



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Vesiruton korjuulaitteiston ideointi

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Janne Juntunen

Kandidaatintyö

Elokuu 2023

TIIVISTELMÄ

Vesiruton korjuulaitteiston ideointi

Janne Juntunen

Oulun yliopisto, Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö, 27 s.

Työn ohjaaja(t) yliopistolla: Emil Kurvinen

Oulun yliopiston tehtävänä on kehittää vesiruton korjuulaitteistoa tehokkaammaksi osana Biomassat kiertoon Koillismaalla -hanketta. Vesirutto on haitallinen vieraslaji, joka rehevöittää vesistöjä. Hankkeen tavoitteena on tehdä vesistönhoidosta kannattavaa liiketoimintaa hyödyntämällä poistettua kasvimassaa maataloudessa. Tämän kandidaatintyön aiheena on ideoida erilaisia laitekonsepteja kehitystyötä varten.

Työssä esitellään kirjallisuuden avulla vesirutto kasvina ja sen tilannetta Suomessa. Laitekehitystä varten esitellään myös tuotekehitystyön periaatteita koneensuunnittelun perspektiivistä. Työn tuloksena syntyi liuta konsepti-ideoita, joita myös pisteytettiin arviointimatriisissa. Näitä ideoita voidaan lähteä jalostamaan kehitystyön edetessä kohti lopullista prototyyppiä.

Asiasanat: ideointi, konseptisuunnittelu, vesirutto

ABSTRACT

Ideation of Elodea harvesting equipment

Janne Juntunen

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2023, 27 pp.

Supervisor(s) at the university: Emil Kurvinen

As part of Biomass circulation in Koillismaa -project, the University of Oulu is responsible of developing more efficient equipment for harvesting Elodea waterweeds. Elodea Canadensis is an invasive species in Finland which causes eutrophication in water bodies. The overall goal of the project is to increase profitability of water management by utilizing waste aquatic plant mass in agriculture. The topic of this bachelor's thesis was to brainstorm different equipment concepts for the development process.

This thesis introduces Elodea Canadensis as a plant and its current situation in Finland through literature. Principles of product development from a mechanical design perspective are also presented for the equipment development. As a result of this work, a series of concept ideas were generated and evaluated using an assessment matrix. These ideas can be further used and refined as development progresses towards the final prototype.

Keywords: concept design, elodea, ideation

ALKUSANAT

Tämä työ tehtiin osana Biomassat kiertoon Koillismaalla -hanketta Oulun yliopiston konetekniikan kandidaatintutkintoa varten. Tarkoituksena oli osana laitesuunnittelutyötä ideoida erilaisia laitekonsepteja vesiruton korjuuprosessin tehostamiseksi ja samalla esitellä kirjallisuuden avulla vesiruttoa ja tuotesuunnittelun periaatteita. Haluan kiittää väitöskirjatutkija Lassi Kerästä, Aapo Hölsää ja yliopisto-opettaja Perttu Niskasta ideointiin osallistumisesta. Lisäksi kiitän professori Emil Kurvista työn ohjaamisesta ja tarkistamisesta. Työ tehtiin heinäkuun ja elokuun 2023 aikana.

Oulu, 28.8.2023

Janne Juntunen
Janne Juntunen

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	6
2 Teoria ja menetelmät.....	7
1.1 Mikä kasvi on kyseessä?	7
1.2 Miten orgaanista materiaalia voidaan hyödyntää?.....	9
1.3 Kuinka ongelmaa on hoidettu?.....	9
1.4 Koneensuunnittelun periaatteita.....	10
1.4.1 Tarpeen tunnistaminen.....	12
1.4.2 Ongelman määrittäminen.....	13
1.4.3 Synteesi.....	14
1.4.4 Tarkastelu ja optimointi.....	14
1.4.5 Arviointi.....	14
1.4.6 Markkinat.....	14
3 Tulokset.....	15
3.1 Vaatimukset.....	15
3.2 Kasvimassan irrottaminen pohjasta.....	16
3.2.1 Limittäiset terät.....	16
3.2.2 Staattinen terä.....	16
3.2.3 Nuottaan integroitu leikkuri.....	16
3.2.4 Niittolaite.....	17
3.2.5 Nyppivä laite.....	17
3.3 Kasvin kerääminen.....	17
3.3.1 Nuottaava laite.....	17
3.3.2 Hihnakuuljetinlaite.....	18
3.3.3 Lautalta toimiva työkone.....	18
3.3.4 Keräyspussilaite.....	19
3.3.5 Suurtehoimurointi.....	19
3.3.6 Hihnakuuljetin rannalla.....	20
3.4 Logistiikka.....	20
3.4.1 Puristin.....	20
3.4.2 Kuivain.....	21
3.4.3 Liikkuva biokaasureaktori.....	21
3.5 Konseptien arviointi.....	22
4 Yhteenveto	25

LÄHDELUETTELO

1 JOHDANTO

Tässä kandidaatintyössä tehdään kirjallista laitteistokehitystyötä vesiruton keräysprosessin kehittämistä osana Biomassat kierto Koillismaalla -hanketta. Oulun yliopiston vastuulla hankkeessa on kehittää mekaanisia ratkaisuja vesiruton korjuun tehostamiseksi. Hankkeessa selvitetään ympäristöhoidollisten biomassojen hyödyntämismahdollisuuksia lannoituksessa, kasvitautien torjunnassa ja biokaasutuksessa. Tavoitteena hankkeessa on tehostaa maaseudun yritystoimintaa alkutuotannon kannattavuuden laskiessa ja luoda uusia työpaikkoja biomassojen kustannustehokkaan hyödyntämistavan kehittämisellä. Samalla pyritään tekemään ympäristöhoidollisista töistä kannattavaa liiketoimintaa (Naturpolis Oy, 2023). Tämä työ keskittyy erityisesti vesiruton käsittelyn mekaanisiin ratkaisuihin.

Lisäksi tässä työssä esitellään kirjallisuuskatsauksena vesiruttoa, sen aiheuttamia ongelmia ja niiden hoidon nykytilannetta. Sen jälkeen käsitellään koneensuunnittelun teoriaa. Varsinainen laitekehitystyö on kirjallisuuskatsauksen jälkeen tuotevaatimusten määrittelyä, konsepti-ideoiden esittelyä ja arviointia. Laitekehitystyö etenee hankkeen mukaisesti ja tämän työn tuloksia voidaan käyttää siinä apuna.

2 TEORIA JA MENETELMÄT

Tässä kappaleessa esitellään vesirutto kasvina ja siihen liittyviä ongelmia Suomessa sekä koneensuunnittelun teoriaa tuotesuunnitteluprosessia varten. Nämä toimivat pohjatietona laitesuunnittelua varten. Ideoinnissa menetelmänä oli aivoriihityöskentely ja ideointipalaveri. Sen lisäksi ideoita syntyi myös työn kirjoittamisen aikana.

Ideoita arvioitiin muodostamani arviointimatriisien avulla ja ne antavat osviittaa siitä, mitkä ovat todennäköisimmin toimivimpia laitekonsepteja.

1.1 Mikä kasvi on kyseessä?

Elodea canadensis eli kanadanvesirutto tuotiin Suomeen Helsingin yliopiston kasvitieteelliseen puutarhaan vuonna 1884, josta se lopulta pääsi levittäytymään muualle. Nykyään sitä tavataan maanlaajuisesti aina Enontekiöllä saakka. Kasvi leviää tehokkaasti verson kappaleista, mutta se ei pysty lisääntymään siemenestä, koska Euroopassa on tavattu vain emikukkaisia kasveja, (Väre et al., 2005, s.71). Tämän takia on erityisen tärkeää hallita pieniäkin kasvin kappaleita keräysvaiheessa.

Kanadanvesirutto kasvaa yleensä noin 30–200 cm mittaiseksi kasvustoksi (Huusela-Veistola ja muut., 2020, s.30–31). Kuva 1 esittää Kuusamon Saapunkijärvestä keräämäni kanadanvesiruttonäyteen. Kyseinen kasvusto löytyi aivan rannasta, noin 30 cm

syvyydestä. Kuvassa oleva kasvusto on pituudeltaan noin 25 cm, eli se on pienikasvuinen yksilö.



Kuva 1 Kanadanvesiruttoa Kuusamon Saapungissa.

Kanadanvesirutto on Suomessa määritelty haitalliseksi vieraslajiksi, sillä se valtaa herkästi elintilaa kotoperäiseltä kasvustolta ja edesauttaa vesistöjen rehevöitymistä aiheuttamalla happikatoa kasvimassan kuollessa ja hajotessa. Runsastuessaan esiintymät haittaavat varsinkin virkistyskäyttöä. Erityisesti juuri Koillismaalla, johon tämän hankkeen selvitys keskittyy, on vesirutto muodostanut massakasvustoja vuodesta 1999 lähtien (Laine ym., 2022, s.62).

Kanadanvesiruton lisäksi Suomessa tarkkailtavien lajien joukkoon kuuluu kiehkuravesirutto, *Elodea nuttallii*. Se on levinnyt Pohjois-Eurooppaan, mm. Ruotsiin, Norjaan ja Viroon ja Suomessakin on tehty ensihavainto vuonna 2021. Kiehkuravesirutto on hieman pienikokoisempi, mutta muuten hyvin samanlainen laji kuin kanadanvesirutto. Euroopassa laji on jo paikoin syrjäyttänyt kanadanvesiruton ja voitaneen olettaa saman olevan mahdollista myös Suomessa (Laine ym., 2022, s.63).

1.2 Miten orgaanista materiaalia voidaan hyödyntää?

Tutkimuksissa vesiruton hyödyntämisestä biokaasutuksessa on havaittu, että ensinnäkin kasvin korjuu edistää vesistön paranemista, lähinnä siihen sitoutuneiden fosforimäärien takia. Toiseksi havaittiin, että vesiruttomassa soveltuu hyvin biokaasutukseen ja tuottaa kaasua suhteellisen runsaasti (Karjalainen et al. 2017, s.32–48).

Biokaasutuksen lisäksi Elodea II -hankkeessa testattiin tuoreen vesiruttomassan soveltumista peltolannoitteeksi. Lopputulemana päädyttiin kyseisen kokeen osalta siihen, ettei tuoreen vesiruton käytöstä lannoitteena ollut juurikaan hyötyä (Nilivaara ja muut, 2022, s.41–50). Elodea I -hankkeessa vuonna 2017 tutkittiin myös biokaasutuksen jälkeen vesiruton mädätysmassan käyttöä lannoitteena. Karjalaisen ja muiden (2017 s.91–92) mukaan tuoreen vesiruttomassan käyttäminen lannoitteena ei olisi hiilineutraalia, sillä mädäntyessään se erittää metaania. Lisäksi yllä todettiin, ettei tuoreen vesiruton lannoitekäytöstä havaittu selkeää hyötyä, joten olisi järkevää hyödyntää vesiruttomassa biokaasutuksessa ja tutkia sen jälkeen lisää mädätteen käyttöä lannoitteena.

1.3 Kuinka ongelmaa on hoidettu?

Yleisesti vesikasveja poistetaan eniten niittämällä. Parhaiten tämä menetelmä soveltuu ilmaversoisten kasvien poistoon. Niittämistä voidaan tehdä joko manuaalisesti tai suuremmalla mittakaavalla käyttäen vesikasvien niittoon soveltuvia koneita. Niitto suoritetaan kesäisin tavallisimmin heinäkuun puolivälistä elokuun puoliväliin. Uudelleenkasvun estämiseksi on suositeltavaa niittää ensimmäisenä kesänä kahdesti ja seuraavana vielä kerran. Tämän jälkeen niittoa voidaan jatkaa tarpeen mukaan.

Vesirutto eroaa tästä tavasta siinä, että se on uposlehtinen kasvi ja lisääntyy kasvin palasista, kuten aiemmin on mainittu yllä. Tämän takia vesiruttoa on kerätty raivausnuottaamalla, jottei kasvimassa pääse leviämään vedessä. Raivausnuottauksessa levitetään ensin suuri nuotta kasvuston ympärille ja sen jälkeen kasvit niitetään ja nuottaa aletaan kelaamaan hitaasti kohti rantaa esimerkiksi mekaanisilla vinsseillä. Nilivaaran ja muiden (2020 s.15) mukaan nuottaus havaittiin tehokkaaksi, joskin aikaa vieväksi keinoksi korjata vesiruttoa. Rannasta kerätty vesiruttomassa tiivistettiin manuaalisesti

suurempiin kasoihin ja siirrettiin siitä edelleen metsäkoneen modifioidulla kahmarilla eteenpäin.

Nilivaaran ym. (2022 s.19) mukaan tämän tekniikan onnistumista edellytti rannan kovuus ja loivuus, sillä metsäkoneella ja traktorilla peruutettiin rantaveteen asti. Traktorin perään kiinnitetyllä haravalla kasvimassaa vedettiin rantatörmälle, jolloin pehmeä tai äkkisyvä ranta voi merkittävästi haitata työskentelyä tällä tekniikalla.

Vesikasvien harvennus on kuitenkin pidettävä kohtuullisissa rajoissa, jottei rannan luonnon monimuotoisuus kärsi liikaa. Lisäksi varsinkin peltovaltaisilla ranta-alueilla vesikasvit sitovat ravinteita, jotka muuten päätyisivät veteen (Sarvilinna ja Sammalkorpi, 2010, s.50).

Kiehkuravesirutto onnistuttiin Di Ninon et al. (2005 s.156) tutkimuksessa hävittämään lähes kokonaan yhden kesän aikana kahden niiton jälkeen. Ensimmäinen niitto tehtiin helmikuun lopussa, jolloin kasvi alkaa regeneroitua kyseisellä alueella pohjois-Vosgesissa, Ranskassa. Toinen niitto suoritettiin toukokuussa. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin, että vesiruton biomassa oli suurimmillaan syyskuussa. Tätä asetelmaa olisi syytä soveltaa myös Suomessa ja tutkia vesiruton biomassan suuruutta kasvukauden aikana, jotta niitto voidaan suorittaa silloin, kun biomassaa on eniten saatavilla.

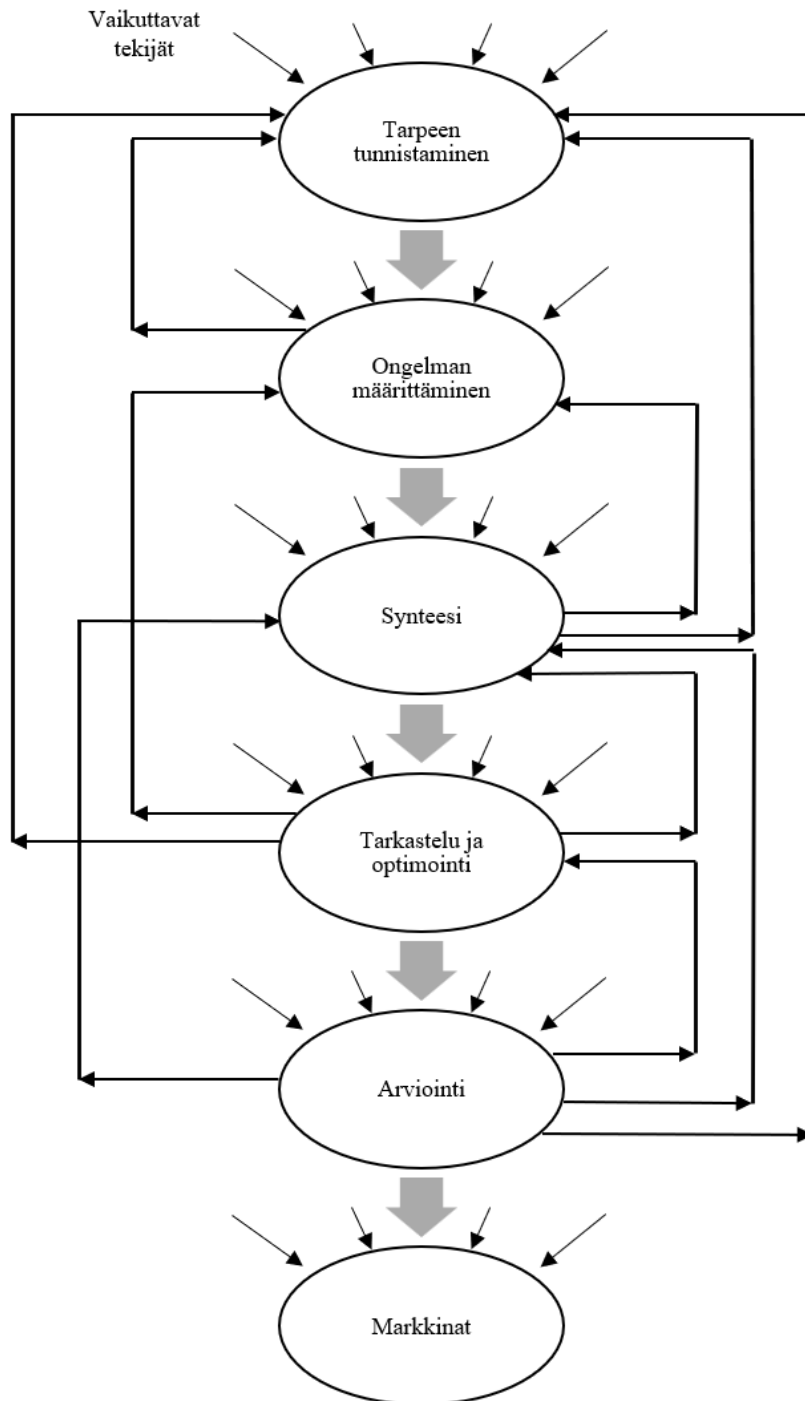
Vesikasvien niitto vaatii ilmoittamista ELY-keskukselle vähintään 30 päivää ennen toiminnan aloittamista. Se on otettava huomioon niittotyötä suunniteltaessa ja voi vaikuttaa siihen, kuinka kattavasti niitettäviä vesiruttoesiintymiä voidaan esimerkiksi hankkeessa suunnitelluin droonikuvauksin kartoittaa.

1.4 Koneensuunnittelun periaatteita

Tässä osassa esitellään uuden laitteen suunnittelun prosessia koneensuunnittelun näkökulmasta. Childsin (2014 s.2) mukaan suunnittelu on laaja käsite, joka voidaan määrittää tarkoittamaan prosessia, jossa kehitellään, kehitetään ja realisoidaan erilaisia tuotteita, luomuksia, prosesseja, järjestelmiä, palveluita ja kokemuksia, joiden tarkoituksena on täyttää määritettyjä vaatimuksia tietyin rajoituksin. Prosessissa voidaan

käyttää apuna monia erilaisia periaatteita, käytänteitä ja toimintatapoja riippuen sovelluskohteesta.

Kuva 2 (Childs 2014 s.7 mukailten) esittää tyypillisen suunnitteluprosessin etenemistä yritysasetelmassa. Prosessi on iteratiivinen, eli siinä voidaan liikkua myös taaksepäin ja muokata suunnitelmia tarpeen mukaan. Usein jonkin tietyn idean analysointi voi johtaa siihen, ettei sitä voidakaan toteuttaa ja näin on palattava taaksepäin suunnitteluprosessissa. On huomattava, ettei tämä kuvaaja kerro erilaisista suunnittelumetodiikoista, vaan pelkästään suunnitteluprosessin pääpiirteittäisestä etenemisestä. Suunnittelumetodiikat ovat yleensä uniikkeja suunnittelija- tai tiimikohtaisesti.



Kuva 2 Suunnitteluprosessia kuvaava kaavio. (Childs 2014 s. 7 mukailten)

1.4.1 Tarpeen tunnistaminen

Tarpeen tunnistamisen vaiheessa yritys/taho on tunnistanut esimerkiksi markkinatutkimuksen avulla tarpeen jollekin tuotteelle, jota he lähtevät kehittämään. On erittäin tärkeää, että tämäkin vaihe tehdään kunnolla, sillä muuten kuinka tahansa huippuun hiottu tuote ei tule menestymään, jollei kuluttajilla ole sille kunnollista tarvetta.

Kilpailullisilla markkinoilla pärjäävät ne, jotka ovat suorittaneet tämän ensimmäisen vaiheen perusteellisesti (Pugh 1990 s.29–30).

1.4.2 Ongelman määrittäminen

Ongelman määrittämisen vaiheessa luodaan tarkat raamit sille, minkälaiseen ongelmaan lähdetään ratkaisua hakemaan. Pugh:n (1990 s.5) mukaan ongelman määrittämisen vaiheeseen kuuluu tärkeimpänä tuotespesifikaatiodokumentin (englanniksi *product design specification* (PDS)) luominen. Tämä on hyvin yksityiskohtainen dokumentti, joka luo pohjan koko suunnitteluprosessille. PDS:ää ei kannata pitää täysin kiveen hakattuna, vaan jos suunnitteluprosessin aikana on syytä muuttaa sitä, näin tulisi tehdä. Jos dokumentti jätetään tekemättä, se johtaa lähes varmasti tuotteen epäonnistumiseen markkinoilla (Pugh 1990 s. 44–45).

Tuotespesifikaatio jaetaan Pughin (1990 s. 48–66) mukaan 32 tekijään, jotka kaikki arvioidaan yksityiskohtaisesti erikseen. Tekijät ovat:

- Suorituskyky
- Käyttöympäristö
- Käyttöikä
- Huollettavuus
- Hinta
- Kilpailijat
- Rahti
- Pakkaaminen
- Tuotantomäärä
- Tuotantolaitos
- Koko
- Massa
- Estetiikka
- Materiaalit
- Tuotteen elinikä
- Standardit ja määräykset
- Ergonomia
- Asiakkaat
- Laatu ja luotettavuus
- Varastointi-ikä
- Valmistusprosessit
- Aikataulu
- Testaus
- Turvallisuus
- Yrityksen rajoitteet
- Markkinoiden rajoitteet
- Patentit ja kirjallisuus
- Poliittinen ja sosiaalinen vaikutus
- Lakisääteisyys
- Asennus
- Dokumentaatio
- Hävittäminen

On olemassa todistusaineistoa siitä, että heikko tuotespesifikaatio johtaa hyvin usein menestyksettömiin tuotteisiin (Cooper ja Kleinschmidt 1986, Pugh:n 1990 s.64 mukaan).

1.4.3 Synteesi

Synteesivaiheessa lähdetään kehittämään tuotekonsepteja saaduista ideoista luovalla tavalla, käyttäen erilaisia menetelmiä aina puhtaasta mielikuvituksesta luovan työn menetelmiin. Synteesivaiheessa luoduista konsepteista ei voida lähteä jalostamaan kaikkia, vaan karsintaa on tehtävä jo tässä vaiheessa vertailemalla (Childs 2014 s.9).

1.4.4 Tarkastelu ja optimointi

Childsin (2014 s.9–10) mukaan tarkastelu- ja optimointivaiheessa verrataan valittuja konsepteja tuotespesifikaatiodokumentin asettamiin vaatimuksiin ja kun konflikteja vaatimusten välillä syntyy, pyritään konsepteista valitsemaan sellainen, joka on mahdollisimman hyvä kompromissi vaatimusten välillä.

1.4.5 Arviointi

Arviointivaiheessa vaatimusten perusteella valittu konsepti arvioidaan vielä vaatimusten kautta ja niiden täytyessä voidaan kehittää prototyyppi, jolla voidaan testata esimerkiksi potentiaalisten asiakkaiden reaktiota tuotteeseen ja suorituskkyä oikeassa maailmassa. Jos epäkohtia löytyy, tuotetta jalostetaan tässä vaiheessa loppuun asti, sillä tämän jälkeen tuote lähtee markkinoille.

1.4.6 Markkinat

Tässä vaiheessa tuote on hiottu loppuun markkinakelpoiseksi ja sen myynti asiakkaille aloitetaan. On tärkeää jatkaa vahvaa tukea tuotteelle sen jälkeen, kun se lasketaan markkinoille. Tässä vaiheessa on myös tarkasteltava, kohtaavatko lopullinen tuote ja tarpeen tunnistamisen vaiheen tuote halutulla tavalla markkinoilla. Toimintamallit tässä vaiheessa riippuvat paljolti siitä, onko tuote massatuotettu vai kenties yksittäinen suurempi toteutus (Pugh 1990 s.149–150).

3 TULOKSET

Tässä kappaleessa esitellään aivoriihessä ja myös sen jälkeen syntyneitä konsepti-ideoita. Ennen tätä määritellään vaatimuksia laitteistolle, jotka kumpuavat niin lainsäädännöstä, kuin hankkeen tavoitteistakin. Lisäksi määritin mielestäni tärkeimmät ominaisuudet, joiden perusteella voidaan arvioida ideoiden sopivuutta jatkokehitystä varten. Konseptit on ryhmitelty sen perusteella, mihin vaiheeseen vesiruton keräysprosessia ne asettuvat.

3.1 Vaatimukset

Lain mukaan luonnontilaisen enintään kymmenen hehtaarin suuruisen fladan, kluuvijärven tai lähteen taikka muualla kuin Lapin maakunnassa sijaitsevan noron tai enintään yhden hehtaarin suuruisen lammen tai järven luonnontilan vaarantaminen on kielletty (Vesilaki 2011/587 2 luvun 11 §). Lisäksi ruoppaamisesta on ilmoitettava kirjallisesti vähintään 30 vuorokautta ennen toimintaa valtion valvontaviranomaiselle, mutta mikäli ruoppausmassa ylittää 500 m³, on hankkeelle haettava lupaviranomaisen lupaa (Vesilaki 2011/587 3 luvun 3 §). Ruoppausmassaa ei myöskään saa sijoittaa maalle ilman kyseisen maanomistajan lupaa, mutta lupaviranomainen voi myöntää tähän oikeuden, mikäli katsoo, ettei sijoittamisesta aiheudu juurikaan haittaa (Vesilaki 2011/587 2 luvun 6 §).

Ympäristönsuojelulain toisen luvun 7 pykälässä määrätään, että suoritettava toiminta on järjestettävä niin, että ennalta ehkäistään ympäristön pilaantumista. Suunnitellulta laitteelta se vaati sitä, että käytetyt voitelu-, polttoaineet ja muut kemikaalit on pidettävä pois vesistöstä ja mahdollinen syntyvä jätevesi on käsiteltävä asianmukaisesti siten, ettei se pääse takaisin vesistöön.

Laitteen suorituskykyvaatimuksena on nopeuttaa korjuuprosessia verrattuna tämänhetkiseen raivausnuottaukseen, miten ikinä sen toteuttaakaan.

Laitteen hinta tulisi säilyä kohtuullisena, sillä hankkeen tavoitteena on tehdä vesiruton keräyksestä taloudellisesti kannattavaa ja näin lisätä maaseudun yritystoimintaa kehittämällä kustannustehokas ratkaisu vesiruton hyödyntämiseen, joten laitteen hintaa tulee hillitä.

3.2 Kasvimassan irrottaminen pohjasta

Nämä ideat keskittyvät vesiruton pohjasta irrottamisen tekniikkaan ja vaativat pääasiassa jonkin liikkuvan alustan, johon leikkaimet kiinnitetään. Suurimmat kustannukset syntynevät liikkuvan alustan kehittämisestä riippumatta leikkuumetodista. Kaikissa leikkuumetodeissa tulee huomioida leikkaavan elementin suojaaminen vedenpohjan eri objekteilta, kuten kiviltä. Tähän voidaan käyttää esimerkiksi murtopultteja, jousiladattuja tai pneumaattisia teränsuojausjärjestelmiä, joita löytyy muun muassa maatalouskoneista.

3.2.1 Limittäiset terät

Ensimmäisenä ideana mieleen tuli käyttää partakoneista ja pensasleikkureista tuttua mekanismia, eli limittäin toisiinsa nähden liikkuvia teriä. Leikkuri itsessään ei tarjoa tarpeeksi kattavaa ratkaisua, sillä se pitää liittää johonkin liikkuvaan laitteeseen. Juuri tällaisia esimerkiksi soutuveneeseen asennettavia kaislaleikkureita jo markkinoilta löytyy, joten tämä idea ei ole mitenkään uusi.

3.2.2 Staattinen terä

Kaikessa yksinkertaisuudessaan myös laitteen perässä vedettävä staattinen terä voi riittää vesiruton varren katkaisemiseksi. Tällöin pitää kuitenkin käyttää myös nuotta ja näistä aiheutuva vetovastus voi kasvaa laitteelle liian suureksi nuotan täytyessä vesiruttomassasta. Terän korkeussäädön voisi toteuttaa myös manuaalisesti, jolloin tämä ratkaisu on hyvin yksinkertainen ja kustannustehokas.

3.2.3 Nuottaan integroitu leikkuri

Toinen vaihtoehto voisi olla kehittää raivausnuotta itsessään paremmaksi. Nuotan alapaulaan voisi integroida esimerkiksi abrasiivisen siima-, lanka- tai ketjuleikkurin, joka kiertäisi pitkin nuotan alapaulaa. Suurin ongelma tässä on se, että nuotan pitää olla joustava ja sulavaliikkeinen, joten kovin jäyheää rakennetta siihen ei voi kiinnittää. Toinen vaihtoehto on sijoittaa yllä kuvattu abrasiivinen leikkuri kulkemaan nuotan alapaulan edellä, jolloin itse nuotta säilyttäisi joustavuutensa. Ongelmaksi tässä muodostuu se, että nuotan lähestyessä rantaa, sen kaaren säde pienenee, jolloin leikkurin pitäisi mukautua tähän. Lisäksi leikkurin pitää mukautua vedenpohjan mukaan, eli leikkuukorkeutta pitää pystyä säätämään. Näille leikkuutavoille edullista on se, että ne eivät liikuta leikattua kasvimassaa kovin aggressiivisesti, mitä kannattaa tavoitella

vesiruton kanssa johtuen sen lisääntymiskyvystä pienestäkin versonpätkästä. Nuotan kehittäminen ei myöskään vaatisi suurta investointia erilliseen liikkuvaan laitteeseen, vaan se yhdistäisi leikkuu- ja keräysprosessin. Voimansyöttö tähän ratkaisuun on mahdollista toteuttaa sähköisenä ilman hydrauliiikkaa tai pneumatiikkaa, kunhan vain virtaa on saatavilla.

3.2.4 Niittolaite

Vesiruton leikkaaminen voisi tapahtua myös samaan tyyliin, kuin niittokoneissa maataloudessa. Pyörivät terälliset kiekot leikkaisivat vesiruttoa siten, että ne samalla tuottaisivat taakse- tai eteenpäin suuntautuvan vesimassan virtauksen, jonka avulla vesiruttomassan liikettä voidaan hallita. Virtaus voidaan ohjata esimerkiksi nuottaan tai keräyspussiin, joka on esitelty alla.

3.2.5 Nyppivä laite

Leikkaaminen ei ole ainoa vaihtoehto, vaan vesiruttoa voisi mahdollisesti myös nyppiä irti pohjasta. Tekniikkana tässä toimisi esimerkiksi epilaattoreissa käytetty pyörivä rumpu, jossa on toisiaan vasten puristuvia levyelementtejä, jotka tarttuvat kasviin ja pyöriessään vetävät sen juuriltaan. Kasvimassan kerääminen laitteeseen talteen vaatisi imun tai vesivirran, jonka mukana massa ohjautuu esimerkiksi säiliöön tai pussiin.

Nyppiminen olisi todennäköisesti tehokkainta mahdollisimman läheltä pohjaa, jolloin syvyyden säätö tulee olla mahdollista. Tällainen laite olisi mahdollista kehittää suhteellisen kompaktiksi ja veden alla kulkevaksi, jolloin voisi olla mahdollista työskennellä myös talvella jään alla kauko-ohjatusti.

3.3 Kasvin kerääminen

Vesiruton leikkaaminen onnistuu monella tapaa, mutta sen kerääminen hallitusti on paljon vaikeampaa. Verrattuna muiden vesikasvien poistamiseen, vesiruton poistossa suurimpana ongelmana on juuri talteen kerääminen leviämisen estämiseksi.

3.3.1 Nuottaava laite

Tähän ratkaisuna voisi olla esimerkiksi teloilla liikkuva, kelluva laite, jonka perään olisi kiinnitetty leikkuri ja sen perässä vedettäisiin nuotta. Tällä tavalla laitteen propulsio ei

aiheuttaisi vesiruttomassan leviämistä, toisin kuin nykyisissä kelluvissa niittokoneissa. Telaketjut mahdollistaisivat myös sen, että laite voi ajaa niin pitkälle rantatörmälle asti, kuin vain nuotan vetäminen sallii.

3.3.2 Hihnakuuljetinlaite

Nuotan ohella vesiruton keräämiseen laitteesta käsin soveltuu leikkuuterän takaa alkava hihnakuuljetin, joka kuljettaisi kasvimassan suoraan laitteen kyytiin. Tällöin laitteen kokoa tulee kasvattaa, jotta se pystyy toimimaan keskeytyksettä mahdollisimman pitkään kasvimassan lastautuessa kyytiin. Kun leikkuu ja keräys tapahtuu laitteen etupuolella, ei propulsiotyypistä enää muodostu ongelmaa kasvimassan leviämisen kannalta. Tällöin voidaan käyttää esimerkiksi siipirattaita, joka on yleinen ratkaisu markkinoilta löytyvissä vesikasvienkorjaimissa. Tällaisen laitteen suunnittelussa on ehdottomasti tehtävä patenttitutkimusta, koska niitä löytyy jo markkinoilta.

Tällaisen laitteen kanssa yhteistoiminnassa voisi toimia erillinen kasvimassan varastointilautta, jonne laite käy tyhjentämässä lastinsa tullessaan täyteen. Lautalla voisi olla valmiina kuorma-autoon lastattavia lavoja, jolloin voidaan vähentää keräysprosessin työvaiheita. Tällaisella yhdistelmällä voitaisiin toimia pitkään tietyllä vesialueella ja kerätä vesiruttoa myös sellaisista paikoista, joihin ei rannalta käsin päästä käsiksi. Tällainen järjestelmä voitaisiin myös suunnitella toimimaan tulevaisuudessa autonomisesti, jos vain lainsäädännöllisesti se on mahdollista.

3.3.3 Lautalta toimiva työkone

Yhtenä ratkaisuna voisi kehittää lautan, jonka päällä esimerkiksi kaivinkone kerää vesiruttoa talteen. Kaivinkoneeseen pitäisi kehittää lisälaitte, joka varmasti kerää vesiruttomassan mukaansa. Lautalla voi olla useampia keräysastioita, jolloin keräystä voidaan suorittaa kerralla pidempiäkin aikoja. Lautta ajettaisiin rantaan vasta sitten, kun kaikki vesirutto on kerätty tai astiat ovat täynnä.

Lauttaan on mahdollista yhdistää myös esimerkiksi alla esitelty puristinsäiliö, mutta vesi tulisi suodattaa sille asteelle, että sen voi valuttaa takaisin vesistöön.

Koska lautalta operoidaan kaivinkonetta, oli yhtenä ideana tarjota ruoppausta oheispalveluna liiketoiminnan tehostamiseksi. Ongelmaksi tässä muodostuu ruoppauksen pääsääntöisesti sallittu ajankohta 1.9.–30.4. välillä johtuen lintujen pesimäajoista sekä

kalojen kutuajoista. Vesiruton korjuu ajoittuu kuitenkin todennäköisimmin kesäkuukausille, mutta tätä yhdistelmää on mahdollista miettiä pidemmälle, jos vesiruton korjuu on biomassan kannalta järkevää vielä tähän vuodenaikaan. Ruoppaus on lisäksi luvanvaraista toimintaa aina ruoppausmassan ylittäessä 500 m³ tilavuuden. Tätä pienemmissäkin määrissä on toiminnasta aina tehtävä ilmoitus ELY-keskukselle vähintään 30 vuorokautta ennen toimintaa, kuten vesikasvien niitostakin (Suomen ympäristökeskus, 2023).

3.3.4 Keräyspussilaitte

Laitteen vetämän nuotan ohella keräysratkaisuna voisi toimia leikkuulaitteiston takaa alkava verkkopussi, jonka suulla on esimerkiksi potkuri aiheuttamassa virtausta kohti pussia. Leikattu vesiruttomatka kulkeutuisi tällöin virran mukana suoraan pussiin, mikä voi olla huomattavasti kätevämpää, kuin nuottaaminen. Pussin voi mitoittaa sopivan kokoiseksi kuljetusta varten ja sen täytyessä laite vetää pussin rantaan, josta se voidaan nostaa suoraan kuljetukseen tai kuivumaan. Merkittävä etu nuottaan verrattuna on myös käsiteltävyys, sillä rantaan tulo täyden laitteen perässä vedettävän nuotan kanssa voi osoittautua haastavaksi. Pussin tulee olla vettä läpäisevää materiaalia, esimerkiksi verkkoa, kuitenkin tarpeeksi tiheäsilmäistä ettei pieninkään vesiruttosilppu sitä läpäise.

Jatkoideana pussiin voisi kiinnittää esimerkiksi ponttooneita tai muita kellukkeita, joiden avulla ne pysyvät veden pinnalla. Pussit vaihdettaisiin niiden täytyessä ja kiinnitettäisiin yhdeksi lautaksi, joka uitettaisiin rantaan leikkuutyön päätteeksi. Näin voitaisiin tehostaa keräysprosessia eliminoimalla turhia lastausvaiheita, missä leikkuutyö pitää keskeyttää.

3.3.5 Suurtehoimurointi

Rakennustyömailta tuttu suurtehoimurointi voisi olla yksi vaihtoehto vesiruton keräämisessä. Leikkausta ei tarvitsi suorittaa välttämättä ollenkaan, jos kasvimassa imetään tarpeeksi suurella teholla. Imuroimalla kasvimassa pakkautuu kätevästi esimerkiksi pusseihin, valmiiksi kuljetusta varten. Veden erottamiseksi imusyötteestä pitäisi kehittää jokin ratkaisu. Vettä ei voi päästää takaisin vesistöön ilman suodattamista, joten todennäköisesti järkevin ratkaisu olisi veden suodattaminen laitteessa. Ongelmaksi voi muodostua myös se, että kasvimassan lisäksi syötteeseen saattaa sekoittua esimerkiksi pohjasedimenttiä tai mitä tahansa muuta roskaa, joka ei tietysti ole toivottua. Täyteen

imuroidut pussit voidaan lastata suoraan kuorma-autoon tai kuivumista varten rantatörmälle.

Voimansyöttö imurointiin olisi syytä tulla esimerkiksi traktorilta, sillä tehoa tarvitaan paljon. Esimerkiksi Liukkosen Ruoppauspalvelu Oy:n pienessä Pikku Masa - imuruoppaimessa on 56 hevosvoimainen Deutzin moottori.

3.3.6 Hihnakuuljetin rannalla

Nilivaaran et al. (2022 s.22) mukaan raivausnuottaus on toimiva vesiruton keräystapa ja siihen löytyy jo valmista kalustoa. Raportissa kaivataan lisää ratkaisuja erityisesti vesiruttomassan siirtämiseen rantavedestä maalle, jolloin prosessin kustannustehokkuutta saadaan kasvatettua. Jos halutaan pysyä raivausnuottausprosessissa, mutta kehittää tätä osa-aluetta, tarjoaisi tähän ratkaisun esimerkiksi liikuteltava hihnakuuljetin, joka asennetaan rantaveteen raivausnuotan suulle. Tällöin kasvimassaa ei tarvitse kuin puskea kohti hihnaa. Hihnan toinen pää voidaan asettaa suoraan kuljetuskaluston lavalle kuljetusta varten, tai vaihtoehtoisesti suoraan rantatörmälle esikuivatusta varten.

3.4 Logistiikka

Tämä osio esittelee ideoita kasvimassan hallintaan siinä vaiheessa, kun se on jo kerätty vedestä millä tahansa tekniikalla.

3.4.1 Puristin

Vesiruttomassaa voidaan kerätä kuorma-auton lavalle sopivaan säiliöön, joka puristamalla poistaa ylimääräistä vettä kasvimassasta. Se voisi toimia samaan tyyliin, kuin liikuteltavat pahvipuristinlavat. Vesiruton kuiva-ainepitoisuus tuoreena on vain alle 10 % (Karjalainen et al. 2017 s.27), joten ylimääräisen veden poistaminen keräyspaikalla on kriittistä kuljetuskustannusten hillitsemiseksi biokaasutuksen näkökulmasta. Karjalaisen et al. (2017 s.92) mukaan täytyy huolehtia siitä, että vesiruttomassasta poistettu vesi ei päädy takaisin vesistöön ainakaan ilman asianmukaista suodatusta, sillä Koillismaalla on kokemusta vesiruton leviämisestä vielä kuljetuksen yhteydessä.

Taulukko 1 esittää kustannus- ja kasvihuonepäästömäärät käsitellylle vesiruttokuutiometrille. Kuljetus on arvioitu 12 tonnin kuormalla ja 15 km/h nopeudella.

Karhotus-, paalaus- ja käärintäprosesseissa ylimääräinen vesi poistuu myös tehokkaasti vesiruttomassasta, mutta ne ovat työläitä vaiheita ja nostavat kustannuksia voimakkaasti. Mikäli biokaasutusta tehdään pelkällä vesiruttomassalla sekoittamatta siihen nurmea, voidaan puristimella eliminoida paalaamisen kustannukset ja tehdä toiminnasta kannattavampaa.

Haluttaessa myös vesiruttomassan säilöminen paaleihin voitaisiin toteuttaa puristimen yhteydessä. Jos kasvimassan voi kääriä puristimessa paaleihin, säästetään silti useammassa työvaiheessa. Puristin toimisi hyvin yhteen myös rannassa olevan hihnakuljettimen kanssa.

3.4.2 Kuivain

Vesiruton korjuupaikalle kuivalle maalle on mahdollista suunnitella liikuteltava kuivainsäiliö, jossa kasvimassan kuiva-ainepitoisuutta voidaan nostaa esimerkiksi 20 prosenttiin. Tällöin vesiruton arvo olisi jo samalla tasolla lannan kanssa ravinnemäärän näkökulmasta (Nilivaara et al. 2022 s.77). Koska kasvimassan paino vaikuttaa suoraan kuljetuskustannuksiin, on edullista kasvattaa massan kuiva-ainepitoisuutta korjuupaikalla ennen kuljetusta. Näin voidaan myös mahdollisesti kasvattaa kuljetusmatkaa toiminnan vielä säilyessä kannattavana.

Kuivaaminen on energiaintensiivinen prosessi huolimatta siitä, millä tavoin se toteutetaan ja tämä on otettava huomioon kustannuslaskelmissa. Kuivatukseen kuluu myös aikaa, joten kuivain joutuisi todennäköisesti olemaan korjuupaikalla pitkäänkin.

3.4.3 Liikkuva biokaasureaktori

Yksi mahdollisuus on eliminoida vesiruttomassan kuljetuskustannukset kokonaan ennen biokaasutusvaihetta suunnittelemalla liikkuva biokaasureaktori, joka voidaan kuljettaa korjuupaikalle. Nilivaaran ja muiden (2022 s.80) mukaan kuljetuskustannukset vaikuttavat voimakkaasti vesiruton biokaasutuksen kannattavuuteen. Laskennassa vesirutto oli nurmirehun kanssa paalattuna pyöröpaaleihin, mutta vaikutus kuljetusmatkalla on kustannuksiin sama, riippumatta missä muodossa vesiruttomassa on. Pelkkä tuore vesirutto kuitenkin soveltuu biokaasutukseen, joskin heikommin kuin sekoitettuna nurmirehun kanssa (Nilivaara ja muut 2022 s.59).

Taulukko 1. Työvaiheiden hinnat ja kasvihuonepäästöt (Nilivaara ja muut 2022 s.78)

Työvaihe	€/m ³	Päästöt, kg CO ₂ - ekv.
Levitys peltoon	2,66	1,14
Karhotus, paalaus & käärintä	15,62	3,35
Kuljetus 5 km *	1,38	0,71
Yhteensä 5 km mukaan	19,66	5,20
Kuljetus 20 km *	5,54	2,85
Yhteensä 20 km mukaan	23,81	7,34

Liikkuvalla biokaasureaktorilla on myös mahdollista laskea biokaasutusprosessin kasvihuonepäästöjä merkittävästi. Paikan päällä tapahtuva biokaasutus, joka toteutetaan tuoreella vesiruttomassalla, eliminoisi taulukossa esiintyvät kustannukset ja päästöt kokonaan. Tilalle tulisi kuitenkin kustannuksia reaktorin kuljetuksesta ja operoinnista ja syntyneen kaasun kuljetuksesta eteenpäin.

Nilivaaran ym. (2022 s.58) tekemissä kokeissa biokaasureaktorin pääsyötteenä on toiminut lietelanta, jonka joukkoon on lisätty vesiruttoa sekoitettuna nurmirehuun. Liikkuvan biokaasureaktorin tapauksessa on selvitettävä, toimiiko reaktori esimerkiksi pelkästään vesiruttomassalla, sillä muuten kaasutuspaikalle joudutaan kuljettamaan muita syöteaineita, joka voi tehdä prosessista kannattamatonta. Jos ei, voidaan joutua rajoittumaan sellaisiin korjuupaikkoihin, joiden läheltä on saatavissa esimerkiksi lietelantaa.

Al Sead et al. (2008 s.23) mukaan syötemateriaali pidätetään reaktorissa vähintään 15 päivää ja jopa 70 päivää, riippuen käytetyn reaktiotyyppin prosessilämpötilasta. Onko siis kannattavaa kuljettaa biokaasureaktori vesiruton korjuupaikalle, kun kesäkausi on kovin lyhyt?

3.5 Konseptien arviointi

Pughin (1990 s.72–74) mukaan konseptien arviointia varten valittavat kriteerit kumpuavat tuotetietoespesifikaatiosta. Yleensä suunnitteluryhmä päättää keskenään nämä kriteerit ja ne kirjataan ylös. Näiden kriteerien pohjalta voidaan muodostaa arviontimatriisi, jossa konseptit pisteytetään keskenään. Teollisuudessa useiden projektien kokemuksella on syntynyt näkemys siitä, että matriisit ovat paras tapa jäsenellä ja arvioida konsepti-ideoita selkeästi ja tehokkaasti.

Tämän työn vertailukriteereiksi valikoitui hinta, tuottavuus, käytettävyys, huollettavuus ja valmistettavuus. Näille kriteereille annettiin konseptikohtaisesti arvosana yhdestä viiteen. Arviointi suoritettiin kaksi kertaa vaihtaen painotusta minusta tärkeimpien kriteereiden välillä.

Taulukko 2 esittää ensimmäisen arviontimatriisin ja siinä kriteereille on annettu pisteet 1–5, jossa suurempi numero on parempi. Kriteereillä on myös painoarvo yhdestä viiteen, jolla kerrotaan kriteerin saama pistemäärä. Olen valinnut painoarvot korostamaan mielestäni tärkeimpiä ominaisuuksia. Lopuksi taulukossa on korostettu vihreällä ne konseptit, joiden kokonaispistemäärä ylittää 44 pistettä.

Taulukko 2 Ensimmäinen arviontimatriisi.

Konsepti	Ominaisuudet					Pisteet	
	Hinta	Tuottavuus	Käytettävyys	Huollettavuus	Valmistettavuus		
1. Limittäiset terät	2	3	4	4	3	16	43
2. Staattinen terä	3	2	3	5	4	17	45
3. Nuottaan integroitu leikkuri	4	2	3	3	2	14	41
4. Niittolaite	2	5	5	4	3	19	52
5. Nyppivä laite	2	4	5	3	2	16	45
6. Nuottaava laite	2	3	3	4	3	15	40
7. Hihnakuuljetinlaite	1	4	4	3	3	15	40
8. Lautalta toimiva työkone	4	3	2	3	4	16	45
9. Keräysspussilaite	2	5	5	3	3	18	50
10. Suurtehoimurointi	2	3	3	4	3	15	40
11. Hihnakuuljetin rannalla	4	3	3	5	5	20	54
12. Puristin	4	4	5	4	4	21	59
13. Kuivain	4	3	3	5	4	19	52
14. Biokaasureaktori	3	3	3	5	3	17	46
	4	3	3	2	2	Yhteensä	Yhteensä painotettu
	Painoarvo						

Taulukko 3 on toinen arviontimatriisi, jossa painotuskerrointa on muutettu hinnan ja tuottavuuden välillä. Molempien vertailuiden perusteella kolme parasta konsepti-idea ovat puristin, niittolaite ja rannalla oleva hihnakuuljetin.

Taulukko 3 Toinen arviontimatriisi.

Konsepti	Ominaisuudet					Pisteet	
	Hinta	Tuottavuus	Käytettävyys	Huollettavuus	Valmistettavuus		
1. Limittäiset terät	2	3	4	4	3	16	44
2. Staattinen terä	3	2	3	5	4	17	44
3. Nuottaan integroitu leikkuri	4	2	3	3	2	14	39
4. Niittolaite	2	5	5	4	3	19	55
5. Nyppivä laite	2	4	5	3	2	16	47
6. Nuottaava laite	2	3	3	4	3	15	41
7. Hihnakuuljetinlaite	1	4	4	3	3	15	43
8. Lautalta toimiva työkone	4	3	2	3	4	16	44
9. Keräyspussilaite	2	5	5	3	3	18	53
10. Suurtehoimurointi	2	3	3	4	3	15	41
11. Hihnakuuljetin rannalla	4	3	3	5	5	20	53
12. Puristin	4	4	5	4	4	21	59
13. Kuivain	4	3	3	5	4	19	51
14. Biokaasureaktori	3	3	3	5	3	17	46
	3	4	3	2	2	Yhteensä	Yhteensä painotettu
	Painoarvo						

Parhaiten arvioinnissa menestyivät logistisen puolen konseptit, joista kaikkia kannattaa mielestäni viedä jatkokehitykseen. Kasvin pohjasta irrottamiseen ja sen keräämiseen liittyvistä konsepteista pari jäi myös pisterajan alle, mutta täytyy muistaa, että nämä ovat minun subjektiivisia näkemyksiäni eikä yksittäistä konsepti-ideaakaan kannata sulkea pois vielä pelkästään tämän arvioinnin pohjalta.

4 YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä aiheena oli tehdä Oulun yliopistolle laitekehitystyötä osana Biomassat kiertoon Koillismaalla -hanketta. Kehitystyö oli tämän työn alkaessa konseptikehitysvaiheessa, jolloin tämän työn tarkoituksena oli ideoida mahdollisimman paljon erilaisia mekaanisia keinoja tehostaa vesiruton korjuuprosessia. Ideoita syntyi niin yhteisessä aivoriihessä, palavereissa kuin myös pelkästään omasta takaani kirjoitusprosessin aikana. Ideoinnin pohjustukseksi työssä oli myös kirjallisuuskatsausta vesirutosta ja koneensuunnittelun periaatteista tuotekehityksen näkökulmasta.

Konsepti-ideoita syntyi mukava määrä ja niille suoritettiin myös alustavaa arviointia määrittämälläni kriteereillä. Suunnittelutyön jatkuessa Oulun yliopistossa, kannattaa tämä arviointiprosessi suorittaa vielä ryhmässä, jottei työtä rajaa pelkästään yhden henkilön näkemys. Tämän arvioinnin perusteella näyttäisi kuitenkin siltä, että parhaita konsepti-ideoita olivat puristin, niittolaite ja rannalla oleva hihnakuljetin. Näiden ideoiden pohjalta voidaan jatkaa suunnitteluprosessia eteenpäin ja saada inspiraatiota myös uusiin ideoihin.

LÄHDELUETTELO

Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., Janssen, R., 2008. Biogas Handbook. Esbjerg: University of Southern Denmark Esbjerg, 126 s. ISBN 978-87-992962-0-0

Childs, P. R. N., 2014. Mechanical Design Engineering Handbook. Oxford: Butterworth-Heinemann, 817 s. ISBN 978-0-08-097759-1

Di Nino, F., Thiébaud, G., Muller, S., 2005. Response of *Elodea nuttallii* (Planch.) H. St. John to manual harvesting in the North-East of France. *Hydrobiologia*, 551(1), S. 147-157.

Huusela-Veistola E., Hellsten S., Holmala K., Hyvönen T., Kauhala K., Lindqvist B., Liukko U., Kuoppala M., Seimola T., Teeriaho J., Rytteri T., Tuhkanen E., Urho L., 2020. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja, Osa 32: Ehdotus kansallisesti haitallisten vieraslajien hallintasuunnitelmaksi. Helsinki: Valtioneuvoston kanslia, 134 s. ISBN 978-952-287-939-4

Karjalainen S. M., Välimaa A., Hellsten S. & Virtanen E., 2017. Vesiruton hyötykäyttö biotaloudessa – järvien riesasta raaka-aineeksi. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, 130 s. ISBN 978-952-11-4844-6

Laine A., Aronsuu K., Heikkinen M., Helin M., Hentilä H., Rintala J., Tertsunen J., Tuohino J., Virtanen K. & Ekholm-Peltonen M., 2022. Oulujoen–Iijoen vesienhoitoalueen vesienhoitosuunnitelma vuosille 2022–2027: Osa 1: Vesienhoitoaluekohtaiset tiedot. Oulu: Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus, 212 s. ISBN 978-952-398-003-7

Naturpolis Oy, 2023. Biomassat kiertoon Koillismaalla -hanke on käynnistynyt! [verkkodokumentti]. Kuusamo: Naturpolis Oy. Saatavissa: <https://naturpolis.fi/biomassat-kiertoon-koillismaalla-hanke-kaynnistyy-pian/> [viitattu 13.7.2023]

Nilivaara R., Hiltunen L., Joki-Tokola E., Kahiluoto J., Karvonen J., Kuoppala M., Lötjönen T., Niemistö J., Satomaa M., Tahkola H., Ulvi T., Välimaa A. & Hellsten S.,

2022. Vesiruton energia ja ravinteet talteen – Elodea II -hankkeen loppuraportti. Helsinki: Suomen ympäristökeskus 100 s. ISBN 978-952-11-5465-2

Pugh, S., 1990. Total Design. Harlow: Pearson Education Limited, 278 s. ISBN 978-0-201-41639-8

Sarvilinna A., Sammalkorpi I., 2010. Rehevöityneen järven kunnostus ja hoito. Helsinki: Suomen ympäristökeskus, 64 s. ISBN 978-952-11-3722-8

Suomen ympäristökeskus, 2023. Ruoppauksiin ja niittoihin liittyviä neuvoja [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/wp-content/uploads/2021/11/ruoppauksiin-ja-niittoihin-liittyvia-neuvoja-fi.pdf> [viitattu 21.7.2023]

Vesilaki 2011/587. Annettu Helsingissä 27.5.2011. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110587#L2P11>

Väre H., Ulvinen T., Vilpa E. & Kalleinen L., 2005. Oulun kasvit – Piimäperältä Pilpasuolle. Helsinki: Luonnontieteellinen keskusmuseo – kasvimuseo, 512 s. ISBN 952-10-2372-4