

KIKi projekt nr. 32

“Bioenergeetikas tekkivate jäätmete utiliseerimine metsakasvatustelikes eesmärkidel”

Jäätmekäitlus, tavajäätmete käitlemise alamprogramm

Toetuse saaja: Eesti Maaülikool

Projektijuht: EMÜ Metsanduse ja maaehituse instituudi ökofüsioloogia osakonna vanemteadur, biol. Kand. Henn Pärn

Kestus: juuni 2007 – mai 2008

Sissejuhatus

Maavarade säästlikust majandamisest ja keskkonnakaitselistest aspektidest tingitult on viimastel aastatel eriti Skandinaaviamaades, aga ka Eestis tähelepanu orbiiti tõusnud taastuvate ressursside kasutamine energia tootmiseks. Võrreldes 1990. aastaga oli küttepuidu tarbimine Eestis energia saamiseks 2001. aastal ligemale 3 korda suurem (Eesti..., 2002). Arvestades, et tuhasisaldus puidus on keskmiselt 0.6%, tekib energiatootmise jäägina praegu teoreetiliselt kuni 10000 tonni puutuhka aastas. Seoses sellega kerkivad üles ja muutuvad tõsiseks probleemid tekkiva puidutuha kasutamise võimalustest ja utiliseerimisest.

Teisest küljest viiakse raiejäätmete massilisel koristamisel traditsiooniliste raieviisidega raiutud raielankidelt ning metsa ülestöötamisel nn. kogupuu meetodil metsaökosüsteemidest välja suur hulk puude kasvuks vajalikke toitaineid põhjustades niiviisi metsamuldade viljakuse languse.

Puutuhk sisaldab taimedele vajalikke toitaineid enam-vähem samades vahekordades, kui esineb kasvavates puudes. Seega oleks üks lahendus tekkivatele probleemidele viia puutuhk tagasi metsa. Niiviisi kompenseeritaks metsamuldades raiejäätmetega eemaldatavad taimetoitained ja tuhk utiliseeritaks. Metsade väetamine puutuhaga on praktiline metsamajanduslik võte, mida kasutatakse maailmas, eriti Skandinaaviamaades, seoses biokütuste suureneva tarvitamisega üha rohkem. Puutuha kasutamisega metsade väetamisel kaasneb mitmesuguseid (ökoloogilisi, majanduslikke jt.) probleeme, millest üks olulisemaid on metsamuldade saastamine puutuha koostises leiduvate raskmetallidega (Bramryd, Fransman, 1995). Viimased, eriti Cd, on potentsiaalselt ohtlikud metsa floorale ja faunale, ladestudes toitumishelatesse ning leostudes põhjavette (Nieminen jt., 2005; Pitman, 2006). Nimetatud arvukate probleemide tõttu on viimasel ajal intensiivistunud sellealane teaduslik uurimistöö nii rahvuslikul kui ka rahvusvahelisel tasandil.

Metsamuldade neutraliseerimiseks ja puude toitesubstraadi rikastamiseks Eestis puutuhka seni kasutatud pole ning seega puuduvad kogemused metsade kasvu ja produktiooni mõjutamiseks puutuha kasutamisega.

Eesmärgid. Arvestades ülaltoodud asjaolusid seati projekti eesmärgiks välja töötada keskkonnasäästlikud tuhkade kasutusnormid (doosid), mida võiks kasutada ammendatud rurbakarjäärilede rajatavate puistute väetamiseks. Sealjuures otsustati pöörata erilist tähelepanu

raskmetallide sisalduse muutustele turvasmuldades puu- ja turbatuha ning nende segu kasutamisel väetamisel.

Uurimisobjektid. Uurimisobjektideks olid ühe aasta vanused arukase seemikud mis istutati turbamulda võrdse mahuga vegetatsiooninõudesse.

Katsevariandid. Arvestades töö eesmärke, kasutati katsevariantides puutuha, turbatuha ja nende segu erinevaid doose, et selgitada puudele kasvule enam sobivamad kogused. Segutuha koostis oli 75% turbatuhka + 25% puutuhka. Puude kasvusubstraadile lisati tuhad doosiga 0,0 kg/m² (kontroll), 0,25 kg/m², 0,5 kg/m² ja 1,0 kg/m².

Uuritud parameetrid. (1) Muutused puutuha ja kasvusubstraadi keemilises koostises vegetatsiooniperioodi jooksul; (2) puude juurdekasvu erinevused olenevalt väetamiseks kasutatud tuha kogustest.

Tulemused

Tuhkade ja kasvusubstraadi (turba) keemiline koostis.

Analüüsitulemused näitasid, et tuhad sisaldavad rikkalikult taimedele vajalikke toitaineid. Puutuhas on kõrge K ja P üldsisaldus, turbatuhas aga kõrge Ca, Mg ja N üldsisaldus. Kõik need elemendid on puude kasvuks vajalikud taimetoitained. Tuhad on lämmastikuvaesed kuna lämmastikuühendid lenduvad põletamisel ja tuhka võib N jääda vaid väga väikestes kogustes.

Tuhkades esines, eriti puutuhas, olulisel määral raskmetalle. Puutuha kaadmiumi sisaldus puutuhas varieerub üldiselt piirides 1–20 mg/kg (Aronsson, Ekelund, 2004). Antud juhul jäi tema sisaldus nendesse piiridesse, kuid ületas kõikides tuhkades näiteks Soomes põllumajanduses kasutatavates väetistes lubatud piiri (3 mg/kg) (Fritze jt., 2000). Puutuhas esinevad Zn, Mn ja Pb kontsentratsioonid ületasid mitmekordselt P. Hakkila (1989) poolt esitatud andmeid nende elementide keskmiste kontsentratsioonide kohta katlamajade koldetuhas. Vase ja kroomi kontsentratsioonid jäid ligikaudu nende elementide keskmiste sisalduste piiridesse.

Kõikide kasutatud tuhkade vesilahus oli tugevalt leeliseline.

Kasvusubstraat (turvas) oli võrreldes tuhkadega toitainete poolest vaene kuid sisaldas siiski suhteliselt palju Ca ja N. Madal oli ka turba raskmetallide, v.a. Fe, sisaldus.

Muutused kasvusubstraadi keemilises koostises vegetatsiooniperioodi lõpuks

Mulla pH. Tuha lisamisel tõusis substraadi pH sõltuvalt lisatud kogustest 0,4–0,9 ühiku võrra. Töötlemata substraadi pH praktiliselt ei muutunud. Puutuhaga töödeldud substraadi pH suurenes keskmiselt 0,46 ühiku võrras, segutuhaga väetamisel 0,43 ühiku ning turbatuhaga väetamisel 0,58 ühiku võrra. Suurimat mulla pH tõusu täheldati variantides, kus substraadile lisati tuhkaid doosiga 1,0 kg/m².

Makroelemendid. Makroelementide puhul täheldati **kaaliumi** sisalduse suurenemist võrreldes algsisaldusega tuhkadega töödeldud katsetevariantide substraadis 1,1–7,3 korda. Puutuhaga suhteliselt suurem K sisaldus, võrreldes turbatuhaga, suurendas K sisaldust enam just puutuhaga ja puutuhaga osalusega segutuhaga väetatud katsevariantides. Nende katsevariantide puhul suurenes substraadi K sisaldus väetisedooside suurenemisel. Kuna kasvusubstraadi enda **kaltsiumi** sisaldus oli küllalt kõrge, suurenesid tema sisaldused vähe – maksimaalselt 1,2 korda

ja seda väetamisel puutuha suurima tuhadoosiga. **Magneesiumi** sisaldus suurenes võrreldes substraadi algsisaldusega kõikide katsevariantide puhul. Suuremat tõusu täheldati puu- ja segutuhaga väetatud variantide puhul, vastavalt 1,4–2,2 korda ja 1,2 – 2,3 korda. Kuigi turbatuhaga Mg sisaldus oli kõrge, suurenes tema sisaldus substraadis vähem kui puutuhaga väetamise puhul (1,2 – 1,6 korda). Kõikide katsevariantide, eriti puutuha puhul, vähenes substraadis **lämmastiku** sisaldus vähemalt kuni pooleni algsisaldusest. Põhjuseks on turbas sisaldunud lämmastiku ärakasutamine puude elutegevuse käigus nii suurel määral, et tuhkaes sisalduvad väikesed N kogused ei suutnud tema varude vähenemist substraadis kompenseerida. Kuna turbas esineb **fosforit** vähe, võis eeldada tema sisalduse olulist tõusu tuhkaes väetamisel. See eeldus leidis kinnitust peamiselt fosforirikka puutuha kasutamisel, mille tagajärjel suurenes selle elemendi sisaldus substraadis kõige enam (1,4 korda).

Mikroelemendid (raskmetallid). Kuigi tuhad, eriti puutuhk, sisaldavad **Cd** arvestataval määral, jäi eksperimendi esimese vegetatsiooniperioodi lõpuks tema sisaldus kasvusubstraadis nii kontrollvariandi kui ka kõikide tuhkaes töödeldud katsevariantide puhul allapoole määramispiiri (<1 mg/kg). Puutuha suhteliselt suure **Cr** sisalduse tõttu täheldati selle elemendi sisalduse suurenemist just puutuha osalusega katsevariantides, kusjuures nende variantide puhul Cr sisaldus suurenes koos kasutatud tuha dooside suurenemisega. Turbatuhaga puhul ületas Cr sisaldus kasvusubstraadis ainult veidi määramispiiri. Tuhkaes kõrge **mangaani** sisaldus võrreldes turbaga tingis ka tuhkaes väetamisel selle elemendi sisalduse tunduva tõusu kasvusubstraadis: puutuhaga väetamise puhul 1,2–3,6 korda võrreldes algsisaldusega, segutuhaga puhul 1,4–2,7 korda ning turbatuhaga väetamisel 1,2–1,5 korda. Kasutatud tuhkaes suurendamisel suurenes ka Mn sisaldus kasvusubstraadis. Seega mõjutab tuhkaes väetamine positiivselt selle olulise taimetoitelemendi sisaldust mullas. **Plii** sisaldus kasvusubstraadis jäi tuhkaes väetamisel üldiselt allapoole määramispiiri (<2mg/kg). Tema suhteliselt suure sisalduse tõttu puutuhas leiti pliid teataval määral suuremate puutuhaga doosidega väetatud variantides. **Raua** sisaldus kasvusubstraadis võrreldes algsisaldusega oluliselt ei suurenenud. Tingituna turbatuhaga kõrgest rauasisaldusest täheldati segu- ja turbatuhaga puhul mõningast Fe sisalduse tõusu maksimaalsete tuhkaeside puhul. **Tsingi** algsisaldus kasvusubstraadis oli väike. Puutuhaga suure Zn sisalduse tõttu täheldati selle elemendi tunduvat suurenemist (4–16 korda) puutuhaga väetatud katsevariantide puhul. Puutuhaga osaluse tõttu suurenes Zn sisaldus substraadis ka segutuhaga väetamisel (kuni 2,8 korda). Turbatuhaga madala Zn sisalduse tõttu vähenes tema sisaldus ilmselt taimede poolt tarbimise tagajärjel kasvusubstraadis allapoole algsisaldust. **Vase** puhul täheldati tema sisalduse tõusu puutuhaga väetatud substraadis kuni 1,4 korda ja teataval määral segutuhaga väetatud katsevariantides. Kui puutuhaga väetatud variantide puhul suurenes Cu sisaldus suuremate tuhkaeside puhul, siis segutuhaga puhul oli substraadi Cu sisalduse muutumine ebakorrapärane. Turbatuhaga väetamisel jäi Cu sisaldus väiksemaks kui oli tema esialgne sisaldus substraadis.

Puude kasv

Puude kasvuks sobivaima tuha ja tuhkaeside selgitamiseks mõõdeti vegetatsiooniperioodi eksperimendi algul ja lõpus kõikide puude kõrgus ja juurekaela diameeter ning arvutati nende keskmised katsevariantide lõikes. Alg- ja lõppväärtuste vahena leiti juurdekasvud. Edasi leiti puude kõrguse, juurekaela läbimõõdu ning juurdekasvude protsentuaalsed suhted kontrollvariandi (100%) vastavatesse parameetritega.

Puude kõrguskasvu osas ületasid peaaegu kõikide tuhkadega väetatud katsevariantide puud kontrollvariandi puude kasvu. Kontrollist väiksemaks (96,7% kõrguse järgi ja 94,4% juurdekasvu järgi) jäi ainult segutuha doosiga 0,5 kg/m² väetatud puude kõrguskasv. Parimaid tulemusi andis turbatuhaga väetamine, kus katsevariantide keskmine puude lõppkõrgus moodustas 111,9% kontrollvariandi puude lõppkõrgusest. Ka kõrguse keskmine juurdekasv oli turbatuha puhul suurim – 120,0% kontrollvariandi puude kõrguskasvust. Segutuhaga väetamisel jäi puude keskmine lõppkõrgus kõige madalamaks, kuid ületas kontrollvariandi vastava näitaja 4,3% võrra. Ka oli puude kõrguse juurdekasv selle variandi puhul madalaim, ületades aga siiski kontrollvariandi puude juurdekasvu 7,2% võrra. Puutuhaga väetamisel saadi ligikaudu samad tulemused: puude kõrguskasvu osas 108,5% kontrollist ning juurdekasvu osas 114,3% kontrollpuude juurdekasvust.

Turbatuhaga väetamisel suurenes puude kõrguskasv kasutatud tuhadooside suurendamisel. Puutuhaga väetamisel oli olukord vastupidine puude kõrguskasv oli suurim kõige väiksema tuhadoosi puhul. Segutuhaga väetamisel esines suurim puude kõrguskasv maksimaalse doosi puhul. Samasugused tulemused saadi ka puude kõrguse juurdekasvude võrdlemisel.

Juurekaela keskmine diameeter ning juurdekasv jäid kõikide väetamisvariantide puhul väiksemaks kontrollvariandi puude vastavatest näitajatest. Kontrollvariandi puudele jõudsid kõige lähemale (97,0% kontrollist) puutuhaga doosiga 0,5 kg/m² väetatud puud, kõige peenemaks jäid segutuhaga väetatud puud.

Kokkuvõte

Toetudes saadud tulemustele võib väita, et tuhkadega väetamisel suureneb mullas taimedele vajalike toitainete, nii makro- kui ka mikroelementide sisaldus. Kuna juba eksperimendi esimese vegetatsiooniperioodi jooksul vähenesid tunduvalt turvasubstraadi lämmastikuvarud, tuleks lisaks tuhkadega anda ka lämmastikväetisi. Tulemused kõrguskasvu osas näitasid, et puutuhaga kõrval võib turvasubstraadi väetamisele edukalt kasutada ka turbatuhka. Segutuhaga kasutamise efektiivsus on küsitav, kuigi puu- ja turbatuhaga erinevad koostised (eriti näiteks K, Ca, N ja P osas) täiendaksid teineteist. Tuhkadega väetamisel suureneb, vähemalt noortel puudel esimestel aastatel, kõrguskasv, jämeduskasv jääb väiksemaks väetamata aladel kasvavate puude jämeduskasvust. Ainult puutuhaga väetamisel saadi suurim kõrguskasv doosiga 0,5 kg/m² kasutamisel, turbatuhaga väetamisel saadi paremaid tulemusi suuremate dooside kasutamisel.

Käsitletud raskmetallid on enamikus taimetoiteelemendid. Toksilisteks muutuvad nad suuremate kontsentratsioonide puhul. Antud uurimuse tulemusena selgus et nende, eriti keskkonnaohtlikemate raskmetallide Cd ja Pb, sisalduse suurenemist kasvusubstraadis esimese aasta jooksul peale väetamist ei esinenud. Seega ei tohiks tuhka sisalduvad raskmetallide kogused olla takistavaks teguriks turvasubstraadi tuhkadega väetamiseks.

Tuhkade lahustumine on pikaajaline protsess. Seetõttu ei pruugi ühe vegetatsiooniperioodi pikkune eksperiment anda lõplikke tulemusi ei elementide sisalduse muutumise kohta mullas ega ka puude kasvu osas. Seega väärrib eksperiment jätkamist.

Kasutatud kirjandus

Bramryd, T., Fransman, B. O. 1995. Silvicultural use of wood ashes – effects on the nutrient and heavy metal balance in a pine (*Pinus sylvestris* L.) forest soil. – *Water, Air, and Soil Pollut.* 85(2), 1039–1044.

Eesti Statistika Aastaraamat 2002. Tallinn, Statistikaamet. 464 lk.

Jacobsson, S. 2003. Addition of stabilized wood ashes to Swedish coniferous stands on mineral soils – effects on stem growth and needle nutrient concentrations. – *Silva Fenn.* 37, 437–450.

Levula, T., Saarsalmi, A., Rantavaara, A. 2000. Effects of ash fertilization and prescribed burning on macronutrient, heavy metal, sulphur and ¹³⁷Cs concentrations in lingonberries (*Vaccinium vitis-idaea*). – *For. Ecol. Manage.* 126, 269–277.

Moilanen, M., Issakainen, J. 2000. Tuhkalannoituksen metsävaikutukset. – *Metsätehon raportti* 93. 18 pp.

Nieminen, M., Piirainen, S., Moilanen, M. 2005. Release of mineral nutrients and heavy metals from wood and peat ash fertilizers: Field studies in Finnish forest soils. – *Scand J. For. Res.* 20. 146–153.

Pitman, R. M. 2006. Wood ash use in forestry – a review of the environmental impacts. – *Forestry*, 79(5). 563–588.

Silferberg, K., Hotanen, J.-P. 1989. Puuntuhkan pitkäaikaisvaikutukset ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla Pohjois-Pohjanmaalla. – *Folia Forestalia*, 742, 1–23.

Projekti täitja: Henn Pärn

30. juuni 2008

EMÜ MMI ökofüsioloogia osakond
Tel: 6767 558
Fax: 6767 699

