

Endurnýting lífrænna úrgangsefna með gerjunaraðferð, "bokashi".

Cornelis Aart Meijles
Ráðgjafarmiðstöð landbúnaðarins
Júní 2022

Samantekt

Prófuð var ný aðferð við meðhöndlun á lífrænum úrgangi frá kúabúinu og byggðarkjarnanum á Hvanneyri, sem felur í sér stýrða, loftfyrta gerjun (bokashi). Útbúinn var haugur úr kúamykju og hefyrringum, ásamt nýslegnu grasi af grasflötum. Í hauginn voru sett ýmis íblöndunarefni, s.s. bentonít leir til að varðveita næringarefni, skeljasandur til að halda sýrustigi innan æskilegra marka og sérstök örverublanda sem var úðað yfir úrgangsmassann við uppsetningu haugsins. Síðan var haugurinn þjappaður til að koma sem mestu lofti úr honum og plast strengt yfir til að loka fyrir súrefni. Svo var sterkur dúkur settur yfir til að verja plastið og efnið í haugnum fyrir mögulegum skaða af völdum veðra og dýra. Prófun var gerð á innihaldi næringarefna í haugnum að gerjunarferlinu loknu.

Tilgangur verkefnisins var að skoða hvernig gerjunaraðferðin reynist við íslenskar aðstæður og afla reynslu sem myndi nýtast við vinnslu og nýtingu lífrænna úrgangsefna. Einnig að kanna nýtingarmöguleika gerjaðs lífræns úrgangsmassa til áburðar og jarðvegsbóta og sem hráefni til áframhaldandi vinnslu.

Bokashi-jarðgerð er gagnleg og skilvirk leið til að meðhöndla lífrænt hráefni, en þar eru tækifæri til að bæta bæði heimaflökkun og meðhöndlunina á móttökustöð fyrir úrgang til að gera ferlið skilvirkara, ódýrara og stöðugara. Keðjuverkandi áhrif þess að nýta staðbundin lífræn hráefni í áburðargjöf eykur getu jarðvegs til kolefnisbindingar og dregur úr þörf á innfluttum tilbúnum áburði með tilheyrandi útblæstri. Gerjaður úrgangur lofar góðu sem leið til framleiðslu áburðar, samanborið við aðrar aðferðir, en rannsóknir eru enn skammt á veg komnar (Epelde ofl., 2018; Merfield, 2012). Ýmsar tilraunir sýna þó að húmussýrur og örverur úr "bokashi" gerjun geta bætt vöxt og þrif plantna í landbúnaði og garðyrkju (Baldotto & Baldotto, 2016; Ndonga, ofl., 2011). Meðhöndlun lífræns hráefnis í línulegu ferli (urðun) og moltugerð valda útblæstri gróðurhúsalofttegunda og tap á næringarefnum. Bokashi aðferð er jafnframt einfaldari og ódýrari en aðrar meðhöndlunarleiðir lífræns úrgangs, krefst ekki sérhæfðs tækjabúnaðar, þarfnast lítillar vinnu og væri hægt að setja upp víðast hvar, óháð magni. Ferlið er lyktarlaust og miðar m.a. að því að eyða skaðlegum örverum og illgresisfræi úr úrganginum og draga úr ásókn meindýra. Næringarefni og kolefni varðveitast betur miðað við aðra meðhöndlun lífræns úrgangs. Þetta er frumkvöðlaverkefni og fyrsta stýrða prófunin á þessari aðferð hérlendis á tiltölulega stórum skala.

Bokashi aðferðin gæti hentað íslenskum aðstæðum mjög vel enda fer ferlið fram undir plasti þannig að efnið er varið fyrir veðri og vindum og má geyma þar til það á að notast.

Inngangur

Hér á landi fellur til gríðarlegt magn af lífrænum úrgangi, á öllum stigum samfélagsins - hjá einstaklingum, bændum, fyrirtækjum, stofnunum og sveitarfélögum. Mikill samfélagslegur kostnaður er fólgin í söfnun, flutningi og meðhöndlun á þessum úrgangi og að jafnaði lítill ávinningur, sérstaklega ef úrgangurinn fer í urðun. Með því tapast verðmæt næringarefni. Gerjun á lífrænum úrgangi gæti verið heppileg og hagkvæm leið til að nýta næringarefnin og orkuna í honum til jarðvegsbóta eða annara nytja.

Nútíma landbúnaður einkennist m.a. af síaukinni tæknivæðingu, notkun tilbúins innflutts áburðar, innflutts fóðurs og allskyns varnarefna og lyfja, sem og nauðsynlegri stækkun bóa til að mæta vaxandi samkeppni og kröfum neytenda. Bændur eru sífellt að takast á við 'landamæri hins mögulega' innan sinna rekstrareininga og í greininni í heild. Hækkandi framleiðslukostnaður, brýn umhverfismál og vaxandi gæðakröfur neytenda á mótí lágu afurðaverði eru daglegar staðreyndir sem bændur þurfa að horfast í augu við.

Umhverfismál og þá sérstaklega loftslagsbreytingar vegna losunar gróðurhúsalofttegunda (GHL) hafa verið í brennidepli undanfarið og stendur landbúnaðurinn á tímamótum hvað það varðar. Samkvæmt skuldbindingum Íslands er losun GHL skipt niður í flokka eftir uppsprettum í samræmi við skiptingu Milliríkjanefndar Sameinuðupjóðanna um loftslagsbreytingar ([Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC](https://www.ipcc.ch/)). Flokkarnir eru: orka (jarðeldsneytisbruni og jarðvarmafyrirtæki); iðnaðarferlar og efnanotkun (málmframleiðsla, notkun ýmissa efna eins og leysiefna, kælimiðla og flugelda), landbúnaður (húsdýr og áburðarnotkun), úrgangur (urðun úrgangs, meðhöndlun skólps og moltugerð) og landnotkun, breytt landnotkun og skógrækt (land use, land use change and forestry – LULUCF). Losun frá LULUCF fellur hins vegar ekki undir skuldbindingar Íslands í loftslagsmálum en frá og með árinu 2026 verður breyting þar á, sjá https://ec.europa.eu/clima/policies/forests/lulucf_en.

Ef losun Íslands er skoðuð eftir uppsprettum þeirra, án LULUCF, sést að mest losnar af GHL frá iðnaðarferlum, næstmest frá orku, svo landbúnaði og minnst frá meðhöndlun úrgangs. Losun frá landbúnaði árið 2017 var 578 kt. CO₂-íg. eða 12% af heildarlosun Íslands, án LULUCF. 99% af losun frá landbúnaði er vegna losunar á metani (CH₄) og glaðlofti (N₂O). 85% af CH₄ losuninni er tilkomin vegna innyflagerjun og 78% af N₂O losuninni vegna nytjajarðvegs. Losun frá landbúnaði veltur að mestu á stærð bústofna, sérstaklega nautgripa og sauðfjár. Árið 2017 var losun frá landbúnaði 2% minni en árið 1990 og hefur hún aukist um 11% frá árinu 2005 til 2017 vegna stækkunar bústofns. Magn niturs í áburði skiptir þó einnig máli þegar kemur að losun GHL frá landbúnaði (<https://ust.is/loft/losun-grodurhusalofteygunda/losun-efrir-flokkum/>).

Landbúnaðurinn getur gegnt lykilhlutverki í að viðhalda magni kolefnis sem fyrir er í ræktunarlandi og binda jafnframt kolefni úr andrúmslofti sem lífræn jarðvegsefni og draga þannig úr losun GHL, beint (t.d. notkun dísilolíu) eða óbeint (auka notkun áburðarefna úr lífmassa í stað tilbúins áburðar). Með því að loka efnishringrásinni sem best getur landbúnaðinn orðið atvinnugrein þar sem CO₂ fótsporið verði jafnvel neikvætt, þ.e. að meira CO₂ verði fangað en losað. Á fundi landbúnaðarráðherra Evrópusambandsins í Helsinki á árinu 2021 varð samstaða um að varðveislsla og binding kolefnis í ræktunarjarðvegi verði

meðal helstu aðgerða til að vinna gegn loftslagsbreytingum. Auk þess hefur sjálfbær notkun ræktunarjarðvegs jákvæð áhrif á náttúrulegan fjölbreytileika lífríkis undir sem fyrir ofan jarðvegsyfirborðið, vatnsbúskap og vatnsgæði, frjósemi jarðvegs og orkunotkun í landbúnaði. Heilbrigðari jarðvegur hefur meiri geta til að binda kolefni og köfunarefni úr andrúmslofti og gefur jafnframt meiri, jafnari og betri uppskeru, veitir betra viðnám gegn plöntusjúkdómum og plágum og rennir þannig öruggari stoðum undir reksturinn.

Með betri nýtingu á næringarefnum úr lífmassa má verulega draga úr þörf innfluttra áburðarefna og fóðurs. Þetta á við lífmassa sem fellur til á býli sem og í (næsta) nágrenni, s.s. sveitarfélagi. Lífrænum (úrgangs)efnum má umbreyta í verðmæta afurð eða jarðvegsbæti, t.d. með moltugerð, gasgerð eða gerjun (bokashi). Þessar aðgerðir eiga það sameiginlegt að stærðargráðan á vel við meðalbústærð.

Með því að loka hringrás næringarefna má koma í veg fyrir óæskileg umhverfisáhrif, spara verulegar peningaupphæðir, endurheimta heilbrigði jarðvegs og bæta lífskjör landsmanna til komandi kynslóða. Einnig verður landbúnaðurinn með þessum hætti minna háður innflutningi aðfangsefna (s.s. tilbúins áburðar og fóðurs).

Hauggerjun - bokashi

Í þessu verkefni er ætlunin að prófa gerjunaraðferð við endurnýtingu lífræns úrgangs við íslenskar aðstæður. Aðferðin nefnist “bokashi” og er gömul japönsk aðferð við að gera lífrænan úrgang nýtanlegan til notkunar í landbúnaði. Hún er víða að ryðja sér til rúms á Vesturlöndum bæði í smáum stíl inni á heimilum, en einnig er verið að útfæra hana í stærri stíl á vegum fyrirtækja og sveitarfélaga. Aðferðin felst í að gerja lífræna massann í 6-8 vikur. Við hauggerjun má annars nota allan lífrænan úrgang sem fyrir hendi er, s.s. garðaúrgang, matarleifar, uppskeruleyfar, hrat ofl.

Afurðina má síðan nýta til áburðargjafar og jarðvegsbóta, eða nýta til annarar vinnslu, t.d. svepparæktar. Þessi aðferð gæti nýst býlum og byggðarkjörnum og orðið ódýrari lausn við endurnýtingu lífræns úrgangs en önnur meðhöndlun á lífrænum úrgangi, einkum þar sem úrgangsmagn er tiltölulega lítið, flutningsleiðir langar í næstu moltugerð og möguleikar á nýtingu afurðarinnar eru fyrir hendi. Árið 2021 var sett bann við að urða lífrænan úrgang á Íslandi og þess vegna er þörf á að skoða ýmsar lausnir við að endurnýta úrganginn.

Í lífræna massanum gerist gerjunin við loftfyrirtar aðstæður, ólíkt því sem stefnt er að í venjulegri moltugerð. Annað einkenni aðferðarinnar er samsetning örvera í lífræna massanum, sem er stýrt með því að setja örverublöndu í úrgangsmassann. Þetta veldur því að gerjunartíminn styttest og möguleikar óæskilegra örvera fjölgi sér minnka. Örverublöndur af þessu tagi eru oft nefndar “effective microorganisms” og innihalda m.a. mjólkursýrugerla, ígulgerla og gersveppi sem sýra lífræna úrganginn og koma í veg fyrir að hann rotni.

Ferlið er lyktarlaust og lítil hætta á ásókn meindýra og flugna. Einnig miðar meðhöndlunin að því að eyða illgresisfræi og skaðlegum örverum úr úrgangnum.

Áhugi á að nýta “bokashi” gerjunaraðferðina í stórum stíl í tengslum við landbúnað, stafar af því að hún getur verið umhverfisvænni og hagkvæmari en önnur meðhöndlun. Aðstaða til

gerjunarinnar getur verið tiltölulega einföld og vinnusparandi, því ekki þarf að snúa efninu, og allt ferlið er tiltölulega fljótlegt (Bosch ofl., 2016).

Tilraunir sýna að gerjun á lífrænum úrgangi bætir nýtingu lífræns efnis og næringarefna samanborið við aðra meðhöndlun. Í gerjun varðveitist nærri allt kolefni og nitur í haugnum, en í loftaðri jarðgerð tapast um helmingur kolefnisins sem koltvísýringur og metan, en um 10-20% nitursins rýkur sem nituroxið úr haugnum. Orkunotkun er jafnframt minni í ferlinu en í venjulegri moltugerð (Bosch ofl., 2016).

Gerjun getur m.a. hentað þar sem þættir eins og aukin kolefnisbinding í ræktarlandi og bætt nýting áburðar skipta máli. Dúkurinn yfir haugnum ver hann gegn regni og vindum, þannig að ekki tapast næringarefni úr haugnum og hann veldur því ekki mengun. Aðferðin gæti nýst vel í dreifbýli, þar sem hægt væri að vinna efni til áburðarnoktunar á staðnum, sem annars yrði að flytja um langan veg á næstu förgununarstað eða moltugerð (Merfield, 2012).

Gerjaður úrgangur lofar góðu sem leið til framleiðslu áburðar, samanborið við aðrar aðferðir, en rannsóknir eru enn skammt á veg komnar (Epelde ofl., 2018; Merfield, 2012). Ýmsar tilraunir sýna þó að húmussýrur og örverur úr "bokashi" gerjun geta bætt vöxt og þrif plantna í landbúnaði og garðyrkju (Baldotto & Baldotto, 2016; Ndonga, ofl., 2011).

Bokashi aðferðin, sem nefna má hauggerjun á íslensku, er einfaldari og ódýrari en aðrar meðhöndlunarleiðir fyrir lífrænan úrgang. Ferlinu er hrint af stað með örverum (e. Effective Microorganisms, skammstafað EM) sem blandað er við lífrænt hráefni og komið fyrir í loftfirrtum aðstæðum. Örverurnar eru blanda af mjólkursýrugerlum (e. lactic bacteria), ljóstillifandi gerlum (e. photosynthetic bacteria), gersveppum (e. yeasts) og ígulgerlum (e. actinomycetes). Auk þess er skeljasandi og leirsteindum blandað saman við lífmassann sem á að gerja. Skeljasandurinn jafnar sýrustig í gerjuninni og leirinn gegnir því hlutverki að binda næringarefni betur í lokaafurðinni og koma þannig í veg fyrir tap þeirra. Gerjunartímabilið er um 6-8 vikur.

Hauggerjun krefst ekki sérhæfðs tækjabúnaðar, þarfnast lítillar vinnu og væri hægt að setja upp víðast hvar á landinu. Á meðan á gerjunin stendur er engin þörf á inngripum og þarfnast meðhöndlunarferlið því lítils landsvæðis og vinnslu sem gerir hana sérstaklega orkunýtna og hagkvæma. Í loftfyrri gerjun varðveitist nærri allt kolefni og nitur í haugnum, en í loftaðri jarðgerð tapast um helmingur kolefnisins sem koltvísýringur og metan, en um 10-20% nitursins rýkur sem nituroxið. Í gerjunarferlinu er orkunotkun jafnframt minni en í venjulegri moltugerð. Afurðina má nýta til áburðargjafar og jarðvegsbóta, eða nýta til annarar vinnslu, t.d. svepparæktar. Þessi aðferð gæti nýst býlum og byggðarkjörnum og orðið ódýrari lausn við endurnýtingu lífræns úrgangs, einkum þar sem flutningsleiðir eru langar í næstu móttökustöð.

Bokashi aðferðin er víða að ryðja sér til rúms á Vesturlöndum, bæði í smáum stíl inni á heimilum, en einnig er verið að útfæra hana á stærri skala á bóndabýlum sem og á vegum fyrirtækja og sveitarfélaga. Bokashi aðferðin gæti hentað íslenskum aðstæðum mjög vel enda fer ferlið fram undir þykkri yfirbreiðslu sem ver efnið fyrir veðri og vindum og má geyma óskemmt þar til það á að notast.

Samanburður við moltugerð

Bokashi aðferðin hefur verið stunduð og rannsökuð töluvert t.d. í Hollandi og Nýja-Sjálandi. Rannsóknir sýna að með þessari aðferð næst að nýta umtalsvert meira af næringarefnum en með jarðgerð, afurðin inniheldur mikið nitur og notkun þess getur því sparað tilbúinn áburð (Bosch, 2017). Í rannsókn og samanburði á bokashi og hefðbundinni moltugerð, sem framkvæmd var árið 2013 og 2015, var sýnt fram á töluvert minni losun gróðurhúsalofttegunda af N₂O, CO₂ og CH₄ í bokashi en í hefðbundinni moltugerð. Rannsóknin sýndi fram á að fyrir hverja einingu af lokaafurðinni var 27 sinnum lægra kolefnisfótspor með bokashi aðferðinni auk þess sem hún kallaði á minna vinnuafli þar sem ekki þarf að blanda bokashi eða snúa reglulega eins og í moltugerð (Agriton, 2016).

Tafla 1. Samanburður á tapi næringarefna úr lífrænu efni í bokashi-haug og hefðbundnum moltuhaug (Agriton, 2016). (OM loss þýðir tap á lífrænum efnum, carbon er kolefni og nitrogen er nitur).

| | Bokashi* | | Traditional Compost | |
|-------------------------------------|----------|--------|---------------------|--------|
| | 2013 | 2015 | 2013 | 2015 |
| Total amount at start (kg) | 14,330 | 13,750 | 13,400 | 12,820 |
| Kg after 6 (2013) or 8 (2015) weeks | 13,870 | 12,850 | 5,070 | 5,070 |
| OM loss (%) | 2.2 | 4.8 | 49 | 48 |
| Carbon loss (%) | 2.9 | 5.6 | 59 | 69 |
| Nitrogen loss (%) | 0.0 | 1.7 | 9.6 | 16.0 |

Framkvæmd og aðferðir

Verkefnið var unnið með styrk úr Framleiðnisjóði landbúnaðarins ásamt framlagi þáttakanda: RML, Lbhí og Hvanneyrarbúsins. Markmið verkefnisins var að prófa bokashi aðferðina til að gerja lífrænan úrgang í nokkuð stórum stíl við íslenskar aðstæður, sem yrði liður í hagkvæmri og umhverfisvænni úrvinnslu og endurnýtingu. Einnig var það markmið verkefnisins að kanna nýtingarmöguleika gerjaðs lífræns úrgangsmassa til áburðar og jarðvegsbóta og sem hráefni til áframhaldandi vinnslu. Ávinningur verkefnisins getur orðið hagkvæmari endurnýting á lífrænum áburði fyrir bændur, sveitarfélög og fyrirtæki í sorphirðu. Ef vel tekst til gæti áframhaldandi þróunarvinna leitt til sparnaðar við söfnun, flutning og vinnslu lífræns úrgangs og bættu nýtingu áburðarefna í landbúnaði.

Á Hvanneyri var settur upp hauggerjunarhaugur í rannsóknarskyni (tafla 2). Haugurinn var settur upp á sléttu undirlagi úr mól í malarnámu við Hvanneyrarbúið. Haugurinn samanstendur af kúamykju, nýslegnu grasi og hefyfyrningum. Í hauginn voru sett íblöndunarefni – örverublanda, skeljakalk og leir - til að varðveita næringarefni og til að halda sýrustigi innan æskilegra marka.

Tafla 2. Samsetning tilraunahaugsins á Hvanneyri, þar sem sýnd eru áætluð gildi ýmissa efna og þátta eftir hráefnum og fyrir hauginn í heild sinni.

| | Ferskt gras, nýslegið | Gamalt hey í rúllum | Mykja | Reiknuð samsetning eða magn í haugnum |
|-----------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Magn | 5,5 tonn | 3,5 tonn | 5 tonn | 14 tonn |
| Hluti af heildarmagni | 39% | 25% | 36% | 100% |
| Þurrefni | 30% (áætlað, er um 1,7 tonn) | 55% (1,8 tonn) | 2% (áætlað, er um 0,1 tonn) | 26% |
| C (50% af þ.e.) | 0,85 tonn (áætlað) | 0,9 tonn | 0,05 tonn | 1,8 tonn |
| prótein (%) | 10% (áætlað) | 14% | ? | ? |
| N (kg)* | 27 (reiknað) | 40 | 30 | 97 |
| C/N hlutfall | 31,5 | 22,5 | 3,3 | 19 |

*Reiknað var með að N-magn í þurrefni væri 16% af áætluðu próteini.

Örverublöndunni var hellt yfir úrgangsmassann, massinn þjappaður til að ná sem mestu af lofti úr efninu og að lokum var sterkur dúkur strengdur yfir til að loka fyrir súrefni. Ofan á hauginn voru settar heyrúllur til að þjappa honum saman.

Haugurinn var 13 m langur, 4 m breiður og 0,5 m hár, eða 26 m³ að rúmmáli og í honum voru 14 tonn af hráefni. Hlutfall hráefna var valið með því augnamiði að kolefnis/nitur hlutfallið (C/N) í haugnum yrði um 20, en útreikningar að lokinni hauggerðinni bentu til þess að hlutfallið yrði um 19 (tafla 2).

Í hauginn voru auk ofangreindra lífrænna efna sett eftirfarandi (innflutt) íblöndunarefni: bentonít leir (u.þ.b. 150 kg, til að taka við næringarefnum og vökva, og skeljasandur (u.þ.b. 150 kg) til að halda sýrustigi innan vissa marka. Örverublandan (30 lítrar), bentonít leirinn og skeljasandurinn voru keypt frá fyrirtækinu Agriton í Hollandi. Örverublandan var þynnt út með vatni 1:100 til að fá betri dreifingu örveranna í haugnum.

Haugurinn var byggður upp á sléttu undirlagi úr möl en ekki var talið að þörf væri á steypu plani, því enginn vökvi og næringarefni ætti að leka úr haugnum. Sterkur margnota, loftþéttur dúkur var strengdur yfir til að loka fyrir súrefni, hamla uppgufun og útiloka regnvatn.

Sumarið 2021, að gerjunarferlinu loknu, voru tekin sýni úr haugnum til efnagreininga. Sýnin voru tekin á nokkrum mismunandi stöðum úr haugnum og þau sameinuð í eitt sýni. Efnagreiningarnar voru gerðar af Kristmanni Gíslasyni hjá Hafrannsóknastofnun og hluti þeirra hjá Efnagreiningu ehf á Akranesi. Heildar N var mælt með Kjeldahl-aðferð og NH₄-N

með eimingu og títrun. Megin- og snefilefnin mæld í ICP-EAS eða ICP-MS tækjum og undirbúningur fyrir ICP-mælingar var suða í blokk með saltpéturssýru.

Sýni úr haugnum voru einnig notuð til mælinga á C/N hlutfalli. Þær mælingar annaðist María Svavarsdóttir hjá Lbhí. Mælingar voru gerðar í tækinu Vario MAX CN (Elementar Analysensysteme GmbH) á Keldnaholti, en vegna bilunar í tækinu voru mælingar ekki gerðar fyrir en í febrúar 2022.

Seinnihluta ágústmánaðar það sama sumar var efni úr haugnum notað í litla ræktunartilraun á Hvanneyri þar sem samanburður var gerður á tilbúnum áburði og gerjaða efninu úr haugnum. Tilraunagrasíð var vetrarrúgur. Niðurstöður úr þeirri tilraun fást ekki fyrir en haustið 2022, og er sú tilraun ekki hluti af þessu verkefni.

Niðurstöður

Niðurstöður efnagreininga á samsettu sýni úr bokashi-haugnum eru sýndar í töflu 3.

Tafla 3. Niðurstöður efnagreininga á samsettu sýni úr tilraunahaugnum á Hvanneyri.

| | | | | | Í sýni með upphaflegum raka | | | | | |
|------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------|-----------------------------|---------------------|------|------|------|------|
| Þurr-efni í sýni | Þ.e í þurrkuðu sýni | Heild- ar N í þ.e | NH ₄ - N | Aska | Heildar N | NH ₄ - N | P | K | S | |
| % | pH | g/kg | | % þ.e | g/kg | | | | | |
| 33,98 | 96,5 | 8,3 | 28,5 | 2,45 | 13,8 | 12,12 | 2,45 | 1,05 | 7,50 | 1,14 |

| Í þurrkuðu sýni | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|------|------|------|------|------------|-------|------|------|-------|
| P | K | S | Na | Ca | Mg | Mn | Fe | Cu | Se | Zn |
| g/kg þ.e. | | | | | | mg/kg þ.e. | | | | |
| 3,10 | 22,09 | 3,34 | 4,45 | 8,21 | 4,41 | 143,3 | 929,2 | 16,6 | 0,67 | 57,06 |

Þurrrefni í samsettu sýni sem tekið var sumarið 2021 mældist um 34% sem er aðeins hærra en ætlað var við uppsetningu á haugnum (26%). Hlutfall heildar-N (sem aðallega er lífrænt N) af þurrvigt mældist um 2,8%, sem samsvarar tæpum 104 kg í haugnum (tafla 3). Þetta er í nokkuð góðu samræmi við það magn niturs sem reiknað var út frá þeim upphafsefnum sem fóru í hauginn, eða um 97 kg. Ekki virðist því hafa tapast N úr haugnum sem er í samræmi við væntingar enda fer gerjunarferlið fram undir plasti.

NH₄-N (ólífrænt N) mældist 0,25% en að jafnaði mældist um 95% af heildar N í lífrænu formi. Plöntur geta tekið þetta nitur upp bæði sem ammoníum jónir og sem nítrat jónir eftir að gerlar hafa nítrað NH₄. Niðurbrotsörverur í jarðvegi geta melt lífrænt N og myndað þannig ólífrænt N. Í efni með meira en 2% heildar N verður heilbriggt og stöðugt framboð af lífrænu

N sem örverur munu breyta í ólífrænt N þegar gerjað efni er komið í jarðveg og getur þannig dregið úr þörf á tilbúnum nituráburði.

Við gerjun á lífrænum efnum lækkar yfirleitt sýrustig en lykilörverum sem notaðar eru í bokashi-ferlinu (*Effective Microorganisms, EM*) fækkar mikið þegar sýrustig verður lægra en pH 4,5 – 5. Hægt er að halda sýrustigi fyrir ofan pH 5 með því að blanda skeljasandi í massann við uppsetningu á haug. Þannig fá örverurnar nægan tíma til að klára gerjunarferlið. Átta vikum eftir að haugurinn var settur upp var gerð sýrustigsmæling til að athuga stöðuna á haugnum. Sýrustig mældist þá pH 5,3 sem var vísbending um að gerjunarferlinu væri lokið eða um það bil að ljúka. Þegar örveruvirkni er lokið er engin sýrumyndun lengur. Við efnagreiningu í október 2021 mældist pH hins vegar 8,3 (tafla 3). Kalk úr skeljasandinum sem blandaður var við efnið við uppsetningu hefur sennilega haldið áfram að leysast upp eftir að gerjunarferlinu lauk og hefur sýrustigið því hækkað síðan þá.

Fosfór, kali, magnesíum og snefilefni voru ekki greind í þeim hráefnum sem fóru í hauginn en í tilbúnu bokashi-efni (þurrkuðu) mældist kali 2,2%, fosfór 0,3%, magnesíum 0,4%, natríum 0,4%, brennisteinn 0,3% og kalk 0,8%. Snefilefni mældust sem hér segir: mangan 143, járn 929, kopar 16, selen 0,6 og sink 57, allt í mg/kg þ.e. (tafla 3).

C/N hlutfallið í bokashi-efninu reyndist vera 18,4 sem er í góðu samræmi við áætlað hlutfall við uppsetningu haugsins, sem var um 19 (tafla 2). Kolefnisinnihaldið í samsettu sýni úr haugnum mældist 40,10% og nitur 2,18%.

Umræður

Tilgangur verkefnisins var að skoða hvernig gerjunaraðferðin myndi reynast við íslenskar aðstæður og afla reynslu sem myndi nýtast við vinnslu og nýtingu lífrænna úrgangsefna. Einnig að kanna nýtingarmöguleika gerjaðs lífræns úrgangsmassa til áburðar og jarðvegsbóta og sem hráefni til áframhaldandi vinnslu. Áburðargildi og jarðvegsbætandi áhrif afurðarinnar sem fæst úr gerjuninni voru metin með efnagreiningum. Þetta er frumkvöðlaverkefni og fyrsta stýrða prófunin á þessari aðferð héraendis á tiltölulega stórum skala.

Verkefnið fór fram eins og áætlað var, nema að framgangur þess dróst nokkuð sökum heimsfaraldursins. Nægt hráefni var til á staðnum til að búa til um 15 tonna haug. Haugurinn var settur upp á einum degi. Á meðfylgjandi myndum í viðauka má sjá hvernig verkið var framkvæmt.

Bokashi-gerjun virðist vera gagnleg og skilvirk leið til að meðhöndla lífrænt hráefni sem fellur til á Íslandi. Sökum þess hve ódýr þessi vinnsla er þarf ekki að ráðast í neinar stórframkvæmdir né þarf flókinn tækjabúnað til vinnslunnar. Bokashi aðferðin gæti hentað íslenskum aðstæðum mjög vel enda fer ferlið fram undir plasti þannig að efnið er varið fyrir veðri og vindum og má geyma þar til það á að notast.

Með Bokashi gerjun skapast tækifæri til að nýta lífræn efni sem falla til í (nær)umhverfi sem annars mundu eyðast með tímanum án þess að gera nokkuð gagn. Keðjuverkandi áhrif þess að nýta staðbundin lífræn hráefni í áburðargjöf og til jarðvegsbóta eykur getu jarðvegs til

kolefnisbindingar og dregur úr þörf á innfluttum tilbúnum áburði með tilheyrandi útblæstri. Gerjaður úrgangur virðist vera hagkvæm leið til framleiðslu áburðar, samanborið við aðrar aðferðir, en rannsóknir eru þó enn skammt á veg komnar (Epelde ofl., 2018; Merfield, 2012). Ýmsar tilraunir sýna þó að húmussýrur og örverur úr “bokashi” gerjun geta bætt vöxt og þrif plantna í landbúnaði og garðyrkju (Baldotto & Baldotto, 2016; Ndonga, ofl., 2011). Meðhöndlun lífræns hráefnis í línulegu ferli (urðun) og jarðgerð valda útblæstri GHG og tap á næringarefnum.

Við uppsetningu á haugnum var stefnt að því að hafa þurrefni á bilinu 25-45% og C/N hlutfall milli 15 og 25 enda eru þessi gildi sögð æskileg til að fá bestu vinnslu (Agriton, munnleg heimild, 2018). Út frá hráefninu sem var notað var þurrefni áætlað 26% og C/N hlutfall 19. Efnagreiningar sem framkvæmdar voru á sýni úr haugnum að gerjunarferlinu loknu sýna að áætluð gildi höfðu náðst og miðað við áætluð gildi hafi ekki orðið tap á kolefni og köfnunarefni úr haugnum eftir hann var settur upp.

Bokashi aðferð er einfaldari og ódýrari en aðrar meðhöndlunarleiðir, krefst ekki sérhæfðs tækjabúnaðar, þarfnast lítillar vinnu og væri hægt að setja upp víðast hvar, óháð stærðargráðu. Ferlið er lyktarlaust og miðar m.a. að því að eyða skaðlegum örverum og illgresisfræi úr úrganginum og draga úr ásókn meindýra. Næringarefni og kolefni varðveitast betur miðað við aðra meðhöndlun lífræns úrgangs (Hoekstra et.al, 2017). Þó er vert að nefna hér að heyið sem við notuðum var ósaxað og hart, svo erfitt reyndist að ná efninu úr haugnum og dreifa því með þeim tækjum sem tilraunasviðið og búið á Hvanneyri hafa til umráða. Því er mælt með að slíkt efni verði saxað áður en það er sett í haug.

Nýting á gerjunaraðferð til að umbreyta lífrænum efnum í jarðvegsbæti/áburðarefni gæti dregið verulega úr tapi næringarefna, t.d. við geymslu á lífrænum búfjáráburði og aukið þannig hagkvæmni í nýtingu hans. Þannig getur hauggerjun t.d. brúað bilið á milli þess er geymslur fyllast og þar til að hagstæðar aðstæður skapast til dreifingar. Þetta dregur þar með úr óhagkvæmni þess að dreifa lífrænum áburði í tíð þegar mikið af næringarefnum skolast burt og nýtast ekki nytjagróðri. Við kostnaðargreiningu kemur í ljós að kostnaður vegna gerjunar með bokashi er töluvert minni en við aðrar meðhöndlunaraðferðir. Þetta getur skýrst meðal annars af því að mun lægri stofnkostnaður er við að koma upp bokashi aðferð og aðferðin er frekar einföld. Rekstrarkostnaður er minni og getur það skýrst af því að færri starfsfólk og vélar þarf til þess að vinna úrganginn. Ennfremur þarf ekki húsnæði eða steyppt plan enda getur vinnslan verið undir berum himni þar sem hún fer fram undir plasti.

Ávinningur landbúnaðar og þjóðfélagsins alls yrði nýsköpun og viðbótarþekking á endurvinnslu lífræns úrgangs og nýtingu lífrænna áburðarefna. Bokashi aðferðin er sveigjanleg og opnar leið til endurnýtingar á mismunandi skala: allt frá heimilum til bændabýla og jafnvel fyrirtækja.

Ef vel tekst til gæti áframhaldandi þróunarvinna leitt til sparnaðar í söfnun, flutningi og vinnslu lífræns úrgangs og leitt til bættrar nýtingar áburðarefna í landbúnaði. Þetta myndi draga úr áburðarkaupum og spara gjaldyri. Afurðin er nýtanleg í túnærkt, akuryrkju, garðyrkju, uppgræðslu og skógrækt. Framboð á orkurikum gerjuðum úrgangi gæti einnig leitt til verðmætasköpunar í afleiddri starfssemi, t.d. svepparæktun. Aðferðin auðveldar endurnýtingu lífræns úrgangs nálægt upprunastað, sem sparar eldsneyti og annan flutningskostnað við að koma afurðinni á næsta förgunar- eða endurvinnslustað. Notkun

bokashi aðferðin er þar með stórt skef í átt að hringrásarhagkerfi og minnkun á losun gróðurhúsalofttegunda.

Möguleikar eru á framhaldsverkefnum, t.d. námsverkefnum ef áhugi verður fyrir hendi, með áherslu á hagnýtt gildi og þróun aðferðarinnar auk noktunarmöguleika afurðarinnar. Vonast er til þess að kynning á niðurstöðum frumkvöðlaverkefnisins vekji áhuga bænda, sveitarfélaga, fyrirtækja í sorphirðu og annarra áhugasamra.

Okkur er ekki kunnugt um að gerjunaraðferðin hafi verið reynd á jafn stórum skala hérlendis, þannig að þetta hefur verið fyrsta tilraun þessarar tegundar hérlendis.

Heimildir

- Baldotto, M. A., & Baldotto, L. E. B. (2016). Initial performance of corn in response to treatment of seeds with humic acids isolated from bokashi. *Revista Ceres*, 63, 62–67. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663010009>
- Bosch, M., Hitman, A., Feersma Hoekstra, J. (2017). Fermentation (Bokashi) versus Composting of Organic Waste Materials: Consequences for Nutrient Losses and CO₂ [https://www.semanticscholar.org/paper/Fermentation-\(-Bokashi\)-versus-Composting-of-Waste-Bosch-Hitman/6aa105baba368df90766e5719fcf3b661b364ae9](https://www.semanticscholar.org/paper/Fermentation-(-Bokashi)-versus-Composting-of-Waste-Bosch-Hitman/6aa105baba368df90766e5719fcf3b661b364ae9)
- Brynjarsdóttir, B. (2021). Bokashi jarðgerð á Sorpstöðinni Strönd í Rangárvallasýslu
- Deru, J., van Eekeren, N., Lenssinck, F. A. J., & Bloem, J. (2016). Effect Ca- en Mg-meststoffen op bodemkwaliteit en grasproductie op veengrond. *V-focus*, 13(3), 29-31. <https://edepot.wur.nl/382710>
- Epelde, L., Jauregi, L., Urra, J., Ibarretxe, L., Romo, J., Goikoetxea, I., & Garbisu, C. (2018). Characterization of Composted Organic Amendments for Agricultural Use. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00044>
- Merfield, C. N. (2012). Treating food preparation “waste” by Bokashi fermentation vs. composting for crop land application: A feasibility and scoping review. Report written for Gisborne District Council, NZ, 5-2012. <https://www.bhu.org.nz/future-farming-centre/ffc/information/soil-management/treating-food-preparation-waste-by-bokashi-fermentation-vs-composting-for-crop-land-application-a-feasibility-and-scoping-review-2012-ffc-merfield.pdf>
- Misserishópur K, Háskólinn á Bifröst (2020). Greinargerð Hagkvæmni í söfnun lífræns úrgangs í heimabyggð heima eða heiman
- Ndonga, R. K., Friedel, J. K., Spornberger, A., Rinnofner, T., & Jezik, K. (2011). Effective micro-organisms' (EM): An effective plant strengthening agent for tomatoes in protected cultivation. *Biological Agriculture and Horticulture*, 27(2), 189–203. <https://doi.org/10.1080/01448765.2011.9756647>
- Sjá einnig eftirfarandi myndaseríu: https://www.agriton.nl/wp-content/uploads/2014/04/bokashi_fotorapportage.pdf
- Og þetta myndband: <https://www.youtube.com/watch?v=RIcexNvAXjo>

Viðauki 1 - Myndir af uppsetningu á bokashi haug á Hvanneyri, júlí 2020



Viðauki 2. Upplýsingabæklingur bokashi á ensku



Bokashi

Fermenting organic matter

Bokashi is the Japanese word for "well fermented organic matter".

It is the most efficient way to replenish the soil with organic matter.

In contrast to traditional composting, there is virtually no emission of CO₂, and almost all the energy is retained.

By fermenting your green waste according to the Bokashi method, a saving is made on the cost of transporting the waste elsewhere and the Bokashi compost provides optimal nutrition for the soil and its microbiota. The cost of making Bokashi is lower than the cost of removing the material and buying new fertiliser. All fresh organic matter is suitable and can be used in the Bokashi compost method.

Examples include grass, leaves, crop cuttings, bulb waste, sub standard potatoes, onion and chivory remains. Woody material needs to be shredded first.



FARMERS - EQUINE - HORTICULTURE MUNICIPAL COUNCILS/HIGHWAYS

DAIRY FARMER Slurry and straw are an ideal base for making Bokashi. Furthermore all organic waste material can be used including hedge clippings and grass mowings.



ARABLE FARMER AND HORTICULTURAL GROWER Leaf waste, general green waste and substandard vegetable crops such as potatoes, onions, chivory residues can be used to make great fertiliser for the soil in preparation for the next crop. The microbial content in the Bokashi contributes to the life in the soil increasing the soils natural resistance to disease.



FRUIT GROWERS AND WINEGROWERS Windfalls, prunings and clippings are ideal for Bokashi composting.



EQUINE Horse manure is ideal for making Bokashi compost. Healthy pastures contribute to the health and well being of horses. Improving soil quality and depressing soil-borne disease has a direct effect on animal health.



COUNCILS Landscaping pruning waste, leaves, cuttings and household green waste (Green bin) can be converted by fermentation into the ideal fertiliser for municipal gardens and highways.

Your supplier:

Effective Micro-organisms Ltd

Ebear Farm, Westleigh, Tiverton, EX16 7HH, Devon, UK.
email: info@effectivemicro-organisms.co.uk

10 ENWELLS



Fermenting organic matter

to improve the humus and organic matter in soil

www.effectivemicro-organisms.co.uk

Viðauki 2 frh.

ADVANTAGES

- Optimal nutrition for the soil
- Soil minerals replenished
- Improved balance in organic matter
- Increased plant vitality
- Disease-suppressing soil
- Environmentally friendly (less CO₂ and NH₃)
- Reduced transport cost of green waste

RECIPE (depending on dry matter %)

- 1 m³ fresh biomass (slurry, farmyard manure, green waste, crop cuttings, pruning waste)
- 10kg Ostrea Crushed Seashell Grit
- 10kg Edasil Clay Minerals
- 2L Actiferm

INSTRUCTIONS (example using slurry)


Ensure proper distribution of the slurry over the residual material (grass, straw, plant residues.) Preferably this is done layer by layer (like a lasagna). Distribute evenly layer by layer the Ostrea Seashell grit, Edasil Clay Minerals and active microbes, Actiferm. The heap must have adequate moisture and airtight covering, which, after closing should be left to ferment for 8 - 10 weeks, after which the bokashi is ready for application.

PRACTICAL BOKASHI RULES


- 25% minimal Dry matter and a maximum of 50% DM. (The bacteria cannot establish themselves if the green waste is too dry and woody.)
- Aim for a CN ratio of 20:1 (Best achieved using a combination of green wastes)
- Fermentation is anaerobic process which is why the Bokashi heap is sealed just like a silage clamp.

ADDED INGREDIENTS

- **ACTIFERM** The fermentation is kick-started by the microbes in Actiferm. Actiferm is a liquid mixture of beneficial micro-organisms including lactic-acid bacteria, fungi, yeasts, phototrophic bacteria and actinomycetes. Promotes the conversion of biomass which the organic material has become. Moreover Microferm enhances the natural balance and biodiversity.
- **Ostrea** Crushed Seashell Grit, soil conditioner prevents pH swings and provides a slow release calcium carbonate with a stable pH 6.
- **Edasil** Clay Minerals bind minerals and other important nutrients which are available during the fermentation.



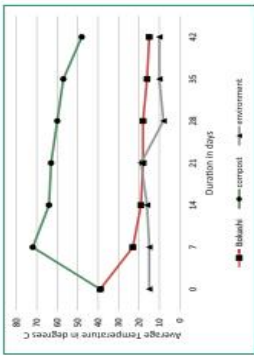
Environmental Microbiology Distributor



Bokashi Bio-fermentation

Making **BOKASHI** is an anaerobic process which typically stays at a low temperature in contrast to composting which can heat up to 70°C. Bokashi composting does not heat up as the fermentation microbes at work do not require a temperature above 40°C. All the energy is retained in the Bokashi.

TRIAL RESULTS



| Duration in days | Bokashi (°C) | compost (°C) | environment (°C) |
|------------------|--------------|--------------|------------------|
| 0 | 20 | 20 | 20 |
| 7 | 60 | 25 | 25 |
| 14 | 70 | 30 | 25 |
| 21 | 65 | 30 | 25 |
| 28 | 60 | 30 | 25 |
| 35 | 55 | 30 | 25 |
| 42 | 50 | 30 | 25 |

MAXIMUM EFFICIENCY


When organic matter is fermented almost all the carbon (C) is retained and found in the endproduct. This is clearly shown in the table of research figures. Bokashi is therefore the ideal way to raise the level of organic matter in your soil. Moreover, there is more energy (MJ) in the material to stimulate the life in the soil, improving soil fertility.

| kg product | bio-gas, grass, clover, arable | traditional compost | Bokashi |
|------------------|--------------------------------|---------------------|---------|
| Dry city matter | 2706,8 | 1384,1 | 3079,1 |
| Carbon | 2136,6 | 2083,2 | 2083,5 |
| Total | 1072,0 | 441,1 | 1068,3 |
| Nitrogen | 48,2 | 45,6 | 52,7 |
| Phosphorus | 6,7 | 1,5 | 7,8 |
| Chlorine | 41,5 | 42,1 | 48,9 |
| pH | 7,3 | 10,1 | 7,9 |
| Acid energy (MJ) | 255,9 | 67,9 | 193,9 |


Analysis: Traditional compost and Bokashi compost after 6 weeks

Carbon footprint

In contrast to traditional composting there is virtually no loss of carbon in the form of CO₂. This makes Bokashi compost the most environmentally friendly method to recycle green waste effectively increasing sustainability to the farm and workplace.




CO₂




Compost heaps release CO₂ into the atmosphere


Example: Small scale Bokashi project




Step 1. Pile of biomass




Step 2. Spread a layer of slurry




Step 3. Apply layer of both Ostrea Seashell Grit & Edasil Clayminerals



Step 4. Sprinkle or spray the Actiferm



Step 5. Cover heap. Be sure to achieve a good airtight sealayer /heap



Step 6. Cover heap. Be sure to achieve a good airtight sealayer /heap

Step 6. Cover heap. Be sure to achieve a good airtight sealayer /heap

Step 6. Cover heap. Be sure to achieve a good airtight sealayer /heap