

Jonne Pitkälä

KONSEPTIKEHITYS MUOVINLAJITTELUKÄÄNTÄJÄLLE

KONSEPTIKEHITYS MUOVINLAJITTELULAITTEISTOLLE

Jonne Pitkälä
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaatio

Tekijä: Jonne Pitkälä
Opinnäytetyön nimi suomeksi: Konseptikehitys muovinlajittelulaitteelle
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Concept Development for Plastic Sorting Unit
Työn ohjaaja: Kimmo Rantapirkola
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2020
Sivumäärä: 43 + 3 liitettä

Insinööri työ tehtiin Head Recycle Systems Oy:lle. Yritys kehittää automaattioratkaisuja muovijätteen kierrättämiseen. Opinnäytetyössä suunniteltiin proof of concept -mekaniikka, joka lajittelee fysikaalisesti toisistaan eroavat muovilajikkeet eli kalvo- ja kovamuovit. Laitteessa muovilajikkeet erotellaan fysikaalista eroavaisuutta hyödyntäen mekaniikan keinoilla. Kovamuovista poiketen kalvomuovi tarttuu laitteen tartuntapintoihin ja siirtyy omaan eriteltyyn laitteen osaan.

Työhön sisältyi koneensuunnittelua systemaattisen tuotekehityksen menetelmää käyttäen, johon sisältyi eri mekaniikkavaihtoehtojen suunnittelua, vertailua ja valitun mekaniikan kehittämistä edullisimmin valmistettavaan muotoon. Valitun ratkaisun yksityiskohtaisessa suunnittelussa otettiin huomioon valmistuskustannukset ja laitteen valmistaminen Oulun ammattikorkeakoulun työstölaitteilla sekä yrityksen saatavilla olevilla toimilaittekomponenteilla. Yksityiskohtaisessa suunnittelussa mekaniikalle suunniteltiin tarvittavat rasitus- ja kestoikävaatimusten mukaiset komponentit.

Laitteiston testauksilla päästiin muovijätteen erottelussa 500 g:n kapasiteetilla toimiviin tuloksiin eli alle 10 %:n lajitteluvirheeseen. Suurimmilta osin virhe aiheutui syöttöautomaatiikan puutteista ja materiaalinhallinnan prototyypimäisyydestä. Kehittämällä syöttöautomaatiikkaa mekaniikasta saadaan toimiva erottelulaitteisto.

Asiasanat: asumajätteet, pakkaukset, kierrätys, jätehuolto

ALKULAUSE

Opinnäytetyö tehtiin Oulussa syksyllä 2020. Työn tilaajana toimi Head Recycle Systems Oy:n toimitusjohtaja Johnny Pehkonen. Tuotekehityspäällikkö Jari Viitala yhdessä Johnny Pehkosen kanssa antoivat opinnäytetyöhön toimivia ideoita ja ohjausta, jotka auttoivat opinnäytetyön proof of concept -mekaniikan kehittämisessä ja suunnittelussa. Automaatioinsinööri Jesse Lassilan avulla saatiin mekaniikan ohjausjärjestelmän toiminta määriteltyä ja täyttämään laitteiston testaamiseen vaadittavat turvallisuusedellytykset. Oulun ammattikorkeakoulun puolelta ohjaajina toimivat lehtori Kimmo Rantapirkola ja tuotekehityksen konsultointiapuna lehtori Esa Kontio.

Haluan kiittää kaikkia tässä opinnäytetyössä avustaneita henkilöitä. Haluan kiittää Jari Viitalaa sekä Johnny Pehkosta kesäharjoittelupaikasta ja opinnäytetyöstäni, joissa sain toteuttaa itseäni vahvuuksieni ja ammattitaitoni kautta. Lisäksi kiitän vaimoani Hennaä hänen antamastaan tuesta ja kärsivällisyydestä.

Oulussa 2.6.2020

Jonne Pitkälä

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 HEAD RECYCLE SYSTEMSIN TUOTEVALIKOIMA	9
2.1 Muovijätteen puristuslaite	9
2.2 Automaattinen muovin lajittelulaite	10
3 TUOTEKEHITYS	11
3.1 Alustava tekninen spesifikaatio	13
3.2 Abstrahointi	14
3.3 Lajittelutavan valinta	14
3.4 Valitun vaihtoehdon kehittäminen	17
4 YKSITYISKOHTAINEN SUUNNITTELU	21
4.1 Mekaniikkalaskennan lähtökohdat	21
4.1.1 Moottori, vaihde ja ohjain	21
4.1.2 Käyttömekaniikka	22
4.1.3 Jännitysresultantit	23
4.2 Akselin rasiustarkastelu	23
4.2.1 Söderbergin laskentamenetelmä	24
4.2.2 Laakereiden mitoitus	25
5 VALMISTUS JA KOKOONPANO	27
6 OHJAUSLOGIIKKA JA TURVALLISUUS	32
7 TESTAUS JA TULOKSET	33
7.1 Toiminnallisuustestaus	34
7.2 Erottelutestaus	37
7.3 Pakkaustestaus	38
7.4 Tulokset	39
7.5 Havainnot	39
8 POHDINTA	
	VIRHE. KIRJANMERKKIÄ EI OLE MÄÄRITETTY.
LÄHTEET	42

LIITTEET

Liite 1 BLE2:n hiiliharjattoman moottorin taulukko

Liite 2 Akselin väsymismitoitus

Liite 3 Laakerin perusmitoitus

SANASTO

g = gramma

Hz = hertziataajuus

rpm = rotations per minute, kierrosta minuutissa

m = metri

mm = millimetri

N = newton

NC = numerical control, numeerisesti ohjattu

NIR = near-infrared, lähi-infrapuna

Nm = newtonmetri

MPa = megapascal

PE = polyeteeni

V = jännite, voltti

V/AC = vaihtojännite

W = watti

1 JOHDANTO

Head Recycle Systems Oy on perustettu Oulussa vuonna 2018. Yrityksen perustajina toimivat Veikko Lesonen ja yrityksen toimitusjohtaja Johnny Pehkonen. Yritys on erikoistunut muovien kierrätyksen ensi- ja jatkojalostukseen. Yrityksen ensimmäinen sisääntulo laitteistomarkkinoille tapahtui syksyllä 2019 automaattisen jätteenlajittelulaitteen valmistuttua Rakennusteho Oy:n rakentamalle taloyhtiölle Oulun Kiulukankaalle. (1; 2.)

Head Recycle Systems Oy kehittää ja suunnittelee markkinoille jätteenkäsittelylaitteivalikoimaa, joka palvelee eri toimialoilla toimivien asiakkaiden jätehuolto- ja käsittelytarpeita. Ison kierrätysvolyymien tarvitseville asiakkaille suunnitellaan prosessiautomaatiojärjestelmäratkaisuja. Tarpeellisimmat proof of concept -kehitysprojektit olisi suunnattu prosessiautomaatiojärjestelmän tarpeisiin. Asiakasprojektien sen hetkisen tilanteen takia opinnäytteen aihe rajattiin yrityksen nykyisen laitteivalikoiman toimivuuden modulaariseen kehittämiseen.

Necto Sorter -automaattisessa jätteenlajittelulaitteessa hyödynnetään muovijätteen tunnistamisessa lähi-infrapuna-anturia eli NIR-anturia. Laitteen ongelmaksi havaittiin muovijätteen seassa olevat kalvot. NIR-anturilla läpinäkyvien muovien tunnistaminen on haastavaa. Muovijätteen siirtämisessä, lajittelussa ja tiivistämisessä käytetään materiaalinsiirtoruuvia. Pitkät kalvot tarttuvat helposti pyörivän ruuvien akselin ympärille aiheuttaen hidastuksia ja katkoksia materiaalivirrassa.

Opinnäytetyön aiheeksi valittiin ratkaisun kehittäminen kalvomuvien erotteluun kovamuovijätteestä. Opinnäytetyön aihealueeksi rajattiin proof of concept -laitteen suunnittelu, valmistus ja testaus. Opinnäytetyössä painotetaan käytettävissä olevien valmistustekniikoiden kustannustehokasta hyödyntämistä.

2 HEAD RECYCLE SYSTEMSIN TUOTEVALIKOIMA

Proof of concept -suunnittelun tavoitteena on tukea Head Recycle Systemsin kehittelemien laitteistojen toimintaa modulaarisella lisälaitteella. Proof of concept -suunnittelun tavoitteena on tukea Head Recycle Systemsin kehittelemien laitteistojen toimintaa modulaarisella lisälaitteella ja kehittää prosessointilaitteistojen tuotevalikoimaa.

2.1 Muovijätteen puristuslaite

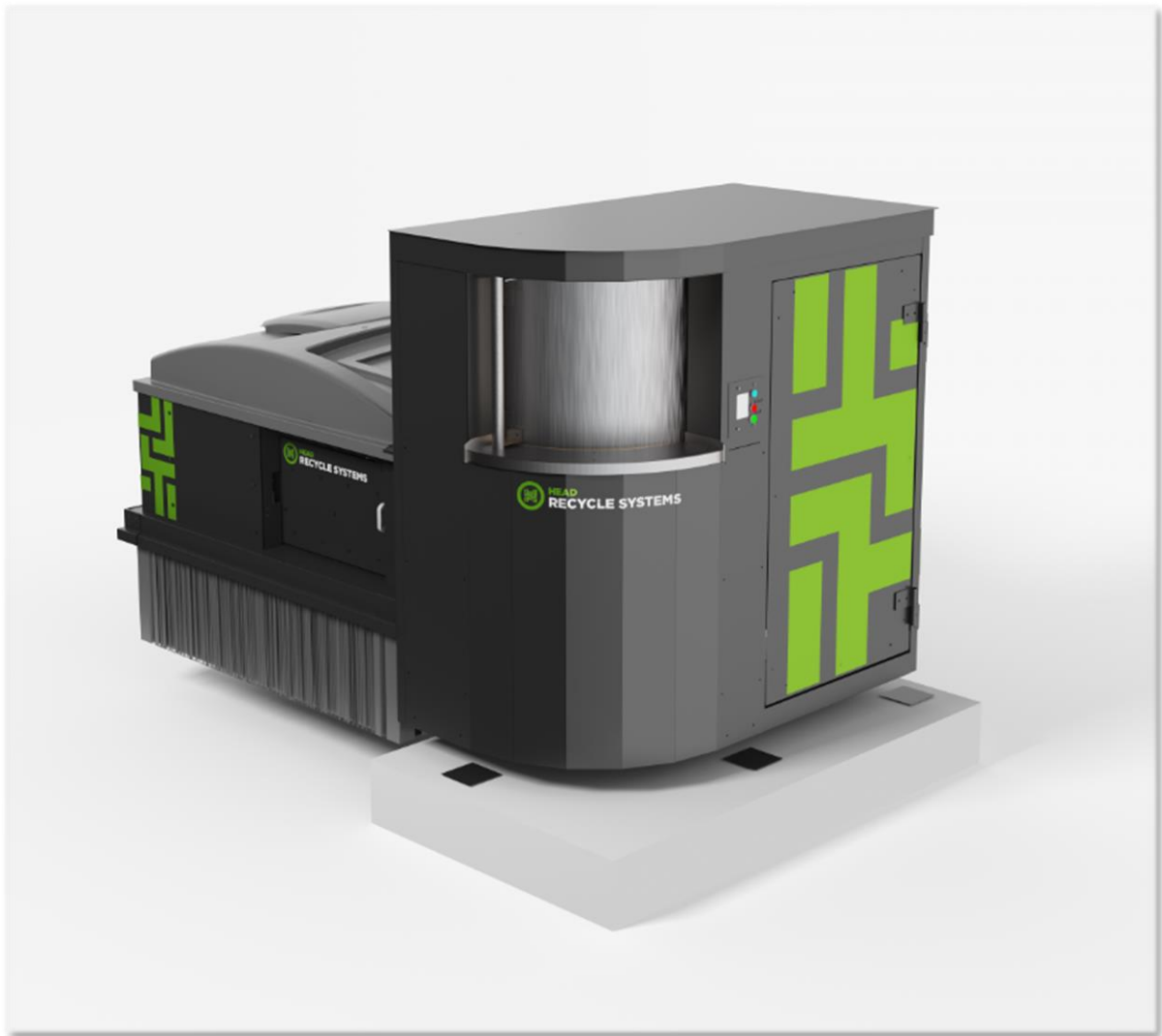
Muovijätteen puristuslaitteisto Necto Compactor suunniteltiin erilaisten yritysasiakkaiden tarpeisiin tiivistämään muovijätettä suoraan kuitumuovista valmistettuun muovisäkkiin. Asiakas voi itse vaihtaa muovipuristepaalin laitteesta pumpukärryn tai trukin avulla. Laite tuo joustavan ratkaisun jätteenkäsittelyn toiminnasta kriittisiin tuotanto- ja palvelutoimintoihin esimerkiksi rakennustyömailla ja risteilyaluksilla. (Kuva 1.)



KUVA 1. Necto 300 Smart Compactor (3)

2.2 Automaattinen muovinlajittelulaite

Muovinlajittelu- ja puristuslaitteisto Necto Sorter on kehitetty taloyhtiöiden syväkeräysjärjestelmiin liitettäväksi laitteeksi, joka puristaa ja lajittelee asukkaiden muovijätteet. Muovijätteen tunnistamiseen käytetään NIR-tekniikkaa. Tunnistettu materiaali siirretään sille tarkoitetun syväkeräyssäiliön sisälle kiinnitettyyn pussiin. Kierrätykseen kelpaamattomat materiaalit putoavat pussin ohi syväkeräysastian pohjalle. (Kuva 2.)



KUVA 2. Necto Sorter yhdistettynä MolokDomino®-syväkeräysjäteastiaan (4)

3 TUOTEKEHITYS

Koneensuunnittelu on toteutettu systemaattisen tuotekehityksen menetelmää mukailleen. ”Menetelmällä haetaan teknisiin ongelmiin ratkaisuja luonnontieteellisen tiedon avulla ja toteutetaan ne optimaalisella tavalla kulloistenkin rajoitusten vallitessa” (5, s. 1). Oulun ammattikorkeakoulun tuotekehityskurssilla opeteltiin käyttämään samaa menetelmää tuotekehityksen tukena.

Esisuunnittelun ensimmäinen vaihe systemaattisessa tuotekehityksessä on oleellisen ongelman tai tehtävän selkeyttäminen ja abstrahointi. Abstrahoinnilla muotoillaan oleellinen ongelma tai tehtävä yleiseen muotoon vaatimuslistan ja tuotespesifikaation mukaan. (6.)

Vaatimuslista

Vaatimuslista täytetään yhdessä asiakkaan kanssa esisuunnittelupalaverissa. Vaatimuslista antaa suunnittelijalle ehdot, jotka laitteen suunnittelussa on otettava huomioon (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Vaatimuslista

KV, VV, T	Vaatimus	Pvm.
	1. Geometria	
KV	Liitettävissä RALLI:n toimintakokonaisuuteen	10.1.2020
	2. Voimat	
KV	Jaksaa käsitellä kalvomuoveja	10.1.2020
	3. Energia	
KV	Sähkö	10.1.2020
	4. Aine/Materiaalit	
KV	Valmistusmateriaalit	10.1.2020
	5. Turvallisuus	
KV	Antaa edellytykset, että voidaan suunnitella kone-direktiivin (2006/42/EY) mukaisesti.	10.1.2020
KV	Antaa edellytykset, että voidaan suunnitella jä-tepuristin (SFS-EN 16486) standardin mukai-sesti.	10.1.2020
KV	Prototyyppi on käyttäjäturvallinen	
	6. Ergonomia	
	7. Valmistus	
T	Konseptilaitteet on pystyttävä valmistamaan yleisillä valmistusmenetelmillä	10.1.2020
	11. Kustannukset	
KV	Konseptilaitteet on pystyttävä valmistamaan ilman suuria kustannuksia	10.1.2020
	12. Määräajat	
T	Määräaikaan mennessä on valmistuttava meka-niikkakonseptivaihtoehtoja	10.1.2020
VV	Määräaikaan mennessä on valmistuttava meka-niikka konseptivaihtoehto	10.1.2020

KV = Kiinteä vaatimus

VV = Vähimmäisvaatimus

T = Toivomus

Vaatimukset on jaettu kolmeen ehtoon:

1. kiinteisiin vaatimuksiin, joita on noudatettava
2. vähimmäisvaatimuksiin, jotka määrittävät ovatko projektin vähimmäistu-lokset täyttyneet
3. toiveisiin, jotka mahdollisuuden salliessa otetaan suunnittelussa huomioon
(6).

3.1 Alustava tekninen spesifikaatio

Muovijätettä syntyy pääasiassa yrityksissä erilaisista muovipakkauksista. Muovijäte koostuu yleensä eri muovilaaduista kuten kalvomuoveista, PE-muovista ja styroksista. (7.)

Muovin eli ns. kalvomuovin erilliskeräys on toimiva keino parantaa yrityksen kierrätysastetta ja vähentää sekajätettä. Useimmat muovit voidaan kierrättää uusiomuovin raaka-aineeksi tai hyödyntää energiana. (7.)

Erottelutavassa hyödynnetään eroteltavien muovijätteiden ainevahvuudesta aiheutuvaa fysikaalista jäykkyyseroa. Muovikalvot ovat selvästi kovamuoveja ohuempia ja joustavampia. Joustavuuseroa hyödynnetään mekaanisilla keinoilla.

Materiaalivirran tehokkuuden ylläpitäminen vaatisi materiaalin käsittelytapana ruuvilaitteistoa käyttävältä automaattiselta laitteelta aktiivista valvontaa, jotta toimintavarmuus olisi hyvä. Kalvomuovijäte sisältää pitkiä kappaleita, joiden käsittely pienissä prosessilaiteratkaisuissa tuottaa ongelmia.

Laitteen on toimittava syklittömästi, koska edestakainen liike tuottaa ongelmia pitkien kalvojen käsittelyssä. Haluttuun materiaaliin pitäisi tarttua tehokkaasti, mutta kuitenkin tarttumatta toiseen materiaalilaatuun. Kalvomuovi pitää saada siirrettyä materiaalivirrasta erotettuun osaan laitteessa.

Kalvomuovijätteessä on myös monikerrosmuoveja, jotka tuovat kuluttajatuotteiden pakkauksiin haluttuja ominaisuuksia. Monikerrosmuovit valmistetaan liittämällä eri muovilaatuja kerroksittain toisiinsa. Monikerrosmuovien hyödyntäminen puhtaaksi uusiomuovin raaka-aineeksi vaatii monimutkaisia kierrätysprosesseja. (8.)

Laitteen esispesifikaatiomääritelmät ovat

- maksimitat ovat 600*600*1 000 mm
- käyttövoima on 240 V/AC
- syöttökaukalon kapasiteetti on 500 g eli noin 20 litraa
- käsiteltävät muovilaadut ovat kalvo- ja kovamuoveja
- erottelukyky ja erottelun puhausprosentti on 99 %.

3.2 Abstrahointi

”Abstrahoinnissa ei oteta huomioon yksilöllisyyttä ja tilapäisyyttä, vaan yritetään korostaa yleispätevyyttä ja oleellista. Mikäli tämä muotoillaan osuvasti, tunnustetaan sekä kokonaistoiminto että ongelmaa luonnehtivat oleelliset edellytykset sitoutumatta ennakolta mihinkään tiettyyn ratkaisuun.” (5, s. 73.)

Abstrahoituna tavoitteena opinnäytetyössä etsitään vaihtoehtoa muovijätteen automaattiseen lajitteluun. Tuotekehityksen ytimenä on kehittää kalvo- ja kovamuovijätteen erottelumenetelmää. Menetelmätestauksen avulla halutaan parantaa muovijätteen lajittelua laitteistoilla ja prosessilinjastoilla entistä tarkemmaksi, tehokkaammaksi ja varmemmaksi. Kalvo- ja kovamuovijätteet eroteltaisiin mahdollisesti lajikkeille optimoituiduille prosessilinjastoille.

3.3 Lajittelutavan valinta

Esisuunnittelun vaatimuksien perusteella ideoitiin yhdessä toimeksiantajan kanssa mahdollisia erottelutapoja. Kuvassa 3 esitetään ideoinnissa syntyneitä ratkaisuvaihtoehtoja sekä esitetään valitun laitteistoversion kehitysaikajana.

VERSIO 1.



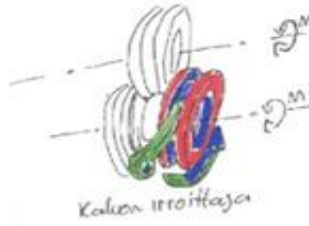
Teräketju
erottelija



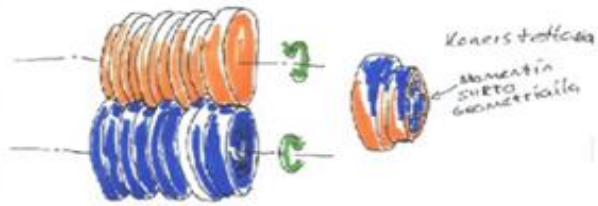
VERSIO 2.



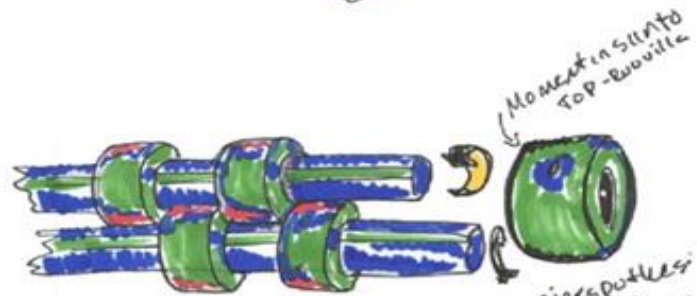
Levy pakka
erottelija



Kulua irroittaja



- Liian kallias -> low cost



Low Cost versio
prototyypistä

KUVA 3. Esisuunnittelun aikajana

Kuvassa 3 esitetyt ratkaisuvaihtoehdot ovat seuraavat:

- Versio 1 on teräketjulla erotteleva laitteisto, joka siirtää liikkuvaan teräketjuun tarttuneet kalvomuovit erilleen materiaalivirrasta.
- Versiossa 2 levypakkaerottelijassa kalvomateriaalit tarttuvat levyjen välien tarttumapintoihin ja siirtyvät erilleen kovamuoveista.
- Versiossa 3 keskipakoisvoimalla heitetään kovamuovikappaleet erilleen kalvomuoveista. Kalvomuovit kiertyvät haittatankeiden ympärille, josta ne irrotetaan myöhemmin automatiikalla.

Versioiden pistearviointi

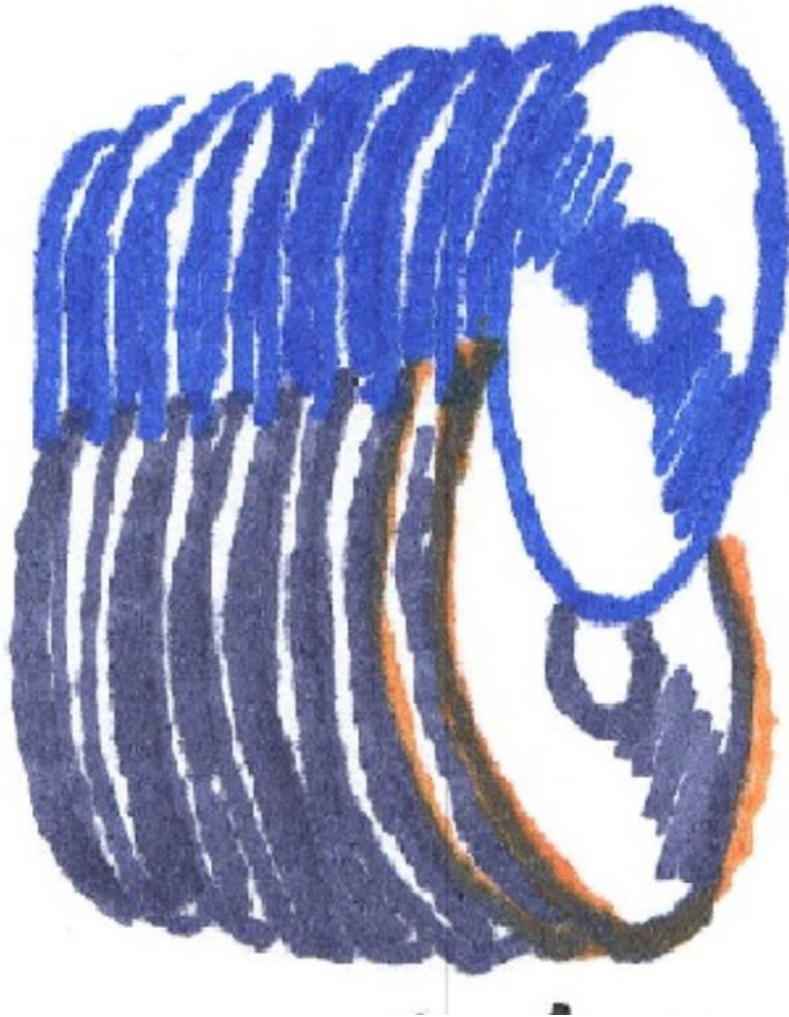
Esisuunnittelupalaverissa pistearvioitiin taulukon 2 menetelmien kriteerit ja valittiin versio 2 jatkokehitettäväksi mekaniikkatoimintatavaksi.

TAULUKKO 2. Pistearviointi

		Ratkaisuvaihtoehdot					
Arviointikriteeri	Painokerroin (0...1)	Ve1		Ve2		Ve3	
		Arvosana (1...5)	Painotettu arvosana	Arvosana (1...5)	Painotettu arvosana	Arvosana (1...5)	Painotettu arvosana
Alhaiset valmistuskustannukset	0,2	3	0,6	4	0,8	4	0,8
Helppo valmistettavuus	0,1	4	0,4	4	0,4	3	0,3
Toiminnan tehokkuus	0,1	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Vähän komponentteja	0,25	3	0,75	5	1,25	4	1
Hyvä käyttöturvallisuus	0,2	3	0,6	4	0,8	3	0,6
Yhteensä	1		2,75		3,65		3,1

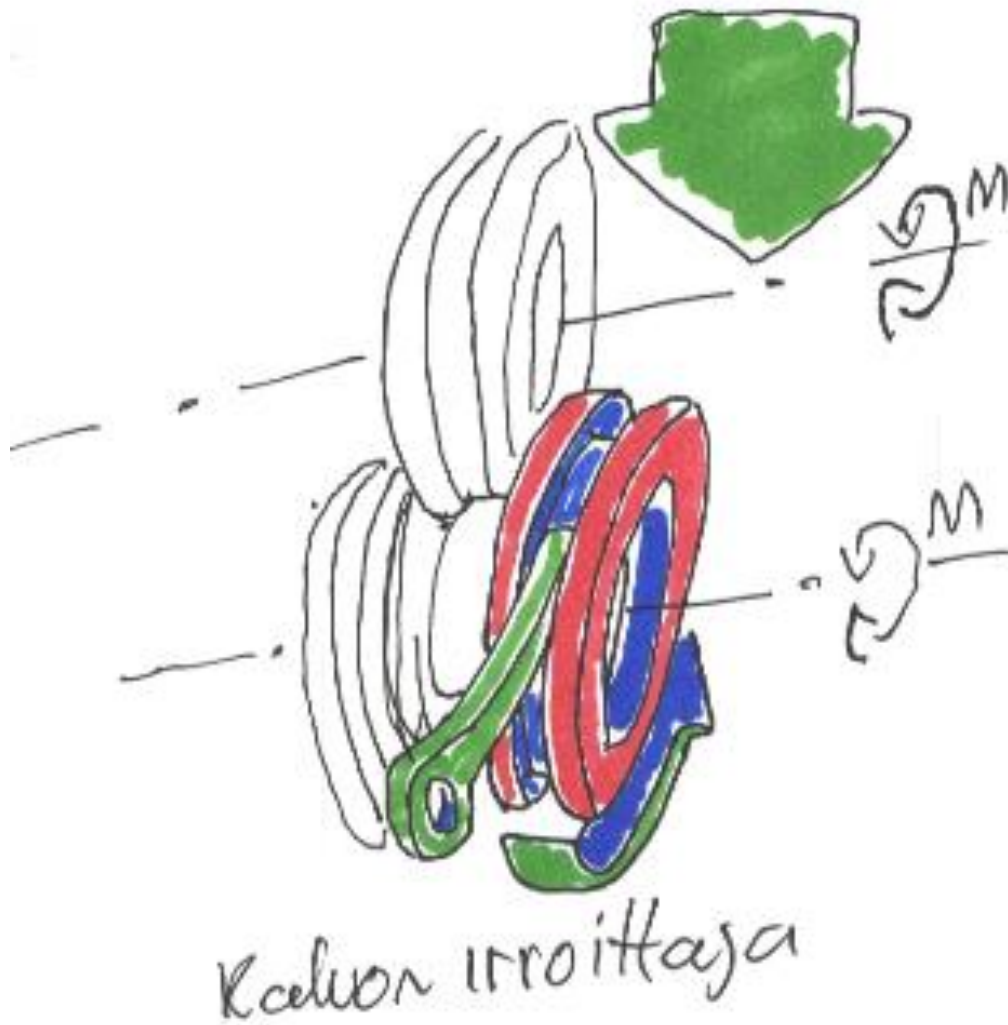
3.4 Valitun vaihtoehdon kehittäminen

Kuvan 4 esikonseptissa ajatuksena on valmistaa limittäin toisiaan vastaan liikkuvat erottelijalevyt vesileikkaamalla. Valmistusteknisesti vesileikkaus ei olisi ollut toimivin ratkaisu tämäntyyppisten pyörähdyssymmetristen kappaleiden toleranssivaatimuksiin, joten kappaleet suunniteltiin valmistettavaksi sorvaamalla.



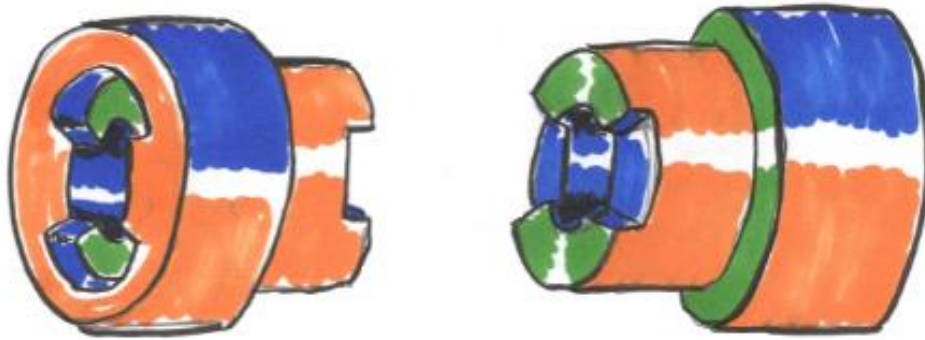
KUVA 4. Vesileikkaamalla valmistettavat erottelijalevyt

Kalvonirrottajaterällä estetään mahdollinen materiaalin tarttuminen akselin pyörimisliikkeeseen kuvan 5 mukaan. Toisessa konseptissa optimoitiin valmistettavuus muokkaamalla yksittäisten rullapakkojen geometria porrasmaiseksi, koska ne pystytään sorvaamaan kustannustehokkaasti yhdellä terällä.



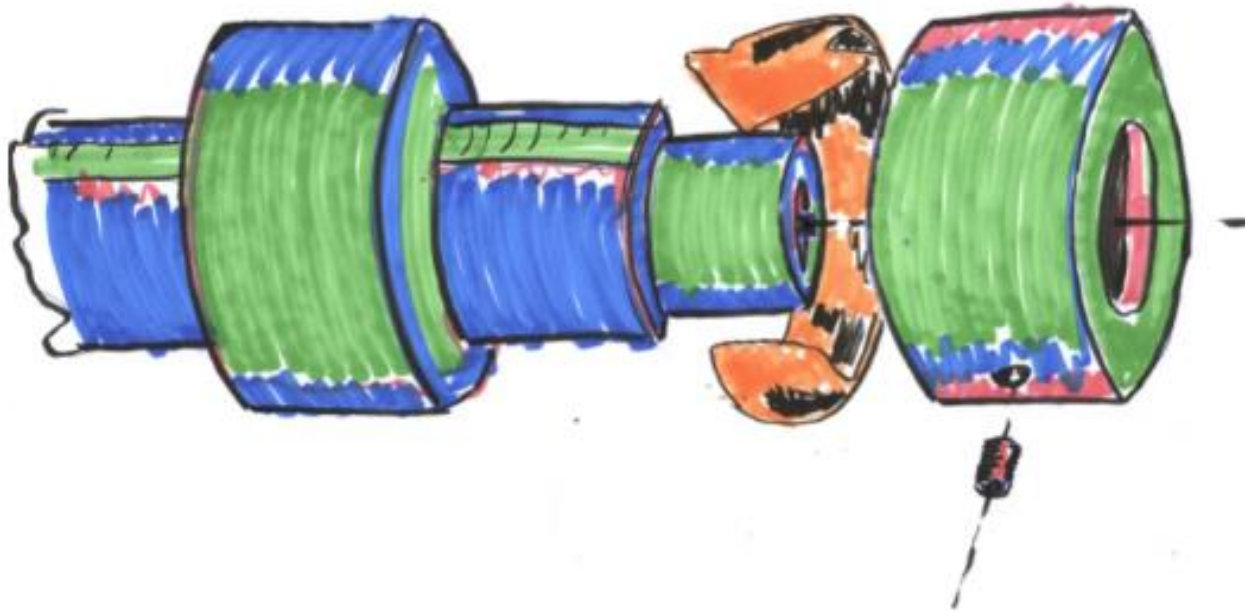
KUVA 5. Kalvonirrottajaterä

Akselin momentti oli tarkoitus siirtää pakkoihin jyrättävällä momentinsiirtogeometrialla kuvan 6 mukaisesti. Valmistuskustannukset momentinsiirtogeometrialisiin pakkoihin nousi kuitenkin liian korkeaksi, joten oli kehitettävä mahdollisimman edullisesti valmistettavat komponentit.



KUVA 6. Pakka, joka on momentinsiirtogeometrillinen

Momentinsiirto päätettiin muuttaa lukitusruuvilla siirrettäväksi ja pakan geometriassa hyödynnettiin kohdistusakselin pintaa kuvan 7 mukaisesti. Muutoksilla saatiin ainesputkesta helposti valmistettavia modulaarisia kappaleita. Toisistaan eroavien osien määrä pieneni neljään, kun momentinsiirtogeometrialla olevalla vaihtoehdolla niitä olisi tarvinnut kaksinkertaisesti enemmän.



KUVA 7. Momentinsiirto lukitusruuvin avulla akselilta pakalle

4 YKSITYISKOHTAINEN SUUNNITTELU

4.1 Mekaniikkalaskennan lähtökohdat

Materiaalin käsittelyyn tarvittavia voimia on vaikea määrittellä ennakoivasti, koska materiaalivirta ei ole homogeenistä. Mekaniikkasuunnittelu piti rajata prototyypissä käytettävien toimilaitteiden mukaan. Materiaalin käsittelyssä tarvittavat voimat määritellään tarkemmin laitteiston testauksen yhteydessä.

Prototyypissä käytettiin olemassa olevia alennusvaihteella varustettuja sähkömoottoreita, koska ne olivat saatavilla prototyypikäyttöön ja niiden säädettävät pyörimisalueet sopivat testauslaitteiston käyttöön. Akselien mekaniikka arvioitiin sopivaksi ja helposti valmistettavaksi. Akselin pituus määritettiin 450 - 550 mm välille.

4.1.1 Moottori, vaihde ja ohjain

Moottorikäyttökokonaisuus on Oriental Motor Ltd:n harjaton alennusvaihteellinen moottori BLE2-sarjasta (kuva 8). Moottori on varustettu alennusvaihteella ja kila-aurallisella akselilla. Moottorinohjaimella voidaan säätää moottorin pyörimisnopeutta ja kytkeä se osaksi ohjauslogiikkaa.



KUVA 8. Alennusvaihteellinen moottori ja moottorinohjain (9, s. 3)

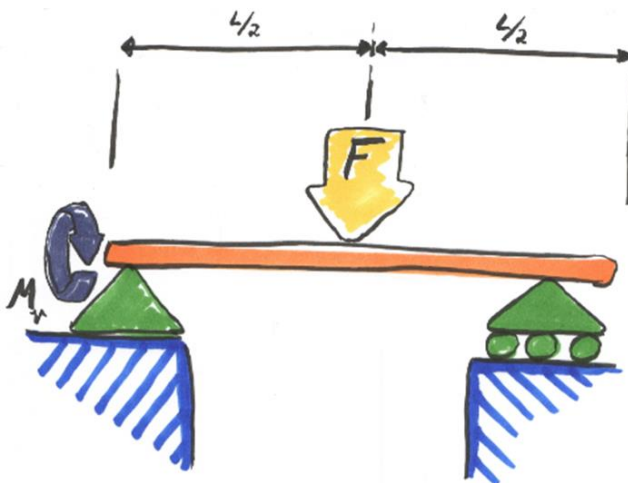
Moottorikäytön tarvittavat tiedot mekaniikkalaskennassa

BLE2-moottorin tekniset tiedot ovat seuraavat (liite 1):

- moottorityyppi BLM5120HP-AS
- ohjain BLE2DT120-C, yksi- tai kolmivaiheellinen, 200 - 240 V, 50 Hz
- alennusvaihte GFV 1:200
- $n_{min} = 0,4$ rpm
- $n_{max} = 20$ rpm
- $M_v = 30$ Nm
- $P = 120$ W (8, s. 14).

4.1.2 Käyttömekaniikka

Akselin vapaakappalekuva on kuvassa 9. Vapaakappalekuvassa voima F vaikuttaa palkin keskelle.



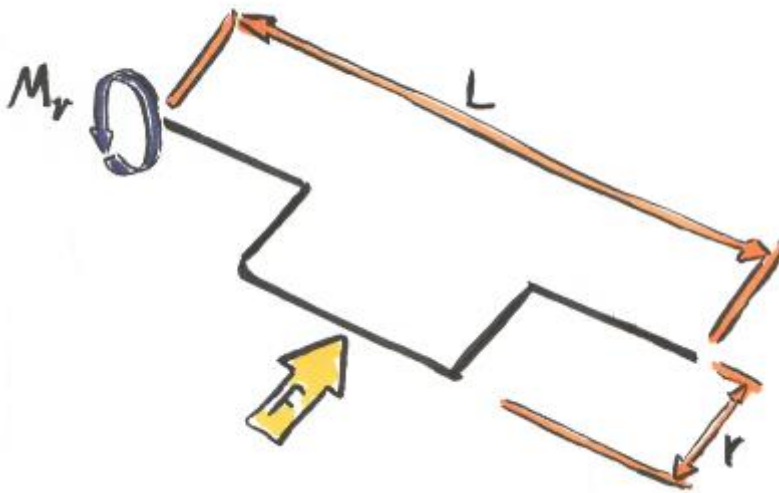
KUVA 9. Havainnekuva mekaniikkaan vaikuttavista voimista

Mekaniikan dimensiot ovat seuraavat:

- L = laakerien etäisyys 550 mm
- D = rullan halkaisija 80 mm
- d = rullan reiän halkaisija 50 mm
- d_a = laakerin akselin halkaisija
- R_m = materiaalin vetomurtoarvo 360 MPa (11, s 1167).

4.1.3 Jännitysresultantit

Muovi kiilaantuu askelin rullien väliin ja se aiheuttaa rullien pinnalta kohtisuoraan syntyvän 750 N voiman kuvan 10 mukaisesti. Kohtisuora voima on mitoituksen kannalta merkittävin. Rullien otsapintojen välistä menevät muovit leikkaantuvat tai menevät välyksien välistä. Kaava 1 on johdettu voiman momenttikaavasta (10, s. 93).



KUVA 10. Moottorin momentin aiheuttama voima rullan säteellä

$$F := \frac{M_v}{r}$$

KAAVA 1

F = momentin aiheuttama voima rullan säteellä (N)

M_v = momentti (Nm)

r = säde (m)

4.2 Akselin rasiustarkastelu

Akselit mitoitettiin Söderbergin laskentamenetelmällä kaavalla 2 (11, s. 327). Söderbergin laskentamenetelmä on yksinkertaistettu ja yleisesti sovellettu väsymisrajamitoitustapa tehonsiirtoakseleille.

Akselille tulee kaksi laakeria, joiden pitää kestää moottorilta syntyvät voimat. Laakerin kestävyys todetaan vierintäväsymissuhteen perusmitoituksaavoilla. Kaavoilla saa mitoitettua laakereiden kestävyysradiaali- ja aksiaaliskuormille.

Aksiaaliskuormat eivät mene laakereille, koska akselin geometria estää kuormien syntymistä. Laakerit mitoitettiin ainoastaan radiaalikuormille.

4.2.1 Söderbergin laskentamenetelmä

Laskutapauksessa akselissa on vakiovääntö ja vaihtuva taivutus. Vakiovääntömomentin tuottaa moottori, jonka lisäksi rullien välistä kulkeva materiaali aiheuttaa akselille taivutusmomentin. Taivutusmomentti on laskettu jakamalla moottorin maksimimomentti rullan säteellä kaavan 1 mukaan. Tämä on maksimitaivutusvoima, jonka moottori kykenee tuottamaan.

$$D = \sqrt[3]{\frac{32n}{\pi} \left(\frac{K_{ft}M_t}{\sigma_{tw}} \right)^2 + \frac{M_v^2}{R_e^2}} \quad \text{KAAVA 2}$$

n = varmuusluvulle sovellettiin arvoa 1,5 (11, s. 329).

K_{ft} = arvo 1,9 määriteltiin lovenvaikutusluvulle, joka aiheutuu akselissa olevasta navan kutistusliitoksesta (11, s. 324).

M_t = suurin taivutusmomentti on 103,1 Nm (12, s. 316).

σ_{tw} = materiaalin taivutusvaihtolujuus lasketaan kaavalla 4 materiaalin vetomurtorajasta (13, s. 11.2.3.2).

$$\sigma_{tw} = 0,495 * R_m \quad \text{KAAVA 4}$$

M_v = maksimivääntömomentti minkä moottori tuottaa on 30 Nm.

R_e = materiaalin vetomyötöraja 3 - 100 mm akselissa on 360 MPa (12, s. 1167).

Akselin vähimmäishalkaisijan ratkaisu on esitetty kuvassa 11. Vähimmäishalkaisijaksi saatiin 25,674mm. Akselin halkaisijaksi valitsimme 30 mm, koska pienemmän akselin valmistaminen olisi ollut haastavaa saatavilla olevilla työkaluilla. Tarkemmat laskukaavat ja laskentaperusteet on lueteltu liitteessä 2.

$$\sqrt[3]{\frac{32 \cdot \eta}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{K_{ft} \cdot M_t}{\sigma_{tw}}\right)^2 + \frac{M_v^2}{R_e^2}}} = 25.674 \text{ mm}$$

KUVA 11. Akselin vähimmäishalkaisija, joka on mitoitettu Söderbergin laskentamenetelmällä

4.2.2 Laakereiden mitoitus

Laakerit mitoitettiin vierintäväsytymisen perusteella, joka on laakereiden perusmitoitustapa. Laakereille laskettiin vaadittava nimellinen kestoikä L_{10} , jota verrataan esivalitun laakerin laskettuun kestoikään. (14, s.125) Tarvittavat suuret perusmitoitukselle vierintäväsytymisen suhteen ovat seuraavat:

- F_r = radiaalikuorma on 375 N, kun laakereita on 2 kpl
- d = Laakerin sisähalkaisija on 30 mm.

Kestoikä kierroksina

Kaavalla 5 lasketaan laakerille nimellinen kestoikä kierroksina. L_{10} antaa laakerille nimellisen kestoian miljoonina kierroksina. Laskuun tarvitaan laakerin vaadittava tyypillinen käyttöaikaan perustuva kestoikävaatimus L_{10h} , joka on 3000 tuntia, kun laite luokitellaan kojeeksi (14, s. 129).

$$L_{10} = \frac{60 \cdot n \cdot L_{10h}}{10^3}$$

KAAVA 5

L_{10h} = laakerin kestoikävaatimus on 3000 tuntia.

n = akselin pyörimisnopeus on 20 rpm. (14, s.129-130)

Laakerin esivalinta

Laakeriksi esivalittiin PBY30 -peltilaakeriyksikkö, jonka kantavuus ja kestoosuudet ovat seuraavat:

C = dynaaminen kantavuus (13600 N)

C_0 = staattinen kantavuus (6600 N)

C_{0r} = rungon radiaalikesto (1600 N) (15).

Tarvittava dynaaminen kantavuus

Kaavalla 6 tarkistetaan valitun laakerin tarvittava dynaaminen kantavuus. Laskukaava kertoo kuinka paljon laakerin dynaamisen kantavuuden tulisi vähintään olla. Laakeripukkien tarvittava dynaaminen kantavuus riittää PBY30-laakerin dynaamiseen kantavuuteen verraten. (14, s.125.)

$$C_{min} = L_{10}^{\frac{1}{p}} * P \quad \text{KAAVA 6}$$

$$P = F_r$$

p = Potenssi p kuulalaakerille on 3.

Valitun laakerin kestoikä

Kaavalla 7 lasketaan valitun laakerin kestoikä miljoonina kierroksina. Tätä kaavalaskua tarvitaan selvittäessä kaavan 8 tulosta kun lasketaan kestoikää tunteina. (14, s.130)

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad \text{KAAVA 7}$$

Kestoikä tunteina

Kuvassa 12 on esitetty laakerin kestoikä tunteina. Valitun laakerin kestoikää tunteina verrataan kestoikävaatimukseen, joka on 3 000 tuntia (14, s.130). Tarkemmat laskukaavat ja laskentaperusteet on lueteltu liitteessä 3.

Kestoikä tunteina:	$L_{10h} := \frac{L_{10} \cdot 10^6}{60 \cdot n} = 1.402 \cdot 10^8$
Laakerin kestoikä 140200000 tuntia on enemmän kuin vaadittu 3000 tuntia	

KUVA 12. Laakerin kestoikä tunteina

Laakereiden kestoikä ylittää vaaditun 3 000 tuntia. Laakerit ylimitoitettiin komponenttien saatavuuden ja valmistusmenetelmän optimoimiseksi. Ylimitoitetuilla laakereilla on vaarana, ettei laakeri toimi optimaalisesti. Prototyypikäytölle laakerit soveltuivat.

5 VALMISTUS JA KOKOONPANO

Laitteen osat valmistettiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratorion metallintyöstökoneilla. Rullapakkojen valmistus ainesputkesta sorvaamalla NC-sorvilla (kuva 13). Sorvaukseen käytettiin minimissään kahta työkalua. Isommissa sarjoissa suositellaan käytettäväksi rouhintatyökalujen lisäksi viimeistelytyökaluja mittatarkkuuden optimoimiseksi.



KUVA 13. Sarjakappaleiden NC-sorvausta

Kohdistusakseli valmistettiin ainesputkesta manuaalisorvilla sorvaamalla. Laakeriakselitapit ja moottoriakselitapit valmistettiin NC-sorvilla sorvaus- ja pyöriviä työkaluja käyttäen. Akselitapit asennettiin akseleiden sisäupotukselle momenttia siirtävällä lämpösovitteella. Lämpösovitteella asentaminen valittiin asennusmenetelmäksi menetelmään tutustumisen vuoksi. (Kuva 14.)



KUVA 14. Kohdistusakselien kokoonpano ja valmiita rullapakkoja

Ahdistusovite

Ahdistusovitteen on siirrettävä vääntömomenttia kiilan tavoin. Asentamisessa käytettiin lämpökäsittelyuunia reikäkanta-akselin ja akselitappien asentamiseen. Metalli laajenee lämpötilan vaikutuksesta ja tekee ahdistusovitteellisen soviteparin asentamisesta mahdollista.

Reikäkantatoleranssi

Reikäkantatoleranssi asettaa halkaisijoille maksimi- ja minimihalkaisija-alueen, jolle reiän ja akselin halkaisijan on sovittava. Sovitteeksi valittiin t6/H7 mittatoleranssipari, joka on luja ahdistusovite (12, s. 571).

Akselit yhdistettiin laakeripukkien kautta runkoon, jonka jälkeen moottorit kiinnitettiin akseleihin. (Kuva 15.)



KUVA 15. Kokoonpantu rullalaitteisto

Materiaalikaukalo kiinnitettiin runkoon ja laitteisto sijoitettiin lavakaulusten päälle. Toiminnallisuuden testauksessa kalvomuovit siirtyvät kaukalosta rullien avulla kauluslavan pohjalle. Kovamuovit jäävät materiaalikaukaloon. (Kuva 16.)



KUVA 16. Kokoonpanon toiminnallisuuden testausta.

6 OHJAUSLOGIIKKA JA TURVALLISUUS

Laitteen turvallisen käytön kannalta moottoreiden ohjaus suoritettiin ohjauslogiikalla. Ohjauslogiikkana käytettiin Beckhoffin ohjauslogiikkaa. Ohjauslogiikka ohjaa kummankin moottorihjainlaitteen virransaantia. Painamalla hätä-seis-painikkeen pohjaan virransaanti katkeaa ja laitteet pysähtyvät. (Kuva 17.)



KUVA 17. Hätä-seis-painike asennettuna optimaaliseen paikkaan.

7 TESTAUS JA TULOKSET

Testaussuunnitelma

Konseptin testauksessa pyrittiin hakemaan tietoa konseptin toiminnallisuudesta mahdollisimman monipuolisissa tilanteissa. Testaamisella haluttiin selvittää

- rullalaitteiston toiminnallisuus kalvomuvijätteen erottelussa
- erotteluprosessin puhtausaste
- erotteluprosessin nopeus
- toimintavarmuuden kehittäminen
- muut hyödyntämismvaihtoehdot.

Laitteen materiaalikaukaloon mahtuu noin 500 g muovijätettä eli muovipussillisen verran. Testaus tilanteiden kokonaispainoksi määriteltiin noin 500 g. Testausmateriaali on talousjätteestä lajiteltua muovijätettä. Kalvomuvijäte vie moninkertaisesti enemmän tilavuutta kovamuvijätteeseen verrattuna. (Kuva 18.)



KUVA 18. Vasemmalla 500 g kalvomuvijätettä ja oikealla 500 g kovamuvijätettä; muovijätteet ovat vielä laitteistolla käsittelemättömiä

Toiminnallisuuden testaamisessa havaittiin, että muovijäte kiilaantuu kaukaloon eikä toimintaa voida havainnollistaa ilman mekaanista syöttöä. Muovijätteen syöttämiseen käytettiin apuvälineenä harjanvartta, jonka liike rajattiin mahdollisimman yksinkertaiseksi. Muovilajikkeen erotteluprosessin puhtaustavoite on yli 99 %.

Testaustilanteet mekaanista sekä ilman mekaanista syöttöä käyttäen ovat seuraavat:

- toiminnallisuustestauksessa testataan kalvomuvijätteen siirtyminen erittelyosaan
- erottelutestauksessa testataan kalvo- ja kovamuovisekoitteen erotteluprosessin toimivuutta
- kalvo- ja kovamuovisekoitepakkauksien erottelutestauksessa testataan erotteluprosessin toimivuutta.

7.1 Toiminnallisuustestaus

500 g:n erän kalvomuvien siirtyminen rullien läpi ilman mekaanista syöttämistä testattiin testissä 1.1, osa 1. Testeissä 1.2 käytettiin mekaanista syöttöä. Tulokset ovat luvussa 7.4 tulokset.

Testin 1.1 tulos ja havainnot

Testissä 1.1 tehtiin yksi testaus:

- **testaus nro 1:** Kalvomuvit kiilaantuvat kartiomaisen kaukalon pinnalle eivätkä tartu rullien pyörimisliikkeeseen ja siirry erottelulaatikkoon (kuva 19).



KUVA 19. Testaus 1.1 nro 1

Testin 1.2 tulos ja havainnot

Testissä 1.2 tehtiin kaksi testaus:

- **1.2 testaus nro. 1:** Kalvomuovit siirtyivät alle minuutissa laitteiston läpi. Siirtymättä jäänyt kalvomuovi kiertyi akselin ympärille. (Kuva 20.)
- **1.2 testaus nro. 2:** Ympäri kiertymistä ei tapahtunut.



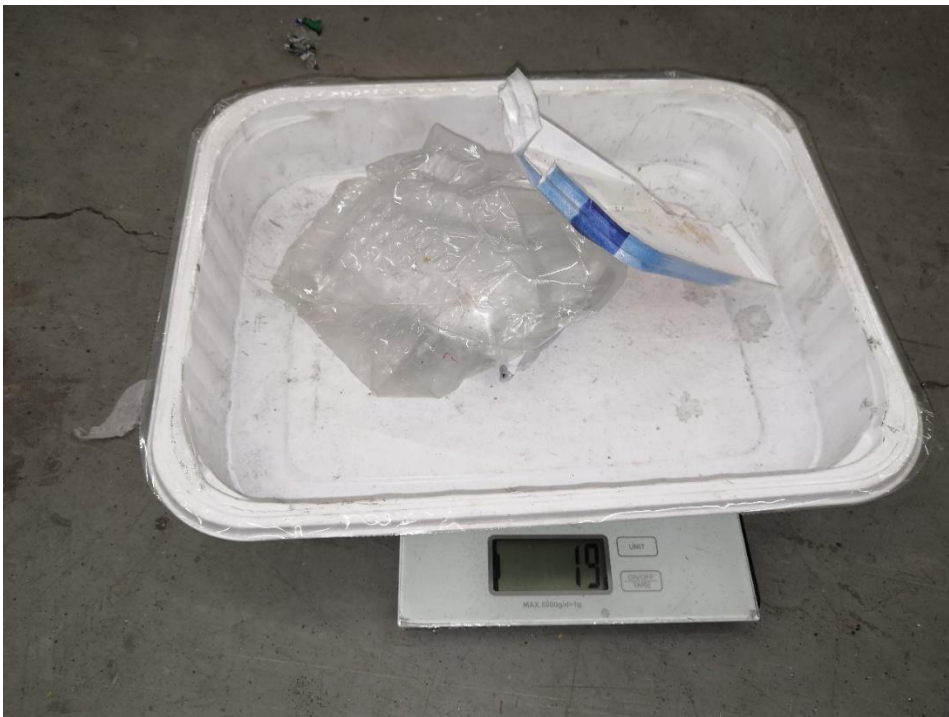
KUVA 20. 35 g kalvomuovia, joka jäi kaukaloon rullan ympärille kiertymisen takia

7.2 Erottelutestaus

Testissä 2.1 testattiin laitteiston toimivuutta sekoitemuovierän kanssa, josta kalvomuoveja on 200 g ja kovamuoveja 300 g. Testissä 2.2 # 1 ilman mekaanista syöttämistä ja testissä 2.2 # 1 ja 2 mekaanisen syöttämisen kanssa.

2.1 testaus nro. 1 tulos ja havainnot: Ilman mekaanista syöttöä laite ei toiminut.

2.2 testaus nro. 2 tulos ja havainnot: testissä siirtyi 19 g kovamuovia lajitellun kalvomuovin sekaan. (Kuva 21.)



KUVA 21. 19 g erottelukalvojen sekaan siirtyneet kovamuovit

2.2 testaus nro. 1 Tulos ja havainnot: testissä siirtyi 18 g kovamuovia lajitellun kalvomuovin sekaan.

7.3 Pakkaustestaus

Viimeisenä testattiin "normaalitilannetta", jossa muoviseos on pakattu tiiviisti muovipussiin (kuva 22). Kalvoja oli 145 g ja kovia 362 g, yhteensä noin 500 g.

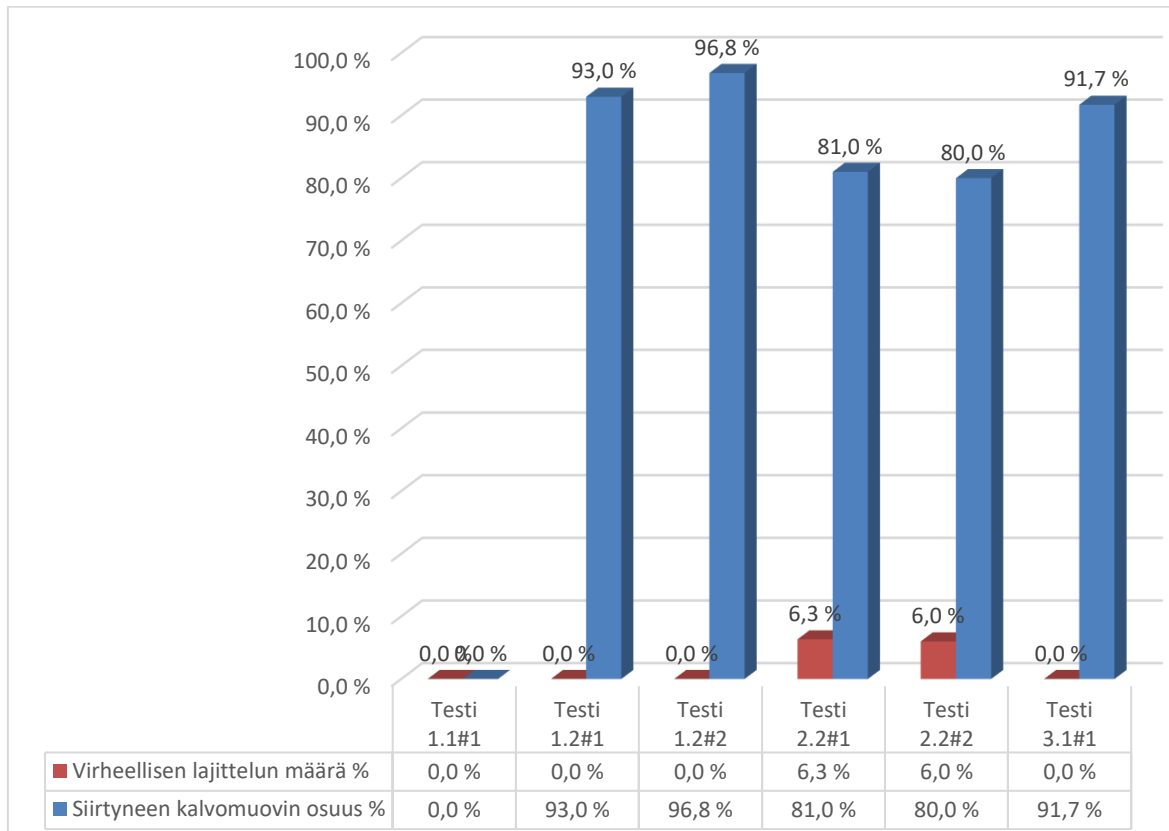


KUVA 22. Muovit on pakattu muovipussiin. Kuvasta poiketen pussi syötettiin suljettuna.

3.1 # 1 Tulos ja havainnot: Kovamuoveja ei siirtynyt kalvomuovitilaan ollenkaan. Tuloksen toimintaan vaikutti rulla-akseleiden välyksen kasvaminen, joka huononsi laitteen toimintaa.

7.4 Tulokset

Tuloksista päätellen laitteistokonseptia voidaan kutsua erottelulaitteeksi. Hyödyllisyyttä parantaen laite myös käsittelee muovijätelajikkeen prosessoitavampaan muotoon. Pelkästään painovoimalla ilman mekaanista syöttöä laite ei toimi ollenkaan. Kuvassa 23 on lueteltu testaustulokset pylväsdiagrammina.



KUVA 23. Testaustulokset

7.5 Havainnot

Erotellut kalvomuovit leikkaantuivat tasaisempaan ja helposti käsiteltävämpään muotoon erottelulaitteen läpi kulkiessaan. Mekaniikkasuunnittelussa leikkausominaisuutta korostaen laitteesta kehittyisi materiaalin käsittelyyn soveltuva laite, joka esierottelisi tarvittaessa muovilajikkeet. (Kuva 24.)



KUVA 24. Erottelulaitteella käsitellyt kalvomuovilajikkeet. Muovit ovat leikkaantuneet terävien rullien otsapintojen välistä mennessään.

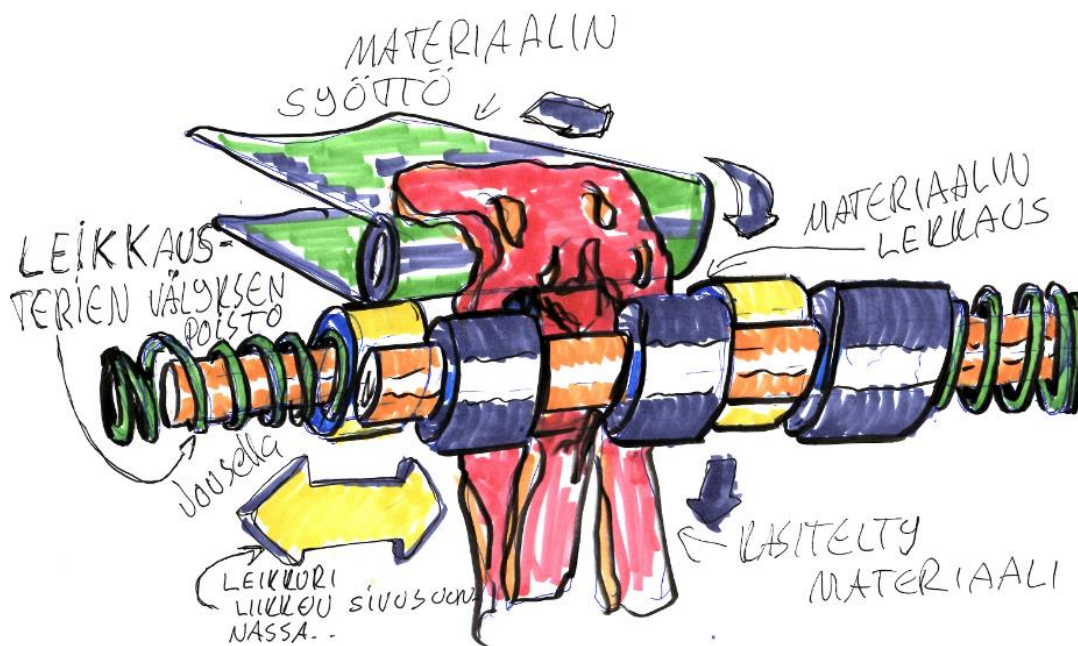
8 LOPPUSANAT

Opinnäytetyössä suunniteltiin ja valmistettiin proof of concept muovin erottelu-laite. Tavoitteena oli, että työn tilaaja voisi valmistaa proof of concept prototyypin pohjalta vastaavanlaisen mekaniikan muovin erottelutarpeisiinsa.

Laitteen erottelutarkkuus havaittiin vaatimattomaksi tavoitetarkkuuteen nähden. Virhe voi aiheutua laitteistoon jääneistä välyksistä. Virhemateriaalit saattoivat mennä mahdollisesti materiaalivirtauksen pakottamana rullien väärältä puolelta, koska laitteeseen ei asennettu kalvonirrotajakomponenttia valmistuksessa joh-tuneen virheen takia.

Kalvonirrotajakomponentti olisi peittänyt rulla-akseleiden ja rungon välissä ole-van raon ja estänyt mahdollisesti kalvon ympärikiertymisen. Optimoimalla välyk-set ja syöttölaitteiston toimivaksi kokonaisuudeksi mekaniikalla olisi mekaniikalla olisi potentiaalia toimia vaativissakin järjestelmissä.

Käyttämällä rullalaitteistoa materiaalivirran leikkaamisessa voidaan leikkausta parantaa optimoimalla laitteiston leikkaavat särmät tehokkaammaksi jousipuris-tuksella kuvan 25 mukaisesti.



KUVA 25. Materiaalivirran käsittelyä liukuhihnalta rullille leikattavaksi

LÄHTEET

1. Rintala, Mirja 2018. Oululaismiljonääri kehittää muovista miljardibisnestä: Ensin laitteistoja, sitten kokonaisia tehtaita. Oulu: Ilta-Sanomat 31.8.2018. Saatavissa: <https://www.is.fi/oulun-seutu/art-2000005811009.html> Hakupäivä 6.5.2020.
2. Turunen, Martti 2019. Muovi uusiokäyttöön. Pilottilaitteisto käyttöön Kiulukan-kaalla. Forum24 Uutiset 4.12.2019. Saatavissa: <https://www.forum24.fi/uutiset/muovi-uusiokayttoon-6.56.3725302.7521b8ff76>. Hakupäivä 13.1.2020.
3. Viitala, Jari 2019.Re: Ruskan teippaus. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Jonne Pitkälä. 19.11.2019.
4. Viitala, Jari 2019. Necto 300 smart waste compactor. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Jonne Pitkälä. 5.5.2020.
5. Gerhard Pahl - Wolfgang Beitz 1986. Koneensuunnitteluoppi. Suom. Uolevi Konttinen. Helsinki: MET, 1992.
6. Kontio, Esa 2019. T318208-3004 Tuotekehitys 7 op. Opintojakson luennot syksyllä 2019. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, konetekniikan tutkinto-ohjelma.
7. Kalvomuovi. Lassila & Tikanoja Oyj. Saatavissa: <https://www.lt.fi/fi/yritysasiakkaat/palvelut/kierratyspalvelut-ja-jatehuolto/kierratysmateriaalit-ja-lajiteluohjeet/kalvomuovi>. Hakupäivä 24.4.2020.
8. Aaltonen, Kari 2020. Product Line Specialist, Plastics Recycling, Fortum Waste Solutions Oy. Puhelinhaastattelu 23.4.2020.
9. Brushless Motors AC Input. Oriental Motor U.S.A Corp. Saatavissa: https://www.orientalmotor.com/products/pdfs/2015-2016/D/BLE2_Brushless_Motors_AC_Input.pdf. Hakupäivä 19.3.2020.
10. Mäkelä, Mikko – Soininen, Lauri – Tuomola, Seppo – Öistämö, Juhani 2019. Tekniikan Kaavasto. Porvoo: Tammertekniikka / Amk-Kustannus Oy.

11. Airila, Martti – Ekman, Kalevi – Hautala, Pekka – Kivioja, Seppo – Kleimola, Matti – Martikka, Heikki – Miettinen, Juha – Niemi, Erkki – Ranta, Aarno – Rinkinen, Jari – Salonen, Pekka – Verho, Arto – Vilenius, Matti – Välimaa, Veikko 1995. Koneenosien suunnittelu. Porvoo, Helsinki, Juva: Werner Söderström Osakeyhtiö.
12. Valtanen, Esko 2016. Tekniikan taulukkokirja. Hyvinkää: Genesis-Kirjat Oy.
13. Saarineva, Jarmo 1995. Lujuusoppi. Tampere: Pressus Oy.
14. Blom, Seppo 2001. Koneenelimet ja mekanismit. Helsinki: Edita Oyj.
15. Laakeripukin spesifikaatiot. Schaeffler AG. Saatavissa: https://medias.schaeffler.com/medias/en!hp.ec.br.pr/PBY*PBY20-XL. Hakupäivä 14.4.2020.

Parallel Shaft Gear head **GFV** Gear 30 W (1/25 HP), 60 W (1/12 HP), 120 W (1/6 HP)



Specifications

Product Name	Motor Driver	BLM230HP-□AS		BLM460SHP-□AS		BLM5120HP-□AS		
		BLE2D30-A	BLE2D30-C	BLE2D60-A	BLE2D60-C	BLE2D120-A	BLE2D120-C	
Rated Output Power (Continuous)	W (HP)	30 (1/25)		60 (1/12)		120 (1/6)		
Power Supply Input	Rated Voltage	Single-Phase 100-120	Single-Phase 200-240 / Three-Phase 200-240	Single-Phase 100-120	Single-Phase 200-240 / Three-Phase 200-240	Single-Phase 100-120	Single-Phase 200-240 / Three-Phase 200-240	
	Permissible Voltage Range	-15~+10%		-15~+10%		-15~+10%		
	Frequency	50 / 60		50 / 60		50 / 60		
	Permissible Frequency Range	±5%		±5%		±5%		
	Rated Input Current	A	1.1	Single-Phase: 0.67/Three-Phase: 0.39	1.7	Single-Phase: 1.0/Three-Phase: 0.61	2.7	Single-Phase: 1.7/Three-Phase: 1.1
	Maximum Input Current	A	3.3	Single-Phase: 2.2/Three-Phase: 1.2	5.4	Single-Phase: 3.5/Three-Phase: 2.0	7.4	Single-Phase: 4.8/Three-Phase: 3
Rated Speed	r/min	3000						
Speed Control Range		80~4000 r/min (Speed ratio 50:1)						
Speed Regulation*	Load	Max. ±0.2% (±0.5%): Conditions 0~rated torque, rated speed, rated voltage, normal temperature						
	Voltage	Max. ±0.2% (±0.5%): Conditions Rated voltage -15~+10%, rated speed, no load, normal temperature						
	Temperature	Max. ±0.2% (±0.5%): Conditions Operating ambient temperature 0~+50°C (+32~+122°F), rated speed, no load, rated voltage						

* The value inside the parentheses is the specification for an analog setting.
 © The values correspond to each specification and characteristics of a stand-alone motor.

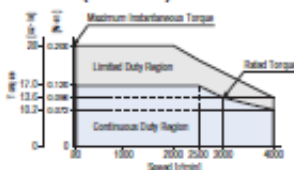
Gear Ratio	5 10 15 20 30 50 100 200									
	Same direction as the motor				Opposite direction to the motor					
Rotation Direction	Same direction as the motor									
Output Shaft Speed [r/min]*1	80 r/min	16	8	5.3	4	2.7	1.6	0.8	0.4	
Permissible Torque [N·m (lb·in)]	4000 r/min	800	400	267	200	133	80	40	20	
	30 W (1/25 HP)	At 80~2500 r/min	0.54 (4.7)	1.1 (9.7)	1.6 (14.1)	2.2 (19.4)	3.1 (27)	5.2 (46)	6 (53)	6 (53)
		At 3000 r/min	0.43 (3.8)	0.86 (7.6)	1.3 (11.5)	1.7 (15.0)	2.5 (22)	4.1 (36)	6 (53)	6 (53)
	60 W (1/12 HP)	At 80~2000 r/min	0.9 (7.9)	1.8 (15.9)	2.7 (23)	3.6 (31)	5.2 (46)	8.6 (76)	16 (141)	16 (141)
		At 3000 r/min	0.86 (7.6)	1.7 (15.0)	2.6 (23)	3.4 (30)	4.9 (43)	8.2 (72)	16 (141)	16 (141)
	120 W (1/6 HP)	At 80~2000 r/min	2.0 (17.8)	4.1 (36)	6.1 (53)	8.1 (71)	11.6 (102)	19.4 (171)	30 (260)	30 (260)
		At 3000 r/min	1.7 (15.0)	3.4 (30)	5.2 (46)	6.9 (61)	9.9 (87)	16.4 (145)	30 (260)	30 (260)
	Permissible Radial Load [N (lb.)]	10 mm (0.39 in.) from End of Output Shaft*2	30 W (1/25 HP) At 80~3000 r/min	100 (22)		150 (33)				200 (45)
			60 W (1/12 HP) At 80~3000 r/min	90 (20)		130 (29)				180 (40)
			120 W (1/6 HP) At 80~3000 r/min	200 (45)		300 (67)				450 (101)
			30 W (1/25 HP) At 4000 r/min	180 (40)		270 (60)				420 (94)
			60 W (1/12 HP) At 4000 r/min	300 (67)		400 (90)				500 (112)
120 W (1/6 HP) At 4000 r/min			230 (51)		370 (83)				450 (101)	
20 mm (0.79 in.) from End of Output Shaft*2		30 W (1/25 HP) At 80~3000 r/min	150 (33)		200 (45)				300 (67)	
		60 W (1/12 HP) At 80~3000 r/min	110 (24)		170 (38)				230 (51)	
		120 W (1/6 HP) At 80~3000 r/min	250 (56)		350 (78)				550 (123)	
		30 W (1/25 HP) At 4000 r/min	220 (49)		330 (74)				500 (112)	
		60 W (1/12 HP) At 4000 r/min	400 (90)		500 (112)				650 (146)	
		120 W (1/6 HP) At 4000 r/min	300 (67)		430 (96)				550 (123)	
Permissible Axial Load [N (lb.)]	30 W (1/25 HP)	40 (9)								
	60 W (1/12 HP)	100 (22)								
	120 W (1/6 HP)	150 (33)								
Permissible Inertia J [$\times 10^{-4}$ kg·m ² (oz·in ²)]	30 W (1/25 HP)	12 (86)	50 (270)	110 (600)	200 (1090)	370 (2000)	920 (5000)	2500 (13700)	5000 (27000)	
	60 W (1/12 HP)	22 (120)	95 (520)	220 (1200)	350 (1910)	800 (4400)	2200 (12000)	6200 (34000)	12000 (66000)	
	120 W (1/6 HP)	45 (250)	190 (1040)	420 (2300)	700 (3800)	1600 (8800)	4500 (25000)	12000 (66000)	25000 (137000)	
	30 W (1/25 HP) When Instantaneous Stop or Bi-Directional Operation is performed*3	1.55 (8.5)	6.2 (34)	14 (77)	24.8 (136)	55.8 (310)		155 (850)		
	60 W (1/12 HP)	5.5 (30)	22 (120)	49.5 (270)	88 (480)	198 (1080)		550 (3000)		
	120 W (1/6 HP)	25 (137)	100 (550)	225 (1230)	400 (2200)	900 (4900)		2500 (13700)		

*1 The output shaft speed is calculated by dividing the speed by the gear ratio.
 *2 Regarding load position → Page 15
 *3 It is also applicable when digitally setting the deceleration time to below 0.1 seconds.

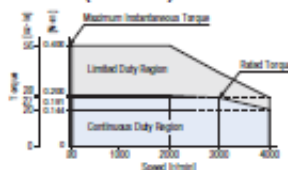
Speed – Torque Characteristics

Continuous Duty Region: Continuous operation is possible in this region. Limited Duty Region: This region is used primarily when accelerating.

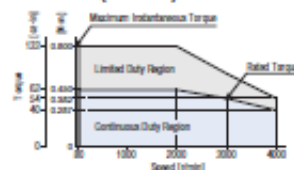
● 30 W (1/25 HP)



● 60 W (1/12 HP)



● 120 W (1/6 HP)



* The values correspond to each specification and characteristics of a stand-alone motor. The speed – torque characteristics show the values when rated voltage is applied.
 * A number indicating the gear ratio is specified in the box □ in the product name.

Akselin mitoitus södebergin kaavallaVääntömomentti moottorilta $T := 30 \text{ N} \cdot \text{m}$ Moottorin teho $P := 120 \text{ W}$ Rullan halkaisija $d := 80 \text{ mm}$ $r := \frac{d}{2} = 40 \text{ mm}$

Akselissa vakiovääntö ja vaihtuva taivutus

Materiaali: S235 --> ttk s. 1167 --> S235 --> 16-40mm akseli

 $R_e := 225 \text{ MPa}$ $R_m := 360 \text{ MPa}$ $E := 210 \text{ GPa}$ $\sigma_{tw} := 0.495 \cdot R_m = 178.2 \text{ MPa}$

Akselin halkaisija (södebergin kaavalla-> tasainen vääntö ja vaihtuva taivutus)

varmuusluku: $\eta := 1.5$ $K_{ft} := 1.9$ --> Akselissa navan kutistusliitos**TAIVUTUSMOMENTIN MÄÄRITYS JA VAIHTOEHTOINEN VÄÄNTÖMOMENTTI**

$$M_{max} = \frac{F \cdot L}{4}$$

Laakerien etäisyys

 $L := 550 \text{ mm}$

vääntömomentti rullan 80 pinnalla jonka moottori voi aiheuttaa..

$$F := \frac{T}{r} = 750 \text{ N} \quad \text{RADIAALIKUORMA}$$

$$M_v := T$$

$$M_t := \frac{F \cdot L}{4} = 103.125 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\sqrt[3]{\frac{32 \cdot \eta}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{K_{ft} \cdot M_t}{\sigma_{tw}}\right)^2} + \frac{M_v^2}{R_e^2}} = 25.674 \text{ mm}$$

LÄHTÖTIEDOT:

Radiaalikuorma: $F := 750 \text{ N}$

Aksiaalikuorma: Ei merkitsevä koska akselin rakenne estää aksiaalikuorman siirtymisen laakerille (keskittävä akselirakenne)

Laakereita akselilla $a := 2 \text{ kpl}$ $F_r := \frac{F}{a} = 375 \text{ N}$

Akselin halkaisija: $d := 30 \text{ mm}$

Laakerin kestoikävaatimus: $L_{10h} := 3000$ #1 koneenelimet ja mekanismit s129
Taulukko 4.1 Käyttöaikaan perustuva vaatimus luokitellaan kojeeksi..

Akselin pyörimisnopeus [rpm] $n := 20$

Potenssi p kuulalaakerille $p := 3$

Kestoikä kierroksina kirjan #1 kaavalla 4 s.130 $L_{10} := \frac{60 \cdot n \cdot L_{10h}}{10^3} = 3.6 \cdot 10^3$
Miljoonaa kierrosta

ESIVALINTA:

PBY30-XL

Ekvivalentti kuorma: $P := F_r$

Dynaaminen kantavuus: $C := 20700 \text{ N}$

Staattinen kantavuus: $C_0 := 11300 \text{ N}$

Runkon radiaalikesto: $C_{0r} := 2700 \text{ N}$

Radiaalikuorman perusteella laskien

Tarvittava dynaaminen kantavuus: $C_{min} := L_{10}^{\frac{1}{p}} \cdot P = 5.747 \text{ kN}$

Valitun laakerin kestoikä: $L_{10} := \left(\frac{C}{P}\right)^p = 1.682 \cdot 10^5$ Miljoonaa kierrosta

Kestoikä tunteina: $L_{10h} := \frac{L_{10} \cdot 10^6}{60 \cdot n} = 1.402 \cdot 10^8$

Laakerin kestoikä 140200000 tuntia on enemmän kuin vaadittu 3000 tuntia