



www.emu.ee

Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Hinnang Püssi tuhamägedes ladestatud põlevkivituha sobivuse kohta lubiväetiseks

Aruande koostajad:

Alar Astover, Henn Raave, Tõnu Tõnutare

Eesti Maaülikool, põllumajandus- ja
keskkonnainstituut, mullateaduse õppetool

Tartu, 2024

Sisukord

1. Eesmärk	3
2. Materjal ja metoodika	4
3. Tulemused ja arutelu	6
3.1. Tuha keemilised omadused	6
3.2. Tuha mõju nisu saagile ja kvaliteedile	7
3.3. Tuha kasutamise mõju mulla agrokeemilistele omadustele	8
4. Kokkuvõte ja järeldused	10

1. Eesmärk

Töö eesmärk oli laborianalüüsidele ja taimkatsele tuginedes koostada eksperthinnang Püssi tuhamägedes ladestatud põlevkivituhha (edaspidi tuhk) sobivusest lubiväetiseks. Töö väljundiks on eksperthinnang, kus (1) hinnatakse materjali sobivust lubiväetiseks; (2) hinnatakse, kas potentsiaalne väetis omab soodsat mõju mulla happesuse vähendamisele ning omab soodsat mõju taimele ja taimekasvatussaadusele; (3) määratakse potentsiaalse väetise saasteainete sisaldus ning hinnatakse nende ohutust; (4) tehakse ettepanekud väetise nõuete sätestamiseks tuginedes maaeluministri 10.08.2022. a. määruse nr 46 „Nõuded väetise koostisele väetise liikide kaupa“¹ lisale 9 (edaspidi *määrus nr 46*). Töö viidi läbi Regionaal- ja Põllumajandusministeeriumi tellimusel. Püssi tuhamäes ladestatud põlevkivituhk tarniti analüüsideks ja katseteks eksperthinnangu tellija poolt. Eksperthinnangu järeldused tuginevad 2024. aastal läbi viidud taimkatsele ja laboranalüüsidele.

¹ <https://www.riigiteataja.ee/akt/127072023002>

2. Materjal ja metoodika

Laboranalüüsid

Tuha omaduste laboranalüüsid telliti Eesti Maaelu Teadmuskeskuse laborist (analüüsiprotokoll nr PR-24-5136-1). Määrati P, K, Ca, Mg, Zn, Cu üldsisaldused (meetod EVS-EN 16170, ICP-OES), raskmetallidest As, Cd, Hg, Pb, Cr ja Ni üldsisaldused (EVS-EN 16171, ICP-MS), neutraliseerimisvõime (EVS EN 12945:2014+A1:2016), reaktiivsus (EVS-EN 13971:2020).

Eesti Maaülikooli mullateaduse õppetooli laboris tehti mulla ja taimse materjali analüüsid. C ja N sisaldused määrati Dumas kuivpõletusmeetodil elementanalüsaatoril (Skalar). Taimsest materjalist määrati P, K, Ca ja Mg üldsisaldused. Mullast määrati ekstraheeruva (taimedele omastatava) P, K, Ca ja Mg sisaldused ammoonium-laktaat (AL)-meetodil. Mulla pH määrati KCl leotisest.

Taimkatse

2024. aasta vegetatsiooniperioodil rajati Eesti Maaülikooli Rõhu katsejaama minilüsimetritele suvinisuga katse. Kultuuri valikul lähtuti asjaolust, et nisu on Eestis kõige suurema kasvupinnaga teravili ja mullahappesuse suhtes neist üks tundlikumaid. Ühe lüsimetri (edaspidi ka katsenõu) pindala oli 706 cm² ja sügavus 30 cm. Kokku oli kolm katsevarianti. Neist kontrollvariant sai ainult mineraalväetist normiga N 80 kg ha⁻¹, P 25 kg ha⁻¹ ja K 100 kg ha⁻¹. Teised kaks olid variandid, kus sama normiga mineraalväetiste foonil kasutati tuhka. Neist ühes oli tuha kasutusnorm 1 t ha⁻¹ (7,1 g nõu kohta) ja teises 3 t ha⁻¹ (21,2 g nõu kohta). Tuha kasutusnormide valikul lähtuti uuritava materjali neutraliseerimisvõimest, varsematest lupjamiskatsetest saadud teadmistest ning praktikas enamlevinud lubiväetise kasutusnormidest.

Muld pärines Rõhu katsejaama saviliiv lõimisega näivleetunud mullaga põllult. Enne katse algust muld sõeluti, mille käigus eemaldati sealt taimede juured ja kivid. Tegu oli mõõdukalt happelise mullaga (Tabel 1), mis vajab põllumullana lupjamist (lubjatarve CaCO₃-na 4,5 t ha⁻¹). Iga lüsimetri tarvis kaaluti mulla ja tuha kogus välja eraldi. Seejärel segati need kokku ja saadud segu valati katsenõusse. Pärast kasvunõude täitmist mulda kasteti, kuni see saavutas väliveemahutavuse. 25. mail külvati igale kasvunõule 40 eelidandatud suvinisu sordi 'Mistral' seemet (566 tera m⁻²). Tegemist on nisu puhul üldlevinud külvisenormiga. Pärast külvi ja vihmavaesel perioodil taimi kasteti. Selle tarvis oli lüsimetritele paigaldatud tilkkastmiseseade. Kõik kastmised tehti AS Tartu Veevõrk joogiveega, mille pH on 7,2–8,0 ja üldkaredus on 1,7–4,5 mmol l⁻¹ ning omab seetõttu mulla happesusel mõnevõrra neutraliseerivat mõju.²

Tabel 1. Katses kasutatud näivleetunud mulla agrookeemilised näitajad.

pH _{KCl}	N _{üld} , %	C _{üld} , %	P _{AL} , mg kg ⁻¹	K _{AL} , mg kg ⁻¹	Ca _{AL} , mg kg ⁻¹	Mg _{AL} , mg kg ⁻¹
5,2	0,1	1,1	39	123	779	95

Indeks AL näitab, et tegemist elemendi taimele omastatava sisaldusega, mida on määratud ammoonium-laktaat meetodil.

² <https://tartuvesi.ee/vee-kvaliteet/tartu-joogivee-kvaliteedinaitajad/>

Saak koristati lüsimeetritelt nisu täisküpsuse faasis tervikkoristusena 14. augustil. Kogu biomass esmalt kaaluti ja seejärel eemaldati nisupeadest terad, mis kaaluti eraldi. Pärast seda kuivatati põhk ja terad kuivatuskapis õhukuivaks ja saadeti laborisse analüüsimiseks. Mullaproovid võeti igast katsenõust pärast saagi koristamist. Selleks tehti mullapuuriga, mille läbimõõt oli 1 cm, igas lüsimeetris kaks torget, mis ulatusid välja lüsimeetri põhjani.

3. Tulemused ja arutelu

3.1. Tuha keemilised omadused

Analüüsitud tuhk oli ootuspäraselt väikese P-sisaldusega ja sisaldas mõõdukas koguses kaaliumit ja magneesiumit (Tabel 2). Kõigi raskmetallid sisaldused olid kordades väiksemad kui lubiväetistele lubatud maksimaalsed piirmäärad. Tuhaproovi Ca-sisaldus ja neutraliseerimisvõime olid materjali päritolu arvestades väikesed. Kuna tegu on pikaajaliselt mäes seisnud põlevkivituhaga, siis võib eeldada, et proov pärineb kihist, kus aastakümnete jooksul on neutraliseerivaid Ca ja Mg ühendeid välja leostunud.

Määruse nr 46 alusel vastab analüüsitud proov põlevkivituhale esitatud nõuetele (neutraliseerimisvõime Ca alusel $\geq 20\%$). Käesolevas töös pole ühe proovi analüüsitulemuste põhjal võimalik hinnata, et kas antud tasemel neutraliseerimisvõime on omane kogu tuhamäe ulatuses või esineb olulisi erinevusi sõltuvalt avamiskihist. Ebatõenäoline on potentsiaalsete orgaaniliste saasteainete liigne sisaldumine uuritavas tuhas. Aruandes „Põlevkivituhkade ohtlikkuse uuring“ (2019)³ on kokku võetud varasemate põlevkivituhkade orgaaniliste ühendite sisalduse uuringud. Põlevkivituhkade PAH sisaldused nii madalad, et pakuvad huvi vaid teaduslikust vaatest, olles suurusjärgu võrra madalamad lubatud PAH-de koguhulga piirnormist – 20 mg kg⁻¹. PAH hulka kuuluva kantserogeense benso (a) püreeni sisaldus sisaldus tolmpõletustuhas jääb vahemikku 8–15 µg/kg. PCDD/F kui saasteainete klassi pole „Põlevkivituhkade ohtlikkuse uuringu“ aruandes eraldi käsitletud ja elektrijaamade dioksiiniheitmete tase on mõõtmispiiri lähedal (alla 4 pg m⁻³). Sellest lähtuvalt on tõenäoliselt ka erinevate dioksiinide ja furaanide sisaldus põlevkivituhas (sh mägedes ladestatud tuhas) väga madal ja keskkonnale ohutul tasemel. Kuna potentsiaalsete saasteainete osas võib antud materjali nõuetekohasel käitlemisel keskkonnale ohutuks lugeda, siis on asjakohane seda käsitleda potentsiaalse lubiväetisena.

Määruses nr 46 on põlevkivituhale seatud nõue, et maksimaalne niiskusesisaldus on 2%. Eeldades, et tegu on pikaajaliselt välitingimustes hoiustatud tuhaga, siis ei ole nii väikese niiskusesisalduse tagamine eluliselt võimalik. Välitingimustes seisnud ja mõnevõrra niiskunud tuhale ei ole otstarbekas kohaldada põlevkivi lendtuhale samaväärsed osakeste suurusjaotuse nõudeid. Suuremast niiskusesisaldusest tulenevalt moodustavad osakesed omavahel agregate. Käesoleva töö eksperimentaalses osas ei teostatud materjali osakeste suurusjaotuse analüüsi, seega pole võimalik tõenduspõhiselt anda ühest soovituselt selle näitaja reguleerimiseks määruses. Üksiku proovi osakeste suurusjaotuse analüüs ei annaks ammendavat vastust selle tuhamäe materjali homogeensusest. Osakeste suurusjaotuse näitajat pole kehtivas määruses kohaldatud lubiväetise liigile tuhk (3.8). Eeltoodust lähtuvalt pole meie hinnangul tuhamägede materjali otstarbekas defineerida lubiväetisena osakeste suurusjaotuse alusel.

Kuigi keemilise koostise alusel võiks analüüsitud tuhka käsitleda samaväärselt määruses nr 46 eristatud põlevkivituhaga, siis lähtuvalt võimalikust niiskusesisalduse ja osakeste suurusjaotuse erisusest on otstarbekas lisada määrusesse uus eraldiseisev lubiväetise liik nimetusega „Tuhamägede põlevkivituhk“. Selle lubiväetise tootmismeetod ja põhikoostisosad võib olla

³ https://kliimaministeerium.ee/sites/default/files/documents/2021-09/tuhaehtlikkus_aruanne.pdf

defineeritud järgmiselt: „Peamiselt põlevkivi põletamisel saadud ja mägedes ladestatud tuhk“. Koostise osas on ettepanek sätestada nõue, et minimaalne neutraliseerimisvõime kaltsiumina on 20%. Selle näitaja lubatud hälve võib olla -2%, mis on samaväärne määrase senise praktikaga lubiväetiste osas. Deklareeritavate näitajatena esitada neutraliseerimisvõime ja niiskusesisaldus (massiprotsentides). Kuna niiskusesisaldus oleks deklareeritav, mitte väetise liiki defineeriv näitaja, siis pole vajadust selle osas lubatud hälvet sätestada.

Taimkatses kasutatud 1 ja 3 t ha⁻¹ tuha kasutusnormiga viidi mulda vastavalt 0,6 ja 1,8 t ha⁻¹ CaCO₃, mis on oluliselt väiksem kui katsemulla lubjatarve. Suurema normi valikul lähtusime praktikas kõige enamlevinud kasutusnormist põlevkivituhaga põllumulla lupjamisel (3 t tuhka). Teine norm 1 t ha⁻¹ võimaldab esile tuua, et kas vähendatud kasutusnormil on positiivne mõju mullale omadustele ja taimekasvule. Täiendavalt oleks katses võinud olla kasutusnorm, mis oleks katnud täielikult arvutusliku lubjatarbe. Katse piiratud maht seda ei kahjuks ei võimaldanud.

Tabel 2. Püssi tuhamäe materjali keemiline koostis. Eesti Maaelu Teadmuskeskuse labori analüüsiprotokoll nr PR-24-5136-1.

Näitaja, ühik	Tuhk	Märkus, piirnorm*
Fosfor – P, %	0,037	
Kaalium – K, %	0,680	
Kaltsium – Ca, %	19,1	
Magneesium – Mg, %	0,86	
Tsink – Zn, mg kg ⁻¹	13,0	1500
Vask – Cu, mg kg ⁻¹	2,22	600
Arseen - As, mg kg ⁻¹	3,13	50
Kaadmium - Cd, mg kg ⁻¹	0,115	3
Elavhõbe - Hg, mg kg ⁻¹	0,016	2
Plii - Pb, mg kg ⁻¹	9,66	100
Kroom - Cr, mg kg ⁻¹	10,1	50
Nikkel - Ni, mg kg ⁻¹	9,95	100
Neutraliseerimisvõime (CaCO ₃), %	60,0	Ca väärtusena 24% (põlevkivituhale nõue ≥20%)
Reaktiivsus, %	86,0	

* Lubiväetistele lubatud piirnorm määrase nr 46 järgi

3.2. Tuha mõju nisu saagile ja kvaliteedile

Tuha kasutamine suurendas maapealse biomassi saagikust kuni 10% ulatuses (Tabel 3), ent see mõju polnud statistiliselt usutav. Katsekorduste piiratud arv (kolm kordust) ning kontrollvariandi kordustevahelised suured erinevused olid tõenäolised põhjused miks statistiliselt olulised erinevused katsevariantide keskmiste vahel ei leidnud tõendust. Varasemate lupjamiskatsete tulemuste põhjal on teada, et lubiväetistel on happelisel mullal saagikusele mitmeaastane positiivne järelmõju. Seega eeldame positiivset järelmõju saagile ka antud tuha kasutamisel. Selline eeldus on

ootuspärane kuna selle tuha keemiline koostis on sarnane tavapärasele põlevkivituhale. Järelmõju hindamiseks jätkame katset 2025. aastal punase ristiku taimikuga.

Tabel 3. Suvinisu terade, põhu ja maapealse biomassi saak, g m². Keskmine ± standardviga.

Variant	Terad	Põhk	Maapealse biomassi (terad + põhk) kogusaak
Kontroll	112,8 ± 30,2	288,0 ± 16,0	400,9 ± 46,1
Tuhk 1 t ha ⁻¹	125,1 ± 11,3	323,0 ± 8,9	448,1 ± 19,6
Tuhk 3 t ha ⁻¹	133,1 ± 9,1	296,0 ± 11,0	429,2 ± 17,9

Katsevariant ei omanud usutavat mõju terasaagi keemilisele koostisele (Tabel 4). Terade proteiinisaldus oli kõikides katsevariantides väga suur. Nisu saagi kvaliteedi tagamiseks oli järelikult lämmastikuga varustatus piisav. Analüüsitud mineraalelementide sisaldused olid terades tavapärastes suurusjärgudes ning tuha kasutamine ei avaldanud sellele olulist mõju. Tuha kasutamine oli nisu terasaagile neutraalse mõjuga.

Tabel 4. Suvinisu terade proteiini ja mineraalelementide sisaldus. Keskmine ± standardviga.

Variant	Sisaldus, %				
	Proteiin	P	K	Ca	Mg
Kontroll	21,5 ± 0,64	0,37 ± 0,03	0,48 ± 0,017	0,05 ± 0,003	0,1 ± 0
Tuhk 1 t ha ⁻¹	21,3 ± 0,28	0,31 ± 0,02	0,46 ± 0,017	0,05 ± 0,003	0,1 ± 0
Tuhk 3 t ha ⁻¹	21,2 ± 0,18	0,30 ± 0,01	0,43 ± 0,014	0,05 ± 0,003	0,1 ± 0

3.3. Tuha kasutamise mõju mulla agrookeemilistele omadustele

Mulla pH väärtus oli koristusjärgselt kõikides katsevariantides suurem kui kevadel katse rajamise eelselt (pH_{KCl} = 5,2). See oli nii ka kontrollvariandis, kus tõenäoliselt põhjustas mulla happesuse vähenemist kasutatud kastmisvesi. Tuha kasutamine normiga 3 t ha⁻¹ tagas võrreldes kontrollvariandiga usutavalt suurema pH väärtuse (Tabel 5), st piisavas ulatuses aktiivse happesuse neutraliseerimise. Mulla reaktsiooni muutus kajastus ootuspäraselt laktaat-lahustuva Ca sisalduse suurenemises. Mulla taimedele omastatava P, K ja Mg sisaldus ei sõltunud lubiväetise kasutamisest. Tuha kasutusnorm 1 t ha⁻¹ osutus ebapiisavaks, et oluliselt vähendada mulla happesust ja parandada kaltsiumiga varustatust. Arvestades, et selle kasutusnormi juures viidi mulda 0,6 t ha⁻¹ CaCO₃, oli vähene mõju mulla agrookeemilistele näitajatele ootuspärane.

Tabel 5. Mulla reaktsioon ja toiteelementide sisaldus sügisel pärast saagi koristamist. Keskmine $\pm$ standardviga.

Variant	pH _{KCl}	Sisaldus, mg kg ⁻¹			
		P _{AL} *	K _{AL}	Ca _{AL}	Mg _{AL}
Kontroll	5,5 $\pm$ 0,10 ^A	54,7 $\pm$ 3,3	149,7 $\pm$ 7,9	755,7 $\pm$ 10,4 ^A	75,3 $\pm$ 16,4
Tuhk 1 t ha ⁻¹	5,6 $\pm$ 0,08 ^A	42,0 $\pm$ 0,6	150,3 $\pm$ 6,7	800,7 $\pm$ 31,3 ^{AB}	62,7 $\pm$ 6,7
Tuhk 3 t ha ⁻¹	6,1 $\pm$ 0,09 ^B	53,7 $\pm$ 14,1	170,7 $\pm$ 23,3	967,0 $\pm$ 71,9 ^B	71,0 $\pm$ 0,6

* Indeks AL näitab, et tegemist elemendi taimetele omastatava sisaldusega, mida on analüüsitud ammoonium-laktaat meetodil. Veerus erinevate tähtedega märgitud tulemused on usutavalt erinevad Tukey HSD, $p < 0,05$.

4. Kokkuvõte ja järeldused

Eksperthinnangu koostamise aluseks olnud laboranalüüsidele ja taimkatsele tuginedes saab järeldada, et Püssi tuhamäes ladestatud materjal omab potentsiaali lubiväetisena kasutamiseks. Selle tuha raskmetallide sisaldused on kordades väiksemad lubatud piirmääradest ning lubiväetisena nõuetekohasel kasutamisel pole põhjust eeldada selle negatiivset mõju keskkonnale. Tuha kasutamisel oli väike positiivne mõju saagikusele ja neutraalne mõju saagi kvaliteedile. Tuha kasutamine vähendas lubiväetisele omaselt mulla happesust ning parandas kaltsiumiga varustatust. Teistele mulla omadustele olulist mõju ei avaldunud. Analüüsitud proovi neutraliseerimisvõime vastas määruks nr 46 põlevkivituhale sätestatud nõudele. Kuigi hinnatud tuha keemiline koostis on sarnane põlevkivituhale, siis võimalikud erisused niiskusesisalduses ja osakeste suurusjaotuses on põhjused, et miks on otstarbekas see materjal määruks nr 46 sätestada eraldiseisva lubiväetise liigina sätestada. Ettepanek on lisada määruksesse uus eraldiseisev lubiväetise liik nimetusega „Tuhamägede põlevkivituhk“. Selle lubiväetise tootmismeetod ja põhikoostisosad võivad olla defineeritud järgmiselt: „Peamiselt põlevkivi põletamisel saadud ja mägedes ladestatud tuhk“. Koostise osas on ettepanek sätestada nõue, et minimaalne neutraliseerimisvõime kaltsiumina on 20%. Selle näitaja lubatud hälve võib olla -2%, mis on samaväärne määruks senise praktikaga lubiväetiste osas. Deklareeritavate näitajatena tuleks määratleda neutraliseerimisvõime ja niiskusesisaldus. Vastavalt niiskusesisaldusele saab valida sobiliku transpordiviisi ja laotamistehnoloogia ning täpsustada kasutusnormi.

Ühe analüüsitud ja katsetatud proovi alusel polnud võimalik käesolevas töös hinnata kui ühtlane on Püssi tuhamäes ladestatud materjali koostis. Eeldusel, et testitud proov on esinduslik, saab teha järelduse, et see materjal sobib lubiväetiseks. Otstarbekas lisada määruks nr 46 eraldiseisev lubiväetise liik, mida saab kohaldada vanades tuhamägedes ladestatud põlevkivituhale. Kuna tuhamägede koostis võib olla varieeruv, siis ettepanek on kaaluda lubiväetise koostise määramiseks tihedam laboranalüüside kohustus.