



Tuoreen havupuumassan hyödyntäminen ja prosessin tuotteistus

Riikka Lahti
Toni Varila
Henrik Romar
Ulla Lassi

Oulun Yliopisto
Tammikuussa 2018

Tuoreen havupuumassan hyödyntäminen ja prosessin tuotteistus

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa erottiin uuteaineet havupuumassasta; tuoreesta männyn kuoresta uuttamalla käyttäen ns. ”vihreitä liuottimia” ja kuumavesiuuttoa. Laskettiin saanto uuteaineille ja fenolisille yhdisteille (suurin yksittäinen erottuva ryhmä uuteaineista). Toisessa vaiheessa uuton kuorijäännösmassa hiilestettiin ja aktivoitiin vesihöyryllä aktiivihieksi. Syntynyt aktiivihiehi karaktterisoitiin sekä laskettiin saanto ja verrattiin syntynyttä tuotetta raaka-aineesta hiilestettyyn ja aktivoituun männynkuori aktiivihiehen.

Uutto männyn kuoresta

Uuttomenetelmän avulla tutkittiin uuteaineiden ja fenolisten yhdisteiden (esim. tanniinien) uuttoa männyn kuoresta. Kuorta käytettiin sellaisenaan, kosteana (→kokonainen kuori) tai esikäsiteltynä mm. kuivamalla huoneenlämmössä ja jauhamalla (→jauhettu kuori). Uutto suoritettiin joko sekoittamalla huoneenlämmössä, refluksuimalla kiehuvaan liuottimeen tai Soxhlet-uuttolaitteistolla kuumalla liuottimella. Liuottimena käytettiin ”vihreitä” orgaanisia liuottimia; asetonia, metanolia, etanolia tai vettä sekä natriumkarbonaatti-liuosta. Uuteaineet saatiin erilleen liuotimesta joko pyöröhaihduuttajan tai kylmäkuivaimen avulla, tai haihduuttamalla liuotin vetokaapissa. Uutteen kokonaisfenolipitoisuutta analysoitiin Folin-Ciocalteu -menetelmällä. Uuteaineet sisältävät fenolisten yhdisteiden lisäksi myös muita uutettuja aineita kuten esim. hiilihydraatteja. Uutettu ja kuivattu kuori kerättiin talteen jatkokäsittelyä varten (hiilestysprosessi).

Kokonaisfenolipitoisuuden määrittäminen Folin-Ciocalteu -menetelmällä

Uutteessa oleva kokonaisfenoli pitoisuus määritettiin Folin-Ciocalteu menetelmällä. Menetelmä on epäspesifi, koska reagoi myös muiden pelkistyvien antioksidanttiyhdisteiden kanssa kuten proteiinien, hiilihydraattien, aminohappojen, nukleotidien, tiolien, ei-tydyttyneiden rasvahappojen, vitamiinien, amiinien, aldehydien ja ketonien. Menetelmä on kuitenkin hyödyllinen mm. tutkiessa eri uuttomenetelmien tehokkuutta eli kuinka hyvin eri uutoissa saadaan uutettua fenolisia yhdisteitä (esim. tanniineja). Standardina menetelmässä käytettiin gallushappoa. Gallushappo on tanniinien rakenneosa, fenoliyhdiste, jonka bentseenirenkaaseen on liittynyt kolme OH-ryhmää ja yksi COOH-ryhmä.

Folin-Ciocalteun menetelmässä määritettiin uutteen fenolipitoisuus UV-VIS spektrofotometrillä aallonpituudella 760 nm. Näytteet tehtiin pipetoimalla 0.25 ml laimennettua (1:20) vesiuutetta koeputkeen. Koeputkiin lisättiin 1.25 ml Folin-Ciocalteu –reagenssia (laimennos 1:10) ja 1 ml natriumkarbonaattia (75g/l). Seosta pidettiin 50 °C vesihauteessa 5 minuuttia. Näytteen annettiin jäähtyä noin 10 minuuttia ennen analysointia. Standardina käytettiin gallushappoa, jonka avulla tehtiin standardisuora välille 0.01 mg/ml – 0.1 mg/ml. Näytteen fenolipitoisuus määritettiin kalibraatiokäyrältä (kuva 1).



Kuva 1. Gallushapon standardiliuokset Folin-Ciocalteu menetelmälle.

Kokonaisfenolipitoisuus (TPC) laskettiin kaavalla:

$$TPC = \frac{C \times df \times V}{m}$$

missä,

<i>C</i>	näytteen pitoisuus kalibraatiokäyrältä (mg/ml)
<i>df</i>	laimennoskerroin
<i>V</i>	käytetty tilavuus (ml)
<i>m</i>	kuoren kuivapaino ennen uuttoa (g)

Kokonaisfenolipitoisuudet on esitetty gallushappoekvivalenteina kuivaa kuorta kohden (mg GAE/g kuivaa kuorta).

Kokonainen kuori raaka-aineena

Refluksointimenetelmä

Kokonainen kuori (10g) refluksioitiin kahden tunnin ajan kiehuvaassa liuottimessa (100ml). Raaka-aineena käytettiin kosteaa kuorta tai uunikuivattua (80°C) kokonaista kuorta. Uute ja kuori kerättiin erilleen refluksioinnin jälkeen suodattamalla (Kuva 2) ja liuottimesta analysoitiin kokonaisfenolipitoisuus FC-menetelmällä (Taulukko 2) käyttäen referenssinä gallushappoekvivalenttia (GAE).



Kuva 2. Männyn kuoren uutto refluksointimenetelmän avulla, uutettu kuori sekä suodatetut uuteaineet jatkoanalysointia varten.

Uutettu kuori kuivattiin uunissa ja liuotin haihdutettiin vakuumitislauksella pyöröhaihduttimella (Kuva 3), jolloin saatiin syntyneet kuivatut uuteaineet kerättyä erilleen. Jäljelle jääneen kuoren massa ja uuteaineiden kuivapaino otettiin ylös ja määritettiin saantoprosentit (Taulukko 1).



Kuva 3. Liuottimen haihdutus ja uuteaineiden erotus pyöröhaihduttimella.

Taulukko 1. Saannot; kuori refluksiuuton jälkeen ja saadut kuivatut uuteaineet.

Kokonainen kuori	Kosteus	Reflux	Saanto kuori uuton jälkeen (%)	Saanto kuivatut uuteaineet uuton jälkeen (% /kuori)	Saannot (yht.%)
Etanoli	kostea	2h	82 %	13 %	98 %
Metanoli	kostea	2h	85 %	14 %	99 %
Vesi + 2%NaHSO ₃ + 1%Na ₂ SO ₃	kostea	2h	85 %	15 %	98 %
Vesi	kuivattu 80C	2h	53 %	5 %	58 %
Etanoli	kuivattu 80C	2h	47 %	6 %	53 %

Taulukko 2. Refluksoinnista saatujen uuteaineiden kokonaisfenolipitoisuus.

Kokonainen kuori	Kosteus	Uuttokerrat	Kok.fenolit (mg GAE/g)	Kok.fenolit (% GAE/kuori)
Etanoli	kostea	1x 2h	11,18	1,1 %
Metanoli	kostea	1x 2h	13,53	1,4 %
Vesi + 2%NaHSO ₃ +1%Na ₂ SO ₃	kostea	1x 2h	91,18	9,1 %
Vesi	kuivattu 80C	1x 2h	3,80	0,4 %
Etanoli	kuivattu 80C	1x 2h	3,80	0,4 %

(GAE) = gallushappoekvivalentti

Refluksoinnilla uutetusta kuoresta saatiin erotettua metanolin avulla uuteaineita 14 %. Sulfaattiuuton avulla uuteaineita saatiin erotettua 15 % kuoren kokonaispainosta ja loppuosa noin 85% saatiin talteen kuorena.

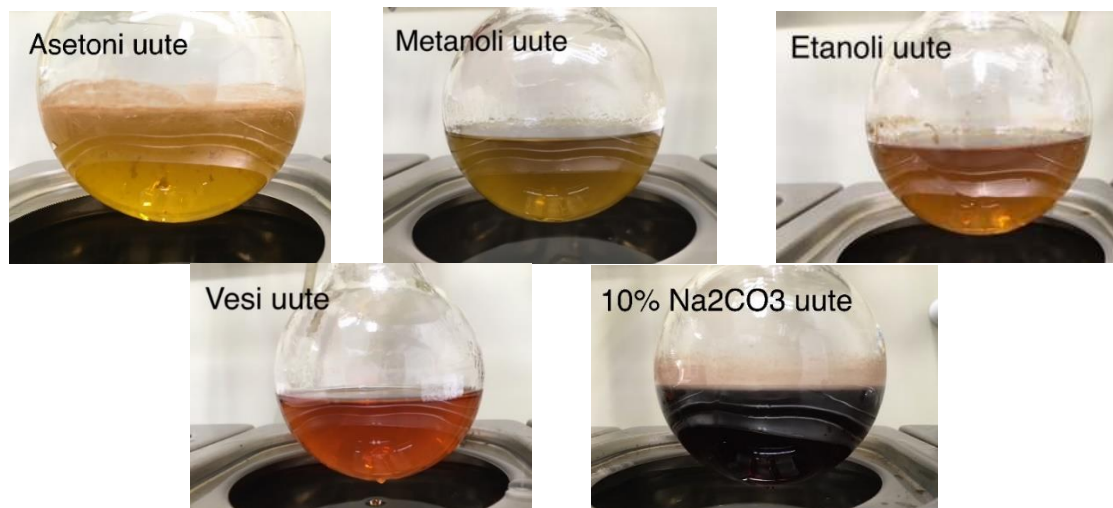
Refluksointiuutolla paras kokonaisfenolipitoisuus saatiin käyttämällä kostea kuorta ja keittokemikaaliseen (2%NaHSO₃ + 1%Na₂SO₃). Kuori-liuotin -suhde uutossa oli noin 1:10. Uutettujen kokonaisfenolien määräksi saatiin 1,4 % metanoliuutolla ja 9,1 % sulfaattiuutolla. Sulfaattiuuton aikana todennäköisesti myös ligniinejä alkaa liueta, mikä voi nostaa fenolipitoisuutta. Kuoren kuivaus uunissa ennen uuttoa mahdollisesti haihduttaa helposti haihtuvat fenoliset yhdisteet, jolloin saanto huonompi.

Soxhletuuttomenetelmä



Kuva 4. Soxhlet uuttolaitteisto. Liuottimena vasemmalta lähtien asetoni, metanoli, etanoli, vesi ja sooda.

Kokonainen kuori kuivattiin huoneenlämmössä. Kuiva kuori (10g) uutettiin soxhletuutolla 1-5 kertaa käyttäen eri liuottimia; asetonia, metanoli, etanolia, vettä ja karbonaattiliuosta (150ml). Uute kerättiin ja analysoitiin kokonaisfenolipitoisuus FC-menetelmällä. Eri liuottimista aiheutuneet värimuutokset näkyvät selvästi kuvassa 5. Uutettu kuori kuivattiin huoneenlämmössä. Orgaaninen liuotin kuivattiin vakuumilla pyöröhaihduuttajalla ja vesiliuotin sekä karbonaattiliuotin kylmäkuivauslaitteistolla ja näin saatiin kuivatut uuteaineet erotettua liuottimesta.



Kuva 5. Värimuutokset eri liuottimia käyttäen. Näytteet uutettu 5x soxhlet-uutolla, liuottimena asetonni, metanoli, etanoli, vesi ja sooda.

Taulukko 3. Soxhletuutto -menetelmän saannot; kuori uuton jälkeen ja kuivatut uuteaineet.

Kokonainen kuori	Soxhlet uuttokerrat	Saanto kuori uuton jälkeen (%)	Saanto kuivatut uuteaineet uuton jälkeen (% /kuori)	Saannot (yht.%)
asetoni	x1	85 %	4 %	89 %
metanoli	--	--	--	--
etanoli	x1	80 %	9 %	89 %
H ₂ O	x1	73 %	6 %	73 %
Na ₂ CO ₃ (10%)	x1	80 %	5 %	85 %
asetoni	x5	76 %	--	--
metanoli	x5	74 %	17 %	90 %
etanoli	x5	75 %	15 %	90 %
H ₂ O	x5	77 %	11 %	87 %
Na ₂ CO ₃ (10%)	x5	78 %	13 %	90 %

Taulukko 4. Soxhletuutolla saadun uuteaineen kokonaisfenolipitoisuus.

Kokonainen kuori	Uuttokerrat	Kok.fenolit (mg GAE/g)	Kok.fenolit (% GAE/kuori)
asetoni	x1	9,00	0,9 %
metanoli	--	---	--
etanoli	x1	13,50	1,4 %
H ₂ O	x1	16,80	1,7 %
Na ₂ CO ₃ (10%)	x1	12,90	1,3 %
asetoni	x5	29,38	2,9 %
metanoli	x5	31,88	3,2 %
etanoli	x5	27,50	2,8 %
H ₂ O	x5	31,88	3,2 %
Na ₂ CO ₃ (10%)	x5	28,75	2,9 %

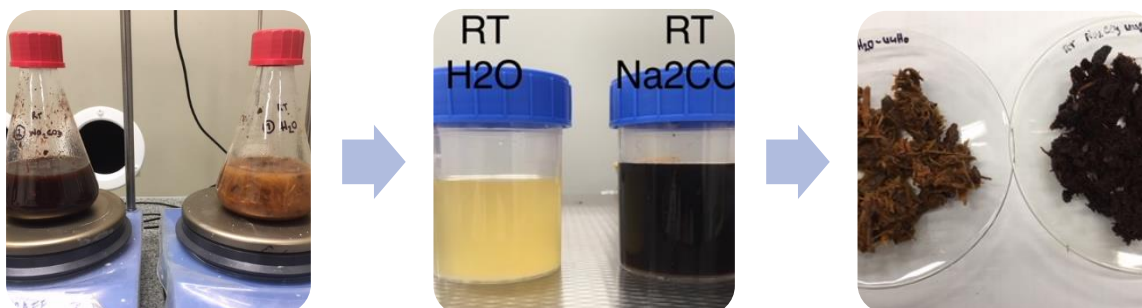
(GAE) = gallushappoekvivalentti

Soxhlet-uutetusta huonekuivasta kokokuoresta saatiin erotettua pidemmällä uuttoaajalla (2h, uutto x5) kuivattuja uuteaineita 17 % metanoliliuottimella (taulukko 3) ja kokonaisfenolien määrä uutetusta kuoresta oli parhaimmillaan 3,2 % metanoliiuutolla (taulukko 4). Kuori-liuotin -suhde uutossa oli 1:15, kun oletettiin että kuori ei sisältänyt kosteutta.

Pidempi uuttoaika nosti uuteaineiden ja kokonaisfenolien saantoa.

Uuttomenetelmä huoneenlämmössä

Huonekuivattu kokonainen kuori (10g) sekoitettiin liuottimen (vesi tai 10% Na₂CO₃-liuos, 150ml) kanssa 24 tunnin ajan magneettisekoittajalla huoneenlämmössä. Kuori suodatettiin erilleen ja liuottimen kokonaisfenolipitoisuus mitattiin FC menetelmällä. Uutettu kuori kuivattiin huoneenlämmössä ja uuteaineet erotettiin liuottimesta kylmäkuivaimella.



Kuva 6. Huoneenlämmössä suoritettu uutto, sekä jatkokäsittelyä varten erilleen kerätyt liuotetut uuteaineet ja uutettu kuori.

Taulukko 5. Huoneenlämpöuuton saannot; kuori uuton jälkeen ja kuivatut uuteaineet.

Kokonainen kuori	uuttokerrat	Saanto kuori uuton jälkeen (%)	Saanto kuivatut uuteaineet uuton jälkeen (% /kuori)	Saannot (yht.%)
H ₂ O	1x24h	56 %	2,9 %	59 %
Na ₂ CO ₃ (10%)	1x24h	67 %	12,1 %	79 %

Taulukko 6. Huoneenlämpöuuton uuteaineen kokonaisfenolipitoisuus.

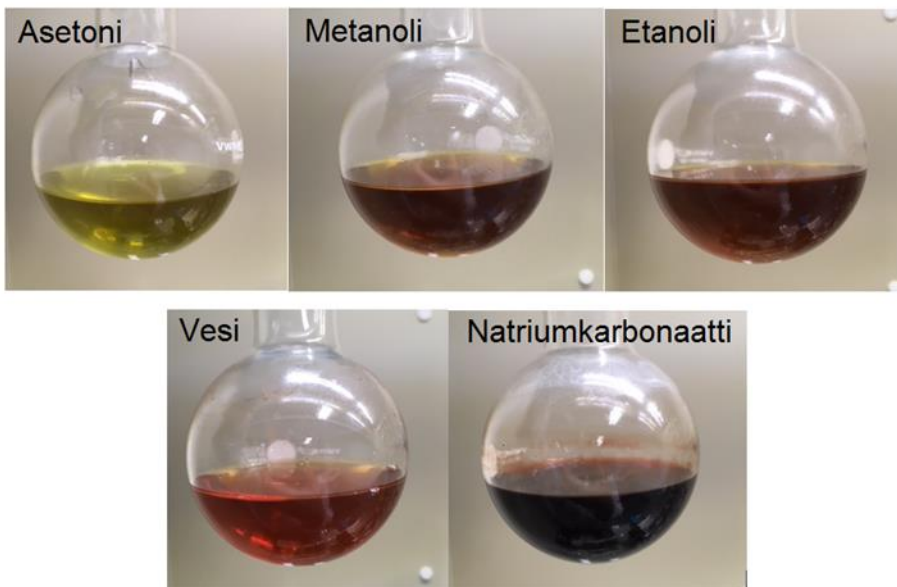
Kokonainen kuori	Uuttokerrat	Kok.fenolit (mg GAE/g)	Kok.fenolit (% GAE/kuori)	pH
H ₂ O	1x 24h	13,20	1 %	~4
Na ₂ CO ₃ (10%)	1x 24h	11,40	1 %	~11

(GAE) = gallushappoekvivalentti

Huoneenlämmössä suoritettussa uutossa uutteen saanto oli parempi Na₂CO₃-liuoksella kuin vedellä, mutta kokonaisfenolipitoisuudessa ei havaittu suurta eroa uuttoliuottimien välillä ja kokonaisfenolipitoisuus oli alhaisempi kuin kuumauutossa (reflux, soxhlet). Kuori-liuotin -suhde uutossa oli 1:15, kun oletettiin että kuori ei sisältänyt kosteutta.

Jauhettu kuori raaka-aineena

Kuori kuivattiin huoneenlämmössä ja jauhettiin hienoksi <1mm partikkeliksi, jonka jälkeen jauhetulle kuorelle (10g) suoritettiin uutto soxhlet-laitteistolla käyttäen eri liuottimia: asetonia, metanoli, etanolia, vettä ja karbonaattiliuosta (150ml). Liuottimesta otettiin näyte, kun liuotin oli uutettu yhden kerran kuoren läpi (x1) ja jatkettiin uuttoa vielä x5, jolloin kuoresta ei enää irronnut väriä ja kokonaisuutto ajaksi tuli noin kaksi tuntia. Uute kerättiin ja analysoitiin kokonaisfenolipitoisuus FC-menetelmällä käyttäen. Uutettu kuori sekä liuotin kuivattiin huoneenlämmössä vetokaapissa. Myös uutetussa kuoressa havaittiin värimuutokset uuton jälkeen (kuva 8).



Kuva 7. Värimuutokset uuttoliuottimissa (jauhettu kuori, uutto x5). Liuottimena asetoni, metanoli, etanoli, vesi ja 10% Na_2CO_3 -liuos.



Kuva 8. Uutettu ja kuivattu kuorijauhe (alkuperäinen kuori, asetoni, metanoli, etanoli, vesi, sooda).

Taulukko 7. Soxhletuuton saannot; huonekuivattu, jauhettu kuori uuton jälkeen ja kuivatut uuteaineet.

Kuori jauhettu, huonekuivattu	Soxhlet uuttokerrat	Saanto kuori* (%)	Saanto kuivatut uuteaineet* uuton jälkeen (% /kuori)	Kokoinaissaanto uuton jälkeen (%)
asetoni	x5	88 %	4,9 %	93 %
metanoli	x5	78 %	14,6 %	93 %
etanoli	x5	79 %	17,7 %	97 %
H ₂ O	x5	89 %	6,3 %	96 %
Na ₂ CO ₃ (10%)	x5	96 %	5,6 %	100 %

*Kuivaus huoneenlämmössä vetokaapissa

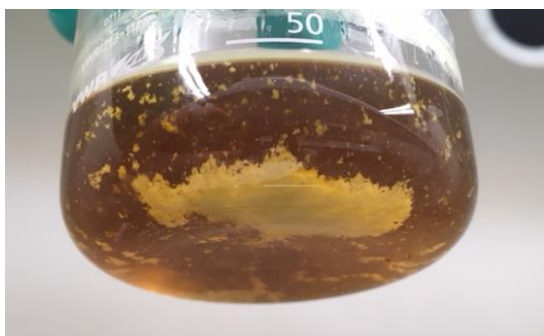
Taulukko 8. Soxhletuutto huonekuivatulle ja jauhetulle kuorelle sekä saatujen uuteaineen kokonaisfenolipitoisuus eri liuottimilla (asetoni, metanoli, etanoli, vesi, natriumkarbonaatti).

Kuori jauhettu, huonekuivattu	Uuttokerrat	Kok.fenolit (mg GAE/ g)	Kok.fenolit (% GAE/kuori)	pH
asetoni	x1	6,30	0,6 %	
metanoli	x1	9,90	1,0 %	
etanoli	x1	13,20	1,3 %	
H ₂ O	x1	6,00	0,6 %	
Na ₂ CO ₃ (10%)	x1	2,70	0,3 %	
asetoni	x5	13,50	1,4 %	4,22
metanoli	x5	36,30	3,6 %	5,15
etanoli	x5	36,60	3,7 %	4,71
H ₂ O	x5	19,50	2,0 %	4,31
Na ₂ CO ₃ (10%)	x5	9,30	0,9 %	10,39

(GAE) = gallushappoekvivalentti

Huonekuivatusta ja jauhetusta kuoresta saatiin 2 tunnin uutolla Soxhlet-laitteistolla parhaimmillaan erotettua kuivattuja uuteaineita 15-18 % metanoli- ja etanoliliuottimella (taulukko 7) ja kokonaisfenolien määrä uutetusta kuoresta oli parhaimmillaan 3,6 % metanoliiuutolla ja 3,7 % etanoliiuutolla (taulukko 8). Kuori-liuotin -suhde uutossa oli 1:15 (10g/150ml), kun oletettiin että kuori ei sisältänyt kosteutta.

Uuton jälkeen havaittiin sakan muodostuminen orgaanisissa liuottimissa; asetoni, etanoli, metanoli. Kuvassa 9 sakan muodostuminen metanoliliuottimessa uuton jälkeen. Metanolissa sekä etanolissa muodostui eniten sakkaa, kun taas vesiliuottimissa ei sakan muodostumista havaittu. Syntynyt sakka on mahdollisesti hiilihydraattiseosta, joka voitaisiin saada erotettua uuteaineista suodattamalla. Uuteaineiden puhdistusprosessi vaatii kuitenkin vielä lisätutkimusta.



Kuva 9. Muodostunut sakka metanoliiuutteessa.

On mahdollista, että orgaanisetliuottimet liottavat myös rasvoja näytteestä, jolloin liuotin ei kuivanut kokonaan, vaan jäännössakka (joka sisältää fenolit) oli viskoosi/ tahnamainen. Myös muut epäpuhtaudet sakassa kuten hiilihydraatit voivat lisätä viskoottisuutta. Vesiliuoksessa/soodaliuoksessa ei havaittu viskoottisuutta.



Kuva 10. Metanoli vs. vesiutteen jäännössakka. Metanoli viskoosi tahna vs. vesi jauhemainen kiinteä sakka.

Sokerianalyysi

Uutteesta (huonekuivattu ja jauhettu kuori) mitattiin myös pelkistävien sokerien (total reducing sugars) määrää DNS-reagenssin avulla käyttäen glukoosia standardina.

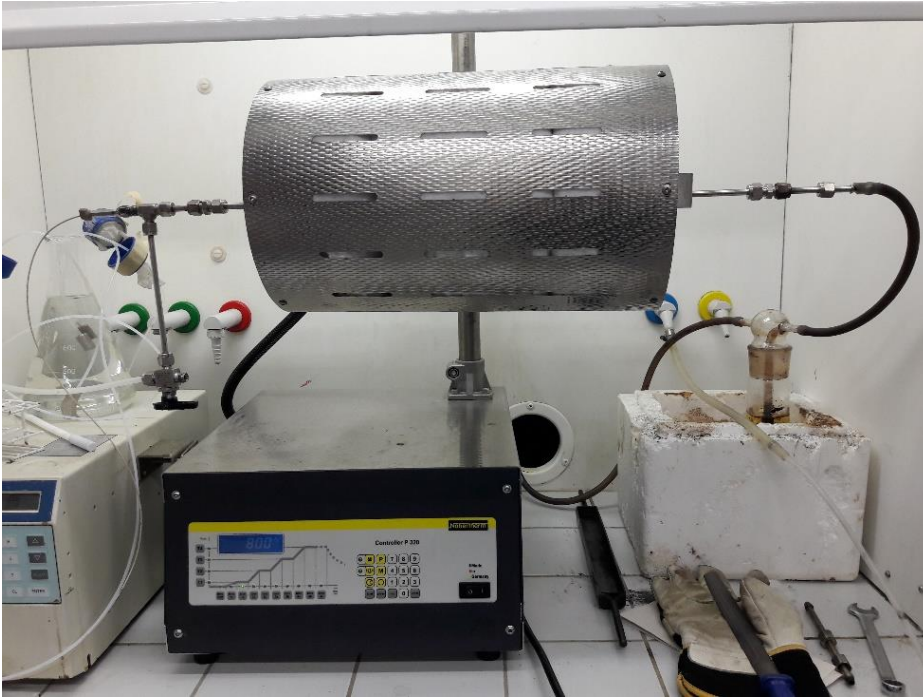
Taulukko 9. Pelkistävien sokereiden määrä uutteessa (jauhettu kuori, soxhletuutto).

Kuori jauhettu	Uutto x	TRS (mg/g)	Sokerit (% /kuori)
asetoni	x5	37,2	3,7 %
metanoli	x5	107,7	10,8 %
etanoli	x5	107,7	10,8 %
H ₂ O	x5	45,6	4,6 %
Na ₂ CO ₃ (10%)	x5	26,7	2,7 %

Metanoli ja etanoliliuotin nostivat myös liuenneiden sokereiden määrää.

Kuoren hiilestys ja aktivointi

Hiilestys ja aktivointi suoritettiin Nabethermin putkiuunilla (Kuva 11). Lämpötila nostettiin huoneenlämmöstä 800 °C:seen 10°C/min rampilla. Kun, haluttu lämpötila oli saavutettu, aloitettiin aktivointi vesihöyryllä. Aktivointia jatkettiin 2h ajan, jonka jälkeen reaktorin annettiin jäähtyä huoneenlämpöön ennen kuorien pois ottoa.



Kuva 11. Hiilestyslaitteisto. Kuoren hiilestys 800 asteessa ja aktivointi vesihöyryllä.

Taulukkoon 10 on laskettu aktiivihiilen saantoprosentti raakakuoresta, jauhetusta raakakuoresta, vesiutetusta kuoresta ja jauhetusta vesiutetusta kuoresta.

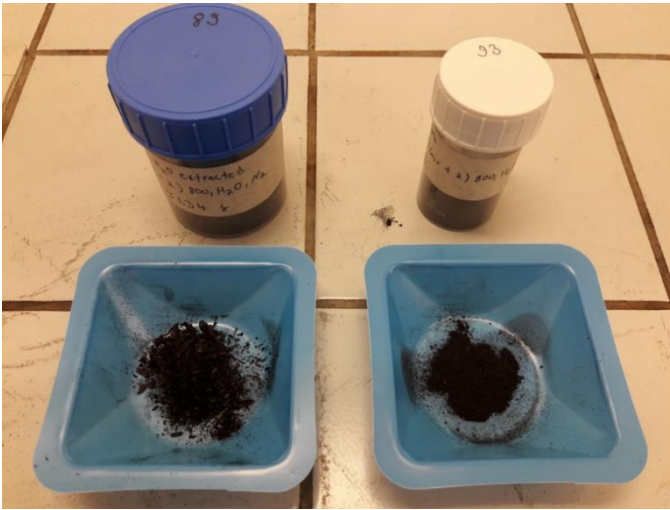
Taulukko 10. Aktiivihiilen saantoprosentti.

Näyte	Kuoren paino ennen hiilestystä (g)	Kuoren paino hiilestysen jälkeen (g)	Saantoprosentti (%)
Raaka kuori	8,86	0,71	8
Vesi uutettu kuori	9,6	1,34	14
Raaka jauhettu kuori	20	4,04	20,2*
Vesi uutettu jauhettu kuori	10	1,67	16,7*

*Hiilestetty isommassa reaktorissa.

Saanto oli parempi vesiutetulla kuorella kuin raakakuorella. Tämä johtuu siitä, että vesiutetusta kuoresta on otettu talteen veteen liukenevat yhdisteet, jolloin ne eivät haihdu hiilestysen aikana. Tällöin saanto on parempi. Kuvassa 12 on havainnollistettu miltä aktiivihiili, tuotettu puunkuoresta, näyttää. Jauhetuilla näytteillä tilanne oli päinvastoin. Vaikka käytetyt olosuhteet olivat samat, käytettyä reaktoria lukuun

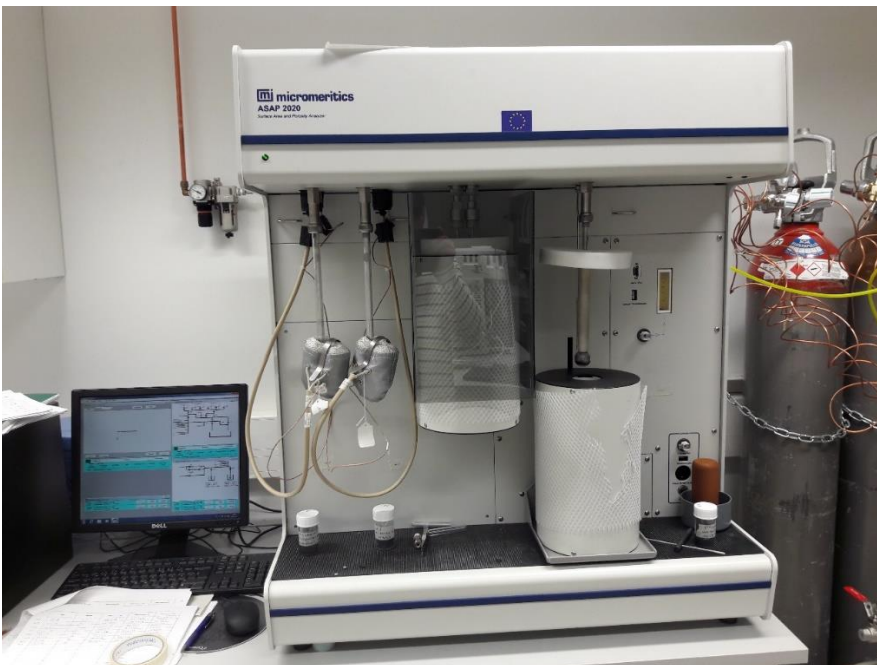
ottamatta, kuin ei jauhetuilla näytteillä, suurempi saantoprosentti saatiin raa'alle jauhetulle kuorelle. Osa syy tähän voi olla, että vesihöyry ei ole niin hyvin kontaktissa näytteen kanssa, kuin pienemmässä reaktorissa, jolloin puun kuorta ei pala niin paljon pois.



Kuva 12. Raa'asta puunkuoresta ja vesiutetusta puunkuoresta valmistetut aktiivihiilet. (Vasemmalla vesiutettu, oikealla raaka kuori)

Kuori näytteiden pinta-alat, huokostilavuudet ja huokosjakaumat

Aktiivihiili näytteiden pinta-alat, huokostilavuudet ja huokosjakaumat parametrit mitattiin micromeriticsin ASAP 2020 laitteella (Kuva 13)



Kuva 13. Pinta-alan mittauslaitteisto

Alla olevassa Taulukossa 11 on esitelty kuorinäytteille saadut pinta-alat ja huokostilavuudet BET -mallin mukaan, sekä kokonaishuokostilavuus ja huokosjakaumat on laskettu DFT-mallia (Density functional theory) käyttäen. Vedellä uutetun kuoren pinta-ala ja huokostilavuus olivat paremmat kuin raakakuoren vastaavat arvot.

Taulukko 11. Raakakuoren ja vesiutetun kuoren pinta-alat, huokostilavuudet ja huokosjakaumat.

Näyte	Pinta-ala, huokoskoko - ja tilavuus BET-mallin mukaan			Kokonaishuokosjakauma DFT-mallin mukaan				Huokosjakauman %-osuudet DFT-mallissa		
	BET (m ² /g)	PV (cm ³ /g)	PS (nm)	TPV (cm ³ /g)	Micro (cm ³ /g)	Meso (cm ³ /g)	Macro (cm ³ /g)	Micro (%)	Meso (%)	Macro (%)
Raakakuori	550	0,370	4,88	0,280	0,162	0,118	0	58	42	0
Vesiutettu kuori	800	0,611	5,24	0,476	0,238	0,238	0	50	50	0
Jauhettu raakakuori	609	0,362	3,52	0,276	0,185	0,091	0	67	33	0
Vesiutettu jauhettu kuori	693	0,483	4,55	0,369	0,195	0,173	0	53	47	0

Micro < 2nm, Meso 2 - 50nm, Macro > 50nm, TPV = Total pore volume, PV = Pore volume, PS = Pore size, BET = Pinta-ala (Brunauer–Emmett–Teller mallin mukaan).

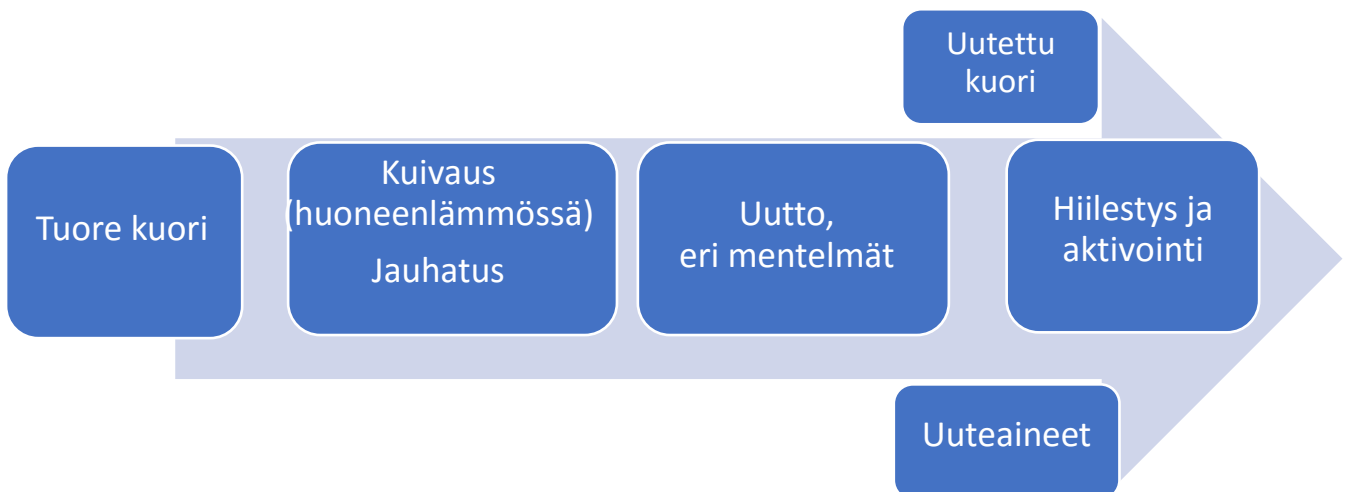
Johtopäätökset

Uutto

- Tulosten mukaan uutto etanolilla antaa parhaan saannon. Uuteaineiden saanto oli parhaimmillaan n. 18%, josta n. 3-4% fenolisia uuteaineita.
- Huoneenlämmössä kuivattu kuori on helpompi jauhaa
 - Pienemmät partikkelit parantavat uuteaineiden saantoa
 - Riski, että kuivauksen aikana menetetään helposti haihtuvat yhdisteet
- Uutteessa mukana myös muita yhdisteitä (mm. hiilihydraatteja) fenolistenyhdisteiden lisäksi, joiden karakterisointia ja erottamista ei vielä tässä vaiheessa ole tutkittu. Tuotteen puhdistusprosessi todennäköisesti haastavampi kuin uuttoprosessi.
- Kuivauslämpötila ja -olosuhteet vaikuttavat lopputuotteeseen
Liian korkea kuivauslämpötila (60-100C) aiheuttaa polymerisoitumista ja/tai tanniinien hapetusta

Hiilestys ja aktivointi kokeet

- Hiilestys ja aktivointi tuottaa aktiivihiltä joka ominaisuuksiltaan (ominaispinta-ala ja huokoisuus)
- Uutto ennen hiilestystä parantaa aktiivihiihen ominaisuuksia kuten ominaispinta-alaa, huokostilavuutta jne.
- Reaktorin kokoonpano vaikuttaa saantoprosentteihin ja hiihten ominaisuuksiin
- Pyörivä (tai sekoittava) reaktori antaa paremmat tulokset, kuin pelkkä putkireaktori
- Kuoresta saadun aktiivihiihen ominaispinnat-alat ovat verrattavissa kokopuusta hiilestettyyn aktiivihiihen



Taulukko 1 Massataseet: etanoliuutto ja kiinteän faasin uutto sekä suora hiilestys ilman uuttoa. Massan kosteutta ei ole otettu huomioon. Uuteaineista noin 3-4 % on fenolisia yhdisteitä.

Kuori kg	Uuteaineet kg (etanoliuutto)	Hiilestykseen kg	Aktiivihiihtä kg	
			Saanto 10%	Saanto 8%
1000	180	820	82	66
1000		1000	100	80

Taulukko 2 Massataseet: etanoliuutto ja kiinteän faasin uutto sekä suora hiilestys ilman uuttoa, oletettu kosteus 30%. Uuteaineista noin 3-4 % on fenolisia yhdisteitä.

Kuori kg	Kosteus 30 % Kuiva massa kg	Uuteaineet kg (etanoliuutto)	Hiilestykseen kg	Aktiivihiihtä kg	
				Saanto 10%	Saanto 8%
1000	700	130	570	57	46
1000	700		700	70	56

Taulukko 3 Tärkeimmät ajoparametrit hiilestyksessä. Osa parametreista on sidoksissa käytettyyn massaan ja reaktorityyppiin.

Lämpötilaramppi °C/min	RT-800 °C	7-10
Aktivointilämpötila °C		800
Pito-aika	800 tunti	1-4
Suojakaasu		Typpi
Suojakaasun syöttö		Optimoidaan reaktorin mukaan
Aktivointikaasu		Vesihöyry
Aktivointi kaasun lämpötila °C		140-150
Aktivointikaasun syöttö	kg/tunti	Optimoidaan reaktorin mukaan

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.