

Korsibiomassojen laatu bioetanolin raaka-aineena

Katri Pahkala ja Markku Kontturi

MTT Kasvintuotannon tutkimus, E-talo, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

Tiivistelmä

Nykyisin Suomessa viljeltyä ruokohelpeä käytetään teollisesti lähinnä sähkön ja lämmön tuottamiseksi. Tällöin biomassan korjuu ajoitetaan huhti-toukokuulle. Ohra pyritään puimaan rehu- ja elintarvikelaadun kannalta parhaaseen ajankohtaan eli Suomessa elokuun keskivaiheilla. Koska lignoselluloosapohjaisen bioetanolivalmistuksen kannalta nämä korjuuajankohdat eivät välttämättä ole kaikkein optimaalisimmat, tutkimme AGROETA-projektissa sadonkorjuuajankohdan merkitystä raaka-aineen koostumukselle. Bioetanolituoton kannalta maksimoinnin kohteita olivat hiilihydraattien (tärkeimpänä selluloosa) massasaanto per hehtaari, ligniinipitoisuuden ja piipitoisuuden minimointi sekä yleinen tekninen soveltuvuus bioetanoliprosessiin.

Ruokohelven suurin kuiva-ainesato (11 t/ha) saatiin noin kuukausi siemenen kypsymisen jälkeen. Selluloosan suhteellinen osuus sadossa lisääntyi kevääseen saakka. Lokakuun näytteenotosta (kehitysvaihe 7, pitoisuus 44,9 %) lähtien muutokset selluloosapitoisuudessa eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Myös hemiselluloosa- ja ligniinipitoisuudet olivat suurempia myöhäissyksyllä ja kevät-sadossa kuin aikaisemmissa näytteenotoissa. Vuonna 2003 kylvetyssä kokeessa kevät-sadon hemiselluloosapitoisuus vaihteli välillä 25,1 - 28,3 %_{ka} ja vuonna 1990 kylvetyssä kokeessa välillä 29,5 - 31,9 %_{ka}. Tämän vuoksi biomassasadon pieneneminen syksyn ja talven aikana vaikutti vain vähän kuitukomponenttien hehtaarisintaan. Ruokohelven kevät-sato oli ensimmäisenä korjuuvuonna pienempi kuin syyskesällä korjattu sato, mutta sen kuiva-ainepitoisuus oli korkea.

Ohran kasvua ja oljen laadun kehitystä seurattiin vuosina 2005 ja 2006 ottamalla näytteitä tähkälle tuloon ja korjuun välillä kuusi kertaa. Kasvuston biomassassa kasvoi aina elokuun alkuun asti. Se oli tällöin $8,1 \pm 0,3$ t_{ka}/ha vuonna 2005 ja $10,7 \pm 0,6$ t_{ka}/ha vuonna 2006. Tähkinnän ja tuleentumisen välillä biomassassa kaksinkertaistui. Kasvu johtui tähkänpainon kasvusta. Vastaavasti olkisato hieman pieneni, kun korteen ennen tähkintää tilapäisesti varastoituneet yhteyttämistuotteet siirtyivät jyviin. Tähkän (jyvät+vihneet+tähkän lapakko) osuus kokonaissadoista oli 64 % vuonna 2005 ja 69 % vuonna 2006. Ennen laatuanalyysijä tähkä ja olki erotettiin toisistaan. Oljesta oli selluloosaa, hemiselluloosaa ja ligniiniä noin 48, 25 ja 7 % vuonna 2005 ja vuonna 2006 vastaavasti noin 44, 25 ja 8 %. Kahden viimeisen näytteenoton välillä kasvuston hehtaarisato pieneni noin 10 %. Tämä johtuu lähinnä kasvuston hengityksestä ja lehtien varisemisesta. Vuonna 2006 oljen kosteus oli keltatuleentuneena 37 % ja leikkuupuitaessa 21 %.

Tässä tutkimuksessa bioetanolin valmistukseen päädyttiin käyttämään siemenvaiheessa ja keväällä korjattua ruokohelpimateriaalia, jotka molemmat olivat prosessoitaessa lähes samanarvoisia. Ohran oljen osalta päädyttiin yhteen korjuu-aikaan, joka tapahtuisi normaalin leikkuupuinnin yhteydessä. Tällöin olkea voi ympäristön kannalta käsitellä sivuvirtana.

Avainsanat

ohra, ruokohelppi, biomassassa, sato, olkisato, kuitu, sokeri, bioetanoli

Johdanto

Tieliikenteessä käytettäviä biopolttoaineita ovat bensiiniin lisättävä etanoli ja dieseliin lisättävä biodiesel. Biomassoista tuotettua etanolia nimitetään tässä yhteydessä bioetanoliksi. Bioetanolin valmistus ruokosokerista ja viljan jyvien tärkkelyksestä on yleisin tuotantomenetelmä. Prosessi on kuitenkin kallis ja vaatii paljon energiaa. Lisäksi se ei ole optimaalinen kasvihuonekaasutaseiden osalta (Mäkinen et al., 2006). Sakkaroosin ja tärkkelyksen lisäksi bioetanolia voidaan tuottaa selluloosapitoisista raaka-aineista kuten korsibiomassoista ja puusta. Tällöin on kysymys nk. toisen sukupolven bioetanolista. Kaupallisia selluloosapitoisia raaka-aineita käyttäviä bioetanolilaitoksia on rakenteilla Yhdysvalloissa (von Weymarn, 2007). Ruotsissa puuraaka-aineeseen perustuva sellutehtaan yhteyteen rakennettu Domsjö Fabriker -laitos on aloittanut jo toimintansa Örnködsvikissä.

MTT:n ja VTT:n AGROETA-tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida, miten maatalouden korsibiomassoihin pohjautuva bioetanolin tuotantomalli soveltuisi Suomeen (von Weymarn, 2007). Tutkimuskohteina olivat ruokohelpi ja ohran olki. Suomessa ruokohelpeä käytetään teollisesti lähinnä sähkön ja lämmön tuottamiseksi. Tällöin biomassa korjataan huhti/toukokuulla. Ohra pyritään puimaan rehu- ja elintarvikelaadun kannalta parhaaseen ajankohtaan. Suomessa ohran puinti ajoittuu näin ollen normaalisti elokuun keskivaiheille. Lignoselluloosapohjaisen bioetanolin valmistuksen kannalta nämä korjuuajankohdat eivät välttämättä ole kaikkein optimaalisimmat. MTT:n tehtävänä oli tutkia sadonkorjuuajankohdan merkitystä raaka-aineen koostumukseen. Bioetanolituotannon kannalta maksimoinnin kohteita olivat hiilihydraattien (tärkeimpänä selluloosa) massaosa per hehtaari, ligniinipitoisuuden ja piipitoisuuden minimointi sekä yleinen tekninen soveltuvuus bioetanoliprosessiin.

Aineisto ja menetelmät

Ruokohelpi

Ruokohelpututkimukset sijaitsivat Jokioisten kartanoiden pelloilla vuosina 2005-2006. Viimeinen ruokohelphinäyte otettiin keväällä 2007. Kasvustomittaukset (biomassa, korsien ja lehtien määrä) tehtiin MTT:n Kasvintuotannon tutkimuksessa.

Tutkimuksessa käytettiin kahta eri-ikäistä ruokohelpiviljelystä, joista vanhempi oli kylvetty vuonna 1990 (koe 702) ja nuorempi vuonna 2003 (koe 703). Koealueet jaettiin neljään kerranteeseen. Koejäsenten paikat arvottiin kerranteen sisällä eri näytteenottokertoja varten. Kokeessa 702 näytteenottokertoja oli ainoastaan kolme, sillä käytettävissä oleva ala oli pienempi. Tutkimuksessa käytetyn ruokohelvimateriaalin kehitysvaihe eri näytteenottokertoina oli seuraava (näytteenottopäivämäärät on esitetty taulukossa 1):

Koe 702

1. Siemenen kypsyttyä
2. Siemenen kypsymisestä n.3 kk
3. Seuraavana keväänä kuloheinänä

Koe 703

1. 20 % kasveista röyhy näkyvissä, kesäkuu
2. Kukinnan alussa
3. Kukinnan lopussa
4. Siemenen kypsyttyä
5. Siemenen kypsymisestä n. 1 kk
6. Siemenen kypsymisestä n. 2 kk
7. Siemenen kypsymisestä n. 3 kk
8. Kasvusto kellastunut
9. Seuraavana keväänä kuloheinänä

Näytteet otettiin jokaisesta ruudusta leikkaamalla kasvusto 1 m²:n alalta edellä mainituissa kehitysvaiheissa. Osa näytteestä käytettiin kuiva-aineen määrittämiseen. Lehtien ja varsien osuus biomassasta määritettiin 0,25 m² alalta korjatuista kasveista. Loput kasveista kuivattiin alle +40 °C:ssa kemiallisia analyysejä varten.

Vuonna 2005 analysoitiin kaikista näytteistä biomassan määrä, kasvinosien osuudet (lehdet ja korsi mukaan lukien lehtitupet ja kukinnot), kuituosa (selluloosa, hemiselluloosa, ligniini), liukoiset sokerit (glukoosi, fruktoosi, sakkaroosi, fruktaani, kokonaissokeri). Lisäksi kokeen 702 kevätnäytteistä ja kokeen 703 näytteistä 4, 8 ja 9 mitattiin tuhkapitoisuus ja kivennäisaineita. Vuonna 2006 kaikista näytteistä

määritettiin biomassan määrä ja kasvinosien osuudet. Lisäksi kokeen 703 näytteistä 4-9 määritettiin kuidut ja liukoiset sokerit. Eri kehitysvaiheissa korjatusta materiaalista tehtiin myös tuhka- ja kivennäismääriä.

Ohran olki

Ohranäytteet otettiin vuosina 2005 ja 2006 Jokioisten kartanoiden ohraviljelyksistä, joissa lajikkeena oli Artturi-rehuohra. Näyteala (40 m x 50 m) jaettiin viiteen kerranteeseen ja kukin lohko vielä kuuteen ruutuun (kuusi näytteenottokertaa ohran eri kasvuvaiheissa). Lohkon sisällä ruudut arvottiin eri näytteenottokertoja varten. Kussakin ohran kasvuvaiheessa lohkoilta (5) leikattiin maan pintaa myöten ohrasta yhden neliön näytealalta kaksi näytettä, kukin kooltaan 0,5 m x 1 m. Kummankin näytteen tuorepaino punnittiin. Toinen näyte silputtiin ja siitä määritettiin kuiva-ainepitoisuus. Toinen näyte kuivattiin alle + 40 °C lämpötilassa tasokuivurissa kokonaisuutena, varastoitettiin paperisäkissä, ja siitä määritettiin ohran satokomponentit (olki, lehdet, tähkä/jyvät) ja kemiallinen koostumus. Ohran kasvua ja oljen laadun kehitystä seurattiin eri kehitysvaiheissa (tarkat näytteenottopäivämäärät taulukossa 2):

1. Kesäkuun loppu (noin 20 % ohrista tähkällä)
2. Heinäkuun alku (ohra täydellä tähkällä)
3. Keskikesä
4. Heinäkuun loppupuolisko (ohra maito-/taikinatuoleentunut)
5. Elokuun alku (ohra keltatuoleentunut)
6. Elokuun keskivaihe (kasvusto leikkuupuintivalmis)

Ennen laatuanalyysijä tähkä ja olki erotettiin mahdollisuuksien mukaan toisistaan. Ensimmäisessä näytteenotossa tähkä oli osassa näytettä vielä piilossa lehtitupen sisässä. Vaikka keskikesä 2006 oli kuiva, se ei näkynyt sadossa, koska ohran kasvupaikka oli hihevä eikä ohra kärsinyt vedenpuutteesta.

Kemialliset määritykset

Kemiallisia määrityksiä varten kasvinäytteet kuivattiin alle + 40 °C lämpötilassa ja jauhettiin, seulakoko <1 mm. Kuitumääritykset tehtiin Tecator Fibertec System M -laitteistolla soveltaen van Soestin rehuanalyysissä käytettyä detergenttikuitumenetelmää (AOAC 1990, Forage Analyses Procedures, 1993). Kasviraaka-aineesta määritettiin NDF (neutraali detergenttikuitu, solunseinämäaineksen kokonaismäärä), ADF (happodetergenttikuitu), joka sisältää selluloosan ja ligniinin sekä ADL (happodetergenttiligniini), joka jää jäljelle rikkihappouton jälkeen. Materiaalin liukoiset sokerit määritettiin HPLC:llä (NMKL, 1993). Tuhka määritettiin gravimetrisesti ja pii käyttäen IPC:tä. Kemialliset määritykset tehtiin MTT:n Kemian laboratoriossa.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Ruokohelpi

Ruokohelpikasvusto on heterogeenisempää kuin esimerkiksi ohrakasvusto, sillä siinä on samaan aikaan eri-ikäisiä versoja. Uusia versoja syntyy lähinnä kevätkesällä ja syksyllä. Kevätversoista noin kolmannes tekee kukinnon (röyhyn), joka ylittää 1,75–2 m:n korkeuteen. Osa versoista jää kasvullisiksi, korkeintaan noin metrin mittaisiksi. Tämän vuoksi myös korjattavan biomassan laatu vaihtelee enemmän kuin esimerkiksi oljella.

Taulukossa 1 on esitetty ruokohelven biomassan ja laatuosien hehtaarisatojen kehittyminen vuosina 2005-2007. Vuonna 2005 ruokohelven suurin biomassasato ($11 \pm 0,4 t_{ka}/ha$) saatiin ruokohelven siemenen kypsyttyä (Taulukko 1, kehitysvaihe 4). Koska seuraavassa näytteenotossa 16.11. sadon määrä oli vain $7,5 t_{ka}/ha$, päätettiin vuonna 2006 tutkia tarkemmin ruokohelven myöhäisiä syyssatoja. Seuraavana vuonna suurin sato ($11 \pm 0,5 t_{ka}/ha$) saatiinkin noin kuukausi siemenen kypsymisestä, minkä jälkeen sadot selvästi pienenevät. Ensimmäisen korjuuvuoden jälkeen vuosittain korjattavat kevätasadot yleensä suurenevät kasvuston vanhetessa. Lisäksi kasvusto säilyy kauemmin tuottokunnossa keväällä korjattaessa (Pahkala et al., 2005). Tässä tutkimuksessa koe järjestettiin molempina vuosina eri pakoissa, joten sadon em. kehitystä ei ollut mahdollista todeta.

Tutkimuksessa oli tärkeää tietää, paljonko eri aineita saataisiin hehtaarilta. Tämän vuoksi myös kasvien koostumus on ilmoitettu hehtaarisatoina, jotka laskettiin pitoisuuden ja biomassasadon avulla (Taulukko 1). Vuonna 2006 selluloosan suhteellinen osuus sadossa lisääntyi kevääseen saakka, jolloin pitoisuus oli $47,7 \pm 1,1 \%$ kuiva-aineesta (kehitysvaihe 9). Lokakuun näytteenotosta (kehitysvaihe 7,

pitoisuus 44,9 %) lähtien muutokset selluloosapitoisuudessa eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Hemiselluloosa- ja ligniini-pitoisuudet olivat suurempia myöhäissyksyllä ja kevätsadossa kuin aikaisemmissa näytteenotoissa. Kokeessa 703 kevätsadon hemiselluloosapitoisuus vaihteli välillä 25,1 - 28,3 %_{ka} ja kokeessa 702 välillä 29,5 - 31,9 %_{ka}. Biomassasadon pieneneminen syksyn ja talven aikana vaikutti vain vähän kuitukomponenttien hehtaarisäntöön.

Taulukko 1. Ruokohelven kuiva-ainesato sekä selluloosan, hemiselluloosan, ligniinin, tuhkan, sokerien (glukoosi, fruktoosi ja sakkaroosi) ja piin määrä (kg_{ka}/ha) eri kehitysvaiheissa vuosina 2005/2006 ja 2006/2007.

Kehitys- vaihe	Korjuu- päivä	Bio- massa kg/ha ^{a)}	Sellu- loosa	Hemi- sellu- loosa	Lignii- ni	Tuhka	Glu- koosi	Fruk- toosi	Sakka- roosi	Pii
Koe 703 2005/2006										
1	22.6.05	5762a	2079	1415	243		128	134	43	
2	5.7.05	7627a	3091	1861	486		133	147	68	
3	14.7.05	9894b	4054	2404	777		218	250	100	
4	3.8.05	11083b	4433	2546	934	778	214	280	256	
7	16.11.05	7550a	3269	2084	716	590	60	69	0	
9	2.5.06	7510a	3263	1885	699	864	26	10	0	276
Koe 703 2006/2007										
1	22.6.06	6661a								
2	5.7.06	8151ab								
3	19.7.06	9407bc								
4	31.7.06	9867bc	3523	2319	737	708	216	284	261	
5	30.8.06	11084c	3888	2380	795	680	183	289	125	
6	27.9.06	8914ac	3581	1807	813	568	195	303	72	
7	26.10.06	8476a	3808	2134	852	492	131	202	0	
8	11.12.06	7260a	3295	2042	699	425	47	46	0	151
9	4.4.07	5762a	2746	1628	563	322	23	8	0	101
Koe 702 2005/2006										
4	3.8.05	8205a	3094	2154	521		177	230	70	
7	17.11.05	6665a	2647	2043	553		67	84	0	
9	2.5.06	4165b	1700	1326	382	251	18	9	0	98
Koe 702 2006/2007										
4	31.7.06	7707a								
7	26.10.06	5605b								
9	4.4.07	4154c	1822	1225	364	224	22	22	0	80

^{a)} Keskiarvojen tilastollisesti merkitsevät erot on testattu Tukey-Kramer testillä ja merkitty eri kirjaimin.

Liukoisten sokerien yhteismäärä kiloina oli suurin heinä-elokuun vaihteessa siemenen kypsyttyä (600–700 kg/ha) ja alkoi sen jälkeen pienentyä. Sakkaroosia ei tavattu enää myöhäissyksyn eikä kevään näytteissä. Tuhkapitoisuus ei suuresti muuttunut kasvukauden aikana. Aikaisempien tutkimusten mukaan kevätsadon tuhkapitoisuus on pienempi kuin vihreänä korjattujen kasvien (Pahkala & Miettinen, 2000). Myös tässä tutkimuksessa saatiin vastaavia tuloksia vuonna 2006. Kevätnäytteissä 2.5.2006 (kehitysvaihe 9/2005) havaittu poikkeuksellisen suuri tuhkapitoisuus (11,5 %) johtui mahdollisesti Loimijoen tulva-vedestä, joka virtasi keväällä 2006 kokeen yli tuoden mukanaan irtonaista maa-ainesta. Piin määrä alkuaineena mitattuna oli keväällä korjatussa materiaalissa 2,36 % vuonna 2006 ja 1,93 % vuonna 2007 (koe 702). Kokeessa 703 vastaavat luvut olivat 3,68 ja 1,75 %. Kasveissa pii on silikaattina, jonka määrä saadaan kertomalla piipitoisuudet luvulla 2,1394.

Biomassan kuiva-ainepitoisuus vaihteli kesän ja syksyn aikana välillä 17 - 50 %. Sään vaikutus kuiva-ainepitoisuuteen oli suuri. Keväällä biomassan kuiva-ainepitoisuus oli 84 - 91 %. Kesän ja syksyn aikana korjatun biomassan kosteus oli niin suuri, että sitä ei olisi voitu varastoida kuivaamatta. Keväällä korjattu biomassa oli sellaisenaan varastointikelpoista.

Ohran olki

Taulukossa 2 on esitetty ohran kokonaissadon, olkisadon ja oljen laatutekijöiden kehitys kesän aikana.

Koko kasvuston (tähti, olki ja lehdet) yhteenlaskettu hehtaarisato kasvoi aina heinäkuun loppuun/elokuun alkuun asti. Sato oli tällöin suurimmillaan $8,1 \pm 0,3 t_{ka}/ha$ vuonna 2005 ja $10,7 \pm 0,6 t_{ka}/ha$ vuonna 2006. Kokonaissadon kasvu toisen näytteenoton (täysi tähkintä) jälkeen johtui yksinomaan tähkänpainon (jyvien) kasvusta. Tähkinnästä keltatuleentumiseen mennessä biomassasato kasvoi yli kaksinkertaiseksi. Vastaavasti olkisato hieman pieneni, koska ohra käyttää korteen ennen tähkintää tilapäisesti varastoituneet yhteyttämistuotteet jyväsadon kasvattamiseen. Tähkän (jyvät+vihneet+tähkälapakko) osuus kokonaissadoista oli vuonna 2005 noin 64 ja vuonna 2006 noin 69 %. Oljesta oli selluloosaa, hemiselluloosaa ja ligniiniä noin 48, 25 ja 7 % vuonna 2005, sekä vuonna 2006 vastaavasti noin 44, 25 ja 8 %. Kahden viimeisen näytteenoton välillä kasvuston hehtaarisato pieneni noin 10 %. Tämä johtuu lähinnä kasvuston hengityksestä ja lehtien varisemisesta. Oljen kosteusprosentti oli vuoden 2006 näytteissä nro 5 ja 6 noin 37 ja 21 %.

Taulukossa 2 on esitetty myös oljen eri laatuosien kehittyminen kesän aikana. Tulokset osoittavat, että oljen kannalta merkittävin kasvuvaihe on alkukesä ennen ohran tähkälletuloa. Koko kasvuston biomassasato kasvoi tähkinnän jälkeen ainakin vielä kuukauden, kun jyvät kasvoivat varastoivat tärkkelystä ja valkuaisaineita. Vuoden 2005 olkisadossa ligniinin määrä lisääntyi ja tuhkan määrä väheni ohran kasvun myötä. Vuonna 2006 ligniinin ja tuhkan määrä ei juuri muuttunut ennen sadonkorjuuta. Piin (Si) pitoisuus tuleentuneessa oljessa oli $10,3 \text{ mg/kg ka}$ (vuonna 2006). Oljen liukoisten sokerien (glukoosi, fruktoosi, sakkaroosi, fruktaanit) määrä väheni nopeasti ohran tähkälle tulon jälkeen, kun jyvät alkoivat kasvaa ja varastoida yhteyttämistuotteita.

Taulukko 2. Ohran korjuu eri kehitysvaiheissa vuosina 2005 ja 2006. Kokonaissato, olkisato ja selluloosan, hemiselluloosan, ligniinin, tuhkan, sokerien (glukoosi, fruktoosi ja sakkaroosi) ja piin määrä eri kehitysvaiheissa kg/ha kuiva-ainetta. Tuhka ja sokerit (glukoosi, fruktoosi, sakkaroosi) kg/ha.

Kehitysvaihe	Korjuupäivä	Ohran biomassaa ^a	Ohran olki + lehti massa ^a	Selluloosa	Hemiselluloosa	Lignini	Tuhka	Glukoosi	Fruktoosi	Sakkaroosi
2005										
1	27.6.	3696b	2825b	869	533	113	247	88	105	165
2	4.7.	4650b	3340a	1129	557	141	252	100	145	238
3	18.7.	7466a	2927ab	1193	601	192	206	49	109	67
4	26.7.	8104a	2505bc	1141	634	178	148	22	28	0
5	1.8.	7656a	2228c	1071	553	163	134	10	0	0
6	8.8.	7696a	2174c	1112	515	174	104	10	0	0
2006										
3	12.7.	6966b	3641a	1215	688	253	273	146	233	249
4	20.7.	8862ab	3344a	1279	661	245	266	88	166	140
5	1.8.	10720a	3274a	1443	825	254	287	22	35	0
6	7.8.	9851a	2995a	1321	756	218	271	14	22	0

^{a)} Keskiarvojen tilastollisesti merkitsevät erot on testattu Tukey-Kramer testillä ja merkitty eri kirjaimin.

Kesällä 2006 tutkittiin näytteen 6 (leikkuupuintivalmis ohra) avulla myös oljen eri osien massaa ja sängin pituuden vaikutusta olkisaantoon (Taulukko 3). Tuloksista nähdään, että olki on tyveltä kosteampi, mutta myös tiheämpi. Jos sängin pituudeksi jätetään sadonkorjuussa esim. 15 cm, menetetään noin 27 % potentiaalisesta olkisaadosta. Ohran puinnin yhteydessä mitattiin leikkuupuimurista tulleen oljen määrä ja ohran sängin pituus. Lohkojen (5 kpl) keskimääräinen sänginpituus oli 8,5 cm ja olkisato $2,8 t_{ka}/ha$. Tämä oli noin 10 prosenttia vähemmän kuin näytteenottoon perustunut potentiaalinen olkisato ja melko lähellä taulukon 3 arvoa.

Taulukko 3. Oljen osien kuivapaino ja osuus koko oljesta. Ohran oljen jaottelu 5 cm pituisiin osiin. Näytteen koko on 50 ohrayksilöä ja tulokset ovat 5 toiston keskiarvoja. Jokioinen, 2006.

Olkinäyte cm	Näytteen kuiva- paino, g	Näytteen paino- osuus koko oljesta, %	Kumulatiivinen paino-osuus koko oljesta, %	Näytteen kuiva- ainepitoisuus, %	Näytteen kuiva- paino/cm olkea
65-	2,96	6,5	100,0	89,7	0,59
60-65	2,35	5,1	93,5	87,1	0,47
55-60	2,39	5,2	88,4	83,5	0,48
50-55	3,09	6,8	83,2	77,3	0,62
45-50	2,98	6,5	76,4	70,2	0,60
40-45	3,08	6,7	69,9	64,8	0,62
35-40	3,11	6,8	63,2	60,5	0,62
30-35	3,08	6,7	56,4	55,9	0,62
25-30	3,32	7,3	49,6	52,3	0,66
20-25	3,49	7,6	42,4	50,9	0,70
15-20	3,53	7,7	34,7	50,3	0,71
10-15	3,83	8,4	27,0	48,3	0,77
5-10	4,04	8,8	18,6	46,2	0,81
0-5	4,48	9,8	9,8	45,2	0,90

Johtopäätökset

Ruokohelven suurin biomassasato saadaan alkusyksystä, jolloin saadaan myös liukoista sokereista määrällisesti suurin sato, noin 600 – 700 kg/ha. Selluloosan saanto on suurin siemenen kehittymisen aikoihin elokuussa. Ruokohelven keväsato on ensimmäisenä korjuuvuonna pienempi kuin syyskesällä korjattu sato, mutta sen kuiva-ainepitoisuus on korkea, mikä helpottaa varastointia. Tässä tutkimuksessa etanolin valmistukseen päädyttiin käyttämään siemenvaiheessa ja keväällä korjattua ruokohelpimateriaalia, jotka olivat prosessoitaessa lähes samanarvoisia.

Bioetanoliuoton kannalta viljan olkisadon voisi korjata talteen jo keskikesällä, kun oljen hiilihydraattien (selluloosa ja liukoiset sokerit) määrä on suurimmillaan, mutta tuolloin korjatun ohran versominen ja jälkikasvu jää hyvin vähäiseksi. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa päädyttiin yhteen oljen korjuu-aikaan, joka tapahtuisi normaalin leikkuupuinnin yhteydessä. Tällöin olkea voi ympäristön kannalta käsitellä sivuvirtana. Viljakasvien olkisato ei myöskään ole kovin suuri verrattuna esimerkiksi ruokohelven biomassasatoon. Sängennpituus vaikuttaa huomattavasti olkisatoon.

Kirjallisuus

- AOAC 1990.** Fiber (Acid detergent) and lignin in animal feed. (973.18). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15th edition.
- Mäkinen, T., Soimakallio, S., Paappanen, T., Pahkala, K. & Mikkola, H.** 2006. Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit. VTT tiedotteita 2357. <http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2357.pdf>
- NMKL.** 1993. Nordic Committee on Food Analysis. Fructose, glucose and saccharose, NMKL publications 148, 4 p.
- Pahkala, K., Isolahti, M., Partala, A., Suokannas, A., Kirkkari, A.-M., Peltonen, M., Sahramaa, M., Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E. & Flyktman, M.** 2005. Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. 2. korjattu painos. Maa- ja elintarviketalous 1. 31 p. <http://www.mtt.fi/met/pdf/met1b.pdf>
- Pahkala, K. & Miettinen, E.** 2000. Ruokohelpilajikkeet kevätkorjuussa. In: Riitta Salo (toim.). Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi. Tutkimuksen loppuraportti, osa I. Ruokohelven jalostus ja viljely. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 84. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 32-41.
- Weymarn, N. von (toim).** 2007. Bioetanolia maatalouden selluloosavirroista. VTT tiedotteita 2412. <http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2412.pdf>