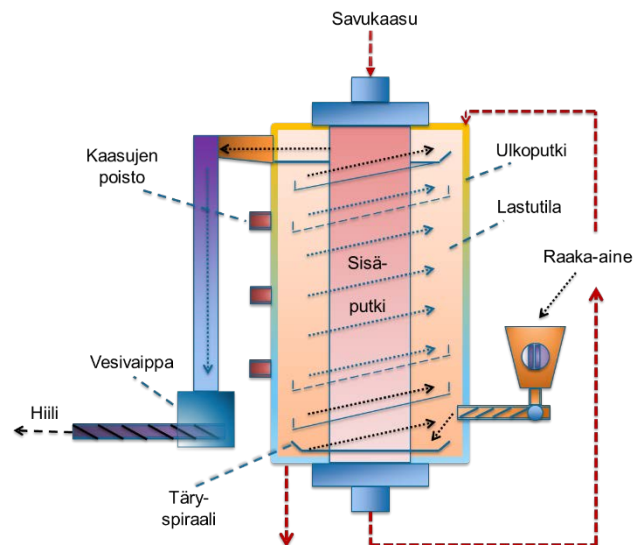
19.6.2018

hiilletään. Kuoriaines on oltava tasalaatuista ja palakoko maksimissaan 30 mm ja minimissään 5 mm, jotta massa saadaan liikkumaan prosessilaitteistossa.

Prosessilaitos 1 tarvitsee esikäsittelyyn varastosiilon ja seulan, jolla taataan oikea palakoko sekä estetään vieraiden aineiden, kuten kivien ja metallien joutuminen prosessiin.

2 Kuivatusprosessin lämmönsiirto ja mitoitus

Kuuma savukaasu tulee öljypolttimelta hienojakoisen puuainesten pyrolyysiprosessiin ylhäältäpäin (Kuva 1). Raaka-aine syötetään prosessin alaosaan keräysmaljaan, josta se nousee täryn vaikutuksesta lastutilan spiraalia pitkin ylöspäin. Hienojakoinen hiiltynyt materiaali poistuu poistokanavan ja jäädytetyn vesivaipan kautta. Savukaasu siirtää lämpöä ensin sisäputkesta lastutilaan. Savukaasu kiertää seuraavaksi ulkoputkeen, luovuttaa loput lämmitystehosta ja poistuu sitten jäähtyneenä. Lämmönsiirto tapahtuu sisäputkesta lastutilaan säteilemällä ja johtumalla sekä ulkoputkesta konvektiolla.

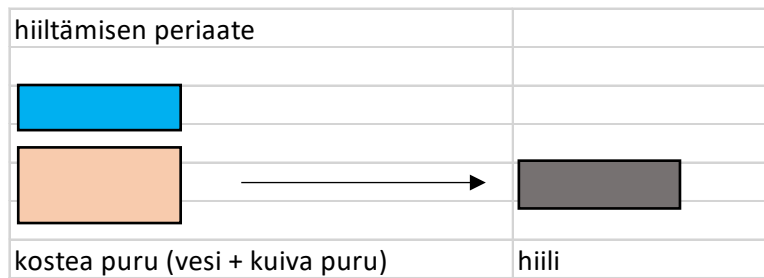


Kuva 1. Hitaan pyrolyysin prosessilaitte, yksinkertaistettu toimintaperiaate.

Sisäputken sisäpuolelle pyritään saamaan alkulämpötilaksi noin 1000 °C. Käytännössä savukaasu poistuu ensimmäisestä putkesta lähes samassa lämpötilassa. Toisessa vaiheessa ulkokehällä (ulkoputki) savukaasu jäähtyy noin 400 °C lämpötilaan. Polttimen tehon säädöllä tämä lämpötila pitäisi olla hallittavissa.

Puun lämmityksen ja hiiltämisen tehontarve määritetään kuivan puun massavirran (50-250 kg/s) ominaislämpökapasiteetin (1,5 kJ/kg°C) ja hiiltämissuoritusprosessissa puun sisältämän veden (600 °C höyryn ja 20 °C veden, 1 bar) entalpiaeron (3706 kJ/kg-84 kJ/kg) avulla. Kuvassa 2 esitetään hiiltämisen periaate, jolloin kostea puru (vesi ja kuiva puru) muuttuvat hiileksi.

19.6.2018



Kuva 2. Hiiltämisen periaate.

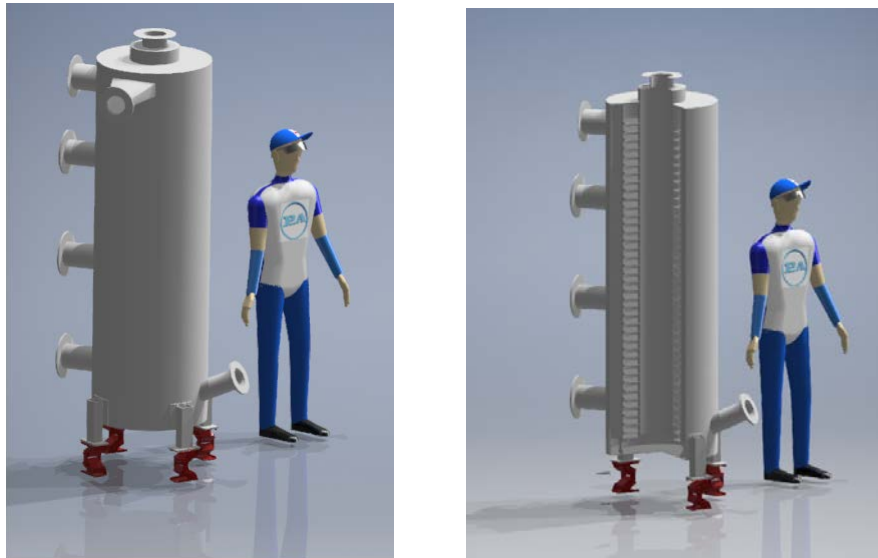
Kuiva puru sitoo lämpöenergiaa ominaislämpökapasiteetin ja kuivan purun massavirran perusteella. Purun vesi sitoo energiaa entalpiaeron ja veden massavirran perusteella. Purun massavirta ja kosteus on tiedossa, jolloin hiiltämisen tehontarve (kW) on alla olevan taulukon 1 mukainen. Punaisella on merkitty kosteus- ja massavirta-alueet (m-% ja kg/h), joissa tarvitaan yli 90 kW tehoa hiiltämiseen. Nykyisen suunnitelman mukaan laite pystyy käsittelemään purua 90 kW teholla.

Taulukko 1. Purun hiiltämisen tehontarve.

tehontarve kW						
kosteus \ massavirta	50	100	150	200	250	kg/h
0	12	24	36	48	60	
5	14	28	42	56	70	
10	16	32	48	64	80	
15	18	36	53	71	89	
20	20	39	59	79	99	
25	22	43	65	87	108	
30	24	47	71	94	118	
35	25	51	76	102	127	
40	27	55	82	109	137	
45	29	59	88	117	146	
50	31	62	94	125	156	
m-%						

Kuvassa 3 ja liitteessä 1 esitetään hitaan pyrolyysin prosessin tekninen toteutus ja mittakaava. Laitteiston kokonaiskorkeus on 2,542 m, leveys 0,66 m ja massa 640 kg. Lämmönsiirtopintaa on yhteensä noin 11 m², josta sisäputken osuus on noin 3 m² ja ulkoputken osuus loput 8 m². Ulkoputkessa on kanavan pystysuunnassa ripoja 42 kpl. Spiraaliosan kierteen pituus ja leveys ovat 44 m ja 0,095 m. Purupatjan korkeus on 0,0167 m ja viipymäaika 300 s (riippuen täryttimen taajuudesta).

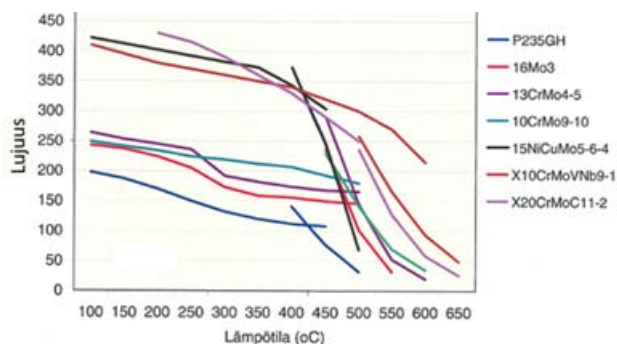
19.6.2018



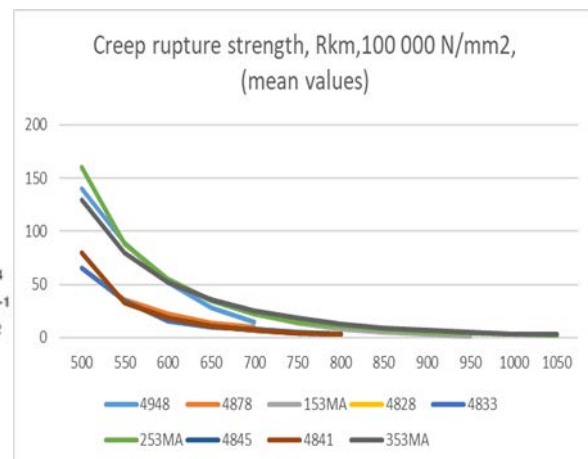
Kuva 3. Hitaan pyrolyysin prosessilaite, tekninen toteutus ja mittakaava.

3 Materiaalien valinta

Prosessilaite 1 toimii 600 °C prosessilämmöllä ja liike aiheuttaa 4-5 g:n rasituksen rakenteille. Tästä syystä on metallin valinnassa käytettävä erikoisterästä, joka myös kestää happoja ja korrosioivia kaasuja. Kuvassa 4a esitetään perinteisten tulenkestävien terästen tyypillisiä mitoituslujuuksia korkeissa lämpötiloissa. Käytännössä korrosiovaatimukset ja lujuusvaatimukset pakottavat tulenkestävien terästen käyttöön, joilla on vielä virumislujuutta 1000 °C saakka (kuva 4b). Lopullinen materiaalivalinta tehdään suunnitteluvaiheessa.



a)



b)

Kuva 4. a) Metalliseosten mitoituslujuus ja b) virumislujuus korkeissa lämpötiloissa. (Outokumpu high temperature stainless steels)

19.6.2018

Mahdollisimman tehokkaan lämmönsiirron saavuttamiseksi, savukaasut syötetään reaktorin keskellä olevaan putkeen, josta lämpö leviää reaktorin kuljetinsiivillä olevaan materiaaliin. Reaktorin läpiviennit ja tarkastusluukut tiivistetään tulenkestävällä eristenauhalla. Insulfrax LT -villa on valmistettu bioliukenevasta kuidusta EU-direktiivien mukaisesti. Villan maksimikäyttölämpötila on 1200 °C ja se on ympäristöystävällisempi vaihtoehto keraamiselle villalle. Reaktorin pintaeristys tehdään Isofrax® 1400 eristeellä, joka täyttää vaatimukset luokituslämpötilansa 1400°C ansiosta. Prosessorin eristepinnat päällystetään. Mobius Aluplast on valmiiksi pinnoitettu eriste, jossa on päällyste ja eriste yhdessä asennuksessa. Aluplast on UV-kestävä ja mekaanisen rasituksen kestävä. Pyrolyysikaasut ohjataan reaktorista haponkestävällä putkella lauhduttimeen, josta kondensoitumattomat kaasut johdetaan polttimelle ja hyödynnetään prosessilämpönä. Tässä esitetyt eristemateriaalit ovat joitakin tuotemerkkejä ja ne voidaan korvata muilla vastaavat ominaisuudet omaavilla eristemateriaaleilla.

4 Pyrolyysinesteiden käsittely

Kondensoituneet pyrolyysinesteet käsitellään asiakkaan valitsemalla menetelmällä. Vaihtoehtoja on kolme, perinteinen erotusmenetelmä, tislaukolonni ja vakuuierotus, joita verrataan tässä raportissa.

1. Perinteinen erotusmenetelmä, perustuu säiliötekniikkaan, jossa pyrolyysinesteitä säilytetään 90 päivää normaali-ilmanpaineessa suljetussa hapettomassa astiassa. Pyrolyysinesteet jakautuvat kolmeen faasiin, joista kevein, öljy jää pintaan. Etikkahapot ja vesi kerääntyvät nestefaasina keskelle ja painavin terva painuu astian pohjalle. Veden erotus etikkahaposta voidaan tehdä tislamalla tai keittämällä seosta 100 °C lämpötilassa avoastiassa, jolloin vesi tislautuu pois etikkahapoista. Öljyä voidaan kerätä säiliön yläosan kautta ja tervat lasketaan pohjaventtiin kautta erilliseen keräysastiaan. Tervat ja öljyt voidaan polttaa energiaksi tai jatkojalostaa polttoainekäyttöön.
2. Komponenttien erottaminen pyrolyysinesteestä kannattaa tehdä monivaiheisella erotusmenetelmällä energian säästämiseksi, sekä hyvän tuoton ja tuotepuhtauden saavuttamiseksi. Suurin osa erotuksista voidaan toteuttaa monikomponenttisella monivaihetislauksella, jossa erottuminen perustuu komponenttien erilaisiin höyrynpaineisiin. Perinteisessä pohjakolonnissa neste valuu kolonnissa pohjalta pohjalle alaspäin; höyry kulkeutuu pienen paine-eron ajamana ylöspäin pohjien ja sen päällä poikkisuuntaan virtaavan nesteen läpi. Energiaa tislauksessa kuluu etenkin syötteen kuumentamiseen ja kolonnin pohjalle valuvan nesteen kiehumiseen. Kuumennetun pyrolyysinesteen syöttökohdan alapuolisella osalla eli ns. strippaus- tai haihdutusosalla kevyet komponentit haihtuvat nestefaasista höyryyn ts. pohjatuote puhdistuu. Syöttökohdan yläpuolisella osalla eli ns. rikastus- tai väkevöimisosalla kevyet komponentit rikastuvat höyryfaasiin. Tarvittaessa kolonnin pohjaosaan jäävää nestefaasia voidaan tislata tulistetulla höyryllä kevyiden komponenttien erottumisen varmistamiseksi. Pohjalle jäänyttä tervamaista nesteestä voidaan edelleen tislata tyhjäkolonnissa (normaalipaine esimerkiksi 140 mbar) kevyempiä fraktioita tulistettua höyryä apuna käyttäen. Sekä tislauksen että tyhjäkolonnissa on huipulla osittaislauhutus, jossa osa höyrystä palautetaan nesteytettynä takaisin huipulle. Lisäksi voidaan käyttää sivukiertopalautuksia, joilla tislauksen kulkua ja tislauksesta saatavien fraktioiden määrää ja laatua säädetään. Tislaukolonni voi olla perinteinen pohjakolonni tai pienemmällä kapasiteeteilla toimittaessa täytekappalekolonni (kolonnin halkaisija < 0,5 m). Edellä kuvattujen monikomponenttistilausten toiminta edellyttää riittävän suurta pyrolyysinesteen virtausmäärää, mutta toisaalta mahdollistaa monipuolisen tuotevalikoiman teollisen tuotannon.

19.6.2018

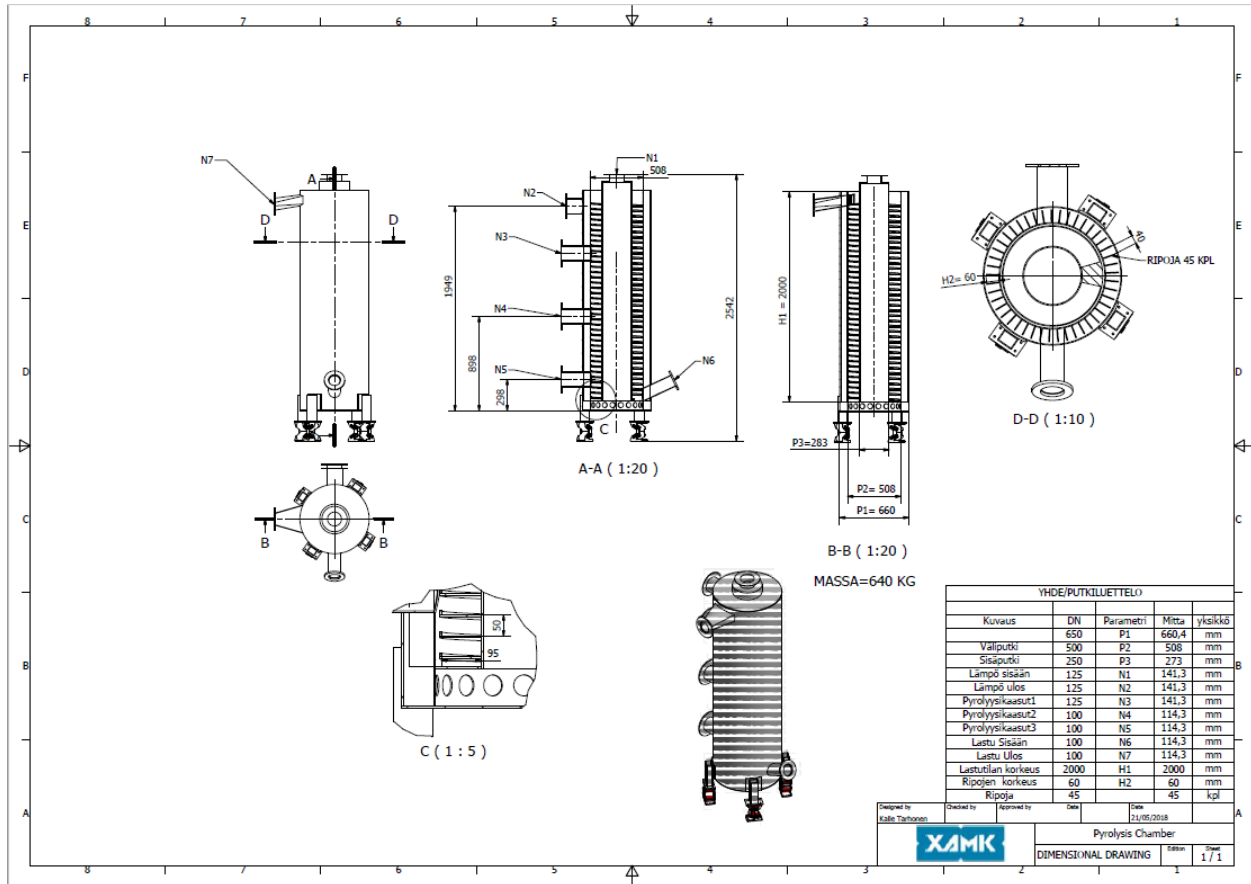
Kun käsitellään pienempiä nestemääriä ja kun pyrolyysinesteestä on tavoitteena erottaa vain kevyempiä fraktioita, voidaan prosessia yksinkertaistaa huomattavasti. Pyrolyysistä tulevasta kaasusta kannattaa poistaa syklooinnilla ja suodattamalla kiintoainepartikkelit. Tämän jälkeen puhdistettu kaasu osittaislauhdutetaan sopivalla olemassa olevalla tekniikalla. Siinä lämpötilaa säädetään sellaiselle tasolle, että vesi, kevyet pienimolekyyliset yhdisteet eivät kondensoidu, ja ne ovat poistettavissa yhdessä kondensoimattoman kaasun kanssa kondensaattorin yläosasta. Sen sijaan kondensoitunut pyrolyysineste otetaan ulos kondensaattorin alaosasta. Kondensautumattomat kaasut, vesi ja kevyet kemialliset yhdisteet voidaan johtaa suoraan polttokattilaan tai virtauksesta erotetaan olemassa olevalla tekniikalla veden ja kevyiden yhdisteiden seos ja pumpataan keveiden yhdisteiden talteenottoyksikköön. Talteenottoyksikössä tislataan talteen alkoholit ja esimerkiksi etikkahappo. Lauhtumattomat kaasut voidaan johtaa joko takaisin pyrolyysiin tai polttokattilaan. Osittaiskondensaattorista saatava pyrolyysiöljy voidaan käyttää polttokattilan energianlähteenä tai jalostaa bioöljyksi. Kun pyrolyysiöljystä on poistettu suuri osa vedestä ja keveistä komponenteista, sen segregoitumistaipumus heikkenee ja öljyn säilyvyys paranee.

3. Vakuumi erotusprosessissa voidaan erottaa etikkahappo alipaineisessa prosessissa, jossa käytetään myös jäädytysmenetelmää. Laitos toimii talvisin taloudellisesti kannattavasti mutta kesäaikana kylmän tuottaminen saattaa heikentää taloudellista kannattavuutta. Prosessi toimii 0,7 bar alipaineessa normaali-ilmanpaineeseen nähden. Pyrolyysinesteet lämmitetään vakuumissa ja erottuneet kaasut johdetaan kylmäyksikköön, jossa ne tiivistyvät kolonnin nestekeräystasoille.

Kaikissa erotusmenetelmissä käytetään haponkestävää terästä Supra 316/4401 tai 316L/4404. Putkistoissa käytetään samaa teräslaatuja. Tislauskolonnin lämmitykseen voidaan hyödyntää joko savukaasuja tai omaa öljypoltinta. Öljypolttimen käyttöä puolustaa tarkempi lämmönsäätö.

19.6.2018

LIITE 1. Hitaan pyrolyysiprosessin tekninen toteutus ja mittakaava.



Circwaste-hanke saa EU:lta rahoitusta, jolla hankkeen materiaalit on tuotettu. Materiaaleissa esitetty sisältö edustaa kuitenkin ainoastaan hankkeen omia näkemyksiä, joista EU:n komissio ei ole vastuussa.