BS – ritgerð Maí 2021

Um ánamaðka og moltugerð

Elva Brá Bjarkardóttir

Landbúnaðarháskóli Íslands
Agricultural University of Iceland

Um ánamaðka og moltugerð

Elva Brá Bjarkardóttir

10 eininga lokaverkefni sem hluti af

Bachelor of Science-prófi í Náttúru- og umhverfisfræði

Leiðbeinandi: Úlfur Óskarsson

Náttúra & skógur

Landbúnaðarháskóli Íslands

Hvanneyri, maí 2021

Íslenskur titill: Um ánamaðka og moltugerð
Enskur titill: An overview on earthworms and vermicomposting
10 eininga lokaverkefni sem hluti af Bachelor of Science

Höfundarréttur © 2021 Elva Brá Bjarkardóttir
Öll réttindi áskilin

Náttúru- og umhverfisfræði
Náttúra & skógur

Landbúnaðarháskóli Íslands
Hvanneyri
311 Borgarnes
Sími: 433 5000

Skráningarupplýsingar:
Elva Brá Bjarkardóttir, 2021, *Um ánamaðka og moltugerð,* BS ritgerð, Búvísindi, Landbúnaðarháskóli Íslands, 31 bls.

Yfirlýsing

Hér með lýsi ég því yfir að verkefni þetta er byggt á mínum eigin athugunum, er samið af mér og að það hefur hvorki að hluta né í heild verið lagt fram áður til hærri prófgráðu.

Elva Brá Bjarkardóttir

Elva Brá Bjarkardóttir

Ágrip

Eitt að þeim verkefnum sem við stöndum frammi fyrir, til að auka umhverfisvænni lifnaðarhætti og sjálfbærni, er að minnka urðun á sorpi. Þetta kallar á bætta endurnýtingu úrgangsefna og breytt mat á efnum sem breyta má í auðlindir með réttum aðferðum, og er lífrænn úrgangur ein þeirra. Lífrænn úrgangur er enn urðaður með almennu sorpi víðsvegar á Íslandi en hann má nýta til að búa til jarðvegsbæti og áburð. Ýmsar aðferðir eru til sem jarð- eða moltugera lífrænan úrgang en þær hafa það sameiginlegt að þær forða lífrænum úrgangi frá urðun og með því að nýta lokaafurðina er næringarefnunum haldið í hringrás.

Í þessari ritgerð mun ég rýna nánar í eina af þessum aðferðum sem er moltugerð með ánum. Ég fer stuttlega yfir líffræði og lífsferil ánamaðka ásamt hvaða gagn þeir gera í jarðveginum. Ég fer svo yfir helstu ferla í moltugerð með ánum, innihald tilbúnar ánamoltu og nokkrar aðferðir til moltugerðar með ánum. Ég fer stuttlega yfir kosti og galla þessara aðferða og velti svo fyrir mér spurningunni hvort sé framtíð fyrir þær á Íslandi.

Lykilorð: Moltugerð, lífrænn úrgangur, ánamaðkar, molta, haugánar, áburður

Þakkir

Ég vil þakka leiðbeinanda mínum Úlfi Óskarssyni fyrir ábendingar og yfirlestur, ég er þá einkar þakklát sameiginlegum áhuga okkar á ánamöðkum. Ég vil þakka Sigurjóni Vídalín fyrir að fræða mig um fyrirhugaða ánamoltugerð á vegum Geotækni og svara spurningum mínum ásamt Eddu Björk Hafstað Ármannsdóttur og Brynhildi Bergþórsdóttir fyrir að ræða við mig um ánamoltugerð í heimahúsum. Í lokin vil ég þakka fjölskyldu minni fyrir veittan stuðning og aðstoð og þá sérstaklega manninum mínum sem hefur verið mér mikill stuðningur í gegnum þetta ferli.

Efnisyfirlit

1. Inngangur ... 1
2. Ánamaðkar ... 3
2.1 Ánamaðkaættin ... 3
2.1.1 Líkamsbygging ... 5
2.1.2 Lífsferill ... 6
2.1.3 Tegundir ána sem nýttar eru til moltugerðar ... 7
2.2 Hlutverk ána í jarðvegi ... 8
3. Moltugerð ... 9
3.1 Hitakær moltugerð fyrir tilstilli örvera ... 9
3.2 Moltugerð með ánum ... 10
3.2.1 Hvað gerist í meltingarfærum ána í virka fasanum ... 11
3.2.2 Áhrif umhverfisaðstæðna í moltu á ána ... 11
3.2.3 Sýklar ... 12
4. Ánamolta sem afurð ... 13
4.1.1 Ánamoltute ... 13
5. Moltugerð með ánum í framkvæmd ... 15
5.1 Moltugerð með ánum í smáum stíl ... 15
5.2 Moltugerð með ánum í stórum stíl í atvinnuskyni ... 15
Rifgarðar ... 16
Uppstaflaðir kassar ... 16
Fleyg-kerfi ... 17
Gegnumstreymiskerfi ... 17
Aðrar aðferðir ... 18
6. Samnýting moltugerðaraðferða ... 19
7. Moltugerð með ánum á Íslandi ... 20
8. Umræður ... 21
9. Lokaorð ... 22
10. Heimildaskrá ... 23
11. Viðaukar ... 29
Viðauki 1 ... 29
Viðauki 2 ... 31

Töfluskrá

Tafla 1 Listi yfir tegundir ánamaðka á Íslandi móttekinn frá Náttúrustofnun Íslands: þann 24. mars 2021. Upplýsingar um útbreiðslu og búsvæði merktar með * eru fengnar frá Global Biodiversity Information Facility (Global Biodiversity Information Facility, e.d.) í þeim tilvikum sem ekki voru til staðar upplýsingar á vef Náttúrustofnunnar Íslands (Erling Ólafsson, 2017)) 4

Myndaskrá

Mynd 1 Kökurit sem sýnir hversu stórt hlutfall endurnýtts lífbrjótanlegs úrgangs var jarðgerður á Íslandi árið 2019 (gögn frá Umhverfisstofnun, 2021). 2
Mynd 2 Kökurit sem sýnir hlutfall lífbrjótanlegs úrgangs á Íslandi árið 2019 sem var ýmist endurnýttur eða fargað (gögn frá Umhverfisstofnun, 2021). 2
Mynd 3 Teikning af líkamsbyggingu og nokkrum af helstu líffærum ánamaðka. Teiknuð eftir mynd (Biology structural organisation in animals earthworm, e.d.) 5
Mynd 4 Lífsferill haugána teiknuð eftir mynd (Edwards & Arancon, e.d.) 7

1. Inngangur

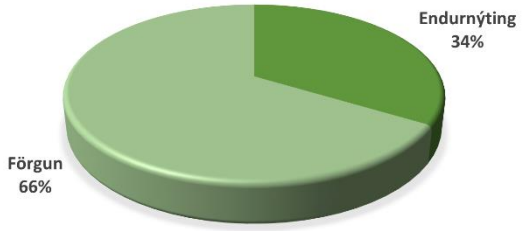
Mannkynið gengur sífellt nær auðlindum náttúrunnar og á sama tíma fjölgar íbúum jarðarinnar. Þetta kallar á aukna matvælaframleiðslu sem eykur enn þörf okkar fyrir þessar þverrandi auðlindir. Eitt af þeim vandamálum sem við stöndum frammi fyrir er jarðvegseyðing og minnkuð frjósemi jarðvegs vegna ræktunar matvæla. Víða er notast við ólífrænan tilbúinn áburð til að bæta upp minkuð jarðvegsgæði þegar næringarefnin hafa verið flutt annað í formi matvæla eða tapast vegna jarðvegsrofs (Matvælastofnun Sameinuðu þjóðanna [FAO], 2015). Annað vandamál sem við vinnum í að reyna að leysa er urðun á úrgangi. Með sjálfbærni að leiðarljósi þarf að nýta aðrar leiðir, fyrst og fremst að minnka magnið á úrgangi, og endurnýta og endurvinna efnið; urðun á ætíð að vera síðasti kosturinn (European Commission, 2018).

Endurvinnsla og nýting lífræns úrgangs getur komið sterk inn sem hluti af lausn ýmissa vandamála í matvælaframleiðslu heimsins og ýmissa ræktunarverkefna. Lífrænn úrgangur er ekki sorp sem þarf að urða heldur auðlind full af næringarefnum og fleiri nytsömum jarðvegsbætandi efnum sem hægt er að halda í hringrás. Lífrænn úrgangur getur þannig nýst til að rækta nýjar plöntur til framleiðslu matvæla. Á Íslandi er heildarframleiðsla á matvælum meiri en sem nemur fæðuþörf landsins en þessi framleiðsla byggist á fiskveiðum og að miklu leyti á innflutningi aðfanga á borð við áburð og fóður (Kristján Þór Júlíusson, 2018). Síðastliðin þrjú ár hefur innflutningur á áburði verið á bilinu 46 -55 tonn á ári (Matvælastofnun, 2020; 2021). Mikið af þeim matvælum sem framleidd eru á landinu ásamt þeim sem innflutt eru mæta örlögum sínum í ruslatunnu og verða að lokum urðuð. Samkvæmt Matvælastofnun Sameinuðu þjóðanna lendir þriðjungur allra matvæla sem framleiddur er í heiminum í ruslinu (FAO, 2013). Til viðbótar því að minnka matarsóun þá þarf að koma þeim næringarefnum sem er sóað í hringrás. Ef lífrænn úrgangur er jarðgerður er hægt að nýta úr honum næringarefnin á tún, í matjurtargarða og í gróðurhús til ræktunar á nýjum matvælum.

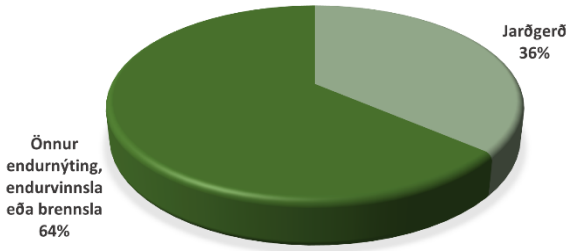
Ef Ísland stefnir að aukinni sjálfbærni þá getur einn liður í því verið að stuðla að lífrænni ræktun matvæla hér heima og halda þeim næringarefnum sem finna má í lífrænum úrgangi í hringrás. Stór þáttur í því er góð meðhöndlun á þeim fjársjóði sem lífrænn úrgangur er. Hérlendis hefur verið mikil vitundarvakning varðandi sorp, flokkun og endurnýtingu. Þau sveitarfélög sem bjóða upp á tunnu fyrir lífrænan úrgang upp við húsvegg fer fjölgandi og í aðgerðaráætlun Íslands í loftslagsmálum felst bann við urðun á lífrænum úrgangi að meginreglu frá og með árinu 2021 og bann við urðun á öllum lífbrjótanlegum úrgangi frá og með árinu 2023.

Með lífbrjótanlegum úrgangi er átt við allan úrgang sem brotnað getur niður fyrir tilstilli örvera, t.d. sláturúrgang, fiskúrgang, ölgerðarhrat, húsdýraúrgang, timbur, lýsi, garðyrkjuúrgang, pappírs- og pappaúrgang, seyru og lífrænan úrgang. Aðgerðin er í samræmi við drög að almennri stefnu ráðherra um meðhöndlun úrgangs og mun umhverfis- og auðlindaráðuneytið vinna frumvarp til breytinga á lögum um meðhöndlun úrgangs þar sem bannið verður lagt til (Umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 2020).

Samkvæmt þessari skilgreiningu á lífbrjótanlegum úrgangi og upplýsingum frá Umhverfisstofnun varðandi meðhöndlun úrgangs, vísað í viðauka (Umhverfisstofnun, 2021), féllu um 194.613 tonn af lífbrjótanlegum úrgangi hér á landi árið 2019 og er það um 17% af heildarmagni úrgangs það árið. Af því voru 65.493 tonn eða 34% endurnýtt, endurunnin eða brennd með orkunýtingu. Þar taldi jarðgerð á lífbrjótanlegum úrgangi 23.864 tonn eða 36% af öllum þeim lífbrjótanlega úrgangi sem var endurunnin á einhvern hátt.



Mynd 2 Kökurit sem sýnir hlutfall lífbrjótanlegs úrgangs á Íslandi árið 2019 sem var ýmist endurnýttur eða fargað (gögn frá Umhverfisstofnun, 2021).



Mynd 1 Kökurit sem sýnir hversu stórt hlutfall endurnýtts lífbrjótanlegs úrgangs var jarðgerður á Íslandi árið 2019 (gögn frá Umhverfisstofnun, 2021).

Til eru ýmsar aðferðir til að jarðgera lífrænan úrgang svo má nefna hefðbundna hitakæra moltugerð, moltugerð með ánum, bokashi og metanframleiðslu. Í þessari ritgerð ætla ég að skoða nánar eina af þessum aðferðum; moltugerð með ánum. Ég mun fara yfir líkamsbyggingu og lífsferla ánamaðka, lýsa þeim hlutverkum sem ánar gegna í jarðvegi og við moltugerð. Ég mun fara stuttlega yfir moltugerð með ánum, mismunandi aðferðir til þessa og reyna að leggja mat á hvort hún sé fýsileg hérlendis.

2. Ánamaðkar

Ekki virðist hafa verið mikið ritað um ánamaðka og mikilvægi þeirra varðandi niðurbrot á lífrænu efni fyrr en á átjándu öld og var einn þeirra fyrstu til að skrásetja þetta Charles Darwin (Hólmfríður Sigurðardóttir, 1994). Árið 1881 gaf hann út ritið The Formation of Vegetable Mould Through the Action of Worms, with Observations on their Habits. Þar lýsir hann ánamöðkum sem þeim lífverum sem gegnt hafa einu af mikilvægustu hlutverkum í sögu jarðarinnar. Síðan þá hafa vinsældir ánamaðka í hlutverki niðurbrotslífvera aukist, bækur skrifaðar og ógrynnin öll að ritrýndum greinum verið birtar. Í dag höfum við almennt viðurkennt og skilið verðmæti vistkerfaþjónustu þá getum við einnig skilið þá dýrmætu þjónustu sem þessir arkitektar og verkfræðingar jarðvegsins sinna. Áður en ég rýni betur í þetta hluverk ánanna ætla ég stuttlega að lýsa ánamöðkum, líffræði þeirra og lífsferli.

2.1 Ánamaðkaættin

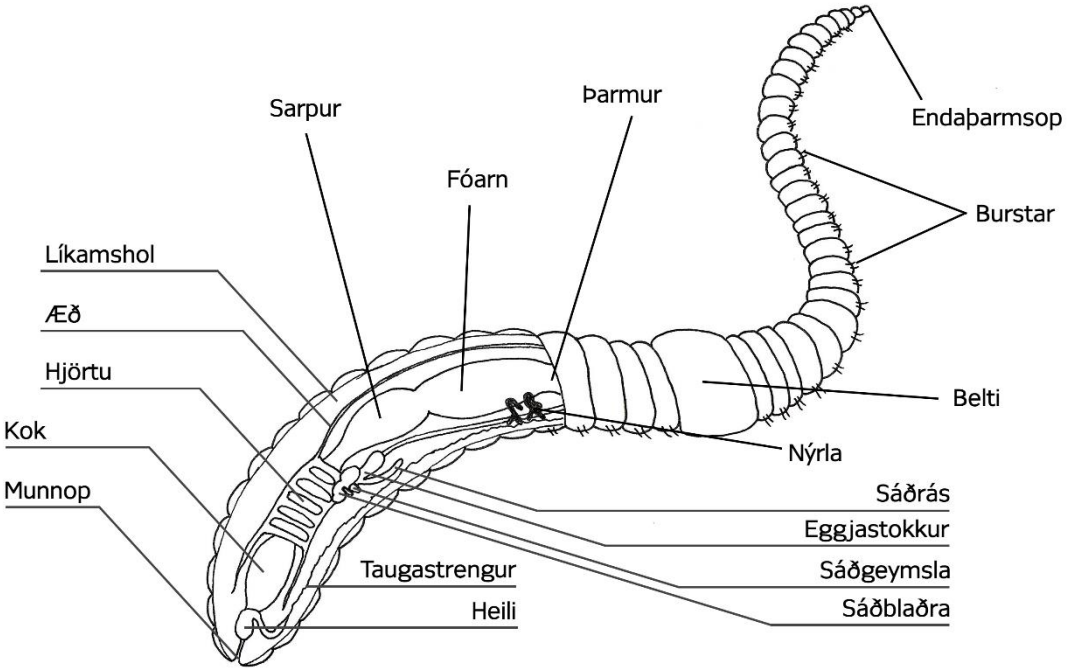
Ánamaðkaættin, *Lumbricidae*, heyrir flokki beltisorma í fylkingu liðorma. Heimkynni þeirra eru aðalega á norðurhveli jarðar og má finna stóran hluta þeirra í Evrópu. Það eru þó aðeins fáeinar tegundir að finna hér á landi. Lítil tegundaauðgi hérlendis má skýra út frá legu landsins í miðju Atlantshafi og hafa því ánamaðkarnir að mestu líkindum flust hingað fyrir tilstilli manna, a.m.k. sumir. Fjöldi tegunda á Íslandi eru ellefu talsins (Erling Ólafsson, 2017; Hólmfríður Sigurðardóttir, 2004). Flest íslensku tegundaheitin eru frá Bjarna. E Guðleifssyni sem starfaði á tilraunastöð Rannsóknastofnunar landbúnaðarins á Möðruvöllum í Hörgárdal og síðan hjá Landbúnaðarháskóla Íslands. Íslensku heiti þeirra vísa í útlit þeirra eða þess umhverfis sem þær þrífast í. Í tegundaheitunum er notast við orðið áni sem er stytting á orðinu ánamaðkur (Hólmfríður Sigurðardóttir, 1994).

*Tafla 1. Listi yfir tegundir ánamaðka á Íslandi móttekinn frá Náttúrustofnun Íslands: þann 24. mars 2021. Upplýsingar um útbreiðslu og búsvæði merktar með * eru fengnar frá Global Biodiversity Information Facility (Global Biodiversity Information Facility, e.d.) í þeim tilvikum sem ekki voru til staðar upplýsingar á vef Náttúrustofnunnar Íslands (Erling Ólafsson, 2017)*

Aporrectodea caliginosa (Savigny) Gráání	Upprunaleg útbreiðsla er á vestanverðu palearktíska svæðinu (Evrópa, Asía) og nearktískta svæðinu austanverðu (N-Ameríka) Þrífst vel í ræktarlöndum. Á Íslandi er hann á láglendi í flestöllum landshlutum.
Aporrectodea longa (Ude.) Langáni	Útbreiddur á tempruðu svæðunum; palearktíska svæðinu og N-Ameriku. Innfluttur til S-Ameríku, Afríku, Asíu, Ástralíu og Nýja-Sjálands. Þrífst í ræktar- og graslendi með lágt hlutfall lífræns kolefnis ≤ 4 % *
Aporrectodea rosea (Savigny) Rauðáni	Upprunalega á palearktíska svæðinu en í dag einnig í N- og S-Ameríku, Afríku, Asíu og Ástralíu. Þrífst í skóg- ræktar- og graslendi með lágt hlutfall lífræns kolefnis ≤ 4 %*
Dendrobaena octaedra (Savigny) Mosaáni	Útbreiddur á palearktíska svæðinu en hefur verið fluttur inn um mestallan heim. Þrífst í skóglendi og engjum. *
Dendrodrilus rubidus (Savigny) Svarðáni	Útbreiddur á palearktíska svæðinu en hefur verið fluttur inn um mestallan heim. Þrífst efst í jarðvegi þar sem mest lífrænt efni er að finna, í skóglendi og í moltu. *
Eisenia fetida (Savigny) Haugáni	Er að finna á tempruðum svæðum víðsvegar um heiminn, helst í tengslum við mannabyggð og ræktun. Hefur fundist á fáeinum stöðum á Íslandi.
Eiseniella tetraedra (Savigny) Votáni	Upprunalega á palearktíska svæðinu en er nú að finna um mestallan heim. Þrífst í votlendi eða í vatni að hluta eins og í ár- og vatnsbökkum.
Lumbricus castaneus (Savigny)	Upprunalega á palearktíska svæðinu en finnst nú víðs vegar um heiminn. Þrífst í rökum og næringarríkum jarðveg eða þar sem mikið er um lífrænt efni.
Lumbricus rubellus Hoffmeister Taðáni	Útbreiddur um allt Norðurhvel og hefur verið fluttur inn til Indlandsskaga, S-Afríku, Nýja-Sjálands og víðar. Þrífst í rökum, næringarríkum jarðvegi í margskonar gróðurlendum. Einn algengasti ánamaðkur á Íslandi.
Lumbricus terrestris Linnaeus Stóráni	Útbreiddur í öllum heimsálfum nema N-Afríku og norðanverðri Austur-Asíu. Þrífst í djúpum og næringarríkum jarðvegi. Á Íslandi finnst hann að öllum líkindum við flest býli.
Octolasion cyaneum (Savigny) Blááni	Upprunalega á palearktíska svæðinu en finnst nú víðs vegar um heiminn. Hefur fundist í ræktar-, gras- og skóglendi.

2.1.1 Líkamsbygging

Líkamsbygging ánamaðka er einföld en þeir hafa langan bol sem er liðskiptur og breytist hann lítið við þroska (Hólmfríður Sigurðardóttir, 1994). Bolurinn er oftast sívalur en að aftan dálítið flatvaxinn, ferhyrndur, átthyrndur eða trapisulaga og á hverjum lið eru fjórir burstar sem auðvelda (Erling Ólafsson, 2017). Bolinn má líta á sem tvö rör þar sem yst er líkamsveggur eða mjúk húð sem umlykur innra rörið sem eru iðrin. Þar á milli er vökvafyllt holrými eða líkamshol. (Hólmfríður Sigurðardóttir, 1994). Ánar hafa ekki sérstök öndunarfæri heldur streymir súrefni og koltvísýringur í gegn um líkamsvegg þeirra (Dominguez & Edwards, 2010a)



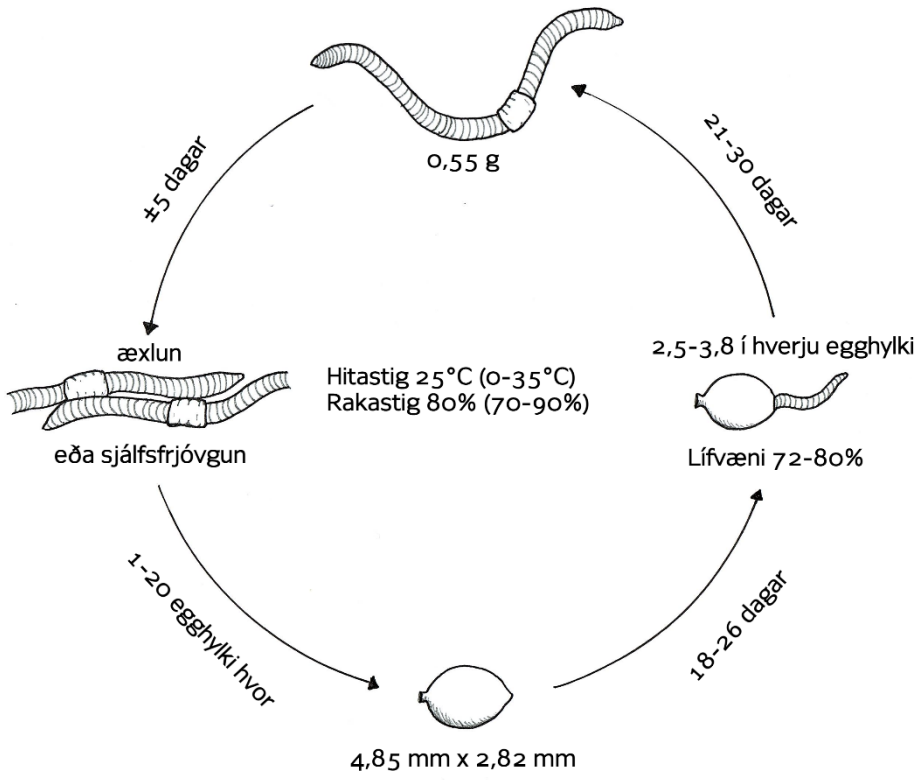
Mynd 3 Teikning af líkamsbyggingu og nokkrum af helstu líffærum ánamaðka. Teiknuð eftir mynd (Biology structural organisation in animals earthworm, e.d.)

Við kynþroska ánamaðksins myndast þykkt belti úr 4-32 liðum og er það staðsett aftan við 17-lið framendans (Erling Ólafsson, 2017). Beltið er utanverður kirtill sem myndar egghylki og slím við æxlun. Ánamaðkar eru með skynfæri í formi sepa fyrir framan munninn í öðrum endanum en á hinum enda ánamaðksins er að finna endaþarmsop. Ánamaðkar eru misstórir og fer stærð þeirra oft eftir umhverfisaðstæðum. Þeir geta haldið áfram að stækka eftir að þeir hafa náð kynþroska en fjöldi liða helst sá sami (Dominguez & Edwards, 2010a). Ánamaðkar hafa sarp þar sem þeir geta geymt fæðu, fæðan fer síðan í fóarnið sem gegnir hlutverki kvarnar líkt

og hjá rjúpu. Fóarnið malar niður fæðuna sem síðan er melt í meltingarfærum ánans. Við mölun eykst yfirborð fæðunnar svo örverur í iðrum ánans hafa greiðara aðgengi til frekara niðurbrots á henni (Aranda-Delgado o.fl., 2010).

2.1.2 Lífsferill

Ánamaðkar eru tvíkynja og fjölga sér með kynæxlun og krossfrjóvgun. Þegar ánamaðkurinn hefur náð kynþroska myndast um hann miðjan belti. Þetta belti er utanverður kirtill sem þjónar þeim tilgangi að mynda egghylki. Æxlunin fer fram á þann máta að tveir ánamaðkar leggjast upp við hvorn annan og snúa neðra borði búksins saman með framendana í sitthvora áttina. Belti þeirra framleiða þá slím sem myndar einskonar hólk um ánamaðkana og þeir skiptast á sæðisfrumum. Slímhólkarnir sem nú innihalda bæði egg og sæði renna af ánamöðkunum og mynda egghylki (Hólmfríður Sigurðardóttir, 1994). Einstaklingarnir framleiða hvor um sig 1-20 frjóvguð egg í hvert skipti. Eggjunum er oftast komið fyrir nærri yfirborðinu en umhverfisaðstæður hafa sitt að segja og er þeim stundum komið fyrir neðar í jarðveginum ef þurrkur er ríkjandi. Egghylkin eru hring- eða sítrónulaga (Dominguez & Edwards, 2010a) og hafa seigt hýði. Litur þeirra og stærð er mismunandi eftir tegundum en oftast eru þau gulgræn eða brún og um 1,5-6 mm í þvermál. Þroskunartíminn er mislangur og ræðst hann af tegund ána og umhverfisaðstæðum (Dominguez & Edwards, 2010a). Hérlendis er hann oftast um 1 ár en hjá tegundum eins og haugána getur hann þó farið niður í nokkrar vikur (Hólmfríður Sigurðardóttir, 1994). Smáir litlausir ánamaðkar klekjast úr egghylkjunum. Þeir eru aðeins örfáir millimetrar að lengd en vaxa hratt. Þeir ná lit eftir nokkra daga og eru oft búnir að ná kynþroska eftir nokkrar vikur (Dominguez & Edwards, 2010a). Ánamaðkar verða um það bil 2-3 ára gamlir við náttúrulegar aðstæður (Hólmfríður Sigurðardóttir, 1994).



Mynd 4 Lífsferill haugána teiknuð eftir mynd (Edwards & Arancon, e.d.)

2.1.3 Tegundir ána sem nýttar eru til moltugerðar

Við moltugerð með ánum er aðalega notast við eftirfarandi fimm tegundir af ánum *Eisenia andrei* (Savigny), *E. fetida* (Bouché), *Dendrobaena veneta* (Savigny) ásamt í minna mæli *Perionyx excavatus* (Perrier) og *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) (Dominguez & Edwards, 2010a). Þessar tegundir heyra til svokallaðra epigeic lífvera sem halda sig í og við yfirborð jarðvegarins. Þessar ánategundir geta innbyrt og brotið niður mikið magn af lífrænum leifum á tiltölulega stuttum tíma (Edwards, 2010b). *Eisenia fetida* sem á íslensku kallast haugáni er sú tegund sem er einna mest notuð við moltugerð og sú eina af fyrrnefndum tegundum sem finna má á Íslandi. *Dendrobaena rubidus* eða svarðáni sem einnig finnst á Íslandi þrífst líka í lífrænum úrgangi en hefur ekki verið mikið notaður við moltugerð (Dominguez & Edwards, 2010a). Haugánar hafa fundist á fáeinum stöðum á Íslandi og er að öllum líkindum frekar sjaldgæfir hér en þá er að öðru leiti að finna um mestallan heim. Haugánar sækja í raka og rotnandi lífrænar leifar (Erling Ólafsson, 2017a) Þeir henta einkar vel til moltugerðar þar sem þeir hafa vítt raka- og hitaþol

ásamt því að hafa stuttan lífsferil. Haugánar geta samt sem áður orðið allt að fimm ára við kjöraðstæður (Dominguez & Edwards, 2010a).

2.2 Hlutverk ána í jarðvegi

Ánamaðkar nærast á lífrænum rotnandi leifum í jarðveginum og smáum jarðvegslífverum sem fylgja leifunum og jarðveginum sem þeir borða. Hér á norðurslóðum er talið að ánamaðkar þurfi að innbyrða allt að fimmfalda eigin þyngd til að mæta daglegri orkuþörf sinni. Fæðusérhæfni er mismunandi meðal tegunda, sumir finna fæðu á yfirborði jarðvegsins en aðrir á mismunandi dýpi. Þeir sækjast einnig í plöntuleifar á mismunandi stigi niðurbrots (Hólmfríður Sigurðardóttir, 1994). Ánamaðkar skiptast í þrjá hópa eftir því hvar þeir halda sig í jarðveginum. *Anageic* ánar grafa djúp lóðrétt göng í jarðveginn. *Endogeic* ánar grafa bæði lóðrétt og lárétt göng en fara ekki á sama dýpi og *anageic* ánar. *Epigeic* ánar halda sig við yfirborð jarðvegarins og er sá hópur ána sem innbyrðir einna mest af lífrænum leifum (Dominguez & Edwards, 2010a). Þessi hópur er þar af leiðandi mest nýttur til moltugerðar. Ánarnir mylja fæðuna í meltingarfærum sínum og þá eykst yfirborð hennar og þegar hún skilar sér í gegn sem slím og saur er efnið aðgengilegra örverum sem er að finna í jarðveginum og halda þær áfram niðurbroti á úrgangi ánans. Við niðurbrotið ummyndast lífræn efnasambönd í ólífræn efnasambönd sem að plöntur geta tekið upp og nýtt sem næringu. Slímið og saurinn sem ánamaðkarnir gefa frá sér hafa jákvæð áhrif á samkornabyggingu jarðvegarins. Ánamaðkarnir ferðast um jarðveginn, borða hann og mynda þar göng. Göng ánanna sem haldast opin með slími sem þeir gefa frá sér ýta undir blöndun jarðvegar, auka loftrými ásamt því að auðvelda vatni, næringarefnum og örverum að ferðast um jarðveginn (Hólmfríður Sigurðardóttir, 1994; Dominguez, 2010). Ánarnir breyta ýmsum eðlis- og efnafræðilegum eiginleikum jarðvegsins, þar á meðal má nefna að þeir minnka hlutfall C:N og auka samkornabyggingu (Dominguez & Edwards, 2010b).

3. Moltugerð

Moltugerð er í stuttu máli niðurbrot á lífrænu efni fyrir tilstilli náttúrulegra ferla sem hefur verið flýtt fyrir með því að skapa kjöraðstæður til niðurbrots. Til eru ólíkar aðferðir til moltugerðar og sú þeirra sem ég kýs að nefna og er kannski sú mest þekkta, er hefðbundin hitakær moltugerð þar sem örverur sjá fyrst og fremst um niðurbrot á lífrænu efni frá upphafi til enda. Hér verður farið stuttlega í gegn um ferli hitakærrar moltugerðar og síðan aðeins dýpra í ferla moltugerðar með ánum.

3.1 Hitakær moltugerð fyrir tilstilli örvera

Örverur brjóta niður lífrænt efni og gefa frá sér koltvísýring og hita. Hitinn getur farið upp í allt að 70°C; við það drepast sem flestar óæskilegar bakteríur. Við þessa hækkun hitastigs fjölga örverurnar sér enn hraðar og niðurbrotið eykst enn frekar (Cornelis Meyles & Albert Sigurðsson, 2007).

Moltugerðinni má skipta í tvo fasa:

Fasi 1 – Hitafasi þar sem niðurbrot á lífrænum efnum er ákaft og er þetta virki fasinn í moltugerð. Sá tími sem virki fasinn er í gangi fer eftir hversu auðniðurbrjótanlegur úrgangurinn er og hversu hagstæðar aðstæðurnar eru örverum, það er að segja hvert magn súrefnis og raka í er í moltunni.

Fasi 2 – Þroskunarfasi þar sem hitastigið lækkar en niðurbrotið heldur áfram í hægari takti. Þroskunarfasinn getur eins og fyrri fasinn tekið mislangan tíma. Lok hans markast oftast af því að efnasambönd, alifatískar sýrur og fenólsambönd sem skaðleg plöntum, eru horfin (Dominguez & Edwards, 2010b). Þetta er hægt að athuga með litskiljun (chromatography) eða spírunarprófi á fræi. Spírunarprófið fer fram á þann máta að fræ er sett í petrídisk með pappír sem dýft hefur verið í moltute, þar sem moltan hefur legið í vatni og verið síuð frá, og eimað vatn til samanburðar. Ef moltan er orðin nægilega þroskuð á heildarspírun að vera sú sama í báðum vökvum. Þetta próf virkar fyrir fjölda plöntutegunda. Aðal gallinn varðandi þessa tilteknu aðferð við moltugerð er að í virka fasanum hverfur hluti köfnunarefnis vegna uppgufunar á ammóníaki (Dominguez & Edwards, 2010b).

3.2 Moltugerð með ánum

Moltugerð með ánum sem á ensku er ýmist kallað *vermiculture* eða *vermicomposting* er miðlungshitakært, loftháð niðurbrot á lífrænum úrgangi fyrir tilstilli ána og örvera. Það hefur í för með sér lífræna oxun þar sem örverurnar sjá um lífefnafræðilegt niðurbrot en ánarnir gegna mikilvægu hlutverki þar sem þeir brjóta niður lífræna efnið í smærri eindir sem gefur örverunum meira yfirborð til að vinna á og flýtir fyrir niðurbrotinu (Dominguez & Edwards, 2010b). Ánarnir fá í raun næringu sína frá örverum sem lifa á lífrænu leifunum í meltingarvegi þeirra, líkt og önnur dýr (Arancon o.fl., 2010) og hafa þeir mikil áhrif á örverusamfélagið í moltunni, samsetningu þess og efnaskiptaferla (Biswarup & Chandra, 2008; Gómez-Brandón o.fl., 2011). Þeir minnka heildarmagn örvera og umbreyta virkni þeirra. Ánarnir geta gert örverum kleift að nýta betur þær orkuauðlindir sem er að finna í moltunni (Dominguez, 2010) Þeir hafa líka áhrif á suma sveppastofna í moltunni og minnka magn þráðorma sem nærast á bakteríum (Aira o.fl., 2008).Ánarnir blanda moltunni og stuðla að loftun svo súrefni hafi greiðara aðgengi niður í hana. Með tímanum umbreyta þeir samsetningu moltunnar og minnka hlutfall C:N. Þeir gegna því hlutverki að flýta fyrir niðurbroti með því að mynda betri aðstæður fyrir örverur og áframhaldandi niðurbrot (Dominguez & Edwards, 2010b). Líta verður því á moltugerð með ánum sem heildarsamvinnu örvera og ána.

Hér er ferlinu einnig skipt í tvo hluta líkt og í hitakærri moltugerð.

Fasi 1: Virkur fasi þar sem ánarnir brjóta niður lífrænt efni, umbreyta eðlisástandi þess og auðvelda örverum aðgengi til niðurbrots. Sá tími sem virki fasinn er í gangi fer eftir magni ána og hversu hröð geta þeirra til að innbyrða lífrænt efni er.

Fasi 2: Þroskunar fasi þar sem ánarnir flytja sig úr stað í átt að lífrænum úrgangi sem enn hefur ekki verið brotinn niður. Á meðan taka örverurnar við og halda áfram niðurbrotinu (Dominguez & Edwards, 2010b). Hægt er að athuga hvort ánamoltan sé orðin nægilega þroskuð með sömu aðferðum og við hitakæra moltugerð, það er að segja með litskiljun eða spírunarprófi.

Í ánamoltuna er hægt að setja allskyns lífrænan úrgang eins og fráveituúrgang, þéttbýlisúrgang, matar og dýraúrgang, garðaúrgang og úrgang frá matvælaiðnaði (Dominguez & Edwards, 2010b) og pappírsiðnaði (Abbasi o.fl., 2018).

3.2.1 Hvað gerist í meltingarfærum ána í virka fasanum

Í virka fasanum er niðurbrot ána á lífrænum úrgangi vegna iðratengdra ferla og er hægt að rekja stóran part þeirra áhrifa sem ánamaðkarnir hafa í moltunni hafa til þessa tilteknu ferla (Aira o.fl., 2008). Lífrænn úrgangur ásamt örverunum sem á honum lifa fara í gegn um meltingarfæri ánans og verða fyrir niðurbroti og/eða breytingum. Sykrum og öðrum efnum er bætt við úrganginn. Virkni, fjölbreytni og stofnstærðir örveruflórunnar breytast (Dominguez, 2010). Í iðrum ánanna er að finna efni og örveruflóru sem hafa jákvæð eða neikvæð áhrif á þær örverur sem að ánarnir innbyrða, og þetta hefur mótandi áhrif á örveruflóruna sem eftir verður í moltunni. Sveppagró verða fyrir áhrifum af ferðinni um iður ánans; sumar tegundir lifa ekki af meltinguna af á meðan aðrar njóta góðs af og spíra vel í saur ánanna. Í iðrunum eða nánari tiltekið í miðgirninu er að finna miðgirnisvökva sem hefur bælandi áhrif á sumar örverur og sveppagró (Byzov o.fl., 2007). Í iðrunum myndast slím, þvagefni og ammóníak sem eru fyrirmyndar næringarefni fyrir örverur. Þar lifa samhjálpar bakteríur innan frumna í iðraveggjum sem aðstoða við niðurbrot á lífræna (Dominguez, 2010). Fenólsambönd eru fylgiumbrotsefni í plöntum á borð við lignín og tannín og eru erfið niðurbrotsefni fyrir flestar örverur (Lin, o.fl., 2016). Hversu þétt ormarnir lifa, það er að segja hversu margir ormar eru á gefnu svæði hefur áhrif á hversu mikil frálífun verður á kolefni og köfnunarefni í jarðveginum. Þessum efnum er umbreytt úr lífrænu formi í ólífrænt form sem plöntur geta tekið upp (Aira o.fl., 2008). Lífræni úrgangurinn skilar sér sem einsleitara efni (Dominguez, 2010) og er aðeins nokkrar klukkustundir í mesta lagi að fara í gegnum iður ánamaðksins, en mikið af lífræna efninu fer þar í gegn oftar en einu sinni (Edwards, 2010b). Eftir að ánarnir skila frá sér úrganginum og halda í átt að ferskari lífrænum úrgangi sem enn á eftir að brjóta niður þá halda aðrir ferlar áfram. Örverurnar halda áfram niðurbroti á saur ánnana í þroskunarfasanum og má kalla þá ferla úrgangstengda ferla (Dominguez, 2010).

3.2.2 Áhrif umhverfisaðstæðna í moltu á ána

Við lágan hita minnkar geta eða þörf ánanna til að innbyrða fæðu. Of hátt eða lágt hitastig hefur einnig áhrif á vöxt og framleiðslu þeirra á egghylkjum. Hátt hitastig hefur þau áhrif á umhverfisaðstæður í moltunni að örverum fjölgar hratt. Örverurnar nýta súrefnið sem er að finna í moltunni og geta því við þessi skilyrði myndast súrefnisfirrtar aðstæður. Ánar þurfa

súrefni til að lifa af og þrífast ekki við þessar aðstæður. Rakastig hefur mikil áhrif á vaxtahraða ána og vaxa þeir best við ákveðið kjörrakastig og þola ekki þurrk. Flestir ánar sækja frekar í aðeins súran jarðveg við sýrustigið pH 5,0 en þola vel að vera á bilinu 5-9 (Dominguez & Edwards, 2010a). Rýmið hefur síðan áhrif á æxlunarhraða ánanna sem minnkar þegar fer að þrengja að (Hait & Tare, 2011). Sum þeirra efna sem er að finna í lífrænum úrgangi eins og ammóníak og ólífræn sölt þola ánarnir illa. Þá er hægt er að meðhöndla lífrænan úrgang sem inniheldur mikið magn af þessum efnum svo hægt sé að moltugera hann með ánum. Til dæmis er hægt að meðhöndla hænsnaskít sem inniheldur mikið af ammóníaki með því að skola óæskilegu efnunum úr skítnum með vatni eða byrja moltugerðina án ána í byrjun, þá er meðal annars hægt að formolta með hitakærri moltugerð (Dominguez & Edwards, 2010a).

3.2.3 Sýklar

Ánamoltugerð er árangursrík aðferð til í að minnka til muna sýkla frá mönnum í fráveituúrgangi og hreinsa hana svo nýta megi molta úr fráveituúrgangi sem áburð. Í fráveitúrgangi má finna allskyns sýkla eins og saurkólígerlar, salmonellu og iðraveirur sem ekki þykja æskilegar í afurð sem nota á sem áburð. Rannsóknir hafa sýnt fram á að við góðar aðstæður er hægt að moltugera fráveituúrgang með ánum án formeðhöndlunar í hitakærri moltugerð (Edwards & Subler, 2010). Það er vitað að ánar hafa mikil áhrif á örveruflóru moltunnar vegna þeirra umbreytinga sem á henni verða í iðrum ánannna. Við réttar aðstæður getur moltugerð með haugánum á aðeins 7 dögum fækkað eftirfarandi sýklum; saurkólígerlum, salmonellu, iðraveirum og sníkjuormaeggjum það mikið að hægt sé að nýta moltuna til áburðar án takmarkanna samkvæmt reglugerðum í Bandaríkjunum (Eastman, o.fl., 2001). Ánarnir virðast hafa bein áhrif á magn kólígerla í moltunni, kólígerlarnir deyja í iðrum ánanna og mögulega er það vegna samkeppni við vikrkar örverur í iðrum ánnanna. Í iðrunum deyja sumar bakteríur en aðrar ekki sem styður frekar það að ánarnir hafi bein áhrif á samsetningu örveruflórunnar í moltu. En nákvæmlega hvaða ferlar, við hvaða aðstæður og hvaða aðferðir til moltugerðar með ánum séu bestar til að minnka þessa tilteknu sýkla hefur ekki verið rannsakað í þaula (Monroy o.fl., 2009).

4. Ánamolta sem afurð

Lokaafurðin, sjálf moltan, líkist einna helst mó, hún er gljúp og hefur mikla vatnsheldni. Hlutfall C:N er lágt og hún inniheldur mikið af næringarefnum á því formi sem plöntur geta nýtt sér. Moltan eykur aðgengi plantna að ólífrænum næringarefnum, þá sérstaklega ammóníum og nítrat, fosfór, kalíum, kalsíum og magnesíum (Dominguez, 2010) sem teljast til meginnæringarefna plantna. Við moltugerð með ánum eykst líka magn snefilefna á borð við járns, kopars, mangans og sinks. Ánamoltan er mun ríkari af þessum snefilefnum samanborið við moltu úr hitakærri moltugerð. Örverur í moltunni mynda ríkulegt magn af plöntuvaxtarhormónunum (Kumar o.fl., 2015) auxin, gibberellin og cytokinin. Auk þess myndast þar plöntuvaxtarstýriefnin moldarsýra (humic acid) og fulvic sýra sem nýtast plöntum og hefur jákvæð áhrif á vöxt þeirra (Dominguez, 2010).

Efna-, eðlis- og líffræðilegir eiginleikar lokaafurðarinnar ráðast af uppruna og eiginleikum hráefnisins sem er verið að brjóta niður og þeim tíma sem niðurbrotið tekur. Breytileiki í lokaafurðinni tekur til magns lífræns kolefnis, köfnunarefnis, vatnsleysanlegs kolefnis, sýrustigs, áhrifa á spírunarhlutfall fræja (Campitelli & Ceppi, 2008) og magn snefilefna (Arancon o.fl., 2008). Ánamoltan er mjög rík af moldarefnum, en moldarefnin stuðla að betri samkornabyggingu, aukinni jónrýmd og vatnsrýmd. Þau geta einnig losað fastbundinn fosfór með því að binda járn- og álsölt (Þorvaldur Örn Árnason, 1976).

4.1.1 Ánamoltute

Úr ánamoltunni má útbúa næringarríkan vökva. Á ensku kallast þessi vökvi *vermicompost tea* eða ánamoltute en þá er ánamoltan látin liggja í vatni áður en hún er síðan síuð frá og eftirstöðvarnar, vökvinn, notaður. Vökvinn er næringarríkur en gegnir aðalega því hlutverki að bæta örveruflóru jarðvegsins eða á plöntum. Vökvinn hefur þann eiginleika fram yfir moltuna að hægt er að nota hann beint á plöntur en ekki einungis í jarðveginum. Vökvinn getur bætt örveruflóruna sem lifir á plöntunni, sjálfum blöðum hennar og stöngli, og í besta falli haldið skaðvöldum í skefjum. Ræktendur sem notast hafa við ánamoltute hafa tekið eftir bættum vexti plantna, jákvæðum áhrifum á rótarmassa og auknu þoli gegn sjúkdómum og skaðvöldum (Salter & Edwards, 2010) Við moltugerð með ánum getur vökvi lekið úr moltunni en þessi vökvi er

ekki ánamoltute heldur sá vökvi sem rennur úr lífræna úrganginum þegar niðurbrot á honum byrjar, og hefur þessi vökvi ekki verið moltugerður. Þar af leiðandi inniheldur hann ekki næringarríka eiginleika ánamoltunnar og getur innihaldið sýkla sem ánar og örverur hafa ekki náð að eyða (Sherman & Appelhof, 2010).

5. Moltugerð með ánum í framkvæmd

Moltugerð með ánum er hægt að framkvæma í bæði mjög smáum og stórum stíl, allt frá því að meðhöndla lífrænan úrgang sem fellur til á heimilinu (Sherman & Appelhof, 2010) yfir í að nýtast í atvinnu- og verðmætaskapandi rekstri. Það þekkist víða erlendis, þar á meðal í Bandaríkjunum, Kanada og á Indlandi að fyrirtæki moltugeri í stórum stíl með ánum og selji ánamoltu sem áburð (Edwards C. A., 2010a).

5.1 Moltugerð með ánum í smáum stíl

Að nýta sér moltugerð með ánum í smáum stíl svo sem á heimilum, í skólum eða á vinnustöðum er góð leið til að brjóta niður lífrænan úrgang sem fellur til og með því minnka heimilissorp og það sem annars fer til urðunnar. Það þarf ekki að vera flókið að byrja moltugerð með ánum en það sem til þarf er

- ílát fyrir ormana sem einnig ver þá fyrir ljósi
- ánamaðka sem henta til moltugerðar, til dæmis haugána
- stoðefni, sem kallast einnig brúnt efni, til dæmis dagblöð rifin niður í strimla
- lífrænan úrgang sem kallast grænt efni
- réttar umhverfisaðstæður með tilliti til hita, raka og sýrustigs

Ótal útfærslur eru til moltugerðar í smáum stíl allt frá einföldum plastkössum með loft- og frárennslisgötum til smárra gegnumstreymiskerfa. Þær eiga það þó allar sameiginlegt að stuðla að endurnýtingu lífræns úrgangs og minnka magn heimilisúrgangs (Sherman & Appelhof, 2010).

5.2 Moltugerð með ánum í stórum stíl í atvinnuskyni

Hægt er að útfæra moltugerð með ánum í stórum stíl og eru til margskonar aðferðir til þess, bæði einfaldar en líka hátæknilegar. Ein slík ánamoltugerð var sett upp í La Voulte í Frakklandi til að moltugera heimilisúrgang frá heilum bæ. Á hverjum degi eru yfir 18,4 tonn af

heimilisúrgangi meðhöndlaður þar (Jensen o.fl., 2010) en í kerfinu sem fékk nafnið Naturba er tekið við allskyns heimilisúrgangi. Þá er plast og ál fyrst flokkað frá og úrgangurinn meðhöndlaður í hitakærri moltugerð til eyða veirum sem þar kunna að finnast áður en hann fer í lokaáfangann, ánamoltuna (Edwards, 2010c). Til eru lágtæknilegar aðferðir sem hægt er að nýta á miðlungs til stærri skala. Þær eru tiltölulega ódýrar í uppsetningu en á móti krefjast þær mikils vinnuframlags. Hátæknilegar aðferðir eru aftur á móti dýrari en krefjast því minna vinnuframlags. Ég ætla hér að lýsa stuttlega nokkrum lágtæknilegum og hátæknilegum aðferðum en þeim er vel lýst í bókinni *Vermiculture technology: earthworms organic wastes and environmental management* (Edwards o.fl. 2010).

Rifgarðar

Hægt er að moltugera úrgang í rifgörðum utandyra. Úrganginum er hlaðið í rifgarða eða sett í lág beð í allt að 45 cm hæð. Yfir úrganginn er svo oft dregið gegndræpt efni. Þetta er ódýrt kerfi í uppsetningu en krefst mikillar vinnu og stórt landsvæði þarf undir kerfið ef það á útbúa moltu í miklu magni (Dominguez & Edwards, 2010b). Vinnan felst aðalega í því að snúa görðunum svo ekki myndist súrefnisfirrtar aðstæður ofan í moltunni. Það getur tekið langan tíma að fá lokaafurðina eða um 6-18 mánuði; fer það eftir hitastigi eða fyrst og fremst hversu kaldir veturnir eru. Því lengri tíma sem ferlið tekur þá eykur það hættu á tapi á næringarefnum vegna uppgufunar en einnig er hætta á því að næringarefni leki út í umhverfið í kring. Það getur því verið gott að stunda moltugerð með rifgörðum á steyptu undirlagi þar sem hægt er að safna sigvökva. Steypan auðveldar einnig söfnun á moltunni án þess að jarðvegur sé tekinn með. Það er þó ekki komist hjá því með þessari aðferð að ánamaðkarnir eru dreifðir um moltuna þegar hún er tilbúin og því þarf að skilja þá frá. Til þess eru til sérstakar aðferðir, til dæmis með tromlum sem skilja ánanna frá moltunni (Edwards, 2010b).

Uppstaflaðir kassar

Hægt er að stunda moltugerð í kössum af mismunandi stærð sem er staflað upp og því getur þetta kerfi tekið lítið pláss. Mikil vinna getur þó falist i að taka kassana niður til að gefa ánamöðkunum og erfiðara er að fylgjast með ástandi moltunnar þegar aðgengi í kassanna er

erfitt. Það þarf mikið vinnuframlag, og skilja þarf ánanna frá moltunni þegar hún er orðin nægilega þroskuð (Edwards, 2010b).

Fleyg-kerfi

Fleygkerfið felur í sér að úrgangur er settur í haug með 45 gráðu halla upp við færanlegan vegg. Ánunum er gefið jafn og þétt, ætíð í 45 gráðu halla og halda þeir sig í efstu 15 sentimetrunum þar sem er iðulega gefið. Eftir dágóðan tíma, eða einn til tvo mánuði, má taka færanlega vegginn og setja hann aftur niður nær þeim stað sem ánunum er gefið. Á bakvið vegginn má nú moka í burtu ánalausri moltunni. Þessi aðferð felur því í sér minna vinnuframlag en þær tvær fyrrnefndu ásamt því að ekki þurfi að skilja ánanna frá moltunni. Þó þarf að gefa ánunum nýjan lífrænan úrgang mjög reglulega og aðeins þunnt lag af honum í einu (Edwards, 2010b).

Gegnumstreymiskerfi

Gegnumstreymiskerfið gengur út á að moltugera í ílátum sem standa upphækkuð frá jörðu. Ánamöðkunum er gefið mjög reglulega og aðeins þunnt lag af lífrænum úrgang í hvert skipti. Að neðan hafa ílátin vírnet eða álíka þar sem moltan er skafin frá þegar hún er tilbúin. Moltan sem er skafin neðan úr er laus við ánamaðka þar sem þeir halda sig í efstu 10-15 sentimetrum moltunnar þar sem þeim er gefið og þar sem moltunni er haldið rakri. Hægt er að vinna þetta með handafli; felst þá vinnan aðalega í að dreifa úrganginum á 1-2 daga fresti og síðan skafa og safna moltunni undan netinu eða hægt er að hafa þetta kerfi nánast sjálfvirkt þar sem sjálfvirkur dreifari sér um að gefa ánamöðkunum og síðan er sjálfvirkur skrapari á ílátinu neðanverðu sem skefur tilbúna moltuna svo hún falli niður. Til að nefna nokkur dæmi þá hefur þetta sjálfvirka kerfi hannað af Edwards og félögum árið 1998 verið notað í Bretlandi, Bandaríkjunum, Hong Kong, Ástralíu (Edwards, 2010c) og síðan 2012 hafa gegnumstreymiskerfi verið framleidd og víða notuð í Tyrklandi. Áhugavert er að nefna að árið 2017 var að finna 15 ánamoltuverksmiðjur með gegnumstreymiskerfii í Tyrklandi og framleiddu þær 20.000 tonn af ánamoltu. Landið stefnir á að vera í fararbroddi þeirra landa sem framleiða ánamoltu árið 2023 (Bellitürk, 2018).

Aðrar aðferðir

Hér eru aðeins nefndar nokkrar af þeim aðferðum til moltugerðar með ánum sem til eru. Auk þessara aðferða má finna ýmsar nýjar útfærslur og ný kerfi. Töluvert er um nýjar rannsóknir á því hvernig megi betrumbæta og flýta ferlinu svo uppskera megi lokaafurðina fyrr. Ein þeirra er FLUVTS (Flippable Units Vermireactor Train System) þar sem moltugerðin fer fram í frekar grunnum ílátum sem liggja í röð á bandi. Þegar moltan er tilbúin er hvolft úr kassanum og ánarnir skildir frá og á þetta kerfi að vera fljótlegra en önnur og lokaafurðin tilbúin eftir aðeins 30 daga. Upphaflega er kerfið hannað til að moltugera pappírsúrgang án formeðhöndlunar (Abbasi o.fl., 2018). „Earthworm Reactor of Frame Composite Structure“ er annað kerfi sem hannað hefur verið til að flýta ferlinu og taka út skrefið að formeðhöndla úrgang. Þar eru lóðrétt aflangir kassar með römmum eða skúffum þar sem moltugerðin fer fram. Rör á milli kassanna safna saman umframvökva og önnur rör gegna því hlutverki að auka súrefnisflæði um kassanna. Skúffurnar eru síðan teknar út og moltan skafin úr þeim (Hu o.fl., 2021).

6. Samnýting moltugerðaraðferða

Álitið er að samnýting á hitakærri moltugerð og moltugerð með ánum skili góðri lokaafurð. Hitakær moltugerð þar sem hitastigið getur náð 70°C hita hreinsar og eyðir eitruðum efnasamböndum. Eftir það taka ánarnir við, þeir minnka kornastærð, auka yfirborð og auka aðgengi að næringarefnum á styttri tíma en ef aðeins væri notast við hitakæra moltugerð (Dominguez & Edwards, 2010b). Molta sem fyrst hefur gengið í gegnum hitakærra moltugerð og síðan verkuð með ánum, hefur það fram yfir moltu sem einungis hefur fengið hitakæra meðferð að þar er aukið magn af heildar-köfnunarefni, lægra C:N hlutfall, aukið magn af heildarfosfór og aukið magn af kalí (Hait & Tare, 2011). Það virðist vera almennt þekkt í heimi ánamoltugerðar að formeðhöndlun með hitakærri moltugerð hreinsi lífræna úrganginn af þeim sýklum og veirum sem kunna að skaða ánuna og skiptir þá máli hvaðan úrgangurinn kemur hvort þess sé þörf. Það er fráveituúrgangur og úrgangur frá dýrum sem oft er formeðhöndlaður.

Rannsókn á moltugerðri blöndu af kúamykju og pappír, sýndi að á meðan ánamolta fækkaði saurgerlinum *E.coli* 0157:H7, sem er að finna í mykju hjá mjólkurkúm, þá eyddi hitakær moltugerð ásamt moltugerð með ánum þessum sýklum algerlega (Mupondi o.fl., 2010).

Bokashi er moltuaðferð þar sem lífrænt efni gerjast við súrefnisfirrtar aðstæður. Lífrænn úrgangur er settur í loftþétt ílát ásamt örverum sem koma gerjuninni af stað. Á ílátinu neðanverðu þarf að vera hægt að tappa af þeim vökva sem myndast við gerjunina og á þessi vökvi að geta nýst sem næring fyrir plöntur. Að gerjuninni lokinni, eftir um það bil 5-6 vikur, þarf niðurbrot að eiga sér stað og er til dæmis hægt að grafa úrganginn í jarðveg þar sem örverurnar þar brjóta úrganginn niður. Niðurbrotsferlið gerist hratt við rétt hitastig (Umhverfisstofnun, á.á). Bokashi hefur það fram yfir hitakæra moltugerð að þar verður minna losun á gróðurhúsalofttegundum og minna tap á næringarefnum (Pérez-Gordínez o.fl., 2017).

Rannsóknir á formeðhöndlun á lífrænum úrgangi með bokashi fyrir moltugerð með ánum eru ekki auðfundnar. Árið 2017 voru bornar saman tvær aðferðir til formeðhöndlunar, hitakær moltugerð og bokashi moltugerð. Þær voru nýttar til moltugerðar á úrgangi dýra i dýragarði sem eftir formeðhöndlun var moltugerð með ánum. Báðar aðferðirnar skiluðu góðum niðurstöðum, þótt æxlunarmöguleikar haugánanna sem fengu formeðhöndlaðan úrgang með bokashi hafi verið eitthvað lakari en hjá hinum (Pérez-Gordínez o.fl., 2017). Auknar rannsóknir þarf til að skilja betur samnýtingarmöguleika bokashi og ánamoltugerðar.

7. Moltugerð með ánum á Íslandi

Moltugerð með ánum er nýtt á fáeinum heimilum hérlendis. Ein talskona moltugerðar með ánum í heimahúsum á Íslandi er Edda Björk Hafstað Ármannsdóttir. Edda leggur til að útbúa megi kassa til heimilisnota með því að taka plastkassa og bora göt á botninn, á hliðar og í lokið til loftunnar. Gott er að hafa aukalok undir kassann þar sem umframvökvi getur lekið út um götin í botninum. Afleggjara af ánamoltu megi fá hjá öðrum eigendum ánamoltu og heldur Edda úti facebook-hóp þar sem fólk getur auglýst eftir afleggjurum og leitast eftir ráðum varðandi moltugerðina. Í ánamoltukassann má setja mest allan lífrænan úrgang sem fellur til á heimilinu og einnig má nýta pappír sem fellur til á borð við eggjabakka og dagblöð. Hún nefnir einnig að ekki sé meiri lykt af ánakassa en pottaplöntum (Ritstjórn DV, 2016). Edda fékk sína orma hjá einum frumkvöðla ánamoltugerðar í heimahúsum hérlendis, henni Brynhildi Bergþórsdóttir (Edda Björk Hafstað Ármannsdóttir, munnleg heimild 11. mars 2021) en hún byrjaði sína moltugerð með ánum sem hún fékk á Sólheimum. Ánarnir voru þar við moltugerð í stórum fiskikörum úti í skúr (Brynhildur Bergþórsdóttir, munnleg heimild 21. mars 2021).

Eins og nefnt var hér fyrr, þá þekkist það erlendis að fyrirtæki búi til og selji ánamoltu. Hér á Íslandi þekkist það ekki enn en það stefnir í breytingar á því sviði. Fyrirtækið Geotækni hefur fengið leyfi til að flytja inn miljón haugána til Íslands frá Austurríki. Ánarnir verða nýttir til moltugerðar til að framleiða lífrænt vottaðan áburð (Sigurjón Vídalín, munnleg heimild 24. mars 2021). Stefnt er á að nota heimilisúrgang frá sorphirðufyrirtækjum í bland við hrossa og hænsnaskít. Úrgangurinn verður formoltaður í þrjár til fjórar vikur og síðan verða ánamaðkarnir fóðraðir með honum. Notuð verður gegnumstreymisaðferðin þar sem ánamöðkunum er gefið á tveggja til þriggja daga fresti og síðan er lokaafurðin skafin neðan úr botni ílátanna þar sem þeir viðhafast. Botninn er að hluta opinn en þar eru vírmottur með möskvastærðina 5 x 5 cm. Lokaafurðin verður seld sem áburður í almennri sölu.

Sigurjón Vídalín framkvæmdastjóri Geotækni telur moltugerð með ánum hafa ótvíræða kosti fram yfir hefðbundna moltugerð þar sem hún býr til áburð en ekki jarðvegsbæti eins og hefðbundin molta er. Fyrir utan að innihalda hátt hlutfall næringarefna, þá er há öruveruvirkni í áburðinum sem meðal annars vinnur gegn plöntusjúkdómum og hvetur vöxt plantna. Aðspurður segir hann ekki ákvörðun hafa verið tekna varðandi sölu á ormum til annara aðila sem vilja stunda moltugerð. Geotækni stefnir að því að byrja ánamoltugerð sína haustið 2021.

8. Umræður

Á Íslandi féllu til um 194.613 tonn af lífbrjótanlegum úrgangi árið 2019, vísað í viðauka (Umhverfisstofnun, 2021), að fráveituúrgangi undanteknum. Það gerir 533 tonn af úrgangi á dag. Þetta er úrgangur sem er hægt að endurvinna eða nýta en í dag förgum við um 64% af þessum úrgangi með urðun eða brennslu án orkunýtingar. Ef við gefum okkur að hver áni geti umbreytt eigin þyngd af úrgangi á sólarhring (Riggle & Holmes, 1994) og eða hver áni vegi 0.55 g (Dominguez & Edwards, 2010a) þá þyrfti 533 tonn af ánum eða hátt í einn milljarð ána til að brjóta niður allan þennan úrgang með ánamoltugerð.

Moltugerð með ánum hentar mögulega ekki fyrir allan úrgang og því ekki nein töfralausn til að meðhöndla allan okkar úrgang með þeim aðferðum. Moltugerð með ánum er samt sem áður auðvelt að framkvæma í bæði smáum og stórum stíl, á annað hvort ódýran eða dýran, lágtæknilegan eða hátæknilegan hátt, utandyra sem innan. Því er auðvelt að aðlaga hana margs konar aðstæðum. Lokaafurðin er næringarrík og hefur vaxtaraukandi áhrif á plöntur. Hún nýtist sem sagt sem áburður. Ferlið er að mestu lyktarlaust eða lyktarlítið þegar ekki er mikið hróflað við moltunni. En öðrum aðferðum getur fylgt ólykt eins við hitakæra moltugerð. Helstu ókostir eru að enn er ekki vitað nóg um þá ferla í ánamoltugerð sem eyða óæskilegum sýklum og því þarf að fylgjast vel með magni sýkla þegar moltugera á úrgang eins og fráveituúrgang eða úrgang frá dýrum. Það þarf einnig að koma í veg fyrir súrefnisfirrtar aðstæður í moltunni því þá þrífast ánarnir ekki. Sömuleiðis þarf að gæta þess að hitastig og rakastig sé á réttu bili.

Það er óneitanlega stór kostur hversu fjölbreyttar aðferðir eru til moltugerðar með ánum og því er hægt að hugsa sér að ánamoltugerð eigi framtíð hér á landi. Hún er nú þegar stunduð í smáum stíl á heimahúsum hérlendis og mikill áhugi virðist vera meðal iðkenda á að deila bæði ánum og ráðum. Þeir ánar sem eru í notkun við í heimamoltugerð hérlendis eru að öllum líkindum haugánar en það væri þó áhugavert að tegundagreina ána í nokkrum slíkum moltukössum.

Þar sem lágt hitastig hægir á virkni ánanna má telja að moltugerð með ánum útivið sé ekki hentug hérlendis, allavega ekki í atvinnu- og verðmætaskapandi rekstri, en þá má notast við þær aðferðir sem henta innandyra. Moltugerð innandyra hefur þann kost að auðveldara er að stýra hita- og rakastigi. Það þekkist víða erlendis að fyrirtæki framleiði og selji ánamoltu sem áburð og því ætti ekkert að vera því til fyrirstöðu að samskonar rekstur geti þrifist hérlendis. Með mögulega breyttum áherslum í íslenskum landbúnaði með aukinni framleiðslu á matvælum og

í sumum tilfellum lífrænni ræktun, verður aukin þörf á áburði. Ánamoltan getur komið sterk inn á þann markað sem lífrænn áburður sem einnig stuðlar að sjálfbærri þróun, því næringarefnum er haldið í hringrás. Það verður áhugavert að fylgjast með fyrirtækinu Geotækni þegar það byrjar sína moltugerð með ánum og hvort að aðrir fylgi á eftir.

Það væri áhugavert að sjá rannsóknir á moltugerð með ánum hérlendis og virðist vera nokkur áhugi á því. Rannsóknir varðandi samnýtingarmöguleika bokashi moltugerðar og moltugerðar með ánum er einnig mjög áhugavert rannsóknarefni sem ekki hefur verið mikið sinnt. Af eigin reynslu af gerð ánamoltu, þá hafa ormarnir ítrekað frekar viljað þann úrgang sem hefur verið um tíma í bokashi tunnu með þar til gerðum gerlum en ferskan lífrænan úrgang. Áhugavert er líka að sýrustig í bokashi-moltu er lágt og nokkru lægra en ánarnir þrífast best í, en mögulega er þar meiri fjöldi örvera sem ánarnir sækjast í og efnið auðmeltara þar sem niðurbrotið er komið lengra af stað en í lífræna úrganginum sem ekki hefur hlotið neina formeðhöndlun.

9. Lokaorð

Ánamaðkar, örverur og þeir ferlar sem snúa að niðurbroti lífræns úrgangs er rannsóknarefni sem hefur hlotið aukna athygli síðustu ár ef marka má út frá magni ritrýnda greina um efnið. Það er þó ekki til staðar fullur skilningur á öllum þeim ferlum sem eiga sér stað og því er aukinna rannsókna þörf. Moltugerð með ánum er skilvirkt og gott verkfæri í þeim verkfærakassa sem þarf til að tækla tvö stór vandamál sem við stöndum frammi fyrir: að minnka urðun á sorpi og halda næringarefnum í hringrás. Hversu auðvelt er að aðlaga þessa aðferð að ýmsum aðstæðum, gerir hana aðgengilega og því er erfitt að sjá eitthvað því til fyrirstöðu að moltugerð með ánum verði áfram stunduð hér í heimahúsum ásamt því að geta orðið að atvinnugrein. Moltugerð með ánum getur orðið ein árangursrík aðferð í flóru moltugerðaraðferða á Íslandi.

10. Heimildaskrá

Abbasi, S., Hussain, N., Tauseef, S., & Abbasi, T. (2018). A novel FLippable Units Vermireactor Train System ─ FLUVTS ─ for rapidly vermicomposting paper waste to an organic fertilizer. *Journal of Cleaner Production, 198*, 917-930. Sótt frá https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.040

Aira, M., Sampedro, L., Monroy, F., & Domínguez , J. (2008). Detritivorous earthworms directly modify the structure, thus altering the functioning of a microdecomposer food web. *Soil Biology and Biochemistry, 40*(10), 2511-2516. Sótt frá https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.06.010

Arancon, N., Edwards, C. A., Webster, K. A., & Buckerfield, J. C. (2010). The Potential of Vermicomposts as Plant Growth Media for Greenhouse Crop Production. Í C. A. Edwards, N. Q. Arancon, & R. L. Sherman (Ritstj.), *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management.* (bls. 103-128). Taylor & Francis Group.

Arancon, N., Edwards, C., Babenko, A., Cannon, J., Galvis, P., & Metzger, J. (2008). Influences of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. *Applied Soil Ecology, 39*(1), 91-99. Sótt frá https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.11.010

Aranda-Delgado, E., Barois, I., Santos Bailón, M. d., & Hernández-Castellanos, B. (2010). Vermicomposting Research and Activities in Mexico. Í C. A. Edwards, N. Q. Arancon, & R. L. Sherman (Ritstj.), *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management* (bls. 507-531). Taylor & Francis Group.

Bellitürk, K. (2018). Vermicomposting in Turkey: Challenges and opportunities in future. *Eurasian Journal of Forest Science, 6*(4), 32-41. doi:10.31195/ejejfs.476504

Biology structural organisation in animals earthworm. (e.d.). AskiiTians. [Stafræn mynd]. Sótt 25. apríl 2021 frá https://www.askiitians.com/biology/structural-organisation-in-animals/earthworm.html

Biswarup, S., & Chandra, T. (2008). Do earthworms affect dynamics of functional response and genetic structureof microbial community in a lab-scale composting system? *Bioresource Technology, 2009*(100), 804-811. Sótt frá https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0960852408006627?token=55685CD04EB371CB51FF3F601206F905F2417D0622447AD8F5E20852338C80C75FEDE120ED08F9E4BE03E654E0D457FF

Byzov, B. A., Khomyakov, N. V., Kharin, S. A., & Kurakov, A. V. (2007). Fate of soil bacteria and fungi in the gut of earthworms. *European Journal ofSoil Biology, 43*(1), S149-S156. Sótt frá https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.08.012

Campitelli, P., & Ceppi, S. (2008). Chemical, physical and biological compost and vermicompostcharacterization: A chemometric study. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 90*(2008), 64-71. doi:10.1016/j.chemolab.2007.08.001

Cornelis Meyles, & Albert Sigurðsson. (2007). *Heimajarðgerð og leiðbeiningar um notkun jarðgerðartunna.* Sótt frá Umhverfisstofnun: https://www.ust.is/library/Skrar/Einstaklingar/urgangur/Heimajardgerd/UST_Jardgerdarefni.pdf

Dominguez, J. (2010). The Microbiology of Vermicomposting. Í C. A. Edwards, N. Q. Arancon, & R. L. Sherman (Ritstj.), *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management.* (bls. 53-66). Taylor & Francis Group.

Dominguez, J., & Edwards, C. A. (2010a). Biology and Ecology of Earthworm Species Used for Vermicomposting. Í C. A. Edwards, N. Q. Arancon, & R. L. Sherman (Ritstj.), *vermiculture technology : earthworms, organic wastes, and environmental management* (bls. 27-40). Taylor & Francis Group.

Dominguez, J., & Edwards, C. A. (2010b). Relationships between Composting and Vermicomposting. Í C. A. Edwards, N. Q. Arancon, & R. L. Sherman (Ritstj.), *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management.* (bls. 11-25). Taylor & Francis Group.

Eastman, B. R., Kane, P. N., Edwards, C. A., Trytek, L., Gunadi, B., Stermer, A. L., & Mobley, J. R. (2001). The Effectiveness of Vermiculture in Human Pathogen Reduction for USEPA Biosolids Stabilization. *Compust Science & Utilization, 9*(1), 38-49. doi:10.1080/1065657X.2001.10702015

Edwards, C. A. (2010a). Introduction, History and Potential of Vermicomposting Technology. Í C. A. Edwards, N. Q. Arancon, & R. L. Sherman (Ritstj.), *Vermicultur Technology : Eartworms, Organic Wastes and Environmental Management* (bls. 1-10). Taylor & Francis group.

Edwards, C. A. (2010b). Low-Technology Vermicomposting Systems. Í C. A. Edwards, N. Q. Arancon, & R. L. Sherman (Ritstj.), *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management* (bls. 79-90). Taylor & Francis Group.

Edwards, C. A. (2010c). Medium- and High-Technology Vermicomposting Systems. Í C. A. Edwards, N. Q. Arancon, & R. L. Sherman (Ritstj.), *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management.* (bls. 91-102). Taylor & Francis Group.

Edwards, C. A., & Arancon, N. Q. (e.d.). Life cycle of Eisenia Fetida. [stafræn mynd]. Sótt 25.. apríl 2021 frá https://urbanwormcompany.com/wp-content/uploads/2014/09/THE-SCIENCE-OF-VERMICULTURE-Edwards-Arancon.pdf

Edwards, C. A., & Subler, S. (2010). Human Pathogen Reduction during Vermicomposting. Í C. A. Edwards, N. Q. Arancon, & R. L. Sherman (Ritstj.), *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management* (bls. 249-261). Taylor & Francis Group.

Edwards, C. A., Arancon, N. Q., & Sherman, R. L. (2010). *Vermiculture technology: earthworms organic wastes and environmental management.* Boca Raton: Taylor & Francis Group.

Erling Ólafsson. (2017). *Ánamaðkaætt (Lumbricidae)*. Sótt frá Náttúrufræðistofnun Íslands: https://www.ni.is/biota/animalia/annelida/oligochaeta/opisthopora/anamadkaaett-lumbricidae

Erling Ólafsson. (2017a). *Haugáni (Eisenia Fetida)*. Sótt frá Náttúrufræðistofnun Íslands: https://www.ni.is/biota/animalia/annelida/oligochaeta/opisthopora/lumbricidae/haugani-eisenia-fetida

European Commission. (2018). *Report From the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Commitee and the Commitee of the Regionson the implementation of EU waste legislation, including the early warning*

report for Member States at risk of ... Sótt 20. mars 2021 frá https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1537873850842&uri=COM:2018:656:FIN

Global Biodiversity Information Facility. (e.d.). *Free and open access to biodiversity data*. Sótt 23. apríl 2021 frá https://www.gbif.org/

Gómez-Brandón, M., Aira, M., Lores, M., & Domínguez, J. (2011). Epigeic Earthworms Exert a Bottleneck Effect onMicrobial Communities through Gut AssociatedProcesses. *PLoS One, 6*(9), e24786. doi:10.1371/journal.pone.0024786

Hait, S., & Tare, V. (2011). Vermistabilization of primary sewage sludge. *Bioresource Technology, 102*(3), 2812-2820. Sótt frá https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.031

Hólmfríður Sigurðardóttir. (1994). Ánamaðkar. *Náttúrufræðingurinn, 64*(2), 139-148. Sótt frá https://timarit.is/page/4273935#page/n57/mode/2up

Hólmfríður Sigurðardóttir. (2004). Ánamaðkar og niðurbrot sinu í lúpínubreiðum. *Náttúrufræðingurinn, 72*(1-2), 13-19. Sótt frá https://timarit.is/page/4257744#page/n12/mode/2up

Hu, X., Zhang, T., Tian, G., Zhang, L., & Bian, B. (2021). Pilot-scale vermicomposting of sewage sludge mixed with mature vermicompost using earthworm reactor of frame composite structure. *Science of The Total Environment, 767*. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144217

Jensen, J., Bentley, C., & Edwards, C. A. (2010). The Commercial Potential and Economics of Vermicomposting. Í C. A. Edwards, N. Q. Arancon, & R. L. Sherman (Ritstj.), *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management* (bls. 303-322). Taylor & Francis Group.

Kristján Þór Júlíusson. (2018). *Svar sjávarútvegs- og landbúnaðarráðherra við fyrirspurn frá Silju Dögg Gunnarsdótur um fæðuþörf íslendinga og íslensk matvæli*. Sótt frá Alþingi: https://www.althingi.is/altext/149/s/0356.html

Kumar, M., Rajiv, P., Rajeshwari, S., & Venckatesh, R. (2015). Spectroscopic analysis of vermicompost for determination of nutritional quality. *Spectrochimica Acta Part A: A Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 135*(25 january 2015), 252-255. Sótt frá https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.07.011

Lin, D., Xiao, M., Zhao, J., Li, Z., Xing, B., Li, X., . . . Chen, S. (2016). An Overview of Plant Phenolic Compounds and Their Importance in Human Nutrition and Management of Type 2 Diabetes. *Molecules, 21*(10), 1374. doi:10.3390/molecules21101374

Matvælastofnun. (2020). *Áburðareftirlit 2019.* Sótt 19. apríl 2021 frá https://www.mast.is/static/files/skyrslur/aburdarskyrsla-2019-3.pdf

Matvælastofnun. (2021). *Áburðareftirlit 2020.* Sótt 19. apríl 2021 frá https://www.mast.is/static/files/skyrslur/aburdarskyrsla-2020.pdf

Matvælastofnun Sameinuðu þjóðanna. (2013). *Food wastage footprint. Impacts on natural resources. Summary report.* Sótt frá http://www.fao.org/3/i3347e/i3347e.pdf

Matvælastofnun Sameinuðu þjóðanna. (2015). *Status of the world's soil resources.* Sótt 20. mars 2021 frá http://www.fao.org/3/i5228e/i5228e.pdf

Monroy, F., Aira, M., & Domínguez, J. (2009). Reduction of total coliform numbers during vermicomposting is caused by short-term direct effects of earthworms on microorganisms and depends on the dose of application of pig slurry. *Science of The Total Environment, 407*(20), 5411-5416. Sótt frá https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.06.048

Mupondi, L., Mnkeni, P., & Muchaonyerwa, P. (2010). Effectiveness of combined thermophilic composting and vermicomposting on biodegradation and sanitization of mixtures of dairy manure and waste paper. *African Journal of Biotechnology, 9*(30), 4754-4763. Sótt frá https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/83002

Pérez-Gordínez, E. A., Lagunes-Zarate, J., Corona-Hernándes, J., & Barajas-Aceves, M. (2017). Growth and reproductive potential of Eisenia foetida (Sav) on various zoo animal dungs after two methods of pre-composting followed by vermicomposting. *Waste Management, 64*, 67-78. Sótt frá https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.036

Riggle, D., & Holmes, H. (1994). New horizonz for commercial vermiculture. *BioCycle, 35*(10), 58-62. Sótt frá https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31025037/38111.pdf?1364140522=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DNew_Horizons_for_Commercial_Vermiculture.pdf&Expires=1619110424&Signature=UAQkI~GVClvI6kCaLEuDV04iM-0AKmSuFppGWfarUV4WH8CSZuHBSOyjog62ex

Ritstjórn DV. (2016). Edda Björk og ánamaðkarnir. DV. Sótt 11. mars 2021 frá https://www.dv.is/lifsstill/2016/05/04/edda-bjork-og-anamadkarnir/

Salter, C. E., & Edwards, C. A. (2010). The Production of Vermicompost Aqeous Solutions or Teas. Í C. E. Salter, C. A. Edwards, C. A. Edwards, N. Q. Arancon, & R. L. Sherman (Ritstj.), *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management.* (bls. 153-164). Taylor & Francis Group.

Sherman, R. L., & Appelhof, M. (2010). Small-Scale School and Domestic Vermicomposting Systems. Í C. A. Edwards, N. L. Arancon, & R. L. Sherman (Ritstj.), *Vermiculture Technology : Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management* (bls. 67-78). Taylor & Francis Group.

Þorvaldur Örn Árnason. (1976). Skarnarannsóknir. *Fjölrit RALA, 1*. Sótt frá https://timarit.is/page/7301572#page/n0/mode/2up

Umhverfis- og auðlindaráðuneytið. (2020). *Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum. Aðgerðir íslenskra stjórnvalda til að stuðla að samdrætti í losun gróðurhúsalofttegunda til 2030.* Stjórnarráðið. Sótt 10. mars 2021 frá Aðgerðaáætlun í loftslagsmálum. Aðgerðir íslenskra stjórnvalda til að stuðla að samdrætti í losun gróðurhúsalofttegunda til 2030: https://www.stjornarradid.is/library/02-Rit--skyrslur-og-skrar/Adgerdaaetlun%20i%20loftslagsmalum%20onnur%20utgafa.pdf

Umhverfisstofnun. (2021). *Meðhöndlun úrgangs árið 2019.* Sótt 20. apríl 2021 frá https://ust.is/library/sida/graent/%c3%9argangur%20-%20Heildart%c3%b6lur%202019%20-%20FINAL.pdf

Umhverfisstofnun. (á.á). *Bokashi jarðgerð*. Sótt 29. mars 2021 frá Umhverfisstofnun: https://ust.is/graent-samfelag/urgangsmal/heimajardgerd/bokashi-jardgerd/

11. Viðaukar

Viðauki 1

Í meðfylgjandi viðauka er tafla yfir meðhöndlun úrgangs árið 2019 fengin frá Umhverfisstofnun (Umhverfisstofnun, 2021) Grænir reitir eru þeir úrgangsflokkar sem ég tók saman sem lífbrjótanlegan úrgang. Ég notaði þessar tölur til að reikna út magn lífbrjótanlegs úrgangs, hversu hátt hlutfalls hann var endurnýttur og hversu hátt hlutfall af því endurnýtta var jarðgert.

Umhverfisstofnun	https://ust.is/graent-samfelag/urgangsmal/umhverfisvisar-og-tolfraedi/heildarmagn-og-medhondlun/											
				Endurvinnsla		Endurnýting			Förgun		Magn í tonnum	
Liður nr.	Kóði	Lýsing	Ekki spilliefni/Spilliefni	Jarðgerð	Önnur endurvinnsla^{1}	Brennsla með orkunýtingu^{2}	Notað sem fyllingarefni	Önnur endurnýting	Urðun	Brennsla án orkunýtingar^{3}	Samtals endurnýting	Samtals förgun
1	01.1	Notaðir leysar	Spilliefni		49					88	49	88
2	01.2	Sýrur, basar og úrgangur í saltlausn	Ekki spilliefni								0	0
3	01.2	Sýrur, basar og úrgangur í saltlausn	Spilliefni						30	0	0	30
4	01.3	Notaðar olíur	Spilliefni					2266		801	2266	801
5	01.4, 02, 03.1	Efnaúrgangur	Ekki spilliefni		18256			78740	3241		96996	3241
6	01.4, 02, 03.1	Efnaúrgangur	Spilliefni					2648	7624	322	2648	7946
7	03.2	Eðja frá iðnaðarfrárennsli	Ekki spilliefni						58		0	58
8	03.2	Eðja frá iðnaðarfrárennsli	Spilliefni								0	0
9	03.3	Eðja og fljótandi úrgangur frá meðhöndlun úrgangs	Ekki spilliefni						34		0	34
10	03.3	Eðja og fljótandi úrgangur frá meðhöndlun úrgangs	Spilliefni								0	0
11	05	Úrgangur frá heilbrigðisstofnunum	Ekki spilliefni							64	0	64
12	05	Úrgangur frá heilbrigðisstofnunum	Spilliefni							334	0	334
13	06.1	Málmúrgangur, járnríkur (ekki umbúðir)	Ekki spilliefni		78089	5				770	78094	770
14	06.2	Málmúrgangur, járnlaus (ekki umbúðir)	Ekki spilliefni		1737						1737	0
15	06.31	Málmumbúðir	Ekki spilliefni		1978						1978	0
16	06.32	Málmúrgangur, blandaður járnríkur og járnlaus (ekki umbúðir)	Ekki spilliefni		1294						1294	0
17	07.11	Glerumbúðir	Ekki spilliefni				7464		70		7464	70
18	07.12	Glerúrgangur (ekki umbúðir)	Ekki spilliefni				92		101	609	92	710
19	07.12	Glerúrgangur (ekki umbúðir)	Spilliefni								0	0
20	07.21	Pappírs- og pappaumbúðir	Ekki spilliefni		18720						18720	0
21	07.23	Pappírs- og pappaúrgangur (ekki umbúðir)	Ekki spilliefni	245	17113					247	17358	247
22	07.3	Hjólbarðar og annað gúmmí	Ekki spilliefni		3693			1735	193	217	5428	410
23	07.41	Plastumbúðir	Ekki spilliefni		4406	1794			13	84	6200	97
24	07.42	Plastúrgangur (ekki umbúðir)	Ekki spilliefni		2431				422		2431	422
25	07.51	Viðarumbúðir	Ekki spilliefni	356				1314		500	1670	500
26	07.53	Viðarúrgangur (ekki umbúðir)	Ekki spilliefni	976			61	15655	8163	3555	16692	11717
27	07.53	Viðarúrgangur (ekki umbúðir)	Spilliefni								0	0
28	07.53	Viðarúrgangur frá byggingar- og niðurrifsstarfsemi	Ekki spilliefni	1597			265	1996	7017		3858	7017
29	07.53	Viðarúrgangur frá byggingar- og niðurrifsstarfsemi	Spilliefni						7		0	7
30	07.6	Textílúrgangur	Ekki spilliefni					1			1	0
31	07.7	Úrgangur sem inniheldur PCB	Spilliefni							0	0	0
32	08.1	Úr sér gengin ökutæki	Ekki spilliefni		16175						16175	0
33	08.1	Úr sér gengin ökutæki	Spilliefni								0	0
34	08.2	Raf- og rafeindatækjaúrgangur	Ekki spilliefni		3968					343	3968	343
35	08.2	Raf- og rafeindatækjaúrgangur	Spilliefni		983			38			1021	0
36	08.41	Rafhlöður og rafgeymar	Ekki spilliefni		63					87	63	87
37	08.41	Rafhlöður og rafgeymar	Spilliefni		1268			344			1612	0
38	09.11	Dýrahræ	Ekki spilliefni						1604	50	0	1654
39	09.11	Sláturúrgangur	Ekki spilliefni	2954					12095	814	2954	12909
40	09.11	Fiskúrgangur	Ekki spilliefni						2737	0	0	2738
41	09.12	Matarúrgangur frá eldhúsum og verslunum	Ekki spilliefni	8470	491				877		8961	877
42	09.21	Garðaúrgangur, garðyrkju- og skógræktarúrgangur	Ekki spilliefni	7842	187		915	274	22		9218	22
43	09.31	Húsdýraskítur	Ekki spilliefni	1220				61	51		1281	51

				Endurvinnsla		Endurnýting			Förgun		Magn í tonnum	
Liður nr.	Kóði	Lýsing	Ekki spilliefni/Spilliefni	Jarðgerð	Önnur endurvinnsla^{1}	Brennsla með orkunýtingu^{2}	Notað sem fyllingarefni	Önnur endurnýting	Urðun	Brennsla án orkunýtingar^{3}	Samtals endurnýting	Samtals förgun
43	09.31	Húsdýraskítur	Ekki spilliefni	1220				61	51		1281	51
44	10.11	Blandaður heimilisúrgangur (sorphirða, gámasvæði, rúmfrekur úrg.)	Ekki spilliefni		480	3123			123087	6676	3603	129763
45	10.12	Úrgangur frá götuhreinsun	Ekki spilliefni				23	4148			4171	0
46	10.22	Veiðarfæri	Ekki spilliefni		758				1000		758	1000
47	10.22	Blandaður, óskilgreindur úrgangur (t.d. frá rekstri)	Ekki spilliefni						20186	5380	0	25567
48	10.22	Blandaður, óskilgreindur úrgangur (t.d. frá rekstri)	Spilliefni								0	0
49	10.3	Leifar frá meðhöndlun úrgangs	Ekki spilliefni				674	7295	3322		7969	3322
50	10.3	Leifar frá meðhöndlun úrgangs	Spilliefni							6	0	6
51	11.4	Ristarúrgangur og seyra	Ekki spilliefni	204				775	2207	1	979	2208
52	12.11	Óvirkur úrgangur (t.d. steypa, flísar, gifs, gler)	Ekki spilliefni				20515		1942	216	20515	2158
53	12.11	Óvirkur úrgangur (t.d. steypa, flísar, gifs, gler)	Spilliefni								0	0
54	12.12	Malbik	Ekki spilliefni				40714		46		40714	46
55	12.12	Malbik (inniheldur kolatjöru)	Spilliefni								0	0
56	12.13	Blandaður byggingar- og niðurrifsúrgangur	Ekki spilliefni					599	4233		599	4233
57	12.13	Blandaður byggingar- og niðurrifsúrgangur	Spilliefni								0	0
58	12.2	Úrgangur sem inniheldur asbest	Spilliefni						74		0	74
59	12.3	Jarðefni (t.d. steinar, möl og sandur)	Ekki spilliefni				382138		7084	25	382138	7109
60	12.3	Jarðefni (t.d. steinar, möl og sandur)	Spilliefni								0	0
61	12.4	Úrgangur frá varmaferlum	Ekki spilliefni		6275				1304		6275	1304
62	12.4	Úrgangur frá varmaferlum	Spilliefni		13583				2545		13583	2545
63	12.5	Tilbúin steinefni og eldföst efni	Ekki spilliefni						908		0	908
64	12.5	Tilbúin steinefni og eldföst efni	Spilliefni		80				4721		80	4721
65	12.6	Jarðvegur (hreinn)	Ekki spilliefni				78080	3036	2		81116	2
66	12.6	Jarðvegur (mengaður)	Spilliefni						49		0	49
67	12.7	Dýpkunarefni	Ekki spilliefni								0	0
68	12.7	Dýpkunarefni	Spilliefni								0	0
69	12.8	Leifar frá brennslu og hitasundrun úrgangs	Ekki spilliefni					1686	1534		1686	1534
70	12.8	Leifar frá brennslu og hitasundrun úrgangs	Spilliefni								0	0
71	13	Úrgangur sem gerður hefur verið stöðugur eða breytt í fast efni	Ekki spilliefni								0	0
72	13	Úrgangur sem gerður hefur verið stöðugur eða breytt í fast efni	Spilliefni								0	0
			Samtals	23.865	192.077	4.922	530.941	122.612	218.605	21.187	874.416	239.792
										1.114.208		1.114.208

^{1} undirbúningur fyrir endurnotkun fellur hér undir

^{2} orkunýtni að lágmarki 60%

^{3} orkunýtni undir 60%

Viðauki 2

Úrdráttur úr fyrri töflu. Hér hef ég tekið saman þá flokka er ég tel vera lífbrjótanlegan úrgang. Hér má sjá samtölur þess magns sem hefur verið jarðgert, endurnýtt á einhvern hátt eða fargað. Ég notaði tölur frá Sorpu til að reikna út magn lífræns úrgang í heimilissorpi. Sorpa telur að um 70 % af því sé lífrænt og hef ég endurreiknað magn heimilissorps samkvæmt því í þessari töflu.

			Magn í tonnum								
			Endurvinnsla		Endurnýting			Förgun			
Liður nr.	Kóði	Lýsing	Jarðgerð	Önnur endurvinnsla^{1}	Brennsla með orkunýtingu ^{2}	Notað sem fyllingarefni	Önnur endurnýting	Urðun	Brennsla án orkunýtingar ^{3}	Samtals endurnýting	Samtals förgun
21	7.23	Pappírs- og pappaúrgangur (ekki umbúðir)	245	17113					247	17358	247
25	7.51	Viðarumbúðir	356				1314		500	1670	500
26	7.53	Viðarúrgangur (ekki umbúðir)	976			61	15655	8163	3555	16692	11717
28	7.53	Viðarúrgangur frá byggingar- og niðurrifsstarfsemi	1597			265	1996	7017		3858	7017
39	9.11	Sláturúrgangur	2954					12095	814	2954	12909
40	9.11	Fiskúrgangur						2737	0	0	2738
41	9.12	Matarúrgangur frá eldhúsum og verslunum	8470	491				877		8961	877
42	9.21	Garðaúrgangur, garðyrkju- og skógræktarúrgangur	7842	187		915	274	22		9218	22
43	9.31	Húsdýraskítur	1220				61	51		1281	51
44	10.11	Blandaður heimilisúrgangur (sorphirða, gámasvæði, rúmfrekur úrg.)		336	2186			86160.9	4673	2522	90834
51	11.4	Ristarúrgangur og seyra	204				775	2207	1	979	2208
		Samtals tonn:	**23864**						Samtals tonn:	**65493**	**129120**
											194613

Gulir reitir eru endurreiknaður samkvæmt upplýsingum frá Sorpu að um 70% af blönduðum heimilisúrgangi sé lífrænn úrgangur