Kalanduse teabekeskus
www.kalateave.ee

EMKF RAKENDUSKAVA 2014-2020

Euroopa Liit
Euroopa Merendus- ja Kalandusfond

30/09/2021

Söödava rohevetika Ulva intestinalis kasvatamistehnoloogia väljatöötamine Läänemere keskkonna tingimuste jaoks

Jonne Kotta, Georg Martin, Helen Orav-Kotta

TARTU ÜLIKOOL

2021

Sisukord

Sissejuhatus 2

Merevetikate kasvatamine Läänemere regioonis 2

Uurimismetoodika 6

Tulemused 7

Ulva intestinalis'e kasvatamine köitel 7

Eksperiment 1. Toitainete kontsentratsiooni mõju Ulva intestinalis zoospooride tekkele.....7

Eksperiment 2. Veetemperatuuri mõju Ulva intestinalis zoospooride tekkele.....11

Eksperiment 3. Kunstsubstraadi asustamine Ulva intestinalis'e zoospooridega. 14

Eksperiment 4. Ulva intestinalis kultuuri pikaajaline hoidmine maismaal paiknevates mahutites. 17

Eksperiment 5. Ulva intestinalis sporogeneesi optimaalse veetemperatuuri määratlemine. 19

Eksperiment 6. Kunstsubstraadi asustamine Ulva intestinalis'ega. 22

Eksperiment 7. Ulva intestinalis noorjärkude kinnitumine kunstsubstraatidele ning nende kasv merekeskkonnas. 24

Eesti rannikumere Ulva intestinalis – kas üks või mitu liiki? 29

Eksperiment 8. Ulva intestinalis'e kasvatamine meresumpades.....29

Kokkuvõte uuringu peamistest tulemustest.....31

Viited 31

Sissejuhatus

Euroopa Merendus- ja Kalandusfondi rakenduskava 2014–2020 üheks eesmärgiks on keskenduda teadmiste suurendamisele ja innovatsioonile, mis võimaldaks maksimaalse tõhususe ja tulususega meres olemas olevat ressurssi ära kasutada, kuid sellistel tingimustel, et looduskeskkonna seisund ei halveneks. Veelgi enam, kui innovatsioon võimaldab merekeskkonna seisundit parandada, tuleb selliseid tegevusi prioriseerida.

Suurvetikate kasvatus on suure potentsiaaliga vesiviljelusesektor, mis ühelt poolt võimaldab avardada majandustegevust Eesti rannikumeres ning teiselt poolt võib selline tegevus aidata oluliselt kaasa keskkonnaseisundi kvaliteedi parandamisele. Suurvetikad vajavad oma kasvuks toitaineid, mida on Läänemerre varasemate aastakümnete jooksul ohtralt ladestunud ning vetikasaagi koristamisel eemaldame merekeskkonnast vetikabiomassi akumuleerunud toitained. Kuna tegemist on meie regiooni mõistes väga uue sektoriga, siis käesoleval hetkel pole Läänemere madala soolsusega aladel, sh. Eesti rannikumeres, olemas ühtegi toimivat tehnoloogilist lahendust, mis võimaldaks suurvetikaid merekeskkonnas tööönduslikus mahus kasvatada.

Rohevetikas *Ulva intestinalis* on maailma mastaabis oluline toiduks kasutatav vesiviljelusliik ja seda liiki leidub arvestatavas koguses ka Eesti rannikumeres. *Ulva*'t võib tarbida salatina, kuid samaväärselt saab vetikast valmistada nii traditsioonilisi Aasias kasutusel olevaid toidulisandeid (surimi pastat, supipõhju) kui ka muid tervisetooteid. Samuti on vetikabiomass kasutatav paljude muude tööönduslike protsesside toorainena (energeetika, põllumajandus). Käesoleval ajal on selle vetikaliigi tootmine Euroopa Liidus oluliselt väiksem nõudlusest, kuid tegemist on kiirelt areneva tootmisvaldkonnaga.

Viimase paari aasta jooksul on Taanis ja Hollandis välja töötatud metoodika, mis võimaldab rohevetika *Ulva intestinalis* kasvatamist merekeskkonnas. Meetod on väga perspektiivne ka Läänemere keskkonna jaoks. Käesoleva projekti eesmägiks ongi testida uut vetikakasvatamise metoodikat Eesti rannikumere tingimustes ning kohandada seda metoodikat nii, et *Ulva intestinalis*'t saaks kasvatada erinevatel merealadel (nt. Liivi laht ja ava-Läänemeri). Edukad katsetused võimaldavad tööndusliku merevetikate kasvatamisega merekeskkonnas edasi liikuda.Siiani pole Eesti tingimustes suurvetikate kasvatamine meres õnnestunud, kuna on tegeletud kasvatamiseks keeruliste taimerühmadega (punavetikad, agarik), kuid käesolev projekt võimaldab muuta suurvetikate kasvatamist reaalseks tegevuseks.

Käesoleva projekti käigus analüüsiti Taani, Hollandi ja teiste EL riikide kogemusi vetikafarmides *Ulva*'t kultiveerida ning testiti juba mujal riikides läbiproovitud kasvatusmeetodeid Eesti rannikumere tingimustes. Lisaks viidi läbi mitmeid kasvuteste Liivi lahe (Saaremaa lõunarannikul) ja ava-Läänemere tingimustes (Küdema ja Tagalahe piirkonnas). Kogutud materjali ning analüüside tulemustele toetudes antakse soovitusi uuritud rohevetika kasvatamiseks Eesti merealadel ning näidatakse, kuidas merekeskkonna kasvutingimustest ja ilmastikust tulenevaid riske oleks võimalik kõige optimaalselt maandada.

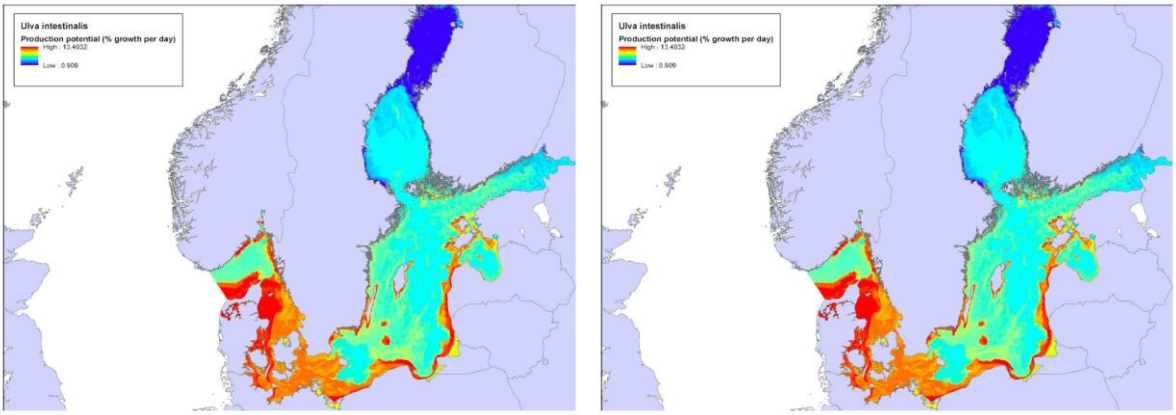
Merevetikate kasvatamine Läänemere regioonis

Suurvetikad (pruun-, rohe- ja punavetikad) on kõrge toiteväärtusega taimed, mistõttu nad sobivad suurepäraselt inimtoiduks. Lisaks on tõestatud suurvetikate suurepärased omadused bioväetistena, söödalisandina (sigade, kalade ja veiste toidus), kosmeetika- ja terapeutilistes rakendustes ning energia tootmiseks. Vetikate kasvatamine aitab kaasa ka kliimamuutuste mõjude leevendamisele, kuna kasvatusprotsessi tagajärjel seotakse süsinikku. Lisaks absorbeerivad merevetikad veesambast toitaineid, pakuvad väikestele kaladele ja selgrootutele peavarju ja toitu ning suurendavad selle läbi bioloogilist mitmekesisust.

Vaatamata vetikakasvatuse positiivsetele keskkonnamõjudele puuduvad sisuliselt Läänemere piirkonnas suurvetikate kasvatamise ja kasutamise traditsioonid. Teiselt poolt on vetikatoodete järele tekkimas meie regioonis kasvav nõudlus. INTERREG GRASS projektis viidi 2020. aastal läbi rahvusvaheline tarbijauuring, mille kohaselt peab 30% Läänemere tarbijatest merevetikaid väga tervislikuks toiduks ja 25% usub merevetikate kosmeetika kasutamise erilistesse eelistesse. Tarbimisharjumused näitasid, et 26% vastanutest sõi merevetikaid sushi koostisosana, samas on peaaegu iga neljas tarbija proovinud merevetikaid juba ka muudes vormides (nt salatites, suppides, suupistetes) (Jakubowska et al., 2020).

Suurvetikate kasvatamise esimesed katsetused on Läänemeres alles käimas. Läänemere soolasemates piirkondades (sh. Taani väinades, Lääne-Rootsi rannikumeres ja Kieli piirkonnas Saksamaal) saab kasvatada ka mujal Euroopas väga populaarseid merevetikaliike nagu *Saccharina latissima*'t, *Laminaria digitata*'t ja *Palmaria palmata*'t. Rootsil ja Taanil on ette näidata juba ka esimesed edulood *S. latissima* kasvatamisel. Vaatamata sellele, et *S. latissima* kasvatamisega on nendes maades tegeletud vaid kümmekond aastat, ei erine Läänemere vetikafarmides saadud saagikus Norra kasvatustes mõõdetud väärtustest. Häid tulemusi saadi just kasvatusmeetodite kohandamisel Läänemere oludega. Näiteks looduslikult ei suuda *S. latissima* Kiel'i lähistel kasvada, kuid vetikakasvatustes suudetakse taimedele pakkuda looduslikest tingimustest paremaid kasvutingimusi. Käesoleval hetkel on Läänemeres tegutsemas ainult seitse merevetikafarmi, mis kõik asuvad mere soolasemates piirkondades: kaks farmi Saksamaal, kolm farmi Rootsi lääneranniku ja kaks farmi Taanis. Kõik nad kasvatavad *Saccharina latissima*'t. Lähima 3–5 aasta jooksul on oodata merevetikate kasvatamise hüppeline kasv Taanis, Saksamaal ja Rootsis. Kuna Läänemere piirkonda on rajatud vaid üksikuid vetikafarme, tuleb peaaegu kogu tarbitav merevetikate toodang teistest piirkondadest. Sotsiaal-majandusliku ja keskkonnaalase kasu suurendamiseks oleks aga vaja toota oluliselt rohkem merevetikaid kohapeal (Angela Schultz-Zehden et al., 2021).

Läänemere siseosas, kus merevee soolus on palju väiksem (alla 10 promilli), ei suuda enamik traditsiooniliselt vetikakasvatustes kasutatud liike paraku ellu jääda. Enamik merelist päritolu makrovetikaliike vajabki optimaalseks kasvuks umbes 30 promillist soolsuse taset ja praegu ei peeta üldjuhul põhjendatuks merevetikate kasvatamist kohtades, kus merevee aastane keskmine soolsus jääb alla 16 promilli. Sellele reeglile on aga erandeid ja osad suurvetikaliigid on ulatuslikult levinud peaaegu kogu Läänemeres (Weinberger, 2020). Vähenenud soolsuse tingimuste ja muude Läänemere eripärade tõttu (nt. jääkatte olemasolu, väga kehv vee läbipaistvus) saab siin aga kasvada oluliselt vähem liike kui soolasemates veekogudes. Läänemere põhjaosas on praeguste teadmiste kohaselt kasvatamise osas kõige paljulubavamad vetikaliigid *Fucus vesiculosus* ja *Ulva intestinalis* (Camia et al., 2018). GRASS projektis keskenduti lisaks merevetikate prognoosimudelite loomisele, et välja selgitada võimalikud *F. vesiculosus*'e ja *U. intestinalis*'e kasvukohad. *F. vesiculosus*'e kasvukiirused (päevane protsentuaalne kasvumäär) olid suurimad Taani väinades. Märkimisväärselt kõrgeid tootlikkuse näitajaid täheldati ka kogu Läänemere lõunaosas ning Poola, Leedu ja Eesti rannikul (Joonis 1). *U. intestinalis*'e kasvupotentsiaal on suurem kui *F. vesiculosus*'el ja ka liigile sobivad kasvualad on laiemad, hõlmates Taani väinasid, Lõuna-Rootsi, Saksamaa, Poola, Leedu, Läti ja Eesti rannikualasid. Saadud modelleerimistulemused on publitseeritud veebipõhises otsustustoes (ODSS) ning võimaldab sidusrühmadel kindlaks määrata suurvetikate kasvatamiseks sobilikke alasid just keskkondlikest aspektidest lähtuvalt (http://www.sea.ee/bbg-odss/Map/MapMain).



Joonis 1. Vasakul: *Fucus vesiculosus*'e kasvupotentsiaal kogu Läänemeres; paremal: *Ulva intestinalis*'e kasvupotentsiaal kogu Läänemeres. Tulemused on saadud INTERREG projekti GRASS käigus ning avalikult ligipääsetavad aadressil http://www.sea.ee/bbg-odss/Map/MapMain.

Siiani ei kasvatata Läänemere siseosas ei *Fucus*'e ega *Ulva*' liike, kuigi mõlemad perekonnad on ELi uuenduslike toiduainete kataloogis käsitletud "mitte-uuendusliku toiduna". *Fucus vesiculosus*'t on püütud kasvatada väiksemate projektide toel näiteks Rootsis (Haglund & Pedersén, 1988), Taanis (Ferdouse et al., 2018) ja Saksamaal (Meichssner et al., 2020). Haglund & Pedersén (1988) uurisid Gotlandi saare piirkonnas suurvetikaliikide pihustuskultuuride kasutamise efektiivsust. Pihustuskultuurimeetod põhineb makrovetikate kasvatamisel maismaal, kasutades merevett kontrollitud keskkonnatingimuste juures (päikesevalgus, temperatuur, toitained ja niiskus). Merevesi pihustatakse liivale, et säilitada merevee kile merevetikate pinnal. Uuring näitas, et katses kasutatud liikide hulgast osutus Fucus vesiculosus väga vastupidavaks liigiks, kellele sobib selline kasvatussüsteem. Meetodit saab kasutada merevetika väikesemahulisel tootmisel. FUCOSAN'i projektis katsetati *Fucus*'e kasvatamist Saksamaal Kieli lahes spetsiaalsetes mesokosmides (Meichssner et al., 2020). Tulemused olid paljulubavad ning metoodikat tasub edasi arendada. Peamiseks takistuseks *Fucus*'e kasvatamisel oli bioloogiline saastumine ehk vetikas kattus teiste oportunistlike merevetikaliikidega. Pealiskasvu otseseks tagajärjeks oli aga toote kvaliteedi vähenemine.

Ulva tootmist maismaal katsetatakse kahes ettevõttes: üks Taanis (Pure Algae Denmark) ja teine Rootsis (Koster Alg). Üks maismaal paiknev *Ulva* eksperimentaalne kasvatus asub ka Gotlandil. Lisaks kasvatatakse *Ulva gracilaria*'t ka Saksamaal Hamburgi Ülikoolis siseruumides. Lisaks sellele on mõned Taani ettevõtted alustanud tööndusliikku *Ulva* korjet (Nordisk Tang, Dansk Tang, Organic Seaweed). Nii *Ulva lactuca*' kui ka *Ulva intestinalis*'e kasvatamiseks on Läänemere piirkonnas tehtud mõningaid katsetusi (Kovaltchouk, 1996; Kruk-Dowgiałło & Dubrawski, 1998; Haglund & Pedersén, 1988; Weinberger et al., 2020). Perekond ei ole siiski taksonoomiliselt väga hästi kirjeldatud ja hiljutised molekulaarsetel andmetel põhinevad uuringud näitavad üsna veenvalt, et varasem morfoloogial põhinev liikide määramine ei pruugi olla õige (Steinhagen et al., 2020). Tegemist on aga kasvatuse seisukohast väga olulise teemaga, kuna erinevate *Ulva* liikide (sh. ka nende liikide, mida on võimalik tänapäeval vaid molekulaarsete meetoditega määrata) elutsükkel ja kasvupotentsiaal on väga erinev. *Ulva* liikide intensiivsema kasvatamise tehnikaid on üldjuhul välja töötatud mujal. 2020. aastal alustas Rootsi merevetikafirma Nordic Seafarm koostöös Göteborgi Ülikooli teadlastega *Ulva* kasvatamise arendamist meres paiknevatel köitel.

Makrovetikate kasvatamise tarbeks tõhusate tootmismeetodite väljatöötamiseks on esmalt vajalik Läänemere omaduste ja tingimuste kindlaksmääramine. Selliseid andmeid on vaja nii uute pilootkatsete algatamiseks kui ka olemasolevate kasvatuste produktsioonipotentsiaali suurendamiseks. Vetikakasvatamise seisukohast olulist keskonnainfot on võimalik saada rahvuslike mereseire ja rahvusvaheliste operatiivsete keskkonnainfo kogumise programmide (nt

COPERNICUS) kaudu saadud andmete kooskasutusel. Vetikakasvatuse tehnoloogiliste aspektide osas on aga keskseks teabeallikaks teaduskirjandus ning intervjuud erinevate vetikakasvatajatega.

Läänemere vesi on riimveeline ja see tingimus on ühine kõigile kasvatuspiirkondadele. Merele iseloomulik lääne-idasuunaline soolsuse vähenemise gradient on ka põhjuseks, miks Läänemere siseosas leidub looduslikult neli korda vähem vetikaliike kui Läänemere lääneosas (Schultz-Zehden & Matczak, 2012; Weinberger et al., 2020). Lisaks vähenenud soolsusele mõjutab vetikaliikide kasvu ja ellujäämist jää kulutav toime külmadel talvedel ja inimtekkeline eutrofeerumine. Läänemere kõrge toitainete tase võib teatud tingimustel märgatavalt suurendada vetikate kasvu, samas liigne toitainete koormus võib oluliselt muuta makrovetikate kasvatamise ja saagikorjamise tingimusi, näiteks muutes merevetikate liigilist koosseisu. Lisaks tuleb merevetikate kasvatamisel arvestada piirkonna avatusega lainetele, vee sügavusega, merepõhja tüübi ja konkureerivate või koostööd soodustavate tegevustega merel.

Suur avatus lainetusele aitab kaasa pidevale veevahetusele ja tagab erinevalt varjatud merepiirkondades kasvatatavate liikide pideva toitainetega varustatuse. Samas võib suurest lainetusest tulenev mehaaniline stress vähendada saagikust ja saagi kvaliteeti. Kuigi avatud piirkondadele on iseloomulik väiksem pealiskasvu oht (st. organismid, mis kinnituvad kultiveeritavale merevetikale), on avatud kasvatuskohtades farmide rajamise ja hooldamisega seotud probleemid suuremad. Kasvukoha valikul tuleb arvestada ka piirkondliku jääkatte iseloomuga talveperioodil, kuna see võib lühendada kasvuperioodi ja lõhkuda farmi konstruktsioone.

Samamoodi on oluline arvestada vee sügavuse ja merepõhja tüübiga. Madalaveelistele ja pehmepõhjalistele piirkondadele on iseloomulik sage põhjasetete resuspensioon ja selliste hõljuvate osakeste settimine suurvetikatele. Selle tagajärjel väheneb vetikatele jõudev valguse hulk ning vetikate kasv on pärsitud. Toitainete puudus võib olla probleemiks ka väga sügavas vees, kuna merepõhjast pärinevad (lagunevast orgaanilisest ainest remineraliseeritud) toitained jõuavad pinnale ainult looduslike süvaveekergete piirkondades. Sügav vesi ja pehme põhi tekitavad probleeme ka kasvatamiseks vajalike sildumissüsteemide rajamisel, sügavas vees on see kulukam ja pehmete põhjade puhul kujunevad ka ankurdamislahendused keerukamaks. Rootsi lääneranniku praegu arendatavate vetikakasvatuste sügavus jääb üldjuhul 10–30 meetri vahele ning põhi on enamasti liivane ja kruusane, millel puuduvad looduslikud vetikapopulatsioonid.

Merevetikate kasvatamine ei pruugi sobida mõne teise merekasutuse eesmärkidega, kuid teiste merekasutuste osas on võimalik ka tihe koostöö. Praegu uuritakse aga ka võimalusi, kuidas konfliktsete tegevuste puhul on siiski võimalik leida erinevate sektorite ühishuvi. Näiteks on võimalik ühildada kala- ja vetikakasvatusi ning selle kaudu oluliselt vähendada kalakasvatuste negatiivset keskkonnamõju. Samuti on välja töötatud ideelahendusi, mis võimaldavad avamerre rajatud tuuleparke kasutada makrovetikate kasvatamise sildumissüsteeidena (Buck & Buchholz, 2004; Buck & Grote, 2018) ning neid on juba katsetatud Taani vetes.

Eestis pole varem läbi viidud mitte ühtegi uuringut, mis käsitleksid *U. intestinalis*'e kasvatamist meres. Temaatilised ülevaated valdkonna arengust kinnitavad samuti, et tänini puuduvad uuringud reaalsetest merekeskkonnas paiknevatest vetikafarmidest, et hinnata selliste tegevuste keskkonnakaitse- ja majanduspotentsiaali Eestis (Tartu Ülikool, 2019ab).

Hiljuti lõppes Euroopa Merendus- ja Kalandusfondi poolt rahastatud vesiviljeluse innovatsioonitoetusprojekt „Mereveel põhineva kalakasvatuse heitvee puhastamine suurvetikate kultiveerimise kaudu,“ mille käigus katsetati maismaal paiknevast kalakasvatusest tuleneva kasutatud merevee puhastamist toitainetest, kombineerides mehaanilist puhastust ja Läänemere suurvetikatel põhinevat biofiltreerimise süsteemi. Selle projekti käigus katsetati ka erinevate rohevetikate sh. *U. intestinalis*'e kultiveerimist maismaal mahutites kalakasvatuses kasutatud vee puhastamiseks. Projektis läbiviidud katsete käigus saavutati maksimaalne päevane juurdekasv 4

% biomassist (Hall & Martin, 2021). Kirjanduse andmetel võib aga *Ulva* biomassi juurdekasv sellistes süsteemides küündida kuni 30 protsendini päevas (Tartu Ülikool, 2021).

Joonis 2. *Ulva intestinalis* kultuur Kesknõmme vetikakasvatuses 2019. aasta septembris.

Käimasoleva vesiviljeluse innovatsiooniprojekti „Rohevetika *Ulva intestinalis* kasvatamise tehnoloogia mahutites mere- ja magevees“ (2020–2022) käigus selgitatakse välja optimaalsed tingimused *Ulva* kasvatamiseks mahutites. Esialgsed tulemused näitavad, et kunstlikes tingimustes on võimalik saavutada *Ulva* stabiilne juurdekasv kuni 5% päevas. Hetkel on paremaid tulemusi andnud kunstliku merevee kasutamine, millele lisatakse optimaalses koguses toitaineid. Läänemeres, looduslikes tingimustes, ei ole katsete läbiviimisel toitainete lisamine suure troofsuse tõttu vajalik ning vetikakasvatus võimaldab liigseid toitaineid eemaldada. Katsed vetikakasvatamise majanduslikult optimaalsete tingimuste väljaselgitamiseks toimuvad 2022. aastal.

Uurimismetoodika

Käesoleva uuringu eesmärk oli hinnata *Ulva intestinalis*'e kasvupotentsiaali Eesti rannikumeres kasutades olemasolevaid kasvatustehnoloogiaid,neid vajadusel Eesti oludele kohandades. Viisime läbi mitmeid katseseeriaid, mille eesmärgiks oli varieerida erinevaid keskkonnatingimusi (vee temperatuuri, toitainete sisaldust, substraadi iseloomu) ja kasvatustehnoloogiat ning leida optimaalseim lahendus vetikate sporogeneesi indutseerimiseks. Kuna varasemalt on teada, et äärmuslikud keskkonnatingimused indutseerivad vetika zoospooride teket, siis osades katses tekitati vetikale teadlikult ebasoodsad keskkonnatingimused (valguse puudumine, järsud temperatuuri muutused, vetika ajutine kuivamine, vetika mehhaaniline häiring). Katsetes kasutatud vetikad pärinesid erinevatest Eesti rannikumere piirkondadest ning vetikate kogumine toimus erinevatel sesoonidel. Selline strateegia võimaldas saada ülevaate *U. intestinalis* kultiveerimispotentsiaali ruumilisest ja ajalisest varieeruvusest.

Lähtematerjalist eraldasime vetika spoorid, külvasime need substraatidele ja paigutasime substraadid merevette. Katsete lõpus hindasime *U. intestinalis* sporogeneesi, spooride kinnitumispotentsiaali substraatidele ning vetika kasvupotentsiaali. Lisaks viisime läbi *U. intestinalis* kasvukatse maismaal ja meres paiknevates sumpades, et hinnata uuritava vetika vegetatiivse kasvukiirust ning sellise kultiveerimismeetodi rakendatavust meie oludes. Parema loetavuse huvides on katseid koos saadud tulemustega detailselt kirjeldatud tulemuste peatükis.

Tulemused

Ulva intestinalis'e kasvatamine köitel

Eksperiment 1. Toitainete kontsentratsiooni mõju Ulva intestinalis zoospooride tekkele

Eksperimendi eesmärgiks oli hinnata merevee toitainete kontsentratsiooni mõju *Ulva intestinalis*'e sporogeneesile.

Eksperimendi käik:

21.09.2020. a. koguti Kõiguste lahest (Saaremaa lõunarannik) kividele kinnitunud *U. intestinalis* koos substraadiga ja paigutati see aklimatiseerumiseks mereveekonteinerisse TÜ Eesti Mereinstituudi Kõiguste välibaasi laborikompleksi väliterrassil (Joonis 3).

22. septembril analüüsiti kogutud materjali mikroskoobi all ning valiti välja talluse fragmendid, kus oli juba märgata tekkiv sporogenees (tumedamad laigud tallusel) (Joonis 4). *U. intestinalis*'e tallusetükk (umbes 1 g märgkaalus) asetati 1 liitrisesse anumasse, mis oli täidetud filtreeritud mereveega ja millele oli lisatud 5 g väetist (AZOFOSKA, üldlämmastiku sisaldus 15% ja üldfosfori sisaldus 15%). Kontrollkatses mereveele väetist ei lisatud.

23. septembril muudeti eksperiment kompleksemaks ning tekitati toitainete kontsentratsiooni gradient. Katses vaadeldi *U. intestinalis*'e sporogeneesi kokku 10 erineva toitaine kontsentratsiooni juures, 1–10 g väetist/l merevee kohta. Inkubatsioonianumaid hoiti sarnastes valguse- ja temperatuuritingimustes, vee temperatuur hoiti konstantselt alla 22 kraadi. Iga päev koguti igast anumast 5 veeproovi, mida hiljem mikroskoobi all analüüsiti. Katses olevat vetikatallust inspekteeriti iga kolme päeva tagant.

Tulemused:

25. septembril oli anumates 4 ja 5 tekkinud vetikate tallustel tumenenud piirkondi, kus oli märgata ka zoospooride teket.

08. oktoobril leiti anumates 4, 5, ja 6 massiliselt zoospoore. Üsna palju zoospoore oli märgata ka anumates 2, 3, 7 ja 8 (Joonised 5, 6).

12. ja 13. oktoobril teostatud vetikatalluste vaatlusel oli anumates 8, 9 ja 10 näha vetikatele ebasoodsate muutuste olemasolu. Märgata oli rakkude lagunemist ja kloroplastide eraldumist rakuseinast (Joonised 7, 8).

Maksimaalne kogus zoospore tekkis 17. oktoobriks. Hiljem uusi spoore enam veekeskkonda juurde ei tekkinud (Joonis 9).

Järeldus:

Kõige optimaalsemaks väetise kontsentratsiooniks sporogeneesi soodustamiseks osutus 4–6 g väetist 1 l merevee kohta. Sporogeneesi maksimum saabus uuritud tingimustes 2–3 nädalaga.

Joonis 3. Kividele kinnitunud *Ulva intestinalis* – eksperimendi algmaterjal.

Joonis 4. *Ulva intestinalis* eksperimendi algmaterjal. Näha on rakkudest tühjad, tipmised vanemad talluseosad.

Joonis 5. Inkubatsioonianumad eksperimendi alguses 24.09.

Joonis 6. 10. oktoobril toimunud vaatlus. Selgelt eristuvad sporogeneesi järgi anumad 4 ja 5. Vee rohelisem värvus viitab suuremale zoospooride arvule.

Joonis 7. 12. oktoobril tehtud vaatlused.

Joonis 8. 13. oktoobril tehtud vaatlused.

Joonis 9. 17. oktoobril tehtud vaatlused. Eksperimendi lõpp. Suurim zoospooride kontsentratsioon täheldati katseanumates 4, 5 ja 6.

Eksperiment 2. Veetemperatuuri mõju Ulva intestinalis zoospooride tekkele

Eksperimendi eesmärgiks oli välja selgitada, kuidas merekeskkonna temperatuuritingimused mõjuvad *Ulva intestinalis* sporogeneesile.

Eksperimendi käik:

Eksperiment algas 28.08.2020. a. Petri tassi paigutati 5 g (märgkaalus) elusat vetikat *Ulva intestinalis*. Kahes tassis oli vetikamaterjal, mis pärines Kesknõmme vetikakasvatusest ja kahes vetikamaterjal, mis pärines Saaremaa sadama akvatooriumist. Vetikamaterjalile lisati väheses koguses merevett, simuleerides vetikate kuivalejäämist rannikul veetaseme muutusel. Kaks Petri tassi asetati külmikusse (temperatuur 4 °C) (Joonis 10), kaks anumat asetati kinni kaetuna Kõiguste välibaasi terrassile varjulisse kohta (temperatuur umbes 20 °C). Külmikus hoitavat vetikamaterjali valgustati 12 tundi päevas. Iga päev inspekteeriti kõigi nelja Petri tassi vetikatalluseid ning märgiti üles zoospoore moodustavad talluse piirkonnad. 1. septembril lisati igasse Petri tassi kunstsubstraat võimaldamaks hinnata zoospooride kinnitumist. 10. septembril viidi Petri tassides olev materjal üle nelja merevee akvaariumisse lisades 5 l merevett ja 4 g AAZOFOSKA väetist. Kõik neli akvaariumit paigutati laborisse kunstvalguse kätte ning hoiti vetikate arenguks optimaalsel temperatuuril (20 °C). Järgnevate päevade jooksul analüüsiti iga päev igast akvaariumist 5 preparaati.

Tulemused:

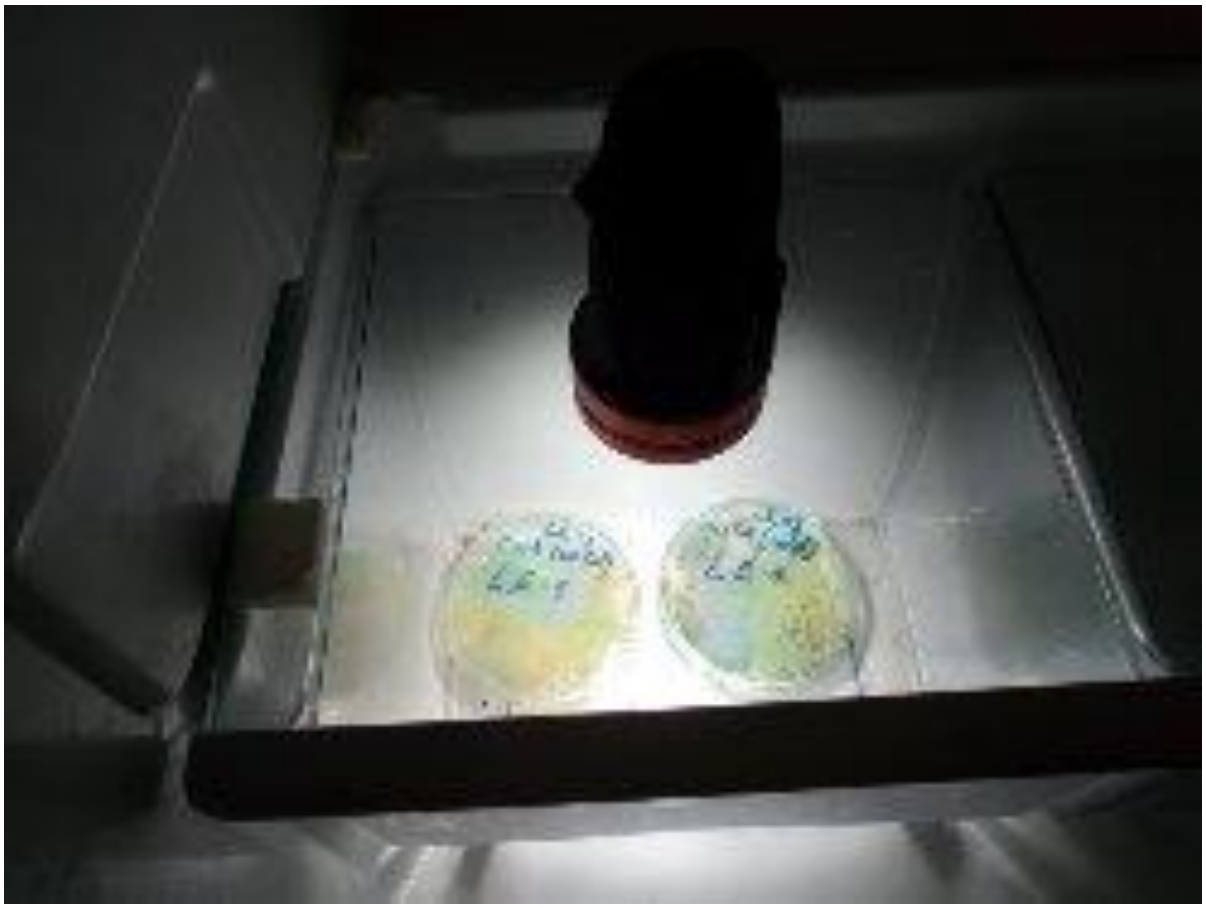
Katse käigus tekkis zoospoore, aga nende hulk akvaariumivees oli väga väike. Samal ajal tehti preparaate ka akvaariumi seinakaapest. Nende vetikate puhul, mida eelnevalt oli hoitud

normaaltingimustes (välibaasi terrassil, vetikas pärines nii Kesknõmme kasvatusest kui Saaremaa sadamast), õnnestus 5 päeva pärast akvaariumieksperimendi algust seinakaapest tuvastada mitmel korral klaasile kinnitunud *Ulva intestinalis*'e oma arengu algjärgus olevaid talluseid. Mitmel korral õnnestus leida ka juba mõne millimeetri pikkuseid kinnitunud *U. intestinalis*'e talluseid.

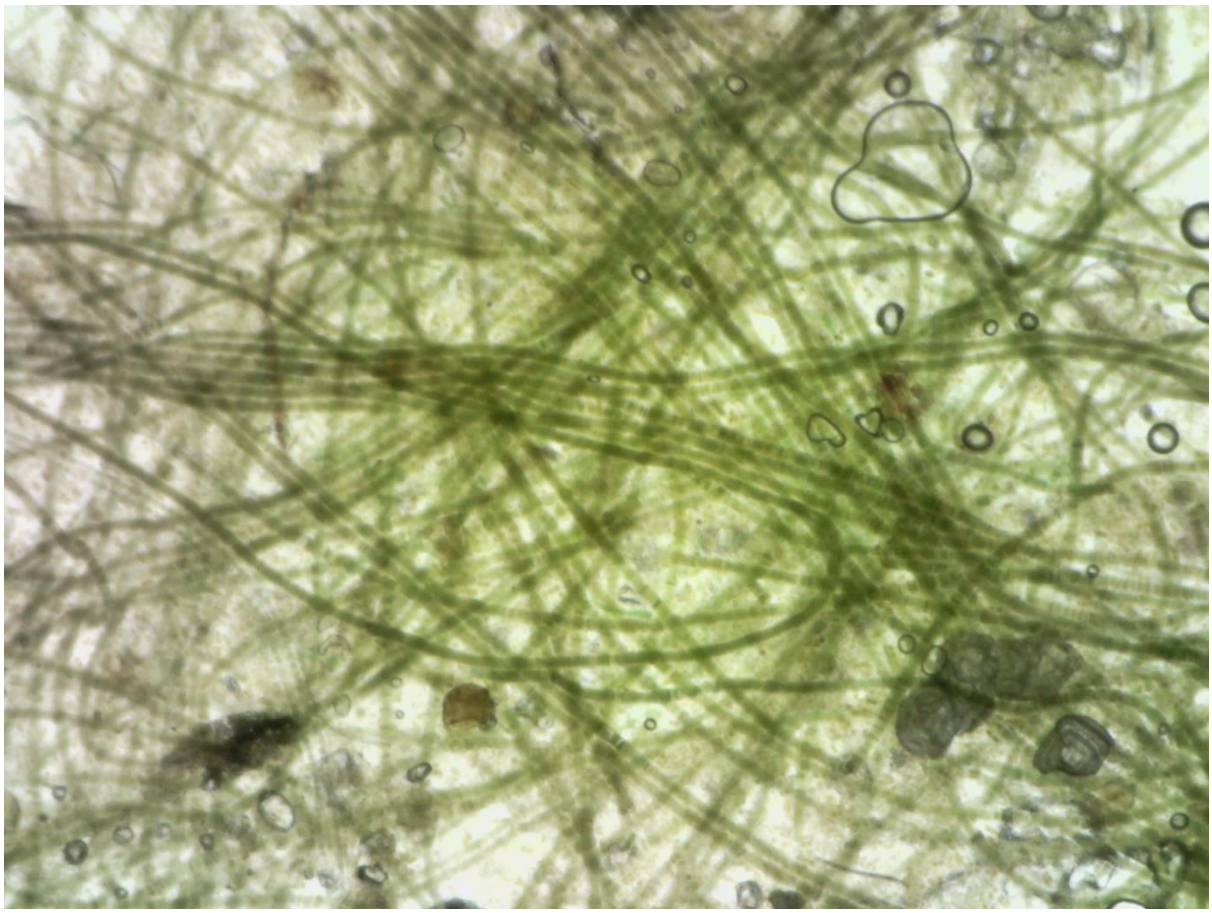
Mõne päeva jooksul pärast seda hakkas akvaariumites arenema massiliselt sinivetikas kattes kogu vaba substraadi peene roheka kilena. Eksperimendi lõpustaadiumis ei olnud enam võimalik sinivetika kihi alt leida *U. intestinalis*'e taimi (Joonis 11). Eksperiment lõpetati 17. oktoobril.

Järeldus:

Kuigi lõpustaadiumis eksperiment ebaõnnestus, sai siiki selgeks, et *U. intestinalis* zoospoorid tekivad eelistatult soojema veetemperatuuri juures. Katsetingimuste parema kontrolli huvides tuleb sarnased eksperimendid läbi viia filtreeritud või steriliseeritud veega.



Joonis 10. Külmkapis läbiviidud *Ulva intestinalis* sporogeneesi indutseerimise eksperiment



Joonis 11. *Ulva intestinalis*'e zoospoorid kaetud sinivetikaniitidega katse lõpp-staadiumis.

Eksperiment 3. Kunstsubstraadi asustamine Ulva intestinalis'e zoospooridega.

Eksperimendi eesmärgiks oli hinnata kui efektiivselt suudab *Ulva intestinalis* kinnituda eri tüüpi kunstsubstraatidele (plastist ujukitele ja nööridele).

Eksperimendi käik:

U. intestinalis materjal koguti 26. augustil 2020. a. nii Kesknõmme vetikakasvatusest kui ka Saaremaa sadama alalt, et hinnata, kas spotogeneesi intensiivsus sõltub ka vetikate seisundist.

Kesknõmme materjali mikroskopeerimisel näitas selgelt, et vetikatallus oli väga halvas seisukorras – talluse värvus varieerus helerohelisest kuni kollaseni ja rakud olid poolenisti tühjad (Joonis 12). Samas oli osadel vetikafragementidel märgata tumedamate laikude esinemist ja sporogeneesi. Esines ka juba väljunud spooridega tallusepiirkondi. Saaremaa sadama akvatooriumist kogutud materjal oli väga heas seisukorras, tallused olid tumerohelist värvi, kloroplastid täitsid enamasti kogu rakku. Osa materjalist oli võetud koos kinnitumisusbstraadiga, et minimaalselt häirida taime (Joonis 13).

Kõiguste välibaasis paigutati kogutud materjal mahutitesse hoides Kesknõmme ja Saaremaa sadama materjali üksteisest lahus. Vetikamass paiknes mahutite põhjas ning seda ei häiritud. Mahutitesse lisati merevett määral, et kogu vetikamass oleks veega kaetud. Välditi otsese päikesevalguse sattumist mahutile. Vett vahetati kord nädalas.

Tulemused:

Katse käigus jälgiti regulaarselt vetikamassi olukorda ja zoospooriode tehket. Esimesel katsenädalal oli zoospooride teke mõlemas mahutis väga väike. Zoospoore hakkas tekkima rohkem teise nädala jooksul (Joonised 14, 15). Alates teisest nädalat paigutati samadesse mahutitesse kunstsubstraat nööride näol ja hoiti seda koos vetikamaterjaliga kuni kolm ööpäeva. Seejärel paigutati vetikamassis inkubeeritud nöörid ujukite külge Kõiguste lahte (Joonis 16). Eeldasime, et vetikamassis tekkinud spoorid kinnituvad nööridele ning merre viidud nööridel toimub aktiivne *U. intestinalis*'e kasv. Sama protseduuri korrati iga kolme päeva tagant ning seejärel jälgiti merre paigutatud nööre järgmise kuu aja jooksul. Esimesed neli kuni viis katseseeriat tulemust ei andnud – merre paigutatud nööridel ei täheldatud *U. intestinalis*'e kasvu isegi kuu aja möödudes. Umbes seitme päeva jooksul tekkis nii nööridele kui ujukitele pealiskasv – enamasti kas bakteriaalne või ränivetikatest koosnev.

Alates 13. septembrist täiendati eksperimenti järgnevalt: ujukitena kasutatavatesse plastpudelitesse lisati mineraalväetist AZOFOSKA ja veidi hiljem, 21. septembril, ka orgaanilist väetist (kanasõnnik). Pudelitesse tehti väikesed avad, et võimaldada aeglast väetise leket. Väetist doseeriti kolmes koguses ning üks pudel jäeti ilma väetiseta kontrolliks.

Viie päeva möödudes oli väetisega ujukitel märgata rohelist pealiskasvu. Pealiskasvu kogus korreleerus väetise kogusega pudelites. Nädala pärast tehtud vaatlusel selgus, et pealiskasvus domineerib *U. intestinalis*.

Viimased vaatlused teostati oktoobri lõpus. Väetisega ujukitel ja nööridel täheldati *Ulva intestinalis*'e kasvu, mujal aga mitte (Joonis 17).

Järeldus:

Ulva intestinalis'e kasvamist mõjutas positiivselt kõrgem troofsus, mitte niivõrd alusmaterjali konditsioon või kunstmaterjali erinevus (ujuk või nöör).

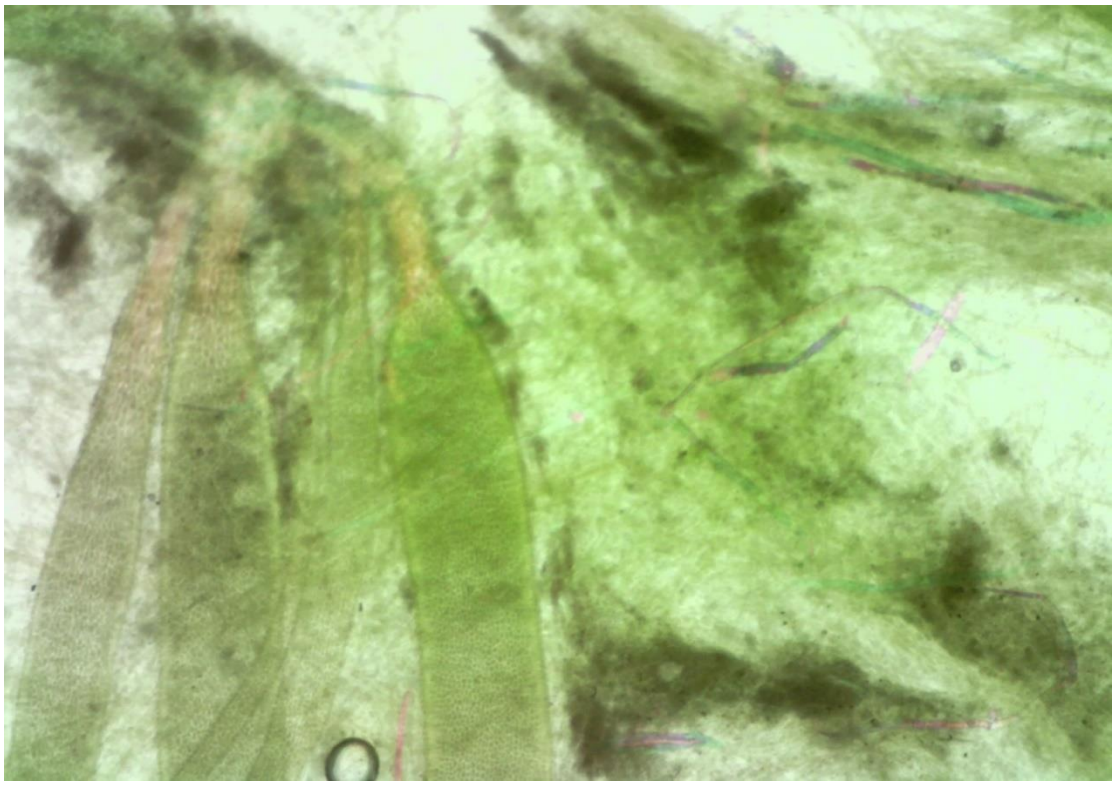
Joonis 12. *Ulva intestinalis* algmaterjal Kesknõmme kasvatusest.

Joonis 13. *Ulva intestinalis* algmaterjal Saaremaa sadama akvatooriumist.

Joonis 14. Saaremaa sadamast kogutud *Ulva intestinalis* katse keskel 09. septembril.

Joonis 15. Kesknõmme kasvatusest pärit *Ulva intestinalis* katse keskel 09. septembril.

Joonis 16. *Ulva intestinalis* kasvatamine Kõiguste lahes: näha on inkubatsiooninöör ning ujukid.



Joonis 17. Ujuki külge kinnitunud *Ulva intestinalis* väliksperimendis.

Eksperiment 4. Ulva intestinalis kultuuri pikaajaline hoidmine maismaal paiknevates mahutites.

Eksperimendi eesmärgiks oli kindlaks teha, kas *Ulva intestinalis* kultuuri on võimalik hoida pikka aega kunstlikes tingimustes ja ühtlasi jälgida vetika zoospooride moodustumist.

Eksperimendi käik:

Saaremaa sadama akvatooriumist 22. juulil 2020. a. kogutud *U. intestinalis*'e materjal (substraadi külge kinnitatult) paigutati kahte suuremasse mahutisse (40–50 l) ja täideti mereveega. Lisaks paigutati kahte sarnasesse mahutisse substraadilt eraldatud vetikamaterjal (umbes 50 g märgkaalus). Kahe kuu jookul jälgiti nendes mahutites vetikate seisukorda ning zoospooride teket. Jälgiti ka teiste mikroskoopiliste organismide ohtrust nii mahutite vees, *U. intestinalis*'e talluse pinnal kui mahutite seintel. Vett vahetati mahutites kord nädalas.

Tulemused:

Vetikamaterjal püsis stabiilselt kahe kuu jooksul (Joonis 18). Ei täheldatud vetikamaterjali lagunemist. Sporogenees oli stabiilselt olemas, aga mahult väheintensiivne. Vaatamata katse kestusele, ei tekkinud zoospooridest vaatlusperioodi jookul uusi vetikasve ei mahutite seintel ega mahutitesse paigutatud nööridel.

Järeldus:

U. intestinalis vetikamassi saab hoida pikema aja jooksul mahutites minimaalse sekkumise reshiimis, samas sporogeneesi stimuleerimiseks on vaja täiendavaid manipulatsioone.

Joonis 18. *Ulva intestinalis* kasvatamine mahutites. Nööride abil hinnati uute vetikakasvude tekkimise ulatust.

Eksperiment 5. Ulva intestinalis sporogeneesi optimaalse veetemperatuuri määratlemine.

Eksperimendi eesmärgiks oli kindlaks teha, millistel temperatuuridel eraldub *Ulva intestinalis* looduslikust materjalist kõige suurem kogus zoospoore.

Eksperimendi käik:

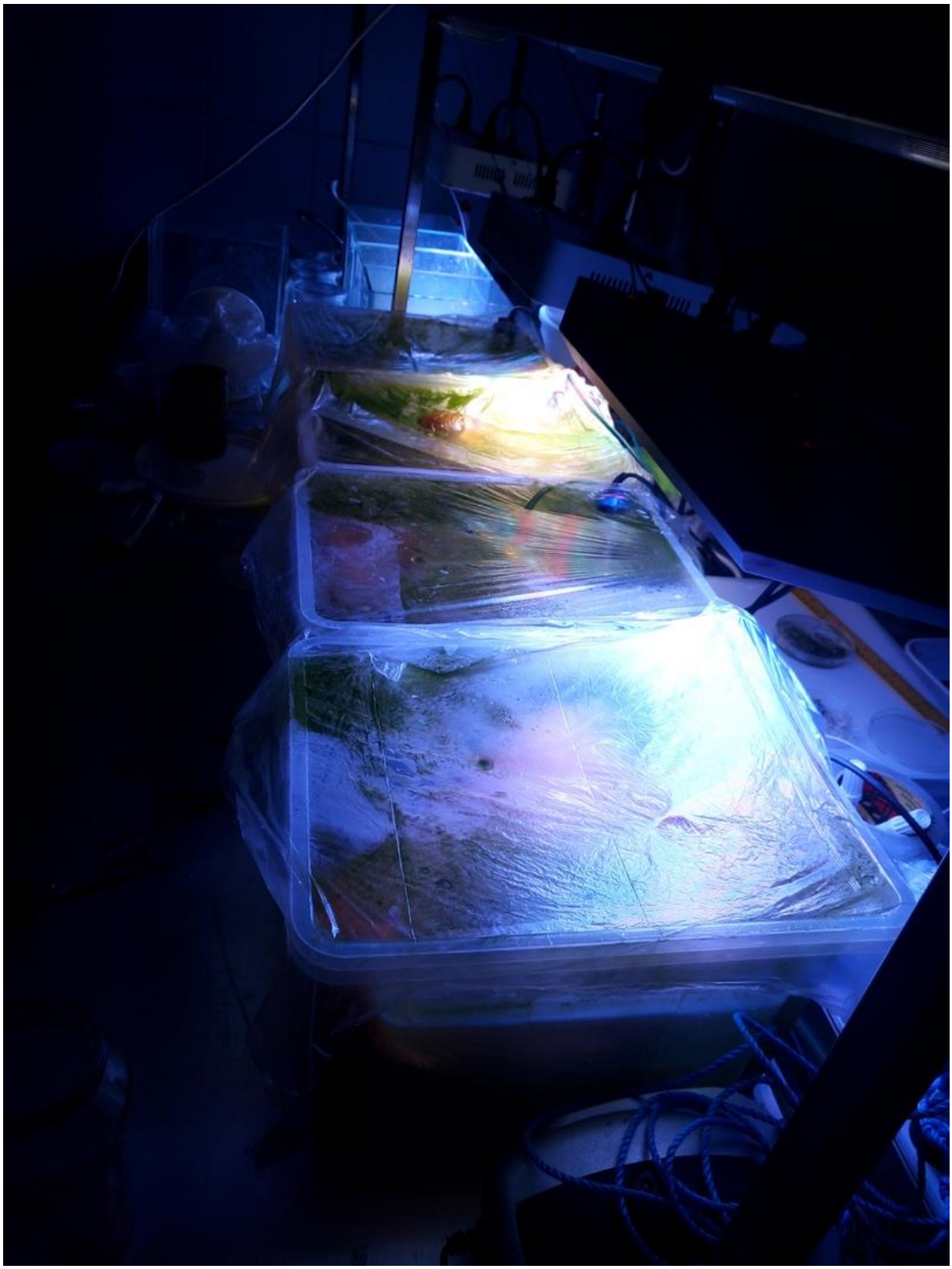
Eksperiment käivitati 10. septembril 2020. aastal. Nelja mahutisse lisati 50 g *Ulva intestinalis*'e materjali, mis oli kogutud Saaremaa sadama akvatooriumist ja 50 g AZOFOSKA väetist, millele lisati 11 liitrit merevett (Joonis 19). Iga mahuti varustati termostaadiga ja õhutusega. Kuna teise eksperimendi käigus selgus, et *U. intestinalis* zoospoorid tekivad eelistatult soojema veetemperatuuri juures, siis kasutasime antud katse juures järgmisi temperatuure: 20, 22, 24 ja 26 °C. Mahutid olid kaanetatud, vähendamaks vee kadu aurumisel. Mahuteid valgustati iga päev 12 tunni jooksul akvaariumilambiga (igal mahutil oma valgusti) (Joonis 20). Iga päev võti igast mahutist veeproov ja analüüsiti seda mikroskoobi all leidmaks *Ulva intestinalis*'e zoospoore.

Tulemused:

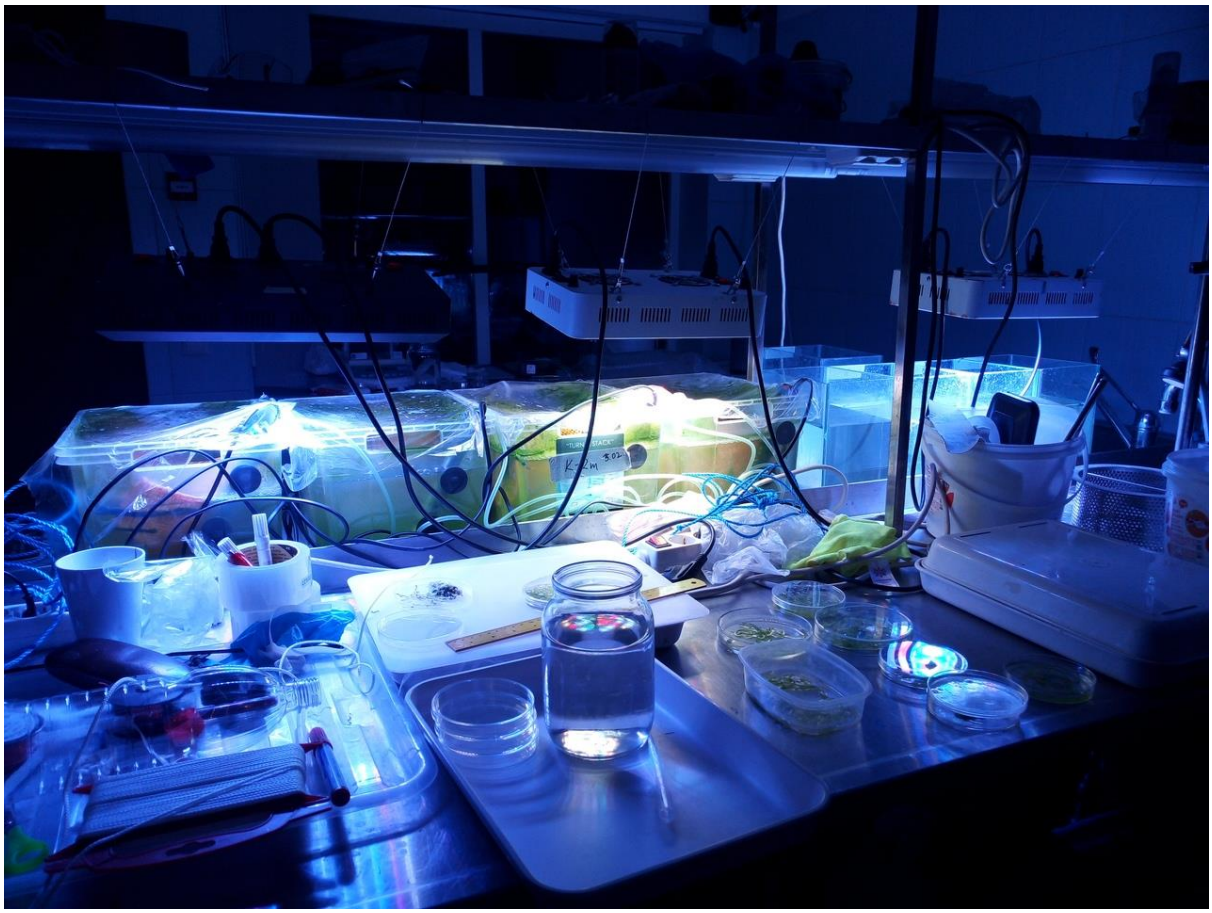
Esimesel kahel päeval zoospoorid mahutivees praktiliselt puudusid.
12. septembril oli zoospooride kogus juba kõigis mahutites suurem. Vastavalt 26, 39, 28 ja 18 spoori viie tilga mahutivee kohta.
13. septembril oli zoospooride arv veelgi suurem – vastavalt 42, 59, 46 ja 24 spoori viie tilga mahutivee kohta.
Järgmisel päeval oli mahutite vees zoospooride arv veelgi suurenenud.
17. septembril muutus vesi 22 °C temperatuuriga konteineris helerohekaks
19. septembril muutis vesi värvi 24 °C temperatuuriga konteineris.
20. septembril muutis vesi värvi 20 °C temperatuuriga konteineris.
22. septembril muutus 20 °C veega mahuti vesi tumeroheliseks ja läbipaistmatuks. Vees oli massiliselt zoospoore (Joonis 21).
Järgnevatel päevadel toimus sama protsess ka teistes mahutites. Samas ei olnud 20 °C ja 26 °C mahutis zoospooride arvukus nii suur kui 22 ja 24 °C mahutis.

Järeldus:

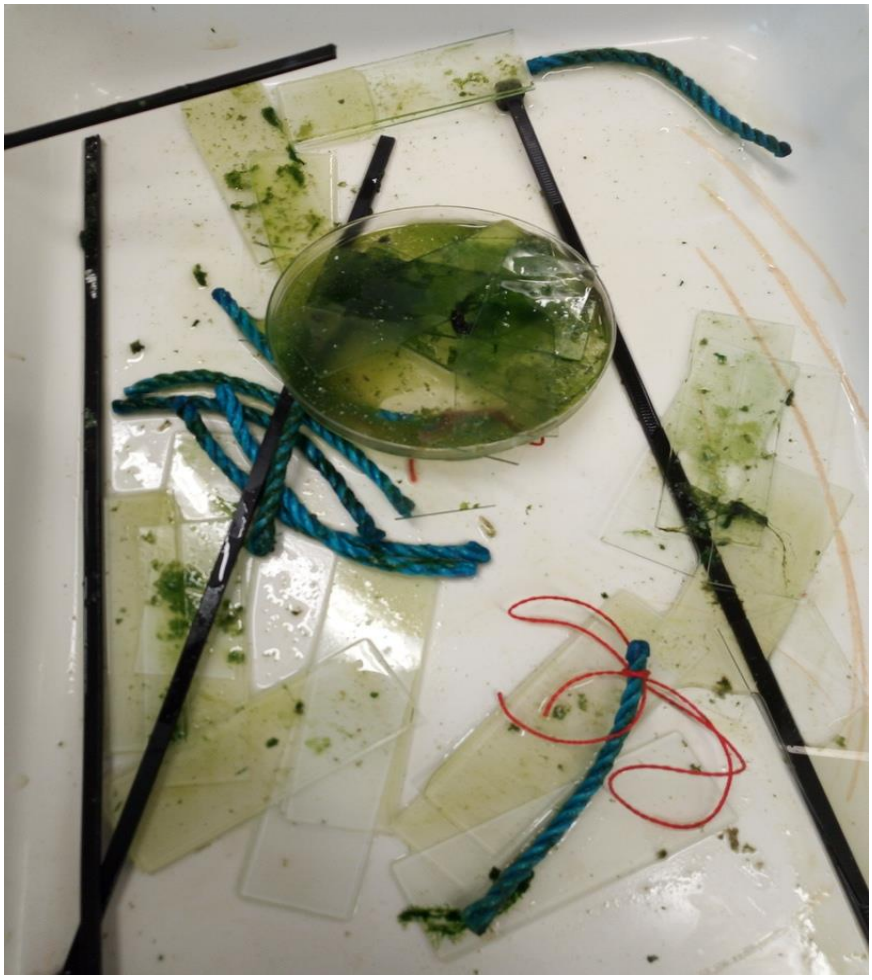
Käesoleva katse tingimustes õnnestus 12 päevaga saavutada massiline zoospooride teke. Parim temperatuurivahemik zoospooride tekkeks on 22–24 °C.



Joonis 19. Inkubatsioonikonteinerid.



Joonis 20. Vaade laborisse eksperimendi läbiviimise ajal.



Joonis 21. Alusklaasid konteineritest, mida hoidi 20 ja 22 °C juures. Zoospoorid ei ole kinnitunud.

Eksperiment 6. Kunstsubstraadi asustamine Ulva intestinalis'ega.

Eksperimendi eesmärgiks oli katsetada, kuidas erinevad keskkonnatingimused (soolsus, valgustingimused, mehhaaniline häiring) mõjutavad *Ulva intestinalis*'e kinnitumisedukust erinevatel kunstsubstraatidel.

Eksperimendi käik.

22. juulil 2020. a. koguti Saaremaa sadama akvatooriumist 15 kg *Ulva intestinalis*'t (Joonis 22). Vetikamaterjal transporditi Kõiguste välibaasi ja paigutati mahutitesse, mis oli täidetud mereveega.

23. juulil asetati kuude 40 l mahutisse kunstsusbstraat (eri liiki nöörid ja kunstmaterjalist võrk) ning lisati mahutisse blenderiga purustatud vetikamassi (standardlahendus paljudes *Ulva* farmides sporulatsiooni indutseerimiseks) (Joonis 23). Kolmes mahutis tõsteti merevee soolsust kuni 12 promillini, ülejäänud mahutites merevee soolsust ei manipuleeritud.

Mahutid paigutati varjulisse piirkonda välibaasi terrassil ja kaks mahutit (üks normaalsoolsusega ja üks kõrgema soolsusega) kaeti valgust varjutava kilega (Joonis 24).

Vaatlusi teostati 7, 14 ja 20 päeva möödudes.

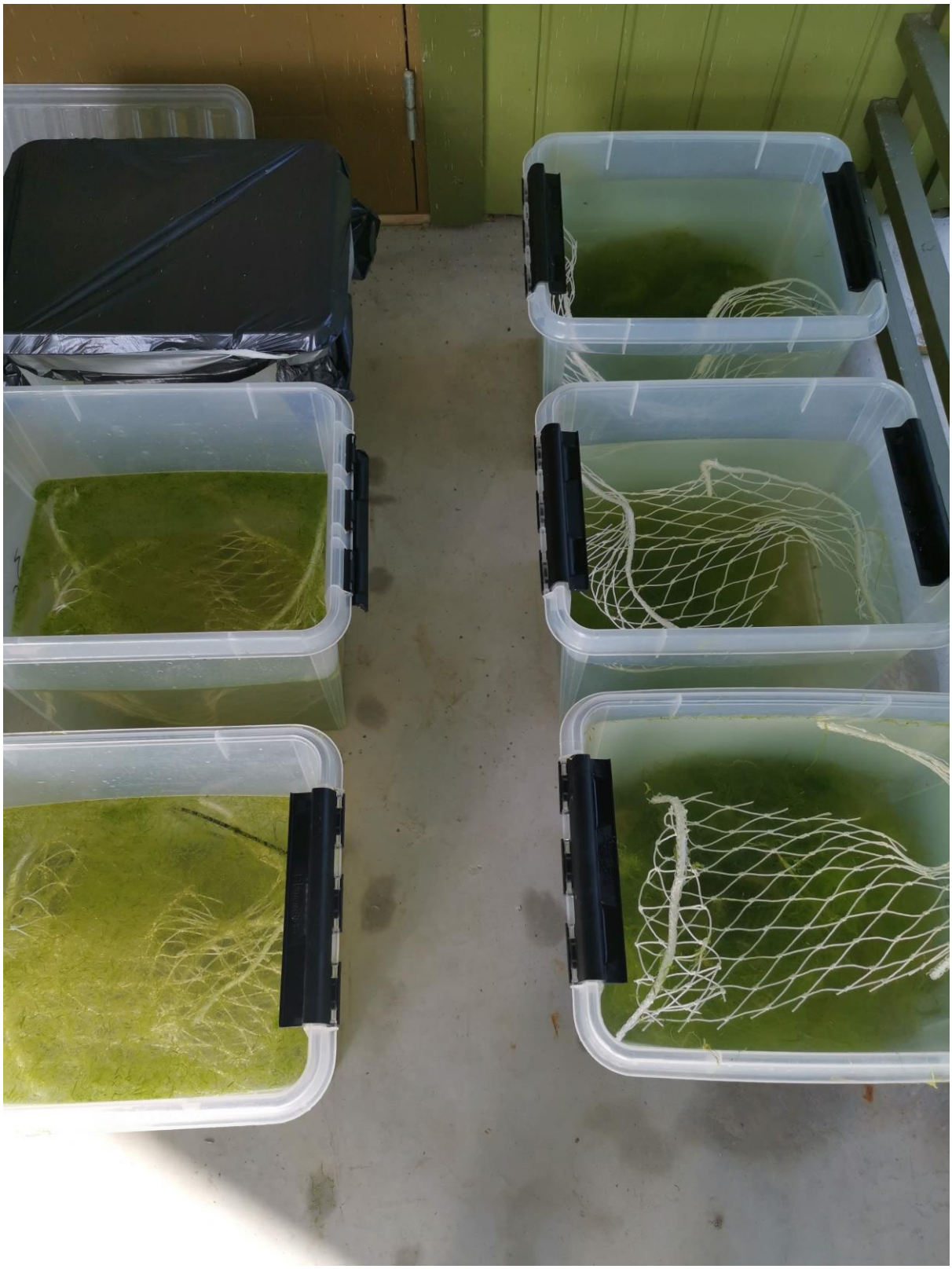
Vaatlusperioodi jooksul ei toimunud *Ulva intestinalis* kinnitumist substraadile üheski katsetatud tingimuste kombinatsioonis. Vetikamaterjal oli kogu eksperimendi jooksul elus ja lagunemist ei toimunud. Varjutatud mahutis oli viimase vaatluse ajal märgata vetikamaterjali värvuse tuhmumist mis viitas ebasoodsatele tingimustele.

Järeldus:

Vaatamata väga mitmekesistele eksperimendi algtingimustele ei toimunud üheski katseanumas substraatide kattumist *U. intestinalis*'e noorjärkudega. Väga sarnaseid meetodeid kasutades on suudetud näiteks Taanis, Saksamaal ja Hollandis saada *U. intestinalis* kasvama erinevatel kunstsubstraatidel.

Joonis 22. Saaremaa sadama akvatooriumist kogutud *Ulva intestinalis* vetikamaterjal.

Joonis 23. Purustatud *Ulva intestinalis*'e vetikamass.



Joonis 24. *Ulva intestinalis* inkubatsioonikatse läbiviimine erinevate soolsusrežiimide ja valgustingimuste juures.

Eksperiment 7. Ulva intestinalis noorjärkude kinnitumine kunstsubstraatidele ning nende kasv merekeskkonnas.

Eksperimendi eesmärgiks oli hinnata *Ulva intestinalis*'e noorjärkude kinnitumisedukust ja kasvu erinevatel kunstsubstraatidel, erinevates merepiirkondades ja sesoonidel.

Eksperimendi käik:

12.05.2020. a. koguti Kõiguste lahest kividele kinnitunud *U. intestinalis* koos substraadiga ja paigutati see aklimatiseerumiseks mereveekonteinerisse Kõiguste välibaasi laborikompleksi väliterrassil.

13. mail lisati kõikidesse konteineritesse kunstsubstraat (Joonis 25), mida hoiti konteinerites kaks nädalat. 27. mail viidi kunstsubstraadid Kõiguste lahte ning järgnevate kuude jooksul toimus nende perioodiline vaatlemine.

Sarnane uuring viidi paralleelselt läbi ka Tagalahe piirkonnas. *U. intestinalis*'t sisaldavatesse konteineritesse lisati kunstsubstraat 2. juunil (Joonis 26). Kuna kahe nädala jooksul ei tuvastatud substraatidel mitte ühtegi *U. intestinalis*'e noorjärku, siis Tagalahe piirkonnas peale esmast inkubeerimist kunstsubstraati merre ei viidud.

Lisaks eelmistele inkubatsioonidele viidi Kõiguste lahes sarnane eksperiment läbi ka külmal aastaajal. Nimelt paigaldati 28. novembril 2020. a. kunstsubstraadid *U. intestinalis*'t sisaldavatesse konteineritesse Kõiguste välibaasi laborikompleksi väliterrassil ning hoiti neid seal 2 nädalat. 10. detsembril viidi köied Kõiguste lahte talvituma. 2021. aasta kevadel inspekteeriti kunstsubstraate, et hinnata *U. intestinalis*'e kinnitumise ja kasvu edukust.

Tulemused:

2. juunil teostati Kõiguste lahes inkubeeritud kunstsubstraadi esmane vaatlus ning sellel oli näha vetikate pealiskasv. Domineerivaks vetikaliigiks osutus aga pruunvetikas *Pylaiella littoralis* ning *U. intestinalis*'t esines vaid väga vähesel määral (Joonis 27).

13. juulil teostati Kõiguste lahes inkubeeritud kunstsubstraadi järgmine vaatlus ning köitelt oli sisuliselt kogu *U. intestinalis* substraatidelt ära kadunud ning domineerivaks liikideks olid erinevad rohe-, pruun- ja punavetikaliigid (sh. *Cladophora glomerata*, *Ceramium tenuicorne* ja *P. littoralis*) (Joonis 28). Sarnane olukord püsis ka järgmisel vaatluspäeval 19. augustil (Joonis 29).

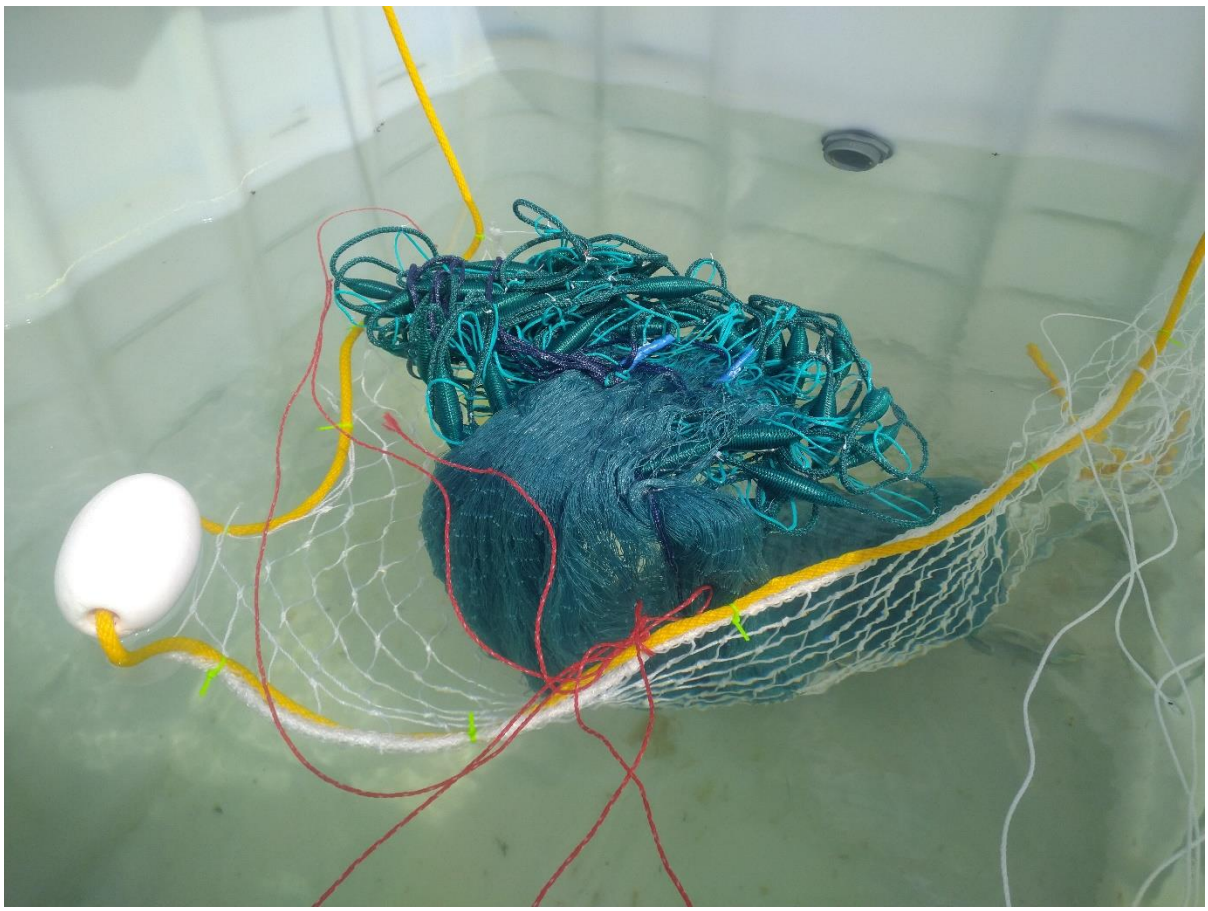
Kõiguste lahe inkubeerimiskatse lõpetati 20. septembril. Inkubatsiooniköitel kasvas ohtralt erinevaid merevetikaid, samas *U. intestinalis* kunstlikul substraadil sisuliselt puudus (Joonis 30).

Talve läbi merevees olnud kunstsubstraadid olid 2021. aasta kevadel ja suvel väga heas seisukorras. Paraku kasvasid inkubatsiooniköitel peamiselt teised merevetikad sh. kevadel *C. tenuicorne* ja *P. littoralis* ning suvel lisaks eelpooltoodud liikidele ka *Cladophora glomerata*.

Järeldus:

Vaatamata pikale katse kestusele ja sobivatele looduslikele kasvutingimustele, suutis vaid väga väike osa *Ulva intestinalis*'e zoospooridest kinnituda kunstsubstraadile ning hakata seal kasvama.

Joonis 25. Kunstsubstraat *Ulva intestinalis*'e inkubeerimiseks Kõiguste lahes.



Joonis 26. *Ulva intestinalis*'e inkubeerimine mereveega täidetud konteinerites Tagalahe piirkonnas.

Joonis 27. Kunstsubstraadi vaatlus Kõiguste lahes 2. juunil.

Joonis 28. Kunstsubstraadi vaatlus Kõiguste lahes 13. juulil.

Joonis 29. Kunstsubstraadi vaatlus Kõiguste lahes 19. augustil.

Joonis 30. Kunstsubstraadi vaatlus Kõiguste lahes 20. septembril katse lõpetamise päeval.

Eesti rannikumere *Ulva intestinalis* – kas üks või mitu liiki?

Steinhagen et al. (2020) avaldasid hiljuti uuringu, mille eesmärgiks oli hinnata *Ulva* liigilist mitmekesisust Põhjameres ja Läänemeres. Uuring hõlmas nii vetikate DNA järjestuse kindlakstegemist kui ka klassikalisi morfoloogilisi uuringuid. Uuring võimaldas tuvastada mitmeid krüptilisi ja uusi liike ning identifitseerida mitmeid varasemaid väärtõlgendusi.

Steinhagen et al. (2020) uuringus välja toodud geneetilisi markereid oli võimalik kasutada, et kaardistada Läänemere idaosas *Ulva intestinalis*'e tegelik liigiline kuuluvus. Käesoleva uuringu kontekstis on oluline, et Läänemere idaosa asustav *Ulva intestinalis*'e näol on tegemist kahe liigiga: *Ulva intestinalis* (sensu stricto) ja *Ulva linza*. Ehkki meil ei olnud nii lühikese aja jooksul võimalik põhjalikult kaardistada Eesti rannikumere *Ulva* geneetilist struktuuri, lubavad esialgsed andmed arvata, et meie rannikumeres domineerib peamiselt *U. intestinalis*. *U. linza*'t leidub vaid üksikutes merepiirkondades ning erinevalt *U. intestinalis*'est asustab *U. linza* veidi sügavamaid merealasid. Tähtis on ka see, et Läänemere lääneosa vetikakasvatustes kasutatud liik oli *U. linza*.

Käesoleval aastal läbi viidud pilootkatsed *U. intestinalis*'e ja *U. linza*' noorjärkude köiele kinnitumise edukusest näitasid selgelt, et *U. linza* kinnitumisedukus oli väga suur, samas kui *U. intestinalis* noorjärkudel see enamasti ebaõnnestus (Sophie Steinhagen, personaalne teade). Siit tulenevalt ei ole meie meres leiduvat *U. intestinalis*'t ilma põhjalikuma aretustööta võimalik kasutada vetikafarmides, mis kasutavad vetikate kasvatamiseks veesambas rippuvaid köisi.

Eksperiment 8. Ulva intestinalis'e *kasvatamine meresumpades*.

Katse eesmärgiks oli testida sumbakasvatuse potentsiaali *Ulva intestinalis*'e kultiveerimisel merekeskkonnas.

Projekti varasemad eksperimendid tõestasid veenvalt, et Eesti rannikumeres domineeriv *U. intestinalis* vorm ei kinnitu üldjuhul kunstsubstraatide külge ning seetõttu ei ole seda liiki võimalik ka praeguste teadmiste valguses merre paigaldatud köitel kasvatada. Usume siiski, et seda olukorda on võimalik muuta läbi süsteemse sordiaretuse, kuna liigisisene geneetiline mitmekesisus on väga suur sh. ka Eesti rannikumeres.

Käesoleval aastal pakkusime välja alternatiivse võimaluse *U. intestinalis*'e kasvatamiseks meres (Senstad et al., 2021). Nimelt projekti esimesel aastal läbiviidud eksperimendid näitasid, et *Ulva intestinalis*'e kultuuri on võimalik pikka aega hoida kunstlikes tingimustes, kus liigi biomassi suurenemine on tagatud vegetatiivse kasvu poolt. Katse käigus püsis vetikamaterjal stabiilselt ilus kahe kuu jooksul, ilma et lagunemisprotsessid oleks vetikabiomassi vähendanud. Sarnaselt on võimalik vetikat kasvatada ka meresumpades. Erinevalt köitel kultiveerimisele ei eelda sumbakasvatus sporulatsiooni toimumist (zoospooride tekkimist), vaid piisab vetika vegetatiivsest kasvust.

Eksperimendi käik:

9. augustil 2021. aastal kogusime Kõiguste lahe piirkonnast *U. intestinalis*'t ning viisime vetikad koheselt samasse lahte ankurdatud meresumpadesse. Meresumpades kasutatud võrgulina silmasuurus oli 1 mm. Selline võrgulina tagas piisava merevee läbivoolu, samas sumpades inkubeeritud vetikad ei pääsenud välja (Joonis 31).

Katse käigus varieerus merevee temperatuur 17–19 °C, mille näol on tegemist *U. intestinalis*'e jaoks optimaalse temperatuuriga (Tartu Ülikool, 2021). Katse esimene nädal oli päikeseline, katse viimase kahe nädala ilm oli peamiselt pilves ning püsivalt tormine. Seetõttu olid ka vetika kasvutingimused katse esimesel nädal oluliselt paremad kui katse viimastel nädalatel.

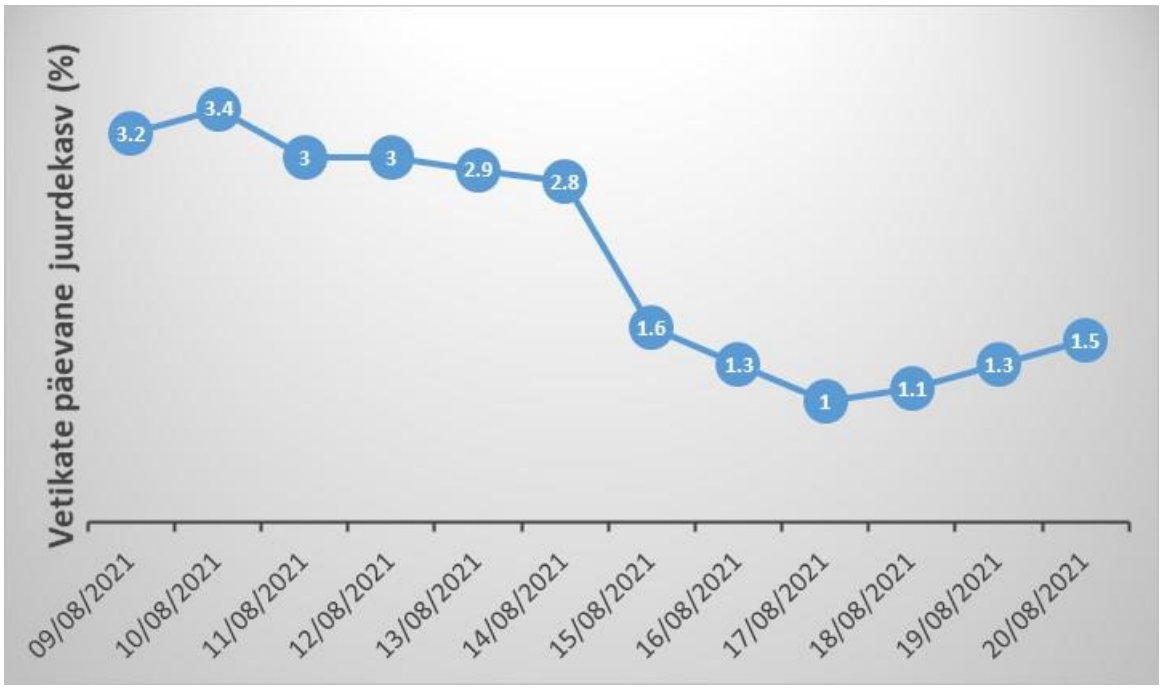
Joonis 31. *Ulva intestinalis*'e kultiveerimine meresumpades Kõiguste lahes.

Tulemused:

Katse esimesel nädalal oli *U. intestinalis*'e kasv võrdlemisi kiire so. mõõdetud väärtused olid samas suurusjärgus, mis saadi Euroopa Merendus- ja Kalandusfondi poolt rahastatud vesiviljeluse innovatsioonitoetusprojekti „Mereveel põhineva kalakasvatuse heitvee puhastamine suurvetikate kultiveerimise kaudu“ uuringutes maismaakonteinerites vetikate kasvatamisel. Katse teises osas oli aga vetikate kasv kaks korda väiksem, kuid siiski stabiilne (Joonis 32).

Kõiguste lahes läbi viidud sumbakasvatuse eksperimendi puhul tuleb arvestada seda, et tegemist oli esimese sedasorti *U. intestinalis*'e kasvatamisega meie rannikumeres ning kasvukiirusi on võimalik oluliselt parandada muutes meresumpade dimensioone ning selles oleva vetika kogust.

Veelgi enam, sisuliselt kogu katse käigus oli merevee läbipaistvus tormide tõttu erakordselt kehv. Secchi ketta väärtused olid regulaarselt alla 1 m, samas kui tavaliselt on sellele piirkonnale iseloomulik 4–5 m Secchi ketta näidud. Sellest tulenevalt oli tegemist ilmselget ebasoodsate *U. intestinalis*'e kasvutingimustega. Usume, et kevadel ja varasuvel on võimalik püsivalt saavutada vähemalt 3–5 % vetika päevaseid juurdekasvu väärtusi, kuna hooaja alguses on üldjuhul piirkonna vee läbipaistvus stabiilselt hea. Ava-Läänemere piirkonnas on *U. intestinalis*'e optimaalne kasvuperiood aga oluliselt pikem, kuna üldjuhul on selles piirkonnas vee läbipaistvused oluliselt paremad.



Joonis 32. *Ulva intestinalis*'e päevane juurdekasv (%) merevee sumpades Kõiguste lahes.

Järeldus:

U. intestinalis'e kasvatamine meresumpades on hetkel perspektiivseim viis merevetikate kasvatamiseks Eesti rannikumeres. Vajalikud on aga lisauuringud, mis määratlevad selliste sumpade tehnilised lahendused ning optimaalseima vetika koguse sumpades. Lisaks on vaja uurida, millised keskkonnatingimused toetavad kõige paremini vetikate kasvu sellistes sumpades.

Kokkuvõte uuringu peamistest tulemustest

- *Ulva intestinalis*'e kasvatamiseks köitel on vaja vetikal indutseerida sporogeneesi ning tagada *U. intestinalis*'e noorjärkude kinnitumine inkubatsiooniköitele.
- *U. intestinalis*'e sporogeneesi soodustab mõõdukas vee toitelisus.
- Parim temperatuurivahemik zoospooride tekkeks on 22–24 °C.
- Eesti rannikumerd asustava *U. intestinalis*'e kinnitumine tehissubstraatidele praktiliselt ebaõnnestus, vaatamata suurele arvule läbiviidud eksperimentidele ning nendes eksperimentides olnud mitmekesistele keskkonnatingimustele.
- Tingituna Eesti rannikumerd asustava *U. intestinalis*'e geneetilisest eripärast, ei ole ilma põhjalikuma aretustööta võimalik seda vetikat kasvatada vetikafarmides, mis kasutavad veesambas rippuvaid köisi.
- *U. intestinalis*'e kasvatamine meresumpades on hetkel perspektiivseim viis merevetikate kasvatamiseks Eesti rannikumeres. Vajalikud on aga lisauuringud, mis määratlevad selliste sumpade tehnilised lahendused ning optimaalseima vetika koguse sumpades. Lisaks on vaja uurida, millised keskkonnatingimused toetavad kõige paremini vetikate kasvu sellistes sumpades.

Viited

Buck, B. H., Buchholz, C. M. 2004. The offshore-ring: A new system design for the open ocean aquaculture of macroalgae. Journal of Applied Phycology, 16(5).

Buck, B. H., Grote, B. 2018. Seaweed in high energy environments: Protocol to move *Saccharina* cultivation offshore In: B. Charrier, T. Wichard, C. Reddy (editors), Protocols for Macroalgae Research, 526 p.

Camia, A., Rober, N., Jonsson, R., Pilli, R., Garcia-Condado, S., Lopez-Lozano, R., van der Velde, M., Ronzon, T., Gurria, P., M'Barek, R., Tamosiunas, S., Fiore, G., Araujo, R., Hoepffner, N., Marelli, L., & Giuntoli, J. (2018). Biomass production, supply, uses and flows in the European Union. First results from an integrated assessment. In ISBN978-92-79-77237-5.

Ferdouse, F., Holdt, S. L., Smith, R., Murua, P., Yang, Z. 2018. The global status of seaweed production, trade and utilization, volume 124. FAO Globefish Research Programme. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome

Haglund, K., Pedersén, M. 1988. Spray cultivation of seaweeds in recirculating brackish water. Aquaculture, 72(1–2).

Hall, J. R., Martin, G. 2021. Filtration of dissolved organic nutrients from fish farm wastewater using a macroalgae biofilter. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 250: Sustainable Water Resources Management XI. WIT Press, 73−80. (Sustainable Water Resources Management XI : Effective Approaches for River Basins and Urban Catchments; 1).

Jakubowska, M., Krupska, J., Kulikowski, T., Szulecka, O. 2020. GRASS Decision-support tool, ver. 1.0, June 2020. National Marine Fisheries Research Institute.

Kovaltchouk N. A. 1996. Sanitary mariculture of green macroalgae one of the eutrophication methods of domestic sewage flowing in the Gulf of Finland. In: U. Schiewer (editor) Sustainable development in coastal regions. Abstr. Int. Symp. April 15–20. 1996. Rostock, Germany. Rostock Univ. Press, p. 54.

Kruk-Dowgiałło, L., Dubrawski, R. 1998. A system of protection and restoration of the Gulf of Gdańsk. Bulletin of the Maritime Institute, 25, 45–67.

Meichssner, R., Stegmann, N., Cosin, A. S., Sachs, D., Bressan, M., Marx, H., Krost, P., Schulz, R. 2020. Control of fouling in the aquaculture of *Fucus vesiculosus* and *Fucus serratus* by regular desiccation. Journal of Applied Phycology, 32(6).

Schultz-Zehden, A., et al. 2021. SUBMARINER Status 2020 and ROADMAP beyond 2021. SUBMARINER Network Secretariat, Kärntener Str. 20, 10827 Berlin, Germany.

Schultz-Zenhden, A., Matczak, M. 2012. Submariner compendium: An assessment of innovative and sustainable uses of Baltic marine resources.

Senstad, K., Kotta, J., Martin, G. 2021. Feasibility study of West Estonia: Aquaculture potential and circular economy 2020–30. Final report. Aquaconsulting Senstad.

Steinhagen, S., Karez, R., Weinberger, F. 2020. Cryptic, alien and lost species: molecular diversity of *Ulva* sensu lato along the German coasts of the North and Baltic Seas. European Journal of Phycology, 54(3).

Tartu Ülikool, 2019a. Kalakasvatuste kaudu merre suunatud lämmastiku- ja fosforikoormust kompenseerivate meetmete väljatöötamine.

Tartu Ülikool, 2019b. Vesiviljeluse piirkondlike kavade koostamine võimaliku keskkonnasurve ohjamiseks. Lõpparuanne.

Tartu Ülikool, 2021. Mereveel põhineva kalakasvatuse heitvee puhastamine suurvetikate kultiveerimise kaudu. Projekti lõpparuanne, 120.

Weinberger, F., Paalme, T., Wikström, S. A. 2020. Seaweed resources of the Baltic Sea, Kattegat and German and Danish North Sea coasts. Botanica Marina, 63, 61–72.