Maaelu Edendamise Sihtasutuse
projekt

Puittaimede kasutusvõimalused energiakultuurina Eestis

Lõpparuanne 30.11.2007

Koostas: Hardi Tullus
Eesti Maaülikool

Tartu 2007

Puittaimede kasutusvõimalused energiakultuurina Eestis

I Teadus- ja arendustegevuse uuringu läbiviimise lähteülesanne

Vastavalt Maaelu Edendamise Sihtasutuse ja Eesti Maaülikooli vahel sõlmitud töövõtulepingule uuring peab:

1) Andma võrdleva ülevaate Eestis viljelemiseks sobivatest ning soovituslikest energiakultuuride liikidest ja sortidest (sh geneetiliselt muundatud) vastavalt kasutuseesmärgile;
2) Analüüsima energiakulutuuride viljelemiseks vajaminevat tehnikat ja agrotehnoloogia olemasolu kohta ning täiendavast vajadusest või olemasoleva kohendamisvajadusest potentsiaalset tootmismahtu silmas pidades;
3) Analüüsima ja kirjeldama eri energiakultuuride viljelemise mõju mulla viljakusomadustele;
4) Andma hinnangu eri energiakultuuride sobivuse ja kasvatamise võimaluste kohta piirkonniti tulenevalt EL ühise põllumajanduspoliitika jõustuvatest ristvastavusnõuetest;
5) Analüüsima energiakultuuride kasvatamist piiravaid ja soodustavaid tegureid (sh keskkonnakaitselisi nõudeid);
6) Analüüsima oodatavaid keskkonnamõjusid;
7) Andma soovitused energiakultuuride laialdasema viljelemise korraldamiseks Eestis.

Viiakse läbi varemkogutud erinevate puuliikide erinevate biomassifraktsioonide kalorsuse uuringud.

Tulemuseks peab olema analüüs, mis annab ülevaate, milliseid kultuure konkreetsetes oludes on võimalik ja otstarbekas viljelda, milliseid keskkonnakaitselisi ja agrotehnoloogilisi nõudeid (sh ristvastavusnõudeid) tuleb viljelemisel arvestada, toob välja energiakultuuride kasvatamist piiravad ja soodustavad tegurid ning esitab vajadusel ettepanekud ametliku korralduse (õigusaktid, fiskaalinstrumendid jms) muutmiseks, et soodustada energiakultuuride viljelemist soovitataval määral.

II Projekti põhitäitjad ja nende tegevuse allteemad

Hardi Tullus	projekti juht, metsapoliitika, plantatsioonilise metsanduse analüüs
Andres Koppel	taastuvenergia poliitika, paju energiakultuuride analüüs
Veiko Uri	lepa ja kase energiakultuurid, produktsiooni ja aineringe analüüs
Arvo Tullus	hübriidhaava energiakultuurid
Linnar Pärn	kalorsuse uuringud

Projekti lähteülesande täitmise taust

1. Eestis on 300 000–400 000 ha põllumajanduslikku maad kasutusest väljas. Selle maaressurssi kasutuselevõtu üheks alternatiiviks on kiirekasvuliste puidupõhiste energiakultuuride kasvatamine.

2. Endistel põllumaadel puidupõhiste energiakultuuride kasvatamise peamine eelis võrreldes rohtsete kultuuridega (kus põletamiseks kasvatatakse taime seemet või kogu maapealset osa) tuleneb puidu keemilisest koostisest. Puidu tuhasisaldus on võrreldes rohtsete taimedega 5–10 korda madalam ja puidu koostises on valdavalt süsinik, hapnik ja vesinik. Toiteelementide (NPK jt) sisaldus puidus ja koores on madal ja seetõttu on biomassi kasvukohalt äraviimisega kaasnev võimalik mullaviljakuse langus ning tekkiv väetistarve väheoluline.

3. Eestis puudub viimasel kolmveerandsajandil kogemus ja praktiline vajadus kasvatada lehtpuumetsi lühikese raieringi põhimõttel energeetilisel eesmärgil. Ajalooliselt on aga küttepuidu (-hao) varumiseks mõeldud võsametsad (nn madalmets ja vastavalt madalmetsandus) olnud laialdasel kasutusel. Neil aegadel puudus aga normeeritud energiametsa raieringi pikkuse määratlus ja keskkonnakaitseliste aspektide arvestamine. Kaasajal on Eesti metsateadusel kasutada halli lepa, sanglepa, arukase, hübriidhaava ja paju endistele põllumaadele rajatud katseistandike produktsiooni, aineringe ja keskkonnamõjude analüüsi tulemused.

4. Kiirekasvuliste, lühikese raieringiga metsaistandike (plantatsiooniline metsandus) pindala järsk suurendamine Eestis on vastavuses arengutrendidega maailma metsanduses. Maailma metsadest on 5–6% istandikud, kuid sealt varutava tööstuslikult kasutatava puidu osakaaluks hinnatakse 20–40%, aastaks 2050 prognoositakse, et pool puidust saadakse metsaistandikest. Plantatsiooniline metsandus levib Euroopas lõunapoolsetest piirkondadest üha enam põhja suunas ja on jõudnud kõigisse Läänemereregiooni maadesse, sealhulgas Lõuna- ja Kesk-Rootsi ning -Soome.

5. Käesoleva uuringu objektiks on põllumajanduslik maa, mitte metsamaa. Põlisel metsamaal on õigem jätkata metsade majandamisel traditsioonilist, heale metsanduslikule tavale tuginevat metsade majandamist pool-looduslikena, arvestades eesmärgina nii puidu saamist kui ka metsade keskkonnaväärtuse tagamist.

6. Käesoleva projekti eduka täitmise aluseks oli koostöö maaressurssi hindava töörühmaga. Projekti lõpparuande koostamise metoodika kooskõlastati mullateadlaste H. Roostalu ja A. Astoveriga. Eesmärgiks on tagada kahe töörühma tulemuste ühildamine. Erinevate lehtpuuliikide energiakultuurina kasvatamise sobivuse analüüsil võeti aluseks normaalse arenguga muldade maatrikstabel (R. Kõlli). Mullaliigid ja metsakasvukohatüübid ühildati E. Lõhmuse ordineeritud metsakasvukohatüüpide süsteemi alusel. Lõpparuanne esitatakse teksti ja üldistatud jooniste põhimõttel, puuliikide alusel:

- Lepad (hall lepp ja sanglepp)
- Kased (arukask ja sookask)
- Haavad (hübriidhaab ja harilik haab)
- Pajud

Iga puuliigi kohta esitatakse analüüsi detailsed tulemused mullaliikide ja metsakasvukohatüüpide alusel. Sõltuvalt erinevate puuliikide uuritusest Eesti mulla- ja kliimatingimustes esitatakse analüüsi tulemused erinevate puuliikide kohta erineva detailsusastmega. Sõltuvalt puuliigist rühmitatakse mullaliigid ja metsakasvukohatüübid erineva suurusega rühmadesse.

7. Projekti tulemuste esitusviis peab võimaldama 2008 jätkuprojektis jõuda järgmise lõpptulemuseni. Kui objekti kohta on teada asukoht ja mullaliik, siis arvutimudel võimaldab esitada objekti kohta majandamiskava, mis sisaldab:

- Soovitus puuliigi valikuks (võimalik esitada alternatiividena)
- Produktsiooni prognoos
- Metsakasvatuslikud soovitused
- Majanduslikud kalkulatsioonid ja prognoosid
- Võimalikud keskkonna riskid
- Soovitatav tehnika ja agrotehnoloogia
- Mõju mullaviljakusele ja väetamistarve

8. Lõpparuande struktuur:

- Lõpparuande kokkuvõte ja järeldused
- Projekti eesmärk ja tulemused inglise keeles
- Lõpparuande põhitekst, sh
    - puidupõhiste energiakultuuride kasvatamisega seotud mõistete selgitused
    - hübriidhaava biomassifraktsioonide kalorsuse uuringutulemused
    - Kasutatud kirjandus
- Lisa 1.
    - Joonised ja tabelid
- Lõpparuande ettekanne (*MS PowerPoint*)

Lähteülesanne 1. Anda võrdlev ülevaade Eestis viljelemiseks sobivatest ning soovituslikest energiakultuuride liikidest ja sortidest (sh geneetiliselt muundatud) vastavalt kasutuseesmärgile.

1. Projekt käsitleb lehtpuude kasutusvõimalust Eesti mulla- ja kliimatingimustes energiakultuurina. Projektis ei käsitleta okaspuid. Eestis kasvab looduslikult kaks puumõõdu saavutavat okaspuuliiki: harilik kuusk ja harilik mänd. Kuusk kuulub metsasuktsessioonis kliimakskoosluse puuliikide hulka, seetõttu ei saa kuuse kasutamist põllumaade metsastamisel pioneerpuuliigina pidada ökoloogiliselt õigeks. Mõlema okasliigi varis ja sellest tekkiv kõdu on happeline ja soodustab muldade leetumist, see on toitainete väljauhet ning seega mullaviljakuse langust. Mõlema okaspuuliigi kultuurid, eriti tiheda istutuse korral, on lehtpuudega võrreldes tuleohtlikumad. Eesti metsade peamise kahjustaja - juurepessu - leviku risk endistel põllumaadel on okaspuude suhtes tunduvalt kõrgem kui lehtpuude suhtes. Okaspuude istutusmaterjal on üldjuhul kallim ning kultuuri hooldamiskulud suuremad. Okaspuud ei paljune vegetatiivselt, seetõttu tuleb uus põlvkond pärast biomassi koristust rajada uuesti. Lähtudes eeltoodust pidasid projekti täitjad põhjendatuks analüüsida ainult lehtpuude kasutusvõimalusi energiakultuuridena.

Uuring keskendub järgmistele puu- ja põõsaliikidele (rühmadele):

1. Lepad (hall lepp ja sanglepp)
2. Kased (arukask ja sookask)
3. Haavad (hübriidhaab ja harilik haab)
4. Pajud

Teisi Eestis kasvavaid lehtpuuliike, mis omavad peamiselt metsade looduslikku mitmekesisust suurendavat väärtust ja on samas biomassi madala produktsioonivõimega, käesolevas analüüsis ei käsitleta.

2. Ei ole teada, et praegu või lähemas tulevikus oleks Eestis turule tulemas metsapuude GMO-na käsitletavat istutusmaterjali. Maailmas on metsapuude osas kõige enam tuntud papliliikide geneetiline kujundamine GMO põhimõtetel, eesmärgiks on suurendada tselluloosi tootmiseks puidu tselluloosi sisaldust ja samas vähendada ligniini sisaldust, katse- ja tootmisistandusi on suures mahus rajatud Põhja-Ameerikas. Eestis seni kasutatud hübriidhaava kloonid pärinevad teadaolevalt „puhaste vanemate", mitte GMO-de ristamisest.

Lähtudes keskkonnakaitselistest riskidest, looduslähedase majandamise printsiipidest ja olemasolevast seadusandlusest ei tohiks lubada geneetiliselt muundatud puu- ja põõsaliikide kasutamist puidupõhiste energiakultuuride kasvatamisel. Samuti ei saa soovitada võõrliikide kasutamist, v.a Euroopa boreaalsetes tingimustes edukaks biomassi produtseerijaks osutunud poolvõõrliik: hübriidhaab. Soovitada võib pajuliikide aretus- ja selektsioonitöö tulemusel saadud sortide kasutamist.

3. Eestis puudub viimasel kolmveerand sajandil kogemus ja praktiline vajadus kasvatada lehtpuumetsi lühikese raieringi põhimõttel. Ajalooliselt on aga küttehao varumiseks mõeldud võsametsad (madalmets ja vastavalt madalmetsandus) kasutusel olnud laialdaselt. Neil aegadel puudus aga selgelt normeeritud energiametsa raieringi pikkuse määratlus, rääkimata keskkonnakaitseliste aspektide arvestamisest.

4. Seades eesmärgiks kasvatada kodumaiseid lehtpuuliike energiakultuurina, on võimalikud järgmised variandid:

- Lühikese raieringiga (5–15 aastat), kogupinnaline puidukoristus
- Lühike raiering, kuid piisavalt pikk (15–25 aastat), et lisaks energiapuidule osa puidust kasvab paberipuu mõõtu
- Suhteliselt lühike raiering (20–30 aastat), kus osa puidust kasvab paberipuu mõõtu ja enamuse tüvede alumine palk on kasutatav vineeripakuna.
- Koristusraie tavametsa mahulise küpsuse faasis (40–60 aastat), kus saadakse energiapuitu, paberipuitu ja palkki.

5. Metsanduses kasutatakse erinevaid puistute küpsuse määramise meetodeid. Kui eesmärgiks on maksimaalne biomassi produktsioon, see on maksimaalne aastane keskmine tüvepuidu produktsioon, siis seda küpsust nimetatakse mahuküpsuseks. Eestis on kõigi puuliikide ametlikult lubatav raiering pikem kui mahuküpsus seda võimaldaks (ainult haaba lubatakse raiuda veelgi varem ja hallile lepale piirangud otseselt puuduvad). Pikema raieringi määramisel lähtutakse eesmärgist saada rohkem rahalist tulu (näiteks palgi mahuühik on kallim kui küttepuidul) ja üha enam arvestatakse keskkonnakaitselisi väärtusi, mis vanemas metsas on üldjuhul suuremad.

6. Joonistel 11 – 13 on esitatud puistute piirtihedused, mille juures algab intensiivne iseharvenemise protsess. Erinevate puuliikide puistute kasvukäigu uurimise ajalugu on paarisaja aastane, puistute kasvukäigu kirjeldamiseks on püütud leida üldisi seaduspärasusi ja väljendada neid erinevate matemaatiliste kasvukäigufunktsioonidena. Üheks lihtsamaks ja samas universaalsemaks on Eesti metsateaduses professor A. Nilsoni poolt soovitatav nn puistu hõreduse ja puistu keskmise diameetri lineaarne seos. Puistu hõredus (L, väljendatuna meetrites) ehk keskmine puude vaheline kaugus arvutatakse ruutjuurena puistus ühe puu kohta tulevast kasvupinnast:

$L = \sqrt{\frac{10000}{N}}$, kus N on puude arv hektaril.

Puistu hõreduse ja puistu keskmise rinnasdiameetri vaheline seos, arvutatuna normaalpuistute (puistud täiusega 1,0) kohta näitab, kui palju antud mõõtmetega (keskmise diameetriga) puid metsa „mahub“. Tegemist on puistu maksimaalse tihedusega, mille juures algab ja toimub metsa intensiivne iseharvenemisprotsess. Puistu hõreduse ja puistu keskmise diameetri seos on erinevate kasvukäigutabelite põhjal arvutatuna tüüpiliselt lineaarne ja sobib seetõttu suurepäraselt metsa kasvu modelleerimisel ning metsandusega seotud tegevuste optimeerimisel, planeerimisel ja erinevate numbriliste soovituste andmisel metsaomanikele-metsakasvatajatele.

Joonistel 11 – 14 on esitatud Tjurini kasvukäigutabelite (Krigul, 1971) põhjal puistu hõreduse ja keskmise rinnasdiameetri seosed erinevate puuliikide korral. Seos on peaaegu lineaarne ning Tjurini tabelite põhjal arvutatuna ühesugune nii Ia, I kui ka II boniteedi kohta. Joonistel esitatavat tuleb vaadelda kui alternatiivset metoodilist näidet algtiheduse, raieringi ning sihtdiameetri planeerimisel. Täiendavat analüüsi vajab arvutuste aluseks võetavate kasvukäigutabelite valik, käesolevas näites lähtuti Tjurini tabelitest kui Eestis tuntuimatest.

Jooniselt 14 näeme, et kui kasvab näiteks 1400 haaba, siis algab sellises metsas intensiivne iseharvenemine, kui puistu keskmine diameeter on jõudnud 16 sentimeetrini, aga puistu, algtihedusega 600 puud/ha, võib kasvada kuni 28 cm diameetrini ilma, et osa puid puudevahelise konkurentsi tõttu välja langeks. Teisisõnu, kui eesmärgiks on harvendusraieid mitte teha ja puit kasutusele võtta lageraie korras, siis kui mets on saavutanud maksimaalse tiheduse ja puude looduslik väljalangemine on alles alanud, on otstarbekas mitte määrata küpsusvanust. Palju täpsema (ökonoomsema) tulemuse saame, kui määrata eraldi igale puistule (istandikule) küpsusdiameeter, sõltuvalt puistu tihedusest. Ilmselt on selliselt määratletavat küpsusdiameetrit õigem nimetada sihtdiameetriks, sest see väljendab igale konkreetsele puistule määratavat eesmärki (sihti), mitte puuliigile tervikuna määratavat puistu küpsuse tunnust. Esitatud põhimõte aitab muuhulgas määrata teisel raieringil loodusliku uuenduse harvendamise kriteeriumid, kusjuures lähenemist (arvutamist) saab alustada raieringi lõpust. Sõltuvalt soovitavast küpsusdiameetrist saab määrata eelneva(te) harvendusraie(te) intensiivsuse. Järgmise sammuna on võimalik arvutada puidust (erinevatest sortimentidest) saadav tulu, lähtudes puistu keskmisest diameetrist ja puude jaotusest diameetriastmetesse. Haava (hübriidhaava) kasvatamisel võib prognoosida kahte olulist sortimenti: lisaks paberipuule peaks tüve esimesest palgist saama (sae-) vineeri- paku hinna. Saepalgi kasvatamine hõredates kultuurides eeldab ilmselt omakorda kunstlikku laasimist 4 meetri kõrguseni, mis tähendab lisategurit ökonoomilistes arvutustes. Arvutused saab omanik teha väga täpselt, lähtudes puiduturu hindadest siis, kui tema istandik on saavutanud esimest korda küpsusdiameetri (antud tihedusele vastava maksimaalse diameetri). Seejuures üheks alternatiivseks otsuseks võib olla, et teha hoopiski harvendusraie ning kogu puistu koristada, kui on saabunud järgmine küpsusdiameetrifaas. Näiteks, kui haavik tihedusega 1400 puud hektaril on saavutanud keskmiseks rinnasdiameetriks 16 sentimeetrit, tehakse harvendusraie, kus tihedus viiakse 800 puuni hektaril ja lageraie toimub pärast 23 cm diameetrini jõudmist.

7. Lisas, tabelis 1 on esitatud Allar Padari poolt arvutisimulatsioonil koostatud erinevate puuliikide puistute mahuküpsused, arvutuste aluseks eesti metsade takseerandmed moodpuistute kohta (andmebaasi pidaja prof. Andres Kiviste). Mudelis on arvestatud tegelikku metsade majandamist, sealhulgas ka harvendusraieid (Henn Korjuse normatiivid).

5. Võimalike energiakultuuride liikide lühiiseloomustused

- **Lepad**

Sanglepa bioloogilised ja ökoloogilised iseärasused

Sanglepp on kiirekasvuline puuliik, võib kasvada kuni 30 (35) m kõrgeks. Paljuneb seemnetega ja kännuvõsudest (tekib algselt põõsas), mõlemad tekkeviisid võivad esineda samas puistus läbisegi, seemnetekkelised on tavaliselt sirgemad ja kannatavad vähem mädanike all. Mädandajaks enamasti ebatuletael (*Phellinus igniarius*). Putukad sangleppa oluliselt ei kahjusta. Talub üleujutusi ja sobib kasvama ka lammimetsades, tüüpiliseks kasvukohaks on lodu. Omamoodi nõudlik liik, eelistab liikuvat põhjavett, lisaks lodu kasvukohatüübile kasvab hästi ka angervaksa, naadi ja sõnajala kasvukohatüübis. Juurestik on pinnalähedane, esineb tormiheidet. Kasvab sümbioosis mügarbakteritega (*Frankia*), rikastab mulda toitainetega ja sobib seetõttu karjääride, jäätmaade ja niiskete luiteliivade (näiteks Luidja rannaliivikul) metsastamiseks.

Sanglepp on valgusenõudlikkuselt lähedane männiga, laasub hästi, on külmakindel. Koos sanglepaga kasvavad saar, kuusk, kask, haab – kõik head liigid. Eesti metsapuude hulgas on ta

levikult 6. kohal, rohkem levinud Eesti ida- ja edelaosas. Kuivenduse tõttu on kasvualad vähenenud, kuivemas jääb teistele puuliikidele konkurentsis alla. Metsakasvatuses on sellele liigile pööratud teenimatult vähe tähelepanu. Kui metsaomanik ei ole kindel, kas kasvukoht sobib sanglepale, siis võib jälgida ümbruskonna metsi, kui seal kasvab või kasvas suuremõõtmelisi eksemplare, siis võib julgelt otsustada ka edaspidi sanglepa kasuks. Puidul on turgu nii täispuidust mööbli kui ka ruumide siseviimistluse jaoks. Kui südamiku puit on mädanikust rikutud, siis sobib see siiski heaks küttepuuks.

Sangleppa sobib kultiveerida vastavalt muldade maatrikstabelile anormaalsete muldade skeemi kesk ja parempoolses osas ning turvasmuldadel (joonised 6 ja 7) ja puuliikide ja mullarühmade seoseid kirjeldava skeemi (joonis 8) parempoolses alumises osas. E. Lõhmuse ordineeritud kasvukohatüüpide skeemi alusel on sobivaimaks lodu ja selle ümbruse kasvukohatüübid (joonis 9).

Halli lepa bioloogilised ja ökoloogilised iseärasused

Muutused, mis said alguse 1990ndatel aastatel Eesti maakasutuses, põllumajanduses, metsamajanduses ja energeetikas on põhjustanud vajaduse pöörata rohkem teadlikku tähelepanu varem metsa ja looduslike heinamaade "umbrohuna" tuntud hallile lepale. Põllumajanduslikust tootmisest on viimasel kümnendil välja jäänud mitusada tuhat hektarit haritavat maad, mida on asunud katma metsapuud ja põõsad. Eriti kiiresti võsastuvad ja metsastuvad niitmata looduslikud heinamaad. Üheks sellistel aladel uuenevaks puuliigiks on hall lepp. Eraomandisse jõudnud metsades on halli lepa osakaal tunduvalt suurem kui seni riigimetsades, üle 10%. Võsastuvate põllumaade arvel võib erametsades prognoosida hall-lepikute osakaalu jätkuvat suurenemist.

Viimasel kümnendil on Eesti metsateaduses hakatud uurima halli lepa kui suure biomassi produktsiooniga, looduslikult uueneva, mulda lämmastikuga rikastava, lühikese raieringiga puuliigi kasvatamise majanduslikke, ökoloogilisi ja ka sotsiaalseid aspekte. Selgitamist vajab halli lepa energeetiline produktiivsus ja raieringi optimaalne pikkus. Oluline on tunda hall-lepikute aineringet, et hinnata mõju mullaviljakusele, huvipakkuv on hall-lepikute puhverdusvõime reostatud aladel ja veekogude ümber. Enne 1990ndaid pole hall-lepikud Eestis tõsist metsateaduslikku, majanduslikku ja ökoloogilist käsitlust leidnud, teada on vaid üksikud eestikeelsed kirjutised. Viimasel kümnel aastal on hall-lepikuid uuritud EMÜ metsakasvatuse töörühma ja TÜ geograafia instituudi koostöös mitme teadusprojekti raames.

Hall lepp (*Alnus incana*) on kiirekasvuline, kuid lühiealine puuliik. Ta kasvab tavaliselt 15–20 meetrit kõrgeks, kuid Eestis on mõõdetud ka 28 meetri kõrguseid ja keskmise palgi jämedusse jõudnud puid. Paljuneb nii seemneliselt kui ka vegetatiivselt juure- ja kännuvõsudest. Enamik vegetatiivse tekkega puudest saab mädaniku emapuudest kaasa, peamiselt on selle põhjustajaks ebatuletael. Puu eluea esimestel aastakümnetel ei ole tüvemädaniku kahjustus valitsevate kasvuklasside puudel olulise ulatusega, tavaliselt mädaniku levik intensiivistub 30–40-aastaselt ja on peamiseks puud hukule viivaks teguriks 50–70-aastaselt.

Hall lepp on tüüpiline pioneerpuuliik ja seda mitte ainult lageraiete, põlendike ja sööti jäänud põllumaade asustajana, vaid kogu Skandinaavias on ta tuntud ka kui jääaja järel vabanenud maismaa ja merest kerkivate alade esmaasustaja ja teistele puuliikidele mulla "valmistaja".

Tartu Ülikooli geograafia instituudi töörühma uurimistulemused näitavad hall-lepikute sobivust biopuhastina saastatud veekogude ja lägaväljade ümber. Kaldaäärsete hall-lepikute puhverdamise efektiivsus on lämmastiku puhul kuni 80% ja fosfori puhul 70–80%.

Peamiseks boreaalsete metsade kasvu limiteerivaks teguriks on mulla lämmastiku sisaldus ja selle kättesaadavus puu juurtele. Kodumaistest puuliikidest seovad lepad ainukesena õhulämmastikku, seda aga mitte otseselt, vaid keerulise sümbioosi kaudu. Osa mulla mikroorganisme on võimelised redutseerima õhulämmastikku ammooniumlämmastikuks. Selline võime on ka kiirikbakteril *Frankia*. Kõige tuntumad *Frankia*ga sümbioosis olevad puuliigid on lepad. Õhulämmastikku seotakse lepa juuremügarates ehk noodulites, mis kujutavad endast kiirikbakteri *Frankia* poolt nakatunud juuri. Seetõttu on hallil lepal lehed kaks korda lämmastikurikkamad kui meie teistel kodumaistel puuliikidel. Puistu aineringes jõuab lämmastik mulda lehevarise kaudu. Leppade lehevaris on väga lämmastikurikas, kuna erinevalt teistest lehtpuuliikidest on lämmastiku retranslokatsioon enne sügisest lehtede varisemist väga väike. Retranslokatsioon tähendab toitainete liikumist enne lehtede varisemist lehtedest puu teistesse osadesse: okstesse, pungadesse, juurtesse. Eestis tehtud mõõtmiste põhjal võib hektar halli lepa võsa aastas rikastada lehevarise kaudu mulda 60–75 kg lämmastikuga. Võrdluseks võib tuua, et metsa kunstlikul väetamisel on 10-aastase kordusperioodi korral soovitatav väetisnorm 100 kg toimeainet hektari kohta. Võib väita, halli lepa võimet rikastada mulda lämmastikuga on populaarteaduslikus kirjanduses ka liialt võimendatud. Mulla lämmastikusisalduse tõusu tänu leppadele võib loota "noortel" muldadel, seal kus eelnev majandamisviis või kasvanud metsakooslus, näiteks leostumist soodustav okaspuumets, on mullaviljakust vähendanud. Põllumaadel, kus on tehtud kunstlikku väetamist ja künnikihina kujundatud viljakas huumushorisont, ei saa loota, et mulla lämmastikusisaldus arvestatavalt tõuseks, sest mulla lämmastikumahutavusel on piirid. Arvestada tuleb ka seda, et lepad ise kasutavad sedasama lämmastikku, mis nende lehtede kaudu on mulda jõudnud.

Nii nagu enamus puuliike on ka hall lepp produktiivsem viljakatel liivsavi- ja saviliivmuldadel, kuid kasvab ka ekstreemsemates tingimustes. Hästi sobivad hallile lepale endised põllumaad, kus viljakas künnikiht tagab leppade kiire ja lopsaka kasvu. Ta on külmakindel. Halli lepa kahjureid ja haigusi on vähe uuritud, sest kes "umbrohu" haigusi ikka uurib. Tehelikult on hall lepp toiduks paljudele putukatele ja seentele. Kuid kuna hallil lepal on võime intensiivselt uueneda ja kiiresti kasvada, siis ei ole metsakasvatajad pööranud erilist tähelepanu ei lepast toituvatele putukatele ja seentele ega inventeerinud ka metslooma kahjustusi. Tegelikult maitseb hall lepp nii põdrale, metskitsele, koprale, kui ka hiirtele.

Huvipakkuv on ka hübriidlepp (*Alnus glutinosa x Alnus incana*), mida peetakse isegi kiirekasvuliseks kui halli leppa ning puitu kvaliteetsemaks ja sanglepa puiduga sarnasemaks. Hübriidleppa on kultiveeritud Eestis vähesel määral, esimesed katsekultuurid rajati 1996. aastal EPMÜ metsakasvatuse instituudis. Rohkem on hübriidlepa kasvatamisega tegeldud Lätis. Hübriidlepa geneetiline tagapõhi vajab täpsemalt selgitamist, sest hübriidlepa nime all taimlatest ostetud istikud ja neist kasvanud puud jagunevad välitunnuste järgi selgelt kahte rühma. Ühed sarnanevad hall-leppadega ja teised sangleppadega. Ilmselt annab siin selge vastuse DNA analüüs. Põhja-Ameerikas on energiametsana proovitud punase lepa (*Alnus rubra*) kasvatamist.

Sangleppa sobib kultiveerida vastavalt muldade maatrikstabelile normaalsete muldade kesk- ja parempoolses osas (joonis 6), anormaalsete muldade skeemi kesk ja parempoolses osas ning turvasmuldadel (joonised 6 ja 7) ja puuliikide ja mullarühmade seoseid kirjeldava skeemi (joonis

8) parempoolses alumises osas. E. Lõhmuse ordineeritud kasvukohatüüpide skeemi alusel on sobivaimaks enamus viljakamaid kasvukohatüüpe (joonis 9).

- **Kased**

Kaske peeti pikka aega majanduslikult väheväärtuslikuks. Suhtumine temasse hakkas muutuma Skandinaavias 80ndate keskel ja Eestis 1980ndate lõpul, siis kui naaberriikide paberitööstuses võeti laialdaselt kasutusele vastav tehnoloogia ja Eestis tekkis turumajanduslik huvi paberipuu (peenemõõdulise puidu) ekspordi vastu. Samal ajal asuti ka näiteks Soomes mahajäetud põllumaade metsastamiseks istutama kaske ja arenes kiiresti kase selektsioon ning seemnekasvatus. Eesti metsateadusel on olemas Olev Henno pikaajalised uurimused kase bioloogiliste omaduste, kaasikute majandamise, hooldusraiete ja laasumise kohta. Kasepuidu tehnilisi omadusi on uurinud Aino Kasesalu.

Kase kasvatamisel energiakultuurina on produktsiooni uuringutes oluline arvutada kuivaine produktsiooni, mitte metsanduses tavapäraselt kasutatavat puidu mahulist juurdekasvu, sest kasepuidu erikaal on haavast ja hallist lepast ca 1, 5 korda suurem.

Kase bioloogilised ja ökoloogilised iseärasused

Eestis kasvab kaks puukujulist kaseliiki: arukask ja sookask, ning nende hübriidid. Kaks liiki erinevad kromosoomide arvult, arukasel on 28 kromosoomi, sookasel on neid 56, hübriididel vahepealsed arvud.

Metsakasvatuse käsiraamatute tüüpiliseks soovituseks on hooldada ainult arukaasikuid ja mõlema liigi koosesinemisel sookased välja raiuda. Vanemates kui umbes 20-aastastes puistutes ei ole soovitusel jätta hooldusraietel alles arukased ja raiuda välja sookased sisu, sest loodus valib ise sellele kasvukohale parima, see on kiirekasvulisema. Kuivendatud kasvukohtadel võib sookask kui pisut varjutaluvam, jääda keskealises puistus II rindesse. Arukaske tuleb eelistada noorendiku hooldusel, sest siis pole looduslik konkurents veel mõju avaldanud ja seemnest tekkinud arukased võivad esimestel aastatel jääda vegetatiivselt uuenenud sookaskedele alla. Eriti oluline arukaskede eelistamisel on noorendiku hooldus ja ka esimene harvendamine kuivendatud turvasmuldadel. Kuivendatud kasvukohtadel on oht, et uuenemine toimub valdavalt sookasega, sest seemet andvaid arukaski ei pruugi ümbruses olla ja seetõttu tuleks kaaluda sellistel raiestikel arukase istutamist ning rajatud kultuuride hooldamist. Kui üldjuhul ei lase kased okaspuudel endast üle kasvada, siis kuivendatud soodes võivad nii kuused kui ka männid sookaskedest edukalt mööda kasvada.

Arukase puidu tehnilised omadused (survetugevus, tihedus) on paremad kui sookasel. Kui üldiselt peetakse õigeks kasvatada seemnetekkelisi kaski, siis kännust tekkinud puude puidu tekstuuri peetakse mööbli jaoks kaunimaks. Tormi mõjul kased ei murdu kergelt, kuid tihedate puistute tugeval harvendamisel tekib suur lumevaalumise oht.

Kased annavad intensiivselt looduslikku uuendust. Seemneliselt paljunevad mõlemad hästi, eriti arukask. Väikesed tiivulised seemned valmivad suve teisel poolel, neid on palju ja nad lendavad kaugele. Sookaasikud on valdavalt võsutekkelised (kännuvõsudest). Arukaasikud on valdavalt seemnetekkelised, kuigi noorelt (kuni 30 aastat) annab ka arukask kännuvõsu.

Arukask ja sookask on pioneerpuuliigid nii raiesmikel kui põlendikel ning ka mahajäetud karjäärides. Noorendike hooldamisel tuleks eelistada seemnetekkelisi puid, kännust tekkinud põõsaid tuleb harvendada; kui põõsal on üle 6 haru, võib esimesel hooldusel alles jätta 3 ja järgmine kord ühe tüve.

Eestis on ülekaalus looduslikud kaasikud. Kultiveerimist alustati 60ndatel aastatel põlevkivikarjääridesse ja kuivendatud soodesse. 1972. aastal ületas kultuuride rajamise maht 200 ha aastas, 1979. aastal 1243 ha, 1991. aastal ainult 52 ha. Tegemist on peamiselt külvikultuuridega, kus ilmselt on suur osakaal ka looduslikul uuendusel.

Kased on valgusnõudlikud, kasvavad peamiselt I rindes. Võimalus kasvatada kase püsimetsa või elujõulist kaske teiste puuliikide varjus ei ole reaalne. Kased on külmakindlad, nad ei vaja turvet, vaid võivad olla ise turbeks näiteks noortele kuuskedele.

Kased on kiirekasvulised, eriti noores eas. Sobival kasvukohal nad teistele kasvus alla ei jää. Juurestik on tugev, keskmise sügavusega. Lageraietel võib jätta kasvama seemnepuid, soovitavalt arukasel. Sookaasikus on tormiheite oht, kuna juurestik on pindmine.

Põder sööb ja murrab noori kaski, kuid noorendiku suure tiheduse korral ei hävita kogu puistut. Andmed põdrakahjustuste kohta meie kaasikutes on puudulikud, kuna metsa seire oli algselt suunatud ainult okaspuudele.

Põllumaade metsastamisel on kased sobivaks puuliigiks, nad kannatavad juure- ja tüvemädanike all vähem kui kuused ning ei kasva jämeokslikuks nagu männid.

Kaaspuuliigiks kaasiku II rindesse sobib kuusk, eriti viljakatel, näiteks naadi, jänesekapsa, sinilille kasvukohatüübis. Kuusk kasutab valguse, mis kasest üle jääb; kuuse ja kase juured asuvad mullas eri sügavustel. Kuuske ja kaske kahjustavad juurepessu erinevad vormid. Kuusk aitab kaasa kase looduslikule laasumisele. Olev Henno mõõtmisandmete ja analüüsi põhjal soodustab kuuse osalus puistus kase kõrguskasvu liikidevahelise konkurentsi kaudu ja alates 25–30 aastast on segametsas kased kõrgemad kui puhtkaasikus. Samuti tagab kuuse teine rinne kaskede parema laasumise. Kaasiku edukaks looduslikuks laasumiseks peab puistu olema parajalt tihe. Ib boniteedis kulub 10-meetrise tüve laasumiseks 27 aastat, III boniteedis 62 aastat. Kui kaske kunstlikult laasida, siis soovitatakse seda teha kevadel pärast mahlajooksu lõppemist. Samas on enamiku puidumädanike levik suvel soodsam kui talvel. Elusate okste lõikamisel võivad levida nii mädanikud kui tekkida ka puidu värvumine (riknemine). On soovitusi jätta elusatel okstel alles 10 cm pikkune tüügas ja see järgmine kord kuivanuna kõrvaldada, sellised katsed põhjamaades ei oma aga pikka ajalugu, tulemused on esialgsed.

Tavaliselt on looduslikes kaasikutes seguliigiks sanglepp, haab ja kuusk. Haab on laiuva võraga ja vähendab seetõttu kogu puistu tagavara juurdekasvu; kui haavad jätta koosseisu, siis parem grupiti. Haabade väljaraiumist õigustab ka erinevus puidu hinnas, kasepuit on kallim.

Aruannet koostanud töörühm leidis üldistusena, et sookase kultiveerimist endistel põllumaadel ei ole õige soovitada. Lähtuti kahest tegurist: põllumaad on üldjuhul kuivendatud ja kui on tegemist pool-liigniiskete aladega, siis pigem kultiveerida sangleppa.

Arukaske sobib kultiveerida vastavalt muldade maatrikstabelile normaalsete muldade skeemi keskmises ja ülemises osas (joonis 6), anormaalsete muldade skeemi kesk- ja alumises osas ning turvasmuldadel alumises osas (joonised 6 ja 7). Puuliikide ja mullarühmade seoseid

kirjeldaval skeemil (joonis 8) on arukase sobivaim piirkond skeemi keskosa, see on viljakaimad mulla. E. Lõhmuse ordineeritud kasvukohatüüpide skeemi alusel on sobivaimaks keskosa ja selle ümbruse kasvukohatüübid (joonis 9).

- **Haavad**

Haaba on metsakasvatuses peetud väheväärtuslikuks puuliigiks. Kuigi haavapuidul on mitmeid väärtuslikke kasutusvaldkondi, on see suuremas mahus kasutust leidnud vaid küttepuuna. Seetõttu leidub puistuid, kus haab on teadlikult jäetud peapuuliigiks, väga vähe, kuid kiirekasvulise ja konkurentsivõimelise puuna annab ta seguliigina märkimisväärse osa lõppraietel saadavast puidust. Haavaenamusega puistuid on vähe, umbes 50 000 ha, see on 2,5% meie metsade pindalast, kuid kasvades seguliigina on haavapuidu osakaal lõppraietel tunduvalt suurem. Viimastel aastatel on haab tõusnud populaarsete puude hulka eelkõige kahel põhjusel. Muutused paberitootmise tehnoloogias on teinud võimalikuks toota haavapuidust kvaliteetpaberit. Metsade bioloogilise mitmekesisuse väärtustamisel on hakatud hindama vanu ja jämedaid haavaeksemplare elupaikadena mitmetele väheesinevatele putukatele ja haava koorel elavatele organismidele.

Hariliku haava bioloogilised ja ökoloogilised iseärasused

Kiirekasvulise puuliigina ei jää haab sobival kasvukohal teistele puuliikidele kasvus alla, seega puudub vajadus hooldusraietega haabadele kasvuruumi teiste arvel juurde anda. Valgusenõudliku puuliigina kasvab haab alati esimeses rindes ja laasub suhteliselt hästi. On teada üksikuid laasimise katseid. Kirjanduses leidub vastakaid väiteid, kas okste eemaldamine suurendab või vähendab tüvemädanikku nakatumise riski. Haava lehed "värisevad" (lehed liiguvad väiksemagi tuule korral tänu pikale leherootsule), see on kohastumus kogu võra piires parema valgustatuse tagamiseks.

Haab on toiduks fauna paljudele erinevatele esindajatele. Ulukikahjustuse vähendamiseks peavad haavanoorendikud olema tihedad. Tüvepuitu mädandavate seente negatiivse mõju vähendamiseks tuleb puistuid hoida alates 20. aastast hõredamana, et tüvede diameetri juurdekasv oleks suurem kui mädaniku (tubaknahkiseliste sugukonda kuuluv haavataelik) leviku kiirus. Tumenenud haavapuit ei tähenda alati mädaniku levikut, vaid võib olla värvunud okste lagunemisel tekkivate humiinhapete sisseuhte tagajärjel tüvesse, küll aga on selline keskkond soodne mütseeli arenguks.

Haaba iseloomustab bioloogiliste vormide rohkus, seda nii genotüübilt kui fenotüübilt. Eristatakse triploidset ja diploidset haaba. Triploidset peetakse metsakasvatuslikult paremaks, kuna kasvab kiiremini ja on mädanikule vastupidavam kui diploidne. Koore värvi järgi peetakse rohelisekoorelist vormi paremaks, sirgetüvelisemaks ja kiirekasvulisemaks. Samas on näidanud täpsemad uurimused, et haabade koore värv varieerub vähe. Võib anda järgmise seletuse: puu, mis on teistest suurem (valitsev), on rohkem valguse käes ja klorofüllisisaldus koores on suurem ning seetõttu on ta ka rohelisem. Samuti võib seletada ka tähelepanekuid puistu harvendamisele reageerimise osas – väidetakse, et rohelisekoorelised reageerivad rohkem, kuigi õigem on öelda nii – need, kes reageerisid intensiivsemalt, muutuvad ka rohelisemaks. Väidetakse, et isashaavad on tervemad ja kiirema kasvuga. Kui see on nii – siis miks ei ole emaspuud looduslikus konkurentsis, fülogeneesi jooksul kadunud? Vara- ja hiljapuhkevad haavad ilmselt

oma metsanduslikelt omadustelt ei erine. Puhkemisaeg on suure varieeruvusega tunnus, mille abil on hea eristada kevadel erinevate puude järglasi (kloone) looduses. Haavad kasvavad kloonidena. Samasse klooni kuuluvate puude rühma suurus võib olla alates paarist puust kuni mitme tuhande ruutmeetriste aladeni. Näiteks analüüsiti 1997/98. a talvel Järvselja kv. 243 asuva kuulsa Haavametsa haaviku genotüüpi ja leiti, et puistu kõige produktiivsema osa kõik puud kuuluvad ühte klooni.

Haab paljuneb juurevõsudega, puud on juurte kaudu ühenduses ja reageerivad puistu harvendamisele kiiresti. Väljaraiutud puude juured hakkavad teenindama allesjäänuid. Kännud elavad edasi ja kasvavad isegi jämedamaks! Haab on koos männiga parimaid harvendamisele reageerivaid puuliike. Haab on külmakindel, ainult noored juurevõsud, mis on tihti esimesel aastal 1–2 m pikad, ei jõua alati puituda ja nende otsad võivad külmuda.

Haaba tasub kasvatada naadi (14% kogu kasvukoha puistutest), sinilille, jänesekapsa, sõnajala ja angervaksa kasvukohatüübis – seega värsketel või niisketel viljakatel saviliiv- ja liivsavimuldadel. Metsanduse praktikute kogemuste põhjal on märgitud, et vähem mädad on niiskes, jõe lammidel kasvavad puud ja künkal kasvavad puud on rohkem mädad.

Hübriidhaab

Hübriidhaava istandike rajamine algas Eestis suuremas mahus 1999. aasta kevadel. Tugineti eelkõige Soome ja Rootsi kogemustele, kus hübriidhaava kui kiirekasvulise lehtpuu vastu hakati huvi tundma juba 1950ndatel aastatel. Hübriidhaab (*Populus x wettsteinii* Hämet-Ahti) on hariliku (*Populus tremula* L.) ja ameerika haava (*Populus tremuloides* Michx) ristand. Esimesed teated nende liikidega tehtud ristamiskatsetest pärinevad 1920ndatest aastatest Saksamaalt. Hiljem on hübriidhaava kasvatamise võimalusi uuritud paljudes Euroopa riikides ning USAs ja Kanadas. Lõuna-Euroopas rajatakse tänapäeval istandikke papli perekonna (*Populus*) teiste liikide hübriididest, mille kasvatamiseks aga Eesti kliima on liiga karm. Hübriidhaava vastu tuntakse jätkuvalt huvi Skandinaavias, Baltikumis ja Põhja-Ameerikas. Alates 1. juulist 2004 kuulub hübriidhaab keskkonnaministri poolt kinnitatud Eestis metsapuudena kasvatada lubatud võõrpuuliikide nimekirja. 2004. aasta sügiseks oli Eestis hübriidhaaba kultiveeritud peaaegu 700-le hektarile.

Eesti tingimustes on hübriidhaava kasvatamise peamiseks eesmärgiks saada toormaterjali tselluloosi- ja paberitööstusele. Lõunapoolsetes riikides on katsetatud ka hübriidhaava kasvatamist energiapuidu saamiseks. Võrreldes teiste paberipuidu tootmiseks sobivate puuliikidega, on hübriidhaaval mitmeid eeliseid.

Esiteks ületab ta kasvunäitajate poolest oma lähtevanemaid – harilikku ja ameerika haaba. Kiire kasvu tõttu võib prognoosida hübriidhaava optimaalseks raieringiks 25–30 aastat, mis on Eestis võrreldav ainult halli lepaga. Seejuures peetakse haavapuitu paberi tootmise seisukohast paremaks. Lühikesed õhukeste seintega haava puidukiud on oma mehhaaniliste omaduste poolest sobivad eliitpaberi tootmiseks. Haava puidukiudusid kasutatakse paberivalmistamisel ka segus okaspuu puidukiududega. Haavapuidust toodetud tselluloosi kasutab toormaterjalina näiteks Soome Kirkniemi paberitehase kõige moodsam paberimasin ning 2004. aastal algas haavapuidule orienteeritud tselluloositehase rajamine ka Eestis (Kundasse). Kuigi rakendatav tehnoloogia võimaldab kasutada ka osaliselt tüvemädaniku poolt kahjustatud puitu, on just tüvemädanik see, mis siiani on muutnud hariliku haava kasvatamise paberipuidu saamise eesmärgil majanduslikult vähetulusaks.

Hübriidhaava teiseks oluliseks eeliseks peetaksegi haiguskindlust, mis on samuti seotud kiire kasvuga. Hübriidhaab saab raieküpseks enne kui toimub intensiivne nakatumine mädanikku tekitavate seentega. Hübriidhaaba peetakse kirjandusandmeil ka paremini laasuvaks ja sirgetüvelisemaks kui harilikku haaba. Seega on tõenäoline, et raieküpsuse saabudes võib jämedamatest puudest saada muuhulgas kvaliteetset saepalki.

Hübriidhaaba on Eestis siiani teadaolevalt istutatud ainult endistele põllumaadele. Hübriidhaabade senine kasv on rajatud istandikes olnud väga suure varieeruvusega ja tundub, et hübriidhaava näol on tegemist kasvutingimuste suhtes küllaltki nõudliku puuga. Võib arvata, et eespool loetletud positiivsed omadused ilmnevadki ainult optimaalsetes kasvutingimustes ning samuti õige geneetilise materjali (klooni) valiku korral.

Hübriidhaava kasvatamisega seostatakse mitmeid keskkonnariske. Kõige olulisemaks peetakse ohtu meil looduslikult kasvava hariliku haava genofondile. Põhjuseks on asjaolu, et perekonda *Populus* kuuluvatele liikidele (paplid ja haavad) on omane hübridiseerumine. Kardetakse, et kui istandike pindala suureneb, tõuseb ka tõenäosus hübriidhaava ja hariliku haava ristumiseks. Samas on teada, et haavapuude paljunemine õietolmu abil on suhteliselt vähelevinud. Enamasti paljunevad haavad vegetatiivselt juurevõsude abil. Teiste riikide kogemus näitab, et juurevõsude levikut väljapoole istandikku on lihtne kontrollida. Siiski on näiteks Soomes täheldatud ka hübriidhaabade õitsemist. Esimese põlvkonna hübriidide omavahelisel või lähtevanematega tolmeldamisel on saadud elujõulisi taimi, kuid neil puudub hübriidile iseloomulik kiire kasv ning on leitud, et nad on loodusliku konkurentsi tingimustes väga nõrgad. Teoreetiliselt ei saa seega hübriidhaava ja hariliku haava ristumist välistada kuid on vähetõenäoline, et see suudaks mõjutada loodusliku haava genofondi.
Teise ohuna tuuakse asjaolu, et kuna hübriidi üks lähteliik on meie jaoks võõrliik (ameerika haab), siis võib hübriidhaava kasvatamine tuua kaasa seni vähetähtsate või päris uute kahjuriliikide (peamiselt seente ja putukate) ilmnemise. Siiani ei ole see kartus Eestis teadaolevalt kinnitust leidnud, kuid seda ei ole ka eriti põhjalikult uuritud ning ei saa unustada, et praegu on vanimad istandikud alles kuueaastased. Enamasti on kloonide arv, kuhu ühe kultuuri rajamisel kasutatavad taimed kuuluvad, väike. Seega on istandikud geneetiliselt suhteliselt vähe varieeruvad. Sellised monokultuurid võivad saada mitmete seenhaiguste masspaljunemise kolleteks. Puude suhtes kahjulike organismide levikut põllumaal soodustavad seal valitsevad ühtlased mullatingimused ning metsaökosüsteemis esinevate looduslike vaenlaste puudumine. Samas näitavad mitmete maade uurimused, et võib leida mitmete, isegi kümnete, hektarite suuruseid looduslikke haavikuid ja paplimetsi, kus kõik puud kuuluvad ühte klooni ning ulatuslikke seenhaiguste ning putukkahjurite kahjustusi ei esine.
Lisaks peab arvestama, et puude mõõtmete suurenedes muutuvad sirgetest puuridadest koosnevad istandikud silmatorkavaks maastikuelemendiks. Esteetiliselt võivad sellised korrapärased kujundid meie looduses mõjuda üsna harjumatult.

Kuna Eesti metsanduse jaoks on tegemist uudse lehtpuuga, siis on EMÜ metsandusteaduskonnas alustatud teadusliku uurimistööga selgitamaks hübriidhaava kasvatamise sobivust meie tingimustes. Keskkonnainvesteeringute Keskuse, ning Põllumajandusministeeriumi ja Eesti Teadusfondi grandi nr 6064 toetusel on rajatud 58st katsealast koosnev, kogu Eestit kattev võrgustik. Lisaks puude mõõtmisele on kõigil katsealadel teostatud detailne mullaanalüüs, et määrata mulla toiteelementide varud ning füüsikalised omadused.

Uurimuse tulemused näitavad hübriidhaava suurt biomassi produktsiooni potentsiaali, mis võib avalduda ideaalsetes tingimustes. Kuueaastases istandikus on suurima puu kõrguseks mõõdetud 9,5 m ja rinnasdiameetriks 8,5 cm. Paraku ei ole kiire kasv kõigis istandikes

realiseerunud. Uuritud kahekümne neljas viieaastastes haavakultuuris jääb puude keskmine kõrgus vahemikku 1,1–4,7 m (keskmine 2,7 m). Keskmine rinnasdiameeter on 1,7 cm (parimates istandikes ligi 4 cm) ja keskmine viimase aasta ladvakasv 0,7 m (parimates istandikes 1,0–1,4 m). Suure erinevuse põhjuseid tuleb otsida eelkõige mullatingimustest. Tehtud analüüsid näitavad, et noores eas mõjutavad puude kasvu kõige rohkem mulla lõimis ja veerežiim. Parem on kasv olnud deluviaalmuldadel ning gleistumistunnustega kahkjatel ja leetunud muldadel, sobimatuks on osutunud põuakartlikud ja väikese aktiivvee mahutavusega rähkmullad ja leostunud mullad ning liigniisked gleimullad. Sarnaselt Soomes saadud tulemustele on hübriidhaab siingi väga hästi kasvanud reljeefi nõlvaosadel. Mulla toitainete sisaldus ei ole puude kasvule noores eas olulist mõju avaldanud, kuid muutub kindlasti määravamaks vanemas eas.

Istandike rajamisel on meil maapinna ettevalmistamiseks kasutatud 3 meetrise vahega vagude kündmist, mõnikord on tehtud täiskünd. Puud istutatakse enamasti vao põhja. Soovituslik istutustihedus on 1000–1400 taime hektarile. Istutusmaterjalina kasutatakse mikropaljundatud taimi, mida toodetakse ka Eestis. Noorte puude kaitsmiseks hiirte ja jäneste eest soovitatakse kindlasti kasutada tüve ümber paigaldatavaid looduses aja jooksul lagunevaid plastmassist kaitsetorusid- ja võrke. Viimased on küll kallid, kuid just loomade poolt tekitatud vigastused on noorte taimede hukkumise peamiseks põhjuseks. Metskitsede ja põtrade eest kaitsmiseks võib kaaluda kultuuri tarastamist. Põtrade eemalhoidmiseks on kasutatud lõhnatara, mis kujutab endast poste, millele on kinnitatud repellendiga immutatud käsnad. Kulukate kaitserajatiste püstitamise asemel võib planeerida ka lihtsalt natuke suurema istutustiheduse, mis kompenseerib metsloomade poolt tehtava kahju. Puude keskmine säilivus on viieaastastes istandikes umbes 80%, see tähendab, et kasvama on jäänud 1000–1200 puud hektari kohta. Hariliku haava kasvukäigu tabelite põhjal võib väita, et sellise tiheduse juures algab puistu iseharvenemise protsess siis, kui keskmine rinnasdiameeter on jõudnud 20 cm-ni. Tavametsas tuleks sellisel juhul teha harvendusraie. Lühikese raieringiga majandamisel on see aga õige aeg lageraieks, et saada maksimaalne puidukogus. Kuigi hübriidhaava istandiku rajamine on üsna kulukas, tuleb arvestada, et pärast lageraiet kasvab järgmine põlvkond juurevõsudest ja täiendavaid kulutusi ei ole vaja teha.

Kokkuvõtteks võib tõdeda, et hübriidhaava istandike rajamise näol on tegemist Eesti metsanduse jaoks uudse ja perspektiivika alaga. Kuigi kõikides senini rajatud istandikes pole esialgu soovitud tulemusi saavutatud, peaks olemasolevate kultuuride uurimise põhjal saadav informatsioon aitama tehtud vigade vältimist tulevikus. Eelkõige puudutab see kasvukoha ja istutusmaterjali valikut. Tuleb jätkata võimalikku keskkonnaohtu puudutavate küsimuste selgitamist. Kundasse rajatav tselluloositehas kindlustab hübriidhaavapuidu nõudluse ja soodsa hinna tulevikus.

Harilikku haaba ja hübriidhaaba sobib kultiveerida vastavalt muldade maatrikstabelile normaalsete muldade skeemi keskmises osas (joonis 6). Puuliikide ja mullarühmade seoseid kirjeldaval skeemil (joonis 8) on haabadele sobivaim piirkond skeemi keskosa, see on viljakaimad mulla. E. Lõhmuse ordineeritud kasvukohatüüpide skeemi alusel on sobivaimaks keskosa ja parempoolne osa, see viljakad ja niisked kasvukohatüübid (joonis 9).

- **Pajud**

Uuringuid pajude kasutamisest energiavõsana alustati Rootsis 1976. aastal. Pajud eelistavad niiskeid kasvukohti, intensiivne biomassi produktsioon tähendab ka intensiivset transpiratsiooni. Pajuliikidest sobivad energiavõsaks kõige enam vits- ehk korvipaju ja pikalehine paju. Nende liikide osas on aretustöö jõudnud kloonideni. Istandused rajatakse pistokstest. Pärast esimest kasvuaastat lõigatakse võrsed maha, nii saab enam hargnenud põõsa. 3 – 7 aasta pärast on maapealne osa lõikusküps. Koristatakse kogu maapealne osa ja tsükkel kordub, istandust võib korduvalt lõigata ca 30 aasta jooksul.

Pajuistandiku kasvukohaks sobivad nii endised karjamaad kui ka viljapõllud. Oluline on võitlus umbrohtudega, likvideerida tuleb mitmeaastased, risoomidega paljunevad umbrohud. Kõige paremini sobivad niisked mullad, ka turvas mullad. Seega asub pajuistandikele sobiv ökoloogiline piirkond nii muldade maatrikstabelis kui ka E. Lõhmuse skeemil võrreldes teiste lehtpuuliikidega niiskemate ja turvasmuldade suunas.

Istandiku rajamise esimeseks etapiks on keemiline umbrohutõrje, näiteks „Roundup" tõrjevahendiga. Selgitada tuleb kasvukoha väetistarve ja lupjamistarve. Herbitsiididega pritsitakse põldu peale istutamist. Tehakse ka umbrohtude mehhaanilist tõrjet. Vajalikuks võib osutuda kastmine. Teisel kasvuaastal tuleb juba alustada väetamisega. Igal lõikusjärgsel aastal antakse P- ja K-väetisi. N-väetisi antakse sõltuvalt sellest kui palju vabaneb lämmastikku turvasmuldadel.

Pajude suurimaks seenkahjustajaks on pigirooste ja mõned teised lehe ja tüve patogeenid. Probleeme on putukkahjuritega, seega pajuenergiavõsa kasvatamise probleemid on väga lähedased põllumajanduslike monokultuuridega. Kahjustajaks on ka põdrad, metskitsed ja hiired ning esineb hilis- ja varakülmakahjustusi.

Pajuistandike biomassi produktsiooniks saavutatakse alates teisest kasvutsüklist 12 – 15 tonni kuivainet hektari kohta.

Lähteülesanne 2. Analüüsida energiakulutuuride viljelemiseks vajaminevat tehnikat ja agrotehnoloogia olemasolu ning täiendavat vajadust või olemasoleva kohendamisvajadust potentsiaalset tootmismahtu silmas pidades

Energiametsa kasvatamisel tuleks võimalikult palju kasutada olemasolevat, metsanduses ja põllumajanduses kasutatavat tehnikat.

Lehtpuukultuurid nii raiesmikele kui ka põllumaale istutatakse valdavalt käsitsi labida, istutuskiilu või istutustorude abil.

Arvestades, et halli lepa raievanus (mahuküpsus) on 15–20 a., kasel 20–40 aastat, hübriidhaaval 20-30 aastata. Hall-lepiku keskmine diameeter 14. a vanuses on ca 8 cm (maksimum 15 cm), 11- aastases arukaasikus keskmine diameeter ca 5 cm, maksimum 12 cm. Seega lähtudes puude mõõtmetest sobivad hästi tavametsanduses kasutatavad masinad.

Raie võib toimuda kas käsitsi raiena (mootorsaagidega) või masinraiega (harvester). Eestis on viimase viie aasta jooksul oluliselt suurenenud masinraiete osakaal ja vastavalt langenud saemeeste osa. Arvestades viimastel aastatel toimunud raiemahu vähenemist on harvestere Eestis piisavalt. Peenema metsa puhul pannakse harvesterile spetsiaalne lõikepea, mis võimaldab masinal langetada terve kimbu peenikesi puid. Kokkuvedu toimub kas forvarderitega või mõne muu kokkuveotraktoriga, ka neid on Eestis piisavalt.

Pärast raietööd on vaja tüved (ükskõik kas okstega või ilma) hakkida. Hakkurid on muutunud meil tavalisteks, päris palju hakitakse võsa, raiejäätmeid, saetööstuse jääke. Näiteks Tartus töötavad kaks katlamaja hakkel. Kui energiametsade osatähtsus suureneb, siis tõenäoliselt peaks suurenema ka mobiilsete hakkurite arv. Tõenäoliselt nende osas võib tekkida lisavajadus.

Energiakultuuridest saadava biomassi logistika osas peaks veokite ressurss olema piisav.

Praegu puudub aga Eestis tehnika paju ja teiste puuliikide ülilühikese raieringiga energiavõsade istutamiseks ja biomassi koristamiseks. Vastavad istutus- ja koristusmasinad on kallid ja vajavad esialgu, kui tootmismahud on väikesed, riiklikku toetust.

Näide paju energiavõsa koristuskombaini kohta: CLAAS firma Jaguar seeria koristuskombain Claas SRC. Hind aastal 2001 ca 2 miljonit rootsi krooni, see on ca 3-4 milj. Eesti krooni. Produktiivsus: 400 m3 haket päevas, nädalas 11-12 tunnise tööpäeva korral 8600 m3 haket, aastas (novembrist veebruarini) kuni 65 000 m3 haket.

Lähteülesanne 3. Analüüsida ja kirjeldada eri energiakultuuride viljelemise mõju mulla viljakusomadustele

- Puidu koostiselementideks on peamiselt süsinik, hapnik ja vesinik. Puidu toiteelementide sisaldus on võrreldes rohtsete taimede varte või seemnetega tunduvalt madalam. Puidu tuhasisaldus on keskmiselt pool kuni paar protsenti, taimsel materjalil aga 5-10%. Seetõttu on puidu kasvukohalt äraviimisega kaasnev võimalik mullaviljakuse langus ning tekkiv väetamistarve tunduvalt väiksem kui rohtsete taimede kasvatamise. Eeltoodus kajastub peamine puittaimede energiakultuurina kasvatamise eelis võrreldes rohtsete taimedega.

- Eestis kasvavate erinevate puistute üldistatud produktsiooni isojooned on esitatud joonisel 5. Prognoositav mullaviljakus, üldistatuna nii metsa puiduproduktsiooni kui ka põllukultuuride saagikuse suhtes on kattuv. E. Lõhmuse ordineeritud metsakasvukohatüüpide skeemil (joonised 1 ja 2) jäävad viljakaimad mullad samuti skeemi keskele (jänesekapsa kkt) ja paremale keskele (sinilille, naadi, angervaksa, sõnajala kkt).

- Eesti Maaülikooli metsakasvatuse töörühmas viimastel aastatel tehtud uuringud (viited) metsaökosüsteemi kujunemisest endistel põllumaadel ning noorte lehtpuupuistute produktsioonist ja aineringest võimaldavad väita, et kase, lepa ja haava kultuuride rajamisel põllumaade viljakus ei vähene vaid omastatavas vormis toiteelementide (NPK) varud võivad isegi suureneda. Ka ei vähenda korduvad mõõduka pikkusega raieringid mullaviljakust enamusel metsakasvukohatüüpidel, piiranguid tuleks rakendada vaid looaladel ja õhukestel muldadel. Mulda lämmastikuga rikastavad lepakultuurid ei põhjusta samas lämmastiku leostumist mullavette. Esialgsed uuringud ei näita ka noortest kase- ja lepakultuuridest arvestatavas mahus kasvuhoonegaaside emissiooni.

- Intensiivsete maaviljelusmeetodite (keemiline umbrohutõrje, pestitsiidid ja väetamine) rakendamine on vajalik pajuenergiavõsa, aga ilmselt ka teiste puuliikide korral juhul, kui raieringiks planeeritakse 3–5 (kuni 10) aastat. Samas on ülilühikese raieringi korral vegetatiivselt uuenemisvõimelised (jääb ära korduv rajamiskulu) kõik kõnealused lehtpuuliigid.

- Kõigi puidupõhiste energiakultuuride koristusraie peaks toimuma ilma lehtedeta perioodil (sügisest kevadeni), et ei toimuks lehtedesse talletatud toitainete ärakannet. Koristusraiet võib alustada sügisel, kui lehed on kolletunud, näiteks kase puhul on kolletunud lehtedes alles 1/3 rohelise lehe lämmastikust ja ¼ fosforist.

- Toiteelementide tagasikannet kasvukohale saab tagada tuha kasvukohale tagasitoomise teel. Taoline mullaviljakuse langust pehmendav toime on eel kõige oluline K ja Ca varude taastamisel. Fosfori varusid tuha abil taastada ei saa, samas on nii leppade, kaskede kui ka haabade puhul täheldatud just fosfori olulisust biomassi produktsiooni mõjutamisel. Seega võib teatud tõenäosusega prognoosida raieringi lühemate variantide (alla 25 aastat) korral P-väetist kasutamise vajadust. Puutuhaga väetamise eesmärkidest annab ülevaate lisas olev tabel 2 (koostanud M. Mandre)

- Täiendavat väetamist on vaja eelkõige intensiivselt majandatavate ülilühikese raieringiga energiavõsade korral, näiteks paju energiavõsa korral NPK kompleksväetiste kasutamine.

- Hübriidhaava istandike teisel või kolmandal koristusringil võib kirjanduse andmetel vajalikuks osutada fosfor ja lämmastikväetiste kasutamine.

- Kirjanduse andmetel on toitainete ärakanne kasvukohalt järgmises suurusjärgus:

  Lepad: Näide: Hall-lepiku (13-aastane) maapealses puitunud osas (tüved+oksad) on akumuleerunud 297 kg N ha, 22,53 kg P ha ja 56,2 kg K ha. See läheb lehtedeta koristusajal tüvede ja okstega minema. Samas on mullas ülemises 20 cm tüseduses kihis üldlämmastiku varu 2640 kg/ha.

  Kased: Arukaasik (11-aastane) oli maapealses puitunud osas (tüved+oksad) akumuleerunud 104 kg N ha, 15 kg P ha ja 23 kg K ha. Lämmastiku akumulatsioon maapealsesse puitunud biomassi (tüvi, oksad) noortes (8-aastased arukaasikud endisel põllumaal) varieerus 20-89 kg ha^{-1} , sõltuvalt kasvukohast (Uri et al., 2007a;b).

- Mõlemad, nii lepad, kui kased on tuntud mullaviljakust parandavate puuliikidena. Lepad on tänu oma sümbiontsele lämmastikusidumisele võimelised tooma taim-muld süsteemi lisalämmastikku ja sellest tulenevalt on leppade kasvatamisel mõju mullaviljakusele suurem, kui teiste puuliikide puhul. Aastane seotud õhulämmastiku kogus võib olla väga varieeruv, sõltudes kasvukohast, puude vanusest, puistu tihedusest, jne. Üldreeglina väheneb sidumise intensiivsus vanemates puistutes ja mulla lämmastikusisalduse suurenemisel. Seega katab viljakal kasvukohal suurema osa leppade aastasest lämmastikuvajadusest mullas leiduv mineraalne lämmastik, selle defitsiidi korral aga seotakse puudujääv osa õhust juurde. Leppade lämmastikusidumisvõime kohta võib kirjandusest leida väga erinevaid andmeid, alates 2-st kuni 300 kg ha^{-1} a^{-1} (Tarrand & Trappe, 1971). Eestis on hinnatud aastast seotud lämmastiku hulka 20- ja 40-aastastes kaldaäärsetes hall-lepikus vastavalt 185 ja 28 kg ha^{-1} (Lõhmus *et al.,* 2002) ja noores põllumaa hall-lepikus ligikaudu 60 kg ha^{-1} (Uri *et al.,* 2003). Mulda jõuab lämmastik peamiselt lehevarise kaudu, mis on reeglina väga lämmastikurikas. Leppadel on sügisene lämmastiku retranslokatsioon (toitainete ümberpaigutamine lehtedest puu teistesse osadesse) aga tagasihoidlik ja seetõttu jääb varisevatesse lehtedesse palju lämmastikku. Lehtede lagunemisel lämmastik vabaneb ja mineraliseerub, suurendades nii mineraalse ja üldlämmastiku varu mullas. Loomulikult on vaid osa lehtedes leiduvast lämmastikust pärit atmosfäärist. Lisaks jõuab osa lämmastikku mulda ka juurevarise kaudu (igal aastal sureb teatud hulk peeni juuri, mis aja jooksul lagunevad ja mille asemele moodustuvad uued). Juurevarise kaudu mulda jõudvat toitainete hulka on maailmas oluliselt vähem uuritud, kuna meetodid on keerulised ja töömahukad.
- Põllu asendumine metsaökosüsteemiga toob endaga kaasa erinevaid muutusi mullas, sealhulgas mulla lämmastikuringes. Lämmastiku netomineralisatsioon on tavaliselt peamine transformatsiooniprotsess, mis katab lehtpuupuistutes olulise osa taimede aastasest lämmastikutarbest, varieerudes boreaalses kliimavöötmes 24-200 kg ha^{-1} a^{-1} (Aber et al., 1989; Scott and Binkley, 1997; Magill et al., 2000). Mullatekkeprotsse mõjutavad mikroobikooslused on metsa- ja põllumuldades erinevad ja maakasutusviis (metsastamine, põllumajandus) avaldab olulist mõju mulla süsiniku- ja lämmastikuvarudele, mikrobioloogilisele aktiivsusele, samuti orgaanilise aine sisaldusele (Compton et al., 1998). Mõnedel andmetel võib põllumajanduslik harimine

vähendada mulla lämmastikuvaru kuni 8% esialgsest (Post and Mann, 1990). Seda, millised muutused toimuvad mullas pärast põllu asendumist metsaga ja kas see võib kaasa tuua mingeid keskkonnariske (näit N_2O gaasiline emissioon või toiteelementide leostumine) on vähe uuritud.

- Kuigi aastane netoproduktsioon rohumaal (põllul) võib olla samas suurusjärgus noore lehtpuupuistuga, seovad metsad süsinikku, lämmastikku ja teisi toitaineid efektiivsemalt. Rohumaal uueneb biomass iga-aastaselt, puistus aga akumuleerub biomass peamiselt puiduna, puidus aga talletatakse nii süsinikku, kui toitaineid. Biomassi produktsioon korreleerub tugevalt kasvukoha lämmastikuvaruga, endisel põllumaal võib noortes (8-aastastes puistutes) akumuleeruda 20-89 kg N ha^{-1} (Uri et al., 2007a;b). See aga osutab sellele, et puistus peab aastane lämmastiku netomineralisatsioon olema intensiivsem kui samal põllumaal enne metsastumist, et katta puidu biomassis seotud lämmastiku kogust. Lehtpuupuistute lämmastikusidumisvõime on kõrge, USA-s tehtud uurimuste järgi (lehtpuu segapuistu, Massachusetts) isegi lämmastiku lisamisel süsteemi sidus puistu 96-100% kogu lämmastiku sisendvoogudest (Magill et al., 2000). Uri V. käsikirjalistel andmetel on aastane lämmastiku netomineralisatsiooni intensiivsus on 8- aastases arukaasikus 1,5 korda kõrgem, kui kõrval asuval, metsastumata rohumaal, seega lehtpuumetsa positiivne mõju mullaviljakusele on ilmne.

Lähteülesanne 4. Anda hinnang eri energiakultuuride sobivuse ja kasvatamise võimaluste kohta piirkonniti tulenevalt EL ühise põllumajanduspoliitika jõustuvatest ristvastavusnõuetest

1. Puittaimede kasvatamiseks energiakultuuridena ei ole vajalik soovituste ja regulatsiooniaktide koostamisel Eesti territooriumi jaotamine geograafiliselt piirkondadeks. Kuigi klimaatilised tingimused on Eesti erinevates piirkondades oluliselt erinevad, on peamisteks kriteeriumiteks, mida projekti aruande koostanud töörühm oluliseks peab, mullastikulised tingimused. Seega soovitused, mida ja kus kasvatada, peaksid lähtuma mulla liigist ja võimalikust endise põllumaa baasil kujunevast metsakasvukohatüübist. Kodumaiste puuliikide istutusmaterjali kasvatamisel tuleb lähtuda üldtunnustatud printsiipidest seemnematerjali päritolu suhtes. Istutusmaterjali võib Eestis viia idast lääne suunas, mandrilt saartele ja lõunast põhja suunas, aga mitte vastupidi.

2. Töörühm analüüsis teadaolevaid põllumajanduspoliitika ristvastavus nõudeid (nõuetele vastavust) lähtudes EL määrusest 1782/2003 (II jaotise 1. peatükk). Analüüs näitas, et Euroopa Liidu ühise põllumajanduspoliitika ristvastavusnõuete täitmine ei ole takistuseks suuremahuliseks puidupõhiste energiakultuuride kasvatamiseks põllumajanduslikust kasutusest välja jäänud maadel. Täpsustamist vajab vaid raieringi pikkusest tulenev metsakasvatusviisi defineerimine: kas tegu on lühikese raieringiga metsandusega või tavametsandusega. Raieringi pikkuse määratlemisest võib sõltuda EL toetuste rakendamine.

Vaadati läbi järgmised dokumendid:

1. EL Nõokogu määrus nr 1782/2003, 29.september 2003, millega kehtestatakse ühise põllumajanduspoliitika raames kohaldatavate otsetoetuskavade ühiseeskirjad ja teatavad toetuskavad põllumajandustootjate jaoks. Kohustuslikud haldusnõuded: inimeste ja loomade tervishoid ja taimetervis; keskkond; loomade heaolu.
2. EL Nõukogu 2. aprilli 1979.aasta direktiiv79/409/EMÜ loodusliku linnustiku kaitse kohta (EÜT L 103, 25.4.1979, lk 1).
3. EL Nõukogu 17.detsembri 1979. aasta direktiiv 80/68/EMÜ põhjavee kaitse kohta teatavatest ohtlikest ainetest lähtuva reostuse eest (EÜT L 20, 26.1.1980, lk 43).
4. EL Nõukogu 12. juuni 1986. aasta direktiiv 86/ 278/EMÜ keskkonna ja eelkõige pinnase kaitsmise kohta reoveesetete kasutamisel põllumajanduses (EÜT L 181, 4.7.1986, lk 6).
5. EL Nõukogu 12. detsembri 1991. aasta direktiiv 91/676/EMÜ veekogude kaitsmise kohta põllumajandusest lähtuva nitraadireostuse eest (EÜT L 375, 31.12.1991, lk 1).
6. EL Nõukogu 21. mai 1992. aasta direktiiv 92/43/EMÜ looduslike elupaikade ning loodusliku loomastiku ka taimestiku kaitse kohta (EÜT L 206, 22.7.1992, lk 7).
7. EL Nõukogu 15. juuni 1991. aasta direktiiv 91/414/EMÜ taimekaitsevahendite turuleviimise kohta (EÜT L 230, 19.8.1991, lk 1).

Lähteülesanne 5 Analüüsida energiakultuuride kasvatamist piiravaid ja soodustavaid tegureid (sh keskkonnakaitselisi nõudeid) ja Lähteülesanne 6. Analüüsida oodatavaid keskkonnamõjusid

Soodustavad tegurid:

- Eestis on olemas head mullateaduse ja metsateaduse teadmised ja haritud spetsialistid.
- Piisavalt kasutusest väljasolevat põllumaad, mis vajab alternatiivseid kasutusviise.
- Kodumaiste puuliikide kasutamise võimalus.
- Rootsi jt boreaalsete maade kogemus paju energiavõsadega.
- Lehtpuumetsade kasvatamise madalad keskkonnariskid.
- Võimalus rakendada lehtpuumetsade kasvatamisel paindliku, turusituatsioonist sõltuvat raieringi.
- Lehtpuumetsi on lihtne ja majanduslikult odav rajada.
- Istutusmaterjali lihtne kasvatada.
- Kodumaised puuliigid on väga vitaalsed, hooldamise vajadus väike.
- Võimalus kasutada loodusliku uuenduse teel tekkinud taimi.
- Lihtne biomassi koristada: võimalik kasutada traditsioonilise metsanduse meetodeid.
- Lehtpuude kasvatamine ei vähenda mullaviljakust, pigem tõstavad (taastavad) lehtpuud mullaviljakust.
- Nii leppade, kui kaskede puhul pole ühtegi olulist keskkonnariske ette näha.

Piiravad tegurid:

- Vajalik kujundada ühiskondlikku arvamust soodsamaks, tuleb selgitada, et intensiivselt majandatavad metsad endistel põllumaadel võimaldavad säästa põlismetsi.
- Ühiskondlikku leppe vajadus põllumaa-energiaistandike-tavametsa proportsioonist Eestis.
- Maastikukujunduse arvestamine, istandike sobitamine loodusesse.
- Majandusliku riskid, pikaajalise investeerimise risk.
- Raskused (majanduslikud ja tehnoloogilised) metsamaast põllumaa tagasi tegemisel.
- Geenireostuse oht hübriidhaava korral.
- Klooni või hübriidi kontrollimatu leviku oht.
- Monokultuuridele omane kahjustajate masspaljunemise risk
- Pajuistandike väetamise, pestitsiidide kasutamise ja keemilise umbrohutõrje vajadus.
- Tuleb leida võimaliku looduslähedased metsakasvatuse meetodid, mis pehmendaksid lühikese raieringi mõju metsade looduslikule mitmekesisusele.

Lähteülesanne 7. Anda soovitused energiakultuuride laialdasema viljelemise korraldamiseks Eestis

- Metsanduses kasutatakse erinevaid puistute küpsuse määramise meetodeid. Kui eesmärgiks on maksimaalne biomassi produktsioon, see on maksimaalne aastane keskmine tüvepuidu produktsioon, siis nimetatakse seda mahuküpsuseks. Eestis on kõigi puuliikide ametlikult lubatav raiering pikem kui mahuküpsus seda võimaldaks (ainult haaba lubatakse raiuda veelgi varem ja hallile lepale piirangud otseselt puuduvad). Pikema raieringi määramisel lähtutakse eesmärgist saada rohkem rahalist tulu (näiteks palgi mahuühik on kallim kui küttepuidul) ja üha enam arvestatakse keskkonnakaitselisi väärtusi, mis vanemas metsas on üldjuhul suuremad. Eesti paremaboniteediliste lehtpuupuistute mahuline küpsus (40–60 aastat) on üldjuhul madalam kui neile kehtiva Metsaseaduse põhjal määratud raieringi pikkus. Erinevate puistute tiheduse ja produktsiooni optimeerimise meetodite alusel on võimalik esitada erinevad stsenaariumid puistute algtiheduse ning optimaalse raieringi pikkuse kohta. Soovitav on need esitada maaomanikule tema maavalduse majandamiskavas erinevate variantidena, jättes otsustamise omanikule.

- Arvestatavas mahus puidupõhiste energiakultuuride rajamiseks ja majandamiseks on vaja maa- ja metsaomanike täiendkoolitust ning soodsa ühiskondliku arvamuse kujundamist. Puidupõhiste energiakultuuride rajamine tähendab maaomanikule pikaajalist investeeringut ja ilmselt on vaja käivitada riiklik majanduslikult põhjendatud soodustuste süsteem.

- Koolitada on vaja lisaks maa- ja metsaomanikele ka taimlamajandusega seotud spetsialiste. Vaja on kasvatada metsapuude kloone, mis tagavad maksimaalse biomassi produktsiooni. Selleks on omakorda vaja uuringute süsteemi loomist, mis võimaldaks leida eesti mulla- ja kliimatingimustes sobivaimad kloonid, eriti pajude ja hübriidhaava korral.

- Kehtiv Metsaseadus (2006) ei ole takistuseks lühikese raieringiga metsanduse arendamisel. Puudu on spetsiaalsed, ainult lühikese raieringiga metsandusele mõeldud keskkonnakaitselised reeglid ja sertifitseerimise nõuded. Täiendada võiks looduskaitseseadust ja Eesti säästva metsanduse standardit.

- Täpsustamist vajavad puidupõhiste energiakultuuride kasvatamisega seotud mõisted.

Erinevate puuliikide erinevate biomassifraktsioonide kalorsus

1. Eestis kasvavate olulisemate lehtpuuliikide tüvepuidu ja -koore keskmised kalorsused (kJ g^{-1}) kirjanduse andmetel, igale liigile tüüpilistes kasvukohtades:

	Tüvepuit	Tüvekoor
• arukasel	19,19 ± 0,05	23,24 ± 0,11
• sookasel	19,34 ± 0,16	23,35 ± 0,20
• sanglepal	19,44 ± 0,14	20,40 ± 0,11
• haaval	19,38 ± 0,05	20,22 ± 0,13

2. Käesoleva projekti täitmise käigus määrati hübriidhaava puidu ja okste kalorsus, vastavad analüüsid olid Eestis seni tegemata.

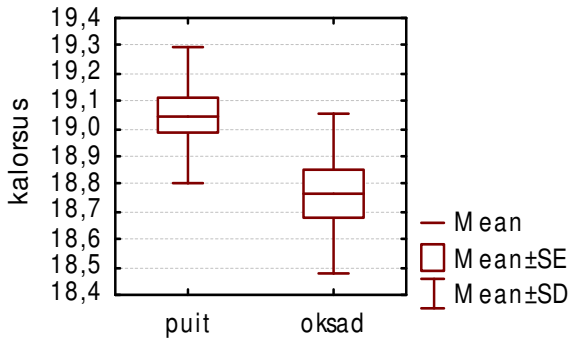
Kasutatud metoodika:

- Kuivatatud puiduproovid jahvatati veskis Retsch SM100 standard, ning suleti õhukindlalt niiskumise vältimiseks sobiva suurusega grippkottidesse.
- Kalorsus määrati määrati kalorimeetriga IKA 5000 komplekt 2/10, mis võimaldab analüüsida proove, mille maksimaalne energiasisaldus ei ületa 40000 J. Seade võimaldab kasutada kolme erinevat meetodit, milleks on adiabaatne (Adiabatic), isoperiboolne (Isoperibolic) ja dünaamiline (Dynamic).
- Käesolevas aruandes kajastatud analüüside tegemiseks kasutatud töörežiim oli adiabaatne, sest saadav tulemus on kolme eelpool nimetatud meetodi hulgas suurima usaldusväärsusega ning seega oluliselt täpsem.

Proovid võeti 51-lt hübriidhaava istandike katsealalt üle Eesti, igalt katsealalt üks mudelpuu:

Tulemused:

Hübriidhaava	Kalorsus kJ g^{-1}	St. hälve	Min	Max
Tüvepuit	19,05	0,25	18,35	19,53
Oksad	18,76	0,29	18,27	19,22



ANOVA järgi on hübriidhaava puidu ja okste kalorsus usaldatavalt erinev (p = 0,01)

Kasutatud kirjandus:

Lõhmus K., Ivask M., Tamm Ü., Vares A., Tamm U. Arukase (Betula pendula Roth.), sookase (Betula pubescens Ehrh.), sanglepa (Alnus glutinosa (L.) Gaertn.) ja haava (Populus tremula L.) tüve kalorsus Eestis. 113-120.

Puidupõhiste energiakultuuride kasvatamisega seotud väljavõtted metsaseadusest (2006) ja mõnede mõistete selgitused

1. Vastavalt metsaseadusele (2006) ei kehti Metsaseadus maa suhtes, mis ei ole kantud maakatastrisse metsamaana. Samuti ei kehti metsaseadus puu- ja põõsaistandike suhtes, mis rajatud intensiivseks kasvatamiseks, regulaarse seaduga ning majandatakse ühevanuselistena. Seega kehtiv metsaseadus võimaldab puittaimede kasutamist energiakultuuridena, see on istandikena, mida majandatakse lühema raieringiga kui tavametsa.

Väljavõte metsaseadusest (2006):

§ 3. Mets ja metsamaa

(1) Mets on ökosüsteem, mis koosneb metsamaast, sellel kasvavast taimestikust ja seal elunevast loomastikust.

(2) Metsamaa käesoleva seaduse tähenduses on maa, mis vastab vähemalt ühele järgmistest nõuetest:
1) on metsamaana maakatastrisse kantud;
2) on maatükk pindalaga vähemalt 0,1 hektarit, millel kasvavad puittaimed kõrgusega vähemalt 1,3 meetrit ja puuvõrade liitusega vähemalt 30 protsenti.

(3) ***Metsamaaks ei loeta*** *õuemaad, pargi, kalmistu, haljasala, marja- ja viljapuuaia, puukooli, aiandi, dendraariumi* ***ning puu- ja põõsaistandike maad****.*

(4) ***Puu- ja põõsaistandik käesoleva seaduse tähenduses on puude ja põõsaste intensiivseks kasvatamiseks rajatud kasvukoht mittemetsamaal, kus puid ja põõsaid kasvatatakse regulaarse seaduga ning majandatakse ühevanuselistena.***

§ 4. Seaduse kohaldamine

(1) Käesolevat seadust kohaldatakse metsamaa, sellel kasvava taimestiku ja seal eluneva loomastiku suhtes.

(2) Käesolevat seadust ei kohaldata:
1) väiksema kui 0,5 hektari suuruse metsamaa lahustüki suhtes;
2) maa suhtes, mis vastab küll käesoleva seaduse § 3 lõike 2 punkti 2 nõuetele, kuid kus puude keskmine vanus ei ületa kümmet aastat ning maa ei ole maakatastrisse kantud metsamaana;
3) tee ja raudtee kaitsevööndi suhtes, välja arvatud raadamist käsitlevad sätted;
4) maatüki suhtes, kus projekteerimistingimuste või detailplaneeringu kohaselt on kavandatud metsa majandamisest erinev maakasutus, välja arvatud raadamist käsitlevad sätted;
5) tehnovõrgu ega -rajatise kaitsevööndi maa suhtes, välja arvatud raadamist käsitlevad sätted.

(3) Metsamaa lahustükk käesoleva seaduse tähenduses on eraldiasuv metsaosa, mida igast küljest ümbritsevad muud kõlvikud kui mets.

2. Metsaseadus (2006) kehtestab erinevatele puuliikidele küpsusvanused mida peab jälgima metsamaal kasvavas metsas, kuid mida ei pea jälgima puuistandikes:

Väljavõte metsaseadusest (2006):

§ 29. Lageraie

(5) Puistu vanuse, millest alates lageraie on lubatud, kehtestab keskkonnaminister enamuspuuliikide ja boniteediklasside kaupa metsa majandamise eeskirjaga, arvestades, et see jääb:
1) männikute ja kõvalehtpuupuistute lageraie korral 90–160 aasta piiridesse;
2) kuusikute lageraie korral 80–120 aasta piiridesse;
3) ***kaasikute ja sanglepikute lageraie korral 60–80 aasta piiridesse****;*
4) ***haavikute lageraie korral 30–50 aasta piiridesse****.*

EESTI SÄÄSTVA METSANDUSE STANDARD

3.7. Põllumaade metsastamisel kultiveeritavate liikide valikul lähtutakse looduslikest protsessidest. Endistele põllumaadele kultiveeritud puistute osas rakendatakse järelvalvet, et jälgida puistute kasvu ja koosseisu dünaamikat. **Võõrliikide kasutamine põllumaade metsastamisel on lubatud vaid erandjuhul.** Põllumaade metsastamise otsus peab olema põhjendatud ja sisaldama hinnangut edasisele sotsiaalsele arengule. Põllumaade metsastamine suurtel pindadel ka pikemas perspektiivis (alates 5 ha-st SMK poolt kaetud aladest, 5 aasta jooksul) nõuab eriprojekti.

Eestis metsapuudena kasvatada lubatud võõrpuuliikide loetelu Keskkonnaministri 11. juuni 2004. a määrus nr 72

Eestis metsapuudena kasvatada lubatud võõrpuuliigid on järgmised: ……..
8) kuriili lehis *Larix gmelinii* var. *japonica* (Maxim ja Regel) Pilger;
9) eurojaapani lehis *Larix x eurolepis* Henry (*Larix* x *marschlinsii* Coaz);
10) harilik ebatsuuga *Pseudotsuga menziesii* Franco;
11) siberi nulg *Abies sibirica* Ledeb.;
12) punane tamm *Quercus rubra* L.;
13) hübriidhaab *Populus x wettsteini* Hämet-Ahti.

Valik kirjandust

Kiirekasvuliste metsakultuuride kasvatamine kui alternatiivne maakasutusviis. Juhis. EV Põllumajandusministeerium. Koostaja Tullus H. 2005 www.agri.ee/link.php?id=12765&filename=lisa_001.pdf (16.11.2007)

Põllumaade metsastamine. Põllumaade metsastamise metoodiline juhend. Koostajad: E. Asi, R. Kõlli, E. Laas. Tartu, 2004. 83 lk.

Lõhmus E. Eesti metsakasvukohatüübid. Tartu, 2004. 80 lk.

Haapala T., Pakkanen A., Pulkkinen P. 2004. Variation in survival and growth of cuttings in two clonal propagation methods for hybrid aspen (*Populus tremula x P. tremuloides*). Forest Ecology and Management 193: 345–354.

Jõgiste K., Vares A., Sendros M. 2003. Restoration of abandoned agricultural fields: ecological and economical considerations of forest regeneration. – Forestry, 76(2), 209–219.

Karacic A., Verwijst T., Weih M. 2003. Above-ground Woody Biomass Production of Short-rotation Populus Plantations on Agricultural Land in Sweden. – Scand. J. For. Res., 18, 427–437.

Newmaster S.G., Bell F.W., Roosenboom C.R., Cole H.A., Towill W.D. 2006. Restoration of floral diversity through plantations on abandoned agricultural land. Can. J. For. Res. 36: 1218–1235.

Rytter L., Stener L.-G. 2003. Clonal variationin nutrient content in woody biomass of hybrid aspen (*Populus tremula x P. Tremuloides* Michx). – Silva Fennica, 37(3), 313–324.

Rytter L. 2006. A management regime for hybrid aspen stands combining conventional forestry techniques with early biomass harvests to exploit their rapid early growth. Forest Ecology and Management 236: 422–426.

Stenvall N., Haapala T. and Pulkkinen P. 2004. Effect of genotype, age and treatment of stock plants on propagation of hybrid aspen (*Populus tremula x Populus tremuloides*) by root cuttings. Scandinavian Journal of Forest Research 19: 303–311.

Stenvall N., Haapala T., Pulkkinen P. 2006. The role of a root cutting's diameter and location on the regeneration ability of hybrid aspen. Forest Ecology and Management 237: 150–155.

Tullus A., Tullus H., Vares A., Kanal A. 2004. Hybrid aspen plantations as a new promising biomass resource in Estonia. – Conference proceedings: 2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Rome. 121–124.

Tullus A., Tullus H., Vares A., Kanal, A., Soo T. 2005. Initial experience with short rotation hybrid aspen plantations in Estonia. – Proceedings of 14th European Biomass Conf. held in Paris, France. 294–297.

Tullus A., Vares A. 2005. Hübriidhaava (*Populus x wettsteinii* Hämet-Ahti) kasv noores eas endistel põllumajandusmaadel Eestis. – Metsanduslikud uurimused nr 43: 84–95.

Tullus A., Tullus H., Vares A., Kanal A. 2007. Early growth of hybrid aspen (*Populus x wettsteinii* Hämet-Ahti) plantations on former agricultural lands in Estonia. Forest Ecology and Management 245: 118–129.

Tullus A., Soo T., Tullus H., Vares A., Kanal A., Roosaluste E. 2008. Early growth and floristic diversity of hybrid aspen *(Populus x wettsteinii* Hämet-Ahti) plantations on a reclaimed opencast oil shale quarry in North-East Estonia. Oil Shale (accepted 27.08.2007).

Tullus H. 2005. Noorte hübriidhaava istanduste kasvukäik ja seda mõjutavad tegurid. Projekti lõpparuanne. SA Keskkonnainvesteeringute Keskus. 76 lk.

Tullus H. 2005. Kiirekasvuliste metsakultuuride kasvatamine kui alternatiivne maakasutusviis, juhis. www.agri.ee/link.php?id=12765&filename=lisa_001.pdf (6.05.2007)

Uri V., Tullus H., Lõhmus K. 2002. Biomass production and nutrient accumulation in short-rotation grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. – Forest Ecology and Management, 161, 1-3, 169–179.

Uri V., Lõhmus K., Tullus H. 2003. Annual net nitrogen mineralization in a grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. – Forest Ecology and Management, 184, 1-3, 167-176.

Uri V., Tullus H., Lõhmus K. 2003. Nutrient allocation, accumulation and above-ground biomass in grey alder and hybrid alder plantations. – Silva Fennica, 37, 3, 301–311.

Uri V., Vares A., Tullus H., Kanal A. 2007. Above-ground biomass production and nutrient accumulation in young stands of silver birch on abandoned agricultural land. Biomass and Bioenergy, 31(4), 195–204.

Uri V., Lõhmus K., Ostonen I., Tullus H., Lastik R., Vildo M. 2007. Biomass production, foliar and root characteristics and nutrient accumulation in young silver birch (*Betula pendula* Roth.) stand growing on abandoned agricultural land. European Journal of Forest Research, 1– 2 (on line).

Vares A., Tullus A., Raudoja A. 2002. Hübriidhaava kultiveerimise mõjude analüüs. Kirjandusraport. EPMÜ, Tartu. 71 lk. Käsikiri Metsakaitse- ja Metsauuenduskeskuses.

Vares A., Lõhmus K., Truu M., Truu J., Tullus H., Kanal A. 2004. Productivity of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) plantations on reclaimed oil shale mining detritus and mineral soils in relation to rhizosphere conditions. – Oil Shale, 21, 1, 47–62.

Weih M., Karacic A., Munkert H., Verwijst T., Diekmann, M. 2002. Influence of young poplar stands on floristic diversity in agricultural landscapes (Sweden). Basic and Applied Ecology 4: 149–156.

Yu Q., Tigerstedt P. M. A., Haapanen M. 2001. Growth and phenology of hybrid aspen clones (*Populus tremula L.* × *Populus tremuloides* Michx.). – Silva Fennica, 35(1), 15–25.

Yu Q., Pulkkinen P. 2003. Genotype-environment interaction and stability in growth of aspen hybrid clones. – Forest Ecology and Management, 173, 25–35.

Projektijuht
Professor Hardi Tullus 30.11.2007