

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija
Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Miškų institutas

KOMPENSUOJAMOJO TRĚŠIMO MIŠKO KURO PELENAIS REKOMENDACIJOS

Antrasis pataisytas leidimas



UDK 630.1(474.5)

Ko-166

Rekomendacijas parengė: Remigijus Ozolinčius,
Kęstutis Armolaitis,
Virgilijus Mikšys,
Iveta Varnagirytė-Kabašinskienė

Recenzantai: dr. Vytautas Suchockas (LAMMC Miškų institutas),
dr. Vidmantas Verbyla (Valstybinė miškų tarnyba)

TURINYS

Įvadas	5
1. Miško kuro pelenų cheminė sudėtis	7
2. Pelenų poveikis miško ekosistemoms	8
3. Reikalavimai miško kuro pelenų kokybei	10
4. Miško kuro pelenų sandėliavimas ir stabilizavimas	12
5. Kompensuojamojo tręšimo miško kuro pelenais aplinkosauginiai ribojimai ..	13
6. Tręšimo miško kuro pelenais normos	13
7. Miško kuro pelenų transportavimo ir paskleidimo miške technologijos	15
Rekomenduotina literatūra	17
Summary	18

ĮVADAS

Atsinaujinančių išteklių – vandens, saulės, vėjo bei biologinės masės – panaudojimas elektros ir šilumos gamybai yra svarbus veiksnys, nulemiantis darnią energetikos plėtrą. Naudojant biologinį kurą, ne tik gaunama papildoma energija, bet ir mažinama oro tarša, ypač CO₂, SO₂, NO_x emisijomis, kurių dideli kiekiai patenka į aplinką, deginant iškastinius išteklius – gamtines dujas, anglį bei naftą ir jos produktus.

Dar 1994 metais Madride priimtoje deklaracijoje Europos Sąjungos šalys, siekdamos sumažinti taršos žalingą poveikį gamtinei aplinkai, užsibrėžė tikslą iki 2010 m. vietinių atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimą padidinti iki 12 proc. bendrame energijos balanse (LEI, 2002). Prognozuojama, kad plėtojant biologinio kuro naudojimą, 2008–2012 metais CO₂ emisijos visoje Žemėje sumažės 5 proc., o Lietuva, 1998 m. pasirašiusi Kyoto protokolą, iki 2008–2012 metų „šiltnamio efekto“ dujų emisijas sumažins 8 proc., palyginus su 1990 m. (EEA, 2001).

Lietuvai integruojantis į Europos Sąjungą siūloma siekti, kad energetiniame balanse vietiniai išteklių sudarytų iki 12–15 proc. Vienas pagrindinių biologinio kuro šaltinių Respublikoje – malkinė ir menkavertė mediena bei kirtimo atliekos (šakos, viršūnės, žievė, spygliai ir kt.). Nors mediena šiame biologiniame kure sudaro didžiausią dalį, tokį kurą tiksliau būtų vadinti miško kuru. Jo naudojimas sumažintų brangių žaliavų – naftos ir jos produktų, gamtinių dujų ir akmens anglies – importą, didintų kaimo gyventojų užimtumą. Todėl nuo 1992 metų, remiantis Lietuvos Respublikos Vyriausybės patvirtintomis prioritetinėmis energetikos ūkio vystymosi kryptimis, Lietuvoje sėkmingai vykdoma katilinių pertvarkymo deginti biologinį kurą programa (LEI, 2002). Vystant šią programą, svarbu išsiaiškinti ne tik miško kuro ruošos, bet ir šio kuro pelenų panaudojimo galimybes. Prognozuojama, kad Lietuvoje ateityje per metus galima paruošti apie 5 mln. kub. metrų miško kuro (Kairiūkštis et al., 2005). Jį sudeginus, kasmet turėtų susikaupti apie 25–30 tūkst. tonų pelenų, kas sukurtų jų deponavimo, panaudojimo ir utilizavimo problemas.

Pasaulinėje praktikoje yra žinomos kelios miško kuro pelenų naudojimo sritys. Ne-tradicinis pelenų utilizavimas, taikomas Skandinavijos šalyse (ypač paplitęs Švedijoje), – pelenų įmaišymas į statybinius ir kelio dangos mišinius. Tačiau nuo seno pelenai naudojami kaip Ca, Mg, K, P ir mikroelementų šaltinis žemės ūkio augalams. Tuo buvo pagrįsta lydiminė žemdirbystė (Hopkins, 1910; Švedas, 2001).

Miško kuro pelenai yra labai šarmiški (pH_{H₂O} 11–13), todėl jie naudojami ne vien kaip trąša, bet ir kaip dirvožemio kalkinimo priemonė bei kaip organinių trąšų priedas (Muse and Mitchell, 1995). Jais pagerinama ir nuotekų dumblo, kuris naudojamas tręšti, sudėtis. Be to, papildomai pridėjus šių pelenų, pagerinamas organinių atliekų ir net popieriaus kompostavimas (Campbell et al., 1997; Hackett et al., 1999).

Jau XX amžiaus pradžioje medžio pelenai buvo naudojami miškų tręšimui. Švedijoje medžio pelenai pirmą kartą buvo išbarstyti 1918 m. miškų durpžemiuose, siekiant šiuos dirvožemius praturtinti P, K, Ca, Mg ir mikroelementais (Nilsson, 2001). Pelenai gali būti naudojami kartu ir su kitomis mineralinėmis maisto medžiagomis arba iš kitų kuro rūšių gautais pelenais. Teigiama, kad vykdant tokį tręšimą papildomai tikslinga tręšti azotu, kurio pelenuose yra labai mažai.

Miško kuro pelenus tikslingiausia naudoti vadinamajam kompensuojamajam miškų tręšimui, t. y. tręšti tuos medynus, kuriuose buvo ruošiamas miško kuras. Tai atitiktų darnios miškininkystės principus. Pelenai būtų ne tik utilizuojami, bet ir miško ekosistemoms kompensuojami maisto medžiagų nuostoliai dėl medienos ir kirtimų atliekų išvežimo. Tačiau, tręšiant miško kuro pelenais, miške būtina išvengti neigiamų pasekmių – biologinės įvairovės, ypač augalijos, nuskurdinimo, maisto medžiagų disbalanso, kenksmingų medžiagų (pvz., sunkiųjų metalų) sankaupų augalijoje ir dirvožemyje, jų patekimo į gilesnius dirvožemio horizontus bei į gruntinius vandenis.

2001–2005 m. Lietuvos miškų institutas dalyvavo Europos Sąjungos finansuojamajame projekte WOOD-EN-MAN, kurio vieni pagrindinių tikslų buvo nustatyti ir įvertinti: 1) maisto medžiagų sumažėjimą miško ekosistemose dėl miško kuro ruošos; 2) ekologinį ir biologinį tręšimo pelenais efektą; 3) toksiškus medžio kuro pelenų komponentus ir jų patekimą į gilesnius miško dirvožemių sluoksnius bei gruntinius vandenis. Be paminėto projekto, miško kuro ruošos ir šio kuro pelenų utilizavimo ypatumai Lietuvoje tirti, vykdant bendrą Švedijos ir Lietuvos projektą „Medienos naudojimo kurui Rokiškio katilinėje miškininkystės, technologinių ir ekonominių aspektų tyrimai“ (2001–2002).

Todėl šios rekomendacijos paruoštos ne tik naudojant mokslinėje literatūroje sukauptą užsienio šalių patirtį, bet ir minėtų projektų bei jų metu įkurtų lauko eksperimentų duomenis.

Naudojant miško kuro pelenus kompensuojamajam tręšimui Lietuvos miškuose svarbu ne tik atlikti miško kuro pelenų rekognostinę-įvertinamąją cheminę analizę, bet ir nustatyti tręšimo tikslingumą ir efektyvumą, kartu užtikrinant minimalią žalą miško ekosistemoms. Tam būtini detalūs daugiamečiai tyrimai ir jų duomenų analizė bei platūs gamybiniai miško tręšimo pelenais bandymai. Jų Lietuvoje labai trūksta, todėl rekomendacijos nėra galutinės, o daugiau preliminaros.

1. Miško kuro pelenų cheminė sudėtis

Kaip matyti 1 lentelėje, miško kuro pelenuose augalų maisto medžiagų bei sunkiųjų metalų koncentracijos ženkliai įvairuoja. Tam įtakos turi ne tik miško kuro deginimo sąlygos, bet ir nevienoda cheminių elementų sankaupa skirtingose medžio dalyse (spygliuose ar lapuose, šakose, šaknyse, stiebuose ar jų žievėje). Daugiausia pelenų susidaro deginant spyglius (vidutiniškai 4,5 proc.), mažiau – žievę (3 proc.), šakeles (vyteles), šaknis, šakas (1,5 proc.) ir stiebus (0,5 proc.) (Campbell, 1990).

1 lentelė. Elementų koncentracijos užsienio ir kai kurių Lietuvos katilinių miško kuro pelenuose

Table 1. Concentrations of elements in forest fuel ashes

Elementai Elements	Pagal užsienio literatūrą* According to published data*	Lietuvos katilinių pelenai Ashes from Lithuanian heating plants
Makroelementai, g kg ⁻¹ sausos medžiagos (SM) Macroelements, g kg ⁻¹ DM		
org. C, %	nėra duomenų/no data	1,3–38,2
Ca	21–300	22–268
K	7–74	1–32
Mg	10–73	4–34
P	2–23	0,3–15
N	nėra duomenų/no data	<0,28
Mikroelementai, mg kg ⁻¹ sausos medžiagos (SM) Trace elements, mg kg ⁻¹ DM		
Cd	1,4–28,6	0,03–9,6
Cr	14–225	7,6–35
Cu	52–289	4,8–24,1
Pb	19–100	0,7–40
Zn	0,2–1,5	4–820
Ni	64	7–8,6
B	8–290	22–225
¹³⁷ Cs, kBq kg ⁻¹	nėra duomenų/no data	<5

* Campbell, 1990; Etiegni, Campbell, 1991; Baath, Arnebrant, 1994; Bramryd, Fransman, 1995; Hytonen, Kaunisto, 1999; Eriksson, 1998; Levula et al., 2000; Hansen et al., 2001; Saarsalmi et al., 2001.

Miško kuro pelenų tankis ir cheminė sudėtis taip pat priklauso nuo organinės anglies (org. C) koncentracijos. Kuo org. C daugiau, tuo mažesnis pelenų tankis, menkesnė maisto medžiagų ir mikroelementų ar sunkiųjų metalų koncentracija pelenuose (Greene, 1988; Campbell, 1990; Etiegni, Campbell, 1991). Tokią įvairovę nulemia degimo proceso kokybė. Kai degimo sistema veikia efektyviai, org. C pelenuose gali būti tik 1–2 proc., jei labai neefektyviai – net iki 70 proc. (Greene, 1988). Jeigu miško kuro

pelenuose org. C koncentracija viršija 10 proc. (100 g C kg^{-1}) – miško kuro deginimas yra neefektyvus.

Miško kurą kūrenančių katilinių pelenus ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 11–13) sudarančių elementų – makroelementų (Ca, K, Mg, P, N) ir mikroelementų ar sunkiųjų metalų (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni ir B) – koncentracijos pateiktos 1 lentelėje. Be paminėtų elementų, miško kuro pelenuose gali būti iki beveik 60 g kg^{-1} silicio (Si), kurį galima įvardinti kaip balastinį elementą. Jis sudaro kvarcą (SiO_2), kuris nėra augalų maisto medžiaga ir neteršia gamtinės aplinkos. Silicio pelenuose būna ypač daug, jeigu deginama daug dirvožemio priemaišų turinti susmulkinta medienos masė. Kiti makroelementai (Ca, K, Mg ir P) yra svarbiausios augalų maistmedžiagės. Būtina pažymėti, kad miško kuro pelenuose nėra arba yra labai mažai azoto (N), kuris deginant miško kurą išsisklaido į atmosferą azoto oksidais.

Dalis miško kuro pelenuose esančių mikroelementų (Mn, Cu, Zn, B, Mo) yra būtini augalų maisto medžiagų apykaitai. Kiti (As, Cd, Hg, Cr, Ni, Pb) yra toksiški sunkieji metalai, kurie gali užteršti dirvožemį, augalus, vandens telkinius, o migruodami į gilesnius dirvožemio horizontus – ir gruntinius vandenis (Williams et al., 1996).

Be makroelementų ir mikroelementų bei sunkiųjų metalų, medžio kuro pelenuose gali būti aptinkami radioaktyvūs kalio (^{40}K), stroncio (^{90}Sr) ir cezio (^{137}Cs) izotopai (Ravila and Holm, 1996). Pažymima, kad medienoje ^{137}Cs galėjo susikaupti po Černobylio avarijos (Högbom and Nohrstedt, 2001).

2. Pelenų poveikis miško ekosistemoms

Miško kuro pelenų poveikis miško dirvožemių cheminėms savybėms ir biotai, medžių ir kitos augmenijos maisto medžiagų apytakai, vystymuisi ir gyvybingumui bei medynų produktyvumui ir pan. yra tiriamas Švedijoje, Suomijoje, Danijoje, Vokietijoje, JAV, Brazilijoje. Tokie tyrimai nuo 2002 m. pradėti ir Lietuvoje.

Išbarsčius miško kuro pelenus miške, dirvožemiai pašarmėja ir praturtėja visomis, išskyrus azotą, augalams reikalingomis svarbiausiomis maisto medžiagomis (Ca, Mg, K, P) bei organine anglimi (org. C). Mūsų, o ir kitų autorių tyrimai rodo, kad šių cheminių elementų koncentracijų padidėjimas pirmiausia pasireiškia miško paklotėje. Naudojant dulkingus (nestabilizuotus) pelenus tokie pokyčiai stebimi po pelenų išbarstymo praėjus vos keliems mėnesiams (Ozolinčius et al., 2005; 2006; 2007). Be to, miško paklotėje padidėja ir kai kurių sunkiųjų metalų koncentracijos, tačiau jos neviršija maksimalių leistinų koncentracijų (Tyler, 1992), netgi į vieną hektarą išbėrus 5 tonas nestabilizuotų pelenų (Ozolinčius, Varnagirytė, 2005).

Pašarmindami dirvožemį, miško kuro pelenai durpžemiuose suintensyvina mikroorganizmų aktyvumą: celiuliozės ardymą, durpės mineralizaciją, nitrifikacijos procesą ir pan. (Weber et al., 1985). Durpžemiuose padidėja mielių ir bakterijų kiekis (Hakkila, 1986). Didėjant pelenų dozei, didėja celiuliozės ardančių bakterijų vaidmuo ir mažėja aktinomicetų, kurie nėra tokie aktyvūs celiuliozės skaidytojai, kiekis. Teigiamai į pelenus reaguoja anaerobinė atmosferinio azoto jungėja *Clostridium pasteurianum* (Ozolinčius

et al., 2004). Taip pat pakinta ir dirvožemio faunos rūšinis pasiskirstymas: pušynuose sumažėja žieduotųjų kirmėlių (Huhta, 1984), pagausėja sliekų (Huhta et al., 1986).

Pašarmėjus dirvožemiui, mikroorganizmai suintensyvina organikos skaidymą (Weber et al., 1985; Lumme and Laiho, 1988). Dėl to dirvožemio tirpale padidėja tirpios org. C kiekiai. Be to, ir pelenuose esanti org. C suaktyvina juose esančių mineralinių elementų judrumą (Nihlgård, 1994).

Pelenų išbarstymas suintensyvina organinio azoto mineralizaciją, ypač durpiniuose dirvožemiuose. Dėl to padidėja nitratų (NO_3^-) išplovimas (Eriksson, Börjesson, 1991). Tai gali skatinti ir kitų jonų migraciją į gilesnius dirvožemio horizontus ir į gruntinius vandenis (Westling, Hulberg, 1990; 1991).

Paminėtus procesus slopina pelenų stabilizavimas (granuliavimas). Pavyzdžiui, tiriant medžiagų išsiplovimą iš pelenų granuliu paaikškėjo, kad net tręšiant $11\text{--}44\text{ t ha}^{-1}$ pelenų dozėmis, gruntiniai vandenys neužsiteršia Ca^{2+} , K^+ ir SO_4^{2-} bei kitais jonais ir sunkiaisiais metalais (Williams et al., 1996).

Manoma, kad sunkiųjų metalų poveikiui ypač yra atsparūs medžiai, augantys Ca jonais pasotintuose dirvožemiuose, nes šie jonai sumažina medžių gebą pasisavinti sunkiuosius metalus (Greger and Bertell, 1992). Todėl miško kuro pelenus, kuriuose gausu Ca, tikslinga naudoti miškuose, kurių dirvožemiai yra užteršti sunkiaisiais metalais.

Cheminių elementų išsiplovimas iš pelenų daugiausia priklauso nuo dirvožemio pH (Naturvårdsverket, 1987; Greger, Hamza, 1995). Pelenuose esantys Na, K, Cl, S, Ca ir Mg yra tirpūs ir šarmiškuose ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}\ 8\text{--}9$) dirvožemiuose. Kai dirvožemio $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} < 7$, tirpūs As, Cr, Cd, Cu, Mn, Si ir Zn, tuo tarpu Al, Fe, P ir Pb yra labai tirpūs tik kai dirvožemio $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} < 5$. Tai rodo, kad šarmiški dirvožemiai sulauko kai kurių pelenuose esančių elementų, ypač sunkiųjų metalų, patekimą į augalus ar gruntinius vandenis.

Pakitusi dirvožemio cheminė sudėtis bei pH gali turėti įtakos dirvožemio gyvosios dangos būklei. Mūsų tyrimai rodo, kad išbarsčius pelenus brukniniuose pušynuose, samanų padengimas šiek tiek sumažėjo tik išbarsčius didžiausią pelenų dozę (5 t ha^{-1} pelenų), nors samanose ir padidėjo Ca, K bei Mg koncentracijos. Nežymus samanų biomasės padidėjimas nustatytas tik eksperimento ploteliuose, kuriuose kartu su pelenais buvo išbarstytos ir azoto trąšos.

Įdomūs duomenys gauti apie stambialapį šakį (*Pteridium aquilinum*), kuris yra kosmopolitinė *Pteridium* genties rūšis, daugiausia auganti natūraliai rūgščiuose dirvožemiuose (Watt, 1976) ir yra miško dirvožemio rūgštumo indikatorius (Koedam et al., 1992). Manyta, kad tręšimas miško kuro pelenais turi paskatinti šios rūšies išnykimą. Tačiau $2,2\text{ t ha}^{-1}$ stabilizuotų pelenų dozė tik labai nežymiai pakeitė stambialapio šakio gausą (Dolling, 1995). Nustatyta, kad pelenų šarmingumą ir neigiamą jų šarminantį poveikį šiems augalams sumažino rūgščios atmosferos iškritos (Moldan et al., 1995).

Pelenai veikia ir mikorizę (pasikeičia mikorizę sudarančių grybų rūšinė sudėtis, paplitimas) ir tas poveikis priklauso nuo pelenų struktūros: durpžemiuose granuluoti pelenai mikorizę veikia teigiamai, o dulkantys (nestabilizuoti) – neigiamai. Neigiamas poveikis mikorizei gali būti susijęs su tuo, kad dulkančiuose pelenuose yra daug ju-

driųjų elementų, o mikorizė, kaip žinia, ypač jautri judriųjų sunkiųjų metalų pertekliui (Eriksson, Börjesson, 1991).

Dar mažai tirtas miško pelenų poveikis medžių biomasės prieaugiui. Neabejotina, kad medžių biomasės prieaugis turėtų padidėti dėl pelenų gebos pagerinti maistmedžiagių balansą, padidinti dirvožemių biologinį aktyvumą (Lukkala, 1951). Tiriant tręšimo pelenais įtaką beržų ir karklų želdiniams, nustatyta, kad per 14 metų pelenais patręštuose plotuose medienos biomasės priaugo vidutiniškai 1,6 karto daugiau (Hytönen and Kaunisto, 1999). Mūsų tyrimai rodo, kad brukniniuose pušnyuose medžių prieaugis ir jų biomasė, praėjus 3 metams po pelenų išbarstymo, nepakito, nežymus prieaugio ir paskutinių metų spyglių ir šakelių masės padidėjimas nustatytas tik ten, kur pelenai buvo išberti kartu su azoto trąšomis (Ozolinčius et al., 2007). Neatsitiktinai didžiausias teigiamas efektas, kadangi miško kuro pelenuose yra K ir P, nustatytas azotu turtinguose nusausintuose durpžemiuose (Silfverberg, 1996; Molainen et al., 2004), o mineraliniuose dirvožemiuose medynų produktyvumas padidėja, kai miško kuro pelenai išbarstomi kartu su azoto trąšomis (Jacobson, 2001; Nohrstedt, 2001).

Pelenų, ypač granuliuotų, poveikis miško ekosistemoms yra ilgalaikis – nuo 30 iki 60 metų. Išbarsčius pelenus, P, K, Ca, Mn, Zn, Cu ir B koncentracijos ir po 30 metų tirtuose durpžemiuose vis dar buvo aukštesnės lyginant su kontrole (Silverberg, Hontanen, 1989). Patręšus medžio pelenais dirvožemį, P, K, ir Ca koncentracijos eglėlių, pušų ir beržų šakelėse, spygliuose bei lapuose išliko didesnės ir po 60 metų (Bramryd, Fransman, 1985).

Apibendrinant galima teigti, kad:

- 1. Išbarsčius miško kuro pelenus miške, dirvožemiai pašarmėja ir gali praturtėti visomis, išskyrus azotą, augalams reikalingomis svarbiausiomis maisto medžiagomis (Ca, Mg, K, P) bei org. C.**
- 2. Didelės pelenų koncentracijos gali turėti neigiamos įtakos miško augalijai, o kai kurie cheminiai elementai, ypač sunkieji metalai, gali užteršti gruntinius vandenis.**
- 3. Miškų tręšimui tinkamiausi yra sukietėję ar sukietinti (stabilizuoti) pelenai, nes sulėtėja cheminių medžiagų išsiplovimas ir nesuardoma natūrali maisto medžiagų apytaka (aktyvios pelenų medžiagos į ją „įsilieja“ pamažu).**

3. Reikalavimai miško kuro pelenų kokybei

Miško kuro pelenų kokybę parodo maisto medžiagų (Ca, Mg, K ir P) ir mikroelementų (B, Zn, Cu ir kt.) koncentracijos – kuo jos didesnės, tuo pelenai vertingesni. Toksiški sunkieji metalai (As, Cd, Hg, Cr, Ni, Pb, V ir kt.), radionuklidai (¹³⁷Cs) bei poliaromatiniai angliavandeniliai (pvz., benz(a)pirenas) pelenų kokybę mažina. Todėl kai kuriose šalyse, pavyzdžiui, Švedijoje, yra standartizuotos leistinos minimalios maisto medžiagų (Ca, Mg, K ir P) ir maksimalios sunkiųjų metalų ar mikroelementų (B,

Cu, Zn, As, Pb, Cd, Cr, Hg, Ni ir V) bei poliaromatinių angliavandenilių suminės koncentracijos (2 lentelė). Tokių reikalavimų siūlome laikytis ir mes.

2 lentelė. Pageidaujami miško kuro pelenų kokybės rodikliai* (Skogsstyrelsen, 2002) ir jų nustatymo metodai

Table 2. Recommended chemical parameters* of forest fuel ash (Skogsstyrelsen, 2002)

Cheminiai rodikliai <i>Chemical parameters</i>	Rekomenduojamos minimalios ir maksimalios koncentracijos sauso medžiagos (SM) <i>Recommended minimum and maximum concentrations in DM</i>	Nustatymo metodai <i>Analysis methods</i>
Fosforas (P), g kg ⁻¹	10 (minimalus/ <i>minimum</i>)	Kolorimetrinis su molibdatu/ <i>Colorimetry</i>
Kalis (K), g kg ⁻¹	30 (minimalus/ <i>minimum</i>)	Liepsnos fotometrinis <i>Flame photometry</i>
Kalcis (Ca), g kg ⁻¹ Magnis (Mg), g kg ⁻¹	125 (minimalus/ <i>minimum</i>) 20 (minimalus/ <i>minimum</i>)	Atominės absorbcijos spektrometrinis/ <i>AAS</i>
Boras (B), mg kg ⁻¹	500 (maksimalus/ <i>maximum</i>)	Kolorimetrinis su azometinu H <i>Colorimetry</i>
Vanadis (V), mg kg ⁻¹ Nikelis (Ni), mg kg ⁻¹ Chromas (Cr), mg kg ⁻¹ Kadmis (Cd), mg kg ⁻¹ Švinas (Pb), mg kg ⁻¹ Varis (Cu), mg kg ⁻¹ Cinkas (Zn), mg kg ⁻¹	70 (maksimalus/ <i>maximum</i>) 70 (maksimalus/ <i>maximum</i>) 100 (maksimalus/ <i>maximum</i>) 30 (maksimalus/ <i>maximum</i>) 300 (maksimalus/ <i>maximum</i>) 400 (maksimalus/ <i>maximum</i>) 1000–7000 (minimalus-maksi- malus/ <i>min-max</i>)	ISO/DIS 11047-93, su atominės absorbcijos spektrometru (LST ISO 6561:2000) (LST ISO 6633:2000)
Arsenas (As), mg kg ⁻¹ Gyvsidabris (Hg), mg kg ⁻¹	30 (maksimalus/ <i>maximum</i>) 3 (maksimalus/ <i>maximum</i>)	Šaltų garų atominės absorbcijos spektrometru/ <i>Cold vapour AAS</i>
¹³⁷ Cezis (¹³⁷ Cs), kBq kg ⁻¹	5 (maksimalus/ <i>maximum</i>)	Radiometrinis <i>Radiometry</i>
PAV suma/ <i>Total PAH</i> , mg kg ⁻¹	2 (maksimalus/ <i>maximum</i>)	Su skystiniu chromatografu <i>Ion chromatography</i>

* Jeigu sunkiųjų metalų, ¹³⁷Cs ir PAV (suminė poliaromatinių angliavandenilių koncentracija) koncentracijos miško kuro pelenuose viršija maksimalias, jų miško tręšimui naudoti negalima.

Be paminėtų cheminių elementų, tikslinga miško kuro pelenuose nustatyti $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ (ISO 10390) bei organinės anglies (org. C, ISO 10694) koncentraciją. Jeigu org. C koncentracija viršija 10–15 % (100 gC kg^{-1}), turi būti gerinamas miško kuro deginimo katilinėje efektyvumas, be to, tokius pelenus sunkiau stabilizuoti.

Cheminei analizei miško kuro pelenų ėminiai iš pelenų krūvos ar konteinerio imami iš įvairaus gylio ir ne mažiau kaip iš 15-os atskirų vietų (kiekvieno ėminio dydis apie 1 litras). Iš jų homogenizuojamas vienas jungtinis 1 litro ėminys. Ėminių cheminė analizė atliekama 2 lentelėje nurodytais metodais. Analizuotus ėminius reikėtų išsaugoti ne mažiau kaip 5 metus.

4. Miško kuro pelenų sandėliavimas ir stabilizavimas

Prieš išbarstant pelenus miške, jie gali būti laikomi sandėliuose (Skandinavijos šalyse miško kuro pelenai dažniausiai tiesiogiai iš katilinių transporteriais paskleidžiami netoli katilinių įrengtose betoninėse tranšėjose). Sandėliavimo vieta turi būti sausa. Ilgesniam pelenų sandėliavimui rekomenduojamos laikinos išbetonuotos aikštelės, geriausia – turinčios pastogę, kuri apsaugotų nuo vėjo ir lietaus poveikio. Granuluoti pelenai taip pat gali būti sandėliuojami įvairaus dydžio konteineriuose. Jeigu miško kuro pelenai sandėliuojami miške, juos rekomenduojama pridengti polietileno plėvele.

Nestabilizuoti (dulkingi) miško kuro pelenai gali būti kenksmingi miško ekosistemai (padidėja medžiagų išplovimo rizika, stiprus ir greitas poveikis dirvožemiui bei augalijai ir kt.). Santykinis maistmedžiagų išsiplovimo iš įvairiai paruoštų miško kuro pelenų intensyvumo eiliškumas yra toks: pelenų dulkės > sukietinti ir sutraiškyti pelenai > pelenų granulės ir rutulėliai (Greger et al., 1995). Medžiagų išsiplovimas iš pelenų granulių priklauso ir nuo jų dydžio. Kuo didesnės granulės ir kuo daugiau jose įmaišyta surišančių medžiagų, tuo ilgiau granulės išlieka stabilios (Lindström and Nilsson, 1998; Lundborg, 1998).

Svarbiausi pelenų stabilizavimo būdai:

1. Jeigu miško kuro pelenuose org. C koncentracija neviršija 10 %, jie gali sukietėti savaime arba drėkinant. Vandens pilama (purškiama) tiek, kad gerai išmaišius pelenus drėgmės kiekis būtų 30–40 % nuo sausų pelenų masės. Tokie pelenai per keletą savaičių savaime sukietėja.
2. Jeigu miško kuro pelenuose org. C kiekis didesnis negu 10 proc., pelenai kietėja lėtai arba visai nekietėja. Tokie pelenai paskleidžiami išbetonuotoje aikštelėje ar tranšėjoje, po sudrėkinimo mechaniškai suslegiami traktoriumi, prieš tai pridėjus surišamųjų medžiagų (cemento, natrio silikato ar kt.).

Būtina pažymėti, kad šiais būdais sukietintus miško kuro pelenus prieš jų išbarsimą miške reikia susmulkinti. Kai sukietinta pelenų masė sutrupinama traiskant ją traktoriais gaunami skirtingo dydžio gabaliukai. Norint, kad jie būtų vienodo dydžio, smulkinimui turi būti naudojamos malimo mašinos.

3. Geriausia miško kuro pelenus prieš jų išbarstymą miške granuluoti maišyklėse. Jose pelenai granuluojami ne drėkinant, o pridendant rišamųjų medžiagų. Taip gaunamos gana vienodo dydžio, 4–8 mm skersmens granulės.

Miške daugiausia turėtų būti naudojami tik stabilizuoti (sukietinti, savaime sukietėję ir susmulkinti ar granuluoti) pelenai, kurie palaipnsniui susiskaidytų per 5–25 metus. Kartais tręšimui gali būti naudojami ir nestabilizuoti dulkingi miško kuro pelenai, išbarstant juos rekultivuojamuose karjeruose ar šviežiose kirtavietėse prieš pat dirvos ruošimą miško želdiniams.

5. Kompensuojamojo tręšimo miško kuro pelenais aplinkosauginiai ribojimai

Kompensuojamasis tręšimas miško kuro pelenais taikomas tik IV grupės (ūkiniuose) miškuose **normalaus drėgnumo Na^e, Na, Nb, Nc ir Nd, laikinai perteklingo drėgnumo Lb, Lc ir Ld mineralinio dirvožemio augavietėse bei nusausintuose ar savaime nusausėjusiuose durpžemiuose (Paⁿ, Pbⁿ, Pcⁿ augavietės)**, kuriuose dažniausiai trūks ta augalams fosforo ir kalio. **L ir Pⁿ hidrotopuose galima naudoti tik stabilizuotus pelenus. Pirmiausia tręšiami medynai (ar plynos kirtavietės), kuriuose kirtimo atliekos sunaudotos miško kuro ruošai.** Šiose augavietėse galima tręšti ir medynus, kuriuose vykdyti įprastiniai ugdymo ar pagrindiniai kirtimai (miško kuras neruoštas).

Biologinei įvairovei išsaugoti miško masyvuose ar net atskiruose kvartaluose **turėtų likti netręšta ne mažiau kaip 20 proc. minėtų augaviečių medynų ploto.**

Papildomai miško kuro pelenai gali būti išbarstomi prieš apželdinant mišku nederlingus žemės ūkio plotus, rekultivuojamus karjerus bei pustomus degradavusius smėlio dirvožemius (pvz., buvusių karinių poligonų plynės).

Visais paminėtais atvejais miško kuro pelenų **negalima barstyti arčiau 50 m iki atvirų vandens telkinių** (upelių, melioracinių griovių ar pan.) ar užmirkusių plotų. Be to, kompensuojamasis tręšimas neturėtų būti vykdomas žiemą, esant sniego dangai, arba pavasarinio polaidžio metu, nes yra pavojus, kad pelenai ar jų cheminės medžiagos gali patekti į vandens telkinius.

Medynuose su ypač tankiu pomiškiu ir traku kompensuojamasis tręšimas miško kuro pelenais netaikomas, nes pelenai nepakankamai ir netolygiai paskleidžiami, be to gali būti pažeidžiami krūmai ir jauni medeliai.

Geriausias laikas barstyti pelenus yra ruda. Prisilaikant kitų gamtosaugos reikalavimų galima tręšti ir pavasarį iki vegetacijos pradžios. Nestabilizuoti pelenai plynose kirtavietėse ir apželdomose ne miško žemėse turi būti išbarstomi prieš pat arba kartu su dirvos ruošimu miško želdiniams.

6. Tręšimo miško kuro pelenais normos

Pagal maisto medžiagų nuostolius dėl miško kuro ruošos bei maisto medžiagų koncentracijas Lietuvos katilinių kokybiškuose pelenuose apskaičiuota, kad kaliui kom-

pensuoti į hektarą reikia išbarstyti 5–7 t, fosforo – 3–7 t, magnio – 2–5 t ir kalcio – apie 1 t miško kuro pelenų. Teikiant prioritetą K, Mg, per apyvartą reikėtų išbarstyti apie 3–7 t ha⁻¹ pelenų. **Norint išvengti neigiamo stresinio poveikio miško ekosistemoms, vienkartinė pelenų norma neturėtų viršyti 2,0–3,5 t ha⁻¹.** Vienkartinės tręšimo normos miško kuro pelenais skirtingose normalaus drėgnumo Nae, Na, Nb, Nc ir Nd bei laikinai perteklingo drėgnumo Lb, Lc ir Ld augavietėse ir nusausintuose ar savaime nusausėjusiuose durpžemiuose (Paⁿ, Pbⁿ, Pcⁿ augavietės) pateiktos 3 lentelėje. Joje nurodytos ir tręšimo azotu, kurio miško kuro pelenuose nėra arba yra labai mažai, normos.

3 lentelė. Vienkartinės tręšimo miško kuro pelenais normos IV grupės miškuose

Table 3. Forest fuel ash and nitrogen dosages for fertilization of Lithuanian commercial (IV group) forests

Augavietė/Forest site ^(*)	Pelenų dozės, t ha ^{-1*} Ash doses, t ha ^{-1(**)}	Azoto dozės, kg ha ⁻¹ Nitrogen doses, kg ha ⁻¹
Nae, Na	1,5–2,0	70
Nb, Lb	2,5–3,0	90
Nc, Nd, Lc, Ld	3,0–3,5	120
Pa ⁿ , Pb ⁿ	2,0–2,5	70
Pc ⁿ	2,5–3,0	90

* Medynuose kompensuojamasis tręšimas miško kuro pelenais atliekamas per 2 kartus. Pirmą kartą pelenų ir azoto tręšų išbarstymą rekomenduojama derinti su retinimo kirtimais, kai medynuose iškeramos valksmos; antrą kartą – viduramžiuose ar pribrežtančiuose medynuose. Plynose kirtavietėse kompensuojamasis tręšimas miško kuro pelenais (2,5–3 t ha⁻¹) taikomas, jeigu šis tręšimas nebuvo vykdomas čia augusiuose pribrežtančiuose medynuose (plynos kirtavietės azoto tręšomis netręšiamos).

(*) N – mineral soils of normal moisture; L – temporarily overmoistured mineral soils; Pⁿ – peat drained soils; ae – degraded (erosion. fires); a – very oligotrophic/very infertile; b – oligotrophic/infertile; c – mesoeutrophic/fertile, and d – eutrophic/very fertile soils (according to the Lithuanian forest site classification).

(**) Ash doses are spreaded twice: (1) in complex with thinnings when the net for the haul timber is established; (2) in middle-aged and premature stands together with N fertilizers. Wood ash fertilization is performed in clear cuts (no N fertilization) if there were no ash fertilization in the former stand.

Mažiau derlingose augavietėse, kuriose maisto medžiagų nuostoliai dėl biomasės išnešimo paprastai būna mažesni, tikslinga naudoti mažesnes normas, derlingesnėse – didesnes, kad būtų išvengta galimų biologinės įvairovės pokyčių.

Medynuose kompensuojamąjį tręšimą miško kuro pelenais tikslingusia atlikti per 2 kartus, išbarstant po 1,5–3,5 t ha⁻¹ pelenų. Pirmą kartą pelenų išbarstymą geriausia derinti su retinimo kirtimais, kai medynuose iškeramos valksmos. Antrą kartą pelenai barstomi viduramžiuose ar pribrežtančiuose medynuose, ypač augančiuose Nae, Na ir Nb augavietėse.

Plynose kirtavietėse kompensuojamasis tręšimas miško kuro pelenais (2,5–3 t ha⁻¹) taikomas tik tuo atveju, jeigu šis tręšimas nebuvo vykdomas čia augusiuose pribrežtančiuose medynuose. **Plynos kirtavietės azoto trąšomis netręšiamos.** Jei naudojami nestabilizuoti pelenai, jie išbarstomi prieš pat ar kartu su rudeniniu dirvos ruošimu miško želdiniams. Pirmiausia tręšiamos plynos kirtavietės, kuriose dirvožemio rūgštumas yra mažesnis negu pH_{CaCl2} 3,5.

Degradavusius pustomus smėlžemius ar rekultivuojamų karjerų pradžiazemius galima tręšti dulkingais (nestabilizuotais) miško kuro pelenais, kurie išbarstomi (5–6 t ha⁻¹) prieš pat arba kartu su dirvos ruošimu miško želdiniams. Prieš miško želdinių veisimą pavasarį būtina tręšti azoto trąšomis (90–120 kg N į hektarą).

Apželdant nederlingus smėlžemius apleistuose žemės ūkio plotuose miško kuro pelenai (5–6 t ha⁻¹) taip pat barstomi prieš pat arba kartu su dirvos ruošimu miško želdiniams, bet tręšti azotinėmis trąšomis nereikia.

Kompensuojamasis tręšimas miško kuro pelenais, kaip ir miško kuro ruoša, turi būti registruojamas.

7. Miško kuro pelenų transportavimo ir paskleidimo miške technologijos

Miško kuro pelenams krauti ir iškrauti naudojami įprastiniai birių medžiagų krautuvai.

Pelenai transportuojami automobiliais arba traktorinėmis priekabomis, pritaikytais birių medžiagų transportavimui. Jei transportuojami negranuliuoti sausi pelenai, būtinas priekabų (automobilių kėbulų) uždengimas. Parenkant transportavimo priemones būtina atsižvelgti į transportavimo atstumą, kelių būklę (transportuojant didesniais atstumais racionaliau naudoti automobilius, tačiau esant prastiems keliams traktoriais galima privažiuoti arčiau jų išbarstymo vietų).

Miško kuro pelenai paprastai transportuojami prieš pat jų paskleidimą (dažniausiai jie paskleidžiami iš karto). **Negalima granuliuotų pelenų ilgai laikyti miške nepaskleistų – dėl lietaus gali blogėti granulių kokybė ir pasunkėti jų paskleidimas.**

Miško kuro pelenų paskleidimas (išbarstymas):

1. **Medynai. Pelenus barstyti geriausia po medynų ugdymo – išretintame medyne jie paskleidžiami tolygiau.** Naudotini mechanizmai, kurie taikomi ir miškų tręšimui – mineralinių trąšų arba kalkių barstytuvai, turintys galimybes skleisti (barstyti) miško kuro pelenus į šonus (ne mažesniu kaip 10–12 m atstumu, geriausia, kad paskleidimo atstumą būtų galima keisti). Optimalu, kai barstytuvai gali berti trąšas (pelenus) ne tik į abi puses, bet ir į vieną pusę (dviejų diskų sistema ar pan.) – tai patogu medynų pakraščiuose ir panašiose situacijose. Barstant pelenus medynuose važinėjama tik valksmomis.

Barstytuvų ir barstymui naudojamų traktorių matmenys turi būti tokie, kad nepažeistų šalia valksmų augančių medžių (plotis neviršytų 3 m). Pelenų barstymui naudotini važinėjimui miške pritaikyti traktoriai.

2. **Naujai iškirtos („šviežios“) kirtavietės, naujai apželdomi plotai.** Taikoma iš esmės ta pati technologija. Naudojant lengvus barstymo mechanizmus sausoje augavietėse („N“ hidrotopo) prieš dirvos miško želdiniams ruošimą galima ribotai važinėti ir ne valksmomis (bet to reikėtų vengti). Atskirais atvejais galima barstyti (skleisti) ir negranuliuotus pelenus. Tokiu atveju jie barstomi prieš pat dirvos ruošimą, kad būtų išvengiama pelenų nupustymo arba jų nuplovimo (dirvos ruošimo metu didelė dalis jų būtų įterpiama į dirvožemį).

Rekomenduotina literatūra

1. **Armolaitis K., Varnagirytė-Kabašinskienė I., Mikšys V., Stupak Moller I., 2008.** Maisto medžiagų nuostoliai dėl miško kuro ruošos brukniniuose pušynuose. *Miškininkystė* 1 (63), p. 7–17.
2. **Kairiūkštis L., Jaskėlevičius B., Saladis J., 2005.** Socio-economic and environmental effects of wood fuel use in Lithuania. *Baltic Forestry* 11 (1), p. 2–12.
3. **Lietuvos Respublikos AM Miškų departamentas/Swedish Energy Agency/Skogsstyrelsen, 2003.** Miško kuro ruošos integravimas į miškų ūkį: miškininkystės, technologijų ir miško ruošos ekonominių tyrimų Lietuvoje rezultatai. (Sud. Andersson L., Budrys R.) Lietuvos ir Švedijos projektas „Medienos panaudojimo kurui plėtra Lietuvoje“. Kaunas, Lututė. – 143 p.
4. **Ozolinčius R., Ingerslev M., Armolaitis K., Raguotis A., Zenkovaite J., Varnagiryte I., 2004.** Ecological consequences of wood ash application in forests. *Proceedings of the 9th International Conference „Ecological Energy Resources in Agriculture“*. September 16–17, 2004, Raudondvaris, Lithuania, p. 95–100.
5. **Ozolinčius R., Armolaitis K., Raguotis A., Varnagirytė I., Zenkovaitė J., 2006.** Influence of wood ash recycling on chemical and biological condition of forest Arenosols. *Journal of Forest Science* 52 (Special issue), p. 79–86.
6. **Ozolinčius R., Varnagirytė I., 2005.** Effects of wood ash application on heavy metal concentrations in soil, soil solution and vegetation in a Lithuanian Scots pine stand. *Metsanduslikud uurimused/Forestry Studies* 42, p. 66–73.
7. **Ozolinčius R., Varnagirytė I., Armolaitis K., Karlton E., 2005.** Initial effects of wood ash fertilization on soil, needle and litterfall chemistry in Scots pine stands. *Baltic Forestry* 11 (2), p. 59–67.
8. **Ozolinčius R., Varnagirytė-Kabašinskienė I., Armolaitis K., Gaitnieks T., Buožytė R., Raguotis A., Skuodienė L., Aleinikovienė J., Stakėnas V., 2007.** Initial influence of compensatory wood ash fertilization on soil, ground vegetation and tree foliage in Scots pine stands. *Baltic Forestry* 13 (2), p. 158–168.
9. **Ozolinčius R., Varnagirytė-Kabašinskienė I., Stakėnas V., Mikšys V., 2007.** Effects of wood ash and nitrogen fertilization on Scots pine crown biomass. *Biomass & Bioenergy* 31, p. 700–709.
10. **Skogsstyrelsen, 2002.** Swedish recommendations for the extraction of forest fuel and compensatory fertilising in Sweden. National Board of Forestry. 20 p. <http://shop.textalk.se/shop/9098/art62/4645962-9b6e2b-1545.pdf>

Ozolinčius R., Armolaitis K., Mikšys V., Varnagirytė-Kabašinskiėnė I., 2010. *Recommendations for compensating wood ash fertilization (2nd revised edition)*. Ministry of Environment of the Republic of Lithuania/Institute of Forestry of Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Girionys. – 17 p. (In Lithuanian with English summary).

Summary

Compensatory forest fuel ash fertilization should guarantee a sustainable forestry based on the requirement that the loss of essential nutrients due to the forest fuel extraction should be fully returned.

Forest fuel ash quality is defined by the minimal concentrations of the plant essential macronutrients (K, P, Ca and Mg) and maximal concentrations of heavy metals. In addition, the radionuclides (especially ¹³⁷Cs) and polyaromatic hydrocarbons (PAH) could diminish the ash quality. It is recommended to analyze the chemical composition of pure wood ash accumulated during all the combustion period (from autumn to spring) before spreading.

Raw or non-stabilized forest fuel ash is more risky to forest ecosystem due to the increased leaching of chemical substances, fast influence on vegetation and soil chemistry, etc. compared with chemically or physically stabilized ash (granulated or self-hardened and crushed ash). It takes longer time to dissolve for stabilized ash in soils, and it does not affect the forest negatively. Also, it is easier to spread such ash in the forest.

The compensation wood ash fertilizing could be carried out in forest stands growing on mineral soils of normal or temporarily excessive moisture and on drained peat soils in the forest stands or clear-cuts where the forest fuel was extracted. For the preservation of biological diversity, at least in 20 % of mentioned forest sites compensation fertilizing must not take place. The wood ash doses of 1,5–3,5 t DW ha⁻¹ are recommended to apply twice during the stand rotation. Lower wood ash doses should be applied to the poor forest sites, higher doses – to the fertile forest sites. It is rationale together with forest fuel ash application additionally apply nitrogen (70–120 kgN ha⁻¹). Wood ash applied in clearcuts if there were no ash fertilization in the former stand.

At first stage, the forest fuel ash should be applied during the stand thinning, the second time - in the middle-aged or premature stands, applying ash together with N fertilizers. Some environmental restrictions are also important. The forest fuel ash should not be applied: (1) in the sites nearer than 50 meters to the area with open water (ponds, streams, hidromelioration ditches, etc.) or waterlogged plots; (2) on the permanent snow cover in winter period because of a high leaching risk for the transport of chemical ash particles with the melt-water in the spring; (3) in forest stands with the abundant underbrush and undergrowth cover because of the uneven ash spreading and possible risk for damages of the brushes, seedlings and young trees.

Forest fuel ash as fertilizer could also be used in nutrient poor sandy soils (*Arenosols*) in abandoned agricultural land, just before or together with soil preparation for the afforestation (5–6 t ha⁻¹) but N fertilizers are not used in this case.

Acknowledgement

This study was carried out within the project “Wood for energy – a contribution to the development of sustainable forest management (WOOD-EN-MAN, QLK5-CT-2001-00527)”, funded by the European Community under “Quality of Life and management of living resources”.

**KOMPENSUOJAMOJO TRĘŠIMO MIŠKO KURO
PELENAIS REKOMENDACIJOS**

Antrasis pataisytas leidimas

Užs. Nr. 105. Tiražas 2 000
Maketavo ir spausdino UAB „Lodvila“
Sėlių g. 3A, LT-08125 Vilnius