

Eesti Kunstiakadeemia  
Disainiteaduskond  
Tootedisain

Triin Toom

**Veealune kõnelus põisadruga –  
ettepanekud kasvukohtade säilitamiseks**

Magistritöö

Juhendaja: Marie Vihmar, MA  
Konsultant: Holger Jänes, PhD

**EKA**

Tallinn 2022

# AUTORIDEKLARATSIOON

Kinnitan, et:

1. käesolev magistritöö on minu isikliku töö tulemus, seda ei ole kellegi teise poolt varem (kaitsmisele) esitatud;
2. kõik magistritöö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd (teosed), olulised seisukohad ja mistahes muudest allikatest pärinevad andmed on magistritöös nõuetekohaselt viidatud;
3. luban Eesti Kunstiakadeemial avaldada oma magistritöö repositooriumis, kus see muutub üldsusele kättesaadavaks interneti vahendusel.

Ülaltoodust lähtudes selgitan, et:

- käesoleva magistritöö koostamise ja selle sisalduvate ja/või kirjeldatud teoste loomisega seotud isiklikud autoriõigused kuuluvad minule kui magistritöö autorile ja magistritööga varalisi õigusi käsutatakse vastavalt Eesti Kunstiakadeemias kehtivale korrale;
- kuivõrd repositooriumis avaldatud magistritööga on võimalik tutvuda piiramatul isikute ringil, eeldan, et minu magistritööga tutvuja järgib seadusi, muid õigusakte ja häid tavasid heas usus, ausalt ja teiste isikute õigusi austavalt ning hoolivalt.  
Keelatud on käesoleva magistritöö ja selles sisalduvate ja/või kirjeldatud teoste kopeerimine, plagieerimine ning mistahes muu autoriõigusi rikkuv kasutamine.

30.05.2022

Triin Toom

/allkirjastatud digitaalselt/

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele:

30.05.2022

Marie Vihmar, MA

/allkirjastatud digitaalselt/

# SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	5
1. MAGISTRITÖÖ EESMÄRK .....	7
2. TAUSTAUURING .....	8
2.1. Põisadru levik ja tähtsus Läänemeres .....	8
2.2. Põisadru anatoomia .....	10
2.3. Põisadru elutsükkel.....	15
2.4. Põisadrule vajalikud toitained .....	21
2.5. Fucus vesiculosus kasvatamine ja pärssivad tegurid.....	22
2.6. Taustauuringu kokkuvõte .....	25
3. LAHENDUS.....	27
3.1. Lähteülesanne .....	27
3.2. Alternatiivsed lahendused.....	27
3.3. Disainilahendused.....	31
3.3.1. Ajuplaat .....	31
3.3.2. Tehiskorall .....	35
3.3.3. Lahendus maismaale riiulisüsteemina (ettekasvatus).....	37
3.4. Materjalide elutsükkel .....	40
3.4.1. Teras .....	41
3.4.2. Batoon.....	42
3.4.3. Polümetüülmetakrülaat (PMMA) ehk akrüülklaas.....	44
3.4.4. Puit.....	45
3.5. Lahenduste analüüs.....	47
3.6. Illustratiivne materjal.....	48
KOKKUVÕTE .....	48

SUMMARY .....51

ALLIKAD .....53

LISA 1 PÕISADRU TOITAINED

LISA 2 AJUPLAADI TEHNILINE JOONIS

LISA 3 TEHISKORALLI TEHNILINE JOONIS

LISA 4 ETTEKASVATUSSÜSTEEMI MÕÕDUD

# SISSEJUHATUS

Magistritöö aluseks on bakalaureuse diplomitöö, mille raames tegelesin randa uhutud põisadru (*Fucus vesiculosus*) väärindamisvõimalustega ning millest kasvas välja suurem huvi Läänemeres elava pruunvetika vastu. Oma magistritöös otsin lahendusi põisadru kasvukohade säilitamiseks ning annan ülevaate makrovetika elutsüklist ning vajalikkusest Läänemeres. Samuti uurin põisadru anatoomiat, mis seos on sellel kasvuga ning kuidas kliimamuutus seda mõjutab.

Läänemeri on üks reostatumaid meresid maailmas, kus kliimamuutuste ja inimtekkeliste mõjude valguses ähvardab praegust ökosüsteemi kokkukukkumine. Kui tavaliselt toetab ökosüsteem inimeste heaolu, siis suurenenud tarbimisega ohustame me nii maismaa- kui ka veeökosüsteeme, mille tagajärjel halvenevad ökosüsteemi funktsioonid ja teenused. Näiteks Läänemere põhjaosa on olulise sotsiaal-majandusliku tähtsusega merepiirkond, mille rannikualade ökosüsteemid rahuldavad inimeste vajadusi (kalapüük, karbi- ja kalakasvandused, vee ääres elamine, põllumajandus, kaubandus). (Heckwolf jt 2021: 2) Arvestades inimsurve jätkuvat intensiivistumist ja mitmekesisustumist, peame paremini mõistma, kuidas erinevad ökosüsteemi elemendid on omavahel seotud ja kui haavatavad need otsese või kaudse inimtekkelise surve suhtes on. (Heckwolf jt 2021: 7)

2019. aastal kirjutas Eesti Päevalehe ajakirjanik Anette Parksepp artikli „Läänemeri lämbub ja see on sinu süü“. Ta kajastas selles artiklis, kuidas Läänemeres on toitainete üleküllus, vahavad sinivetikad ning nende tagajärjel tekib hapnikuvaegus. Samuti on sealne laevaliiklus tihe, kalade liigirikkus väheneb ning sisse suudavad kolida võõrliigid. (Parksepp 2019) Need on peamised märksõnad, mida põhjustavad inimtekkelised toidained Läänemeres. Sellelega kaasnev eutrofeerumine põhjustab põhiliste makrovetikate ja meriheina hävinemist, suurendab niitvetikate kiiret kasvu, vähendab vee läbipaistvust ja tekitab hapnikuvaese keskkonna, mis sageli viib põhjakoosluste kokkuvarisemiseni. (Heckwolf jt 2021: 8)

Kui varasemalt võis eutrofeerumisest tingitud tagajärgi kohata ainult Läänemere süvikutes, siis viimaste aastatega võib seda esineda ka madalatel aladel. See on tingitud meteoroloogilistest tingimustest, kus soojal talvel suubub mööda jõgesid merre suur hulk toitaineid ning sellele järgnev suvi on samuti erakordselt soe. Selliste tingimuste pikaajaline kestmine loob

kasvulava vetikamattidele, mis triivivad mööda merepõhjasid, tarbides hapnikku ning vabastades setetest uusi toitaineid. Vabastatud toitained aga panevad vetikamatid kiiremini vohama ja protsess eskaleerub. Jonne Kotta märkis artiklis, kui vetikamate võis varasemalt kohata ainult suvekuudel, siis nüüd jäävad need alles aastakümneteks, hävitades merepõhja elustikku. Läänemere liigirikkuse säilitamiseks tuleks aga vähendada toitainete hulka. (Parksepp 2019)

Viimase 30 aasta jooksul on Eestis uuritud erinevaid vetikaliike, kasvatamisvõimalusi ning sellega seonduvaid keskkonnamõjusid. On jõutud järelduseni, et vetikakasvatused, sealhulgas põisadru, aitaksid parandada Läänemere tervist. 2020. aastal valmis Tartu Ülikooli Eesti mereinstituudi uuring, kus kaardistati kahe Läänemere makrovetika (*Fucus vesiculosus* ja *Ulva intestinalis*) potentsiaalsed kasvukohad, arvestades Läänemere seisukorda (Kotta jt 2020). Kuid reostatud Läänemeri ning talvel tekkiv jää seab populaarsetele kasvatusmeetoditele (vetikaliinid, basseinid, tünnid) ja vetikakasvule piirangud.

Eelnevalt mainitud informatsiooni põhjal, aina süveneva kliimakriisi valguses ja musta stsenaariumi vältimiseks Läänemeres otsin magistritöös lahendusi, mis sobiksid kunstlikult põisadru kasvukohtade säilitamiseks. Oma magistritöö eesmärgi olen sõnastanud järgmises peatükis, kuid peamised küsimused, millele otsin vastuseid on:

- Milline oleks sobilik disain, täitmaks põisadru kasvutingimusi?
- Kuidas lahendada probleem eutrofeerumisega?
- Mis kasu on keskkonnale disainilahenduste rakendamisel?

Magistritöö raames loodud lahendused põisadru kasvukohtade säilitamiseks ning nende rakendamine tulevikus oleks Eestis esmakordsed.

# 1. MAGISTRITÖÖ EESMÄRK

Magistritöö eesmärk on juhtida tähelepanu põisadru vajalikkusele Läänemeres ja keskkonnamuutuste mõju vähendamine kasvukohtadele. Lisaks analüüsida pärssivaid tegureid ning leida lahendus, lähtudes põisadru bioloogilisest eripärast.

Taustauuringu protsessi käigus tuleks leida vastused küsimustele:

- Miks on põisadru vajalik?
- Kuidas põisadru funktsioneerib?
- Milliseid tingimusi tuleb täita põisadru kasvamiseks?
- Milline näeb välja põisadru elutsükkel?

Põisadru tausta uurimiseks tuginen teaduslikele kirjandusallikatele, mille omaette eesmärgiks olen püstitanud makrovetika tundmaõppimise rakutasandini. See annab mulle ainulaadsed teadmised põisadrust ning tema elutegevuseks vajalikest toitainetest ja kasvutingimustest. Peale selle konsulteerin merebioloogiga, mille eesmärgiks on saada parem ülevaade põisadru kasvatamisest Eestis ja Läänemere piirkondades ning levinud kasvatusmeetodi (vetikaliin) kasutamisest. Taustauuringuks olen autorina magistritöö tarbeks kogunud kvalitatiivset informatsiooni (fotod, videod) ning erinevate tekstide põhjal koostanud joonised, kuna töö eesmärk on anda edasi teadmisi, kasutades selleks nii tekstilist kui ka visuaalset osa.

Antud uuringule järgneb kokkuvõte ning pärast seda praktiline osa ehk lahenduse leidmine, mille omakorda saab jagada kaheks:

Praktiline:

- Lähteülesanne põisadru kasvukohtade säilitamiseks
- 3D mudelite loomine
- Tulemuse vormistamine

Teoreetiline:

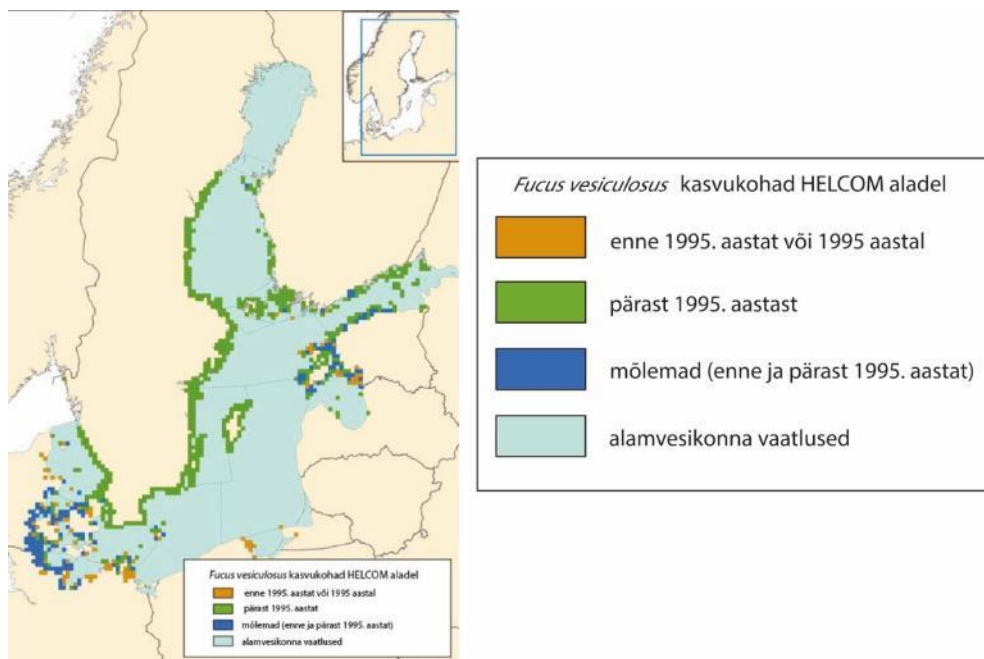
- Materjalide elutsükkel
- Alternatiivsed lahendused

## 2. TAUSTAURING

Taustauuringu osas annan ülevaate põisadru (*Fucus vesiculosus*) levikust Läänemeres, ehitusest ning kasutusvaldkondadest. Samuti toon välja, millised Läänemere tegurid mõjutavad põisadru kasvukohti.

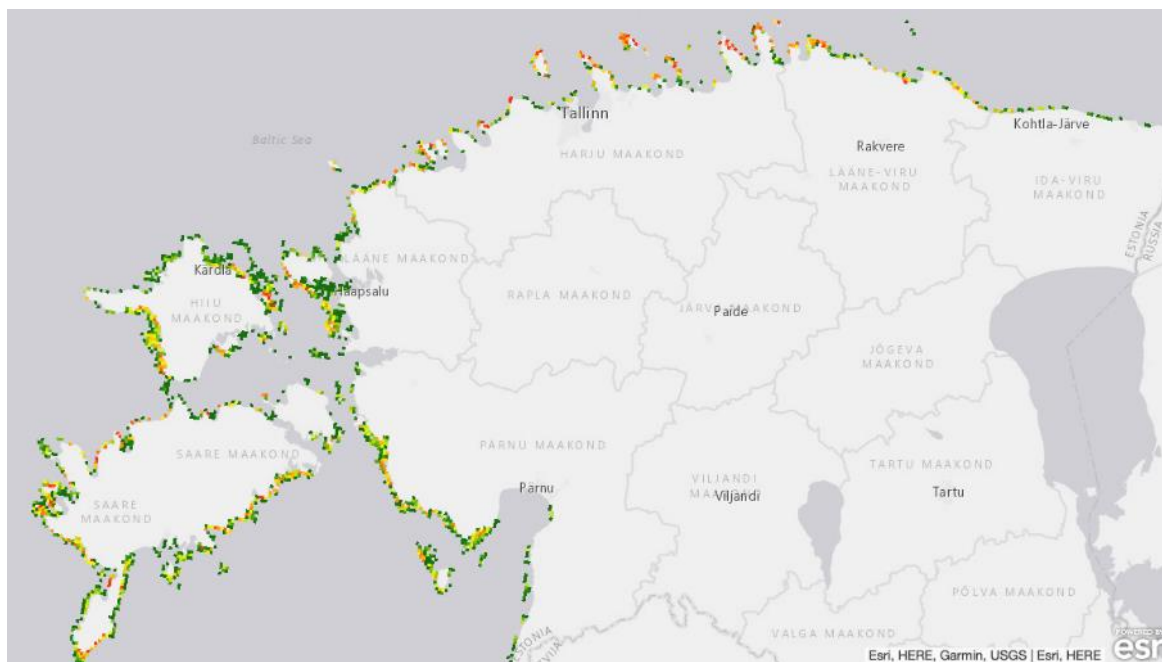
### 2.1. Põisadru levik ja tähtsus Läänemeres

Harilik põisadru on mitmeaastane kahekojaline makrovetikas ja kuulub pruunvetikate klassi. Kasvamiseks eelistab kiviseid ja kõvasid põhjasid ning lainetustele avatud piirkondi. Kui Atlandi ookeanis kasvab põisadru tõusu-mõõna vööndis, siis Läänemeres on ta täielikult vee all (Ruuskanen jt 2002: 185). Põisadru on võimeline kasvama erineva soolsuse juures, näiteks Läänemere põhjaosas kasvab vetikas 3-4 g/kg soolsuse juures (Siimon 2016: 5). Merevees kasvab ta mõnekümne sentimeetri kuni 9-10 meetri sügavusel (Wahl jt 2011: 64). Põisadru on suurim pruunvetika liik, laialdaselt levinud kogu Läänemeres (pilt 1) ja hea süsiniku siiduja. Eestis võib põisadru kohata kogu rannajoone ulatuses (pilt 2). Siinsed ajalooliselt teadaolevad põisadru kasvukohad on endiselt alles, välja arvatud mõned kohad Liivi Lahes, mis on hävinenud vee läbipaistmatus tõttu. (HELCOM s.a.)



Pilt 1 Põisadru levik Läänemeres + suurendatud tekst. Allikas: HELCOM s.a.





Pilt 2 Põisadru levik Eesti rannajoonel. Punasega on märgitud kõrgema potentsiaaliga kasvukohad, rohelisega madalamad. Allikas: autori väljavõte programmist PlanWise4Blue.

Piirkonnad, kus esineb põisadru, on tavaliselt ühed liigirikkamad kooslused. Kuna riimveelises Läänemeres elavad paljud liigid oma füüsikalise taluvuse piiril, võib neid koosluseid siiski nimetada liigivaesteks (Johannesson jt 2006: 2014). Vaatamata sellele pakuvad põisadru niidud kaitset nii paiksetele kaladele, selgrootutele, on kudemis- ja kasvukohaks teistele kalaliikidele ning toitumispaigaks veelindudele (HELCOM s.a.). On täheldatud, et sealne põhjaloomastiku arvukus on suurem (Wikström jt 2007: 169). Põisadru ei paku ainult varju- ja elupaika, vaid on ise toiduks mobiilsetele<sup>1</sup> ja sessiilsetele<sup>2</sup> selgrootutele (Schagerström jt 2014: 187). Mida keerulisema ehitusega tallused<sup>3</sup>, seda rohkem leidub seal makroselgrootuid ning epifüütseid<sup>4</sup> vetikaid. Sellise ehitusega tallustel väheneb kiskjate surve, mis hoiaks tasakaalus selgrootute arvukust. Samuti sisaldavad keerulisema ehitusega tallused suuremat kogust orgaanilist ainet, mis on toiduks selgrootutele. Vähese kisklussurve olemasolul suureneb toitainerikastes ja varjulistes elupaikades selgrootute viljakus. (Warfe jt 2006: 142) See tekitab aga olukorra, kus kõik liigid ökosüsteemis konkureerivad aina rohkem omavahel ning kõikidele ei jagu toitaineid (Hurd jt 2014: 239).

<sup>1</sup> Mobiilne – liikuv, liikumisvalmis, liigutatav.

<sup>2</sup> Sessiilne – paigus-, substraadile või aluspinnale kinnitunud või kinni kasvanud.

<sup>3</sup> Tallus – taimekeha, mis pole jagunenud varreks, juureks ega lehtedeks.

<sup>4</sup> Epifüüt – taim, mis kasvab teisele taimale kinnitunult, sellest toitaineid ammutamata.

Väheste liikidega ökosüsteem on kergesti mõjutatav keskkonnastressorite poolt ning põisadru põõsaste kadumine rannikuvetest muudab sealse ökosüsteemi ebastabiilseks. (Hurd jt 2014: 374). Põisadru on väga tundlik keskkonnamuutustele ning seepärast kasutatakse teda Läänemere ökosüsteemi seisundi ja reostuse hindamiseks. Põisadru tippude kasvukiiruse mõõtmist kasutatakse inimtekkeliste tegurite mõju uurimiseks. Samuti on põisadru indikaatorliigina sobilik välimõõtmistel ja laborieksperimentidel. (Bonsdorff jt 1996: 129). Kuna Läänemere seisukord on aastakümnetega muutunud kehvemaks, on *Fucus vesiculosus* lisatud aastast 2007 HELCOMi punase listi nimekirja, mis käsitleb Läänemere ohustatud liike (HELCOM s.a.).

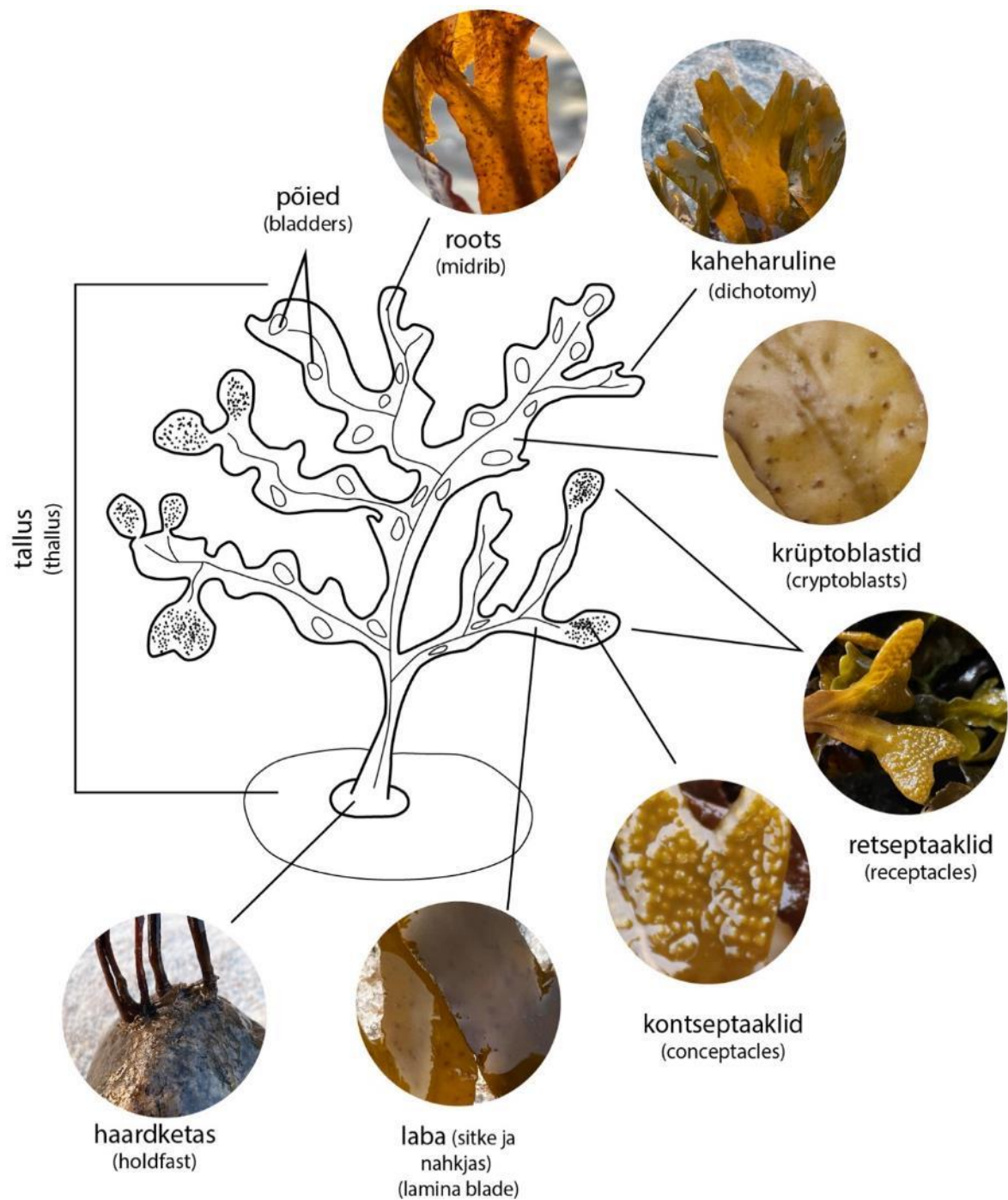
## 2.2. Põisadru anatoomia

Arvatakse, et pruunvetikad arenesid välja umbes 200-300 miljonit aastat tagasi. Seetõttu on ilmne, et pruunvetikate ja maismaataimede ehitus erineb teineteisest keemiliste sisalduste ja põlvnemisloo poolest. (Daniaud-Bouet jt 2013)

*Fucus vesiculosus* tallus on paljude harudega ja seda toetab lühike kitsas keskroots, mis sujuvalt läheb alt üle kettakujuliseks kinnituseks ehk haardkettaks, millega põisadru kinnitub rannikumeres substraadile (joonis 1). Hargnemine on kaheharuline (dihhotoomne), iga lapiuks muutunud lehte meenutavat osa nimetatakse labaks (Lee 2018: 464). Laba on paks, nahkjas, sageli kumjas ja keskel olev roots on kaetud tugeva koorega ning painduv (Hurd jt 2014: 14). Rootsust teineteise poolel asuvad paaris regulaarsete intervallidega põied, mis on täidetud gaasiga ning aitavad püsida põisadrul vees püsti. Samuti poolitab roots omakorda laba kaheks kitsamaks osaks. (Lee 2018: 464) Kitsamatel osadel on hajutatud krüptoblastid<sup>5</sup> (joonis 1), mille karvad hõlpsustavad mereveest toitainete omastamist. Teatud aastaegadel on vetika harude tipud paljunemiseks paisunud ning neid piirkondi nimetatakse retseptakliteks (joonis 1). Retseptaklid sisaldavad omakorda viljakaid kontseptakleid, kus asuvad põisadru sugurakud (joonis 1). Retseptaklite paisumine on tingitud suure hulga lima tekkimisest. (Lee 2018: 464-466)

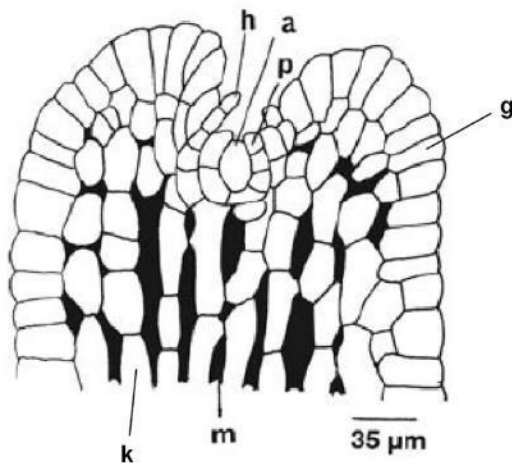
---

<sup>5</sup> Krüptoblast – steriilne kontseptakel suure hulga karvadega.



Joonis 1 Põisadru ehitus koos täiendavate piltidega. (autori erakogu)

Iga vetika haru tipus on apikaalrakk<sup>6</sup> (joonis 2, a), mis jaguneb mitu korda aastas ning mille tulemusena moodustub kaheharulisus, kus üks haru on pikem kui teine. Täiskasvanud põisadru tipmine rakk on lameda põhjaga ja meenutab neljatahulist püramiidi (joonis 2, a). Noorel põisadrul meenutab see aga kolmetahulist püramiidi. Tipmine rakk ise ei jagune (v.a harude moodustumisel), vaid stimuleerib ümbritsevaid rakke jagunema. (Lee 2018: 466) Apikaalraku ümber moodustub samamõduliste rakkudega ümbritsetud algkude (parenhümatosne meristeem) (joonis 2, p), mis on taimes olemas tema arengu algusest peale ning eristub väga selge kujuga (Hurd jt 2014: 9). Algkoerakkude (meristeem) abil tekib taimes pidevalt juurde uusi kudesid ja struktuure. Lisaks sisaldab vetika haru kattekoerakke ehk epidermi. Epidermirakud on väikesed ning selle külgedel rakud suurenevad ja jagunevad ainult põiki, mille tagajärjel tekib koore põhikude, mis moodustab põisadrule lamedad labad. Lima ladestub parenhüümi (teiskoor) vahele, põhjustades rakkude eraldumist ning puutudes kokku ainult krüptoplastide süvenditega, tekib säsi (joonis 2, m). Tipmine rakk on domineeriv ja pärsib enda all külgmiste rakkude arengut. Apikaalrakk hävineb pärast sugurakkude vabastamist merevette, kuid selle all olevatest külgmisest rakust areneb uus apikaalrakk. (Lee 2018: 466)



Joonis 2 Põisadru talluse tipp. a – apikaalrakk ehk tipmine rakk, h – lõpukarva jäänused, p – parenhümatosne meristeem, m – säsi, g – epiderm, k – hüüf. Allikas: autori täiustatud, Lee 2018.

Pilt 3 Põisadru kaheharulised labad. (autori erakogu)

<sup>6</sup> Apikaalrakk – tipmine rakk.

Talluse tipmise piirkonna välikihi moodustavad kattekoerakud (epiderm). Need on tihedalt pakitud tellisekujuliste rakkude kiht (joonis 2, g), mis jaguneb alguses risti ja seejärel paralleelselt ning tekitavad sees uusi kudesid. Kattekoe välipinda katab värvitu limane rasvataoline kaitsekiht (kutiikula). Nende all asub kortikaalne kude (esikoor, teiskoor), mille keskel asub säsi (joonis 2, m). Teiskoore rakud toodavad trompetikujulisi niitjaid rakkude ridu (hüüf) (joonis 2, k), nende puudumisel tekivad sõelrakud (joonis 3), mille läbi toimub tipu kasvuks vajalike toitainete ja fotosünteesiproduktide (mannitool) aktiivne transport. Lisaks sisaldab kortikaalne kude limakanaleid, kus need on vooderdatud näärmerakkudega, mis toodavad ja eritavad fukoidaani<sup>7</sup> talluse välikihti. Algkoerakkudes asuvad organellid, mille välimine kiht koosneb algiinhappe (mannitool) vesiikulitest<sup>8</sup> ning mis omavad basaaltuumi<sup>9</sup> ja kloroplaste<sup>10</sup>. Algiinhappe vesiikulitest koosnev välimine kiht võib kaitsta kloroplaste ja rakutuumi intensiivse valguse eest, eriti mõõna ajal, kuna pruunvetikad on veest väljas haavatavamad (pilt 4). (Lee 2018: 466)



Pilt 4 Veest väljasolev põisadru. (autori erakogu)

<sup>7</sup> Fuikodaan – sulfatiseeritud polüsahhariid, mis kaitseb põisadru herbivooride hammustuste eest.

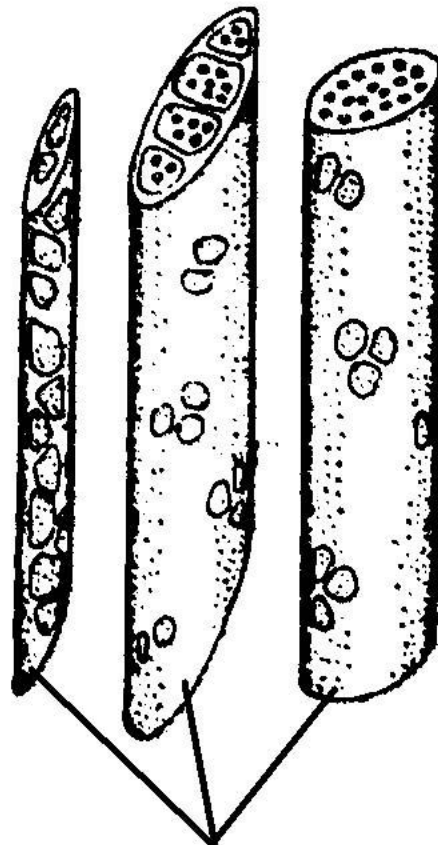
<sup>8</sup> Vesiikul – väike tavaliselt veega täidetud põieke rakus.

<sup>9</sup> Basaaltuum – järjestatud liigutuste planeerimine, alustamine, kaitsemehhanismid.

<sup>10</sup> Kloroplast – taimeraku organell fotosünteesimiseks.



Nagu enamused taimi, on ka põisadru võimeline orgaanilisi aineid ümber paigutama. Mannitool on translokatsiooni<sup>11</sup> fotosüntaadi<sup>12</sup> vorm. Kasvav tipp koos mannitooliga toimib tõelise ladestujana, mis translokatsiooni käigus viiakse läbi sõeltorude (joonis 3) vetika labadest kasvavasse tippu. Põisadrul kulgevad sõeltorud tipmisest algselt haardkettani. Sõeltorude otstes on sõelplaadid (1 µm paksud). Sõelplaatides olevad poorid võimaldavad pidevat raku elusosa ainete translokatsiooni nii piki- kui ristühenduste kaudu. Sõelplaatide poorid on 1 µm<sup>2</sup> või veel väiksemad. Põied (gaasivesiikulid) tekivad tipust mitte kaugel rakkude pindmiste kihtide kasvu tulemusena, millega kaasneb koore paksuse suurenemine. See viib säsi rebenemiseni, mille jäänused ümbritsevad tekkinud õõnsuse serva. Põied on täidetud sarnaste gaasidega, mis esinevad atmosfääris. (Lee 2018: 466)



sõeltorurakk

Joonis 3 Sõeltorurakud, peal näha sõela meenutav sõelplaat. Allikas: Kukk 1996.

<sup>11</sup> Translokatsioon – kohamuutus, ümberpaigutus.

<sup>12</sup> Fotosüntaas – fotosünteesi käigus tekkinud glükoos ja suhkur, mis transporditakse taime erinevatesse osadesse, kus see on vajalik.

### 2.3. Põisadru elutsükkel

Läänemere riimvees paljuneb põisadru peamiselt suguliselt ja vähesel määral on võimeline paljunema vegetatiivselt ehk kõrvalharude eraldumise ja kinnitumisega substraadile (Pereyra jt 2013: 1728). Läänemeres kasvav põisadru saab suguküpseks 4.-5. kasvuaastal ning üksikud isendid võivad elada kuni 20-aastaseks (Malm jt 2004: 222). Põisadru elutsükkel on nii haploidne<sup>13</sup> kui diploidne<sup>14</sup>. Haploidne elutsükkel taandub munarakule ja spermatooididele ning pärast viljastumist on ülejäänud elutsükkel diploidne. Sugurakud arenevad spetsiaalsetes õõnsustes ehk kontseptuaaklites. Kontseptuaaklid võivad olla hajutatult üle taluse pinna, kuid sagedamini paiknevad need retseptuaaklites – vetika labade paisunud tippudes (pilt 5). (Lee 2018: 464)



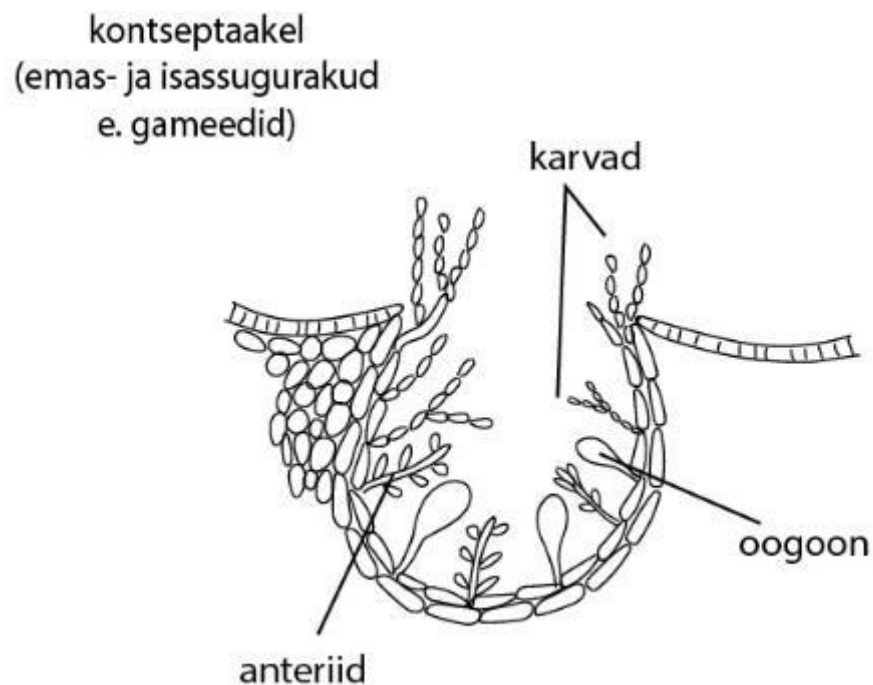
Pilt 5 Limaga täidetud retseptuaaklid, milles terasid meenutavad täpikesed on kontseptuaaklid (autori erakogu).

Kontseptuaaklid on väljaarenenud steriilsetest kontseptuaaklitest ehk krüptoblastidest (joonis 1) (Lee 2018: 467). Põisadru kontseptuaaklite arenemine hakkab septembris ja oktoobris ning

<sup>13</sup> Haploidne – ühekorde kromosoomide arvuga (raku kohta).

<sup>14</sup> Diploidne – kahekorde kromosoomide arvuga.

jätkub kevadel kuni sugurakud on küpsed (Berger jt 2001: 266). Kontseptaaklisein on voodertatud lamedate rakkudega, mille hargnenud osa meenutab kujult seeneniidistikku (joonis 4) ja sisaldab vähe kloroplaste. Kontseptaaklid pärinevad talluse tipmisest rakust, mis jaguneb kaheks: välimine ja sisemine. Välimine raku pind meenutab struktuurilt keelt (pilt 5) ja nimetatakse keelrakuks ning sisemist raku osa basaalarakuks<sup>15</sup>. Keelrakk mandub ja ei aita kaasa kontseptaakli arengule. Selle tagajärjel basaalarakk jaguneb, moodustades kontseptaakli põhja rakud, mis pärinevad algsest apikaalarakust. Need rakud kasvavad ja jagunevad samaaegselt, tekitades moodustised (karvad), mis muutuvad väljapoole avatuks (joonis 4). (Lee 2018: 467)



Joonis 4 Kontseptaakel koos anteriidi ja oogooniga. Allikas: autori koostatud Lee 2018: 465 põhjal.

Kontseptaaklid sisaldavad anteriide<sup>16</sup> ja oogooone<sup>17</sup>. Anteriidid moodustuvad tavaliselt seeneniidistikku meenutavale osale ning oogoon on tavaliselt koos varrerakkudega põimitud kontseptaakli seinale (joonis 4). Küpsed kontseptaaklid sisaldavad 64 spermatoosoidi anteriidi kohta ja kaheksat ühekordse kromosoomiga munarakku oogooni kohta. (Graiff 2017: 240)

<sup>15</sup> Basaalarakk – väike ümmargune rakk, mis asub kattekoe alumises osas, laba väliskihis.

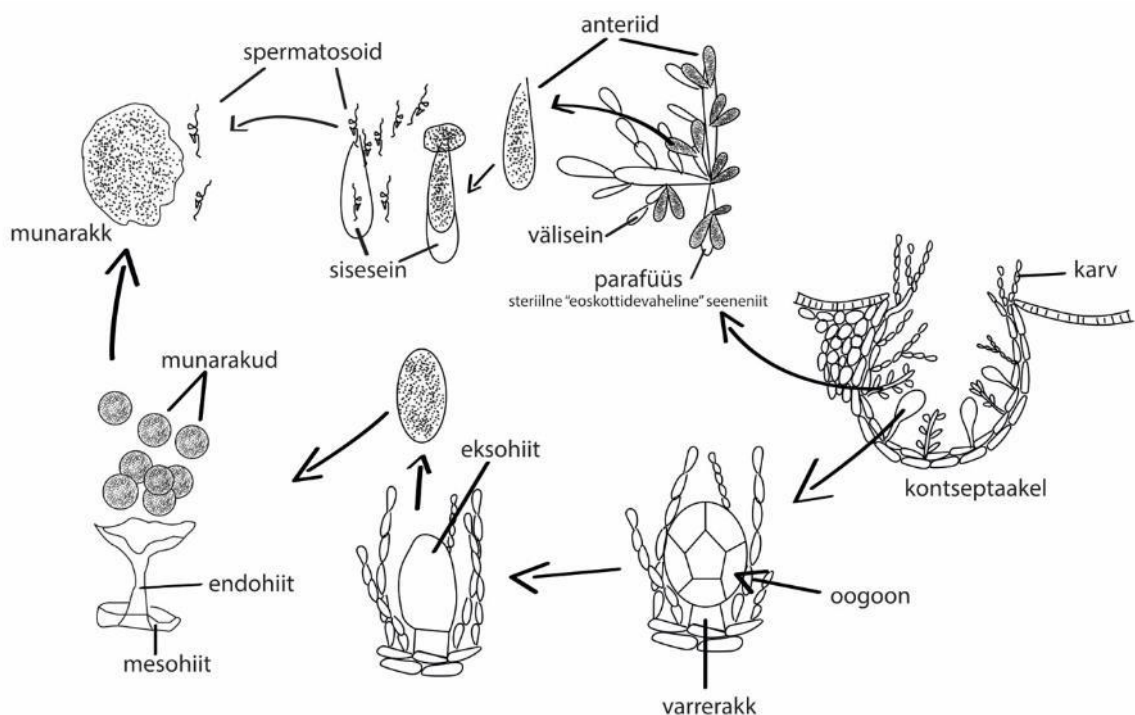
<sup>16</sup> Anteriid – eostaimede paljunemisorgan, milles valmivad isassugurakud.

<sup>17</sup> Oogoon – mõnede vetikate emassuguorgan, kus tekivad munarakud.



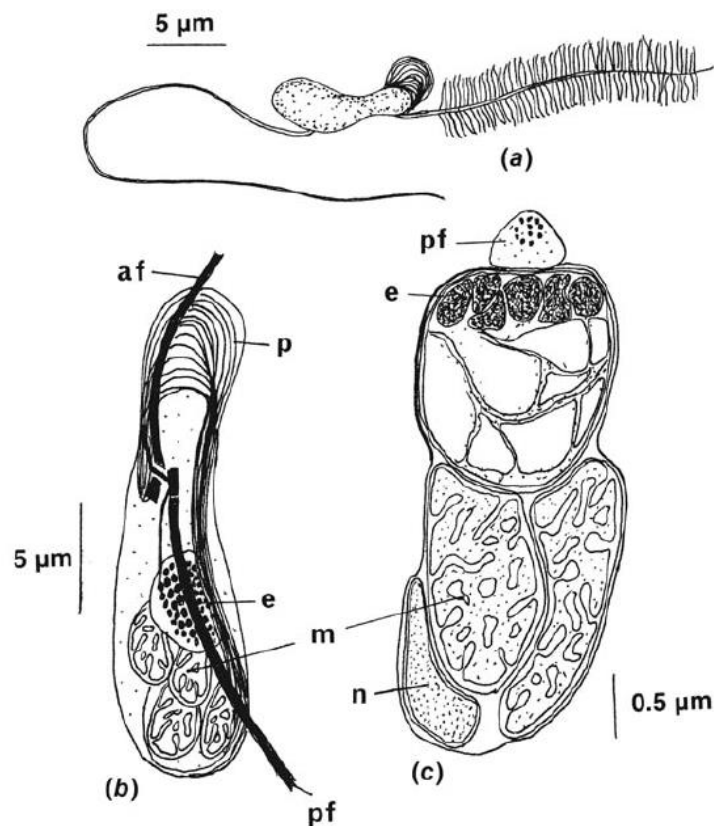
Retseptakklis olevad rakud eritavad kontseptakli limasse kaaliumi- ja kloriidioone, mille tulemusena tekib limaturse ja sugurakud pursatakse merevette (Lee 2018: 467). Sugurakud vabastatakse merevette päevasel ajal, mil vesi on vähese liikuvusega, vähendades sugurakude hulga lahjenemist ja tagades kõrge viljastamise määra (umbes 95%) (Hurd jt 2014: 72). Läänemere põhjaosas võib suguküpseid põisadru talluseid leida maist juulini, Eesti põisadru populatsiooni munarakkude vabanemine vette toimub mai lõpus (Forsslund jt 2013: 323).

Kui anteriidid on küpsed, rebeneb selle välisein ja paljastub sisesein, mis sisaldab spermatooside ja lima. Merevees kontseptaklist väljunud kogumi sisesein želatiniseerub ühest või mõlemast otsast, vabastades omakorda seemnerakud. (Lee 2018: 467) Kui oogoon on küps, rebeneb väliskiht (eksohiit), vabastades munarakke sisaldava kogumi merevette, jäädes ümbritsetuks kahest seinakihist. Meres rebeneb munarakke sisaldava kogumi paks keskmine kiht (mesohiit) tipmiselt, libisedes tahapoole ja paljastades õhukeses sisekihis (endohiit) olevad munarakud. Endohiit lahustub kiiresti ja vabastab munarakud. (Lee 2018: 469) (joonis 5)



Joonis 5 Anteriidi ja oögooni seletus. Allikas: autori koostatud Lee 2018: 468 põhjal.

Spermatoosidid on algul kerajad ja seejärel rulluvad lahti, võttes pikliku kahe viburiga vormi (joonis 6). Vähendatud kloroplasti sees on silmtäpp (joonis 6, e), mis sisaldab ühte kihti kerakujulisi pigmendilaigukesi. Tagumise viburi basaaloosa<sup>18</sup> on silmtäpi piirkonnas tihedalt kinnitatud rakumembraani külge (joonis 6, pf). Raku eesmine osa sisaldab 13 mikrotuubulit<sup>19</sup>, mis moodustavad londilaadse struktuuri (joonis 6, p) ja aitab tuvastada munaraku feromooni<sup>20</sup>. Eesmise viburi (joonis 6, af) mikrotuubulid väljuvad basaalkehade<sup>21</sup> piirkonnast, ulatudes spermatoosidi ette ja seejärel rakumembraani alt raku tagumisse ossa. (Lee 2018: 469)



Joonis 6 Pöisadru isassugurakk ehk spermatoosidid. (a) Kogu spermatoosid. (b) Pooldiagrammaatiline joonis: eesmine vibur (af), silmtäpp (e), mitokondrid (m), lont (p), tagumine vibur (pf). (c) Spermatoosidi läbilõige: tagumine vibur (pf) surub tihedalt redutseeritud (kahandatud) kloroplastist silmtäpi piirkonda (e). Tuum (n). Allikas: Lee 2018: 469.

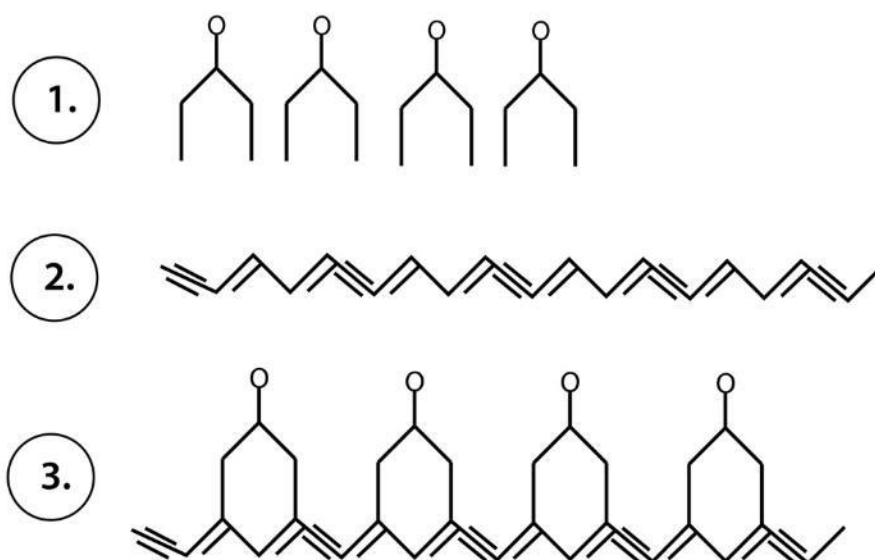
<sup>18</sup> Basaal – aluseks olev, alusel v aluse pool asetsev.

<sup>19</sup> Mikrotuubul – päristuumses rakus esinev valguline toruke (viburi ehitus).

<sup>20</sup> Feromoon – bioaktiivne aine, mida munarakk eritab väljapoole spermatoosidi ligimeelitamiseks.

<sup>21</sup> Basaalkeha – valgulised kettad, mis paneb viburi pöörlema.

Spermat meelitab ligi munarakkudest eralduv mittespetsiifiline feromoon nimega fukoseraatiin. Gameetide äratundmine on sugulisel paljunemisel kriitiline etapp, kuna munarakkudest vabastatav feromoonide segu võib meelitada ligi erinevate liikide spermat. *Fucuse* perekonda kuuluvate vetikate puhul toimib sama ahvatlusaine vähemalt kolme liigi puhul. Sugurakkude otsimise ja ühinemise protsess on seotud mõlema gameedi spetsiifikaga. Munarakumembraan on muhkliku struktuuriga, mille pinda seemnerakk sondeerib eesmise viburi tipuga, otsides spetsiifilisi seondumiskohti. Kinnitumine toimub eesmise viburitipu ja hiljem rakukeha kaudu. Spermaga ühinemise tagavad munarakumembraani pinnas sisalduvad spetsiaalsed glükoproteiinid<sup>22</sup> (joonis 7, nr 1.), millel on kindel fukoosi ja manoosi järjestus. Munaraku glükoproteiinid sobituvad sperma proteiinidega (joonis 7, nr 2.) ning need seotakse lukustusmehhanismiga analoogsetes kohtades, kus süsivesik asub sperma valgus (joonis 7, nr 3.). (Hurd jt 2014: 71)



Joonis 7 Munaraku glükoproteiinide (nr 1.) ja seemneraku proteiini (nr 2.) lukustusmehhanism (nr 3.). (autori erakogu)

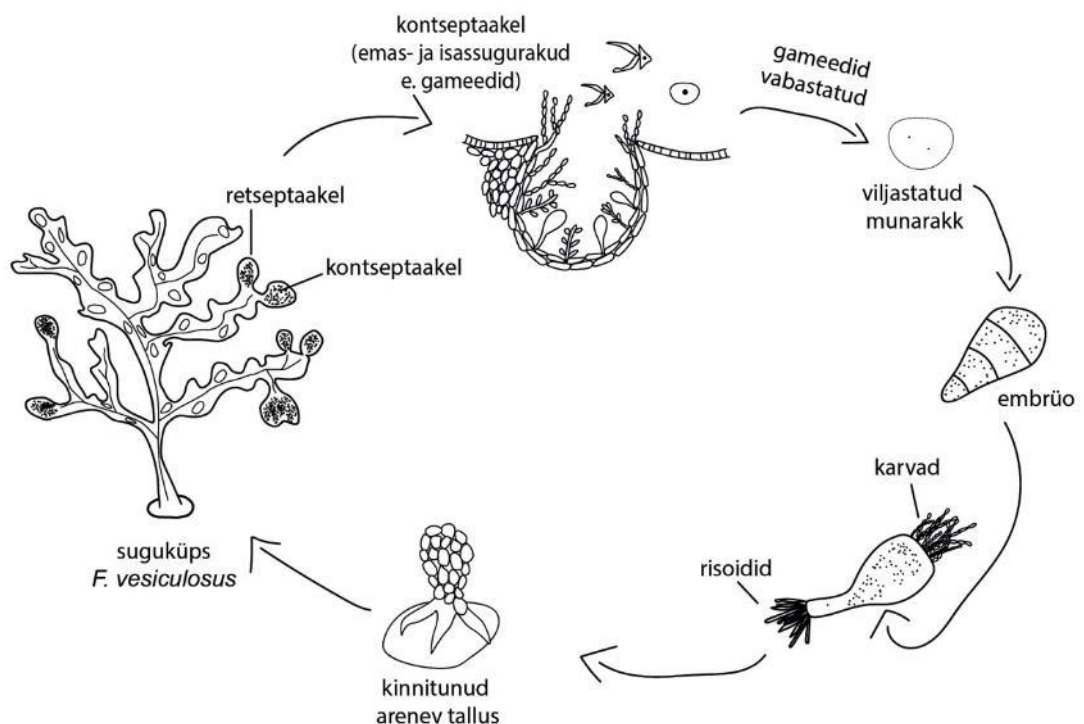
Pärast seemneraku lõplikku kinnitumist emassuguraku pinnale aktiveerub osaliselt munarakk. Kui üks spermatoosid on munarakku sisenenud, ei ole teist vaja. Munarakk käivitab polüspermia blokeeringu. *Fucus vesiculosus* puhul on täheldatud kiiret polüspermia blokeerimist, mida reguleeritakse naatriumi (Na) abiga ja mis asendub umbes 5 minuti jooksul „aeglase blokiga“:

<sup>22</sup> Glükoproteiin – liitvalk, mis koosneb valgust ja polüsahhariidide ahelatest.

1. „Kiire blokeering“ – toimub mõne sekundi jooksul, mis on põhjustatud rakumembraani depolarisatsioonist<sup>23</sup> Na<sup>+</sup> ja Ca<sup>2+</sup> sissevoolu tõttu. Üleliigsed spermad eralduvad pärast depolarisatsiooni munarakkudest.

2. „Aeglane blokeering“ – moodustub rakusein ja toimub vahepealne blokeering, mille käigus munarakkude pinnal olevad spermaretseptorid lagunevad. (Hurd 2014: 72-85)

Pärast polüspermia blokeeringut siirdub spermatoosoidi tuum mööda kinnitatud eesmist viburit munaraku tuuma. Siirdumisel spermi tuumamembraan puruneb ning ühineb munaraku tuumaga. Viljastatud munarakk hakkab idanema, areneb embrüo ning moodustuvad risoidid, mis asendavad niitja väljakasvuga juurt (joonis 8). Embrüo jaguneb ning moodustab omakorda tillukese silindrikujulise taime, millel on vähemalt üks tipmine rakk. Tipmine rakk koos kolmeks osaks jaotunud kasvuga, toodab ülalpool karvu (võivad toimida toitainete vastuvõtmisel) ning allpool tallust. Lõpuks lõpetab apikaalrakk karvade tootmise ja muutub kolmetahuliseks ning hilisemas faasis neljatahuliseks. Alles pärast apikaalraku teket hakkab tallus omandama oma küpset lapikut kuju (Joonis 8). (Lee 2018: 472)



Joonis 8 Põisadru elutsükel. Allikas: autori koostatud Lee 2018: 465 põhjal.

<sup>23</sup> Depolaratsioon – (elektroodide) polarisatsiooni vähendamine või kõrvaldamine.

## 2.4. Põisadrule vajalikud toitained

Mõistmaks, milliseid toitaineid põisadru (*Fucus vesiculosus*) vajab kasvamiseks ja mis on tema kaubanduslik väärtus, koostas in koondtabeli (lisa 1). Tabelis olen välja toonud põisadru keemilise koostise ning kirjutanud märksõnadega, mis funktsioonis üks või teine element osaleb. Koondtabeli koostamisel kasutasin peamiselt Seaweed ecology and physiology raamatut ning Kalle Truusi jt artiklit „Algal biomass from *Fucus vesiculosus* (Phaeophyta): Investigation of the mineral and algininate components“ ning oma varasemaid teadmisi keemiast ja taimefüsioloogiast.

Varasemas peatükis (vt 2.1) mainisin, et põisadru on tuntud Läänemere indikaatorliigina. Lisaks toitainetele suudab ta siduda mereveest toksilisi ühendeid ning selle järgi saab hinnata Läänemere seisukorda. Makrovetikana on põisadru toitumisvajadused sarnased fütoplanktoniga ning seetõttu käsitletakse fütoplanktoni toitumist ka siis, kui vetika kohta on vähe teavet või see puudub. Toitainet või element on oluline, kui selle puudulikkus muudab vetika kasvu vegetatiivse<sup>24</sup> või reprodutiivse<sup>25</sup> tsükli lõpuleviimise võimatuks ning seda ei saa asendada mõne teise elemendiga. Süsinik (C), vesinik (H), hapnik (O), lämmastik (N), magneesium (Mg), vask (Cu), mangaan (Mn), tsink (Zn) on vajalikud kõikidele vetikatele. Väävel (S), kaalium (K), kaltsium (Ca) on vajalikud kõikidele vetikatele kuid neid saab osaliselt asendada teiste elementidega. Naatrium (Na), koobalt (Co), vanaadium (V), seleen (Se), räni (Si), kloor (Cl), boor (B), jood (I) on vajalikud ainult mõndadele vetikatele. Makrovetikad vajavad kõiki merevee põhikomponente, välja arvatud strontsium (Sr) ja fluor (F). Taimedes on peamiseks ainevahetusprotsessideks vaja kuni 21 keemilist elementi, kuid vetikates võib esineda neid kaks korda rohkem. Üldiselt akumulerevad<sup>26</sup> olulised ja mitteolulised elemendid vetikakudedes ning nende kontsentratsioon on tunduvalt suurem kui merevees. Mõned elemendid imenduvad suurtes kogustes vetikasse ning ületavad tegeliku vajaduse, samas teised elemendid imenduvad, kuid neid ei kasutata. (Hurd jt 2014: 238-239)

Toitainetest saavad piiravad tegurid kui merevee toitainete saadavuse kiirus on väiksem kui omastamise kiirus. Teadlased on kindlaks teinud, et vetika kasvu pidurdavad samaaegselt kaks toitainet (lämmastik (N), fosfor (P)). Kui lämmastiku omastamine on piiratud, väheneb

---

<sup>24</sup> Vegetatiivne – mittesuguline, raku elutalitluse juhtimine ja selle realiseerimine toimub ensüümide abil..

<sup>25</sup> Reprodutiivne – suguline paljunemine, päriliku info säilitamine ja edasi andmine.

<sup>26</sup> Akumulereuma – kuhjuma, koguma, salvestama.

sellega ka fosfori omastamine, mis tähendab, et omastatud lämmastikku ei kasutata terveks elutegevuseks, vaid ainult ensüümide<sup>27</sup> ja valkude jaoks. (Hurd jt 2014: 240) Kuna mõned toitained on põisadru kasvu piiravad, siis eksisteerib hulk olulisi metalle nagu mangaan (Mg), raud (Fe), vask (Cu) ja tsink (Zn), mida nimetatakse sageli kasvuks vajalikeks mikroelementideks. Kui nende kontsentratsioon on liiga madal, piiravad need vetika kasvu, kuid suuremates kogustes võivad osutada mürgisteks. (Hurd jt 2014: 378)

Põisadru keemiliste elementide määramine annab meile aimu, milliseid ühendeid on pruunvetikas suuteline looma (alginaat, mannitool, fukoidaan) ning kasutama neid oma kasvu ja kaitsemehhanismides. Läänemere põisadru keemilise koostise määramiseks on viidud läbi mitmeid uuringuid ning need võivad piirkonniti erineda. Kakumäe rannast korjatud põisadru biomassi mineraal- ja alginaatkomponentide määramisel selgus, et see sisaldab palju halogeene (Br, I) ning arseenisisaldus (As) on kõrge. Teiste toksiliste elementide elavhõbe (Hg), antimoon (Sb), seleen (Se) jne sisaldus on äärmiselt madal. (Truus jt 2001) Põisadru keemilise koostise määramisel tuleb arvesse võtta seda, millised pinnakihid ümbrust iseloomustavad, niinimetatud looduslikud mineraalid (Malm 2003: 256).

## **2.5. *Fucus vesiculosus* kasvatamine ja pärssivad tegurid**

Erinevaid vetikaliike on uuritud aastaid. Kui ühiskond muutus vetikate omadustest ja kasulikkusest teadlikumaks, tõusis koos sellega ka nõudlus neid tarbida ja kasvatada. 21. sajandil, kus otsitakse pidevalt uusi alternatiivseid looduslikke lahendusi sünteetiliste materjalide asendamiseks, toiduks, söödaks, kütuseks, farmaatsiaks jne, on vetikate vesiviljelus hüppeliselt kasvanud. Toidu- ja põllumajandusorganisatsiooni (FAO) andmetel toodeti maailmas 2000. aastal vetikaid kokku 10,6 miljonit tonni, kuid aastaks 2018 oli see kasvanud 32,4 miljoni tonnini, mis moodustab 97,1% ülemaailmsest vetikate toodangust (ülejäanud 2,9% tuli metsikute vetikate koristamisest). Levinud kasvatatud vetikatest moodustavad pruun- (47,3%) ja punavetikad (52,7%) ning 99,5% kogu maailma toodangust tuleb Aasiast. (FAO 2020)

Euroopa vetika tootmine pärineb peaaegu täielikult looduslike ressursside traalimisel ja on aastatel 2000 – 2012 vähenenud ligikaudu kolmandiku võrra, umbes 230 000 tonnini aastas,

---

<sup>27</sup> Ensüüm – bioloogiline katalüsaator ehk valk, mis kiirendab reaktsioonide toimumist.

peamiselt keskkonnamõjude tõttu (Thomas 2019). Suurimad tootjad on Norra, Prantsusmaa ja Iirimaa. Kui vaadata põhja poole, ei ole Läänemere piirkondades vetika kasvatamine levinud, kuid otsitakse pidevalt sellele lahendusi. 2020. aastal viis Tartu Ülikooli Eesti mereintsituut läbi uuringu, kus vaadeldi kahe Läänemeres leiduva makrovetika (*Fucus vesiculosus* ja *Ulva intestinalis*) vesiviljeluse potentsiaali ning keskkonnamõjusid, toetudes FAO välja antud „Blue growth“ (sinine kasv) pikaajalisele strateegiale, mille eesmärk on toetada tootlikkuse kasvu ja veeressursside säästvat kasutamist. Lisaks keskendutakse strateegias vastupidavate rannikukoosluste loomisele, kalanduse tootmispotentsiaali taastamisele, vesiviljeluse arendamisele, toiduga kindlustatuse toetamisele, et leevendada vaesust ja majandada säästvalt vee elusressursse. (Kotta jt 2020)

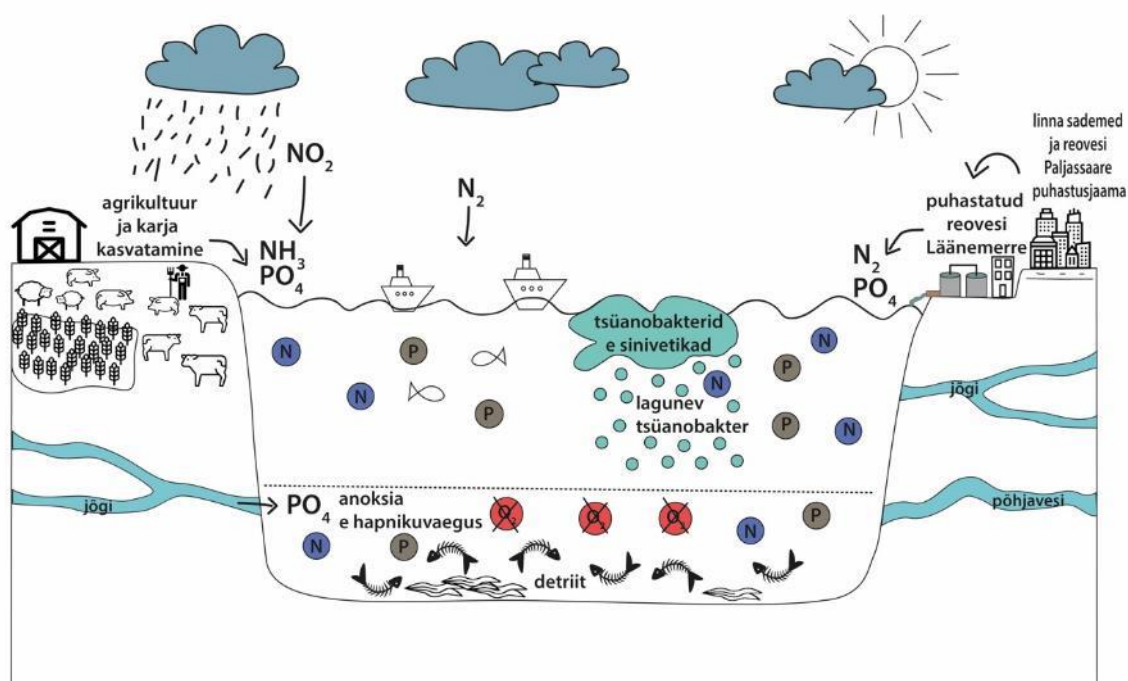
Uuringust selgus, et Euroopas võib vetikate vesiviljeluse arendamine olla võtmetähtsusega ning rahuldada ressursivajadusi, kuid seda tuleks teha viisil, mis ei kahjustaks olemasolevate mereressursside kasutamist ega väärtust. Makrovetikate, seal hulgas põisadru kasvatamise protsess eemaldab keskkonnas looduslikult esinevaid toitaineid, puhastab vett ja leevendab võimalikku eutrofeerumist rannikualadel, konkureerimata põllumaa või mageveevarudega. (Kotta jt 2020) Kuna põisadru on teistest vetikatest väga spetsiifiliste nõudmistega, tuleks esmalt mõista, millised on need tegurid, mis pärsivad põisadru kasvatamist. Kõige suuremaks probleemiks on Läänemere reostus. Reostus ei tulene ainult lämmastiku- ja fosforiga vee rikastamisest, vaid sinna hulka kuuluvad erinevad tööstuskemikaalid, saastumisvastased ühendid (kasutatakse laevadel), õlid, radioaktiivsed ained jne. 1970. ja 1980. aastatel oli merereostus kuum teema ja need teadmised on dokumenteeritud. Viimase kahe aastakümne jooksul on eriti aktiivsed olnud metallide ja eutrofeerumise uuringud, millele järgnesid õlid, saastumisvastased värvid ja orgaanilised jäätmed. Saastemõjude hindamine on keeruline, kuna rannikuvööndisse sattuvate saasteainete allikaid on palju ning erinevaid biogeokeemilised protsessid muudavad nende kontsentratsiooni ja biosaadavust mitmel tasandil. Biokeemilisel ja füsioloogilisel tasemel võivad saasteainete mõjud vähendada fenotüüpilist<sup>28</sup> vormi. (Hurd jt 2014: 374)

Suurim inimtekkeline mõju Läänemerele ja põisadru kasvule on eutrofeerumine (joonis 9) Enamjaolt me teame, et eutrofeerumine on seotud agrikultuuri ja karja kasvatamisega, kuid lämmastiku- ja fosforiühendid jõuavad samuti merre laevastikuga, happevihmadega või

---

<sup>28</sup> Fenotüüp – organismi kõigi välis- ja sisetunnuste ning omaduste kogum kindlal arengutasemel.

reoveega. Puhastatud reovesi sisaldab pärast biofiltrite läbimist vähesel määral fosfori- ja lämmastikuühendeid ning erinevaid kemikaale, mis tulenevad medikamentide tarbimisest. (Hurd jt 2014: 400) Lisaks jõuab merre puhastamata reovett tugevalt lahjendatud sademeveega, seadusega vastavalt vähemalt ¼ vahekorras. See juhtub juhul, kui sademeid on palju ja pumpla ei jõua seda vastu võtta. Tallinna vee andmetel suunati aastal 2020 puhastamata reovett 234 124m<sup>3</sup> otse Läänemerre. (Tallinna Vesi 2021) See võib tunduda Läänemerega võrreldes väike kogus, kuid pikas perspektiivis võib mõjutada ökosüsteemi piisavalt palju. Toiteväärtuslike anorgaaniliste ja orgaaniliste jäätmete sattumine madala veevahetusega rannikualadele võib stimuleerida vetika kasvu ja põhjustada fütoplanktoni ehk sinivetika liigset õitsemist. Fütoplanktoni biomass hakkab peagi lagunema, kui eutrofeerumine on ulatuslik, tekitades merevees hapnikusisalduse langust. Hapnikuvaegus (hüpoksia) (~2mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>) või hapnikuta keskkond (anoksia) (~0mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>) võib tekitada loomadele stressi või neid tappa. (Hurd jt 2014: 401) Kui hapniku tootmise ja tarbimise vahel tekib tasakaalustamatus, loob see eelduse anoksilisteks (joonis 9) tingimusteks, põisadru lagunemisel vabaneb setetesse suures koguses toitaineid, mis hiljem vallandab fütoplanktoni suure õitsengu (Hurd jt 2014: 403).



Joonis 9 Eutrofeerumine ja anoksia. (autori erakogu). Ikoonid: Flaticon s.a.

Eutrofeerumisega kaasneb vee hägusus ning piiratud valguse levik veesambas (Berger jt 2004: 244). Nagu kõik taimed maismaal, vajab põisadru samuti kasvamiseks valgust.



Valgusest sõltub nii fotosüntees, metabolism<sup>29</sup>, pigmentide moodustumine, kaitsemehhanismid, polüsahhariidide tekkimine kui ka päevapikkuse märguanne taimetele, mis mõjutab reproduktiivset<sup>30</sup> seisundit. Sinine valgus reguleerib paljude ensüümide tegevust, sealhulgas mõndade, mis on seotud süsiniku sidumise ja lämmastiku ainevahetusega. (Hurd jt 2014: 6-7) Oluline on teada, et metabolismi mõjutab lisaks valgusele temperatuur ja soolsus. Kui temperatuur tõuseb 10°C võrra, põhjustab see aine- ja energiavahetuse kahekordistumist ning stimuleerib retseptiivsete ja sugurakkude küpsemist (Graiff jt 2017: 248). Lisaks aitab soolsus kaasa turgori<sup>31</sup> tekkimisele, reguleerib närviimpulsse – käivitab kaitsemehhanismi herbivooride vastu (Kraan 2018). Teadlased on kindlaks teinud, et madal soolsus võib suurendada põisadru vastuvõtlikkust eutrofeerumisele (Kraufvelin jt 2012: 1805). Soolsust vähendab omakorda mageveekogude suubumine merre, jää sulamine, vihm ja puhastatud reoveesi. 2020. aastal suunati Läänemere puhastatud reovett 52,34 miljonit m<sup>3</sup> (Tallinna Vesi 2021). Nagu sademeveega lahjendatud reovee puhul, tuleks mõelda pikemalt ette, kui suur mõju sellel tegelikult on. Soolsus otseselt sõltub ühendusest Põhjamerest ning tuulesuunast.

## 2.6. Taustauuringu kokkuvõte

Taustauuringus andsin ülevaate põisadru tähtsusest Läänemeres, elutsüklist, anatoomiast, keemilisest koostisest ning kasvu pärssivatest teguritest. Põisadru anatoomia ja elutsükli lahendamiseks aitab täpsemini aru saada, kuidas pruunvetikas funktsioneerib ning kui suur on kliimamuutuste tegelik mõju põisadru populatsioonile ja kasvukohtade säilimisele.

Kliimamuutuste valguses tuleks hakata varakult põisadru kasvukohti säilitama. Põisadru aitab puhastada vett ja siduda atmosfäärist CO<sub>2</sub>-te, samuti pakub kaitset ja on toiduks mereelukatele. Tormid rebivad põisadru lahti ning uhuvad randa suured adruvallid. Sinise kasvu strateegia (FAO 2018) käsitleb veeressursside säästlikku majandamist ning lahenduseks oleks vetikaliinidel kasvatamine ja adruvallide muutmise tooteks, vähendades sellega CO<sub>2</sub> sattumist atmosfääri. Selline põisadru väärindamine aitaks arendada majandust, kuid me ei saa eeldada, et looduslikud kasvukohad igaveseks säilivad, mis annaks adruvallidena toormaterjali.

---

<sup>29</sup> Metabolism – aine- ja energiavahetus.

<sup>30</sup> Reproduktiivne seisund – viljastumiseelne seisund/vegetatiivne paljunemine.

<sup>31</sup> Turgor – taime siserõhk.

Maailmas populaarne kasvatusmeetod nii kaubanduslikul eesmärgil kui kasvukohtade säilitamiseks on vetikaliinid<sup>32</sup>, kuid see ei pruugi olla parim lahendus Läänemere põisadru jaoks. Uurides põisadru rakutasandini ja saades aru, kuidas vetikas funktsioneerib ja milliseid tingimusi vajab kasvamiseks, paljunemiseks, tuleks luua võimalikult parim kasvatusviis, mis aitab leevendada olemasolevaid pärssivaid tegureid. Vetikaliinide üheks suurimaks miinuseks võib lugeda selle, et neid ei saa toitainete kättesaamiseks asetada erinevatesse veekihtidesse, pinna lähedalt rebivad lained vetikad lahti ning jää tekkides ei saa neid kasutada.

Läänemere seisukorra kohta lugedes ja põisadru rohkem tundma õppides, selgus kolm väga tugevat põisadru kasvu mõjutajat:

- Läänemere temperatuuri tõus – pikalt liiga kõrge temperatuur pärsib põisadru fotosünteesi ja vetikas hakkab surema.
- Soolsus – soolsus ja toitainete levik pinnakihtides sõltub suuresti tuulesuunast. Soolasema vee Läänemerre uhtumine Põhjamerest aitab kaasa soolsuse säilitamisele ning pinnakihtide segunemisele ehk toimub toitainete liikumine.
- Substraadile kinnitumine – Eesti rannajoon on erinevate kivimitega. Saarte lähedal paekivine ja põhja pool graniitkivi. Paekivi pole vees vastupidav ning laguneb kergemini. Põisadrule sobilik kivim oleks graniit (maakivi).

Kaks mõjutajat sõltuvad kliimamuutustest ja tuulesuunast ning kolmas mõjutaja geoloogilisest asukohast. Tulevikuvaates oleks võimalik soolsuse vähenemist leevendada Läänemere ja Põhjamere ühenduse loomisega. Põisadru uurimisega selgus, et hetkel on tagatud kõik vajalikud tingimused vees kasvatamiseks kevad-suvi perioodil, kuid tuleks luua sobilikud lahendused, et toitainete ja valguse kättesaadavus oleks piisav aastaringsest. Selleks tuleks kasutada ära olemasolevaid merelahendusi nagu poid, erinevad betoonkinnitused.

---

<sup>32</sup> Vetikaliin – orgaanilise või sünteetilise köie abil vetikate kasvatamine merevees.

## 3. LAHENDUS

Lahenduse osas lähtun eelnevalt kogutud informatsioonist, rakendades neid teadmisi leidmaks parimaid võimalikke disainilahendusi põisadru kasvukohtade säilitamiseks

### 3.1. Lähteülesanne

Töö ülesanne on pakkuda välja disainilahendused praeguste põisadru kasvukohtade säilitamiseks, rakendades selleks ringmajanduse printsiipe ja võttes arvesse Läänemere seisukorda. Mõistmaks, mis oleks võimalikud disainilahendused, aitamaks põisadru kasvukohti säilitada, tuleb mõelda läbi iga materjali kasutus ning analüüsida nende elutsüklit. Materjalide kasutamisel lähtusin samuti sellest, et need oleks vastupidavad, ümbertöödeldavad ning ei halvendaks omakorda Läänemere seisukorda (nt. plastiku lagunemine merevees – mikroplast).

Põisadru tingimustega arvestamine:

- valgus
- toitaineid
- ehituse eripära – ei kinnitu paljudele materjalidele, pind peab olema kareda-poolne/krobe
- süvendite loomine - viljastamisel on suurem tõenäosus, et jäävad süvendites ellu, kaitse herbivooride eest

Muud tingimused

- Materjalide ökoloogilisus, vastupidavus, ümbertöödeldavus
- Võimalikult väike keskkonnamoormus
- Kergesti hooldatav
- Ilmastikukindlus

### 3.2. Alternatiivsed lahendused

Viimase 30 aastaga on hakanud kaduma Läänemeres mõningad põisadru kasvukohad, kuid häid lahendusi nende taastamiseks ei ole leitud. Uurisin, kuidas on globaalselt kaubandus-

likel eesmärkidel kasvatavaid vetikaid kasvatatud nii meres kui maismaal. Samuti otsisin erinevaid lahendusi, kuidas on läbi aegade korallrahu taastatud. Oma suureks üllatuseks avastasin, et vetikate kasvatamiseks ei ole küllalt häid lahendusi välja pakutud. Siin omab suurt rolli see, mis liiki vetikaga täpsemalt tegu on. Kui tegu on rohevetikatega saab neid lihtsasti kasvatada maismaal suurtes basseinides (pilt 6), kuna paljunemiseks ei ole vaja täita eritingimusi (nt kare pind kinnitumiseks, mõnel juhul soolase vee olemasolu) nagu põisad-  
rul. Maismaal asuvad basseinid on betoonist või plastikust tünnidest koosnevad süsteemid (pilt 7). Kuna merevetikate tarbimine maailmas on viimaste aastakümnete jooksul suurenenud nii inimestideks kui põllumajanduseks, on maismaal suurte basseinide kasutamine üheks vesiviljeluse saagikuse tarbimise kompenseerimiseks (Hurd jt 2014: 413). Sellised lahendused ei ole küllaltki jätkusuutlikud, sest hõivavad enda alla suuri maa-alasid. Lisaks on suurte basseinide rajamine ja hooldamine kulukas.



Pilt 6 Maismaa vetikakasvatuse Iisraelis. Allikas: Fisheries Research and Development Corporation (FRDC) s.a.



Pilt 7 Plastiktünnide süsteem. Allikas: Nocamels Israeli Innovation News s.a.

Kui tulla pruunvetikate kasvatuse juurde, siis kõige tuntumaks vetikaks, mida kasvatatakse, on kelp. Kelpi kasvatatakse liinidel ehk siis köitel. Liinid on kas bioloogilise päritoluga või sünteetilised, mis küll merevees ei lagune kiiresti, kuid eraldavad mikroplasti. Liinisüsteemide kasutamine eeldab mitmeid kilomeetreid pikki kõisi avameres, mis on tähistatud poidega. Väga levinud on avamere vetikafarmide rajamine sealsete kalafarmide kõrvale (integreeritud kasvatus). Näiteks võib tuua Norra, kus avamere lõhefarmide läheduses kasvatatakse liinidel kelpi. On täheldatud, et selliselt toimimine aitab eemale hoida kalade parasiite, kuna vetikas puhastab sealset vett. Liinide kasutamine on üks levinumaid viise vetikafarmides, kuid probleemiks on veepinna lähedal asumine (pilt 8). Suurte tormidega ei täida selline lahendus oma eesmärki, kuna tormid rebivad suurel hulgal vetikaid lahti. Liinide süsteemi on võimalik kasutada ka madalas vees, kus rajatakse suured farmid tokkide vahele tõmmatud liinidele (pilt 9). Madalas merevees kasvatamise eelis on see, et mõõna ajal saab vetikaid korjata ilma, et oleks vaja paati. (Hurd jt 2014: 430-437)





Pilt 8 Liinidel kasvatavate kelpide kultiveerimine. Allikas: PEW s.a.



Pilt 9 Madalas vees liinid, Tansaania. Allikas: The Nature Conservancy s.a.

Kui eelnevalt mainisin ära kõige populaarsemad kasvatamismeetodid, siis leidsin mõne näite ka lahendusest, kus ei kasutata basseine ega liine (pilt 10). Pildilt on näha, et lahenduse kinnitamiseks kasutatakse juba merekeskkonda asetatud objekte. Vetikad on asetatud traattuubidesse, kus lastakse neil rahulikult mõned nädalad kasvada. Sarnast lahendust nägin plastiksilindritega. Plastiksilinder koosnes mikrovõrgust, mille sees oli purustatud vetikas. Mõlemal juhul on probleemid, kas korrosioon või mikroplastiku eraldumine.



Pilt 10 Meres kasvatamine traattuubides. Allikas: Scitechdaily s.a.

### 3.3. Disainilahendused

Disainiprotsessis olen lähtunud sellest, et saaks ära kasutada merekeskkonnas olevaid objekte, näiteks ujuvpoide betoonankrud ja poide kinnitamiseks kasutatav metallist kett, ujuvkaide ankurdamine betooniga. Lahendused said loodud nii merre kui maismaale. Kõige raskem osa lahenduste juures oli välja mõelda kinnitused ning mis materjali tuleks kasutada vormide loomisel. Piltidel on küll need materjalid betoonist, kuid realselt tuleks kasutada betoon-killustiku segu, millega olen täitnud ära põisadru kinnitumiseks vajaliku tingimuse ehk kareda/kivise pinna tekitamise. Disainilahenduste väljatöötamiseks seadsin endale eesmärgiks, et neid oleks võimalik kasvatada ette maismaa lahenduses ja sügisel kui põisadru ei konkureeri toitainete pärast, panna need sobivatesse kohtadesse.

#### 3.3.1. Ajuplaat

Nõuded disainile:

- Reguleeritav merekihtides
- Karedapinnaline
- Kergesti teineteisega ühendatavad
- Piisavalt raske
- Lihtsasti paigaldatavad ja vahetatavad kinnitused

Lahendus sai alguse teadmisest, et põisadru jääb paljunemisel kõige suurema tõenäosusega ellu väikestes avaustes. Toitainete kättesaamiseks peaks see merevee erinevates kihtides olema reguleeritav, piisavalt raske, kuid hõljuma vees. Materjalina on kõige sobilikum ja vastupidavam merekeskkonnas betoon. Betooni tuleks täiustada killustikuga, mis loob põisadru kinnitumiseks kareda pinna. Plaat on seest tühi või täidetud kihiliselt kergemate looduslike materjalidega (nt kergkruus), mis vähendab betooni kaalu ning tagab lahendusele ujumise asemel hõljumise (Ghadge jt 2015). Tavaliselt täidetakse betoonpontoon<sup>33</sup> (pilt 11) polüstüreenvahuga (EPS) (pilt 12), mis omakorda mähitakse kõrge tihedusega polüetüleenvoodrisse (HDPE). Voodri ülesanne on kaitsta vahtplasti betooni purunemisel kalade, kraabide ja muu mereelustiku eest ning säilitada betoonpontooni ujuvus pärast kahjustusi. Samuti kasutatakse betoonpontooni tegemiseks ainult betooni ja polüstüreenvahtu (EPS), mis ulatuslike betoonikahjustuste korral meretingimustes tekitab mikroplasti. (Aqua Pontoons 1300 s.a.) Autorina välistasin sellise meetodiga ajuplaatide tegemise, sest minu eesmärk ei ole tekitada Läänemerele mikroplastina lisakoormust. Lisaks tuleks projekti ka kaasata insener, kellel on vastav pädevus ja oskaks teha täpsemad arvutused, et saada plaat füüsikaseaduse järgi vees hõljuma. Plaat hõljub kui üleslükkejõud ( $F_{\bar{u}}$ ) on võrdne keha raskusjõuga ( $F_r$ ) ehk  $F_{\bar{u}}=F_r$ .



Pilt 11 Betoonpontoon. Allikas: Pirita top s.a.



Pilt 12 Pontooni sisemus. Polüstüreenvaht (valge), polüetüleen vooder (must). Allikas: Aqua Pontoons 1300 s.a.

Vormilt on ajuplaat kuusnurkne (pilt 13), millele on valades lisatud igale küljele karabiinikinnitusete jaoks kuumtsingitud või roostevabast terasest sisekeermega tüüblid (läbimõõduga 14 mm, kõrgusega 53 mm). Kuumtsingitud või roostevabast terasest osad peavad merevees

<sup>33</sup> Pontoon – metallist või raudbetoonist lihtsa kujuga ujuk.



kauem vastu. Karabiinkinnitused on ajuplaadile eraldiseisvatena külgekeeratavad. Eraldi keeratavate karabiinkinnituste kasutamine võimaldab ajuplaatidel vabamalt merelaines liikuda ning vähendab sellega betooni omavahelist kokkupuudet ja kahjustusi. Samuti saab vahetada roostesse läinud kinnitusi. Karabiinkinnituste kasutamine hõlpsustab ajuplaatide omavahel lihtsasti ühendamist, moodustades nendest koosneva saarekese (pilt 14). Saarekesed saab kinnitada mõlemast otsast meres olevate avamere kasvatuses mõeldud (offshore farming) poide kettide külge või kasutada kinnitamiseks 1 + 1 varianti, kus üks ots on betoonankruga offshore farming kasutatava poi (kollane) küljes ja teise otsa saab lisada kasvandustes kasutatava ujuvpoi (punane) külge (pilt 15). Plaatlahenduse kasutamine annab eelise reguleerida põisadru kasvukohti erinevates merekihtides, kus parajasti vajalikke toitaineid leidub, ning tagab kasvamiseks vajaliku valguse.

Ajuplaat pannakse kokku kahest erinevast osast, kus esimene osa on plaadi põhi koos õhuruumiga ja teine plaadi pealmine osa mustriaga. Selline meetod on vajalik tagamaks õhuruum täies ulatuses, et ajuplaat vees hõljuks.

Plaadi mõõdud (põhi) (lisa 2):

- Põhi: 300 mm
- Põhja kõrgus: 80 mm
- Põhja külge: 173,21 mm
- Kõrgus: 110 mm (sellest 30 mm mustri kõrgus)
- Süvendid kinnituseks: 40 mm

Plaadi õhuruumi (kuusnurk) mõõdud :

- Põhi: 190 mm
- Sügavus: 55 mm
- Põhja külge: 109,7 mm

Pealmine plaat:

- Põhi: 300 mm
- Põhja kõrgus 10 mm
- Muster: 30 mm
- Kinnitused: 40 mm

Karabiinkinnituse mõõdud:

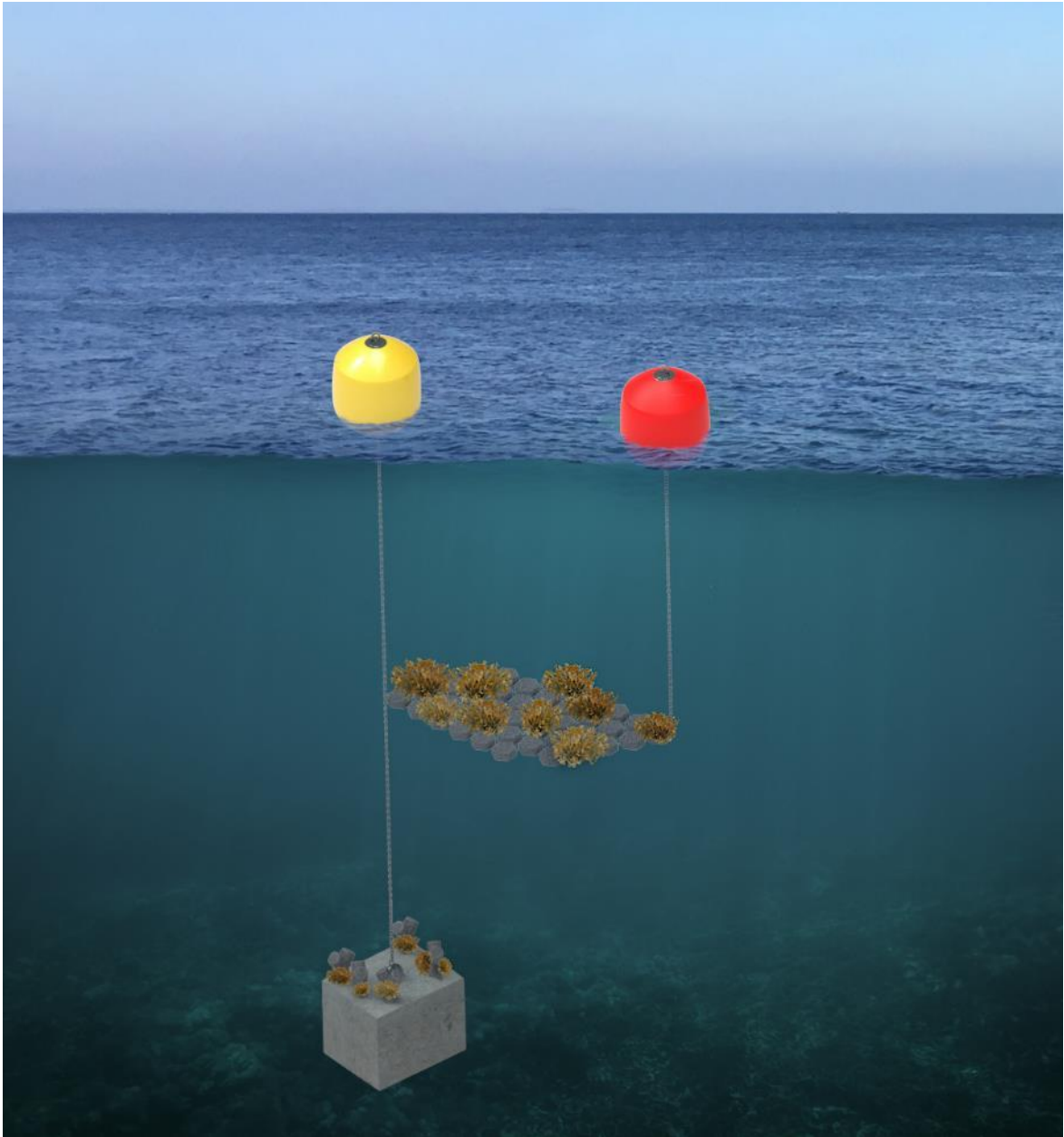
- Poldi kõrgus: 64 mm (keere 53 mm)
- Poldi läbimõõt: 14 mm (M14)
- Karabiinipea:
  - Kõrgus: 50 mm
  - Laius: 60 mm
  - Läbimõõt: 10 mm



Pilt 13 Ajuplaadid + kinnitus.



Pilt 14 Omavahel ühendatud ajuplaadid.



Pilt 15 Saarekese ja tehiskoralli kinnitamine betoonankru ja poide külge. Fotod: Pexels s.a.

### 3.3.2. Tehiskorall

Nõuded disainile:

- Lihtsasti paigaldatav
- Väikesed süvendid põisadru kinnitumiseks/kasvamiseks

Tehiskorall (pilt 16) on tehtud betoon-graniidi segust tagamaks põisadrule kinnitumiseks pinnase. Tehiskoralli saab kinnitada keermelati abil betoonankrute külge. Tehiskoralli kõrgus on 550 mm, läbimõõt 190 mm. Kõrgema tehiskoralli kasvatamiseks tuleb tagada suures

basseinis ettekasvatamine või asetada need kohe merekeskkonda spetsiaalse kinnitusaugudega betoonankru külge (pilt 15). Tehiskoralli pinnal on väikesed augud läbimõõduga 2-8 mm ja 40 mm sügavad tagamaks põisadru ellujäämise.

Tehiskoralli komponendid (lisa 3):

- Kinnitusaas: roostevabateras/tsingitud
- Metalltüübel: 125 mm
- Keermelatt: 250 mm
- Keermelati läbimõõt: 30 mm

Tehiskoralli andmed:

- Kõrgus: 550 mm
- Koralli läbimõõt: 190 mm



Pilt 16 Tehiskorall põisadrule.

### 3.3.3. Lahendus maismaale riulisüsteemina (ettekasvatus)

Nõuded maismaalahendusele:

- Modulaarsus
- Kergesti paigaldatav
- Funktsionaalne

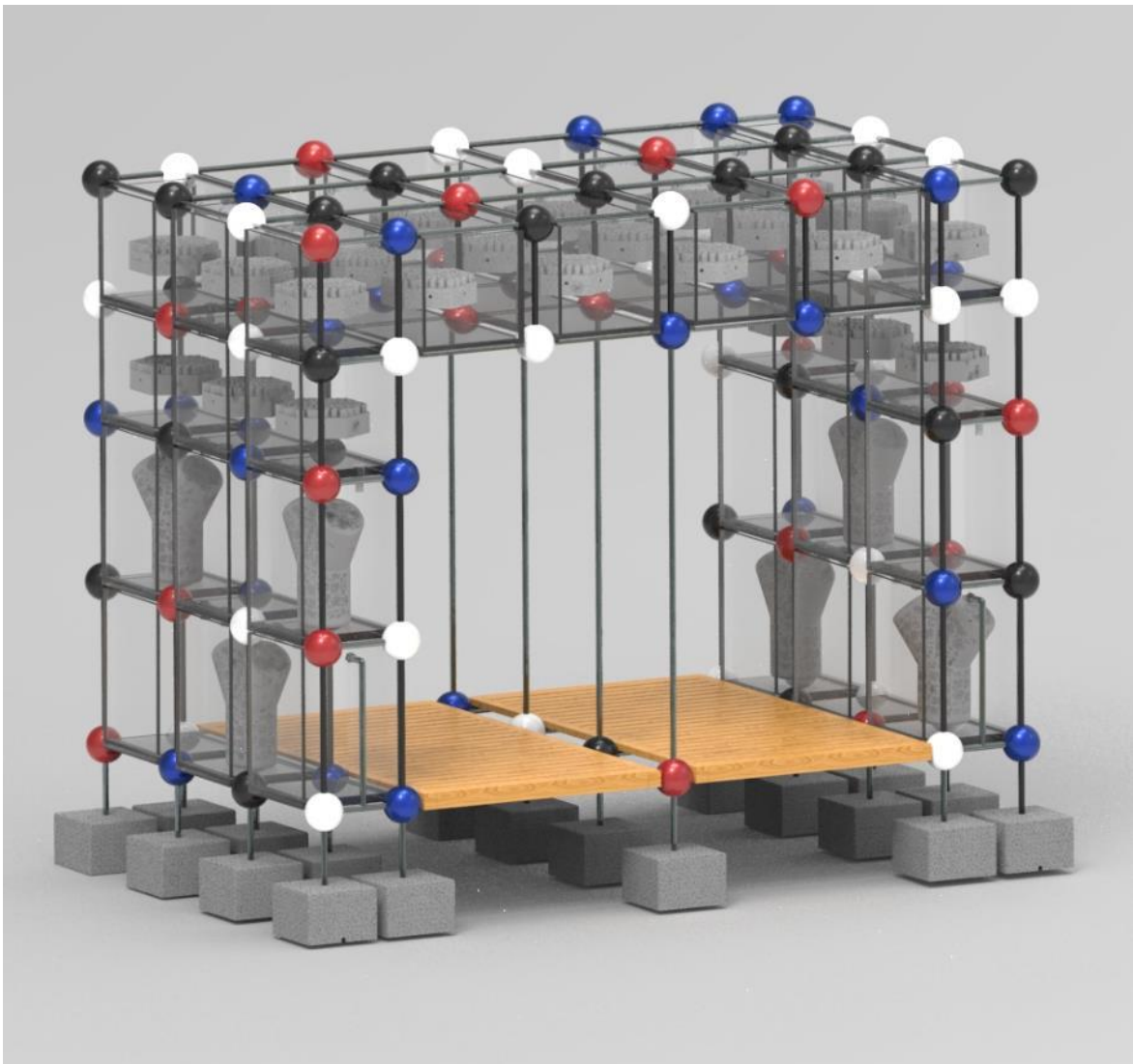
Maismaalahendusele seadsin tingimusteks modulaarsuse, kergesti paigaldatavuse ja funktsionaalsuse. Eesmärgiks võtsin luua süsteemi maismaale, mis asuks mere lähedal aga igapäeva elukeskkonnas (vt ptk 3.5), kus inimesed saavad kevad-suvi perioodil vaadelda põisadru kasvamist. Suviti, kui ilmad hakkavad soojemaks minema ja merepinnale ilmub sinivetikas, konkureerib põisadru toitainete ja valguse pärast. Ettekasvatussüsteem aitab leevendada toitainete ja valguse vajakajäämist. Sügisel kui meres on toitainete pärast konkureerimist vähem, viivad merebioloogid kuubikutes kasvatatud põisadrud sobivatesse elupaikadesse. Kuubikuid saab kasutada transpordiks, sulgedes põhjas olevad augud spetsiaalse keeratava korgiga.

Riulisüsteemi (lisa 4) komponendid:

- Pleksiklaasist kuubikud
  - 440x452,5x440 mm (ajuplaat)
  - 440x610x440 mm (tehiskorall)
  - 1870x452,5x440 mm (ajuplaat, keskmine)
- Terastorud: erinevad mõõdud
- Torude ühendamiseks vahelülid: läbimõõt 150 mm
- Silikoon kapillaarid: pikkus sõltub kuubikute vahedest
- Betoonjalad: 300x200 mm
- Termotöödeldud lehis: 65x1847x28 mm
- Kuubikutele transpordiks kork (keeratav): läbimõõt 30 mm

Riulisüsteem (pilt 17) koosneb kolmest erimõõtudes pleksiklaasist kuubikutest. Kuubiku seinapaksus on 20 mm, mis tagab raskusele kandevõime. 20 mm pleksiklaasi kasutatakse erinevate basseinide tegemiseks. Kuubikutevahelist veeliikumist reguleerivad läbipaistvast silikoonist kapillaarid läbimõõduga 30 mm, pikkus sõltub kuubikute omavahelisest kaugusest. Betoonjalad on mõõdus 300x200 mm tagamaks riuli püstipüsimise. Terastorud on

kuumtsingitud, mis muudab need vastupidavaks Eesti ilmastikuoludele. Torude ühendamiseks kasutatakse 150 mm läbimõõduga kerasid. Kerad koosnevad toruliitmikest, vormi surutud lehtmestallist, mis on omavahel kokku keevitatud, keevituskohad on lihvitud ja hiljem värvitud. Kerade värvus tuleneb põisadru keemilisest koostisest (valge – vesinik, must – süsinik, sinine – lämmastik, punane – hapnik). Riiulile on antud mahuline vorm, mille alla on lisatud termotöödeldud lehisest istumisalused (65x1847x28 mm). Riiuli kõrgus on 2750 mm, sügavus 2091 mm ja laius 3340 mm (lisa 4).

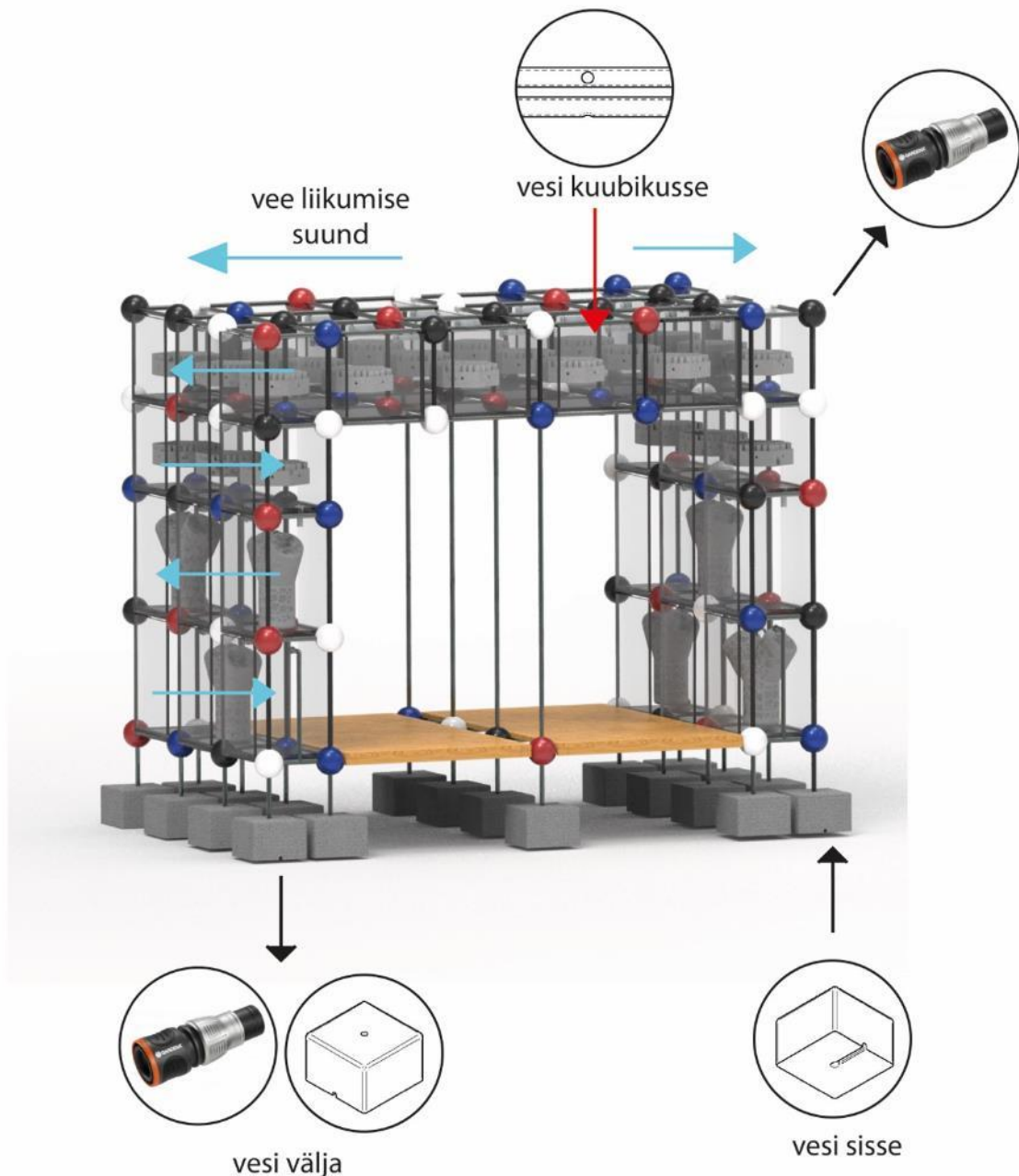


Pilt 17 Maismaalendus, ettekasvatussüsteem.

Vesi tuuakse kuubikutesse sukelpumba abil. Sukelpumba voolik viiakse betoonjalaga läbi spetsiaalse augu ja mööda torusid taha ülemisse vasakusse nurka, kus kinnitatakse vooliku kiirliitmikuga (pilt 18). Vesi liigub mööda toru kolmanda kuubikuni ja väljub toru sisse tehtud august. Esmalt täitub suur keskmine kuubik ning siis ülejäänud teised. Vesi liigub



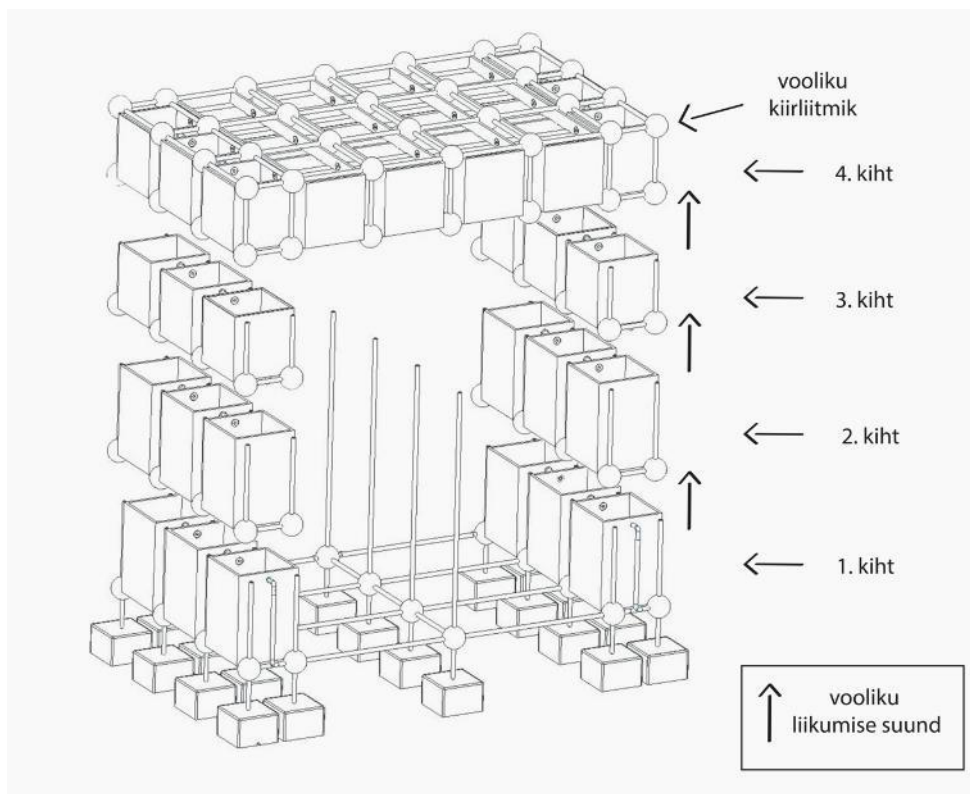
kuubikuid mööda läbi kapillaaride. Kuna vesi peab olema pidevas ringluses, siis taga mõ-  
 lema kuubiku ottest väljub vesi, liigub mööda istmeplaadi all olevat toru paremasse betoon-  
 jalga. Betoonjalga saab ühendada kraaniliitmiku ning seejärel vooliku kiirliitmiku otsa  
 ühendada. Mööda voolikut jõuab vesi merre tagasi. Sukelpumbaga saab reguleerida toitai-  
 nete kättesaadavust merest ning selle abiga toimub kiire veevahetus.



Pilt 18 Riiuli veesüsteem. Kiirliitmiku foto: Bauhof s.a.

Riiul tuleb kokku panna kihtide haaval (joonis 10). Iga kihi alguses tuleb lisada kuubikud. Kuubikud on eelnevalt täidetud mereveega, ajuplaatide ning tehiskorallidega. Kõrgemate

kuubikute tõstmiseks tuleb kasutada tõstuki või kraana abi. Kihtide kokku ladumisel tuleks vee sissevooluks tarvilikku voolikut liigutada läbi toruliitmike kuni viimase kihi nurgani, kus vooliku saab ühendada kiirliitmikuga.



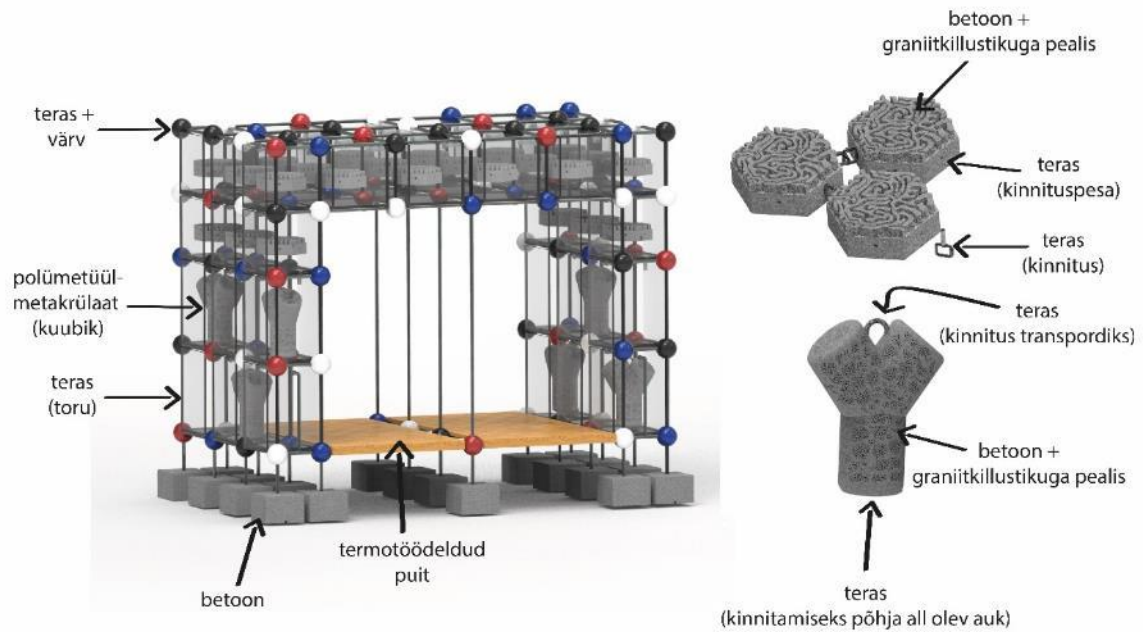
Joonis 10 Riiuli kokkupanemise juhend. (autori erakogu)

### 3.4. Materjalide elutsükkel

Käesolevas peatükis analüüsin kõiki disainilahendustes kasutatavaid materjale (pilt 19), et välja selgitada nende elutsükkel. Materjalide elutsükli analüüsiks kasutasin Ellen MacArthur Foundation' poolt loodud abimaterjale ja juhendeid. Täpsemalt lähtusin Safe & Circular „Material Journey Mapping“ juhendist (Ellen MacArthur Foundation s.a.).

Materjalide elutsükli analüüsimise eesmärk on välja selgitada disainilahendustes kasutatavate materjalide eluiga ning mis saab nendest pärast seda, kui toote kasutamine lõpeb. Materjalide elutsükli analüüsimine on hea võimalus aru saada, kas mõnda materjali saab parandada ja kasutada juba uuesti ringlusesse võetuna ilma, et see oleks oma põhiomadusi kaotanud. Disainilahendustes olen kasutanud kolme põhimaterjali: teras, betoon-graniit, polümeetilmetakrülaad (PMMA) ehk akrüülklaas (pleksiklaas).

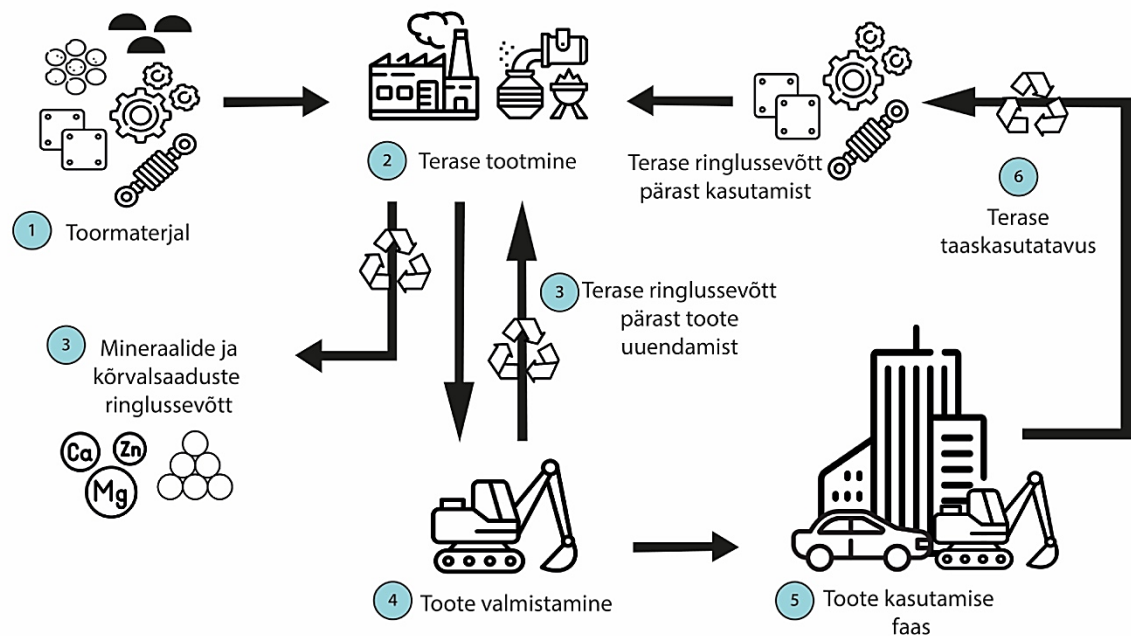




Pilt 19 Disainilahendustes kasutatavad materjalid. (autori erakogu)

### 3.4.1. Teras

Terase elutsükkel on nummerdatud ning iga numbri juures kirjeldan toimuvat (joonis 11).



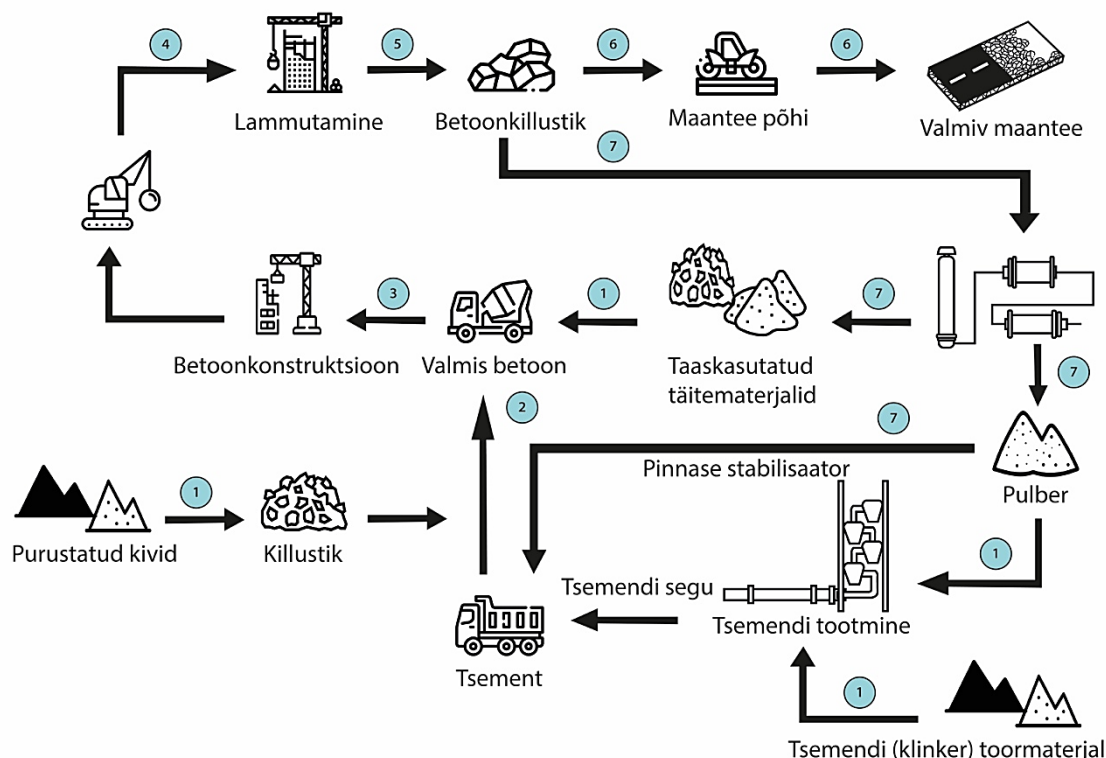
Joonis 11 Teras elutsükkel. Allikas: autori koostatud SSAB s.a. põhjal ning kasutatud flatiron s.a. ikoone.

1. Toormaterjal - vastutustundlikult hangitud ehk kasutatud Euroopas tegutsevaid ettevõtteid, mis vastavad nõuetele (vastutustundlik kaevandamine ettevõtete poolt), transportimisele ei kulu liigseid ressursse.
2. Terase tootmine – tootmine toimub kahe erineva protsessina: toormest puhta metalli tootmine ja vanarauast metalli tootmine.
3. Jääkidest uuesti tootmine – asendatakse esmast toorainet (rauamaak), tulemuseks on jäätmekoguste vähenemine ja materjali efektiivsuse suurenemine. Kõiki jääke ei ole võimalik uuesti tootmisprotsessi suunata. Need kogutakse kokku, müüakse edasi või arendatakse uus tuluallikas, et kogu materjal saaks uuesti ringlusesse.
4. Ressursitõhus toote valmistamine – kõrgtugeva terase kasutamine, mis on võrreldes standardterasega tugevam ja sellest ehitatud konstruktsioonid on kergemad. Tootmisprotsessis väheneb rauamaagi, legerivate elementide, süsiniku ja energia kasutamine.
5. Toote kasutamise faas – kõrgtugevast terasest tooted on vastupidavamad ja kergema kaaluga, mis omakorda vähendab terase tootmisest tulenevat heitgaaside kogust. Samuti võib toode pidada vastu aastakümneid.
6. Terase taaskasutamine – maailmas ainulaadsem materjal, kuna säilitab oma omadused olenemata sellest, kui mitu korda seda ümber töödeldakse. Sellega säästetakse osaliselt loodusressursse ning paisatakse õhku vähem heitgaase. Kuna terase nõudlus on suurem kui vanarauada maailmas kokku, siis paratamatult tuleb rauamaagist primaarterast toota. (SSAB s.a.)

### **3.4.2. Betoon**

Betoon on komposiitmaterjal, mida saadakse tsemendi, täitematerjalide ja vee kokkusegamiisel (joonis 12). Täitematerjalidena kasutatakse graniit- või paekivi killustikku ja liiva. Tsement on valmistatud lubjakivist (paekivi või dolomiit). Kuna ehitus- ja lammutusprahti tekib pidevalt, siis on see valdkond pälvinud tähelepanu alles hiljuti. (Ganiron 2015) Ehitussektor on üks kiiremini arenevaid valdkondi, kus kasutatakse ligikaudu 50% kõigist kaevandatud materjalidest ning on suurim kasvuhuonegaaside tekitaja. ELi ehitussektoris tekib kokku üle 35% kõikidest jäätmetest. 2021. aastal võttis Euroopa Liit vastu uue ringmajanduse direktiivi, mis keskendub ressursitõhususele ja ringmajandusele. Kui varasemalt on lubatud kergekäeliselt viia ehitus- ja lammutuspraht niinimetatud augutäiteks, siis nüüd on

ehitusvaldkond kohustatud käitlema jäätmeid ja taaskasutama materjale, vähendades sellega mõju keskkonnale. (Euroopa komisjon 2020)

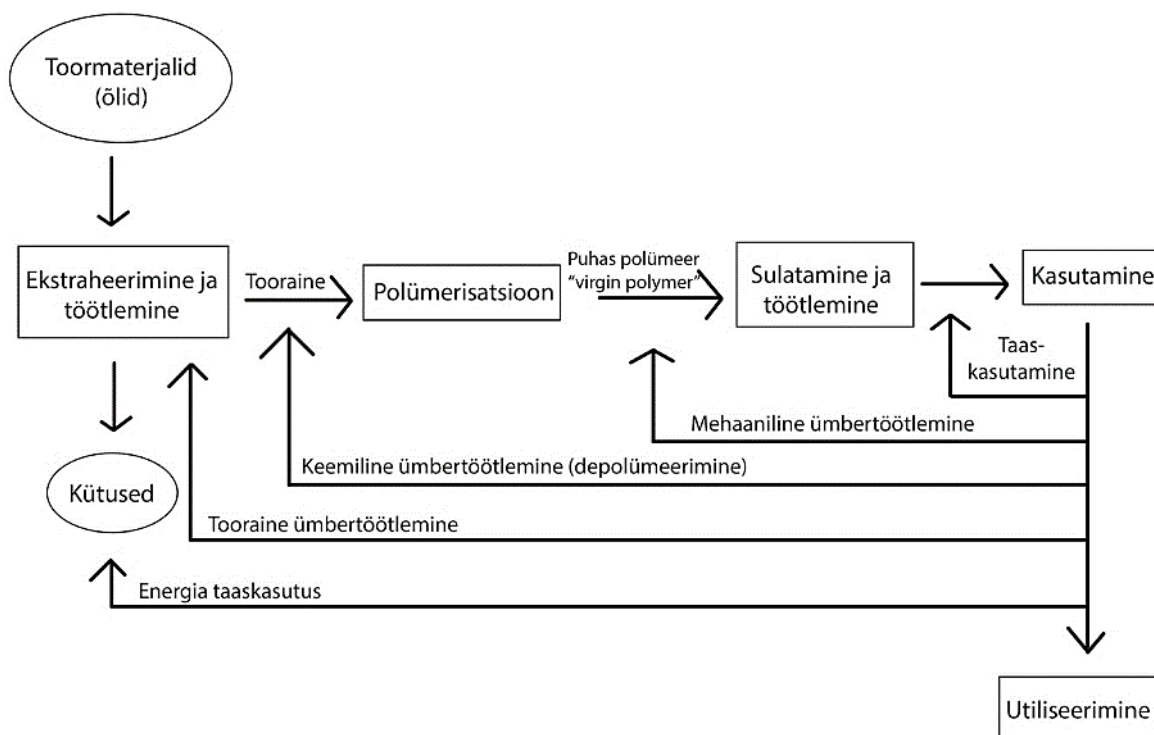


Joonis 12 Betooni elutsüklil. Allikas: autori koostatud Ganiron 2015 põhjal ja kasutatud flaticon s.a ikoone.

1. Tsemendi ja betooni toormaterjalid – lubjakivimid: betooni täitematerjalideks graaniit- või paekivi killustik; tsemendi klinkri tootmiseks kasutatakse paekivi või doloomiiti.
2. Valmis betoon – tsement, täitematerjalid ja vesi segatakse kokku.
3. Betoonkonstruktsioon – erinevate objektide ehitamine, kus vajatakse betooni
4. Ehitusprahi tekkimine ehk lammutamine – hoonete ja rajatiste hävitamine maaväri- nate, ohtlikkuse või sõja tagajärjel.
5. Pärast lammutamist betoonjäätmed purustatakse, saadakse betoonkillustik, mida saab edaspidi kasutada neljal erineval viisil.
6. Betoonkillustikku kasutatakse täitematerjalina maanteede ehitusel. Täitematerjalina asendab see liiva.
7. Betoonkillustik sõelutakse ja kasutatakse uuesti betoonis täitematerjalina; sõelutakse ja purustatakse pulbriks – betoonpulbrit kasutatakse tsemendi tootmisel ja pinnase stabilisaatorina (mulla happesuse reguleerimine). (Ganiron 2015)

### 3.4.3. Polümetüülmetakrülaad (PMMA) ehk akrüülklaas

Polümetüülmetakrülaad (PMMA) on termoplast (joonis 13), mis omaduste poolest on vastupidav, kerge, läbipaistev, kõva, jäik ja taaskasutatav. Aastakümneid tagasi kuulus akrüülklaas ehk PMMA plasti hulka, mida ei ole võimalik ümber töödelda, kuid tänapäeval uuemate tehnoloogiate kaasabil on erinevate polümeeride ringlusesse võtmine võimalik.



Joonis 13 Tööstuslik polümeersete materjalide ümbertöötlemine. Allikas: autori koostatud Esmizadeh jt 2018 põhjal.

- Esmane ringlussevõtt või taaskasutamine toimub tehasesiseselt, kus tekivad tootmisjäätgid ehk *scrap material*. Tootmisjäätgid töödeldakse ümber, mis on lihtne ja madalate tootmiskuludega, kuid see eeldab, et ümbertöödeldav jäätmepolümeer on ühte tüüpi ja puhtal ehk saastamata kujul.
- Mehaaniline ümbertöötlemine – Toimub protsess, kus polümeer on saasteainetest eraldatav. Polümeer töödeldakse ümber graanuliteks, kasutades tavapäraselt

sulaekstrusiooni<sup>34</sup>. Mehaaniline ümbertöötlemine hõlmab rida etappe, sealhulgas jäätmete eraldamist ja nende kogumist, osakeste suuruse vähendamist ja saadud sulami filtreerimist. Sellise ümbertöötlusviisi puudus on toote omaduste halvenemine pärast iga tsüklit.

- Keemiline või tooraine (lähteaine) ümbertöötlemine – Selline lähenemisviis tähendab polümeerimaterjalide muundamist mitmesugusteks produktideks, sealhulgas algseteks monomeerideks, oligomeerideks või muude süsivesinikuühendite segudeks, kasutades kuumust või keemilisi aineid ehk reagente<sup>35</sup>.
- Energia taaskasutus (pürolüüs<sup>36</sup>) – Meetodis kasutatakse orgaanilise aine mahu vähendamiseks polümeeride süütamist. Hoolimata asjaolust, et polümeerid on suure tootlikkusega energiaallikad, on seda meetodit süüdistatud kui ökoloogiliselt vastuvõetamatut lähenemist mürgiste ainetega (nt dioksiinidega) saastatud õhu kõrge ter- viseriski tõttu (kloori sisaldavate polümeeride puhul). (Esmizadeh jt 2018)

#### 3.4.4. Puit

Puit on biolagunev ja hõlpsasti korduvkasutatav, kui seda ei ole töödeldud kemikaalidega. Puidu ringmajanduslik elutsüklil (joonis 14) saab alguse puu mahavõtmisest. Edasi jagatakse puit kaheks erinevaks kategooriaks: ümarpuit ning raidmed ja koored. Ümarpuit jaguneb puitmassiks ja mehaaniliselt töödeldud puiduks. Puitmassist on võimalik toota pakke- materjale ja paberit, mille kiude saab korduvalt ümbertöödelda. Lisaks on võimalik kasutada puitmassi ja ümbertöödeldud kiude tekstiilide ja komposiitmaterjalide ning kütuste ja kee- miatoodete valmistamiseks. Mehaaniliselt töödeldud puidule antakse kindlad vormid puit- toodetena, mille hilisema ümberkäitlemisena saab ringlusesse suunata. Mehaaniliselt töö- deldud puit, mida on erinevate kemikaalidega töödeldud kasutatakse elektri- ja soojusener- gia saamiseks või biorafineerimiseks, millest saadakse keemiatooted ja kütused. Puidu raid- med ja koored suunatakse otse põletamise või biorafineerimisse. (Küttim jt 2021) Autorina

---

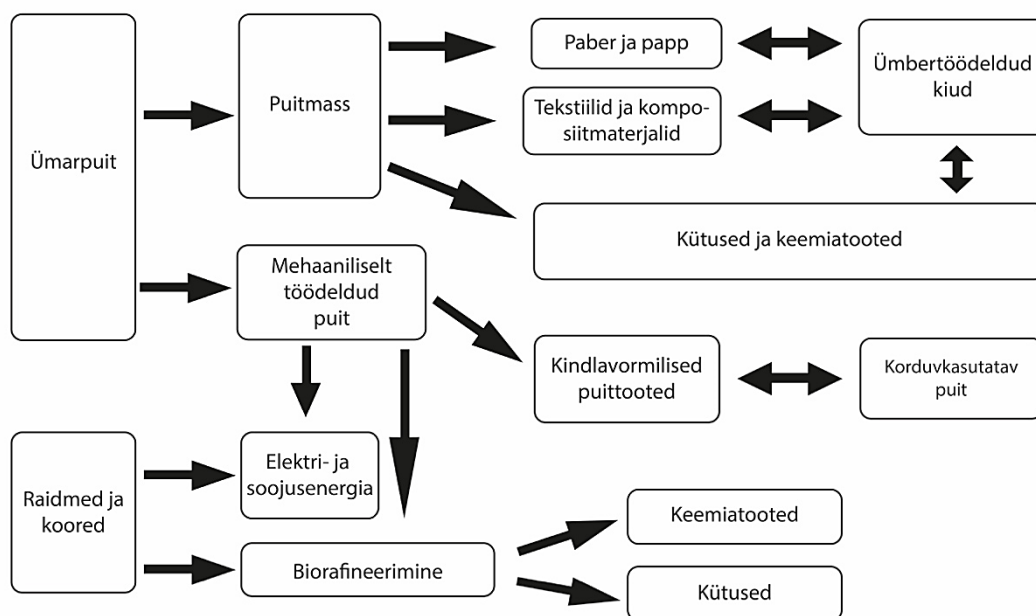
<sup>34</sup> Ekstrusioon – meetod, kus sula polümeer surutakse läbi vormiva otsiku konstantse ristlõikega tooteks (plaat, kile, toru, varras, profiiltooted).

<sup>35</sup> Reagent – keemiline aine või ioon, mis võtab osa keemilisest reaktsioonist, on üks reaktsiooni lähteainetest ja kasutatakse ära reaktsiooni käigus.

<sup>36</sup> Pürolüüs – aine muundumine kõrgel temperatuuril ilma õhu juurdepääsuta lihtsamateks ühenditeks.

ei pea ma õigeks puidu massilist põletamist, kui on välja töötatud viisid, kuidas olemasolevat puitu vääridada ning elektri- ja soojusenergiat saada.

Oma disainilahenduses kasutan termopuitu, mille töötlemiseks on kasutatud kuumust ja veeauru. Termopuidu eluiga on võrreldes tavapuiduga kuni 25 korda pikem. Selle eeliseks on tugevus, pikem eluiga, sobivus nii sise- kui välitingimustesse, heitlikele ilmastikuoludele vastupidavus ning seda pole vaja töödelda kemikaalidega. Termotöödeldud puidu kasutamine aitab vähendada keskkonnamõjusid tarbitava puidu pideva väljavahetamise ning erinevate kemikaalide kasutamise poolest. Samuti on seda pärast eluea lõppu lihtne ümbertöötelda ja taaskasutada. (Thermory s.a) Termotöötamise üheks negatiivseks keskkonnamõjuku võib lugeda magevee kasutamist, mille ressursid võivad ühel hetkel olla piiratud. Kliimamuutustega arvestades tuleks leida veeauru tekitamiseks uued lahendused, kogudes ja kasutades ära vihmavett või puhastatud reovett, mis suunatakse muidu Läänemerre.



Joonis 14 Puidu elutsükel. Allikas: autori koostatud Küttim jt 2021 põhjal.

Kõikide kasutatavate materjalide elutsükli analüüsimise põhjal võib öelda, et disainilahendustes kasutatavaid materjale saab taaskasutada, vähendades sellega keskkonnale tekitavaid kahjusid. Samuti pikendab materjalide eluiga õige hooldus (maismaalahendus) ning uute tehnoloogiliste lahenduste kasutamine (termotöödeldud puit).

### 3.5. Lahenduste analüüs

Selleks, et mõista suuremat pilti disainlahendustes kasutatavate materjalide ning lahenduste rakendamise mõjust keskkonnale, tuli läbida erinevaid faase nagu probleemi suuruse teadvustamine, põisadru elutsükli tundmaõppimine ning iga kasutatava materjali elutsükli analüüsimine. Esmalt koostas in lähteülesande, kuhu said kirja põisadru tingimused lahendustele ning nõudmised materjalidele. Iga kasutatava materjali kohta analüüsisin selle elutsükli, mis aitas mõtestada lahti, kus lõppeb selle eluiga ning mida saab tarbida taaskasutatuna. Teadaolevalt vähendavad uuesti ringlusesse võetud materjalid toorme tarbimist ning õige ümbertöötlusviis muudab nende tegelikke omadusi minimaalselt. Samuti tuleks materjale valides pidada silmas vastupidavust keskkonnale ning kergesti hooldatavust, mis omakorda pikendavad nende eluiga.

Magistritöö disainilahendustes olen valinud materjalid, mida töödeldakse tootmise käigus vastupidavaks. Samuti on pärast tootmist nende eelis pikem eluiga ilma, et tootmisjärgselt kasutataks erinevaid kemikaale. Tootmisjärgselt keemiliste ainete kasutamine vähendab materjalide (nt puit) ringlussevõttu. Lisaks tuleb teadvustada, et erinevate tehnoloogiliste lahenduste kasutamine materjalide vastupidavaks muutmisel ja ümbertöötlemisel tuleb mõne muu ressursi (nt magevesi, mineraalid) arvelt. Kuid oluline on leida nende vahel kompromiss. Parim võimalik kompromiss on disainida võimalikult pika elueaga toode, mille osad on kergesti vahetatavad või parandatavad ning mida saab vajadusel ümber töödelda.

Disainilahendustes olen lähtunud eelnevalt kirjeldatud põhimõtetest ning loonud kolm potentsiaalset lahendust põisadru kasvukohtade säilitamiseks. Disainilahenduste eeldatav eluiga, sõltuvalt materjalist, vahetatavatest osadest ning hooldusest, võib olla 30+ aastat. Tulevikuperspektiivis nende lahenduste rakendamise eeliseks on põisadru kasvamine ja kasvatamine seal, kus tavatingimustes ei oleks see võimalik. Lisaks aitab põisadru sealsetes piirkondades vähendada eutrofeerumist – puhastades vett ja tootes hapnikku. Täpsemate mõjude uurimiseks tuleks kaasata spetsialistid ning viia läbi hulganisti katseid.



### 3.6. Illustratiivne materjal



Pilt 20 Riulisüsteem keskkonnas. (autori erakogu). Ikoonid: PNGWings s.a.



Pilt 21 Riulisüsteem keskkonnas, kus elekter ja merevesi on kättesaadav. (autori erakogu)

# KOKKUVÕTE

Käesolevat magistritööd ajendas kirjutama inimkonna suur mõju Läänemerele ning sellest tingituna põisadru kasvukohtade hävinemine, lisaks huvi teada saada, kuidas vetikas funktsioneerib. Põisadrul tuleb võidelda ellujäämise nimel pidevate kliimamuutustega kasvukeskkonna, toitainete ja valguse pärast. Põisadru täieliku hävinemise korral kaovad Läänemeres mereelukad ehk toit, hävineb sealne ökosüsteem ning miski ei seo atmosfäärist efektiivselt CO<sub>2</sub>te.

Magistritöö eesmärgiks oli välja selgitada põhjused, miks põisadru kasvukohad hävinevad ning pakkuda välja alternatiivsed lahendused nende säilitamiseks. Oma töös olen lahendanud ära mitmed probleemid, mis pär�ivad põisadru kasvu ning kasvatamist tänapäeva Läänemere tingimustes.

Töö jaotub kaheks – taustauuringu ja lahenduse osaks. Taustauuringu osas uurisin põisadru morfoloogilisi ja anatoomilisi eripärasid, pärssivaid tegureid ning andsin ülevaate põisadru vajalikkusest, elutsüklist. Taustauuringut koostades uurisin põisadru ehitust rakutasandini, et aru saada, mis tingimused tuleb täita põisadru kunstlike kasvukohtade loomiseks. Põisadru kasvamiseks läheb vaja kõiki 21 keemilist elementi, mis merevees leidub (vt LISA 1). Nendest 8 elementi on vajalikud (süsinik, vesinik, hapnik, lämmastik, magneesium, vask, mangaan, tsink) ning neid ei saa asendada. Väävel, kaalium, kaltsium on kasvamiseks vajalikud, kuid neid saab osaliselt asendada teiste elementidega. Makrovetikad vajavad kõiki merevee põhikomponente, välja arvatud strontsium ja fluor. Lisaks vajab põisadru kasvamiseks valgust, eelistatud veetemperatuur kasvamiseks peaks jääma 0-20 kraadi vahele ning kinnitumiseks karedat pinnast. Taimedes on peamisteks ainevahetusprotsessideks vaja kuni 21 keemilist elementi, kuid vetikates võib esineda neid kaks korda rohkem.

Lahenduse osas lõin kolmele disainlahendusele (ajuplaat, tehiskorall, riiulisüsteem) 3D mudelid, kirjeldasin alternatiivseid olemasolevaid lahendusi, analüüsisin ja kirjeldasin täpselt kontseptsiooni. Disainilahendustes lähtusin ringmajanduse printsiipidest ehk analüüsisin kõikide kasutatavate materjalide elutsükli. Materjalide elutsükli analüüsimisel selgus, et maismaalahenduses saab taaskasutatuna kasutada vähemalt kahte materjali (betoon, terras). Merekeskkonda sobivate lahenduste (ajuplaat ja tehiskorall) kasutamisel tuleb aga

kasutada toormaterjalist tehtud betoon-graniit lahendusi, taaskasutatuna kaotab betoon mingil määral oma tugevuse ning võib kergemini vees lagunema hakata. Disainilahenduste loomisel oli tähtis, et materjalide valimisel ja kasutamisel sobituksid need ringmajanduse tsükliks. Läbi tuli ka mõelda, kui suurte mõõtmetega ajuplaat, tehiskorall ja kuubikud tulevad, sest sellest sõltub transport ja edasine paigaldus. Samuti tuli ära lahendada riisüsteemi puhul elektri küsimus ning leida sobivad keskkonnad, kuhu see sobituks ja oleks võimalik paigaldada.

Kokkuvõtteks leidsin, et potentsiaalseid põisadru kasvukohti on võimalik juurde luua, kasutades ära olemasolevaid objekte meres ning lisada juurde praegused disainilahendused. Näiteks saab selliseid lahendusi kasutada kohtades, kus merepõhjas puudub tugevam pinnas põisadru kinnitumiseks. Kasvukohtade säilitamine aga on keerukas ja pikaajaline protsess, mille käigus tuleks inimtegevust mitmes aspektis kontrollida, samuti mõjutavad kliimaatilised tegurid nagu tuulesuund ja soolsus, mida ei ole võimalik kontrollida. Leian, et praegu oleks viimane aeg kasutada ära soodsaid Läänemere tingimusi ja lubada suures mahus vetikakasvandused Eestis. Põisadru kasvukohtade säilitamisega saame anda oma panuse ökosüsteemi kokkuvarisemise ja kliimamuutuste pidurdamiseks.

Tulevikuperspektiivis näen, et ajuplaate oleks võimalik rakendada nõudliku põisadru kasvatamiseks ka avamere vetikakasvandustes. Lahenduste rakendamiseks oleks vajalik teha ajuplaatide hõljuma panemiseks täpsemad arvutused ja läbi viia esialgsete vormidega katsetused merevees ning maismaal.

# SUMMARY

This master's thesis was inspired by the influence of mankind on the Baltic Sea and the destruction of bladderwrack habitats due to it, in addition the interest in finding out how algae functions. The bladderwrack must fight with constant climate change in order to survive and retain its growth environment, nutrients and light. In total devastation on the bladderwrack the Baltic Sea sealife would lose a source of food, the ecosystem would fall apart and there would be less carbon dioxide retained.

The aim of the master's thesis was to find out the reasons why the growth sites of the bladder wreck are destroyed and propose alternative solutions for their preservation. I have solved several problems that inhibit the growth and cultivation of bladder wrack in the conditions of the Baltic Sea.

The work is divided into two parts – the background research and solution. In terms of background research, I studied the morphological and anatomical features of the bladderwrack, the inhibitory factors and an overview of the importance of bladderwrack and its general life cycle. During the preparation of the theoretical part, I examined the bladderwrack construction to the cellular level to understand which conditions must be met for creating it's artificial habitats. All 21 elements present in seawater are needed to grow a bladderwrack (see ANNEX 1). Of these, 8 elements are most needed (carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen, magnesium, copper, manganese, zinc) as they cannot be replaced. Sulfur, Potassium, calcium are also necessary for growth, but they can be partially replaced by other elements. Macroalgae require all the main components of seawater, with the exception of strontium and fluorine. In addition, the bladder wreck needs light to grow, preferable water temperature between 0-20 degrees and it requires a rough surface for attachment. In plants, up to 21 elements are needed for the main metabolic processes, but in algae there may be twice as many of them.

In part of solution, I created 3D models for three designs (brain plate, artificial coral, shelving system), described alternative existing solutions, analyzed and described the concept in more detail. Before proposing designs, I analyzed the life cycle of all the materials that would be used. During analysis for land-based design I revealed at least two materials can

be used from recycled sources, concrete and steel. However for marine-based solutions (brain plate and artificial coral) it is necessary to use granite concrete made from raw materials. It is due to the fact that recycled concrete loses some of its strength and might start to decay when submerged into water. Circular economy was important to me when proposing the design solutions, the materials used had to fit into that concept. It was also necessary to think about the size of the brainboard, artificial coral and cubes, because transport and further installation depend on it. In my shelving system I had to solve electrical wiring and found the appropriate environments to where to install it.

To summarize my work, I found that potential bladderwrack growth sites could be created taking advantage of existing objects in the sea and adding proposed design solutions. For example the design solutions could be used in places where the seabed is softer and not suitable for bladderwrack to attach to the seabed. However, maintaining habitats is a complex and long-term process in which human activities as well as climatic factors such as wind direction and salinity play a big role in. I think it is high time we took advantage of the benefits in the Baltic Sea where conditions allow large-scale algae farms in Estonia. By maintaining bladderwrack habitats we can contribute to slow down the collapse of Baltic Sea ecosystem and overall fight climate change.

In the future, I see that brain plates could also be used to grow demanding bladderwrack in offshore algae farms. In order to implement the solutions, it would be necessary to perform more precise calculations to make the brain plates float and to perform experiments with the initial forms in seawater and on land.

# ALLIKAD

Aqua Pontoons 1300 [s.a.]. <https://aquapontoons.com.au/how-a-pontoon-is-made-and-its-journey-to-the-water/> (vaadatud 03.05.2022)

Bauhof [s.a.]. <https://www.bauhof.ee/et/suvi-aias/voolikuliitmik-gardena-premium-3-4-veesulguriga-642305> (vaadatud 03.05.2022)

Berger, Rita; Bergström, Lena; Granéli, Edna; Kautsky, Lena 2004. How does eutrophication affect different life stages of *Fucus vesiculosus* in the Baltic Sea? – a conceptual model. – *Hydrobiologia*, 514, lk 244.

Berger, Rita; Malm, Torleif; Kautsky, Lena 2001. Two reproductive strategies in Baltic *Fucus vesiculosus* (Phaeophyceae). – *European Journal of Phycology*, 36(3), lk 266.

Bonsdorff, E; Nelson W. G. 1996. Apical growth-measurements of *Fucus vesiculosus* L.: Limited value in monitoring. – *Botanica Marina*, vol 39, lk 129.

Deniaud-Bouet, Estelle; Kervarec, Nelly; Michel, Gurvan; Tonon, Thierry; Kloareg, Bernard; Herve, Cecile 2013. Chemical and enzymatic fractionation of cell walls from Fucales: insights into the structure of the extracellular matrix of brown algae. *Annals of Botany*. Suurbritannia: Oxford University Press, lk 1–14.

Ellen MacArthur Foundation [s.a.], Materials Journey Mapping. <https://www.circulardesignguide.com/post/journey-mapping> (vaadatud 20.04.2022)

Euroopa komisjon. 2020. Uus ringmajanduse tegevuskava. Puhtama ja konkurentsivõimelisema Euroopa nimel. Brüssel.

Esmizadeh, Elnaz; Khalili, Saeed; Vahidifar, Ali; Naderi Ghasem; Dubois, Charles 2018. Waste Polymethyl Methacrylate (PMMA): Recycling and High-yield Monomer Recover. – *Handbook of ecomaterials*, lk 1–33.

FAO 2018. Achieving Blue Growth. Building vibrant fisheries and aquaculture communities. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, lk 1–24.

FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en> (vaadatud 01.05.2022)

Fisheries Research and Development Corporation (FRDC) [s.a.]. Seaweeds beckon tomorrow's farmers. <https://www.frdc.com.au/fish-vol-27-4/seaweeds-beckon-tomorrows-farmers> (vaadatud 25.04.2022)

Flaticon [s.a]. <https://www.flaticon.com> (vaadatud 13.05.2022)

Forslund, Helena; Kautsky, Lena 2013. Reproduction and reproductive isolation in *Fucus radicans* (Phaeophyceae). – *Marine Biology Research*, 9(3), lk 323.

Ganiron, Tomas Ucol Jr. 2015. Recycling Concrete Debris from Construction and Demolition Waste. – *International Journal of Advanced Science and Technology*, vol. 77, lk 7–24.

Ghadge, Mukesh D.; Kamble, Vaibhav D. 2015. Floating Concrete by using Light Weight Aggregates and Air Entraining Agent. – *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol 4, lk 193–196.

Graiff, Angelika; Dankworth, Marie; Wahl, Martin; Karsten, Ulf; Bartsch, Inka 2017. Seasonal variations of *Fucus vesiculosus* fertility under ocean acidification and warming in the western Baltic Sea. – *Botanica Marina*, 60(3), lk 240; 248.

Heckwolf, Melanie J.; Peterson, Anneliis; Jänes, Holger; Horne, Paula; Künne, Jana; Liveridge, Kiran; Sajeve, Maurizio; Reusch, Thorsten B.H.; Kotta, Jonne 2021. From ecosystems to socio-economic benefits: A systematic review of coastal ecosystem services in the Baltic Sea. – *Science of the Total Environment*, volume 755, lk 2-8.

HELCOM Red List Macrophyte Expert Group 2013, HELCOM, <https://helcom.fi/media/red%20list%20species%20information%20sheet/HELCOM-Red-List-Fucus-vesiculosus.pdf> (vaadatud 13.03.2022)



Hurd, Catriona L.; Harrison, Paul J.; Bischof, Kai; Lobban, Christopher S. 2014. 2nd ed. *Seaweed ecology and physiology*. New York: Cambridge University Press.

Johannesson, Kerstin; André, Carl 2006. Life on the margin: genetic isolation and diversity loss in a peripheral marine ecosystem, the Baltic Sea. – *Molecular Ecology*, 15, lk 2014.

Kotta, Jonne; Jänes, Holger; Paalme, Tiina; Peterson, Anneliis; Kotta, Ilmar; Aps, Robert; Svaza-Kovats, Robert; Kaasik, Ants; Fetissof, Mihhail 2020. GoA 2.1. Assessing the Pan-Baltic potential of macroalgae cultivation and of harvesting wild stock.

Kraan, Wouter H. 2018. The influence of nutrient availability, salinity, temperature and the underwater light climate on the growth of seaweed. – *Pre-master marine biology*.

Kraufvelin, Patrik; Ruuskanen, Ari T.; Bäck, Saara; Russell, George 2012. Increased seawater temperature and light during early springs accelerate receptacle growth of *Fucus vesiculosus* in the northern Baltic proper. – *Marine biology*, 159(8), lk 1805.

Kukk, Toomas 1996. *Sissejuhatatus taimeanatoomiasse*. Tartu: Tartu Ülikooli kirjastus. <http://www.zbi.ee/~tomkukk/anatoom/anato1.htm#2.5.1>. (vaadatud 30.03.2022)

Küttim, Martin; Hansen, Kaisa; Küttim, Liisa 2021. Eesti ringmajanduse tulevikupotentsiaali ja vajalike meetmete uuring. Tallinn. <https://www.technopolis-group.com/wp-content/uploads/2021/08/Mets-Puit6.pdf>

Lee, Robert Edward 2018. *Phycology. Heterokontophyta*. New York: Cambridge University Press, lk 464–475.

Malm, T.; Kautsky, L; Claesson, T. 2003. The Density and Survival of *Fucus vesiculosus* L. (Fucales, Phaeophyta) on Different Bedrock Types on a Baltic Sea Moraine Coast. *Botanica Marina*, vol 46, lk 256.

Malm, Torleif; Kautsky, Lena 2004. Are Bladderwrack (*Fucus vesiculosus* L.) holdfasts that support several fronds composed of one or several genetic individuals? – *Aquatic botany*, 80, lk 222.

Nocamels Israeli Innovation News. <https://nocamels.com/2015/08/seakura-seaweed-super-food/> (vaadatud 25.04.2022)

Parksepp, Anette 2019. Läänemeri lämbub ja see on sinu süü. – *Eesti Päevaleht*. <https://epl.delfi.ee/artikkel/86585721/laanemeri-lambub-ja-see-on-sinu-suu> (vaadatud 15.04.2022)

Pereyra, R.T.; Huenchunir, C.; Johansson, D.; Forslund, H.; Kautsky, L.; Jonsson, P.R.; Johannesson, K. 2013. Parallel speciation or long-distance dispersal? Lessons from seaweeds (*Fucus*) in the Baltic Sea. – *Journal of evolutionary biology*, 26(8), lk 1728.

Pexels [s.a.]. <https://www.pexels.com> (vaadatud 03.05.2022)

PEW [s.a.]. Seaweed Farming Has Vast Potential (But Good Luck Getting a Permit). <https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/blogs/stateline/2022/03/07/seaweed-farming-has-vast-potential-but-good-luck-getting-a-permit> (vaadatud 25.04.2022)

Pirita Top [s.a.]. <https://www.piritatop.ee/pilte-sadamast/> (vaadatud 15.04.2022)

PNGWings [s.a.]. <https://www.pngwing.com> (vaadatud 20.05.2022)

Ruuskanen, Ari; Bäck, Saara 2002. Morphological changes in submerged *Fucus vesiculosus* (L) (*Phaeophyta*) along the salinity gradient of the River Keret estuary, Russia. *Sarsia*, 87, lk185.

SSAB [s.a.]. Steel life cycle. <https://www.ssab.com/en/company/sustainability/sustainable-offering/steel-life-cycle> (vaadatud 2.05.2022)

SciTechDaily [s.a.]. Seaweed Farms in River Estuaries Can Significantly Reduce Nitrogen Concentrations and Prevent Environmental Pollution. <https://scitechdaily.com/seaweed-farms-in-river-estuaries-can-significantly-reduce-nitrogen-concentrations-and-prevent-environmental-pollution/> (vaadatud 25.04.2022)

Schagerström, Ellen; Forslund, Helena; Kautsky, Lena; Pärnoja, Merli; Kotte, Jonne 2014. Does thalli complexity and biomass affect the associated flora and fauna of two co-occurring *Fucus* species in the Baltic Sea? – *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 149, lk 187.

Siimon, Kaia-Liisa 2016. Põisadru morfoloogia ja sellega seotud selgrootute piirkondlikud erinevused suvel ja sügisel Soome lahe lõunaosas (magistritöö). Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, lk 5.

Tallinna Vesi 2021. AS Tallinna Vesi. Keskkonnaaruanne 2020. <https://tallinnavesi.ee/wp-content/uploads/2021/06/Keskkonnaaruanne-2020.pdf> (vaadatud 13.04.2022)

Thermory [s.a.]. <https://thermory.com/et/termotootlus/> (vaadatud 03.05.2022)

The Nature Conservancy [s.a.]. The Promise of Restorative Aquaculture Solutions. <https://www.nature.org/en-us/what-we-do/our-insights/perspectives/restorative-aquaculture-seaweed-farms-tanzania/> (vaadatud 25.04.2022)

Thomas, Jean-Baptiste E.; Ramos, Filipe Silvia; Gröndahl, Frederik 2019. Identifying suitable sites for macroalgae cultivation on the Swedish West Coast. – *Coastal Management*, lk 1–16.

Truus, Kalle; Vaher, Merike; Taure, Imants 2001. Algal Biomass from *Fucus vesiculosus* (Phaeophyta): Investigation of the Mineral and Alginate Components. Tallinn, lk 95–103.

Wahl, Martin; Jormalainen, Veijo; Eriksson Klemens, Britas; Coyer, James A; Molis, Markus; Schubert, Hendrik; Dethier, Megan; Karez, Rolf; Kruse, Inken; Lenz, Mark; Pearson, Gareth; Rohde, Sven; Wikström, Sofia A.; Olsen, Jeanine L. 2011. Stress Ecology in *Fucus*: Abiotic, Biotic and Genetic Interactions. – *Advances in Marine Biology*, vol 59, lk 64.

Warfe, Danielle M.; Barmuta, Leon A. 2006. Habitat structural complexity mediates food web dynamics in a freshwater macrophyte community. – *Oecologia*, 150, lk 142.

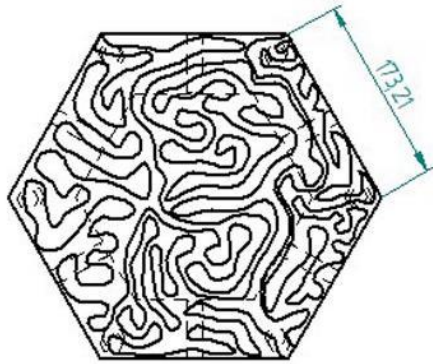
Wikström, Sofia A.; Kaustky, Lena 2007. Structure and diversity of invertebrate communities in the presence and absence of canopy-forming *Fucus vesiculosus* in the Baltic Sea. – *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 72, lk 169.

# LISA 1 PÕISADRU TOITAINED

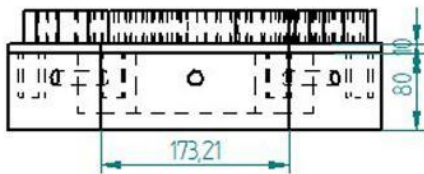
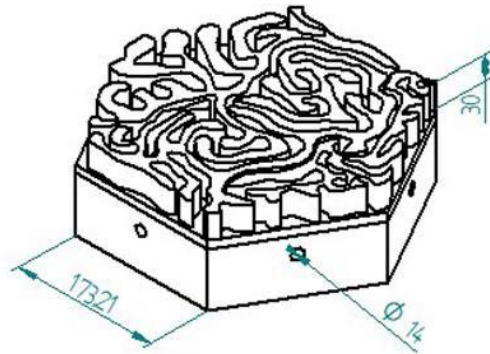
PÕISADRU KEEMILINE KOOSTIS	
SÜSINIK (C)	orgaaniline süsinik kasvaks vajalik, uue taime arenguks, geeniekspressioon, lahustunud anorgaaniline süsinik osaleb fotosünteesis, hingamine, metabolism , osaleb sekundaarsete metaboliitide moodustumisel (vetika kaitse herbivooride eest), lipiidide teke, polüsahhariidide moodustumine (mannitool, laminariin, kasutatakse kasvaks kui väline substraat on ammendunud), aminohapete ja valkude moodustumine, ökosüsteemis osalevatele organismidele toitained, lahustunud anorgaanilise süsiniku kaudu suudab tajuda vee liikumist
VESINIK (H)	lipiidide teke, elektronide transport, osaleb raku hingamises, fotosüntees, florotanniinide moodustumine (UV kiirguse eest kaitsevad ained, kaitseks herbivooride vastu), vesinikkarbonaat (H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) – aitab vee liikumise tuvastamisele kaasa, polüsahhariidide moodustumine
HAPNIK (O)	fotosünteesi jääkprodukt, lipiidide teke, fotingamine (PSII, PSI), reaktiivsed hapnikuliigid ehk stressisignaal (keskkonnastressi tajumiseks; nt. abiotiiline stress), hapnikuvaegus pärsib tervet elutsükli, polüsahhariidide moodustumine
LÄMMASTIK (N)	vajalik kasvaks – talluse areng (nitraadid ja ammonium , ei suuda siduda gaasilist lämmastikku (N <sub>2</sub> ) otse), suures koguses piirab kasvu- ammonium (NH <sub>4</sub> ), uue taime arenguks (lehelabad ja vars), vajalik valkude, koensüümide , nukleiinhapete moodustamiseks, aminohapete süntees, metabolism ehk aine- ja energiyvahetus, assimilatsioon , pigmendid, RuBisCO, fotosüntees, lämmastiku piiratus soodustab vetika tallusele karvade kasvamist toitainete kättesaadavuseks
VÄÄVEL (S)	polüsahhariidide komponent (sulfaadid polüsahhariidid ehk fukoidaan (fucoidan)), osaleb rakkude ainevahetuses ja kaudselt kliimamuutuste protsessides, valkude tertsiaarse struktuuri stabiliseerimine, kõrge väävi sisaldus võib olla herbivooride toitumist takistav tegur, talluses (lehelabades) sünteesitud orgaaniliste ainete transport vetikas ehk translokatsioon (toimub sõeltorudes), geeli tugevus ja kaltsiumi sidumine sõltuvad sulfatsioonist (sulfaadivabas keskkonnas ei suuda põisadru embrüod substraadile kinnitada), ensüüm nitraatreduktaasi kofaktor
KAALIUM (K)	valgusüntees, turgori potentsiaal, ensüümide aktivaator ja koensüümi funktsioonid, muudab taimed vastupidavamaks (haigused, kuivus, temperatuur), taime kasv, peamine katioon elektroneutraalsuse säilitamiseks, sugurakkude moodustumine, suurendab membraanide läbilaskvust toitainetele, rakukesta puitumine
FOSFOR (P)	suures koguses piirab kasvu, fotosüntees, hingamine, energia ülekande, nukleiinhapete teke, valgusüntees, fosfolipiidid (rakumembraani komponendid); uue taime, sugurakkude areng; sugurakkude küpsemine viivitusega, piiratus soodustab vetika tallusele karvade kasvamist toitainete kättesaadavuseks
KALTSIUM (Ca)	rakkude jagunemine ja pikenemine, rakumembraanide läbilaskvus, vastuvõtja mitmetele keskkonna reageeringutele ja hormonaalsetele signaalidele, morfogenees, valgussignaali vastuvõtja, fototaksis, oluline roll sugurakkude polaarsuse kujunemisel, osaleb põisadru embrüo kinnitumisel substraadile, alginaadi koostis, neutraliseerib kahjulikke ainevahetussaadusi
MAGNEESIUM (Mg)	ioonina oluline rakukestade koostises, fotosünteesi kofaktor, valgusüntees, fosfaadi ja lämmastiku metabolism, vee omastamine, aktiveerib nukleiinhapete sünteesis osalevaid ensüüme, alginaadi koostis, magneesiumivaegus takistab sugurakkude arengut
NAATRIUM (Na)	RuBisCO aktiivsus, asendab kaaliumi mõningatel funktsioonidel, osmoos, alginaadi koostis, polüspermia blokk
RAUD (Fe)	võib piirata kasvu; suurtes kogustes vetikale mürgine, rauda sisaldavad valgud on peamised ensüümid lämmastiku metabolismi toimimiseks ( äärmiselt tundlik rauastressi suhtes), valgusüntees, fotosüntees, hingamine, elektronide ülekande redoksreaktsioonides
MANGAAN (Mn)	suurtes kogustes mürgine, aktiveerib erinevaid ensüümprotsesse, nitraatide redutseerimine, fotosüntees, valgusüntees
KROOM (Cr)	kolmevalentne metalli ioon, mis oksüdeerudes võib aidata diaatomilise vase (Cu <sub>2</sub> ) toksilisuse vastu, moodustades raku ümber spetsiaalse kihi
STRONTSIUM (Sr)	kaltsiumiga sarnane metall ja imendub kergesti vetikasse, alginaadi koostis
JOOD (I)	joodi on vaja talluste moodustamiseks
SELEEN (Se)	võib parandada vetika kasvu, seleeni sisaldav ensüüm glutatioonperoksidaas (glutathione peroxidase) esineb mitokondrites ja plastiidides, kus katalüüsib vesinikperoksiidi hapnikuks ja veeks ning säilitab membraani terviklikkust
PLII (Pb)	vähemtoksiiline raskemetall, mis kuhjub vetikasse; suurtes kogustes mürgine
TSINK (Zn)	suurtes kogustes vetikale mürgine (toksilisus suureneb soolsuse vähenemisega), nukleiinhapete süntees, kasvuhormoonide metabolism, mitme fermentsüsteemi (ferment ehk ensüüm) normaalne funktsioneerimine, paljude ensüümprotsesside kofaktor
VASK (Cu)	suurtes kogustes vetikale mürgine (toksilisus suureneb soolsuse vähenemisega), fotosüntees, ensüümide protsessid, sugurakkude moodustumine
ARSEEN (As)	atsetüül-CoA moodustumine; raskemetall, mis üldjuhul kuhjub vetikas, suurtes kogustes toksiline
KAADIUM (Cd)	käivitab ensüüm karbonaadi anhüdraasi (CA) (kiirendab CO <sub>2</sub> muutmist transporditavaks vesinikkarbonaadiks (H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )), suures koguses toksiline, takistab ühte või mitut valgusünteesi etappi, põhjustab ensüümide puudulikkust ja mitmeid sekundaarseid mõjusid, takistab Ca ja P metabolismi organismis

# LISA 2 AJUPLAADI TEHNILINE JOONIS

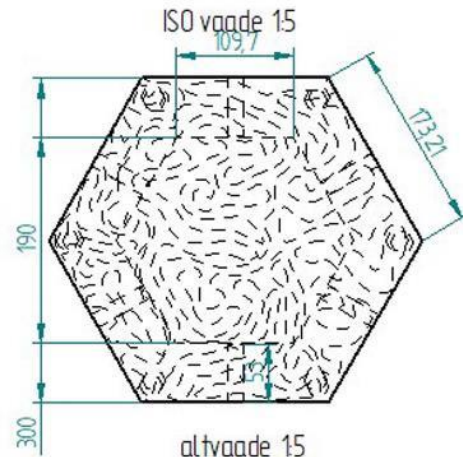
## AJUPLAAT + KINNITUS



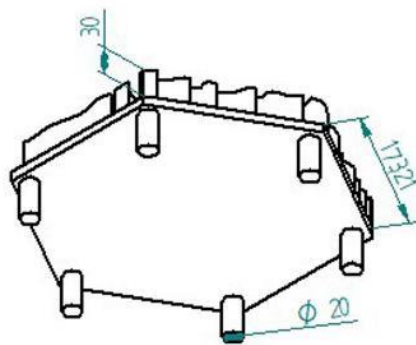
pealtvaade 15



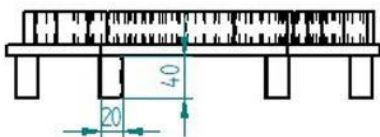
külgvaade 15



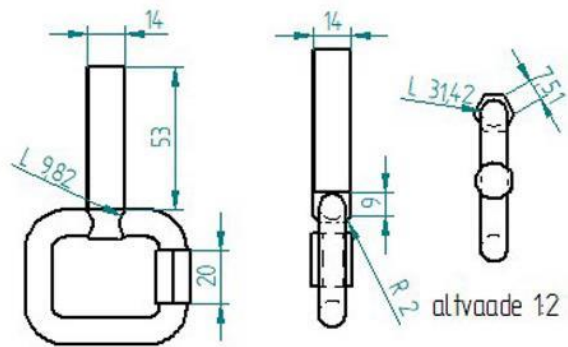
altvaade 15



pealmise plaadi ISO vaade 15



pealmise plaadi külgvaade 15

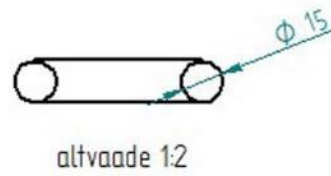
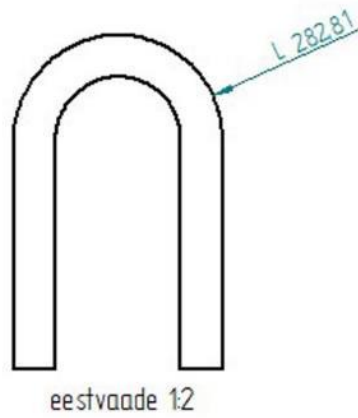
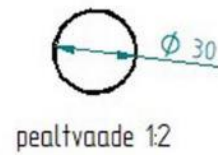
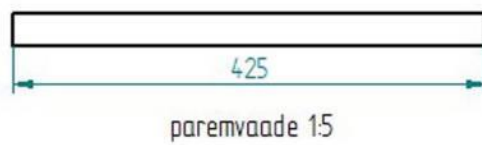
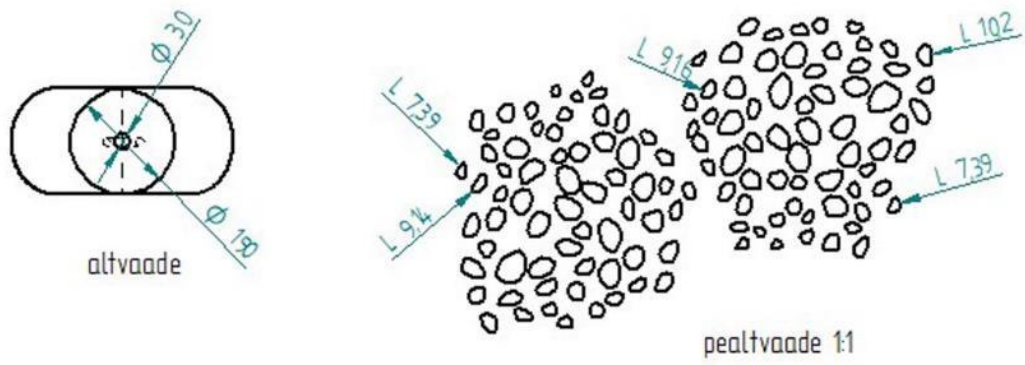
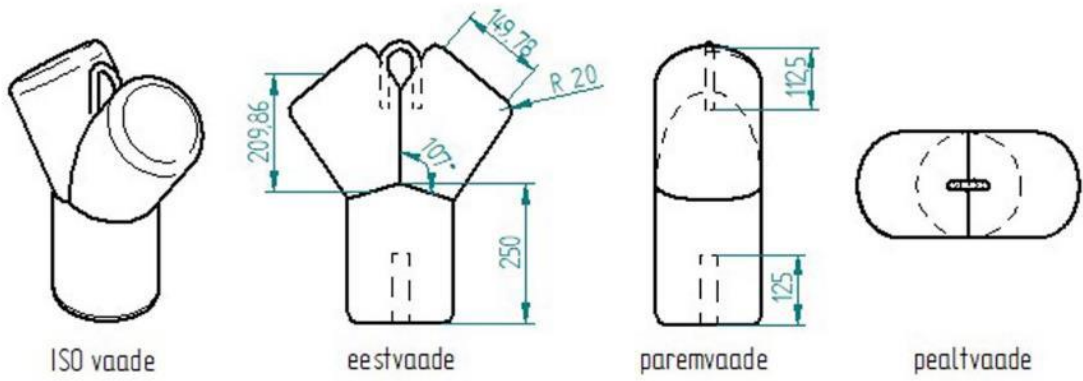


eestvaade 12

paremvaade 12

# LISA 3 TEHISKORALLI TEHNILINE JOONIS

## TEHISKORALL + KINNITUSED 1:10





# LISA 4 ETTEKASVATUSSÜSTEEMI MÕÕDUD

RIIUL

Mõõtkavas 1:20

