

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Teknillinen tiedekunta
Konetekniikan koulutusohjelma

Tuomas Tennilä

DIPLOMITYÖ

Kevyen istutuskoneen suunnittelu puuntaimille

Tarkastajat: Prof. Aki Mikkola

TkT Kimmo Kerkkänen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Konetekniikan koulutusohjelma

Tuomas Tennilä

Keuyen istutuskoneen suunnittelu puuntaimille Diplomityö

2015

80 sivua, 33 kuvaa, 27 taulukkoa ja 0 liitettä

Tarkastajat: Prof. Aki Mikkola
TkT Kimmo Kerkkänen

Hakusanat: puuntaimi, koneellinen istutus, järjestelmällinen tekninen suunnittelu
Keywords: tree seedling, mechanized planting, systematic technical design

Työssä pyritään suunnittelemaan kevyempi versio jo olemassa olevasta puuntaimien istutuslaitteesta. Työ koostuu kahdesta osasta. Ensimmäisessä teoria osuudessa käydään läpi mekatronisen koneen suunnittelussa huomioitavia seikkoja ja järjestelmällistä tuotekehitysprosessia yleisesti. Toisessa osassa esitellään nykyisten istutuslaitteiden kehityshistoriaa ja nykyisin koneellisessa metsänistutuksessa käytössä olevia laitteita.

Loppuratkaisujen aikaan saamisessa pyritään QFD-menetelmää käyttämällä saamaan aikaan keuyen istutuskoneen vaatimusprofiili ja profiilissa ilmi tulleiden vaatimusten ja toiveiden pohjalta kehitettiin ratkaisuja joilla perinteistä koneellista istutus toimintaa voidaan uudistaa. Materiaalinvalinnan avulla optimoitiin kevyttä istutuskonetta pyrkimällä löytämään ympäristöystävälliset materiaalit jotka ovat tuotteen elinkaarta kokonaisuutena ajatellen parhaat mahdolliset. Työssä saatiin aikaan malli jolla on mahdollista jatkokehittelyn jälkeen ja kunnolla tuotteistettuna edistää koneellisen metsänistutuksen yleistymistä. Työn aikana huomattiin, että suurimmat esteet metsän istutuksen koneellistumiselle ovat nykyisten koneiden korkeat hankinta- ja käyttökustannukset sekä koneiden käyttämisen vaatima ammattitaito. Kustannuksia alentamalla ja käyttökynnystä madaltamalla voi edistää koneellisen metsänistutuksen yleistymistä tehostamisen rinnalla.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
School of Technology
Degree program of Mechanical Engineering

Tuomas Tennilä

Design of lightweight mechanized tree planter

Master's thesis

2015

80 pages, 33 pictures, 27 tables and 0 appendices

Examiners: Professor Aki Mikkola
D.Sc Kimmo Kerkkänen

Keywords: tree seedling, mechanized planting, systematic engineering design

Goal of this thesis is to redesign mechanized tree planting machine and make lighter. The thesis is constructed of two parts. Scope of the first part is on theory and what one must take into account while designing mechatronic systems. There is also general introduction to systematic product development process and lifecycle management. Second part starts with an overview to history of mechanized tree planters and by introduction of modern in use tree planters.

Also in the second part Quality Function Deployment method was utilized to create profile of needs for the lightweight tree planter and to answer those needs solutions were invented. Cost is mainly considered by means of material selection and effort is made to minimize lifecycle cost by selecting maintenance free and easy to dispose of materials that will minimize environmental impact also. During this thesis it became clear that the biggest obstacles hindering the use of mechanized planting machines are high cost of purchase and use which makes them inaccessible to regular forest owners and small scale entrepreneurs and in addition to that operating with these machines requires expertise. By lowering the cost of purchase and use one might see good results in advancing the mechanization of tree planting and it should be taken into consideration alongside with boosting current tree planters.

Sisällysluettelo

Alkusanat

Käytetyt symbolit & lyhenteet:	3
1. JOHDANTO.....	4
1.1 Työn tavoitteet ja aiheen rajausta	6
2. MEKATRONISEN LAITTEEN SUUNNITTELU.....	8
2.1 Taustaa.....	9
2.2 Mekatronisen järjestelmän suunnittelu.....	10
2.2.1 Materiaaleista ja niihin kohdistuvista voimista.....	15
2.2.2 Sähkötekniikka ja elektroniikka.....	25
2.2.3 Hydraulikka	25
2.3 Toimilaitteet.....	28
2.3.1 Hydraulisylinterit	28
2.3.2 Hydraulimoottorit.....	31
2.4 Järjestelmällinen tuotekehitysprosessi	31
2.4.1 Järjestelmällinen tekninen suunnittelu	31
2.4.2 QFD- menetelmä.....	34
2.4.3 Taguchi-menetelmä	35
2.5 Käytettävyys	38
2.5.1 Elinkaaren hallinta.....	40
3. ISTUTUSKONEEN SUUNNITTELU JA KEHITTÄMINEN	42
3.1 Perinteinen koneellinen metsänistutus	43
3.2 Istutuskone.....	48
3.2.1 Vaatimusprofiili	49
3.2.2 Toiminnot	51
3.2.3 Ideointi.....	54
3.3 Materiaalin valinta	70
3.4 Lajuustarkastelu.....	79
4. TYÖN TULOSTEN ANALYSOINTI.....	80
5. YHTEENVETO.....	83
LÄHTEET.....	84

ALKUSANAT

Työ tehtiin Lappeenrannan Teknillisen yliopiston koneensuunnittelun laitokselle. Kiitokset työni ohjaajille prof. Mikkolalle ja TkT Kerkkäselle neuvoista ja erityisesti ystävälleni Tuomas Kelloniemelle avusta. Kiitos myös muille avustaneille.

Käytetyt symbolit & lyhenteet:

σ_y	myötöraja
σ	nimellisjännitys
σ_u	murtolujuus
σ_f	säröytymislujuus
σ_m	myötölujuus
σ_p	puristuslujuus
τ_{\max}	suurin leikkausjännitys
π	pii
ε	normaalivenymä
ε_t	murtovenymä
ε_m	venymä murtorajan kohdalla
ln	luonnollinen logaritmi
θ	kulma
J	Jäyhyysmomentti
r	säde
P	kuorma
A_0	pinta-ala
d	halkaisija
l	pituus
l_0	alkupituus
E	kimmomoduuli
U_r	Kimmoraja
G	liukukerroin
q	sähkövaraus
α	Suhteellinen kulma välillä 0-1
QFD	Quality Function Deployment
PLM	elinkaarenhallinta
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu

1. JOHDANTO

yli 70 % Suomen maapinta-alasta on metsää. Suhteellisella osuudella mitattuna Suomi on Euroopan metsäisin maa. Puuntuotantoon soveltuvaa metsämaata on 20,3 miljoonaa hehtaaria, josta yksityisessä omistuksessa on 61 %./1/

Viime vuosikymmeninä Metsien hakkuita on suoritettu vähemmän kuin ne kasvavat, joten noin 2 100 miljoonaa kuutiometrin puuvaranto on kasvanut jatkuvasti. Suomen puuvarat ovat Euroopan viidenneksi suurimmat Venäjän, Ranskan, Ruotsin ja Saksan jälkeen./1/

Metsät ovat uusiutuva luonnonvara ja luovat taloudellista sekä henkistä hyvinvointia. Metsillä on merkittävä osa Suomen luonnossa ja sen monimuotoisuudessa. 13 % metsäalasta eli 2,9 miljoonaa hehtaaria on suojeltu tai rajoitetussa metsätalouskäytössä ja tuo osuus on Euroopan maista korkein. Kestävästi käyttäen ja suojellen metsät säilyvät terveinä ja monimuotoisina myös tuleville sukupolville. /1/

Suomessa metsäteollisuuden ympärille on kehittynyt monipuolinen ja laaja yritystoiminnan ja korkean osaamisen verkosto, jota kutsutaan metsäklusteriksi. Suomen metsäklusterin ydin on metsäteollisuus, joka valmistaa massaa, paperia ja kartonkia, näiden jalosteita sekä puutuotteita ja niiden jalosteita. /2/

Klusteriin kuuluvat myös:

- metsätalouden harjoittajat
- logistiikkayritykset
- alan kone- ja laitevalmistajat
- energiantuottajat
- kemikaalien valmistajat
- alan tutkimuslaitokset, korkeakoulut ja konsultit
- graafinen teollisuus
- pakkausteollisuus
- puuta käyttävä rakennusteollisuus /2/

Metsäklusteri työllistää Suomessa suoraan tai välillisesti lähes 200 000, joista noin 50 000 työskentelee sellu-, paperi- ja puutuoteteollisuudessa, noin 10 000 huonekaluteollisuudessa, 20 000 metsätalouden parissa, 5 000 pakkausteollisuudessa ja 25 000 graafisessa teollisuudessa. Metsäsektoriin liittyviä työllistäjiä ovat alan kunnossapitoyritykset, kone- ja laitevalmistajat, puunkorjauksen urakoitsijat, energiasektori ja kemianteollisuus sekä alan tutkimuslaitokset. Metsäsektori on useissa maakunnissa merkittävä toimeentulon lähde ja 50 suurimman tehtaan sijaintipaikkakuntien talous on pitkälti riippuvainen alan yritysten menestyksestä. Euroopassa paperi- ja selluteollisuus työllistää suoraan noin 250 000 henkilöä ja välillisesti noin 1,8 miljoonaa henkilöä. Puutuoteteollisuudessa työllistävä vaikutus on suurempi ja puutuotteiden valmistuksesta toimeentulonsa saa suoraan noin 1,6 miljoonaa ja välillisesti noin 1,1 miljoonaa eurooppalaista. /2/

Suomalainen metsäklusteri panostaa tutkimukseen ja kehitykseen vuosittain yhteensä noin 350–400 miljoonaa euroa. Klusterin määrittelemän uuden tutkimusstrategian mukaan tavoitteena on kaksinkertaistaa tutkimus- ja kehityspanokset vuoteen 2030 mennessä. Tuolloin puolet tuotannon arvosta tulisi tulevaisuuden tuotteista. Tavoitteiden toteutuminen tarkoittaa, että Suomessa on myös tulevaisuudessa menestyvä, kannattava ja kestäväan kehitykseen nojaava metsäklusteri, joka valmistaa haluttuja tuotteita. /2/

Metsäteollisuuden liikevaihto ennen alan sisäisiä liiketoimia on yhteensä noin 16 miljardia euroa. Tästä julkiselle sektorille maksetaan veroina ja maksuina noin kaksi miljardia euroa. Merkittävä osuus muodostuu metsäteollisuuden maksamista palkoista, jotka yltyvät noin 2 miljardiin euroon vuodessa. Kotimaisille metsänomistajille maksetaan kantorahoina noin 1,8 miljardia euroa ja metsänomistajille ulkomaille noin 300 miljoonaa euroa. Suurta osaa näyttölee myös energiasektorilta (1,4 miljardia euroa), kemianteollisuudelta (1,6 miljardia euroa) ja kuljetussektorilta (1,8 miljardia euroa) ostetut tuotteet ja palvelut. /2/

1.1 Työn tavoitteet ja aiheen raja

Tässä diplomityössä perehdytään metsän koneelliseen istutukseen ja laitteisiin, joilla istutusta tehdään. Työssä esitellään koneellisen metsänistutuksen nykytilannetta ja suunnitellaan uuden tyyppinen istutuskone, joka on olemassa olevia istutuslaitteita pienempi ja kustannustehokkaampi sekä käytettävyydeltään niin helppo, että sen ohjaimiin voi tarttua lähes ilman koulutusta. DI-työn pääpaino on mekatronisen laitteen suunnittelussa ja ympäristön sekä työn taimenistutuslaitteelle asettamissa vaatimuksissa ja toiveissa. Alla kuvassa 1 on esimerkkinä jo olemassa olevasta laitteesta M-planter merkkinen istutuskone.



Kuva 1: M-planter merkkinen mekaaninen istutuskone /3/

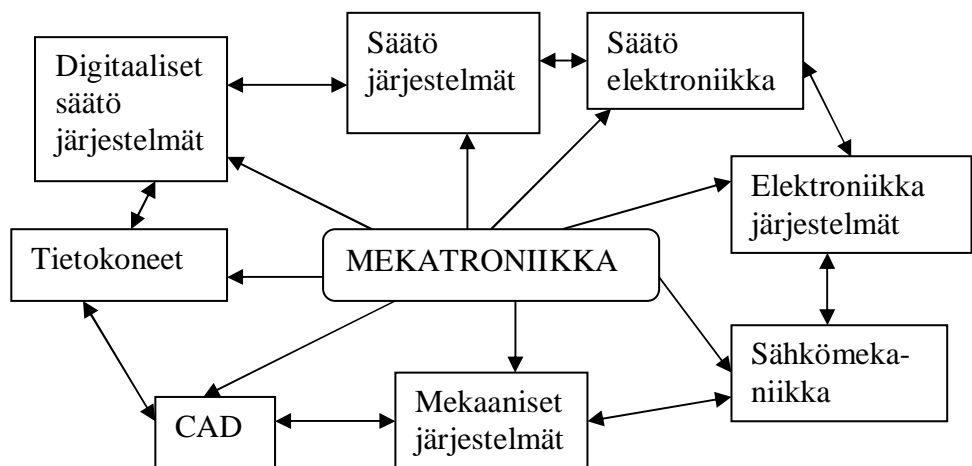
Työn toisessa luvussa keskitytään mekatronisen laitteen suunnitteluun liittyvään teoriaan ja esitellään seikkoja, jotka tulee huomioida mekatronisen laitteen suunnittelussa sekä esitellään laitteen toiminnan kannalta keskeisiä toimilaitteita ja rakenteita. Lisäksi esitellään laitteen käytettävyyden ja toimintavarmuuden kannalta keskeisiä periaatteita.

Kolmannessa luvussa käsitellään metsän istutusta yleisesti ja koneellista istutusta tarkemmin. Tässä esitellään vaatimukset ja toiveet mitä ympäristö ja käyttäjä istutuskoneelle asettavat. Järjestelmällisen tuotekehitysprosessin keinoin pohditaan konstruktioita joilla asetetut vaatimukset ja toiveet voidaan parhaiten täyttää. Kuvataan saavutettu paras ratkaisu tarkemmin ja suoritetaan lujuustarkastelu sekä materiaalin valinta kyseiselle konstruktiolle. Lopuksi tarkastellaan saavutettua konstruktioita ja pohditaan sen onnistumista ja jatkokehittelyn mahdollisuutta taloudelliset ja tekniset näkökulmat huomioon ottaen.

2. MEKATRONISEN LAITTEEN SUUNNITTELU

Määritelmän mukaan kone on laite joka on suunniteltu välittämään tai muuntamaan tehoa, voimaa tai liikettä. /4/ Alkuperäisen Yasakawa Electric Companyn antaman määritelmän mukaan mekatroniikka koostuu sanoista ”meka” ja ”troniikka” tarkoittaen mekanismia ja elektroniikka eli toisin sanoen teknologiaa ja kehitettyjä tuotteita jotka enenevässä määrin yhdistävät elektroniikkaa mekanismeihin, jolloin on mahdotonta päätellä mihin elektroniikka loppuu ja mekanismi alkaa. /5/

Mekatroninen systeemi koostuu toistensa kanssa lomittaisista osa-alueista kuvassa 2 esitetyllä tavalla. Mekatroniikkaa hyödynnetään laajasti lähes kaikilla tekniikan alueilla kodinelektroniikasta toimistotekniikkaan ja avaruustekniikasta lääketieteeseen ja sotateollisuuteen. /6/



Kuva 2: Mekatroniikan osa-alueet

2.1 Taustaa

Termi ”automaatio” tuli yleiseen käyttöön 1940-luvulla kun sitä alettiin käyttää Ford Motor Companyn järjestelmän kuvailemisessa, jossa koneellisesti siirrettiin osakokoonpanoja työasemalta toiselle. Mutta automaatio itsessään on paljon vanhempaa; ensimmäinen automaatio sovellukset olivat käytössä jo Antiikin kreikassa. Alkuperäinen Yasakawan mekatroniikan määritelmä on peräisin vuodelta 1969 ja Yasakawa sai siihen tuotemerkin vuonna 1972, mutta luopui siitä käytön yleistyttyä vuonna 1982. Mekatroniikalla viitattiin alun perin mekaaniseen järjestelmään johon oli liitetty elektronisia komponentteja, eikä tähän liittynyt minkäänlaista laskentaa kuten esimerkiksi automaattiset liukuovet, myyntiautomaatit tai autotallin oven aukaisijat. /5/

1970-luvun lopussa Japan Society for Promoting Machine Industry (JSPI, Japanin koneteollisuuden edistämisen seura) jaotteli mekatroniset tuotteet neljään eri luokkaan jotka ovat:

1. luokka I: Pääasiassa mekaanisia laitteita joihin on yhdistetty elektroniikkaa toiminnan tehostamiseksi. Esimerkiksi CNC-sorvit kuuluvat tähän luokkaan.
2. Luokka II: Perinteiset mekaaniset järjestelmät joihin kuuluu merkittävästi elektroniikalla parannellut sisäiset laitteet ja muuttumattomat käyttäjän kontrollit. Esimerkkeinä toimivat nykyaikainen ompelukone ja automaattiset valmistusjärjestelmät.
3. Luokka III: Järjestelmät jotka toimivat kuten mekaaniset laitteet, mutta joiden perinteiset mekaaniset toiminnot on korvattu elektroniikalla, esimerkiksi digitaalinen kello

4. Luokka IV: Tuotteet jotka ovat suunniteltuja hyödyntämään toimiessaan sekä mekaniikkaa että elektroniikkaa tehostamaan niiden toimintaa. Esimerkiksi kopiokoneet, pesukoneet ja riisinkiekkimet kuuluvat luokkaan IV. /5/

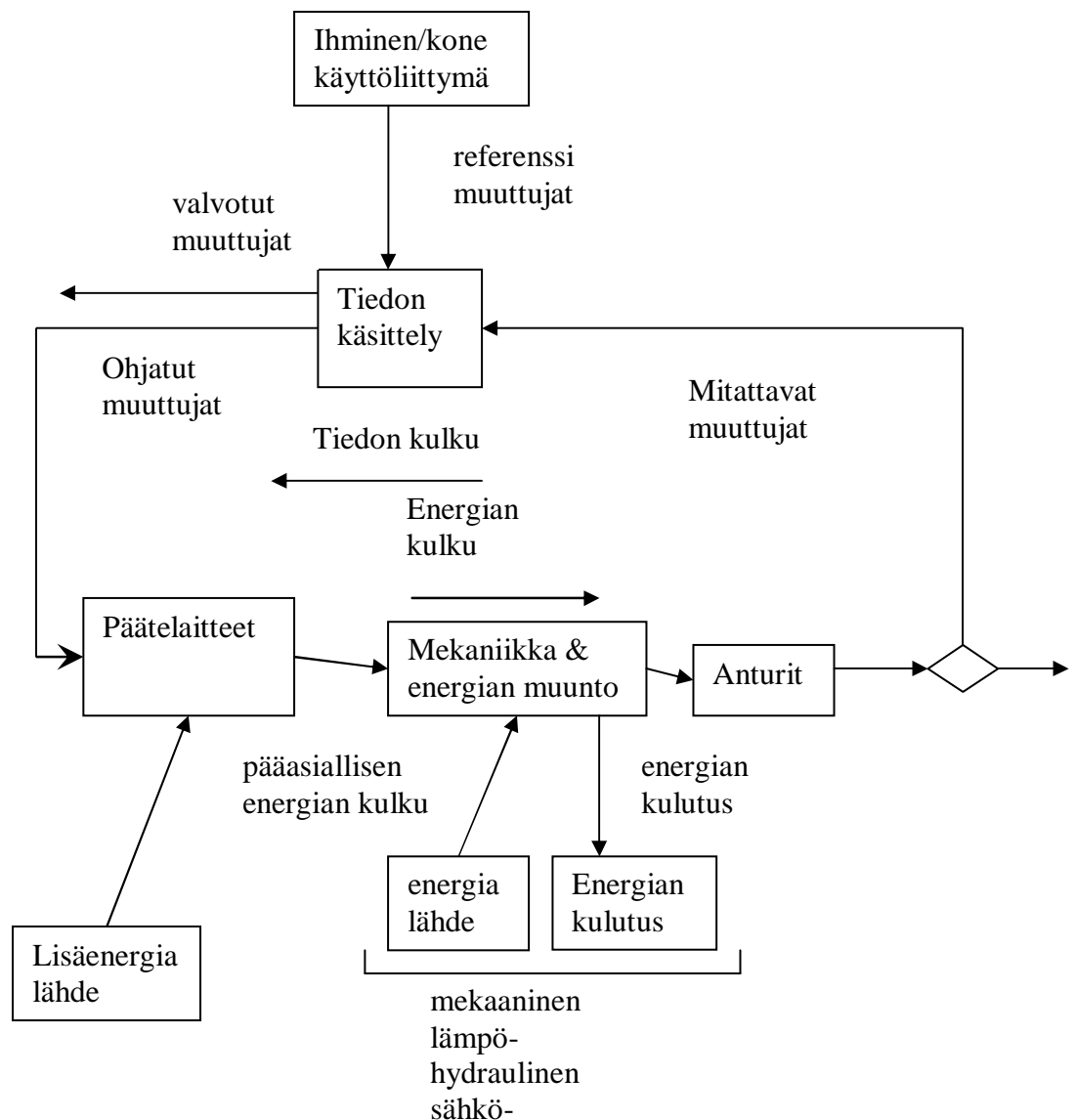
Mekatroninen tuote luokkien mahdollistavat teknologiat kuvaavat tekniikan kehitystä. Luokan I tuotteet käyttävät hyväksi servomoottoreita, tehoelektroniikkaa ja säätötekniikkaa, kun taas luokan II laitteet tulivat mahdollisiksi laskennan tehostumisen, muistilaitteiden kehittymisen ja parantuneen piirisuunnittelun ansiosta. Luokan III laitteet nojaavat mikroprosessoriin ja integroituihin piirilevyihin joilla pystyttiin korvaamaan mekaniikkaa. Luokka IV yhdistää mekaanisia järjestelmiä ja elektroniikkaa joten tällaisten laitteiden esiinmarssin voidaan katsoa aloittaneen todellisten mekatronisten systeemien kehityksen. /5/

Intelin keksimän mikroprosessorin kehitys teki laskentajärjestelmien mekaanisten systeemien integroinnista käytännöllisellä 1970-luvulla. Jako klassisen ja modernin säätötekniikan välillä hämärtyi 1980-luvulla vakaan säätötekniikan kehittyessä ja tietokoneiden käyttö säätöjärjestelmän osana arkipäiväistyi ja tietokoneita käytetään yleisesti prosessinsäädössä ympäri maailmaa. Laskenta on keskeinen osa mekatroniikkaa tänä päivänä ja mikroprosessorien käyttö mekaanisen tehon hallintaan ja muuntamiseen vastaamaan ympäristön asettamiin vaatimuksiin ovat nykyaikaisen mekatroniikan ja älykkäiden tuotteiden ydin. /5/

2.2 Mekatronisen järjestelmän suunnittelu

Mekatroniikka on poikkitieteellinen tieteenala jossa yhdistyy seuraavat tieteenalat:

- Mekaniikka (kone-elimet, koneet ja hienomekaniikka)
- Elektroniikka (mikroelektroniikka, tehoelektroniikka, anturit ja toimilaitteet)
- Informaatiotekniikka (systeemiteoria, automaatio, ohjelmistotekniikka ja tekoäly) /5/



Kuva 3: Kaavio 1: Mekaaninen prosessi ja tiedonkäsittely mekatronisessa järjestelmässä /5/

Kuva 3 esittää yleisen nykyaikaisen mekaanisen prosessin rakenteen kuten esimerkiksi virtaa tuottavan tai tehoa kehittävän laitteen ensisijainen energia virtaa koneeseen, jonka jälkeen joko suoraan käytetään energian kuluttaja tapauksessa, tai muutetaan toiseksi energiamuodoksi. Energiamuoto voi olla sähköinen, mekaaninen (liike-, hydraulikka tai pneumaattinen), kemiallinen tai lämpöenergia. Koneille ovat useimmiten ominaista jatkuvasti tai ajoittaiset (toistuvat) energian virrat. Muissa mekaanisissa prosesseissa, kuten mekaanisia

elementtejä sisältävissä tai hienomekaniikan laitteissa, palottaiset tai jaksottaiset energia virrat ovat tyypillisiä. /5/

Energia virtaus on yleensä yleistetyn virtauksen ja potentiaalin (yrite) tulos. Mekaanisen prosessin tilasta voidaan saada tietoa mittaamalla yleistettyä virtaa (nopeus-, tilavuus- tai massavirtaa) tai sähkövirtaa tai potentiaaleja (voima, paine, lämpötila tai jännite). referenssi muuttujat ja mitatut muuttuja muodostavat yhdessä informaatiovirran digitaalelektroniikan läpi muodostaen ohjattavia muuttujia toimilaitteille tai seurattavia muuttujia näytille. Palaute informaation lisäys ja yhdistäminen sekä eteenpäinkytkentä energiavirran käyttö mekaanisen järjestelmän ohjaukseen on yksi mekatronisen järjestelmän ominaispiirteistä. Tämä on otettava huomioon mekatronista järjestelmää suunniteltaessa. /5/

Mekatroniset järjestelmät voidaan jaotella seuraavasti:

- Mekatroniset järjestelmät
- Mekatroniset koneet
- Mekatroniset ajoneuvot
- hienomekatroniikka
- mikromekatroniikka /5/

Mekaniikan ja elektroniikan yhdistäminen liittyy useaan tekniseen järjestelmään. Usein mekaaninen osa prosessia liittyy sähkötekniseen, lämpötekniseen, termodynaamiseen, kemialliseen tietojenkäsittelyyn liittyvään osaan prosessia. Näin etenkin silloin kun kyseessä on energiaa muuntava Mekatroninen järjestelmä. Mekatroninen järjestelmään liittyy mekaanisia ja ei mekaanisia prosesseja, mutta mekaaniset prosessit ovat yleensä hallitsevassa osassa. Koska lisäenergia on tarpeen muuttamaan aiemmin passiivisen mekaanisen järjestelmän ominaisuuksia eteenpäin- tai taaksepäinkytkennän säädöllä näitä järjestelmiä kutsutaan myös aktiivisiksi mekaanisiksi järjestelmiksi./5/

Taulukko 1: Mekatronisen järjestelmän suunnittelun vaiheet /5/

vaihe	Täysin mekaaninen järjestelmä	Hieno mekaaniset laitteet vaikutus	Mekaaniset osat vaikutus	Koneet vaikutus
1.	Antureiden, toimilaitteiden, mikro-elektroniikan ja säätötoimintojen lisäys	Suuri	Suuri	Suuri
2.	Komponenttien integrointi	Suuri	Suuri	Keskisuuri
3.	Tiedonkäsittelyn integrointi	Suuri	Suuri	Keskisuuri
4.	Mekaaninen uudelleen suunnittelu	Suuri	Suuri	Keskisuuri
5.	Synergiset vaikutukset	Suuri	Keskisuuri	Keskisuuri
	Täysin integroitu järjestelmä	Suuri	Keskisuuri	Pieni
	Esimerkkejä	Anturit, toimilaitteet, digitaalikamerat	Iskunvaimentimet, kytkimet, vaihdejarrut	Sähkömoottorit, polttomoottorit, työstökoneet

Taulukosta 1 nähdään 5 tärkeää mekatronisen järjestelmän kehitysvaihetta alkaen täysin mekaanisesta järjestelmästä päätyen täysin integroituun järjestelmään. Mekaanisen järjestelmän tyypistä riippuen kehitysvaiheen vaikutus järjestelmän toimintaan vaihtelee. Hienomekaaniset laitteet ovat melko pitkälle integroituja ja elektroniikan lisäämisellä voidaan saada merkittäviä parannuksia mekaanisten

osien toimintaan kuten esimerkiksi lukkiutumattomissa jarruissa tai automaattivaihteissa. Koneet ja ajoneuvot kehittyvät kuitenkin hitaasti 1. vaiheen jälkeen osien paranemisen ja uudelleen suunnittelun ansiosta kuten voidaan havaita työstökoneista, roboteista ja ajoneuvojen rungoista. /5/

Tietokoneavusteinen suunnittelu pitää sisällään:

1. Mallin suunnittelu CAD-ohjelmistoa hyväksi käyttäen
2. Mallin rakennus staattisten ja dynaamisten prosessien mallintamiseksi.
3. Muuntaminen tietokone koodiksi simulointia varten.
4. Ohjelmointi ja ohjelmiston käyttöönotto.

Nykyään on olemassa laaja CAD-ohjelmistoja mekaaniseen suunnittelun kuten esimerkiksi Solidworks ja AutoCAD ja PADS piirilevy suunnitteluun. Simulointiin löytyy useita ohjelmistoja kuten esimerkiksi Matlab/simulink, mathCAD ja Mathematica. Nämä kaikki ovat arvokkaita apuja suunnittelijalle, koska ne mahdollistavat järjestelmän käyttäytymisen mallinnuksen ennen sen tuotantoon menoa./5/

Yleistä toimintamallia yhteen mekatronisen järjestelmän teoreettiseen mallintamiseen voidaan luonnehtia seuraavasti:

1. Virtojen määrittely
 - energia virta (sähköinen, mekaaninen, lämmön johtavuus)
 - energia ja materiaali virta (nesteet, lämmön siirto, termodynaaminen, kemiallinen)
2. Järjestelmän osien määrittely: vuo-kaaviot
 - lähteet, jäähdyttimet
 - varastot, muuntimet
3. Järjestelmämallin graafinen esitys
 - kaaviot päätteistä, virroista ja potentiaaleista tai yli ja läpi kulkevista muuttujista
 - kaavio signaalin kulusta järjestelmän läpi
 - kaavio energian kulusta järjestelmän läpi

4. Selostus prosessin osiin liittyvistä yhtälöistä
 - tasapainoyhtälöt varastoille (massan, energian ja liikemäärän)
 - perustavat yhtälöt prosessin osille(lähteet, muuntimet, konvertterit)
 - fenomenologiset lait peruuttamattomille prosesseille (purkavat järjestelmät, jäähdyttimet)

5. Prosessin osien yhteenliittävät yhtälöt
 - jatkuvuus yhtälöt rinnankytkennöille (solmu laki)
 - yhteensopivuus yhtälöt sarjankytkennöille (suljetun piirin laki)
6. Yleiseen malliin liittyvät laskelmat
 - sisään ja ulos kulkevien muuttujien luominen /5/

2.2.1 Materiaaleista ja niihin kohdistuvista voimista

Konstruktio materiaalit voidaan jaotella neljään ryhmään:

- Metallit
- Polymeerit
- Keraamit
- Komposiitit

Tunnetuista 105 alkuaineesta 81 on metalleja, 6 puolimetalleja ja 18 epämetalleja. Historiallisesti keraamit ja polymeerit ovat vanhimmat ihmisten konstruktio materiaalit, mutta metalleilla on dominoiva asema konstruktioissa teollisen tuotannon historiaan aikana. Tämä on johtanut metallien hyvään teoreettiseen tuntemukseen. /7/

Teräksen valta-asema konstruktio metallina johtuu sen monista hyvistä ominaisuuksista. Sen hyviä ominaisuuksia ovat lujuus yhdistettynä sitkeyteen ja muovattavuuteen. Teräksen sitkeys yhdistettynä muokkauslujittumiseen puolestaan mahdollistaa teräksen rakenteen pelastavan käytöksen ylikuormitustilanteessa; teräs myötää ja lujittuu varoittaen näin ylikuormituksesta rakenteen silti tuhoutumatta täysin. /7/

Metalleista on merkittäviä mm. rauta, alumiini, kupari, nikkeli, sinkki, magnesium, ja titaani. Tai oikeammin näiden metallien keskenään ja muiden alkuaineiden kanssa muodostavat seokset tai jopa yhdisteet. Alumiinilla on kaikki tyypilliset metallin ominaisuudet: hyvä muovattavuus, metallin kiiltävä pinta sahauksen jälkeen, hyvä sähkön ja lämmön johtavuus, sekä suhteellisen matala korkein käyttölämpötila (660 °C). Sen sijaan alumiinin ja hapen yhdiste Al_2O_3 on ominaisuuksiltaan erilainen. Se on haurasta, kovaa ja hyvä sekä sähkön että lämmön eriste. Al_2O_3 soveltuu tulenkestävänä esim. uunien sisäverhoukseen (2020 °C). /7/

Keraamit ovat metallin tai piin ja germaniumin sekä epämetallin, useimmiten hapen, typen ja hiilen muodostamia yhdisteitä. Keraamit siis ovat yhdisteitä mutta käytännön keraamimateriaalit ovat seoksia. /7/

Suurin muutos materiaalien valikoimassa on polymeerien käytön voimakas kasvu. Polymeerit ovat useimmiten orgaanisia makromolekyylejä, joiden molekyyliketju koostuu pääasiassa hiilestä. Polymeerit sisältävät tutut materiaalityypit kuten muovit ja kumit. Polymeerien ominaisuudet vaihtelevat hyvin suuresti. Usein ne ovat sitkeitä ja kestävät huonosti korkeita lämpötiloja. mutta osa muoveista on hauraita. Lisäksi kumeilla on oma erikoinen ominaisuutensa: kyky suuriin palautuviin muodonmuutoksiin. Suurimpana syynä polymeerien käytölle on niiden edullisuus yhdistettynä hyvään valmistettavuuteen. /7/

Komposiittimateriaalit eli yhdistelmä-materiaalit ovat materiaaleja, joissa yhdistetään kaksi tai useampia selvästi toisistaan eroavaa materiaalia. Komposiitit sisältävät siis kaikki kolme edellistä pääryhmää. Komposiittien tarkoitus on yhdistää kahden eri materiaalin hyvät ominaisuudet jolloin komposiitin ominaisuudet ylittävät osiensa ominaisuuksien summan. Tyypillisiä komposiittirakenteita ovat synteettinen kuitukomposiitti, lasikuitulujitettu muovi (vrt. lasikuituvene), betoni, joka on silikaatti sementti matriisin ja lujittavien hiekka ja kivi partikkelien muodostama komposiitti. Puu on kuitu lujitetuista lamelleista koostuva sellirakenteinen luonnon komposiittirakenne. Siis puu sisältää komea eri komposiitti rakennetta samassa materiaalissa. /7/

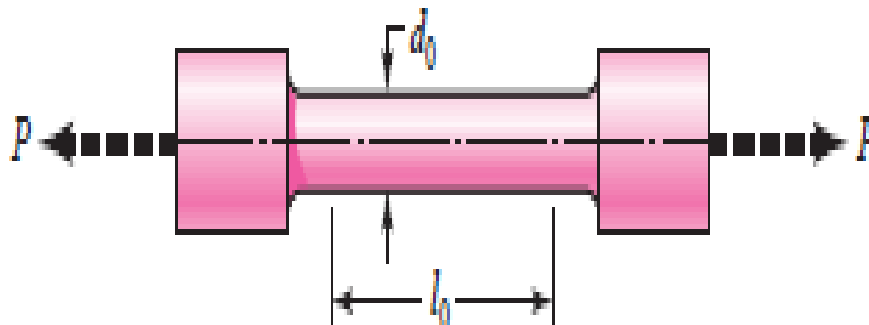
Materiaaliominaisuudet voidaan jakaa mekaanisiin ominaisuuksiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. Mekaaniset ominaisuudet kuvaavat materiaalin reagoitua niihin kohdistettuun voimaan siten että voima saa aikaan jonkin pysyvän muutoksen materiaalissa. Fysikaalisiin ominaisuuksiin kuuluvat sähköiset, lämpötekniset, optiset, magneettiset ja elastiset ominaisuudet. Prosessoinnilla tarkoitetaan muodonantamista materiaalille, mutta prosessointi sisältää menetelmät ominaisuuksien muuttamiseksi. /7/

Koneen- tai rakenteen osan materiaalin valinta on yksi tärkeimmistä päätöksistä suunnitteluprosessissa. Yleensä tämä päätös tehdään ennen kuin osan muoto on päätetty. Kun osan muoto ja materiaali on valittu, osa voidaan mitoittaa siten, että osa täyttää sille asetetun toiminnon vaatimukset. Esimerkiksi tässä mitoituksessa tarvitaan tietoa materiaalin elastisuus ominaisuuksista, arvioita kriittisten kohteiden kuormituksesta koneenosassa ja osan käyttöolosuhteista. Lujuus on materiaaliominaisuus joka selviää testaamalla ja kestävyys vaikuttavat myös osan muoto ja käyttöolosuhteet. /8/

Kuormitukset ja taipumat ovat tärkeitä suunnitteluperusteita, mutta materiaalin valintaa ei aina tehdä tällä perusteella sillä monet koneenosat eivät joudu rasituksen alaiseksi ja voivat olla vain rakenteessa vain täyteenä tai silmää miellyttävässä. Korroosion sieto ja materiaalin käyttäytyminen erilaisissa lämpötiloissa ovat usein tärkeimpiä materiaalin valinta perusteita. Käyttökohteesta riippuen monet tekijät vaikuttavat oikean materiaalin löytymiseen ja materiaalien tuntemus on tärkeää valinnan onnistumisessa. /8/

vetokokeella saadaan selville erilaisia materiaali ominaisuuksia ja lujuuksia joita voidaan käyttää hyväksi suunnittelutyössä. kuvassa 4 on tyypillinen vetokokeen testikappale ja sen tyypilliset ulkomitat d_0 on testikappaleen halkaisija ja l_0 kappaleen pituus. Kokeessa testikappale kiinnitetään koneeseen, jolla siihen kohdistetaan hitaasti lisääntyvä vetojännitys P . Kokeessa seurataan kuormaa P ja

venymää. Yleiset testikappaleen halkaisijat ovat 2.5, 6.25 ja 12.5 mm ja pituudet 10, 25 ja 50 mm, mutta muitakin mittoja on käytössä. /8/



kuva 4: vetokokeen testikappale /8/

Kuormasta P saadaan laskettua nimellisjännitys σ yhtälöstä 1. /8/

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

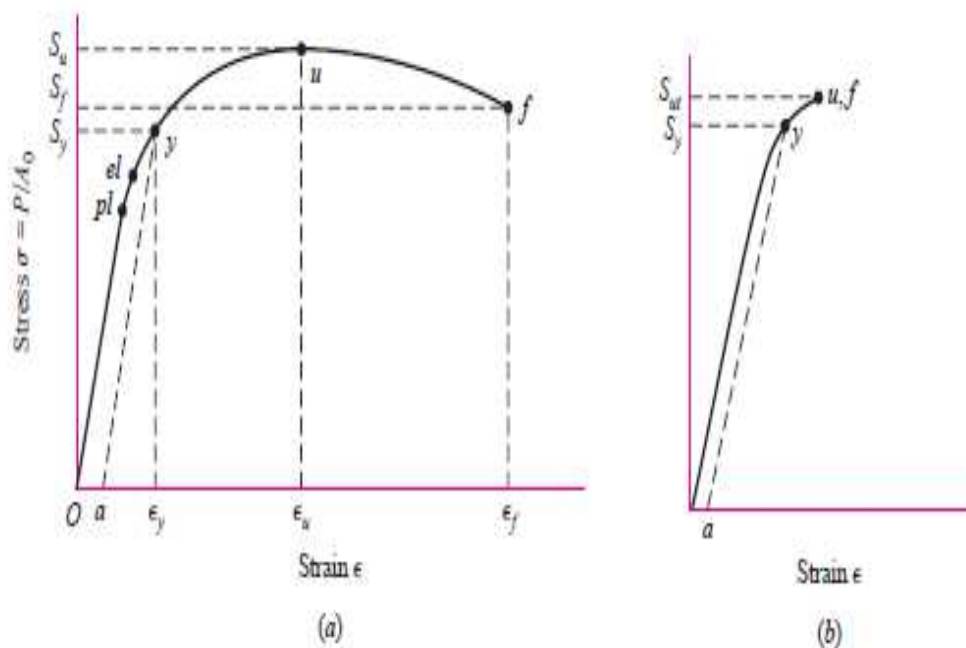
A_0 voidaan selvittää yhtälöstä 2

$$A_0 = \frac{1}{4} * \pi * d_0^2 \quad (2)$$

Venymä tai kappaleen pituuden kasvu saadaan laskemalla $l - l_0$, missä l on testikappaleen pituus kuormitettuna. Normaalivenymä ε saadaan yhtälöstä 3. /8/

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}. \quad (3)$$

Näistä tuloksista voidaan koostaa jännitys-venymäpiirros, josta esimerkkinä kuvan 5 piirrokset kohdassa a) vasemman sitkeän materiaalin jännitysvenymäpiirros ja kohdassa b) haurasta ainetta kuvaava piirros. /8/



Kuva 5: sitkeän a) ja hauraan b) materiaalin jännitys-venymäpiirroksat. /8/

Sitkeät materiaalit muuttavat muotoaan ennen murtumista enemmän kuin hauraat materiaalit. Kuvassa 5 kohdassa a) näkyvä piste pl tarkoittaa suhteellisuusrajaa (pl=proportional limit), ja jos kuorma ei ylitä suhteellisuusrajaa, rakenneosaa palautuu alkuperäiseen muotoonsa. Useimpien koneenrakennuksen materiaalien jännitys-venymäyhteys on lineaarinen kimmoisella alueella. Tämän havaitsi ensimmäisenä Robert Hooke. Hooken laki esitettynä yhtälössä 4. /8/

$$\sigma = E\varepsilon \quad (4)$$

missä suhteellisuusvakio E suora osa jännitys-venymä käyrää on kimmokerroin tai kimmomoduuli. Kimmomoduuli mittaa materiaalin jäykkyyttä ja, venymän ollessa laaduton yksikkö kimmomoduulin yksikkö on sama kuin jännityksellä, esimerkiksi teräksen kimmomoduuli on noin 207 Gpa lämpökäsittelystä, hiilen määrästä tai seostuksesta riippumatta. Ruostumattoman teräksen kimmomoduuli on noin 190 Gpa. /8/

Piste e_l on kimmoraja ja jos kuorma ylittää tämän rasituksen materiaalikäyttäytyminen ei ole pelkästään kimmoista vaikka vielä ollaankin kimmoisella alueella. Kuorman kasvaessa pisteeseen y , joka on myötöraja, materiaali muokkautuu pysyvästi eli tapahtuu myötäminen ts. plastinen deformaatio. Myötörajan σ_y saavuttaessaan testikappale venyy ilman voiman lisäystä. Kaikilla materiaaleilla varsinkaan haurailta ei selvää myötörajaa jolloin se määritetään offset piirtämällä viiva kuten kuvassa 5 pisteestä a samassa kulmassa kuin jännitys-venymä piirroksen lineaarinen osa ja myötöraja pisteessä y löytyy näiden leikkauskohdasta. a paikka löytyy yleensä kohdasta jossa venymä on 0,2 prosenttia kappaleen alkuperäisestä pituudesta tosin joskus 0,01; 0,1 ja 0,5 prosentin venymiä käytetään joskus. /8/

Murtolujuus σ_u on merkitty kuvaan 5 pisteellä u ja siinä pisteessä on jännitys-venymä kuvaajan suurin kuorma. Kuten kuvan 5 kuvaajasta voidaan nähdä, joillakin materiaaleilla maksimi jännitys putoaa särön syntyyn mennessä pisteessä f . Toisilla kuten joillakin valuraudoilla ja erikoislujilla teräksillä pisteet u ja f ovat päällekkäin. /8/

Lujuus on materiaalin tai rakenneosan luontainen ominaisuus, eikä se muutu oli osa kokoonpano linjalla tai osana valmista rakennetta. Jännitys taas on voima joka syntyy yleensä kun osa kasataan ja sitä kuormitetaan. Esimerkiksi sinkopuhallus aiheuttaa puristusjännitystä rakenneosan ulkopintaan sekä parantaa väsymislujuutta. /8/

Kuvan 5 kuvaajia kutsutaan nimellis jännitys-venymä kuvaajiksi, sillä jännitykset ja venymät jotka on saatu laskemalla yllä olevilla kaavoilla perustuvat oletukseen että testisauvan ala pysyy muuttumattomana kun tosiasiasa ala pienenee kuorman lisäämisen johdosta. Todellisen jännityksen saamiseksi kuvaajaan täytyy mitata koko ajan todellinen poikkileikkauksen pinta-ala ja kappaleen pituus vetovoiman funktiona ja näin saatuja jännityksen ja venymän arvoja käyttäen piirrettyä käyrää sanotaan todelliseksi jännitys-venymäpiirroksiksi. /8/

Todellisessa jännitys-venymäpiirroksessa materiaalin jännitys kasvaa koko ajan ja vaikka piirroksiset ovat erilaiset myötämisen jälkeen, useimmat tekniset sovellukset pysyvät kimmoisella alueella, jossa Hooken laki pätee. /8/

Koostettaessa todellista jännitys-venymäpiirrosta käytetään termiä todellinen venymä tai logaritminen venymä. Todellinen venymä on vähittäisten venymien summa jaettuna mitatulla pituudella kuormalla P . /8/

$$\varepsilon_t = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0} \quad (5)$$

Yhtälössä 5 symboli ε_t on todellinen venymä. Huomionarvoisin piirre todellisessa jännitys-venymäpiirroksessa on se, että jännitys kasvaa aina säröytymiseen asti. Voima σ_f , jossa murtuma syntyy, on suurempi kuin myötölujuus σ_m . /8/

Puristuskokeet ovat vetokokeita vaikeampia suorittaa ja testikappaleen muoto on erilainen vetokokeisiin verrattuna. Tästä syystä kappale voi taipua kokeen aikana tai jännityksen jakautuminen voi olla epätasaista. Muita hankaluuksia ilmenee, koska sitkeät materiaalit pullistuvat myötämisen jälkeen. Tuloksista voidaan kuitenkin laatia jännitys-venymäpiirroksia samaan tapaan kuin vetokokeillakin. Suurimmalle osalle sitkeitä materiaaleja puristuslujuudet ovat samaa luokkaa kuin myötölujuudet, mutta merkittävien erojen ilmetessä myötö- ja puristuslujuuksien välillä kuten valurautojen tapauksessa tulee myötö- ja puristuslujuudet ilmoittaa erikseen σ_m ja σ_p , missä puristuslujuudella σ_p on positiivinen arvo. vääntövoimat määritetään vääntämällä umpinaista pyöreää tankoa ja merkitsemällä muistiin momentti ja väännön kulma. tuloksista koostetaan momentti-vääntöpiirros. Kappaleen leikkausjännitykset riippuvat säteittäisestä paikasta. Keskellä kappaletta leikkausjännitys on 0 ja maksimiarvo löytyy ulkokehältä. Leikkausjännityksen maksimi τ_{\max} saadaan laskettua yhtälöstä 6. /8/

$$\tau_{\max} = \frac{Gr}{l_0} \theta \quad (6)$$

missä θ on väännön kulma radiaaneissa, r on testikappaleen säde, l_0 testikappaleen pituus ja G kappaleen jäykkyys ominaisuus liukukerroin. Suurin leikkausjännitys saadaan myös käyttämällä hyväksi käytettyä vääntömomenttia T . /8/

$$\tau_{\max} = \frac{Tr}{J} \quad (7)$$

Yhtälöstä 7 johon jäyhyysmomentti J saadaan yhtälöstä 8.

$$J = \frac{1}{2} \pi r^4 \quad (8)$$

Momentti-vääntöpiirros on samanlainen kuin jännitys-venymäpiirros ja liukukerroin ja kimmoraja sekä vääntö myötöraja σ_{sy} voidaan siitä löytää. Kuvan 5 pistettä u vastaava maksimipiste momentti-vääntöpiirroksessa on T_u . /8/

$$\sigma_{su} = \frac{T_u r}{J} \quad (9)$$

Yhtälöstä 9 saadaan vääntökokeen taivutuslujuus. Adjektiivää nimellinen käytetään kuvaamaan sitä että jännitykset ja voimat on laskettu testikappaleen alkuperäisestä poikkileikkaus pinta-alasta. Näitä arvoja yleensä suositaan suunnittelun tarvitsemien laskutoimitusten perustana. /8/

Lujuus arvojen jännitys-venymäpiirroksesta saadaan tietoa materiaalin energian omaksumiskyvystä. Materiaalin kykyä imeä itseensä energiaa jännitys-venymäpiirroksen kimmoisella alueella kutsutaan kimmoisuudeksi. Materiaalin kimmoisuus kerroin U_r määritetään omaksutun energian määränä yksikköä kohti ilman pysyvää muodonmuutosta ja se vastaa aluetta joka jännitys-venymäpiirroksessa jää kimmorajan alapuolelle. Kimmoraja arvioidaan usein myötörajan perusteella sillä sen määrittäminen on helpompaa. /8/

$$U_r \cong \int_0^{\varepsilon_m} \sigma d\varepsilon \quad (10)$$

Yhtälössä 10 ε_m on venymä myötörajan kohdalla. Jännitys-venymäpiirroksen ollessa lineaarinen myötörajaan asti käyrän alle jäävä alue on kolmion muotoinen, jolloin U_r saadaan yhtälöstä 11.

$$U_r = \frac{\sigma_m^2}{2E} \quad (11)$$

Tämä tarkoittaa että saman myötörajan omaavista taipuisampi omaa paremman kyvyn omaksua energiaa. Materiaalin kykyä omaksua energiaa murtumatta kutsutaan kovuudeksi. Materiaalin kovuuskerroin U_t määritetään energiamäärällä, jonka materiaali voi omaksua murtumatta, mikä vastaa jännitys-venymäpiirroksen alaa murtumispisteeseen asti, jolloin saadaan /8/

$$U_t = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon \quad (12)$$

Yhtälössä 12 ε_f on venymä murtumiskohdassa. Tämä integrointi suoritetaan usein graafisesti jännitys-venymä tiedoista tai raakana arviona käyttämällä myötö- ja murtolujuuksien sekä venymää murtumiskohdassa kuten yhtälössä 13. /8/

$$U_t \cong \left(\frac{\sigma_m + \sigma_{\max}}{2} \right) \varepsilon_f \quad (13)$$

Kovuuden ja kimmoisuuden yksikkö on $\frac{J}{m^3}$ mikä numeerisesti vastaa painetta Pa.

Nämä kimmoisuuden ja kovuuden määritelmät edellyttävät pieniä venymätasoja joista jännitys-venymäpiirros voidaan muodostaa. /8/

Materiaalin valinta on sidoksissa prosessiin ja muotoon. Muodon aikaan saamiseksi materiaali täytyy altistaa valmistusprosessille. Toiminto, materiaali,

muoto ja prosessi ovat yhteydessä toisiinsa. Toiminto vaikuttaa materiaalin valintaan, materiaalin valmistettavuus vaikuttaa valmistusprosessiin ja muoto määrittelee valmistusprosessin kulkua. Tämä vuorovaikutus ohjailee koko materiaalin valinta prosessia. /9/

Materiaalin valinta yksinkertaistetusti etenee seuraavasti. päätetään vaatimukset joiden mukaan materiaaleja optimoidaan. Asetetaan rajoitteita joiden avulla korvataan vapaat muuttujat. Päätetään materiaaliominaisuus yhdistelmä joka parhaiten täyttää aikaisemmin asetetut vaatimukset. /9/

Materiaali valinnan prosessia voidaan kuvata seuraavilla askeleilla:

1. Määritellään kokoonpanon vaatimukset:

Toiminto: Mitä osa tekee?

Rajoitteet: Välttämättömät vaatimukset jotka pitää täytyä esimerkiksi jäykkyys, lujuus tai korroosion kesto.

Tavoite: Mitä minimoidaan tai maksimoidaan?

Vapaat ominaisuudet: Mitkä rajoittamattomat ominaisuudet ovat ongelmallisia?

2. Listaa rajoitteet: ei myötöä, ei murtumaa tai ei taipumista. Muodosta yhtälö tätä varten jos tarpeellista.

3. Muodosta tavoite funktio toiminnallisille, muodon asettamille ja materiaaliominaisuuksien asettamille vaatimuksille.

4. Tunnista määrittelemättömät tekijät.

5. Vaihda vapaat muuttujat rajoiteyhtälöistä tavoite funktioon.

6. Ryhmitellään muuttujat kolmeen ryhmään: funktionaaliset vaatimukset F , Geometria G ja Materiaaliominaisuudet M , jolloin suoritusarvot S voidaan esittää näin: $S \leq f_1(F) * f_2(G) * f_3(M)$ tai $S \geq f_1(F) * f_2(G) * f_3(M)$

7. Katsotaan materiaaliluettelosta mikä materiaali parhaiten mikä materiaali parhaiten optimoi materiaaliominaisuuksia M . /9/

2.2.2 Sähkötekniikka ja elektroniikka

Fysikaalisen systeemin kolme perus suureta ovat massa (kilogramma, kg) pituus (metri, m) ja aika (sekunti, s). Neljäs suure on sähkövaraus, jota tarvitaan silloin kun systeemi sisältää myös sähköisiä komponentteja. Sähkövarauksen tunnus on q ja sen mittayksikkö coulombi (C). Sähköjärjestelmään liittyvät lisäyksiköt on yleensä nimetty keksijänsä mukaan, mutta ne kaikki voidaan ilmaista näiden neljän yllä mainitun perus yksikön avulla. /10/

Sähkökenttä ilmenee sähkövarauksen tai varauksien lähistössä ja koska sähkökenttä käyttää siinä olevaa sähkövarausta työtä tehdään siirtämään varausta sähkökentässä. Työtä joka tarvitaan liikuttamaan yhden coulombin positiivinen sähkövaraus paikasta toiseen, kutsutaan potentiaalieroksi näiden paikkojen välillä. /10/

Potentiaalieron yksikkö on voltti (V). Tämä on seurausta yllä olevasta määritelmästä, että 1 voltti on yhtä kuin 1 joule/coulombi, jossa joule mittaa energiaa. Jännite, jota mitataan voltteina kuvaa siis kahden aseman välistä potentiaaliero sähkökentässä. /11/

2.2.3 Hydrauliikka

Hydrauliikkaan kuuluvia peruskäsitteitä:

Hydrauliikka; yleisnimitys teknillisille sovellutuksille, jotka hyödyntävät kaasujen ja nesteiden hydrostatiikkaa ja hydrodynamiikkaa.

Hydrostatiikka; Suhteellisessa tai absoluuttisessa levossa olevien nesteiden ja kaasujen tarkastelua.

Hydrodynamiikka; liikkeessä olevien nesteiden ja kaasujen tarkastelua.

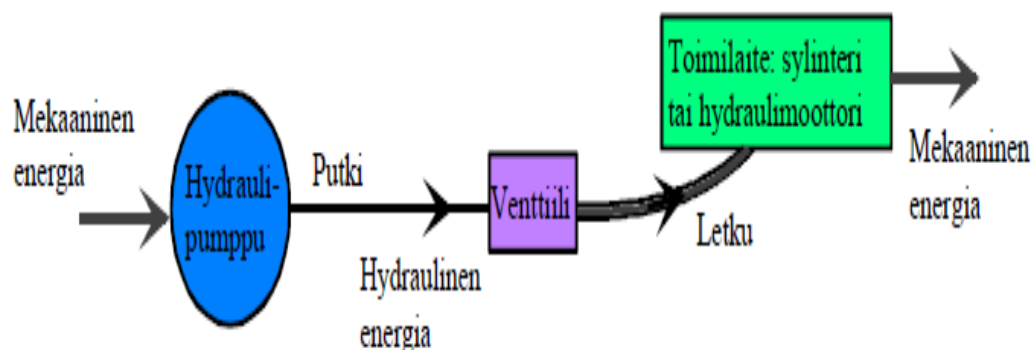
Hydrauliteknikka; on hydrauliikan osa, joka käsittelee kokoonpuristumattomia väliaineita, erityisesti nesteitä (öljyjä).

Öljyhydrauliikka; hyödyntää tehonsiirron väliaineena paineenalaista öljyä.

Pneumatiikka (paineilmateknikka) käyttää väliaineena tehonsiirrossa paineenalaista kaasua (ilma).

Hydrostaattinen tehonsiirto hyödyntää paine- eli potentiaalienergiaa. /12/

Hydraulijärjestelmä muodostaa energian siirtoketjun, jonka avulla mekaaninen energia muunnetaan hydraulipumpun avulla hydrauliseksi ja siirretään letkujen ja putkien avulla venttiilien kautta toimilaitteelle, jossa energia muunnetaan takaisin mekaaniseksi energiaksi. Kuvassa 6 esitellään kaavio energiansiirrosta hydraulijärjestelmässä. /13/



Kuva 6: Energian siirto hydraulisessa järjestelmässä /13/

Hydraulijärjestelmien edut muihin energian siirtotapoihin ovat vähäiset rajoitteet suunnitteluvaiheessa, sillä energiaa voidaan siirtää tuottokohteesta käyttökohteelle

letkujen ja putkien avulla sopivinta reittiä käyttäen, sekä komponenttien hyvä teho/painosuhte, joka mahdollistaa pienet ja keveät laitteistot. Hydraulinen energian- ja tehonsiirto voidaan toteuttaa joko hydrostaattisesti tai hydrodynaamisesti. Hydrostaattisessa tehonsiirrossa siirrettävä energia sidotaan potentiaalienergiaksi ja hydrodynaamisessa tehonsiirrossa nesteen liikeenergiaksi. /13/

Hydrauliikan hyödyllisyys perustuu seuraaviin lakeihin:

- nesteet eivät omaa muotoa
- paineen jakautuminen on tasaisesta
- nesteet ovat käytännössä kokoonpuristumattomia /12/

Hydrauliikalla voidaan saavuttaa seuraavia etuja:

- hyvä teho/paino-suhde
- lineaarinen liike ja pyörivä liike helppo toteuttaa (vrt. sähkökäyttö)
- voimien, momentin ja nopeuden helppo säädettävyys
- ylikuormituksen esto on mahdollista
- komponentit standardisoituja
- voidaan ohjata sähköisesti /12/

Huonot puolet:

- huollettava jatkuvasti
- järjestelmän oltava puhdas, jotta komponentit toimisivat moitteettomasti
- pitkien matkojen tehohäviöt /12/

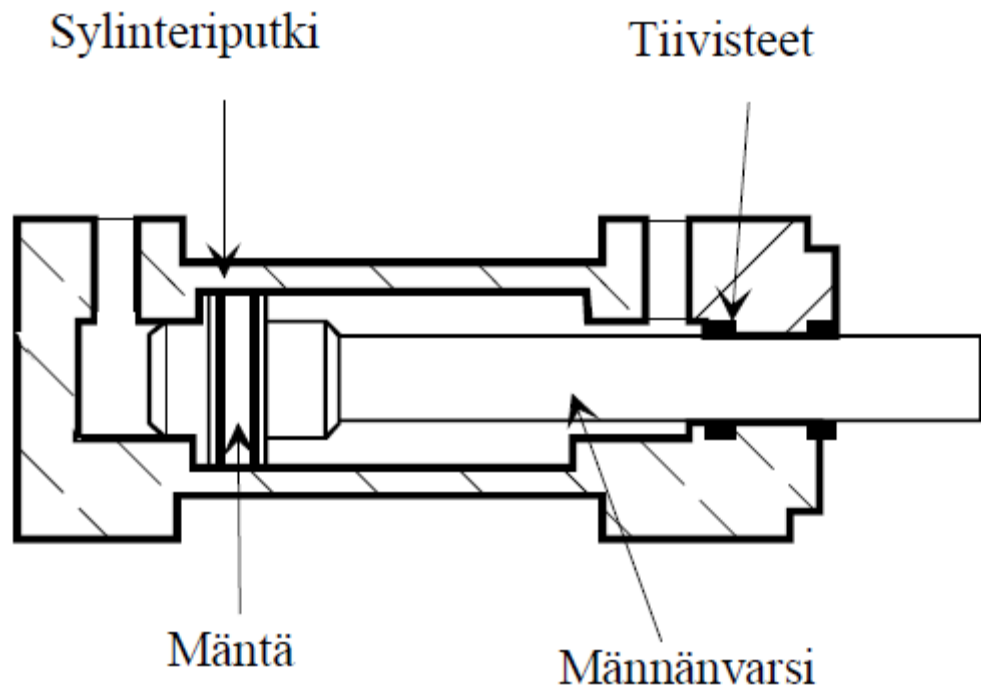
2.3 Toimilaitteet

Hydraulisjärjestelmässä mekaaninen energia muunnetaan hydrauliseksi energiaksi pumppujen avulla. Hydraulinen energia muutetaan takaisin mekaaniseksi energiaksi moottoreilla ja sylintereillä. Hydraulistekniikassa pyörivät koneet (pumput ja moottorit) toimivat pääasiassa syrjäytysperiaatteella. Syrjäytysperiaate pohjautuu jaksoittain muuttuvaan tilaan siten, että tilan ollessa yhteydessä toiseen kanavaan tilavuuden kasvaessa ja toiseen tilavuuden pienentyessä. /12/

Hydraulissylintereitä käytetään hydraulisen energian muuntamiseen lineaariseksi liikkeeksi. Varsinkin hydraulisylinterin yhteydessä käy ilmeiseksi yksi hydrauliiikan hyvistä puolista esim. sähkökäyttöön nähden: hydraulisylinterin avulla lineaariliike on helppo toteuttaa ja saada aikaan suuri voima. /12/

2.3.1 Hydraulisylinterit

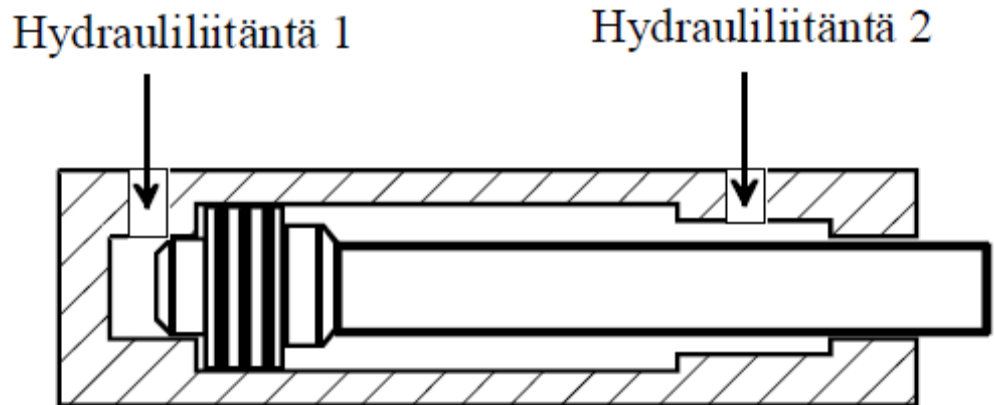
Hydraulipumppujen tuottama energia voidaan muuttaa mekaaniseksi energiaksi sylintereiden ja moottoreiden avulla. Sylintereiden avulla tuotettava liike on suoraa lineaariliikettä. Kuvassa 7 esitellään yksinkertaistettu sylinterin perusrakenne. Sylinterin pääosat ovat sylinteriputki, mäntä, männänvarsi sekä tiivisteet. Toimintaperusteensa mukaan sylinterit jaetaan yksitoimisiin ja kaksitoimisiin sylintereihin. /13/



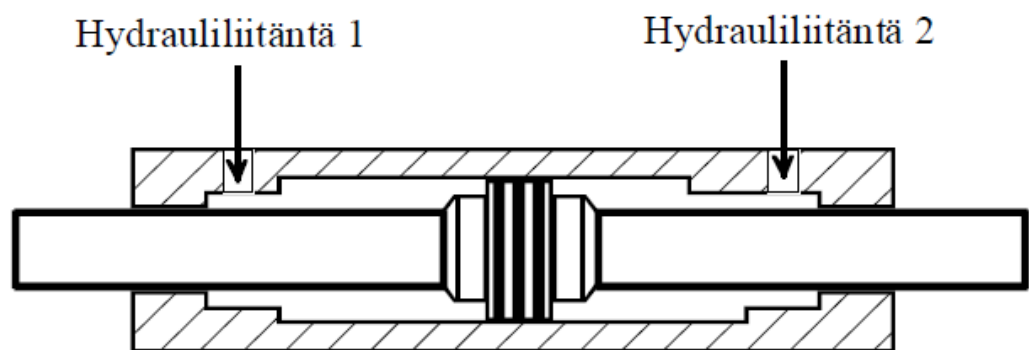
Kuva 7: Kaksitoimisen hydraulisynterinin rakenne /13/

Yksitoimista sylinteriä pystyy käyttämään hydraulisesti yhteen suuntaan, paluuliikkeen ollessa joko ulkoisen kuorman tai jousivoiman avulla toteutettua. Sylinterillä on yksi työsuunta ja yksi hydrauliliitântä. Yksitoimisten sylinterien rajoitetut käyttömahdollisuudet tekevät niistä harvinaisia. /13/

Kaksitoimista sylinteriä käytetään hydraulisesti molempiin suuntiin. Sylinterillä on kaksi työsuuntaa ja kaksi hydrauliliitântää. Näin paine voidaan tuoda männän molemmille puolille. Kaksitoimiset sylinterit voidaan jakaa yksi- ja kaksipuolisella männänvarrella varustettuihin sylintereihin sekä teleskooppisyntereihin. Kuvassa 8 esitellään yksipuolisella männänvarrella toimivan kaksitoimisen sylinterin rakenne ja kuvassa 9 kaksipuolisen männänvarrella toimivan kaksitoimisen sylinterin rakenne. Yksipuolisella männänvarrella varustetussa sylinterissä kammioiden pinta-alat ovat erikokoiset. Tästä seuraa, että voimat ja nopeuden erisuuntaisilla liikkeillä ovat erisuuret, vaikka sama syöttöpaine ja tilavuusvirta olisivat käytössä. /13/



Kuva 8: Kaksitoiminen hydraulisyylinteri yksipuolisella männänvarrella. /13/



Kuva 9: Kaksipuolisella männänvarrella varustettu kaksitoiminen hydraulisyylinteri. /13/

Kaksipuolisen männänvarren omaavissa sylintereissä männän pinta-alat ovat yhtä suuret männän eri puolilla. Siksi myös voimat ja nopeudet ovat samanlaisia molempiin liikesuuntiin, saman paineen ja tilavuusvirran ollessa käytössä. Nämä sylinterit ovat symmetrisiä toimilaitteita, joten ne soveltuvat käytettäväksi myös suljetuissa järjestelmissä. /13/

2.3.2 Hydraulimoottorit

Hydraulimoottorissa hydraulinen energia muutetaan takaisin mekaaniseksi energiaksi ja rakenteeltaan hydraulimoottorit muistuttavat hydraulispumppuja. Joitakin hydraulikoneita voidaankin käyttää sekä pumppuina että moottoreina. Hydraulimoottoreille on tyypillistä, että niistä saadaan moottorin kokoon nähden suuria momenteja ja tehoja. /12/

Moottorit voidaan jakaa pyörimisnopeutensa mukaan hidaskäynti- ja nopeakäyntimoottoreihin. Hidaskäyntimoottorit pyörivät hitaasti, mutta ne pääsevät erittäin pienillä pyörimisnopeuksilla lähes maksimivääntömomenttiinsa. Nopeakäyntimoottorit pyörivät nopeasti ja niiden suurimmat vääntömomentit löytyvät käyntinopeusalueen yläosassa. Lisäksi puhutaan keskinopeusalueen moottoreista, mutta tämä on epätarkkaa joidenkin moottorien kattaessa useamman käyntialueen. /12/

2.4 Järjestelmällinen tuotekehitysprosessi

Tuotekehitys on toimintaa, jonka tarkoitus on uuden tuotteen kehittäminen tai jo olemassa olevan tuotteen parantaminen. Se on monivaiheinen prosessi, jossa pyritään täyttämään asetetut tavoitteet mahdollisimman hyvin, huomioiden tekniset ja taloudelliset aspektit. Tuotekehitystoiminnan onnistumisella on merkittävä vaikutus tuotteen kaupalliseen onnistumiseen. /14/

2.4.1 Järjestelmällinen tekninen suunnittelu

Järjestelmällinen tekninen suunnittelu nojaa muutamaan monilta eri tieteen aloilta kuten filosofiasta, psykologiasta ja johtamisesta kumpuavaan perussääntöön joiden tarkoitus on tehostaa prosessia jossa ratkaisuja etsitään. Käytettäessä järjestelmällisen teknisen suunnittelun prosessia seuraavien reunaehtojen tulee täytyä, jotta se toimii ja johtaa tavoiteltuun lopputulokseen. /15/

- Työn tarkoitus: esimerkiksi keskustelu projektin merkittävyydestä ja siitä miksi se valmistuminen on tärkeää.
- Reunaehtojen määrittely: tehtävän asettamien rajoitteiden selkeyttäminen ja loogisten välttäminen.
- Avomielinen suhtautuminen: mahdollisimman erilaisten ratkaisujen löytämisen kannalta on tärkeää, ettei sulje mahdollisia ratkaisuja pois ennakolta.
- Vaihtoehtojen etsintä: Haetaan ongelmaan useampi, ratkaisu joista valitaan paras.
- Päätöksen teko: arvioidaan saavutettuja mahdollisia ratkaisuja ja tehdään päätös. Prosessin eteneminen pysähtyy jos päätöksen teko ei onnistu. /15/

Seuraavia yleisiä menetelmiä käytetään tukena järjestelmällistä teknistä suunnittelua toteutettaessa:

– Jatkuvien kysymysten menetelmä

Järjestelmällistä lähestymistapaa käytettäessä esitetään kysymyksiä uusien ajatusten ja ideoiden luontiin. Kysymyksillä voidaan herättää keskustelua, jonka avulla uusia ratkaisuja voidaan löytää./15/

– Negaatio menetelmä

Tahallisen negaation menetelmä aloitetaan tunnetusta ratkaisusta, joka pilkotaan osiin ja näille osille pyritään löytämään vastakkaisuuksia joko yksitellen tai ryhmänä, jolloin uusia mahdollisia ratkaisuja on mahdollista löytää. Esimerkiksi pohtiessa pyörivää koneenosaa pohtii samalla myös staattista. Huomiotta jättäminen voidaan katsoa tietyissä tapauksissa negaatioksi. Menetelmää kutsutaan myös ”järjestelmällisen epäilyn” menetelmäksi./15/

– Eriytyvien ajatusten menetelmä

Menetelmä alkaa ensimmäisestä ratkaisusta josta johdetaan uusia ratkaisuja. Tämä tapa ei ole välttämättä järjestelmällinen sillä se voi alkaa satunnaisesta ideasta, oivalluksen tuloksena./15/

– Yhtenevien ajatusten menetelmä

Aloitetaan tuotekehityksen tavoitteista ja pohditaan mahdollisia ratkaisuja, jotka täyttäisivät nämä tavoitteet parhaiten. Tämä menetelmä sopii parhaiten tuotantosunnitelmien laadintaan ja osien valmistukseen tarkoitettujen järjestelmien kehittämiseen./15/

– Järjestelmällisen variaation menetelmä

Kaikkien ratkaisun kannalta tarpeellisten ominaisuuksien ollessa tiedossa pyritään järjestelmällisen varioinnin avulla luomaan mahdollisimman täydellinen ratkaisujoukko, jossa erilaiset ominaisuudet ja mahdolliset ratkaisut ovat edustettuina./15/

Suunnittelu voidaan ajatella prosessiksi jossa informaatiota muunnetaan idean tasolta helpommin käsin kosketeltavaan muotoon. Prosessin edetessä askel askeleelta tiedon tulisi parantua ja ratkaisun löytymiseen asti. Suunnitteluprosessin pilkkominen askeleihin varmistaa, että tavoitteet, suunnittelu, käyttöönotto ja tarkistus pysyvät yhteydessä toisiinsa. /15/

Työ alkaa ongelman kohtaamisella, jolloin perehdytään käsillä olevaan ongelmaan, tutustutaan olemassa oleviin ratkaisuihin ja selvitetään tarkat vaatimukset ratkaisulle. Seuraavaksi määritellään tärkeimmät kysymykset työhön liittyen abstraktilla tasolla sekä säädetään tavoitteita ja työhön liittyviä rajoituksia. Tarkka ongelman määrittäminen ja avoin suhtautuminen auttavat epäsovinnaisienkin hyvien ratkaisujen löytymistä. /15/

Seuraavassa vaiheessa määritellään eri tavoin konkreettisia ratkaisuja ja pyritään varioimaan sekä yhdistelemään niitä järjestelmällisesti, jotta saadaan aikaan paras mahdollinen kokonaisratkaisu esitettyyn ongelmaan. Mikäli saavutettujen

ratkaisuiden määrä on suuri seuraa arviointi, jossa vertaillaan ratkaisuja toisiinsa ja lopuksi tehdään päätös parhaasta ratkaisusta. /15/

Seuraavaksi esitellään lähemmin kaksi järjestelmällisen teknisen suunnittelun menetelmää QFD-menetelmä ja Taguchi-menetelmä, joista QFD-menetelmää hyödynnetään kevyen istuskoneen suunnitteluprosessissa, sillä QFD-menetelmää käytettäessä loppukäyttäjän tarpeita pidetään tärkeimpänä tuotteensuunnittelua ohjaavana tekijänä. Tämä toivottavasti johtaa siihen, että tuote on loppukäyttäjälle mieluinen ja näin ollen sitä voidaan pitää onnistuneena.

2.4.2 QFD- menetelmä

Kaikenkattava menetelmä asiakkaan vaatimusten suunnittelun ominaisuuksien yhteensovittamiseksi on QFD -menetelmä (QFD = Quality Function Deployment). QFD on suora käänös japaninkielisestä termistä joka tarkoittaa kaikkien tuotteen tärkeiden toimintojen järjestelyä asiakkaan vaatimusten mukaisesti. /16/

QFD -menetelmä tunnustaa että ostopäätöksen tekevä tai siihen eniten vaikuttava henkilö on tärkein henkilö tuotteen menestyksen määrityksessä. Elleivät kuluttajat osta tuotetta, on tuote epäonnistunut, oli se miten hyvin suunniteltu tahansa. Kuluttajan ääni on näin ollen ratkaisevassa asemassa tuotteen ominaisuuksien määrittelyssä. Tämä tarkoittaa asiakasryhmän tarkkaa tunnistamista, heidän mielipiteensä kuulemista ja tuotteen ominaisuuksien määrittelyä tältä pohjalta. /16/

QFD- menetelmän tarkoituksena on asettaa tavoite tuotekehitykselle siten että saavutettu lopputuote täyttää asiakkaiden sille asettamat vaatimukset. Menetelmä toimii seuraavasti: /16/

1. Asiakkaiden vaatimukset tunnistetaan tuotteen ominaisuuksiksi. On tärkeää ettei suunnittelutyössä tulkita asiakkaan asettamia vaatimuksia. Asiakkaan vaatimusten tulee näkyä valmiissa tuotteessa.

2. Määritellään ominaisuuksien suhteellinen tärkeys. Asetetaan ominaisuuksille painokertoimet tärkeyden mukaan.
3. Arvioidaan ja pisteytetään kilpailijoiden tuotteet. Kilpailevat tuotteet ja mahdollinen oma tuote tulee arvioida asiakkaiden tarpeiden täyttymisen kannalta.
4. Laaditaan matriisi tuotteen ominaisuuksista tuotteen vaatimuksia vasten. Sisällytetään kaikki tuoteominaisuuksiin vaikuttavat vaatimukset ja ilmoitetaan ne selkeästi mitattavilla yksiköillä.
5. Tunnista mitkä vaatimukset vaikuttavat mihinkin tuoteominaisuuteen. vaikutuksen voimakkuus voidaan ilmoittaa symbolein tai numeroin. Numeroilla on etunsa mutta ne saattavat antaa väärä tarkkuuden.
6. Tunnistetaan miten tuotteen vaatimukset vaikuttavat toisiinsa ja miten ne vaikuttavat asiakkaan käsitykseen tuotteesta.
7. Aseta saavutettavia tavoite arvoja tuotteen ominaisuuksille. Käytä kilpailijoista saatuja tietoja kuluttaja kokeita onnistumisen arviointiin. /16/

2.4.3 Taguchi-menetelmä

Tohtori Genichi Taguchin kehittämä menetelmä on yksi tehokkaimmista suunnittelumenetelmistä, jossa yhdistyy insinööritietämys ja tilastollinen analyysi. Menetelmän avulla voidaan optimoida tuotteet ja prosessit. /17/

Taguchi-menetelmä koostuu kolmesta perusvaiheesta: systeemisuunnittelu, parametrisuunnittelu ja toleranssisuunnittelu sekä nämä yhteen liittävästä Taguchi-laatufilosofiasta. Taguchin laatufilosofian perusajatus voidaan pelkistää seuraavaan neljään kohtaan: /17/

1. Laadun parantaminen ja kustannusten alentaminen samanaikaisesti on mahdollista pienentämällä tuotteen ominaisuuksien varianssia. Perinteisesti ajatellaan laadun ja kustannusten olevan toistensa vastakohtia, mutta Taguchin menetelmällä voidaan saada aikaan parempaa laatua pienemmin kustannuksin. /17/
2. Tuotteen ominaisuuksien vaihtelua pienennetään käsittelemällä ohjaus- ja häiriötekijöitä erillisinä niin, jotta tuotteesta tulisi robusti ja se kestäisi häiriöitä. Perinteisesti tuote suunnitellaan käyttämällä kalliita ja pieniä toleransseja materiaaleissa ja tuotteissa häiriövaikutusten eliminoimiseksi. Taguchi-menetelmässä edullisten ja suurien toleranssien materiaaleja ja osien ominaisuuksia käytetään hyväksi paremman ja halvemman tuotteen aikaansaamiseksi. /17/
3. Ohjaamalla ja valitsemalla suunnittelijan käytettävissä olevia tekijöitä voidaan minimoida sellaisten häiriöiden vaikutukset, joihin ei voida suoraan vaikuttaa. Perinteisesti häiriötekijöiden vaikutukset pyritään ratkaisemaan eliminoimalla häiriö (lämpötila, värinä, kuluminen jne.) tavalla tai toisella. Taguchi-menetelmässä ongelma kierretään hyödyntämällä eri parametrien keskinäisiä vaikutuksia, ja ongelma ratkaistaan ilman kallista eliminointia. /17/
4. Vain tavoitearvoa voidaan pitää laadukkaana. Perinteisesti toleranssin sisällä olevat arvot ovat yhtä hyviä ja vain toleranssin yli menevät arvot aiheuttavat tarpeen laadun parantamiseen. Taguchi osoittaa, että asiakkaalla on vain yksi hyvä arvo. Kaikki tästä poikkeavat arvot merkitsevät asiakkaalle hävikkiä - olivat ne sitten toleranssien sisä- tai ulkopuolella. Hävikki ei ole vakio, vaan verrannollinen poikkeaman neliöön. /16/

Taguchi-menetelmän johtoajatus on, että tuotteen tai prosessin laatu on kiinteä osa itse tuotetta tai prosessia. Taguchi-menetelmässä suunnittelu jaetaan kolmeen vaiheeseen, joissa tuotetta ja prosessia optimoidaan: systeemisuunnittelu, parametrisuunnittelu ja toleranssisuunnittelu. /17/

Systeemis suunnittelussa valitaan materiaalit, osat ja alustavat tuoteparametrit. Prosessin suunnittelussa käytetään samaa perussuunnittelujaksoa. systeemis suunnittelussa hyödynnetään QFD -menetelmää. /17/

Parametrisuunnittelussa testataan ja optimoidaan alustavat systeemis suunnittelussa asetetut tuoteparametrit ja haetaan parhaat mahdolliset yhdistelmät. Tuote tai prosessi pyritään suunnittelemaan mahdollisimman vahvaksi olosuhteiden aiheuttamia vaihteluita ja muita häiriöitä vastaan. Taguchi-menetelmässä parametrisuunnittelu on tärkein vaihe parannettaessa tuotteen laatua. Ominaisuuksien vaihtelua voidaan pienentää ilman, että kustannuksia lisätään. /17/

Taguchi-menetelmän parametrisuunnittelun tavoitteena on määrittää suunnittelijan valittavissa ja ohjattavissa olevien tekijöiden (esim. materiaalit, mitat, asetusarvot) ominaisarvot niin, että saavutetaan mahdollisimman hyvä suoritusarvo mahdollisimman vähin häiriöin ja kustannuksin. Tarkoituksena on määrittää suunnittelun ohjaustekijät (suunnittelutekijät) ja häiriötekijät jonka jälkeen niitä käsitellään erillisinä. Tarkoitus on etsiä keskinäisvaikutuksia ohjaustekijöiden ja häiriötekijöiden väliltä. Tarkkaa keskinäisvaikutustekijää ei tarvitse välttämättä löytää. Riittää, kun ohjaustekijöistä ja niiden asetusarvoista löydetään kombinaatio, jolla häiriötekijän vaikutus pienenee. Ohjaustekijöistä voidaan lisäksi etsiä tekijät, joita muuttamalla tuotteen suoritusarvoa voidaan parhaiten maksimoida./17/

Toleranssisuunnittelua käytetään pienentämään vaihtelua, mikäli parametri-suunnittelussa siinä ei tarpeeksi hyvin onnistuttu. Toleranssisuunnittelussa lähinnä tiukennetaan tuotteiden tai prosessien niitä toleransseja, joilla on suurin vaikutus tuotteen ominaisuuksien vaihteluun. Toleranssisuunnittelu lisää aina kustannuksia parempien materiaalien komponenttien tai koneiden muodossa. /17/

Yleensä suunnittelussa lähdetään parhaista materiaaleista, jotka korvautuvat suunnittelun edetessä halvemmilla. Parametrisuunnittelussa lähtökohtana ovat karkeat, halvat komponentit ja raaka-aineet. Perinteinen suunnittelu on yleensä

ongelmien etsimistä ja syiden poistamista. Parametrisuunnittelussa vaihtelua pyritään pienentämään poistamatta vaihtelun syytä. Syyn poisto saattaa tulla kalliiksi ja sitä halutaan parametreja valittaessa välttää. Häiriötekijät voidaan tunnistaa koesuunnittelulla ja käsitellä erikseen. Perinteisesti suunnittelussa käsitellään vain keskiarvoja, mutta parametrisuunnittelussa huomioidaan lisäksi poikkeamat (signaali-kohinasuhde). Jos poikkeamaa ei tunneta, sen estäminen on vaikeaa. /17/

Taguchi luokittelee parametrit neljään ryhmään:

1. Signaalitekijät ovat käyttäjän asettamia tekijöitä, joiden avulla saadaan prosessista tai koneesta haluttu ulostulo.
2. Ohjaustekijät ovat suunnittelijan asettamia tuotteen parametrien arvoja. Tavoitteena on löytää ohjaustekijöille taso, jolla ominaisuus olisi paras mahdollinen (kriteereinä esim. stabiilisuus, robustisuus ja kustannukset).
3. Skaalaus- eli tasotekijöillä säädetään haluttu yhteys signaalitekijän ja ulostulon välille.
4. Häiriö- eli kohinatekijät ovat tekijöitä joita ei voi ohjata. Häiriötekijät vaikuttavat ulostuloon, ja niiden taso vaihtelee tuotteen ja olosuhteen mukaan. /17/

2.5 Käytettävyys

Tuotekehitysprosessissa pitää muistaa, että tuotteet suunnitellaan loppukäyttäjille ja tarkoituksena on tehdä niistä helppokäyttöisiä, helposti opittavia, tuottavia ja turvallisia. Suunnittelun tavoitteena ovat tuotteen toimivuus, hyvä käytettävyys, miellyttävä ulkonäkö ja kilpailukykyinen hinta. Hyvin suunnitellun tuotteen ominaisuuksia ovat turvallisuus, tehokkuus, helppokäyttöisyys, kestävyys, huollettavuus, realistinen hinta ja miellyttävä ulkonäkö. Hyvän käytettävyyden

ominaisuudet kertovat tuotteen laadusta. Käytettävyys rakennetaan tuotteeseen jo tuotekehityksen alkuvaiheessa, jonka jälkeen sitä voidaan vain arvioida. /18/

Kuluttajilla on valinnanvaraa ja he ovat entistä vaativampia tuotteiden ominaisuuksien suhteen. Tuotteen myyminen pelkän markkinoinnin avulla ei ole pitkäjänteistä vaan kilpailukykyisen tuotteen perusedellytys on käyttäjätiedon hyödyntäminen tuotekehityksessä. Käytettävyuden parantaminen vaatii suoraa tietoa käyttäjiltä. Testauksia käyttäjien kanssa tehdään visualisoinnin, mallinnuksen ja prototyypin avulla. Haastatteleamalla käyttäjiä saadaan tietoa muun muassa käyttötilanteeseen liittyvistä tarpeista ja ongelmista. /18/

Esteettisen ja visuaalisen suunnittelun perussäännöt ovat samat kuin hyvän toimivuuden: selkeys, johdonmukaisuus, miellyttävä ulkonäkö ja yksinkertaisuus. Lisäksi on huomioitava myös harmonia, tasapaino ja visuaalinen identiteetti. Suunnittelun kaikissa osa-alueissa on muistettava kokonaisuuden ammattimaisuus ja loogisuus. Sovelluksen toteutuksen täytyy olla yhdenmukainen kaikilta toiminnoiltaan. Yhdenmukaisuuden tulee näkyä väreissä, painikkeissa ja dialogeissa eli yleensä ottaen kaikissa käyttöliittymän elementeissä. /18/

Visuaalinen suunnittelu täydentää sovelluksen yleistä rakennetta. Visuaalisuus ei pelasta ohjelman rakenteesta johtuvia toiminnallisia heikkouksia. Visuaalisen suunnittelun tavoitteena on tehokas ja harkittu sekä esteettisesti miellyttävä graafinen ulkoasu, joka ottaa huomioon myös käyttötilanteen ja käyttäjän asettamat vaatimukset. /18/

Hyvän käyttöliittymän kriteerit:

1. Toimintojen näkyvyys: Tuotteessa ei saa olla piilotettuja toimintoja ja kaikkien toimintojen tulisi olla esillä ja erottua selvästi toiminnallisiksi osiksi tuotetta.

2. Selkeät kytkimet: Tuotteesta tulisi selvästi ja loogisesti käydä ilmi, mitä eri toiminnot tekevät. Samasta kytkimestä ei saisi tapahtua monta eri asiaa. Kytkimien sijoittelun tulisi olla selkeää.
3. Hyvä käsitemalli: Tuotteen tulisi tarjota käyttäjälle selkeä käsitemalli siitä, mitkä ovat tuotteen toiminnot. Tuotteen tulisi tarjota käyttäjälle riittävästi informaatiota.
4. Riittävä palaute: Käyttäjän olisi saatava toiminnastaan riittävästi palautetta, jotta hän pysyisi mukana siinä, mitä on tapahtunut ja tapahtuu.
5. Virheisiin varautuminen: Tuotteen tulisi varautua käyttäjän tekemiin virheisiin tilanteiden selvittämiseksi. Virheilmoitusten tulisi tarjota riittävästi tietoa virheen syistä ja ratkaisuista. /18/

käyttöliittymää suunniteltaessa tärkeintä on sisältö ja toimivuus. Informaation esittämisessä päähuomio on kohdistettava käyttäjän tarpeisiin. Toiminnan kannalta tärkein tieto on tultava selkeästi esiin. Käyttäjällä on selkeät tavoitteet ja päämäärät käyttöliittymää käyttäessään, ja oleellinen osa käyttöliittymäsuunnittelua on näiden päämäärien selvittäminen ja valikoiden järjestäminen siten, että tärkeimmät toiminnot ovat ensimmäisinä. Informaation järjestelyn tulee tukea käyttäjän toimia ja tarvittaessa auttaa häntä tehtävän suorittamisessa. Käyttäjän pitää tuntea hallitsevansa laitteen toimintoja. /18/

2.5.1 Elinkaaren hallinta

PLM (Product Lifecycle Management), eli elinkaaren hallinta pitää sisällään tuotteen neljä vaihetta: kehityksen, valmistuksen, käytön ja lopettamisen. Tuotteen ns. elinkaarta voi hallita PLM-hallintaohjelmistojen avulla ja näin yritykset voivat nopeammin ja tehokkaammin saada tuotteensa markkinoille ja samalla vähentää tuotantokustannuksia./19/

Tuotteen elinkaari alkaa ideasta ja tuotetiedon tehokkaasta hyödyntämisestä on etua alusta lähtien. Tuotteen kustannuksiin ja kannattavuuteen voidaan vaikuttaa jo elinkaaren varhaisimmissa vaiheissa tehdyillä ratkaisuilla. nykyaikaisen PLM-ratkaisun avulla on mahdollista ottaa heti huomioon ja hallita tuotteen koko elinkaaren aikana syntyviä kustannuksia, aina käytöstä poistamiseen asti. Panostamalla tuotteen elinkaaren alkuun, myös myöhempi kehitys helpottuu. Samalla voidaan saada tietoa tuotteen kannattavuudesta ja käyttäjistä. Näin tuote voidaan tuoda oikeille markkinoille, hyvin optimoiduilla ominaisuuksilla, oikeaan aikaan, jotta se saavuttaisi käyttäjänsä. /20/

3. ISTUTUSKONEEN SUUNNITTELU JA KEHITTÄMINEN

Tarve kevyen istutuskone version kehittämiseen syntyy siitä että nykyisin käytössä olevat istutuskoneet ovat isoja, raskaita ja ilman asianmukaista koulutusta miltei mahdottomia käyttää. Tyypillinen perinteinen istutuskone rakentuu kaivinkoneen ympärille, jonka puomin päähän istutuslaite on asennettu.

Perinteisen istutuskoneen hyviä puolia ovat suuren koon suoma mahdollisuus kuljettaa ja istuttaa suuri määrä taimia yhdeltä istumalta sekä mahdollisuus hoitaa mätästys eli maan muokkaus istutuksen yhteydessä. Suunnitellessa kevyempää versiota istutuskoneesta joutuu kyseenalaistamaan mätästysten istutuksen yhteydessä, mutta pienempi koko laskee hankintakustannusta ja pienempi kone on hellempi ympäristölle metsässä liikkeessään.

Mätästys vaatii taitavan operaattorin, sillä istutuksen tulee tapahtua tuoreeseen mättääseen ja jos mätäs kuivuu, istutus epäonnistuu. Kevyellä istutuskoneella ei ole tarkoitus istuttaa muokkaamatonta palstaa samaan tapaan kuin perinteisillä istutuskoneilla, mutta kevyen istutuskoneen tarkoitus on hoitaa istutustyö nopeammin kuin käsin istuttamalla. Optimitalanteessa kevyellä istutuskoneella on tarkoitus pystyä tekemään 2-3 käsin istuttajan työ, mikä tarkoittaa n. 1600- 2400 taimen istuttamista 12 tunnin työvuoron aikana. Tähän päästessään istutuskoneen voidaan katsoa olevan toiminnan osalta hyvin onnistunut, mutta vähimmäisvaatimuksena on suorittaa istutustyö nopeammin ja helpommin kuin käsin istuttaessa.

3.1 Perinteinen koneellinen metsänistutus

Valtaosa, yli 95 % Suomessa tehdystä istutustyöstä tehdään käsin istuttamalla. Koneellisen istutuksen osuus on tällä hetkellä vain 2–3 prosenttia istutuksista, vaikka erilaisia koneratkaisuja on ollut käytettävissä pitkään. /21/

Ensimmäinen Suomen metsäolosuhteisiin soveltuva maanmuokkauksen ja istutuksen tekevä automatisoitu ja jatkuvatoiminen Serlachiuksen istutuskone kehitettiin 1970-luvulla. Koneen tuottavuus ylsi parhaimmillaan 1 000–1 300 taimen tehotunnissa. Taimista kaksi kolmasosaa oli hyvin tai erinomaisesti istutettu ja 10 prosenttia istutuksista epäonnistuneita./21/

Ruotsissa kehitettiin 1980- ja 1990-luvuilla vastaavaa jatkuvatoimista Silva Nova -istutuskonetta. Koneen työn tuottavuus oli parhaimmillaan yli 1 300 tainta per käyttötunti ja taimista 60–66 % oli istutettu oikein. Kummankin edellä mainitun pelkästään istutukseen soveltuvan kalliin erikoiskoneen vuotuinen käyttöaste jäi matalaksi. Lisäksi suuren työn tuottavuuden takia siirtojen osuus työajasta oli korkea, mikä heikensi jatkuvatoimisten koneiden käyttö-astetta vielä entisestään. Korkeat käyttökustannukset estivät jatkuvatoimisten istutuskoneiden yleistymisen, eikä tekninen toteutuskaan ollut aivan moitteetonta./21/

Ensimmäinen nykymallinen puomin päähän asennettava Öje Planter -istutuslaite (nykyisin Bracke Planter) kehitettiin 1980-luvun loppupuolella. Istutuslaitteen peruskoneena on telakaivinkone tai hakkuukone. Laite tekee laikkumättään levyllä, ja taimen istutus mättääseen tapahtuu mätästyslevyn läpi. Istutuskauden ulkopuolella peruskonetta voidaan käyttää muissa töissä, jolloin pääomakustannukset jakautuvat tasaisemmin koko vuodelle. Bracke on ollut yleisin istutuslaite Suomessa. Niitä on käytössä noin 30 kappaletta./21/

Aikatutkimuksissa Brackella on todettu 170–240 taimen käyttötuntitehoja. Bracken tuottavuudeksi kolmella kuusenviljelykohteella saatiin keskimäärin 198 (vaihteluväli 180–215) tainta tehotunnissa, kun hakkuutähteet jätettiin korjaamatta. Hakkuutähteiden korjuu nosti työn tuottavuutta keskimäärin 18

prosenttia. Toisen kasvukauden jälkeen Brackella ja laikkumättääseen käsin istutettujen taimien kunto ja eloonjäämisaste (yli 95 %) olivat yhtä hyviä. /21/

Seurantatutkimuksessa neljällä kaivinkoneeseen asennetulla Bracke-istutuslaitteella saavutettiin 133–168 taimen istutusteho tunnissa, joista hyvin istutettujen taimien osuus oli arviolta 80–90 %. Myös käytännön istutustyömailla Brackella istutettujen taimien eloonjäämisaste on ollut vähintään samalla tasolla käsin istutettujen taimien kanssa. /21/

2000-luvun puolivälissä markkinoille saapuneessa M-Planter -istutuslaitteessa on kaksi muokkaus- ja istutus päätä. M-Planter käyttää muokkausmenetelmään laikkumätästystä. Kaivinkoneeseen asennettuja istutuslaitteita vertailevassa aikatutkimuksessa M-Planterin tehoksi saatiin 236 ja Bracken 174 tainta tunnissa. Istutus M-Planterilla osoittautui 23 prosenttia Brackea edullisemmaksi. Tuottavuusero Bracken ja M-Planterin välillä kasvaa hakkuu-tähteen määrän kasvaessa ja vähenee kivisemmässä maastossa ja kantojen määrän kasvaessa. Seurantatutkimuksessa viiden M-Planterilla varustetun istutuskoneen keskimääräinen tehotunnin vaihtelu oli 92–201 tainta, ja vakio olosuhteissa oli tehotunti keskimäärin 161 tainta. Käytännön tuottavuudessa oli siten merkittävä poikkeama aiempiin aikatutkimustuloksiin. M-Planter -istutuslaitteita on Suomessa käytössä noin kymmenen kappaletta. /21/

Kaikkien nykyään käytössä olevien istutuslaitteiden peruskoneena käytetään kaivinkonetta. Peruskoneen puomin pitää olla tukeva, sillä maanmuokkaus vaiheessa peruskoneen puomin päässä olevaa istutuslaitetta vedetään kohti peruskonetta. Hakkuukoneen puomi soveltuu huonosti tällaiseen vetävään liikkeeseen, minkä johdosta hakkuukone ei sellaisenaan sovellu peruskoneeksi nykyisin käytössä oleville istutuslaitteille. Hakkuukone on myös paljon kaivinkonetta kalliimpi. /22/

Maaston ominaisuudet vaikuttavat metsässä koneella työskentelyyn ja työympäristöön. Siksi peruskoneeksi valikoituu korkeammalla maavaralla ja suuremmalla raidelevydeillä varustettu metsäalustainen telakaivinkone.

Peruskoneen tasapainon vuoksi istutuslaitteen käyttö vaatii vähintään keskiraskaan n.13–22 tuhannen kilon massa omaavan telakaivinkoneen. /22/

Istutuslaite asennetaan peruskoneen puomin päähän, jolla sekä maanmuokkaus että istutus suoritetaan. Tällä hetkellä markkinoilla on kolmen eri valmistajan valmistamia istutuslaitteita: Bracke (Bracke Forest Ab), M-Planter (M-Planter Oy) ja Risutec (Risutekniikka Ky). M-Planter – istutuslaite on muista poiketen varustettu kahdella istutuspäällä. Istutuslaitteen latauksen kuljettaja tekee käsin asettamalla taimet istutuslaitteen päällä olevaan taimikasettiin. Kuvissa 10, 11 ja 12 alla esitellään eri valmistajien istutuspäät./22/



Kuva 10: M-Planter koneen istutuspää /22/



Kuva 11: Bracken istutus pää /22/



Kuva 12: Risutecin istutus pää /22/

Istutuskoneen siirto metsäpalstalta toiselle tapahtuu lavetilla. Lavetin hankkiminen vain yhden istutuskoneen siirtoon ei kannata ja siirron toiselle palstalle voi ulkoistaa toiselle yritykselle. Kuvassa 13 näkyy lavetilla istuva istutuskone. /22/

Kuljettajan vaikutus työn tuottavuuteen on merkittävä. Istutustyöhön valittavalla kuljettajalla tulisi olla kokemusta kaivinkonetyöstä ja kokemattomalle istuttajalle tulisi järjestää perehdytys istutuskoneen käyttöön. Työn laatu vaatii, että kuljettaja tarkkailee oman työnsä jälkeä ja muuttamalla toimintaansa saamansa opastuksen ja koulutuksen pohjalta./22/



Kuva 13: Siirrossa oleva istutuskone/22/

3.2 Istutuskone

Päätarkoitus istutuskoneen uudelleen suunnittelussa on kehittää laite joka ei vaadi niin järeää peruskonetta kuin kaivinkone on. Peruskoneen kevennys mahdollistaa alhaisemman hankinta hinnan ja pienemmät liikkeet helpottavat koneenkäyttöä eikä istutuskoneella operointi tarvitsisi enää perusteellista perehdyttämistä peruskoneen käyttöön, nämä ominaisuudet osaltaan tekevät istutuskoneen hankinnan helpommaksi yksityisille ja metsäpalveluyrittäjille. Pienempää peruskonetta valittaessa kyseeseen tulevat traktori ja mönkijä. Traktorin puolesta puhuvat sen yleisyys ja se voidaan pitää työkäytössä ympäri vuoden, mutta se on mönkijään verrattuna raskas ja traktorilla metsässä liikkuminen on vaivalloisempaa. Mönkijän käyttö rajoittuu lumettomaan aikaan vuodesta mutta sitäkin voi käyttää sen aikana muuhun työ- ja vapaa-ajankäyttöön. Paino peruskoneen valinnassa annetaan toiminnallisuudelle joten valinta kohdistetaan mönkijään. Ainoastaan istutusta tekevä erikoislaite jätetään tässä työssä huomioimatta.

3.2.1 Vaatimusprofiili

Taulukossa 2 alla on listattuna vaatimuksia ja toiveita joiden mukaan suunnitellun kevyen istutuskoneen tulee suoriutua.

Taulukko 2: Kevyen istutuskoneen toiminnalle asetetut vaatimukset ja toiveet.

vaatimukset:	
	kuljetus paikalle henkilöauton peräkärjellä
	Pystyttävä istuttamaan mahdollisimman monipuolisissa maastoissa
	Pystyttävä istuttamaan nopeammin kuin käsin pystyisi.(>800 tainta/päivä)
toiveet:	
	Oltava 1 henkilön käsiteltävissä
	Istutusnopeus perinteisen istutuskoneen tasolle n.160 tainta/h = n. 1900 tainta/päivä

Yllä olevat vaatimukset yhteen sovitetaan tuotteen ominaisuuksiksi, jolloin saadaan loppukäyttäjän ääni kuuluviin ja luodaan parempi käyttökokemus.

Geometria

- Istutuskoneen pystyttävä kulkemaan peräkärjessä, jonka edessä olevan henkilöauton kuljettajalla on B-luokan ajokortti. Tämä asettaa istutuskoneelle seuraavia vaatimuksia dimensioidensa suhteen:

Suomen tieliikenne laki määrittää B-luokan ajokortin ajo-oikeuden seuraavalla tavalla:

1. B-luokan ajoneuvoon voidaan kytkeä maksimissaan 750 kg painava perävaunu. Tällöin yhdistelmän kokonaismassa voi olla korkeintaan $3\ 500 + 750 = 4\ 250$ kg.
2. B-luokan ajoneuvoon voidaan kytkeä painavampikin perävaunu kuin 750 kg. Tällöin yhdistelmän kokonaismassa voi olla korkeintaan 3 500 kg ja vetoauton omamassa ei ylity. /23/

Valitaan peräkärreksi Muuli 1800LJ joka on tunnetun valmistajan suurilavainen O2-luokan jarrullinen kärre, jota voidaan käyttää lähtökohtana kun selvitetään istutuskoneen mittoja.



Kuva 14: Muuli 1800 LJ peräkärre /24/

Kuvassa 14 yllä on kuvattuna Muuli 1800LJ peräkärre, jonka mitat ja massat ovat:

- kantavuus 948 kg
- omamassa 342 kg kokonaismassa 1300 kg
- Lavan sisämitat 180x350 cm
- kokonaisleveys 230 cm

Kun peräkärren peränylitys saa olla metrin yli takalaudasta ja 2 metriä jos se merkitään lipuin ja laitojen ylitystä sivuilta ei sallita lisättynä yllä mainittuihin tietoihin tulee kevyen istutuskoneen olla:

- Massaltaan enintään 948 kg
- Korkeintaan 1800 mm leveä
- Pituudeltaan enintään 5500 mm
- Lisäksi ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu korkeus on 4.2 m mikä asettaa maksimi korkeudeksi n. 3.7 m/ 23/

Kinematiikka & voimat & lujuus

- Rakenteeseen ei kohdistu suuria vääntö-, puristus tai leikkausvoimia, rakenteen tulee kantatella oma massansa
- Tarvitsevat riittävän voimakkaat sylinterit puomin ja istutuspuun liikuttamiseen
- Tulee saavuttaa riittävä istutus teho
- Istutuspuun lataaminen oltava mahdollisimman nopeaa
- Uuden taimilaatikon hakemisen oltava mahdollisimman nopeaa

Turvallisuus

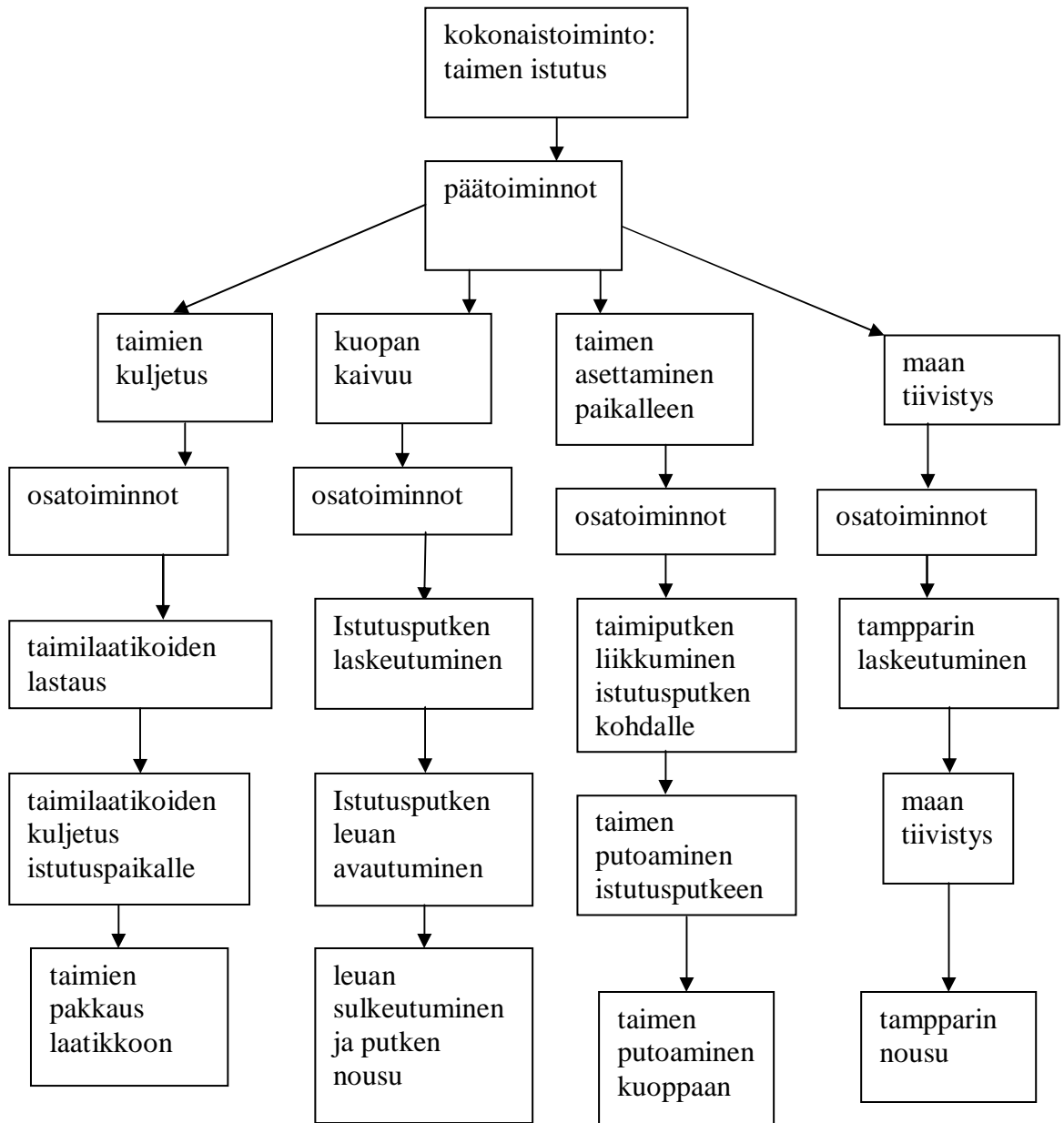
- Ei ihmisiä puomin kääntöalueelle
- Ei mahdollisuutta liikuttaa peruskonetta ja operoida puomia yhtä aikaa
- Mahdollisuus peruskoneen kauko-ohjaukseen eli ei ihmisiä peruskoneen etupuolelle istutuksen ollessa käynnissä

Valmistus & asennus & huolto

- Kustannukset pidettävä alhaalla
- Huollettava huolella käytön aikana tapahtuvien rikkoutumisten ehkäisemiseksi
- valmistus perusmenetelmillä

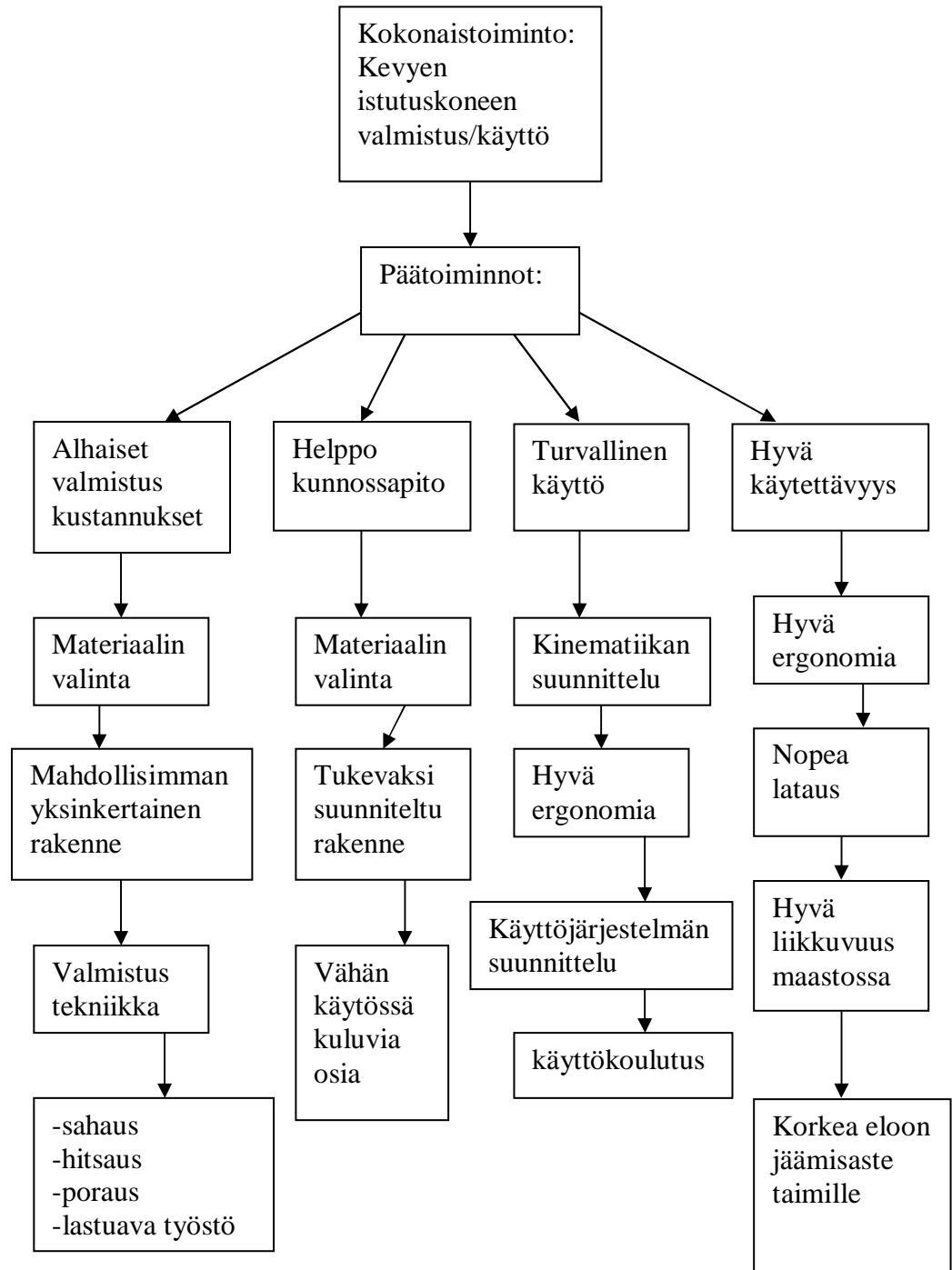
3.2.2 Toiminnot

Keuyen istutuskoneen kokonaistoiminto puuntaimien istutus jakautuu päätoiminnoiksi ja edelleen osatoiminnoiksi, jotka esitellään toimintarakennetta kuvaavassa kaaviossa 2 alla:



Kuva 15: kaavio 2: Kevyen istuskoneen toimintorakenne

Kootaan kuvassa 15 olevan mallin mukaisesti toimintorakenne kaavio kevyen istutuskoneen valmistukseen ja käyttöön vaikuttavista seikoista.



Kuva 16: Kaavio 3: Kevyen istutuskoneen valmistuksen ja käytön vuokaavio

3.2.3 Ideointi

Istutuskoneen uudelleen suunnittelussa lähdettiin ideoimaan laitetta joka olisi rakenteeltaan kevyempi kuin jo olemassa olevat kaivuria peruskoneena hyödyntävät ratkaisut. Ratkaisuja pohdittiin kahta päälinjaa pitkin. Kevyen istutuskoneen tulisi istuttamisen lisäksi myös mätästää tai mätästys tehdään ennen istutusta erillisellä koneella. Pyritään suunnittelemaan laite joka istuttaa nopeammin kuin ihminen ja halvemmalla kuin kaivinkonetta peruskoneena käytävä istutuskone. Alustava ideointi käynnistyy kuvassa 15 esitetyn toimintorakenteen pohjalta, jonka avulla kootaan ideamatriisi, jossa käsitellään kevyen istutuskoneen toimintoihin liittyviä ongelmia.

Taulukko 3: Ideamatriisi

Ideamatriisi	Ratkaisuvaihtoehdot				
Toiminto	1	2	3	4	5
taimien kuljetus	Traktorin nosto varsilla	Erillisellä telineellä peruskoneessa	Puomiin kiinnitettävällä telineellä	Perus koneen vetämässä kärryssä	Iso istutus pää
kuopan kaivuu	Toisella koneella	Puomi & Istutusputki	Puomi & kauha	Erillinen kyntölaite	
taimen asettaminen paikalleen	Telineeltä istutus putkeen	Kiinteä istutuslaatikko & liikkuva istutusputki	Kiinteä istutusputki & kiinteä istutusputki	Revolveri tyyppinen istutus laatikko	Iso istutus laatikko
maan tiivistys	Levy & erillinen varsi	Rulla & erillinen varsi	Rulla istutusputkessa	Levy istutus putkessa	Polkemalla
Peruskone	Traktori	Mini traktori	Mönkijä	Jatkuva toiminen	
Käyttö voima	Sähkö	Pneumatiikka	Hydrauliikka	mekaaninen	

Yllä taulukossa 3 on esitettyä ideamatriisi johon on koottu kaikki kevyen istutuskoneen toiminnot ja esitellään alustavia ratkaisumalleja, joiden avulla lopullinen ratkaisu voidaan löytää. Ideamatriisin määrittelemästä ratkaisujoukosta voi johtaa erittäin suuri joukko ratkaisuja, joten karsintaa jatketaan määrittelemällä peruskoneeksi mönkijän tai vaihtoehtoisesti minitraktorin, koska kevyempinä ja halvempina ne ovat traktoria parempia ja jatkuvatoimisen istutuslaitteen käyttöteho jää matalaksi, sillä muuhun käyttöön se ei sovellu.

Mätästyksen eli maanmuokkaukseen on jo olemassa tehokkaita koneellisia ratkaisuja, jotka ovat yleisesti käytössä, joten kevyen istutuslaitteen suunnittelussa keskitytään luomaan laite joka istuttaa valmiiksi mätästettyjä palstoja, kuten käsin istutettaessa tehdään. Taimien kuljetus voidaan yksinkertaisimmin hoitaa peruskoneen vetämissä kärryissä ja taimen paikan tulee olla istuttajan valittavissa, joten kevyt istutuskone on kärryn, puomin ja varsinaisen istutuksen hoitavan istutuspuomin yhdistelmä. Seuraavaksi hahmotellaan muutamia konstruktioita puomille, kärrylle ja istutuspuomille, joita vertailemalla muodostetaan paras yhdistelmä kevyeksi istutuskoneeksi.

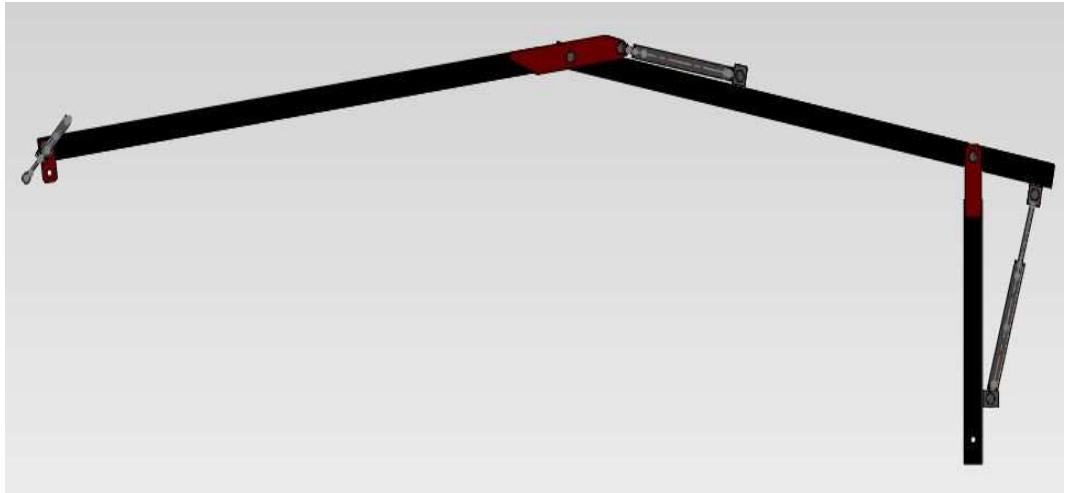
Puomit:

Kolme puomia 1. Lineaaripuomi (LP), 2. Taittopuomi (TaP) ja 3. Teleskooppipuomi (TeP)



Kuva 17: Lineaaripuomi

Kuvassa 17 yllä on esitettyä lineaaripuomi jossa on yksi hydraulisylinteri takana ”nyökkäämässä” puomia pitkä hydraulisylinteri työntämässä teleskooppiputkea eteen ja taakse, lisäksi puomin päässä on kallistusta varten sylinteri jolla saadaan istutusputki oikeassa kulmassa maata kohti.



kuva 18: Taittopuomi

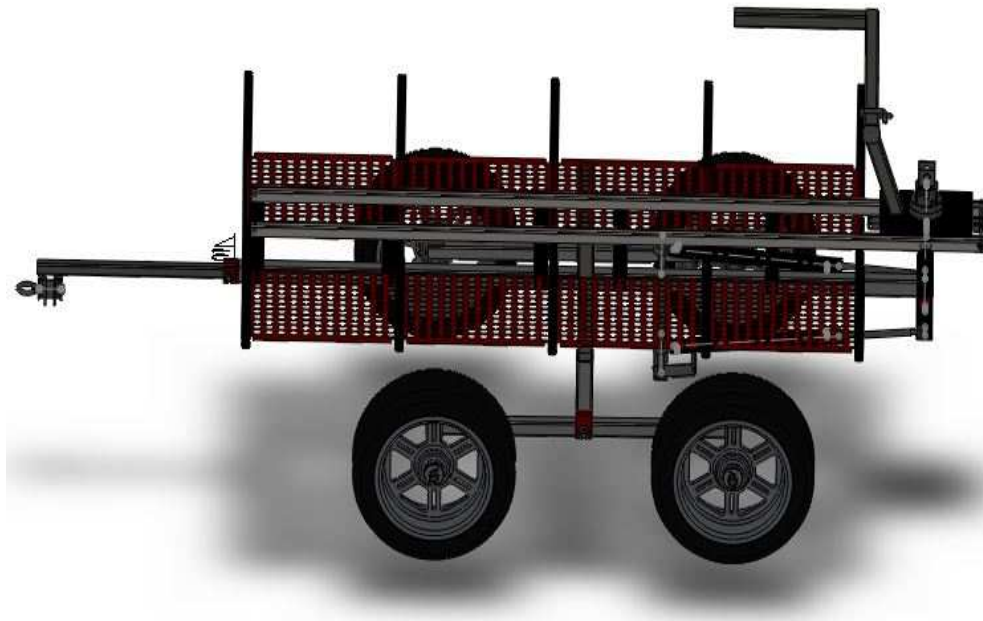
Kuvan 18 taittopuomissa on keskellä nivel josta hydraulisylinterin avulla puomi saadaan taittumaan alas nivelen kohdalta ja kuin edellä kallistussylinteri puomi ohjaamassa istutusputken maahantulokulmaa.



kuva 19: Teleskooppipuomi

Kuvassa 19 oleva teleskooppi on yhdistelmä kahdesta yllä olevasta puomista siinä sekä nivel taittopuomista että pitkällä hydraulisylinterillä ohjattu teleskooppirakenne lineaaripuomista suuremman ulottuvuuden mahdollistamiseksi.

Kärryt: 1. Telikärry (Te) 2. Jousitettu telikärry (JT) 3. Akselikärry (AK)



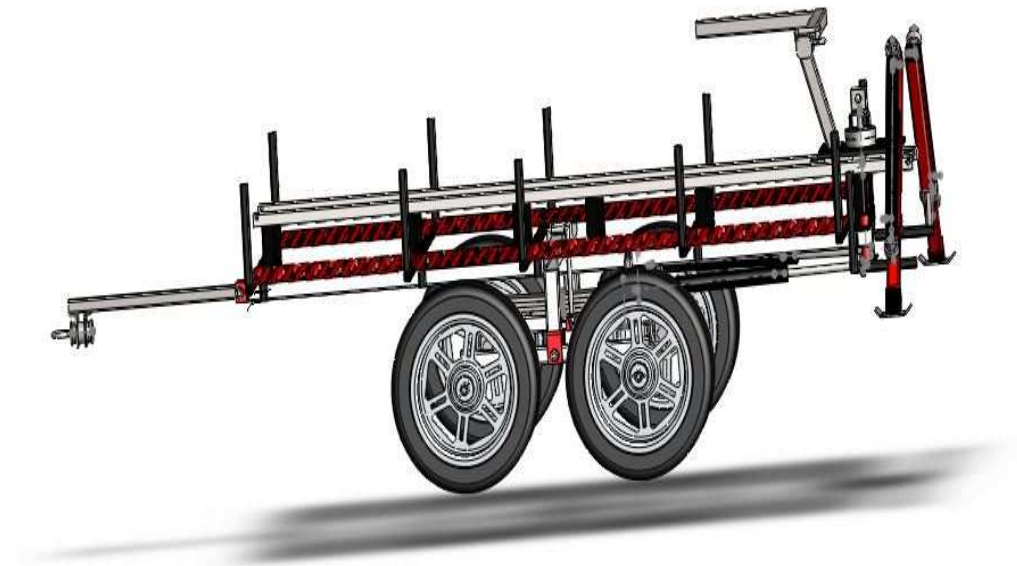
Kuva 20: telikärry

Kuvassa 20 esitellään telikärry, joka on yksinkertainen konstruktio, puomi sijoittuu kelkan päälle ja voidaan johteita pitkin siirtää kärryn etuosaan kuljetuksen ajaksi. Taimet sijoitetaan laatikoissa ritilän päälle ja koneen operaattori vaihtaa edellisen loputtua uuden tilalle.



Kuva 21: Akselikärri

Yllä kuvassa 21 oleva akselikärri on kahden akselin varaan rakentuva kärri joka on jousitettu ja jossa on maahan laskettavat tukijalat tasapainon pitämiseksi kaltevilla pinnoilla tai epätasaisessa maastossa istutettaessa.

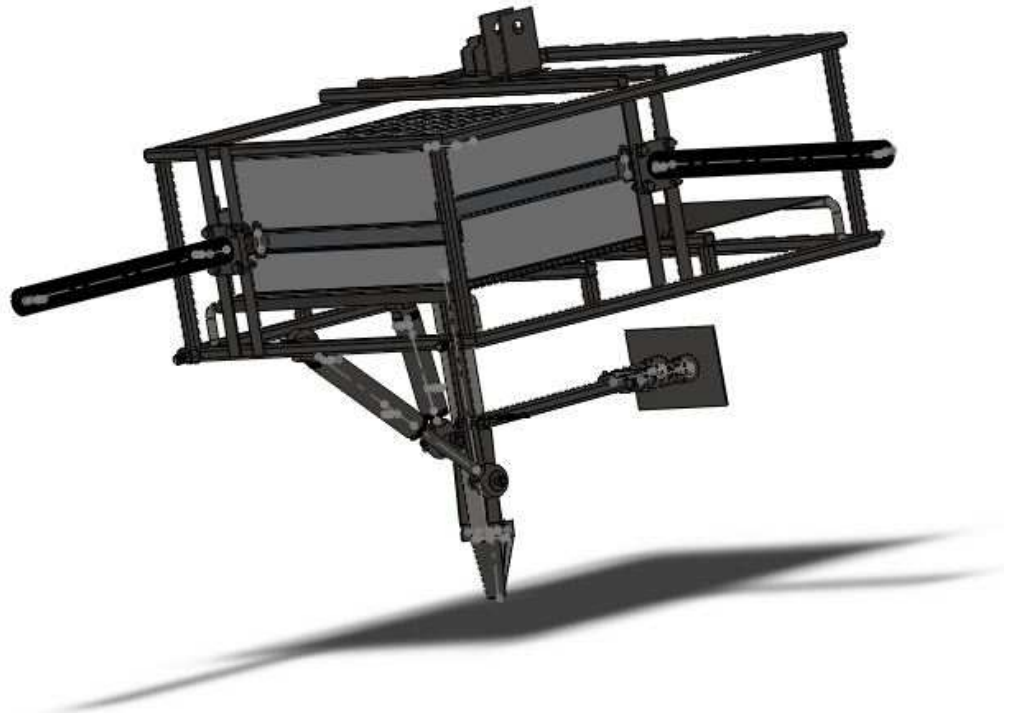


Kuva 22: Jousitettu telikärry

Jousitettu telikärry esitettynä kuvassa 22 muistuttaa kuvan 20 telikärryä kahdella erolla telikärryä ei ole jousitettu ja siinä ei ole tukijalkoja, kuvasta 22 huomaa kahta edellistä kuvaa paremmin kääntösylinterit joilla puomia liikutetaan ja

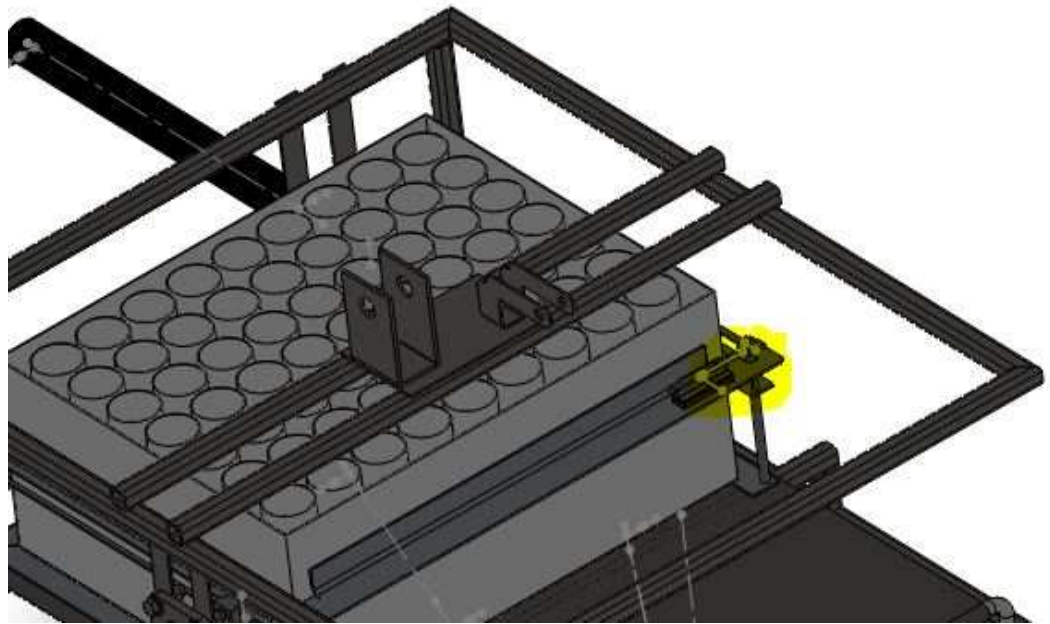
puomin kelkkaan kiinnitetty pylväs on tarkoitettu ohjausventtiilien pöydän tueksi. Kuskin täytyy ajaa konetta läheltä puomia nähdäkseen, arvioidakseen ja korjatakseen istutusjälkiä.

Istutus päät: 1. versio 1 (0), versio 2 (90) ja versio 3 (45)

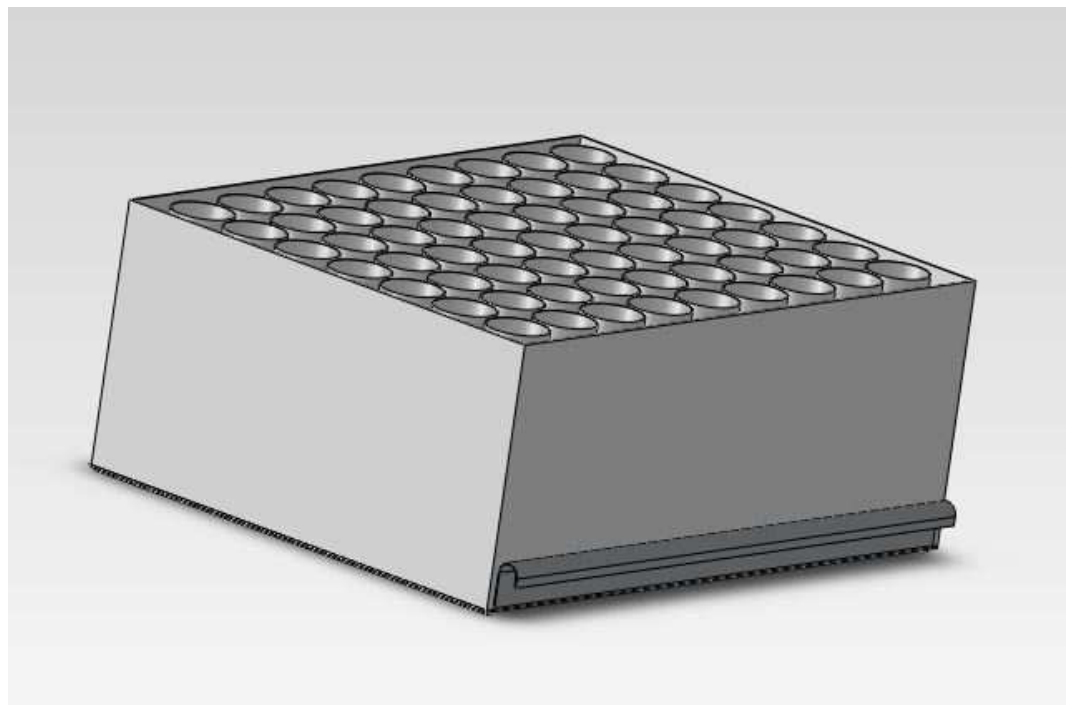


Kuva 23: Istutus pää versio 1 eli istutus pää 0

Istutus pää 0 esiteltynä kuvassa 23 on laite jonka avulla taimet saadaan maahan. Taimet on aseteltu taimilaatikkoon jota hydraulisyylinterit työntävät istutus pöydällä. Yksi kerrallaan taimet putoavat istutusputkeen jonka toiminta muistuttaa käsin istuttaessa käytettävää pottiputkea. Istutusputki isketään puomilla maahan, hydraulisyylinteri avaa puomin leuan ja taimi putoaa putken tekemään kuoppaan. Tämän jälkeen puomi nostetaan ylös, tamppari laskeutuu kohtisuoraan maata vasten ja sillä maa tiivistetään taimen ympäriltä. Laatikon tyhjentyessä laatikko vaihdetaan ja uuden laatikon pohja vedetään pois jolloin ensimmäinen taimi putoaa istutusputkeen ja istutus voi jatkua.



Kuva 24: taimilaatikko ja siirtokehikon leuka



Kuva 25: Taimilaatikko

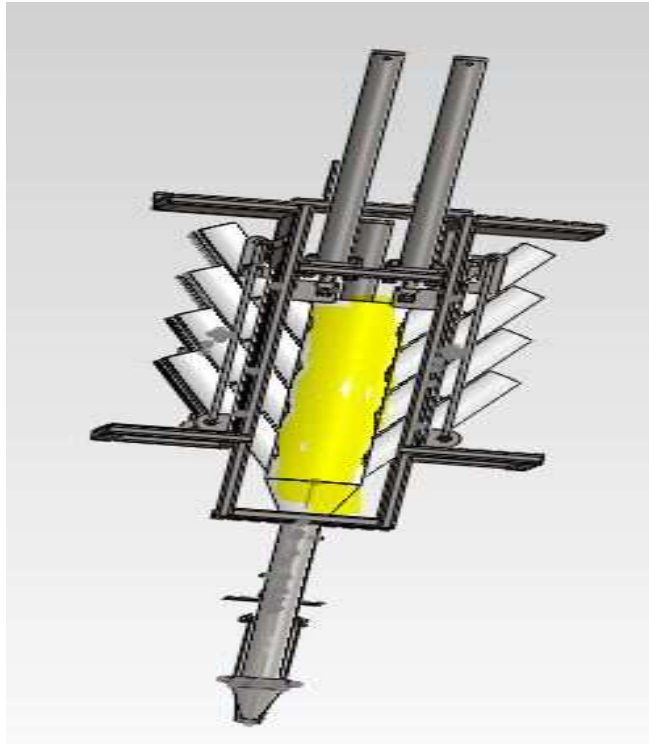
Kuvissa 24 ja 25 esitellään taimilaatikko ja sen kiinnitys siirtokehikkoon. Vaihdettaessa laatikoita salpa avataan, otetaan tyhjä hylsy pois, laitetaan tilalle

uusi, suljetaan leuka ja vedetään laatikon pohja pois, jolloin ensimmäinen taimi putoaa istutusputkeen.



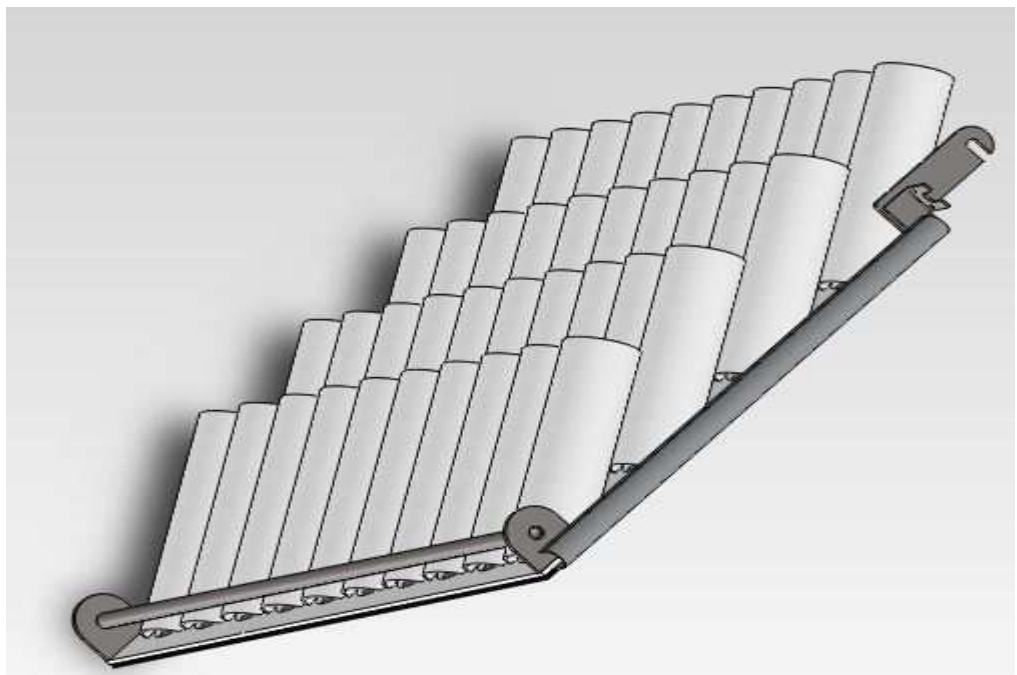
Kuva 26: Istutuspää versio 2 eli Istutuspää 90

Istutuspää 90 omistaa kaksi istutuspöytää jotka ovat 90 asteen kulmassa maahan nähden kuvassa 26 näkyvät vasemmalle alas suunnatut hydraulisylinterit eteenpäin kun taas vasemmalle ylös osoittavat sylinterit työntävät levyä pois reiän tieltä suurentaen sitä. Taimet putoavat väliputkeen ja siitä istutusputkeen. Yhden tullessa istutetuksi ylhäältä alas vetää hydraulisylinteri levyn ylös reiän peitoksi ja taimilaatikko nytkähtää rivin eteenpäin ja istutus jatkuu.



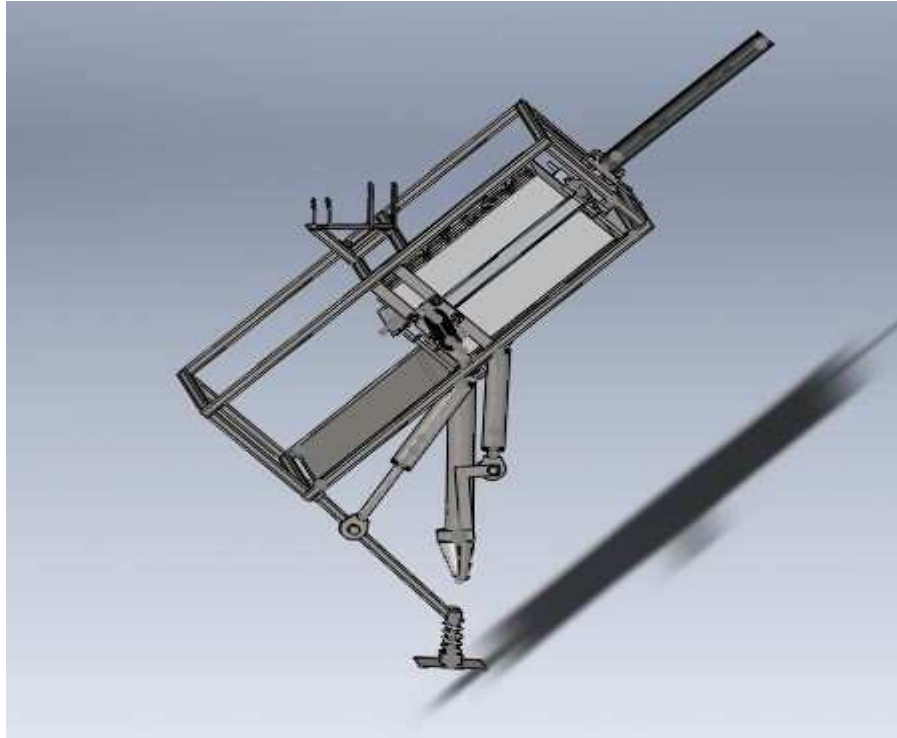
Kuva 27: Istutuspää 90 väliputki ja molemmat taimilaatikat

Kuvassa 27 näkyy väliputki jota pitkiin taimet putoavat istutusputkeen. Istutus tapahtuu molemmista taimilaatikoista vuorotellen ja ne voi vaihtaa poistamalla ensin lukituksen ja pidäke putken sekä poistamalla taimilaatikon pohjan.



Kuva 28: Istutuspää 90:n taimilaatikko

Kuvassa 28 esitellään tarkemmin istutuspää 90:n taimilaatikko. kuvassa esitellyllä laatikolla pohja on paikoillaan.



Kuva 29: Istutuspää versio 3 eli Istutuspää 45

Istutuspää 45 käyttää samaa taimilaatikkoa kuin istutuspää 0 mutta kuvan 29 mukaisesti istutuspöytä on 45 asteen kulmassa maahan nähden ja istutusputken pää on viistetty jotta se olisi suoraan maata kohti. Muuten toimintaperiaate on sama kuin istutuspää 0:ssa.

Taulukko 4: Tuotematriisi

LP Te 0	LP JT 0	LP AK 0	TaP Te 0	TaP JT 0
TaP AK 0	TeP Te 0	TeP JT 0	TeP AK 0	LP Te 90
LP JT 90	LP AK 90	TaP Te 90	TaP JT 90	TaP AK 90
TeP Te 90	TeP JT 90	TeP AK 90	LP Te 45	LP JT 45
LP AK 45	TaP Te 45	TaP JT 45	TaP AK 45	TeP Te 45
TeP JT 45	TeP AK 45			

Kaikki mahdolliset kombinaatiot edellä esitetyistä konstruktioista yhteensä 27 kappaletta on koottu yllä näkyvään taulukkoon 4. Seuraavaksi tuotematriisin karsinta joka toteutetaan kaksivaiheisena. Ensimmäisessä vaiheessa asetetaan konstruktioit kriittisten ominaisuuksien suhteen ja valitaan sen läpäisseet toiseen vaiheeseen, jossa asetetaan ominaisuuksille painokertoimet, pisteytetään konstruktioit ja lasketaan painotetut pisteet, minkä jälkeen paras on selvillä.

Valitaan kriittiset tuoteominaisuudet joiden mukaan 1. vaiheen karsinta suoritetaan. Puomien kohdalla kriittinen ominaisuus on ulottuvuus, jonka puomin pituus määrittää, jos puomin pituus $l > 4,0$ m voidaan istuttaa 5 tainta yhdestä paikasta istutustiheyden ollessa 2000 tainta/ha ja puomin toimintasäteen ollessa 180° .

Kärryn massan osalta kriittiseksi arvoksi valitaan suuren moottoripyörän massaan pohjautuva arvo $m < 500$ kg, jotta kevyen istutuskoneen liikuttaminen käsin on mahdollista. Istutuspään massan tulee olla mahdollisimman alhainen, jotta puomin liikkuminen helpottuu, kriittinen arvo on 100 kg. Tukijalat ovat välttämättömät kevyen istutuskoneen toiminnalle epätasaisessa maastossa, joten vain tukijaloilla varustetut mallit kelpaavat jatkokehitykseen.

Taulukoissa 5, 6 ja 7 arvotetaan ratkaisut kriittisten ominaisuuksien mukaan, jonka jälkeen summan kohdalla on + tai – merkki. Vain + merkin saaneet ratkaisut kelpuutetaan 2. vaiheeseen jossa lopullinen valinta tapahtuu. Taulukosta 8 käy ilmi 1. vaiheen karsinnan läpäisseet kokonaisratkaisut.

Taulukko 5: Totuustaulukko puomille ulottuvuuden suhteen

Puomi	pituus:	kriittinen arvo:	tuote:	summa:
Lineaaripuomi	n.4.2 m	4.0 m	+	+
Teleskooppipuomi	n. 6.5m	4.0 m	+	+
Taittopuomi	n. 4.2 m	4.0 m	+	+

Taulukko 6: Totuustaulukko kärrylle massan ja tukijalkojen suhteen

Kärry	massa*/tukijalat(K/E)	kriittinen arvo:	tuote:	summa:
Telikärry	379 kg/E	500 kg/K	+/-	-
Jousitettu telikärry	447 kg/K	500 kg/K	+/+	+
Akselikärry	495 kg/K	500 kg/K	+/+	+

*Solidworksin malleille antamiin massoihin lisätty 100 kg kuormaksi (taimilaatikot)

Taulukko 7: Istutuspään totuustaulukko massan suhteen

Istutuspää	massa*	kriittinen arvo:	tuote:	summa:
0	83.5 kg	100 kg	+	+
90	134 kg	100 kg	-	-
45	90 kg	100 kg	+	+

*massoihin lisätty taimien massa 90:een 8 kg ja muihin 6.5 kg.

Taulukko 8: Tuotematriisi 1. karsinnan jälkeen

	LP JT 0	LP AK 0		TaP JT 0
TaP AK 0		TeP JT 0	TeP AK 0	
				LP JT 45
LP AK 45		TaP JT 45	TaP AK 45	
TeP JT 45	TeP AK 45			

Ensimmäisestä karsinnasta selvisi 12 tuotekombinaatiota, jotka toisessa vaiheessa pisteytetään. Ominaisuuksille annetaan painokertoimet painotettu yhteispistemäärä antaa parhaan tuotekombinaation. Pisteitä annetaan väliltä 0-50 ja painokertoimien summa on 1.

Määritetään tuotteille tärkeät ominaisuudet ja niille painokertoimet. Puomilla tärkeimmät ominaisuudet ja niille painokertoimet nähdään taulukosta 9:

Taulukko 9: Puomin tärkeimmät ominaisuudet ja niiden painotus

Ominaisuus	Painokerroin
Ulottuvuus	0,45
Alhainen massa	0,35
Yksinkertainen rakenne	0,2

Taulukkoon 10 on laadittu puomin painotettu ominaisuusprofiili, jossa pisteytetään tuotteet.

Taulukko 10: Puomien painotettu ominaisuusprofiili

Tuote	Ulottuvuus	Massa	Yksinkertainen rakenne	Pisteet	Painotetut pisteet
Linearipuomi	21	31	40	92	28,3
Taittopuomi	21	33	38	92	28,6
Teleskooppipuomi	33	21	35	89	29,2

Pisteytyksen jälkeen parhaaksi puomiksi osoittautui teleskooppipuomi joka on esitelty kuvassa 19.

Taulukossa 11 esitellään karryn tärkeimmät ominaisuudet ja niiden painokertoimet.

Taulukko 11: Karryn tärkeimmät ominaisuudet

Ominaisuus	painokerroin
Alhainen massa	0,5
Metsän läpäisy kyky	0,3
Korkeus	0,2

Taulukkoon 12 on laadittu karryn painotettu ominaisuusprofiili, jossa pisteytetään tuotteet.

Taulukko 12: Kärryn painotettu ominaisuusprofiili

Tuote:	Massa	Metsän läpäisy kyky	korkeus	pisteet	painotetut pisteet
Akselikärry	18	25	30	73	22,5
Jousitettu telikärry	23	35	32	90	28,4

Pisteytyksen jälkeen paremmaksi kärryksi osoittautui jousitettu telikärry joka on esitelty kuvassa 22. Ominaisuusprofiilissa olevalla metsän läpäisy kyvyllä kuvataan kykyä selvitä metsämaaston asettamista haasteista.

Taulukosta 13 nähdään istutuspää tärkeimmät ominaisuudet ja niiden painokertoimet.

Taulukko 13: Istutuspään tärkeimmät ominaisuudet ja niille painokertoimet

Ominaisuus	Painokerroin
Alhainen massa	0,5
Toiminnallisuus	0,35
Leveys asennus suuntaan	0,15

Taulukkoon 14 on laadittu istutuspään painotettu ominaisuusprofiili, jossa pisteytetään tuotteet.

Taulukko 14: Istutuspään painotettu ominaisuusprofiili

Tuote:	massa	toiminnallisuus	leveys	pisteet	painotetut pisteet
istutuspää 45	33	33	30	96	32,6
Istutuspää 0	40	36	34	110	37,7

Pisteytyksen jälkeen suoritetaan parhaan kombinaation valinta ja korkeimmat pisteet sai kombinaatio teleskooppipuomi + jousitettu telikärry + istutuspää 0. Tämä istutuskone on esitelty kuvissa 30 ja 31.



Kuva 30: Kevyt istutuskone kuljetusasennossa kaksi taimilaatikkoa kyydissä



Kuva 31: Kevyt istutuskone istutusasennossa

Kevyt istutuskone toimii parhaiten, jos sen operointiin riittää yksi kuljettaja. Ettei istutusjälki kärsisi, kuljettajan tulisi olla lähellä puomia. Tällöin on selkeintä toteuttaa peruskoneen ohjaus radio-ohjauksella, sillä siirtymät istutustyön aikana ovat lyhyissä pätkissä. Yksi mahdollinen tapa toteuttaa RC -konversio löytyy esim. Mark Sumnerin DI-työstä ” Development of an ATV-Based Remote-Operated Sensor Platform” vuodelta 2010.

Tarkan kustannusarvion tekeminen siirtyy myöhemmäksi sillä työn tekijällä ei ole riittävää osaamista arvioida mitä ohjauslogiikan hankkiminen maksaa ja sen toteuttamiseen, mutta työn tilaaja antoi kokemukseensa ja haastatteluihin perustuvan arvion hankintahinnasta peruskone + kevyt istutuskone + RC -konversio = 25 000 €. Suomessa Yli 400 cc mönkijän saa hankkia työkäyttöön verottomana, käytäntö vaihtelee alueittain ja hinta ilman arvonlisäveroa vaihtelee 5500 €- 12 000 € välillä. Sumnerin RC -konversiossaa käyttämien tai vastaavien komponenttien hinnat näkyvät taulukossa 15.

Taulukko 15: RC konversion vaatimat komponentit /25/

8" Stroke, 560lb Thrust Linear Actuator	400
Firgelli 4" Stroke 200 lb Force	130
Hitec HSR-5995TG	70
Hitec - Optic 6 rc transmitter	230
Hitec Supreme 7-channel RC receiver	60
MOTOR CONTROLLER Motion Mind 2	75
Kaapelit & liittimet	30
Summa (\$)	995

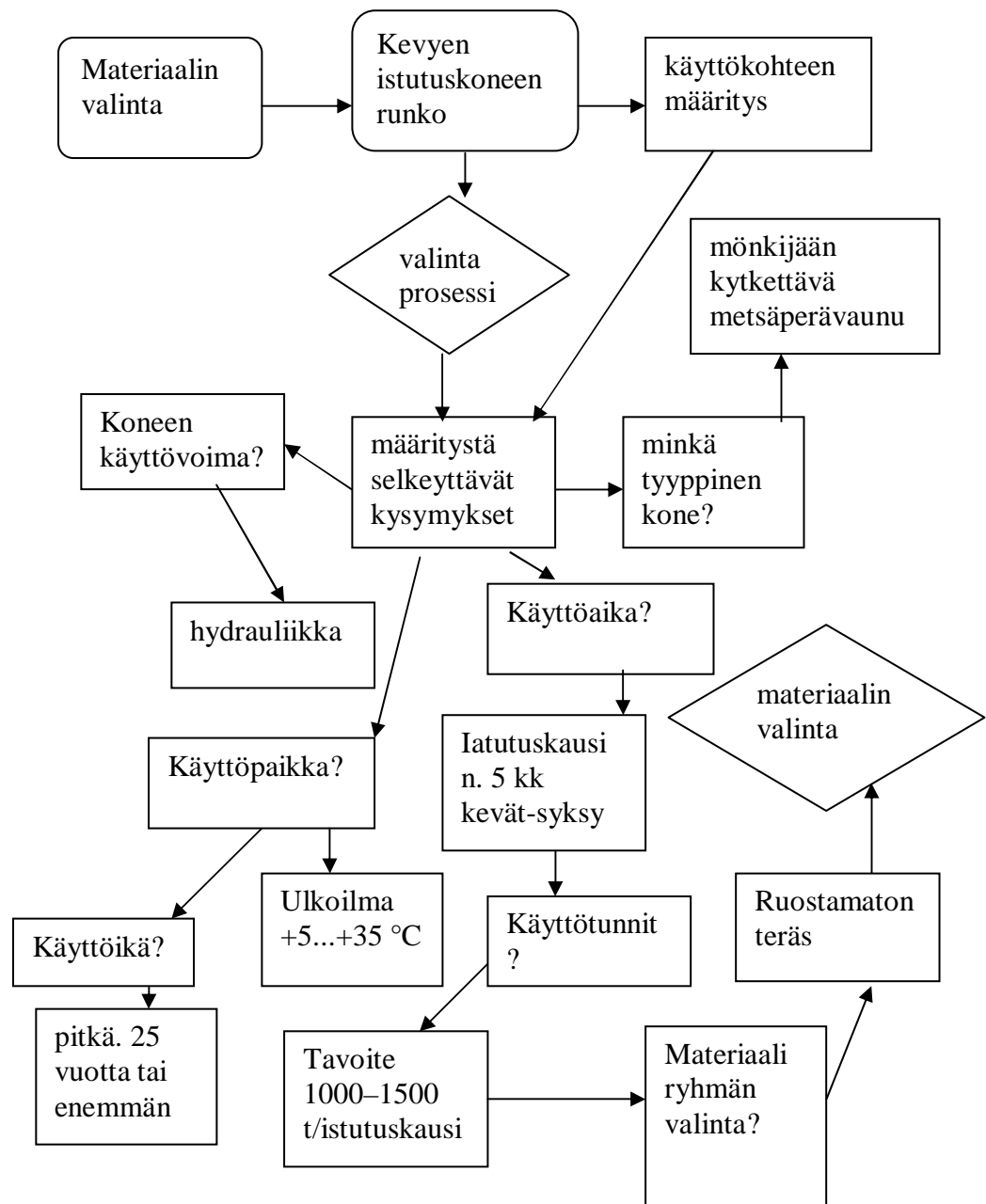
Taulukon 15 loppusumma on euroissa n. 750 € ja mönkijälle peruskoneena arvioidaan keskimääräinen hinta 8 000 €, saadaan avio kevyen istutuskoneen kaupallisesti kannattava valmistuskustannus.

$$(25000 - 8000 - 750) \text{ €} \cdot 0.9 = 14625 \text{ €} \approx 14500 \text{ €} \quad (14)$$

Yhtälöstä 14 on laskettu paljonko valmistaminen saa korkeintaan maksaa 10 % katteella.

3.3 Materiaalin valinta

Materiaalin valinta suoritetaan tarkemmin runkorakenteelle (kärryn runko, puomi ja istutuspään häkki) ja kuvassa 26 esitellylle taimilaatikolle.



Kuva 32: Lohkokaavio 1: Rungon materiaalivalinnan lohkokaavio esitys

Valinta kohdistui yllä olevan kuvassa 32 esitetyn lohkokaaavion mukaisesti ruostumattomaan teräkseen. Alumiini on toinen mahdollisuus, mutta ruostumattoman teräksen alhaiset elinkaaren aikaiset kustannukset ja helppo kierrätettävyys ohjasivat valinnan ruostumattomiin teräksiin. Taulukossa 16 esiteltynä mahdollisia materiaaleja ruostumattomien terästen materiaalityypistä:

Taulukko 16: Teräkset joista lopullinen materiaalivalinta suoritetaan

DIN 1.4057
DIN 1.4301
DIN 1.4006
DIN 1.4003
DIN 1.4416
DIN 1.4401
DIN 1.4029

Taulukkoon 17 alla luodaan ominaisuusprofiili, josta ilmenee toiminnon ja ympäristön materiaalille asettamat vaatimukset niihin vaikuttavat materiaaliominaisuudet.

Taulukko 17: Rungon materiaalivalinnan ominaisuusprofiili

Vaatimukset	Ominaisuus
Toiminnon asettamat vaatimukset:	
Korroosion kestävyys	
	kemiallinen koostumus
keveys	
	tiheys
Ympäristön asettamat vaatimukset:	
valmistettavuus	
	hitsattavuus

Lasketaan taulukon 16 materiaaleille hiiliekvivalentti ja *PRE*-luku joilla pystytään vertailemaan hitsattavuutta ja korroosion kestävyyttä. Hitsattavuuteen vaikuttava

hiiliekvivalentti voidaan laskea usealla tavalla, mutta esimerkiksi kuin yhtälössä 15. /26/

$$C_{ekv} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} (\%) \quad (15)$$

Korroosion kestävyyttä mittaava *PRE*-luku saadaan yhtälöstä 16./27/

$$PRE = \%Cr + 3.3 * \%Mo + 16 * \%N \quad (16)$$

Kumpikaan tunnusluku ei ole tarkka, mutta antaa suuntaa siinä määrin että materiaalien paremmuusjärjestys voidaan selvittää. Alla olevassa taulukossa 18 on materiaalien tunnusluvut *PRE* ja C_{ekv} sekä tiheys

Taulukko 18: Materiaalien hiiliekvivalentit, *PRE*-luvut ja tiheydet (suluissa paremmuusjärjestys)

Materiaali	<i>PRE</i>	C_{ekv}	Tiheys $\frac{kg}{m^3}$
DIN 1.4057	17 (4)	0,040 (4)	7,7 (1)
DIN 1.4301	21,26 (2)	0,050 (5)	7,9 (2)
DIN 1.4006	12.15 (7)	0,032 (2)	7,7 (1)
DIN 1.4003	12,98 (6)	0,028 (1)	7,7 (1)
DIN 1.4416	42,35 (1)	0,072 (6)	8 (3)
DIN 1.4401	20,26 (3)	0,050 (5)	8 (3)
DIN 1.4029	15.48 (5)	0,034 (3)	7,7 (1)

Ominaisuuksien tyypistä johtuen ei ole mielekästä antaa tarkkoja arvosanoja ominaisuuksille vaan kuten yllä luodaan paremmuusjärjestys avustamaan oikean materiaalin valinnassa. Alla taulukossa 19 ominaisuuksille on annettu harkinnanvaraiset painokertoimet.

Taulukko 19: Rungon ominaisuuksien painokertoimet

Ominaisuus	Painokerroin
Tiheys	0,55
Hitsattavuus	0,30
Korroosion kestävyys	0,15
Σ	1

Materiaalit pisteytetään antamalla ominaisuudessa parhaalle 7 pistettä toiseksi parhaalle 6 ja niin edelleen kunnes viimeinen saa yhden pisteen. Pisteet kerrotaan taulukon 18 painokertoimilla ja paremmuus ratkaistaan näin saatujen pisteiden perusteella. Taulukossa 20 materiaalien ominaisuuksista saamat pisteet.

Taulukko 20: Materiaalien ominaisuuksista saamat pisteet

Materiaali	Tiheys	Hitsattavuus	Korroosion kestävyys	Ominaisuus
DIN 1.4057	7	4	4	
DIN 1.4301	6	3	6	
DIN 1.4006	7	6	2	
DIN 1.4003	7	7	1	
DIN 1.4416	5	2	7	
DIN 1.4401	5	3	5	
DIN 1.4029	7	5	3	

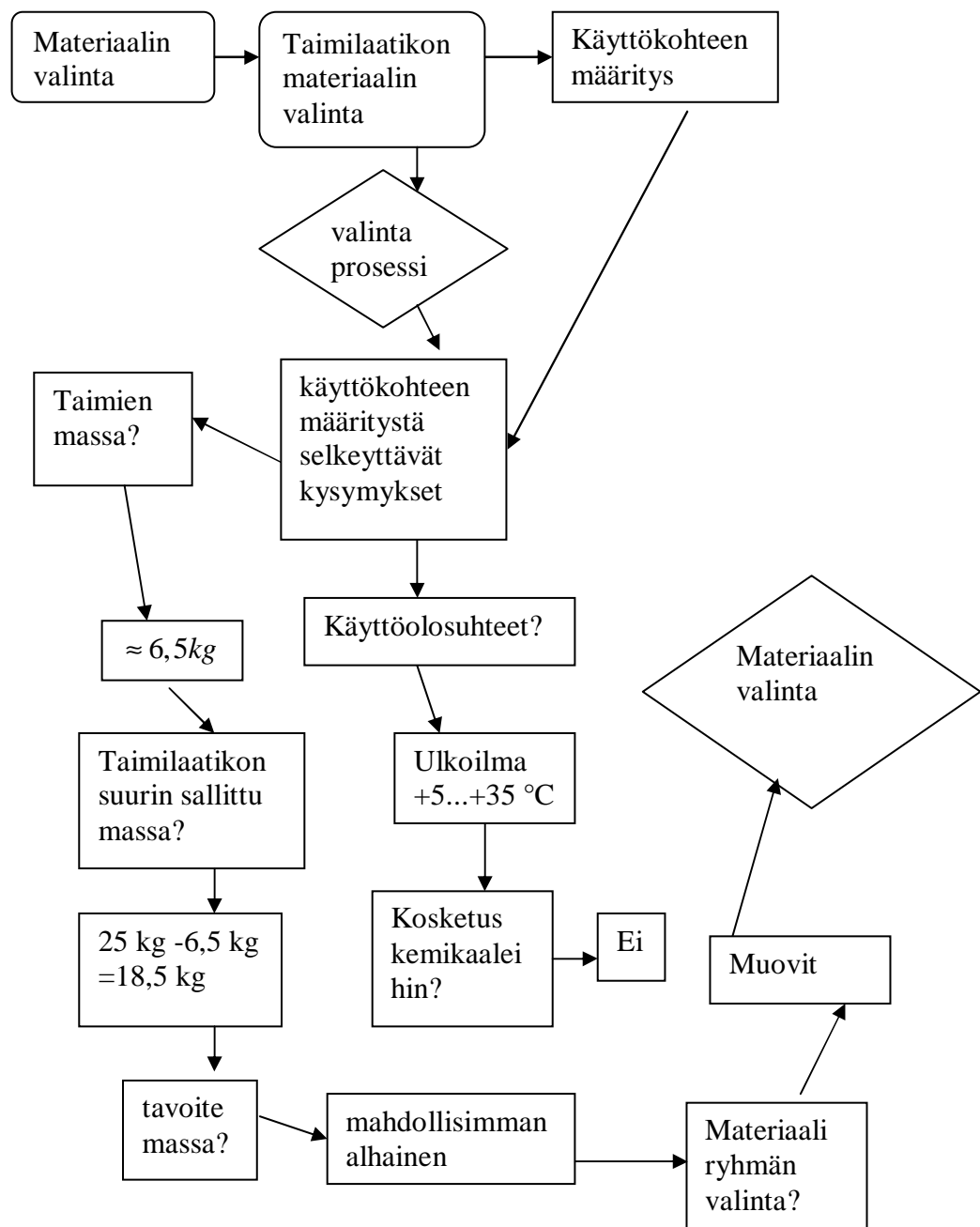
Taulukossa 21 esitellään rungon ominaisuusprofiilin ja painokertoimien yhteensovitus ja lasketaan painotetut pisteet.

Taulukko 21: Rungon ominaisuusprofiilin ja painokertoimien yhteensovitus

Materiaali	Pisteet	Painotetut pisteet	Summa	Painotettu Summa
DIN 1.4057	7+4+4	$7*0,55+4*0,3$ $+4*0,15$	15	5,65
DIN 1.4301	6+3+6	$6*0,55+3*0,3$ $+6*0,15$	15	5,10
DIN 1.4006	7+6+2	$7*0,55+6*0,3$ $+2*0,15$	15	5,95
DIN 1.4003	7+7+1	$7*0,55+7*0,3$ $+1*0,15$	15	6,1
DIN 1.4416	5+2+7	$5*0,55+2*0,3$ $+7*0,15$	14	4,40
DIN 1.4401	5+3+5	$5*0,55+3*0,3$ $+5*0,15$	13	4,40
DIN 1.4029	7+5+3	$7*0,55+5*0,3$ $+3*0,15$	15	5,80

Taulukon 21 mukaan parhaat pisteet sai DIN 1.4003 jota seurasi DIN 1.4006 ja DIN 1.4029, joten valinta tehdään näiden väliltä hinnan ja saatavuuden mukaan. Parhaat pisteet saaneesta DIN 1.4003:sta tehdään mm. junavaunuja ja kuljetuskontteja.

Ruostumaton teräs on huoltovapaa käyttöiän ajan eikä sitä tarvitse pintakäsitellä korroosiota vastaan ja käytöstä poistettaessa romumetallin voi myydä hyvään hintaan joten elinkaaren aikaiset kustannukset jäävät alhaisiksi. 60 % ruostumattomasta teräksestä tehdään kierrätetystä materiaalista joten sen ympäristövaikutukset ovat alhaiset.



Kuva 33: Lohkokaavio 2: Taimilaatikon materiaalivalinnan lohkokaavio esitys:

Valinta kohdistui kuvassa 33 esitetyn lohkokaavio 2 mukaisesti muoveihin. Alumiinit olisivat voineet olla toinen vaihtoehto, mutta valinta kohdistui muoveihin kevyempänä materiaali-ryhmänä. Alla taulukkoon 22 on listattu mahdolliset materiaalit muovien materiaali-ryhmästä

Taulukko 22: mahdolliset materiaalit muovien materiaaliryhmästä

LDPE
PVC
PET
PS
ABS
PMMA
PP

Taulukossa 23 on esitettyä taimilaatikon ominaisuusprofiili.

Taulukko 23: Taimilaatikon ominaisuusprofiili

Vaativukset	Ominaisuus
Toiminnon asettamat vaatimukset:	
muodonmuutoksen vastustus	
	kovuus
keveys	
	tiheys
kosteuden kesto	
	veden absorbointi
Ympäristön asettamat vaatimukset:	
valmistettavuus	
	saatavuus

Sovelтуакseen taimilaatikon materiaalin pitää olla tarpeeksi kestääkseen siihen kohdistuvan siirtelyn. Asetetaan materiaalit totuustaulukkoon kovuuden suhteen ja raja-arvoksi 60 shore D durometrissä. Taulukossa 24 on esillä totuustaulukko vertailtavien muovien suhteen.

Taulukko 24: totuustaulukko kovuuden suhteen

Materiaali	Shore D-kovuus*	<i>ShoreD</i> ≥ 60	summa
LDPE	57,0	-	-
PVC	88,0	+	+
PET	75,0	+	+
PS	n. 78**	+	+
ABS	n. 95**	+	+
PMMA	n. 80**	+	+
PP	81,0**	+	+

*Matweb.comin maksimiarvoja

** Muunnettu taulukon mukaan Rockwell → Shore D

Ominaisuuksille asetetaan harkinnanvaraiset painokertoimet. Saatavuutta ei painoteta mutta valintaa ohjataan yleisimpien ja halvempien materiaalien suuntaan. Taulukossa 25 esitetään taimilaatikon ominaisuuksien painokertoimet.

Taulukko 25: Taimilaatikon ominaisuuksien painokertoimet

Ominaisuus	Painokerroin
Tiheys	0,55
Veden absorbointi	0,30
Jäykkyys	0,15
Σ	1

Seuraavaksi valintaprosessissa tehdään pisteytys ja ominaisuusprofiilin yhteensovitus. Prosessin kulku esitellään taulukoissa 26 ja 27.

Taulukko 26: materiaaliominaisuudet ja materiaalien paremmuus

Materiaali	Tiheys* $\frac{kg}{m^3}$	Veden absorbointi	Kovuus shore D	Ominaisuus
PVC	1,85(6)	0,1-0,2 % (2)	88,0 (2)	
PET	1,40 (3)	0,12-0,35% (3)	75,0 (6)	
PS	1,18 (1)	0-0,15 % (1)	n. 78**(5)	
ABS	1,20 (2)	0,25-1% (4)	n. 95** (1)	
PMMA	1,49 (4)	0,06-0,07% (1)	n. 80**(4)	
PP	1,84 (5)	0-0,1% (1)	81,0**(3)	

*Matweb.comin maksimiarvoja

** Muunnettu taulukon mukaan Rockwell → Shore D

Taulukossa 27 nähdään taimilaatikon ominaisuusprofiilin ja painokertoimien yhteensovitus, menetellään samaan tapaan kuin edellä rungon kanssa meneteltiin.

Taulukko 27: Taimilaatikon ominaisuusprofiilin yhteensovitus

Materiaali	Pisteet	Painotetut pisteet	Summa	Painotettu Summa
PVC	2+6+6	2*0,55+6*0,3 +6*0,15	14	3,80
PET	5+5+2	5*0,55+5*0,3 +2*0,15	12	4,55
PS	7+7+3	7*0,55+7*0,3 +3*0,15	17	6,40
ABS	6+4+7	6*0,55+4*0,3 +7*0,15	17	5,55
PMMA	4+7+4	4*0,55+7*0,3 +4*0,15	15	4,90
PP	3+7+5	3*0,55+7*0,3 +5*0,15	15	4,50

Eniten pisteitä sai Polystyreeni (PS) ja toiseksi eniten ABS (akrylinitriili-butadieeni-styreeni). PS:stä tehdään esimerkiksi CD-koteloita ja kertakäyttömukeja. PS on herkkä UV-valolle, mutta edullisena, yleisenä ja kierrätettävänä materiaalina taimilaatikon uusiminen on mahdollista. ABS:n saatavuus pohjoismaissa voi muodostua ongelmalliseksi.

3.4 Lujuustarkastelu

Lujuustarkastelun kannalta kriittisin kohta on istutusputkeen ja istutuspäähän kohdistuvat voimat. Istutuspää on suunniteltava kevytrakenteiseksi, jotta puomin käyttö ääriarvoissaakin on sulavaa. Ongelmaksi tässä kohtaa muodostuu tarvittavan iskuvoiman arviointi, joten tarkempi lujuustarkastelu täytyy siirtää edemmäksi. Muilta osin tarkastelu ei ole niin kriittinen suunnittelun perustana on käytetty puunkuormaimella varustettuja metsäperävaunuja, joihin kohdistuvat kuormat ovat suurempia. Tarkempi lujuustarkastelu tulee suorittaa rakenteen optimoimiseksi ja istutuspäähän maahan isku tilanteessa kohdistuvien voimien selvittämiseksi.

4. TYÖN TULOSTEN ANALYSOINTI

Metsän istutus nykyään hoidetaan lähes täysin pottiputken avulla käsin istuttamalla ja suurena esteenä koneellisen metsän istutuksen yleistymisellä, vaikka koneellisen istutuksen ratkaisuja on ollut olemassa jo kauan, on koneen käytön korkeat kustannukset. Tutkimus näyttää keskittyvän olemassa olevien koneratkaisuiden tehokkuuden parantamiseen, joten tässä työssä esitellyn tyyppiselle istutuskoneelle on tarve olemassa jos se vain saadaan toiminnaltaan riittävän hyväksi. Tuotteelle asetettiin vaatimuksia, joista geometriaa ja kinematiikkaa koskevat olivat seuraavat:

- Massaltaan enintään 948 kg
- Korkeintaan 1800 mm leveä
- Pituudeltaan enintään 5500 mm
- Maksimi korkeus n. 3700 mm

Vastaavat arvot saavutetulla ratkaisulla vastaavat arvot olivat:

- Massa n. 540 kg (ilman kuormaa ja kaikkea hydraulikkaa)
- leveys n. 1775 mm
- pituus n. 5365 mm
- korkeus n. 3100 mm

Yllä annetut vaatimukset ovat lainsäätäjän tieliikenteeseen asettamia, joten on välttämätöntä että ne täytetään kevyen istutuskoneen helpon liikuttamisen takia. 5365 mm pituus tarkoittaa että kuljetus on merkittävä lipulla huomioimisen helpottamiseksi, mutta muita toimenpiteitä kuljetus ei vaadi ja pelkkä kärry, henkilöauto ja B-luokan ajo-oikeus riittää kevyen istutuskoneen siirtämiseen.

Tässä DI-työssä perehdytään metsän koneelliseen istutukseen ja laitteisiin, joilla istutus suoritetaan. Teoria osassa pureudutaan mekatronisen suunnittelussa huomioitaviin asioihin ja käytäntö osassa esitellään koneellisen metsänistutukseen

käytettäviä laitteita ja suunnitellaan uuden tyyppinen istutuskone, joka on olemassa olevia istutuslaitteita pienempi ja kustannustehokkaampi sekä käytettävyydeltään helppo omaksua ilman pitkää käyttökoulutusta.

Suunnittelutyö onnistui kohtuullisesti ja aikaan saatiin konsepti, jonka hankintakustannukset ovat alhaisemmat ja jonka istutusteho on käsin tehtyä istutusta parempi sekä liikuttaminen kohteeseen on helpompaa kuin nykyisin käytössä olevilla istutuskoneilla. Tässä työssä istutuskoneen osalta keskityttiin pääasiassa rakenteen suunnitteluun, joten jatkokehittelyssä tulee panostaa ohjauslogiikan kehittämiseen, kevyen istutuskoneen tarvitseman hydrauliiikan pohdintaan ja tarkempaan lujuustarkasteluun, sillä istutuspähän istutustilanteessa kohdistuvien voimien tarkka arviointi osoittautui haasteelliseksi.

Kevyessä istutuskoneessa on potentiaalia jatkokehitykseen tapana leikata koneellisen metsän istutuksen kustannuksia sillä mönkijän hankintakustannus peruskoneeksi on n. 5-10 % kaivinkoneen vastaavasta ja mönkijälle on yksityishenkilön ja pientä liikeyritystä pyörittävän metsäpalvelu yrittäjän näkökulmasta helpompi löytää muuta käyttöä. Kevyt istutuskone on istutusta hoitava erikoiskone, jonka käyttöastetta voidaan nostaa esimerkiksi suunnitteleamalla siihen raivauspää, jolloin samaa konetta voitaisiin hyödyntää taimikon harvennuksessa.

Tarkka istutustehokkuuden arviointi on tässä vaiheessa ennen aikaista mutta taimilaatikon istutukseen ja uuden vaihtamiseen kuluva aika saadaan yhtälöstä 17:

$$t_{kok} = \frac{(n_{istutus} * t_{istutus} + t_{siirtymä}) * \left(\frac{n_{laatikko}}{n_{istutus}} \right)}{\eta_{istutus}} + t_{vaihto}, \text{ missä} \quad (17)$$

t_{kok} = Aika istutuksen aloituksesta laatikon vaihtoon

$n_{istutus}$ = Istutusmäärä yhdeltä paikalta

$t_{istutus}$ = Kulunut aika taimen tiivistyksestä toisen taimen tiivistykseen

$t_{siirtymä}$ = Koneen siirtoon kulunut aika

$n_{laatikko}$ = Taimien määrä laatikossa

t_{vaihto} = taimilaatikon vaihtoon kulunut aika

$\eta_{istutus}$ = Istuksen hyötysuhde

Istuttaessa 2000 tainta/ha ja taimilaatikkojen latauksen ja lastauksen viedessä 20 % työajasta voidaan olettaa seuraava istutusteho:

$$t_{kok} = \frac{(12 * 15s + 30s) * \left(\frac{63}{12}\right)}{0,8} + 40s = 1418 \text{ s}$$

jolloin 12 tunnin vuorossa 1 tunnin ruokatauolla ja 2:lla 15 minuutin kahvitauolla

$$\text{voi istuttaa } \frac{(12 - (1 + 2 * 0,25))h}{\left(\frac{1418}{3600}\right)h} * 63 = 1679 \text{ tainta} \quad (18)$$

Yhtälön 18 mukaan istutus ei ole yhtä tehokasta kuin perinteisellä istutuskoneella tehty istutus, mutta istutusteho on silti kaksinkertainen käsin tehtyyn istutukseen verrattuna.

Toivomus kevyen istutuskoneen käsiteltävyydestä yhden ihmisen voimin onnistui vain puolittain sillä vaikka metsässä mönkijän kanssa sitä pystyy kyllä käsittelemään voi kärrylle lastaus ja purku tuottavat ongelmia.

5. YHTEENVETO

DI-työn tavoitteena oli uudelleen suunnitella kaivinkonetta peruskoneena käyttävä taimen istutuslaite ja tehdä siitä kevyempi, halvempi ja useamman henkilön saatavilla oleva kone istutusta suorittamaan. Kevyelle koneelle on tilaus sillä istutus nykyään suoritetaan lähes täysin käsin istuttaen ja istutustyötä tehdään Suomen metsissä paljon. Työ oli vähintään osittainen onnistuminen ja siinä saatiin ainakin hyvä konsepti jatkokehitystä varten, mutta olisin halunnut saada aikaan enemmän vertailua käsin istutuksen, perinteisen koneistutuksen ja kevyen koneistutuksen välille. Suunniteltuun rakenteeseen ja valittuihin materiaaleihin voi olla tyytyväinen ja siihen että suunnittelussa pystyttiin huomioimaan ympäristö näkökohtia.

LÄHTEET

1. Maa- ja Metsätalousministeriö: Suomi on Euroopan metsäisin maa, 2012
2. Metsäklusteri luo suomalaista hyvinvointia: Riitta Salo, 2012
3. Metsäyhdistyksen sivusto 2013. Viitattu 17.10.2013 <http://www.forest.fi>
4. An encyclopedia britannica company Merriam-Webster. 2013 sivusto. Viitattu 18.10.2013 <http://www.merriam-webster.com/dictionary/machine>
5. Mechatronics Handbook, Robert H. Bishop, 2002
6. University of vaasa, kurssin AUTO2040 Mekatroniikka sivusto 2013. Viitattu 18.10.2013 <http://lipas.uvasa.fi/~TAU/AUTO2040/slides.php?Mode=Printer>
7. Tampereen teknillinen yliopisto kurssin MOL-1210 Materiaalit sivusto 2005. Viitattu 18.10.2013 http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_2.php
8. Shigley's Mechanical Engineering Design 9th edition, Richard G. Budynas & J. Keith Nisbett, 2011
9. Materials Selection in Mechanical Design 4th edition, Ashby, 2011
10. Linear Circuit Analysis, S.Madhu, 1988
11. Schaum's Outline of Theory and Problems of ELECTRIC CIRCUITS 4th edition, Mahmood Nahvi, Joseph Edminster, 2003
12. Hydrauliteknikka, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2007
13. Hybridikäytön mitoitus liikkuvan työkonen energian talteenottojärjestelmäksi, Immonen, 2008
14. Monitoimisen nivelauran suunnittelu, Vesa Kähkönen, 2012
15. Engineering Design. A systematic approach, Beitz & Pahl, 1988
16. Engineering design methods – Strategies for product design 3rd edition, Nigel Cross, 2003
17. Teollinen koesuunnittelu ja FMEA, Jaakko Tötterström, Mikko Mäenpää, Hannu Villanen, 2001
18. Käytettävyydellä potkua tuotekehitykseen, H. Anttonen & al., 2002
19. PLM – tiedonhallintaa eri toimialojen tarpeisiin, Daniela Persson, 2008
20. Digitaalinen valmistus on olennainen osa PLM-järjestelmää, Jussi Tiuhonen 2008

21. Metsäteho raportti 218 M. Strandström et al.,2011
22. Koneellisen metsänistutuksen opas Mikko Syri & Tiina Laine, 2012
23. Liikenteen turvalisuusviraston sivusto 2014. Viitattu 23.5.2014
<http://www.trafi.fi>.
24. Konekesko Oy Muuli sivusto 2014. Viitattu 23.5.2014
<http://www.muuli.fi/Default.aspx?tabid=1423>.
25. Development of an ATV-Based Remote-Operated Sensor Platform, Sumner, 2010
26. Ovakon terästen hitsaus. Esite 2014. Viitattu 28.5.2014
http://www.ovako.com/PageFiles/320/Ovakon_terasten_hitsaus_15724.pdf,
27. Handbook of Stainless Steel, Outokumpu Oyj, 2013. Viitattu 28.5.2014
<http://www.outokumpu.com/SiteCollectionDocuments/Outokumpu-stainless-steel-handbook.pdf>,