

**TARTU ÜLIKOOL  
EESTI MEREINSTITUUT JA ÖKOLOOGIA JA  
MAATEADUSTE INSTITUUT  
ZOOLOOGIA OSAKOND  
LOODUSRESSURSSIDE ÕPPETOOL**

Anni Joamets

**ROHEVETIKA *ULVA* KASVATAMINE MAISMAAL JA  
SELLE ARENGUVÕIMALUS EESTIS**

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Georg Martin PhD

**TARTU 2023**



# Infoleht

## **Rohevetika *Ulva* kasvatamine maismaal ja selle arenguvõimalus Eestis**

Suurvetikate tarbimine muutub maailmas aina populaarsemaks ning ka Eesti poeriulitele on jõudnud mitmeid vetikatooteid. Seetõttu arendatakse hoogsalt võimalusi vetikate kasvatamiseks lisaks merekasvatustele ka maismaal mahutites. Mujal maailmas on neid võimalusi kauem uuritud, kuid Eestis on selle teemaga alles alustatud. Selle bakalaureusetöö eesmärk on uurida Eesti vetes leiduva kosmopoliitse rohevetikate perekonna *Ulva* kasvatuskogemust maailmas, võrrelda kasutatud meetmeid ja saadud tulemusi Eesti omadega ning selle põhjal anda hinnang võimalusele Eestis *Ulva* perekonna vetikaid maismaal mahutites kasvatada. Üldiselt võib järeldada, et perekonna *Ulva* vetikate Eestis kasvatamine on võimalik ja mõttekas, kuid kasvatamise efektiivsuse suurendamiseks peaks parandama tingimusi, milles vetikaid kasvatatakse kohalikele oludele vastavalt.

Märksõnad: akvakultuur, suurvetikad, *Ulva* kasvatamine

CERCS: B402 akvakultuuride kasvatamine, kalakasvatusas

## **On-land cultivation of green algae *Ulva* and the opportunities for development in Estonia**

The use of macroalgae is gaining popularity in the world and products made from algae can also be bought in Estonia. To capitalise on this market many countries in the world are developing both on-sea and on-land macroalgae cultivation. While many places in the world have been researching this for a longer time, in Estonia this has only just started developing. The aim of this bachelor's thesis is to research the cultivation of genus *Ulva* in the world and compare the used technology and results to those found in Estonia to evaluate the possibility for *Ulva* on-land cultivation in Estonia. *Ulva* is a cosmopolitan genus found also in Estonian waters. As a result of this analysis it can be said that the cultivation of *Ulva* in Estonia is possible and should be pursued but in order to raise the effectiveness of the cultivation, the technology and parameters values used should be improved.

Key words: aquaculture, macroalgae, *Ulva* cultivation

CERCS: B402 aquaculture, pisciculture



# Sisukord

Infoleht	3
1. Sissejuhatus	6
2. Materjal ja meetodid	8
3. Perekond <i>Ulva</i> üldiseloomustus ja taksonoomia	9
4. Makrovetikate kasvatamine maismaal	12
5. Olulised keskkonnaparameetrid makrovetikate kasvatamiseks	16
5.1 Temperatuur	16
5.2 Soolsus	18
5.3 Toitained	19
5.4 Valgus	21
5.5 Vee loksutamine	24
5.6 Happelisus	24
6. Biomassi juurdekasvu kiirus	25
7. <i>Ulva sp</i> keemiline koostis	29
8. <i>Ulva sp</i> biomassi kasutuse võimalused	32
9. Eestis <i>Ulva sp</i> maismaal kasvatamise võimalikkus	34
Kokkuvõte	36
Summary	38
Tänuavaldused	40
Kirjanduse loetelu	41
Lisa 1	48

# 1. Sissejuhatus

Toidunõudluse suurenemise tõttu maailmas on hakatud tähelepanu pöörama seni vähekasutatud mereressurssidele, mille hulka kuulub ka suurvetikate ehk makrovetikate kasvatamine, mis erinevalt paljudest teistest põllumajanduskultuuridest ei nõua magevett ega viljakat maad (Hafting *et al.*, 2012). Aasia riikides on makrovetikate kasvatamine vana ning hästi arenenud tööstusharu, tänapäeval moodustavad kogu maailma vetikatoodangust Aasia riigid 97%, kuid Euroopas on nende ressursside kasutamisele hakatud tegelema alles suhteliselt hiljuti ning väiksemas ulatuses (Andrea *et al.*, 2018).

Euroopas tegelevad enamuse makrovetikaid tootvad ettevõtted nende korjamisega loodusest, seda eriti Atlandi ookeani piirkonnas (Araújo *et al.*, 2021), ning ka Eestis on 20. sajandi keskpaigast toimunud Kassari lahes agariku *Furcellaria lumbricalis* tööstuslik korjamine (Weinberger *et al.*, 2020). Siiski arendatakse Euroopas 13 riigis ka suurvetikate vesiviljelust (Araújo *et al.*, 2021), millest Läänemereäärsed riigid on ainult Saksamaa ja Taani, kus kasvatatakse meres Läänemere lõunaosas looduslikult levivat liiki *Saccharina latissima* (Weinberger *et al.*, 2020). Teised Läänemere liigid on kasvatuse kontekstis kasutamata ning vähe on arendatud võimalusi nende kasvatamiseks nii meres kui maismaal veehoiusteemis. Maismaal veehoiusteemis vetikate kasvatamise kohta on tavaks kasutada terminit „maismaal kasvatamine“ (ingl *on-land cultivation*).

Mitmed riigid, ka Eesti, on Läänemere ääres hakanud huvi tundma kohalike vetikate kasvatamise vastu ning selleks eesmärgiks hakanud läbi viima eksperimentaalseid uuringuid. Tartu Ülikooli Eesti mereinstituudi läbi viidud töödest on selgunud, et üks kohalik vetikate rühm, mis on sobiv kasvatamiseks, on niitja rohevetika *Ulva* perekonna liigid (Hall ja Martin 2021). Edaspidi viidatakse töös *Ulva* tervele perekonnale sõnaga *Ulva* ning täpsustamata liigile sõnadega *Ulva sp.* *Ulva* tööstuslikuks kasvatamiseks sobib paremini just kasvatamine veehoiusteemis maismaal, kuna need vetikad on suhteliselt hapra tallusega ja kasvatamisel avavees oleks ebasobivate ilmastikutingimuste puhul suur oht kogu biomass kaotada mehaanilise mõjutuse tõttu.

Selleks, et vetikaid kasvatada, on vaja teada, millistes tingimustes need kõige paremini kasvavad. *Ulva* on üle maailma levinud vetikaperekond, mida peamiselt tarvitatakse inimeste toiduna või loomasöödana, kuna see kasvab kiiresti (Nikolaisen *et al.*, 2011) ning on hea toiteväärtusega (Peña-Rodríguez *et al.*, 2011). *Ulva* kasvatamisega on pikemat aega edukalt tegeletud soojemates piirkondades nagu Lõuna-Aafrika Vabariik (Bolton *et al.*, 2009) ja Iisrael (Qarri ja Israel, 2020), kuid mujal on selle vetika maismaal kasvatamine vähem arenenud. Seega on vähe uuringuid just jahedamata piirkondade (nagu Põhja-Euroopa) liikide omaduste kohta nii looduslikus kasvukeskkonnas kui kasvatustes. Eestis on uuritud ka Läänemeres leiduva *Ulva* liigi *Ulva intestinalis* omadusi (Hall ja Martin 2021; Martin *et al.*, 2022).

Bakalaureusetöö eesmärgiks on kirjeldada ja analüüsida teaduskirjanduse andmete põhjal *Ulva sp* maismaal kasvatamise kogemust mujal maailmas ja Läänemere ääres ning anda hinnang *Ulva sp* kasvatamise otstarbekusele ja arenguvõimalusele Eestis.

## 2. Materjal ja meetodid

Allikate otsingul kasutati eelkõige *Google Scholar* ja COST projekti CA20106 – *Tomorrow's „Wheat of the Sea“: Ulva, a Model for an Innovative Mariculture (Seawheat)* kirjanduse andmebaase. Kasutatud allikateks olid rahvusvahelised teadusartiklid, aruanded, FAO (ÜRO toidu- ja põllumajandusorganisatsioon) andmed ja seisukohad.

Valitud teadusartiklid kajastavad peamiselt uuringuid maismaal kasvatatud *Ulva sp* kohta, kus on uuritud keskkonnatingimuste mõju kasvukiirusele ja vetika keemilisele koostisele. Eelkõige on kirjeldatud ja analüüsitud uuringuid, kus *Ulva sp* kasvatamine on toimunud mahutites (ingl *tank*), et võrrelda tulemusi paremini Eestis läbi viidud katsetega (Hall ja Martin, 2020; Martin *et al.*, 2022). Mõne liigi *Ulva intestinalis* kohta käiva töö puhul on võetud analüüsi ka laboris läbi viidud katsed, kuna selle liigi kohta on suuremal skaalal uuringuid vähe läbi viidud, kuid just seda *Ulva* liiki on kasvatatud ülalnimetatud Eesti projektides.

Töös on kasutatud ka vanemaid uuringuid, kuna on lähtunud põhimõttest, et mingis katses saadud kasvutingimuste mõjud kasvule ja keemilisele koostisele pole info, mis saab vananeda. Tabelitesse on koondatud kasvatustingimused ja tulemused sellistest artiklitest, milles oli katse kohta avaldatud piisavalt andmeid, kuid tekstis on viidatud ka artiklitele, milles täpseid andmeid tabelisse lisamiseks oli liiga vähe.

Uurimus on kvalitatiivne analüüs, võrreldakse eri tingimustel *Ulva* kasvatamisel saadud tulemusi ja hinnatakse selle vetika Eestis kasvatamise võimalusi.



### 3. Perekond *Ulva* üldiseloomustus ja taksonoomia

*Ulva* on üle maailma levinud *Chlorophyceae* ehk rohevetikate klassi kuuluv vetikaperekond. Üks laia leviku põhjustest on see, et *Ulva sp* talub hästi eri keskkonnatingimusi (Kotta *et al.*, 2022): mõned perekonna liigid võivad merelisele päritolule vaatamata kasvada magevees (Hofmann *et al.*, 2010) ning on teada, et *Ulva sp* kannatab hästi eutrofeerumist ehk talub suuri toitainete koguseid keskkonnas (Kotta *et al.*, 2022). *Ulva sp* kasvab kiiresti (Nikolaisen *et al.*, 2011) ning moodustab mitmel pool maailmas suuri veeõitsenguid (Kim *et al.*, 2021; Kulikova *et al.*, 2022). Eestis leidub seda liiki looduses massiliselt rohkem kevadel ja hilissuvel (Martin *et al.*, 2022) ning seos aastaaja ja kasvukiiruse vahel esineb ka mujal maailmas, näiteks Mehhikos, kus kevadel ja sügisel on kasv suurem ning talvel ja suvel kõige kuumemal ajal kasvukiirus langeb (Zertuche-González *et al.*, 2021).

Perekonda kuuluvad liigid on laia morfoloogilise varieeruvusega (Leskinen *et al.*, 2004), kuid üldiselt iseloomustab neid roheline värvus ja niitjas või lehtjas tallus, mis võib olla sile või kortsus (Ruangchuay *et al.*, 2012). Eesti katsetes kasutatud *Ulva intestinalis* kasvab tavaliselt kuni paarimillimeetrise toruna, mis koosneb korrapäratult paigutunud ühest kihist rakkudest (Ruangchuay *et al.*, 2012). Vetika kasvu algfaasis on niit sile, kuid edaspidi kortsus ja värvus muutub tumerohelisest heleroheliseks või kollakasroheliseks (Ruangchuay *et al.*, 2012). Tänu torujale kujule saab *Ulva sp* hoida endas õhku, mistõttu võib vetikas kasvada lisaks kivile või muule substraadile kinnitumisele ka lahtiselt veepinnal hõljudes (Nikolaisen *et al.*, 2011), mis on hea omadus tööstuslikult kasvatatavale vetikale, kuna vähendab energiat, mida peab kulutama, et vetikat mehaaniliselt veepinnal hoida.

Erinevused morfoloogias ja omadustes pole ainult liikidevahelised, vaid ka liigisiseseid, mistõttu on liikide eristamine keeruline ning peaks põhinema geneetilistel uuringutel (Hofmann *et al.*, 2010; Steinhagen *et al.*, 2019). Näiteks arvati palju aastaid, et ühes USA piirkonnas esines *Ulva lactuca* ainsa *Ulva* liigina, kuid kui tehti molekulaarsed analüüsid leiti, et tegelikult on tegemist nelja eri liigiga (Hofmann *et al.*, 2010) ning Läänemeres vetikale *U. lactuca* sarnanenud liigid kuuluvad Steinhagen *et al.* (2019) järgi tõenäoliselt liiki *U. compressa*. Ka mujal maailmas on levinud kalduvus öelda tundmatu *Ulva* liigi kohta *U. lactuca* ka siis, kui selle kindlaks määramiseks puuduvad veenvad tõendid (Bolton *et al.*, 2009). Mõnede liikide puhul, mis on

levinud üle maailma, näiteks *U. lactuca* või *U. intestinalis*, on eri piirkondades kasvavate isendite vahelised geneetilised erinevused nii suured, et on arutatud võimaluse üle nimetada need asurkonnad eri liikideks (Bolton *et al.*, 2009; Bruhn *et al.*, 2011).

Keskkonnatingimused mõjutavad oluliselt *Ulva sp* omadusi. Ka üsna kitsas piirkonnas kasvavate isendite puhul võib esineda erinevusi. Jansen *et al.* (2022) uuringus leiti, et ühest estuaarist korjatud isendid erinesid omavahel nii kasvukiiruselt kui biokeemilise koostise poolest. Seevastu leiti Roleda *et al.* (2021) uuringus, kus isendid korjati laiemalt alalt, et tüved ei erinenud oluliselt ei kasvukiiruselt ega biokeemiliselt. Jansen *et al.* (2022) pakkusid, et nende katses tüvede erinevus võis tuleneda sellest, et katses valitud piirkond oli väiksele pindalale vaatamata nii heterogeenne, et korjatud tüved olid kohastunud eri oludega või oli korjatud eri liigi isendid, mille omadused seetõttu erinesid. Need tulemused näitasid, et *Ulva sp* on kohastunud tugevalt oma kasvukeskkonnaga ning seetõttu on enne suurema tööstuse rajamist vaja täpselt kindlaks teha, millised on kohalikud liigid ja ka kohalikud tüved, nende omadused ja seega vajalikud tingimused kasvatamiseks (Jansen *et al.*, 2022). Vähesed teadmised *Ulva* bioloogia kohta muudavad suuremõõtmelise kasvatamise keeruliseks (Bolton *et al.*, 2009). Praegu toimivates kasvatustes Lõuna-Aafrika Vabariigis kasvatatakse tõenäoliselt mitut liiki koos ja pole teada, kas kõigi nende liikide jaoks on samad keskkonnatingimused optimaalsed (Bolton *et al.*, 2009).

Läänemeres on leitud 11 *Ulva* liiki, kuid Eesti vetes on neist leitud 6. Üks populaarsemaid liike, mida maailmas kasvatamise eesmärgil on uuritud, on *Ulva lactuca*, kuid Eesti vetes seda liiki ei leidu (HELCOM, 2020). Peamiselt on Läänemere piirkonnas uuritud vetikat *Ulva intestinalis*, kuna seda leidub igas Läänemere osas (HELCOM, 2020). Lisaks vetikale *U. intestinalis* on laia levikuga *U. prolifera*, *U. flexuosa* ja *U. linza*, mis kasvavad nii Soome lahes, Liivi lahes kui ka Ava-Läänemere põhjaosas (HELCOM, 2020) ning on seetõttu potentsiaalsed liigid Eestis kasvatamiseks.

Tabel 1. Käesolevas töös kasutatud *Ulva* liikide täisnimed (HELCOM, 2022).

---

Liik
<i>Ulva fasciata</i> Delile 1813
<i>Ulva flexuosa</i> Wulfen 1803
<i>Ulva intestinalis</i> Linnaeus 1753
<i>Ulva lactuca</i> Linnaeus 1753
<i>Ulva linza</i> Linnaeus 1753
<i>Ulva ohnoi</i> M.Hiraoka ja S.Shimada 2004
<i>Ulva prolifera</i> O. F. Müller in Oeder 1778

---

## 4. Makrovetikate kasvatamine maismaal

Makrovetikate tööstuslikuks kasutamiseks korjatakse neid loodusest või kasvatatakse meres või maismaal. Kuigi mitmel pool maailmas (näiteks Hiinas ja Jaapanis) on levinud suured merekasvatused, on väidetud, et ainus võimalik viis vetikate tootmiseks, nii et see oleks majanduslikult tulus ja jätkusuutlik, on nende maismaal kasvatamine (Hafting *et al.*, 2012). Kuigi selline mõttekäik võib esialgu tunduda ebaloogiline, kuna meres kasvatuse rajamisel ei pea pumpama vett ega rajama maismaale vee hoidmise viise, on maismaal vetikate kasvatamisel mitmeid eeliseid. Kõige kaalukam neist on võimalus maismaal peaaegu täielikult kontrollida tingimusi, milles vetikad kasvavad (Zertuche-González *et al.*, 2021). Meres kasvatuse rajamisel pole vetikad kaitstud halbade ilmastikuolude eest (Hafting *et al.*, 2012) ning on keeruline hoida kasvatustest eemal teisi meres elavaid organisme, mis tahavad vetikatest toituda või nendel epifüütidena elada.

Samuti on maismaal võimalik kasvatada ka selliseid vetikaliike, mis mere muutlikes oludes kasvatamiseks on liiga õrnad ja nõudlikud, ning maismaal on võimalik alustada väikeste kasvatustega, kuna vajalikku tehnoloogiat on lihtsam püstitada kui merele (Hafting *et al.*, 2012). Lisaks lihtsamale tehnoloogiale pole maismaal piisava vee olemasolul nii oluline kasvatuse asukoht, kuid meres peab valitud piirkonnas olema liigile sobiv veerežiim, toitainete hulk, kuna väetiste kasutamisel võivad toitained kasvatusalalt jõuda keskkonda (Hafting *et al.*, 2012), teiste organismide hulk, ilm (Neori *et al.*, 2020) ning laevaliiklus. Samas nõuab maismaal kasvatuse rajamine siiski investeeringut vajalikesse seadmetesse ja energiasse ning vesi on vaja kasutamiseks kohale pumbata (Hafting *et al.*, 2012). Saagikuse kohta on leitud, et tiigis *Ulva* vetikate kasvatamine võib olla kuni kolm korda saagikam kui meres kasvatamine (Neori *et al.*, 2020).

Põhiliselt sisaldavad kõik maismaal vetikate kasvatamise viisid mingit veehoiustüsteemi, kus hoitakse vetikaid, mis peavad saama valgust, mistõttu vett loksutatakse (ingl *agitation*), tavaliselt aeratsiooni, pumpade või sõurataste abil, et hoida vetikaid veepinnal (Hafting *et al.*, 2012). Käesolevas töös käsitletud katsetes on kasvatatav vetikamaterjal korjatud loodusest (Ruangchuay *et al.*, 2012; Martin *et al.*, 2022) või võetud olemasolevatest kultuuridest (Qarri ja Israel, 2020). Lähtudes analüüsitud allikatest on tavaliselt biomassi saamise eesmärgiga *Ulva*

vetikaid kasvatatud eri suurusega mahutites (Tabel 2), mis on tavaliselt vee liikumise eesmärgil üksteisega ühendatud, kuid seda tehakse ka suuremates tiikides (Bruhn *et al.*, 2011), vooluveega nn „*raceway*-kanalites“ (Bolton *et al.*, 2009) ja spreikultuurina (Msuya ja Neori, 2010). Täpsemate omaduste uurimise eesmärgil kasvatatakse *Ulva* vetikat ka väiksemates mahutites laboris ja fotobioreaktorites (Tabel 2). Kuigi käesolevas uurimuses ei käsitleta IMTA (integreeritud multitroofiline akvakultuur) süsteemides kasvatatud *Ulva* vetikaid, kus *Ulva* vetikas toimib biofiltrina ning vesi ringleb eri organismide vahel, on selle omadusi ka sellisel kasvatusviisil uuritud (Lopes *et al.*, 2019).

Tuginedes käesolevas töös analüüsitud allikatele võib kokkuvõtlikult järeldada, et vetikate kasvatamiseks kasutatakse tavaliselt filtreerimise või UV-steriliseerimisega puhastatud merevett, mida pumbatakse merest, kuid ka nn tehismerevett, kus on mageveele lisatud soolasisi, või kalakasvatustest pärinevat vett (mis on tavaliselt algselt merest võetud) (Tabel 2). Merevee kasutamise eeliseks on selle väiksem kulu, kuid magevett on kergem puhastada ning on kergem katse eesmärgil kontrollida toitainete sisaldust, kuna ei pea katsetingimustesse sisse arvestama merevees juba leiduvad toitained.

Nagu eelnevalt mainitud, on üheks maismaal vetikate kasvatamise suureks eeliseks võimalus kasvutingimusi peaaegu täielikult kontrollida. Peamised *Ulva* vetikate kasvu mõjutavad parameetrid on temperatuur, soolsus, toitained, valgus ja happelisus (Zertuche-González *et al.*, 2021). Jälgitakse peamiselt nende parameetrite väärtusest tulenevat biomassi suurenemise kiirust ja vetika biokeemilist koostist. Parameetrite hulgast kõige lihtsam on kontrollida toitainete hulka, seda peaaegu täielikult, kuid keerulisem on kontrollida valgust (juhul kui valguseallikaks on ainult päikesevalgus, siseruumides lampidest tulevat valguse hulka saab hästi kontrollida), ja temperatuuri (Zertuche-González *et al.*, 2021). Käesolevas töös analüüsitud allikates kasutati tavaliselt naturaalselt ehk päikesevalgust (Tabel 2).

Eesti mereinstituut on uurinud *Ulva* kasutamise võimalusi kalakasvatuse vee puhastamiseks. Vetikas valiti, kuna see kasvab kiiresti ning seda leidub piirkonnas piisaval hulgal (Hall ja Martin, 2021). Samuti on Eestis uuritud vetika *Ulva intestinalis* keemilist koostist (Luhila *et al.*, 2022) ja võimalusi liigi *U. intestinalis* kasvatamiseks (Joonis 1).

Tabel 2. Analüüsitud uurimustes kasutatud veesüsteemid, mahutid ja valgusallikas.

Allikas	Veesüsteem	Mahutid	Valgusallikas
Figueroa <i>et al.</i> (2009)	voolav merevesi	600 L	Naturaalne
Israel <i>et al.</i> (1995)	steriilne merevesi	0,2 L	Naturaalne
	kaevust tõusev merevesi	36 L	Naturaalne
Hall ja Martin (2021)	voolav filtreeritud merevesi kalakasvatusest	-	Naturaalne
Ruangchuay <i>et al.</i> (2012)	merevesi	0,5 L	Tehislik
Balina <i>et al.</i> (2017)	filtreeritud merevesi, vahetus korra nädalas	labor, 0,25 L	Tehislik
Msuya ja Neori (2008)	merevesi, vahetus iga 3 päeva tagant	13,5 L	Naturaalne
Gao <i>et al.</i> (2018)	voolav filtreeritud merevesi	40 L, 60 L	Tehislik
Qarri ja Israel (2020)	voolav puhastamata merevesi	600 L	Naturaalne
Bruhn <i>et al.</i> (2011)	filtreeritud merevesi, vahetus kaks korda nädalas	100 m <sup>3</sup> tiigid	Naturaalne
Zertuche-González <i>et al.</i> (2021)	voolav filtreeritud merevesi	600 L	Naturaalne
Shpigel <i>et al.</i> (1999)	voolav filtreeritud kalatiigivesi	600 L	Naturaalne
Nielsen <i>et al.</i> (2012)	tehislik merevesi	labor, 2 L	Tehislik
Agarwal <i>et al.</i> (2020)	-	fotobioreaktor	-
Traugott <i>et al.</i> (2020)	tehislik merevesi	fotobioreaktor, 35 L	Naturaalne
Kim <i>et al.</i> (2021)	puhastatud merevesi, vahetus iga 5 päeva tagant	10 L	Tehislik
Zemah-Shamir <i>et al.</i> (2021)	voolav merevesi	40 L	Naturaalne
Martin <i>et al.</i> (2022)	UV-kiirgusega puhastatud merevesi, kunstlik merevesi, vahetus 7–10 päeva tagant	250 L	Tehislik



*Joonis 1. Martin et al. (2022) katses Pihklas kasutatud kasvatustehnoloogia.*

## 5. Olulised keskkonnaparameetrid makrovetikate kasvatamiseks

### 5.1 Temperatuur

Enamus katsetes, kus on uuritud temperatuuri mõju *Ulva sp* kasvule, on leitud, et eelistatud kasvutemperatuur jääb 20 °C juurde või sellest kõrgemale. Samas on enamik nendest katsetest läbi viidud piirkondades, kus merevee keskmine temperatuur on kõrgem Läänemere omast ning, nagu muude parameetrite puhul, on põhjust arvata, et *Ulva* vetikad eelistavad kasvada tingimustes, millega on kohastunud. Seetõttu käsitletakse soojade piirkondade ja jahedamate piirkondade katseid eraldi lõikudes.

Ruangchuay *et al.* (2012) katses ei leitud temperatuuridel 20 °C, 25 °C ja 30 °C suurt erinevust vetikate kasvukiiruses, nendel temperatuuridel jäi päevane kasvuprotsent vahemikku 10,60–10,98% ning eeldati, et suurem mõju kasvukiirusele võis olla vetikate kasvutihedusel ehk sellel, kui varjutatud valgusest need olid. Sarnase temperatuurieelistusega oli *Ulva lactuca* Israel *et al.* (1995) Iisraelis toimunud katses, kus keskmiste temperatuuride 12–18 °C juures kasvas vetikas kõige kiiremini, kui temperatuur tõusis ajutiselt kuni 20 °C. Mehhikos läbi viidud uuringus kasvatati liike *U. lactuca* ja *U. fasciata* 100 m<sup>3</sup> mahuga tiikides looduslikes valgus- ja temperatuuritingimustes ning avastati, et tiikides kasvasid vetikad sama aastaajalise rütmi järgi kui meres: suurim kasvukiirus oli hilistalvel ja kevadel, kui veetemperatuur polnud veel liiga kõrge, suvel, kui temperatuur tõusis, kasvukiirus vähenes, kuid taastus sügisel, kui veetemperatuur langes alla 23 °C ning talvel, kui temperatuur langes alla 16 °C, langes kasvukiirus kiirelt, ehk kasv toimus edukalt temperatuurivahemikus 16–23 °C (Zertuche-González *et al.*, 2021). Kuigi selles katses kahe aasta tulemused ilmastikutingimuste tõttu vähesel määral erinesid, järgis vetikate kasvukiirus siiski sama mustrit (Zertuche-González *et al.*, 2021), mis näitab, et *Ulva sp* kasvukiirused on vähemalt mingil määral etteennustatavad temperatuurist tulenevalt, mis võimaldab kasvatamist ette planeerida.

Jahedama kliimaga Taanis läbi viidud katses, kus uuriti *Ulva lactuca* kasvu, täheldati, et tingimustes, kus veetemperatuur tõusis üle 20 °C (katse viidi läbi temperatuurivahemikus 7–23 °C), vetika kasvukiirus vähenes (Bruhn *et al.*, 2011). Samuti on Läänemeres kasvava vetika



*Ulva intestinalis* kohta öeldud, et selle eelistatud kasvutemperatuur võiks olla vahemikus 10–15 °C (Parchevkij ja Rabinovich, 1999, viidatud Balina *et al.*, 2017 kaudu) ning sama vahemik on nimetatud parasvöötmes Põhjameres kasvava *U. lactuca* kohta (Fortes ja Lüning, 1980). Katses, kus Lõuna-Koreas Kollasest merest pärit materjalil uuriti temperatuuri mõju vetika *U. intestinalis* kasvule varajases niitjas staadiumis, leiti, et temperatuuril 15 °C toimus plahvatuslik kasv, kuid temperatuuril 25 °C vetikas enam ei kasvanud. Eesti katsetes on leitud, et vetika *U. intestinalis* parim kasv toimus vahemikus 12–16°C, kusjuures kõrgemad temperatuurid (kuni 20 °C) hakkasid vetikate kasvu pärssima (Martin *et al.*, 2022). Hall ja Martin (2021) katses tundus välitingimustel toitainerikkas keskkonnas temperatuur olevat *Ulva sp* kasvu peamiseks piirajaks, kusjuures keskpäevane temperatuuritõus tundus põhjustavat vetikale lühiajalist stressi. Võib järeldada, et *Ulva* vetikatel on optimaalne temperatuuride vahemik, millest madalamal ja kõrgemal kasv on piiratud, kuid need väärtused olenevad piirkonna temperatuuritingimustest, millega isendid on kohastunud.

Temperatuuri silmas pidades võib probleemina välja tuua selle, et vetikate suuremas mahus kasvatamisel on temperatuuri keeruline hoida kindlal tasemel, kuna see sõltub ilmastikutingimustest. Selleks, et tootmine saaks toimida aastaringselt, oleks aga vaja sobivad tingimused hoida aastaringselt samad. Isegi Eesti tingimustes on suved nii kuumad, et võivad põhjustada veetemperatuuri tõusu vetikale *Ulva intestinalis* liiga kõrgeks (Martin *et al.*, 2022). Seetõttu on vaja välja töötada võimalused vett jahutada. Üks võimalus oleks kasutada energiat nõudvat jahutussüsteemi, kuid teine võimalus oleks kasvatusvee tihedam vahetamine (Zertuche-González *et al.*, 2021). Kui Eesti tingimustes mõelda kasvatusväälitingimustes rajamisele, tuleb arvestada, et Eesti kliimas on lühikese aja jooksul suured temperatuurimuutused tavalised ja need võivad põhjustada vetikate surma nagu on varem katses juhtunud (Hall ja Martin, 2021).

Tabel 3. Uurimustes esitatud parimad temperatuurid *Ulva* sp kasvuks.

Allikas	Piirkond	Liik	Parim temperatuur kasvuks (°C)
Israel <i>et al.</i> (1995)	Iisrael	<i>Ulva lactuca</i>	20
Ruangchuay <i>et al.</i> (2012)	Tai	<i>U. intestinalis</i>	20, 25, 30
Zertuche-González <i>et al.</i> (2021)	Mehhiko	<i>U. lactuca</i> , <i>U. fasciata</i>	16–23
Kim <i>et al.</i> (2021)	Lõuna-Korea	<i>U. intestinalis</i>	15 (kasv toimus kuni 25)
Bruhn <i>et al.</i> (2011)	Taani	<i>U. lactuca</i>	< 20
Balina <i>et al.</i> (2017)	Läti	<i>U. intestinalis</i>	10–15
Martin <i>et al.</i> (2022)	Eesti	<i>U. intestinalis</i>	12–16

## 5.2 Soolsus

*Ulva* on tuntud oma laia soolsusetaluvuse poolest. Seetõttu on vähe katseid suunatud vetika soolsuseelistuste kindlaks tegemisele. Soolsust käsitletakse kui ühikuta parameetrit, seetõttu pole bakalaureusetöös kasutatud soolsuse märkimisel ühikuid. Ruangchuay *et al.* (2012) uurisid liigi *Ulva intestinalis* kasvu arengu algstaadiumis ning leidsid, et vetikas kasvas hästi kõigil soolsustel (10, 20, 30, 40), saavutades keskmise päevase kasvukiiruse vahemikus 16,21–17,50%, millest suurim saagikus oli soolsusel 20. Sarnased tulemused saadi Kim *et al.* (2021) katses, kus kasvatati vetika *U. intestinalis* varajast niitjat arengujärku ning leiti, et optimaalne soolsus kasvuks oli 20, kuid kasv toimus ka teiste valitud soolsuste juures ja peatus, kui soolsus oli liiga suur väärtusel 50.

Eestis on uuritud vee soolsuse mõju liigi *Ulva intestinalis* kasvule ning parim tulemus (juurdekasv säilis kõige kauem) saadud soolsuse 5,5 juures, mis oli ka kõige lähedasem loodusliku kasvukoha soolsusele (Martin *et al.*, 2022). Siiski olid erinevused teiste soolsustega (2,7 ja 9,1) väikesed ning mõõtmiste arv piiratud (Martin *et al.*, 2022), mistõttu oleks kindlate järelduste tegemiseks vajalik korduskatse. Soolsuse mõju vetika kasvule on seoses ka toitainete ja valgusega. Kui soolsus on suurem kui 4, siis muutub vetika *U. intestinalis* biomass rohkem olenevalt nitraatide ja valguse hulgast (Kotta *et al.*, 2022). Nendest tulemustest võib järeldada,

et *Ulva sp* kasv ei olene keskmisel tasemel soolsusest tugevalt, kuid liiga suur soolsus võib hakata kasvu pärssima.

Vee soolsuse kontrollimisel on raskuseks asjaolu, et see suureneb toitainete lisamisel (Martin *et al.*, 2021) ning vee aurustumisel. Juhul, kui mahutites vesi tihti ei vahetu, võib vee soolsus nendel põhjustel suureneda ning muuta kasvutingimused vetikatele ebasobivaks (Martin *et al.*, 2022). Seetõttu oleks sobiva soolsuse hoidmiseks kasulik mahutites vett tihedamini vahetada. Balina *et al.* (2017) laboris katseklaasides läbi viidud katses suurenes soolsus liigse aurustumise tõttu ning hakkas toimuma plasmolüüs, autorid arvasid, et kuna kasutatud oli Läänemerest korjatud vetikat *Ulva intestinalis*, olid isendid suurele soolsusele tundlikumad, kui soolasema veega piirkonnast korjatud liik või isend oleks olnud.

Tabel 4. Uurimustes esitatud parimad soolsused *Ulva sp* kasvuks.

Allikas	Piirkond	Liik	Parim soolsus
Ruangchuay <i>et al.</i> (2012)	Tai	<i>Ulva intestinalis</i>	20 (sarnased tulemused 10, 30, 40)
Kim <i>et al.</i> (2021)	Lõuna-Korea	<i>U. intestinalis</i>	20 (kasv toimus kuni 50)
Martin <i>et al.</i> (2022)	Eesti	<i>U. intestinalis</i>	5,5 (sarnased tulemused 2,7, 9,1)

### 5.3 Toitained

Kõige tähtsamad *Ulva* kasvu mõjutavad toitained on lämmastik ja fosfor, mis on tihti limiteerivaks faktoriks (Traugott *et al.*, 2020). Kahest toitainest rohkem mõjutab vetika kasvu lämmastik, mis võib keskkonnas olla ammooniumi või nitraatide kujul. Kõige paremini omastavad *Ulva* liigid ammooniumi, seejärel nitraate ning viimasena fosfaate (Pajusalu, 2020). *Ulva sp* on tuntud kui vetikas, mis talub hästi suurt toitainete kogust keskkonnas (Kotta *et al.*, 2022), mis on kasulik, kui väetamiseks soovitakse kasutada mitte täpselt mõõdetud mineraalväetisi, vaid näiteks kalakasvatusest saadud vett.

Neori *et al.* (1991) järgi tõuseb *Ulva sp* saagikus ja kasvukiirus hüperboolselt koos lämmastiku kontsentratsiooni suurenemisega viisil, mis sobib Michaelis-Menteni kineetikaga ning madal lämmastikuisaldus keskkonnas on *Ulva sp* jaoks limiteeriv tegur (Traugott *et al.*, 2020; Neori

*et al.*, 1999). Liiga kõrge lämmastiku kontsentratsiooni korral aga kasvukiiruse tõus peatub ning kudede lämmastiku, fosfori, valkude ja aminohapete sisaldus langeb (Nielsen *et al.*, 2012).

Seevastu on mõnes katses leitud, et saagikus ei erine oluliselt kõrge ja madala lämmastikusisaldusega kasvatatud vetikate puhul (Figueroa *et al.*, 2009; Agarwal *et al.*, 2020; Kim *et al.* 2021). Mitmes katses on leitud, et saagikus on suurem väiksema lämmastikukoguse juures (Shpigel *et al.*, 1999; Balina *et al.*, 2017; Martin *et al.*, 2022). Eestis vetikaga *Ulva intestinalis* läbi viidud katses leiti, et madalama lämmastiku koguse lisamise korral püsis vetika juurdekasv kauem (katses lisati mahutisse 10, 20, 40 ml/l väetist korra 7–10 päeva jooksul) ja kõrgematel kogustel hakkasid toitained pigem kasvu pärssima. Sama katse teises seerias toimus vetika kasv vaid siis, kui lämmastikukogused olid nagu looduslikus kasvukohas, kuid väetiste lisamisel hakkas materjal lagunema (Martin *et al.*, 2022). Lätis Liivi lahest korjatud vetikaga *U. intestinalis* tehtud laborikatses leiti samuti, et parim lämmastiku kontsentratsioon vetika kasvatamiseks on katses valitud kontsentratsioonidest madalaim  $2 \text{ ml} \times \text{l}^{-1}$  ja sellest suurema koguse korral hakkavad toitained kasvu pärssima ja koguse  $50 \text{ ml} \times \text{l}^{-1}$  juures juba vetikat tapma (Balina *et al.*, 2017).

Kuigi lämmastikukoguse mõju kasvukiirusele on suhteliselt väike, suurendab see oluliselt üldist valgusisaldust (Shpigel *et al.*, 1999; Msuya ja Neori, 2008; Gao *et al.*, 2018; Traugott *et al.*, 2020) vetika koes, seetõttu otsitakse kasvatamiseks lämmastiku kontsentratsiooni, mis oleks piisavalt suur, et saada hea omadustega materjali, kuid võimalikult väike, et hoida kokku kulusid ja vältida vetika kasvu pärssimist. Neori *et al.* (1991) on kirjutanud, et kõrge valgusisalduse ja suure saagikuse saavutamiseks peaks vetikat *Ulva sp* kasvatama tingimustes, kus ammoniumi ( $\text{NH}_4^+$ ) kontsentratsioon on  $0,5 \text{ mol} \times \text{m}^{-2}$  päevas. Agarwal *et al.* (2020) väitsid oma katse tulemuste põhjal, et optimaalne lämmastiku kontsentratsioon, et saavutada suurim saagikus, oleks vahemikus  $3,4\text{--}17,5 \text{ mg} \times \text{l}^{-1}$ , Neori *et al.* (2020) katses saadi parim saagikus lämmastiku kontsentratsioonil  $15 \text{ g} \times \text{m}^{-2}$ . Shpigel *et al.* (1999) katses leiti aga, et saagikus on lämmastiku kontsentratsioonil  $10 \text{ mol} \times \text{m}^{-2}$  päevas madalam kui  $0,5 \text{ mol} \times \text{m}^{-2}$  päevas puhul, kuid materjal sisaldab rohkem valke ja energiat.

Lämmastiku kontsentratsiooni suurendamine suurendab vetika valgusisaldust, kuid vähendab tärklisesisaldust (Prabhu *et al.*, 2019; Traugott *et al.*, 2020). Seetõttu soovitab Traugott *et al.* (2020), et kui soovitakse kaubanduslikul eesmärgil kasvatada vetikaid, millel oleks võimalikult

suur nii saagikus kui ka valgu- ja tärklisesisaldus, tuleks neid kasvatada kõigepealt suure ning seejärel väikese lämmastiku kontsentratsiooniga keskkonnas.

Fosforisisaldus mõjutab *Ulva sp* kasvu vähem, mistõttu on vähe uuringuid suunatud fosforisisalduse mõjule *Ulva sp* kasvul. Üldiselt on fosfori lisamisel järgitud lämmastiku ja fosfori suhet keskkonnas nii, et fosforit on lämmastikust vähem. Mitmes katses on kasutatud väetamisrežiimi, kus korra nädalas lisati mahutitesse 2000  $\mu\text{M}$  ammooniumi ja 200  $\mu\text{M}$  ortofosfaati (Israel *et al.*, 1995; Zemah-Shamir *et al.*, 2021), ning kümnekordset vahet on järgitud ka teistes katsetes (Qarri ja Israel, 2020; Zertuche-González *et al.*, 2021). Teistes analüüsitud katsetes on lämmastik- ja fosforväetiste hulga erinevused väiksemad (Bruhn *et al.*, 2011; Gao *et al.*, 2018) või pole fosfori hulka üldse märgitud (Balina *et al.*, 2017; Agarwal *et al.*, 2020).

Väetisi on lisatud katsetes eri režiimide järgi, kas igapäevaselt (Shpigel *et al.*, 1999; Figueroa *et al.*, 2009; Bruhn *et al.*, 2011; Gao *et al.*, 2018), korra nädalas (Israel *et al.*, 1995; Traugott *et al.*, 2020; Qarri ja Israel, 2020; Martin *et al.*, 2022) või kaks korda nädalas (Zemah-Shamir *et al.*, 2021; Zertuche-González *et al.*, 2021). Kuna vetikad omastavad toitained kiiresti, siis peavad korraga lisatud väetisekogused olema seda suuremad, mida harvemini neid lisatakse. Suurel kogusel väetiste lisamine võib aga algselt tekitada nii suure kontsentratsiooni, et hakkab vetikate kasvu pärssima. Seetõttu on soovitatud väetist lisada pigem väikestes kogustes ja sageli (Martin *et al.*, 2022).

## 5.4 Valgus

Fotosünteesiks on valgus hädavajalik ning Neori *et al.* (1991) järgi on piisava lämmastikusisalduse korral valgus peamine *Ulva sp* kasvukiirust limiteeriv tegur. Tavaliselt on analüüsitud allikates väljendatud valgusintensiivsust ühikutes  $\mu\text{mol footoneid} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}$  ehk mitu mikromooli footoneid jõuab sekundis ruutmeetrile vetikatele. Enamikes käesolevas töös analüüsitud katsetes on kasutatud naturaalselt ehk päikesevalgust (Tabel 2), mille hulka saab muuta vetikaid osaliselt võrguga varjutades (Qarri ja Israel, 2020) või sellega, kui tihedalt vetikad on kasvumahutisse paigutatud. Üldine seisukoht on, et vetikate kasvuks on parem suur valgusintensiivsus (Traugott *et al.*, 2020). Qarri ja Israel (2020) katses, kus mahuteid varjutati, leiti, et mahutites, mis said kogu päikesevalguse, toimus kasv kiiremini kui mahutites, mis said

pool päikesevalgusest. Ka Eestis läbi viidud katsetes paranes vetikate kasv, kui kasutusele võeti intensiivsemad lambid (Martin *et al.*, 2022).

Katsetulemustest on selgunud, et *Ulva sp* kasvab hästi valgusintensiivsuses vahemikus umbes 60–120  $\mu\text{mol footoneid} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}$  (Fortes ja Lüning, 1980; Israel *et al.*, 1995; Ruangchuay *et al.*, 2012; Balina *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2021). Täpsed kasvueelistused on siiski teadmata, kuna Israel *et al.* (1995) katses leiti, et valgusintensiivsuse 60  $\mu\text{mol footoneid} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}$  juures ei kasvanud vetikas enam üldse, kuid Ruangchuay *et al.* (2012) katses toimus kasv ka intensiivsuse 40  $\mu\text{mol footoneid} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}$  juures ning tegelikult ei erinenud väärtuste 40, 80 ja 120 juures kasvukiirused palju ehk väiksem valgusintensiivsus ei pärssinud vetika kasvu oluliselt. Kim *et al.* (2021) leidsid, et varajases niitjas arengujärgus toimub kasv 15–20 korda kiiremini valgusintensiivsustel vahemikus 90–120  $\mu\text{mol footoneid} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}$  võrreldes teiste valgusintensiivsustega ja intensiivsuse 30  $\mu\text{mol footoneid} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}$  juures väheneb kasvukiirus oluliselt. Ka Fortes ja Lüning (1980) järgi suureneb *Ulva sp* kasvukiirus alates intensiivsusest 30  $\mu\text{mol footoneid} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}$  lineaarselt, kuid küllastub intensiivsuse 70  $\mu\text{mol footoneid} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}$  juures. Küllastumist näitab ka see, et looduslikku päikesevalgust kasutatavates katsetes on keskmised valgusintensiivsused olnud katsetes leitud optimaalsetest oluliselt suuremad, näiteks u 600  $\mu\text{mol footoneid} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}$  (Qarri ja Israel, 2020) ja 185–350  $\mu\text{mol footoneid} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}$  (Israel *et al.*, 1995), kuid pole hakanud kasvu pärssima ega oluliselt suurendanud saagikust. Eesti katsete tulemustest on järeldatud, et *Ulva sp* kasvaks vajalik valgusintensiivsuse hulk on vähemalt veerand kuni pool looduslikust keskpäevasest kogusest (Martin *et al.*, 2022).

Valgusintensiivsus pole ainus, mis vetika kasvu mõjutab, suur olulisus on sellel, kui tihedalt materjal kasvumahutisse on paigutatud, kuna liiga tiheda paigutuse puhul hakkavad pealmised isendid alumisi valguse eest varjama. Parimad kasvukiirused on saadud, kui vetikaid on mahutis hõredamalt, 0,5–2  $\text{kg} \times \text{m}^{-2}$  (Neori *et al.*, 1991; Israel *et al.*, 1995; Bruhn *et al.*, 2011). Samas on leitud, et parem saagikus oli tihedusel 4  $\text{kg} \times \text{m}^{-2}$  (Bruhn *et al.*, 2011), samuti korreleerus selles katses valguse hulk negatiivselt monosahhariidide koguhulgaga, nii et väiksemal tihedusel oli monosahhariidide hulk suurem. Ka leidsid Neori *et al.* (1991), et nende optimaalsest kasvutihedusest 1–2  $\text{kg} \times \text{m}^{-2}$  suurema tiheduse 4–6  $\text{kg} \times \text{m}^{-2}$  abil saab küll suurendada kudede valgusisaldust, kuid sellisel juhul kannatab saagikus ning jõudes tiheduseni 6  $\text{kg} \times \text{m}^{-2}$  langesid saagikus ja kasvukiirus oluliselt. Laboritingimustes, kus kasvutihedusel oli kasvukiirusele kõige suurem mõju, leidsid Ruangchuay *et al.* (2012), et *Ulva sp* varajased arengujärgud kasvavad

paremini tihedusel  $0,05 \text{ g} \times \text{l}^{-1}$ . Selleks, et varjutamist ei hakkaks toimuma, on enamus katsetes koristatud vetikamass teatud aja möödudes ning taastatud algne kasvutihedus (Shpigel *et al.*, 1999; Bruhn *et al.*, 2011; Zertuche-González *et al.*, 2021). Lisaks sellele, et vetikad ise üksteist varjavad, võivad valguse hulka vähendada ka mahutite seinad, mistõttu on oluline kasvatamisel hoolega valida mahutite kuju, suurus ja materjal (Bruhn *et al.*, 2011).

Tabel 5. Uurimustes välja selgitatud parimad valgusintensiivsused ja kasvutihedused *Ulva sp* kasvuks.

Allikas	Parim valgusintensiivsus ( $\mu\text{mol}$ footoneid/ $\text{m}^2 \times \text{s}$ )	Parim kasvutihedus ( $\text{kg} \times \text{m}^{-2}$ )
Israel <i>et al.</i> (1995)	> 60	0,5, 1,1
Ruangchuay <i>et al.</i> (2012)	80 (40, 120 sarnased tulemused)	-
Bruhn <i>et al.</i> (2011)	-	1 (suurim kasvukiirus) 4 (suurim saagikus)
Neori <i>et al.</i> (1991)	-	1–2 (suurim kasvukiirus) 4–6 (suurim valgusisaldus)
Kim <i>et al.</i> (2021)	90–120	-

Juhul, kui vetikate kasvatamisel kasutatakse tehisvalgust, on oluline jälgida, milline on sobiv valgusrežiim ehk valge-pimeda suhe. *Ulva sp* kasvatamiseks on valitud tavaliselt valgusrežiim 12 : 12 ehk 12 tundi valget ja 12 tundi pimedat aega või valgusrežiim 16 : 8 ehk 16 tundi valget ja 8 tundi pimedat aega (Tabel 6).

Tabel 6. Uurimustes kasutatud valgusrežiimid.

Allikas	Uurimustes kasutatud valgusrežiimid (valge:pime)
Israel <i>et al.</i> (1995)	12 : 12
Ruangchuay <i>et al.</i> (2012)	12 : 12
Balina <i>et al.</i> (2017)	16 : 8
Gao <i>et al.</i> (2018)	16 : 8
Nielsen <i>et al.</i> (2012)	16 : 8
Martin <i>et al.</i> (2022)	12 : 12

Üks probleemidest, mis intensiivse valgustuse puhul võib tekkida, ka juhul, kui see valgushulk on vetikate kasvatamiseks optimaalne, on vee kiire aurustumine katsemahutitest. See tõenäosus on suurem, kui vett mahutites harva vahetatakse. Päikesevalguse kasutamine valgusallikana on odavam, kuid siseruumides keerulisem ning selle hulka ei saa nii hästi kontrollida, kui lampide

kasutamisel. Lampide valgusintensiivsust ja valgusrežiimi saab hästi kontrollida ja muuta, kuid nende kasutamine nõuab suuremaid kulutusi.

## 5.5 Vee loksutamine

Vee loksutamise ülesandeks on hoida vetikaid veepinna lähedal, et need saaksid võimalikult palju valgust. Tihti kasutatakse selle saavutamiseks aereerimist. Lisaks vetikate veepinnal hoidmisele, on uuritud ka aereerimise mõju toitainete omastamisele. Msuya ja Neori (2008) järeldasid oma tulemustest, et vee aereerimine mõjutab vetikate kasvu madala toitainete koguse juures, kuid alates lämmastiku kogusest 4  $\mu\text{M}$  TAN (ammoonium ja ammooniumnitraat) pole aereerimine vetikate kasvuks enam hädavajalik. Autorid pakkusid põhjuseks selle, et madalatel toitainete kogustel suurendab aereerimine difusiooni, kuid suurte toitainete kogusel toimub see juba niigi kiiresti. Samuti mõjutab aereerimise määr vetika keemilist koostist. Fotobioreaktori katses suurendas aereerimine vetikate tärglisesisaldust (Traugott *et al.*, 2020).

## 5.6 Happelisuus

Kuna kasvutingimusi mõjutab ka vee happelisuus, on mõned uuringud hinnanud CO<sub>2</sub> sisalduse mõju keskkonnas *Ulva* vetikate kasvule. Suurem CO<sub>2</sub> sisaldus muudab veekeskkonda happelisemaks. Tavaliselt lisatakse CO<sub>2</sub> aereerimiseks kasutatavale hapnikule (Gao *et al.*, 2018; Zemah-Shamir *et al.*, 2021). On leitud, et kõrgema CO<sub>2</sub> sisalduse juures kasvab *Ulva sp* kiiremini (Sebök *et al.*, 2019; Zemah-Shamir *et al.*, 2021). Zemah-Shamir *et al.* (2021) katses leiti, et 780 ppm CO<sub>2</sub> sisalduse juures kasvas *Ulva rigida* vähemalt 45% kiiremini kui tavalise atmosfääri CO<sub>2</sub> sisalduse juures. Samas vähendab kõrgem CO<sub>2</sub> sisaldus aminohapete sisaldust koes, eriti aspargiinhappe ja glutamiinhappe puhul (Gao *et al.*, 2018).



## 6. Biomassi juurdekasvu kiirus

Biomassi suurenemist mõõdetakse tavaliselt protsentides päevas (% päevas), millega hinnatakse kui palju on biomass suurenenud eelmisest mõõtmisest, ja saagikusena, kus tavaliselt arvestatakse vetikate kasvu grammides ruutmeetri kohta päevas ( $\text{g} \times \text{m}^{-2}$  päevas). Vetikate massi mõõtmisel on oluline, kas kaalutakse kuivatatud (kuivkaal) või värsket materjali (märgkaal), millest viimase puhul osa kaalust moodustab vesi, mille osakaal eri mõõtmiste puhul võib varieeruda. Tekstis lühendatakse kuivkaal tähtedega *dw* (ingl *dry weight*) ja märgkaal tähtedega *fw* (ingl *fresh weight*). Mõlema mõõtmisviisi puhul on saadud kasvukiirused käesolevas töös analüüsitud katsetes suurelt varieeruvad.

Suurim kasvukiirus on katsetes saadud u 87% päevas (Israel *et al.*, 1995). Levinumad on aga tulemused, kus protsentides suurimad kasvukiirused jäävad vahemikku 17–33% päevas (Tabel 5). Suurimad saagikused on saadud 235–290  $\text{g fw m}^{-2}$  kohta päevas (Tabel 5). Madalamad saagikused on saadud 14–52  $\text{g fw m}^{-2}$  kohta päevas (Tabel 5) ja keskmised saagikused 156–180  $\text{g fw m}^{-2}$  kohta päevas (Tabel 5).

Eestis läbi viidud katsetes on saadud nendest mõnevõrra väiksemad tulemused. Hall ja Martin (2021) katses saadi vetikate suurimaks kasvukiiruseks 4% päevas, kuid keskmiselt 1,9% päevas. Martin *et al.* (2022) saadi sarnaselt maksimaalseks kasvukiiruseks u 3,4–4,3% päevas ja suurimaks stabiilseks kasvukiiruseks u 3% päevas, mis sarnanevad looduslikule *Ulva rigida* kasvukiirusele Vahemeres, milleks on 0,7–2,9 % päevas (De Casabianca *et al.*, 2002). Ka Balina *et al.* (2017) katses, mis viidi läbi Läänemerest korjatud vetikaga *U. intestinalis* saadi suurimaks kasvukiiruseks u 7% päevas, kuid keskmine kasvukiirus katse jooksul oli 1,2% päevas. Sellest võib järeldada, et seni Eesti katsetes saadud tulemused on Läänemere vetikale *U. intestinalis* iseloomulikud. Samas on sarnased väikesed kasvukiirused saadud katses, kus 40-liitrites mahutites olid keskmised kasvukiirused aasta jooksul 10–19% päevas, kuid 600-liitrites mahutites kolmel aastaajal tunduvalt madalamad 1,4–2,5% päevas ning suvel kõrgem 9,8% päevas (Qarri ja Israel, 2020), nii et suur mõju kasvukiirusele võib olla ka mahutite kujul ning ka Eesti tingimustes võib veel võimalik olla kasvukiirusi tõsta.

Üheks suurimaks probleemiks vetikakasvatuses on stabiilse kasvukiiruse saavutamine. Tabelis 5 nimetatud tulemused on katsetes mingil perioodil saadud kõrgeimad kasvukiirused, kuid vetikakasvatuses on tavaline, et isegi, kui tingimused proovitakse sarnased hoida, varieeruvad *Ulva sp* kasvukiirused väga palju kasvatusperioodi jooksul. Kuigi Bruhn *et al.* (2011) katses saadi kõrgeimaks kasvukiiruseks u 19% päevas, oli keskmine kasvukiirus perioodi jooksul madalam – 10,5% päevas ning kasvuperioodil langes kasvukiirus ka alla nulli ehk vetikad lagunesid kiiremini, kui kasvatasid uut kudet. Sarnane suur kasvukiiruste erinevus oli Nielsen *et al.* (2012) katses, kus vahetusid perioodid, kus domineeris lagunemine ja perioodid, kus vetikad kasvasid kiirusega kuni 45,7% päevas. Eestis läbi viidud projektis olid tulemused samuti ebastabiilsed, mitmed kasvumahutid pidi katsest eemaldama, kuna nendes olevad vetikad ainult lagunesid ning mõnede katsete puhul vetikad ei hakanudki kasvama, tõenäoliselt, kuna materjal oli halva kvaliteediga ja juba varem katses hoitud, kusjuures tavaliselt toimus kiirem kasv kasvuperioodide esimestel nädalatel (Martin *et al.*, 2022).

Ka juhul kui lagunemisprotsessid ei hakka domineerima, võivad katsetes kasvukiirused palju erineda, Ruangchuay *et al.* (2012) katses varieerusid kasvukiirused vahemikus 9–22% päevas, Balina *et al.* (2017) katses oli, nagu varem mainitud, kõrgeim kasvukiirus 7% päevas, kuid keskmine kasvukiirus 1,23% päevas. Samuti on paljud katsed üsna lühiajalised, mistõttu on tulemusi raske kasutada selleks, et plaanida pikaajalist kasvatust. Katsetes, mis on toimunud pikema aja jooksul on suudetud kahe aasta jooksul säilitada juurdekasv, tingimustes, kus vett vahetati kaks korda nädalas ja vetikamaterjal koristati ja asendati iga kolme nädala tagant (Zertuche-González *et al.* 2021).

Tabel 7. Uurimustes saavutatud suurimad saagikused ja kasvukiirused. Kõik väärtused on ümardatud ühelisteni.

Allikas	Piirkond	Liik	Suurim saagikus (g fw × m <sup>-2</sup> päevas)	Suurim kasvukiirus (% päevas)
Israel <i>et al.</i> (1995)	Iisrael	<i>Ulva lactuca</i>	180	87
Hall ja Martin (2021)	Eesti	<i>U. intestinalis</i>	-	4
Ruangchuay <i>et al.</i> (2012)	Tai	<i>U. intestinalis</i>	14	19
Balina <i>et al.</i> (2017)	Läti	<i>U. intestinalis</i>	-	7
Qarri ja Israel (2020)	Iisrael	<i>U. ohnoi</i> , <i>U. rigida</i> , <i>U. fasciata</i>	14	19
Bruhn <i>et al.</i> (2011)	Taani	<i>U. lactuca</i>	156	19
Zertuche-González <i>et al.</i> (2021)	Mehhiko	<i>U. lactuca</i> , <i>U. fasciata</i>	230	-
Shpigel <i>et al.</i> (1999)	Iisrael	<i>U. lactuca</i>	164	-
Msuya ja Neori (2010)	Iisrael	<i>U. lactuca</i>	283	17
Nielsen <i>et al.</i> (2012)	Taani	<i>U. lactuca</i>	-	46
Traugott <i>et al.</i> (2020)	Iisrael	<i>U. rigida</i> , <i>U. fasciata</i>	-	25
Zemah-Shamir <i>et al.</i> (2021)	Iisrael	<i>U. rigida</i>	52	35
Martin <i>et al.</i> (2022)	Eesti	<i>U. intestinalis</i>	-	4

Üks materjali lagunemise põhjuseid on vetikate merest korjamisel kaasa tulnud teised organismid, nii vetikatest toitujad kui epifüütsed vetikad ning haigusi tekitavad organismid, näiteks Lõuna-Aafrika Vabariigis *Ulva* vetikakasvatustes on suureks probleemiks infektsioonid (Bolton *et al.*, 2009). Nende organismide paljunemise vältimiseks on vajalik nad juba enne kasvatamist vetikamassist eemaldada, kas käsitsi (Martin *et al.*, 2022) või mageveega pestes (Bolton *et al.*, 2009). Merevee kasutamisel kasvatuses on kasulik see puhastada, kuid ka peale filtreerimist või muul viisil puhastamist võib selliseid organisme kasvumahutitesse jõuda. Segavate organismide paljunemise tõenäosus on suurem, kui vett mahutites harva vahetatakse ja mahuteid seetõttu harva puhastatakse. Siin on eelis voolava veega süsteemidel, milles detriit ja segavad organismid tihedamini süsteemist välja pestakse.

Teine materjali lagunemise põhjus on, kui kasvatamisel toimub sporulatsioon, kus täpselt teadmata põhjustel vetikad suures koguses lagunevad ja surevad (Nielsen *et al.*, 2012). Üks võimalikke sporulatsiooni tekkimise põhjuseid on liiga kõrge temperatuur, kõrge

valgusintensiivsus ja liiga tugev loksutamine, mistõttu tuleks kasvatustemperatuuri hoida alla 25 kraadi (Traugott *et al.*, 2020).

Eri katsete tulemuste võrdlemisel valmistab raskusi kasutatud meetodikate erinevused. Biomassi kaalu mõjutab see, kas on kaalutud kuiva või märga materjali. Alati pole kaalutud mõlemat ning pole antud hinnangut, mis oleks kuivkaalu ja märgkaalu suhe. Laborikatsetes võib *Ulva* liikide märgkaalu ja kuivkaalu suhe olla umbes 5 : 1, kuid suuremates kogustes kasvatamisel võib see olla lausa 11 : 1, kuna veehulk, mis märgkaalu sisse jääb, on nii palju suurem (Zertuche-González *et al.*, 2021). Samuti on tavaline, et uurimustes jäetakse täpsustamata, kui suure osa biomassist moodustab sool (Zertuche-González *et al.*, 2021). Juhul, kui sool arvestatakse kaalu sisse, hinnatakse tegelikult biomassi üle (Zertuche-González *et al.*, 2021).

## 7. *Ulva sp* keemiline koostis

Olulisemad keemilised komponendid, mida kasvatatud vetikatel on mõõdetud, on rasvhapped, süsivesikud, valgud ja tuhasus (Shpigel *et al.*, 2012). Harvem on mõõdetud vetikatel tärglise ja tselluloosisisaldust (Traugott *et al.*, 2020; Qarri ja Israel, 2020). Nende ühendite sisaldust määratakse kuivatatud vetikamassist, mistõttu esitatakse nende sisaldus protsentides kuivkaalust (% dw).

Eestis kasvatatud Läänemere vetika *Ulva intestinalis* rasvhapete sisalduseks on saadud 0,1-0,5% dw, kusjuures aastaegade vahel ei esinenud suuri erinevusi (Martin *et al.*, 2022). See tulemus on sarnane Shpigel *et al.* (1999) katses saadud tulemusele, kus oli *U. lactuca* rasvhapete sisaldus saadud 0,1% ning on natuke väiksem Zertuche-González *et al.* (2021) katse tulemustest, kus *U. lactuca* või *U. fasciata* lipiidide sisaldus oli 1,9% dw. Sellest palju suurem tulemus on saadud Luhila *et al.* (2022) uurimuses, kus mõõdeti kõigi rasvhapete sisalduseks loodusest korjatud vetikal *U. intestinalis* keskmiselt 31,6% dw, aastaegade vahel ei esinenud ka siin erinevust. Sellesse vahemikku jäävad ka Gao *et al.* (2018) katse tulemused, kus rasvhapete sisaldus oli eri tingimustel 11,2–16,3% dw. Sellest võib järeldada, et rasvhapete sisaldus võib laialt varieeruda ka ühe piirkonna piires ning ei esine suurt erinevust aastaegade vahel.

On leitud, et *Ulva* vetikad sisaldavad ka omega-3 rasvhappeid (Luhila *et al.*, 2022). Luhila *et al.* (2022) katses mõõdeti nende sisaldust ning leiti, et omega-3 rasvhapetest eksopanteenhappe sisaldus oli keskmiselt 0,2% dw, kusjuures perioodil august-september oli eksopanteenhappe sisaldus alla määramispiiri (Luhila *et al.*, 2022). Omega-3 rasvhapetest  $\alpha$ -linoleenhappe sisalduseks saadi samas uuringus keskmiselt 2,0% dw, kusjuures kevadel oli tulemus natuke madalam (Luhila *et al.*, 2022).

Süsivesikute sisaldus oleneb oluliselt aastaajast ehk aastaajale omastest tingimustest looduslikus keskkonnas, kust materjal on korjatud. Eesti tingimustes on leitud, et kõige kõrgem süsivesikute sisaldus on sügisel kasvatatud materjalis, milleks on saadud 7,8–8,5% dw. Sellest natuke väiksem on talvel kasvatatud materjali süsivesikute sisaldus, milleks on määratud 3,9–7,2% ning kõige väiksem suvel kasvatatud materjalis, kus see oli ainult 1,5–3,3% dw. Mujal maailmas on samuti täheldatud süsivesikute sisalduse olenemist aastaajast, kuigi seosed erinesid Eesti

omadest tõenäoliselt kohalike kliimaatiliste tingimuste tõttu (Israel *et al.*, 2020). Eestile sarnased tulemused on saadud Shpigel *et al.* (1999) uuringus, kus need olid vastavalt kasvatustingimustele 3,6% kuni 4,1% dw, mis on lähedasem Eesti suvisele materjalile. Suurema süsivesikute sisaldusega vetikaid on kasvatatud Israel *et al.* (2020) katses, kus need olid vahemikus 16–25% dw.

Rohkem on uuringutes mõõdetud kasvatatud materjali valgusisaldust, kuna sellega on leitud selge seos lämmastikväetise koguse ja valkude sisalduse vahel vetikakoes (Shpigel *et al.*, 1999; Nielsen *et al.*, 2012; Traugott *et al.*, 2020). Eestis on valgusisalduseks vetikal *U. intestinalis* mõõdetud talvel ja sügisel kasvatatud materjalil 0,4–0,7% dw ja suvisel materjalil natuke kõrgem 0,8–1% dw (Martin *et al.*, 2022). Erinevalt Eesti tulemustest, kus erinevus aastaegade vahel oli väike, on Jansen *et al.* (2022) leidnud, et nende uuringus oli suurema valgusisaldusega just sügisel korjatud vetikad. Mujal maailmas toimunud uuringutes on tulemused saadud Eesti vetikate valgusisaldusest suuremad. Shpigel *et al.* (1999) katses oli madalama väetisekoguse juures valgusisaldus 12% ja kõrgema valgusisalduse juures 44%. Ka teistes katsetes saadud tulemused jäävad vahemikku 8,6–24,7% (Msuya ja Neori 2010; Nielsen *et al.*, 2012; Traugott *et al.*, 2020; Gao *et al.*, 2018). Sellised suured erinevused võivad olla põhjustatud liigi või valitud tüve omapärast või kasvatustingimustest. Uuringutes on välja toodud *Ulva* kõrge asendamatute aminohapete sisaldus (Kazir *et al.*, 2019).

Tuhasus on vetikate osa, mis on mineraalne ning moodustab toidutööstuse jaoks mitteväärtusliku osa, mistõttu on kasulik, kui kasvatatavatel vetikatel on tuhasus võimalikult väike (Liu, 2017). Eestis kasvatatud vetikate tuhasuseks on mõõdetud talvisel ja sügisel perioodil kasvatatud vetikatel sarnaselt 2,0–3,8% dw ning väiksem tulemus suvisel perioodil 0,9–1,4% dw (Martin *et al.*, 2022). Sarnane tuhasus on saadud 2,9% kuni 4,5% dw (Shpigel *et al.*, 1999), kuid teistes uuringutes on tuhasus saadud suurem, vahemikus 22,1 kuni 36,6% dw (Zertuche-González *et al.*, 2021; Msuya ja Neori 2010; Traugott *et al.*, 2020). Seega on Eestis kasvatatud vetikates tuhasus teiste uuringutega võrreldes väike, mis on hea omadus, et materjali toiduks tarvitada.

*Ulva* vetikas on ka võimalik vitamiiniallikas, näiteks sisaldab see B12 vitamiini (Luhila *et al.*, 2022). Eesti vetes on vetika *U. intestinalis* B12 sisalduseks saadud aprillis-mais 27.6% dw,

juunis-juulis 4.9% ja august-septembris 17,0% dw (Luhila *et al.*, 2022). Seega on suurim B12 vitamiinisisaldus vetikas *U. intestinalis* kevadel, siis varasügisel ja kõige väiksem suvel.

Lisaks nendele ainetele on ühes analüüsitud uuringus mõõdetud *Ulva* vetikate tärklisesisaldust ning saanud tulemuseks 3,6% kuni 11%, kusjuures madalama väetisekoguse juures on tärklise sisaldus vetikas kõrgem (Traugott *et al.*, 2020). Seetõttu on toiduainetööstuses hakatud huvi tundma *Ulva sp* võimaliku kasutuse vastu tärkliseallikana (Kazir *et al.*, 2021; Prabhu *et al.*, 2019). Samuti on mõõdetud tselluloosisisaldust ning leitud, et selle suurendamiseks peaks kasvatama vetikaid väiksemates mahutites ja piiratud valguse käes (Qarri ja Israel, 2020).

## 8. *Ulva sp* biomassi kasutuse võimalused

Tööstuses kasutatavatest makrovetikatest moodustab *Ulva sp* üsna väikese osa. Kõige rohkem maailmas kasvatatakse *Ulva* perekonna vetikaid Lõuna-Aafrika Vabariigis, kus 2019. aastal oli aastane biomassi toodang 2155 tonni (FAO, 2021). Euroopas *Ulva* vetikaid veel suurel määral ei kasvatata, on väiksemaid eksperimentaalseid kasvatusi Portugalis ja Taanis, kuid turul on enamasti looduslikest kasvukohtadest korjatud isendid, millega kõige rohkem tegeleb Norra (FAO, 2021), kus 2019. aastal koguti 128 tonni. Sellest võib järeldada, et nõudlus *Ulva sp* järele Euroopas on olemas, kuid tootjaid on veel suhteliselt vähe.

Aasia riikides on makrovetikate söömine tavaline ja osa igapäevatoidust, Jaapanis nimetatakse kuivatatud *Ulva* vetikatest valmistatud materjali *aonori*'ks ja seda kasutatakse maitselisandina soojas toidus (Piwowar ja Harasym, 2020). Bangladeshis kasutavad rannikuäärsed elanikud vetikat *Ulva intestinalis* toidu ja loomasöödana (Mohibbullah *et al.*, 2023). Inglise keeles kutsutakse *Ulva sp* merisalatiks (ingl *sea lettuce*) ning Šotimaal on seda söödud salatis ja suppides (Piwowar ja Harasym, 2020), kuid laiemalt pole Euroopas vetikate tarbimine toidus veel loomulikuks saanud. Tõenäoliselt just seetõttu reklaamitakse vetikaid võimalikele tarbijatele peamiselt tervisetootena nagu Taanis, kus vetikaid müüakse pigem kuivatatult või lisandina muudes toitudes (Ferdouse *et al.*, 2018). Samal põhjusel on suurem osa uuringuid *Ulva* liikide kui toidu kohta suunatud nende koostisele, mitte maitseomadustele, kuigi ka viimane on tunnustatud heaks Mohibbullah *et al.* (2023) katses.

Lisaks eelmises peatükis esitatud toitainelisele väärtusele, on uuringutes välja toodud *Ulva* liikide meditsiiniliselt olulised kasutusvõimalused: liikide bioaktiivsete lipiidide sisaldus (Moreira *et al.*, 2021), antioksüdantne aktiivsus (Ak ja Türker, 2019; Kazir *et al.*, 2019; Arguelles ja Sapin, 2021; Tong *et al.*, 2020), bakteri- ja viirusevastane toime (Arguelles ja Sapin, 2021; El-Bilawy *et al.*, 2022) ning põletikuvastane toime (Kazir *et al.*, 2019; Tong *et al.*, 2020). On väidetud, et kiudainete allikana on *Ulva sp* väärtuslikum, kui puuviljad või köögiviljad (Yaich *et al.*, 2011).

Toiduna kasutamist takistab *Ulva* vetika puhul see, et nad võivad sisaldada tervisele kahjulikke raskmetalle. Yaich *et al.* (2011) katses analüüsitud vetikad tunnustati, nende muudele headele



omadustele vaatamata, toiduks kõlbmatuks, kuna sisaldasid raskmetalle üle lubatud koguse. Samas on Eesti katsetes kasvatatud *Ulva* vetikate raskemetallide sisaldus jäänud lubatud piiridesse (Martin *et al.*, 2022) ning Hall ja Martin (2021) hinnangul on ebatõenäoline, et looduslikus kasvukohas jõuab vetikas suures koguses raskemetalle akumuloida, kuna see kasvab kiiresti ning ka vana materjal laguneb kiiresti.

Lisaks kasutusele inimtoidus on *Ulva sp* üsna laialt kasutuses loomasöödana ning seda kasutusvõimalust uuritakse veelgi. Lõuna-Aafrika Vabariigis, kus hetkel kõige rohkem biomassi järgi vetikat *Ulva sp* toodetakse, kasutatakse biomassi just loomasöödana (Bolton *et al.*, 2009). Hetkel kasutatakse *Ulva* liike merikõrvade toitmiseks (Bolton *et al.*, 2009) ning häid tulemusi on saadud ka katsetes merisiilikute (Cyrus *et al.*, 2015a; Cyrus *et al.*, 2015b; Masasa *et al.*, 2021) ja krevettide (Qiu *et al.*, 2018) ning kalade (Rouhani *et al.*, 2022) toitmisel. Samuti on uuritud võimalusi kasutada *Ulva sp* ekstrakte sigade ja vasikate söödas (Samarasinghe *et al.*, 2021). Lisaks on hinnatud võimalusi kasutada *Ulva* liike biokütuse toorainena (Nikolaisen *et al.*, 2011; Traugott *et al.*, 2020) ning väetisena (Ghaderiardakani *et al.*, 2019; Karyotis *et al.*, 2006).

## 9. Eestis *Ulva sp* maismaal kasvatamise võimalikkus

Läänemeres on *Ulva* vetikate võimalikku kasutusvõimalust uuritud peamiselt vetika *Ulva intestinalis* kohta, kuna see on kohalikest liikidest kõige levinum ja laiema levikuga (HELCOM, 2020). Kõige laiemalt levinud liigi kasutamine on kasulik, kuna see suurendab tõenäosust, et merest materjali kogudes korjatakse igal korral sama liik (Lawton *et al.*, 2021). Seega, on ka edaspidi eelkõige kasulik liigi *U. intestinalis* kasvatuse arendamine. Siiski oleks võimalusel hea laiendada uuringuid ka teistele kohalikele liikidele nagu *U. prolifera*, *U. flexuosa* või *U. linza* (HELCOM, 2020), juhuks, kui nende omadused on liigist *U. intestinalis* kasvatamiseks oluliselt paremad.

Eestis vetikaga *Ulva intestinalis* läbi viidud analüüsid on näidanud, et vetikas sisaldab olulisel määral valke, süsivesikuid, rasvhappeid (Martin *et al.*, 2022), vitamiini B12 ja omega-3 rasvhappeid (Luhila *et al.*, 2022), mis näitab, et vetikat on põhjust kasvatada toitainelise väärtuse tõttu. Teiste uuringute tulemusega võrreldes on Läänemere vetika *Ulva intestinalis* süsivesikute sisaldus kõrge, kuid teised nimetatud näitajatest üsna madalad, mis vähendavad toitainelist väärtust. On võimalik, et Läänemere vetikas sisaldabki nimetatud aineid vähem, kuid on ka võimalus, et erinevus on põhjustatud sisalduse määramise metoodikast, mis ei ole katsetes ühesugune (Luhila *et al.*, 2022). Toitainete sisaldust saab tõsta katsetingimusi muutes või saab uurida, kas mõnel teisel tüvel on paremad näitajad. Eestis kasvatatud vetikate tuhasuse näitaja on teiste uuringutega võrreldes väike, mis tähendab, et toidutööstuse jaoks kasutu materjali sisaldust on madal, mis tõstab kasvatuse kasumit.

Eestis kasvatusprojektis näidati, et Eesti tingimustes ja vahenditega on võimalik kohalikku vetikat kasvatada ka pikema aja jooksul (Martin *et al.*, 2022), kuigi kasvukiirus oli teiste uuringutega võrreldes üsna madal, jäädes siiski mõnede teiste katsetega sarnastesse piiridesse.

On võimalik, et Läänemere vetikate kasvukiirus ka kontrollitud kasvatustingimustes ongi madalam kui teistes kliimaatilistes tingimustes kasvanud vetikatel, kuid on võimalik, et kasvatustingimuste ja tehniliste vahendite, nagu mahutite disain (Martin *et al.*, 2022), parandamisel, saab kasvukiirust veel tõsta. Eriti põhjusel, et Martin *et al.* (2022) projektis oli probleeme kasvutingimuste õigel tasemel hoidmisega, mille jaoks peaks arendama tehnilisi lahendusi ning tulevikus kasutama otstarbeks paremaid mahuteid.

Lisaks oli kasv väga ebastabiilne ja mitmel korral lagunes materjal ning mõnel katseperioodil ei kasvanud vetikas üldse, tõenäoliselt halva füsioloogilise seisundi tõttu (Martin *et al.*, 2022), mis pole ebatavaline ka katsetes mujal maailmas (Bruhn *et al.*, 2011). Üks erinevus teiste katsetega võis Eestis olla selles, et ühte vetikamaterjali kasvatati pika aja jooksul (Martin *et al.*, 2022), kuid paljudes teistes uuringutes vahetati kogu vetikamaterjal välja igal nädalal (Shpigel *et al.*, 1999; Msuya ja Neori 2010; Bruhn *et al.*, 2011; Zertuche-González *et al.*, 2021), mis võib kaasa aidata sellele, et vetikate füsioloogiline seisund püsib hea. Seda eriti, kuna enamus katseperioodidel Eestis toimus kiirem kasv mõnel nädalal katseperioodi alguses ning langes negatiivseks katseperioodi lõpuks (Martin *et al.*, 2022). Üldtabelis (Lisa 1) on toodud välja Martin *et al.* (2022) katses saavutatud kasvukiirused, milleks 2021. aasta kevadsuvel oli just katseperioodi alguses, enne väetiste lisamist, kuni 4,3% päevas.

Ka on paljudes katsetes toimunud Eesti katsetega võrreldes suurem kontroll selle üle, et katsesse võetakse ainult terved ja tugevad isendid (Gao *et al.*, 2018). Üks vetikate seisundile halvasti mõjuv faktor Eesti tingimustes võis olla kasvuvee harv vahetamine, mis aitab kaasa detriidi kogunemisele ja teiste, vetikakasvu pärssivate, organismide kasvamisele mahutites. Vesi vahetati iga 7–10 päeva tagant, kuid enamus katsetes oli märgata vee sogaseks muutumist vetika lagunemise tõttu ja epifüütsete vetikate ja bakterite ja *Ulva* vetikat söövate organismide kogunemist, tihedam vee vahetamine või võimalusel voolava vee kasutamine aitaks hoida mahuteid puhtamana ja eemaldada kogunevat detriiti. Kasulik oleks kasutada voolavat merevett, kui leida moodus selle piisavaks puhastamiseks.

Võib öelda, et kasvatamine on võimalik ja kasumlik, ning on olemas turg, kuid on vaja tegeleda kasvatustingimuste parandamisega.

## Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida rohevetika perekonna *Ulva* maismaal kasvatamist maailmas ning võimalusi selle kasvatamise arendamiseks Eesti tingimustes. Eesmärgi saavutamiseks analüüsiti teaduskirjandust *Ulva sp* erinevatel keskkonnatingimustel kasvatamise kohta ja võrreldi nendes toodud tulemusi Eesti katsetes saadud tulemustega.

Töö esimeses peatükis anti üldine ülevaade *Ulva* perekonna omadustest ning Eestis leiduvatest liikidest. Teises peatükis kirjeldati maismaal suurvetikate kasvatamise eeliseid ja levinumat tehnoloogiat. Kolmandas peatükis analüüsiti suurvetikate kasvatamise olulisemaid keskkonnaparameetreid. Järgmistes peatükkides võrreldi katsetes saadud vetikate kasvukiirusi ja keemilist koostist ning anti ülevaade *Ulva* kasutamise võimaluste kohta maailmas. Nende peatükkide põhjal anti hinnang *Ulva sp* kasvatamise arenguvõimalustest Eestis.

*Ulva* morfoloogia, kasvukiirus ja keemiline koostis olenevad tugevalt keskkonnatingimustest, milles isendid kasvavad. Bakalaureusetöös analüüsiti seetõttu nende vetikate kasvatamise olulisemaid keskkonnaparameetreid, milleks on temperatuur, soolsus, toitained, valgus, vee agitatsioon ja happelisus. Analüüsi tulemusena saab järeldada, et *Ulva sp* eelistab pigem temperatuuri, millega on looduslikus keskkonnas kohanenud ning liiga kõrge temperatuur mõjub kasvule pärssivalt. *Ulva sp* talub erinevaid soolsusi hästi, keskmistel väärtustel ei mõjuta soolsus kasvukiirust oluliselt, kuid liiga kõrge soolsus hakkab kasvule pärssivalt mõjuma. *Ulva sp* kasvul on määrava tähtsusega lämmastiku sisaldus ja vähemal määral oluline fosfori sisaldus keskkonnas. Kui pole toitainete puudujääki, ei mõjuta lämmastiku hulk kasvukeskkonnas vetika kasvukiirust ning suurem hulk väetist võib vetika kasvu pärssida. Samas suurendab lämmastik keskkonnas *Ulva sp* valgusisaldust. *Ulva sp* kasvab kiiremini suurema valgusintensiivsuse ja väiksema kasvutiheduse juures, kuid teatud intensiivsuse juures kasvukiirus küllastub ning suurem valgusintensiivsus ei kiirenda enam kasvu. *Ulva sp* kasvab kiiremini happelises keskkonnas, kuid sellised tingimused vähendavad aminohapete sisaldust koes. Agiteerimine, tavaliselt aereerimise abil, on *Ulva sp* kasvuks vajalik, et hoida vetikaid valguse käes, ning aereerimine tõstab madala lämmastikukoguse juures toitainete omastamise kiirust ja suurendab koes tärklisesisaldust.

Analüüsist võib järeldada, et *Ulva sp* kasvab suhteliselt kiiresti, kuid kasvukiirused eri katsetes erinevad oluliselt ning on sageli ebastabiilsed. Eestis saadud kasvukiirused on teiste katsetega võrreldes suhteliselt väikesed, kuid tõenäoliselt on võimalik seda tõsta kasvatustingimuste ja vahendite parandamise läbi. *Ulva sp* sisaldab süsivesikuid, valke, rasvhapped, B12 vitamiini, omega-3 rasvhappeid. Eestis mõõdetud *Ulva sp* süsivesikute sisaldus võrreldes teiste katsetega on üsna kõrge, kuid teised väärtused on muudes katsetes mõõdetud tulemustega võrreldes suhteliselt madalad. Keemiline sisaldus erineb aastaajaliselt. *Ulva sp* saab kasutada toiduna, loomasöödana, biokütusena ning sellel on mitmeid kasutusvõimalusi meditsiinis.

Eeltoodust tulenevalt võib järeldada, et *Ulva sp* kasvatamine Eesti tingimustes on võimalik ning keskkonnaparameetrite ja tehnoloogia parandamisel saab kasvatus efektiivsust veelgi tõsta.

## Summary

The aim of this bachelor's thesis was to research the on-land cultivation of the *Chlorophyceae* genus *Ulva* around the world and the possibilities to develop such cultivation in Estonia. This was achieved by analysing different cultivation experiments of *Ulva sp.*, specifically the chosen parameter values, and comparing the outcomes with the ones achieved in cultivation experiments carried out in Estonia.

The first chapter gave a broad review of the properties of genus *Ulva* and the species found in Estonia. The second chapter described the advantages and most used technology of on-land macroalgae cultivation. The third chapter analysed the most important environmental parameters in *Ulva sp.* cultivation. Next chapters compared growth rates, yield and chemical makeup of the cultivated algae in different experiments and gave an overview of the possibilities of the use of *Ulva* in the world. On the basis of these chapters an assessment was given on the possibility of developing *Ulva sp.* cultivation in Estonia.

The morphology, growth rate and chemical composition of *Ulva* depends strongly on the environment they have grown in. Therefore, in this bachelor's thesis the most important environmental parameters for *Ulva* growth were analysed. These were temperature, salinity, nutrients, light, agitation and acidity. As a result of the analysis it can be inferred that *Ulva sp.* prefers the temperature of the specimen's natural habitat to which it has adapted to and too high temperature has an inhibiting effect on its growth. *Ulva sp.* has a wide tolerance of salinities. In moderate salinities the effect on growth is small, but too high salinity starts to inhibit its growth. Nitrogen has great importance in *Ulva sp.* growth but phosphorus matters to a lesser degree. If there is no nutrient deficiency in the environment, nitrogen does not increase the speed of the growth of *Ulva sp.* and too high nutrient content can have an inhibiting effect on its growth. However, higher nitrogen content in the environment increases the protein content in the cultivated algae. *Ulva sp.* grows faster in high light intensity and low stocking density, but at a certain level of light intensity its effect on growth speed saturates and higher light intensity no longer increases growth rates. *Ulva sp.* grows faster in an environment with higher acidity, but these conditions lower amino acid content in the cultivated algae. Agitation, usually by the way of aeration, is necessary to keep the algae suspended in water to provide better access to light.

At low nitrogen content in the environment, aeration also increases the rate of nutrient absorption and the starch content in cultivated algae.

On the basis of this analysis it can be concluded that *Ulva sp* grows relatively fast, but the growth rates between experiments differ significantly and are often unstable. The growth rates achieved in Estonia are relatively low in comparison with other experiments, but it is probable that it is possible to improve these growth rates to a degree by improving the cultivation parameter values and the technology used. *Ulva sp* has a considerable content of carbohydrates, proteins, fatty acids including omega-3 fatty acids, and vitamin B12. In Estonia the carbohydrate content found in *Ulva sp* is relatively high in comparison with the material in other experiments, but the content of other named components is relatively low. It has also been found that the chemical composition of *Ulva sp* differs seasonally. *Ulva sp* can be used as food, feed, biofuel and it has many uses in medicine.

In conclusion, *Ulva sp* cultivation in Estonia is possible and the effectiveness can be enhanced by improving the environmental parameter values and technology used.

## **Tänuavaldused**

Soovin tänada juhendajat Georg Martinit teemani juhatamise ja abistavate kommentaaride eest.

Samuti tänan pere ja sõpru toetuse ja nõuannete eest bakalaureusetöö kirjutamisel.



## Kirjanduse loetelu

- Käesoleva bakalaureusetöö viited vastavad ajakirja *Aquaculture* viitamise nõuetele.
- Agarwal, A., Mhatre, A., Pandit, R., & Lali, A. M., 2020. Synergistic biorefinery of *Scenedesmus obliquus* and *Ulva lactuca* in poultry manure towards sustainable bioproduct generation. *Bioresource Technology*, 297, 122462.
- Ak, İ. ja Türker, G., 2019. Free Radical Scavenging Activity and Biochemical characteristics of *Ulva rigida* (Ulvophyceae) and *Arthrospira platensis* (Cyanophyceae). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7, 145–149.
- Andrea, C., Nicolas, R., Klas, J., Roberto, P., Sara, G. C., Raul, L. L., Van Der Velde, M., Tevecia, R., Patricia, G. A., Saulius, T. et al., 2018. Biomass production, supply, uses and flows in the European Union: First results from an integrated assessment. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/539520>
- Araújo, R., Vázquez Calderón, F., Sánchez López, J., Azevedo, I. C., Bruhn, A., Fluch, S., Garcia Tasende, M., Ghaderiardakani, F., Ilmjärv, T., Laurans, M. et al., 2021. Current status of the algae production industry in Europe: An emerging sector of the blue bioeconomy. *Frontiers in Marine Science*, 7, 626389.
- Arguelles, E. D. L. R. ja Sapin, A. B., 2021. Nutrient Composition, Antioxidant and Antibacterial Activities of *Ulva prolifera* OF Müller. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 16, 119–129.
- Balina, K., Lika, A., Romagnoli, F., & Blumberga, D., 2017. Seaweed cultivation laboratory testing: effects of nutrients on growth rate of *Ulva intestinalis*. *Energy Procedia*, 113, 454–459.
- Bolton, J., Robertson-Andersson, D., Shuuluka, D. ja Kandjengo, L., 2009. Growing *Ulva* (Chlorophyta) in integrated systems as a commercial crop for abalone feed in South Africa: A SWOT analysis. *Journal of Applied Phycology*, 21, 575–583.
- Bruhn, A., Dahl, J., Nielsen, H. B., Nikolaisen, L., Rasmussen, M. B., Markager, S., ... & Jensen, P. D., 2011. Bioenergy potential of *Ulva lactuca*: biomass yield, methane production and combustion. *Bioresource technology*, 102, 2595–2604.

- Cyrus, M., Bolton, J., Scholtz, R. ja Macey, B., 2015a. The advantages of *Ulva* (Chlorophyta) as an additive in sea urchin formulated feeds: Effects on palatability, consumption and digestibility. *Aquaculture Nutrition*, 21, 578–591.
- Cyrus, M. D., Bolton, J. J. ja Macey, B. M., 2015b. The role of the green seaweed *Ulva* as a dietary supplement for full life-cycle grow-out of *Tripneustes gratilla*. *Aquaculture*, 446, 187–197.
- De Casabianca, M. L., Barthelemy, N., Serrano, O. ja Sfriso, A., 2002. Growth rate of *Ulva rigida* in different Mediterranean eutrophicated sites. *Bioresource Technology*, 82, 27–31.
- El-Bilawy, E. H., Al-Mansori, A. N. A., Alotibi, F. O., Al-Askar, A. A., Arishi, A. A., Teiba, I. I., ... ja Abdelkhalek, A., 2022. Antiviral and Antifungal of *Ulva fasciata* Extract: HPLC Analysis of Polyphenolic Compounds. *Sustainability*, 14, 12799.
- FAO. (2021). Global seaweed and microalgae production, 1950–2019. World Aquaculture Performance Indicators (WAPI) factsheet. 172 [www.fao.org/3/cb4579en/cb4579en.pdf](http://www.fao.org/3/cb4579en/cb4579en.pdf)
- Ferdouse, F., Løvstad Holdt, S., Smith, R., Murúa, P. ja Yang, L., 2018. The global status of seaweed production, trade and utilization. *Globefish Research Programme Volume 124*.
- Figueroa, F. L., Israel, A., Neori, A., Martínez, B., Malta, E. J., Ang Jr, P., ... ja Korbee, N., 2009. Effects of nutrient supply on photosynthesis and pigmentation in *Ulva lactuca* (Chlorophyta): responses to short-term stress. *Aquatic Biology*, 7, 173–183.
- Fortes, M. D. ja Lüning, K., 1980. Growth rates of North Sea macroalgae in relation to temperature, irradiance and photoperiod. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 34, 15–29.
- Gao, G., Clare, A. S., Chatzidimitriou, E., Rose, C. ja Caldwell, G., 2018. Effects of ocean warming and acidification, combined with nutrient enrichment, on chemical composition and functional properties of *Ulva rigida*. *Food chemistry*, 258, 71–78.
- Ghaderiardakani, F., Collas, E., Damiano, D. K., Tagg, K., Graham, N. S. ja Coates, J. C., 2019. Effects of green seaweed extract on *Arabidopsis* early development suggest roles for hormone signalling in plant responses to algal fertilisers. *Scientific reports*, 9, 1–13.
- Hafting, J. T., Critchley, A. T., Cornish, M. L., Hubley, S. A. ja Archibald, A. F., 2012. On-land cultivation of functional seaweed products for human usage. *Journal of Applied Phycology*, 24, 385–392.

- Hall, J. R. ja Martin, G., 2021. Filtration of dissolved organic nutrients from fish farm wastewater using a macroalgae biofilter. *Sustainable Water Resources Management XI: Effective Approaches for River Basins and Urban Catchments*, 250, 73–80.
- HELCOM, 2020. Checklist 2.0 of Baltic Sea Macrospecies. *Baltic Sea Environment Proceedings* n°174. <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2020/12/BSEP174.pdf>
- Hofmann, L. C., Nettleton, J. C., Neefus, C. D. ja Mathieson, A. C., 2010. Cryptic diversity of *Ulva* (Ulvales, Chlorophyta) in the Great Bay Estuarine System (Atlantic USA): Introduced and indigenous distromatic species. *European Journal of Phycology*, 45, 230–239.
- Israel, A. A., Friedlander, M. ja Neori, A., 1995. Biomass yield, photosynthesis and morphological expression of *Ulva lactuca*. *Botanica marina*, 38, 297–302.
- Jansen, H. M., Bernard, M. S., Nederlof, M. A., van der Meer, I. M. ja van der Werf, A., 2022. Seasonal variation in productivity, chemical composition and nutrient uptake of *Ulva* spp. (Chlorophyta) strains. *Journal of Applied Phycology*, 34, 1649–1660.
- Karyotis, T., Orfanidis, S. ja Reizopoulou, S., 2006. Marine benthic macrophytes as possible nitrogen source in agriculture. *Journal of plant nutrition and soil science*, 169, 557–563.
- Kazir, M., Abuhassira, Y., Robin, A., Nahor, O., Luo, J., Israel, A., Golberg, A. ja Livney, Y. D., 2019. Extraction of proteins from two marine macroalgae, *Ulva* sp. And *Gracilaria* sp., for food application, and evaluating digestibility, amino acid composition and antioxidant properties of the protein concentrates. *Food Hydrocolloids*, 87, 194–203.
- Kazir, M., Gurevich, D., Groobman, A., Prabhu, M., Israel, Á., Golberg, A. ja Livney, Y. D., 2021. Physicochemical, rheological and digestibility characterization of starch extracted from the marine green macroalga *Ulva ohnoi*. *Food Hydrocolloids*, 120, 106892.
- Kim, J. H., Zhao, Z. X. ja Kim, Y. S., 2021. Variation in germling growth in the green tide-forming alga *Ulva intestinalis* (Chlorophyta) in response to gradients in salinity, temperature, light, and nutrients. *Journal of Applied Phycology*, 33, 3951–3962.
- Kotta, J., Raudsepp, U., Szava-Kovats, R., Aps, R., Armoskaite, A., Barda, I., Bergström, P., Futter, M., Gröndahl, F., Hargrave, M. ja others., 2022. Assessing the potential for sea-based macroalgae cultivation and its application for nutrient removal in the Baltic Sea. *Science of The Total Environment*, 156230.

- Kulikova, Y., Sukhikh, S., Kalashnikova, O., Chupakhin, E., Ivanova, S., Chubarenko, B., Gorbunova, J. ja Babich, O., 2022. Assessment of the Resource Potential of Baltic Sea Macroalgae. *Applied Sciences*, 1, 3599.
- Lawton, R. J., Sutherland, J. E., Glasson, C. R. ja Magnusson, M. E., 2021. Selection of temperate *Ulva* species and cultivars for land-based cultivation and biomass applications. *Algal Research*, 56, 102320.
- Leskinen, E., Alström-Rapaport, C. ja Pamilo, P., 2004. Phylogeographical structure, distribution and genetic variation of the green algae *Ulva intestinalis* and *U. compressa* (Chlorophyta) in the Baltic Sea area. *Molecular ecology*, 13, 2257–2265.
- Liu, K., 2017. Characterization of ash in algae and other materials by determination of wet acid indigestible ash and microscopic examination. *Algal research*, 25, 307–321.
- Lopes, D., Moreira, A. S., Rey, F., da Costa, E., Melo, T., Maciel, E., ... ja Rosário Domingues, M., 2019. Lipidomic signature of the green macroalgae *Ulva rigida* farmed in a sustainable integrated multi-trophic aquaculture. *Journal of Applied Phycology*, 31, 1369–1381.
- Luhila, Õ., Paalme, T., Tanilas, K. ja Sarand, I., 2022. Omega-3 fatty acid and B12 vitamin content in Baltic algae. *Algal Research*, 67, 102860.
- Martin, G., Hall, J. R., Pajusalu, L., Joamets, A. (koostajad), 2022. Rohevetika *Ulva intestinalis* kasvatamise tehnoloogia katsetamine mahutites mere- ja magevees. Euroopa Merendus- ja Kalandusfondi (EMKF) rakenduskava 2014–2020 meede 2.1 „Vesiviljeluse innovatsioonitoetus“. Lõpparuanne. (projekti viitenumber 821020790009). Tartu Ülikool (Eesti mereinstituut).
- Masasa, M., Kushmaro, A., Kramarsky-Winter, E., Shpigel, M., Barkan, R., Golberg, A., Kribus, A., Shashar, N. ja Guttman, L., 2021. Mono-specific algal diets shape microbial networking in the gut of the sea urchin *Tripneustes gratilla elatensis*. *Animal microbiome*, 3, 1–21.
- Mohibbullah, M., Amin, A., Talha, A., Baten, M. A., Rana, M. M., Sabuz, A. A., Newaz, A. W. ja Choi, J.-S., 2023. Physicochemical and Nutritional Characteristics of Cookies Prepared with Untapped Seaweed *Ulva intestinalis*: An Approach to Value Addition as a Functional Food. *Foods*, 12, 205.

- Moreira, A. S., da Costa, E., Melo, T., Lopes, D., Pais, A. C., Santos, S. A., Pitarma, B., Mendes, M., Abreu, M. H., Collén, P. N. et al., 2021. Polar lipids of commercial *Ulva* spp. Of different origins: Profiling and relevance for seaweed valorization. *Foods*, 10, 914.
- Msuya, F. E. ja Neori, A., 2008. Effect of water aeration and nutrient load level on biomass yield, N uptake and protein content of the seaweed *Ulva lactuca* cultured in seawater tanks. *Journal of Applied Phycology*, 20, 1021–1031.
- Msuya, F. E. ja Neori, A., 2010. The performance of spray-irrigated *Ulva lactuca* (Ulvophyceae, Chlorophyta) as a crop and as a biofilter of fishpond effluents 1. *Journal of phycology*, 46, 813–817.
- Neori, A., Bronfman, Y., Van Rijn, J., Guttman, L., Krupnik, N., Shpigel, M., ... ja Israel, Á., 2020. The suitability of *Ulva fasciata*, *Ulva compressa*, and *Hypnea musciformis* for production in an outdoor spray cultivation system, with respect to biomass yield and protein content. *Journal of Applied Phycology*, 32, 3183–3197.
- Neori, A., Cohen, I., & Gordin, H., 1991. *Ulva lactuca* biofilters for marine fishpond effluents. II. Growth rate, yield and C: N ratio. *Botanica Marina* 34, 483–489.
- Nielsen, M. M., Bruhn, A., Rasmussen, M. B., Olesen, B., Larsen, M. M., & Møller, H. B., 2012. Cultivation of *Ulva lactuca* with manure for simultaneous bioremediation and biomass production. *Journal of applied phycology*, 24, 449–458.
- Nikolaisen, L., Daugbjerg Jensen, P. ja Svane Bech, K., 2011. Energy production from marine biomass (*Ulva lactuca*). Danish Technological Institute.
- Pajusalu, L., 2020. “Hapestumise olukorra kirjeldamise alusuuring Eesti rannikumeres“ aruanne. Keskkonnainvesteeringute Keskus. Tallinn.
- Peña-Rodríguez, A., Mawhinney, T. P., Ricque-Marie, D. ja Cruz-Suárez, L. E., 2011. Chemical composition of cultivated seaweed *Ulva clathrata* (Roth) C. Agardh. *Food chemistry*, 129, 491–498.
- Piwowar, A. ja Harasym, J., 2020. The importance and prospects of the use of algae in agribusiness. *Sustainability*, 12, 5669.
- Prabhu, M., Chemodanov, A., Gottlieb, R., Kazir, M., Nahor, O., Gozin, M., Israel, A., Livney, Y. D. ja Golberg, A., 2019. Starch from the sea: The green macroalga *Ulva ohnoi* as a potential source for sustainable starch production in the marine biorefinery. *Algal Research*, 37, 215–227.

- Qarri, A., & Israel, A., 2020. Seasonal biomass production, fermentable saccharification and potential ethanol yields in the marine macroalga *Ulva* sp (Chlorophyta). *Renewable Energy*, 145, 2101-2107.
- Qiu, X., Neori, A., Kim, J., Yarish, C., Shpigel, M., Guttman, L., Ben Ezra, D., Odintsov, V. ja Davis, D., 2018. Evaluation of green seaweed *Ulva* sp. As a replacement of fish meal in plant-based practical diets for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Applied Phycology*, 30, 1305–1316.
- Roleda, M. Y., Lage, S., Aluwini, D. F., Rebours, C., Brurberg, M. B., Nitschke, U. ja Gentili, F. G., 2021. Chemical profiling of the Arctic sea lettuce *Ulva lactuca* (Chlorophyta) mass-cultivated on land under controlled conditions for food applications. *Food Chemistry*, 341, 127999.
- Rouhani, E., Safari, R., Imanpour, M. R., Hoseinifar, S. H., Yazici, M., El-Haroun, E. et al., 2022. Effect of Dietary Administration of Green Macroalgae (*Ulva intestinalis*) on Mucosal and Systemic Immune Parameters, Antioxidant Defence, and Related Gene Expression in Zebrafish (*Danio rerio*). *Aquaculture Nutrition*, 2022.
- Ruangchuay, R., Dahamat, S., Chirapat, A. ja Notoya, M., 2012. Effects of culture conditions on the growth and reproduction of Gut Weed, *Ulva intestinalis* Linnaeus (Ulvales, Chlorophyta). *Songklanakarin Journal of Science ja Technology*, 34, 501–507.
- Samarasinghe, M. B., van der Heide, M. E., Weisbjerg, M. R., Sehested, J., Sloth, J. J., Bruhn, A., ... & Hernández-Castellano, L. E., 2021. A descriptive chemical analysis of seaweeds, *Ulva* sp., *Saccharina latissima* and *Ascophyllum nodosum* harvested from Danish and Icelandic waters. *Animal Feed Science and Technology*, 278, 115005.
- Sebök, S., Herppich, W. B. ja Hanelt, D., 2019. Outdoor cultivation of *Ulva lactuca* in a recently developed ring-shaped photobioreactor: effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration on growth and photosynthetic performance. *Botanica Marina*, 62, 179–190.
- Shpigel, M., Ragg, N. L., Lupatsch, I., & Neori, A., 1999. Protein content determines the nutritional value of the seaweed *Ulva lactuca* L for the abalone *Haliotis tuberculata* L. and *H. discus hannai* Ino. *Journal of Shellfish Research*, 18, 227-234.
- Steinhagen, S., Karez, R. ja Weinberger, F., 2019. 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, 466–483.

- Zemah-Shamir, S., Zemah-Shamir, Z., Tchetchik, A., Haim, A., Tchernov, D. ja Israel, Á., 2021. Cultivating marine macroalgae in CO<sub>2</sub>-enriched seawater: A bio-economic approach. *Aquaculture*, 544, 737042.
- Zertuche-González, J. A., Sandoval-Gil, J. M., Rangel-Mendoza, L. K., Gálvez-Palazuelos, A. I., Guzmán-Calderón, J. M., ja Yarish, C., 2021. Seasonal and interannual production of sea lettuce (*Ulva* sp.) in outdoor cultures based on commercial size ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 52, 1047–1058.
- Tong, T., Liu, Y. J., Zhang, P. ja Kang, S. G., 2020. Antioxidant, anti-inflammatory, and  $\alpha$ -amylase inhibitory activities of *Ulva lactuca* extract. *Korean Journal of Food Preservation*, 27, 513–521.
- Traugott, H., Zollmann, M., Cohen, H., Chemodanov, A., Liberzon, A., ja Golberg, A., 2020. Aeration and nitrogen modulated growth rate and chemical composition of green macroalgae *Ulva* sp. cultured in a photobioreactor. *Algal Research*, 47, 101808.
- Weinberger, F., Paalme, T. ja Wikström, S. A., 2020. Seaweed resources of the Baltic Sea, Kattegat and German and Danish North Sea coasts. *Botanica marina*, 63, 61–72.
- Yaich, H., Garna, H., Besbes, S., Paquot, M., Blecker, C. ja Attia, H., 2011. Chemical composition and functional properties of *Ulva lactuca* seaweed collected in Tunisia. *Food chemistry*, 128, 895–901.

# Lisa 1

Tabel 8. Koondinfo analüüsitud uuringutest. Allikad: 1 – Figueroa *et al.* (2009), 2 – Israel *et al.* (1995), 3 – Hall ja Martin (2021), 4 – Ruangchuay *et al.* (2012), 5 – Balina *et al.* (2017), 6 – Gao *et al.* (2018), 7 – Qarri ja Israel (2020), 8 – Bruhn *et al.* (2011), 9 – Zertuche-González *et al.* (2021), 10 – Shpigel *et al.* (1999), 11 – Msuya ja Neori (2010), 12 – Nielsen *et al.* (2012), 13 – Agarwal *et al.* (2020), 14 – Traugott *et al.* (2020), 15 – Kim *et al.* (2021), 16 – Zemah-Shamir *et al.* (2021), 17 – Martin *et al.* (2022) \*Kasutatud on avaldamata andmeid.

Allikas	Piirkond	Liik	Temperatuur	Lämmastik	Fosfor	Veesüsteem	Valgus ( $\mu\text{mol}$ footoneid $\times \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Soolsus	pH	Mahutid	Tihedus	Saagikus ( $\text{g} \times \text{m}^{-2}$ päevas)	Kasvukiirus (% päevas)	Rasvhapped (% dw)	Süsivesikud (% dw)	Valgusisaldus (% dw)	Tuhasus (% dw)
1	Iisrael	<i>U. lactuca</i>	22	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 28,4 $\mu\text{M}$ , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 239,4 $\mu\text{M}$ , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 64,8 $\mu\text{M}$	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 16,1 $\mu\text{M}$	merevesi, vool 9 m3 mahuti kohta päevas	1700	-	-	600 l	1,67 $\text{g} \times \text{l}^{-1}$	46,5 dw	-	-	-	-	-
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 5,0 $\mu\text{M}$ , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0,28 $\mu\text{M}$ , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 0,017 $\mu\text{M}$ (sarnane merevee looduslikule tasemele)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 0,128 $\mu\text{M}$ (sarnane merevee looduslikule tasemele)							46,3 dw					
2	Iisrael	<i>U. lactuca</i>	20	-	-	steriilne merevesi	185– 350	-	-	0,2 l	0,25 $\text{g} \times \text{l}^{-1}$	180 fw	-	-	-	-	-
			18	kord nädalas 2000 $\mu\text{M}$ NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , vesi seisab 24 h	200 $\mu\text{M}$ PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , vesi seisab 24 h	kaevust tõusev merevesi	104– 162	-	-	36 l	300 $\text{g} \times \text{m}^{-2}$ (8,3 $\text{g} \times \text{l}^{-1}$ )	62,7 fw	87	-	-	-	-
3	Eesti	<i>U. intestinalis</i>	kuni 25	Ntot 0,46-1,19 $\mu\text{g N} / \text{L}$ , NO <sub>2</sub> 2,66-10,39 $\mu\text{g} \times \text{l}^{-1}$	Ptot 21,23– 24,42 $\mu\text{g}$ P/L, PO <sub>4</sub> 223,85– 262,78 $\mu\text{g} \times \text{l}^{-1}$	voolav filtreeritud merevesi kalakasvatuses	päikesevalgus	7,2	-	mahutid	-	-	suurim 4, keskmine 1,9	-	-	-	-



Allikas	Piirkond	Lik	Temperatuur	Lämmastik	Fosfor	Veestiteem	Valgus ( $\mu\text{mol}$ footoneid $\times \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Soolsus	pH	Mahutid	Tihedus	Saagikus ( $\text{g} \times \text{m}^{-2}$ päevas)	Kasvukiirus (% päevas)	Rasvhapped (% dw)	Süsivesikud (% dw)	Valgusisaldus (% dw)	Tuhasus (% dw)
4	Tai	<i>U. intestinalis</i>	25	-	-	merevesi	80	20	-	0,5 l	$0,05 \text{ g} \times \text{l}^{-1}$	-	19,40 (4. nädal), 11,02 (8. nädal)	-	-	-	-
5	Läti	<i>U. intestinalis</i>	20	$2 \text{ ml} \times \text{l}^{-1}$ $10 \text{ ml} \times \text{l}^{-1}$	-	filtreeritud merevesi, vahetati korra nädalas	75	-	-	Labor 0,25 l	-	-	7,13 1,27	-	-	-	-
6	UK	<i>U. rigida</i>	14 18	$\text{NO}_3^- 6 \mu\text{M}$ $\text{NO}_3^- 150 \mu\text{M}$ $\text{NO}_3^- 6 \mu\text{M}$ $\text{NO}_3^- 150 \mu\text{M}$	$50 \mu\text{M}$	merevesi, vahetati iga 3 päeva tagant	80	-	7,55	13,5 l	-	-	-	11,6 11,2 12,4 16,3	-	12,3 14,0 18,5 19,2	-
7	Iisrael	<i>U. ohnoi</i> , <i>U. rigida</i> , <i>U. fasciata</i> , kõik nimetatud <i>U. sp</i>	29,3 29,9 25–30	kord nädalas $1000 \mu\text{M}$ $\text{NH}_3\text{Cl}^+$	kord nädalas $100 \mu\text{M}$ $\text{NaH}_2\text{PO}_4$	pidevalt voolav filtreeritud merevesi	120,7 388,8 598	-	-	40 l 40 l 600 l	$2,5 \text{ g} \times \text{l}^{-1}$ $2,5 \text{ g} \times \text{l}^{-1}$ $2 \text{ g} \times \text{m}^{-2} = 3,3 \text{ g} \times \text{l}^{-1}$	-	17 19,3 9,8	-	25 16 18	-	-
8	Taani	<i>U. lactuca</i>	7-23	$15 \mu\text{M}$ $\text{NO}_3\text{-N}$ ja $5 \mu\text{M}$ $\text{NH}_4\text{-N}$	$2,5 \mu\text{M}$ $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	voolav puhastamata merevesi, voolukiirus 5 L/min	38,7	25–28,5	-	600 l	$4000 \text{ g} \times \text{m}^{-2} = 6,7 \text{ g} \times \text{l}^{-1}$	156,3 fw	18,7	-	-	-	16,5
9	Mehhiko	<i>U. lactuca</i> <i>U. fasciata</i>	21,1–23,7	2 korda nädalas $500 \mu\text{M}$ $\text{NH}_3\text{NO}_3$	2 korda nädalas $50 \mu\text{M}$ $\text{H}_3\text{PO}_4$	filtreeritud merevesi, vahetati kaks korda nädalas	-	-	-	100 m <sup>3</sup> tiigid	$3000 \text{ g} \times \text{m}^{-2}$	216,1 — 230,0 fw	-	1,9	-	2,9	36,6

Allikas	Piirkond	Liik	Temperatuur	Lämmastik	Fosfor	Veestiteem	Valgus ( $\mu\text{mol}$ footoneid $\times \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Soolsus	pH	Mahutid	Tihedus	Saagikus ( $\text{g} \times \text{m}^{-2}$ päevas)	Kasvukiirus (% päevas)	Rasvhapped (% dw)	Süsivesikud (% dw)	Valgusisaldus (% dw)	Tuhasus (% dw)		
10	Iisrael	<i>U. lactuca</i>	19,5-25,3	NH <sub>4</sub> -N 0,5 g N m <sup>-2</sup>	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 0,6 g P m <sup>-2</sup>	voolav filtreeritud merevesi	-	41	-	600 l	-	164 fw	-	0,2	3,6	12	4,5		
				NH <sub>4</sub> -N 10 g N m <sup>-2</sup>		kalatiigivesi filtreeritud, veevool 500 L $\times$ h <sup>-1</sup>						105 fw		0,2	4,1	44	2,9		
11	Iisrael	<i>U. lactuca</i>	29,5	NH <sub>4</sub> -N 49 $\mu\text{M}$ , NO <sub>3</sub> --N ja NO <sub>2</sub> --N 9,3 $\mu\text{M}$	PO <sub>4</sub> -P 2,00 $\mu\text{M}$		-	40,3-41	8,2	600 l	1000 $\text{g} \times \text{m}^{-2} = 1,7 \text{ g} \times \text{l}^{-1}$	283 fw	16,9	-	-	24,7	22,1		
12	Taani	<i>U. lactuca</i>	16	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 25 $\mu\text{M}$	-	tehislük merevesi	120-150	20	7,8-8,3	labor 2 l	0,1 $\text{g} \times \text{l}^{-1}$	-	45,7	-	-	8,6	-		
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 100 $\mu\text{M}$	-													16,1	-
13	India	<i>Uva lactuca</i>	28	TN 1249 $\mu\text{M}$	-	-	1250	-	-	Fotobioreaktor	-	334 dw	-	-	-	-	-		
				TN 628 $\mu\text{M}$	-									346 dw	-	-	-	-	-
				TN 307 $\mu\text{M}$	-									317 dw	-	-	-	-	-
14	Iisrael	<i>U. rigida, U. fasciata</i>	24-28	kord nädalas 58 $\mu\text{M}$ NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	kord nädalas 3,6 $\mu\text{M}$ PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	tehislük merevesi	-	37-40	8-8,2	Fotobioreaktor, 35 l	0,3 $\text{g} \times \text{l}^{-1}$	-	22-25	-	-	8,9	26,6		
				kord nädalas 430 $\mu\text{M}$ NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	kord nädalas 26,8 $\mu\text{M}$ PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>														15,4
15	Lõuna-Korea	<i>U. intestinalis</i>	15	12,8 $\mu\text{M}$ NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	32 $\mu\text{M}$ PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	puhastatud merevesi vahetati iga 5 päeva tagant	90	30	-	10 l	-	101,6 $\mu\text{M}$ päevas	-	-	-	-	-		
				6,4 $\mu\text{M}$ NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	6,4 $\mu\text{M}$ PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>									100,9 $\mu\text{M}$ päevas					

Allikas	Piirkond	Liik	Temperatuur	Lämmastik	Fosfor	Veesüsteem	Valgus ( $\mu\text{mol}$ footoneid $\times \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Soolsus	pH	Mahutid	Tihedus	Saagikus ( $\text{g} \times \text{m}^{-2}$ päevas)	Kasvukiirus (% päevas)	Rasvhapped (% dw)	Stiivsesikud (% dw)	Valgusisaldus (% dw)	Tuhasus (% dw)
16	Iisrael	<i>U. rigida</i>	22	2 korda nädalas 2000 mM $\text{NH}_4^+$	2 korda nädalas 200 mM $\text{PO}_4^{2-}$	voolav merevesi	-	-	8,07 – 8,31	40 l	1,3 $\text{g} \times \text{l}^{-1}$	32 fw	27,6	-	-	-	-
									7,72 – 8,06			52 fw	35,1				
17	Eesti	<i>U. intestinalis</i>	10–20	merevee looduslik tase	merevee looduslik tase	merevesi puhastatud UV-sterilisaatori ga, vahetus 7–10 päeva tagant	-	7,0	-	250 l	6 $\text{g} \times \text{l}^{-1*}$	-	suurim 4,3, keskmine 3,3	-	-	-	-
			12–16	-	-	-	-	5,5	-		5,6 $\text{g} \times \text{l}^{-1*}$	-	keskm 0,9–1,0	-	-	-	-
			9,5–14	-	-	kunstlik merevesi, vahetus 7–10 päeva tagant	-	6,1–7,4	-		4,3 $\text{g} \times \text{l}^{-1*}$	-	suurim 2,9	0,1–0,3	3,9–7,2	0,4–0,7	2,0–3,7
15,2–20	10 ml kord 7–10 päeva tagant	10 ml kord 7–10 päeva tagant	-	6,0–7,8	-	5,6 $\text{g} \times \text{l}^{-1*}$	-	suurim 1,0	0,2–0,3	1,5–3,3	0,8–1,0	0,9–1,4					

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Anni Joamets,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Rohevetika *Ulva* maismaal kasvatamine ja selle arenguvõimalus Eestis“, mille juhendaja on Georg Martin PhD, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

*Anni Joamets*

**24.05.2023**