DOI: 10.2478/v10132-011-0075-9

Puhatu ammendatud jääksoo ökoloogilisest seisundist

Katri Ots*, Karin Kikamägi ja Tatjana Kuznetsova

Ots, K., Kikamägi, K., Kuznetsova, T. 2009. The ecological status of Puhatu cutover peatland. – Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused 51, 28–39. ISSN 1406-9954.

Abstract. The aim of the present study was estimation of the ecological status of Puhatu cutover peatland in Norteast Estonia. Results of the samples showed that the pH of peat in Puhatu cutover peatland was in the range 5.1–5.5. The nutrients concentrations of peat (%) varied as follows: total N 2.1–2.9, total P 0.016–0.032, K 0.004–0.02, Ca 1.2–3.5 and Mg 0.08–0.2. The height of pines was 3.0 ± 0.6 m and height growth in current year was up to 73 cm. Comparison of our results with the scale presented by Ingestad suggests that the content of P, K and Mg in pine needles and birch leaves is lower and Ca content significantly higher than the optimum level.

Key words: *Betula* spp., cutover peatland, nutrients status, peat, *Pinus sylvestris*

Authors' addresses: Department of Ecophysiology, Institute of Forestry and Rural Engineering, Estonian University of Life Sciences, Viljandi mnt. 18b, 11216 Tallinn, Estonia, *e-mail: katri.ots@emu.ee

Sissejuhatus

Erinevalt looduslikust soost, mis seob fotosünteesil õhust süsinikdioksiidi ja talletab selle tuhandeteks aastateks turbana, on jääksood kasvuhoonegaaside allikad: kuna taimkate on hävinud, ei toimu jääksoos enam fotosünteesi ning seega ei seota ka süsinikdioksiidi. Samas pääseb õhk tunduvalt alandatud veetaseme tõttu sügavamale ja turvas mineraliseerub nüüd märksa tüsedamas turbakihis: jäätkurvas haihtub õhku kliimamuutust põhjustavate kasvuhoonegaaside – süsinikdioksiidi ja metaanina (Bridgham & Richardson, 1992; Ilomets, 1996; Lavoie & Rochefort, 1996; Francez *et al*., 2000; Waddington *et al*., 2001; Glatzel *et al*., 2003; Paal, 2007). Erinevalt sööti jäetud põllust või raiesmikust ei taastu taimkate jääksool väga pika aja jooksul, kuna hävinud on algne taimestik ning seemnete idanemiseks ja taimede kasvuks on tingimused ebasoodsad, eriti kasvu limiteerivaks peetakse turvasmuldades P- ja K-vaegust (Aerts *et al*., 1992; Andersen *et al*., 2006). Seega on jääksoode rekultiveerimine keskkonnakaitse seisukohast väga oluline.

Käesoleva töö eesmärgiks oli Ida-Virumaal asuva Puhatu ammendatud jääksoo ökoloogilise seisundi hindamine. Teostatud pilootuuringu käigus selgitati substraadi sobivus rekultiveerimiseks ja puude kasvu limiteerivad toitained. Mahajäetud freesturbaväljade edukas rekultiveerimine vähendaks õhku lenduva kasvuhoonegaasi kogust, mis omab väga suurt lokaalset ja globaalset tähtsust.

Materjal ja metoodika

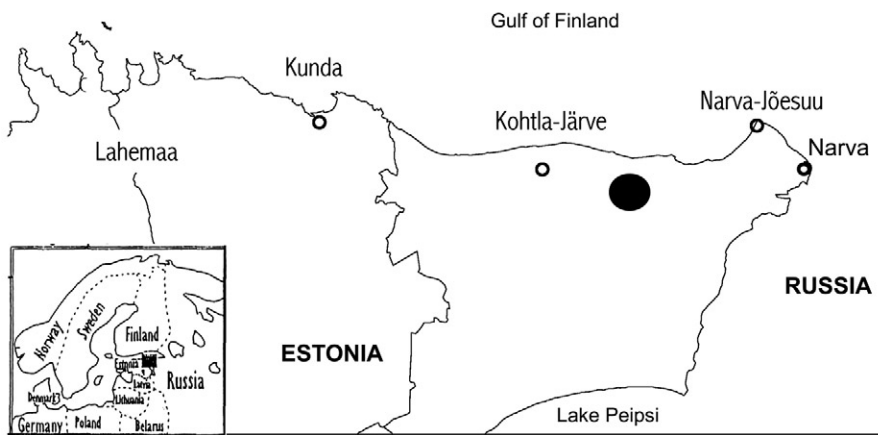
Uurimisala iseloomustus

Uurimisaluseks ammendatud jääksooks valiti Ida-Virumaal asuv Puhatu mahajäetud turbatootmisala, mille pindala (karjäärid ja väljakud kokku) on Keskkonnaregistri andmetel 1486,13 ha (riigi reservmaa 558,08 ha, RMK hallatav ala 864,66 ha, eramaa 63,39 ha); hästilagunenud turbakihi paksus on maksimaalselt 1,8 m, hästi lagunenud turba aktiivvaruks on 938 000 tonni, passiivseks varuks 2485 ha (joonis 1). Puhatu mahajäetud turbatootmisala põhjaosa (raudteest põhja pool) jääb endise RMK Ahtme metskonna territooriumile, kesk- ja lõunaosas on lisaks riigi omandis olevatele maadele (Sirgala karjääri mäeeraldis, endised Ahtme ja Puhatu metskond, riigi reservmaa) ka eramaa tükke (Ramst *et al*., 2006).

Esialgne soo on tekkinud ulatuslikus jääjärvelises nõos, kus turba all lasuvad jääjärvelised liivsavid ja liivad. Karjäärides oli 2006. aasta oktoobris kuni 0,5 m vett, põhjas keskmiselt 1 m turvast. Seal kasvavad pilliroog, tarnad, konnaosi ja penikeeled. Osasid karjääre lahutavad vaid kitsad vahetervikud, ala idaosas aga ka endised freesväljad. Väljakutel on puid vähe, tupp-villpea katvus on keskmiselt 10 %, madalamates kohtades kasvab pilliroogu, ahtalehist villpead ja tarnasid. Kraavid on pooleldi turbamuda täis, neis kasvab ohtralt tupp-villpead, ahtalehist villpead, laialehist hundinuia, kraavtarna, harilikku luga, kraavluga. Veetase on keskmiselt 0,5 m maapinnast. Ala keskosas vahelduvad 1–6 m kaskede ja mändidega kaetud vanad väljakud madalate, pilliroogu täis kasvanud karjäärides (Ramst *et al*., 2006).

Välitööd viidi läbi ajavahemikul mai–detsember 2008. Võrreldes Ramsti ja tema kolleegide (2006) toodud kirjeldusega ei täheldatud suuremaid muutusi 2008. aasta suvel Puhatu mahajäetud turbatootmisalal. Maist kuni detsembrini (tavaliselt kuu viimasel nädalal) kestnud vaatlused näitasid, et mida sügise poole, seda suurema ala võttis freesturbaväljadel enda alla vesi, isegi suvekuudel kattis mõnede alade pindalast 70–80 % ulatuses vesi, viidates kuivendussüsteemide mittetoimimisele.

Tugev kuivendatud turbapinnas kraavipervedel on hakanud õhu käes lagunema ja seal on leidnud endale soodsad kasvutingimused mänd ja kask, millest võib kasvada hiljem tarbimisväärtust omav mets, kui sellele ise kaasa aidata (väe-



Joonis 1. Puhatu freesturbavälja asendiskeem.
Figure 1. Location of Puhatu cutover peatland.

tamine, raied). Metsa kasvatamist Puhatu jääksoos soodustab ka rabasisene teedevõrk ja kraavitatus. Mänd, kask ja paju kasvavad kuivenduskraavide ääres, samuti pilliroog, hundinui, villpea, vaarikas, paiseleht, metsmaasikas, tulikad, osjad, tarnad ning kanarbik ja pohl. Suur osa uuritud freesturbaväljadest on aastaringselt vee all, taimestunud on peamiselt ainult kuivenduskraavide äärne ja pinnavormilt kõrgem ala. Lagedate alade vahel on metsasiilud, kus alustaimestikust vohab nõges, viidates pinnase N-rikkusele. Alla 10-aastaste mändide ja kaskede puhul võis täheldada juurte paiknemist maapinnal turba mineraliseerumise tõttu ja külmakohrutuse nähte. Kuhjatud kõrgetel turbavallidel kasvavad umbes iga meetri järel noored 2–3 meetri kõrgused kased.

Kuivenduskraavide ääres kasvavate mändide juurdekasvud mõõdeti novembris-detsembris 2008. Tegemist on valdavalt 10-aastaste puudega, aga alal kasvab ka vanemaid mände. Freesturbaväljadel kasvavad ka erivanuselised heakasvulised kasesalud, alla 10-aastased kased kasvavad peamiselt kuivenduskraavide vahetus läheduses.

Keemilised analüüsid

Kasvukeskkonna iseloomustamiseks ja puude kasvu limiteerivate toitainete väljaselgitamiseks koguti viielt freesturbaväljalt kolmest juhuslikust kohast 10–30 cm sügavuselt turbaproovid (n=15) juunis 2008. Proovid kuivatati ja sõeluti läbi 2 mm sõela. Turba pH_{H_2O} (1:12,5 turvas:vesi) määrati EMÜ MMI ökofüsioloogia osakonna laboris pH-meetriga Mettler Toledo MP 220.

Turbast toitainete kättesaadavuse hindamiseks koguti männiokkad ja kaselehed (n=6) juunis 2008. Turba- ja taimeproovide keemilised analüüsid $N_{üld}$-, $P_{üld}$-, K-, Ca- ja Mg-sisalduste määramiseks teostati OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskuses.

Korrelatiivsed seosed erinevate muutujate vahel arvutati programmiga Statistic 10,0.

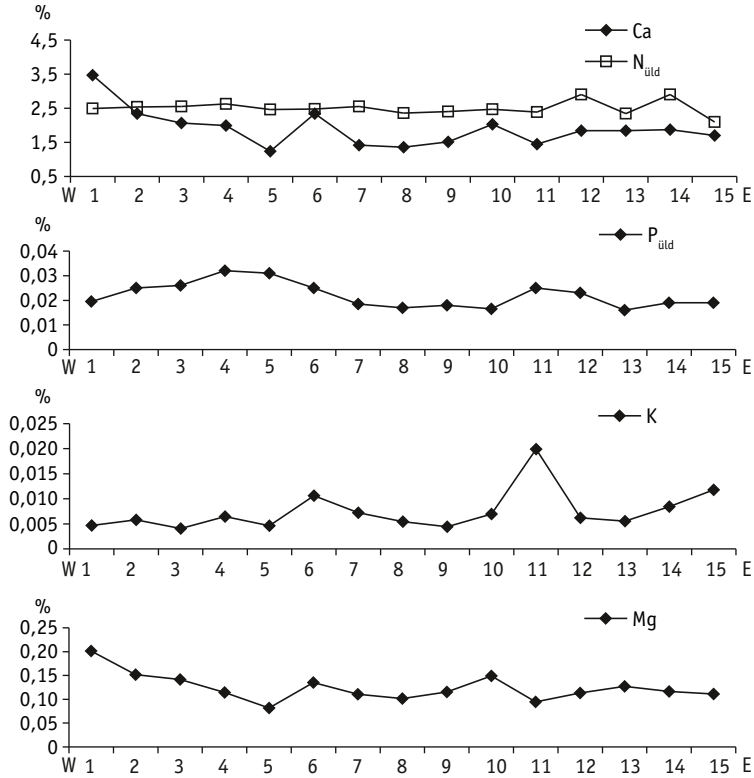
Tulemused ja arutelu

Turvas

Metsastamiseks vajaliku jääkturbakihi tüsedus peab olema 20–30 cm (Valk, 1981). Uuritud Puhatu mahajäetud tootmisaladel mõõdeti turbaproovide võtmise käigus jääkturbakihi paksuseks minimaalselt 26 cm ja maksimaalsügavuseks saadi 55–100 cm. Mõõtmised näitasid, et Puhatu jääkturba pH_{H_2O} jääb uuritud aladel vahemikku 5,1–5,5. Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituudi poolt 2002. aastal läbi viidud uuringute käigus mõõdeti Puhatu väljade turba pH-ks 4,0–5,1 (Oru turbakombinaadi..., 2002). Puhatu freesturbaväljade turbas 10–30 cm sügavusel sisalduvate elementide hulgaks mõõdeti: $N_{üld}$ 2,1–2,9 %, $P_{üld}$ 0,016–0,032 %, K 0,004–0,02 %, Ca 1,2–3,5 % ja Mg 0,08–0,2 % (joonis 2). Analüüsitulemused näitavad, et kõige enam varieerus turba K-sisaldus ja kõige vähem $N_{üld}$-sisaldus. Suhteliselt kõrge on jääkturbas $N_{üld}$-sisaldus, kuid suur osa sellest on raskesti omastavate ühenditena, mis ei ole taimedele kättesaadavad.

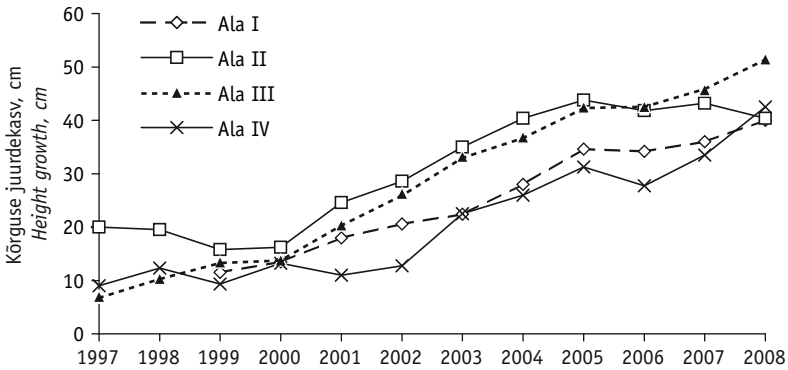
Mändide keskmine kõrguskasv ja juurekaelaümbermõõt

Vastavad mõõtmised teostati erinevate freesturbaväljade kraaviäärsetel aladel, kus kasvasid looduslikult uuenenud üle 10-aastased männid. Saadud tulemused näitasid, et Puhatu freesturbaväljadel parema niiskusrežiimiga aladel ehk kuivenduskraavide vahetus läheduses kasvavad jõudsa aastase kõrgusjuurdekasvuga puud (2008. aastal



Joonis 2. Keemiliste elementide sisaldus (%) Puhatu ammendatud freesväljade turbas maapinnast 10–30 cm sügavusel.

Figure 2. The content of chemical elements (%) in the Puhatu cutover peatland in the depth 10–30 cm from ground.



Joonis 3. Mändide kõrguskasv (cm) Puhatu freesturbaväljadel erinevatel aastatel.

Figure 3. The height growth (cm) in the Puhatu cutover peatland in different year.

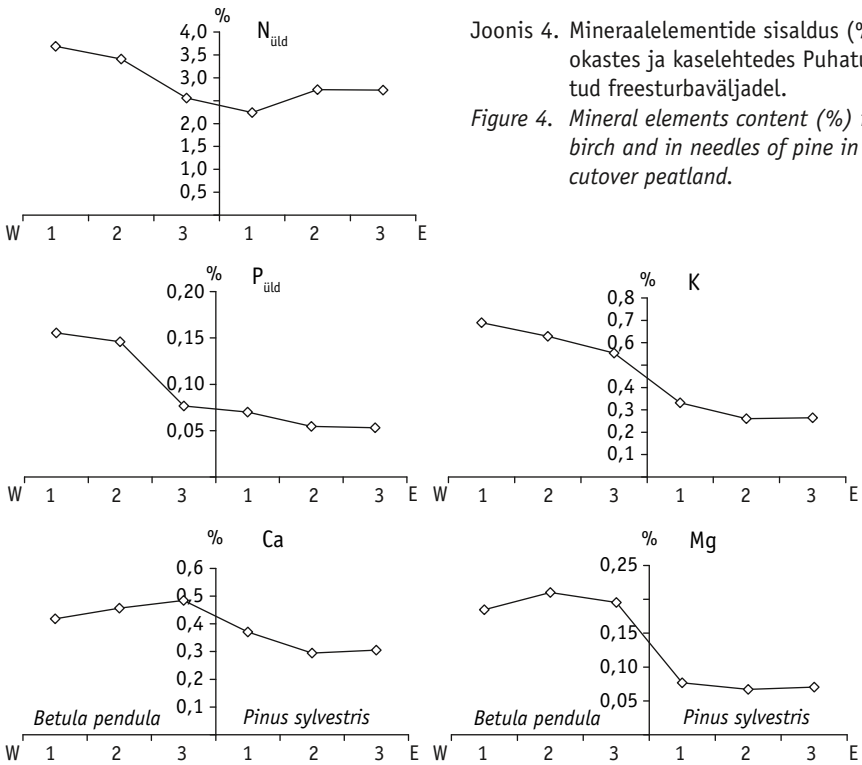
kasvas mõni puu kuni 73 cm) (joonis 3), nende puude keskmiseks kõrguseks mõõdeti mõõdulatiga 3,0 ± 0,6 m, varieerudes vahemikus 2,4–3,5 m. Kuivenduskraavidest 100 m eemal kasvavate samavanuseliste mändide keskmiseks kõrguseks mõõdeti ainult 74 cm. Mändide juurekaelaümbermõõduks mõõdeti 32,5 ± 7,7 cm, varieerudes kraaviäärsetel aladel vahemikus 17–53 cm. Kuivenduskraavidest kaugenedes on täheldatav mändide juurdekasvu vähenemine.

Toitainete sisaldus männiokastes ja kaselehtedes

Vastavalt Ingestad'i (1962) skaalale on männiokaste optimaalseks N-sisalduseks hinnatud 2,4–3,0 % ja kaselehtede puhul 3,4–4,0 %. Puhatust kogutud proovides oli võrreldes männiga $N_{üld}$-sisaldus oluliselt suurem nitrofiilse liigi – kase – lehtedes, varieerudes vahemikus 2,6–3,7 %, viidates siiski N-vaegusele kaselehtedes (joonis 4). Männiokastes määrati $N_{üld}$-sisalduseks 2,2–2,7 %, mis näitab, et N-sisaldus Puhatu jääksoos kasvavate mändide okastes on optimaalne.

Kõige enam varieerus määratud elementide sisaldustest $P_{üld}$-sisaldus männiokastes (vastavalt 0,05–0,07 %) ja kaselehtedes (vastavalt 0,08–0,16 %) (joonis 4). Tuginedes mitmete autorite andmetele (Wells *et al.*, 1986; Allen, 1987), on männiokaste P-sisalduse puhul defitsiidi piiriks 0,1 %. Seega viitavad Puhatu turbaaladelt kogutud männiokaste analüüsitulemused nende olulisele P-vaegusele.

Klorofülli koostisosisena on Mg taimedele asendamatu. Magneesiumisisalduseks mõõdeti Puhatust kogutud männiokkaproovides 0,07–0,08 % ja kaselehtedes 0,19–0,21 %. Võttes aluseks Ingestad'i (1962) skaala (männiokaste optimaalne Mg-sisaldus on vahemikus 0,12–0,18 %), võib väita, et Puhatust kogutud männiokkad kanna-



Joonis 4. Mineraalelementide sisaldus (%) männiokastes ja kaselehtedes Puhatu ammendatud freesturbaväljadel.

Figure 4. Mineral elements content (%) in leaves of birch and in needles of pine in the Puhatu cutover peatland.

Tabel 1. Toitainete sisalduste vahekorrad Puhatu ammendatud freesturbaväljadelt kogutud männiokastes ja kaselehtedes

Table 1. The nutrients proportions in the Scots pine neeldes and Silver birch leaves sampled from Puhatu cutover peatland

Puuliik *Tree species*	*Pinus sylvestris*	*Betula pendula*
Optimaalne sisaldus (Ingestad, 1987) Optimum *(Ingestad, 1987)*	100N : 14P : 45K : 6Ca : 6Mg	100N : 13P : 65K : 7Ca : 8,5Mg
Puhatu	100N : 2P : 11K : 13Ca : 3Mg	100N : 4P : 19K : 14Ca : 6Mg

Tabel 2. Korralatsioonid (*r*) turbas ning männiokastes ja kaselehtedes sisalduvate mineraalelementide vahel ja nende seoste olulisuse tõenäosus (*p*).

Table 2. Correlations (r) of mineral elements content in peat and in needles of pine and in leaves of birch and the probability of their significance (p).

Element *Element*	*Pinus sylvestris*		*Betula pendula*	
	r	*p*	*r*	*p*
$N_{üld/total}$	-0,59	0,02	-0,19	0,20
$P_{üld/total}$	-0,58	0,02	0,24	0,11
K	-0,73	0,01	-0,99	0,001
Ca	0,99	0.001	-0,90	0,001
Mg	0,73	0,01	-0,55	0,03

tavad tugeva Mg-defitsiidi käes, millele viitab ka osade mändide okaste kolletumine. Magneesiumi antagonistide – Ca ja K – sisaldused varieerusid männiokastes vahemikus vastavalt 0,29–0,37% (optimaalne 0,04–0,3 %; Ingestad, 1962) ja 0,26–0,33 % (optimaalne 0,9–1,6 %, Ingestad, 1962), viidates okastes valitsevale Ca-küllusele ja K-defitsiidile (joonis 4). Kõrge Ca-sisaldus Puhatu turbas võib olla Mg kehva omastamise põhjuseks taimede poolt. Kaselehtedes varieerusid Ca- ja K-sisaldused vahemikus 0,42–0,49 % ja 0,55–0,69 % (joonis 4).

Taimede mineraalse toitumise seisukohalt peetakse oluliseks toiteelementide sisalduse tasakaalu mullas. Puude toiteelementide sisaldus okastes/lehtedes on üheks kasvukoha või puuliigi toitainetega varustatuse taseme hindamise kriteeriumiks. Võrreldes Puhatu freesturbaväljadel kasvanud mändide okaste toitainete suhteid Ingestad'i (1979) väljatöötatud skaalaga, ilmneb, et männiokkad kannatavad tugeva P-, K- ja Mg-vaeguse käes, samas kui Ca-sisaldus ületab oluliselt optimaalset taset (tabel 1). Võrreldes Ingestad'i (1971) skaalaga võib täheldada kaselehtedes analoogselt männile olulist defitsiiti P-, K- ja Mg-sisalduste osas, rikkalikult on lehed varustatud Ca-ga (tabel 1).

Korrelatsioonanalüüs näitas, et statistiliselt oluline seos ilmnes kõigi turbas ning männiokastes analüüsitud elementide sisalduste vahel. Kasel ei täheldatud seost turba ülemises kihis ja lehtedes sisalduvate $N_{üld}$ ja P puhul, aga K-, Ca- ja Mg-sisalduse osas ilmnes tugev sõltuvus (tabel 2).

Puhatu freesturbaväljade rekultiveerimise perspektiivsusest

Ammendatud jääksoode taastaimestumise iseloomu ja kiiruse määravad paljud tegurid, nagu veetase, vee ja jääkturba keemiline koostis, pinna lang jne. (Ilomets, 2001). Turbakaevandamise alt vabanenud jääksoode isetaastumine sõltub kasutatud kaevandustehnoloogiast, kaevandatava ala suurusest ja mineraalse aluspõhja topo-

loogiast. EL liikmesmaade ammendatud jääksoodest on ainult 36% rekultiveeritud (Lode, 1997). Jääksoode metsastamist takistavad turba jääklasundi toitainete vähesus ja tasakaalustamatus, ebasoodne mikrokliima (suured lagendikud ja sellest tingitud hilis- ja varakülmade oht, maapinna kõrge temperatuur), mulla halb poorsus, ebasobiv niiskusrežiim (Pikk, 2001). Soodsamad on tingimused jääksoode metsastamiseks seal, kus jäätturbakiht on õhuke ja sellest on tekkinud viljakas glei-madalsoomuld. Sellised jääksood kattuvad looduslikul teel heakasvulise kaasikuga. Näiteks Tootsi jääksoo katsealal kasvab 40-aastane looduslik lehtpuumets, mille hektaritagavara on 244 tm. Rääma rabas läbi viidud katsed näitavad, et kuivenduse ja väetamise koosmõju tulemusena on rabamändide kasvuparameetrid ligikaudu 30% paremad võrrelduna üksnes kuivendatud proovitükkidel kasvavate puude näitajatega (Adson, 1995).

Mitmetes maades läbi viidud uuringud näitavad, et üheks perspektiivsemaks jääksoode kasutamise võimaluseks peetakse nende metsastamist (McNally & Kildare, 1995; Selin, 1995; Pikk, 2001; Huotari *et al*., 2008). Metsastamine on jääksoode põhiliseks rekultiveerimisviisiks näiteks Soomes (Selin, 1995). Kui otsustatakse jääksoo metsastada, siis peab kuivendusvõrk olema hea, teed korras ning põhjavee tase peab vegetatsiooniperioodil jääma keskmiselt 40–50 cm sügavusele, kultiveerimistööde ajal (maikuus) vähemalt 30 cm sügavusele ning jääksoo turba tüsedus ei tohi olla alla 0,3 m (Valk, 1981). Metsastamise tingimustest lähtuvalt jagatakse jääksood nelja rühma: 1) alla 50 cm paksuse turbakihiga jääksood, kus veerežiim on soodne; 2) alla 50 cm paksuse turbakihiga jääksood, mis pidevalt või perioodiliti kannatavad liigniiskuse all; 3) üle 50 cm paksuse turbakihiga jääksood, kus veerežiim on soodne; 4) üle 50 cm paksuse turbakihiga jääksood, mis pidevalt või perioodiliti kannatavad liigniiskuse all (Pikk & Valk, 1995). Esimese ja teise rühma jääksoos on vajalik maapind metsakultiveerimiseks ette valmistada. Esimesel on vajalik ettevalmistusviis sügavkünd, mis tooks maapinnale mineraalpinna. Teise rühma jääksoode ettevalmistamisel metsakultiveerimiseks oleks vajalik kuivendamine, kui see aga ei ole võimalik, oleks soovitav maa ette valmistada adravagudena, et vesi saaks voolata vaost kraavi. Siia rühma kuulub osaliselt ka Puhatu uuritud ala, kus turbakihi paksus varieerub 26 cm-st 1 m-ni ning on näha, et kõrgemad vallid on hästi taimestunud. Kolmanda ja neljanda rühma jääksoid ei ole vaja metsakultiveerimiseks ette valmistada. Kultuuride kasv on parem, kui maa on seisnud pärast freesturba varumist 2 aastat.

P. Selin (1995) on jaotanud jääksood nende taastaimestumise potentsiaali seisukohast õhukese ja tüseda turbakihiga jääksoodeks, mainides ühtlasi, et õhukese turbakihiga jääksoos toimub taastaimestumine üldjuhul kiiremini kui tüseda turbakihiga jääksoos. Selle põhjal soovitab ta õhukese turbakihiga jääksoid kasutada loodusliku metsauuenduse jaoks ning tüseda turbakihiga jääksoid aga väetatavateks metsaistandusteks. Puhatu freesturbaväljade puhul on tegemist tüseda turbakihiga alaga, mis viitab, et siin võiks õnnestuda metsastamine väetisainete kaasabil, mistõttu oleks mõeldav vastavate katsete rajamine uuritud alale.

Paljud uuringud näitavad veenvalt, et jääksoid ei ole võimalik ilma väetamata edukalt metsastada, kusjuures väetada soovitatakse mitte varem kui kaks aastat pärast kuivendamist (Raid, 1979; Valk, 1981). Üheks taimestumist pärssivaks teguriks jääksoodes peetakse taimedele kasvuks vajalike toitainete vähesust turba jääklasundis (eriti kasvu limiteerivaks peetakse turvasmuldades P- ja K-vaegust) ja tasakaalustamatust (Carey *et al*., 1985; Raid, 1986; Taylor & Worrell, 1991; Kaunisto & Aro, 1996; Pikk, 2001). Üldjuhul on kaevandatud maardlate jäätturba lasund tihe, madala poorsuse ja filtratsioonivõimega ning ebasoodus soodele iseloomuliku tai-

mestiku taastumiseks (Lode, 1998, 1999). Allesjäänud turbakiht on bioloogiliselt väheaktiivne, seal on puudus P, K ning isegi mikroelementidest (Fe jt.) (Raid, 1979). Kergemini migreeruvad Na, K, Mg ja Ca (Andresmaa, 1998). Kuivendamine muudab rabamulla mahumassi ja sellest tulenevalt mineraalainete ja N-sisaldust (Valk, 1988). Väetamisviis sõltub kultuuri vanusest, algtihedusest, kultuuri rajamisviisist, kasvukohatüübist ja paljudest teistest teguritest (Raid, 1986). Jääksoodes on kõige suurem puudus P, mistõttu neid alasid tuleb tingimata väetada P-väetisega (Raid, 1979). Fosfaatioonide omastatavus mullast on parim, kui pH on vahemikus 6,5–7,5 (Kärblane, 1996). Seetõttu andsidki kõige paremaid tulemusi männikultuuride väetamisel need väetisekombinatsioonid, mis sisaldasid P ja K. Kuigi turvasmullad sisaldavad rohkesti N, pole nad taimedele kõige paremini omastatavad (Raid, 1979). Happelises mullas on P-ühendid taimedele raskemini kättesaadavad, puutuha, kui lubiaine turbasse segamine tõstab turba pH-d, mis omakorda soodustaks fosfaatioonide omastatavust. Muldade lupjamise tulemusena tõuseb ka paljude N-väetiste mõju (Raid, 1979). Lupjamine (väetamine) tõstab ka puude vastupanuvõimet äärmustemperatuuridele, põuale, haigustekitajatele ja putukkahjuritele (Raid, 1986).

Taimede toitumises on Mg kaks tugevat antagonisti – Ca ja K. Kui Ca- ja K-sisaldus kasvusubstraadis on suhteliselt suur, siis seda raskem on Mg kättesaadavus. Eesti rabaturbas on Mg-sisaldus väga madal (keskmiselt 0,22% MgO) (Valk 1988), mida näitasid ka Puhatu turba analüüsid. Toitainete tasakaalustamata bilansile viitab männiokaste kolletumine Puhatu jääkturbaaladel. Teostatud keemilised analüüsid näitasid kõrget Ca-sisaldust Puhatu turbas, mis võib tuleneda põlevkivituha atmosfäärsest sissekandest. Kaltsiumi liig on omakorda pärssinud Mg, kui klorofülli koostisse kuuluva elemendi, omastamist taimede poolt. Magneesiumisisaldust Puhatu freesturbaväljade turbas võiks tõsta Mg-sisaldusega tuhkade (näiteks puutuhk, turbatuhk, nende kahe tuha segu jt.) segamine kasvusubstraati, mistõttu paraneks ka Mg-omastatavus taimede poolt.

Jääksoodes valitseb toitainete puudus, mistõttu oleks puude kasvamistingimuste parandamise ja kasvukiiruse suurendamise üheks võimaluseks puutuha segamine kasvupinnasesse. Eriti oluline on P ja K kõrge sisaldus puutuhas, mis loob eeldused N omastamiseks ja jääksoode metsastumiseks. Kuna viimasel ajal on hakatud suurt tähelepanu pöörama taastuvate energiaallikate kasutusvõimalustele ja nende rakendamisele, eeskätt puidu aga ka turba kasutamisele kütusena, saaks jääksoode metsastamise ja nende väetamisel tuhkadega lahendada kaks probleemi: 1) puidu kütusena kasutamisest tulenevate suurte jäätmekoguste (tuhkade) taaskasutamine ning 2) jääksoode rekultiveerimisel taimede parema kasvu.

Soomes läbi viidud uuringute tulemusena selgus, et puutuha kasutamine turvasmuldadel on igati perspektiivne. Paremaid tulemusi puude kasvu stimuleerimisel biokütuste tuhkadega on saadud, kasutades neid turvasmuldadel, kuna tuhk sisaldab puu kasvuks kõiki vajalikke elemente, välja arvatud N. See tähtsaim element piirab kasvu mineraalsel pinnasel, kus teda leidub vähe, samal ajal aga turvasmuldadel on teda külluslikult, kuid teisi mineraalelemente napib (Hånell & Magnusson, 2005; Piirainen *et al*., 2005). Pealegi on puutuhaga väetamise mõju hariliku männi kasvule Soomes olnud üldiselt efektiivsem kui kaubanduslike PK-väetiste kasutus kuivendatud turbaväljadel (Silfverberg & Huikari, 1985). Ilmnenud on puutuha kauakestev väetamise efekt mitmetes katsetes, eriti turbaväljadel, mis sisaldavad suurt kogust orgaaniliselt seotud lämmastikku (Hytönen & Kaunisto, 1999). Ammendatud turbaaladel kase- ja pajuvõsaga tehtud katsetest järeldati, et puutuha kui väetise mõju ilmneb hiljem, kuid võib kesta 30–40 aastat. Seejuures võib puutuha kasutamine

ammendatud turbaväljadel olla säästliku metsanduse üheks väljundiks ja oluliselt vähendada tuhast põhjustatud jäätmeprobleemi (Hytönen & Kaunisto, 1999). Ka näiteks reoveesetete kasutamisel jääksoodes suurenes kõigil puuliikidel nii kõrguse juurdekasv kui ka juurekaela läbimõõt, eriti tundlikuks puuliigiks osutus arukask, mille morfoloogilised näitajad suurenesid kõige rohkem (Pikka, 2005). U. Valk (2005) märgib, et kui suurendada rabas turba viljakust, pikeneb kasvuperiood ja paraneb puude kasv. Mudaga töödeldud substraadiga ei kohanenud väiksemad, alla 30 cm kõrgused arukased, millest suur osa hukkus. Arvestades väiksemate puude halvema kasvamamineku ja väiksema kõrguse juurdekasvuga, tuleb töödeldud alal eelistada suurema istutusmaterjali kasutamist. Erinevalt kontrollalast ei esinenud kevadel katsealal külmakohrutusi. Mudaga töötlemise tagajärjel ei vähenenud puude külmakindlus, kuigi võis oletada, et kasvuperioodi pikenemisel ei jõua puud talveks ette valmistuda.

Üksikväetistega võrreldes on väetiste kombinatsioonid suurema efektiivsusega. Ainult N- või ainult K-väetisest on vähe kasu, kõige paremad tulemused puude kõrguskasvule ja rinnasdiameetrile saadi, kasutades väetamisel samaaegselt P, N kui ka K, mis veelkord viitab sellele, et puutuha kasutamine jääksoode metsastamisel võiks anda häid tulemusi. Kaaliumi mõju okaspuuseemikute kasvule on suurem kui N mõju, kuid 2–3 korda väiksem P mõjust (Valk, 1992). Väetamata alal hukkus külmakohrutuse tagajärjel suurem osa männikülvist, kui väetatud ala kattis tihe lehtpuuuuendus. Väetise ribadena külvil ilmub lehtpuude uuendust vähem kui väetiste ülepinnalisel külvil. Häid tulemusi saadakse kasutades PK väetisi, mis peale oma otsese mõju soodustavad ka puudele mitteomastavate lämmastikuvormide omastatavaks muutumist (Raid, 1979).

Peamiseks nõudeks jääksoode, nagu teistegi soode väetamisel on niiskusrežiimi reguleerimine kuivendamisega (Raid, 1979). Kuivendusvõrgu ehitamisel tuleb arvestada ka soopinnase kuivendusjärgse vajumisega. Dreenide vahelaiuseks kujuneb 15–30 m, olenevalt turba lagunemisastmest ja lasundi sügavusest.

Kokkuvõte

Ammendatud jääksoode rekultiveerimine vähendaks nende alade tuleohtlikkust ja kasvuhoonegaaside emissiooni, suurendaks piirkonna looduslikku mitmekesisust ja metsamajanduslikku käibesse tuleks tagasi momendil kasutusest väljasolevad alad. Puhatu freesturbaväljade ökoloogilise seisundi hindamiseks läbiviidud pilootuuringu tulemused näitavad, et antud alade üheks perspektiivsemaks rekultiveerimise võimaluseks võiks olla turbatootmisest mahajäetud väljakute taasmetsastamine. Turba ja taimmaterjali keemilistele analüüsidele tuginedes võib soovitada väetisainetena metsakultuuride paremaks kasvamaminemiseks tootmisjäägina tekkivaid ennekõike kõrge P- ja K-sisaldusega tuhkasid (puutuhk, turbatuhk, nende kahe tuha segu jt.). Selleks tuleks aga eelnevalt teostada vastavad kalkulatsioonid (vajaminev tuha kogus, transportimise kaugus, kohaletoomise ja pinnasesse segamise jne. kulud), hindamaks metsastamise või mõne teise rekultiveerimisvõimaluse otstarbekust ja perspektiivsust.

Uuritud teema on aktuaalne, sest Eesti keskkonnastrateegia näeb ette, et tuleb peatada loodusliku mitmekesisuse kahanemine ja arendada maastike taastamist ning välja töötada ja rakendada kaevandatud alade kaasaja nõuetele vastav rekultiveerimise süsteem. Jääksoode korrastamise vajadust märkis ka Riigikontroll 2005. a. juulis valminud auditis. Seega on vajalik alustada intensiivseid uuringuid ammen-

datud jääksoode perspektiivsema(te) rekultiveerimisvõimalus(t)e väljatöötamiseks, mille üheks väljundiks on nende metsastamine, arvestades seejuures turbaalade spetsiifilisi aspekte.

Jääksoode metsastamisel võiks perspektiivseks osutuda puutuha kasutamine jääksoode turbas toiteelementide bilansi tasakaalustamiseks, mis omakorda parandab puude kasvu. Mahajäetud turbaväljadele rajatud metsakultuuride väetamiseks optimaalsete puutuhakoguste väljaselgitamiseks tuleks jätkata uuringuid jätkuprojektide raames.

Tänusõnad. Käesolev töö on valminud Keskkonnainvesteeringute Keskuse (projekt nr. 51), Riigimetsa Majandamise Keskuse ning Haridus- ja Teadusministeeriumi (teema nr. 0170021s08) toetusel. Autorid tänavad M. Tilka ja Ene-Ly Männingut abi eest proovide töötlemisel.

Kasutatud kirjandus

Adson, A. 1995. Metsastamiskatsete tulemustest Rääma rabal. (The results of the forestation experiments on moor Rääma). – Teadustööde kogumik, Metsandus / Transactions of the Estonian Agricultural University. Tartu, 181, 184–187. (In Estonian with English summary).

Aerts, R., Wallen, B., Malmer, N. 1992. Growth-limiting nutrients in *Sphagnum*-dominated bogs subjects to low and high atmospheric N supply. – The Journal of Ecology, 80, 131–140.

Allen, H.L. 1987. Forest fertilizers. – Journal of Forestry, 85, 2, 37–46.

Andersen, R., Francez, A.-J., Rochefort, L. 2006. The physicochemical and microbiological status of a restored bog in Quebec: Identification of relevant criteria to monitor success. – Soil Biology & Biochemistry, 38, 1375–1387.

Andresmaa, E. 1998. Soovee ja turba keemiline koostis. (The chemical composition of bog water and peat). – Kink, H., Andresmaa, E., Orru, M. (eds.). Eesti soode hüdrogeoökoloogia. (The hydroecology of Estonian mires). Tallinn, Teaduste Akadeemia Kirjastus, 22–26. (In Estonian with English summary).

Bridgham, S.D., Richardson, C.J. 1992. Mechanisms controlling soil respiration. (CO_2 and CH_4) in southern peatland. – Soil Biology & Biochemistry, 17, 837–842.

Carey, M.L., Hammond, R.F., McCarthy, R. 1985. Plantation forestry on cutaway raised bogs and fen peats in the Republic of Ireland. – Irish Forestry, 42(2), 106–122.

Francez, A.J., Gogo, S., Josselin, N. 2000. Distribution of potential CO_2 and CH_4 production, denitrification and microbial biomass C and N in the profile of a restored peatland in Brittany (France). – European Journal of Soil Biology, 36, 161–168.

Glatzel, S., Kalbitz, K., Dalva, M., Moore, T. 2003. Dissolved organic matter properties and their relationship to carbon dioxide efflux from restored peat bogs. – Geoderma, 113, 397–411.

Hånell, B., Magnusson, T. 2005. An evaluation of land suitability for forest fertilisation with biofuel ash on organic soils in Sweden. – Forest Ecology and Management, 209, 45–55.

Huotari, N., Tillman-Sutela, E., Pasanen, J., Kubin, E. 2008. Ash-fertilization improves germination and early establishment of birch (*Betula pubescens* Ehrh.) seedlings on a cut-away peatland. – Forest Ecology and Management, 255, 2870–2875.

Hytönen, J., Kaunisto, S. 1999. Effect of fertilisation on the biomass production of coppiced mixed birch and willow stands. – Biomass and Bioenergy, 17, 455–469.

Ilomets, M. 1996. Temporal changes of Estonian peatlands and carbon balance. – Punning, J.-M. (ed.). Estonia in the system of global climate change. Publication of Institute of Ecology at at Tallinn Pedagogical University, 4. Tallinn, AS Ortwil Ltd., 65–74.

Ilomets, M. 2001. Mis saab jääksoodest? (What will become of abandoned peatlands?). – Eesti Loodus / Estonian Nature, 6, 218–221. (In Estonian).

Ingestad, T. 1962. Macroelement nutrition of pine, spruce and birch seedlings in nutrient solutions. – Medd. Statens Skogsforskningsinst., 51, 1–150.

Ingestad, T. 1971. A definition of optimum nutrient requirements in birch seedlings, II. – Plant Physiology, 24, 118–125.

Ingestad, T. 1979. Mineral nutrient requirements of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. – Plant Physiology, 45, 373–380.
Ingestad, T. 1987. New concepts on soil fertility and plant nutrition as illustrated by research on forest trees and stands. – Geoderma, 40, 237–252.
Kaunisto, S., Aro, L. 1996. Forestry use of cutaway peatlands. – Vasander, H. (ed.). Peatlands in Finland. Finnish Peatland Society, Helsinki, 130–134.
Kärblane, H. 1996. Taimede toitumise ja väetamise käsiraamat. (The handbook of nutrition and fertilization of plants). Põllumajandusministeerium, Tallinn. 285 pp. (In Estonian).
Lavoie, C., Rochefort, L. 1996. The natural revegetation of a harvested peatland in southern Québec: A spatial and dendroecological analysis. – Ecoscience 3, 101–111.
Lode, E. 1997. Ülevaade Turbakongressi töökomisjonide teadusettekannetest. (A Survey of the scientific reports of the working commissions of the Peat Congress). – Eesti Turvas /Estonian Peat, 3/4, 18–21. (In Estonian).
Lode, E. 1998. Soode taastamine – eetika, esteetika ja keskkonnateadvuse küsimus! I osa. (Restoration of mires – a question of ethics, aesthetics and environmental awareness. I part). – Eesti Turvas / Estonian Peat, 3/4, 11–14. (In Estonian).
Lode, E. 1999. Soode taastamine - eetika, esteetika ja keskkonnateadvuse küsimus! II osa. (Restoration of mires – a question of ethics, aesthetics and environmental awareness. II part). – Eesti Turvas/ Estonian Peat, 1/3, 5–11. (In Estonian).
McNally, G., Kildare, Co. 1995. The utilisation of industrial cutaway peatlands. Peat Industry and Environment. Ministry of Environment Information Centre, Tallinn, 84–86.
Oru turbakombinaadi mahajäetud turbaväljade rekultiveerimise projekt. (The project of recultivation of Oru integrated peat plant cutover peatlands). 2002. Aruanne. Tallinna Tehnikaülikool, Mäeinstituut, Tallinn. 26 pp. (In Estonian).
Paal, J. (ed.). 2007. Jääksoode korrastamise käsiraamat. Tartu. 113 pp.
Piirainen, S., Domisch, T., Nieminen, M., Moilanen, M. 2005. Nutrient and heavy metal leaching after wood ash fertilisation from drained peatland. – Regular recycling of wood ash to prevent waste production. Recash- international seminar, 8–9 of November 2005. Prague, Czech Republic, 47–55.
Pikk, J. 2001. Kased turvasmuldadel (Birches on peatlands). – Tullus, H., Vares, A. (eds.), Lehtpuupuistute kasvatamine Eestis. (Silviculture of deciduous in Estonia). Akadeemilise Metsaseltsi Toimetised, 14 / Proceedings of the Estonian Academical Forestry Society, 14. Eesti Põllumajandusülikool, Metsanduslik Uurimisinstituut, Tartu, 95–102. (In Estonian with English abstract).
Pikk, J., Valk, U. 1995. Jääksoode metsastamiskatsete tulemused Eestis.
Pikka, J. 2005. Use of wastewater sludge for soil improvement in afforesting cutover peatlands. (Reoveesette kasutamisest ammendatud freesturbaväljade metsastamisel). – Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused, 42, 95–105.
Raid, L. 1979. Külvikultuuride väetamisest jääksoodel. (Fertilization of seedlings in peatlands). – Mets. Puit. Paber / Forest. Wood. Paper, 6, 16–18. (In Estonian).
Raid, L. 1986. Metsakultuuride väetamine. (Fertilization of cultivated forests). – Mets. Puit. Paber / Forest. Wood. Paper, 5, 7–10. (In Estonian).
Ramst, R., Orru, M., Salo, V., Halliste, L. 2006. Eesti mahajäetud turbatootmisalade revisjon. 2. etapp. Ida-Viru, Lääne-Viru, Jõgeva, Järva ja Tartu maakond. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. (In Estonian).
Selin, P. 1995. After-use of peatlands in Finland. Peat industry and Environment. Ministry of Environment Information Centre, Tallinn. 87 pp.
Silfverberg, K., Huikari, O. 1985. Wood-ash fertilization on drained peatlands. (Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla). – Folia Forestalia, 633, 1–25. (In Finnish with English abstract).
Taylor, C.M.A., Worrell, R. 1991. Influence of site factors on the response of Sitka spruce to fertiliser at planting in upland Britain. – Forestry, 64, 1, 13–25.
Valk, U. 1981. Freesturbaväljakute rekultiveerimise võimalused. (Possibilities of restoration of cutover peatlands). – Keskkonnakaitse / Environmental Protection, 5, 7–9. (In Estonian).
Valk, U. 1988. Eesti sood. (Estonian bogs). Tartu. 314 pp. (In Estonian with English summary).
Valk, U. 1992. Turbaväljakute metsastamiskatsete tulemustest. (The results of forestation of peatlands) – Eesti Mets / Estonian Forest, 4–5, 13–16. (In Estonian).
Valk, U. 2005. Eesti rabad. (Estonian bogs). Tartu. 314 pp. (In Estonian with English summary).
Waddington, J., Rotenberg, P.A., Warren, F.J. 2001. Peat CO_2 production in a natural and cutover peatland: implications for restoration. – Biogeochemistry, 54, 115–130.
Wells, C.G., Craig, J.R., Kane, M.B., Allen, H.L. 1986. Foliar and soil tests for the prediction of phosphorus response in loblolly pine. – Soil Science Society of America Journal, 50, 1330–1335.

The ecological status of Puhatu cutover peatland

Katri Ots, Karin Kikamägi and Tatjana Kuznetsova

Summary

Differently form fields left to lie fallow or forest clearings, vegetation on cutover peatlands is not restored for a very long period of time because the original vegetation has been destroyed and the conditions for the germination of seeds and growth of plants are unfavourable. As the vegetation has been destroyed no photosynthesis occurs in cutover peatlands and so carbon dioxide is not bound any more. Therefore, reclamation of cutover peatlands is of vital importance from the standpoint of environmental protection.

Analysis of the samples showed that the pH of peat in Puhatu cutover peatlands was in the range 5.1–5.5. The nutrient concentrations of Puhatu peatland peat (%) varied as follows: total N 2.1–2.9, total P 0.016–0.032, K 0.004–0.02, Ca 1.2–3.5 and Mg 0.08–0.2. The height of pines was 3.0 ± 0.6 m and height growth in current year was up to 73 cm. Comparison of our results of pine needles (100N : 2P : 11K : 13Ca : 3Mg) and birch leaves (100N : 4P : 19K : 14Ca : 6Mg) with the scale presented by Ingestad (scale for pine 100N : 14P : 45K : 6Ca : 6Mg; scale for birch 100N : 13P : 65K : 7Ca : 8,5 Mg) suggests that the content of P, K and Mg in pine needles and birch leaves is lower and Ca content significantly higher than the optimum level. Correlation analysis revealed a statistically significant relationship between mineral elements content (total N, total P, K, Ca and Mg) in pine needles and in peat. For birch significant correlation was established between K, Ca and Mg content in leaves and in peat.

As cutover peatlands suffer shortage of nutrients, one of the ways for improving growth conditions of trees and accelerating their growth would be to add peat or wood ash to the growth substrate. The high concentration of P and K in wood ash is of special importance, which creates preconditions for N assimilation and forestation of cutover peatlands. Investigations conducted in Finland showed that the use of wood ash to amend peat soils is promising. Better results in using biofuel ashes to stimulate tree growth have been achieved in peat soils because wood ash contains all elements necessary for tree growth except N. This vitally important element is limiting to tree growth on mineral soils where its content is low, but peat soils contain sufficient amounts of this nutrient while other mineral nutrients are in short supply.

Received July 8, 2009, revised September 21, 2009, accepted November 13, 2009