

PÕLLUKULTUURID ENERGIATAIMEDENA

R. Lauk, M. Noormets, M. Alaru

Eesti Maaülikool

ABSTRACT. 2007/2008 were investigated different field crops productivity in natural, mineral fertilizer and sludge treatments. The field crops productivity was studied in a case of pure and mixture sowings. The biomass chemical composition including heavy metals were studied. Aims for current research work were (i) to find out the species and the species mixtures, that could be cultivated in Estonian conditions for the energy biomass production; (ii) to estimate the species and cultivars suitability for burning or biogas production. The highest above ground biomass was obtained from variants with maize cultivars, which were fertilized with sludge. The percentage of maize in above ground biomass was over 50% only in variants fertilized with sludge and slush, in other variants the weeds formed the major part of above ground biomass. The above ground biomasses of maize + vetch mixes and hemp + vetch mixes were statistically equal to control variants N0. SPAD-meter readings determined in flowering stage of plants showed very low chlorophyll content in plants leaves. The availability of nitrogen by plants was in mix variants probably too low and chlorophyll content in leaves in flowering stage correlated significantly with above ground biomass at harvest time. The biological nitrogen bound by Rhizobaceae probably is not available for other plants in the first vegetation period, or the sowing rate of vetch was too high and competition between plants results in low above ground biomass. The content of heavy metals did not exceed the limit, but DM amount applied to the soil with wastewater sludge was too high and the using of this sludge in the same place will be possible after 3 years.

Keywords: maize, hemp, wastewater sludge, slush, above ground biomass

Sissejuhatus

Energia tootmine kiiresti vähenevate fossiilkütuste baasil vajab üha enam alternatiive. Üks võimalus on asendada fossiilkütused taastuva energiaga ja toota biokütust energiataimedest. EL-i praeguses poliitikas on taastuva energia tootmine kuulutatud ka prioriteediks (Kontturi, Pahkala, 2007; Renewable ..., 2008). EL-i energia- ja keskkonnapoliitikas on seatud eesmärgiks toota kogu energiast kuni 20% taastuva energia baasil. Eesti keskkonnanstrateegias ja transpordi arengukavas on transpordikütuste tarbimises ette nähtud biokütuste osatähtsus

viia 2010. aastaks 5.75%-ni. Meil on piisavalt maad, kus oleks võimalik kasvatada vastavalt muldade kasutussoovusele erinevaid bioenergiakultuure. Lähtudes PRIA 2007. a andmetest, on maakasutusest välja jäänud üle 283,000 ha e 25% meie kunagisest haritavast maast. Selliseid põllumassiive, mis on täies ulatuses maakasutusest välja langenud, on üle 123 000 ha (Roostalu *et al.*, 2008).

Energiataimede mikrobioloogiline muundamine biogaasiks on üks laiemalt levinud võimalus taastuva energia tootmiseks ja fossiilse CO₂ emissiooni vähendamiseks. Anaeroobse kääritamise teel saadud biogaasi saab kasutada fossiilsete kütuste asemel nii soojuse kui ka autokütuse tootmiseks. Metaani tootmine anaeroobse kääritamise abil on energeetiliselt üks efektiivsemaid võimalusi autokütuse tootmiseks (Weiland, 2007).

Kõige enam levinumad energiakultuurid biogaasi tootmiseks on silomais, teraviljad ja rohusilo. Enam kui 90% biogaasi tootjatest kasutab silomaisi kui kõige efektiivsemat energiataimet ja ligi 50% biogaasi tootjatest kasutab selleks teraviljade täissilo (Weiland, 2007).

Eesti Maaülikooli Eerika katsepõllule rajati 2008. a kevadel katse, mille eesmärgiks on (i) välja selgitada need taimeliigid ja sordid, mis sobivad Eesti kliimatilistes tingimustes energeetilise biomassi, eelkõige biogaasi ja tahke kütuse tootmiseks; (ii) uurida reoveesette, sealäga ja liblikõieliste taimede sobivust lämmastikuallikana energiataimede kasvatamisel.

Metoodika

Katse rajati Eesti Maaülikooli Eerika katsepõllule 2008. a kevadel. Põldkatse on kahefaktoriline, kus esimeseks faktoriks on kasvufoon ja teiseks taimeliik või sort (tabel 1). Erinevate kasvufoonide loomisel arvestati, et N kogus on kõigil väetatud variantidel 100 kg N ha⁻¹

Katseskeem: Katse on kahefaktoriline: 1. faktor – kasvufoon: 1) Tartu reoveesete (lämmastiku kogus arvestatud 100 kg N ha⁻¹); 2) sealäga (100 kg N ha⁻¹); 3) vikiga segukülv; 4) mineraalne ammooniumnitraat N100; 5) kontrollvariant, N0.

2. faktor – taimeliik ja sort: 1) maisi sort 'Ainergy'; 2) maisi sort 'Crescendo'; 3) kanep USO-31; 4) kanep 'Chameleon'.

Kokku on katses 20 varianti 4 korduses, katselappide üldarv on 80 (á 13 m²), katselapid on asetatud randomiseeritult.

Tabel 1. Kahefaktorilise katse skeem
Table 1. Trial scheme

Kasvufoonid / <i>growth phons</i>	Katses olnud taime liigid ja sordid / <i>species and cultivars</i>
N0 – kontrollvariant / <i>without N</i>	Mais/ <i>Maize</i>
N100 – ammoniumnitraat (100 kg N ha ⁻¹) / <i>mineral N fertilizer</i>	Sort 'Ainergy' / <i>cultivar Ainergy</i> Sort 'Crescendo' / <i>cultivar Crescendo</i>
Tartu linna reoveesete (100 kg N ha ⁻¹) / <i>wasterwater sludge</i>	Kanep/ <i>Hemp</i> Sort USO-31 / <i>cultivar USO-31</i> Sort 'Chameleon' / <i>cultivar Chameleon</i>
Vikk (sort 'Carolina' 60 seemet m ⁻²) / <i>vetch, cultivar Carolina</i>	
Sealäga (100 kg N ha ⁻¹) / <i>slush</i>	

Taimed külvati 20. mail 2008. Maisisordid saadi firmast Older Group ja kanepisordid firmast Estplant. Maisi külvisenormiks valiti Eestis silomaisi kasvatamisel kasutatav norm 8 seemet m⁻², kanepi külvisenorm oli 200 idanevat tera m⁻², vikil 60 ja talitritikalel 200 idanevat tera m⁻². Enne külvi reoveesete ja läga laotati põllule laiali, seejärel põld kultiveeriti. Ammooniumnitraadiga väetati taimi peale nende tärkamist 6. juunil 2008. Vikk külvati koos põhikultuuriga 20. mail. Varasemaid kogemusi arvesse võttes eeldati, et 60 vikiseemet m⁻² peaks võrduma 100 kg mineraallämmastikuga ha⁻¹. Kasvuperioodil pestitsiide ei kasutatud. Katseala muld on Stagnic Luvisol WRB 1998. a klassifikatsiooni järgi, lõimis on liivsavi, pH_{KCl} 5.6, C 1.2%, ja N 0.12%.

Taimede kasvu ajal mõõdeti kuni õitsemiseni (st juuli keskpaigani) iga kahe nädala järel põhikultuuri pikkust, hinnati umbrohtumust (fenoloogilise vaatluse teel hinnati umbrohu ja põhikultuuri osatähtsus pinnahülkil protsentuaalselt). Maisi ja kanepi õitsemise ajal mõõdeti SPAD meetriga taimelehtede klorofüllisisaldust, et hinnata põhikultuuride lämmastikulist toitumust ja prognoosida nende maapealse biomassi suurust. 18. augustil võeti igalt variandilt kahes korduses 2,500 cm² proovilapilt kogu maapealne biomass. See kuivatati õhukuivaks, määrati umbrohtude ja põhikultuuri osatähtsus maapealses biomassis ning saagis esinenud umbrohtude liigiline koosseis.

Koristusaegse maapealse biomassi hindamiseks võeti 11. septembril 2008. a (peale esimesi öökülmasid) enne kombiniga koristamist 1 m² suurustelt proovilapidelt igalt katsevariandilt 4 korduses kogu biomass. Proovilapilt saadud biomassist määrati kuivainesisaldus ja selle põhjal kogu kuivainesisaldus, lisaks eraldi põhikultuuri ja umbrohtude kuivainesisaldus. Eraldati ka proovid keemiliste analüüside jaoks.

Keemilised analüüsid. Määratud on toorproteiini, toortuha, toorkiu, toorrasva, ADF, NDF, Ca ja P sisaldused maisi puhas- ja segukülvi saagis (+ metaboliiseeruv energia). Määratud on ka ligniinisaldus maisi ja kanepi puhas- ja segukülvides, raskmetallide sisaldus väetisena kasutatud reoveesettes, selle kasvufooni mulas ja taimedes (raskmetallide sisaldus määrati OÜ Tartu

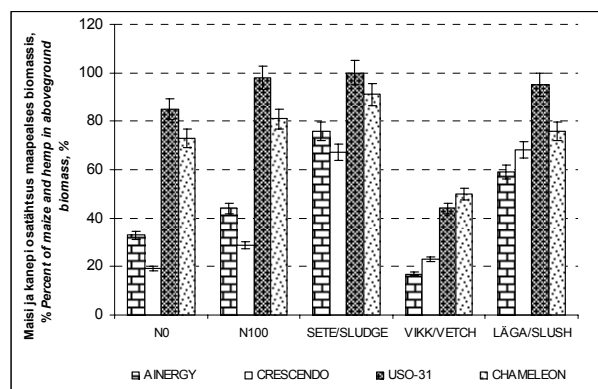
Keskonnauuringud laboris). Kavas on veel määrata mõlema kanepisordi kütteväärtus erinevatel kasvufoonidel.

Peale sügisest saagiarvestust jäeti osa kanepi mõlemast sordist kasvama kevadeni, et selgitada talvel tekkinud saagikao suurust ning uurida, millised muutused toimuvad talvel saagi kvaliteedis – jälgitakse niiskuse ja tuhasisalduse dünaamikat kanepi taimes.

Andmetöötlus. Andmetöötluses on kasutatud kordustega kahefaktorilist dispersioonanalüüsi ja korrelatsioonanalüüsi (ANOVA).

Tulemused

Maisi külvisenorm (8 seemet m⁻²) mõjutas väga tugevalt tema osatähtsust maapealses biomassis, seda enam, et maisi kasvu ajal kordagi herbitsiide ei kasutatud (joonis 1). Maisi puhaskülvides oli tema osatähtsus maapealses biomassis üle 50% ainult reoveesetega ja lägaga väetatud variantidel, teistel puhaskülvi foonidel moodustas valdava osa maapealsest biomassist umbrohi. Maisi segukülvis vikiga moodustas umbrohi maapealsest biomassist sordi 'Ainergy' puhul 8% ja 'Crescendo' puhul 14%.

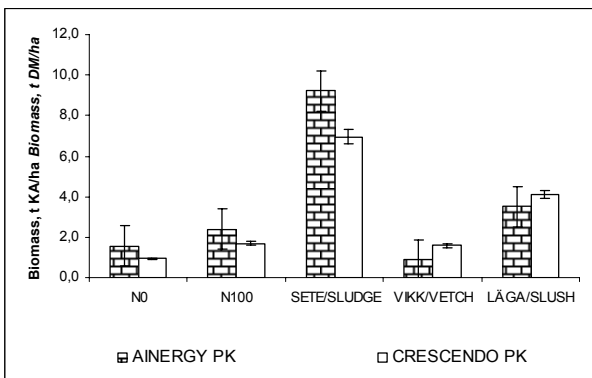


Joonis 1. Maisi ja kanepi taimede osatähtsus maapealses biomassis 2008. a

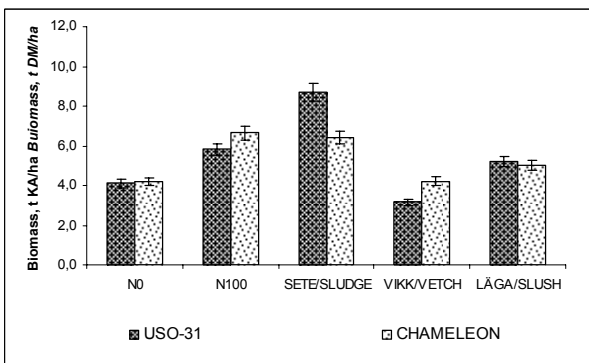
Figure 1. Percentage of maize and hemp in aboveground biomass in 2008

Kanepi osatähtsus maapealse biomassis oli usutaval määral mõjutatud nii sordi kui ka kasvufooni poolt (joonis 1). Sort USO-31 oli võrreldes sordiga 'Chameleon' peenema varrega ja kasvutihedus oli suurem. Ammooniumnitraadiga, reovee settega ja lágaga väetatud kasvufoonidel oli kanepi maapealne biomass statistiliselt võrdne, kusjuures kanepisordi USO-31 maapealne biomass moodustas kogu maapealsest biomassist 95–100%.

Kahest mõjufaktorist (sort ja kasvufoon) mõjutas kogu maapealse biomassi suurust usutaval määral ainult kasvufoon (determinatsiooni indeks 0.60; joonised 2–3.). Esimese aasta tulemuste põhjal selgus, et kõige suurema maapealse biomassi andsid reoveesetega väetatud taimed (maisi variantidel kahe sordi ja korduste keskmisena 11.1 t KA ha⁻¹ ja kanepi puhul sama 7.5 t KA ha⁻¹; võrdluseks väetamata variandid – vastavalt 4.8 ja 4.1 t KA ha⁻¹). Kogu maapealse biomassi kogused olid maisi ja kanepi segukülvides vikiga praktiliselt võrdsed kontrollvariandiga. SPAD-testri näidud, mõõdetud taimede õitsemisfaasis, näitasid segukülvides suurt klorofüllipuudust lehtedes. SPAD-testri näidud, st põhikultuuri klorofüllisaldused lehtedes taimede õitsemise ajal, korreleerusid statistiliselt usutaval määral koristusaegse maapealse biomassi saagiga (joonis 4).

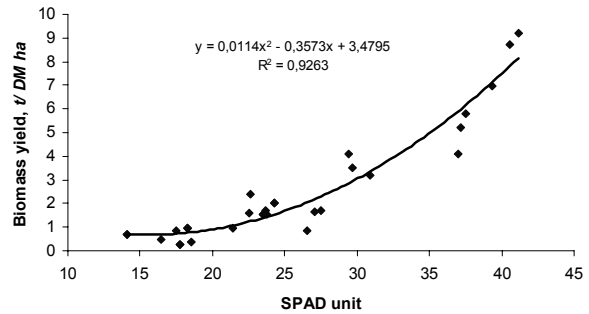


Joonis 2. Erinevate kasvufoonide mõju maisisortide 'Ainergy' ja 'Crescendo' maapealsele biomassile 2008. a
Figure 2. Influence of different growth phons on on mize cultivars above ground biomass in 2008



Joonis 3. Erinevate kasvufoonide mõju kanepisortide USO-31 ja 'Chameleon' maapealsele biomassile 2008. a
Figure 3. Influence of different growth phons on on hemp cultivars above ground biomass in 2008

Kahefaktorilise dispersioonanalüüsi põhjal mõjutas kasvufoon maisi maapealse biomassi keemilist koostist usutaval määral, aga korrelatsioonanalüüsi järgi oli ainus usutav seos maisi ligniinisalduse ja maapealse biomassi vahel ($r = 0.55$; $P < 0.001$). Teiste keemiliste ühendite sisaldus erinevatel kasvufoonidel ja sorditi oli erinev ning ühtset mõjusuunda esimese aasta tulemuste põhjal välja tuua ei ole võimalik.



Joonis 4. Taimede õitsemisfaasis määratud SPAD-testri näidu ja enne koristust mõõdetud maapealse biomassi koguse vaheline seos 2008. a

Figure 4. The relationship between SPAD-meter data determined at anthesis and above ground biomass measured at harvest time in 2008

Reoveesetest määrati Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ja Zn sisaldus (mg kg^{-1}), mis ei ületanud lubatud piiri. Samas viidi reoveesetega mulda 18 t kuivainet, et tagada N kogus 100 kg N ha⁻¹. Eesti Keskkonnaministeeriumi poolt reovetele, reoveesetetele ja kompostidele 2002. a kehtestatud piirnõrme järgi on mulda viidava kuivaine lubatud kogus vaid 5 t ha⁻¹, st sama reoveesette kasutamine samas kohas on võimalik alles 3 aasta pärast (www.riigiteataja.ee).

Arutelu

Energiataimi peaks kasvatama seni kasutamata maadel ja see peaks olema võimalikult vähekulukas. Pinnaühikult saadud biomassist biokütuse tootmine on õigustatud juhul, kui saadav bioenergia on suurem kui kulutatud fossiilsete kütuste energia (Roostalu *et al.*, 2008). Katse läbiviimisel kavandati samuti minimeerida võimalikud tootmissisendid. Seetõttu taimede kasvuperioodil ei kasutatud mingisuguseid pestitsiide. Eelneva kogemuse puudumise tõttu kasutati katses maisi külvamisel silomaisi külvisenormi – 8 seemet m², mis herbitsiidide mittekasutamise tõttu osutus ilmselt liiga väikseks. See tingis maisi variantide tugeva umbrohtumuse, eelkõige N100 ja N0 variandil. Maisi mõlema sordi maapealne biomass moodustas katses olnud kasvufoonidel valdavalt alla 50% kogu maapealsest biomassist. Reoveesetega väetatud variantide tunduvalt väiksem umbrohtumine võis olla tingitud sellest, et settes olnud N vabanes mineraliseerumise käigus aeglaselt ja oli taimedele kättesaadav ka veel maisi ning kanepi intensiivse kasvu perioodil (juulis-augustis). Mineraalse lämmastikväetise N (katsevariant N100) oli taimede poolt kasutatav kuni võrsumisperioodi lõpuni. Ajaks, kui maisi ja kanepi

taimed jõudsid kõrsumisfaasi, oli ülejäänud mineraalse väetise N kas leostunud või lendunud, mistõttu kannatasid taimed hilisemates arengufaasides tugeva N puuduse käes. Katsest selgus ka, et vikk lämmastikuallikana ei õigustanud ennast. Selle põhjuseks võis olla, et liblikõieliste taimede poolt õhust seotav lämmastik oli esimesel kasvuaastal maisile ja kanepile raskesti kättesaadav (Jensen, 1986, 1996; Hauggaard-Nielsen *et al.*, 2001). Teisest küljest võis tegu olla ka taimedevahelise konkurentsi, kus viki külvisenorm oli liiga suur.

SPAD-testri näidud, mis on mõõdetud taimede õitsemise ajal, peegeldavad erinevatel kasvufoonidel taimedes toimuvat assimilatsiooni intensiivsust ja näitavad taimedele sobivama kasvufooni. Samasuguseid tulemusi on saadud ka varasemates uurimustöödes (Viil, 2008).

Katse kasutatud Tartu linna reovee keemiline analüüs näitas, et mulda viidava kümne aasta keskmine raskmetallikogus hektari kohta aastas ei ületanud Keskkonnaministeeriumi poolt kehtestatud piirnorme. Küll aga oli mulda viidav kuivaine kogus lubatust suurem ning antud reoveesette kasutamine samas kohas oleks lubatav alles 3 aasta pärast.

Edaspidi selgitust vajavad küsimused:

- Taimede kasvuaegne lämmastikuline toitumine erinevatel kasvufoonidel.
- Maisi optimaalse külvisenormi välja selgitamine segus teiste energiakultuuridega, et suurendada tema osatähtsust maapealses biomassis.
- Viki sobivus lämmastikuallikana põhikultuurile.
- Erinevate kasvufoonide toitaivate bilanss.
- Reostuse vältimine reoveesette kasutamisel väetisena.

The agricultural crops utilization for burning and biogas production

R. Lauk, M. Noormets, M. Alaru
Estonian University of Life Sciences

Summary

2007/2008 were investigated different field crops productivity in natural, mineral fertilizer and sludge treatments. The field crops productivity was studied in a case of pure and mixture sowings. The biomass chemical composition including heavy metals were studied. Aims for current research work were (i) to find out the species and the species mixtures, that could be cultivated in Estonian conditions for the energy biomass production; (ii) to estimate the species and cultivars suitability for burning or biogas production.

Preliminary results:

- The highest above ground biomass was obtained from variants with maize cultivars, which were fertilized with sludge.
- The percentage of maize in above ground biomass was over 50% only in variants fertilized with sludge

Kasutatud kirjandus

- Hauggaard-Nielsen, H., Ambus, P., Jensen, E. S. 2001. Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. – *Field Crop Research*, 71, p. 101–109.
- Jensen, E. S. 1986. Intercropping field bean with spring wheat. – *Vorträge für Pflanzenzüchtung*, 11, p. 67–75.
- Jensen, E. S. 1996. Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. – *Plant and Soil*, 182, p. 25–38.
- Keskkonnaministeeriumi määrus nr 78, 30. detsember 2002. a. www.riigiteataja.ee
- Kontturi, M., Pahkala, K. 2007. Straw biomass – potential raw material for ethanol production. – In: *NJF Seminar 405: Production and Utilization of Crops for Energy, Vilnius, Lithuania, 25–26 September 2007. NJF Report 3, 4*, p. 104–108.
- Renewable energy and cohesion policy. 2008. – *Energy 4 cohesion*, p. 2–3.
- Roostalu, H., Astover, A., Kukk, L., Suuster, E. 2008. Bioenergia tootmise võimalustest põllumajanduses. – *Maamajandus*, 2008, oktoober, 32–35; – november, 42–45; – detsember, 34–36.
- Viil, P. 2008. Uuenduslikud tehnoloogilised võtted taimekasvatases. – *Vedelsõnnik – miks ja kuidas*. Saku, EMI, 15–48.
- Weiland, P. 2007. Biogas from energy crops – Technoscientific evaluation of the fast growing biogas market in Germany. – In: *NJF Seminar 405: Production and Utilization of Crops for Energy, Vilnius, Lithuania, 25–26 September 2007. NJF Report 3, 4*, p. 76–79.

and slush, in other variants the weeds formed the major part of above ground biomass.

- The sowing rate of silo maize (8 plants per m²) was too low for energy crop, because the herbicides were not used. Mineral N from variant N100 was not available in second part of summer and plants of maize and hemp suffered by N deficit.
- The above ground biomasses of maize + vetch mixes and hemp + vetch mixes were statistically equal to control variants N0. SPAD-meter readings determined in flowering stage of plants showed very low chlorophyll content in plants leaves. The availability of nitrogen by plants was in mix variants probably too low and chlorophyll content in leaves in flowering stage correlated significantly with above ground biomass at harvest time. The biological nitrogen bound by Rhizobaceae probably is not available for other plants in the first vegetation period, or the sowing rate of vetch was too high and competition between plants results in low above ground biomass.
- The content of heavy metals did not exceed the limit, but DM amount applied to the soil with wastewater sludge was too high and the using of this sludge in the same place will be possible after 3 years.