



www.emu.ee

Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

EMKF Kalapüügi innovatsioonitoetuse meetme

projekti nr 811017780003

Lõpparuanne

Väheväärtusliku peenkala väärindamine

Vastutav täitja: Maidu Silm

Aruande koostasid: Maidu Silm, Mait Kriipsalu, Anu Kisand, Uko Bleive, Marge Lanno, Merrit Shanskiy, Kristi Kerner, Birgit Maasing,

Projektis osalesid lisaks: Riina Soidla, Kristine Tiirats, Helena Anderson, Rihard Reissaar, Peeter Lääniste, Toomas Tõrra, Ave Kikas, Paul Teesalu, Fabio Ercoli, Kaja Orupõld



Tartu 2020

Lühikokkuvõte

Käesolevas projektis uuriti võimalusi väärindada Võrtsjärve kaaspüügil tekkivat peenkala, tootes sellest alternatiivseid toidusaadusi; fraktsioon, mis selleks otstarbeks ei sobinud, väärindati edasi kompostiks, vedelväetiseks (hüdrolüsaadiks) ning biogaasiks. Kuna töötlemise käigus tekib omakorda palju kalajäätke on ka neid vaja keskkonnasõbralikult käidelda. Seega käesoleva projekti raames läbi proovitud tegevused (komposti või biogaasi tootmine kalast) täiendavad üksteist ja loovad kompaktselt terviku.

Kala alternatiivse kasutamise võimalusi piirab kala saadavus ja kogus, asukoht ja veoloogika, kala säilitamistingimused, aga ka kala suurus.

Toiduks (kalakaste, erinevad kulinaariatooted) oli võimalik kasutada kala tingimustel, et see on värske. Samuti saab peenkalast valmistada loomatoitu.

Kalast on võimalik toota biogaasi. Esialgsed tulemused näitavad, et võrreldes tavapärase Eestis kasutatava biogaasitoormega (läga, sõnnik, reoveesete), tekkis biogaasi/biometaan kuni poole rohkem. Tehnoloogia rakendamist piirab logistika ja vajadus kala biogaasijaamani toimetada väga kiiresti tema riknevuse pärast. Vaja läheb hügieniseerimisseadmeid, sest kala tuleb käidelda kui 3 kategooria loomseid kõrvalsaadusi. See, kas mitme substraadi kooskäiritamine annab majanduslikku efekti või kas kala kääritamine kuidagi kääritamist ka piirama hakkab, tuleb uurida edaspidi.

Kala on võimalik kompostida. Kompostimisviisidest oli hästi rakendatav aunkompostimine, mis on tehniliselt hõlpsasti korraldatav, kuid mida ei saa teha igal ajal ja igas kohas. Tegu on jäätmekäitlustehnoloogiaga ning seda saab teha vaid selleks ette nähtud käitluspaigas. Haisu tõrjeks tuleb kasutada õhubiofiltrit ning erinevates fraktsioonides materjale, mida kompostimisel kokku segada.

Väikesed reaktorid end ei õigustanud, kuid suuremaid täiskomplekseid seadmeid tasuks proovida. Seda eelkõige silmas pidades rakendada kompostimist hästikontrollitavates ning ilmastiku eest kaitstud oludes otse kala maale toomise paikades. Seda kontseptsiooni on vaja edaspidi kontrollida.

Kalast valmistatud kompost on väärtuslik, sobib taimekasvuks ning võrreldes paljude teiste kompostidega, sisaldab taimedele hästi kättesaadavat fosforit.

Kaluril puuduv oskusteave ja seadusandlus piirab täna Võrtsjärve puhul peenkala kaldale toomist ja maaletoomise paigas käitlemist. Püük on kaluri põhitöö, mistõttu peenkala käitlemine maismaal ei tohi olla liialt keeruline. Tsentraliseeritud lahendustest võiks kõne alla tulla järgnev:

- Kala kokku kogumine ja biogaasijaama viimine. Oskusteave ja tehnoloogia seda kääritada on juba olemas. Fosfor jääb käärimisjäätke ja see omakorda viiakse tagasi põllule. Biogaasijaamasid ei ole paraku kuigi palju, nad on püügipaigast sageli kaugel ning igapähe neist ei pruugi olla seadmeid kala hügieniseerimiseks;

- Kala kokku kogumine ja üle andmine kompostimisfirmale. Oskusteave ja tehnoloogia kala kompostida on eeldatavasti olemas, kuid lisada tuleb eelkäitlusseadmed (purusti) ja õhubiofilter. Ehkki kompostimispaiku ei ole Eestis veel palju, näitavad arengud jäätmeäitluses vajadust välja ehitada kohalikke kompostimisplatse. Fosfor jääb komposti ja kasutatakse põllumajanduses;
- Kala kompostimine maale toomise paigas kinnises täisautomaatses kompostireaktoris. Fosfor jääb komposti ning jääb kohapeal kasutamiseks.

Sisukord

Sissejuhatus	7
1. Peenkala mõiste, püügistatistika ja majanduslikud aspektid	10
1. Peenkala väärindamine inim- ja loomatoiduks	14
1.1. Peenkala eeltöötus	14
1.2. Peenkala väärindamine inimtoiduks	17
1.2.1. Kalakastme ajalugu ja valmistamise tehnoloogia	27
1.2.1.1. Vietnami kalakaste	28
1.2.1.2. Kalakastme kasutamine	30
1.2.1.3. Võrtsjärve peenkalast kalakastme valmistamine Ore restorani näitel	30
1.3. Peenkala väärindamine loomatoiduks	30
1.4. Väljatöötatud perspektiivikate kalandustoodete turu-uuring	33
1.4.1. Tarbijate arvamused ja sensoorsed hinnangud väljatöötatud kalandustoodetele	34
1.4.2. Tasuvusanalüüs	37
1.4.3. Turul olevad konkureerivad tooted	40
1.4.4. Turu-uuringu kokkuvõte	41
1.5. Kokkuvõte ja järeldused	41
2. Kompost	42
2.1. Kompostimine laboritingimustes	42
2.1.1. Metoodika	42
2.1.2. Katseseire	45
2.1.3. Katsetulemused	45
2.1.3.1. Temperatuurid	45
2.1.3.2. Gaasid	46
2.2. Katse välitingimustes	46
2.2.1. Vajalikud seadmed ja materjalid	47
2.2.2. Aunade valmistamine ja seire	48
2.2.3. Kompostide koostis ja aunade valmistamine	49
2.2.4. Biofilter	53
2.2.5. Kompostimise protsess	54

2.2.6.	Kompostide keemiline koostis ja lõhnahinnang	55
2.2.6.1.	Fosfori esinemisvormid kalakompostis	59
2.2.7.	Tulemused ja soovitused	60
2.2.7.1.	Tehnoloogilised soovitused	60
2.3.	Kala kompostimine väikereaktoris	62
2.3.1.	Metoodika	62
2.3.2.	Tulemused	65
2.3.3.	Kokkuvõte	68
2.4.	Kompostimistehnoloogiate võrdlus	70
2.5.	Kalakomposti turu-uuring komposti kohta	74
2.5.1.	Turunõudluse hinnang	74
2.5.1.1.	Valimi kujunemine	74
2.5.1.2.	Turunõudluse analüüs	75
3.	Peenkala biogaasistamise võimalusi	78
3.1.	Metoodika	78
3.2.	Tulemused	78
3.3.	Kokkuvõte	80
4.	Hüdrolüsaat	81
4.1.	Eelkatsed	81
4.2.	Pilootkatse fosforhappe abil	86
4.3.	Laborikatsed piimhappebakterite abil	88
4.4.	Hüdrolüsaadi omadused ja kvaliteet	92
4.5.	Kokkuvõte	94
5.	Taimkatsed	96
5.1.	Trummelreaktoris valmistatud kalakompostide väetuskatsed	96
5.1.1.	Musta sõstra pistokste juurdumine nõukatsetes	96
5.1.1.1.	Nõukatse tulemused ja kokkuvõte	98
5.1.2.	Kalakompostide väetuskatse avamaal musta sõstra pistokstega	98
5.1.2.1.	Avamaakatse kokkuvõte	100
5.2.	Aunas valmistatud kalakompostide väetuskatse	100
5.2.1.	Aunkomposti väetuskatsete kokkuvõte	105
5.3.	Kalahüdrolüsaadi kasutamine ja lehekaudne väetamine	106

5.3.1.	Taustaülevaade	106
5.3.2.	Lehtede kaudu väetamise katsealad	110
5.3.3.	Katses kasutatud lehevätised ja kompostid	111
5.3.3.1.	Komposti laotamine ja lehekaudne väetamise läbiviimine	113
5.3.4.	Lehekaudse väetamise ja komposti väetamiskatsete tulemused	114
5.3.4.1.	Tulemuste kokkuvõte	116
5.4.	Taimkatsed suvinisuga	117
5.4.1.	Nisu kvaliteediomadused	117
5.4.2.	Põldkatses kasutatud kompostid ja hüdroliisaat	118
5.4.3.	Väetuskatsete tulemused	119
5.4.4.	Põldkatsete kokkuvõte	123
	Summary	125
	Projekti tulemuste kajastamine	127
	Kasutatud kirjandus	128

Sissejuhatus

Väheväärtuslik peenkala – kas sellel võiks olla väärtust veekogu tervise, fosfori ringmajanduse ning biomajanduse seisukohast?

Veekogude ökoloogilise seisundi kujunemisel on oluline roll fosforil. Fosfori lisandumine veekogudesse on üks komponent, mis põhjustab nende eutrofeerumist ehk toitelisuse kasvu ja selle tagajärjel tekkivaid muutuseid veekogudes (näiteks vee-elustiku liigilise mitmekesisuse vähenemist, osade liikide ülekaalukat vohamist ning teiste väljatõrjumist, veekogude või nende osade jäämist hapnikuvaegusesse jne.).

Fosforil on eutrofeerumises eriline roll. Kui teisi algbiomassi loomiseks suuremas hulgas vajaminevaid elemente saavad algtootjad põhimõtteliselt hankida ise (süsinikku, teatud mikroorganismide kaudu ka lämmastikku suudavad nad vajadusel alati ammutada ka õhus olevatest varudest, mis osaliselt veekeskkonda jõuavad), siis fosfor peab veekogusse jõudma lahustunud või tahkete ühenditena valgalalt. Seni, kuni fosforit veekogusse ei lisandu, pole võimalik kasutada ka muude toite-elementide varusid, sest uues loodavas biomassis peab alati olema õiges osakaalus ka fosforit. Seetõttu saab fosfor veekogudes olla taimekasvu limiteerivaks toite-elementiks.

Fosforit lisandub veekogusse looduslikult näiteks valgalal leiduvate fosforit sisaldavate mineraalide erosiooni või porsumise teel või valgalal loodud orgaanilise aine ning selle lagunemisjääkide jõudmisel veekokku. Hoopis rohkem lisandub veekogudesse aga inimõjul erinevatest punkt- ja hajureostusallikatest (heitvesi, põllumajanduslik fosfori ärakanne jm.). Kuna fosfor veekogu ökosüsteemist õhku ei lendu - tavakeskkonnas fosfor gaasilises vormis ei esine erinevalt näiteks lämmastikust ja süsinikust – jääb fosfor pikaks ajaks veekogu primaarproduktiooni toitma. Osaliselt võib fosfor veekogu aineringest väljuda põhjasetetes mattumise kaudu, osaliselt võib ka väljavooluga veekogust välja kanduda. Ülejäänud fosfor aga jääb ringlema järve veemassiivis: vegetatsiooniperioodil seotakse vees lahustunud fosfor uude biomassi vetikate, suurtaimede, bakterite poolt; nende arvelt kasvab ka nendest toitujate ehk toiduahela järgmiste lülide biomass. Elusolendite suremisel suur osa sellest biomassist laguneb ning varasemalt orgaanilise ainega seotud fosfor pääseb taas anorgaanilisel kujul veekogusse. Osa sellest käivatab jälle uue biomassi taasloomise. Seega isegi neil juhtudel, kui suudetakse väljastpoolt järve lisanduvad fosforihulgad viia minimaalseks, ei pruugi järve eutrofeerumise ilmingud veel isegi aastakümnete jooksul taanduda, kuna neid toetab järves olemasoleva fosfori ringlus.

Veekogu ökosüsteemi seisukohalt on oluline see, kui suur on järves ringleva fosfori hulk, ehk milline on järve lisanduva ja järve aineringest eemaldatud fosfori tasakaal. Seega aitab veekogu tervise paranemisele või säilimisele kaasa nii välise fosforikoormuse vähendamine kui ka kõik see, mis juba veekogus olevat fosforit sealt eemaldab.

Kalapüük annab väärtusliku tooraine inimese toidulauale. Sagedasti moodustab kaubakala püügist aga vaid osa. Kaaspüügiga saadav väheväärtuslik peenkala ei leia enamasti rakendust. Kaluril ei

ole majanduslikult kasulik seda kaldale tuua, kuna sellega kaasnevad vaid kulud, mingit tulu selle eest aga ei lisandu. Seetõttu heidetakse väheväärtuslik peenkala enamasti veekogusse tagasi. Tagasiheite vähese ellujäämise tulemusel satub veekogusse seal lagunema hakkav biomass, mis halvendab veekvaliteeti. Samuti luhtub võimalus kaaspüügina juba kokku kogutud peenkala järvest eemaldada, vähendamaks seeläbi järve fosforivaru ning kasutamaks peenkala koosseisus olevat fosforit põllumajanduses taimekasvu toetava (väetis)ainena. Viimane aspekt toetab fosfori ringmajanduse põhimõtet.

Fosfori ringmajanduse idee ellukutsumiseks on olnud kaks peamist põhjust:

1) tänapäevane globaalne põllumajanduslik tegevusmudel, kus toimub toidutootmiseks hädavajaliku elemendi – fosfori – ühesuunaline voog vähestest olemasolevatest maardlatest põllumajanduslikku rakendusse, kust fosfor lõppkokkuvõttes hajub keskkonda ega ole uuesti kasutatav; ohuna nähakse siin maardlates oleva fosforivaru järjest kehvemast kvaliteeti – järjest kallimaks kujuneb fosfori rikastamine toormest, mis omakorda toob kaasa fosforväetiste kallinemise ning seega toidutootmise kulude kasvu ning toidu kättesaadavuse vähenemise.

2) fosfori hajumine (peamiselt vee-) keskkonda põhjustab veekogude – nii siseveekogude, merede kui ka ookeanide – ökoloogilise seisundi muutuseid ning veekvaliteedi halvenemist, mis tekitab globaalselt erinevaid probleeme alates kvaliteetse joogivee puudumisest ning veekogudest saadava toidu vähenemisest kuni veekogude terviseohtlikkuseni ning rekreatsioonivõimaluste kadumiseni. Kõik need veekogude ökosüsteemiteenuste kaod toovad enesega kaasa majanduslikud tagasilöögid. Veeökosüsteemide taastamine aga on väga kallis tegevus, paljudes suuremates veekogudes aga sootuks võimatu.

Lahendusena nähakse fosfori ringmajandamist – kord juba kasutuselevõetud fosfori hoidmist põllumajanduslikus ringluses ning veekogudesse jõudva fosforikoguse elimineerimist. Selle ideaalsuuna poole liikumine on tulevikku vaadates hädavajalik, kuid sinna ei jõuta kohe. Kuigi me ei suuda fosfori lisandumist veekogudesse veel elimineerida, on kompromisslahenduseks ka see, kui suudame juba veekogus olevat fosforivaru vähendada ning suunata see põllumajanduslikku taaskasutusse. Selles valdkonnas tehakse uuringuid näiteks ka veekogu põhjasetete, suurtaimede ja vetikabiomassi kasutamiseks taimekasvu toetava materjalina. Käesolev projekt aga keskendub just kaaspüügina kättesaadava väheväärtuliku peenkala kasutatavusele.

Peenkala väärimist peaks kaaluma ka laiemast biomajanduslikust aspektist. Meie kultuuris pole traditsiooni taolist peenkala toiduks kasutada erinevalt sellistest riikidest, kus on suurem rahvastikutihedus ning toidupuudus. Siiski võib see valgurikas tooraine olla potentsiaalne toidu koostisosa nii inim-, lemmiklooma- kui kalatoidus. Samuti on peenkala biomassil energeetiline väärtus. Seega käsitleme käesolevas projektis ka väheväärtuliku peenkala potentsiaali toidu ja biogaasi tootmiseks.

Kokkuvõttes, nähes kaaspüügina saadava väheväärtuliku peenkala veekogust eemaldamises kasu veeökosüsteemi seisundile, oli käesoleva projekti eesmärgiks välja selgitada, milline on väheväärtuliku peenkala väärimise potentsiaal fosfori ringmajanduse aspektist (komposti ja hüdrolysaadina) ning teistes biomajanduslikes rakendustes (toit, biogaasi tootmine). Sealjuures käsitleme peenkala väärimise aspekte lähtuvalt kalapüügisektori ning seotud tarneahela

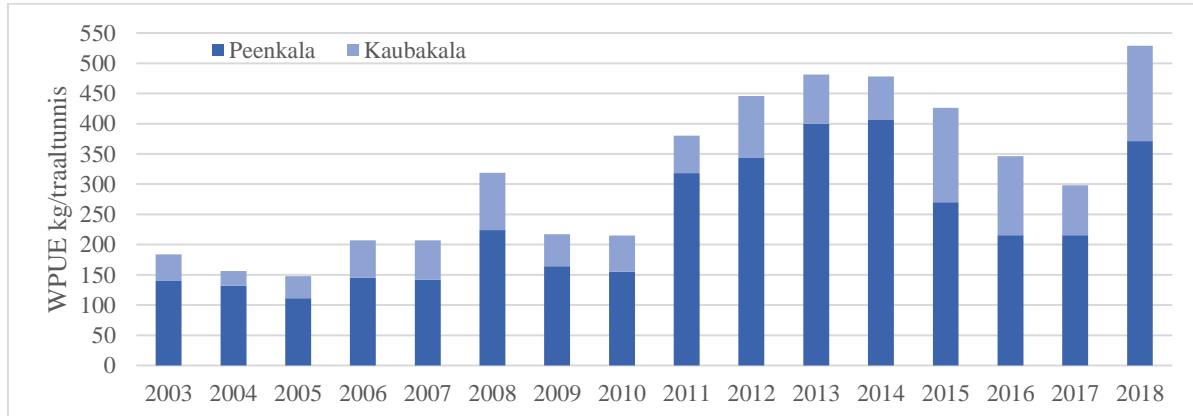
majanduslikest kaalutlustest. Alternatiivsed tegevused kala käitlemisel (kompostimine) aitaks luua ka töökohti ning see juhtuks pigem töökohtadevaestes piirkondades, mis on positiivne.

1. Peenkala mõiste, püügistatistika ja majanduslikud aspektid

Peenkala mõiste pärineb üle 10 aasta tagusest ajast, mil Võrtsjärve kaluritel oli püügipäevikus lossitud peenkala kohta eraldi rida. Peenkalaks võiks nimetada järgnevaid kalaliike, mida ei müüda inimtoiduks [1]:

- kuni 500 g latikas ja hõbekoger.
- kuni 70 g ahven.
- nurg, särg, roosärg, kiisk ja viidikas olenemata kaalust.

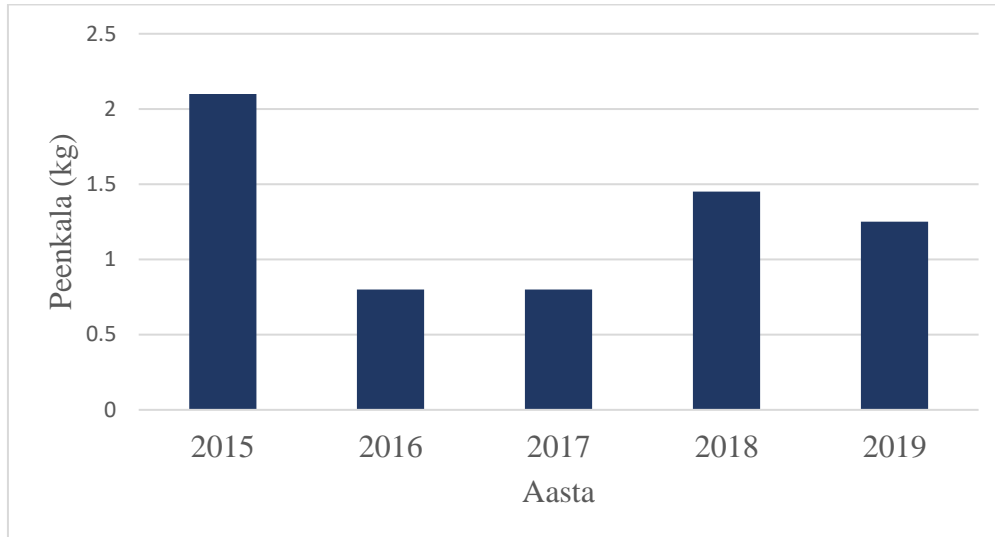
Latikal puudub Võrtsjärves alammõõt. Eesti Maaülikooli andetel on alates 2011. a. ehk siis hetkest, kui peenkala hakati järve tagasi heitma, tõusnud viimase hulk katsetraalis märgatavalt (joonis 1). On tõenäoline, et latika ja muu peenkala osakaalu kasv järves suurendab toidukonkurentsi bentosetoiduliste liikide vahel. Latikad, kiisad ning angerjad eelistavad toiduobjektina surusääsklaste vastseid (eeskätt *Chironomous plumosus*'t) mistõttu on antud toiduobjektile tugev toidukonkurents [2]. Kui aastal 1976 Võrtsjärve latikale püügipiirangud tühistati hakkas latika keskmine tüsedus ja kasvukiirus tõusma, kuna paranesid toitumisolud [3].



Joonis 1. Peenkala ja kaubakala vahekord (WPUE kg/htraal) Võrtsjärve katsetraalis perioodil 2003-2018. a. [4].

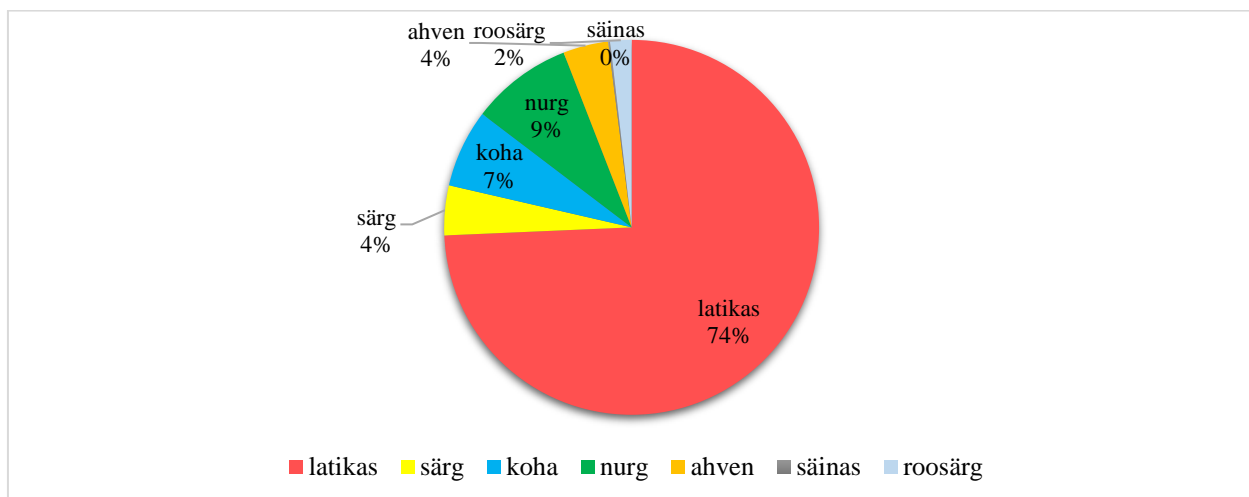
Arvutuslikult on 2018. aasta traalpüükide põhjal kogu Võrtsjärve peenkala biomass ca 6290 tonni, millest nn. kaaspüügina sattus kalurite mõrda 2-3 % ehk 179 tonni [4]. Tulenevalt hetkeolukorrast seda ametlikus püügistatistikas ei kajastu ning on kaudselt arvutatud Eesti Maaülikooli katsepüügivahendite andmete põhjal.

Võrtsjärve mõrrapüükides kaasneb kaubakalaga peaaegu sama palju peenkala, mõnel aastal võib peenkala kogus kaubakala isegi mitmekordselt ületada. Joonisel 2 on toodud mõrrapüügil aastate lõikes kaubakalaga kaasnevad peenkala kogused.



Joonis 2. Mõrra katsepüükide alusel 1 kg kaubakalaga kaasnev peenkala kogus Võrtsjärves.

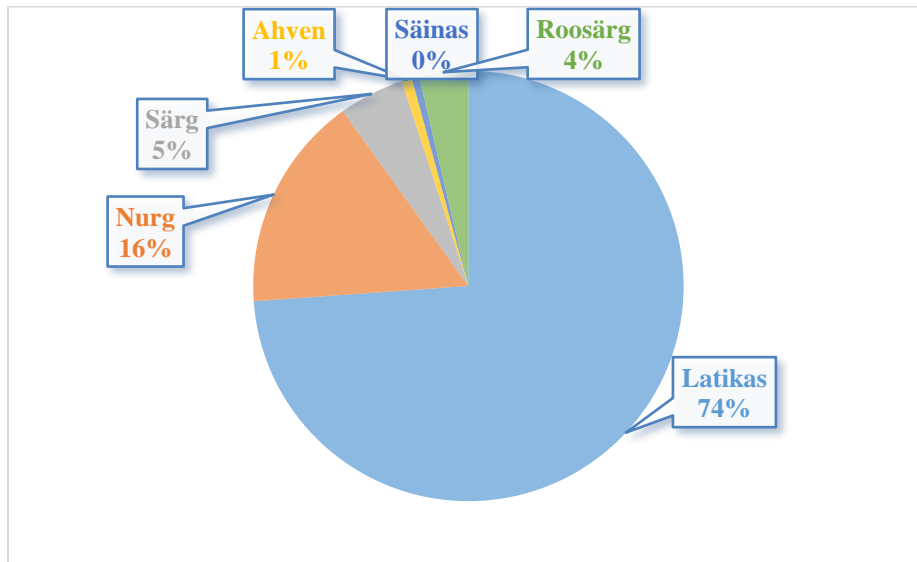
Peenkala liigilises koosseisus domineerib Võrtsjärve mõrrapüükides valdavalt latikas, muud kalaliigid moodustavad saagist marginaalse osa (joonis 3).



Joonis 3. Peenkala koosseis limnoloogiakeskuse katsemõrdades 2019. a. [5].

Kaaspüügina on väikse koha osakaal kõikunud mörra katsepüükides 0 – 7% vahel aastatel 2013-2019 [1; 4; 5; 6; 7].

Projekti käigus kalurite mõrdadest võetud juhuslike valimite peenkala liigiline koosseis on toodud joonisel 4.



Joonis 4. Aunkompostimisel kasutatud peenkala liigiline koosseis.

Eespool on peenkala hulka arvestatud teaduspüükides SL < 30 cm latikad. Katsetraalimised näitavad viimastel aastatel latika arvukuse tõusu järves [5], samas kui kutseliste kalurite latikasaak on alates 2015. aastast vähenenud. Võrreldes viimase 30 aasta keskmisega (81.9 t) on ametlik latikasaak 46% langenud. Aastal 2019 oli mörrapüügil SL < 30 cm latikate keskmine pikkus 33 cm ning kaal 795,7g. Kalurite väitel puudub viimasel ajal turg alla 1 kg massiga latikatele, mistõttu lastakse mörrapüügil alla kilo kaaluvad isendid üldjuhul järve tagasi [5].

MTÜ Võrtsjärve kalanduspiirkonna meililisti kaudu avaldasid soovi 7 kalurit projektis osaleda. Vestluste käigus kaluritega toodi välja, et kuna latikas satub püüki samadel aegadel kui muu kaubakala, siis suureks probleemiks on jää ja jaheruumi puudus. Pigem kasutatakse ruume väärtuslikuma kala hoiustamiseks. Täiendav 2x3 m jahutusruum ja jäämasin maksaks kalurite sõnul vastavalt ca 5000 ja 2000 eurot, millele lisanduvad töös hoidmise kulud. Kalad jäävad jääga jahutamisel ja säilitamisel kaubanduslikult paremasse konditsiooni. Paar päeva jahutatult peenkala hoiustamist lisab kalurite sõnul kala hinnale ca 0,3 eurot/kg. Kindlasti ei tohi säilitatava kala hulgas olla roiskuvat kala. Peenkala ei ole majanduslikult mõistlik sügavkülmutada.

Seega oleks vaja kaldale tuues värskete peenkalale leida kiire väljund. Arvestades tänast olukorda, kus peab ka peenkala liigiti sorteerima ning odavamalt müües deklareerima püügipäevikus näiteks latika, nuru, ahvena jne real, tekitaks see kokkuostuhindades segadust. Viimaste kolme aasta (2017-

2019) jooksul on Eestis keskmine latika kokkuostu hind olnud 0,5 eurot/kg. Küsitluses osalenud kalurid oleks nõus sorteeritud peenkala müüma 1 euro/kg, kuid nentisid, et see hind ei pruugi motiveerida teisi kalureid. Praegune nõue peenkala lossimisel liigiti sorteerida ei ole kaluritele majanduslikult tasuv eelkõige suureneva töökoormuse tõttu.

Kalurite hinnangul saaks nn. peenkala reaalne hind olla 0,4 eurot/kg 30-40 kg kastides terve hooaja lõikes, kui seda keegi regulaarselt ostaks ning kalur ei peaks liigiti sorteerima. Hinnaga alla 0,3 euro/kg ei oleks küsitluses osalenud kalurid nõus kala kaldale tooma. Roiskunud kalade väljasorteerimine võiks lisada peenkala hinnale 0,3 eurot / kg. Samuti peaks olema kindel peenkala kokkuostupunkt – näiteks Valmas. Vähem tõenäoline, et Võrtsjärve lõunaotsas, kus lossitav kala hulk on väiksem.

Tehniliselt võiks olla võimalik peenkala pumbata paadist - siis minimaalne hind saaks olla 0,2 eurot/kg. Kala on paati võetud niikuinii ja sel puhul jääks kaluril ära raskete kastide tõstmine, kuid miinusena võib angerjas jääda peenkala sees märkamatuks. Selline lahendus vajab täpsemat planeerimist ning selline kala sobiks tõenäoliselt komposti valmistamiseks, kuna võib sisaldada ka roiskunud kalu.

Kui loobuda peenkala liikideks sorteerimise nõudest, oleks üheks lahenduseks kasutada analoogset meetodit liikide osakaalu määramisel nagu seda tehakse vastavalt Kalapüügieeskirja (16.06.2016 nr 65) lisale nr 4 “Kilu, räime ja meritindi kaalulise osakaalu määramise meetodika saagis”. Mõrrapüügil kaasneva peenkala liigilise koosseisu annab vastavalt peenkala analüüsi tulemustele püügihooaja lõpus Keskkonna- ja Maaeluministeeriumile Eesti Maaülikool. Püügihooajal kogutud andmete alusel saab peenkala koguse järgi antud aasta kohta välja arvutada aastased väljapüügid kalaliigiti [4]. Võimalik muudatus vajab täpsemat arutelu jõudmaks kõiki osapooli rahuldava tulemini.

Kalurid on ka täheldanud, et üle paadi serva järve tagasi heidetav kala mõjub mõrra püüdvusele pärssivalt, kui see mõrra lähedale heita. Nende hinnangul võib tagasi heidetavast väiksest kalast ellu jääda kevadisel ja sügisel perioodil, mil vee temperatuur on jahedam, 1/2 kuni 2/3. Seejuures satuvad kajakate ohvriks uimased kalad rohkem sügisel. Suvisel perioodil võiks ellujäämus olla veelgi väiksem. Oluline on märkida, et tavaline praktika kala nõudmisel Võrtsjärvel on „kõik paati“ ning sorteerimine paadis. Vähem kasutatakse kahvaga mõrrapära nõudmist. Limnoloogiakeskuse nooremteaduri P. Teesalu avaldamata katseandmete põhjal hukub tagasiheidetavast kalast kõige enam just väike latikas, ning kahvaga nõudmisel on peenkala ellujäämus tunduvalt suurem.

Kalur peab olema motiveeritud peenkala kaldale toomiseks ja mugavaks ära andmiseks. Kalureid võiks motiveerida dotatsioon (riikliku keskkonnanahoiu valikuna) või mõni muu, mitterahaline motivaator.

1. Peenkala väärindamine inim- ja loomatoiduks

Töö eesmärgiks oli leida, milliseid perspektiivikaid ja turunõudlust omavaid tooteid on võimalik toota Võrtsjärve peenkalast inimtoiduks, lemmikloomatoiduks ja kalasöödaks, kasutades erinevaid tehnoloogiaid, ning milline osa peenkalasaagist (suurus, kalaliik) sobib erinevate toodete valmistamiseks.

1.1. Peenkala eeltötlus

Peenkala hulka arvestatakse alla 30 cm standardpikkusega kalu: latikas, koger, ahven, särg, roosärg, nurg, kiisk, viidikas (joonis 5).



Joonis 5. Liigiti sorteeritud peenkala pesemine.

Teostati ka peenkala hulgas arvukaimalt esineva kalaliigi (latikas) valgu- ja rasvasisalduse analüüsid Terviseameti Tartu laboris ühel korral sügisesel ja teisel korral kevadisel peenkala kõrgpüügi hooajal. Järgnevalt on toodud vastavad sisaldused kala märgkaalu (MK) kohta.

Sügisesest 2018a. püügist analüüsitud üks sügavkülmutatud kala (üldkaal 77g).

Valgusisaldus 15,7 g/100 g MK

Rasvasisaldus 1 g/100 g MK

Kevadisest 2019a. püügist analüüsitud 10 kala (üldkaal 800g).

Valgusisaldus 16,2 g/100 g MK

Rasvasisaldus 1,2 g/100 g MK

Täiendavalt uuriti erinevate tehnoloogiate rakendamise võimalusi inim-, lemmiklooma- ja kalasööda valmistamiseks. Võrreldi peenkalalt kalaliha eraldamise meetodeid nagu fileerimine (joonis 6) või eraldamist lusikaga kraapides ning tulemust võrreldi separaatori abil eraldatud kalalihaga.

Suuremate kalade puhul (kaal alates ~400 g/tk) täheldati, et soomuste eemaldamine ja fileerimine oli vähem aeganõudvam (ja kuluefektiivsem) nii käsitsi kui ka mehhaniseeritult võrreldes väiksemate kaladega.

Soomuste eraldamist katsetati nii käsitsi, (käsi)soomustajaga (<https://www.youtube.com/watch?v=ZLXidNgqL6g>) kui ka nn. trumlis (<https://www.youtube.com/watch?v=E0GALX-aHsA>). Lisatud videod näitena analoogseadmetest ja nende tööst.



Joonis 6. Peenkala (särje) fileerimine.

Latika fileerimisel (kalafilee ja kalahakkliha tarbeks) oli väljatulek ~30%, separaatorit kasutades ~42% (joonis 7). Fileeritavatest kaladest järelejääva osa suurus jäi vahemikku 57-70%, see sobib hästi kalajahu või väetiste tooraineks.



Joonis 7. Separaatori abil eraldatud kalahakklihamass suuremast peenkalast (latikas).

Käsitsi kala fileerimisel ja hakkliha valmistamisel (fileeritavate kalade märgkaal vahemikus 400-800 gr/tk) oli suurem ajakulu võrreldes separaatori kasutamisega. Väljatulek oli ~30%.

Separaatorit kasutades oli hakkliha väljatulek ~42%. Töö illustreerimiseks on lisatud video analoogseadmest (https://www.youtube.com/watch?v=5g_dphfkHPk).

Samas on vaja ka separaatoris kasutamiseks kala eelnevalt rookida (separaatorisse pannakse ainult latikarümp – soomused, pea ja sisikond eraldatud), mistõttu kasutati ka separaatoris kala/latikat suurusega ~400– 800 g/tk.

Peenkalalt kalaliha eraldamiseks katsetati ka lusikaga kraapimise meetodit, kuid selgus, et see ei ole sobilik, kuna seda saab kasutada vaid väiksema kala puhul. Väikese kala töötlemine on liialt aja- ja töömahukas ning finantsiliselt ebamõistlik.

Kalafilee saagised (arvestades peenkala suurust) olid järgmised:

- Särg (väike) – väljatulek 26,6%;
- Latikas (kaaluga ~200 g/tk) – väljatulek 25%, nimetatud suurusega kalal ei saa eemaldada soomust, konsistents muutub „pudruseks“;
- Latikas (kaaluga ~500 g/tk) – väljatulek 31%.

Nii käsitsi kui ka separaatori kasutamisel oli hakklihamassi kvaliteet (nii konsistents kui ka välimus) sama.

Järgnevalt on välja toodud järeldused fileerimise/hakkliha valmistamise osas nii käsitsi kui separaatorit kasutades (kalad kaaluga 400 g kuni 800 g):

- kvaliteet/konsistents oli sama mõlemal meetodil;
- ajakulu 100 kg kalast hakkliha valmistamisel käsitsi ühel töötajal/fileerijal ~4 tundi (bruto tunnitasu 5 eur), mis teeb valmis kalahakkliha hinnaks ~0,85eur/kg;

- sama teenustööna 0,70/kg, mis teeb valmis kalahakkliha hinnaks 2,10 eur/kg
- separaatorit kasutades (teenustööna) valmis kalahakkliha maksumus 1,40 eur/kg

Väikese peenkala fileerimist/hakkliha valmistamist teenustööna ja separaatoriga oleks võimalik tellida, aga kuna väikese kala rookimine on küllaltki ajamahukas ja kulukas, mistõttu pole see otstarbekas.

Läbi viidud katsega käsitsi kalafilee/hakkliha valmistamisel oli ajakulu ühel töötajal 5 kg peenkala (~30% väike latikas, ~30% särg ja ~40% muud kalad - koger, ahven jms) kohta ~1 tund, mis teeb valmis hakkliha maksumuseks 4,05 eur/kg.

Inimtoiduks mõeldud peenkala (fileed ja hakklihamass) läheb töötlemisse värselt, misjärel see sügavkülmutatakse. Ei tohi unustada, et töötlemise käigus tekib küllaltki palju kalajääke, mida on samuti vaja keskkonnasõbralikult käidelda. Seega käesoleva projekti raames läbi proovitud tegevused (komposti või biogaasi tootmine kalast) täiendavad üksteist.

Loomatoiduks (ja tervelt kasutatav peenkala inimtoiduks) kasutatav peenkala esmalt sügavkülmutatakse, seejärel töödeldakse. Jahutatud peenkala säilimisaeg on ~12-72 tundi. Säilivusaeg sõltub peamiselt välistemperatuurist peenkala püügil (näit. kevadperioodil kala paadis temp. +8 °C, suveperiood +25 °C), kasutatavatest kalakastidest (näit. mitusada kg peenkala mahutav konteiner vs 20 kg mahutav plastikkast) ja jää kasutamisest kala väljatoomisel järvest (kas kala segatakse laeval kastis jääga, jahutatakse kiirelt maha või ei).

1.2. Peenkala väärindamine inimtoiduks

Projekti käigus teostati Võrtsukala OÜ poolt kalandustoodete tootmiskatsed Võrtsjärve peenkalast (kokku 72 erinevat toodet). Kõigi toodete osas viidi läbi sensoorne analüüs (joonis 8) vastavalt EMÜ Toiduteaduse ja toiduainete tehnoloogia õppetooli töötajate poolt väljatöötatud sensoorse hindamislehe abil (hinnatavad parameetrid: toote välimus/värvus, lõhn, konsistents ja maitse). Sensorsetes paneelides osalesid nii EMÜ sama õppetooli töötajad kui ka üliõpilased (keskmiselt osales hindamistel 20 assessorit; kokku viidi hindamisi läbi 6 korral).



Joonis 8. Kalandustoodete sensoorne hindamine EMÜ Toiduteaduse ja toiduainete tehnoloogia õppetoolis.

Saadud tulemusi töödeldi ja tagasiside tulemused edastati ettevõttele edasiste järelduste ja paranduste tegemiseks (näit. kasutada grillvorsti puhul seasoole asemel lambasoolt, muuta kalapuljade kuju, muuta maitsestust, soolasust, liigne luude esinemine tootes jms) (joonised 9 ja 10).



Joonis 9. Peenkalast grillvorst seasooles vs lambasooles. (Koostisosad: jahutatud kala (latikas), soolapekk, kalapuljong, odrakruup, maitseained, sool, maitseroheline, naturaalne seasoole)



Joonis 10. Külmutatud kalapulk vs sojendatud kalapulk juustuga. (Koostisosad: jahutatud kala (latikas), soolapekk, riivjuust, vesi, muna, sibul, maitseroheline, riivsaia, maitseained, õli, jahu)

Lõpuks valiti saadud sensorsete hindamistulemuste alusel välja perspektiivikamad tooted (joonised 11 – 18), millede osas omakorda teostati turu-uuring ja tasuvusanalüüs.

Perspektiivikate toodete sensoorse hindamise tulemuste põhjal osutusid enim punkte saanud toodeteks (arvestades maitset):



Joonis 11. Suitsukalasalat (1). (Koostisosad: suitsukala, majonees, hapukoor, kurk, keedumuna, sool, maitseroheline, maitseained)



Joonis 12. Praetud kotletid latikafileest (2). (Koostisosad: jahutatud kala (latikas), suitsutatud seapõseliha, vesi, hapukoor, muna, sibul, maitseroheline, riivsai, maitseained)



Joonis 13. Praetud latikafileekotletid tomatimarinaadis (3). (Koostisosad: jahutatud kala (latikas), suitsutatud seapõseliha, vesi, hapukoor, muna, sibul, maitseroheline, riivsai, maitseained, õli, suhkur, sool, äädikas, porgand, tomatipasta).



Joonis 14. Praetud latikafilee tomatimarinaadis (4). (Koostisosad: jahutatud ja/või sulatatud kala (latikas), sool, paneering (muna-jahu), õli, vesi, suhkur, äädikas, sibul, porgand, maitseained, tomatipasta)



Joonis 15. Frikadellid (praetud) tarrendis (5). (Koostisosad: jahutatud kala (latikas), soolapekk, vesi, hapukoor, muna, sibul, maitseroheline, riivsa, maitseained, õli, kalapuljong, suhkur, sool, äädikas, paprika, konservmais, tšilli, sinepisemned, želatiin)



Joonis 16. Frikadellid (praetud) tomatikastmes (6). (Koostisosad: jahutatud kala (latikas), soolapekk, vesi, hapukoor, muna, sibul, maitseroheline, riivsa, maitseained, õli, tomatipasta, paprika, suhkur, sool, äädikas)



Joonis 17. Praetud frikadellid (7) (Koostisosad: jahutatud kala (latikas), soolapekk, vesi, hapukoor, muna, sibul, maitseroheline, riivsa, maitseained, õli)



Joonis 18. Frikadellid (keedetud) sinepikastmes (8). (Koostisosad: jahutatud kala (latikas), soolapekk, vesi, hapukoor, muna, sibul, maitseroheline, riivsai, maitseained, kalapuljong, õli, veiniäädikas, sinep, suhkur)

Perspektiivikate toodete hulka ei mahtunud nt suitsukala õlis (purgis), erinevates marinaadides soolatud latikafileed, särjerullid, küll aga on võimalik väheväärtuslikku peenkala ikkagi kasutada ka nende toodete valmistamiseks (joonised 19 – 22).



Joonis 19. Suitsukala õlis (purgis) (Koostisosad: suitsukala, õli, sool, tšilli, maitseroheline)



Joonis 20. Soolatud latika- ja/või särjerullid paprikaga või kurgiga. Kuumtöötlemata. (Koostisosad: sulatatud kalafilee, marineeritud kurk/paprika, sool, vesi, suhkur, äädikas, sibul, maitseroheline)



Joonis 21. Soolatud latikafilee šampinjonidega. Kuumtöötlemata. (Koostisosad: sulatatud kalafilee, sool, vesi, suhkur, äädikas, marineeritud šampinjonid, sibul, maitseroheline, õli)



Joonis 22. Soolatud latikafilee punase veini marinaadis. (Koostisosad: sulatatud kalafilee, sool, sibul, maitseained, punane vein, vesi, suhkur, äädikas)

Lisaks kuumtöödeldud ja soolatud toodetele, valmistati latikafileest ka tooreid ning sügavkülmutatud tooteid, nt frikadellid, kalahakkliha, maitsestatud kalalihamass, burgeripihv (joonised 23 - 25).



Joonis 23. Sügavkülmutatud frikadell. (Koostisosad: jahutatud kala (latikas), soola(sea)liha, vesi, muna, sibul, maitseroheline, riivsai, maitseained)



Joonis 24. Maitsestatud kalalihamass. (jahutatud ja sügavkülmutatuna) (Koostisosad: jahutatud kala (peenkala/latikas), vesi, muna, sibul, riivsai, hapukoor, maitseroheline, maitseained)



Joonis 25. Kalalihamass (separaatori abil eraldatud), jahutatud.

Hindajatele tooreste ja sügavkülmutatud toodete välimus meeldis ja nad oleksid nõus neid tooteid ka tulevikus poest ostma.

Täiendavalt teostati proovikatsed ka lüofiliseeritud ehk külmpuuvatatud kala osas (kasutamiseks nt pakisuppides vms). Pärast lüofiliseerimist tooted vaakumpakendati ja säilitati sügavkülmas. Toodete konsistents oli väga hea, pehme ja õhuline. Tooteid säilitati sügavkülmas. Filee oli pehme, samas kiuline, rabe, „penoplastilaadse“ struktuuriga (joonis 26). Hakklihamass pehme, pude, kergesti murenev (joonis 27).



Joonis 26. Sügavkülmast võetud lüofiliseeritud kalafilee enne rehüdreerimist.



Joonis 27. Lüofiliseeritud hakkmass enne rehüdreerimist.

Teostati veemavuse katse, kus sügavkülmast võetud tooted kaaluti algkaalu fikseerimiseks (pakendi avamisel iseloomulik, meeldiv kalalõhn), edasi kallati toodetele peale kuum vesi temperatuuriga 75 °C ning jäeti seisma 10 ja 20 minutiks, et hinnata veemavust. 10 minuti möödudes oli veemavus väga hea, 20 minuti möödumisel veemavus enam ei paranenud (vt tabel 1). Kokkuvõttes oli lüofiliseeritud toodete veemavus üle 300% oma kaalust.

Tabel 1. Külmkuivatatud toore kalaliha vee imavus.

Toode	Algkaal, g	Kaal 10 min pärast, g	Kaal 20 min pärast, g
Lüofiliseeritud filee	10,89	35,19	37,38
Lüofiliseeritud hakkmass	17,12	53,84	52,80

Hakkmass oli pärast rehüdreerimist parema, iseloomulikuma kalalõhnaga. Filee pärast rehüdreerimist (joonis 28) oli võrreldes hakkmassiga küll tagasihoidlikuma, kui tuntava, pisut kuivatatud kala lõhnaga. Kergelt esines ka rääsunud lõhna.



Joonis 28. Lüofiliseeritud ja seejärel rehydreeritud toores kalafilee.

Kuna peenkalafileeist valmistatud mõndatesse toodetesse jäi liiga palju luid, oleks soovitatav hakkliha külmuivatamine. Protsess iseenesest on kulukas ja aeganõudev, aga täiesti teostatav ja kasutatav.

1.2.1. Kalakastme ajalugu ja valmistamise tehnoloogia

Lisaks koostati EMÜ Toiduteaduse ja toiduainete tehnoloogia õppetoolis fermenteerimise, kalakastme valmistamise kirjanduse ülevaade.

Enamasti on fermenteeritud kalatooted kasutusel kui maitseained või kastmed. Kalakaste on enimlevinud fermenteeritud kalatoode, millel on selge pruun värvus, soolane ja kergelt kalane maitse ning mida kasutatakse peaaegu kõigis Kagu-Aasia piirkondades. Kalakaste on rohkem levinud piirkondades, kus kala kuivatamine troopiliselt niiske kliima tõttu ei ole võimalik.

Kalakaste on enamasti valmistatud odavatest magevee- ja mereveekalade püügijääkidest, mida tavatoiduks ei kasutata ning seda on võimalik valmistada peaaegu igast kalaliigist, koorikloomadest ja peajalgsetest. Paljud kaaspüügina saadavad väiksemad kalaliigid on efektiivselt kasutamata. Üheks parimaks kalajääkide kasutamise võimaluseks on ensümaatiliste protsesside kasutamine, mille heaks näiteks on kalakastme valmistamine.

Kalakastme valmimise tehnoloogiliseks aluseks on füüsikalised, keemilise ja mikrobioloogilised muutused, mis toimuvad vähese hapnikusisaldusega ja kõrge soolsusega keskkonnas. Kalakaste on olemuselt kala soolestikus leiduvate halotolerantsete ensüümide ja mikroorganismide abil valkudest hüdrolüütilise lagundamise teel saadud vedel produkt. Olulisim protsess kalakastme

valmistamisel on valkude lõhustamine lihtsamateks lämmastikühenditeks ja vabadeks aminohapeteks.

Üldlevinud kalakastme valmistamise meetodiks Aasias (Tai, Korea, Indoneesia jt) on soolatud väikeste kalade säilitamine maa-alustes betoonist tankides 9-12 kuud (kuni valkude hüdrolyüsümise lõpuni) [8].

Kalakastme valmimise tehnoloogiliseks aluseks on füüsikalised, keemilised ja mikrobioloogilised muutused, mis toimuvad vähese hapnikusisaldusega ja kõrge soolsusega keskkonnas. Kalakaste on olemuselt kala soolestikus leiduvate ensüümide ja mikroorganismide abil valkudest hüdrolyüsümise teel saadud vedel produkt.

Kalakastme valmistamise tehnoloogiliseks aluseks on tooraine – kala ja sool, mille vahekord võib erineda nii piirkonniti kui ka tootmisüksuste vahel, jäädes vahemikku 2:1 ja 6:1 [8]. Lisaks kala ja soola suhtelistele kogustele on veel mitmeid tegureid (fermenteerimise aeg, lisaained, kala liigid jm) ning sellest tingitult on kalakastmete varieeruvus väga suur.

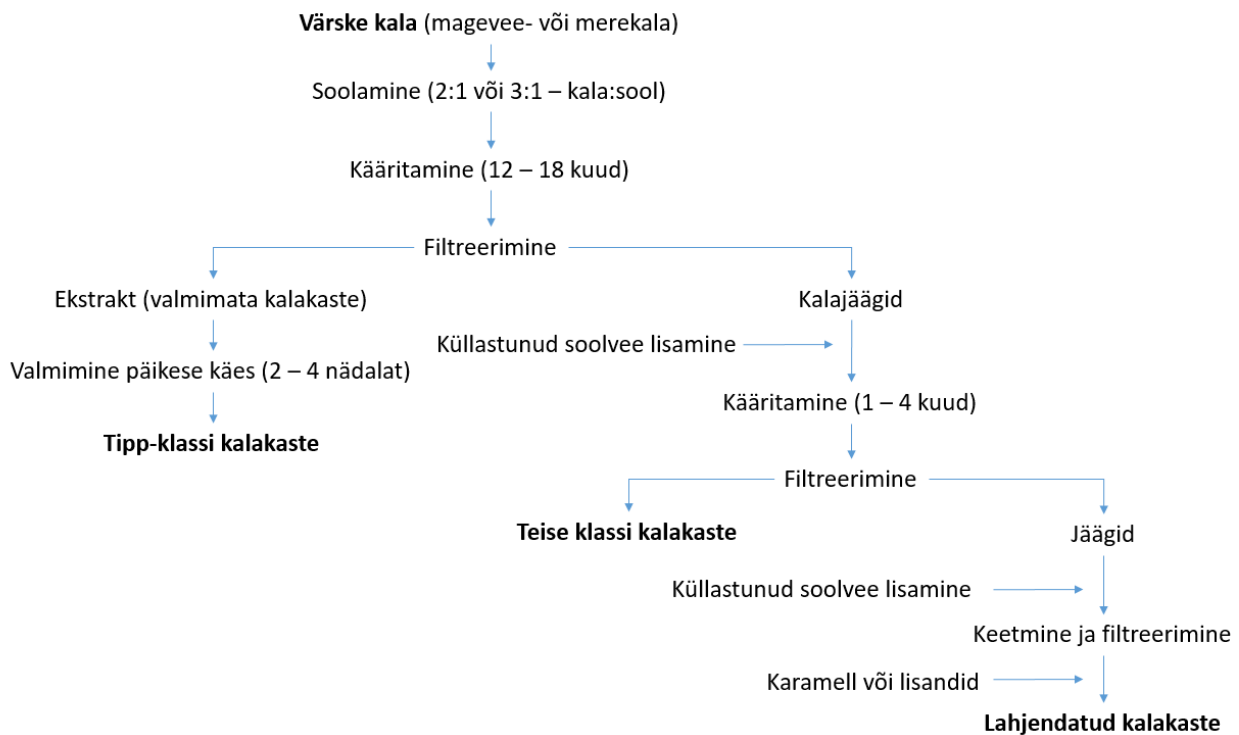
Lopetcharat (2001) on kirjeldanud kahe enimlevinud kalakastme – Vietnami kalakastme ehk nouc-mam'i ja Tai kalakastme ehk nampla tootmisviise [8].

1.2.1.1. Vietnami kalakaste

Vietnami kalakastme (nouc-mam) tootmine on ka tänapäeval hooajaline, põhineb suuresti traditsioonilistel tehnoloogiatel ning toimub pigem väikestes tootmisüksustes. Lopetcharat (2001) järgi algab traditsioonilisel viisil Vietnami kalakastme valmistamine värske kala, enamasti püügi ülejääkide, purustamisega (uhmerdamisega) pastaks, mis seejärel pressitakse ja paigutatakse savipottidesse kihtidena vaheldumisi soolaga [8]. Kalapasta ja kala suhe on vastavalt umbkaudselt 3:1, kuigi erinevate allikate kohaselt võib Vietnamis valmistatava kalakastme soola ja kala suhe olla isegi 6:1. Vietnamis võidakse kasutada kala asemel ka krevette, kuigi tegemist pole eelistatud variandiga. Savipotid asetatakse päikese kätte seisma või kaevatakse kaane kõrguseni maasse. Värske kala kasutamisel eemaldatakse umbes 3 päeva möödumisel kalaverest ja soolast tekkinud esmane vedelik ning seejärel jäetakse fermenteeruma 6 kuni 18 kuuks (enamasti sõltuvalt kalade suuruselt, mida suuremad kalad, seda kauem). Fermenteerimise lõppedes dekanteeritakse hoolikalt anuma põhja tekkinud sette pealt selge vedelik mida nimetatakse kõrgekvaliteediliseks kalakastmeks ehk nouc-mam või nuoc-nhut. Seejärel lisatakse fermenteerimisanumatesse kuuma soolalahust, et saada kätte kalapastast tekkinud settes olevad maitseid, sellisel viisil saadud vedelikku nimetatakse sekundaarse või madala kvaliteediga kalakastmeks. Madalama kvaliteediga kalakaste on kehvema säilivusajaga, sest sisaldab madalamas kontsentratsioonis soola ning sellel on kõrgem pH. Madalama kvaliteediga kalakastme valmistamisel võidakse paremate maitseomaduste ja värvuse saamiseks lisada lisaaineid nagu karamell, melass, röstitud mais ja oder, kuid enamasti eelistatakse lihtsalt kõrgekvaliteedilise kalakastme lisamist.

Eeltoodud tootmisviis on Vietnamis jätkuvalt väga levinud ning suuremahuline tootmine rahvusvahelistele turgudele pole veel erinevalt Tai Kuningriigist laiapõhjaliselt kanda kinnitanud. Kagu-Aasia regionaalsete kalatööstuste arenguprogrammide toel on viimasel aastakümnel tekkinud palju väiketööstuseid, kus kasutatakse traditsiooniliseid tootmisviise kombineerides neid uue tehnoloogiaga. Nii toimub näiteks fermenteerimine jätkuvalt savipottides, kuid on kasutusele võetud filtreerimisseadmed ja modernsed villimisliinid.

Kirjandusest selgus, et Tai kalakaste nampla on hiljuti populaarseks muutunud lääne tarbijate seas. Nampla valmistamine algab kala külma veega pesemisest selleks, et mustust maha pesta ja vähendada mikroorganismide arvukust tooraines. Olenevalt toomistpiirkonnast segatakse kala soolaga vahekorras 2:1 või 3:1 (kala:sool). Siis kala transfeeritakse fermentatsioonitanki, mille põhja on pandud bambusematt. Teine bambusematt asetatakse kala peale ja mati peale lisatakse raskus (suurem kivi) selleks, et fermentatsiooni ajal erituks kalast soolvesi. Peale 12-18 kuud käärimist supernatant valatakse üle teise paaki, kus tulevane kaste küpseb (valmib) mikroorganismide mõjul. Peale 2-12 nädalat küpsemist on esimese klassi nampla tarbimiseks valmis (joonis 29).



Joonis 29. Traditsioonilise nampla kalakastme tootmisskeem [8].

1.2.1.2. Kalakastme kasutamine

Traditsioonilises tai köögis lisatakse kalakastet kala, liha, juurviljade praadimisel; lisatakse salatitesse või kasutatakse teiste kastmete valmistamise põhjana. Kalakaste rõhutab roa koostiosade maitset.

Huynh, Danhi ja Yan (2016) on uurinud võimalust asendada osades roogades tavalist NaCl kalakastme vastu roogade soolasisalduse vähendamiseks [9]. Autorid leidsid, et kalakastet võib lisada järgmiste roogade valmistamisel, vähendades NaCl sisaldust 25%, 16% ja 10% võrra kanapuljongi keetmisel, tomatikastme tootmisel, ja kookose karri valmistamisel ilma, et see oleks muutnud nende roogade maitset. Need vähendatud soolasisaldusega tooted olid ka tarbijate poolt hästi vastu võetud.

1.2.1.3. Võrtsjärve peenkalast kalakastme valmistamine Ore restorani näitel

Väga edukalt õnnestus Võrtsjärve peenkalast valmistatud kalakastme valmistamine Ore restorani peakoka Silver Saa poolt. Sama kastet kasutati ka Eesti Peakokkade Ühenduse 20nda juubeli peol supi maitsestamisel. Kuna tegemist on märkimisväärse tootega (hea asendus sojakastmele), plaanib Ore restoran seda ka tegema hakata ja klientidele pakkuda nn. „peenkalakastmes“ toitudena. Selle sobivust kinnitasid ka mikrobioloogilised analüüsid Veterinaar- ja Toidulaboratooriumis.

Kalad pesti, peenestati, püreestati ja „pandi käima“ soola (12% kala kaalust) ning kruubi *koji* ga (leotatud ja pehmeks aurutatud kruubid. *Koji* on *aspergillus oryza* tüvega nakatatud tärklirohke substraat, mille peal on seda hallitust kasvatatud). Kokku kestis protsess 60 °C juures 13 nädalat. Lisati *aspergillus oryzae* hallitus ning kasvatati kruupidel 2 päeva (*koji* toodab proteaase, mis aitavad lagundada proteiine. Nende kasutamine annab lõpptulemusele parema lõhna ning sügavama umami). Kasutamine aga pole kohustuslik.

1.3. Peenkala väärindamine loomatoiduks

Täiendavaks eesmärgiks oli uurida peenkala kasutamise võimalusi lemmikloomatoiduks (graanul, kuivatatud terve kala) ja kalasöödaks (graanulid) (joonis 30).



Joonis 30. Kassi-, koeramaius (kuivatatud peenkala).

Väiksemas suuruses kalu kasutati lemmikloomatoidu valmistamiseks tervena ning neid ei roogitud/fileeritud. Kuivatamiseks on sobilik väiksem peenkala, kuna suuremad kalad sobivad vaid suurtele koeratõugudele. Loomatoiduks kasutatav peenkala esmalt sügavkülmutatati, seejärel kuivatati kuivatusahjudes 4 ööpäeva, niiskusesisaldus valmistootes 12%. Kuivatatud väike peenkala on müügil ka Võrtsukala OÜ kalapoes (müügihind 20€/kg). Tootel on olemas püsiklientuur.

Lemmikloomatoitu (koeramaius, kuivatatud peenkala, kuivtoit/krõbinad) ja söödavust/meeldivust loomade seas katsetati nii loomade varjupaigas kui ka kodustes tingimustes. Kodused lemmikloomad sõid seda paremini, meelsamini ja isukamalt kui varjupaiga loomad. See võib olla seotud ka nõ. stressitasemega varjupaiga loomadel. Krõbinat/kuivtoitu/küpsiste valmistamiseks kasutatakse spetsiaalset seadet/tootmisliini, mida saab illustreerida lingi abil https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=g4z_2iMcnH0.

Peenkalast valmistatud kalasöödaks mõeldud graanuleid prooviti valmistada kasutades Eesti Maaülikooli Toiduteaduse ja toiduainete tehnoloogia õppetoolis olevat granuleerimisseadet Farm Feed Systems Mini Press'i. Katsetati erinevates vahekordades eelnevalt kutriga purustatud (joonis 31) peenkala puru, hernejahu ning ka lisatuna toiduõli.

Valmistatud 3 varianti:

1. 100% purustatud kuivatatud peenkalast + toiduõli
2. 50% purustatud kuivatatud peenkala + 50% hernejahu + toiduõli
3. 70% purustatud kuivatatud peenkala + 30% hernejahu + toiduõli

Ilma toiduõli lisamata graanulit valmistada ei saanud.

Kahjuks EMÜ granuleerimisseade väga häid tulemusi ei andnud ja granuleerimiseks ei sobi (joonis 32).



Joonis 31. Kutriga peenestatud kalapuru enne granuleerimist.



Joonis 32. Granuleerimisprotsess seadmega Farm Feed Systems Mini Press.

Katsetati ka nõukogudeaegset tööstuslikku hakklihamasinat, millelt oli eemaldatud nuga/lõiketera ja mis andis granuleerimisel üsnagi häid tulemusi (joonis 33).



Joonis 33. Nõukogudeaegne hakklihamasin sobis granuleerimiseks.

Graanulite valmistamiseks oleks siiski vajalik spetsiaalne seade või tootmisliin.

Kasvanduse kalad söid peenkalast valmistatud graanuleid (erinevus graanulite vahel seisnes erinevas peenkala ja herneproteiini vahekorras) meelsasti.

Graanulite vees lahustuvus hea, s.t. ei lagunenu liialt kiiresti (joonis 34).



Joonis 34. (Sööda)graanul peenkalast kalasöödaks.

Toodete valmistamisel jõuti järeldusele, et inimtoiduks valmistatavate toodete puhul on otstarbekas kasutada toorainena vaid suuremat peenkala (latikat ja särge). Väiksem peenkala sobib rookimist mittevajavate toodete valmistamiseks (näit. kuivatatud kala, kalajahu, koerte maius, kalakaste jms).

1.4. Väljatöötatud perspektiivikate kalandustoodete turu-uuring

Perspektiivikate toodete sensoorse hindamise tulemuste põhjal osutusid enim punkte saanud toodeteks (arvestades maitset):

1. Suitsukalasalat (joonis 35)
2. Praetud kotletid latikafileest (joonis 36)
3. Praetud latikafileekotletid tomatimarinaadis (joonis 37)
4. Praetud latikafilee tomatimarinaadis (joonis 14)
5. Frikadellid (praetud) tarrendis (joonis 15)
6. Frikadellid (praetud) tomatikastmes (joonis 16)
7. Praetud frikadellid (joonis 17)
8. Frikadellid (keedetud) sinepikastmes (joonis 38)

Seega kasutatakse järgnevalt analüüsimiseks perspektiivikamaid tooteid. Turgu uuritakse tarbijate ja konkureerivate toodete (asenduskaupade) osas ning sooritatakse tasuvusanalüüs.

1.4.1. Tarbijate arvamused ja sensoorsed hinnangud väljatöötatud kalandustoodetele

Siinkohal kasutatavad andmed on saadud väljatöötatud kalandustoodetele tehtud tarbijakatsetest, mille raames saadi nii toodete sensoorseid hinnanguid kui ka avatud vastuseid.

Suitsukalasalati puhul on tarbijate arvamused pigem positiivsed (tabel 2). Negatiivsetest aspektidest toovad tarbijad välja nii seda, et salat võiks olla paksem kui ka seda, et kalamaitse on liigselt maskeeritud, kuid järeldusi sellest ei tasuks pigem teha, kuna tegemist on üksikute mittekorduvate arvamustega.



Joonis 35. Suitsukalasalat.

Praetud kotletid latikafileest puhul on tarbijad väga positiivselt meelestatud, kotlette võrreldakse lausa kodukotlettidega ning antud toode saab võrreldes teiste väljatöötatud kalandustoodetega ülekaalukalt positiivseid arvamusi.



Joonis 36. Praetud kotletid latikafileest.

Praetud latikafileekotletid tomatimarinaadis negatiivseks aspektiks peetakse marinaadi, mille puhul tuuakse korduvalt välja liiga äädikast maitset, samas on tarbijaid kellele toode meeldib. Praetud latikafilee tomatimarinaadi puhul peetakse seda heaks, kuid tuuakse esile mõnel puhul marinaadi äädikast maitset, eriti tihedalt tuuakse esile luude esinemist tootes.



Joonis 37. Praetud latikafileekotletid tomatimarinaadis

Frikadellid tarrendis kohta tehtavad hinnanguid on pooleks - on nii positiivseid kui ka negatiivseid. Samas kui frikadelle (praetud) tomatikastmes hinnatakse pigem negatiivselt ning samuti ei ole tarbijad positiivselt meelestatud praetud frikadellide osas ja ka frikadellid sinepikastmes saab negatiivseid hinnanguid eelkõige sinepikastme osas.



Joonis 38. Frikadellid (keedetud) sinepikastmes.

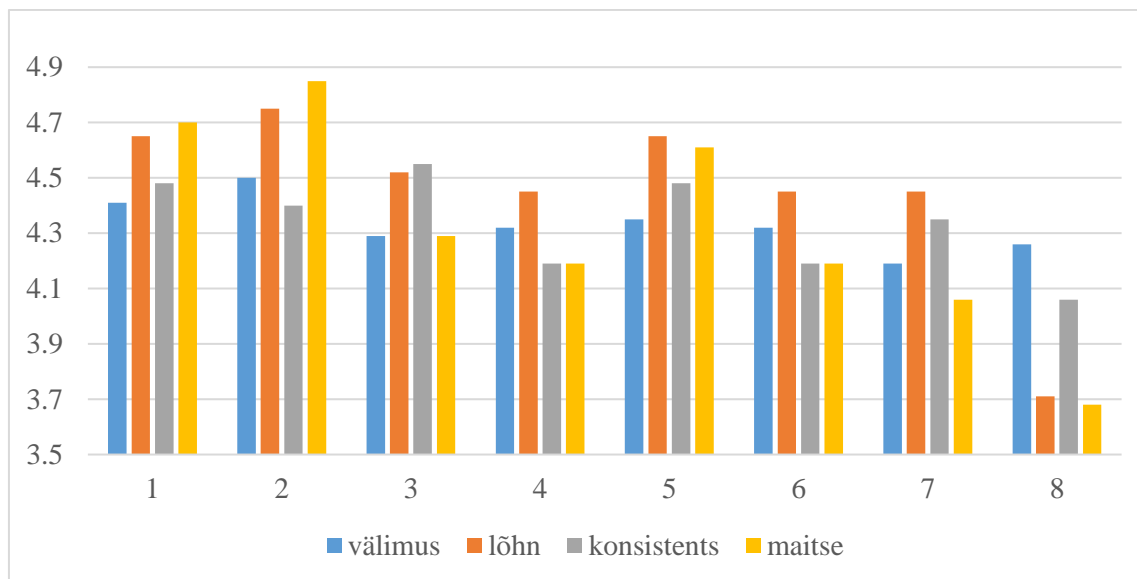
Siiski võrreldes teiste väljatöötatud toodetega meeldisid hindajatele frikadellid üldiselt rohkem, mistõttu võib neid pidada ka perspektiivikateks toodeteks.

Tabel 2. Tarbijate arvamused välja töötatud kalandustoodete kohta

Toode	Tarbijate hinnang tootele	Näiteid tarbijate arvamustest
Suitsukalasalat	Pigem hea	"Väga hea toode", "Hea maitsega", "Till üsna ebameeldiv, aga muidu hea."
Praetud kotletid latikafileest	Väga hea	"Maitse väga hea. Välimus natuke kõrbenud", "Hea toode", "Meeldib, et on tunda kalamaitset. Hea kodune", "Väga koduse kotleti mulje. Suurus ok. Kalamaitse ei domineeri."
Praetud latikafileekotletid tomatimarinaadis	Nii ja naa	"Marinaad lahja maitset.", "Äädika maitse lõi kotleti maitse üle.", "Natuke äädikane", "Väga hea", "Lõhn liiga maitseaine rohke. Muidu hea."
Praetud latikafilee tomatimarinaadis	Nii ja naa	"Marinaad lahja maitset", "Luud sees", "Marinaad kehv, vesine, liiga äädikane", "Maitse hea, söömist rikuvad suured luud", "Tomati maitset vähe, pigem äädikas"
Frikadellid (praetud) tarrendis	Nii ja naa	"Soolane", "Tuim", "Mage", "Tarrend hea, pole äädikane. Meeldib lõhn. Lisandid ühtlaselt tarrendis. Frikadell kuiv"
Frikadellid (praetud) tomatikastmes	Nii ja naa	"Lahja maitse, maitsetu", "Liiga paprikane lõhn, puderjas", "Pisut kuiv", "Lõhn paprikane, maitse huvitav"
Praetud frikadellid	Nii ja naa	"Kõrbenud. Liiga kuiv", "Veidi ülepraetud", "Ebaühtlane struktuur", "Liiga kõva", "Tuim kohati kõrbenud", "Natuke kuiv, muidu hea"
Frikadellid (keedetud) sinepikastmes	Nii ja naa	"Mõnus sinepine lõhn. Sinepit piisavalt", "Liiga intensiivne sinepi lõhn", "Pisut liiga sinepine", "Kaste veidi kange", "Mõnus sinepine maitse", "Kaste hea, frikadell võiks olla soolasem"

Sensoorse hindamise tulemused (joonis 39) kinnitavad tarbijate arvamuste analüüsi - parima hinnangu saavad tarbijatelt praetud kotletid latikafileest, mille puhul hinnatakse enim maitset, lõhna ja välimust. Peale praetud latikafilee kotlettide on kõrgemad sensoorsed hinnangud suitsukalasalati puhul, kus hinnatakse enim lõhna ja maitset, kuigi maha ei jää ka välimus ja konsistents. Teiste toodete puhul ei eristu hinnangud nii reljeefselt ning pisikesed hinnangu erinevused ei võimalda suuremaid järeldusi teha.

Seega võib öelda, et perspektiivikatest kalandustoodetest hindasid tarbijad kõige kõrgemalt suitsukalasalatit ja praetud kotlette latikafileest.



Joonis 39. Välja töötatud perspektiivikate kalandustoodete sensoorse hindamise tulemused 5-pallilisel hindamisskaalal.

1.4.2. Tasuvusanalüüs

Kuigi tasuvusanalüüsiks on vajalikud kuluandmed, siis on toodete omahinda hetkel välja tuua keeruline, kuna eelkõige muutuvkulud aga ka mõningad püsikulud sõltuvad ettevõttest, siis siinkohal kasutatakse tasuvusanalüüsil hinnangulist omahinda. Samuti on kehtestatud müügihind iga ettevõtte enda eesmärkidest ja valitud strateegiast olenev, seega on tasuvusanalüüsis välja toodud müügihind ka pigem hinnanguline. Siiski tuleb nentida, et järgnev tasuvusanalüüs on mõningaseks orientiiriks tootmise planeerimisel, kuid ei kajasta täielikku olukorda.

Hetkel arvesse võetavad kulud:

- Peenkala jahutamise kulu:
 1. Vajalik jääkulu peenkala mahajahutamiseks järvel/lossimisel/transpordil - 0,5kg jääd 1kg peenkala kohta.
 2. Jää maksumus ~0,20 eur/kg.
 3. Jahutatud peenkala säilimisaeg 12-72 tundi.
- Sügavkülmutamise kulu (teenuse maksumus) keskmiselt:
 1. Külmutamine 0,20-0,40 eur/kg
 2. Säilitamine/hoiustamine sügavkülmas ~25.—35.-Eurot/kaubaalus/kuus (1 alus mahutab ~700kg kala).
 3. Lisanduv kulu veel transport (~0,20-0,30 eur/kg) ja pakendamine.

Aga toodete omahinnad sõltuvad järgmistest paljudest muutujatest/kuludest, mida hetkel on keeruline välja tuua:

- Tooraine (peenkala) maksumus
- Transpordikulu
- Peenkala sorteerimine, pesemine, pakendamine, sügavkülmutamine
- Töötlemine (sh. teenustööna või ise valmistades ning käsitsi vs. mehhaniseeritult)
- Pakendamine, transport
- Kaudsed kulud (rent, amortisatsioon, üldkulud jms.)

Järgnevas tabelis 3 on välja toodud toodete hinnanguline toote ühikkulu, hinnanguline müügihind (sisaldab käibemaksu) ning peamised tasuvusnäitajad.

Tabel 3. Välja töötatud perspektiivikate kalandustoodete hinnanguline ühikkulu, hinnanguline müügihind ning tasuvusnäitajad.

Toode	Hinnanguline toote ühikkulu (eur/kg)	Arvutuslik müügihind (eur/kg)	Kulurentaablus (kasum/toote ühikkulu, %)	Käibereentaablus (kasum/hinnanguline müügihind, %)
Suitsukalasalat	5.74	9.9	72.5	42.02
Praetud kotletid latikafileest	4.73	9.9	109.3	52.22
Praetud latikafileekotletid tomatimarinaadis	5	9.9	98.0	49.49
Praetud latikafilee tomatimarinaadis	5	9.9	98.0	49.49
Frikadellid (praetud) tarrendis	5	9.9	98.0	49.49
Frikadellid (praetud) tomatikastmes	5.83	9.9	69.8	41.11
Praetud frikadellid	4.73	9.9	109.3	52.22
Frikadellid (keedetud) sinepikastmes	5.83	9.9	69.8	41.11

Põhiliseks tootmise efektiivsuse näitajaks on tootmise tasuvus ehk rentaablus. Rentaabel ehk tasuv tootmine tähendab seda, et ettevõtte katab toodangu valmistamiseks ja realiseerimiseks tehtud kulutused ning saab lisaks sellele kasumit. Antud juhul on kasumi leidmiseks leitud müügihinna ja toote ühikkulu vahe. Tabelis välja toodud kulurentaablus näitab, palju saadakse kasumit iga toote tootmiseks kulutatud euro kohta protsentides. Kulurentaabluse veerust nähtub, et kõikide väljatöötatud perspektiivikate kalandustoodete kasum katab kulud, seega on tegemist kõikide toodete puhul kasumilike toodetega.

Käiberentaablus ehk marginaal näitab iga müügihinna euro tasuvust. See näitab, mitu protsenti müügihinnast jääb ettevõttele kasumiks. Arvutatud käiberentaabluse põhjal võib öelda, et kõikide väljatöötatud kalandustoote müügihinnad toovad kasumit suurusjärgus 41 - 52% ning nende tootmine on tasuv.

1.4.3. Turul olevad konkureerivad tooted

Toiduainete turg on oma loomult tiheda konkurentsiga (monopolistlik konkurents) ning ettevõtetele tagab edu toodete diferentseerimine (eristamine), mida antud projekti raames sai tehtud ja nagu näitas tarbijate arvamuste analüüs, siis tekkis nii mõnigi piisavalt eristuv toode. Järgnevas tabelis 4 on toodud loodud perspektiivikate kalandustoodetega konkureerivad tooted ning nende hinnad.

Tabel 4. Perspektiivikate kalandustoodetega otseselt konkureerivad tooted ning nende hinnad.

Toode	Asenduskaup	Asenduskauba hind (eur/kg)	Müügihind (eur/kg)
Suitsukalasalat	Selveri „Suitsukalamajoneesisalat“ – sarnane toode, aga kalaliik teine	6.99	9.9
Praetud kotletid latikafileest	Latikas OÜ, sama toode	4.6	9.9
Praetud latikafileekotletid tomatimarinaadis	Latikas OÜ, sama toode	5.2	9.9
Praetud latikafilee tomatimarinaadis	Peipsi Kalatööstus „Latikafilee tomatimarinaadis“	5.2	9.9
Frikadellid (praetud) tarrendis	Viru Rand OÜ „Räimesütl“	8.11	9.9
Frikadellid (praetud) tomatikastmes	Kalapallid tomatikastmes pole päris sama toode, kuna kasutatakse ka nt tangaineid.	3.13	9.9
Praetud frikadellid	Sarnast toodet pole kalast	-	9.9
Frikadellid (keedetud) sinepikastmes	Sarnast toodet pole, küll aga Latikas OÜ „koha sinepis“	7.2	9.9

Perspektiivikatele kalandustoodetele on hetkel kujundatud võrreldes asenduskaupadega kõrgemad hinnad. Kuigi kasumiläve analüüs tuvastas, et nii mõnegi toote puhul tuleks hinda pigem veelgi tõsta, selleks et kasumit teenida, siis alternatiivtoodete hindu vaadates selgub, et peaks kindlasti

vaatama üle kulusid, selleks et oleks võimalus müügihinda langetada ning turul paremini konkureerida. Samas ei pruugi ka hindade langetamine olla lahenduseks turul paremini konkureerimiseks, sest toode peab tarbijatele meeldima ning analüüs näitab, et hetkel oleks võimalik isegi kõrgema hinnaga kui asenduskaup müüa vaid suitsukalasalatit ja praetud kotlette latikafileest.

1.4.4. Turu-uuringu kokkuvõte

- Suitsukalasalati ja praetud latikafilee kotlettide puhul on tarbijate arvamused märgatavalt positiivsemad võrreldes teiste välja töötatud perspektiivikate kalandustoodetega. Seega on hinnakujundamisvabadus nende toodete puhul suurem ning on olemas võimalus tõsta hinda.
- Arvestades toodud tasuvusnäitajaid on kõiki välja töötatud kalandustooteid tasuv toota.
- Analüüs näitab, et hetkel oleks võimalik isegi kõrgema hinnaga kui asenduskaup müüa vaid suitsukalasalatit ja praetud kotlette latikafileest.

1.5. Kokkuvõte ja järeldused

Peenkala kasutamine nii looma- kui inimtoiduks tõestas, et toorainel on suurt potentsiaali; tarbijad oleksid nõus peenkalast valmistatud tooteid ostma ja tarbima vastavalt saadud tagasisidele ning ka lemmikloomad sõid meelsasti. Peenkalast innovaatilisemaks tooteks võib pidada kalakastet, mis on hea asendus laialt kasutatavale sojakastmele; perspektiivikaks võiks pidada ka lüofiliseeritud peenkala, mida on hea kasutada nt pakisuppides, sõjaväes kasutatavate toidupakkide koostises, kuid suureks argumendiks on toote hind. Konkureerivateks toodeteks oleksid kalasalat, kotletid ja frikadellid (kahe viimase toote puhul toorainena kasutada pigem peenkalast valmistatud hakkliha), kuid kindlasti on võimalik väheväärtuslikku peenkala kasutada ka teiste toodete valmistamiseks: kuumtöötlemata soolatud tooted, konservid, määrded jne. Samuti selgus tasuvusanalüüsist, et kõiki välja töötatud kalandustooteid on tasuv toota, tuleb osata toodet hästi müüa/reklaamida ning tootel võiks olla rääkida oma lugu. Peenkalast valmistatud tooted olid antud projekti raames suuresti käsitöö, kuid toota on võimalik ka tööstuslikult teatava finantseeringuga seadmete/liinide osas, mille kasutamisel saavutatakse ka kõrgem hügieen.

2. Kompost

Projekti eesmärgiks oli läbi viia aunkompostimise katsed Võrtsjärvest mõrrapüügil kaasneva väheväärtusliku peenkalaga; pakkuda tehnoloogilisi soovitusi kalakomposti tootmiseks; komposti pakendamine väikepakenditesse ja nende säilitamise hindamine 6 kuu jooksul ning turunõudluse hinnang.

2.1. Kompostimine laboritingimustes

Projekti eesmärk oli läbi viia mitmesuguses mahus ja mitmesuguse tehnoloogi abil kompostimise katsed Võrtsjärvest mõrrapüügil kaasneva väheväärtusliku peenkalaga; pakkuda tehnoloogilisi soovitusi kalakomposti tootmiseks; uurida komposti väikepakenditesse pakendamise ja säilitamise võimalusi ning hinnata kalakomposti turunõudlust.

2018. aasta kevadel viidi EMÜ Maaehituse ja veekaitse õppetooli hüdraulikalaboris läbi kalakompostimise võrdluskatsed trummelreaktorites. Katse eesmärgiks oli omandada kogemus kala kompostimisest; uurida kala eeltöötlemise vajadust; võrrelda eri sorti tugiainete mõju kompostimisele; uurida kompostimist erineva kalakoormuse juures; jälgida kompostimise kulgu lagugaaside ja temperatuuri mõõtmise abil ning saada sisendeid, et sooritada jätkukatse uue hulga kala kompostimiseks. Saadud teadmisi kasutati tööstusliku kompostimiskatse korraldamisel.

2.1.1. Metoodika

Laborikatse viidi läbi viie trummelreaktoriga (Joonis 40), mis olid ühesuurused (200 l) ning tagasid sarnased keskkonnatingimused.



Joonis 40. Katses kasutatud trummelreaktorid.

Katses kasutatud peenkala pärines Võrtsjärvest ning segati kompostimassi vastavalt püdelaks purustatuna või tervena. Igasse reaktorisse lisati vähemalt 20 kg kala. Ülejäänud kala külmutati tervena ja kasutati jätkukatses. Külmutatud kala sulatati toatemperatuuril (Joonis 41) ning jätkukatses lisati igasse reaktorisse (välja arvatud reaktor 2) 10 kg purustamata kala.



Joonis 41. Katses kasutatud värske kala vasakul ja külmutatud kala paremal.

Tugiainena kasutati heinapelleteid, mis on hea veeimavusega ning struktuuri andmiseks lisati hakitud puukoorepuitu. Lisaks kasutati ühes katseseerias kuivatatud ja peenestatud adru ning lisati vedelat inokulanti. Erinevate kompostisegude sisendid on toodud joonisel 42 ja tabelis 5.



Joonis 42. Erinevad kompostisegud nii püdela kui terve kalaga.

Tabel 5. Reaktorkatses kasutatud sisendid (kg).

I faas	Olek	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3	Reaktor 4	Reaktor 5
Kala	Terve	15,5	0	0	0	20
Kala	Purustatud	6	29,5	27,5	23	0
Vesi		18,5	11,4	10,9	9,5	18
Puukoor	Hakitud	0	7,4	7,4	7,4	7,4
Põhu	Pellet	0	15	15	15	15
Aдру	Peenestatud	19	0	0	0	0
Inokulant	Vedel	0,3	0	0	0	0
	Kokku I faasis	59,3	63,3	60,8	54,9	60,4
II faas						
Kala	Terve	10	0	10	10	10

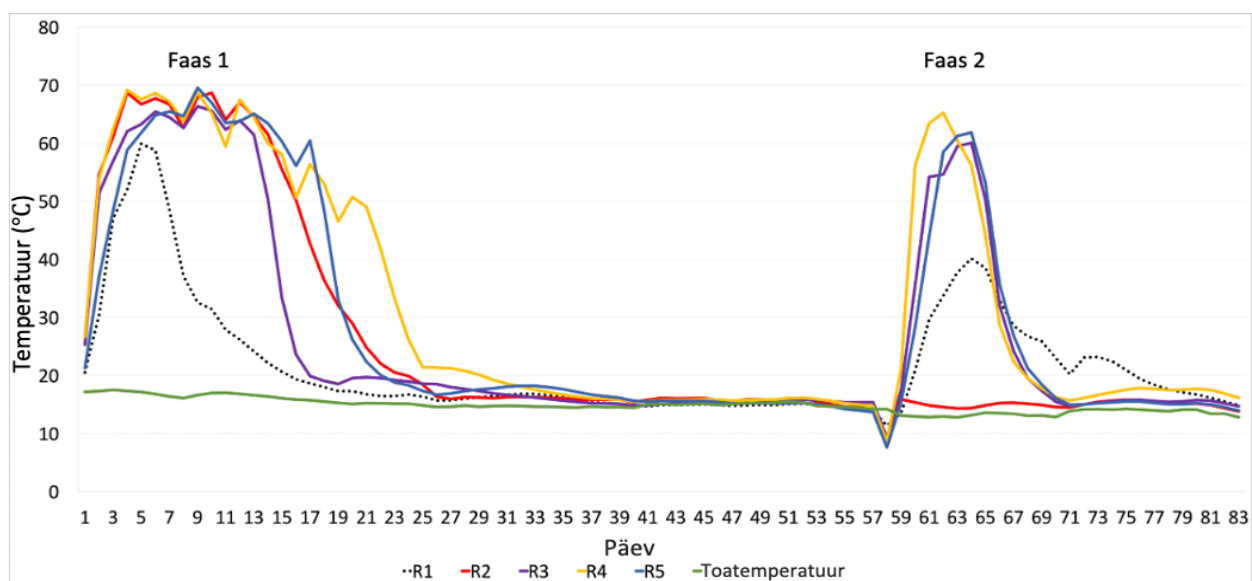
2.1.2. Katseseire

Kõikidest trummelreaktoritest mõõdeti reaalajas temperatuure K-tüüpi automaatsete loggerite abil. Gaaside kogumiseks süvistati komposti sisse lehtid, mille õhuruumist koguti voolikute abil gaase. Gaaside koostis ja kontsentratsiooni mõõdeti portatiivse analüsaatoriga GA5000 (Geotechnical Instruments, UK): O₂, CO₂, CH₄, NH₃, H₂S. Temperatuuri muutumise ja gaaside koostise alusel otsustati segamisvajaduse üle. Niiskust määrati kohapeal ning aeg-ajalt lisati vett.

2.1.3. Katsetulemused

2.1.3.1. Temperatuurid

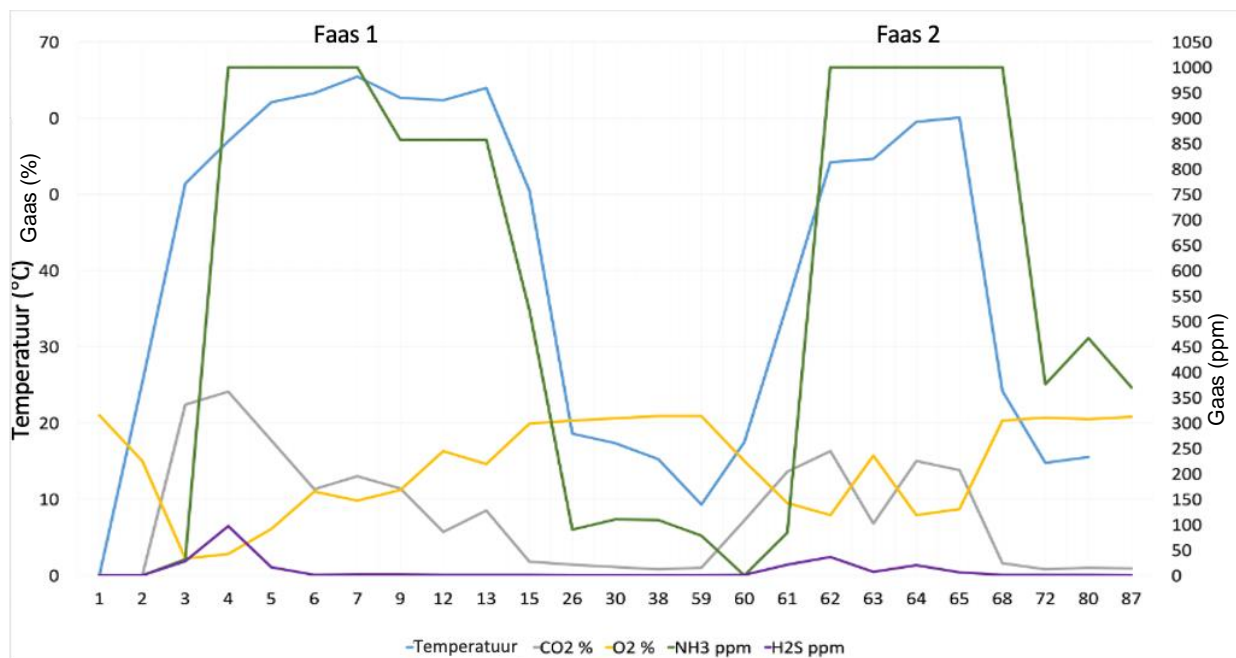
Kompostimise alguses tõusid temperatuurid kiiresti < 70 °C kolmes reaktoris (Reaktorid 2, 4 ja 5). Sellega täideti Euroopa Liidu Komisjoni määruse nr 142/2011 nõuet, mille kohaselt peab loomsete jäätmete käitlemisel tõusma temperatuur vähemalt üheks tunniks < 70 °C. Üldjoontes käitusid kompostid sarnaselt, erinedes vaid temperatuuri saavutamise ja püsimise osas. Teistest märgatavalt erinevalt käitus Reaktor 1 kompost, kuhu lisati adru ja vedelat inokulanti. Antud komposti temperatuurigraafik jäi madalamaks ning temperatuurid hakkasid juba kaheksandal päeval järsult langema. Kolmanda nädala lõpuks langes kompostimise aktiivsus kõigis reaktorites ning temperatuurid langesid toatemperatuuri lähedale (joonis 43). Teises faasis lisati reaktoritesse 1, 3, 4 ja 5 10 kg purustamata kala. Temperatuurid kerkisid jälle kiiresti, jäädes võrreldes teiste kompostidega reaktoris 1 ka seekord madalamaks. Kuna kala lisati seekord vähem, kestis ka aktiivne kompostimise periood lühemat aega.



Joonis 43. Trummelreaktorkatse temperatuurigraafikud.

2.1.3.2. Gaasid

Katse käigus eraldus suures koguses ammoniaaki (NH_3), süsihappegaasi (CO_2) ja mõningal määral väävelvesinikku (H_2S), mis viitab vajadusele optimeerida kompostimist eriti selle esimestel päevadel (joonis 44). CO_2 suur kontsentratsioon viitab hapniku (O_2) puudusele komposti sees, mistõttu on kompostimise alguses vajalik piisavalt tihe segamine. Gaaside koostis kompostis stabiliseerus, kui orgaaniline aine oli lagunenu ja kompostimise protsess aeglustus. Katse käigus ei tekkinud kala roiskumisele iseloomulikku haisu.



Joonis 44. Trummelkompostimise temperatuuri- ja gaasigraafik.

Katse käigus täheldati tervete kalade täielik kadumine 7 kuni 10 päeva jooksul. Kala purustamine kiirendab kompostimise protsessi, kuid ei ole vältimatult vajalik. Kala lisamine kompostimise käigus on õigustatud, kuid tuleks kaaluda ka tugimaterjali lisamist toitainete koostise tasakaalustamiseks. Katse tunnistati lõppenuks 90 päeva möödudes.

2.2. Katse välitingimustes

Perioodil kevad – sügis 2018 ja suvi 2019 viidi läbi viis kala kompostimise katset. Leidmaks parimat kalakompostimise lahendust, kasutati kõigi aunade puhul erinevaid sisendeid (Lisa 1). Projektis osalenud kalurid tagasid peenkala, mis koguti tunnidesse (joonis 45).



Joonis 45. Peenkala kogumise tunnid kala viimiseks kompostipaika.

Katse partner, Matogard OÜ, tagas kompostimiseks vajaminevad tingimused ning igapäevase monitooringu. Kõik katsed viidi läbi välitingimustes ning tehnoloogia valikul välditi keerukaid lahendusi (nt reaktoreid), üritamaks matkida tingimusi, mis võiksid igapäevaelus ette tulla.

2.2.1. Vajalikud seadmed ja materjalid

Katse partneriks valiti hanke korras Matogard OÜ, kellel olid olemas katse läbiviimiseks vajalikud seadmed ja materjalid.

- Kompostimiseks sobilik plats Komisjoni määruse (EL) nr 142/2011 tähenduses [10].
Kõik kompostikatsed viidi läbi välitingimustes valatud kõva pinnasega platsil, vältimaks kompostist tuleva nõrgvee sattumist loodusesse ja põhjavette.
- Aunasegur võimekusega maksimaalselt 1,5 m kõrge ja 3,5 m laia auna segamiseks.
Katses kasutati spetsiaalseid kompostipöörleid Backhus 16.30 ja ST300.
- Niisutuse võimalus
Kompostiplatsi läheduses on pumbajaam, kust sai kompostide niisutamiseks voolikuga kaevuvett.
- Katterii e auna katmiseks – hingav, vett hülgrav.
Aunad kaeti spetsiaalselt kompostimiseks mõeldud geotekstiiliga, mis on hingav, kuid kaitseb aunasid välistegurite ja loomade eest.
- Sõelur
- Pakendamisevõimalus 6 kuni 20 L suuruste kottide pakendamiseks, kokku 0,5 tonni.
Valminud kompostipartiid säilitati üle talve ning seejärel pakendati 1,5 tonni komposti 20l pakenditesse, ülejäänud kompost pakendati BigBag kottidesse. Pakendatud kompost transporditi EMÜ Polli Aiandusuuringute Keskusesse, kus alustati taimkatsetega.
- Vajadusel komposti kuumutamine ühe tunni jooksul vähemalt 70 °C-ni.
Kõikides aunades tõusis temperatuur nõutud 70 °C ja kompost eraldi kuumutamist ei vajanud.

- Värske kala transportimine kalastuspaigast kompostimiseks 24 tunnise etteteatamisega.
Kala transporditi lühikese etteteatamise ajaga Matogard OÜ territooriumile, kus kala roiskumise vältimiseks alustati kompostikatsega võimalikult kiiresti.
- Komposti seireseadmed / kiirtestid – temperatuur, pH, niiskus, gaasid (O₂/CO₂).
Komposti seirati igapäevaselt mõõtes aunadest temperatuuri ja CO₂ sisaldust. Vajadusel mõõdeti ka pH. EMÜ poolt lisati aunadesse loggerid, mis mõõtsid automaatselt nii välistemperatuuri, kui ka temperatuuri auna sees.
- Tugiained: põhk – kuni 100 tonni, kuiv luhahein – kuni 30 tonni.
Tugiainena kasutati 2017. Aastal pressitud põhku, üks rull kaalus ca 250 kg. Põhku lisati kompostisegudesse vastavalt EMÜ poolsetele arvutustele.
- Kasutada võib mikrobioloogilisi startereid kuni 5% massist.

Teatud kompostide käivitamiseks ja mikrobioloogia lisamiseks kasutati juba valmis hobusesõnniku või kalakomposti. Täpsemad andmed järgmises peatükis.

2.2.2. Aunade valmistamine ja seire

Kompostikatsed viidi läbi betoonplatsil, et vältida nõrgvee sattumist pinnasesse. Kõik aunad kaeti õhku läbilaskva geotekstiil kattega, vähendamaks ilmastiku mõju ja loomade ligipääsu kompostile. Aunade segamiseks kasutati spetsiaalseid kompostipöörleid Backhus 16.30 või ST300.

Igapäevase monitooringu käigus mõõdeti aunadest temperatuuri ja CO₂ sisaldust. Vastavalt sellele otsustati, kas komposti tuleks segada või mitte. Aunasid segati komposti jahutamise või gaasivahetuse parandamise eesmärgil. See tähendab, et kui aunas jäid temperatuurid liiga kauaks kõrgele (> 70 °C) või kui CO₂ sisaldus oli suur (CO₂ > 10%, segati 24h jooksul; CO₂ > 16%, segati koheselt). Liiga kõrge temperatuur või liiga suur CO₂ sisaldus aunas tekitab kompostimiseks vajalikele mikroobidele ebasobiva elukeskkonna ning hakkab seetõttu kompostimise protsessi pidurdama.

Eesti Maaülikooli poolt paigaldati igasse auna kolm temperatuuriandurit, mille lugemid oli võimalik jälgida reaalajas. Gaase mõõdeti käsitsi portatiivse gaasianalüsaatoriga GA5000 (Geotechnical Instruments, UK) orienteeruvalt kümne päeva tagant.

Kõikides aunades täideti Euroopa Liidu Komisjoni määruse nr 142/2011 nõuet terviseohutuse kohta, mille järgi peab loomsete jäätmete käitlemisel tõusma temperatuur vähemalt üheks tunniks < 70 °C [10].

Lisaks temperatuurile ja CO₂ sisaldusele määrati ka komposti veevajadust. Selleks kasutati “käemeetodit”, mille käigus võetakse aunast peotäis komposti ja pigistatakse seda. Kui vesi tilgub sõrmede vahelt, on aun liiga märg. Kui kompost hästi kokku ei jää, on aun liiga kuiv ning tuleb vett lisada.

2.2.3. Kompostide koostis ja aunade valmistamine

Aunade kompostisegud olid erineva koostise, struktuuri ja eeltöötlemise tasemega (tabel 6). Ühise joonena kasutati kõikides aunades Võrtsjärvest mõrrapüügil saadud väheväärtuslikku peenkala (joonis 46) ja tugiainena põhku, kuid nende vahekord oli kompostides erinev. Kaluritel toodi peenkala auna koostamise või sellele eelneval päeval. Kasutati 2017. aastal rulli pressitud kuiva põhku. Katsetes, mis viidi läbi perioodil kevad – sügis 2018, kasutati eeltöötlemata põhku; 2019. aastal tehtud katses põhk eelnevalt purustati (joonis 46). Täpsemad andmed aunade eripärade kohta on toodud tabelis 6 ning sisendite kogused on toodud lisas 1.



Joonis 46. Alates vasakult kompostis kasutatud peenkala; 2018. aasta kompostis kasutatud purustamata põhk ja 2019. aasta kompostis kasutatud eelnevalt purustatud põhk.

Kuna esimese auna valmistamisel lendasid kalad kompostipöörlika segades aunast välja, kasutati edaspidi lähtematerjalide segamiseks kohalikust farmist laenatud söödamikserit BVL van Lengerich V-Mix 13 2S plus (joonis 47). Söödamikser lagundas osaliselt kala ning muutis komposti homogeensemaks, mistõttu segati ka ülejäänud kompostid kokku söödamikseriga.



Joonis 47. Segamiseks kasutatud söödamikser BVL van Lengerich V-Mix 13 2S plus.

Kõik valminud kompostid hoiustati üle talve Matogard OÜ poolt ja pakendati. Kompostist 1,5 tonni pakendati 20 liitristesse pakenditesse ning ülejäänud kompost pandi BigBag kottidesse mahuga 1 m³. Pakendatud kompost transportiti Polli Aiandusuuringute keskusesse, kus valmis toodanguga tehakse taimkatseid. 2019. aasta kompostist pakendati 1000 liitrit 10 liitristesse pakenditesse ja ülejäänud Big Bag kottidesse (joonis 48).



Joonis 48. Pakendatud komposti transport Polli Aiandusuuringute keskusesse.

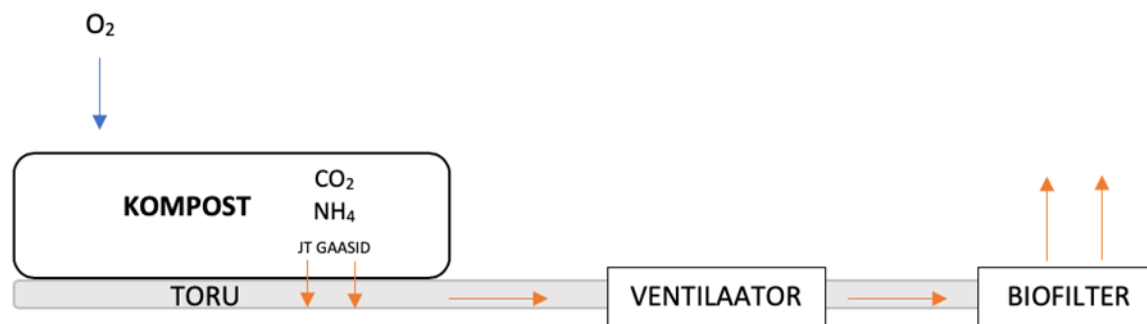
Tabel 6. Aunade koostamise sisendid ja tehnoloogia.

Kompostitähis	Algus	Kompostimise periood (päevi)	Sisendid	Tehnoloogia	Biofilter	Tehnoloogia märkused
A1	22.05.2018	140	Purustamata kala ja põhk	1 Põhk rulliti pinnale 2 Peale laotati kala 3 Segamine kompostipöörliiga	–	1 Segamiseks vaja muud lahendust, kala lendas inertsiga aunast välja 2 Põhk on liiga kuiv, vaja kohe alguses vett lisada 3 Tekkis tugev haisuprobleem, mille tõttu kaeti aun kaheks nädalaks turbamullaga
A2	06.09.2018	70	Purustamata kala, põhk, vesi	1 Sisendmaterjalid segati söödamikseriga 2 Kuna põhk on kuiv, lisati kohe alguses vett 3 Haisuprobleemi lahendamiseks ehitati biofilter	✓	1 Söödamikser purustas kala osaliselt, muutis kompostisegu ühtlasemaks 2 Sisendmaterjalid olid ühtlasemalt segatud 3 Aun käivitus ilusti, kuid temperatuurid kõikusid terve protsessi vältel. Miski pärsib mikroobide elutegevust?
A3	28.09.2018	50	Purustamata kala, põhk, vesi, turvas, A1 kalakompost, sõnnikukompost	1 Sisendmaterjalid segati söödamikseriga 2 Kompostimist soodustavate mikroobide lisamiseks ja kompostisegu homogeniseerimiseks lisati valmis komposti ja turvast	✓	1 Kompostimise protsess käivitus ilusti, suuri temperatuuride kõikumisi ei esinenud nagu A2 puhul

A4	04.06. 2019	135	Kala, purustatud põhk, muda, vesi	1 Savimineraalide lisamiseks kasutati Võrtsjärve muda 2 Kuna A1, A2 ja A3 kompostid olid põhused, purustati põhk eelnevalt	✓	1 Kompostimise protsess käivitus ilusti 2 Temperatuurid püsisid 70 kraadi ringi ebaharilikult kaua, kuni 1,5 kuud
A5	04.06. 2019	135	Kala, põhk, muda, valmis kalakompos t, vesi	1 Savimineraalide lisamiseks kasutati Võrtsjärve muda 2 Kuna A1, A2 ja A3 kompostid olid põhused, purustati põhk eelnevalt 3 Kompostimist soodustavate mikroobide lisamiseks segati kompostisegule juurde valmis komposti	✓	1 Kompostimise protsess käivitus ilusti 2 Temperatuurid püsisid 70 kraadi ringi ebaharilikult kaua, kuni 1,5 kuud 3 Võrreldes A4 aunaga, kuhu valmis komposti ei lisatud, väga suuri erinevusi (temperatuuride vahesid) kompostiprotsessis ei esinenud

2.2.4. Biofilter

Esimese auna koostamisega selgus, et kala kompostimisega kaasneb tugev haisuprobleem. Selle vältimiseks ehitati teise auna koostamise ajaks biofilter (joonis 49). Biofiltri ehitamiseks kasutati 1 m³ suurust konteinerit, mis täideti 4 osa hakkepuidu, 1 osa aktiivsüsi ja 1 osa valmis hobusesõnnikukompostiga.



Joonis 49. Biofiltri tööskeem.

Auna põhja asetati 75 mm läbimõõduga toru, kuhu puuriti akutrelliga 2 rida 10 cm vahedega auke ($d = 5\text{mm}$) (joonis 50). Aereerimiseks kasutati negatiivset ventilatsiooni e. aunast olev õhk imeti välja. Tänu tekkivale alarõhule sisenes hapnik kompostivaalu välispinnalt komposteeritavasse materjali.



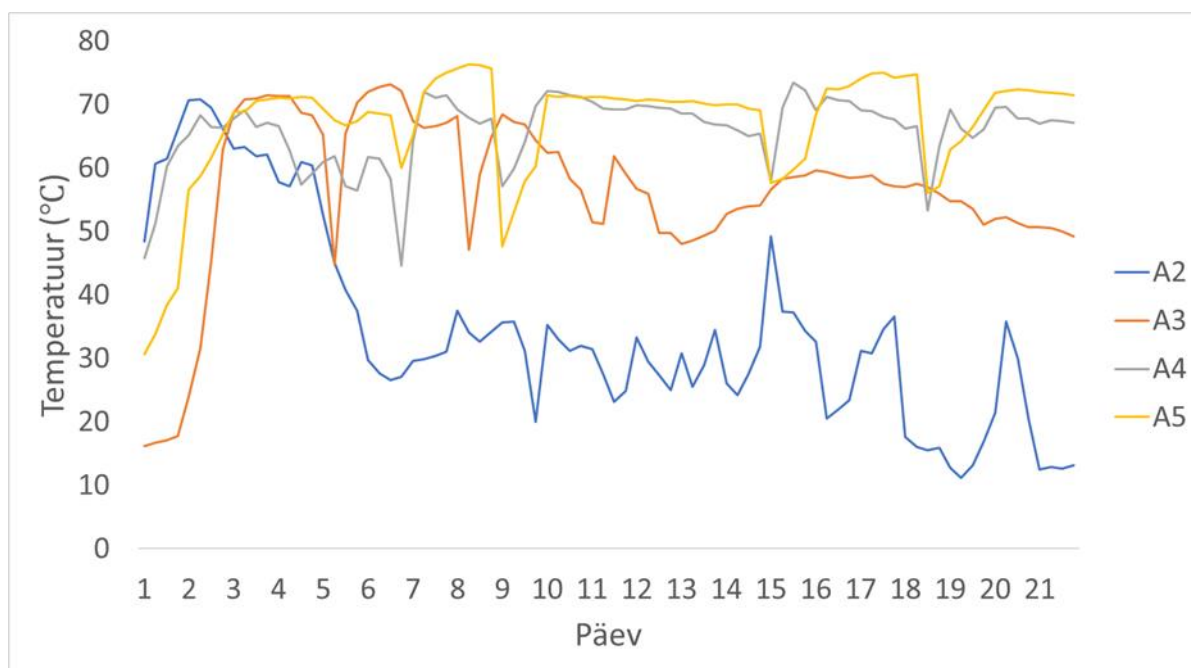
Joonis 50. Vasakul auna põhja asetatud toru ja paremal biofilter koos katte all oleva kompostiaunaga.

Biofiltrit kasutati esimest korda teise auna puhul. Tehnilistel põhjustel käivitati see ca 18h peale auna formeerimist. Selleks ajaks oli hais 5 palli skaalal 3 palli. Ventilaatori käivitades langes hais 1 pallini. Biofilter käivitati algselt automaatselt igal paaristunnil 15 minutiks. Kuna tundus, et see jahutab auna liialt maha, käivitati ventilaator edaspidi kaks korda päevas 15 minutiks. Lisaks sellele, et ventilaator koos biofiltriga aitas eemaldada haisuprobleemi, aitas see ka õhutada auna

hapnikuga ning segamisvajadus puudus. Viiendal päeval lülitati ventilaator välja, kuna CO₂ sisaldus aunas oli < 4% ning haisu enam ei olnud. Sellest järeldati, et biofilter töötab ja elimineerib haisuprobleemi. Sama biofiltrit kasutati edaspidi kõikide aunade puhul kaks korda päevas 15 minutit.

2.2.5. Kompostimise protsess

Kompostisisesid temperatuure mõõdeti A2 – A5 aunadest automaatsete K-tüüpi loggeritega (joonis 51). Vaid esimese auna A1 kohta puuduvad terve kompostimise protsessi hõlmavad temperatuuriandmed. Kõikide aunade puhul saavutati EU direktiiviga nr 142/2011 nõue, et kompostisise temperatuur peab vähemalt 1 h olema > 70 °C [10].



Joonis 51. Erinevate kompostikatsete temperatuuriandmed.

Teise auna puhul (A2) käivitus kompostimise protsess ilusti, kuid viiendal päeval hakkas temperatuur langema ja kõikus edaspidi kogu kompostimise vältel. Aeg-ajalt langes temperatuur isegi alla 20 °C, mis ei ole kompostimise jaoks optimaalne, kuid tõusis seejärel jälle ca 30 – 40 °C-ni. Viieteistkümnendal päeval tõusis temperatuur korraks ka 60 °C-ni (joonis 51). Temperatuuri kõikumist võib seletada välistemperatuuri muutustega. Kui välistemperatuur langes, jahutas see ka kompostisegu ning mõne aja möödudes hakkas ka kompostisise temperatuur langema. Kuna Matogard OÜ-l ei ole sõnniku kompostimisel välistemperatuur kompostiauna temperatuuri mõjutanud, tõdeti teise variandina, et kala kompostimaterjali lagunemise käigus tekkis ühend, mis

hakkas kompostimiseks vajalike mikroobide tegevust pärssima. Antud väite kinnitamine vajaks lisakatset.

Kuna teise auna puhul tundus, et miski pärssib mikroobide elutegevust, sai kolmandasse auna (A3) lisaks kalale ja põhule lisatud turvast ja vanemat komposti. Eesmärgiks oli lisada kompostimise protsesse käivitavaid mikroobe. Kompostisegu ja auna koostamisel lisati koheselt vajaliku koguse vee. Hiljem komposteerimise ajal vett juurde ei lisatud, kuna „käemeetodil“ tundus, et niiskusesisaldus on piisav.

Kompostile starterina lisatud valmis kompost aitas käivitada kompostimise protsessid ning temperatuur oli ilus ja ühtlane. Juba kolmandal päeval saavutati hügieniseerimiseks vajalik 70 °C nõue. Temperatuurid olid kompostiprotsessi jaoks optimaalsed, jäädes ca 40 – 65 °C piiresse ning orgaaniline aine lagunes 23-ndaks päevaks.

Kuigi hankes ei olnud neljandat kompostikatset ettenähtud, otsustati proovida peenkala kompostimist kasutades savirikkamat muda, mis pärines Võrtsjärve luhalt. 04.06.2019 pandi käima 2 kompostiauna, millest mõlemad sisaldasid savikat muda. Kuna eelmiste katsete puhul oli näha, et põhukõrs ei lagune kompostimise aktiivsel perioodil (2 – 3 kuud) täielikult ära, otsustati seekord põhk purustada. Lisaks mudale aitas ka purustatud põhk muuta kompostisegu homogensemaks, mis tekitas kompostimisprotsessi jaoks sobivamad tingimused. Kuna kolmanda katsega selgus, et valmis komposti lisamine uue auna koostamisel on kompostimisprotsessi soodustav, lisati viiendasse auna (A5) lisaks mudale ka valmis kalakomposti. Mõlemas aunad tõusid temperatuurid koheselt nõutud 70 °C juurde ja jäid mitmeks nädalaks väga kõrgele. Komposti segati mitmeid kordi, et auna jahutada, isegi kui CO₂ sisaldus aunas ei olnud pärssiv. 2018. a sügisel valmistatud teises kompostiaunas (A2) käisid temperatuurid üles-alla, tekkis kahtlus, et kompostimise protsessi käigus tekib mingi mikroorganismide elutegevust pärssiv ühend, mis protsessi pidurdab. Sellest võib eeldada, et Võrtsjärve muda muutis kompostisegu homogensemaks ning lisas kompostimist soodustavat mikrobioloogiat, tekitades kompostimise protsessiks paremad tingimused. Võimalik, et muda aitas ka ära siduda ühendid, mis muidu oleksid mikroobide elutegevust ja kompostimise protsesse pidurdanud. Selle väite kinnitamine vajaks eraldi uurimist.

2.2.6. Kompostide keemiline koostis ja lõhnahinnang

Igast aunast koguti analüüside jaoks kompostiproove. Proovid võeti kolmest erinevast kohast ca 20 – 30 cm sügavuselt auna seest. Esimese analüüsi tellis Matogard OÜ Põllumajandusuuringute keskusest, et määrata C/N suhet. Hilisemad keemilised analüüsid, kuivaine sisalduse ja C/N suhte määramised tehti Eesti Maaülikooli laboris. C% ja N% leitakse kuivainesisalduse kohta ning selle alusel arvutatakse C/N suhe.

Kalakompost on väga toitainerikas sisaldades palju liikuvat ja taimedele kättesaadavat fosforit (P) ja lämmastikku (N). Kalakompostis on ka väga palju süsinikku (C), mis on oluline mullatervise seisukohast.





Kõige rohkem liikuvat P sisaldasid Võrtsjärvest pärit mudaga tehtud kalakompostid A4 (9,19 gP/kg) ja A5 (8,02 gP/kg). Kõige vähem liikuvat P sisaldas A3 kompost (4,88 gP/kg) (tabel 7).


Valmis kompostidel puudus kalale iseloomulik või roiskumist meenutav lõhn. Hoomatav on märja mulla või teiste kvaliteetselt lagunenu kompostide lõhn (tabel 8).

Tabel 7. Kompostide toiteelementide sisaldused (A1-A3 2018. a kompost; A4 ja A5 2019. a kompost).

	Koostis, %	P	K	Ca	Mg	N	C	Kuivaine	Kuumutuskadu
		Al meth. mg/100g					%		
A1	Kala (80), Põhk (20)	638,5	790,5	4471,0	703,3	2,43	30,22	53,8	75,4
A2	Kala (35), põhk (28), vesi (38)	592,7	1329,2	4625,6	664,0	2,75	33,04	47,94	85,78
A3	Kala (15), Põhk (15), Vesi (32), turvas (15), sõnnikukompost (14), kalakompost (A1) 9	488,2	1675,6	3166,3	680,5	2,73	35,66	34,79	87,05
A4	Kala (25), põhk (32), vesi (32), muda (10)	918,7 3	1030,8 0	2927,2 9	300,6 8	2,74	27,64	60,76	
A5	Kala (23), põhk (32), vesi (30), valmis kalakompost (11), muda (4)	801,9 4	668,29	2680,4 4	290,8 1	2,77	27,92	51,61	

Tabel 8. Valmis kompostide lõhna ja välimuse hinnang. Lõhna puhul 1 pall on lõhnatu tulemus ja 5 on tugeva lõhnaga. (A1-A3 2018. a kompost; A4 ja A5 2019. a kompost).

	Koostis	Välimus	Lõhn	Valmis kompost
	%	Visuaalne hinnang	1–5 palli	
A1	Kala (80), Põhk (20)	Põhk ei ole veel täielikult lagunenud, terved kõrred on komposti sees. Huumuse osa on vähe.	1	
A2	Kala (35), põhk (28), vesi (38)	Kompost on homogensem, kuid jällegi põhukõrred ei ole täielikult lagunenud. Kõige põhusem.	1	
A3	Kala (15), Põhk (15), Vesi (32), turvas (15), sõnnikukompost (14), kalakompost (A1) (9)	Kõige ühtlasem kompost. Ilusa tumeda värviga, sisaldab põhukõrsi, kuid tunduvat vähem kui esimesed kaks komposti. Antud partiidest kõige parem.	1	
A4	Kala (25), põhk (32), vesi (32), muda (10)	Ilusa tumeda värviga, sisaldab põhukõrsi. Veidi põhusem kui A5 kompost.	1	

A5	Kala (23), põhk (32), vesi (30), valmis kalakompost (11), muda (4)	Ilusa tumeda värviga, sisaldab põhukõrsi, kuid tunduvalt vähem kui esimesed kaks komposti. Välimuselt pigem sarnane A3 kompostiga.	1	
----	--	--	---	---

2.2.6.1. Fosfori esinemisvormid kalakompostis

Aunkompostimisel saadud kalakomposti (materjali aunadest nr. 1, 2 ja 3) analüüsi Eesti Maaülikooli Kalanduse ja Hüdrobioloogia õppetooli keemialaboris ka fosfori erinevate esinemisvormide osas. Fosfori järjestikuse ekstraheerimise teel erinevate lahustega - neutraalse soolalahusega, redutseeriva lahusega, aluselise ning happelise lahusega - on võimalik eristada, kas fosfor esineb liikuv (lahustunud ja nõrgalt adsorbeerunud fosfaat) ehk taimedele kättesaadavas vormis või hoopis tahketes ühendites: seotult redokstundlike metallidega (raud, mangaan), seotult mitte-redokstundlike metallidega (alumiinium), orgaanilise fosforina, kaltsiumiühenditesse seotult [35]. Ka mõnedest tahketest ühenditest võib fosfor sobivates tingimustes osaliselt vabaneda taimedele kättesaadavasse vormi, näiteks ühenditest, kus fosfor on seotud rauaga (anaeroobsesse keskkonda sattumisel) või orgaanilise ainega (orgaanilise aine mineraliseerumisel). Samas ei pruugi anaeroobne keskkond (mis võib tekkida näiteks mullapooride täitumisel veega üleujutuste ajal) sobida kasvatatavatele taimedele, mistõttu ikkagi on raskendatud rauaga seotud fosfori kasutamine taimekasvaks.

Kalakomposti puhul ilmnes, et liikuva, taimedele kättesaadava fosfori osakaal kalakompostis oli väga suur - keskmiselt 7,4 g P/kg KA (KA= kuivaine), selle fosforifraktsiooni osakaal oli suurem kui ülejäänud fraktsioonide osakaal kokku (keskmiselt 4,8 g P/kg KA). Määratud fosforifraktsioonide summa kokku moodustas kalakompostis seega 12,2 g P/kg KA, kuid tuleb silmas pidada, et üldine fosforisisaldus on tõenäoliselt veelgi kõrgem, kuna antud ekstraheerimismeetodiga jääb määramata eriti raskesti ekstraheeritav fosfori osakaal (taimekasvu seisukohast pole see antud uurimuses oluline fraktsioon). Selline fosforivormide jaotus, kus kompostis valdav osa fosforist on taimedele kättesaadavas vormis, on väga sarnane sõnnikukomposti omadustele (antud analüüsis kasutati võrdluseks hobusõnnikukomposti), erineb aga näiteks reoveesetekompostist, milles küll üldine fosforisisaldus võib olla oluliselt (isegi mitu korda) kõrgem kui kalakompostis või sõnnikukompostis, kuid see on ülekaalukalt seotud taimedele kättesaamatusse vormi (enamasti raua- või alumiiniumiühenditesse, kuna raua- ja/või alumiiniumiühendeid kasutatakse reoveepuhastites fosfori sidumiseks vähendamaks reoveepuhastist väljuva vee fosforisisaldust).

Analüüsis võrdluseks kasutatud reoveesettekompsti liikuva fosfori kontsentratsioon moodustas vaid 12% kalakompostis sisalduvast liikuva fosfori kontsentratsioonist samas kui reoveekomposti st määratud kõigi fosforifraktsioonide summa oli ligi 1,5 korda kõrgem kui kalakompostis. Kalakomposti omapäraks võrreldes nii reoveekompostiga kui ka sõnnikukompostiga on kaltsiumiga seotud fosfori suhteliselt suur osakaal, tõenäoliselt kalaluudes sisalduva (hüdroksü)apatiidi tõttu. See fosforifraktsioon pole küll koheselt liikuv, lahustunud vormis, kuid võib osutada taimedele kasvusubstraadist kättesaadavaks taimede happeliste juure-eritiste vahendusel. Kaltsiumiga seotud fosforivormi kõrgem kontsentratsioon andis kokkuvõttes kalakompostikohta ligikaudu 1,5 korda kõrgema summaarse fosforifraktsioonide kontsentratsiooni kui sõnnikukompostis. Kalakomposti fosforivormide jaotuse detailsem ülevaade on valmimas Marge Lanno poolt koostatavas teadusartiklis.

2.2.7. Tulemused ja soovitus

Katsete käigus selgus, et kala kompostimine on võimalik, kuid arvestada tuleb haisuprobleemiga. Õnneks aitab seda edukalt elimineerida biofilter. Teise auna koostamise puhul selgus, et purustatud ja homogeenselt segatud kompost käivitub väga hästi, kuid kolmanda auna formeerimine näitas, et heaks protsessi kulgemiseks on vajalik lisada ka nõ “starterit”, milleks sobib juba valmis kompost. See lisab värskelt formeeritud auna mikroobe, mis on aluseks edukaks kompostimiseks. Neljas lisakatse, mis osutus kõige edukamaks, näitas, et põhu purustamine, savirikka muda lisamine komposti aitab samuti muuta komposti homogeensemaks, lisades erinevaid fraktsioone. Lisaks on võimalik, et muda aitab siduda ühendid, mis muidu oleksid mikroobide elutegevust ja kompostimise protsesse pidurdanud, kuid selle väite kinnitamine vajaks eraldi uurimist.

Kõikides aunades täideti Euroopa Liidu Komisjoni määruse nr 142/2011 nõuet terviseohutuse kohta, mille järgi peab loomsete jäätmete käitlemisel tõusma temperatuur vähemalt üheks tunniks $< 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ [10].

2.2.7.1. Tehnoloogilised soovitus

Nõuded:

1. Kompostimiseks sobilik plats Komisjoni määruse (EL) nr 142/2011 tähenduses - kompostida võib kõva kattega platsil, kus on võimalik koguda nõrgvett, vältimaks pinnase ja põhjavee reostumist [10].
2. Euroopa Liidu Komisjoni määruse nr 142/2011 nõue terviseohutuse kohta, mille järgi peab loomsete jäätmete käitlemisel tõusma temperatuur vähemalt üheks tunniks $< 70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vajalik patogeensete bakterite ja umbrohuseemnete hukkumiseks [10].

Auna valmistamine:

3. Kalakomposti on soovitatav läbi viia välitingimustes.
4. Moodustatud auna kõrgus võiks olla 1 – 1,5 m ja laius 2 – 2,5 m, pikkus vähemalt 4 m.
5. Kala võib komposti lisada tervena, kuid soovitatavalt kompostisegu valmistamiseks kasutada söödamikserit, mis kala ka osaliselt purustab.
6. Tugiainena soovitatavalt kasutada põhku, mille võiks eelnevalt purustada. Veidi lagunenuid kala ja purustatud põhk aitavad muuta kompostisegu homogensemaks ning kompostimise protsess käivitub paremini.
7. Kompostimiseks optimaalne C/N vahekord on 30:1. Seda saab reguleerida segades omavahel kompostitavaid aineid. Põhu C/N oli katses 62,5 ja kalal 4,1. Komposti lähtematerjale soovitage segada massi alusel.
8. Mikrobioloogia suurendamiseks soovitatavalt lisada juba valmis komposti (näiteks valmis kalakompost eelmisest aunast) või savirikast muda (võimalusel lisada ka mineraalset mulda). Kokku võiks lisada ca 10% kogu massist.
9. Vett soovitatavalt lisada kohe komposti kokku segamise käigus. Vee kogus sõltub segatava tugiaine niiskusest. Soovitus on antud kuiva põhu kasutamise korral. Oluline, et niiskuse sisaldus oleks 40 – 60%. Kuiva põhu puhul lisati vett ca 30% kogu massist.
10. Valmis auna soovitatavalt katta spetsiaalse hingava komposti kattega, mis kaitseb komposti loomade ja väliste tegurite (vihma korral liigniiskus ja päikse korral pealmise kihi kuivamine).

Seire:

11. Kvaliteetse komposti saamiseks tuleks esimestel päevadel seirata aunasid 2x päevas. Mõõta tuleks CO₂ sisaldust aunas ja temperatuuri. Kui CO₂ sisaldus aunas on > 16 %, tuleks auna koheselt segada või ventileerida. Liiga suur CO₂ sisaldus näitab, et aunas ei ole enam mikroobide elutegevuseks piisavalt O₂, mis on pärssiv kompostimise protsessile.
12. Segamiseks oleks parim spetsiaalne kompostipöörel, mis segab aunasid ühtlaselt läbi. Kompostipöörlil puudumisel võib kasutada ka traktori koppa, mis ei anna küll nii head tulemust.

Kompostimise aktiivne periood oli 21 päeva, peale mida hakkas temperatuur aunas langema. See näitab, et aktiivne lagunemine on lõppenud. Pärast seda tuleb kompost jätta mõneks kuuks järelvalmima.

2.3. Kala kompostimine väikereaktoris

Korrage käitlemist vajava peenkala hulk on prognoosimatu – neid võidakse kompostimisse suunata sadu kilogramme, aga ka kõigest mõni üksik kala. Kala tuleb käidelda kohe, sest see hakkab kiiresti roiskuma. Seega tuleb välja pakkuda eraldi käitlusviisid nii suure hulga kui ka väga väikese kalakoguse jaoks. Lahtises kompostihunnikus või lihtsas kompostihoidlas võtab kala komposteerumine kaua aega ning kala on loomadele, lindudele ja putukatele kättesaadav. Ohutum oleks käidelda peenkala kinnises reaktoris.

Eestis on välja arendatud ka selliseid väikeseid kompostireaktoreid, milles on loodud komposti valmimiseks optimaalsed tingimused ning kompost valmib kiiresti. Käesolevas töös katsetati WasteFox reaktoreid, mis on loodud spetsiaalselt toidujäätmete käitlemiseks. Need on trummel-tüüpi reaktorid, kus komposti tõhus läbisegamine saavutatakse trumli keerutamisega ümber horisontaaltelje. Reaktorid on soojustatud (50 mm), köetavad ning protsesse kiirendatakse lisaiinetega. Kuna toidujäätmed on pigem liiga niisked ja liialt lämmastikurikkad, siis soovitab tootja jäätmetele aeg-ajalt lisada tolmjat, väga kuiva ja süsinikurikast tugiainet. See kannab nimetust 'Terra' kompostipulber. Pulber on valmistatud adrust, puulehtedest ja saepurust. Lisaks soovitatakse lisada kompostile vedelikku 'Festinate', mis kiirendab komposteerumist. Sama tüüpi reaktoreid on toidujäätmete käitlemisel kasutatud ka varem, näiteks 2019. aastal jagati neid Roheringi pilootprojekti kaudu Tallinnas 150-le eramule. Kalajäätmete kompostimiseks neid varem kasutatud ei ole.

Töö eesmärgiks oli kontrollida, kas peenkala on võimalik kompostida kodutingimustes kinnises pisireaktoris.

2.3.1. Metoodika

Kompostimine viidi läbi EMU Maaehituse ja veekaitse õppetooli juures. Katseks võeti külmutatud kujul purustatud peenkalamass (joonis 52), millel lasti välistemperatuuril sulada ning jagati seejärel reaktorite vahel võrdselt. Katse tehti kolme reaktoriga ning kõikide kompostisegude koostis erines. Kõik materjalid kaaluti.



Joonis 52. Sulatatud purustatud kalamass.

Tugiaineks võeti heinast valmistatud hästi vett imavad pelletid, reaktori tootja poolt pakutav pulbriline kuivatatud kompostipulber 'Terra' ning mõlema segu (joonis 53). Valmis komplekteeritud kompostisegudele lisati reaktori tootja pakutavat inokulanti 'Festinate' või järvemuda. Segude koostis on toodud tabelis 9.



Joonis 53. Tugimaterjal: heinapelletid ning pelletite ja pulbri 'Terra' segu.

Tabel 9. Kompostisegud, kg.

Katse alguses lisatud		Reaktor A	Reaktor B	Reaktor C
Peenkala	peenestatud, külmutatud	5,82	5,75	5,80
Heinapelletid	pelletitena	-	2,05	1,02
Kompostipulber 'Terra'	pulbriline	2,75	-	1,72
Inokulant 'Festinate'	kontsentreeritud vedelik	0,10	-	0,10
Inokulant järvemuda	muda kohalikust tiigist	-	1,60	-
Vesi		7,45	6,00	10,68
	Kokku katse alguses	16,12	15,40	19,32
Katse jooksul lisatud				
Heinapelletid		-	0,50	0,15
Kompostipulber 'Terra'		0,50	-	0,35
Inokulant 'Festinate'		0,1	-	0,1
Katse jooksul eemaldatud				
Vesi	välja nõrutatud vesi	1,10	2,02	2,90

Enne katse algust segati väike kogus heinapelleteid ning 'Terra' pulbrit veega ning lasti märguda ja paisuda. Nii saadi teada mõlema tugiaine niisutamiseks vaja mineva vee hinnanguline kogus. Kompostisegude tegemisel jagati purustatud kalamass kolmeks, segudele lisati vastavalt 'Terra' pulber, pelletid või mõlema segu ning vesi. Lõpuks lisati segude hulka inokulandid. Saadud kompostimassid segati hästi läbi ja pandi reaktoritesse (joonis 54). Katse algas 3. juulil 2020 ja kestis 30 päeva. Varasematest katsetest on teada, et 30 päeva jooksul jõuab kompostisegu stabiliseeruda. Reaktoreid hoiti õues varju all.



Joonis 54. Kompostisegud: a) peenkala ja pulbri 'Terra' segu, b) peenkala ja heinapelletite segu, c) peenkala, pulbri 'Terra' ja heinapelletite segu.

Temperatuuri mõõdeti kaks korda päevas ning tulemused kanti logiraamatusse. Liigvee eemaldamise või vee lisamise, kütmise või täiendava õhustamise üle otsustati kohapeal olenevalt kompostimise kulgemisest. Reaktoreid keerutati üks kuni kolm korda päevas, 5 tiiru iga kord. Segamisvajaduse üle otsustati selle põhjal, kas kompost moodustas lõhkumist vajavaid klompe või mitte. Samuti keerutati reaktoreid pärast tugiaine või inokulaadi lisamist ning vastavalt vajadusele temperatuuri ühtlustamiseks.

Kõik reaktorid olid sama küttekehaga, kuid erineva termostaadiga. Küttekeha asus sisemise plastkasti põhja all soojustuse sisse süvitatud kanalis. Kõige soojem koht oli seega reaktori põhi. Reaktori A termostaat oli püsivalt fikseeritud ning temperatuuri reguleerida ei olnud võimalik. Reaktori B termostaat oli mehaaniline, reaktori C termostaat aga elektrooniline ning kasutada sai ka programmikella.

Kuna kompostimine toimus suvisel soojal ajal, mil vajadus välise energiaallika järele on väike, siis enamus ajast olid reaktorite küttekehad sisse lülitamata. Küte lülitati sisse kahel korral: kompostimise algusfaasis, et protsesside algusfaasi kiirendada, ning lõppfaasis, et hügieniseerida valmivat komposti.

2.3.2. Tulemused

Kompostisegud olid visuaalselt väga erinevad (joonis 55). Kalamass segunes tugimaterjaliga, kuid trumlite keerutamise käigus kippus moodustuma klompe, mida oli vaja käsitsi lõhkuda.



Joonis 55. Kompostisegud olid väga erinevad, seitsmes katsepäev.

Esimene ööpäev hoiti trumleid ilma küteta. Hoolimata soodsatest suvistest katseoludest, temperatuur tõusma ei hakanud, mistõttu teisel päeval lülitati küttekehad viieks ööpäevaks sisse (joonis 56). Temperatuur hakkas tõusma neljandal päeval, kuid mitte võrdselt. Kõige soojem oli Reaktor C, kõige jahedam Reaktor A.

Reaktoris A ei saavutatudki temperatuuri tõusu esimese 17 päeva jooksul. See viitab ebaõigele kompostisegu koostisele (kala/tugiaine, C/N), struktuurile (liiga tihke) või kompostimisoludele (liiga vähe õhku, liiga niiske).

Reaktor B käitus peale kütma hakkamist ootuspäraselt ning temperatuur tõusis 45 °C-ni. Kahjuks ei jäänud temperatuur pärast kütmise lõpetamist püsima, mis viitab samuti ebaõigele koostisele.

Reaktoris C saavutati kütmise abil kiiresti temperatuur 57 °C ning pärast kütmise lõpetamist jätkas see tõusu ka järgmisel päeval. See näitab, et loomulik kompostimisprotsess oli käivitunud. Kahjuks temperatuur ei jäänud püsima. See näitab väliste tegurite (jahedam keskkond, öised temperatuurid 10 °C ringis) mõju. Pärast uuesti kütma hakkamist taastus temperatuur ning jätkas kerkimist veel üheks päevaks ka pärast järjekordset kütmise lõpetamist. See näitab, et komposti koostis oli soodsaim, kuid kuna temperatuur langes kiiresti teistega samale tasemele, viitab see häiringule kompostisegu koostises.

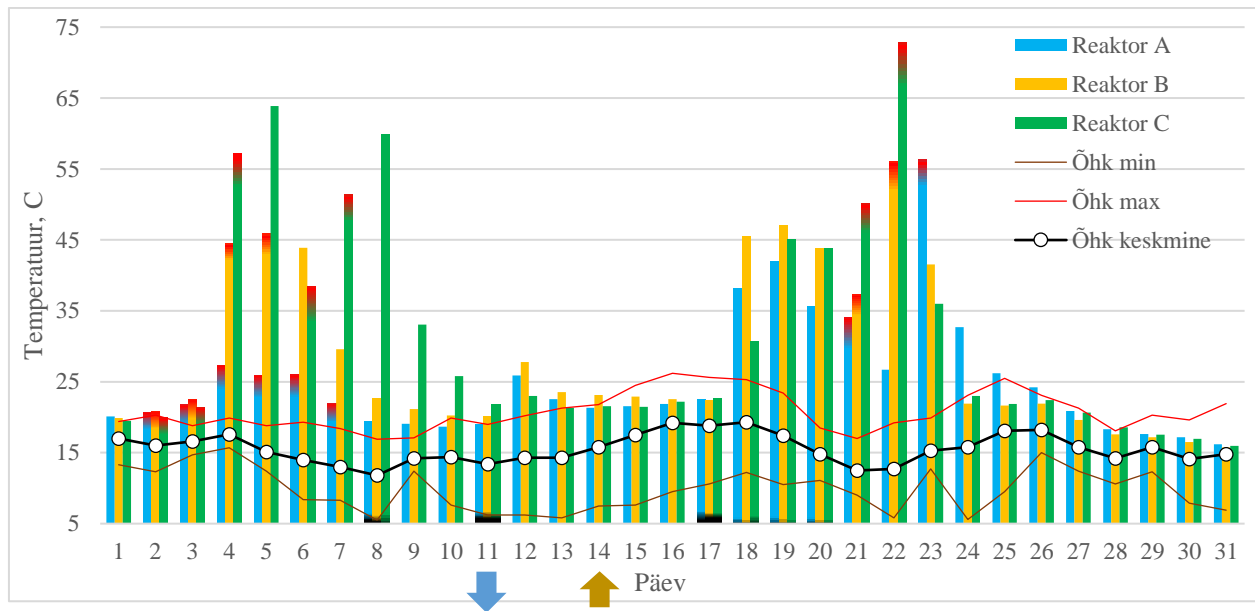
Katse teisel nädalal ilmnes, et kasti põhja oli hakanud vaba vett kogunema. Kuna reaktorid on tavaasendis suletud ja õhuavad väga väikesed, siis liigniiskus ei vähenenud isegi reaktori soojendamise korral. Vaba vesi tekkis kahel põhjusel. Esiteks ei olnud teada kala purustamiseks kasutatud vee hulk, mistõttu algsegu valmistamisel said segud veidi liiga niisked. Teiseks hakkas vabanema rakkudes olnud vesi. Liigvesi nõrutati kõigist reaktoritest välja 11-ndal päeval (joonis 57, tabel 9). Kolm päeva hiljem lisati kõikidesse reaktoritesse 0,5 kg kuiva tugiainet.

Reaktorite reaktsioon oli nendele korrektiivsetele tegevustele loid, hoolimata ka veidi kerkivatele välistemperatuuridele. Reaktorid olid üldjuhul suletud, st isoleeritud väliskeskkonnast. See tekitas olukorra, kus mõnel päeval jäi reaktori temperatuur madalamaks ka õhutemperatuurist.

Kaanes olevad kaks õhuava peaksid tagama hapniku juurdevoolu, aga avad on väikesed ja kippusid peene tugimaterjali tõttu ummistuma. Samas täheldati reaktorite vabas õhus nõrutamisele järgneval päeval temperatuuri tõusu kõigis reaktorites. Seda seostati piisava õhustamisega. Seda enam, et järgneval viiel päeval (päevad 13-17), mil reaktorid taas suletud olid, püsis temperatuur muutumatuna. Kui nüüd reaktorite kaaned õhustuse jaoks avati (päevad 17-20), siis järgnes oluline temperatuuritõus. See oli niiskuse korrigeerimise ja õhustuse suurendamise tulemus.

Avatud reaktorid meelitavad juurde kärbeid ja muid putukaid, kelle vastsed ilmusid reaktoritesse 17. päevaks. Vaklade hävitamiseks lülitati küte sisse 21. päeval.

Kui küte 22.-23. päeval välja lülitati, hakkas temperatuur kõikides reaktorites järk-järgult vähenema. 31. päevaks oli segude temperatuur ligikaudu võrdne välistemperatuuriga. Katse lõpetati.



Joonis 56. Temperatuur katse käigus. Punasega on märgitud päevad, kui reaktorit köeti elektriga; mustaga on märgitud päevad, mil reaktorite kaaned olid avatud lisaõhustuse saavutamiseks; 11. päeval nõrutati reaktoritest välja liigvesi; 14. päeval lisati reaktoritesse tugiainet.



Joonis 57. Kompostisegudest välja nõrutatud liigvesi.

Katse käigus lendus ammoniaaki ning roiskuva kala hais oli küllaltki suur. See viitab vajadusele optimeerida kompostimist (eriti esimestel päevadel), tagada tõhus hapnikuvarustus, segada komposti ning koguda ja puhastada lagugaasid. Kala roiskumisele iseloomulik hais kadus alles katse lõpufaasis.

2.3.3. Kokkuvõte

Kala kompostimist väikereaktoris ei saa katses kasutatud tehnilise lahenduse korral soovitada järgmistel põhjustel:

Võrreldes biolagunevate jäätmete kompostimisega ei ole kala kompostimine sugugi lihtne, sest kala läheb kiiresti haisema. Võib arvata, et paljude jaoks on kala hais vastuvõetamatu, seda eriti kodustes tingimustes ning piiratud õhuvahetusega keskkonnas (sh garaažis või kuuris). Kompostimisel tekkinud lagugaasid tuleb seega kindlasti koguda ja puhastada või kui reaktor asus ruumis, siis vähemalt ruumist välja ventileerida. Gaaside/haisu puhastamine haisubiofiltris ei ole väikereaktorite puhul aga võimalik ning see oleks kasutajale liialt keerukas.

Liiga väike reaktor ei täida ootusi, sest kompost valmib siiski liiga kaua. Reaktor saab kiiresti täis, samas kui kala juurde toomise rütm ja kala lagundamise rütm ei pruugi kokku sobida. Kui kast on liiga väike ja konteiner on üle poole täis, siis keerutamisel ei segune materjal kuigi hästi. Reaktorite sisemisel mahutil peaks olema märgitud maksimaalse täituvuse joon. See vähendaks ohtu, et tarbija reaktori liiga täis paneb. Liigselt täidetud reaktoris ei segune kompostimass keerutamise ajal läbi vaid seisab paigal. Niiske mass kipub seinte külge kinni jääma, osutades vajadusele segamislabade järele. Reaktorites kipub tekkima klompe, mida tuleks käsitsi lõhkuda. Jäme tugimaterjal, nt hakkpuut, võimaldaks massil paremini seguneda, aga see raiskaks reaktori ruumi. Reaktori keerutamine üldiselt siiski töötas. Teatud juhtudel on vaja reaktorite õõtsumist pidurdada või reaktor lukustada. Seda on kindlasti vaja kaante lahti ja kinni panemise ajaks.

Kala kompostimine ainult ühte liiki tugimaterjali kasutades on küsitav. WasteFoxi originaalne pulber 'Terra' imas tugimaterjalina küll hästi vett, kuid ei andnud struktuuri ning kipus ummistama reaktori õhuavasid. Heinagraanulite abil saavutati mõnevõrra poorem struktuur. Mõlemal juhul oli tegu siiski liialt ühekülgse materjaliga. Edaspidi on soovitatav proovida kompostida kala samalaadses reaktoris koos kergesti lagunevate toidujäätmetega või muude biolagunevate jäätmetega. Nii võiks tulemus olla parem.

Katses optimaalset kala ja tugimaterjali vahekorda (toitained C/N, niiskus, poorsus) saavutada ei suudetud. Kala eelnev purustamine on soovitatav, aga segu sügavkülmutamine ja hilisem sulamine muudab kompostimise korraldamist keerukamaks. Kala purustamisel kasutatava vee hulk ei olnud teada ning nagu hiljem selgus, segati algne kompostimass selle arvel liiga veerikas. Segu tegemine ei saa tarbija jaoks liiga keeruline olla! Võibolla käitüks reaktor teisiti värske kala korral.

Kompostimassi soojendamisel tekib veeauru, mis kahjuks kinnisest reaktorist välja ei pääse. Seega oleks vaja algses kompostimassis väga täpselt paika saada niiskus, mis ei ole kahjuks eratarbija juures reaalne.

Kompostimist kiirendavate lisandite andmist tuleks soovitada, sest mikroobikoosluse välja kujunemine suhteliselt steriilses algses kompostisegus võtab muidu liialt kaua aega. Inokulant 'Festinate' tajutavat toimet ei omanud. Soovitatav on lisada kompostimassile kümnekond protsenti valmiskomposti, mis kiirendaks mikroobikoosluse välja kujunemist. Mikroobirikka järvemuda lisamine on varasemalt andnud häid tulemusi, kuid käesolevas katses see mõjule ei pääsenud.

Temperatuur ei tekkinud piisaval määral ning see ei jäänud püsima. Reaktorit oleks olnud vaja kogu aeg soojendada, mis tõstatab küsimuse energia raiskamisest. Oleks vaja kogeda, kuidas reaktorid talvistes oludes vastu kestavad ja sooja hoiavad.

Reaktor A küttekeha ja selle termostaadi fikseeritud asend osutus sisuliselt kasutuks.

Reaktor B küttekeha töötas hästi ja selle termostaat oli lihtne ja kasutajasõbralik. Kasuks tuleks, kui temperatuuri saaks suuremates piirides valida ja ka maksimaalset temperatuuri tõsta, aga katses sellega ei eksperimenteeritud. Soovitatav on lisada termostaat, kus on 2-3 fikseeritud temperatuuri, mida oleks lihtne kasutusjuhendis selgitada.

Reaktor C küttekeha oli kõige efektiivsem, aga termostaat võimaldas temperatuuril ohtlikult kõrgeks tõusta. Programmikella ekraanil oli liiga palju nuppe ja valikuid, mis aga ei allunud soovitud juhtimisele. Kasutajates tekitas see segadust, et käsitsi seadistamise võimalus justkui oli, aga reaktor ei reageerinud. Sellist olukorda turustataval reaktoril olla ei saa. Liiga kõrgeid temperatuure tuleks pidada ohtlikeks ning ohtlikke seadmeid ei saa tarbijale soovitada.

Kõigi reaktorite kaantes oli kaks väikest õhutusava ($2 \times 1 \text{ cm}^2$). Selgus, et nad olid liiga väikesed ja lihtsasti ummistuvad, eriti 'Terra' pulbri jaoks. Suurema õhuvahetuse korral tekib kala kompostimisel tõenäoliselt ka haisuprobleem, mis vajab lahendamist. Kui reaktorite kaaned olid klambritega suletud, siis oli hais reaktorite läheduses olematu või väike. Kuid kala kõige aktiivsema lagunemise ajal tugevnes hais ka kinniste reaktorite ümbruses. Läbi liiga väikeste õhuvade tõttu on ka hapniku juurdevool piiratud ning kompostimise käigus eralduv niiske õhk ei saa reaktorist välja. See omakorda nõuab niiskusrežiimi täpset reguleerimist, mis käib tavakasutajale üle jõu. Reaktoritest peab olema mugav sinna kogemata sattunud liigne vedelik välja lasta.

Kaane kinnitamise klambriid käisid liiga raskelt. Kasutajal oleks mugavam, kui kaane keskel oleks ainult üks suurema käepidemega klamber. See, et kaaned lahti võttes küljest ära kukkusid, pahandaks tavakasutajat. Reaktori B kaane tihend tuli aktiivsel kasutamisel lahti.

Parema õhustuse saavutamise eesmärgil kaane lahti jätmine töötas, aga see võimaldas kärbestele juurdepääsu ning nii tekivad vaglad, mis on lubamatu. Kala kompostimist tuleb korraldada loomsete kõrvalsaaduste käitlemise reeglite alusel. Temperatuur peab tõusma 70 C-ni ja püsima 1 tund. Kala peab sel juhul olema purustatud 12 mm-ni. Piisavalt kõrge temperatuur hävitab kahjurid ja tõvestavad mikroobid, mistõttu võiks olla reaktoritel eraldi steriliseerimisrežiimi võimaldav programm.

Kirjeldatud eksperiment näitas vajadust täiustada kompostimistehnoloogiat ja täiustada kompostimisseadmeid (reaktoreid) üheskoos.

2.4. Kompostimistehnoloogiate võrdlus

Mistahes orgaanilist ainet võib kompostida mitmel moel, olgu selleks kodus paiknev kompostihunnik või professionaalses kompostimisettevõttes paiknev kompostireaktor. Kala kompostimise seisukohalt tuleks valmis olla selles, et üksik kala või väike kogus jäetakse oma aeda (kui see on), suurem kogus aga viiakse kohta, kus kala lagunemise käigus tekkivad keskkonnanahäiringud oleks tehnoloogiliselt hästi lahendatud. Igal tehnoloogial on omad eelised ja puudused.

Kala koduskompostimine kompostris või kompostihunnikus (joonis 58).



Joonis 58. Kompostihunnik ja komposter.

+ Koduskompostimine vähendab vajadust kalajäätmeid ära vedada ning võimaldab jätta taimetoitained oma aeda. See on väga lihtsate vahenditega korraldatav ning panustab keskkonnavalasele kasvatustööle.

– Tulemus oleneb tegija hoolsusest ja püsivusest ning on väga raske kontrollida. Peamine probleem on roiskuva kala hais ja näriliste-putukate rohkus. See võib tuua konflikte naabritega. Komposti kvaliteedi üle kontrolli ei ole. Talvel koduskompostimine lakkab. Loomsete kõrvalsaaduste käitlemise reegleid järjepidevalt täita ei ole võimalik. Kompostimise kulg ning käitlemist vajava kala hulk ei lange tõenäoliselt kokku. Kodus ei ole võimalik kompostida korraga üle paari kilo kala.

Soovitus: kalajäätmete kompostimist kompostris või kompostihunnikus võib lubada, kui tegu on väga väikeste kogustega ning kompostitakse ka muid toidujäätmeid või aiaprahti, aga seda ei sa soovitada peenkala käitlemise meetodina.

Kala kompostimine kohapeal väikereaktoris (joonis 59).



Joonis 59. Trummelkomposter ca 200 L ja trummelreaktor 50 L.

+ Kala kompostimine kohapeal väikereaktoris vähendab vajadust kalajäätmeid ära vedada ning võimaldab jätta taimetoitained oma aeda. See on lihtsate vahenditega korraldatav. Reaktoreid on turul palju mudeleid. Hügieeniseerimine on tõhusam kui komposteris.

– Seadmed on kallid, seega komposti mahuühiku hind tuleb samuti kallis. Tulemus oleneb tegija hoolsusest ja püsivusest. Peamine probleem on roiskuva kala hais ja näriliste-putukate rohkus. Komposti kvaliteedi üle kontrolli ei ole. Talvel koduskompostimine lakkab. Loomsete kõrvalsaaduste käitlemise reegleid järjepidevalt täita ei ole võimalik. Kompostimise kulg ning käitlemist vajava kala hulk ei lange tõenäoliselt kokku. Korraga saaks lisada vaid kümnekond kilo kala.

Soovitus: Eestis võiks seda kaaluda kohtades, kus jäätmete äravedu ei ole õigustatud, lahtiselt kompostida aga ei saa. Kalajäätmete kompostimist väikereaktoris võib lubada, kui tegu on väga väikeste kogustega ning kompostitakse ka muid toidujäätmeid või aiaprahti, aga seda ei sa soovitada peenkala käitlemise meetodina.

Kala kompostimine automaatses väikereaktoris (joonis 60).



Joonis 60. Tööstuslik kompostireaktor, mida võib kaitluskohta paigaldada ka mitu.

+ Kala kompostimine kohapeal automaatses väikereaktoris võimaldab vältida kala äravedu ning käidelda see kohe, kui ta sadamasse tuuakse. Kompostimise ning käitlemist vajava kala hulk arvatavasti langeb enam-vähem kokku. Komposti kvaliteedi üle on tõhus kontroll. Talvel kestab kompostimine edasi. Loomsete kõrvalsaaduste käitlemise reegleid on võimalik järjepidevalt täita.

– Seadmed on kallid. Tulemus oleneb tegija hoolsusest ja püsivusest. Nõuab personali ja tugimaterjali. Käideldavat kala võib olla vaja paar päeva ladustada, kui seda korraga liiga palju peaks olema.

Soovitus: Eestis võiks neid olla peamistes sadamates, kuhu peenkala tuuakse. Kindlasti on vaja tugimaterjali, reaktoril peab olema kaasas järelvalmimiskamber ning õhubiofilter. Seadmel peab olema haldaja, kes tunneb tööd. Olenevalt reaktori suuruselt sobib mõne kuni mõnekümne tonni kala jaoks aastas. Samasse tasuks panna ka ümbruskonna toidujäätmed.

Kala aunkompostimine (joonis 61).



Joonis 61. Kompostiaunad, mis võiks olla kaetud ning peaksid olema õhustatavad (väljatõmbeõhustus) ning koos haisubiofiltriga.

+ Aunkompostimist on lihtne ja odav korraldada. Protsess ei ole kapriisne ning sobib ka kalajäätmete kompostimiseks. Eelistada tuleks kala purustamist ja kompostisegu kokkusegamist eeltötluse käigus. Sagedase läbisegamise korral on kompost ühtlaste omadustega.

– Aeglane ja töömahukas. Vaja on suurt kõvakattega platsi ja aunapöörli. Komposti sagedane läbi segamine on tülikas ja kallis. Ilmastiku mõju on suur – külmaga protsess aeglustub või lakkab. Hais võib aeg-ajalt probleeme põhjustada. Hügieniseerimises ei saa kindel olla.

Soovitus: Aunkompostimine mehaaniliselt segatavates lahtistes aunades on Eestis kõige rohkem levinud. Sobib kompostimismeetodina ka kala kompostimiseks. Ilmastiku- ja haisuprobleemide leevendamiseks tuleks eelistada kaetud aunasid või katusealust aunkompostimist. Hügieniseerimiseks tuleks kompostimise termofiilne faas teha ilmastikuoludest mõjutamata tehnoloogia abil, nt reaktoris.

2.5. Kalakomposti turu-uuring komposti kohta

2.5.1. Turunõudluse hinnang

Turunõudluse hinnang viidi läbi koostöös EMÜ Majandus- ja sotsiaalinstituudiga.

Tuleb arvestada kalakomposti tootmise omahinda ja sealt lähtuvalt tuletada müügihind. Kui võtta aluseks kasutatava kala ja põhu maksumus (ei arvesta vee ja muda hinda) kujuneb sisendmaterjali hinnaks ca 100€ kuupmeetri komposti kohta. Kala osatähtsus on siin 80 – 90% (kala ostuhind arvestatud 0,4 €/kg). Omahinna arvutamisel lisandub komposteerimisväljaku, komposteerimisagregaadi, biofiltri, imemistorustiku, kompostivaalude katteriide maksumus pluss töötasu nii komposti valmistamisele kui monitooringule ja seadusest tulenevale nõ. paberimajandusele. Täpsed kuluarvutused on võimalik teha, kui on teada mahtude suurusjärgud. Hinnanguliselt kujuneb sel juhul kalakomposti omahinnaks ca 200€ kuupmeetri komposti kohta. Võrdlusena realiseerib Matogard OÜ sõnnikust valmistatud komposti müügihinnas 100€ kuupmeeter, vermikomposti hind on turul 200 – 350€ kuupmeeteri kohta. Võib olla üsna keeruline teha tarbijale selgeks, miks on kalakomposti müügihind 2 – 3 korda kõrgem sõnnikukomposti hinnast ja võrdne vermikomposti hinnaga.

Kui kalakomposti valmistamisel on kompostiettevõtte äriühing ja orienteeritud kasumi saamisele, peab leidma lahendusi kulude optimeerimiseks. Ühe võimalusena on kalakomposti valmistamine keskkonnaprojektina ja prügikala eest maksta kaluritele toetust. Komposteerija saab kala nt. transpordihinnaga ja sel juhul on võimalik toota kalakomposti turul konkureeriva hinnaga.

2.5.1.1. Valimi kujunemine

Eeluuringu käigus intervjueriti 26. aprillil 2019. aastal Maamessil 6 juhuslikku inimest. Intervjuude käigus selgus, et kalakomposti nõudlus on eriti maal elavate inimeste jaoks väike, kuna vajaminevat komposti hangitakse tuttavatelt („*Naaber peab talu, küsin temalt, kui vaja on*“) ning eelistatakse pigem tuntud komposte (hobuse- ja lehma sõnnikut). Lähtuvalt eelnevast kitsendati kalakomposti sihtgruppi Võrtsjärve lähedal asuvatele aianditele, kuna hetkel kalkuleeritud kalakomposti omahind on pigem kõrge, siis pole õigustatud kalakomposti pakkumine tavatarbijatele (lisanduvad pakendamise- ja transpordikulud). Lõppvalimisse kuulusid 9 ettevõtet. Andmete analüüsimiseks kasutati kvalitatiivset analüüsi, kuna sellisel juhul on võimalik saada täpsemat informatsiooni võrreldes kvantitatiivse analüüsiga.

2.5.1.2. Turunõudluse analüüs

Analüüsi käigus selgus, et Võrtsjärve lähedal asuvad aiandid, kelle tegevusalaks on köögiviljakasvatus, siiski ei tegele sellega põhitegevusena. Tegevusalasid pigem kombineeritakse, et riske paremini hajutada.

Intervjuude analüüsil tekkis 4 peamist kategooriat, mis on ära toodud tabelis 10.

Tabel 10. Intervjuude tagasiside.

Kategooria	Kood	Näited intervjuudest	
Vajaliku komposti hankimine	Kompost tehakse ise	" Me komposteerime kogu söögi ja vanu taimi ja pottidest järgi jäänud mulla"	
	Tööstus segab vajamineva kasvuturba	"Me enda kasvuturbad laseme segada tööstusel, et mikrod ja pH-d oleks paigas..." "... laseme siin turbavabrikus juba spetsiaalselt pikatoimelised väetised sisse segada juba, põhiliselt mineraalväetist."	
	Kompost hangitakse tuttavate kaudu	" Komposti saan sõbranna käest."	
Komposti hankimise mõjurid	Komposti hind	"..... hind on tähtis" „ Aga kui kalakompost tõestab ära, et on nii palju parem teistest kompostidest, siis võin maksta nii palju kui küsitakse.“	
	Komposti kättesaadavus	"...kättesaadavus on ka tähtis "	
	Transport	"...vaatame mis see transport, logistika maksab see ajab hinna lõhki"	
	Komposti päritolu	"No eelistame ikka eestimaist, ei hakka Saksamaalt komposti tooma."	
Asenduskaubad (konkurents)	Kasutatakse turvast	"....aga no kasvatamiseks kasutame turvast üldjuhul ikkagi turvast". "Me komposti ei ostagi, ostame valmisturba, siin on turbatehas kõrval ja eritellimusega tehakse. "	
	Kasutatakse sõnnikut (lehma ja -hobusesõnnik)	"Ma komposti pole ostnud, olen ostnud sõnnikut, see on seisnud paar aastat ja siis läinud mulda." "Kasutame hobusesõnnikut." "...ega meil ongi loomasõnnik"	
	Mineraalväetised	".....siis meie kasutame mineraalväetisi" "...põhiliselt mineraalväetiste peal."	
	Uskumused	Kalakomposti seostatakse tomatikasvatusega, kus traditsiooniliselt on kala kasutatud kompostina.	"...räime päid leotati komposti saamiseks"
			"Nojah, silku on pandud tomati alla eluaeg."
			" Tean, memmed siiamaani ostavad räime , vanal ajal oli see asi päris populaarne."

Vajalik kompost, kas tehakse ise, lastakse segada turbatööstusel või hangitakse tuttavate kaudu. Intervjuude läbiviimisel selgus, et komposti hankimisel otsitakse pigem odavamaid lahendusi, mis

võimaldaks ettevõtetele kulusid kokku hoida, seega pigem kompostitakse ise või üritatakse hankida kompost tuttavate kaudu. Kui kasutatakse kasvuturvast, lastakse see segada turbatööstusel. Kalakomposti turustamisel võiks järelkult planeerida koostööd turbatööstusega, et pakkuda ettevõtetele valmissegude valmistamisel komponendiks kalakomposti. Eelnev võimaldaks kokku hoida transpordi kulusid, kuna kalakomposti saaks transportida ühte kohta.

Komposti hankimise mõjuritest enim rõhutati komposti hinda, mis näitab sihtgrupi hinnatundlikkust, kuigi samas tõi välja üks ettevõtte, et kui on tõestatud kalakomposti suurem efektiivsus, siis võib maksta ka rohkem. Oluline oli ettevõtjatele ka komposti kättesaadavus ja transpordi kulu. Toodi esile ka päritolu. Kalakomposti eeliseks võib järelkult pidada seda, et ta on eestimaine, kuid probleem võib tekkida transpordikulude ning ka kättesaadavusega, kuna olemasolevat kalakomposti on piiratud mahus.

Kalakomposti asenduskaupadena toodi välja turvas, sõnnik ja mineraalväetised, kuigi viimast ei saa päris kalakomposti asenduskaubaks pidada, kuna kalakompost on oma olemuselt orgaaniline. Samas on need välja toodud asenduskaubad need, millega konkureeritakse ning mida ettevõtted võrdlemisel kasutavad. Mineraalväetisi kasutasid pigem lilletaimede kasvatajad, põhjendusega, et ega lilli ei sööda, seega pole oluline millega seda kasvatada. Köögiviljade kasvatamisel eelistati pigem lehma- ja hobusesõnnikut, seega konkureerib kalakompost eelkõige eelnevatega.

Kalakompostiga kaasnevad ka psühholoogilised tegurid ehk uskumused. Nimelt on traditsiooniliselt tomatikasvatades kasutatud räime kompostina ning see on juurdunud arusaamades kalakomposti kohta. Järelkult oleks üheks võimaluseks kalakomposti turustamisel müüa seda tomatiga seotuna (nt. tomatikompostina), kuna inimeste arusaamad on kinnistunud pikema aja jooksul saaks seda müügiargumendina kasutada.

Üldiselt turul (Võrtsjärve ümbruses) tegutsevad aiandid komposti hankimisele erilist tähelepanu ei osutata, seega tuleks vaadata pigem kaugemale ning leida turustamisvõimalusi ökoloogiliselt puhta köögivilja kasvatajatele, kes eelistavad orgaanilist väetist. Probleemiks aga võib siinkohal osutada transpordikulu.

Ettepanekud vastavalt turunõudluse analüüsile:

- Kalakomposti turustamisel võiks planeerida koostööd turbatööstusega, et pakkuda ettevõtetele valmissegude valmistamisel komponendiks kalakomposti.
- Kuna kalakomposti omahind on kõrge ning analüüs näitab ettevõtete hinnatundlikkust komposti hankimisel, siis tuleks mõelda ka riiklikul tasemel toetustele (KOV).
- Kalakomposti eeliseks võib pidada seda, et ta on eestimaine, kuid probleem võib tekkida transpordikulude ning ka kättesaadavusega, kuna olemasolevat kalakomposti on piiratud mahus.
- Kalakomposti turustamisel müüa seda nt. tomatikompostina, kuna inimeste arusaamad seostavad kalakomposti tomatikompostina, siis saaks seda müügiargumendina kasutada.

3. Peenkala biogaasistamise võimalusi

Peenkala, nagu iga orgaanilist päritolu materjal, hakkab anaeroobsetes oludes lagunema ning lagusaadus on biogaas – metaani ja süsihappegaasi segu. Mõlemad neist on kasvuhoonegaasid, kusjuures metaan on tunduvalt suurema kliimaefektiga. Globaalne ühiskond on kokku leppinud vajaduses kasvuhoonegaaside heidet vähendada. Lisaks on Euroopa Liit 2020. aastal välja töötanud metaanistrateegia [11], mis samuti rõhutab metaani kasutamise ning mittekontrollitava metaaniheite vältimise vajadust. Toiduks kõlbmatu kala (sh peenkala) väärimise üheks võimaluseks võiks seega olla biogaasi/biometaani tootmine. Käesoleva projekti kontekstis uuriti metaanitootlikkust järgmistel põhjustel:

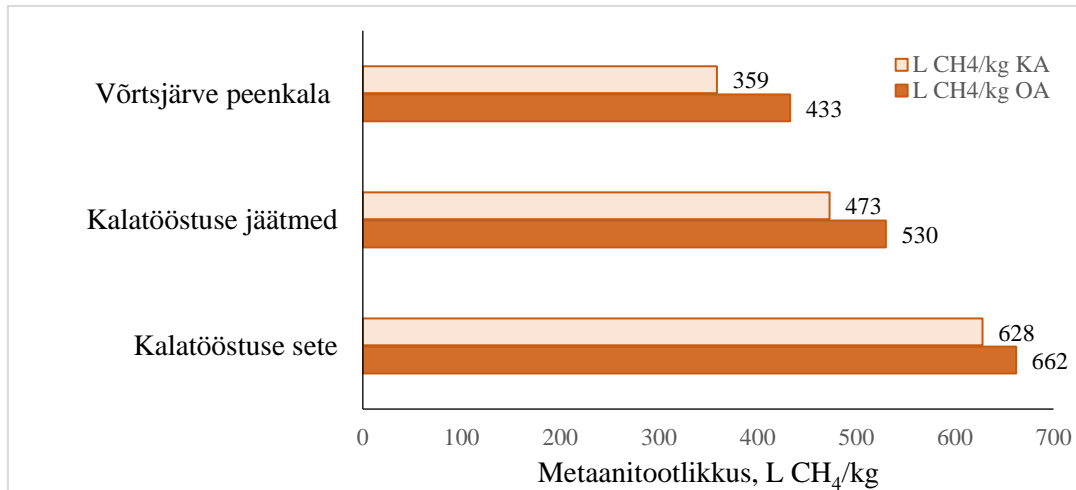
1. Kui peenkala peaks osutama heaks metaaniallikaks, siis tuleks kaaluda kala kääritamist biogaasireaktoris. See on võimalik eelkõige tingimustes, kus kala on palju, biogaasijaam on läheduses ning see on tehnilisest varustatud seadmestikuga kala vastu võtmiseks, eeltöötlemiseks, vaheladustamiseks ja hügieniseerimiseks.
2. Kui peenkala biogaasijaama viia ei ole võimalik, siis on vaja teada, kui suurt kahju selle anaeroobne lagunemine looduses kaasa tuua võiks. Sel juhul tuleks eelistada peenkala lagundamist aeroobsetes tingimustes kompostimise abil.
- 3.

3.1. Metoodika

Peenkala metaanitootlikkus määrati Eesti Maaülikooli Põllumajandus- ja keskkonnainstituudi Bio- ja Keskkonnakeemia Laboris. Võrdluseks võeti substraate mujalt kalatööstusest, sh kalatööstuse reoveepuhastist, ning tulemusi võrreldi tavapäraste substraatidega, mida kasutatakse Eesti biogaasijaamades praegu. Laboratoorselt määrati biogaasitootlikkus, biogaasis leiduv metaanitootlikkus ning neid väljendati kg kuivaine (KA) ja orgaanilise aine (OA) kohta.

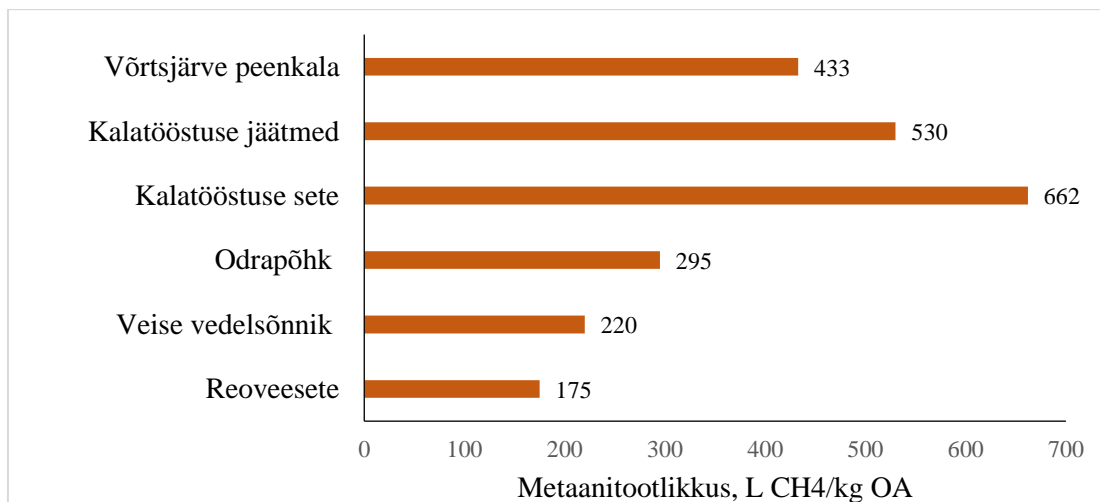
3.2. Tulemused

Selgus, et Võrtsjärve peenkalast metaani tootmise potentsiaal on 359 liitrit metaani kg kuivaine või vastavalt 433 liitrit metaani kg orgaanilise aine kohta (joonis 62). Põhimõtteliselt nii suur kogus võib metaani tekkida kala lagunemisel anaeroobses keskkonnas. Joonisel 62 on võrdlusena esitatud peenkala, kalatööstuse jäätmete ja kalatööstuses tekkiva õlirikka sette metaanitootlikkused.



Joonis 62. Värtsjärve peenkala ja kalatööstuses tekkivate jäätmete biometaani tootlikkus (liitrit CH₄ kg kuivaine (KA) ja orgaanilise aine (OA) kohta). Gaasi ruumala normaaltingimustel (0 C, 1 atm).

Kala- ja kalatööstuse jäätmete metaanitootlikkus on oluliselt suurem võrreldes biogaasi tootmiseks igapäevaselt kasutatavate substraatidega põllumajanduslikes biogaasijaamades või reoveepuhastite käärrites (joonis 63).



Joonis 63. Kalajäätmete ja biogaasi tootmiseks enamkasutatavate substraatide metaanitootlikkused (L CH₄/kg OA). Põhu, veisesõnniku ja reoveesete kohta esitatud ligikaudsed keskmised väärtused.

3.3. Kokkuvõte

Peenkalast metaani tootmise potentsiaal on 359 liitrit metaani kg kuivaine või vastavalt 433 liitrit metaani kg orgaanilise aine kohta. See on biogaasi tootmiseks tavapäraselt kasutatavatest substraatidest (sõnnik/läga ja reoveesete) oluliselt suurem. Kala tekkimise dünaamika, gaasitoodang kalaliikide kaupa või olenevalt kala eeltöötlemise astmest ning logistika biogaasijaamadeni vajab edasist käsitlemist.

Kui kala ei ole kavas biogaasi tootmiseks kasutada, siis niisama seda anaeroobsetesse oludesse lagunema jätta ei tohi, sest tekkinud metaani hulk on suur. Sel juhul tuleks kala kokku koguda ning viia komposti tootmiseks (joonis 64). Üks peamisi tingimusi kompostimisel on aga võimekus kala purustada ning väga hea õhustus/mehaaniline läbisegamine, et vältida kala lagunemist anaeroobsetes oludes.



Joonis 64. Kääritid Vinnis ja kääriti Aravetel.

+ Energiarikastest jäätmetes on võimalik saada biogaasi, mis omakorda ühtib riigi energiapoliitikaga. Suletud süsteemis on hais kõige paremini manageeritav. Taimetoitained jäävad käärimisjääki alles.

– Kala suunamine kääritamisele eeldab kaluritevahelist koostööd ja väga hästi toimivat tarneahelat.

Soovitus: Kala tuleks kääritada olemasolevais kääritites vedelkääritamise teel. Eelnevalt tuleb kala purustada ning võibolla vaja hügieniseerida. Käärimisjääk käideldakse tavapärasel moel.

4. Hüdrolüsaat

Värskest prügilast ja/või värsketest kalajätmetest on võimalik valmistada vedeliku kujul hüdrolüsaati. Selleks värsket kala soovitatavalt peenestatakse ning segatakse teiste komponentidega enne õhulukuga sulgemist. Hiljem osakesed settivad või tõusevad pinnale ning sinna vahele jääb vedelik. Seda ökoloogiliselt puhast vedeliku kujul väetist sobib lahjendatult kasutada taimede väetamiseks nii lehtede kui mulla kaudu. Oluliseks eeliseks oleks võimalus peenakal kohapeal ära purustada ning kohe reaktorisse viia, mis vähendaks võimalikku haisu tekkimist ning kala oleks nõnda korraga käitlusse suunatud.

Protsessi eesmärgiks on lagundada kalavalk lühemateks peptiidahelateks, mis sobiks taimeväetisena. Esimeses etapis katsetati ensümaatilist aminohapete vaheliste peptiidsidemete hüdrolüüsi. Kasutati lagundatavas kalamassis endas esinevaid naturaalseid vistseraalseid ensüüme. Need ensüümid sisalduvad kalamagudes, kuna kalad toodavad neid ensüüme oma maosisus leiduvate valkude lagundamiseks.

4.1. Eelkatsed

Reaktsioonid viidi läbi anaeroobses keskkonnas 20 l mahutites, tekkinud gaasid eraldusid mahutist läbi vesiluku (joonis 65). Kuus erinevat mahutit täideti ca 5 kg tervete peenkaladega või hakitud kalamassiga. Lisati ca 15 kg vett. Reaktsioonisegude pH alandamiseks ja ebasoovitavate bakteripopulatsioonide arengu tõkestamiseks rikastati hüdrolüsaadisegu piimhappebakterite kultuuriga. Piimhappebakterite elutegevuse soodustamiseks lisati reaktsioonisegusse ka ca 1,66 kg suhkrut. pH alandamine ca väärtuseni 4 soodustab selliste valke hüdrolüüsivate ensüümide toimet, mille funktsioneerimisoptimum asub happelises keskkonnas.

Reaktsioonisegusid inkubeeriti toatemperatuuril, protsessi jälgimiseks monitooriti eralduvate gaaside kontsentratsiooni. Ammoniaak (CH_3) ja väävelvesinik (H_2S) väljusid masina mõõtepiirkonnast (joonis 65).



Joonis 65. Kalasuspensiooni hüdrolüüsimahutid ning nende monitooring gaaside sisalduse suhtes.

Hüdrolüsaadisegu valmimise järel kujunesid reaktsioonianumas erinevad tsoonid: pinnal asus kalarasvakiht, keskel viskoosne vedelik ning põhjas sade kalasoomustest jm tahketest osakestest. Viskoosne vedelik on toodud joonisel 66. Hüdrolüsaadi edasiseks kasutamiseks on otstarbekas eraldada vaid emulsioonitaoline vedelik, rasvade sattumine emulsiooni hulka on ebasoovitav nii hüdrofoobsuse kui rääsumise tõttu.



Joonis 66. Viskoosse hüdrolüsaadi kogumine.

Saadud hüdrolüsaadisegusid analüüsiti pH ja elektrijuhtivuse suhtes. pH väärtus varieerus erinevatest reaktsioonianumates pärinevate lüsaatide vahel vähe, jäädes vahemikku 3,83-4,16. Elektrijuhtivus jäi vahemikku 8,4-9,6 mS/m, viidates soola hulgale lahuses. Olulisemate lahustunud taimetoitainete sisaldus määrati hüdrolüsaadi filtraadist mikroplasma aatomemissioon spektrometriga (MP-AES 4100). Katse nr 1 puhul segati ainsana kanistris hüdrolüsaat enne proovi võttu, näidates sadestunud kalast tulnud suuremat Ca sisaldust. Proovis nr 2 ja 3 võeti proov vahekihist. Muud hüdrolüsaadi näitajad on toodud tabelis 11.

Tabel 11. Lüsaadi agrokeemilised omadused.

	P	Mg	Ca	K	N	Hüdrolüsaadi inkubeerimisaeg
Katse nr.	mg/kg				%	
1 - segatud	1489	195	3761	776	0,39	2 kuud
2 - vahekiht	1490	184	2390	831	0,36	2 kuud
3 - vahekiht	1568	175	2485	759	0,35	5 kuud

Hüdrolysaadi fosforisisalduse põhjal võib järeldada, et enamus kalamassis sisalduvast fosforist (0,4-0,6 % kala kaalust) on jõudnud lahustunud kujul hüdrolysaati.

Järgnevate katsetega selgitati sobivad anaeroobsed segud, mida saaks üle kanda suuremahuliseks katseks.

Sulatatud värske peenkala purustati hakkur-oksapurustiga RTB15, mis tööorgani poolest sobib, kuna kala liigub ülevalt alla ning tekkiv vedelik ei tekita probleeme (joonis 67). Kala peab andma purustile peale mõõdukalt ehk pidevalt saab tõsta ligi pool labidat juurde, ilma et see ummistuks. Edapidi tuleks kaaluda tigutranspordööri kasutamist, mis teeks töö mugavamaks ja kiiremaks. On oluline, et seadet saaks hõlpsasti pesta. Kala pasta kasutati katsete läbi viimisel või sügavkülmutati portsjonite kaupa uuesti hilisemateks katseks.



Joonis 67. Kala purustamine oksapurustiga.

Katsed viidi läbi ka tervete kaladega. Piimhapest bakterite puhul valiti suhkrus allikaks melass e. Söödasiruup, mis koosnes: suhkrusisaldus 59,7%, kuivaine 84,52%, toorproteiin 10,59%, toortuhk 8,5%, kaltsiumi (K) 0,61 g/kg ning fosforit (P) 0,42 g/kg. Läbi viidud katsed on toodud joonisel 68 ja tabelis 12. Parima tulemuse (lähtudes lõhnast, pH'ist ja lagunemise kiirusest) andis happe puhul fosforhape ning *Lactobacillus* bakterite puhul tiibeti piimaseen ning apteegist ostetavad

piimhappebakterite tabletid. Eelis bakteriga lagundamisel on selle võime hoida pH optimaalsel happelisel tasemel. Mineraalhape puhul puhverdab kala pH üles ning kaluri jaoks tähendaks see pidevalt pH seiramist ja vajadusel happe lisamist.



Joonis 68. Hüdrolysaadi katsed võetuna musta kile alt.

Tabel 12. Hüdrolüsaadi eelkatsete tulemused.

Katse	Kala	Vesi	Lisand	Lõhn 1-10
Kontroll #1	2 kg	2 l	-	10 - halb
Kontroll #2	2 kg (+ 1kg 34 p. hiljem)	2 + 1 l	-	10 - halb
Kontroll #3	2 kg	2 l	-	10 - halb
Ilma lisanditea roiskuv materjal on väga ebameeldiva lõhnaga. Ilmselt saavad hoo sisse bakterikooslused kelle elutegevuse jäägid võivad olla elusolenditele ohtlikud. Ei soovita tootmiseks.				
HCl #1	2 kg	2 l	Konts. HCl ~100g (pH 1,9)	8 kuni 9
HCl #2	2 kg (+ 1kg 26 p. hiljem)	2 + 1 l	Konts. HCl ~120g (pH 1,6)	8 kuni 9
HCl #3	2 kg (+ 1kg 34 p. hiljem + hape)	2 + 1 l	Konts. HCl ~130g (pH 1,2)	6 kuni 8
Happe hulka mõjutab tugevalt kala koostis. Hapetest parima lõhnaga oli lõpuks HCl #3 katse, mille pH oli madalaim. Ilmselt ei saanud seal domineerima ebameeldivad bakterikooslused. Kuu ajaga puhverdusid lahused lagunedes umbes pH 5 kanti. Üldiselt vedeldusid lahused kiiresti.				
H3PO4 #1	2 kg	2 l	Konts. H3PO4 ~195g (pH 2,0)	8 kuni 9
H3PO4 #2	2 kg (+ 1kg 26 p. hiljem)	2 + 1 l	Konts. H3PO4 ~235g + 85g (pH 1,4 ja 1,7)	7 kuni 9
H3PO4 #3	2 kg (+ 1kg 34 p. hiljem + hape)	2 + 1 l	Konts. H3PO4 ~200g (pH 2,0)	8 kuni 9
Samamoodi HCl'iga oli puhverdusvõime lahustel pisut erinev. Lõhn sarnaselt halb, talutav. Teise katsesse lisati koos kalaga juurde ka hapet, et pH uuesti alla viia. See ei mõjutanud tulemust ega lagunemise kiirust. Fosforhappega ei teki taime kasvu pärssivaid soolasid. Valitud kaluri katseks.				
Tiibeti p. #1	2 kg (+ 1kg 34 p. hiljem)	2 l + 1 l	Tiibeti p. + (660g melass)	5 kuni 7
Tiibeti p. #2	2 kg (+ 2kg 26 ja 34 p. hiljem)	2 l + 2 l	Tiibeti p. + (660g + 330 g melass)	5 kuni 7
Tiibeti p. #3	2 kg	2 l	Tiibeti p. + (660 g melass)	5 kuni 7
See katse oli üldiselt parema lõhnaga. Tiibeti piimaseen on sümbiontne kogum lacto.b. bakteritest ja muudest toidu mikrofloorat parandavatest bakteritest. Üldiselt nägid lahused visuaalselt tumedamad välja, seda melassi sisalduse tõttu. Nagu arvata võis, ei lagunenu kala mass nii kiiresti ja efektiivselt kui hapete puhul. Tiibeti piimseent saab ise piimaga paljundada.				
Bokashi klii #1	2 kg	2 l	Bokashi klii + 660g melass	5 kuni 6
Bokashi klii #2	2 kg (+ 1kg 34 p. hiljem)	2 l + 1 l	Bokashi klii + (660g + 330g) melass	5 kuni 6
Bokashi klii #3	2 kg	2 l	Bokashi klii	5 kuni 6
Bokashi klii on bakteritega kääritatud nisuklii, millel on veidi hapukas lõhn. Lagunemine ei olnud kõige efektiivsem, katsed olid suhteliselt viskoossed. Lõhn oli päris talutav, meenutas natuke hapukapsa lõhna. Lahused kippusid pealt hallitama.				
Lacto.b. tbl #1	2 kg	2 l	Lacto.b. tabletid + 660g melass	6 kuni 8
Lacto.b. tbl #2	2 kg (+ 1kg 34 p. hiljem)	2 l + 1 l	Lacto.b. tabletid + (660g + 330g) melass	6 kuni 8
Lacto.b. tbl #3	2 kg	2 l	Lacto.b. tabletid + 660g melass	6 kuni 8
Lacto.b katse lõhn oli natuke halvem kui tiibetil. Lagunemine oli parem. Lacto.b. lisandit on lihtne hankida kuid teeb tootmise oluliselt kallimaks, kui pole võimalust seda laboratoorselt paljundada. Valitud suureks katseks.				

4.2. Pilootkatse fosforhappe abil

Eesti Maaülikooli juhendamisel otsustati kaluri poolt läbi viia suuremahuline katse fosforhappega (H_3PO_4 - 85%). Juhis kokkuvõtvalt oli järgmine:

- 1 kg kala kohta lisada 1 l vett ning 125 g kontsentreeritud fosforhapet. Segada. Paigaldada õhulukk (joonis 69).
- Jälgida, et pH püsiks 1,2 – 1,5 juures. Vajadusel lisada hapet ning segada.

NB! Happega ümber käimisel on oluline jälgida ohutust. Vältida sattumist nahale ja aurude sissehingamist.

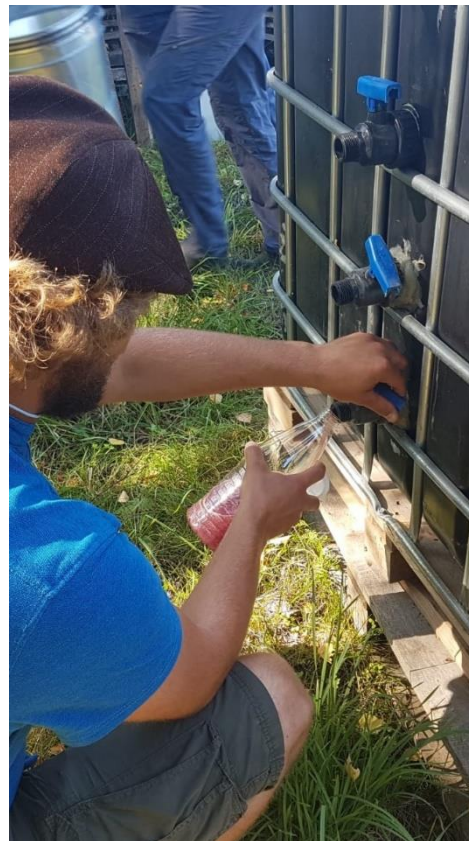
Kuna eelkatse väikestes anumates näitas, et terve kala laguneb hästi ja lõhna aisting oli sobiv, otsustati kaluri võimalustest lähtudes kala mitte purustada. Selleks valmistati ette spetsiaalselt 1m^3 suurune mahuti (joonis 70). Katset alustati augusti lõpul, mil lisati kaluri mõrrast püütud peenkala 180 kg ning nädal aega hiljem 105 kg (joonis 70). Roiskunud kalade hulk oli väga väike. Sama palju lisati ka mõlemal korral vett. Fosforhappega jäi tähelepanuta selle tihti ettearvamatu jäätumise punkt, mis on tavaliselt ca $+21\text{ }^\circ\text{C}$. Kuna välis temperatuur oli alla fosforhappe jäätumise punkti oli võetud proovis nädal aega hiljem lahuse pH 6. Patogeenid olid sel hetkel: *Enterobacteriaceae* $3,0 \cdot 10^6$ pmü/g, *Coli*-laadsed bakterid $2,0 \cdot 10^5$ pmü/g, minimaalselt *Listeria monocytogenes* (arvuline) $<1,0 \cdot 10^1$ pmü/g ning ei leitud ühekski analüüsis *Salmonella* spp. Hape sulatati soojas ning lisati kõik katsesse. Jälgiti, et pH ei läheks üle 4. 27. päeva lõpul oli pH 3.5 ning patogeenide hulk oluliselt väiksem: *Enterobacteriaceae* $3,0 \cdot 10^2$ pmü/g, *Coli*-laadsed bakterid $2,0 \cdot 10^2$ pmü/g, minimaalselt *Listeria monocytogenes* (arvuline) $<1,0 \cdot 10^1$ pmü/g. Katse lõpetati kuna esines öökülmasid.

Kokkuvõttes oli kaluri läbiviidud katse ebaõnnestunud. Esimese nädala sobimatu kõrge pH põhjustas väga ebameeldiva lõhna aistingut, mis ei kadunud katse lõpuks. Erinevalt eelkatsest ei lagunenu kõik kalad (joonis 69). Kuna turustamiseks ebameeldiva lõhna aistinguga vedelväetis ei sobi, otsustati täiendavalt käesolevat hüdrolüsaati mitte uurida ning säilitati proovid sügavkülmas.

Väetis lasti maha lähedal olevale aiamaale sügisel ja künti kevadel sisse. Täpseid mõõtmisi ei tehtud, kuid taimedel ei tähendatud kõrgemast soolsusest ega madalast pH'ist põhjustatud kõrvetust. Täheledata, et umbrohtu kasvas sellel alal rohkem. Peet, kartul ja porgand andsid hea saagi. Herved ei ussitanud. Järeldusi sellest teha ei saaks.



Joonis 69. Pildil on näha suuremahulise hüdrolysaadireaktori voolikust ja veekanistrist valmistatud õhulukk ning paremal lagunemata jäänud kalad.



Joonis 70. Suuremahuline katse kaluri juures ja proovi võtmine.

4.3. Laborikatsed piimhappebakterite abil

Eesti Maaülikoolis läbi viidud suuremahulise katse jaoks lisati purustatud kala, melass, laktobatsillid ning vesi (joonis 71, tabel 13). Esmalt segati melass ja vesi ning seejärel segati purustatud kala ja bakterid (4x ca 0,5L 24 tundi ette kasvatatud) enne sulgemist (joonis 72). Lisatud Lacto7 apteegist ostetud tabletid sisaldasid järgnevaid kultuure: *L. acidophilus*, *L. casei*, *L. plantarum*, *L. reuteri*, *L. rhamnosus*, *Bif. Longum*, *S. thermophiles*.



Joonis 71. Lisaks kalale, melassile ja ettekasvatatud piimhappebakteritele lisati vesi hüdrolysaadi tegemisel.



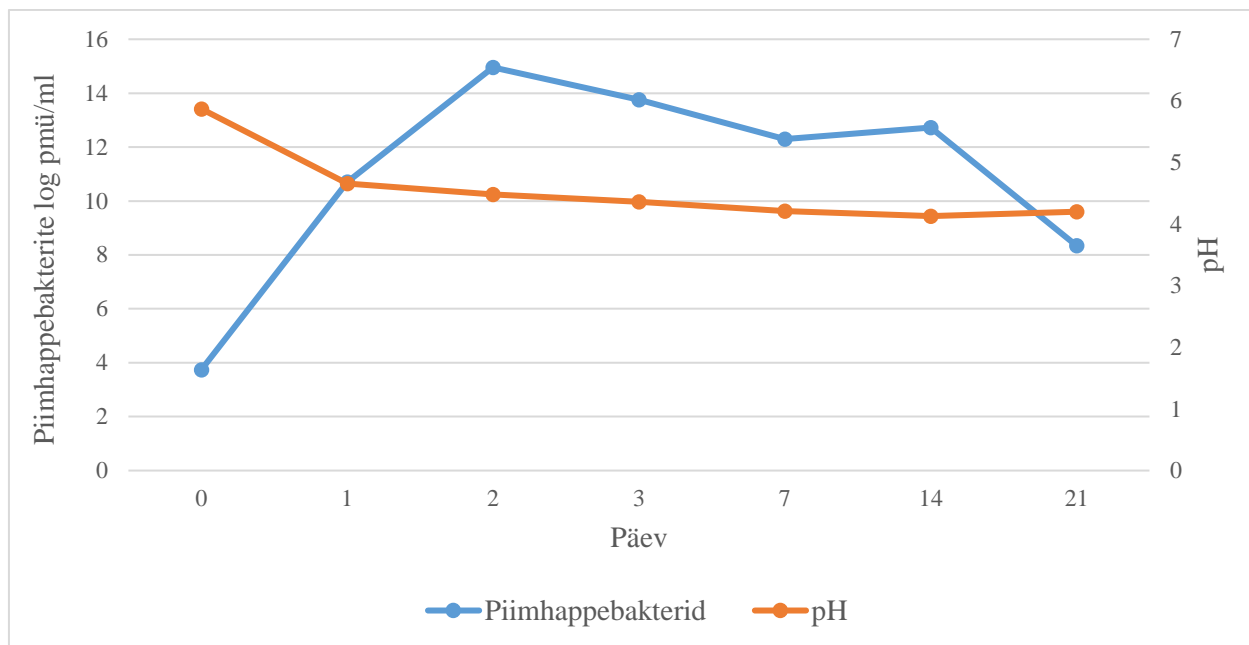
Joonis 72. Komponentid segati hoolikalt enne õhuluku paigaldamist.

Tabel 13. Hüdrolüsaadi valmistamine.

Ühik	Sisend				
	Melass (kg)	Vesi (L)	Kala (kg)	Lactob. (L)	L / %
kg / L	142.1	426.3	169.4	2	739.8
%	19.2	57.6	22.9	0.3	100

Kolmandal päeval (16.04.2020) täheldati temperatuuri erinevusi tunnisis. Kõige ülemises (1/4) kihis oli temperatuur 21.5 °C, järgmises (2/4) 21.8 °C, vahetult settinud kala peal (3/4) 24 °C ning põhjas (4/4) 22 °C. Sellest saab järeldada, et kõige aktiivsem mikroobne tegevus leidis aset vahetult settinud kala peal. Neljandal päeval erinesid temperatuurid sarnaselt, varirruudes 21,6 kuni 23,5 °C. Nädala pärast oli temperatuur ühtlustunud.

Esimene (0 päev) proov võeti kohe hüdrolüsaadikatses alguses, mil komponendid olid kokku segatud ja õhulukuga suletud (joonis 73). Esimeste päevade jooksul toimusid kõige suuremad muutused. Piimhappebakterid konkureerisid edukalt teiste bakteritega, viisid oma elutegevusega pH alla ning paljunesid kiiresti. Elujõuliste piimhappebakterite arvukus püsis esimesel kahel nädalal kõrge, mistõttu võiks arvata, et segusse saaks ebaregulaarselt tekkivat kala juurde lisada, kui samaaegselt lisada piimhappebakterite aktiveerimiseks ka suhkruid. Selliselt lisades ei suudeta aga tõenäoliselt tagada ühtlase kvaliteediga väetist turustamiseks. Samuti varieerub sel juhul hüdrolüsaadivedelikus kala laguaste.



Joonis 73. Piimhappebakterite dünaamika hüdrolüsaadis.

Patogeenide analüüsid näitasid vähest arvukust vahetult hüdrolüsaadisegu koostamise järel (0 päev). Päev hiljem oli *Enterobacteriaceae* $6,8 \cdot 10^4$ pmü/g, *Coli*-laadsed bakterid $1,4 \cdot 10^5$ pmü/g, minimaalselt *Listeria monocytogenes* (arvuline) $< 1,0 \cdot 10^1$ pmü/g. Päev nr 7 vastavalt $< 1,0 \cdot 10^2$ pmü/g, $< 1,0 \cdot 10^2$ pmü/g ja $< 1,0 \cdot 10^1$ pmü/g. Alates päevast nr 14 oli kolme patogeeni näit kuni katse lõpuni minimaalne ehk $< 1,0 \cdot 10^1$ pmü/g. Terve katse vältel ei tuvastatud salmonella baktereid.

Katse lõpus valati vedelik kasti, kust see suunati läbi erinevate filtrite (joonis 74). Hüdrolüsaadi lõhn oli meeldiv, meenutades kohvi, melassi, leiba ja natuke hapukapsast. Seejärel pakendati filtreeritud vedeliku suurtematesse kanistritesse ning kasutati väetuskatsetes EMÜ Eerika katsepõldudel ja Polli Aiandusuuringute Keskuses. Kokku saadi vedelat väetist ligikaudu sama palju kui lisati hüdrolüüsisegudesse vett. Hüdrolüsaadi reaktorite põhja settis ca 120 l viskoosemat vedelikku (joonis 75). Peale jäi tahkem jääk (ca 150 l; joonis 75), mille väljapesemine reaktorist osutus keeruliseks. Kanistreid hoiustati pimedas. See hüdrolüsaat valiti taimkatseteks.

Probleemiks osutus järelkäärimine, kui 1-2 kuu möödudes hakkasid kanistrid erinevatel aegadel gaasirõhu tekkimise tõttu paisuma. Lõhkemise vältimiseks tuli kanistrite korgid kergelt avada.



Joonis 74. Piimhappebakteritega valmistatud hüdrolüsaadi filtreerimine.



Joonis 75. Vasakul hüdrolüüsianuma põhja ladestunud ja paremalpinnale kogunenud jääk.

4.4. Hüdrolüsaadi omadused ja kvaliteet

Polli Aiandusuuringute keskuses viidi läbi erinevad taimkatsed hüdrolüsaadi mõju hindamiseks, vastavad tulemused on kajastatud aruande järgnevates osades. Kuus kuud pärast valmimist oli tunda piimhappebakteritega valmistatud hüdrolüsaadi lõhnas lisaks veel alkoholi ja mõnes teises kanistris ka äädika lõhna. Seega viidi läbi täiendav hüdrolüsaadi kvaliteedi kontroll seemnete idanemise katse teel.

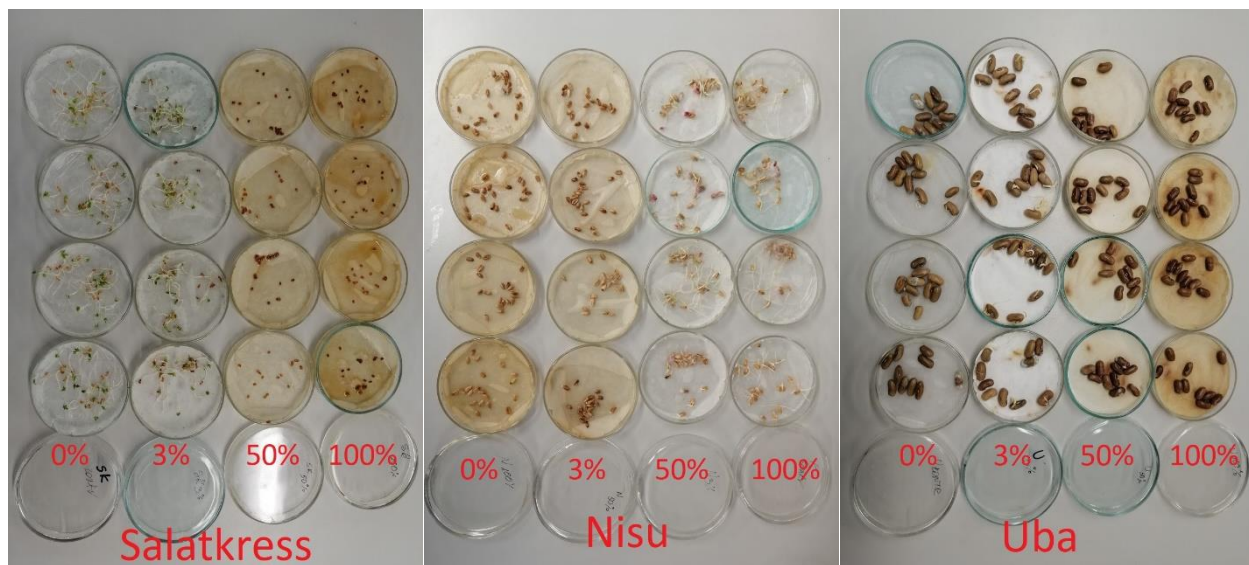
Hüdrolüsaadi kvaliteedi kontrollimiseks viidi läbi idandamise katsed kolme kultuuriga - salatkress (*Lepidium sativum*), harilik aeduba (*Phaseolus vulgaris*) ja harilik nisu (*Triticum aestivum*). Seemnete idandamiseks kasutati petri tasse, salatkressil ja harilikul nisul pandi idanema 20 eelselekteeritud seemet (kriteerium: seeme pidi olema terve, mitte kõlujas ega muude nähtavate defektidega). Kuna harilik aeduba on suureseemneline köögivilj, loeti neid seemneid ühele alusele 10 tk. Seemned asetati filterpaberi vahele, millele lisati destilleeritud vesi ja vastavalt katsevariandile erineva kontsentratsiooniga hüdrolüsaadi lahus, petri tassid suleti parafilmiga, et vältida aurustumist. Katse viidi läbi neljas korduses ja neljas variandis: kontrollvariant (ilma hüdrolüsaaditötluseta) ja tötlusvariandid hüdrolüsaadiga kontsentratsioonis 3%, 50% ja 100%. Tötluste jaoks lahjendati hüdrolüsaadi destilleeritud veega.

Pärast katseperioodi avati katse ja tehti vaatlused, hinnati seemnete idanemist, idujuurte moodustumist ja seemnete üldist seisukorda (tabel 14). Kuna tegu on lühiajalise katsega ei määratud täpsemalt haigustekitajate esinemist katsematerjalis – visuaalse vaatlemise põhjal võib öelda, et seenhallitust esines ohtralt.

Katsest selgus, et kasutades 3% list hüdrolüsaadi lahust idanesid salatkressil 96%, oal 53% ja nisul 64% seemnetest. Kui kasutati 50% ja 100% hüdrolüsaadi lahust oli märgata, et seemned jäid füsioloogilise põua kätte, mis inhibeeris idanemist, ehk lahustunud toitesoolade kontsentratsioon oli liiga kõrge (joonis 76).

Tabel 14. Seemnete idanemise katse tulemused (idanenud seemneid tk).

Katse	Salat kress				Katse	Uba				Katse	Nisu			
	0%	3%	50%	100%		0%	3%	50%	100%		0%	3%	50%	100%
1	20/20	18/20	0/20	0/20	1	0/10	4/10	0/10	0/10	1	17/20	7/20	5/20	0/20
2	20/20	19/20	0/20	0/20	2	2/10	7/10	0/10	0/10	2	11/20	19/20	0/20	0/20
3	18/20	20/20	0/20	0/20	3	3/10	5/10	0/10	0/10	3	17/20	12/20	2/20	0/20
4	19/20	20/20	0/20	0/20	4	2/10	5/10	0/10	0/10	4	17/20	13/20	0/20	0/20
Hinne	5/5	3/5	0/5	0/5		2/5	3/5	0/5	0/5		2/5	4/5	0/5	0/5



Joonis 76. Idanemiskatse.

Kuna idanemise katse näitas, et kõrgemate hüdrolüsaadi kontsentratsioonide juures esines täielikult väljaarenemata idujuuri ja idanemine üldiselt oli pärssitud viidi läbi täiendavad keemilised analüüsid, et selgitada välja, millised ühendid pärssivat mõju avaldavad.

Analüüsiti täiendavalt viimase kahe kanistri hüdrolüsaati pärssivate omaduste osas. Esimene kanister (1) oli seisnud 4 kuud pimedas ruumi temperatuuril (+20 °C) ning teine (2) oli seisnud pimedas ja jahedamas kohas (temperatuur alla + 20°C).

Lisaks viidi läbi Põllumajandusuuringute Keskuse agrookeemia laboris täiendavad analüüsid kahe lüsaadi proovi keemilisteks analüüsideks, et kontrollida vedeliku inhibeerivaid markereid (tabel 15). Analüüsitulemuste põhjal võib järeldada, et toiteelementide sisaldused lüsaadis olid pigem madalad. Küll aga oli üheks seemnete idanemise pärssivaks teguriks lüsaadi pH 4,09, mis on tugevalt happeline keskkond. Erinevates uuringutes on rõhutatud veel fosfori ja kaltsiumi kõrgete kontsentratsioonide toksilisust seda eriti taimede varajases arengujärgus [12; 13]. Kuus kuud hiljem näitasid analüüsid hüdrolüsaadis 4% alkoholi. Cornelli ülikoolis läbiviidud uuring nartsissidega (*Narcissus tazetta*) näitas, et 4-6% alkoholi lahus võib taimede kasvu pärssida kuni 1/3, kusjuures 10%-line lahus mõjub taimedele juba toksiliselt. Hüdrolüsaadi lahjendamisel omab alkohol vähest pärssivat mõju. Äädikhapet ei tuvastatud.

Sama projekti raames läbiviidud katsete käigus lüsaadi kasutamisel mustasõstra leheväetisena tuvastati, et 5% ja 4,5% lüsaadi lahuse elektrijuhtivuse väärtused olid 2,05 ja 1,89 mS/cm, mis on soovituslik väärtus kasvusubstraatide optimaalse toiteelementide sisalduse puhul. Lüsaadi kasutamisel seemnete idandamisel selgus, et erinevatel kultuuridel on erinev tundlikkus lahuse toitesoolade kontsentratsiooni osas. See tähendab, et lüsaadi kasutamisel tuleb hoolikalt arvesse võtta kasutusnorme ja kasutusotstarvet.

Tabel 15. Hüdrolüsaadi keemiline koostis.

Parameetri nimetus, ühik	Tulemus
Kuivaine, %	13,0
Kaltsium – Ca, %	0,25
Magneesium – Mg, %	0,01
Väävel – S, %	0,13
Fosfor – P, %	0,12
Kaalium – K, %	0,88
Elavhõbe – Hg, mg/kg	< 0,01
Veeslahustuv fosfor – P, %	0,11
Veeslahustuv kaalium – K, %	0,79
pH	4,09
Lämmastik – N, kg/t	4,71
Lahustuv lämmastik, kg/t	
ammooniumlämmastik (NH ₄ -N)	0,33
nitraatlämmastik (NO ₃ - N)	0,06

*Analüüsid teostati Põllumajandusuuringute Keskuse agrokeemia laboris (katseprotokollid nr 20-036394 AKL ja nr 20-036395 AKL)

4.5. Kokkuvõte

Hüdrolüsaadi valmistamine on jõukohane igäihele, seega sobib ka kohtadesse, kus kala kaldale tuuakse. Tähelepanu tuleks pöörata sellele, et:

- Hüdrolüsaadi valmistamise anum peaks olema valgust mitte läbi laskev (või asetsema pimedas ruumis) ja mugav komponentide lisamiseks. Samuti peab olema vedeliku vahelihist välja laskmiseks kraan sobival kõrgusel (ca 1/5 kuni 1/4 põhjast) ning lõpus anuma mugavaks pesemiseks all suurem ava.
- Õhulukk on vajalik vältimaks putukate ja hapniku ligipääsu.
- Melass ja vesi on soovitatav enne kala lisamist hoolikalt segada. Kasulik võib olla kala juurde segada teisel päeval, et esimesel päeval lisatud piimhapebakterite arvukus oleks selleks ajaks juba tõusnud ning vedeliku pH madalamaks muutunud. Samuti on abiks kala(massi) lisamisel see enne veega segada.
- Oluline on jälgida, et pH püsiks madalal, sest vastasel juhul arenevad patogeenid ja tekib ebameeldiv lõhn.
- Enne valmisprodukti piserdamist tuleb see filtreerida.

- Pärast reaktorist hüdrolüsaadi eemaldamist jääb järele jääk, mille potentsiaali väetisena võiks edaspidi uurida.
- Hüdrolüsaadilahuse madal lämmastikusisaldus viitab lämmastiku lendumisele anaeroobses reaktsioonikeskkonnas. Lämmastikukao vältimiseks oleks tõenäoliselt vaja 1) lühendada hüdrolüüsamise aega, et vältida peptiidides sisalduvate aminohapete lagunemist ja neis oleva lämmastiku mineraliseerumist ning 2) võimalusel optimeerida hüdrolüüsiprotsessi, et vältida anaeroobsest keskkonnast tulenevat lämmastikkgaaside teket. Viimasel juhul tuleks välja selgitada, kas hüdrolüüsi saab läbi viia ka aeroobses keskkonnas, kui samal ajal soovitakse siiski rakendada piimhappebakterite poolt tekitatud happelist keskkonda patogeenide ja roiskumist põhjustavate bakterite tõrjumisel.

Hüdrolüsaadi kasutamisest leiab täiendavat infot käesoleva aruande taimkatsete peatükist.

5. Taimkatsed

5.1. Trummelreaktoris valmistatud kalakompostide väetuskatsed

Polli Aiandusuuringute Keskuses viidi läbi trummelreaktor tüüpi kompostrites (2018) valmistatud kalakompostide väetuskatsed valitud marjakultuuril. Valituks osutus must sõstar. Musta sõstart paljundatakse pistokstega tavaliselt peenratel, avamaal. Kevadel rajatud pistoksad peavad juurduma olles seega tundlikud erinevate keskkonnatingimuste ja väetiste suhtes. Samuti peab pistoksast arenema vegetatsiooniperioodi jooksul tugev kvaliteetne istik tootmisaia rajamiseks järgneval aastal. Seetõttu on musta sõstra istikud head mudeltaimed väetuskatse läbiviimiseks. Kalakompostiga väetuskatsed viidi läbi nii kasvuhooes nõukatsena ja avamaa peenral.

5.1.1. Musta sõstra pistokste juurdumine nõukatses

Viis erineva retseptiga kalakompostid valmistati Eesti Maaülikooli katselabori konteinerkompostrites. Kompostid avati 11. aprill ja kalakompost hoiustati kastides katse rajamiseni. Katse rajamisel määrati viie erineva komposti variandi komposti elektrijuhtivus ja pH portatiivsete analüsaatoritega, kasutades 10 g komposti, millele lisati 20 ml destilleeritud vett. Proovid segati analüüsides eelselt loksutil 2 tundi (tabel 16).

Tabel 16. Trummel kompostris valmistatud kompostide ja substraadi elektrijuhtivus ning pH.

Substraadi variandid	Elektrijuhtivus EC (mS/cm)	pH
1. kompost	7,95	8,45
2. kompost	5,26	7,73
3. kompost	6,9	8,7
4. kompost	6,89	8,75
5. kompost	7,83	8,83
6. turvas	1,552	5,5
7. perliidi segu	0,776	6,23

Nõukatsed rajati 18.04.2018, eesmärgiga võrrelda erinevate kalakompostide mõju (kasutades substraadina) musta sõstra pistokste juurdumist pottides, kasvuhoo tingimustes (joonis 77). Kasutati 18 cm pikkuseid musta sõstra 'Karri' pistoksi, pungade arv oksal 4-5. Pottide suurus 3 l, kõiki potte kasteti istutades ca. 0,5l veega. Kõiki nõuistikuid kasteti ja hooldati regulaarselt katseperioodi jooksul.



Joonis 77. Nõukatse rajamine pistokstega (18.04.2018).

Kalakompostid (5 varianti) segati vähelagunenud kasvuturbaga vahekorras 1:1. Kontrollina kasutati kasvu turvast 100% (variant 6) ning turba perliidi segu (variant 7), lisati ka üks segamata kalakomposti variant 8 (kompost nr.3) (tabel 17, joonis 78).

Tabel 17. Komposti segude variandid ja nende elektrijuhtivuse ja pH analüüsid.

Variandid	Elektrijuhtivus EC (mS/cm)	pH
1. Kompost 50% +turvas 50%	6,25	7,98
2. Kompost 50% +turvas 50%	3,78	6,93
3. Kompost 50% +turvas 50%	4,57	7,79
4. Kompost 50% +turvas 50%	4,52	8,06
5. Kompost 50% +turvas 50%	5,47	7,92
6. Turvas 100%	2,51	6
7. Turvas ja perliidi segu	0,936	6,1
8. Kompost 100% (variant nr.3)	8,67	8,9



Joonis 78. Musta sõstra istikute väetuskatse ühe nädala ja 2 kuu möödudes.

5.1.1.1. Nõukatse tulemused ja kokkuvõte

- Kõikide katsevariantide puhul jõudsid pistoksad 1-2 lehe tekkimise faasi ühe nädala jooksul. Kuu aja möödudes (16.05.2018) peale katse algust oli märgata, et pistoksad edasi ei arene ning esineb pistokstel lehtede kuivamist.
- Lehtede kuivamise efekt oli tingitud liialt kõrgest elektrijuhtivusest ehk soolsusest substraadis. Samuti jäi musta sõstra pistokste kasvatamiseks optimaalsemalt kõrgemaks pH (optimaalne pH ca. 5,5 - 7). Kuu möödudes oli katsesse alles jäänud kontrollvariant nr.7 perliidi ja turba segu. Samuti ei kasvanud hästi kontrollvariant nr.6, mille elektrijuhtivus (EC) oli samuti liialt kõrge. Komposti segudest paremaid tulemusi näitas variant nr.2, mille elektrijuhtivus oli segudest kõige madalam ning, mille pH oli musta sõstra kasvuks optimaalne.
- Väetuskatse teisel kuul (13.06.2018) katse peatati. Rahuldava juurdekasvu oli teinud ainult kontrollvariandi (perliit+turvas) musta sõstra taimed.
- Kompostide kasutamiseks substraadina tuleks jälgida elektrijuhtivusega ja pH'ga seonduvaid probleeme. Komposti segu (50%) turbaga sisaldas liiga rohkesti lahustunud toitaineid ja seetõttu musta sõstra taimed ei suutnud juurduda. Musta sõstra pistokste optimaalne elektrijuhtivus jääb ca. 1 mS/cm juurde ja kirjanduse andmetel täiskasvanud taim 1,4-1,8 mS/cm. Kõikide valmistatud kalakomposti variantide segamisel substraatidega tuleb väga täpselt eelnevalt reguleerida segu elektrijuhtivus (EC) mis vastab konkreetsele kultuuri optimaalseks kasvuks.
- Komposti ja vähelagunenud turba optimaalne vahekord leiti 1:5 kuni 1:10, mille puhul elektri juhtivus langes alla 1 mS/cm. Samas muutub segu pH happelisemaks, mistõttu selle neutraliseerimiseks võiks proovida kasutada dolomiidijahu vms. sarnast materjali.

5.1.2. Kalakompostide väetuskatse avamaal musta sõstra pistokstega

Katse rajamine. Kahe trummelreaktor tüüpi kompostrites valmistatud kalakomposti (nr 1 ja nr 2) mõju võrreldi kontrolliga (turvas) musta sõstra pistokste sort `Karri` juurdumisele Polli aiandusuuringute keskuse katseaia avamaa peenral (tabel 18). Selleks rajati 1,2 m laiune peenar, mis kaeti musta maasikakilega. Katses kasutati 18 cm pikkuseid musta sõstra 'Karri' pistoksi. Pistokstel pungade arv 4-5. Kiletatud peenrale istutati 5 reas pistoksad (19.04.2018), 10 cm vahedega. Seejärel lõigati kile risti meetriste vahedega katki ning avati kileservad ümber ühe taimerea (joonis 79). Avanenud pinnale (ca 0,3 m²) lisati ühtlaselt 200 g kompostid nr 1 ja 2 ning kontroll (turvas). Kasvuperioodil hoolitseti ja jälgiti väetuskatset. Katset ei kastetud. Joonisel 80 on näha kompostidest tekkinud kasvuerinevus.



Istikud kevadel 31.05.2018



Istikud sügisel 11.10.2018

Joonis 79. Musta sõstra `Karri` pistokste väetuskatse kasvuajal.

Tabel 18. Musta sõstra istikute mõõtmed komposti nr 1 ja nr 2 ja kontroll (turvas) lisamisel avamaal.

Variandid	Võrseid	Võrse(te) pikkus, cm	Võrsete kogupikkus, cm	Võrsete läbimõõt, mm	Võrsete läbimõõt kokku, mm
Kompost 1					
1	2	58,0/66,0	124,0	9,0/ 9,0	18,0
2	2	38,5/42,0	80,5	6,0/6,0	12,0
3	2	75,0/ 23,0	98,0	10,0/6,0	16,0
4	1	65,0	65,0	10	10,0
Keskmine	1,75	52,5	91,88	8,0	14,0
Kompost 2					
1	1	42,0	42,0	8,0	8,0
2	1	49,0	49,0	8,0	8,0
3	2	46,0/15,0	61,0	7,0/4,0	11,0
4	1	34,5	34,5	6,0	6,0
5	2	34,0/32,5	66,5	6,0/6,0	12,0
Keskmine	1,4	36,14	50,6	6,4	6,43
Kontroll					
1	1	46,0	46,0	8,0	8,0
2	2	19,5/32,0	51,5	4,0/5,0	9,0
3	2	33,0/23,5	56,0	6,0/4,0	10,0
4	2	28,0/28,0	56,0	6,0/6,0	12,0
5	2	29,0/14,0	43,0	6,0/3,0	9,0
Keskmine	1,8	28,11	50,55	5,3	9,6



Joonis 80. Väetuskatse istikute kasvuerisus sügisel.

5.1.2.1. Avamaakatse kokkuvõte

Trummelkompostis valmistatud kompostide kasutamisest musta sõstra istikute kasvatamisest avamaal saab järeldada:

- Avamaal andis suurima juurdekasvu (võrsete pikkus, võrsete kogupikkus ja võrsete läbimõõt) kalakompost nr 1 (lisandiks vetikas) võrreldes kompost nr 2 ja kontrolliga. Variant nr 1 istikute kvaliteet vastab tootmisstandarduse rajamise nõuetele.
- Kompost nr.2 lisatud istikute võrsete keskmine pikkus ja läbimõõt oli pisut suurem kui kontrollvariandi istikud.
- Võrsete keskmine arv oli kõrgeim kontroll variandil (keskmiselt 1,8 võrset taime kohta). Kuid istikute kõrgus ja läbimõõt oli kontroll variandil ebarahuldav.
- Katse tulemustest ilmneb, et kalakompost sobib musta sõstra pistokste kasvatamiseks avamaal. Kasutada võib komposti taimede pealt väetamiseks.

5.2. Aunas valmistatud kalakompostide väetuskatse

Katses kasutati OÜ Matogard kompostiaunades (2018-2019) valmistatud kalakomposte A1, A2 ja A3, mis oli pakendatud kilekottidesse. Katsed viidi läbi Polli aiandusuuringute keskusel musta sõstra taimede kasvatamisel pistokstest ja kandealises ploomiistanduses.

Musta sõstra taimede kasvatamisel pistokstest kasutati katse rajamisel komposte A1 ja A3. Keskmised komposti kottide kaalud määrati kompostil vastavalt 8 ja 10 kg/kott. Ühele katselapile puistati kaks kotitait kalakomposti mis teeb komposti nr.1 puhul 16 kg/m² (mahumassi järgi 27,6

l/m²) ja komposti nr.3 puhul 20 kg/m² (mahumassi järgi 33,9 l/ m²). Kompostide mahumass määrati Põllumajandusuuringute keskuses kompostide analüüsil. Valitud kalakompostide mõju musta sõstra pistokste juurdumisele ja kasvule hinnatakse Polli aiandusuuringute keskuse katseaias, selleks ettevalmistatud leetjal mullal, keskmise liivsavi lõimisega põlluosal. [14] Musta sõstra pistoksad lõigati hea juurdumisega sordi 'Karri' emastandusest (14.03). Pistokste pikkus oli keskmiselt 18 cm ja pungade arv keskmiselt 5tk pistoksal. Pistoksad pandi maha 0,5x1m (0,5m²)



suurustele katselappidele (15.04). Kõikidele katselappidele istutati 35 pistoksa skeemiga 7 rida, reas 5 taime. Seejärel katselapid kaeti vastavalt (16.04) kalakomposti kihiga ja võrdluseks turba kihiga et võrrelda istiku kasvu vegetatsiooni perioodi lõpul kontrolliks. Katse rajati kolmes korduses (joonis 81). Vegetatsiooni perioodi jooksul katselappe ei kastetud.

Joonis 81. Must sõstra pistokste katse kevadel, 16.04.2019.

Katseala mulla analüüs. Katselappide mulla väetustarbe selgitamiseks viidi läbi mullas sisalduvate toiteelementide analüüs. Selleks koguti kevadel (29.04.2019) mullaproov vastavalt Põllumajandusuuringute keskuse juhendile ja mullaproovi analüüsiti olulisemate makroelementide osas. Saadud analüüsi tulemusi (tabel 19) võrreldi koostatud väetistarbe soovitustega, hinnates võimalike toiteelementide vajadusi [15]. Sobivaim mulla pH on kirjanduse andmetel musta sõstra tootmisstanduses pH 5,5-7 [16]. Katseala mulla analüüsist selgus et katseala muld, pH 5,5 on pisut happeline pistokste parimaks juurdumiseks, vajades täiendavat lupjamist 3,5 t/ha [16]. Analüüsitud mulla süsinikusisaldus oli katsealal kõrge C_{org} 1,7. Katseala mullas tuvastati mangaani suur vajadus (tabel 19). Teiste uuritud toiteelementide puhul on vajadus väga väike kuni keskmine.

Tabel 19. Katseala mullaproovis sisalduvad mikro- ja makroelementide sisaldused

Toiteelement	P	K	Mg	Cu	Mn	B
Sisaldus mullaproovis mg/kg	326 mg/kg	253mg/kg	112mg/kg	2mg/kg	65mg/kg	0,48mg/kg
Mulla väetistarbe vajadus ja referentsväärtus mg/kg Mehlich 3 meetodil	Väga väike, >145	Väike > 196-360	Keskmine >101-150	Keskmine > 1,5-2,5	Suur <75	Väike >2,7

Katsemeetodid: pH – ISO 10390; P, K, Ca, Mg, Cu, Mn – Mehlich III; B – Bergeri ja Truogi meetod; C_{org} – sulfokroom meetod.

Kompostidega lisatud toitained katsealale. Katsealale lisatud kompostide pH oli neutraalsem, mis aitas kaasa toiteelementide omastamisele. Kõrge süsiniku sisaldus C_{org} tõstab katseala huumuse sisaldust. Kalakompostiga lisamisega tõusis oluliselt toiteelementide sisaldust mullas (tabel 20) mis väljendus pistokste tugeva vegetatiivse kasvuna. Taimede tugevam kasv võrreldes turba katseala taimedega oli selgelt eristatav juuli-augusti kuus (joonis 82).

Tabel 20. Kalakomposti toiteelementide sisaldus ja kompostiga lisatud kogused katsealale.

Toiteelemendid	Kompost A1		Kompost A3	
	Sisaldus kompostis mg/l	Katselapile, g	Sisaldus kompostis mg/l	Katselapile, g
Nitraatlämmastik (NO ₃ -N)	515	14,21	290,9	9,89
Fosfor (P)	1531	42,26	471	15,97
Kaalium (K)	887	24,48	1941	65,80
Kaltsium (Ca)	4634	127,90	1699	57,60
Magneesium (Mg)	512	14,13	421	14,27
Raud (Fe)	96	2,65	63	2,14
Boor (B)	0,93	0,03	1,13	0,04
Vask (Cu)	0,6	0,02	0,6	0,02
Mangaan (Mn)	15	0,41	15	0,55



Kompost nr.1



Kompost nr.3

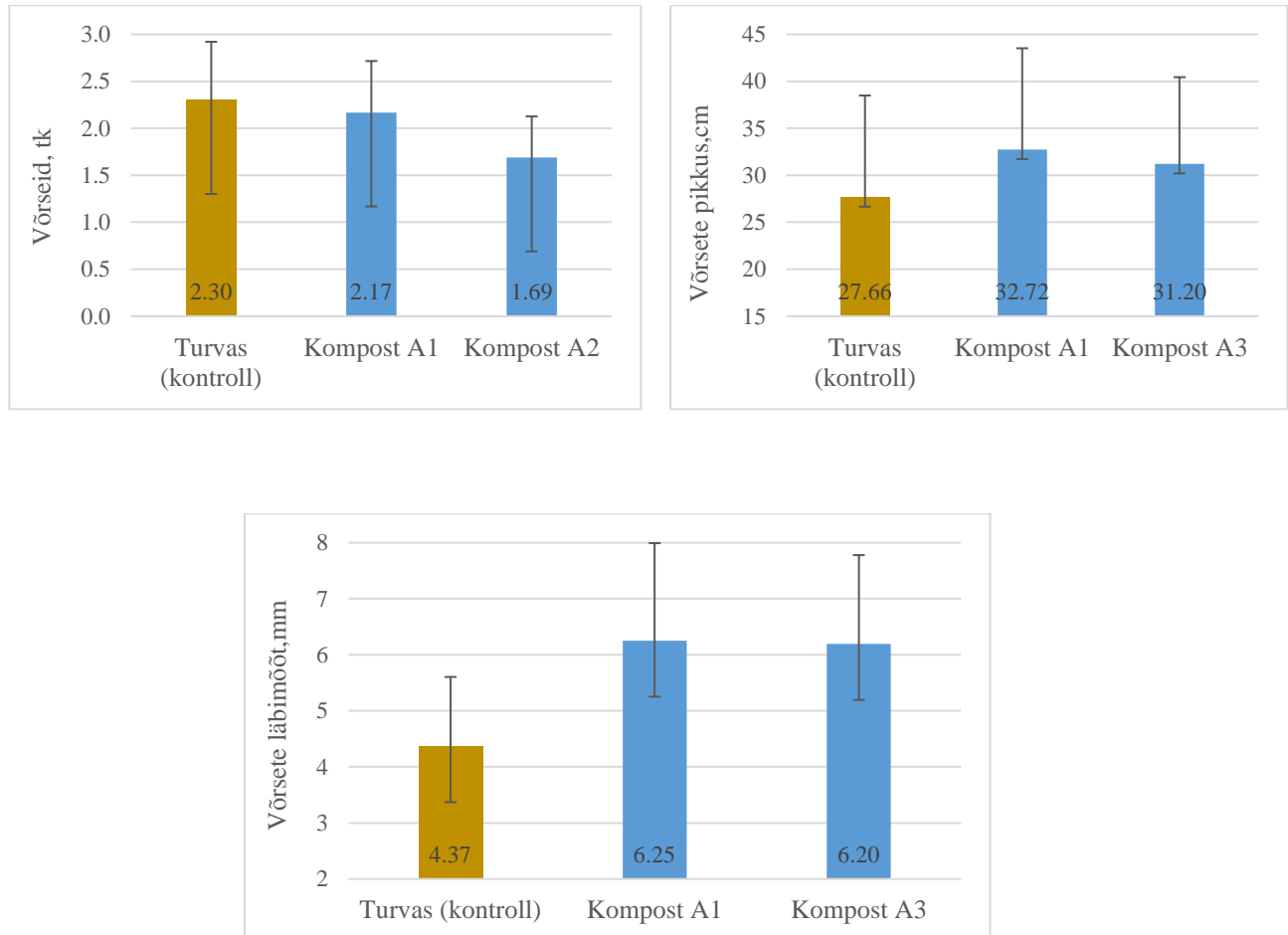


Kontroll, turvas

Joonis 82. Kalakompostiga väetatud musta sõstra pistoksad 6.08.2019 katsealal võrreldes kontrolliga.

Tulemused. Musta sõstra istikud kaevati välja istikukoolist 30.09.2019. Sooja sügise tõttu ei olnud istikud täielikult kasvu lõpetanud ja lehti langetanud. Kogutud istikutel mõõdeti kasvanud võrsete

arv taimel, kasvanud võrsete pikkus tipupungast kuni pistoksani ja kasvanud võrsete läbimõõt, mõõdetuna 1 cm kauguselt pistoksast (joonis 83).



Joonis 83. Võrsete keskmine arv, pikkus ja läbimõõt istikutel.

Ploomi istanduse väetamise katse. Väetamiskatses kasutatud ploomiistandik on rajatud 2016.a. kevadel. Istandiku pindala 0,8 ha. 2018.a. kevadel kasutati ploomiistanduses kooremultši ja sügisel osadele ridadel turbamultši. Kevadel 2019 teostati kõigil puudel võralõikus ja võraaluste freesimine. Reavahesid niideti suve jooksul 4 korda ja võraaluseid trimmerdati kaks korda. Ploomipuude tolmeldamiseks toodi ploomiaeda 30. aprillil kaks kimalastaru (Natupol Standaed) mis hangiti Horticom-ist. Kevadel anti ploomiistanduses võra alla 30,0 kg lämmastikväetist arvestusega 70 g igale puule. Taimekaitse ploomiistanduses viidi läbi järgmiselt:
 I pritsimine 20. mai (Fastac + Switch + orgaaniline leheväetis Folist;
 II pritsimine 21 juuni DecisMega + Switch,+ orgaaniline leheväetis Folist.
 Aastal 2018 teostati katsealal mulla toitainete analüüs (tabel 21). Määrati mulla pH 6,1 (meetod ISO 10390).

Tabel 21. Katseala mullaproovis sisalduvad mikro- ja makroelementide sisaldused.

Toiteelement	P	Ca	K	Mg	Cu	Mn	B
Sisaldus mullaproovis mg/kg	199 mg/kg	1526 mg/kg	235 mg/kg	79 mg/kg	1,5 mg/kg	41 mg/kg	1,39 mg/kg
Mulla väetistarbe vajadus ja referentsväärtus mg/kg Mehlich 3 meetodil	Väga väike, >145	-	Väike > 196- 360	Keskmi ne >101- 150	Keskmi ne> 1,5- 2,5	Suur <75	Väike >2,7

Katsemeetodid: pH – ISO 10390; P, K, Ca, Mg, Cu, Mn – Mehlich III; B – Bergeri ja Truogi meetod; Corg – sulfokroom meetod.

Väetamiskatse kalakompostiga. Katses kasutati OÜ Matogard kompostiaunades valmistatud kalakomposti, mis oli pakendatud kilekottidesse.

2019.a. kevadel 29.aprillil laotati kahele reale (millel enne komposti pandud ei olnud) kala komposti A2 ja A3 (eelviimane ja viimane rida) (joonis 84). Ühele puule, ca 1m² võra alusele alale puistati üks kotitais kalakomposti, mis teeb komposti A2. puhul 7 kg (mahumassi järgi 15,9 l) ja



komposti A3 puhul 10kg (mahumassi järgi 16,9l). Kompostide mahumass määrati komposti analüüsil (tabel 22). Kuna lisatud kompostide mõju vegetatiivsele juurdekasvule on ühe vegetatsiooni perioodil vähene, analüüsiti ploomi lehtedes ja viljades sisalduvaid toiteelementide sisaldusi.

Joonis 84. Kalakompostidega väetatud ploomiistandus.

Tabel 22. Kalakomposti toiteelementide sisaldus ja kompostiga lisatud kogused ploomiistanduses ühele puule.

Toiteelemendid	Kompost 2		Kompost 3	
	Sisaldus kompostis mg/l	Puule kompostiga, g	Sisaldus kompostis mg/l	Puule kompostiga, g
Nitraatlämmastik (NO ₃ -N)	298,8	4,75	290,9	9,25
Fosfor (P)	1360	21,62	471	14,98
Kaalium (K)	1005	15,98	1941	61,72
Kaltsium (Ca)	3623	57,61	1699	54,03
Magneesium (Mg)	364	5,79	421	13,39
Raud (Fe)	64	1,02	63	2,00
Boor (B)	0,66	0,01	1,13	0,04
Vask (Cu)	0,5	0,01	0,6	0,02
Mangaan (Mn)	12	0,19	15	0,48

Katsealadelt kogutud lehe- ja viljade analüüsid. Selleks et hinnata kalakompostidega lisandunud toiteelementide omastamist taimede poolt analüüsiti musta sõstra ja ploomi katsealalt lehe ja viljade proove (tabel 23). Analüüsi tulemustest ilmneb kalakompostidega väetatud variantide valdavalt oluliselt kõrgem toiteelementide sisaldus võrreldes kontrolliga.

Tabel 23. Väetatud ja väetamata taimedelt võetud lehe- ja viljaproovid 6.08.2019.

Proovi kirjeldus	Kasutatud substraat	Analüüsi tulemused				
		N %	P %	K %	Ca %	Mg %
Kontroll. Ploomi lehed (3 rida)	Koore multšil	1,971	0,157	1,394	0,958	0,247
Ploomi lehed (eelviimane rida)	kala kompostil A2	2,102	0,197	2,017	1,079	0,294
Ploomi lehed (viimane rida)	kala kompostil A3	2,377	0,217	2,072	0,979	0,298
Kontroll. Musta sõstra lehed	turba multšil	2,412	0,181	1,252	1,055	0,309
Musta sõstra lehed	kala kompostil A1	3,086	0,175	1,602	1,388	0,392
Musta sõstra lehed	kala kompostil A3	3,074	0,179	1,859	1,344	0,374
Ploomi viljad, Kontroll (3 rida), Valgevene seemik	Koore multšil	0,626	0,104	1,204	0,183	0,223
Ploomid (viimane rida), Valgevene seemik	kala kompostil A2	0,773	0,124	1,350	0,098	0,188

5.2.1. Aunkomposti väetuskatsete kokkuvõte

- Musta sõstra taimede kasvatamisel pistokstest tuvastati kala kompostide (A1 ja A3) positiivne mõju võrsete kõrgus- ja jämeduskasvule võrreldes kontrolliga. Komposti kasutamisega saavutasid istikud sügiseks tootmisistanduse rajamise nõuetele istikute vastava kvaliteedi.

- A1 kompostiga kasvanud musta sõstra istikutel oli keskmiselt rohkem välja arenenud võrseid kui A3 variandil. Samas sisaldas A1 kompost rohkem nitraatlämmastikku ja fosforit kui A3. Samuti sisaldasid kompostiga väetatud musta sõstra lehed rohkem lämmastikku.
- Kompostiga väetatud ploomide lehed ja ka viljad sisaldasid rohkem NPK-d kui kontrollvariandid. Eristub ploomi viljade kontroll variandis kõrgemad Ca ja Mg sisaldused.
- Aunas valmistatud kalakompostid sobivad mehhaniseeritud laotamiseks viljapuuaias.

5.3. Kalahüdrolüsaadi kasutamine ja lehekaudne väetamine

5.3.1. Taustaülevaade

Euroopa biostimulantide turg oli 2018 hinnanguliselt 0,60 miljardit USD ja eeldatakse 10.4% kasvu perioodil 2016–2021. Jääkide kasutamist orgaanilise väetise või biostimulandina reguleerib Euroopa Liidu (EU) 2019/1009 [17] regulatsioon, mis defineerib biostimulandi järgmiselt: Taimede biostimulaator on ELi väetisetoode, mis toimides stimuleerib taimede toitainete omastamise protsessi sõltumata toote toitainete sisaldusest ja mille ainus eesmärk on parandada taime või taime risosfääri üht või mitut järgmist omadust:

- a) toitainete kasutamise tõhusus,
- b) vastupidavus abiootilisele stressile,
- c) kvaliteedinäitajad või
- d) toitainete kättesaadavus mullas või risosfääris.

Kala hüdrolüsaati on traditsiooniliselt kasutatud lahjendatuna kastmisvees köögiviljade ja puuviljade väetamisel. Lüsaadi valguliste ühendites sisalduvad toiteelemendid (lämmastik) muutub samas taimele kättesaadavaks suuresti tänu mulla mikroorganismidele. Kala hüdrolüsaat on kasutust leidnud ka leheväetisena, eeldusel et toiteelemendid, madalamolekulaarsed aminohapped ja kelaadid sisenevad taime läbi lehtede. Kasutatakse vesilahuse kontsentratsiooni 1l/100L [18]. Sõltuvalt pakendatud kogusest ja tootjast varieerub hüdrolüsaadi hind internetimüügis 4,6 -16 eur/liiter. Tavaliselt on turustavate kala hüdrolüsaadi makroelementide sisaldus antud NPK 2-4-2 mis teeb lämmastiku allikana suhteliselt kalliks. Sisaldades amiinohappeid ja toiteelemente on uuringutega leitud, et kala hüdrolüsaat parandab toitainete omastamist ja tugevdab taimede juurestikku ning taime tervikuna. Samuti tõstab kasulike mikroorganismide arvukust ning aitab taime kuivuse stressis [19]. Samas leidub suhteliselt palju uuringuid, milles taimede kasvule mõju puudus [20]. Siiski võrreldes kalakompostiga oleks nõudlus ning turu valmisolek märksa suurem.

Musta sõstra taimede lehtede kaudu väetamine. Leheväetiste kasutamise mõju musta sõstral on suhteliselt vähe uuritud. Toiteelemendid omastatakse taimede kasvuks eelkõige juurte kaudu ja valdav osa väetustarbust kaetakse mulda viidavate orgaaniliste ja mineraalsete väetistega [21]. Leitud on, et musta sõstra saagiga (10-12 t/ha) viiakse istandusest välja keskmiselt 55-65 kg N/ha, 10-12 kg P/ha, 43-50 kg K/ha ja 5-7 kg S/ha [22]. Seetõttu kandeealise istanduse kevadine ja saagi koristusjärgne juurte kaudu väetamine on olulise tähtsusega, kusjuures lämmastiku puudus on saagikust kõige määravam faktor [22].

Musta sõstra kasvuks on V. Mattila andmetel fosfori soovitavaks sisalduseks mullas leitud 20–40 mg P/kg. Koreda lõimisega mullas on kaaliumi (K) kriitiliseks sisalduseks leitud 50 mg K/kg ja magneesiumi kriitiliseks sisalduseks 25 mg Mg/kg [23].

Lehe analüüside interpreteerimiseks annavad erinevad allikad pisut erinevaid NPK soovitusi.

- Sadowski et. al (1990) on leidnud kriitiliseks sisalduseks lehtedes N 2.70%, P 0.24% ja K 1.24%. Optimaalne magneesiumi sisalduseks on leitud Mg 0.31–0.45% [23].
- Opstad et.al (2007) optimaalseks sisalduseks lehtedes N 2.6-3.0%, P 0.2-0.3% ja K 1.2-1.8% [24]
- AHDB, UK (2020) makroelementide vahemikud kuivkaalus: N 2.8–3.0%, P 0.25–0.35%, K 1.5–2.0%, Mg 0.15–0.20% ja mikroelementide optimaalsed vahemikud kuivkaalus: Mn 30–100 mg/kg, B 20–40 mg/kg, Zn 15–30 mg/kg, Cu 7–15mg/kg, Fe 45–250mg/kg [25].

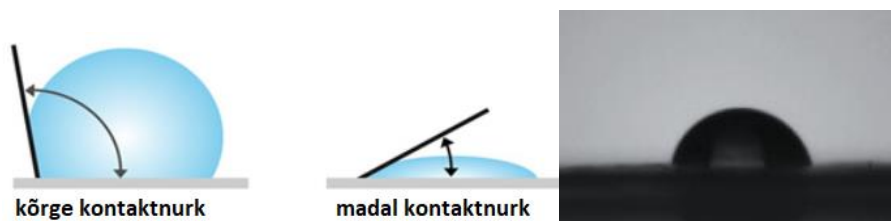
Lehevätamine ei kata kõrge saagikusega kultuursortide kõrget makroelementide (N, P, K) vajadust. Samuti on leitud katsetest, et musta sõstra optimaalsel juurte kaudu väetamisel ei avaldu lehevätamise mõju eristatavalt vegetatiivsel kasvul ja saagil [23]. Samas annab lehevätamine kiire võimaluse leevendada taime vajadusi makro- ja mikroelementide lühiajaliste puuduse korral [26]. Efektivsem on lehevätamine mikroelementide puuduse ilmnemisel nende madalama vajaduse tõttu. Leitud on et väetiste kasutus lehevätamise teel on efektiivsem ja keskkonnahoidlikum, sest lehevätamisel väheneb toiteelementide sattumine põhjavette.

Lehevätamise efektiivsust mõjutvad tegurid. Lehevätamisel on toiteelementide omastamine taime poolt limiteeritud paljude faktorite poolt. Olulist rolli mängib taime lehtede kogupindala (lehe pindala indeks e. LAI) ja taime liik. Samuti on leitud et toiteelementide omastamine lehe kaudu on erinev. Hästi omastavad on toiteelementidest N, K, Na, Zn, Cl. Keskmiselt omastatavad Ca, S, P, Mn, B ja madala omastavusega on Mg, Cu, Fe, Mo. Oluline on ka millises vormis toiteelementide antakse (tabel 24). Lämmastiku puhul on leitud et karbamiid (e. urea (NH_2)₂CO) tekitab lehepõletusi vähem kõrgematel kontsentratsioonidel kui sulfaatide koostises. Üldiselt ei ületa pritsimislahuses makroelementide kontsentratsioon 2% lehepõletuste vältimiseks. Mikroelementide kontsentratsioon varieerub 0,1-1,2% piires [21].

Tabel 24. Levinumad ühendid ja lahjendused leheväetamisel makro- ja mikroelementidega [21].

Element	Ühend	Sisaldus (kg) 500 kg pritsimislahuses
N	CO (NH ₂) ₂	3–5
N	(NH ₄) ₂ SO ₄ ; NH ₄ NO ₃ ; (NH ₄) ₂ HPO ₄ ; NH ₄ Cl; NH ₄ H ₂ PO ₄	2–3
P	H ₃ PO ₄ ;	2–3
K	KCl; KNO ₃ ; K ₂ SO ₄	1.5–2.5
Ca	CaCl ₂ ; Ca(NO ₃) ₂	1.5–2.5
Mg	MgSO ₄ ; Mg(NO ₃) ₂	3–10
Fe	FeSO ₄	3–6
Mn	MnSO ₄	1–2
Zn	ZnSO ₄	1.5–2.5
Cu	CuSO ₄	0.5–1
B	Booraks e. Na ₂ B ₄ O ₇	0.25–0.5
Mo	Na ₂ MoO ₄	0.1–0.15

Lehtede põhjalik märgumine on oluline leheväetamisel. See saavutatakse kui pindaktiivsust vähendatakse alla 30 mN m⁻¹ [27]. Ilma pindaktiivsuse reguleerimiseta on hüdrofiilne väetiselahuse piiskade kontaktnurk on väga suur, puudub hea kontakti lehevinnaga ja toiteelementide kandumine lehe pinnalt lehe sisemusse on madal. Lehe välimine, valdavalt hüdrofoobne kutiikula eesmärk on takistada veekadu taimes, sisaldades rohkelt vahasid, mistõttu lipofiilsed ühendid difundeeruvad lehe sisemusse paremini. Pindaktiivsuse vähendamiseks tuleb kasutada mitte-ioonseid märgajaid ja suvalised pesuvahenditena kasutatavad lisandid ei sobi. Katses milles pritsimislahuse pindaktiivsust ei reguleeritud uuriti 43 nm ja 1 µm läbimõõduga vees lahustunud hüdrofiilsete osakeste difusiooni läbi õhulõhede, leiti et difusioon toimus väga aeglaselt, peamiselt õhulõhe sulgrakkude pinna kaudu [28]. Katses selgus et 43 nm läbimõõduga osakesed läbisid poori, samas kui 1 µm osakesed poore ei läbinud. Märgamise efektiivsust on võimalik hinnata kui pihustada märgajalahust vahatatud (parafiin) mikroskoobi alusklaasile ja mõõta tilkade kontaktnurka temperatuuril 25°C. Kui destilleeritud vee kontaktnurga 95° vastab ligi 72 Nm pindpinevus, siis 0,1 % märgaja kontaktnurgal 45° on pindpinevuse väärtus 22Nm. Sõltuvalt kutiikula hüdrofoobsusest on kultuuriti ja sorditi kontaktnurgad erinevad (joonis 85).



Joonis 85. Kontaktnurgad erinevatel pindpinevustel ja destilleeritud vee piisk õuna lehel 84°. [29; 30]

Pritsimise lahuse pH mõjutab toiteelementide difusiooni lehe sisemusse. Üldiseks reegliks on leitud et kergelt happelisem lahus (pH 5,8) aitab kaasa toiteainete difusioonile läbi kutiikula. Kusjuures erinevatel toiteelementidel on erinev optimum. (fosfaatide puhul on hinnatud et absorptsiooni optimum pH 3-3.7, Zn pH 4.1-4.9) [31].

Pritsimislahuse kontsentratsiooni määramisel tuleb arvestada makro-ja mikroelemendi tarbega, toiteelemendi fütotoksilisuse piiriga, taime liigi ja kasvufaasiga ning keskkonnatingimustega. Leitud on, et mõne toiteelemendi kontsentratsioonid võivad olla kõrgema kontsentratsiooniga kui hüdroponikas kasutatavad väetiste lahused. Nii näiteks Fe⁺ puhul on lehevätiste soovituslikud kontsentratsioonid 500-1200 ppm, samas juurekaudu väetise lahustes 1-3 ppm. Samas, sõltuvalt koostisest ei sobi paljudel juhtudel lehevätised (nt. CaCl) juurte kaudu väetamiseks ning vastupidi [32].

Oluline on pritsimise ajastamine. Pritsimine on efektiivsem kui taime lehestik on arenenud, lehe õhulõhed on transpiratsioonil avatud, sest on leitud, et õhulõhede ja lõvede kaudu toimub valdav toiteelementide difusioon lehe sisemusse. Seetõttu on väga oluline, et lehe alumine pind (paikneb valdav osa õhulõhedest) saaks lehevätisega pritsitud. Ei ole soovitatav teostada pritsimisi kõrgetel päikese intensiivsustel ja temperatuuridel (luubi efekt, lahus kuivab liiga kiiresti ja ei difundeeru lehe sisse) keskpäeval vaid õhtusel või varahommikul perioodil. Soovitatav ei ole teostada pritsimisi kui õhutemperatuur ületab 27°C ja täisõitsemise ajal kuna võib suurenda nakkus hallitusseentega ja kahjustuda, pruunistuda õies emakas. Oluline õhu relatiivne niiskus (liiga madala RH puhul lahus kuivab liiga kiiresti) ja õhulõhede avanemisel aururõhu defitsiit (VPD), mis leitakse kui küllastunud aururõhust (VP_{sat}) lahutada atmosfääri õhu tegeliku aururõhk (VP_{air}). Valem $VPD = ((100 - RH)/100) \times SVP$ [33].

Näitena Polli aiandusuuringute keskuse 15.05.2020 õhutemperatuuril oli 7°C (sellel temperatuuril aururõhk (SVP on 1002 Pa) ja RH 74 % on VPD.

$$\begin{aligned}RH\ 100-74&=26 \\26/100&=0,26 \\VPD&= 0,26 \times 1002=260,5\ Pa = 0,2605\end{aligned}$$

VPD 0,26 on väga madal väärtus [34] mis näitab taime madalat transpiratsiooni ja kasvu. Lehevätamine on ebaefektiivne. Avamaa tingimustes lisandub tuule poolt põhjustatud faktor transpiratsioonile ja pritsimise kvaliteedile mistõttu pritsimised reeglina teostatakse tuulevaikse ilmaga.

Lehe väetamise mõju hindamine. Toiteelementidega varustatuse taset hinnatakse valdavalt visuaalsel vaatlusel, mulla- ja lehe analüüside põhjal ning saagikuse kaudu [21]. Taimes liikuvate toiteelementide (N, P, K, Mg) puudus ilmneb esmalt taime vanematel lehtedel mis visuaalselt on märgatav värvimuutusena. Vähe liikuvate toiteelementide (Ca, Zn, B, Cu, Fe, Mn, Mo) puudus ilmneb aga vastupidiselt kasvavates noortes lehtedes. Peale pritsimist arenevates lehtedel võib tekkida nimetatud elementide puudus, mistõttu pritsimisi tuleks teostada mitu korda arenenud

lehestiku intensiivse kasvu ja saagi moodustamise ajal. Mulla analüüsiga saab hinnata kaudselt eelkõige fosfori ja kaaliumi kättesaadavust taime poolt. Lehe toiteelementide analüüsi tulemused on mõjutatud mitmetest faktoritest, sealhulgas taime kasvufaasist ja analüüsitava taime osast [21]. Seetõttu on leheanalüüside teostamisel oluline korrektne proovivõtu meetodika. Analüüsiks võetakse ühesuguse füsioloogilise vanusega, näiteks juveniilse faasi läbinud, täiskasvu saavutanud lehed. Samuti uuritakse võrdluseks vanemaid värvimuutusega lehti. Wójcik et.al (2015) ja Opstad et.al (2007) kogusid väetuskatse leheanalüüsid (ca 20 lehte koos rootsuga) peale saagikoristust või kasvu lõppu sama aasta kasvu keskosast [23; 24]. Klorofüllil analüüsid võeti samuti neljalt, põõsa perifeersetelt kasvudelt suuruskasvu lõpetanud ja tervetelt lehtedelt. Väetamise mõju avaldumist saab hinnata ka taimede saagikuse järgi [21]. Marjad kogutakse peale täieliku värvumist, võrreldakse saagi kogukaalu, lahustunud kuivaine, tiitritavate hapete ja anotsüanidiinide sisaldust [23].

5.3.2. Lehtede kaudu väetamise katsealad

Esmaseks väetuskatse alaks valiti Polli aiandusuuringute keskuse marjaaias (KI-leostunud ja leetjad mullad, ls2) 3 aastase must sõstra sordil `Gofert` (joonis 86, tabel 25). Sort on haiguskindel (eriti vastupidav seenhaigustele), seetõttu sobilik ka maheviljeluses. Põõsas on keskmise



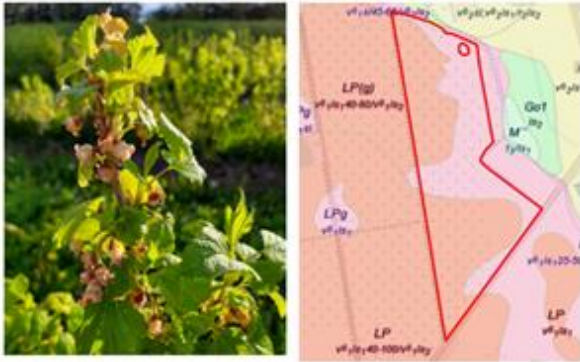
kasvutugevusega, püstise kasvulaadiga. Katserida oli heas seisukorras, haritud, umbrohtumiseta, haigus- ja kahjustustunnusteta. Taimed on toiteelementide puuduse tunnusteta, lehed laiad, võrsete juurdekasvud kuni 10cm pikkused. Esimese pitsimise teostamise ajal (25.05) oli õitsemine lõppenud, märgata pole viljade varisemist.

Joonis 86. Katseala Polli aiandusuuringute keskuses [14].

Tabel 25. Mulla analüüs katsealal.

Toiteelement	P	Ca	K	Mg	Cu	Mn	B
Sisaldus mullaproovis mg/kg	189 mg/kg	1547 mg/kg	199 mg/kg	119 mg/kg	1,3 mg/kg	75 mg/kg	0,5 mg/kg
Mulla väetistarbe vajadus ja referentsväärtus mg/kg Mehlich 3 meetodil	Väga väike, >145	-	Väike > 196-360	Keskmine >101-150	Suur > 1,5-2,5	Suur kuni keskmine 75-150	Väga suur <0,9

Teine katseala valiti Polli aiandusuuringute keskuse tootmisistanduses (Veneküla LP-kahkjad näivleeturunud mullad, ls2) milles kasvav sort `Pamjat Vavilova` sobib kasvatamiseks ka maheviljeluses. Istandus oli 15 aasta vanune, langeva saagikandvusega (joonis 87). Põõsaste rea ääred freesitud, põõsad umbrohtunud. Haigus- ja kahjustustunnusteta. Taimed on toiteelementide puuduse tunnustega, lehed väikesed, võrsete juurdekasvud kuni 2-4 cm pikkused.



Joonis 87. Teine katseala Polli aiandusuuringute keskuses [14].

Kolmas katseala valiti Rõhu katsejaamas (peatükk 3,4), selgitamaks kalahüdrolüsaadi lehe kaudse väetamise mõju teraviljale (suvinisu).

5.3.3. Katses kasutatud lehevätised ja kompostid

Kala hüdrolüsaat valmistati kevadel 2020 ja filtreeriti läbi 5 µm kottfiltrit (saadud 6.05.2020). Hüdrolüsaat oli viskoosne, siirupilise konsistentsiga vedelik. Lõhn ei olnud ebameeldiv, oli roiskumistunnusteta, pigem leivase aroomiga. Hüdrolüsaadi pH erinevatel lahjendustel püsis 4,07. Määrati hüdrolüsaadis sisalduvate toiteelementide sisaldused (tabel 26 ja 27).

Tabel 26. Hüdrolüsaadi lämmastiku sisaldus

Parameetri nimetus	Tulemused
Kogulämmastik (N)	0,46%
Lahustuv lämmastik (NH ₄ ⁺ -N + NO ₃ ⁻ -N)	
- sh ammooniumlämmastik (NH ₄ ⁺ -N)	0,27 kg/t
- nitraatlämmastik (NO ₃ ⁻ -N)	0,06 kg/t

Meetodid: Kogulämmastik – Kjeldahl'i meetod; Nitraatlämmastik – Foss Tecator AN 5232; Ammooniumlämmastik – Foss Tecator AN 5226

Tabel 27. Hüdrolüsaadi toiteelementide sisaldus. (määratud AL-meetodil)

Toiteelemendid	Fosfor 213,618 nm	Magneesium 383,829 nm	Kaltsium 430,253 nm	Kaalium 769,897 nm
Sisaldus lüsaadis	846 mg/kg	172 mg/kg	2839 mg/kg	7636 mg/kg

Vetika ekstrakti permeaat saadi kõrvalsaadusena peenestatud punavetika (*Furcellaria lumbricalis*) vesiekstrakti ultrafiltratsiooni (5 kDa filterelement) permeaadina 23.10.2019. Permeaati keemiline analüüs teostati 18.12.2019 hoiustati jahedas ja filtreeriti läbi 5 µm kottfiltrit vahetult enne pritsimistöde läbiviimist (tabel 28). Permeaat oli käärinud, ebameeldiva lõhnaga. Permeaadi pH erinevatel lahjendustel püsis 7,2.

Vetika jääki on kasutatud traditsiooniliselt põlluväetisena rannaaladel. Punavetika (*Furcellaria lumbricalis*) tormiheide koguti Eestis rannaalalt ja kanti otse põllumulda ning vähem on kasutatud vetika komposteerimist. Vetikate kasutamine võib mõjutada taimede kasvu makro- ja mikroelementide ning kasvuhormoonide lisandumise ja paraneva mulla veehoiuvõime kaudu ning sulfiteeritud polüsahhariidide lisandumise tõttu tõuseb vastupidavus taimehaigustele [19]. Leitud on, et C ja N sisaldus väheneb komposteerimisel vastavalt 29 % ja 30% [19]. Peenestatud vetika jääk koguti dekanteerimisel peale vetikamassi ekstraksiooni kõrvalsaadusena samal ajal.

Tabel 28. Punavetika jäägi ja ekstrakti (permeaadi) keemilise analüüsi tulemused. (Põllumajangusuuringute keskus)

Jrk. nr.	Parameetri nimetus	VETIKA KUIVMASS		VETIKA EKSTRAKT		Analüüsimetodi alus
		Tulemus, mg/kg	Laiendmääramatus, mg/kg, k=2	Tulemus, mg/kg	Laiendmääramatus, mg/kg, k=2	
1.	Fosfor – P	830	± 125	145	± 22,0	PMK-JJ-4C
2.	Kaalium – K	7500	± 980	2500	± 325	PMK-JJ-4C
3.	Kaltsium – Ca	22000	± 2600	100	± 12,0	PMK-JJ-4C
4.	Magneesium – Mg	2700	± 350	240	± 34,0	PMK-JJ-4C
5.	Naatrium – Na	1550	± 250	1100	± 176	PMK-JJ-4C
6.	Vaavel – S	14000	± 3300	740	± 178	PMK-JJ-4C
7.	Mangaan – Mn	3300	± 400	46,0	± 5,50	PMK-JJ-4C
8.	Raud – Fe	630	± 95,0	0,550	± 0,083	PMK-JJ-4C
9.	Tsink – Zn	13,0	± 2,10	0,100	± 0,016	PMK-JJ-4C
10.	Vask – Cu	11,0	± 1,90	0,430	± 0,073	PMK-JJ-4C
11.	Boor – B	69,0	± 17,0	0,710	± 0,178	PMK-JJ-4C *
12.	Koobalt – Co	2,05	± 0,514	0,045	± 0,011	PMK-JJ-4C
13.	Molibdeen – Mo	0,460	± 0,115	0,025	± 0,006	PMK-JJ-4C
14.	Seleen – Se	0,340	± 0,085	< 0,02		PMK-JJ-2B
15.	Arsen – As	4,10	± 1,02	0,713	± 0,178	PMK-JJ-2B
16.	Elavhõbe – Hg	0,013	± 0,003	< 0,01		PMK-JJ-2B
17.	Kaadmium – Cd	0,205	± 0,051	< 0,01		PMK-JJ-2B
18.	Plü – Pb	1,45	± 0,363	< 0,02		PMK-JJ-2B
19.	Kroom – Cr	2,0	± 0,500	< 0,02		PMK-JJ-2B *
20.	Nikkel – Ni	15,0	± 3,75	0,280	± 0,070	PMK-JJ-2B *
		Tulemus		Tulemus, kg/m³	Laiendmääramatus, kg/m³, k=2	
21.	Kuivaine %	39,5				Gravimeetria
22.	Orgaaniline aine (kuivaines), %	76,5				GOST 27980-88 *
23.	pH _{HCl}	8,0				pH-meetria *
24.	Üldlämmastik – N, kg/t	16,0		0,37	± 0,03	Kjeldahli meetod
25.	Lahustuv lämmastik, kg/t sh. ammoniumlämmastik (NH ₄ -N) Nitraatlämmastik (NO ₃ -N)	1,1 >0,01				Foss Tecator AN-5226 Foss Tecator AN-5232

Kalakompostid valmistati OÜ Matogard komposteerimisväljakul 2019 sügisperioodil ja pakendati *big pack* kotti. Elementide sisaldus on toodud tabelis 29.

Tabel 29. Valminud kompostides määrati toite elementide sisaldused EMÜ mullalaboris.

Kood	Koostis %	P	K	Ca	Mg	N	C	Kuivaine
		Al meth. mg/100g				%		
A4	Kala (25), põhk (32), vesi (32), muda (10)	918,7	1030,8	2927,3	300,7	2,7	27,6	60,8
A5	Kala (23), põhk (32), vesi (30), valmis kalakompost (11), muda (4)	801,9	668,3	2680,4	290,8	2,8	27,9	51,6

5.3.3.1. Komposti laotamine ja lehekaudne väetamise läbiviimine

Kala kompost laotati (19.05.2020) Polli musta sõstra tootmisistanduses (Veneküla) ühtlase kasvuga, ca 20 m pikkusele realõigule (joonis 88). Rea laiusele 1,5 m laotati 1 jm keskmiselt märgkaalus 1,888 kg (4 liitrit) kalakomposti (nr.5). See teeb märgkaalus 1,258kg/m² (12,586 t/ha) e. kuivkaalus 0,757 kg/m² (kuivaine sisaldus 40,1%). Peale laotamist freesitud põõsaste ääred kobestati.



Punavetika jääk laotati 8 m pikkusele realõigule. Rea laiusele 1,5 x 1 jm laotati keskmiselt 1,188 kg (3 liitrit) punavetika jääki, mis teeb märgkaalus 1,258 kg/m². Kuivkaalus 0,81 kg/m² (kuivaine 64,44%). Peale laotamist freesitud põõsaste ääred kobestati.

Joonis 88. Kala komposti laotamine.

Kala hüdrolüsaadi ja punavetika permeaadi lahuse pritsimine teostati seljapritsiiga Stihl 20 m pikkusel realõigul, põõsaste mõlemalt poolt täieliku vettimiseni (kulu 15 liitrit). Pritsimised 5% ja 10% kala hüdrolüsaadi lahusega ja 20 % punavetika permeaadi lahusega viidi läbi tootmisaias (sort `Pamjat Vavilova`) (tabel 30 ja 31). Lisaks viidi läbi pritsimine läbi marjaaias (sort `Gofert`) 5% kala hüdrolüsaadiga ja kontrolliks veega. Pritsimislahusele lisati märgajat Wett Gold (Profi) 0,05%.

Tabel 30. Hüdrolüsaadi ja permeaadi lahjenduste elektrijuhtivus.

Lahjendus	Kala hüdrolüsaadi EC, mS/cm	Punavetika permeaadi EC, mS/cm
100 % (lahjendamata)	21,2	9,48
50%	14,1	5,32
25%	8,23	2,93
20%	-	2,17
16,6%	5,84	1,757
10%	3,78	-
7,14%	2,82	-
5%	2,05	-
4,54%	1,890	-

Tabel 31. Kala hüdrolüsaadiga pritsimised Polli musta sõstra katsealadel.

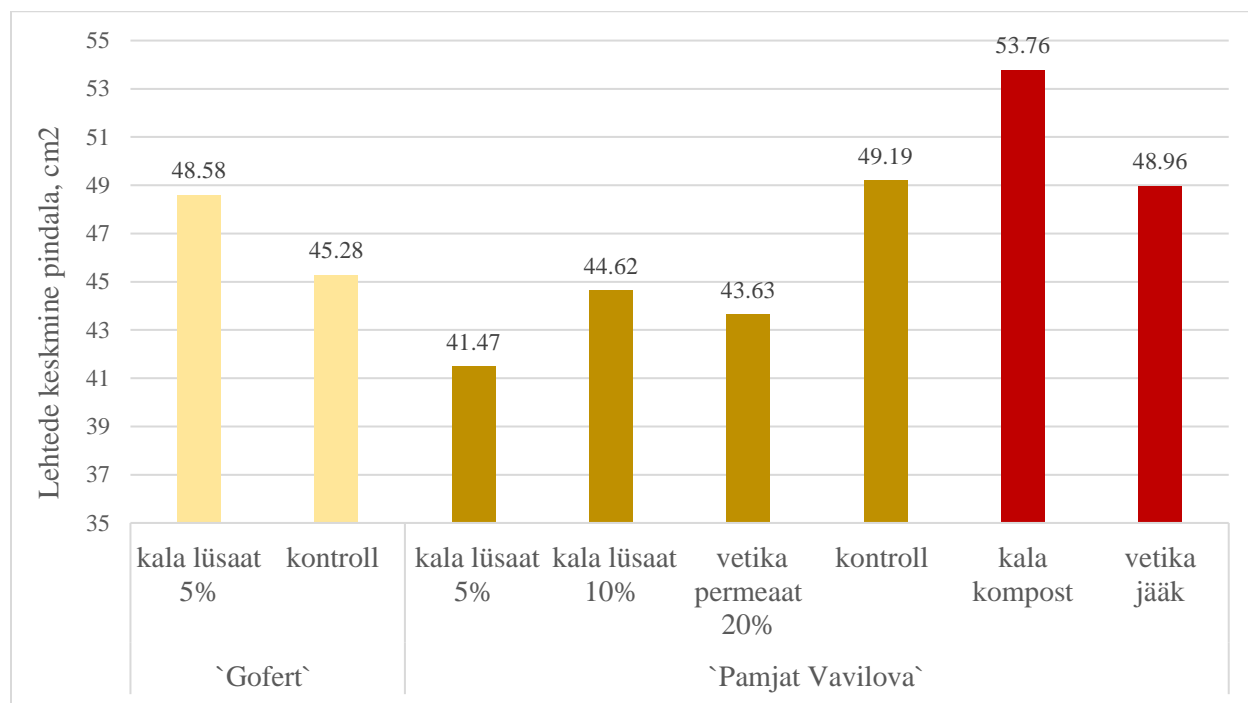
	I pritsimine	II pritsimine	III pritsimine
Pritsimise kuupäev	25.05	2.06	8.06
Kellaeg	18:00	20:00	8:00
VPD	0,41kPa	0,51kPa	0,06 kPa
Õhu RH%	71,88%	59,7%	87,17 %
Õhu temperatuur, °C	12,9°C	10,47°C	18,62 °C

5.3.4. Lehekaudse väetamise ja komposti väetamiskatsete tulemused

Lehtede pindala erisuste hindamine katsealadel. Väetamine toiteelementidega (NPK) avaldub taimede vegetatiivses kasvus ja ka lehepinna suurusel. Selgitamaks kas kasutatud pritsimisvedelikel on mõju või erisusi musta sõstra lehtede pindalale võrreldi keskmist lehtede pindala katsevariantide vahel (joonis 90). Leheproovid koguti katsealadelt 17 päeva peale kolmandat pritsimist (25 juunil). Lehed (keskmiselt 94 lehte igalt katsealalt) koguti ühtlaselt kogu katseala ulatuses, põõsaste kõrgematelt, konkureerivatelt, rohtsetelt võrsetelt. Võrsetelt valiti kuues, välja arenenud leht (loeti võrse tipust, arenevatest lehtedest). Katsealalt kogutud lehtede kogupindala mõõdeti kasutades pildituvastustarkvara Petitole. Pindala tuvastamise täpsust kontrolliti 2x2cm ja 4x4 cm kalibratsiooni lehtedega (joonis 89). Kogupindala järgi arvutati katsevariantidelt kogutud lehtede keskmine lehtede suurus.

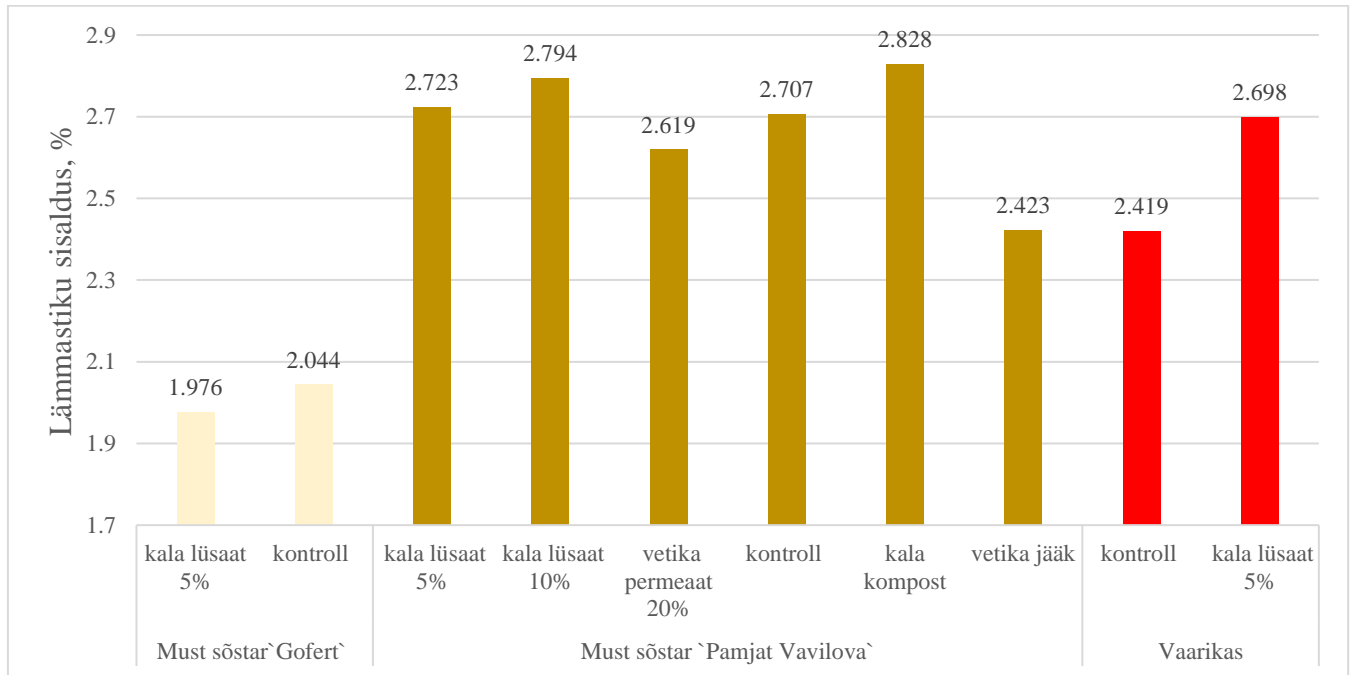


Joonis 89. Lehe pindala mõõtmine.



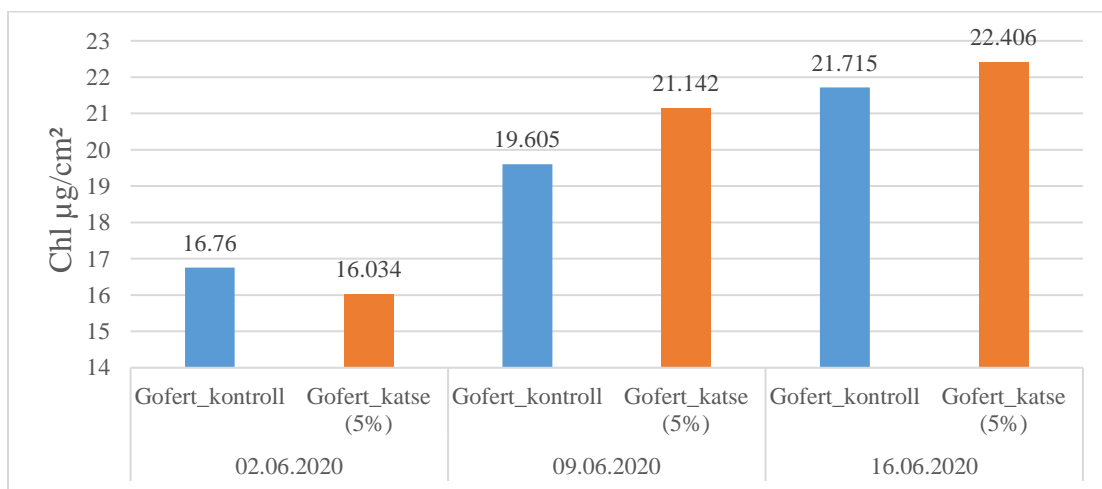
Joonis 90. Lehevätetiste ja kompostide mõju musta sõstra lehe suurusele.

Lämmastiku analüüs lehtedes. Kogutud lehed kuivatati ja analüüsiti lämmastiku sisaldust lehtedes (joonis 91).

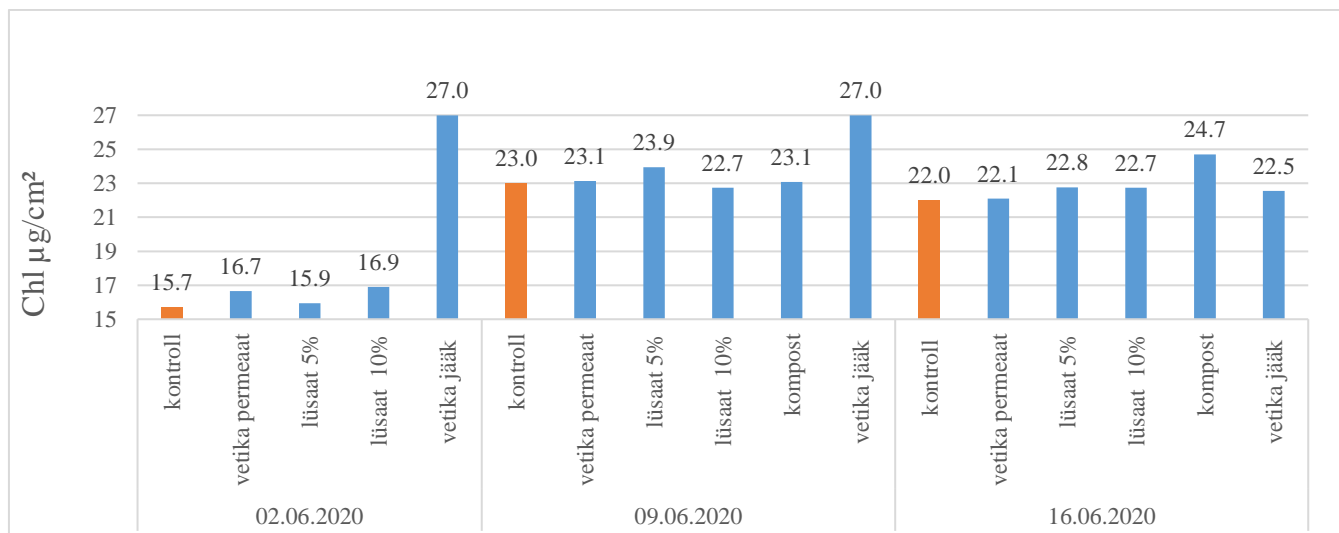


Joonis 91. Lämmastiku sisaldus musta sõstra lehtedes.

Klorofüllü analüüs musta sõstra lehtedes viidi läbi kasvuajal kolmel korral (2.juuni, 9.juuni ja 16.juuni) mõlemal katsealal (joonis 92 ja 93).



Joonis 92. Klorofüllü sisalduse muutus musta sõstra 'Gofert' lehtedes.



Joonis 93. Klorofüllsi sisalduse muutus musta sõstra `Pamjat Vaviklova` lehtedes

5.3.4.1. Tulemuste kokkuvõte

- Musta sõstra lehe pindala oli suurem noorel, 3 aastasel (sort `Gofert`) 5% kalalüsaadiga pritsitud katsealal, võrreldes kontrolli ja võrreldes vana (`Pamjat Vavilova`) tootmisistandusega mida pritsiti kala hüdrolüsaadiga. Samas oli komposti ja vetikat juure kaudu saanud `Pamjat Vavilova` katseala taimede lehed oluliselt suuremad kui pritsimise teel lehevätist saanud katsealad.
- Kala hüdrolüsaadi toiteelementide sisaldused on võrdlemisi madalad (N sisaldus lahjendamata kala hüdrolüsaadis ainult 0,46%). Samas ei saa üle 5% lahjendusega pritsimisvedelikku valmistada kõrge lahustunud ühendite (EC) sisalduse tõttu.
- Kala hüdrolüsaadiga pritsimisel (eriti 10% ja 20% lahjendusel) oli märgata katsealal taime lehe pinnal värvimuutusega täppe, mis ilmselt oli tingitud väetiselahusest tingitud kahjustusest (õhulõhede rakud).
- Lämmastiku sisalduse analüüs musta sõstra lehtedes ei toonud välja usutavat erisust erinevate kontsentratsioonide ja katsevariantide vahel.
- Kõige kõrgem klorofüllsi sisaldus mõõdeti vetika jäägi (kuivatatud punavetika ekstraktsiooni jääk) katsealal katseperioodi alguses. Kala hüdrolüsaadist tulenevat mõju klorofüllsi sisaldusele selgelt ei tuvastatud.

5.4. Taimkatsed suvinisuga

Kompostide ja kala hüdrolysaadi põllumajandusliku kasutamise ning turupotentsiaali hindamiseks põllukultuuridel viidi läbi 2020 aasta vegetatsiooniperioodil Eerika katsepõllul võrdluskatse. Katses võrreldi erinevaid kompostide ja kala hüdrolysaadi mõju nisu kvaliteediomadustele.

5.4.1. Nisu kvaliteediomadused

Teravilja eriti nisu puhul on olulisteks kvaliteedinäitajateks eelkõige saagikus, proteiin, kleepevalk, gluteeniindeks, langemisarv, 1000 tera mass ning mahumass. Kasvu ajal mõõdetakse kaugseire abil vegetatsiooniindeks (NDVI) ehk toitumistase. Erinevate spektrite neeldumise ja peegeldumise näitajate abil on võimalik avastada taimede toitumise häiringuid, kus taimed ei saa toitaineid kätte või neid on liiga vähe.

Proteiinisaldus on kõige sagedamini määratud ja kasutatud teravilja kvaliteedi hindamise kriteerium. Proteiin on inimorganismile väga vajalik toitaine ja tihti ka teraviljast toodetava produkti kvaliteedi tagatiseks. Teravilja proteiinisisaldus sõltub liigist, sordist ja agrotehnikast ning kasvutingimustest. Proteiinisisalduse sünteesiks teraviljades on mulla kui toitekeskkonna varustatus lämmastikuga kriitiliseks faktoriks kuna aminohapete sünteesimiseks, millest proteiin koosneb, on lämmastik üks põhilisi elemente.

Kleepevalk on oluline näitaja nisu kvaliteedi hindamisel. Kleepevalk ehk teraliim ehk gluteen koosneb põhiliselt kahest kõrge molekulmassiga valgust – gliadiinist ja gluteeniinist. Nende valkude omadustest ning suhtest kleepevalgu koostisest sõltubki nisu küpsetuskvaliteet. Kleepevalgu sisaldus sõltub toitainetega varustatusest (eelkõige lämmastik), aga ka ilmastikust (niiskus ja temperatuur) ning kasvatatavast sordist.

Gluteeniindeks näitab kleepevalgu kvaliteeti ehk selle tugevust, mõjutades seega küpsetuskvaliteeti. Gluteeniindeks oleneb sordist ja kasvutingimustest.

Langemisarv on oluline näitaja nisu küpsetuskvaliteedi määramisel. Langemisarv sõltub tärklislagundavate ensüümide, eelkõige α -amülaasi aktiivsusest. Ensüümiaktiivsus tõuseb, kui tera on valminud ja valmis alustama uut elutsükli ning vajab idu kasvatamiseks kergesti kättesaadavat energiat. Terade küpsemise jooksul ensüümide aktiivsus kasvab ja saavutab kõrgpunkti vahaküpseuse faasis ning langeb taas täisküpseuse saabudes. Langemisarvu vähendavad rohked kasvu- ja koristuseaegsed sademed.

Tuhande tera mass näitab tera tuumakust, suurust. 1000 tera mass sõltub suuresti taime toitainetega varustatusest, kasvutingimustest ja sordist. Ebasoodsates kasvutingimustes – toitainete puuduse, põua või lamandumise korral jääb 1000 tera mass tavapärasest väiksemaks.

Mahumass on näitaja, mida kasutatakse vilja puhtuse ja toodangu väljatuleku potentsiaali hindamiseks. Mahumass ei peegelda alati objektiivselt vilja kvaliteeti, sest see sõltub peale vilja prahisuse ja terade sõklasuse ka terade kujust, endospermi tihedusest ning sellest, kui tihedalt asetsevad sõklad ümber tera. Sellegipoolest kasutatakse seda näitajat reeglina vilja kokkuostul, sest

seeda on lihtne määrata. Suureteralist sortide mahumass on tavaliselt väiksem, sest terade vahele jääb rohkem tühja ruumi. Mahumass on väiksem ka pika teraga, samuti ohtelistel ja pikkade sõkaldega teradel. Mahumass on sordiomane tunnus ja seda mõjutavad mulla toitainesisaldus, toitainete ja vee kättesaadavus kasvu ja arengu erinevatel kasvufaasidel ning vegetatsiooniperioodi ilmastikutingimused. Kõrged temperatuurid ja teised stressifaktorid, mis vähendavad vilja terasaaki, põhjustavad tavaliselt ka mahumassi vähenemise.

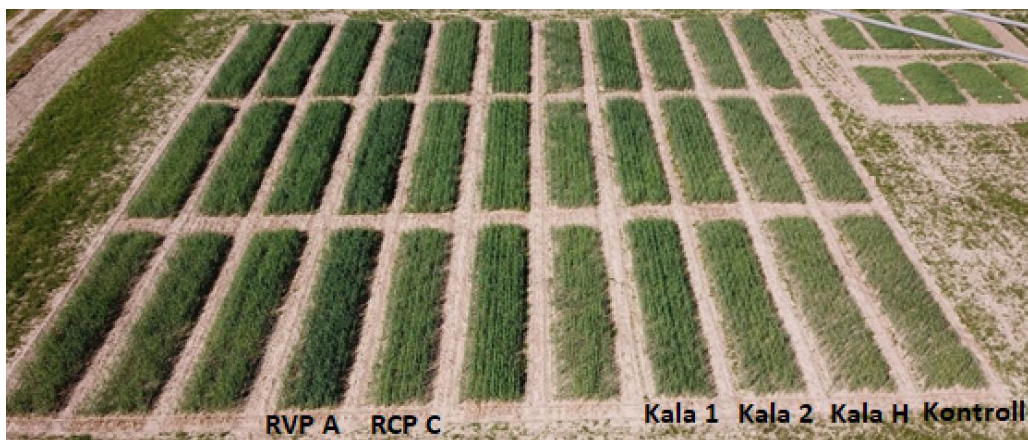
5.4.2. Põldkatses kasutatud kompostid ja hüdrolüsaat

Katses kasutati peale kalakomposti võrdluseks reoveesetekomposte, mis olid valminud kala kompostiga kõige sarnasema tehnoloogia abil, sisaldasid tugiainena põhku ning olid saadud aunkompostimise teel (tabel 32).

Tabel 32. Kompostide kirjeldus.

Kood	Kirjeldus	Üldlämmastik kg/ha	Üldfosfor kg/ha	Kaalium kg/ha	Komposti, t/ha kuivaines
Kala 1	Kalakomposti segu (kompostid A1, A2, A3)	-	34,8	49,3	6,2
Kala 2	Kalakompostide segu, (kompostid A4, A5)	-	28,5	40,9	5,12
RVP A	Reoveesetekompost, koos põhuga, vanus 1 a	275,4	346,8	49,9	10,2
RVP C	Reoveesetekompost, koos põhu ja turbaga, vanus 1 a	162,4	95,2	19,0	5,6

Kõik kompostid toodi katsepaika 2020 aasta kevadel BigBag kottides. Kompostid laotati 29.04.2020 (joonis 94) ning segati koheselt mullafreesi abil mulda. Nisu külvati 30.04.2020. Suvinisu külvisenorm oli 250 kg/ha, komposti laotusnorm oli 20 t/ha. Kala hüdrolüsaadiga (5%) pritsiti katseala kasvuajal kolm korda. Kõik katsevariandid olid kolmes korduses. Kontrolli ei väetatud. Kogu katseala töödeldi kõrreliste maakirbu vastu 06.06.2020 insektitsiidiga Proteus ning 08.06.2020 herbitsiidiga Secator. Lipulehefaasis fikseeriti vegetatsiooniindeks NDVI (Greenseekeri näit) 27.07.2020. Nisu tärkas 12 päeva peale külvi, 12.05.2020. Nisu põldtärkamises ja edasises arengus kompostid taimedele kasvuhäireid ei tekitanud.



Joonis 94. Nisu katseala (vegetatsiooniindeksi mõõtmise ajal, 26.06.2020).

Kasvuajal pritsiti (Kala H) katseala hüdrolüsaadiga kolm korda. Nisu piimküpsuse faasis koguti rohtsed proovid pritsitud ja kontrollalalt ning analüüsiti proovides sisalduvate toiteelementide sisaldusi (tabel 33).

Tabel 33. Kala lüsaadi ja kontroll katsealalt kogutud proovides sisalduvad toiteelemendid.

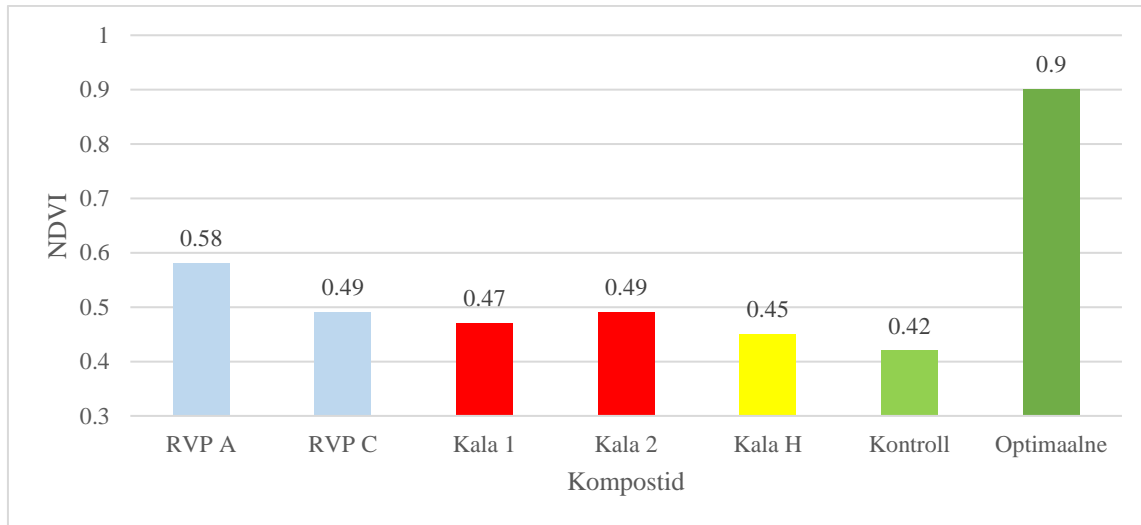
Proov	N %	P %	K %	Ca %	Mg %
Kontroll	1,79	0,373	0,716	0,125	0,117
Pritsitud 5% hüdrolüsaadiga	1,641	0,36	0,71	0,173	0,114

5.4.3. Väetuskatsete tulemused

Nisu saak koristati põllult kombainiga 19.08.2020.

Nisu taimiku arengufaas võrsumise lõpus näitab katsevariantide vahel silmaga nähtavaid erinevusi (joonis 94), eelkõige taimiku rohelisuse osas.

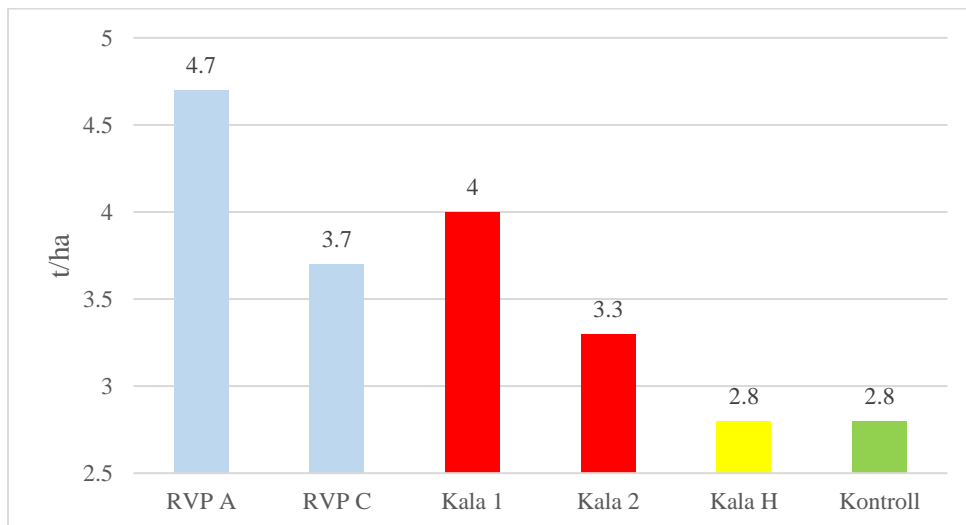
Vegetatsiooni indeks näitab kaudselt klorofüllü kontsentratsiooni ja taimse biomassi kaudu taimede toitumise taset. Tumedamad lehed on indikaatoriks, et taimede varustus toiteelementidega on heal tasemel. Kõige kõrgema saagi andsid RVP A, mida näitab ka kasvuajal tehtud NDVI mõõtmine – tulemused vastavalt 0,58 (joonis 95). Mõõtmine tehtud kui nisu taimed olid lipulehe faasis. Eesti tingimustes on maksimumsaagi juures NDVI näit tavaliselt 0,85–0,90. Kontrollala katselapi NDVI oli 0,42 ning selle kasv parima kompostiga väetatud tulemuseni (0,58) tavapõllul oleks võimalik saavutada mineraalväetiste lisamisega 40 kg/ha lämmastikku. Kui kompostiga on võimalik anda oluline osa taimete vajalikust lämmastikust, siis hüdrolüsaadiga pritsimine seda ei võimaldanud.



Joonis 95. Vegetatsiooni indeks katsealadel (Greensekeri näit 27.07.2020)

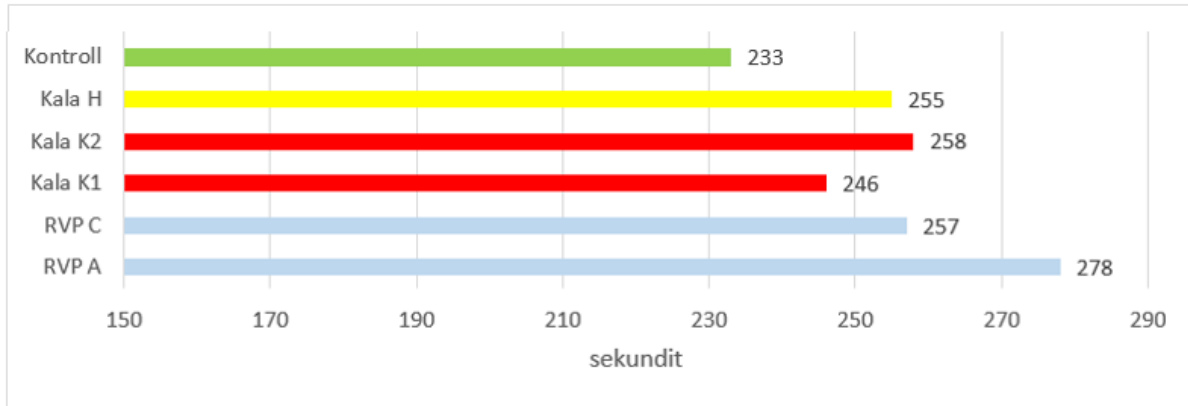
NDVI- (normalized difference vegetation index)

Kontrollkatselapi saagikus oli 2,8 t/ha. Värska substraadi saagikus oli sama, mis kontrollil, seega väetamise efekti ei esinenud. Kõik kompostidega väetatud katevariandid olid suurema saagikusega kui kontrollil (joonis 96). Kala hüdrolüsaadi pritsimisel (Kala H) saagikus kontrollvariandist ei erinenud. Kalakomposti segu (Kala 1) oli kõrgema saagikusega kui (Kala 2), samas madalam kui reoveesette ja põhu komposti (RVP A), kus keskmiseks saagikuseks saadi 4,7 t/ha. (joonis 96).



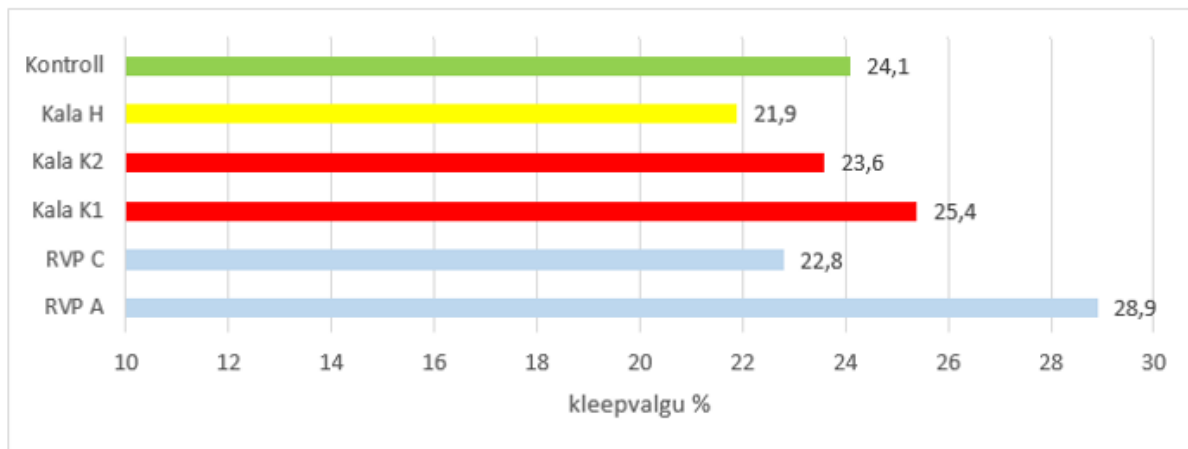
Joonis 96. Nisu keskmine saagikus erinevate kompostide kasutamisel (t/ha).

Võrreldes kontrolliga oli (joonis 97) langemisarv kõigi kompostide puhul suurem. Võrreldes nisu 2020 kokkuostukvaliteediga (kategooria 1 kuni 5) vastab langemisarv toidunisu II kuni I kategooria nõuetele. Katsevariant RVP A vastab I kategooria toidunisu kvaliteedinõuetele.



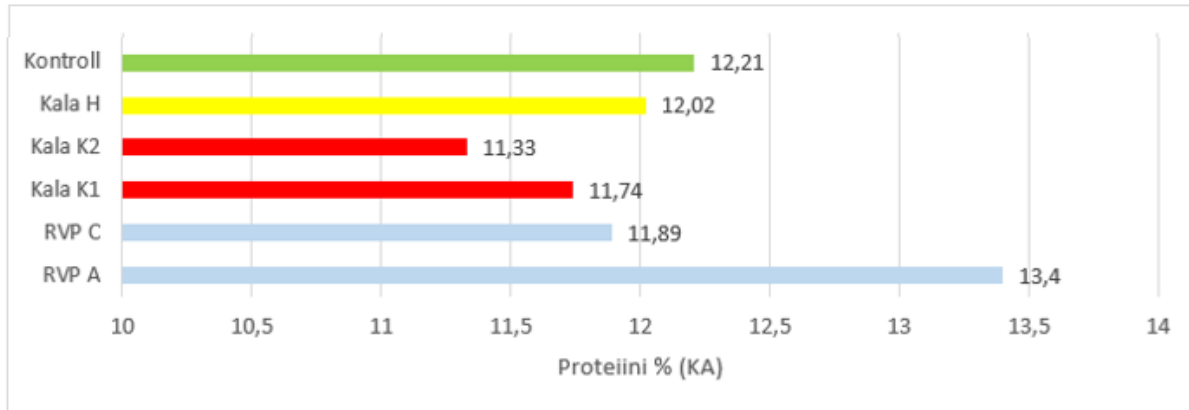
Joonis 97. Nisu langemisarv (sek).

Märja kleepvalgu sisaldus on kontrolliga võrreldes oluliselt parem RVP A (joonis 98). Kleepvalgu sisaldus üle 24% vastab kõrge kvaliteediga toidunisu nõuetele.



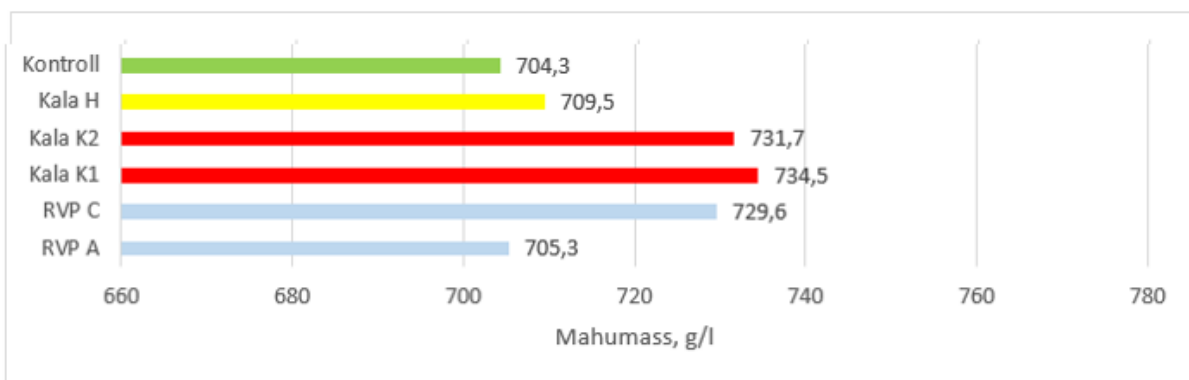
Joonis 98. Märja kleepvalgu sisaldus (%).

Proteiini sisaldus on kontrolliga võrreldes oluliselt parem RVP A katsevariandi korral (joonis 99). Katsevariandi RVP A kompostiga väetamisel on nisu taimikul olnud mullas piisavalt lämmastikku, mille tulemusel proteiini sisaldus seemnetes on tõusnud 13,4%-ni. Sellise proteiinisalduse juures on tegemist II kategooria toidunisu kvaliteediga, mis on väga hea tulemus.



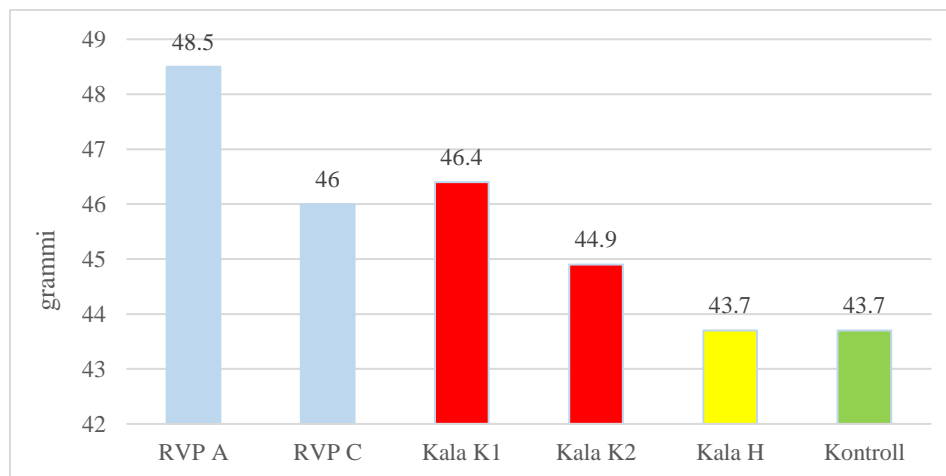
Joonis 99. Proteiini sisaldus.

Nisuterade mahumass on suhteliselt väike kõigil variantidel (joonis 100). Kõige väiksem on see aga Kala 2 puhul, mis ei ületa isegi mitte kontrolli oma ning jääb kokkuostukvaliteedi poolest madalaimasse kategooriasse.



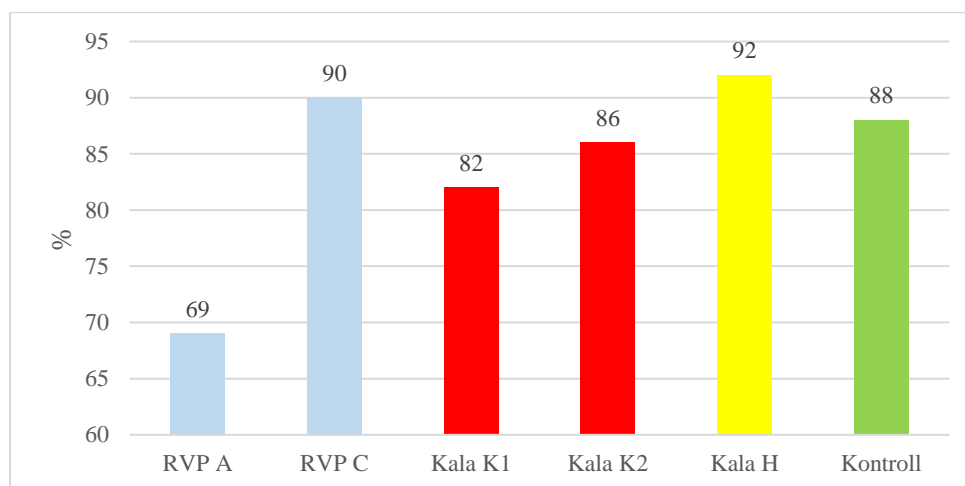
Joonis 100. Nisuterade mahumass.

Nisu seemnete tuumakust iseloomustab 1000 tera mass. Katsevariandi RVP A oli 1000 seemne mass 5g võrra suurem kui kontrollil. Samas kalakompostide mõju jäi tagasihoidlikuks ja kala lüsaadi puhul erisust kontrolliga ei tuvastatud (joonis 101).



Joonis 101. Nisu 1000 tera mass, g.

Gluteeniindeks peaks jääma 60 ja 90 vahele. Sellele kvaliteedile vastasid kõik katses olnud variandid (joonis 102). Gluteeni poolest oli kõige tagasihoidlikum RVP A, mis teiste näitajate poolest pigem juhtis.



Joonis 102. Nisu gluteeniindeks.

5.4.4. Põldkatsete kokkuvõte

- Kompostide laotusnorm oleneb toitainete sisaldusest, eriti just N ja P sisaldusest ning nende maksimaalse hulga sätestab veeseadus. Kuigi kõikidele katsevariantidele anti ühesugune kogus komposti (laotusnorm 20 t/ha), siis toiteelementide sisaldus kompostides oli väga erinev. Laotusnormi määramisel peab komposti tootja tarbija jaoks arvutama N ja P sisalduse kooskõlas veeseadusega – haritava maa ühe hektari kohta tohib anda kuni 170 kilogrammi lämmastikku ja 25 kg fosforit aastas, sh loomade karjatamisel (kui neid sellel maal oli) maale jäävas sõnnikus sisalduv N ja P. Välikatses täheldatud suured erinevused toitainete osas olid tingitud suuresti komposti veesisaldusest. Niiskemate kompostidega viidi põllule toiteelemente vähem, kuivematega rohkem.

Seetõttu kompostide laotusnormid põllule võivad varieeruda väga suurtes piirides, mõnest tonnist kuni mõnekümne tonnini hektari kohta.

- Katses kasutatud kalakomposti segudes olevate toiteelementide sisaldus oli suhteliselt madal, mistõttu kalakompostide positiivne mõju nisu kvantitatiivsetele ja kvalitatiivsetele parameetritele oli vähene.
- Hüdrolüsaadi pritsimisete positiivset mõju kasvuajal nisule võrreldes kontrolliga ei tuvastatud.

Summary

Valuation of low-valued small Fish

In this project we researched various methods to make use of invaluable bycatch fish from Lake Vörtsjärv. If possible, bycatch is recommended to be used as an alternative food sources. Other products (compost, liquid fertilizer, and biogas) were produced from fish deemed unfit for consumption. Fish byproducts leftover from abovementioned products (liquid fertilizer etc.) were used to complement one another to maximize efficient use of materials. Alternative use of bycatch is limited by fish availability, logistics, fish preservation and fish size.

Numerous food items (fish sauce, various culinary products, as well as animal food) can be made from bycatch, assuming the fish is fresh.

Biogas can be made from fish. Initial results indicated that compared to conventional raw materials (slurry and manure, sewage sludge) fish produced twice as much biogas/biomethane. Using bycatch for biogas production is limited due to the logistics of transporting fish quickly to the production line. Equipment to hygienize input fish is required due to fish being classified as category 3 animal by-products. Whether the fermenting of multiple substrates is economically beneficial or not, as well as whether fermenting fish limits the fermentation process needs to be further researched.

One potential use of bycatch is by composting. Open windrow composting was technically feasible but it can't be done anywhere by anyone, due to being classified as a waste management product. The exhaust gas has to be bio-filtered to limit odors. As an alternative, composting in fully automated closed reactors could be applied directly at the harbors where fish is unloaded. Small reactors were not justified, therefore the use of bigger, more complex systems should be considered. Fish compost is well suited for plant growth. Compared to other composts it contains phosphorous which is readily available for plants to use.

Commercial fishermen lack the know-how on how to handle bycatch. Also, the current legislations on Lake Vörtsjärv limits the use and handling of bycatch. Fishermen are preoccupied with catching fish, therefore handling of bycatch should not be overly difficult or time consuming. The following options can be used in handling by-catch fish, or using leftovers and wastes from by-catch to food/feed production:

- Collecting bycatch from fishermen and taking it to the biogas production factory. The know-how and technology for fish fermentation is already available. Phosphorous is left in the digestate and can be applied in agriculture. Potential problems: logistics of transporting fish from the lakeside to the biogas factory; lack of hygienisation equipment for sterilizing fish; lack of continuous flow of fish.

- Collecting of bycatch and transporting it to the compost firms. The capability to make fish compost is already available; however pre-treatment (fish crusher/grinder) and bio filters should be added. There are very few composting sites in Estonia, but new, local composting sites will likely be built soon. Phosphorous will be left in the compost and be used in agriculture.
- Fish composting done on-site in a closed fully automatic compost reactor. Phosphorous will be left in the compost. Compost will be used locally for agricultural purposes.

Projekti tulemuste kajastamine

- Sepp (Lanno), M., Kisand, A., Shanskiy, M., Silm, M. & Kriipsalu, M. 2018. Composting of Fish Waste (presentation). 11th International Conference on the Establishment of Cooperation Between Companies and Institutions in the Nordic Countries, the Baltic Sea Region and the World, Book of Abstracts. Linnaeus, Eco-Tech 2018 conference, Kalmar 19-21 November 2018. Ed. Alriksson, Stina; Lundström, Jelena; Hogland, William. Sweden: Linnaeus University, 73.
- Sepp, (Lanno) M., Kisand, A., Kriipsalu, M., Silm M., & Shanskiy, M. 2018. Fish waste treatment with drum composting technology (poster). Annual conference of IAES doctoral students. Estonian University of Life Sciences, Institute of Agricultural and Environmental Sciences 2018 conference, Tartu, 21 November 2018
- Lanno, M., Silm, M., Shanskiy, M., Kisand, A., Orupõld, K., Kriipsalu, M., (2020). Open windrow composting of fish waste in Estonia. *Agronomy Research*, 18. DOI: 10.15159/AR.20.194 [ilmumas].

Kasutatud kirjandus

1. Järvalt, A., Bernotas, B. & Silm, M. 2016. Võrtsjärve kalavarude seisund ja Eesti angerjamajandamiskava täitmise analüüs. Keskkonnaministeeriumi poolt finantseeritud lepingu nr 4-1-1/15/106-1. Aruanne. 53 pp.
2. Kangur, K., Kangur, A. and Kangur, P., 1999. A comparative study on the feeding of eel, *Anguilla anguilla* (L.), bream, *Abramis brama* (L.) and ruffe, *Gymnocephalus cernuus* (L.) in Lake Võrtsjärv, Estonia. In *Shallow Lakes' 98* (pp. 65-72). Springer, Dordrecht.
3. Võrtsjärv. 2003. Koostatud. Raukas A., Pihu, E., Haberman, J. Tallinn. Eesti entsüklopeediakirjastus: pp. 542.
4. Bernotas, B., Silm, M. & Järvalt, A. 2019. Võrtsjärve kalavarude seisundi ja Eesti angerjamajandamiskava täitmise analüüs. Keskkonnaministeeriumi poolt finantseeritud lepingu nr 4-1/18/69. Aruanne. 37 pp.
5. Bernotas, B. & Teesalu, P. 2020. Võrtsjärve kalavarude seisund ja Eesti angerjamajandamiskava täitmise analüüs. Keskkonnaministeeriumi poolt finantseeritud lepingu nr 4-1/19/74. Aruanne. 42 pp.
6. Järvalt, A., Bernotas, B. & Silm, M. 2017. Võrtsjärve kalavarude seisund ja Eesti angerjamajandamiskava täitmise analüüs. Keskkonnaministeeriumi poolt finantseeritud lepingu nr 4-1/16/54. Aruanne. 38 pp.
7. Bernotas, B., Silm, M. & Järvalt, A. 2018. Võrtsjärve kalavarude seisundi ja Eesti angerjamajandamiskava täitmise analüüs. Keskkonnaministeeriumi poolt finantseeritud lepingu nr 4-1/17/73. Aruanne. 38 pp.
8. Lopetcharat, K., Choi, Y. J., Park, J. W., Daeschel M. A. 2001. Fish sauce products and manufacturing: A Review. *Food Reviews International*. 17:1, 65-88.
9. Huynh, H. L., R. Danhi & S. W. Yan. 2016. Using fish sauce as a substitute for sodium chloride in culinary sauces and effects on sensory properties. *Journal of food science*, 81.
10. KOMISJONI MÄÄRUS (EL) nr 142/2011, 25. veebruar 2011, millega rakendatakse Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrust (EÜ) nr 1069/2009, milles sätestatakse muuks otstarbeks kui inimtoiduks ettenähtud loomsete kõrvalsaaduste ja nendest saadud toodete tervise-eeskirjad, ja nõukogu direktiivi 97/78/EÜ seoses teatavate selle direktiivi alusel piiril toimuvast veterinaarkontrollist vabastatud proovide ja näidistega – <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:054:0001:0254:ET:PDF>.
11. COM(2020) 663, Communication from The Commission to The European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and The Committee of The Regions on an EU strategy to reduce methane emissions, https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/eu_methane_strategy.pdf
12. Tangahu, B.V., Rozaimah, S., Abdullah, S., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., Mukhlisin, M. 2011. A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*. 31 lk. <https://www.hindawi.com/journals/ijce/2011/939161/#introduction>

13. Shukla , D., Claire A. Rinehart, C.A., Sahi S.V. 2017. Comprehensive study of excess phosphate response reveals ethylene mediated signaling that negatively regulates plant growth and development. *Scientific Reports*. 7: 3074. DOI:10.1038/s41598-017-03061-9
14. Mullastiku kaart. Maaameti geoportaal. <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Mullastiku-kaart-p33.html>
15. Kanger, J., Kevvai, T., Kevvai, L., Kärblane, H., Astover, A., Ilumäe, E., Lauringson, E., Loide, V., Penu, P., Sepp, K., Talgre, L., Tamm, U. 2014. Väetamise ABC. Eesti Maaülikool. 50 pp. https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/6169/vaetamise_ABC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
16. Kikas, A., Libeg, A-V., Kelt, K., Raudsepp, P., Kahu, K., Vahejõe, K., Pennar, M. 2008. Must sõstra kasvatus. Eesti Maaülikool. 128 pp.
17. EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU MÄÄRUS (EL) 2019/1009. 5. juuni 2019 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1009&from=EN>
18. C Fish biostimulant. 2020. Odourless fish hydrolysate liquid. Ireland. <http://www.cfish.ie/plant-biostimulants/>
19. Michalak, I., Wilk, R., Chojnacka, K. 2016. Bioconversion of Baltic Seaweeds into Organic Compost. *Waste and Biomass Valorization*. 8: 1885–1895
20. Lisiecka, J., Knaflowski, M., Spizewski, T., Fraszczak, B., Kałużewicz, A., Krzesiński, W. 2011. The effect of animal protein hydrolysate on quantity and quality of strawberry daughter plants cv. 'Elsanta'. *Acta Scientiarum Polonorum*. 10(1):31-40
21. Fageria, N. K., Barbosa Filho, M.P., Moreira, A., Guimarães, C. M. 2009. Foliar Fertilization of Crop Plants. *Journal of Plant Nutrition*. 32(6): 1044-1064
22. Craighead, M.D., Langford, G. , Braithwaite, B.E. 2007. Tools to aid with the Nitrogen nutrition of Blackcurrants and Boysenberries. A Report for Blackcurrants NZ Ltd New Zealand Boysenberry Council R J Hill Laboratories Ltd. 49 lk.
23. Wójcik, P., Filipczak, J. 2015. Growth and early fruit production of ‘Tiben’ blackcurrants fertilised with pre- and post-planting applications of mineral fertilisers and swine manure. *Scientia Horticulturae*, 185:90-97.
24. Opstad, N., Nes, A., Måge, F., Hageberg, B. 2007. Effects of fertilization and climatic factors in a long-term experiment with blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) cv. Ben Tron. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* 57(4):313-321
25. Nutrient Management Guide (RB209). 2020. Agriculture and Horticulture Development Board (AHDB, UK). <https://ahdb.org.uk/nutrient-management-guide-rb209>
26. FERTILIZING APPLES. 2006. Agronomic library. Spectrum Analytic Inc. https://spectrumanalytic.com/support/library/rtf/A_Guide_to_Fertilizing_Apples.htm
27. Schonherr, J., Bukovac, M. J. 1972. Penetration of Stomata by Liquids: Dependence on Surface Tension, Wettability, and Stomatal Morphology. *Plant physiology*. <https://doi.org/10.1104/pp.49.5.813>
28. Eichert, T., Goldbach, H.E. 2008. Equivalent pore radii of hydrophilic foliar uptake routes in stomatous and astomatous leaf surfaces - Further evidence for a stomatal pathway. *Physiologia Plantarum*. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01023.x>
29. Fernández, V., Sotiropoulos, T., Brown, P. 2013. Foliar Fertilization Scientific Principles and Field Practices. International Fertilizer Industry Association. 144 lk.

- https://www.researchgate.net/profile/Patrick_Brown3/publication/235609131_Foliar_Fertilization_Scientific_Principles_and_Field_Practices/links/0fcfd5121c738405b5000000/Foliar-Fertilization-Scientific-Principles-and-Field-Practices.pdf
30. Surface Energy. 2020. PTFE coatings. <http://www.ptfecoatings.com/>
 31. 4 REASONS PH LEVELS MATTER IN SPRAY SOLUTIONS. 2020. <https://www.taurus.ag/4-reasons-ph-levels-matter-spray-solutions/>
 32. Five important things to consider when doing foliar spraying. 2020. Science in Hydroponics. <https://scienceinhydroponics.com/2017/08/five-important-things-to-consider-when-doing-foliar-spraying.html>
 33. Calculation Of Vapour Pressure Deficit, CronkLab. 2020. <http://cronklab.wikidot.com/calculation-of-vapour-pressure-deficit>
 34. Grow Room and Greenhouse VPD Calculator. 2020. <https://www.dimluxlighting.com/knowledge/vapor-pressure-deficit-vpd-calculator/>
 35. Rydin, E. 2000. Potentially mobile phosphorus in Lake Erken sediment. Water Research, 34(7), 2037-2042.

LISA 1. Aunkompostimisel kasutatud toormaterjalide kogused. Tähisted A1 – A3 tähistavad vastavalt 2018. aastal ja A4 ja A5 2019. aastal valminud kalakomposte. Tabelis on toodud sisendite kogused on nii kg kui %.

	A1 kg	Osakaal %	A2 kg	Osakaal %	A3 kg	Osakaal %	A4 kg	Osakaal %	A5 kg	Osakaal %
Kokku segamine	22.05.2018		07.09.2018		28.09.2018		04.06.2019			
Kala	4406	80	1705	35	930	15	905	25	960	23
Põhk	1125	20	1312	28	943	15	1155	32	1347	32
Vesi			1860	38	1996	32	1150	32	1200	30
Turvas					960	15				
Kompost (hobusesõnnik)					913	14				
Kompost (I auna kalakompost)					545	9			460	11
Võrtsjärve muda							355	10	180	4

