

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT Metalli

Konetekniikan koulutusohjelma

BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari

UITTONIPPUJEN SIDELANGAN VALINTA JA SITOMISKONSTRUKTION SUUNNITTELU

THE SELECTION OF LOG BUNDLE BINDING WIRE AND DESIGN OF BINDING
COMPONENTS

Lappeenrannassa 12.11.2012

Kari-Tapio Pulkkinen

SISÄLLYSLUETTELO

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO

1 JOHDANTO.....	4
1.1 Työn taustaa	4
1.2 Työn rajaus	4
1.3 Työn tavoite.....	5
2 MATERIAALIN VALINTA JA JÄRJESTELMÄLLINEN TUOTESUUNNITTELU	6
2.1 Teoriaa materiaalin valinnasta.....	6
2.2 Teoriaa järjestelmällisestä tuotekehityksestä.....	9
3 UITTOTUKKINIPUN SIDONTAMATERIAALIN VALINTA.....	15
3.1 Sidontamateriaalin valintastrategia	16
3.2 Sidontamateriaalin esivalinta	16
3.3 Vertailuominaisuuksien määrittäminen	16
4 LANGAN HALLINTALAITTEISTON KONSTRUOINTI.....	18
4.1 Ongelman määrittäminen	18
4.2 Luomisvaihe	21
4.3 Solmintalaitteen kehittäminen.....	23
4.4 Langan ohjauskourun kehittäminen.....	31
4.5 Langansyöttölaitteiston kehittäminen.....	34
4.6 Langan hallintalaitteiston kokoonpano.....	35
5 TULOSTEN ANALYSOINTI JA YHTEENVETO	37
LÄHTEET	38
LIITTEET	

SYMBOLILUETTELO

a	Akseliväli [mm]
C	Kustannukset [€]
d	Jakohalkaisija [mm]
E	Kimmokerroin [GPa]
i	Välityssuhde
M_i	Materiaaliominaisuus
m	Hammaspyörän moduuli [mm]
n	Pyörimisnopeus [r/min]
p	Hammasjako [mm]
pH	Veden happamuus
Re	Myötölujuus [N/mm^2]
Rm	Murtolujuus [N/mm^2]
T	Vääntömomentti [Nm]
W_i	Materiaaliominaisuuden painoarvo
x	Hammaspyörän profiilinsiirtokerroin
z	Hammaspyörän hammasluku
α	Hammaspyörän ryntökulma [$^\circ$]
σ	Jännitys [N/mm^2]
τ	Leikkausjännitys [N/mm^2]
ω	Kulmanopeus [rad/s]

1 JOHDANTO

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on kehittää laitetta, jolla päästään eroon uittotukkinippujen käsin sidonnasta, sekä valita sitomiseen käytettävä lanka. Työn toimeksiantaja on Metsäteho Oy ja yhteistyössä myös Järvi-Suomen Uittoyhdistys.

1.1 Työn taustaa

Uittomäärä vuonna 2010 oli noin 659 000 m³, joka on noin 1,5% tehtaiden vastaanottamasta kotimaisesta raakapuusta. Tukkinippujen sidonnan suorittaa nykyään puutavara-auton kuljettaja käsin, tukkinipun ollessa vielä auton kuormatilassa. Sidelangat ovat 10m pitkiä ja yhtä tukkinippua kohden sidotaan viisi lankaa. Yhden tukkinipun koko on noin 17m³, joten yhden uittokauden aikana on kiinnitettävä noin 170 000 lankaa. Kiristys ja solminta suoritetaan työkalulla vipuvoimaa hyväksikäyttäen. Sidontaan käytettävät nippulangat ovat kertakäyttöisiä, valmiiksi oikeaan pituuteen leikattuja, suorja pätkiä. Nippulankojen päissä on silmukka, jonka avulla lanka solmitaan. Nippulangan materiaali on hehkutettua teräslankaa, halkaisijaltaan 5,5mm. (Kariniemi et al. 2010).

Käsinsidonnasta halutaan päästä eroon, koska se on työlästä, sillä ei saavuteta riittävää kireyttä, eivätkä niput ole riittävän pyöreitä. Kuvassa 1 puutavara-auton kuljettaja on asettanut nippulangat tukkinipun ympäri ja on valmistelemassa solmintaa.

1.2 Työn rajaus

Tämä kandidaatintyö on osa projektia, johon liittyy myös kaksi diplomityöntekijää. Tämä työ rajoittuu uittonipun sitomiseen käytettävän sidontamateriaalin hallintaan. Sidontamateriaalin hallintaan kuuluvat langan valinta ja mitoitus, langan kuljetus nipun ympäri, langan syöttö ja päiden solminta. Työssä ei suunnitella laitteiden automaatiota, ohjausta eikä käyttövoimaa.



Kuva 1. Tukkinipun sidontaa käsin (Kariniemi et al. 2010).

1.3 Työn tavoite

Tarkoituksena on suunnitteleamalla ja vertailemalla löytää parhaat vaihtoehdot uittonippujen sidontaan käytettävästä materiaalista, solminnan tekevästä laitteesta, langan kuljettavasta kiskosta, ja langansyöttölaitteesta. Tavoitteena on luoda näille vaihtoehdoille jatkokehittelyn jälkeen 3D-mallinnukset, valmistuspiirustukset, sekä arviot kustannuksista ja massasta.

2 MATERIAALIN VALINTA JA JÄRJESTELMÄLLINEN TUOTESUUNNITTELU

Tässä osiossa on yleistä tietoa materiaalin valinnasta sekä järjestelmällisestä tuotekehityksestä. Tämän osion tietoja käytetään hyväksi sidelangan valintaan sekä konstruktioiden suunnitteluun.

2.1 Teoriaa materiaalin valinnasta

Materiaalin valinnan tarkoituksena on löytää materiaali, joka täyttää vaaditut ominaisuudet edullisesti. Vaadittavia ominaisuuksia määräävät ympäristö, toiminto, valmistus ja kustannukset. (Kleemola 1977, s. 7.) Materiaalin valinta voidaan jakaa kahteen pääryhmään. Joko valintaa tehdään uuteen tuotteeseen tai vanhaa tuotetta parannellaan. Valinta pohjautuu materiaalien teknisiin ominaisuuksiin, joita ovat esimerkiksi kimmokerroin, lujuus, kovuus, tiheys ja sitkeys. (Airila et al. 1995, s. 99 – 100.)

Materiaalin valinta ei yleensä ole yksiselitteinen prosessi, jolla päästään suoraan parhaaseen vaihtoehtoon. Joskus materiaalinvalinta jatkuu koko tuotteen eliniän. Valintaprosessissa on seuraavanlaisia vaiheita (Koivisto et al. 2004, s. 249.):

- vaatimus- ja ominaisuusprofiilin laadinta
- valintastrategia
- materiaalien esivalinta
- materiaalin valinta vertailutaulukoiden avulla
- seuranta, arviointi ja mahdollinen paluu materiaalin valintaan

Vaatimuslistassa on lueteltu kaikki vaatimukset ja toivomukset, jotka tuotteen tulee pystyä toteuttamaan. Vaatimukset voidaan jakaa ympäristön, toiminnon, valmistuksen ja kustannusten asettamiin vaatimuksiin. Laadinta voidaan toteuttaa kokemuksen, harkinnan, asiakaskyselyn, vauriotapausten, tai näiden yhdistämisen pohjalta. (Koivisto et al. 2004, s. 249.)

Jos suunnittelija tekee materiaalin valinnan liian suppean vaatimuslistan pohjalta, kasvaa tuotteen vaurioitumisen ja onnettomuuksien riski huomattavasti. Aktiivinen vaatimuslistan

laadinta, jossa vaatimuslista lähetetään täydennettäväksi esim. huoltohenkilökunnalle, auttaa suunnittelijaa löytämään tärkeät vaatimukset. Huonompi tapa on ottaa tuote käyttöön ja odottaa vauriotapausten syntyä, joista selviää materiaalin puutteet. (Kleemola 1977, s. 10.)

Ominaisuusprofiilin tarkoitus on muuttaa vaatimuslistan vaatimukset materiaalin ominaisuuksiksi. Ominaisuudet ovat yleensä fysikaalisia, mekaanisia, termisiä, sähköisiä tai kemiallisia. (Airila et al. 1995, s. 89.) Jos tuotteelta vaaditaan esim. kuormankantokykyä, voidaan sama vaatimus määrittää ominaisuusprofiilissa myötölujuuden minimiarvona. (Kleemola 1977, s. 12.) Mitä tarkemmin ominaisuusprofiili voidaan määrittää lukuarvoina, sitä helpompaa materiaalin esivalinta on. Joillekin vaatimuksille ei voida asettaa lukuarvoa, mutta materiaalit voidaan asettaa paremmuusjärjestykseen kyseisen vaatimuksen suhteen. Esivalituille materiaaleille voidaan laskea vertailuluku ominaisuusprofiilin pohjalta. Ennen vertailuluvun laskemista eri ominaisuuksille on määritettävä painoarvo. Vertailulukujen avulla esivalitut materiaalit on helppo asettaa paremmuusjärjestykseen. (Koivisto et al. 2004, s. 251 - 253.)

Valintastrategia kuvaa niitä kriteerejä joiden perusteella materiaalin valintaa tehdään. Kriteerit voivat olla esim. mahdollisimman halpa, mahdollisimman luotettava, mahdollisimman tehokas tuote tai jotain näiden väliltä. (Koivisto et al. 2004, s. 251.) Näiden kriteerien pohjalta voidaan eri materiaalin ominaisuuksia painottaa materiaaleja vertailtaessa. Hyvissä tuotteissa yhteisenä piirteenä on tuotteen toimintoa tukeva muotoilu, materiaali ja valmistus. (Airila et al. 1995, s. 86 – 87.)

Materiaalin esivalinnan tarkoitus on pienentää tarkasteltavien materiaaliveikkojen määrää. Esivalinta voidaan tehdä ominaisuusprofiilin pohjalta, karsimalla pois kokonaisia materiaalityyppejä. (Koivisto et al. 2004, s. 251.) Konstruktio materiaalityyppejä on kuusi: metallit, polymeerit, elastomeerit, keraamit, lasit ja komposiitit. Tiettyyn ryhmään kuuluvilla materiaaleilla on samantyyppiset ominaisuudet. Jos nämä ominaisuudet eivät vastaa ominaisuusprofiilin arvoja, voidaan ryhmä karsia pois jatkotarkastelusta. (Airila et al. 1995, s. 88.)

Vauriotyyppimatriisin avulla pyritään löytämään ne materiaalin ominaisuudet, jotka painottuvat materiaalin valinnassa. Vauriotyyppimatriisiin määritetään tuotteen tyyppilliset vauriotapaumat, sekä näihin vauriotapauksiin vaikuttavat materiaaliominaisuudet. Mitä useampaan

vauriotapaukseen tietty materiaalin ominaisuus vaikuttaa, sitä tärkeämpänä kyseistä ominaisuutta voidaan pitää. (Airila et al. 1995, s. 90 – 91.) Vauriotapaukset ovat tuotekohtaisia, mutta vaurioon vaikuttava materiaaliominaisuus on yleistettävissä. Taulukossa 1 on esitetty esimerkki vauriotyypimatriisista.

Taulukko 1. Vauriotyypimatriisi (Dieter 1991).

MATERIAALI- OMINAISUUS	TYYPILLISIÄ VAURIOTAPAUKSIA					
	Rakent. myötö	Lommah- dus	Hauras- murtuma	Myötö- väs.	Väsymi- nen	Kosketus- väs.
Murtolujuus						
Myötölujuus						
Puristuslujuus						
Leikkauslujuus						
Väsymislujuus						
Murtovenymä						
Iskusitkeys						
Trans. Lämpö- tila						
Kimmomoduuli						
Murtositkeys						

Arvoanalyysin tarkoituksena on löytää se materiaali, joka täyttää halutut ominaisuudet edullisimmin. Samalla pyritään eliminoimaan turhat ominaisuudet. Arvoanalyysiä laadittaessa lasketaan, kuinka hyvin materiaali täyttää halutut ominaisuudet, eli lasketaan materiaalin arvo. (Kleemola 1977, s. 35 - 37.) L.D. Miles, General Electricin insinööri, kehitti menetelmän noin vuonna 1950. Miles määritteli arvon yhtälön 1 mukaan. (Miles 1961)

$$Arvo = \frac{Arvostus}{Uhraus} \quad (1)$$

Yhtälö 1 voidaan lausua paremmin materiaalin valintaan sopivaksi yhtälön 2 tavalla. (Kleemola 1977, s. 37.)

$$Arvo = \frac{Toiminnot}{Kustannukset} \quad (2)$$

Kun eri materiaaliominaisuuksia halutaan painottaa, voidaan lopullinen materiaalin arvon yhtälö johtaa yhtälön 3 muotoon, jossa W_i on ominaisuuden painokerroin, M_i on ominaisuus ja C on kustannukset. (Waterman 1974, s. 115 – 126.)

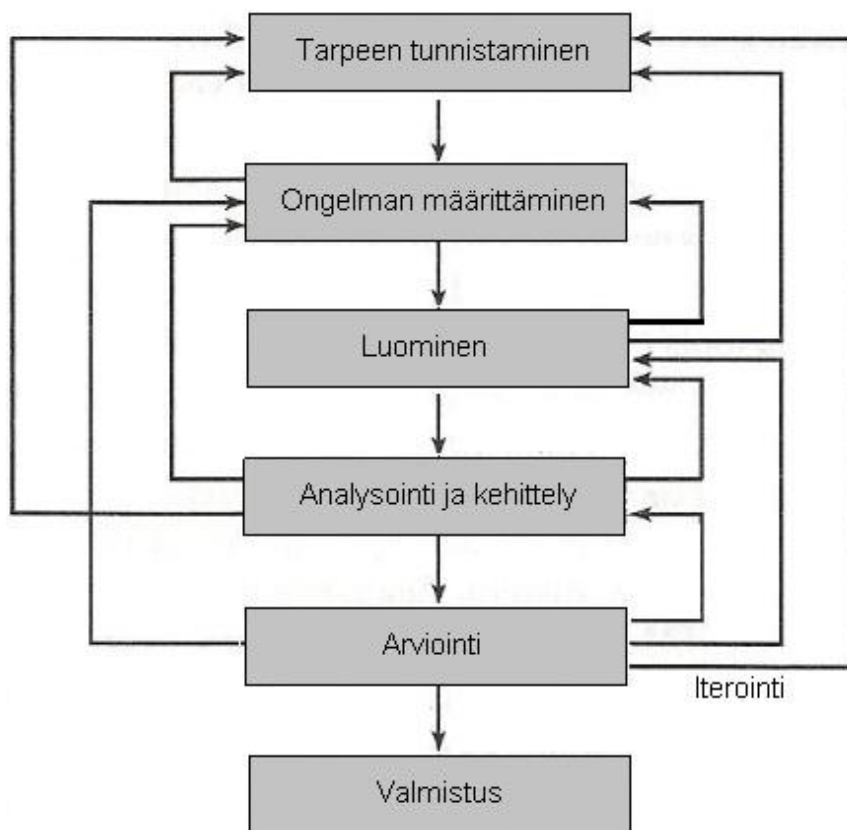
$$Arvo = \frac{\sum_i(W_i M_i)}{C} \quad (3)$$

Jos materiaaliominaisuuksien painotus, pisteytys ja materiaalien arvojen laskenta on onnistunut hyvin, voidaan suurimman arvon omaava materiaali valita käytettäväksi.

2.2 Teoriaa järjestelmällisestä tuotekehityksestä

Suunnittelutyön päämääränä on joko ongelman ratkaiseminen, tai suunnitelman kehittäminen tietyn tarpeen tyydyttämiseksi. Jos suunnittelun kohteena on jokin tuote, on tuotteen lopulta täytettävä tietyt ehdot. Tuotteelle asetettuja ehtoja voivat olla esimerkiksi toiminnallisuus, turvallisuus, luotettavuus, kilpailukyky, käytännöllisyys ja kierrätettävyys. Konstruktiolajeiksi voidaan määritellä kolme pääryhmää, uuskonstruktio, sovelluskonstruktio ja muunnelmakonstruktio. Uuskonstruktiossa kehitellään täysin uusi ratkaisuperiaate uuden toiminnon toteuttamiseen. Sovelluskonstruktiossa tunnettua ratkaisua sovelletaan uuden toiminnon toteuttamiseen. Muunnelmakonstruktiossa tuotetta muunnellaan mutta ratkaisuperiaate ja toiminto pysyvät samoina. (Budynas & Nisbett 2008, s. 4; Pahl & Beitz 1990, s. 5 - 33.)

Suunnitteluprosessin vaiheet ovat yleensä kuvan 2 mukaiset. Suunnittelun edetessä kuvan 2 vaiheiden mukaisesti, voidaan tyydyttävän ratkaisun löytämiseksi joutua palaamaan useaan kertaan takaisin alkuvaiheisiin. (Budynas & Nisbett 2008, s.5)



Kuva 2. Suunnittelun vaiheet (Budynas & Nisbett 2008, s.6).

Kuvan 2 vaiheiden tuloksia voivat olla esimerkiksi vaatimuslista, abstrahointi, toimintorakenne, periaatteellinen ratkaisu, modulaarinen rakenne, esisuunnitelma ja konstruktioehdotus (Pahl & Beitz 1990, s. 47.). Kuvan 2 tarpeen tunnistamisvaihe ei varsinaisesti liity suunnitteluprosessiin, sillä vasta tarpeen tunnistamisen jälkeen ongelmalle halutaan suunniteltu ratkaisu.

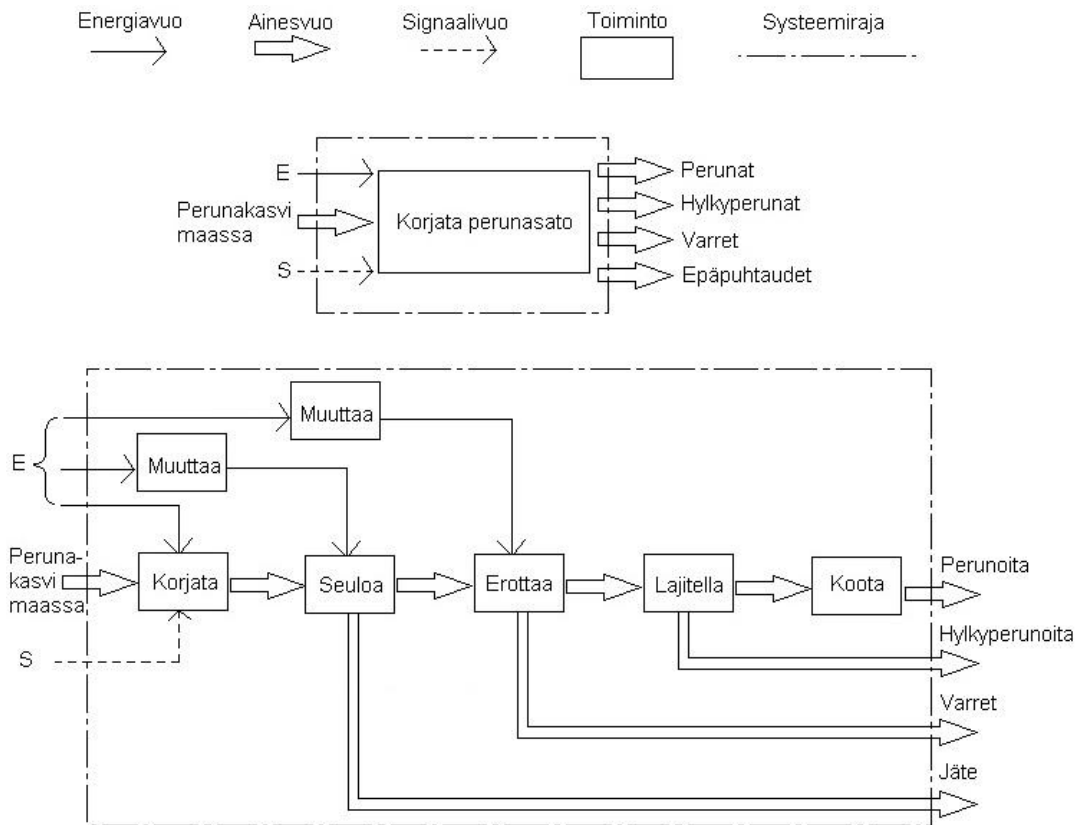
Suunnittelutyö aloitetaan ongelman määrittämisestä eli tehtävänasettelun selvittämisestä. Tehtävänasettelu selvitetään vaatimuslistan laadinnalla, johon kootaan kaikki informaatio siitä, mitä ratkaisun on täytettävä. Informaatio voi sisältää ympäristön, toiminnon, valmistuksen ja kustannusten asettamia rajoitteita, toiveita ja tavoitteita. Vaatimuslistaan on merkittävä, mitkä edellä mainituista ovat ehdottomia vaatimuksia, ja mitkä ovat mahdollisuuksien

mukaan huomioonotettavia toiveita. Vaatimukset on tarkoituksenmukaista esittää tarkkoina lukuarvoina tai muuten eksaktisti, jotta valintojen tekeminen suunnittelun myöhemmässä vaiheessa on helppoa. (Pahl & Beitz 1990, s. 62 - 69.)

Abstrahointi on kuvan 2 luomis- ja ongelman määrittämisvaiheen välimaastoon kuuluva keino muotoilla ongelmaa. Abstrahoinnin tarkoituksena on tuhota ratkaisuun liittyvät ennakkoluulot ja löytää ongelman ydin. Esimerkiksi ei suunnitella jääkaappia, vaan tapa elintarvikkeiden väliaikaiseen säilömiseen. Tämä auttaa täysin uudenlaisen ja optimaalisemman ratkaisun löytämisestä. Abstrahointi voidaan suorittaa vaatimuslistaa analysoimalla viiden askeleen menetelmällä (Pahl & Beitz 1990, s. 72 - 80.):

1. Jätetään vaatimuslistan toivomukset huomioimatta
2. Jätetään huomioimatta sellaiset vaatimukset, jotka eivät välittömästi koske toimintoa ja oleellisia ehtoja
3. Numeeriset ja eksaktit raja-arvot muutetaan oleellisiksi lauseiksi
4. Laajennetaan mielekkäästi tähän saakka tunnettua
5. Ongelma muotoillaan siten, ettei se itsessään sisällä minkäänlaista ratkaisua ja on muotoiltuna yhdeksi lauseeksi.

Vaatimuslistan ja abstrahoinnin perusteella laaditaan ratkaisulle toimintorakenne. Toimintorakenteen tarkoituksena on selventää vaatimusten fysikaalista riippuvuutta ja jakaa ongelmaa erikseen suunniteltaviin osiin eli osatoimintoihin. Toimintorakenteen laatimisessa on helpointa edetä asteittain, lähtien liikkeelle karkeasta kokonaistoiminnosta, ja edetä siitä monimutkaisempaan osatoimintojen systeemiin. Kuvassa 3 on esimerkki perunankorjuukoneen toimintorakenteen kehittymisestä, sekä vakiintuneiden piirrosmerkkien nimitykset. Toimintorakenteen laadinta on joskus iteratiivinen prosessi, jossa osatoimintoja voidaan lisätä tai yhdistää suunnittelutyön myöhemmissä vaiheissa. (Pahl & Beitz 1990, s. 81 - 98.) Toimintojen numerointi helpottaa suunnittelu- ja ryhmätyötä myöhemmissä vaiheissa.



Kuva 3. Esimerkki toimintorakenteen kehittämisestä (Pahl & Beitz 1990, s. 88 - 91).

Kun ongelma on selkeästi määritelty, voidaan siirtyä luomisvaiheeseen. Luomisvaihe on kuitenkin ainakin alitajuisesti alkanut jo viimeistään toimintorakennetta laadittaessa, koska toimintorakennetta on mahdotonta laatia ilman minkäänlaista ajatusta ratkaisusta. Ongelmiin keksitään ratkaisu yleensä alitajuisesti. Ratkaisu voi tulla mieleen etsinnän ja pohdinnan jälkeen oivalluksen mukana tai kokonaan uutena ideana, joka ilmestyy tajuntaan ilman, että sen syntyä pystyy jäljittämään. Ideaa kehitellään sitten edelleen, kunnes ongelman ratkaisu on mahdollinen. Periaatteellisen ratkaisun etsimiseen voidaan käyttää esimerkiksi intuitiivisesti painotettuja menetelmiä, joita ovat aivoriihi, metodi 635, galleriametodi, Delfi-metodi, synetiikka ja näiden yhdistely. Tässä työssä sovelletaan aivoriihtä. Aivoriihellä voidaan tarkoittaa ajatusten salamointia, ajatusmyrskyä tai ideavirtaa. Aivoriihi on siis ryhmä ihmisiä, jotka yrittävät löytää ratkaisua ongelmaan. Aivoriihtä kootessa on hyvä menetellä seuraavasti (Pahl & Beitz, 1990, s. 103 - 109):


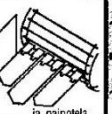

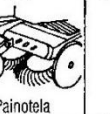

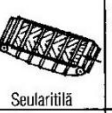

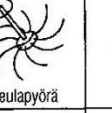
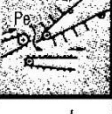
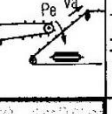
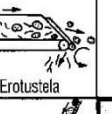

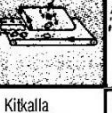


- Muodostetaan ryhmä ja ryhmän johtaja.
- Ryhmän koko: vähintään 5- ja korkeintaan 15 henkilöä

- On tärkeää, että ryhmässä on monen eri toimialan ja ammatin edustajia. Eiteknikoiden mukanaolo rikastuttaa ryhmää.
- Ryhmän tulisi olla mahdollisimman tasa-arvoinen, jotta esimies-alainen -vuorovaikutusta ei synny ja ajatusten jakaminen olisi estotonta.
- Johtajan tulisi olla aloitteellinen vain aivoriihen järjestelyissä ja tulosten käsittelyssä. Hänen tulisi huolehtia sääntöjen noudattamisesta ja vapautuneesta ilmapiiristä. Ryhmänjohtaja ei saa sallia esitettyjen ajatusten halveksuntaa.

Aivoriihtä koskevat pelisäännöt (Pahl & Beitz, 1990, s.105):

- Jäsenten on esitettävä ideoitaan estotta. Mikään ajatus ei ole huono, nolo tai mieleton. Entuudestaan tuttuja ajatuksia saa käyttää.
- Kukaan ei saa halveksia esitettyjä ajatuksia.
- Muiden ideoihin saa tarttua, niitä saa kehittää ja niitä voi yhdistellä.
- Kaikki ideat kirjataan ylös.
- Ideat pitäisi konkretisoida niin, että ne voidaan tunnistaa.
- Istunto ei saisi kestää 45:ttä minuuttia pidempään kerrallaan.

Kun eri osatoiminnoille on keksitty riittävästi erilaisia ideoita, esimerkiksi aivoriihen avulla, on niitä verrattava keskenään ja muodostettava periaatteellisia ratkaisumuunnelmia. Ratkaisumuunnelmien muodostamiseen voidaan käyttää ideamatriisia, jossa toimintorakenteen osatoiminnot on pystysarakkeessa ja niitä vastaavat ratkaisuideat riveillä. Ideat voidaan esittää piirroksina, sanallisesti tai molempina, riippuen siitä miten idea ymmärretään parhaiten. Jos ideamatriisissa on 6 osatoimintoa ja jokaisella osatoiminnolla 4 ratkaisuideaa, voidaan erilaisia ratkaisumuunnelmia muodostaa 24. Käytännössä kaikkia ratkaisuideoita ei kuitenkaan voida yhdistää, joten ratkaisumuunnelmia ei pystytä muodostamaan niin montaa. Kuvassa 4 on esimerkki perunankorjuukoneen ideamatriisista, jossa on kehitelty ideoita kuvan 3 toimintorakenteen osatoiminnoille. Kuvan 4 ideamatriisissa on esitetty yksi ratkaisumuunnelma tummemmilla reunaviivoilla ja harmaalla värityksellä. (Pahl & Beitz 1990, s. 129 - 131.)

Osatoiminnot		Ratkaisut				
		1	2	3	4	...
1	Nostaa	 ja painotela	 ja painotela	 ja painotela	 Painotela	...
2	Seuloa	 Seulaketju	 Seulariitä	 Seularumpu	 Seulapyörä	...
3	Eroittaa varret	 Pe Va	 Pe Va	 Erotustela
4	Eroittaa kivet					...
5	Lajitella perunat	Käsin	Kitkalla (vino pinta)	Läpimitan tarkastus (reikälevy)	Painon tarkastus (punnitus)	...
6	Koota perunat	Kaatosäiliö	Telapohjainen säiliö	Poistosäkkilaitte

↓ Ratkaisumuunnelma

Kuva 4. Esimerkki perunankorjuukoneen ideamatriisista (Pahl & Beitz, 1990, s.130).

Ideamatriisista kootut ratkaisumuunnelmat arvioidaan erilaisin kriteerein tuotteesta riippuen. Kriteerejä voidaan painottaa sen mukaan, mikä kriteereistä on toiminnan, valmistuksen tai kustannusten kannalta tärkeämpi kuin toinen. Kun on päätetty mikä on paras periaatteellisista ratkaisuista, voidaan siirtyä kehittälyvaiheeseen. Kehittely on se vaihe jossa tuote kehitetään periaatteellisesta ratkaisusta konkreettiseksi rakennemuodoksi. Kehittälyvaiheen laajuus riippuu paljon tuotteen luonteesta. Esimerkiksi jos on kyse suuren sarjan tuotteesta, on rakennemuotoilulla suuri merkitys, koska vaikea valmistettavuus nostaa yksittäisen tuotteen kustannuksia vähän, mutta koko sarjan kustannuksia huomattavasti. Samoin tuotteen kokoonpano helpottuu hyvällä tuotemuotoilulla. Kehittälyvaiheen jälkeen tuotteesta tehdään valmistuspiirustukset, mutta kehittälyyn voidaan joutua palaamaan useaan kertaan vielä tuotteen valmistumisen jälkeenkin. (Pahl & Beitz 1990, s. 176 - 181.)

Suunniteltava tuote saattaa koostua monesta toiminnosta, jotka joudutaan suunnittelemaan erikseen. Kun jokaiselle toiminnolle on kehitelty rakennemuoto, arvioidaan tuotteen kokoonpanoa. Kokoonpano otetaan huomioon tuotteiden vaatimuksissa jo alusta alkaen, mutta monimutkaisten konstruktioiden kaikkia rajoituksia on vaikea huomioida ennen kehitellympiä suunnitelmia. Tämän seurauksena joidenkin toimintojen ratkaisuihin voidaan joutua tekemään muutoksia vielä kehittälyvaiheen jälkeen, ennen kuin tuotetta aletaan valmistaa.

3 UITTOTUKKINIPUN SIDONTAMATERIAALIN VALINTA

Tukkinippuja käsin sidottaessa käytetään nykyään sidontamateriaalina valmiiksi pätkittyä hehkutettua teräslankaa, jonka halkaisija on 5,5mm. (Kariniemi et al. 2010). Valmiiksi pätkittyä lankaa olisi kuitenkin vaikea käyttää automatisoidussa sidontalaitteessa. Tässä osiossa pyritään löytämään uittotukkinipun koneelliseen sitomiseen parhaiten soveltuva materiaali. Sitomiseen käytettävä profiili tulee olemaan lankaa, koska sidontalaitteisto ja kuormitukset sitä vaativat. Taulukkoon 2 on koottu langalta vaaditut ja toivotut ominaisuudet.

Taulukko 2. Uittotukkinipun sidontamateriaalin vaatimuslista ja ominaisuusprofiili (Kauppi et al. 2009).

Uittotukkinipun sidontamateriaalin vaatimuslista ja ominaisuusprofiili			27.4.2012 Sivu: 1/1
V/T	Vaatimukset	Vastaava materiaaliominaisuus	Huomautukset
V	Materiaalina ei saa käyttää muoviovia	Materiaalien pääryhmistä polymeeri ja elastomeeri jätettävä pois vertailusta	UPM -tehtaan asettama vaatimus
V	Sidontamateriaalin profiilin on oltava lankamainen	Valssattua lankaa	
V	Kestettävä tukkinippua kasassa pitävä kiristysvoima, sekä tukkinipun hinaus vedessä	Materiaalin myötölujuuden R_e on oltava suurempi kuin vaadittava veto- ja leikkausjännitys, σ ja τ	
V	Materiaaliin pystyttävä tekemään solmu kylmimmillään -5°C:ssa	Plastinen muodonmuutos-kyky δ . Ei saa olla haurasmurtuman vaaraa	
T	Langan oltava jatkuvaa automatisoinnin helpottamiseksi	Langan poikkileikkauksen oltava sellainen, jota on saatavissa järkevän kokoisina ke-loina. < 1500kg	
V	Kestettävä Vuoksen vesistöissä noin 1 vuosi	Yleisen syöpymisen kesto vedessä jonka $pH \approx 7$	
T	Langan elinkaarikustannukset (LCC) mahdollisimman pienet	Langan osto-, kuljetus- ja kiertäyskustannukset	

3.1 Sidontamateriaalin valintastrategia

Sidelankoja ei voida käyttää uudelleen tukkien sitomiseen, joten ne ovat kertakäyttöisiä. Valintastrategiassa sidelangan hintaa voidaan näin pitää yhtenä tärkeimmistä valintakriteereistä. Toisaalta jos langalla on huonot toiminto-ominaisuudet, voi uitto epäonnistua ja aiheuttaa lisäkustannuksia. Tässä työssä valintastrategiana on painottaa materiaalin myötölujuutta sekä solminnan mahdollistavaa langan muodonmuutoskykyä δ .

3.2 Sidontamateriaalin esivalinta

Taulukossa 2 esitetyn vaatimuslistan ja ominaisuusprofiilin pohjalta voidaan materiaalien pääryhmistä karsia pois kaikki muut paitsi metallit. Polymeerejä ja elastomeerejä ei voi käyttää, laseilla, komposiiteilla ja keraameilla ei ole plastista muodonmuutoskykyä tarpeeksi, eikä niitä ole saatavana lankana.

3.3 Vertailuominaisuuksien määrittäminen

Sidoslangan vauriotyypimatriisi on esitetty taulukossa 3. Vauriotyypimatriisista voidaan kirjata vertailtaviksi materiaaliominaisuuksiksi ainakin murtolujuus R_m , korroosionkesto ja plastinen muodonmuutoskyky δ . Solminnan kannalta plastisen muodonmuutoskyvyn on hyvä olla suuri, jotta langalla on myötäämisen jälkeen venymävaraa. Myötölujuus ei kuitenkaan saa olla liian pieni, jotta lanka pysyy kireänä uiton ajan.

Taulukko 3. Sidelangan vauriotyypimatriisi

VAURIOTAPAUKSEEN VAIKUTTAVA MATERI- AALI-OMINAISUUS	TYYPILLISIÄ SIDONTALANGAN VAURIOTA- PAUKSIA	
	Langan katkeaminen	Solmun aukeaminen
Murtolujuus R_m		
leikkauslujuus		
Kimmokerroin E		
Korroosio		
Plastinen muodonmuu- toskyky δ		

Sidoslankojen vertailutaulukkoon, taulukko 4, on kerätty erilaisten lankojen materiaalitietoja halutuista materiaaliominaisuuksista. Taulukon 4 ylimmällä rivillä on kunkin ominaisuuden tärkeyttä kuvaava painokerroin ja oikean puoleiseen sarakkeeseen on laskettu kunkin langan arvo. Arvo on laskettu yhtälöä 3 soveltaen. Lankojen arvot on laskettu liitteessä 2. Mitä suurempi arvo on, sitä paremmin kyseinen lanka vastaa valintastrategiaa.

Taulukko 4. Materiaaliominaisuuksien vertailutaulukko (Anordica AB, 2012; Fasten group, 2010; LongVision, 2010).

UITTOTUKKINIPUN SIDONTALANKOJEN VERTAILUTAULUKKO					
Painokertoimet W_i	5	2	1	1	
Lanka	Murtolujuus R_m [Mpa]	δ [%]	Pinnoitteen määrä [g/m ²]	Saatavuus \varnothing [mm]	Arvo
Anordica pulp baling wire	960 – 980	8	21– 45	3	30
Fasten group: Hot-clipped zinc low carbon steel wire	295-540	12	300	3-6	27
Long Vision: Galvanized steel wire	350-500	15	300	1.5-6	25
Pacwire AB:n baling wire	1075	6	25-45	3	34
Fn steel: Nykyisin tukkinippujen sitomiseen käytetty teräslanka	500-570	ei tiedossa	ei tiedossa	5,5-6	21

Taulukon 4 perusteella valittiin Pacwiren tuottama paalauslanka parhaaksi vaihtoehdoksi.

4 LANGAN HALLINTALAITTEISTON KONSTRUOINTI

Tässä osiossa suunnitellaan uuskonstruktio uittotukkinipun langan hallintalaitteistolle, käyttäen apuna osiossa 2.2 läpikäytyä teoriaa. Langan hallintalaitteistoon kuuluu langan syöttö, langan ohjaus nipun ympäri ja langan päiden solminta.

4.1 Ongelman määrittäminen

Konstruoinnin ongelman määrittely aloitetaan vaatimuslistan laadinnalla, taulukko 5.

Taulukko 5. Langan hallintalaitteiston vaatimuslista

Langan hallintalaitteiston vaatimuslista		15.5.2012 Sivu: 1/2
V/T	Vaatimukset ja toivomukset	Huomautukset
	<u>Ympäristön asettamat</u>	
V	Käyttölämpötila: -5°C...35°C	Touko- marraskuu
V	Kestettävä altistuminen vedelle ja puuroskalle	
T	Ympäristölle haitallisten aineiden vuotamista luontoon vältettävä	
	<u>Toiminnon asettamat</u>	
V	Laitteiston korkeus ja leveys oltava pienempiä kuin 3,5m	Kuljetettavuus puutavara-auton vau- nulla
V	Laitteiston on koneellisesti pystyttävä viemään 3mm paksu teräslanka tukkinipun ympäri sekä kiristämään, solmimaan ja katkaisemaan lanka. Tukkinipun leveys on 2,4m, korkeus 2,7m ja pituus 3-5m	

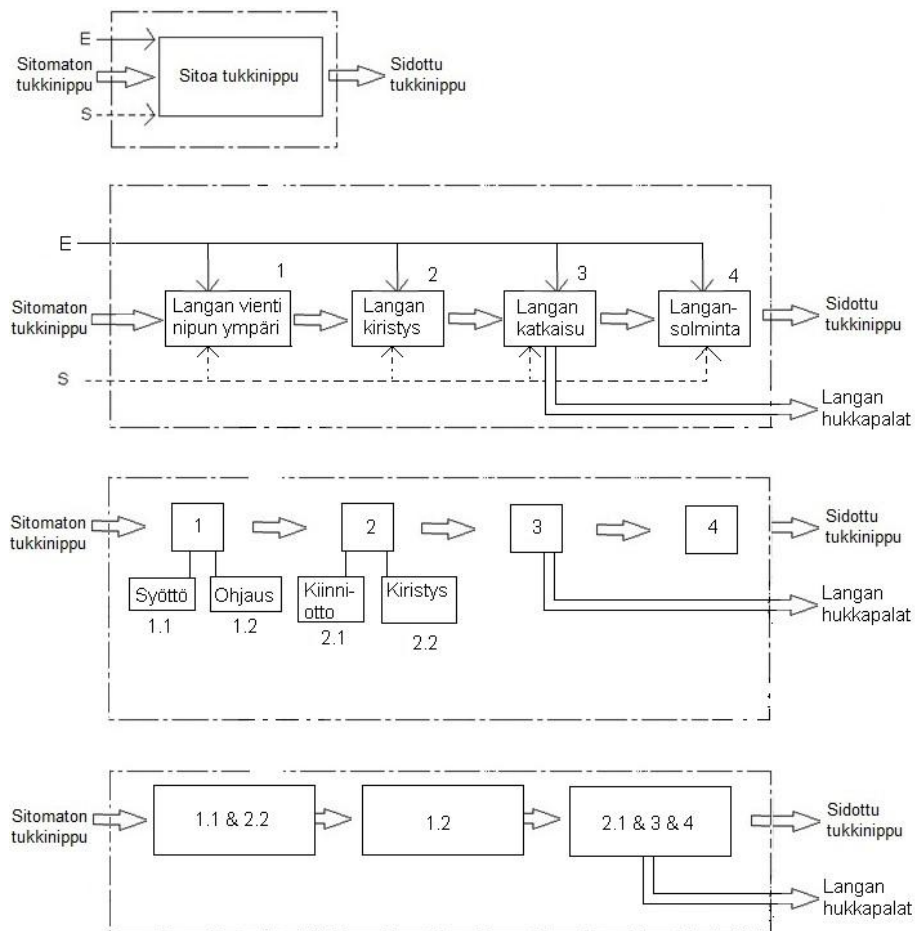
Langan hallintalaitteiston vaatimuslista		15.5.2012 Sivu: 2/2
V/T	Vaatimukset ja toivomukset	Huomautukset
	<p>Tukkinippu on pystyttävä sitomaan molemmista päistä siten, että sidos kestää tukkinippua kasassa pitävän voiman vedessä kelluessaan, sekä tukkinipun hinauksen sidelangasta</p> <p><u>Valmistuksen asettamat</u></p> <p>Osat on pystyttävä valmistamaan perinteisessä konepajassa</p>	

Vaatimuslistan perusteella tehtiin viiden askeleen abstrahointi:

- Askel 1
 - Pystyttävä käyttämään lämpötilavälillä -5°C...35°C
 - Kestettävä altistuminen vedelle ja puuroskalle
 - Laitteiston korkeus ja leveys oltava pienempiä kuin 3,5m
 - Laitteiston on koneellisesti pystyttävä viemään 3mm paksu teräslanka tukkinipun ympäri sekä kiristämään, solmimaan ja katkaisemaan lanka. Tukkinipun leveys 2,4m, korkeus 2,7m ja pituus 3-5m
 - Tukkinippu on pystyttävä sitomaan molemmista päistä siten, että sidos kestää tukkinippua kasassa pitävän voiman vedessä kelluessaan, sekä tukkinipun hinauksen sidelangasta
- Askel 2
 - Laitteiston on koneellisesti pystyttävä viemään 3mm paksu teräslanka tukkinipun ympäri sekä kiristämään, solmimaan ja katkaisemaan lanka. Tukkinipun leveys 2,4m, korkeus 2,7m ja pituus 3-5m
 - Tukkinippu on pystyttävä sitomaan molemmista päistä siten, että sidos kestää tukkinippua kasassa pitävän voiman vedessä kelluessaan, sekä tukkinipun hinauksen sidelangasta
- Askel 3
 - Laitteiston on koneellisesti pystyttävä viemään teräslanka tukkinipun ympäri sekä kiristämään, solmimaan ja katkaisemaan lanka.

- Tukkinippu on pystyttävä sitomaan molemmista päistä siten, että sidos kestää tukkinippua kasassa pitävän voiman vedessä kelluessaan, sekä tukkinipun hinauksen sidelangasta
- Askel 4
 - Laitteiston on pystyttävä sitomaan tukkinippu kireälle
 - Sidonnan jälkeen tukkinipun on pystyttävä kasassa, kun nippua hinataan vedessä sidelangasta.
- Askel 5
 - Toiminnon jälkeen tukkeja on pystyttävä siirtämään vesiteitse haluttuun pisteeseen siten, että tukit eivät uppoa tai erkaannu toisistaan

Abstrahoinnin jälkeen ongelmalle laadittiin toimintorakenne. Kuvassa 5 on esitetty sidontalaitteen toimintorakenteen kehittyminen karkeasta yksityiskohtaisempaan.

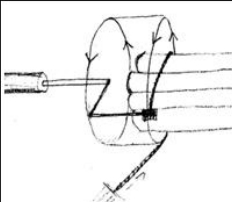
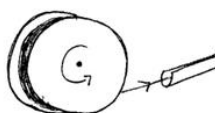

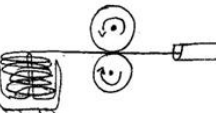
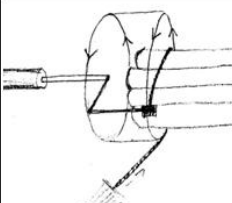
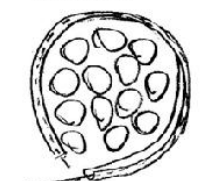
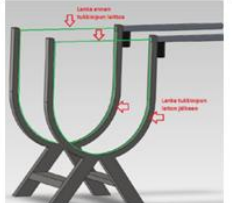
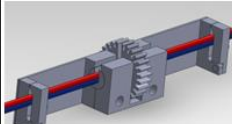
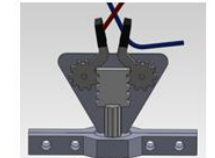
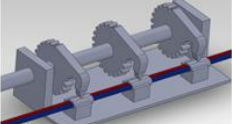


Kuva 5. Sidontalaitteen toimintorakenteen kehittyminen

Kuvan 5 viimeisessä systeemissä on ne osatoiminnot yhdistetty, jotka voidaan suunnitella yhtenä laitteena. Toimintorakenteen perusteella voitiin ongelma jakaa kolmeen alustavasti suunniteltavaan yksikköön. Yhteen näistä kuuluu langan syöttö ja kiristys, toiseen langan ohjaus, ja kolmanteen langan kiinniotto, solminta sekä katkaisu.

4.2 Luomisvaihe

Tässä työssä ratkaisuideiden etsintään käytettiin sovelletusti apuna aivoriihimenetelmää. Aivoriihiryhmä ei missään vaiheessa kokoontunut koolle vaan aivoriitä käytiin kirjeitse. Jokaiselle jäsenelle lähetettiin kirje, jossa kerrottiin aivoriihestä, työn taustasta, sekä toiminnoista joihin ryhmän tuli ideoida ratkaisuja. Osa ratkaisuideista karsittiin pois vaatimuslistan perusteella, mutta konstruotavaksi sopivia ideoita on koottu ideamatriisiin kuvaan 6. Kuvan 6 ideamatriisi sisältää systeemin kolme päätoimintoa, jotka ovat langan syöttö, ohjaus ja solminta. Kuvan 6 ratkaisuideita selvennetään liitteessä 1.

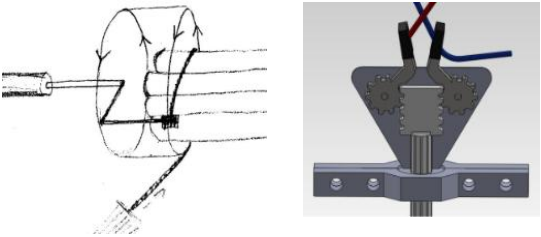
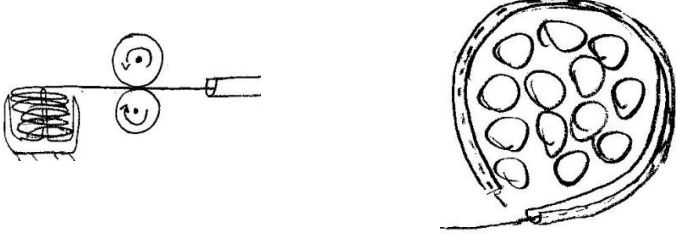
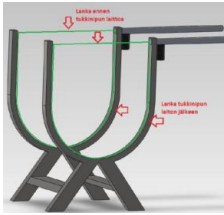
Toiminnot	Ratkaisuideat			
	1	2	3	4
1.1 & 2.2 Langansyöttö ja kiristys		Lankaa liikutellaan pyörittämällä kelaa 	Tukit lasketaan pingotetun langan päälle 	Lankaa liikutellaan urarullilla 
1.2 Langan ohjaus nipun ympäri		Lankakouru 		
2.1 & 3 & 4 Solmintalaite	Horizontaalinen solminta 	Vertikaalinen solminta 	Puristusholkkiiltois 	Langan päiden liittäminen hitsaamalla

Kuva 6. Ideamatriisi langanhallintalaitteistosta

Sovellettuun aivoriiheen osallistui 6 henkilöä eri ammateista. Osallistujien ammatteja olivat tekniikan ylioppilas, automaatiotekniikan insinööri, hortonomi / viheraluerakentaja, tietotekniikan insinööri / sähköasentaja, ja posliinityöntekijä. Ryhmän jäsenille ei annettu minkäänlaisia ratkaisuehdotuksia, eivätkä ryhmän jäsenet kommunikoineet keskenään. Menetelmän hyvänä puolena oli, että ennakkoluulot eivät ohjanneet ideointia, mutta huonona puolena oli ideoiden päällekkäisyys ja pinnallisuus. Aivoriihen tuottamia ratkaisuideoita on lisää liitteessä 1.

Kuvan 6 ideamatriisiin langan ohjaustoiminnon perusteella voidaan muodostaa kolme toisistaan järkevästi eroavaa ratkaisumuunnelmaa. Ratkaisumuunnelmia vertaillaan keskenään taulukossa 6.

Taulukko 6. Periaatteellisten ratkaisumuunnelmien vertailu

Nro.	Ratkaisumuunnelma	Arvostelu
1	<p>Langansyöttö, kiristys ja ohjaus tapahtuu pyörivällä mekanismilla. Langan solminta vertikaalisella solmintalaitteella, tai hitsaamalla</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Lanka kiristyy tasaisesti nipun ympärille + Langalla varma kulkureitti + Ei ole tukkinipun tiellä - Pyörivään mekanismiin hankala tehdä johdotusta - Solmintalaitteen yhdistäminen vaikeaa
2	<p>Langan liikuttelu pyörivillä urarullilla ja ohjaus lankakourulla. Solmintaan voi valita minkätahansa solmintalaitte ratkaisun.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Paalaus-koneissa käytettyä tekniikkaa + Solmintalaitteen yhdistäminen helppoa + Automatisointi helpompaa muihin muunnelmiin verrattuna - Kouru siirrettävä tukkinipun tieltä pois - Lanka voi kulkeentua kourusta ulos
3	<p>Langan syöttö ja ohjaus langan pingotus menetelmällä. Langan päiden kiinnitys hitsaamalla.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Langalla varma kulkureitti + Ei ole tukkinipun tiellä - Solmintalaitteen yhdistäminen vaikeaa - Lanka saattaa takertua tukkinippuun kiristettäessä - Monimutkainen langankäsittely

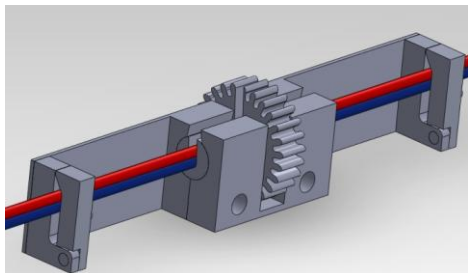
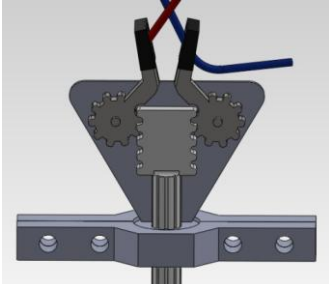
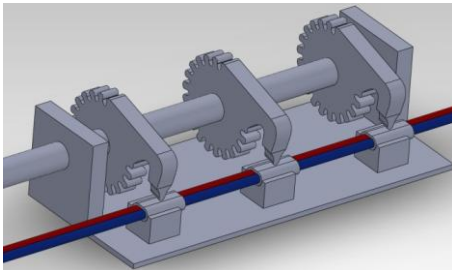
Taulukon 6 ratkaisumuunnelmien vertailun perusteella valitaan muunnelma 2 kehiteltäväksi ratkaisuksi. Langan syötöksi muunnelmaan 2 valitaan ratkaisuidea 4, koska se on varmempi

ja vaatii vähemmän vääntömomenttia, kuin ratkaisuidea 2. Ratkaisumuunnelmaan 2 voidaan yhdistää mikä tahansa solmintalaitteen ratkaisuidea, siksi solmintalaitteita on syytä vertailla keskenään.

4.3 Solmintalaitteen kehittäminen

Solmintalaitteita vertailtiin taulukossa 7. Vertailun perusteella valittiin horisontaalinen solmintalaitte kehiteltäväksi ratkaisuideaksi.

Taulukko 7. Solmintalaitteen ratkaisuideoiden vertailua

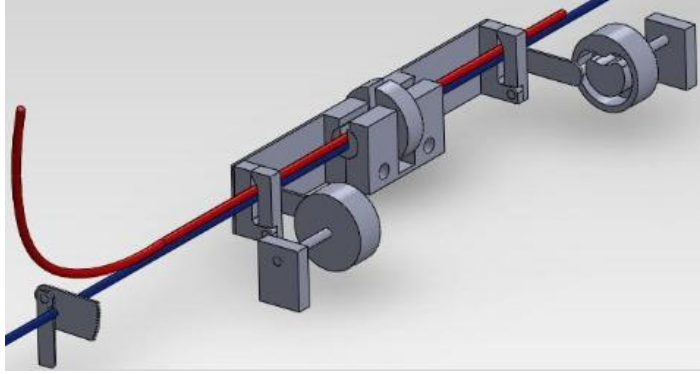
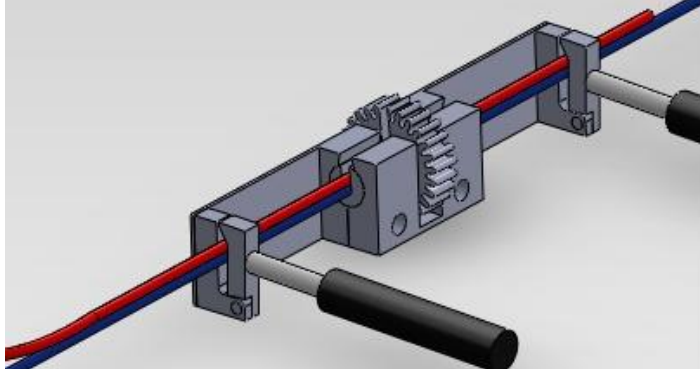
Nro.	Solmintalaitte	Arvostelu
1	Horisontaalinen 	<ul style="list-style-type: none"> + Samanlainen solmu kuin sellupaalien solminnassa + Pieni tilantarve pystysuunnassa + Langalla suora kulkureitti laitteen läpi - Solminnan tapahduttava irti tukkinipusta, jolloin langan ja nipun väliin voi jäädä löysää - Lanka voi takertua laitteeseen
2	Vertikaalinen 	<ul style="list-style-type: none"> + Solmu muodostuu tukkinippuun kiinni ja lanka kiristyy - Langalla monimutkainen kulkureitti - Vie paljon tilaa pystysuunnassa tukkinipun alla - Solmu aiheuttaa suuria jännityskeskittymiä
3	Puristusholkkiiliitos 	<ul style="list-style-type: none"> + Lankaan ei tule solmua + Langalla suora kulkureitti laitteen läpi + Yksinkertainen mekaniikka - Puristusholkkien asetus hankala toteuttaa luotettavasti - Kiinnitysholkit ovat kertakäyttöisiä ja niitä tarvitaan monta yhden nipun sidontaan
4	Langan päiden liittäminen hitsaamalla	<ul style="list-style-type: none"> + Ei tee solmua lankaan + Vähän liikkuvia mekanismeja - Huono väsymiskestävyys ja korroosiokestävyys vedessä - Paljon lisälaitteita - Vaikea automatisoida kyseiseen kohteeseen

Horisontaalisen solmintalaitteen kehittämisessä huomioitiin ainakin seuraavat toiminnon asettamat vaatimukset:

- Lankojen on pysyttävä solmintalaitteessa kiristyksen tapahduttua
- Lankojen on päästävä pois solmintalaitteesta solminnan jälkeen
- Tukkinipun kiertänyttä langanpäättä on pidettävä kiinni kiristettäessä, mutta tulopuolen langan on päästävä liikkumaan vapaasti
- Langat eivät saa päästä pyörimään toistensa ympäri, jotta solminta olisi mahdollista
- Solmun synnylle oltava riittävästi tilaa lankojen pyörittäjän ja tukileukojen välissä
- Lanka on katkaistava ainakin syöttöpäästä
- Katkaisun tapahduttava vasta solminnan jälkeen jotta kireys säilyy

Horisontaalisen solmintalaitteen toimintovaatimusten suorittamiseen luotiin kaksi vaihtoehtoista ratkaisuideaa. Vaihtoehdossa 1, jokainen toiminto toteutetaan pyörivän liikkeen välityksellä, käyttäen nokkamekanismeja ja hammaspyörävälityksiä. Vaihtoehdossa 2, pyörivää liikettä käytetään ainoastaan solmintaan ja muut toiminnot toteutetaan hydraulisyilintereillä. Taulukossa 8 on vertailtu ratkaisuvaihtoehtoja 1 ja 2.

Taulukko 8. Horisontaalisen solmintalaitteen ratkaisuvaihtoehtojen vertailu

Nro.	Horisontaalisen solmintalaitteen vaihtoehdot	Arvostelu
1		<ul style="list-style-type: none"> + Ei tarvitse paljoa automaatiota + Vähän toimilaitteita - Monimutkainen mekaniikka, joka on vaikea suunnitella ja vaatii tarkkaa valmistusta - Nokkamekanismin epäluotettavuus ja kuluminen
2		<ul style="list-style-type: none"> + Yksinkertaisempi mekaniikka + Katkaisumekanismi mahdollista yhdistää tartuntaleukoihin + Luotettavampi toiminta + Helpompi valmistaa - Enemmän toimilaitteita - Enemmän automaatiota

Taulukossa 8 tehdyn vertailun perusteella valitaan kehitettäväksi solmintalaitteeksi horisontaalisen solmintalaitteen vaihtoehto 2, jossa tartuntaleuat toimivat hydraulilla. Solminta tapahtuu pyörittämällä lankoja toistensa ympäri sähkömoottorin voimalla ja hammaspyörien välityksellä.

Hammaspyörien tarkoituksena on siirtää pyörimisliikettä akselilta toiselle. Käytävää pyörää, eli sitä pyörää johon pyörimisliike tuodaan ensimmäisenä, kutsutaan ensiöpyöräksi ja käytettävää pyörää toisiopyöräksi. Ensiöpyörää merkitään alaindeksillä 1 ja toisiopyörää alaindeksillä 2. Pyörimisliikkeen välittämisen yhteydessä voidaan pyörimisnopeutta n , kulmanopeutta ω ja vääntömomenttia T muuttaa. Pyörimisnopeus ja vääntömomentti muuttuvat, kun ensiöpyörä on erikokoinen kuin toisiopyörä. Hammaspyörän koko määritetään yleensä hammasluvun z mukaan, jonka täytyy olla kokonaisluku. Pyöräparin yksittäisen pyörän hampaiden minimimäärä on 13 kpl. Ensiö- ja toisiopyörän kokojen suhdetta kutsutaan välityssuhteeksi i . Välityssuhde voidaan laskea yhtälöllä 4. (Blom et al. 1995, s. 255 - 266.)

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (4)$$

Yksi tai useampi hammaspyöräpari muodostavat hammasvaihteen. Kun ensiöpyörä on pienempi kuin toisiopyörä, eli $i > 1$, on kyseessä alennusvaihte. Alennusvaihteella pyörimisnopeus pienenee ja vääntömomentti kasvaa. Kun $i < 1$, on kyseessä ylennysvaihte, jolla pyörimisnopeus kasvaa ja vääntömomentti pienenee. Pyöräparin välissä vapaasti pyörivät välipyörät eivät vaikuta välityssuhteeseen. (Blom et al. 1995, s. 255 - 258.)

Hammasvaihteen hammaspyörillä on oltava sama moduuli m , sekä sama hammasjako p . Moduuli on hampaan kokoa määrittävä apusuure, jonka avulla voidaan määrittää esimerkiksi hammasjako p , jakohalkaisija d ja perusakseliväli a . Moduuli olisi hyvä tietää tai määrittää hammaspyörän suunnittelun alkuvaiheessa. Moduuliksi suositellaan käytettävän jotain standardin SFS 3093:1974 moduulisarjasta löytyvää arvoa. (Blom et al. 1995, s. 259 - 260.)

Jakohalkaisija d määritetään yhtälöstä 5. (SFS 3389)

$$d = m \times z \quad (5)$$

Hammasjako p tarkoittaa hampaan paksuuden ja hammasvälin yhteenlaskettua pituutta. Hammasjako lasketaan yhtälöstä 6. (SFS 3389)

$$p = m \times \pi \quad (6)$$

Moduuli ja hammaslukujen valinta määräävät hammaspyöräparin akselivälin. Akseliväliä voidaan muuttaa hammaslukua ja moduulia vaihtelemalla ilman, että välityssuhde muuttuu, mutta standardisoituihin akseliväleihin pääseminen on tällä tavalla lähes mahdotonta. Akselivälin säätö standardeihin sopivaksi voidaan toteuttaa profiilinsiirrolla. Profiilin siirto on kuitenkin rajallista. (Airila et al. 1995, s. 498.) Perusakseliväli a määritetään yhtälöstä 7. (SFS 3389)

$$a = \frac{m \times (z_1 + z_2)}{2} \quad (7)$$

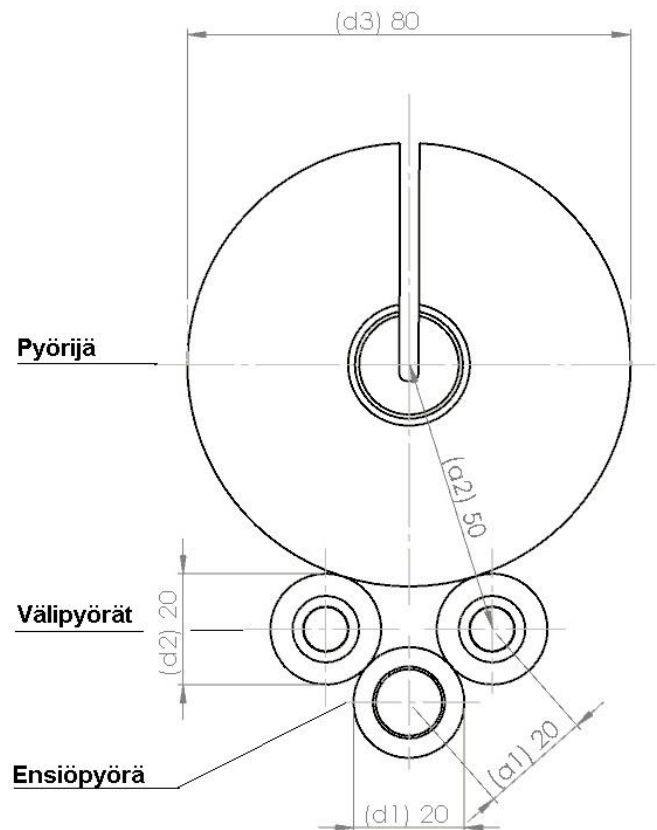
Profiilinsiirtokertoimien x_1 ja x_2 laskemiseksi on tiedettävä perusakseliväli a , haluttu lopullinen akseliväli a_w , perus ryntökulma α ja lopullinen vierintäpinnan ryntökulma α_w . (Airila et al. 1995, s. 499.) Ryntökulma on Suomessa yleensä $\alpha=20^\circ$. (Blom et al. 1995, s. 263.) Ryntökulma vierintäpinnalla lasketaan yhtälöstä 8. (SFS 3389)

$$\cos \alpha_w = \frac{a \times \cos \alpha}{a_w} \quad (8)$$

Profiilinsiirtokertoimien x_1 ja x_2 summa lasketaan yhtälöstä 9. (SFS 3389)

$$x_1 + x_2 = \frac{z_1 + z_2}{2 \times \tan(\alpha)} \times (\operatorname{inv}(\alpha_w) - \operatorname{inv}(\alpha)) \quad (9)$$

Solmintalaitteen pyöräjän hammaspyörän suunnittelua vaikeuttaa kolo, joka on oltava langan ulospääsyn mahdollistamiseksi. Ensiöpyörä saattaa pyöriä tyhjää kolon kohdalla tai rikkoa hampaita. Ongelman välttämiseksi hammaspyöräparin väliin voidaan laittaa kaksi välipyörää, jolloin toinen välipyörästä on aina yhtenäisen hammastuksen kohdalla. Liitteessä 2 on laskettu solmintalaitteen hammaspyörien mittasuureet siten, että ensiöpyörän ja pyöräjän välissä on kaksi välipyörää. Kyseessä on alennusvaihte, jonka välityssuhteeksi i valittiin 4. Kuva 7 selkeyttää solmintalaitteeseen suunniteltua vaihteistoa.

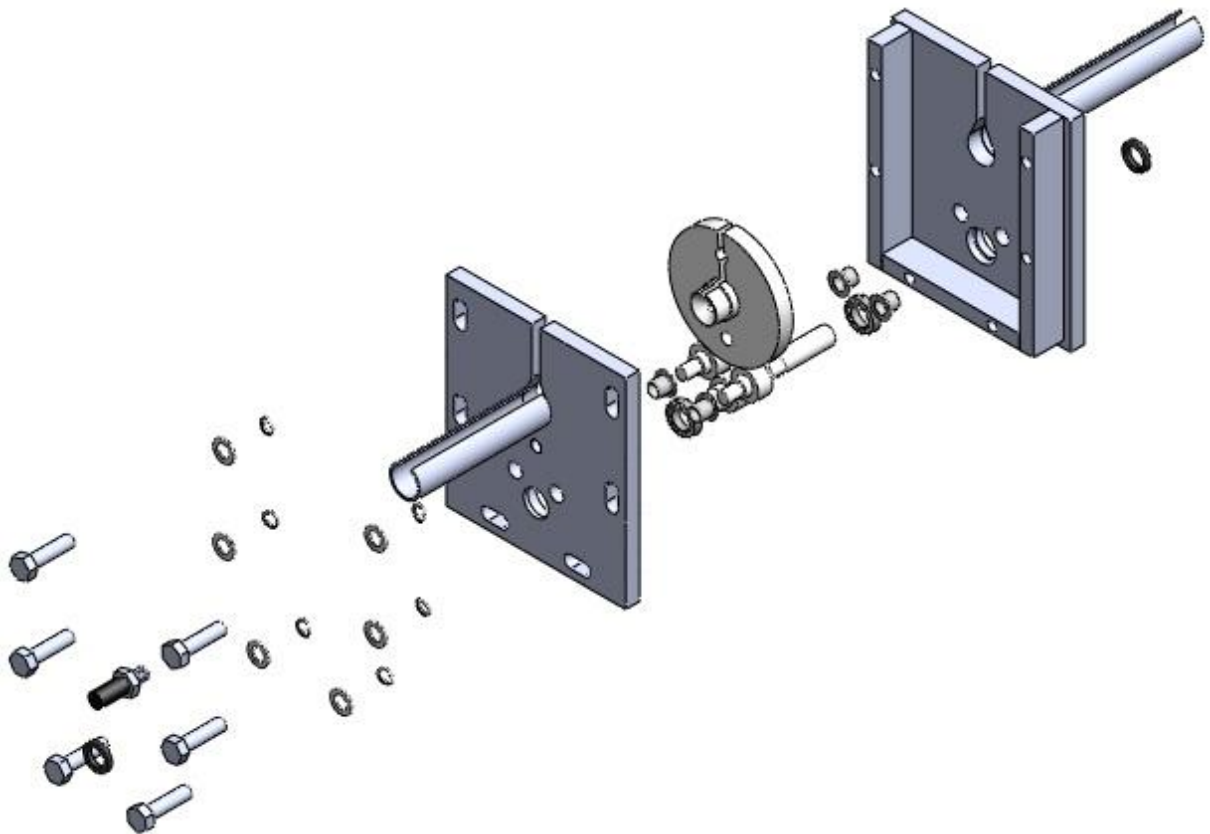


Kuva 7. Solmintalaitteen vaihteiston periaatekuva

Koska välipyörien akselit ja ensiöpyörän akseli ovat lähellä toisiaan, on välipyörien tuenta toteutettava liukulaakeroinnilla vierintälaakeroinnin sijaan. Ensiöpyörän akseli tuetaan vierintälaakerein koska siihen kohdistuu suuremmat voimat kuin välipyöriin. Pyörrijän tuennan toteuttamista vaikeuttaa akselissa oleva lankojen ulospääsyn mahdollistava kolo. Pyörrijän tuennan toteuttaminen vierintälaakeroinnilla on lähes mahdotonta. Erilliseen liukulaakeriin taas olisi tehtävä saman levyinen kolo kuin pyörrijässä ja jos laakeri pääsisi liikahtamaan, voisi se estää lankojen poispääsyn. Pyörrijän laakerointi päätettiin toteuttaa liukulaakeroinnilla siten, että pyörrijän akselin ja tuennan pinnat kiillotetaan. Eli erillisiä laakereita ei laiteta laisinkaan.

Vaihteiston runko suunniteltiin 10mm paksusta teräslevystä. Rungon toiseen puoliskoon hitsataan teräslevystä sivut, joihin tehdään pulttikiinnitystä varten kierteet. Puolisko jossa on hitsatut sivut, hitsataan edelleen solmintalaitteen runkoon. Molempiin puoliskoihin hitsataan langanohjaus putket, työstetään laakeripesät ja langan ulospääsykolot. Pulteilla kiinnitettävään rungonpuoliskoon työstetään myös pulttien reiät, sekä induktioanturin kiinnitys. Kuvassa 8 on 3D mallinnettu räjäytyskuva solmintalaitteen vaihteistosta.

Pyörijän on pysähdyttävä solminnan jälkeen oikeaan kohtaan siten, että langat pääsevät koloa pitkin ylöspäin ja ulos solmintalaitteesta. Pyörijään suunniteltiin kaksi reikää, joiden avulla induktioanturi tunnistaa koska pyörijä on halutussa pysäytyskohdassa.

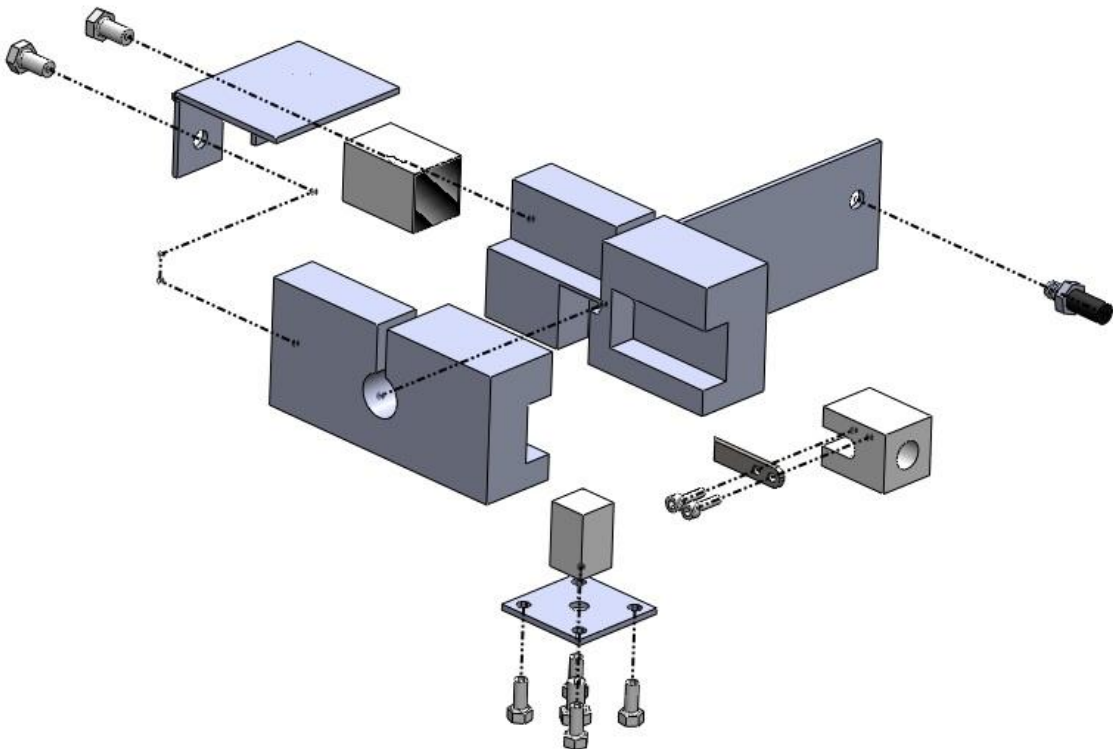


Kuva 8. Solmintalaitteen vaihteiston 3D räjäytyskuva

Solmintalaitteen tulopuolen kiinniottoyksikkö suorittaa langan kiinnipidon kiristys- ja solmintavaiheessa, sekä langan katkaisun solminnan jälkeen. Langan katkaisu ja kiinnipito päätettiin toteuttaa kahdella eri hydraulisylinterillä, jotta toiminnot toteutuisivat mahdollisimman varmasti ja mekanismi pysyisi yksinkertaisena. Syötettävän langan ja tukkinipun kiertäneen langan on kuljettava eri reittejä kiinniottoyksikön sisällä, koska lanka on katkaistava vain syöttöpäästä ja ainoastaan nipun kiertänyttä lankaa on pidettävä kiinni. Syötettävän langan reitti voi olla umpinainen kiinniottoyksikölle asti, koska sitä ennen langan ei tarvitse päästä ulos. Tukkinipun kiertäneen langan reitti taas täytyy olla avoin, jotta sidottu lanka pääsee nousemaan laitteesta pois. Kiinniottoyksikön jälkeen langoilla on sama kulkureitti.

Leikkuumeکانismissa on kaksi irrotettavaa terää, joista toinen kiinnitetään liikutettavaan leikkuukaraan ja toinen vastinteräksi rungon pohjaan suojaamaan runkorakennetta kulumiselta. Vastinterä on suorakaiteen muotoinen siten, että sitä voidaan kääntää kulutuksen mukaan, kuten suuntaisleikkurissa. Lanka leikataan työntämällä leikkuukaraan kiinnitettyä terää hydraulisyylinterillä. Langan kiinnipito tapahtuu hydraulisyylinterillä liikutettavalla kiinniottokaralla, jonka päädyssä on hammastus. Kiinniottokaran päälle kiinnitetään pulteilla ohutlevy, joka toimii suojana ja liikkeen takarajana.

Runko koostuu kahdesta työstetystä teräskappaleesta, jotka on hitsattu toisiinsa kiinni. Runkoon on myös hitsattu laippa induktioanturille, joka havaitsee koska lanka on kiertänyt tukkinipun ympäri. Kuvassa 9 on 3D mallinnettu räjäytyskuva tulopuolen kiinniottoyksiköstä.

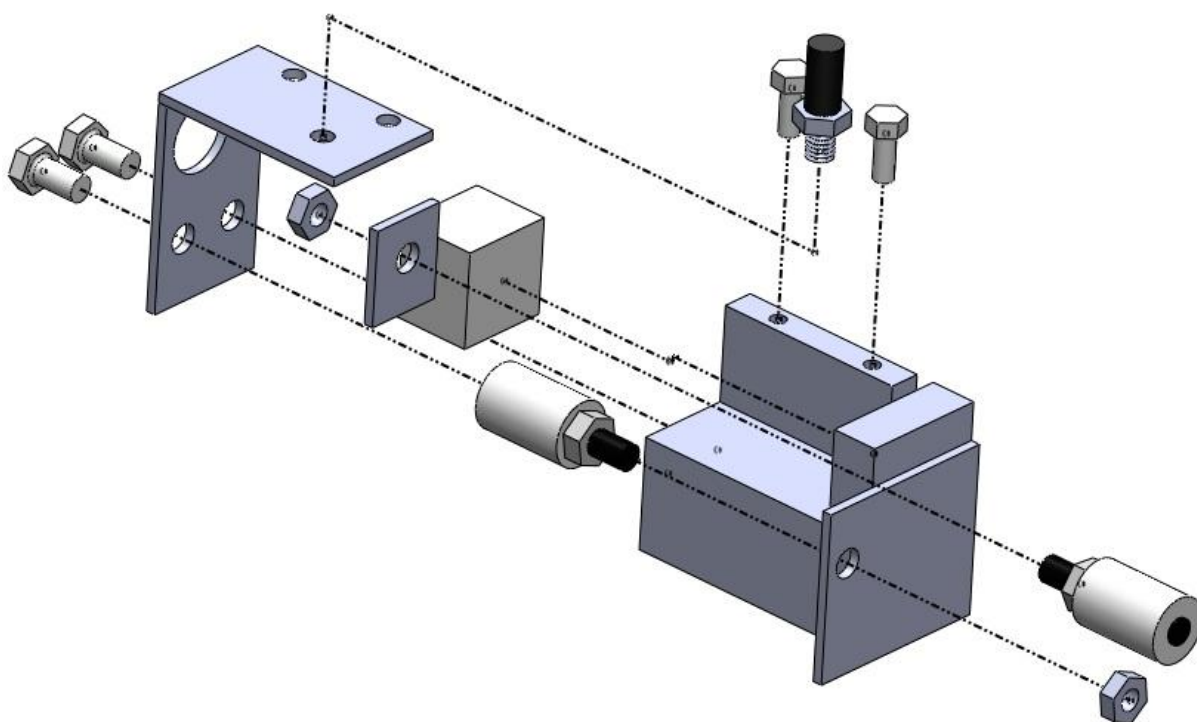


Kuva 9. Solmintalaitteen tulopuolen kiinniottoyksikön 3D-räjäytyskuva.

Lähtöpuolen kiinniottoyksikön tehtävänä on estää lankoja nousemasta pois solmintalaitteesta kiristysvaiheessa, pitää langoista kiinni solminta vaiheessa, sekä ohjata langat tukkinippua kiertävään lankakouruun. Toimintoihin käytetään yhtä hydraulisyylinteriä siten, että liikkeessä

on kolme vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa karaa liikutetaan pysäytyskohtaan, jossa karassa kiinni oleva langanohjauksella sulkee lankojen ylösnousureitin. Pysäytyskohta tunnustetaan runkoon kiinnitetyn induktioanturin avulla. Toisessa vaiheessa karalla puristetaan langat kiinni runkoon. Kolmas vaihe vapauttaa langat, kun kara liikkuu takaisin takarajaan. Lähtöpuolen kiinniottoyksikön karan pinta on sileä, jotta langoilla on mahdollisuus liikkua hieman solminnan aikana.

Langan ohjaus toteutetaan langanohjauksurullilla. Kaksi rullista on vierekkäin pystyssä kiinniottoyksikön edessä, ohjaten langat sivusuunnassa kiinniottoyksikön rakoon. Kiinniottoyksikön ulostulossa on kaksi ohjauksurullaa päällekkäin vaakatasossa ohjaamassa lankoja pystysuunnassa nippua kiertävään lankakouruun. Päällimmäinen rulla on kiinni karassa, jolloin lankojen vapautus ylöspäin onnistuu.

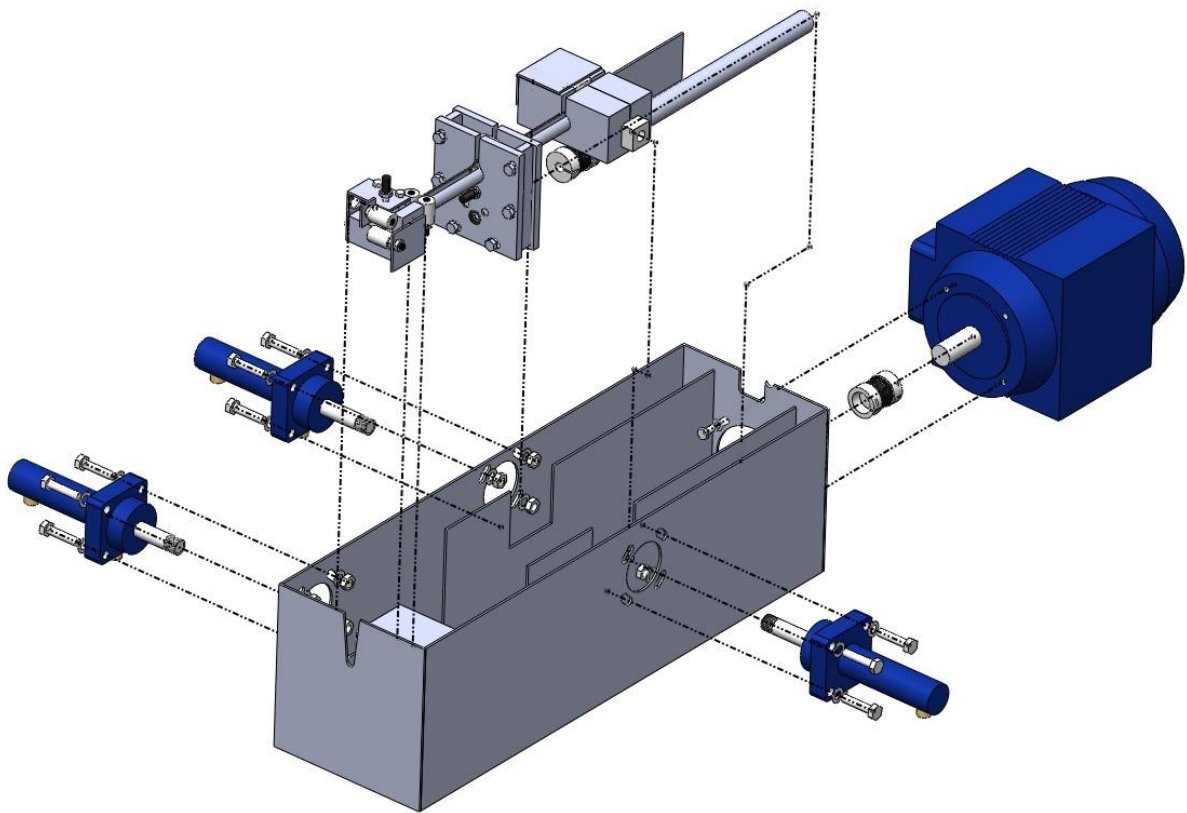


Kuva 10. Solmintalaitteen lähtöpuolen kiinniottoyksikön 3D räjäytyskuva

Solmintalaitteen runko, johon toimilaitteet ja mekanismit tuetaan, suunniteltiin ohutlevystä. Runkoon kiinnitettäviä komponentteja olivat sähkömoottori, kolme hydraulisylineriä, tulo- ja lähtöpuolen kiinniottoyksiköt, sekä vaihteisto. Toimilaitteiden kiinnitystavaksi valittiin laippa-

kiinnitys. Moottoriksi valittiin vakiomoottori M3AA 100 LC, jonka kiinnitystapa on pieni laippa IM B14. Toimilaitteiden valinnasta lisää liitteessä 2.

Vaihteiston toinen runkoposki, sekä kiinnittoyksiköiden rungot, kiinnitetään solmintalaitteen runkoon hitsaamalla. Rungon suunnittelussa pyrittiin jättämään riittävästi tilaa asennusvaiheelle. Kuvassa 11 on esitetty 3D räjäytyskuva solmintalaitteesta. Kuvassa 11 on selkeyden vuoksi pidetty edellä esitetyt komponentit koottuina.



Kuva 11. Solmintalaitteen osittain kokoonpantu 3D räjäytyskuva

4.4 Langan ohjaukourun kehittäminen

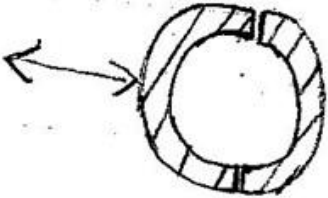
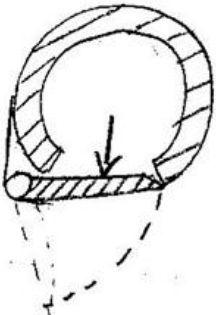
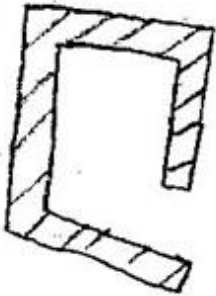
Langan ohjaukourun tarkoitus on ohjata lanka tukkinipun ympäri solmintalaitteeseen mahdollisimman varmasti. Langan ohjaukourun kehittämisessä huomioitiin ainakin seuraavia asioita:

- Langan katkaisukohtaan asti ohjaus voi olla umpinaista, mutta siitä eteenpäin langan on päästävä kourusta tukkinipun ympärille

- Lankaa on pystyttävä ohjaamaan tarkasti solmintalaitteen ympäristössä
- Ohjauskourun on liikuttava tukkinipun tieltä pois (keveys)
- Riittävästi tilaa ohjauskourun ja tukkinipun välissä

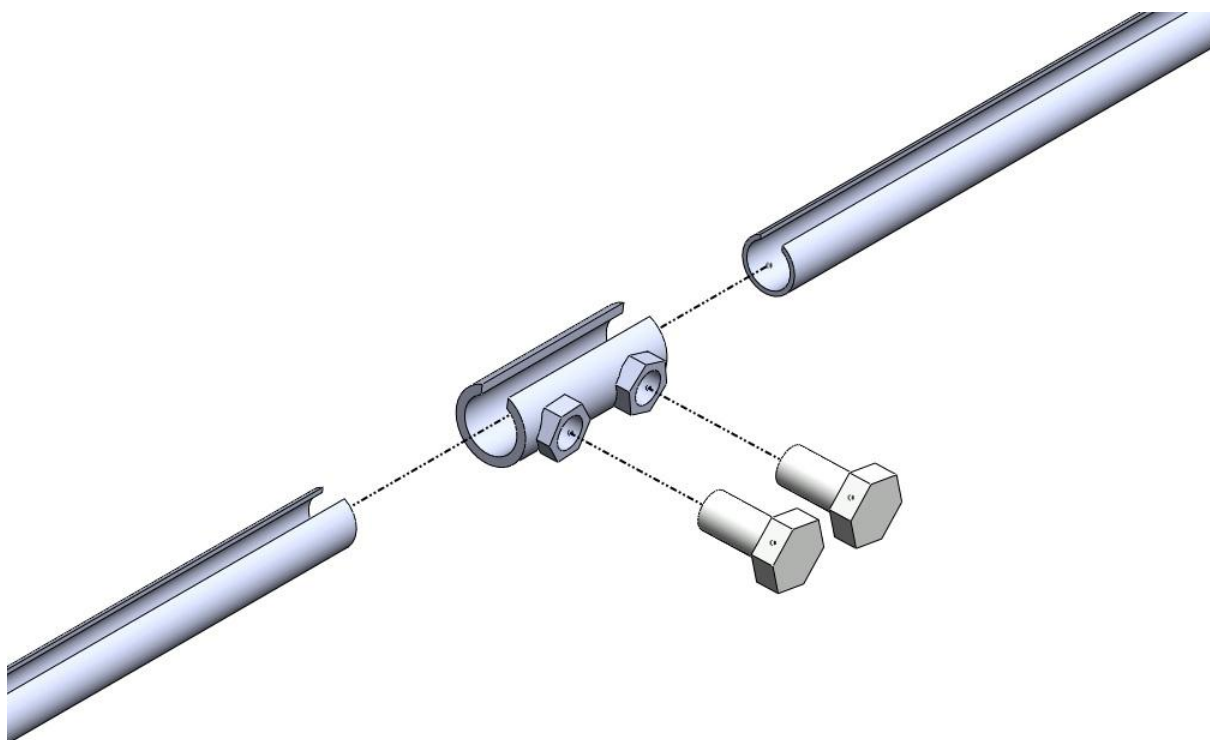
Taulukossa 9 vertailtiin kolmea eri langan ohjauskourun poikkipintavaihtoehtoa, joilla voidaan toteuttaa langan ohjaus siten, että lanka pääsee kourusta ulos lankaa kiristettäessä. Taulukon 9 vertailun perusteella valittiin vaihtoehto 2 kehitettäväksi lankakouruksi.

Taulukko 9. Langan ohjauskourun ratkaisuvaihtoehtojen vertailu

Nro.	Ohjauskourun tyyppi	Arvostelu
1	<p>Kouru koostuu kahdesta osasta, jotka avataan toimilaitteen avulla lankaa kiristettäessä</p> 	<p>+ Lanka pysyy varmasti kourun sisässä ennen kiristystä + Lanka pääsee helposti ulos kiristettäessä</p> <p>- Vaatii toimilaitteita, käyttövoimaa ja automaatiota</p>
2	<p>Kourun tukkinipunpuoleisessa sivussa on langan halkaisijaa leveämpi rako. Rako on suljettu jousella tuetulla luukulla, joka aukeaa lankaa kiristettäessä</p> 	<p>+ Lanka pysyy varmasti kourun sisässä ennen kiristystä + Langan ulosmenoreitti samassa suunnassa mihin lanka pyrkii kiristysvaiheessa</p> <p>- Vaikea valmistaa - Paljon osia</p>
3	<p>Kouru on muotoiltu siten, että lanka suistuu kourusta pois lankaa kiristettäessä</p> 	<p>+ Yksinkertainen</p> <p>- Lanka saattaa kulkeutua kourusta pois ennen solmintalaitetta - Langan poispääsy kiristysvaiheessa epävarma - Langan ohjaus solmintalaitteen ympäristössä toteutettava erikseen - Vaikea valmistaa</p>

Langan ohjaus solmintalaitteen ja langan syötön välillä toteutettiin umpinaisella teräsputkella, jonka sisähalkaisija on 6mm ja ulkohalkaisija 8mm. Putkeen suunniteltiin taivutukset siten, että se ohittaa solmintalaitteen moottorin ja tukirakenteet. Putki kiinnitetään solmintalaitteen tulopuolen kiinniottoon ja langansyötön runkoon upottamalla. Putki tuetaan vielä pienellä hitsisaumalla solmintalaitteen moottorin puoleiseen pätyyn.

Tukkinippua kiertävä lankakouru suunniteltiin teräsputkesta, jonka sisähalkaisija on 10mm ja ulkohalkaisija 12mm. Langan ulospääsyn mahdollistamiseksi, suunniteltiin putkeen 5mm leveä rako. Koska lanka kiertää tukkinipun ja kulkee toisen kerran solmintalaitteen läpi, on raon oltava välittömästi solmintalaitteen jälkeen tarpeeksi leveä kahden langan samanaikaiseen poispääsyyn. Raon leveydeksi suunniteltiin 8mm solmintalaitteen jälkeiselle 500mm:n matkalle. Lankakouru suunniteltiin neljään osaan siten, että kaksi kouruista ovat identtisiä. Kourujen liittämiseksi suunniteltiin liitospalat putkesta, jonka ulkohalkaisija on 15mm ja sisähalkaisija 12mm. Kuvassa 12 on selventävä 3D räjäytyskuva lankakourujen liitoksesta. Lankakourussa on yhteensä kolme liitoskohtaa.



Kuva 12. Lankakourujen liitoksen 3D räjäytyskuva

Liitospalaan suunniteltiin 8mm leveä rako, josta lanka pääsee ulos. Liitosputkeen suunniteltiin hitsattavaksi ulokkeet, joissa on M8 kierteet. Lankakourut suunniteltiin kiinnitettäväksi liitospalaan pulteilla. Jotta lanka ei kulkeutuisi kourusta ulos lankaa syötettäessä, suunniteltiin lankakourulle kierrejousin tuettuja kansia. Kansia on tärkeää asentaa ainakin kourun kaareviin kohtiin, sekä kourun yläosaan. Kuvassa 13 on esitetty lankakourun kannen 3D mallinnus, jossa punainen osa kuvaa kantta ja sininen osa lankakourua.

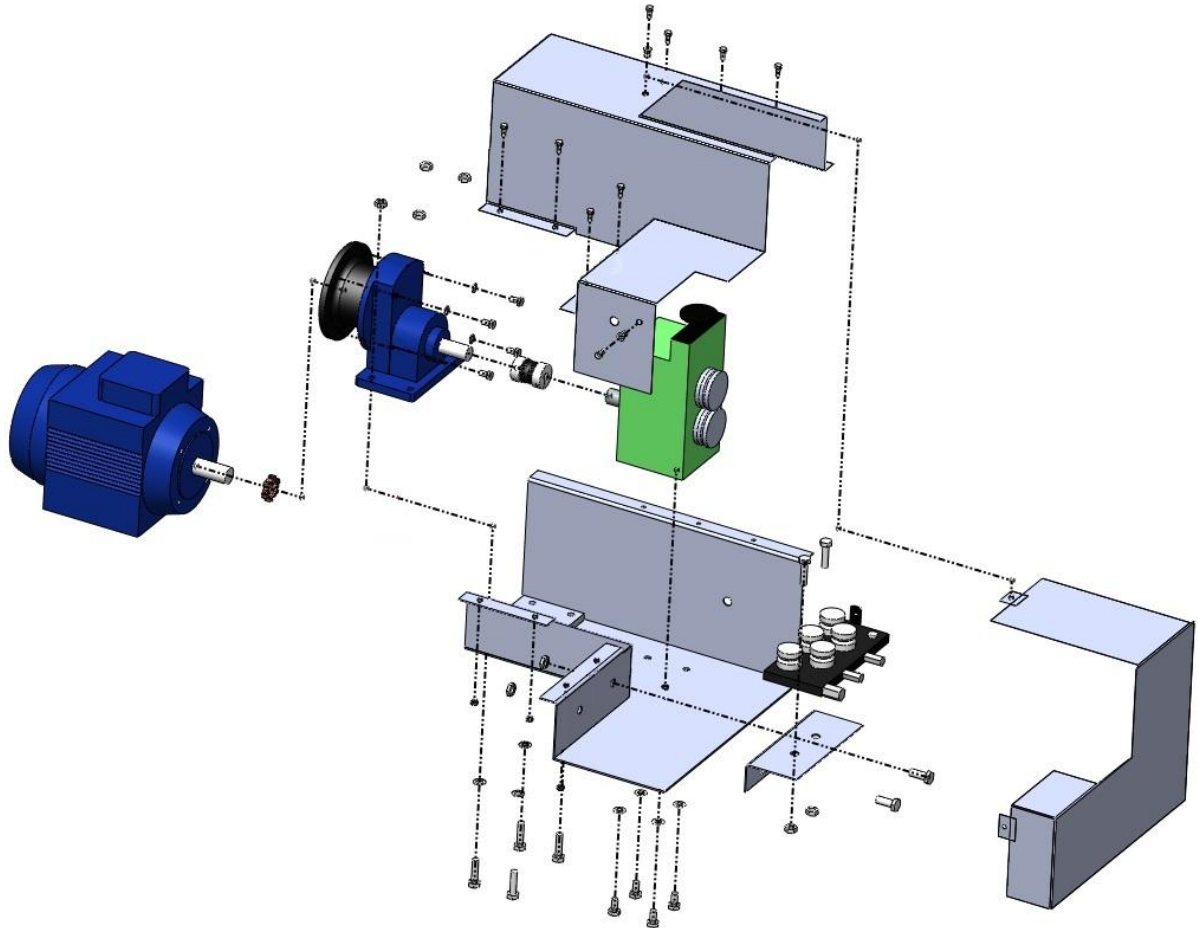


Kuva 13. Lankakourun kierrejousitettu kansi.

4.5 Langansyöttölaitteiston kehittäminen

Langansyöttölaitteiston tarkoituksena on työntää lanka tukkinipun ympäri, sekä kiristää lanka tukkinipun ympärille. Langan syötössä suunniteltiin käytettäväksi samanlaista moottoria, kuin solmintalaitteessa. Langansyöttäjäksi valittiin Cometo s.n.c:n malli AL6-1P-V. Jotta lanka kulkisi solmintalaitteessa ja lankakourussa sujuvasti, päätettiin langansyöttölaitteistoon lisätä langan suoristusrullat. Suoristusrulliksi valittiin Cometo s.n.c:n malli ASF-D-40. Jotta lankaa pystyttäisiin syöttämään halutulla nopeudella ja moottori pyörisi suositellulla pyörimisnopeudella, oli laitteistoon lisättävä vaihteisto. Tarvittavaksi vaihteiston välityssuhteeksi i saatiin laskemalla noin 9,82. Välityssuhteen laskut ovat liitteessä 2. Vaihteiston välityssuhteeksi voidaan valita kuitenkin hieman pienempi arvo, koska langan syöttönopeutta halutaan luultavasti kasvattaa myöhemmässä vaiheessa. Suunnitellussa kokoonpanossa langan suoristusrullia pystytään säätämään ylös, alas ja sivuille. Kuvassa 14 on 3D mallinnus langansyöttölaitteis-

ton räjäytyksestä, johon on mallinnettu komponentit, niiden oikeilla mitoilla. (Cometo s.n.c, 2010)



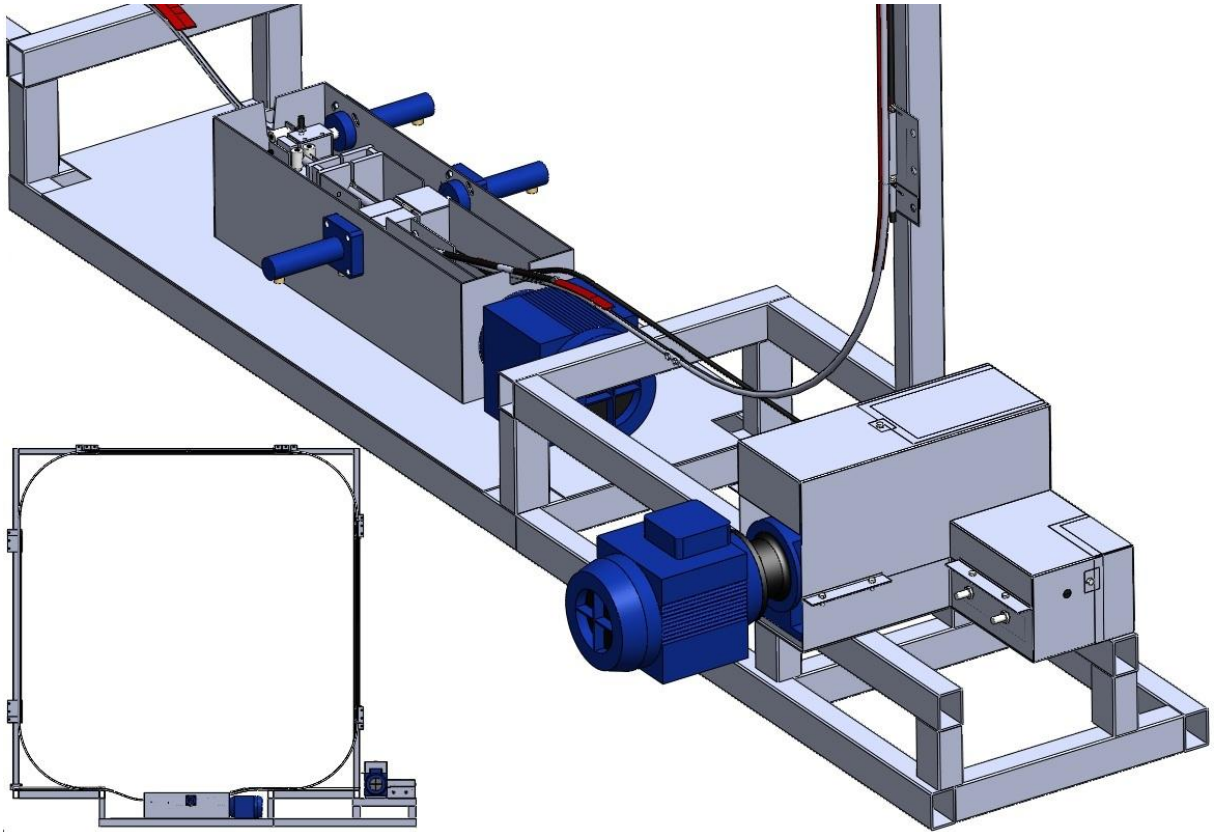
Kuva 14. Langansyöttölaitteiston 3D räjäytyskuva

Vaihteistoksi valittiin Kentso Oy:n H-lieriöhammasvaihteet sarjasta vaihteisto H-051M ja vaihteiston kiinnitystavaksi B3. Langansyöttölaitteiston runko suunniteltiin ohutlevystä ja siihen suunniteltiin pikakiinnityksellä asennettava luukku, josta langan vaihto voidaan suorittaa. Vaihteiston kiinnityskohtaan suunniteltiin 12mm paksu vahvike, joka samalla nostaa vaihteiston samalle korkeudelle kuin langansyöttäjä. (Kentso Oy, 2009)

4.6 Langan hallintalaitteiston kokoonpano

Langansyöttölaitteistosta, langansolminnasta ja lankakourusta muodostettiin kokoonpano teräspalkkirakenteen avulla. Laitteiston on tarkoitus liikkua kiskojen päällä, mahdollistaen tukkinippujen asettamisen ja pois nostamisen. Laitteiston liikkeeseen tarvittavat rakenteet ja

komponentit on suunniteltu tarkemmin osana projektiin liittyvää Diplomityötä. Kuvassa 15 on Langan hallintalaitteiston 3D mallinnuksesta lähikuva sekä kokonaiskuva, mutta runkorakenne on vain suurpiirteinen. Solmintalaitteen päälle kuuluu myös sadesuoja, mutta se jätettiin piirustuksesta pois selkeyden vuoksi.



Kuva 15. Langan hallintalaitteiston kokoonpanon 3D mallinnus

Tukkinippujen sidontalaitteeseen tulee kaksi kuvan 15 langan hallintalaitteistoa, yksi molempiin päihin. Molempia laitteistoja liikutellaan yhdellä yhteisellä sähkömoottorilla ketjuvälityksen avulla. Yhdeltä laitteelta kuluu yhden sidoksen tekoon arviolta noin 30s.

5 TULOSTEN ANALYSOINTI JA YHTEENVETO

Tukkinippujen sidonta uittoa varten suoritetaan nykyään käsin, puutavara-auton kuljettajan toimesta. Sidoksia tehdään yhden uittokauden aikana noin 170 000 kappaletta. Työn epämiellyttävyydestä johtuen ja sidoksen toimivuuden parantamiseksi haluttiin tutkia sitomisen koneellistamismahdollisuuksia. Tässä työssä suunniteltiin tukkinippujen sidontalaitteen langan hallintalaitteisto, sekä valittiin koneelliseen sidontaan sopiva teräslanka. Langan valintaan käytettiin materiaalin valintamenetelmiä ja langan hallintalaitteen suunnitteluun järjestelmällistä tuotekehitysmenetelmää. Ideointiin käytettiin aivoriihimenetelmää sovelletusti siten, että osallistujat eivät kokoontuneet, vaan ideat lähetettiin kirjeitse. Konstruktion kehittämisessä käytettiin apuna SolidWorks 3D-mallinnusohjelmaa.

Sitomiseen valittiin Packwire AB:n teräslanka, joka on tarkoitettu käytettäväksi paalauskooneissa. Paalauskooneet toimivat lähes samoin kuin työssä suunniteltu langan hallintalaitteisto. Valitun teräslangan paksuus on 3mm, joka on ohuempi kuin tukkinippujen sitomiseen nykyään käytetty 5,5mm paksu FNsteel Oy Ab:n pehmeäksihehkutettu teräslanka. Valitun teräslangan murtolujuus on kuitenkin 1075 MPa, joka on suurempi kuin nykyään käytetty 535 MPa. Tukkinipun muoto sidontalaitteessa sidonnan aikana on parempi, kuin nykyään puutavara-auton perävaunussa, joka myös helpottaa teräslankaan kohdistuvia rasituksia. Edellä mainituista asioista johtuen on vaikeaa arvioida valitun teräslangan kestävyyttä teoreettisin menetelmin. Sidoksien määrää voidaan kuitenkin muuttaa prototyypin testauksen yhteydessä.

Tukkinippujen sidontalaitteen langan hallintalaitteisto on pääpiirteiltään samanlainen kuin esimerkiksi sellupaalien paalauskoone. Ympäristö ja tuotteen erilaisuus muokkasivat kuitenkin sitomiskonstruktioita. Sitomiskonstruktioita suunniteltiin pitäen toimintavarmuutta pääkriteerinä, jonka takia esimerkiksi valmistusystävällisyyteen jäi paranneltavaa. Osien kokoonpano ja irrotettavuus pyrittiin ottamaan huomioon suunnittelussa. Työn tuloksena olivat konstruktion yksityiskohtaiset 3D-mallit, räjäytyskuvat, valmistuspiirustukset ja osaluettelot, jotka lähetettiin työn toimeksiantajalle.

LÄHTEET

Airila, M. & Ekman, K. & Hautala, P. & Kivioja, S. & Kleimola, M. & Martikka, H. & Miettinen, J. & Niemi, E. & Ranta, A. & Rinkinen, J. & Salonen, P. & Verho, A. & Vilenius, M. & Välimaa, V. 1995. Koneenosien suunnittelu. WSOY:n graafiset laitokset, Juva. 796 s. ISBN 951-0-20172-3

Anordica AB. Tuote luettelo - Severstal-metiz. [Anordica AB www-sivuilla] Päivitetty 25.10.2012. [Viitattu 29.10.2012]. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.anordica.se/all_downloads/severstal-metiz_catalogue_low.pdf

Blom, S. & Lahtinen, P. & Nuutio, E. & Pekkola, K. & Pyy, S. & Rautiainen, H. & Sampo, A. & Seppänen, P. & Suosara, E. 1995. Koneenelimet ja mekanismit. Painatuskeskus Oy, Helsinki. 336 s. ISBN 951-719-157-x

Budynas, R. & Nisbett, K. 2008. Shigley's Mechanical Engineering Design. 8.painos. McGraw-Hill Companies, Inc. New York. 1055 s. ISBN 978-007-125763-3

Cometo S.n.c. Tuoteluettelo – Cometo. [Cometo S.n.c www-sivuilla] Päivitetty 21.4.2010. [Viitattu 1.11.2012]. Saatavissa: <http://www.cometo.eu/Cometo-Uk/cometo-uk.htm>

Dieter, G, E. 1991. Engineering Design. McGraw-Hill Book Company, New York. 721 s. ISBN 0-7-100829-2

Fasten group. Materiaalitalukko - Electrical galvanized low carbon steel wire for common use. [Fasten group www-sivuilla] Päivitetty 30.8.2010. [Viitattu 29.10.2012]. Saatavissa: <http://www.chinafasten.com/jtgs/en/p1-1-4.html>

Kariniemi, A & Korpilahti, A & Purhonen, I & Purhonen, M. Metsäteho Oy - Puuhuolto-opas - Uitto. Päivitetty 1.10.2010. [Viitattu 3.2.2012]. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/uitto_opas/start.html

Kauppi, M. & Saukkonen, P. Saimaan vesi- ja ympäristötutkimus Oy - Pien saimaan sinilevä ilmiö – Päivitetty 18.6.2009. [Viitattu 27.4.2012]. Saatavissa: https://syke.etapahtuma.fi/eTaika_Tiedostot/2/TapahtumanTiedostot/577/Pien_Saimaan_sinilev%E4ilmi%F6.pdf

Kentso Oy. Tuoteluettelo – H-lieriöhammasvaihteet. [Kentso Oy www-sivuilla] Päivitetty 27.4.2009. [Viitattu 1.11.2012]. Saatavissa: http://www.kentso.fi/luettelot/catalogo_h.pdf

Kleemola, H. 1977. Materiaalinsuunnittelu. 2.painos. Otapaino, Espoo. 232 s. ISBN 951-671-164-2

Koivisto, K. & Laitinen, E. & Niinimäki, M. & Tiainen, T. & Tiilikka, P. & Tuomikoski, J. 2004. Konekniikan materiaalioppi. 8.painos. Edita Prima Oy, Helsinki. 336 s. ISBN 951-37-2912-5

LongVision (ShangHai) Cable Materials Co., Ltd. Materiaalitaulukko - Galvanized Steel Wire. [LongVision www-sivuilla] Päivitetty 20.9.2010. [Viitattu 29.10.2012]. Saatavissa: <http://www.longvision.com.cn/pdf/2010920162552.pdf>

Miles, L, D. 1961. Techniques of Value Analysis and Engineering. McGraw-Hill Book Company, New York. 267 s. ISBN 0070419264

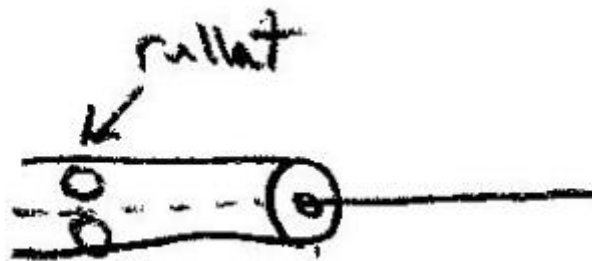
Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. 2.painos. WSOY:n graafiset laitokset, Porvoo 608 s. ISBN 951-817-468-7

SFS 3389 Hammaspyörät. Suorahampaiset lieriöhammaspyörät. Geometrinen arvojen laskenta. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 1975. 23 s.

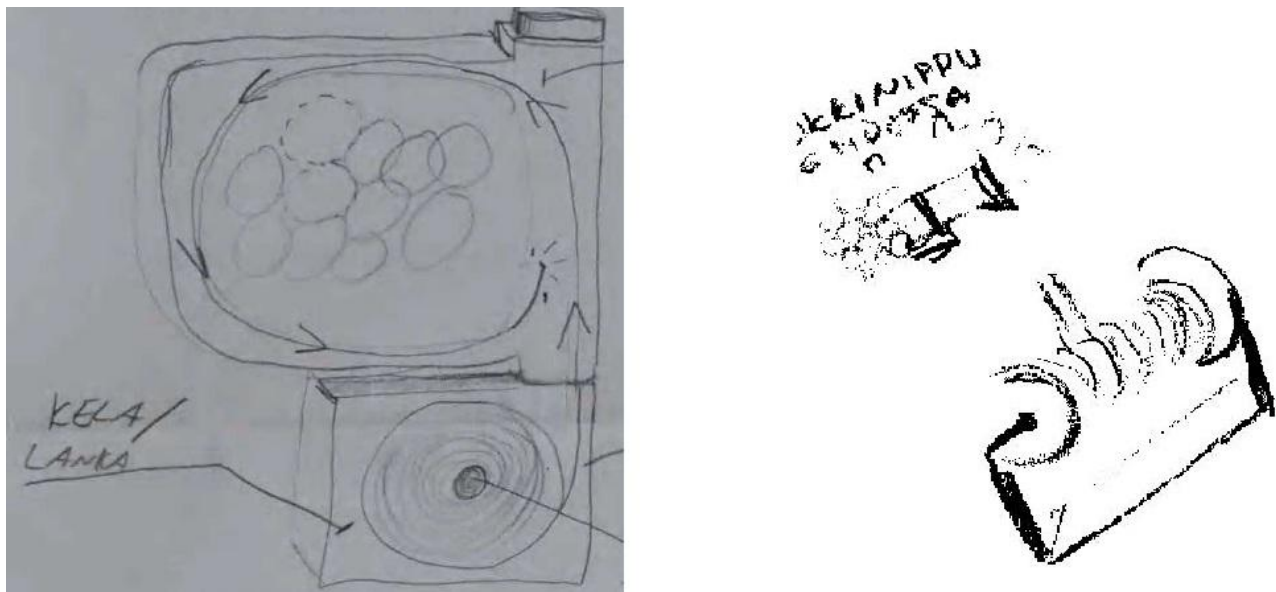
Waterman, N, A. 1974. Fulmer materials optimizer. Fulmer Research Institute, stokey poges. ISBN 0903656035

AIVORIIHEN TUOTTAMIA RATKAISUIDEITOITA

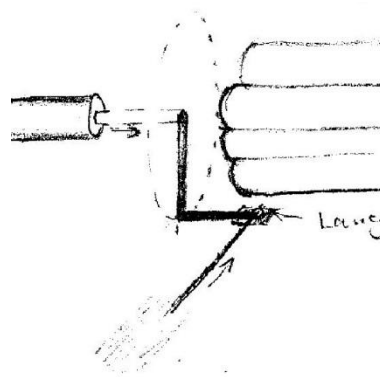
TOIMINTO1: LANGAN SYÖTTÖ



Kuva 1. Langan syöttö pyörivillä rullilla, kuten MIG-hitsauslaitteessa

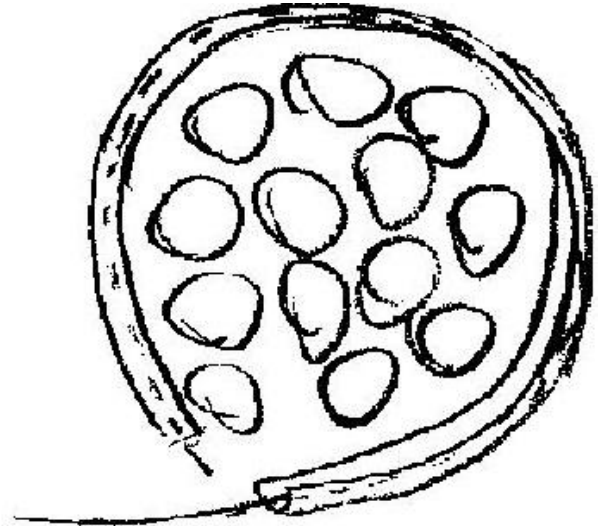
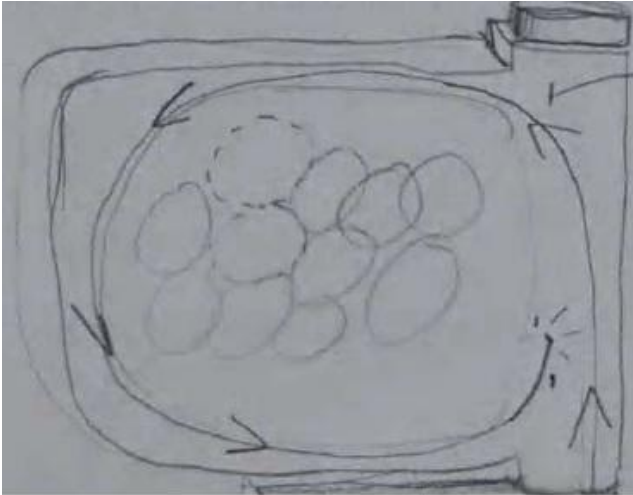


Kuva 2. Langan syöttö pyörittämällä lankakelaa

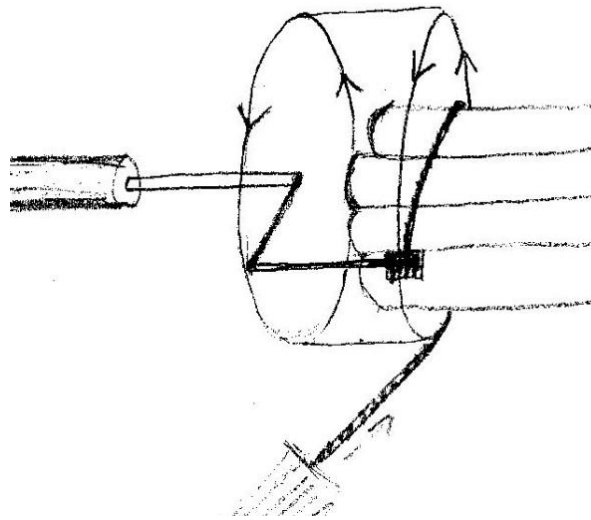


Kuva 3. Langan syöttö pyörivällä mekanismilla, kuten siiman kelaus kalastuksessa

TOIMINTO 2: LANGAN OHJAUS NIPUN YMPÄRI

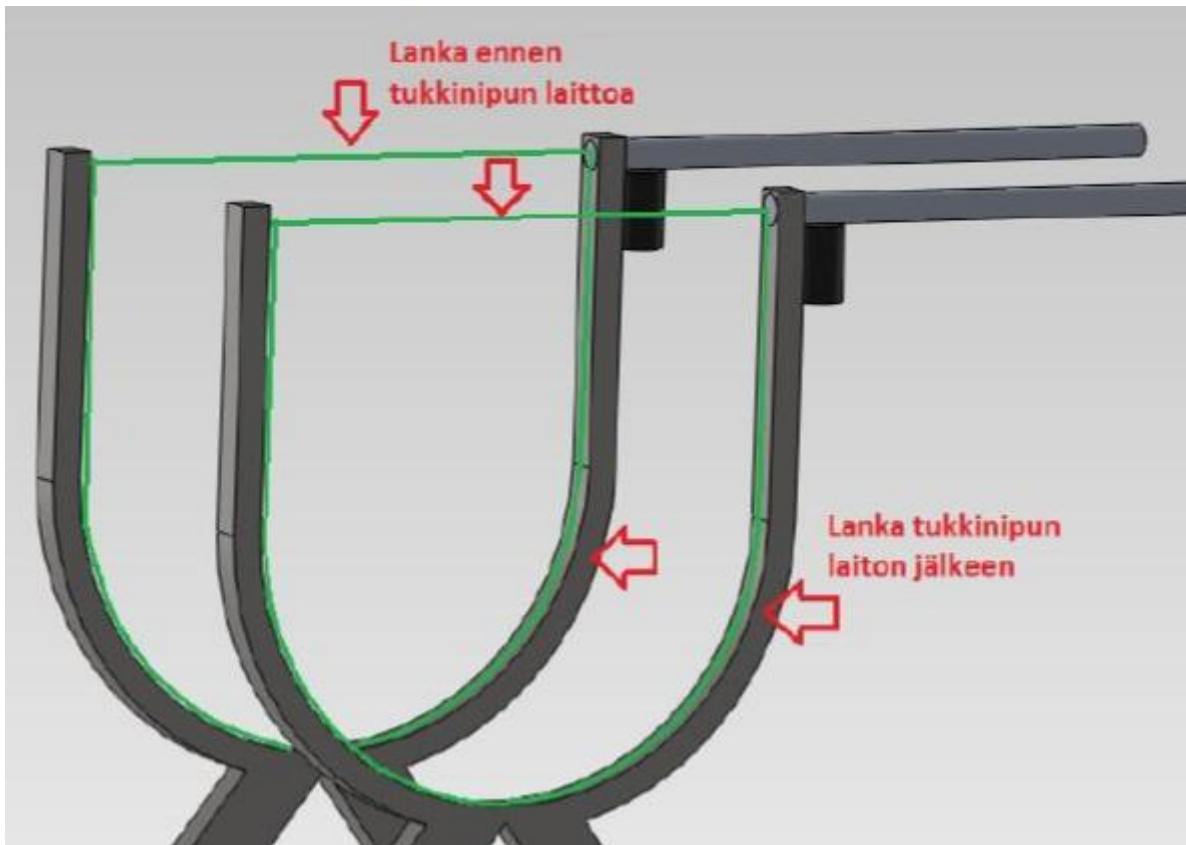


Kuva 4. Langan ohjaus lankakourun avulla

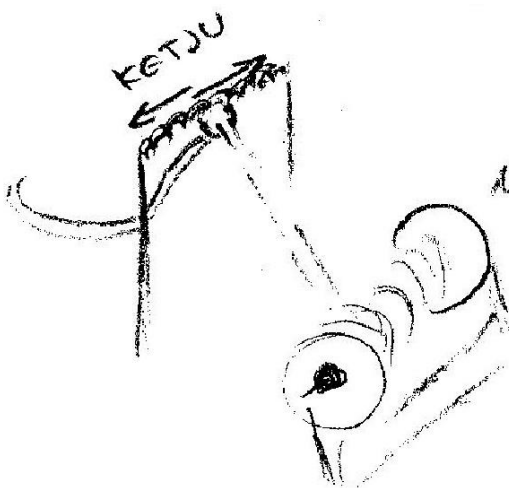


Kuva 5. Langan ohjaus nipun ympäri pyörivällä mekanismilla

Kuvassa 6 lanka ohjataan tukkinipun ympärille siten, että tukkinippu lasketaan pingotetun langan päälle. Kun tukkinippu on painanut langan alas, lanka työnnetään tukkinipun yläpuolelta takaisin alkupisteeseen.



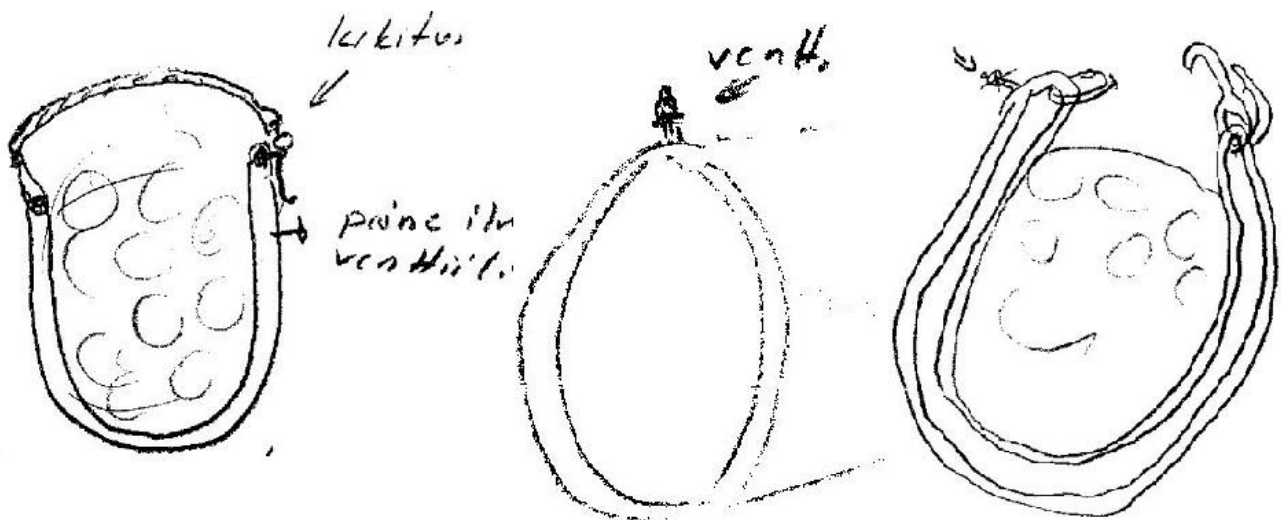
Kuva 6. Langan ohjaus tukkinipun ympäri lankaa pingottamalla



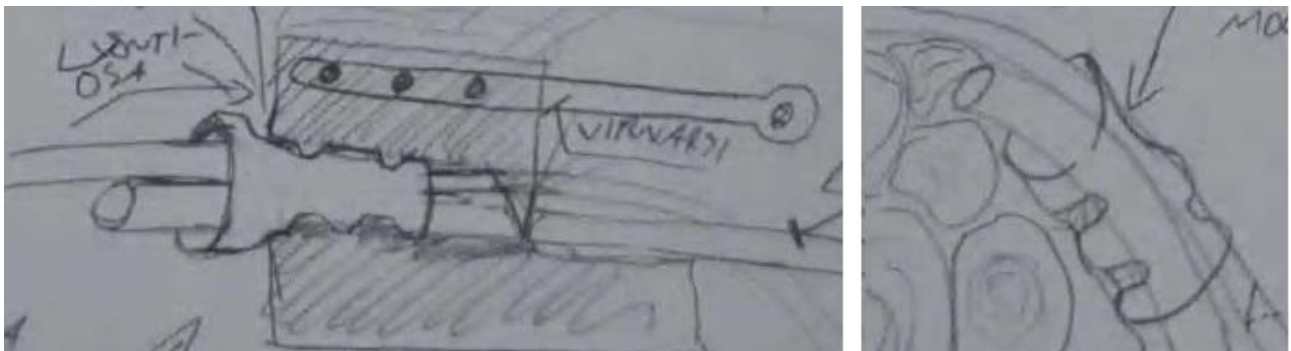
Kuva 7. Langan ohjaus ketjun avulla

TOIMINTO 3: LANGAN SOLMINTA

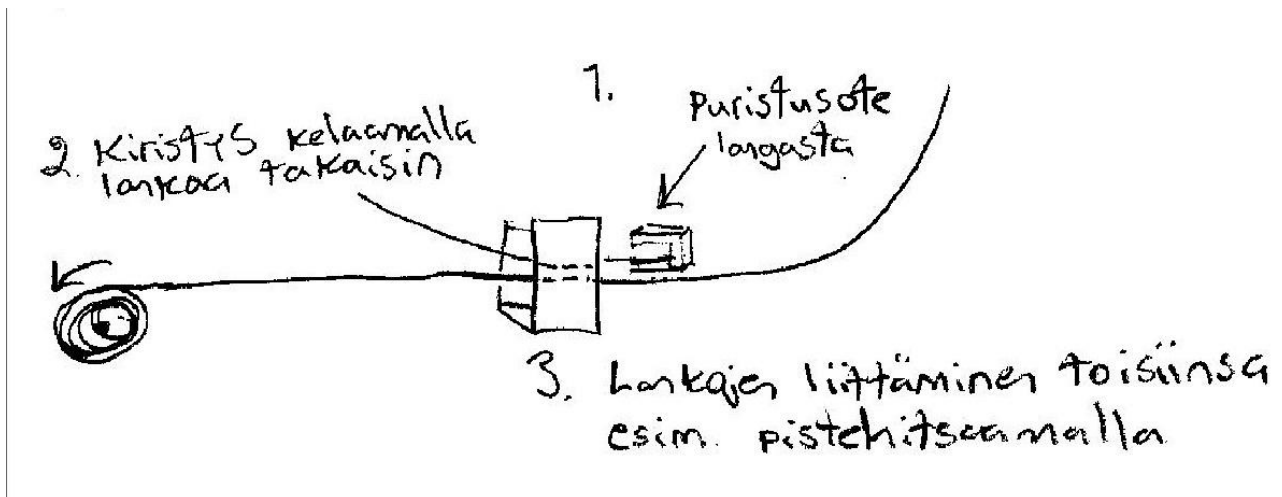
Kuvassa 8 tukkinippu sidotaan kumisella paineilmarenkaalla siten, että rengas viedään ensin tyhjänä tukkinipun ympärille ja sen jälkeen täytetään paineilmalla. Kuvassa 8 on esitetty kolme eri vaihtoehtoa käyttäen paineilmaa.



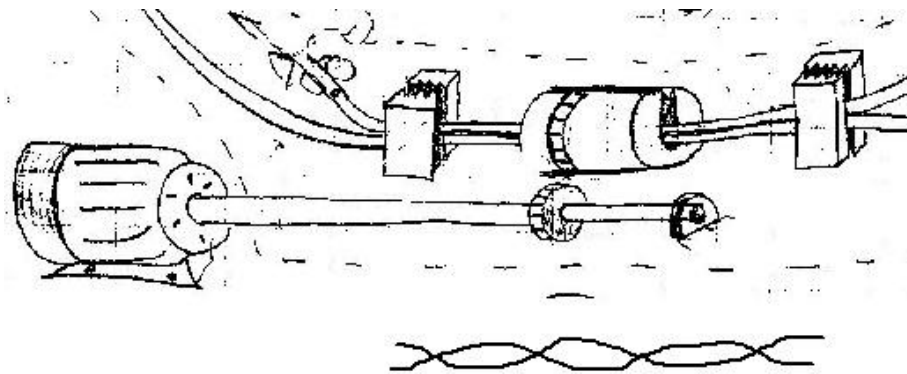
Kuva 8. Tukkinipun sidonta paineilmarenkaalla



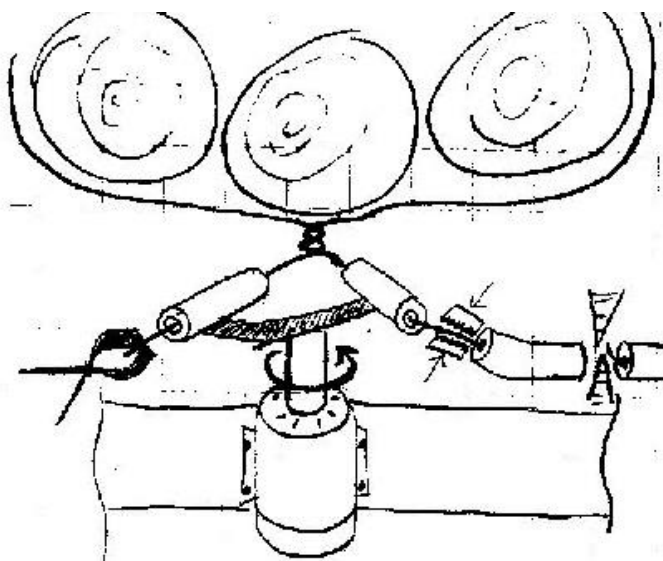
Kuva 9. Lankojen solminta puristusholkilla



Kuva 10. Lankojen solminta hitsaamalla



Kuva 11. Lankojen solminta pyörittämällä lankoja toistensa ympäri horisontaalisti



Kuva 12. Lankojen solminta pyörittämällä lankoja toistensa ympäri vertikaalisesti

LASKUT

LANKOJEN SOLMINTAAN TARVITTAVAN VÄÄNTÖMOMENTIN SELVITTÄMINEN

Valitaan materiaalin murtolujuus R_m 1075 N/mm² lankoihin vaikuttavaksi jännitykseksi, koska sitä suurempaa jännitystä langoissa ei voi vaikuttaa.

F = yhteen lankaan vaikuttava voima

$$\sigma = R_m = 1075 \text{ N/mm}^2$$

$r = 1.5\text{mm}$ = langan säde

T_3 = Pyöritykseen vaikuttava vääntömomentti

s = Voimaparin välinen etäisyys

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

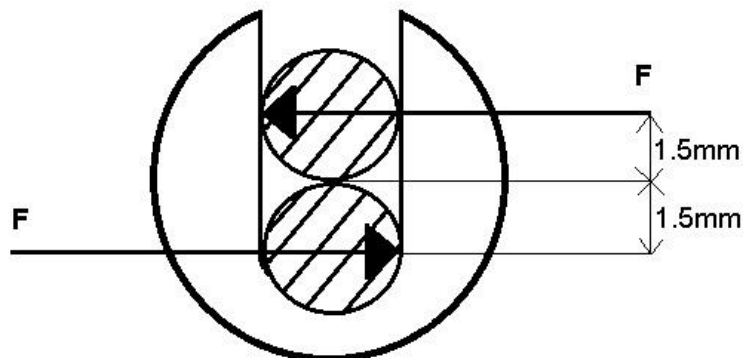
$$F = \sigma \times A$$

$$F = R_m \times \pi \times (r)^2$$

$$F = 1075 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times \pi \times (1.5\text{mm})^2 = 7598.7272\text{N}$$

$$T_3 = F \times s$$

$$T_3 = 7598.7272\text{N} \times 2 \times 1.5\text{mm} = 22796.1816\text{Nmm} = 22.7962\text{Nm}$$



HAMMASPYÖRIEN MITTASUUREIDEN SELVITTÄMINEN

$$i = 4$$

d_1 = Ensiöpyörän jakohalkaisija

$d_1 = d_2$ = Välipyörän jakohalkaisija

d_3 = Pyörijän jakohalkaisija = 80mm

a_1 = Ensiöpyörän ja välipyörien välinen akseliväli

a_2 = Välipyörien ja pyörijän välinen akseliväli

m = Moduuli

$z_1 = z_2$ Ensiöpyörän ja välipyörän hammasluku

z_3 = Pyörijän hammasluku

p = Hammasjako

$$i = \frac{d_3}{d_1}$$

$$d_1 = \frac{d_3}{i} = \frac{80\text{mm}}{4} = 20\text{mm}$$

$$m = \frac{d}{z}$$

valitaan z_1 ja $z_2 = 16$ jolloin,

$$m = \frac{20\text{mm}}{16} = 1.25\text{mm}$$

$m = 1.25\text{mm}$, kuuluu standardiin SFS 3093 sarjaan 1

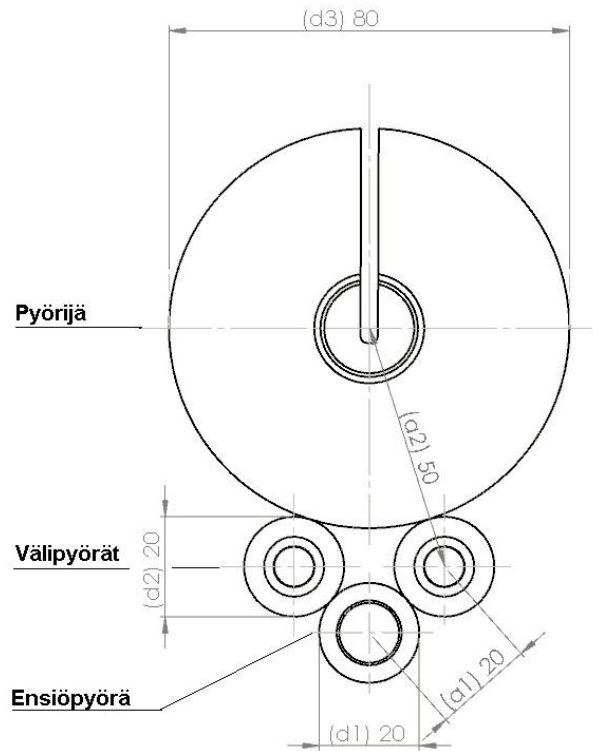
$$z_3 = \frac{d_3}{m} = \frac{80\text{mm}}{1.25\text{mm}} = 64$$

$$p = m \times \pi = 1.25\text{mm} \times \pi = 3.926991$$

$$a = \frac{m \times (z_a + z_b)}{2}$$

$$a_1 = \frac{m \times (z_1 + z_2)}{2} = \frac{1.25\text{mm} \times (16 + 16)}{2} = 20\text{mm}$$

$$a_2 = \frac{m \times (z_2 + z_3)}{2} = \frac{1.25\text{mm} \times (16 + 64)}{2} = 50\text{mm}$$



AKSELIEN LUJUUSLASKENTA

Ensiöpyörän akselin halkaisijan määrittäminen

T_1 = Ensiöpyörän akselilla siirrettävä vääntömomentti

J_1 = Ensiöpyörän akselin vääntöjäyhyys

τ_{\max} = Ensiöpyörän akseliin vaikuttava suurin jännitys

$r_{a, \min}$ = Ensiöpyörän akselin pienin sallittu säde

$r_{a, \max}$ = Ensiöpyörän akselin suurin sallittu säde, joka määräytyy jakohalkaisijasta

R_e = Akselin materiaalin myötölujuus = 355N/mm^2

γ = 1.5 = varmuusluku

$$T_1 = \frac{T_3}{i} = \frac{22796.1816\text{Nmm}}{4} = 5699.0454\text{Nmm}$$

$$J_1 = \frac{\pi \times r_a^4}{2}$$

$$\tau_{\max} = \frac{T_1 \times r_a}{J_1} = \frac{T_1 \times r_a \times 2}{\pi \times r_a^4} = \frac{T_1 \times 2}{\pi \times r_a^3}$$

Asetetaan

$$\tau_{\max} = \frac{R_e}{\gamma} = \frac{355}{1.5} = 236.6667 \text{ N/mm}^2$$

$$\rightarrow r_{a, \min} = \sqrt[3]{\frac{T_1 \times 2}{\pi \times \tau_{\max}}} = \sqrt[3]{\frac{5699.0454 \text{ Nmm} \times 2}{\pi \times 236.6667 \text{ N/mm}^2}} = 2.4842 \text{ mm}$$

$$d_1 \geq 1.5 d_{\text{akseli}} \quad (\text{Airila et al. 1995, s. 501.})$$

$$\rightarrow r_{a, \max} = \frac{d_1}{1.5 \times 2} = \frac{20}{3} = 6.6667 \text{ mm}$$

Ensiöakselin säteen on oltava välillä:

$$2.4842 \text{ mm} < r_a < 6.6667 \text{ mm}$$

LANGANSYÖTTÖLAITTEEN VAIHTEISTON VALINTA

ω_1 = moottorille suositeltu nopeus [r/s]

ω_2 = Langansyöttöpyörän nopeus [r/s]

v = haluttu langansyöttönopeus [mm/s]

D = Langansyöttöpyörän halkaisija [mm]

s = Matka jonka lanka liikkuu [mm]

r = kierrosten lukumäärä

Haluttu langansyöttö nopeus $v = 1000 \text{ mm/s}$.

Yksi pyörähdys työntää lankaa matkan s

$$s = 2 \times \pi \times \frac{D}{2} = 2 \times \pi \times \frac{65}{2} = 204.2 \text{ mm}$$

Jotta lanka työntyisi yhden metrin, on langansyöttöpyörän pyörittävä r kierrosta.

$$r = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{204.2} = 4.897 \text{ kierrosta}$$

Haluttuun syöttönopeuteen pääsemiseksi on langansyöttöpyörän pyörittävä nopeudella ω_2 .

$$\omega_2 = \frac{r}{1} = \frac{4.897}{1} = 4.897 \text{ kierrosta sekunnissa}$$

Jotta moottori pyörisi suositellulla nopeudella, on välityssuhteen oltava i .

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{48.2}{4.897} = 9.84$$

LANGAN VALINTATAULUKON PISTEIDEN LASKENTA

Taulukon pisteet on jaettu siten, että jokaisen kriteerin parhaalle arvolle annetaan 5 pistettä ja huonoimmalle arvolle 1 piste jne. Pisteet edelleen kerrotaan kriteerin painokertoimella ja lasketaan yhteen, jolloin saadaan kunkin langan arvo.

UITTOTUKKINIPUN SIDONTALANKOJEN VERTAILUTAULUKKO					
Painokertoimet W_i	5	2	1	1	
Lanka	Murtolujuus	δ	Pinnoitteen määrä	Saatavuus	Arvo
Anordica pulp baling wire	5 × 4	2 × 3	2	2	30
Fasten group: Hot-clipped zinc low carbon steel wire	5 × 2	2 × 4	5	4	27
Long Vision: Galvanized steel wire	5 × 1	2 × 5	5	5	25
Pacwire: baling wire	5 × 5	2 × 2	3	2	34
Fn steel: nykyisin käytetty lanka	5 × 3	2 × 1	1	3	21