
KOLAKULJETTIMEN SUUNNITTELU- JA TUOTEKEHITYSPROJEKTI

Heikki Huttunen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Heikki Huttunen	
Työn nimi Kolakuljettimen suunnittelu- ja tuotekehitysprojekti	
Päiväys 23.4.2011	Sivumäärä/Liitteet 52/22
Ohjaaja(t) lehtori Pertti Kupiainen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savon Konesuunnittelu Oy, toimitusjohtaja Hannu Tuovinen Andritz Oy, tuotepäällikkö Jari Sorvisto	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä biopolttoaineiden siirrossa käytettävän kolakuljettimen tuotekehitystä ja suunnitella toisen vastaavan kuljettimen veto- ja taittopää. Kolakuljettimen tuotekehitystarve perustui Savon Konesuunnittelu Oy:n asiakkaan Andritz Oy:n pyrkimykseen tarjota asiakkailleen biovoimalaitosten toimituksia avaimet käteen -periaatteella. Kehitystyön tarkoituksena oli luoda pohja asiakkaan tarjoamien biopolttoaineensiirtoon käytettävien kolakuljettimien tuotesarjalle. Sarjan suunnittelulla pyrittiin siirtämään tämän tyyppin kuljettimien tuotanto osaksi asiakkaan toimintoja ja tarjoamaan entistä kattavampi toimitussisältö.</p> <p>Tuotekehitysprojekti perustui yrityksessä olevan tietotaidon sekä muun saatavissa olevan tiedon hyödyntämiseen. Uudessa kuljettimessa käytettäviä ratkaisuja haettiin yhdistelemällä ja vertaamalla omia aikaisempia sekä muita yleisiä ratkaisuja keskenään. Asiakasvaatimuksina olivat muun muassa kilpailukykyinen rakenne ja hinta sekä tuotesarjan sisältämien komponenttien vakioiminen. Tuotekehitystä ei ehditty opinnäytetyön puitteissa tekemään halutussa laajuudessa. Tuloksena kuitenkin saatiin esimerkiksi menetelmä ketjupyörien kiinnittämistä varten ja rakenne, joka yhdistää laakeroinnin ja kuljettimen tiivistämisen vaatimia toimintoja.</p> <p>Suunnitteluprojektissa suunniteltiin asiakkaan lähtötietojen mukainen biovoimalaitoksen polttoaineen siirtoon käytettävä kolakuljetin. Kuljettimen suunnittelussa pyrittiin noudattamaan tuotekehityksessä valittuja suuntaviivoja, mutta sille asetettiin myös paljon projektikohtaisia vaatimuksia. Projektin suunnittelutehtäviä olivat muun muassa kuljetinketjujen laskenta ja useiden kuljetinkomponenttien suunnittelu. Projektin lopputuloksena saatiin suunnitelmat kuljettimen vaatimille teräsrakenteille, akseleille, antureille ja käyttölaitteelle.</p>	
Avainsanat ketjukuljetin, kolakuljetin, kuljetinketju, ketjupyörä, vetopää, taittopää	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Heikki Huttunen			
Title of Thesis Design and Product Development Project of a Flight Conveyor			
Date	April 23, 2011	Pages/Appendices	52/22
Supervisor(s) Lecturer Pertti Kupiainen			
Project/Partners Savon Konesuunnittelu Oy, Manager Hannu Tuovinen Andritz Oy, Product Manager Jari Sorvisto			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to carry out a development project on a flight conveyor used to transport bio-fuels and to design a drive end and a tail end for another similar conveyor. The development was required by Andritz Oy, a customer of Savon Konesuunnittelu Oy, which wanted to be able to offer bio-power plants on a turnkey -basis. The goal for development work was to create foundations for the product series, provided by the customer for the use of transporting bio-fuels. The series was to be designed in order to make the production of this type of conveyors to be part of the customers' own operations and for offering more comprehensive delivery specification than previously.</p> <p>The product development project was based on both exploiting the know-how within the company and the information available. The solutions used in designing the new conveyor came from combining and comparing previous own designs to other common designs. The customer wanted, among other things, the conveyor to have a competitive construction and price and standardization of the components used in product series. The time for the project restricted the scale of product development. However, a solution for mounting the chain sprockets and a structure that combines functions needed in bearing arrangements and in sealing the conveyor, were developed.</p> <p>In the design project, a flight conveyor used to transfer fuels in a bio-power plant was planned according to the initial data provided by the customer. The conveyor was to be designed according to the guidelines chosen in product development, but also many project specific demands had to be met. The project included design tasks such as making calculations for conveyor chains and designing various conveyor components. As a result of the project there were plans for the steel structures, shafts, sensors and drive needed for the conveyor.</p>			
<p>Keywords chain conveyor, flight conveyor, conveyor chain, sprocket, drive end, tail end</p>			

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö on tehty osana Savon Konesuunnittelu Oy:ssä toteutettua kolakuljettimen suunnittelu- ja tuotekehityprojektia. Esitän kiitokseni työn aiheen antamisesta projektin asiakkaalle Andritz Oy:lle sekä yrityksen toimitusjohtajalle Hannu Tuoviselle. Kiitän myös Savonia-ammattikorkeakoulun lehtori Pertti Kupiaista ja Savon Konesuunnittelu Oy:n suunnittelija Jouko Uotista ohjauksesta ja neuvoista.

Varpaisjärvellä 23.4.2011

Heikki Huttunen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	SAVON KONESUUNNITTELU OY	9
3	KOLAKULJETTIMEN SUUNNITTELUPERUSTEITA	10
3.1	Kolakuljetin	10
3.2	Kuljetettavat materiaalit	12
3.3	Kuljetinketjut ja kolat	13
3.4	Kuljetinrunko	18
3.4.1	Poikkileikkaus	18
3.4.2	Johteet, kulutuslevyt ja nousunestoraodat	19
3.4.3	Tarkistus-, huolto- ja räjähdysluukut	20
3.4.4	Ruuhkavahti	21
3.5	Vetopää	22
3.5.1	Runko	22
3.5.2	Käyttökoneisto	23
3.5.3	Vetoakseli	24
3.5.4	Laakerointi	25
3.5.5	Ketjupyörät	26
3.5.6	Ketjun irrotus	27
3.5.7	Tukosvahti	28
3.6	Taittopää	28
3.6.1	Runko	28
3.6.2	Taittoakseli	29
3.6.3	Ketjupyörät	30
3.6.4	Pyörintävahti	31
4	KEHITYSTYÖ	32
4.1	Lähtötilanne	32
4.2	Tuotekehityksen tavoitteet ja vaatimukset	32
4.3	Tuotekehitysprojekti	34
4.3.1	Kehitystyön kulku ja työkalut	34
4.3.2	Kolakuljettimen vakiointi	38
5	ASIAKASPROJEKTI	41
5.1	Projektin tavoite	41
5.2	Suunnittelutyön läpivienti	42
5.2.1	Vetopää	42
5.2.2	Taittopää	45
5.3	Suunnittelutyön ongelmakohdat	48
6	YHTEENVETO	50

LÄHTEET

LIITTEET

- Liite 1 Kolakuljettimen laskenta
- Liite 2 Vetoakselin kuormien laskenta
- Liite 3 Akseli- ja laakerilaskenta
- Liite 4 Ketjupyörän geometrian määrittäminen
- Liite 5 Ketjupyörän kiinnitysvaihtoehtojen laskenta
- Liite 6 Taittoakselin kuormien laskenta

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella kolakuljettimen komponentteja asiakasprojektia varten ja osallistua vastaavan kuljettimen tuotekehitysprojektiin Savon Konesuunnittelu Oy:ssä. Kolakuljetin suunnitellaan yrityksen bioenergia-alalla toimivalle asiakkaalle Andritz Oy:lle ja sitä käytetään polttoaineiden siirtämiseen asiakkaan toimittamassa biovoimalalaitoksessa.

Tuotekehitysprojektin tavoitteena on luoda pohja asiakkaan tarjoamalle kolakuljettimen tuotesarjalle. Tähän asti asiakas on ostanut biovoimalaitosten polttoaineen käsittelylaitteet muilta toimijoilta ja pitäytynyt vain rajatuissa toimituksissa. Asiakkaan tavoitteena on jatkossa biovoimalaitosten toimittaminen avaimet käteen -periaatteella, eli toimintatapa, ostaja hankkii koko laitoksen yhdeltä toimittajalta.

Opinnäytetyön raportti jakautuu kolmeen alueeseen: kolakuljettimen suunnitteluperusteisiin, kehitys- ja vakiointityöhön sekä asiakasprojektiin. Suunnitteluperusteissa esitellään kolakuljettimen toimintaperiaate ja rakenne sekä käsitellään siihen liittyviä suunnittelu- ja mitoitus tehtäviä. Kehitystyössä käsitellään siihen kohdistuvat vaatimukset ja nykytilanne sekä valaistaan tuotekehityksessä käytettäviä menetelmiä. Asiakasprojektin osuudessa kerrotaan projektiin liittyvistä suunnittelutehtävistä ja niihin sisältyvistä valinnoista yleisellä tasolla. Suunnitteluperusteissa esitettävä teoria perustuu Savon Konesuunnittelu Oy:ssä olevaan kokemukseräiseen tietoon sekä kunkin kuljetinkomponentin yhteydessä ilmoitettaviin muihin lähteisiin. Kehitys- ja vakiointityön sekä asiakasprojektin sisältämät suunnittelun lähtökohtiin vaikuttavat tiedot on saatu asiakkaalta ja niitä sovelletaan Savon Konesuunnittelu Oy:n ohjeiden mukaisesti.

2 SAVON KONESUUNNITTELU OY

Opinnäytetyö tehtiin kuusi henkeä työllistävässä Savon Konesuunnittelu Oy:ssä Varpaisjärvellä. Vuonna 2002 toimintansa aloittaneen yrityksen palveluihin kuuluu materiaalinkäsittelyalan laitosten ja niiden laitteiden suunnittelua, teräsrakenteiden mekaniikkasuunnittelua ja lujuuslaskentaa. Suunnittelua tehdään pääsääntöisesti projektivetoisesti, mutta jossain määrin myös tuntityönä yksityisille asiakkaille. Erilaisia projekteja toteutetaan pääasiassa melko suurten yritysten kanssa, kuten Sandvik, Wärtsilä Biopower, Andritz ja Lahtiprecision. Lyhyen historiansa aikana yritys on erikoistunut biopolttoaineiden käsittely- ja kuljetuslaitteiden sekä massatavaran kuljettimien suunnitteluun. Suunnittelun työkaluina yrityksessä käytetään pääasiassa SolidWorks- ja Autodesk –ohjelmistoja. (Savon Konesuunnittelu Oy)

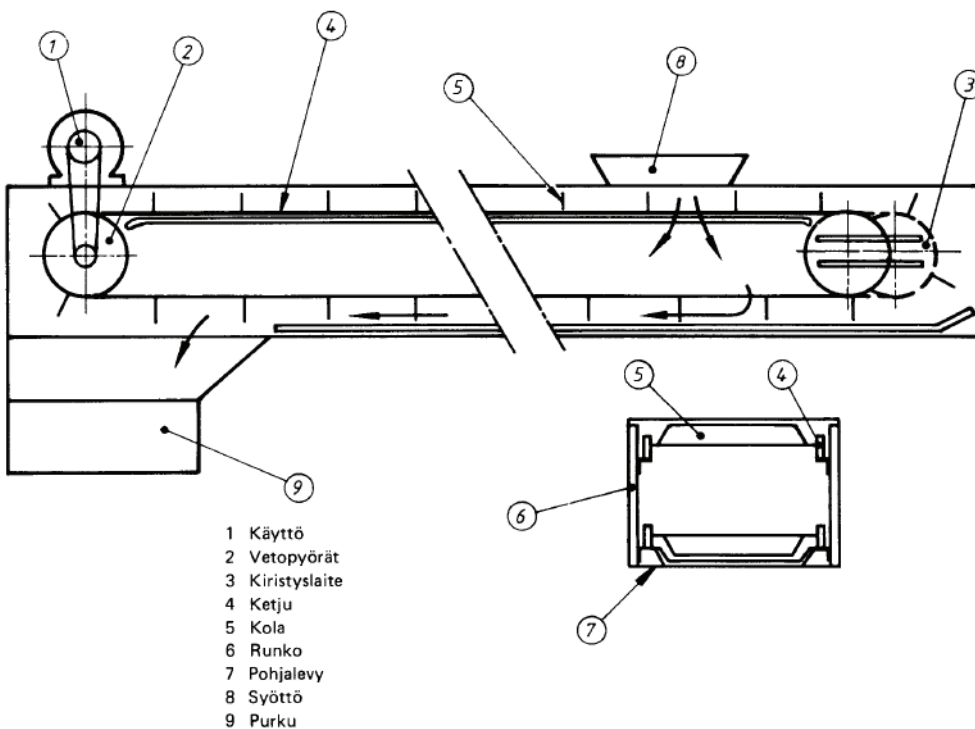
Yrityksen toimintaa johtaa sen perustaja Hannu Tuovinen, joka on toiminut suunnittelu-tehtävissä koneenrakennusalalla jo pitkään. Ennen oman yrityksen perustamista Tuovinen toimi suunnittelijana Oulussa ja suoritti työnsä ohessa myös diplomi-insinöörin tutkinnon. Tuovisen lisäksi toimistossa työskentelee viisi vakituista suunnittelijaa, jotka ovat kaikki konetekniikan insinöörejä. (Savon Konesuunnittelu Oy)

3 KOLAKULJETTIMEN SUUNNITTELUPERUSTEITA

3.1 Kolakuljetin

Kolakuljettimessa (kuva 1) materiaalivirran aikaansaamiseksi käytetään kuljetinketjua (4), johon on käytettävien ketjujen lukumäärän mukaan kiinnitetty erityyppisiä materiaalia eteenpäin työntäviä kolia (5). Kuljettimen vetopään (2) akselissa käytetään ketjupyöriä, jotka akselille tuodun tehon avulla vetävät kuljettimen sisällä olevaa yhteistä ketjua. Kuljettimen taittopään (3) akselin tehtävänä on muuttaa ketjun kulkusuuntaa ja toimia ketjua kiristävänä toimilaitteena. Materiaali syötetään kuljettimeen veto- ja taittopään välillä olevasta syöttöaukosta (8) ja poistetaan useimmissa tapauksissa vetopään alla olevasta purkausaukosta (9). Syöttö- ja purkausaukkoja voi kuljettimen tyyppin ja käyttökohteen vuoksi olla myös useampia kuin yksi.

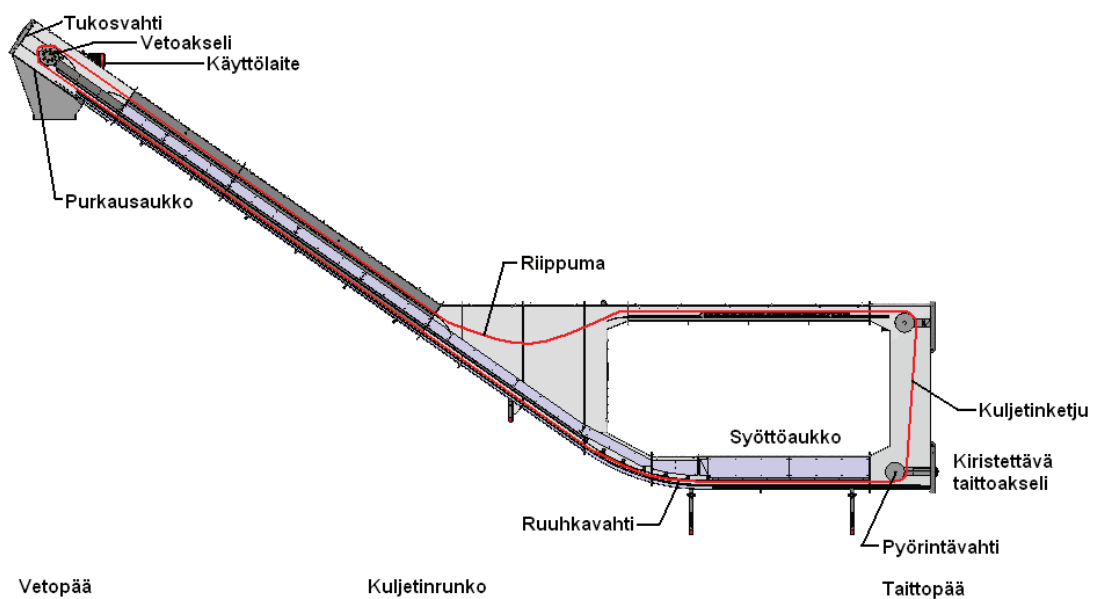
Kolakuljetin voidaan toteuttaa yhdellä tai useammalla rinnakkaisella ketjulla ja materiaalia voidaan kuljettaa joko alemmalla tai ylemmällä tasolla. Kun materiaalivirta kulkee alemmalla ketjulla, kutsutaan kuljetinta alapohjakuljettimeksi ja päinvastoin yläpohjakuljettimeksi. Kuvan 1 esittämä kuljetin on alapohjakuljetin, koska syöttökohdassa materiaali tippuu yläketjun läpi alaketjulle, joka edelleen siirtää materiaalin kuljettimen purkukohtaan.



KUVA 1. Kolakuljettimen rakenne. (SFS 4200, 15)

Kolakuljettimet sopivat rakeisten ja erikokoisia paloja sisältävien materiaalien siirtoon, ja niitä käytetään usein kuumien materiaalien, kuten sementtiklinkkerin (1 100 °C), kuljettamiseen. Kuljetintyyppiä voidaan käyttää myös heikosti korroosiota aiheuttavien materiaalien siirtoon. Tahmeita, koliin tai runkoon mahdollisesti kasautuvia materiaaleja tulee kuitenkin välttää. Kuljettimen runko voidaan tehdä teräksestä tai betonista ja vuorata kulutusta kestäville materiaaleilla. Runko voidaan toteuttaa päältä avoimena, kokonaan suljettuna, pölytiivinä ja tarvittaessa ilma- tai vesijäähdytteisenä. Kolakuljettimilla voidaan saavuttaa nopeus 30 m/min, kun kapasiteetti on 300 tonnia tunnissa. (Fayed & Skocir 1997, 304–308.)

Kuvassa 2 on esitetty alapohjakuljetin, johon materiaali syötetään kuljettimen paluuketjun ja vedossa olevan materiaalia kuljettavan ketjun väliin. Kuljetinketju koostuu kahdesta ketjusta ja niiden välille liitetyistä kolista. Kuvassa näkyvää ketjun riippumaa käytetään ketjun venymisestä syntyvän ylimääräisen ketjupituuden varastointiin ja sitä voidaan hyödyntää myös ketjun kiristyksessä. Varsinainen ketjun kiristys hoidetaan toiseen taittoakseliin kiinnitettyllä kiristyslaitteella. Tukosvahtia käytetään kuljettimen pysäyttämiseen, jos purkausaukko jostain syystä tukkeutuu. Ruuhkavahtin tarkoituksena on ohjata kolakuljetinta syöttävää kuljetinta niin, että kuljettimen kaltevalle osalle nousevan materiaalipatjan korkeus pysyy oikeana. Pyörintävahtia käytetään taittoakselin pyörinnän seuraamiseen, ja se pysäyttää kuljettimen, jos akselin pyörintä ketjun katkeamisen tai muun syyn vuoksi lakkaa.



KUVA 2. Ketjujen välistä syötettävän kolakuljettimen rakenne. (Savon Konesuunnittelu Oy)

3.2 Kuljetettavat materiaalit

Kolakuljettimen suunnittelussa materiaalin ominaisuudet ja vaatimukset on otettava huomioon monesta näkökulmasta. Materiaalin käyttäytyminen sitä kuljettimeen syötettäessä ja purettaessa sekä kuljettamisen aikana on tunnettava ja usein jopa arvatava. Materiaalista johtuvia ongelmia aiheuttavat sen pölyäminen, kasautuminen, jäätyminen ja siinä olevat epäpuhtaudet.

Kuivan materiaalin pölyäminen voi aiheuttaa kolakuljettimissa räjähdys- ja tulipalovaaran. Materiaalista syöttö- ja purkauskohtissa syntyvä kuiva pöly on omiaan luomaan pölyräjähdykselle herkän kaasuseoksen, joka voi syttyä pienimmästäkin kipinästä. Kipinä voi syntyä esimerkiksi ketjun ja metallisen johteen hangatessa toisiaan tai materiaalin seassa olevien epäpuhtauksien, kuten metallin palasten, hangatessa kuljetinrunkoon. Lisäksi kaikki kuljettimen vaatima sähköistys voi aiheuttaa kipinöintiä. Tällainen pölyräjähdykselle altis ATEX-tila, vaikkakin kuljettimen sisällä oleva, on aina otettava huomioon palo- ja työturvallisuuden takia.

Pölyämisen aiheuttamien riskien suuruuteen voidaan vaikuttaa suunnittelussa tehtävillä valinnoilla. Ketjuja ja johteita muotoilemalla ja käyttämällä johteissa teräksen sijaan muovisia kulutuslevyjä voidaan niistä aiheutuvaa kipinöintivaaraa vähentää. Kolakuljettimen käyttölaitteen ja antureiden komponenteille voidaan määrätä normaalia tiukempia suojaus- ja kotelointivaatimuksia, jotta niiden kipinöimättömyydestä voidaan varmistua.

Materiaalin kasautuminen kolakuljettimen sisälle on aina haitallista. Materiaalin kasautuminen syöttö- tai purkausaukon kohdalle voi aiheuttaa häiriöitä kuljettimen toiminnassa, jos materiaalin virtaus estyy. Myös materiaalin liika kerääntyminen kuljetinrungon, ketjun ja kolien pintaan voi aiheuttaa ongelmia, kun ketjun liikettä vastustavat voimat kasvavat suuriksi. Jos kuljettimen ketjuvoima kasvaa näiden voimien takia liian suureksi, voi ketjun käyttöikä laskea merkittävästi ja kuljettimelle valittu käyttölaitte joutua toimimaan ylikuormitettuna. Kasautumista voidaan vähentää panostamalla materiaalin kosteuden alentamiseen ja muotoilemalla kuljetinrunko sekä syöttö- ja purkausaukot niin, että niiden sisäpinnat ovat mahdollisimman suoria ja sileitä. Kasautumisen aiheuttama lisä kuljettimen tehontarpeeseen tulee ottaa huomioon käyttölaitteen valinnassa.

Biopolttoaineet

Biovoimalaitoksissa käytettävät polttoaineet sisältävät aina jonkin verran epäpuhtauksia, jotka erotellaan polttoaineesta ennen sen syöttämistä varsinaiseen kattilalaitokseen. Polttoaineiden epäpuhtauksia ovat niihin keräyksen ja kuljetuksen aikana sekoittuneet kivet, hiekka ja metallin kappaleet. Lisäksi polttoaineen joukossa voi olla yksittäisiä polttoaineesta jäätyneitä tai muuten syntyneitä suurempia palasia sekä esimerkiksi puun kantoja. Jos pienempiä epäpuhtauksia on polttoaineen joukossa paljon, voi niiden vaikutus kuljettimen kulumisenkestoon olla merkittävä. Suuremmat epäpuhtaudet voivat sopivaan väliin kiillautuessaan aiheuttaa ketjun jumitumisen ja siksi näiden kuormituspiikkien vaikutus tulee ottaa huomioon kuljetinketjun ja käyttölaitteen mitoituksessa.

Kun biovoimalaitosta aletaan suunnitella, määrätään siinä käytettävien polttoaineiden laadulle ja puhtaudelle vaatimusrajat. Kun asetetut rajat ovat tiedossa, voidaan polttoaineen syöttämiseen käytettävät laitteet suunnitella niin, että vaatimukset toteutuvat. Laitoksen polttoaineelle asetetuista vaatimuksista tulee siis selvittää tieto suurimmista mahdollisista epäpuhtauksista, joita polttoaineen mukana voi olla ja joiden tulee mahtua kulkemaan laitoksen kuljettimien läpi. Ennen kattilalaitokseen menevää kuljetinta polttoaineen syöttöjärjestelmässä on tavallisesti seula, jolla laitokseen menevän polttoaineen palakoko voidaan määrätä. Seulan silmiä suuremmat polttoainepalat kulkeutuvat seulan yli ja poistuvat polttoainevirrasta. Laitoksen vaatimusten mukaan syöttöjärjestelmässä voi olla seulan lisäksi esimerkiksi metallinerotin.

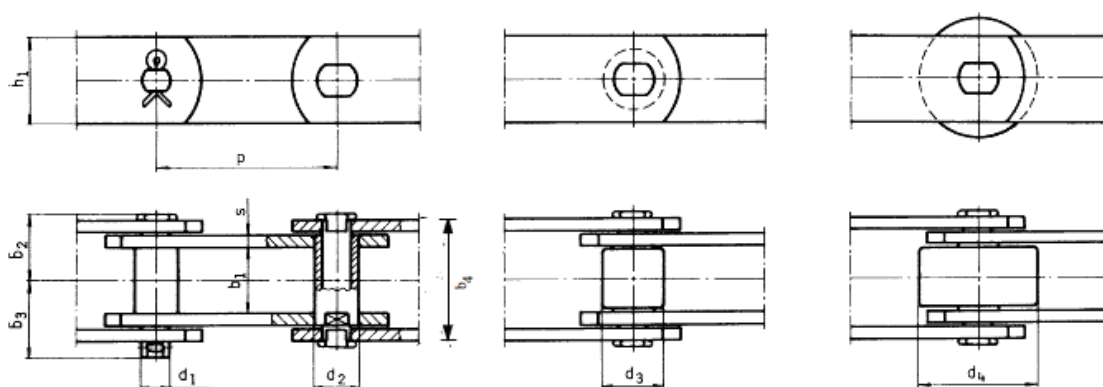
3.3 Kuljetinketjut ja kolat

Kuljetinketjun ja siihen kiinnitettyjen kolien tehtävänä on siirtää kuljettimen kapasiteetin osoittama määrä materiaalia kuljettimen syöttöaukolta purkausaukolle. Kuljetinketjua vedetään kuljettimen sisällä vetoakseliin kiinnitetyillä hammastetuilla, ketjun lenkijään mukaan valmistetuilla hammaspyörillä. Kolakuljettimissa käytettäviä kuljetinketjuja on saatavissa useita eri malleja mitoitettuna useille eri kuormitusvaatimuksille. Kuvassa 3 on esitetty joitakin FB-Ketjutekniikka Oy:n tarjoamia kuljetinketjumalleja.

Kuljetinketjun rakenteelta vaaditaan ensisijaisesti suurta vetolujuutta ja iskunkestävyyttä, mutta myös hyvää kulumisenkestoa, nivelien häiriötöntä toimintaa ja vastustusta korroosiota vastaan. Vetolujuutta vaaditaan ketjun ja polttoaineen suuren massan sekä niistä molemmista johtuvien suurten kitkavoimien takia. Iskunkestävyyttä

ketjulta vaaditaan lähinnä syöttöaukon kohdalla tapahtuvan materiaalin putoamisen ja siitä aiheutuvien iskujen takia.

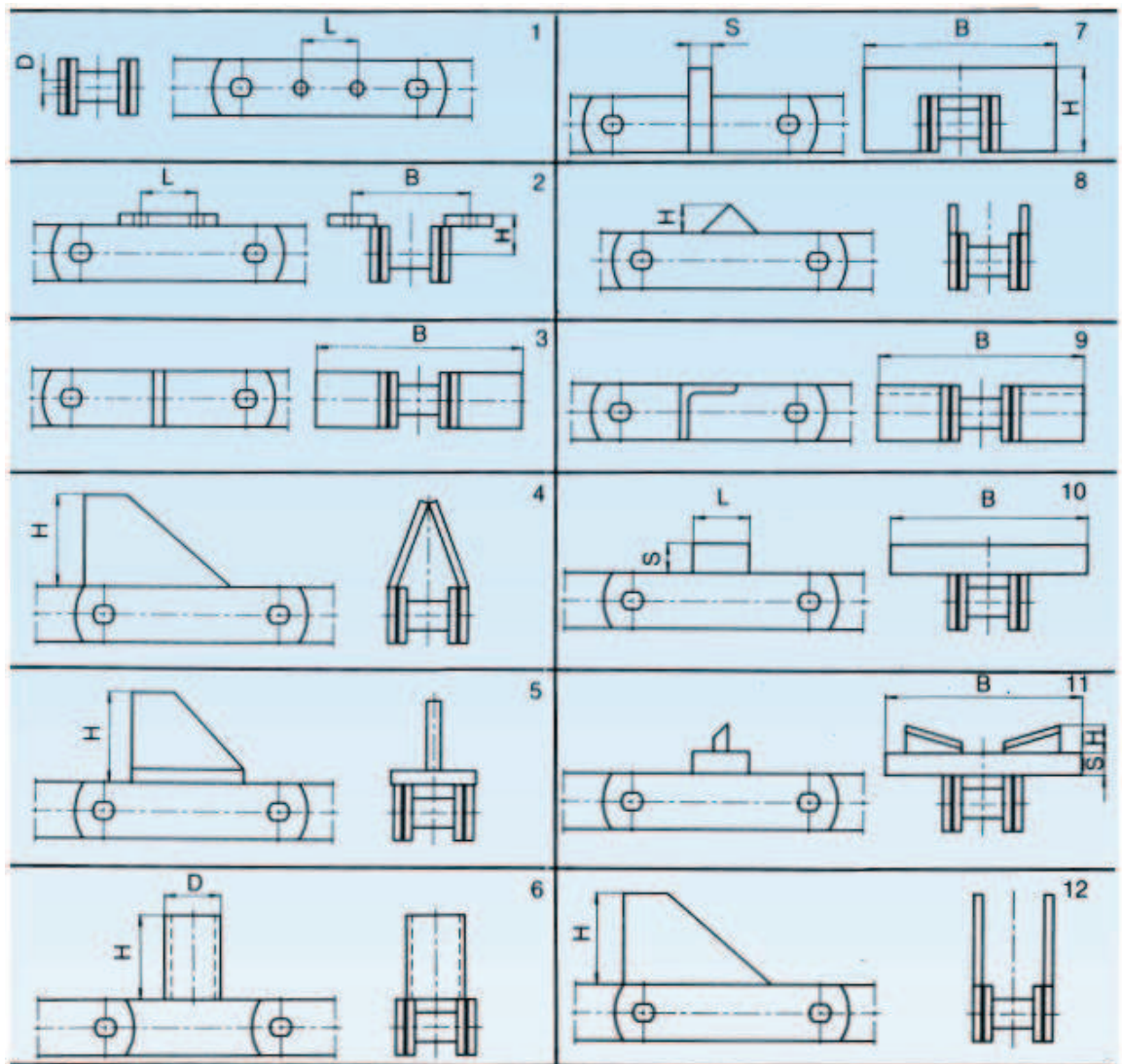
Kulumisenkestolle asetettavat vaatimukset riippuvat ketjun tyypistä. Esimerkiksi kuvassa 3 esitetyn ketjun A tulee sietää vähintään kolmelle eri kantille kohdistuvaa hankausta. Kyseinen ketjutyyppejä kannatetaan joko ketjun sivulevyjen tai ketjuun kiinnitettävien kolia varaan. Jos ketju kannatetaan sivulevyistä, tulee niiden alapintojen kestää jatkuvaa hankausta koko kuljetinketjun käyttöajan ajan. Tämä kesto-vaatimus voidaan toteuttaa ketjun oikealla muotoilulla, materiaalin valinnalla, pintakäsittelyllä ja ketjun kulkua ohjaavien johdepintojen suunnittelulla. Myös ketjun sivupintojen tulee kestää ketjupyöristä, johteista, siirrettävästä materiaalista ja sen omasta limittäisestä liikkeestä johtuvaa kulutusta. Lisäksi ketjun nivelissä käytettävien holkkien ja rullien tulee sietää ketjupyörien ja johteiden aiheuttama hankaus.



KUVA 3. Kuljetinketjumalleja. (FB-Ketjutekniikka Oy 2011, 6.)

Kuljetinketjuissa oleviin korvakkeisiin voidaan kiinnittää kolia, kaukaloita, raappoja tai muita materiaalia siirtäviä haittoja. Kolia voidaan liittää ketjun jokaiseen lenkkiin, joka toiseen, joka kolmanteen ja niin edelleen. Kolia jako riippuu useista tekijöistä, kuten kolan koosta, kuljettimelta vaaditusta kapasiteetista ja käytettävän ketjun lujuudesta. Kolia ja niiden vaatimia kiinnityskorvakkeita voidaan kiinnittää normaaliin kuljetinketjuun tai ne voidaan liittää suoraan ketjun rakenteeseen, jos ketjulenkit tehdään koneistamalla tai valamalla. Kuljetinketjuja ja niihin kiinnitettäviä haittoja on saatavilla satoja erilaisia ja monilla ketjuvalmistajilla on omat ketjumallinsa erityissovelluksia varten. (Fayed & Skocir 1997, 288.)

Kuvassa 4 on esitetty FB-Ketjutekniikka Oy:n valmistamiin kuljetinketjuihin valmiina saatavia kolia ja korvakkeita.



KUVA 4. Valmiita kolia ja kiinnityskorvakkeita. (FB-Ketjutekniikka Oy 2011, 8.)

Materiaalin siirtämisen lisäksi kolan tehtävänä on irrottaa kuljettimen pohjalevyyn kiinnittynyttä materiaalia ja osaltaan ohjata ketjun kulkua kuljettimen sisällä. Kolan suunnittelussa tulee varmistua sen poikkileikkauksen riittävästä taivutusjäykkyydestä, jotta kola ei ala taipua ja vetää ketjua pois johteiltaan kuljettimen suurimmallakaan kuormituksella. Jäykkyyden saavuttamiseen on edullista käyttää valmiita teräsprofiileja tai -palkkeja, koska niiden ketjuun liittämiseksi saattaa parhaassa tapauksessa riittää pelkkä palkin katkaisu ja sen hitsaaminen ketjuun.

Pohjalevyyn tarttuneen materiaalin irrotus voidaan hoitaa yhden tai useamman kolan alareunaan kiinnitetyllä huulilevyllä, joka ylittää hankaamaan pohjalevyä. Muiden koli-
en ja pohjalevyn välys määräytyy kuljettimella siirrettävien materiaalien oletetusta
raekoosta. Savon Konesuunnittelu Oy:ssä biopolttoaineita kuljettavien kolakuljettimi-
en välykselle on annettu noin 30 - 35 mm yleisohje, jolla rajataan pois polttoaineen
kiilautumismahdollisuus kolan ja pohjalevyn väliin. Välyksen suuruus on kuitenkin
aina harkittava tapauksittain ja lisäksi kuljettimen tilaajalla voi olla vaatimuksensa
käytettävästä välyksestä.

Kuljettimessa käytettävien johteiden, koli- en ja ketjun mukaan voidaan kolia joissakin
tapauksissa käyttää ketjun ohjaukseen. Jos koli- en korkeus ulottuu reilusti kuljetinket-
jun sivulevyn korkeuden ulkopuolelle, voidaan ketjun kulkua ohjata ulottamalla ketjun
alla oleva muovinen johdelevy lähelle kolan kylkiä. Näin meneteltäessä koli- en kyljet ja
kiinnityspisteet ketjuun tulee muotoilla portaattomiksi ja mahdollisimman sileiksi.

Kuljetinketjun valinta

Kolakuljettimessa käytettävän ketjun valinta perustuu ketjulle ilmoitettuun vetomurto-
kuormaan ja käytössä esiintyvään suurimpaan ketjuvoimaan. Ketjujen murtokuorma
ilmoitetaan standardisoiduille ketjuille niiden tilausmerkinnän yhteydessä. Esimerkiksi
merkintä M315-A-200 tarkoittaa standardin SFS 2380 mukaista ketjua, jonka murto-
kuorma on 315 kN, tyyppi A ja jako 200 mm (FB-Ketjutekniikka Oy, 6.).

Ketjussa käytön aikana vaikuttava ketjuvoima lasketaan ketjun ja sen siirtämän mate-
riaalin painon aiheuttamiin kitkavoimiin perustuen. Ketjun kuormituksia arvioitaessa
on otettava huomioon myös ketjun mahdollinen jumiutuminen, jolloin ketjuvoima voi
hetkellisesti kasvaa normaalikuormitukseen verrattuna moninkertaiseksi. Siksi ketjukul-
jettimien ketjuja mitoitettaessa käytetäänkin poikkeuksellisen suuria varmuuskerto-
mia. Seuraavassa on esitetty kuljetinketjun mitoituksen kulku ja siinä tarvittavat tiedot
mukaillen Suomen Ketjutekniikka Oy:n tuoteluettelon ohjetta. Liite 1 sisältää mitoi-
tusohjeen mukaisesti tehdyn laskentapohjan.

Kuljetinketjun mitoitus

- 1) Kuljettimen tiedot:
 - siirrettävän materiaalin tiheys
 - kuljettimen kapasiteetti

- ketjunopeus
- kuljettimen rungon sisäleveys
- rinnakkaisten ketjujen lukumäärä
- kolajako (kahden peräkkäisen kolan välimatka)
- kuljettimen pituus.

2) Kuljetinketjun laskenta:

- ketjun tyyppi ja alustava lujuus
- käytettävän ketjupyörän hammasluku
- ketjun metripaino
- kolan paino.

2.1) Staattinen ketjuvoima:

- ketjujen ja kolien metripaino
- siirrettävän materiaalin metripaino
- ketjun ja johteiden välinen liukukitkakerroin
- materiaalin ja pohjalevyn/ seinien välinen liukukitkakerroin
- staattinen ketjuvoima.

2.2) Dynaaminen ketjuvoima:

- nopeusvaihtelun aiheuttama kiihtyvyys
- dynaaminen ketjuvoima.

2.3) Kokonaisketjuvoima

2.4) Käyttöolosuhdekerroin:

- kuormituksen laatu
- kuormituksen jakaantuminen rinnakkaisille ketjuille
- siirrettävän materiaalin kuluttavuus
- ketjun käyttöympäristön lämpötila
- ketjun nopeus
- kuljettimen käyttötunnit.

2.5) Ketjun valinta:

- yhdelle ketjulle kohdistuva kuorma
- vetomurtolujuuden varmuuskerroin
- ketjulta vaadittava murtokuorma
- ketjun valinta.

(Suomen Ketjutekniikka Oy 1994, 22–25.)

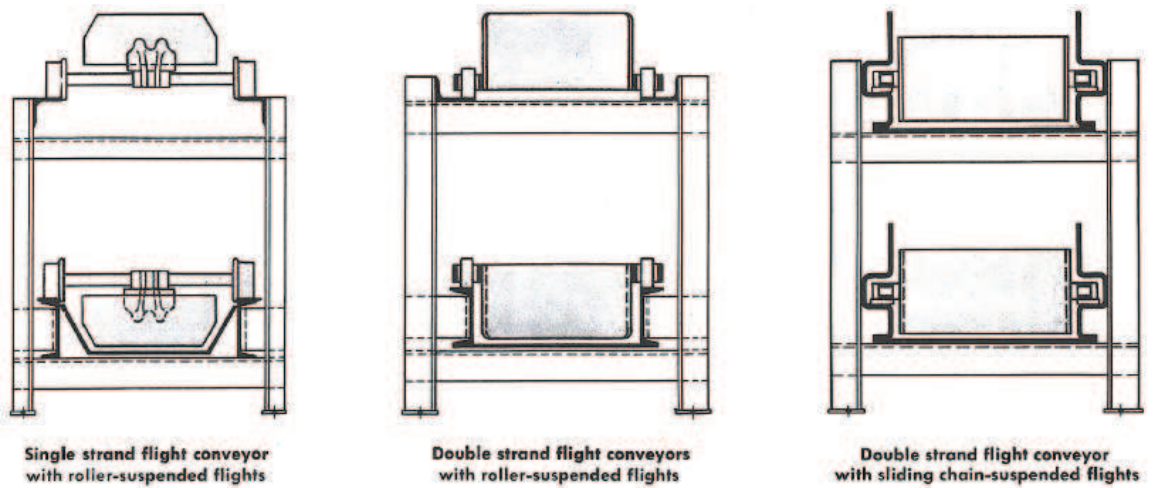
3.4 Kuljetinrunko

3.4.1 Poikkileikkaus

Kuljetinrunko muodostaa suurimman osan koko kolakuljettimesta, joten sille asetettavia vaatimuksia on paljon. Runko kantaa kuljettimen käytöstä aiheutuvat kuormat, sen on oltava useimmissa tapauksissa tiivis, siinä on oltava tiiviisti suljettavia tarkistus- ja huoltoluukkuja sekä räjähdysluukkuja. Lisäksi rungossa tulee olla ketjujohteet sekä kiinnityspisteet kulutuslevyille ja ketjun nousunestoraudoille.

Kuljetinrunгон poikkileikkauksen malli määräytyy lähinnä edellisistä vaatimuksista, mutta siihen vaikuttaa paljon myös asiakkaan kokemukset aiemmin käytetyistä poikkileikkauksista ja rungon vaatimista komponenteista. Kuljettimen käyttökohteesta riippuen kuljetinrunkoon voidaan vaatia esimerkiksi sammutusvesiputkisto, eristys ja lämmitys tai eristys ja jäähdytys. Sammutusvesiputkistoa käytetään kuljettimissa joilla siirretään pölyviä ja herkästi syttyviä materiaaleja. Kuljettimen eristystä ja lämmitystä käytetään materiaalin jäätyksen estämiseksi, kun siirretään kosteita materiaaleja kylmissä olosuhteissa. Eristystä ja jäähdytystä käytetään, kun kolakuljettimella siirretään esimerkiksi voimalaitoksen tuhkaa (vrt. kohta 3.1).

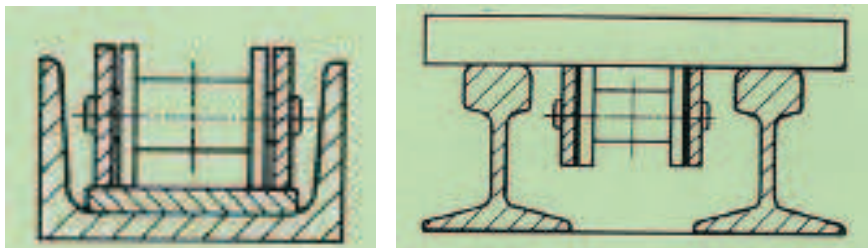
Kuvassa 5 on esitetty kolme yksinkertaistettua kolakuljettimen poikkileikkausta. Ensimmäinen kuljetin on alapohjakuljetin, sillä sen alaosassa on erillinen kouru, jota pitkin materiaali liukuu. Poikkileikkauksessa on otettu huomioon laipallisilla kulkurullilla varustetun ketjun eristäminen materiaalivirrasta, jotta kuljettimen toiminta olisi varmempaa ja jotta ketjut kestäisivät pidempään. Toinen kuljetin on myös alapohjakuljetin, koska siinä on pohjalevy vain alhaalla. Myös tässä poikkileikkauksessa on huomioitu kulkurullien eristys. Kolmatta kuljetinta voidaan käyttää sekä ala- että yläpohjakuljettimena, koska siinä on pohjalevyt molemmilla tasoilla. Kuljettimen ketjuna oleva liukuva kuljetinketju ei ole niin tarkka altistumisesta siirrettävälle materiaalille, joten se on voitu jättää poikkileikkauksessa materiaalipatjan sisään. Lisäksi kaikissa kolmessa poikkileikkauksessa on suuri tila ala- ja yläketjun välissä. Tällä otetaan huomioon kuljettimelle sallitun suurimman epäpuhtauden mahtuminen kuljettimen sisään.



KUVA 5. Kolakuljettimen poikkileikkauksia. (Fayed & Skocir 1997, 306–307.)

3.4.2 Johteet, kulutuslevyt ja nousunestoraudat

Kuljettimen runkoon kiinnitettävien johteiden tehtävänä on keventää kuljetinketjun liikkumista ja toimia kulumista sietävinä, vaihdettavina komponentteina. Johdetta voidaan käyttää kuvan 6 mukaisesti joko ketjun tai siihen kiinnitettyjen kolien tukemiseen niiden alapinnalta. Pitkissä johteissa voidaan johteenä käyttää paksua muovilevyä, joka kiinnitetään ruuveilla esimerkiksi kuljetinrunkoon hitsattuun koko johteen pituudella olevaan kannakelevyyn. Lyhyillä johdepituuksilla ja kuljettimen kulmapaikoissa voidaan käyttää joko edellistä tai ilman kannakelevyä olevaa kulutusteräsjohtetta.



KUVA 6. Kuljetinketjun kannatus. (Suomen Ketjutekniikka Oy 1994, 9.)

Kuljettimen runkorakenteen materiaalien ja sillä siirrettävän materiaalin tyypeistä riippuen, voidaan kuljettimen materiaalia kantavilla pinoilla tarvita erilaisia kulutuslevyjä. Kulutuslevyjien tehtävänä on ottaa vastaan kuljettimen käytöstä aiheutuva kuluminen varsinaisten kuormia kantavien rakenteiden puolesta. Tällä estetään kuljettimen luotettavan ja turvallisen käytön kannalta olennaisten rakenteiden heikkeneminen kuljettimen käyttöön kasvaessa. Kulutuslevyjä käytetään kuljettimen syöttö- ja purkausaukoissa sekä koko kuljettimen matkalla pohja- ja seinälevyissä. Kulutuslevyinä

voidaan käyttää samaa muovilevyä kuin johteissakin, ruostumattomia teräslevyjä tai kulutusteräslevyjä. Joissakin tapauksissa voidaan tarkan harkinnan jälkeen kulutuslevyjien käyttö korvata valitsemalla kantaviin rakenteisiin oletetun kulumisen verran lisää materiaalipaksuutta tai tekemällä rakenteet kokonaan esimerkiksi kulutusteräksestä.

Nousunestorautoja käytetään vain kuljetinketjun sellaisilla osilla, joissa ketju on vedossa. Nousunestorautoilla estetään kuljetinketjun nouseminen ja sitä kautta kolien ja kuljettimen pohjalevyn välyksen kasvaminen. Tällä varmistetaan materiaalin tasainen siirto ja ketjujen pysyminen johteillaan. Nousunestorautana voi käyttää valmiita teräsprofiileja eikä niihin yleensä tarvita erillisiä kulutuslevyjä.

Kaikkien edellisten suunnittelussa tulee ottaa huomioon niiden huoltotarve ja sen tekeminen mahdollisimman helpoksi. Vaihdeettavia johteita, kulutuslevyjä ja nousunestorautoja mietittäessä kannattaa jokaisen kohdalla erikseen panostaa yhden tai kahden samanlaisen komponentin käyttöön koko kuljettimessa. Tämä vähentää tarvittavien valmistuspiirustusten ja kuljettimen huollossa tarvittavien varaosien määrää ja tuo sitä kautta säästöjä.

3.4.3 Tarkistus-, huolto- ja räjähdysluukut

Kuljetinrunkoon, kuten veto- ja taittopäähänkin, tarvitaan erilaisia luokkuja. Tarkistusluokkuja sijoitetaan kuljettimen varrelle paikkoihin joista nähdään mahdollisimman hyvin kuljettimen sisälle ja joista nähdään virtaava materiaali. Tarkistusluukuissa on oltava niiden vaivattoman avattavuuden takia suojaverkot. Suojaverkoilla estetään tahaton takertuminen liikkeessä olevaan ketjuun ja suurempien materiaalipalasten sinkoutuminen kuljetinta käyttävien henkilöiden päälle. Tarkistus- ja huoltoluukkujen on oltava pölytiivitä, joten niiden rakenteessa on oltava jonkinlainen leveä laippapinta tai muu tiiviisti sulkeutuva muoto.

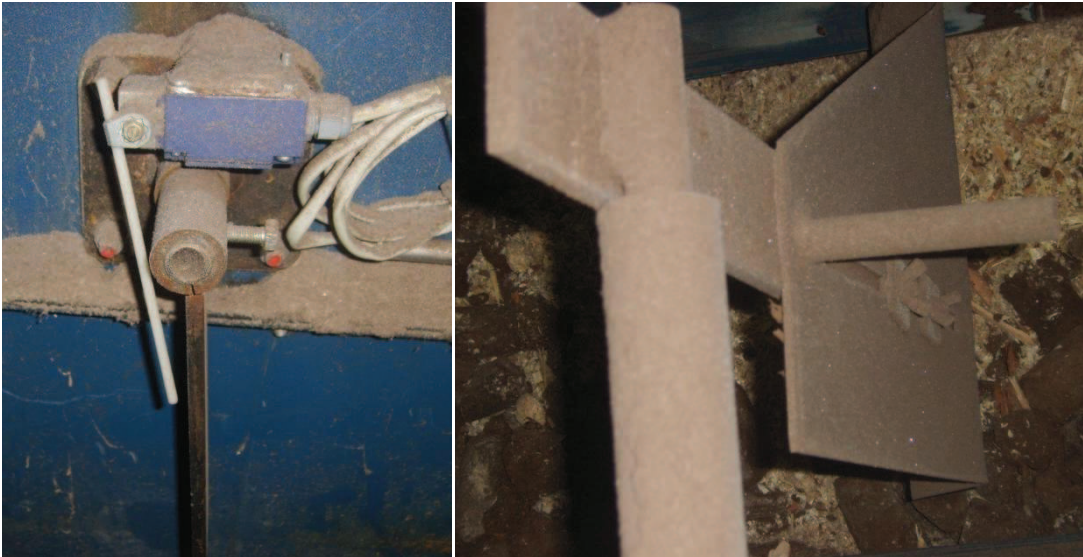
Huoltoluokkuja sijoitetaan huoltokohteiden lähelle ja ne ovat yleensä suurempia kuin tarkistusluukut, useimmiten vähintään miehenmentäviä. Huoltoluukut eroavat tarkistusluukuista myös siten, että niitä ei yleensä käytetä auki kuljettimen ollessa käynnissä eikä niitä saa auki ilman työkaluja. Siten huoltoluukuissa ei ole välttämätöntä käyttää suojaverkkoa.

Räjähdysluukkujen tehtävänä on kuljettimessa mahdollisesti tapahtuvan pölyräjähdysten sattuessa ohjata paineaalto hallitusti kuljettimesta ulos. Luukuilla estetään kuljettimen vahingoittuminen, kun paine ei pääse vaurioittamaan kuljettimen rakenteita. Yksittäisen luukun pinta-alan ja luukkujen määrän tulee olla riittäviä ja yleensä luukkujen toimittaja antaa niistä ohjeet. Lisäksi luukuista pitää tehdä pölytiivitä ja säänkestäviä, jotta kuljettimen sisältä ei pääse tarpeettoman paljon pölyä ympäristöön ja jotta siirrettävä materiaali ei pääse kastumaan.

3.4.4 Ruuhkavahti

Ruuhkavahtia käytetään kuljettimella siirrettävän materiaalipatjan korkeuden rajoittamiseen. Kuljettimessa, jossa on vaakasuora ja kalteva osuus, ruuhkavahti sijoitetaan vaakasuoran osan loppupäähän. Kuvassa 7 esitettyyn vahtiin kuuluu haittalevy ja rajakytkin. Kytkin sulkeutuu, kun kuljettimen vaakasuuden päällä oleva materiaalipatja työntää edessään olevan haittalevyn sivuun. Ruuhkavahti pysäyttää kolakuljettinta syöttävän kuljettimen niin pitkäksi aikaa, että kuljettimen kaltevalle osalle nousevan materiaalipatjan korkeus on oikea.

Ruuhkavahdin paikka ja malli eivät ole kaikilla kolakuljettimilla samat ja niiden suunnittelussa pitäisikin aina ottaa huomioon materiaalin syöttötapa kolakuljettimelle, vahdin säädettävyys eri kapasiteeteille ja vahtiin valittavan rajakytkimen soveltuvuus käyttötarkoitukseensa. Kuten kuvasta 7 näkyy, vahdin haittalevyssä on oltava säätö, jotta kuljettimelle päästettävän materiaalin määrää voidaan muuttaa. Rajakytkimeksi voidaan valita vahdin mallista riippuen kuvassa näkyvä mekaaninen anturi tai induktiivinen anturi. Induktiivinen anturi kytkeytyy, kun anturin lähettyville tuodaan rautaa tai muuta ferriittistä ainetta.



KUVA 7. Ruuhkavahdin rajakytkin ja haittalevy. (Kuva Heikki Huttunen)

3.5 Vetopää

3.5.1 Runko

Vetopään runkoon kohdistuu monenlaisia vaatimuksia. Runko joutuu kantamaan käyttökoneiston painon ja siitä runkoon kohdistuvat, usein hyvinkin suuret kuormat. Lisäksi rungon rakenteen on oltava sellainen, että siihen voidaan liittää aukaistavia ja kokonaan irrotettavia luokkuja, joiden kautta päästään muun muassa huoltamaan vetoakselia sekä vaihtamaan johteita ja kulutuslevyjä. Runkorakennetta suunniteltaessa on otettava huomioon myös vetopään kokonaistiiveys sen jälkeen, kun runkoon on asennettu kaikki siihen tulevat komponentit. Vetopään alle tuleva purkaussuppilo vaatii kiinnityspisteet vetopään rungon alareunaan. Vetopään ja suppilon liitos toteutetaan useimmiten vaakasuoralla laippapinnalla, mutta kuljettimen sovelluskohteen mukaan voidaan käyttää myös esimerkiksi yhdistettyä rakennetta, jossa vetopään runko ja suppilo ovat sama komponentti.

Vetoakselin kiinnittäminen runkoon vaatii tukevasti tehdyt kiinnityspisteet, jotka voivat lisäksi tarvita erilaisia akselin linjaukseen käytettäviä säädettäviä tukia. Käyttölaitetta kiinni pitävän momenttituen kiinnityskohta vaatii myös erittäin tukevan rakenteen. Vetopäässä käytetään samoja kuluvia osia kuin kuljetinrungossa, joten myös siinä on oltava kiinnityspisteet johteille, kulutuslevyille ja nousunestorautoille.

3.5.2 Käyttökoneisto

Kolakuljettimen käyttökoneiston tehtävänä on syöttää materiaalin siirrossa tarvittava teho kuljettimen vetopäässä olevalle vetoakselille. Käyttökoneistoon kuuluu alennusvaihe ja sitä käyttävä sähkömoottori sekä taajuusmuuttaja. Koneiston valinta perustuu kolakuljettimen ketjulle laskettuun ketjuvoimaan ja sille määrättyyn ketjunopeuteen. Koneiston tehon pitää riittää pyörittämään vetoakselia oikealla nopeudella, kun siihen kohdistuu kuljettimen maksimikapasiteetista määräytyvä ketjuvoima. Lisäksi käyttökoneiston tehon mitoituksessa on otettava huomioon riittävä pelivara muun muassa siirrettävän materiaalin kasautumisen ja kiilautumisen takia.

Liitteen 1 kohdassa 3 on valmis laskentapohja käyttökoneiston valinnan tueksi. Valinnassa tarvittava käyttökerroin on määritetty vaihdetoimittaja Sew Eurodrive Oy:n kirjallisen julkaisun (Sew Eurodrive 1998) mukaisesti. Laskentapohjassa tarvittavat lähtötiedot ja niistä saatavat tulokset on esitetty seuraavassa.

Käyttökoneiston mitoitus

1) Lähtötiedot:

- vetoakseliin kohdistuva ketjuvoima (kaikki ketjut yhteensä)
- ketjunopeus
- ketjupyörän jakohalkaisija
- käyttökoneiston hyötysuhde.

2) Alustavat vaatimukset:

- vetoakselin pyörimisnopeus
- vetoakselin vääntömomentti
- ketjungsiirtoteho
- sähkömoottorin teho.

3) Vaihdemoottorilta vaadittavan käyttökertoimen määrittäminen:

- kokeiltavan sähkömoottorin pyörimisnopeus
- kokeiltavan sähkömoottorin massahitausmomentti
- vaihteen käynnistysten ja pysäytysten lukumäärä/ tunti
- vaihteen käyntiaika tuntia/ päivä
- materiaalin ja kuljetinketjun paino

- materiaalin ja kuljetinketjun aiheuttama sähkömoottorille redusoitu massahitausmomentti
- massan kiihtyvyysskerroin
- käyttökertoimen minimiarvo.

4) Vaihdemoottorin valinta:

- sähkömoottorin teho
- vetoakselin pyörimisnopeus
- vaihteen toisiomomentti
- käyttökertoimen minimiarvo
- vaihdemoottorin käyttökerroin
- sähkömoottorin teho
- vaihdemoottorin välityssuhde
- sähkömoottorin momentti
- vaihteen toisiopään pyörimisnopeus
- vaihteen toisiomomentti
- kuljettimeen valittu vaihdemoottori.

3.5.3 Vetoakseli

Vetoakselin tehtävänä on pyörittää kuljetinketjua akseliin kiinnitettyjen ketjupyörien välityksellä. Akselin mitat määräytyvät vaaditusta kuljetinleveydestä, liityntämitoista vaihteeseen ja laakereihin sekä akseliin kohdistuvista kuormista. Kolakuljettimissa liityntämitat vaihteeseen ovat yleensä niin suuria, että niiden määräämät mitat riittävät kantamaan akseliin kohdistuvat kuormat. Vaikka akselin mitat määräytyisivätkin käytettävien laakereiden ja vaihteen mitoista, akseliin kohdistuvat kuormitukset ja niiden aiheuttamat jännitystasot on aina tarkistettava.

Liitteessä 2 on esimerkki vetoakseliin kohdistuvien kuormien arvioimisesta. Akselin mitoituksen pohjaksi on otettu kaksi eri kuormitustilannetta, joissa molemmissa vaikuttaa ketjuvoiman lisäksi akseliin liitettävän käyttökoneiston paino. Kuormitustilanteen A ketjuvoima vastaa ketjun mitoituksessa määritettävää ketjuvoimaa kuljettimen normaalikäytön aikana. Kuormitustilanne B:ksi on määritetty ylikuormitus, joka toteutuu kun kuljetinketju syystä tai toisesta jumiutuu ja vaihdemoottorista ketjuun vaikuttava voima kasvaa. Moottorin ylikuormituksessa antama momentti riippuu käytävästä vaihteesta ja moottorin tyypistä. Ylikuormitusmomentin suuruuden tuottava kerroin on määritettävissä vaihdetoimittajien tuoteluetteloista. Liitteen esimerkissä oi-

kosulkumoottorin antaman momentin ja siten voiman kertoimeksi ylikuormituksessa on määritetty 2,9.

Vetoakselille määritettyjen kuormitustapausten selvittämisen jälkeen voidaan tarkistaa akselissa vaikuttavat jännitykset ja mitoittaa akselin poikkileikkaukset. Liitteen 3 kohdassa 2 on sallittuihin jännityksiin ja Söderbergin laskentamenetelmiin (Airila ym. 2003, 326-327.) perustuva esimerkki vetoakselin mitoituksesta. Mitoitusesimerkki on laskettu edellä mainituille kahdelle kuormitustapaukselle, joista molemmista on määritetty vähimmäishalkaisijat akselin eri poikkileikkauksille. Kun kaikkia samalle poikkileikkaukselle laskettuja halkaisijoita verrataan ja niistä valitaan suurin, on poikkileikkauksen halkaisija riittävä.

3.5.4 Laakerointi

Vetopään laakeroinnin ensisijaisena tehtävänä on kantaa siihen vetoakselista kohdistuvat kuormat, mutta laakeripesien rakennetta voidaan hyödyntää myös vetopään kotelon tiivistämisessä. Jos laakerointi toteutetaan valmiilla laakeripesillä, siirtyy laakeroinnin ja sen tiivistyksen suunnittelu laakeritoimittajan vastuulle. Vaikka käytettäisiin valmiita pesiä, on vetoakselin tiivistäminen vetopään runkoon kuitenkin vielä suunniteltava itse. Jos laakerointi sitä vastoin toteutetaan omilla osilla, voidaan laakeripesän ja sen tiivistyksen yhteyteen suunnitella myös vetopään kotelon tiivistäviä rakenteita. Tällöin samaan laakerointiin on mahdollista yhdistää useampia toimintoja. Tiivistämisen lisäksi laakeroinnin suunnittelussa tulee ottaa huomioon vetoakselin tarvitsema pieni kuljettimen pituussuuntainen säätövara, jonka avulla kuljetinketju saadaan kulkemaan suorassa. Huollon helpottamiseksi laakereiden voitelun tulee onnistua vetopään kotelon ulkopuolelta, niin että voitelun takia ei tarvitse avata luukuja tai kansia.

Kolakuljettimen laakereiden valinnassa on olennaista huomata kuljetintyyppissä käytettävät huomattavan pienet pyörimisnopeudet, jotka voivat vaikuttaa laakereiden valinnassa käytettäviin laskentamenetelmiin. Laakerivalmistaja SKF:n internetsivuilla olevan laakereiden mitoitusohjelman, SKF Bearing Selectin antamien ohjeiden mukaan mitoituksessa on otettava huomioon staattiset ehdot, jos laakereiden nimellinen pyörimisnopeus on alle 10 kierrosta minuutissa (SKF 2011). Kuljetinketjusta laakerointiin kohdistuvat kuormat ovat lähinnä laakerin säteen suuntaisia, mutta mitoituksen yhteydessä on tehtävä arvio myös akselin suuntaisten kuormien suuruudesta.

3.5.5 Ketjupyörät

Ketjupyörien tehtävänä on vetää kuljetinketjua vetoakseliin tuodun tehon turvin. Ketjupyörän mitat määräytyvät kuljettimessa käytettävän ketjun lenkkivälistä eli ketjujasta, leveys- ja korkeusmitoista sekä ketjun nivelissä käytettävien holkkien ja rullien mitoista. Pyörät voidaan tehdä käyttökohteen ja huoltotarpeen mukaan yhdestä levystä tai toteuttamalla hammaskehä ja sen kiinnityskehä erillisinä. Lisäksi hammaskehä voidaan kiinnittää useammassa eri palassa, esimerkiksi kahden hampaan sektoreissa.

Ketjupyöriä voidaan valmistaa hyvin monentyyppisiä ja useimmat niistä tehdään teräksestä tai valuraudasta. Pyöriä voidaan valaa kokonaisina tai osissa. Valetut ketjupyörät ovat halvempia kuin koneistamalla tai leikkaamalla valmistetut, mutta ne eivät ole niin kestäviä. Teräksestä valmistetut ketjupyörät tehdään tavallisesti polttoleikkaamalla hiiliteräs- tai erikoisteräslevystä, minkä jälkeen hampaat karkaistaan liekillä, induktiolla tai suolakylvyllä. Myös muuten kuin valamalla tehtävät ketjupyörät voidaan toteuttaa useammassa osassa ja ne voidaan liittää toisiinsa esimerkiksi ruuviliitoksella. Toinen suosittu tapa tehdä moniosaisia ketjupyöriä on käyttää kiinteätä vetoakseliin liitettyä runkoa, johon kiinnitettävät kolme erillistä osaa muodostavat ketjupyörän kehän. Tämäntyyppinen ketjupyörä on suosittu, koska ketjupyörän osia voidaan vaihtaa irrottamatta ketjua. Monessa osassa tehdyt ketjupyörät ovat kalliimpia ja ne kestävät huonommin kuin yksiosaisena toteutetut. (Fayed & Skocir 1997, 288–289.)

Liitteessä 4 on Suomen Ketjutekniikka Oy:n tuoteluettelon tietojen (Suomen Ketjutekniikka Oy 1994) perusteella tehty mitoituspohja ketjupyörän geometrian määrittämiseksi. Pohja sisältää vaadittavat lähtötiedot ketjupyörän mitoittamiseksi standardin SFS 2380 mukaisille tyyppin A, B, C, D ja E ketjuille. Mitoituspohja antaa mitat myös ketjupyörän hammasauksessa toisinaan käytettäville hammasaukon pidennykselle ja kevennykselle sekä heittotoleranssit ketjupyörän kehälle ja sivupinnoille.

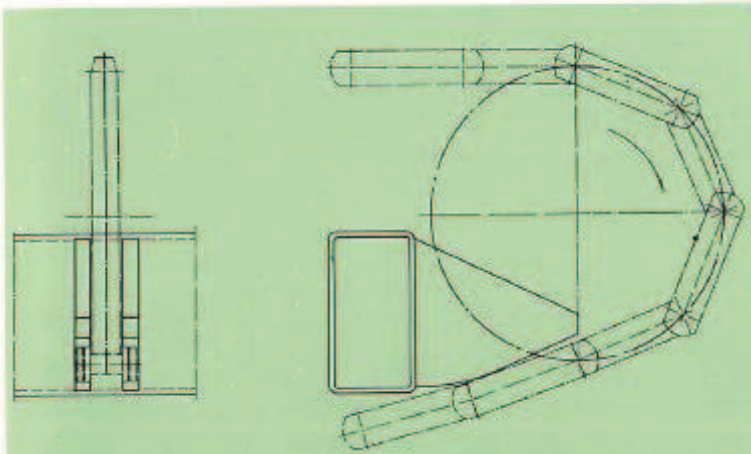
Hammasaukon pidennystä voidaan käyttää kohteissa, joissa kuljetettava materiaali pyrkii pakkautumaan ketjupyörän ja ketjun sivulevyjen väliin ja hankaloittaa näin ketjun irtoamista ketjupyörältä. Pidennystä ei kuitenkaan tule käyttää kahteen suuntaan ajettavissa kuljettimissa, koska se vaikeuttaa ketjun hallintaa pysäytyksen yhteydessä. Jos pidennystä ei haluta käyttää, voidaan materiaalin pakkautuminen hammasaukon ja ketjun väliin estää tekemällä hammasaukkojen pohjiin kevennykset. (Suomen Ketjutekniikka Oy 1994, 20.)

Liitteessä 5 on laskentapohja ketjupyörän hammaskehän kiinnitystapojen vertailua varten. Pohjaan on laskettu neljä eri tapausta: hammaskehän kiinnittäminen kahden hampaan paloissa kitkaliitoksella erillistä kiinnityskehää vasten, vastaava toteutettuna soviteruuviliitoksella, vastaava toteutettuna soviteholkillä ja yksiosaisen ketjupyörän kiinnitys kiilaliitoksella vetoakseliin. Kolmessa ensimmäisessä tapauksessa kiinnityskehä hitsataan kiinni vetoakseliin. Kitkaliitos perustuu ketjupyörään kohdistuvan voiman siirtämiseen hammaspalan ja kiinnityskehän välisellä kitkapinnalla, jonka vaatima puristusvoima saavutetaan momenttiin kiristettävällä ruuviliitoksella. Soviteruuviliitoksessa voima siirtyy leikkausjännityksen alaisen ruuviliitoksen välityksellä hammaspalasta kiinnityskehään. Soviteholkin toimintaperiaate on sama kuin soviteruuvin. Kiilaliitoksessa ketjupyörä toteutetaan yhtenä osana ilman erillisiä hammas- ja kehäpaloja, niin että siihen kohdistuvat voimat siirtyvät vetoakseliin kiilaliitoksen välityksellä. Laskentapohjan tapausten laskenta perustuu kolmen ensimmäisen tapauksen osalta standardiin F.E.M. Section II. Continuous Handling: Rules for the design of mobile equipment for continuous handling of bulk materials ja kiilaliitoksen laskenta kirjan Koneenosien suunnittelu (Airila ym. 2003, 378-384.) sisältämään teoriaan.

3.5.6 Ketjun irrotus

Ketjun irrotusta käytetään vetoakselilta lähtevän löysällä olevan paluuketjun irrottamiseen ketjupyörältä. Ketju voi jumiutua kiinni hammaskehään, jos ketjun mukana kulkeutuva materiaali kasautuu ketjun ja ketjupyörän väliin, eikä paluuketjun oma massa riitä irrottamaan sitä pyörän kehältä. Kaikki irrotuslaitteet tulisi toteuttaa niin, että irrotuslevyjä sijoitetaan kaikkien ketjupyörien molemmin puolin. Tällä saavutetaan se, että irrotuksesta aiheutuva voima kohdistuu kuljetinketjuun mahdollisimman tasaisesti.

Ketjun irrotuslaitteen suunnittelussa tulee huomioida riittävä väly irrotuslevyjen ja ketjupyörän välissä sekä levyjen paksuuden suhde ketjun sivulevyjen paksuuteen. Jotta irrotus sujuisi tasaisesti, tulisi irrotuslevyjen yltää niin kuljetinketjun sisälänkin kuin ulkolenkin sivulevyjen leveydelle. Irrotuslevyn ja vetoakselia lähimpänä olevan johdelevyn voi joissakin tapauksista toteuttaa yhtenä osana, jolloin irrotuslaitteesta tulee jatkuvatoiminen, eli se hankaa ketjua koko ajan. Laitteesta tulisi kuitenkin pyrkiä tekemään sellainen, että se koskettaa ketjua vain silloin kun ketju jumiutuu. Kuvassa 8 on esitetty yksi tapa toteuttaa jatkuvatoiminen irrotus yläpohjakuljettimessa.



KUVA 8. Ketjun irrotuslaite. (Suomen Ketjutekniikka Oy 1994, 18.)

3.5.7 Tukosvahti

Vetopään syöttöaukon läheisyyteen sijoitettavan tukosvahdin tehtävänä on pysäyttää kolakuljetin, jos syöttöaukko syystä tai toisesta tukkeutuu. Tukosvahti voi koostua esimerkiksi haittalevystä ja induktiivisesta anturista. Vahti kytkeytyy päälle, kun purkausaukon kohdalle kertyvä materiaalikasa työntää haittalevyn pois anturin ulottuvilta tai tuo sen anturin ulottuville. Tukosvahdin suunnittelussa tulee huomioida haittalevyn varmatoimisuus siten, että levy ei pääse missään tilanteessa jumiutumaan, vaan se on vapaana liikkumaan anturille tai siltä pois.

Tukosvahdin vaatimat rakenteet voidaan toteuttaa kokonaan omina osinaan tai ne voidaan sisällyttää esimerkiksi tarkistusluukun tai purkaussuppilon rakenteeseen. Tarkistusluukussa haittalevy voidaan tehdä osaksi luukun kantta tai sen sisällä olevaa suojaverkkoa. Suppilossa haittalevy voidaan toteuttaa esimerkiksi suppilon seinään upotetulla levyrakenteella.

3.6 Taittopää

3.6.1 Runko

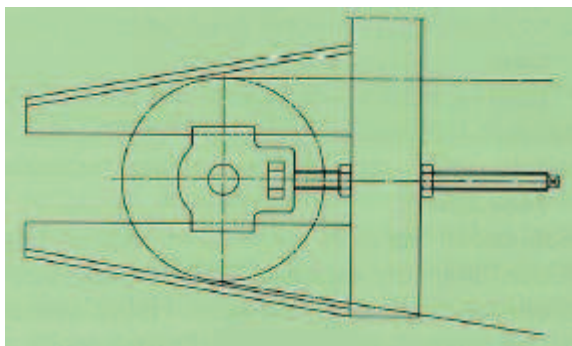
Taittopään rungon rakenteen on oltava sellainen, että se kestää taittoakselista siihen kohdistuvat kuormat ja että kuljetinketju kolineen sopii kulkemaan sen läpi kiristyslaitteen ollessa molemmissa ääripäissään. Runkoon pitää olla mahdollista kiinnittää taittoakseli tiiviisti ja säädettävästi ja akselin kiinnityspisteiden tulee olla tukevia. Lisäksi

rungolle voidaan asettaa esimerkiksi sellainen vaatimus, että yksi sen seinistä on toteutettava huoltotöiden helpottamiseksi kokonaan irrotettavana.

Taittopään rungolla on samat käyttökohteesta riippuvat tiiveysvaatimukset kuin veto-päällä ja siten molempien niiden tiivistyksessä on samat ongelmat. Taittopäässä käytetään johteita ja kulutuslevyjä kuten koko kuljetinrungossa, joten myös taittopään rungossa on oltava niille kiinnityspisteet. Kuljetinketjun vaihto voidaan toteuttaa kuljet-timen jommastakummasta päädystä, joten taittopään runkoon suunniteltavien luukku- jen paikat tulee valita niin, että ketjunvaihto ja muutkin huoltotoimet on niiden kautta helppo tehdä.

3.6.2 Taittoakseli

Kolakuljettimen taittopäässä olevan taittoakselin tehtävänä on kääntää kuljetinketjun kulkusuunta ja toimia ketjua kiristävänä toimilaitteena. Kuljettimen tyypistä riippuen taittoakseleita voi olla yksi tai useampia, yleensä kuitenkin korkeintaan kaksi. Jos akseleita on kaksi, toinen niistä ohjaa ketjua akselille jolla ketjun kiristäminen suori- taan. Kolakuljettimissa yleisimmin käytetty, kuvassa 9 näkyvä kiristyslaite on raken- teellisesti yksinkertainen ja edullinen ruuvikiristin. Ruuvikiristin on käytännössä pelkkä kierretanko, jonka välityksellä taittoakselia vedetään tai työnnetään, niin että kuljetin- ketju kiristyy. Taittoakselissa on ketjupyörät kuten vetoakselissakin, mutta kahdella ketjulla varustetun kuljettimen taittoakselissa vain toinen ketjupyörä on yleensä ham- mastettu.



KUVA 9. Ruuvikiristyslaite. (Suomen Ketjutekniikka Oy 1994, 11.)

Taittoakselin rakenteelliset mitat määräytyvät sen tukemiseen valittavista laakereista sekä siihen käytössä kohdistuvista kuormista. Liitteessä 6 on laskentapohja taittoak-

selin kuormien arvioimiseksi. Laskentapohjan esimerkissä akseliin kohdistuviksi kuormiksi on määritetty samat kuormitustapaukset kuin vetoakselin laskennassakin. Esimerkissä on lisäksi huomioitu tapaus, jossa kuljettimen paluuketju jumiutuu ja taittoakseliin kohdistuu vetoakselille laskettuun ylikuormitustapaukseen verrattuna kaksinkertainen voima. Voima on kaksinkertainen, sillä jos taittopäähän palaava löysällä oleva ketju jumiutuu, kohdistuu ketjuvoima taittoakseliin niin ylä- kuin alaketjustakin. Jumiutumisen lisäksi esimerkissä on huomioitu paluuketjun tyhjän päällä riippuvan osuuden ja vaakasuorassa johteiden päällä liikkuvan osuuden aiheuttamat lisäykset ketjuvoimaan. Riippuman aiheuttaman ketjuvoiman suuruutta on arvioitu seuraavien lähteiden perusteella:

- 1) Suomen Ketjutekniikka Oy: Tuoteluettelo (Suomen Ketjutekniikka Oy 1994, 10.).
- 2) Savon Konesuunnittelu Oy: Suunnitteluohjeet.
- 3) Mechanical Conveyors -kirja (Fayed & Skocir 1997, 290–293.).
- 4) Vector Mechanics for Engineers -kirja (Beer & Johnston 1996, 373.).

Kuten liitteen esimerkkilaskusta voidaan nähdä, poikkeavat eri lähteiden mukaan lasketut ketjuvoimat toisistaan hyvin paljon. Siksi tuloksista on valittu tarkasteluun vain kaksi, jotka tuottavat lähes saman tuloksen. Laskennassa huomioonotettavaksi ketjuvoimaksi on otettu näiden kahden keskiarvo.

3.6.3 Ketjupyörät

Taittopään ketjupyörien tehtävänä on ohjata kuljetinketjua taittopään sisällä. Kahden ketjun kuljettimissa joudutaan yleensä toinen ketjupyörä toteuttamaan ilman hammastusta, tai siten että sitä ei kiinnitetä jäykästi taittoakseliin. Tällä estetään kuljetinketjujen erisuuruudesta venymisestä johtuvat käyntihäiriöt, kun molempia ketjupyöriä ei pakoteta pyörimään samassa tahdissa. Hampaatonta pyörää käytettäessä ketjupyöränä voidaan käyttää kiekkomaista levyä, jonka halkaisija on sellainen, että ketju pyörii samalla korkeudella kuin hampaallisella pyörällä. Jos molemmat ketjupyörät halutaan toteuttaa hammastettuina, toisen kiinnitys hoidetaan niin että se pääsee pyörimään paikallaan.

Koska ketjupyörän mitat määräytyvät ainoastaan käytettävästä ketjusta, käytetään veto- ja taittoakseleissa täsmälleen samanlaisella hammastuksella tehtyjä pyöriä. Vetoakselista poiketen voidaan taittoakselin ketjupyörät usein tehdä yhtenä kappa-

leena ja liittää akseliin kiinteästi. Näin voidaan menetellä, sillä normaalikäytössä taittopään kuormat ovat vain murto-osa vetopään kuormista. Koska pyöriin kohdistuvat kuormat ovat pienempiä ja siten kuluminen olennaisesti vähäisempää, voidaan pyörät toteuttaa olettaen, että niitä ei tarvitse vaihtaa kuljettimen käyttöiän aikana.

3.6.4 Pyörintävahti

Taittoakselin pyörintää seuraavan pyörintävahdin tehtävänä on pysäyttää kolakuljetin, jos akselin pyörintä lakkaa ketjun rikkoontumisen tai muun syyn vuoksi. Vahdin paikka on taittoakselilla, koska ketjun rikkoontumista ei huomata, jos vahti seuraa käyttökoneiston voimalla pyörivää vetoakselia. Rikkoontuminen sitä vastoin huomataan, kun vetoakseli vetää rikkoontuneen ketjun taittopään läpi ja taittoakseli lakkaa pyörimästä.

Pyörintävahti voi koostua esimerkiksi induktiivisesta pyörintäanturista ja häirtalevystä, johon kohdistuvat rakenteelliset vaatimukset riippuvat käytettävästä anturista. Induktiivisille antureille ilmoitetaan niiden aktivoimiseen vaaditun ferriittisen häirtan maksimietäisyyden lisäksi muun muassa anturin toimimiseen vaadittavien, häirtoista syntyvien signaalien vähimmäismäärä aikayksikössä. Häirtalevyn rakenteesta tulee siten tehdä sellainen, että vaadittu signaalimäärä toteutuu taittoakselin normaalilla pyörimisnopeudella. Häirtalevyn voi toteuttaa akseliin kirittäväällä muovisella pyöreällä reikälevyllä, johon on ruuvattu tai upotettu anturin vaatimia häirtoja, esimerkiksi ruuveja. Häirtalevyn mallista riippumatta, joudutaan sen suojaksi useimmiten tekemään kotelo tai verkko, joka estää tehokkaasti akselin mukana pyörivään häirtalevyyn sotkeutumisen.

4 KEHITYSTYÖ

4.1 Lähtötilanne

Kolakuljettimen tuotekehitystarve on syntynyt Andritz Oy:n halukkuudesta tarjota biovoimalaitosten toimituksia avaimet käteen -periaatteella. Tämä tarkoittaa sitä, että laitoksen ostaja saa kaikki voimalaitoksen käyttöönottoon ja jatkuvaan hyödyntämiseen tarvittavat laitteet ja niiden vaatimat järjestelmät yhdeltä toimittajalta. Andritz Oy:n tuotevalikoimaan kuuluu kuljettimia muun muassa sellutehtaiden purun ja hakkeen käsittelyyn, mutta ne eivät sellaisenaan sovellu käytettäväksi biovoimalaitoksissa. Ongelmia ovat muun muassa kuljetettavien materiaalien laatuero ja kuljettimien toisistaan poikkeavat tiiveysvaatimukset. Lisäksi voimalaitosten kuljettimissa tarvitaan usein huomattavasti suurempia kapasiteetteja sekä kykyä muuttaa sitä voimakkaasti kysynnän heilahtelujen mukaan.

Avaimet käteen -periaatteella myydään nykyisin tuotteita aina kodinelektroniikasta omakotitaloihin ja lämmitysjärjestelmiin. Toimintamallin etu on tietyn sovellusalueen tietotaidon keskittyminen toimittajalle ja näin syntyvä toimitus- ja toimintavarmuus. Lisäksi avaimet käteen -periaate on asiakkaalle usein helpoin vaihtoehto ostaa tuote kuin tuote, koska tällöin hänen ei tarvitse ostaa järjestelmän tai laitteiston eri osia eri toimittajilta, vaan hän saa kaiken yhdestä paikasta.

4.2 Tuotekehityksen tavoitteet ja vaatimukset

Kehitystyön tavoitteena oli luoda pohja biovoimalaitosten polttoaineen syötössä käytettävien kolakuljetinten tuotesarjalle ja vakioida niiden rakenne mahdollisimman pitkälle. Kuljettimista tuli siis suunnitella sellaisia, että samoja komponentteja voidaan hyödyntää eri kokoluokan ja polttoaineiden kuljettimien välillä. Lisäksi laitteiden rakenteen ja valmistuksen kustannusten tuli olla kilpailukykyisiä ja siten niihin vaikuttaviin asioihin tuli kiinnittää erityistä huomiota.

Tuotekehityksen tavoitteena on aina pyrkimys parempaan. Teollisuudessa se tarkoittaa useimmiten oman tuotteen tai palvelun kehittämistä kilpailijoiden vastaavaa tarjontaa paremmaksi. Kehittäminen voi kohdistua tuotteen tekniseen paremmuuteen tai kestävyuteen, tuotteen valmistamiseen nopeammin, halvemmalla, paremmalla kokonaislaadulla tai esimerkiksi ympäristöystävällisemmin. Lisäksi tuotekehitys voi tarkoittaa

taa kokonaan uuden tuotteen kehittämistä tai vanhan tuotteen tekemistä uudella tekniikalla.

Ennen tuotekehitysprojektin alkamista asiakkaalta saatiin tuotesarjan kuljettimia koskeva vaatimuslista. Listassa ilmoitettiin muun muassa käytettävät polttoaineet ja niiden sisältämät epäpuhtaudet, haluttu kapasiteettialue ja kuljetinleveydet, mahdolliset kuljetinketjut sekä muita tarkentavia vaatimuksia. Kuljettavia polttoaineita olivat jyr-sinturve, palaturve, hake, metsähake, sahanpuru, kuori ja kierrätyspuu. Kaikkien näiden lisäksi kuljettimien oli siedettävä polttoaineen mukana kulkeutuvat hiekka, kivet sekä yksittäiset isommat epäpuhtaudet, kuten polttoaineesta jäätymällä muodostuneet palat ja puunkappaleet. Jokaiselle polttoaineelle ilmoitettiin lisäksi raekoon raja-arvo koskien 90:tä prosenttia polttoainemäärästä. Kuljettimissa käytettäviksi runkoleveyksiksi annettiin 1 000, 1 250, 1 500, 1 750 ja 2 000 mm sekä kapasiteettialueeksi 200 – 1 200 kuutiota tunnissa. Tuotesarjassa käytettävien kuljetinketjujen vaihtoehtoja olivat M224, M315, M450 ja M630. Kuvassa 10 näkyy palaturpeen ja purun seos biovoimalaitosta syöttävässä kolakuljettimessa.



KUVA 10. Palaturvetta ja purua kolakuljettimessa. (Kuva Heikki Huttunen)

4.3 Tuotekehitysprojekti

4.3.1 Kehitystyön kulku ja työkalut

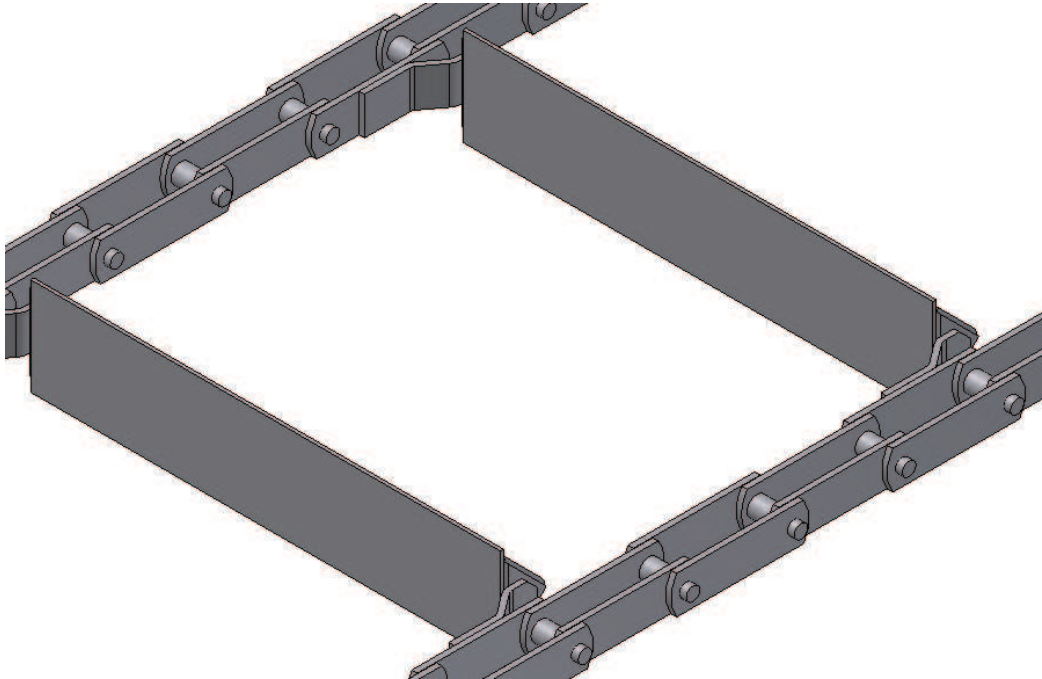
Asiakkaan näkökulmasta tuotekehityksen lähtökohtana oli hyödyntää Savon Kone-suunnittelu Oy:ssä olevaa kokemusta ja hyvää sovellusalueen tuntemusta omiin tarpeisiin. Heti alussa oli siis selvää, että yrityksellä on valmiudet tehdä kolakuljettimiin liittyvää tuotekehitystä, koska sillä on niistä laaja tietoperusta. Yrityksessä olevan tiedon lisäksi tuotekehitysprojektin aikana pyrittiin kuitenkin tutustumaan myös muihin yleisesti kolakuljettimissa käytettyihin ratkaisuihin. Omia aikaisemmin hyväksi nähtyjä ratkaisuja verrattiin muihin ratkaisuihin ja vertailusta saatua tietoa hyödynnettiin uuden kuljettimen suunnittelussa mahdollisuuksien mukaan.

Kun minkä tahansa tuotteen hinta halutaan alentaa, on tutustuttava tuotteen rakenteen, käytettävien materiaalien ja valmistuksen kustannusten ohella sen sisältämien osien määriin ja niiden kappalehintoihin. Tuotteen mukaan suurimman osan materiaalikuluista voi muodostaa joko yksittäinen kooltaan iso ja kallis komponentti tai määrältään suuri ja kappalehinnaltaan pieni komponentti. Kolakuljettimen tapauksessa huomio tulee kiinnittää jälkimmäiseen. Kolakuljettimessa kuljetinrunko, ketjut, kolat, johteet ja kulutuslevyt muodostavat huomattavan osan materiaalikuluista, koska niitä on poikkeuksetta pituudella tai kappalemäärällä mitattuna paljon.

Kolakuljettimen tuotekehitys aloitettiin muodostamalla vaihtoehtoja kuljetinrungon poikkileikkauksesta. Kuljetinrunko muodostaa varsinkin pitkässä kuljettimessa suurimman osan koko kuljettimesta, joten sen vaikutus laitteen kokonaishintaan on merkittävä. Lisäksi rungon poikkileikkauksen muoto on ehkä yksi kolakuljettimen parhaiten vakioitavaksi soveltuvista osista. Sen rakenteen ja materiaalien suunnitteluun on siis viisasta käyttää riittävästi aikaa ja vaivaa. Leikkaustyön vähentämiseksi kuljettimen kaikissa osissa haluttiin käyttää mahdollisuuksien mukaan terästoimittajien valmiita levykokoja. Levykokojen huomioon ottaminen vaikutti muun muassa kuljetinlohkojen pituuteen ja kuljetinrungon poikkileikkauksen muotoon.

Kuljettimen kolien kehitystyö rajoittui koliiin käytettävän materiaalin määrän pienentämiseen ja taivutusjäykkyyden kasvattamiseen. Kolalle muotoiltiin vaihtoehtoisia rakenteita, joita verrattiin aikaisemmin tehtyihin ja lopputulokseksi saatiin kuvan 11 mukainen kotelorakenteinen kola, jonka jäykkyys on käytettyyn materiaalmäärään nähden hyvä. Kolan rakenteessa otettiin huomioon myös hitsaustyön nopeuttaminen panostamalla railomuotojen suunnitteluun ja hitsauksen vaatiman esityön määrän

vähentämiseen. Kolan kiinnitys kahteen rinnakkain kulkevaan kuljetinketjuun aiottiin ensin tehdä ruuviliitoksella, mutta lopulta kiinnitys päätettiin tehdä hitsaamalla. Kuvassa 12 näkyy neliöputkesta tehty kola, joka on kiinnitetty ketjuihin ruuviliitoksella.



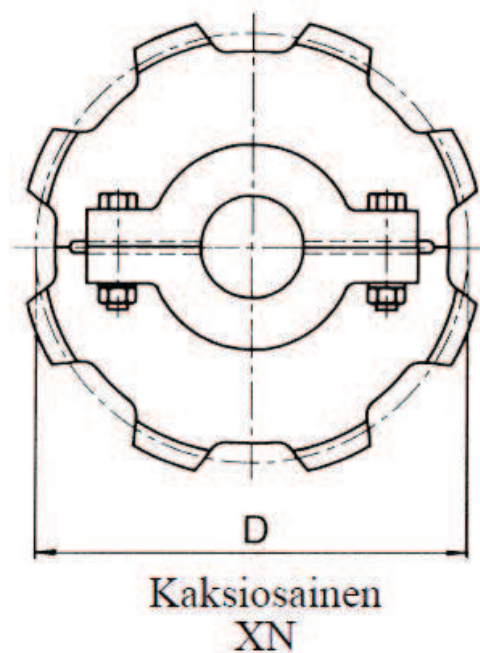
KUVA 11. Kotelorakenteinen kola ja kuljetinketju. (Savon Konesuunnittelu Oy)



KUVA 12. Kola ja muovijohde. (Kuva Heikki Huttunen)

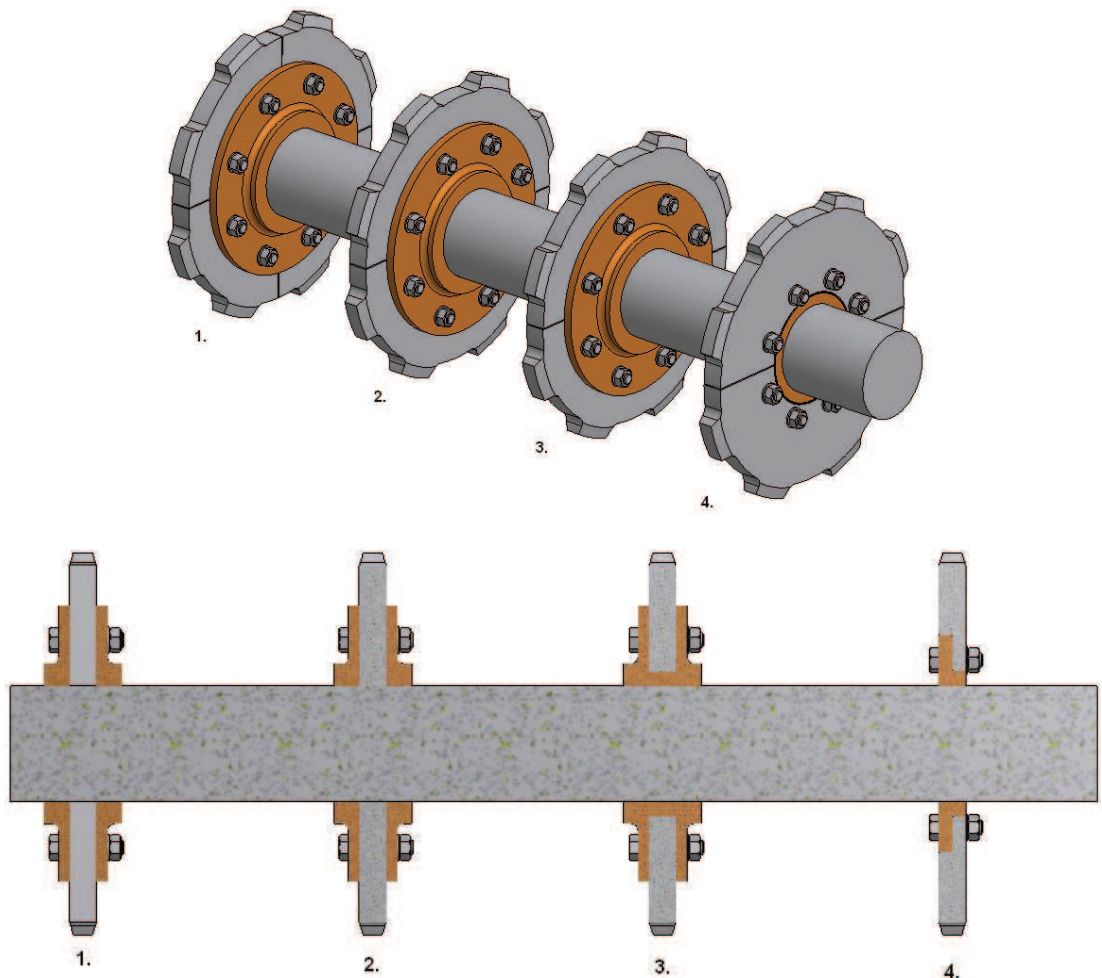
Johteiden ja kulutuslevyjen osalta tuotekehitystä mietittiin lähinnä niissä käytettävien materiaalien kannalta. Kuljetinketjun alla käytetään normaalisti paksua muovista kulutuslevyä, koska se on helppo asentaa myös kuljettimen kaareviin osiin. Muovisen kulutuslevyn etuna on myös se, että tietyn ajan jälkeen levyn merkittävä kuluminen loppuu ketjusta levyyn kohdistuvan pintapaineen laskiessa. Tämä johtuu siitä, että ketjun kosketuspinta-ala muovilevyyn kasvaa, kun ketjun sivulevyt pureutuvat siihen riittävän syväälle. Myös kuljettimen pohjan ja kolan välinen kulutuslevy on useimmiten paksua muovia, mutta nyt koko kuljettimen pohja päätettiin tehdä ruostumattomasta levystä ilman erillistä kulutuslevyä. Kulumisen arvioitiin olevan käytettävillä polttoaineilla ja ketjunopeuksilla niin pientä, että riittää kun kuljetinrunгон pohjalevyn paksuuteen lisätään pieni kulumisvara.

Ketjupyörien ja niiden hampaiden kiinnittämiseksi on niin monta vaihtoehtoa kuin on tekijöitäkin. Ketjupyörä voidaan tehdä yhdestä levystä ja hitsata tämä levy suoraan akseliin, tehdä erillinen kiinnityskehä erikokoisille hammaspaloille tai kiinnittää esimerkiksi kokonaan valuosana tehty hammaspyörä kiilaliitoksella akseliin. Kuvassa 13 on FB-Ketjutekniikka Oy:n näkemys kiilaliitoksella akseliin kiinnitettävästä kaksiosaisesta ketjupyörästä, jonka puolikkaat liitetään toisiinsa akselia vastaan kohtisuorassa olevilla ruuveilla.



KUVA 13. Kaksiosainen kiilalla ja ruuveilla akseliin liitettävä ketjupyörä. (FB-Ketjutekniikka Oy 2011, 10.)

Käytettävää ketjupyörän kiinnitystä mietittiin vertaamalla aikaisemmin suunniteltuja kiinnityksiä olemassa oleviin ketjupyörätoimittajien malleihin sekä yhdistelemällä vanhoja periaatteita uusiin kiinnitystapoihin. Kuvassa 14 on esitettyinä neljä eri menettelytapaa. Kaikki kuvassa olevat vaihtoehdot voidaan toteuttaa kahdella tai useammalla hammaspalalla ja joko kitkaliitokseen tai leikkausliitokseen perustuen. Lisäksi nämä kaksi liitostyyppiä voidaan vielä toteuttaa eri tavoin. Ketjupyörän kiinnitysvaihtoehtoja vertailtiin huollon ja valmistuksen helppouden, luotettavan toiminnan ja rakenteen kustannusten suhteen. Kiinnitystavaksi valittiin lopulta kuvan vaihtoehto neljä, koska Savon Konesuunnittelu Oy:llä on sen käytöstä hyviä kokemuksia muiden sovellusten alueelta. Lisäksi kuusioruuvilla toteutettava leikkausliitos on kitka- tai kiilaliitokseen verrattuna huomattavasti halvempi toteuttaa. Erillisten hammaspalojen käytön etu on myös niiden vaihdettavuus ilman akselin laakeroinnin irrottamista.

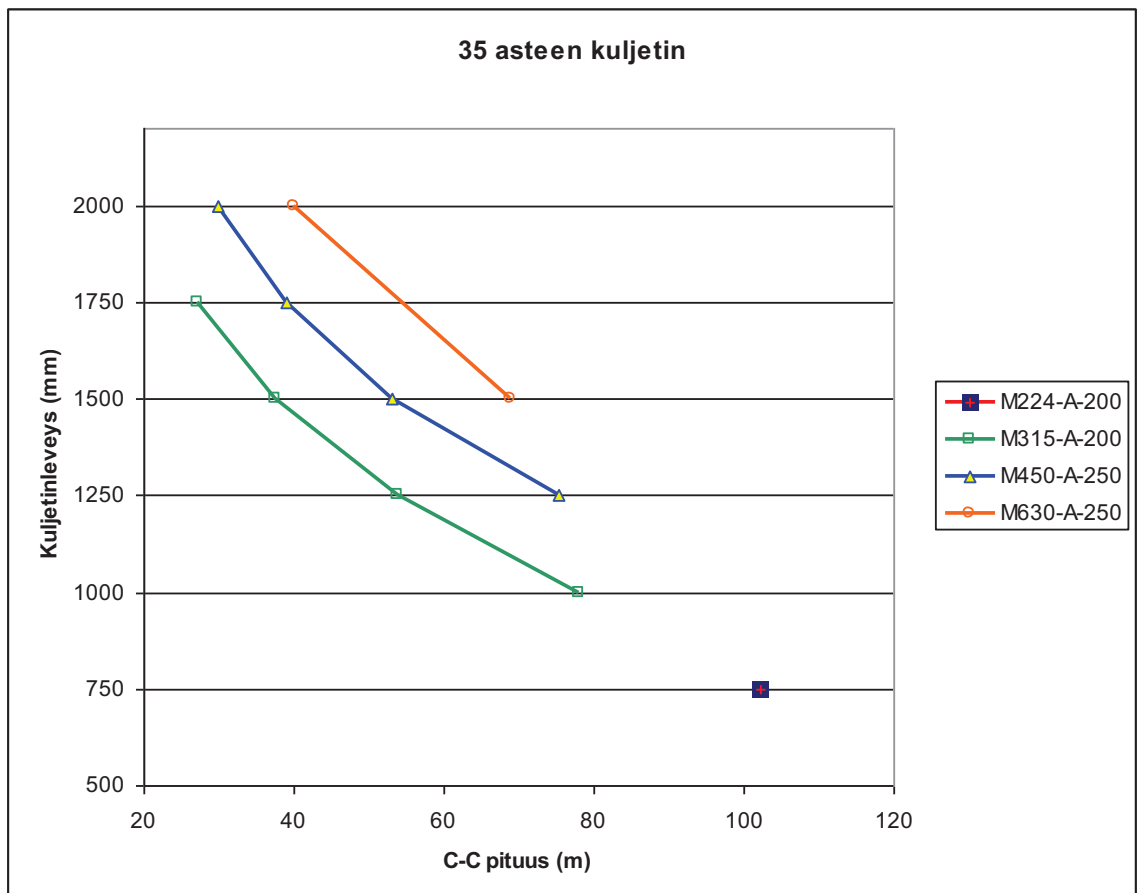
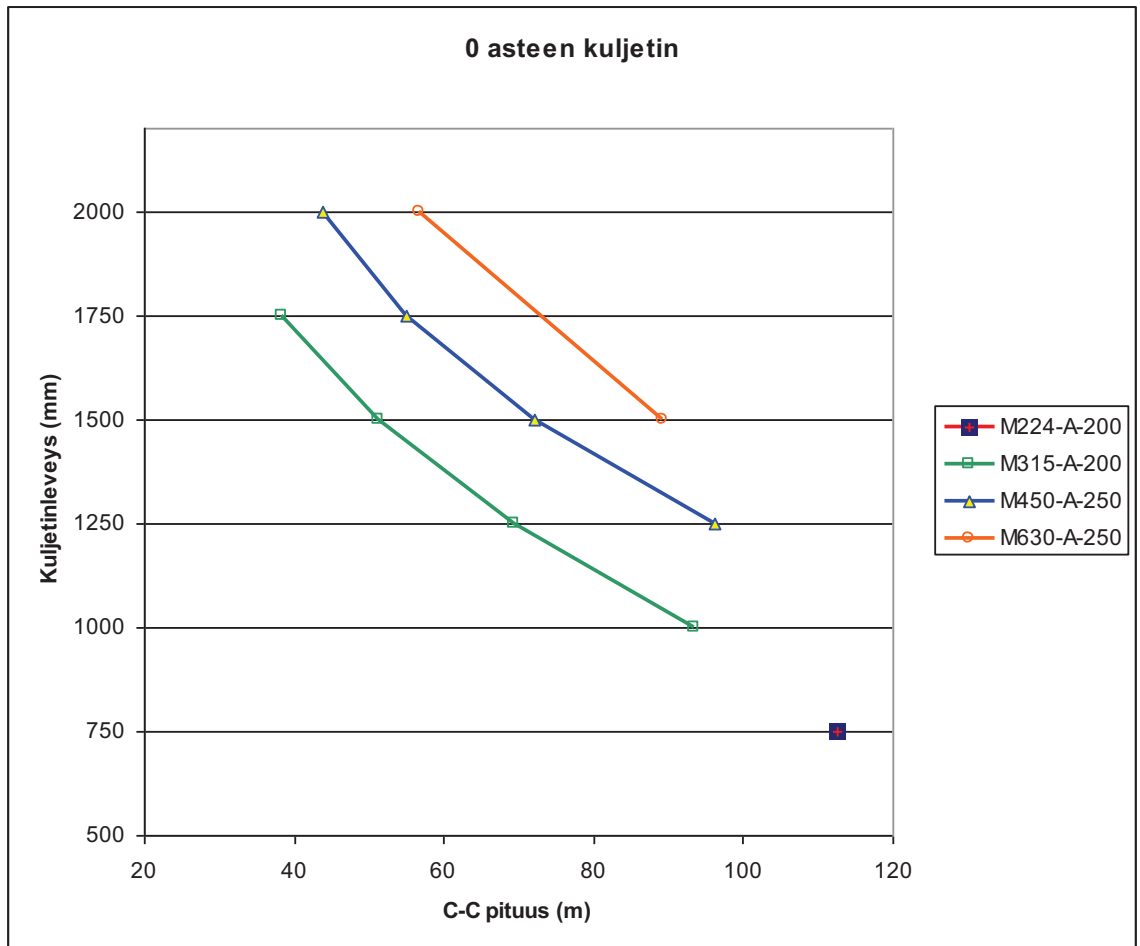


KUVA 14. Ketjupyörän kiinnitysvaihtoehtoja. (Savon Konesuunnittelu Oy)

4.3.2 Kolakuljettimen vakiointi

Vakioinnin tavoitteena on yleensä pienentää tuotteisiin tarvittavien erilaisten komponenttien ja myöhemmin tarvittavien varaosien määrää sekä sitä kautta pienentää kustannuksia kaikissa toiminnoissa. Vakioinnilla on myös mahdollista vaikuttaa merkittävästi tulevaisuudessa tarvittavan suunnittelutyön määrään. Pisimmälle viety vakioinnin muoto on standardointi, jossa valtiot ja erilaiset yhteisöt sopivat yhteisistä toimintamalleista, joita sovelletaan omassa ja keskinäisessä toiminnassa. Standardoinnin etuna on vakioinnin tuottamien hyötyjen lisäksi valmistettavien tuotteiden rakenteellisen yhteensopivuuden varmistaminen. Tästä paras esimerkki on kierreprofiilien standardointi.

Kolakuljettimien tuotesarjan suunnittelussa vakiointi tarkoittaa jokaisen komponentin kohdalla tehtävää arviointia siitä, millainen komponentin tulisi olla, jotta se kävisi sellaisenaan myös esimerkiksi eri kokoluokan tai eri toimintaolosuhteisiin tarkoitettuun kuljettimeen. Täydellinen vakiointi, jossa komponentti on sama kaikille tuotesarjan kuljettimille, voidaan ulottaa kolakuljettimien tapauksessa lähinnä liitoselimiin, antureihin ja joihinkin yksittäisiin komponentteihin, kuten tarkistusluukkuihin. Parhaiten vakioitaviksi komponenteiksi soveltuvat järkevin kapasiteettiporrastuksin tehtynä käyttökoneistot ja ketjut. Tuotesarjassa käytettävien ketjujen käyttöalueiden arviointiin tehtiin kuvion 1 mukaiset kuvaajat 0 ja 35 asteen kuljettimille. Kuvaajat perustuvat kunkin ketjutyyppin maksimikuormitettavuuteen ja sitä kautta kuljettimen vaatiman käyttökoneiston kokoon. Kuvaajien avulla voidaan siis arvioida tarvittavan ketjun koko, kun tiedetään vaadittu kapasiteetti sekä kuljettimen leveys ja pituus.



KUVIO 1. Ketjujen käyttöaluekäyrät.

Jos vakiointi viedään äärimilleen, voidaan periaatteessa tehdä yksi kolakuljetin, joka voi olla käyttökelpoinen kaikkiin vaadittaviin kohteisiin. Tämä tarkoittaa käytännössä kuljetinta, jolla on suurin tarvittava kuljetuskapasiteetti, edellytys kuljettaa kaikkia tarvittavia polttoaineita kaikissa olosuhteissa ja lisäksi portaaton nopeudensäätö. Tällöin kuljetin korvaisi karkeasti arvioituna kaikki tuotesarjan kuljettimet. Jotta vakiointityö tuottaisi odotetun tuloksen, on sen laajuudelle ja luonteelle asetettava järkevät ja tekniikan kannalta perustellut rajat.

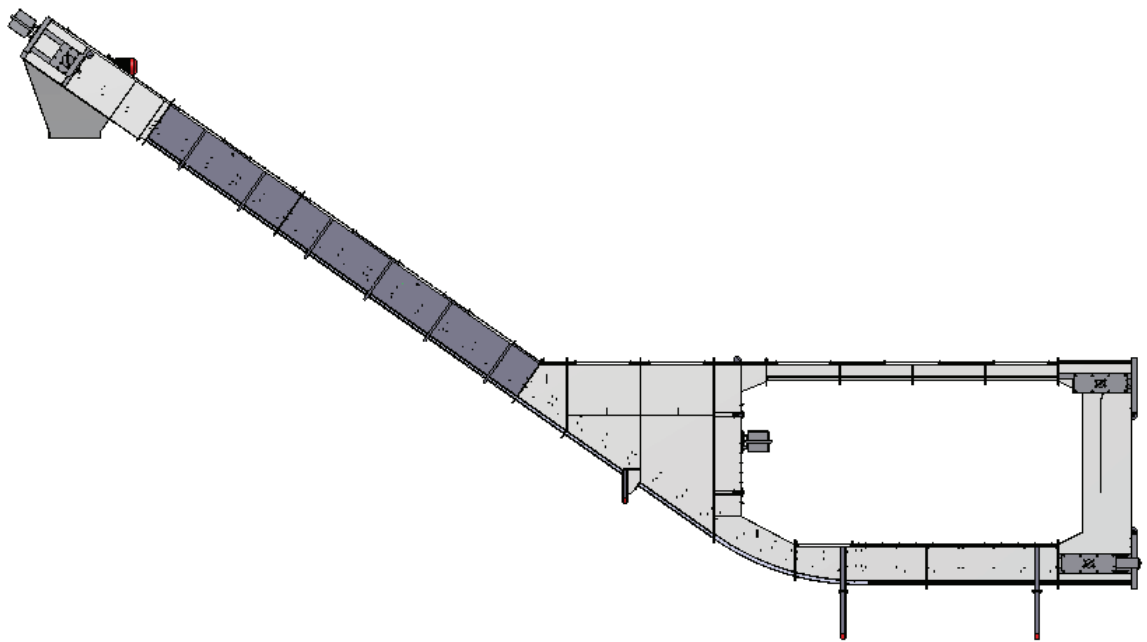
Kolakuljettimen vakiointia rajoittavat oletusarvoisesti asiakkaan vaatimukset, tarvittavat kapasiteettialueet ja kuljetinpituuudet, saatavissa olevat komponentit, käytettävien polttoaineiden laatu ja viranomais määräykset. Tuotesarja on mahdollista vakioida järkevässä laajuudessa suunnittelutyössä tehtävillä valinnoilla huomioiden kaikki muut rajoitukset, paitsi yksittäisen asiakkaan vaatimukset. Asiakasyrityksestä, toimintaympäristöstä, maasta ja totutuista tavoista johtuen kolakuljettimen rakenteeseen enemmän tai vähemmän vaikuttavia asiakasvaatimuksia on yleensä vakioinnin kannalta liikaa. Tämä johtaa siihen, että kun asiakas haluaa kuljettimen tietyn toiminnon tai komponentin tehtävän tietyllä, vakioidusta kuljettimesta poikkeavalla tavalla, joudutaan eri asiakkaille tekemään hyvinkin paljon toisistaan poikkeavia kuljettimia, vaikka niiden käyttökohde olisi lähes sama. Jotta vakiointi saataisiin sietämään muuttuvat asiakasvaatimukset, voisi yksi keino olla suunnitella tuotteen rakenteeseen asiakasvaatimusten täyttämiseksi tyhjää tilaa, esimerkiksi moduloidun tuoterakenteen avulla. Tämä lienee kuitenkin kolakuljettimiin kohdistuvien toiminnallisten ja rakenteellisten vaatimusten vuoksi hyvin hankala toteuttaa.

5 ASIAKASPROJEKTI

5.1 Projektin tavoite

Tuotekehitysprojektin kanssa samaan aikaan asiakkaalta saatiin normaali projektiluontoinen tilaus kuljetintyyppistä, jota oli juuri alettu kehittämään. Tuotekehitystä tuli siis tehdä asiakasprojektin rinnalla ja samalla testata kehitystyössä tehtyjen päätösten toimivuutta oikeassa, toteutettavassa projektissa. Opinnäytetyön sisältöön projektissa kuuluivat kolakuljettimen veto- ja taittopään suunnittelu.

Asiakasprojektin tavoitteena oli suunnitella kuvan 15 mukainen 200 kuutiota tunnissa siirtävä biovoimalaitoksen kolakuljetin. Kuljettimen nimellisipituus oli 29 metriä ja leveys 1 200 mm. Lähtötiedoissa oli lisäksi vaatimuksia käyttökoneistosta, ketjupyöristä ja varsinkin rakenteissa käytettävistä materiaaleista ja niiden ainesvahvuuksista. Ketjupyöristä haluttiin kaksiosaisia, ketjun kiristys piti hoitaa kuljettimen taittopäähän asennettavalla ruuvikiristyslaitteella ja kuljettimessa tuli olla pölyräjähdysten varalta räjähdysluukkuja kuuden metrin välein.

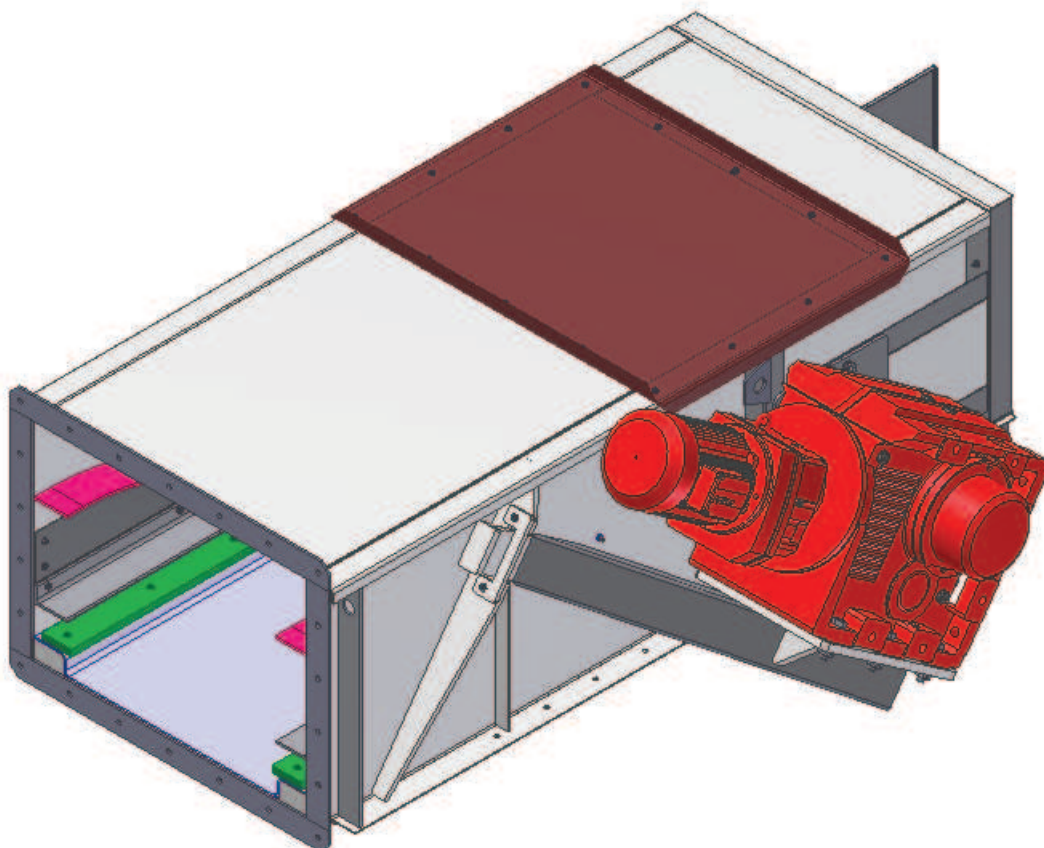


KUVA 15. Biovoimalaitoksen kolakuljetin. (Savon Konesuunnittelu Oy)

5.2 Suunnittelutyön läpivienti

5.2.1 Vetopää

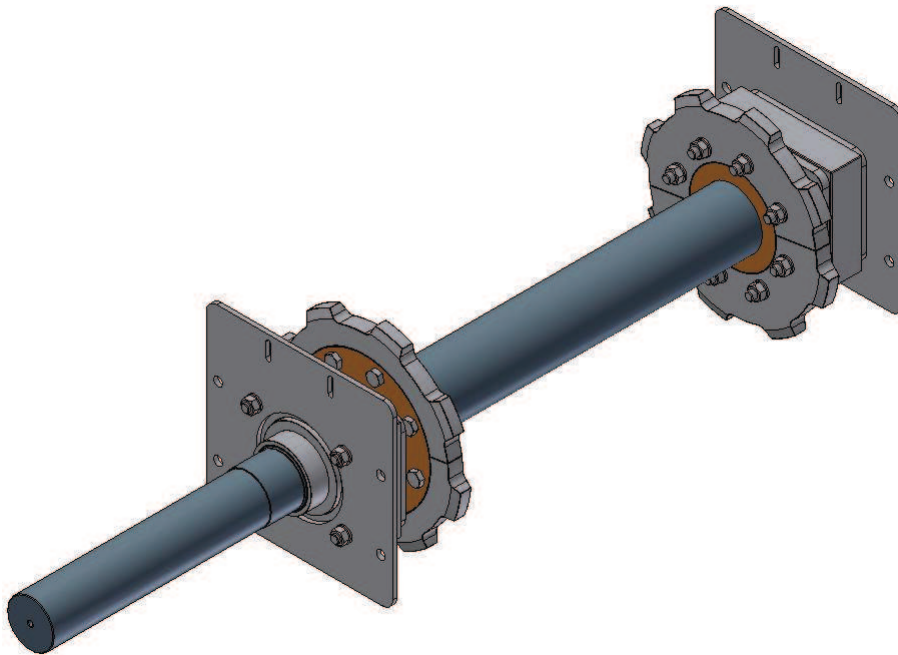
Vetopään suunnittelu aloitettiin tarkastamalla projektin lähtötietojen antaman ketjutyypin riittävyys kyseiseen kuljettimeen. Ketjun sopivuutta arvioitiin kohdan 4.3.2 kuvaajien taustalla olevan tiedon perusteella ja ketju vaikutti olevan reilusti ylimitoitettu. Tästä huolimatta kuljettimessa käytettiin asiakkaan ehdottamaa ketjua. Ketjutyypin lisäksi heti alkuvaiheessa valittiin käyttökoneiston toimittaja ja tyyppi. Käyttökoneistoksi valittiin Sew Eurodrive Oy:n kartiohammasvaihdemoottori. Koneistoon kuuluu alennusvaihde, sähkömoottori ja taajuusmuuttaja. Vaihde liitetään vetoakseliin vaihdemoottorin mukana tulevalla kartioholkkiliitoksella, jolloin riittää, että akseliin tehdään vain yksi olake, jota vasten vaihde kiritään. Vaikka asiakkaan lähtötiedoissa mainittiin, että käytettävässä vaihdemoottorissa tulisi olla valmiina momenttituen korvake, jouduttiin kuljettimeen valitsemaan korvakeeton malli, koska korvakeellisten joukosta ei löytynyt kuljettimen toimintasuureiden kanssa linjassa olevaa mallia. Korvakeen puuttumisen takia vaihteelle tehtiin kuvassa 16 näkyvä erillinen oma momenttituki, joka sallii käyttökoneistolle pienen liikkumisvaran joka suuntaan.



KUVA 16. Vetopää. (Savon Konesuunnittelu Oy)

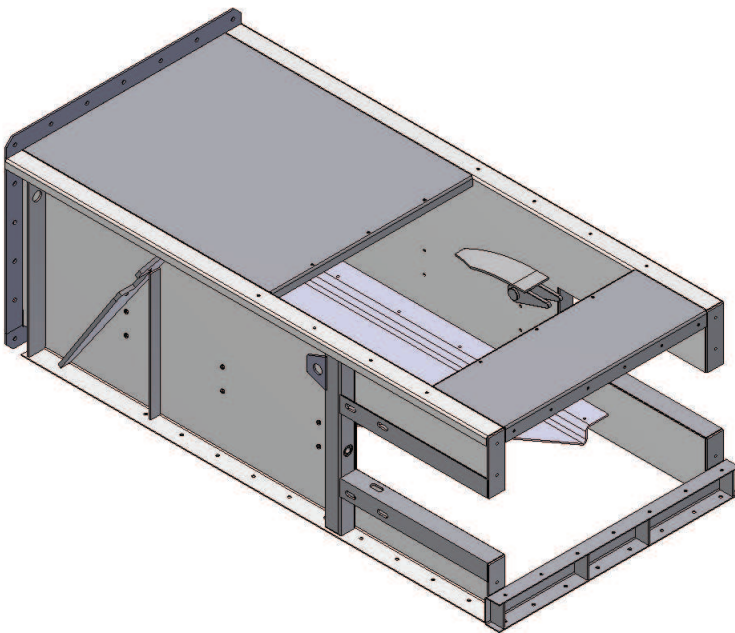
Kuvassa 17 näkyvän vetoakselin mitoitus vaikutti pääasiassa vaihdemoottorin sekä saatavissa olevien laakereiden ja tiivisteiden liitosmitat. Akselin vapaa pää mitoitettiin Sew Eurodrive Oy:n tuoteluettelon antamien mittojen mukaan kiristysolakkeen halkaisijaa lukuun ottamatta, sillä se piti jättää valittujen laakereiden vuoksi hieman pieneksi. Puute kuitenkin korjattiin kuvassa 17 näkyvällä paksuseinämäisellä holkillilla, joka asetetaan vaihteen ja laakeripesän väliin. Valittujen laakereiden annettiin määrätä vetoakselin halkaisija, jotta siitä saatiin hieman ohuempi. Toteutetun akselin suurimmaksi halkaisijaksi tuli 170 mm, vaikka laskujen mukaan halkaisijaksi olisi riittänyt noin 95 mm.

Asiakkaan vaatimuksesta veto- ja taittoakselistojen laakeripesiä ei haluttu ostaa ulkoa, joten ne suunniteltiin itse. Koska laakeripesien ja akseleiden läpivientien rakenne voitiin päättää itse, tuli eri osien toimintojen yhdistämisestä helpompaa ja näin pystyttiin vaikuttamaan paremmin akselissa tarvittavien osien määrään. Laakeripesien rakenne toteutettiin yhdistettynä rakenteena, johon kuului varsinaisen pesän rungon ja laakerin lisäksi metalliset sokkelotiivisteet, säteishuulitiivisteet, väliholkit ja kiinnityslevyt. Kahdesta eri osasta muodostuvan sokkelotiivisteiden toinen levy toimii laakerille akselin suuntaisena tukipintana ja pesän kantana. Kiinnityslevyjen tehtävänä on kiinnittää koko akseli vetopään runkoon ja toimia tiivistävänä rakenteena vetopään kotelon ulkopinnassa.



KUVA 17. Vetoakseli. (Savon Konesuunnittelu Oy)

Vetopään rungon malliin vaikutti olennaisesti tuotekehityksen yhteydessä päätetyn kuljetinrungon muoto. Rungon sivu- ja kansipellit tehtiinkin samanlaisiksi kuljetinrungon kanssa. Rungon suunnittelussa ensimmäinen tehtävä oli laakeripesien tukipintojen ja vetoakselin vaatiman asennusaukon suunnittelu. Yrityksessä oli aiemmin käytetty vetoakselin tiivistämiseen rungon sivuseinään sulkeutuvia liikuteltavia peltejä, mutta nyt tiivistäminen päätettiin hoitaa itse tehtävien laakeripesien takia eri tavalla. Tiivistäminen ja laakereiden tukeminen hoitui samalla komponentilla, kun akselin asennusaukko ympäröitiin kuvan 18 mukaisesti kulmarautoilla ja niiden kanssa samankokoisella putkipalkilla. Kulmaraudan yksi kylki toimii hyvänä tukena akselin suunnassa paksulle laakeripesälle ja toinen kylki tiiviinä laippapintana, kun vetoakselin kiinnityslevy kiritään sitä vasten. Lisäksi laakereissa olevien rasvanippojen sijoittelu saatiin tehtyä entistä järkevämmin, kun kulmarautoihin voitiin tehdä reiät, joiden kautta laakerit voidaan rasvata.



KUVA 18. Vetopään runko. (Savon Konesuunnittelu Oy)

Edellä mainitulle momenttituelle tehtiin vetopään runkoon vinoon hitsattava tuki, johon momenttituen varsi saatiin luotettavasti tuettua. Vaikka tuki ylsi vetopään sivupellin alareunasta yläreunaan, piti siihen vaihteesta kohdistuvien momenttien vaikutus ottaa kuitenkin vielä huomioon kotelon jäykistystä mietittäessä. Niinpä vetopään alkupäähän lisättiin nostelua ja jäykistämistä varten lattatankoja kotelon seinälle ja pohjaan. Kotelon seinää jäykistää lisäksi sen sisäpuolelle asennettu kulmarauta, joka toimii ketjun nousunestorautana.

Voimalaitoksessa kolakuljettimen jälkeen seuraavana kuljettimena on hihnakuljetin, joka on vetopään alla kohtisuorassa kolakuljetinta vastaan. Jotta hihna täyttyisi mahdollisimman tasaisesti koko leveydeltään, tehtiin vetopään rungon pohjalevystä purkausaukon kohdalla vino. Pohjalevy tehtiin tuotekehityksen päätösten mukaisesti yhdestä normaalia paksummasta levystä, johon ei tule erillistä kulutuslevyä. Myös kuvassa 18 näkyvät paluupuolen kaarevat johdelevyt tehtiin vetopään alueelle ilman erillisiä kulutuslevyjä. Johdelevyn alla näkyvistä ketjun irrotuslevyistä ei tehty jatkuva-toimisia, vaan ne ovat kosketuksissa ketjuun vain, jos ketju jumiutuu ketjupyörälle.

Vetopään tukosvahti toteutettiin yhdistämällä se vetopään päätyyn sijoitetun tarkistusluukun rakenteeseen. Tukosvahdin haittalevynä käytettiin tarkistusluukkuun lisätyn suojaverkon tukilevyä, jota vetopään päätyseinään kiinnitetty induktiivinen anturi seuraa. Anturi kytkeytyy, kun vetopäähän kasautuva polttoainekeko painaa suojaverkkoa riittävästi vetopään sisäseinästä ulospäin. Tarkistusluukku toteutettiin osto-osana ja samaa luukkuä käytetään koko kuljettimessa. Vetopään päätyseinä suunniteltiin kokonaan aukeavaksi, jotta vetoakselin asentaminen ja myöhempi huoltaminen olisi mahdollisimman vaivatonta.

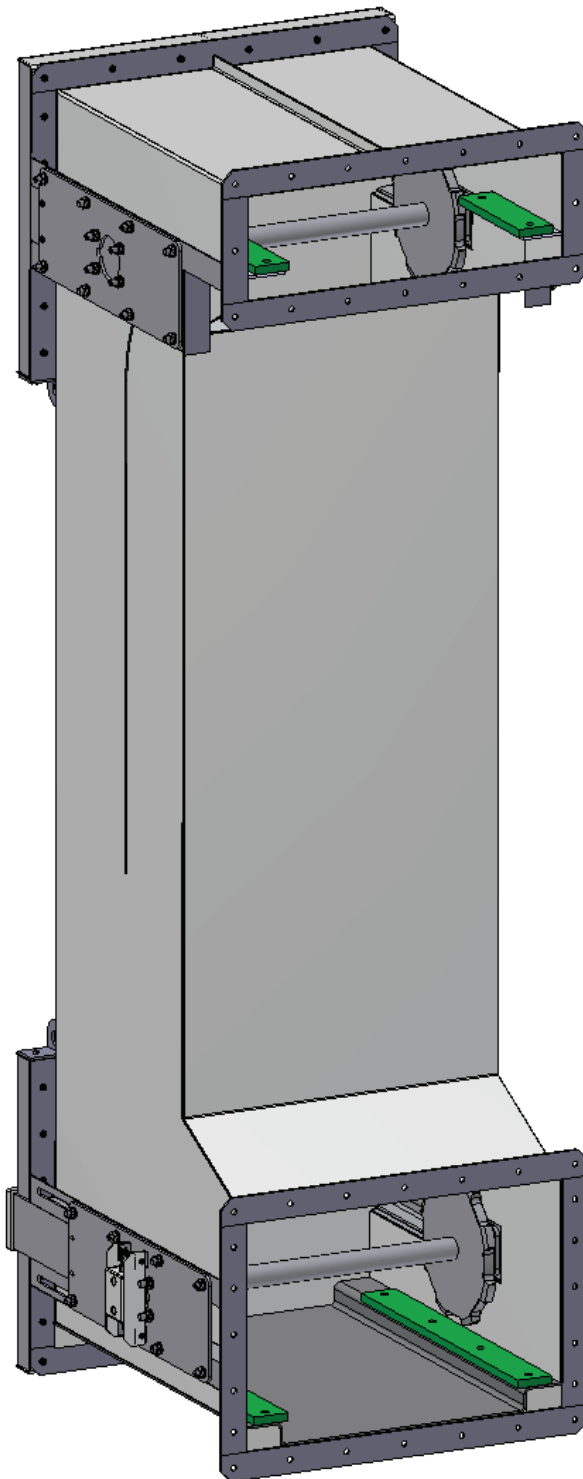
5.2.2 Taittopää

Taittopään runkoa alettiin hahmotella aikaisemmin tehtyjen mallien ja tuotekehityksen vaatimusten pohjalta. Rungossa tuli olla riittävästi ylimääräistä tilaa, jotta kuljetinketjussa voitaisiin tarvittaessa käyttää alkuperäistä suurempia kolia ilman runkoon tehtäviä muutoksia. Lisäksi ketjun ja kolien liikkuminen ketjua kiristettäessä tuli ottaa huomioon. Rungosta tehtiin siis mahdollisuuksien mukaan hieman liian iso kaikkiin tarvittaviin suuntiin ottaen huomioon saatavissa olevat valmiit levykoot. Rungon pohjalevyssä noudatettiin tuotekehityksessä valittua linjaa eli se toteutettiin ilman erillistä kulutuslevyä. Palaavan ja lähtevän ketjun alle taittopäähän valittiin koko kuljetinrungossa käytetty teräslevyllä tuettu 30 mm paksu muovinen johde. Sivuseiniin kiinnitettävien kulutuslevyjen arvioitiin olevan tarpeettomia, koska taittopään alueella ketjun mukana ei kulje polttoainetta.

Taittopään päätyseinä oli ensin tarkoitus tehdä kokonaan avattavaksi, mutta koska se ei olisi juurikaan helpottanut asennus- tai huoltotöitä, valittiin päätyyn sopiva vakiokoko oleva teräslevy ja sen ylä- ja alapuolelle tehtiin pienemmät irrotettavat seinät. Toisin kuin vetopäässä, irrotettavista seinistä tehtiin osa taittoakselien vaatimien asennusaukkojen tiivistystä. Tiivistykseen käytettiin ulkoreunoiltaan terävasärmäistä

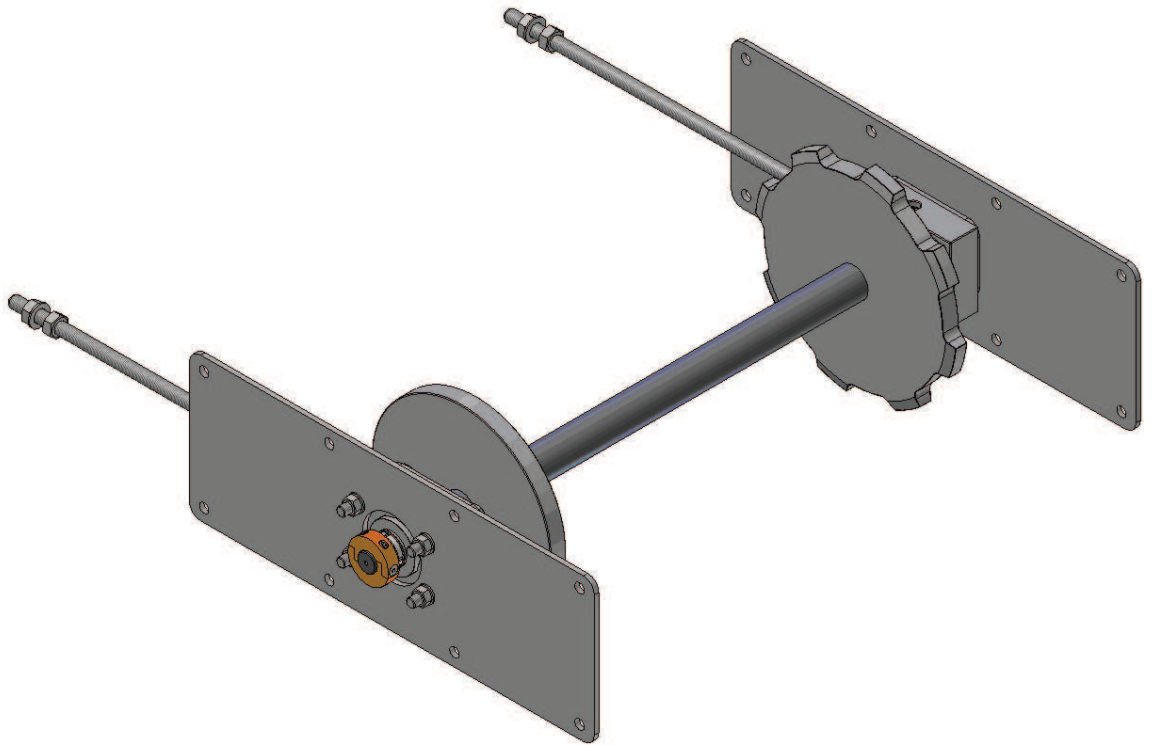
U-palkkia, joka tiivistyy kaikilta laippapinnoiltaan joko taittopään runkoon tai akselin kiinnityslevyyn. Taittopään akseleiden tiivistämisessä olivat samat ongelmat kuin vetopäässä, joten laakereiden tukipinnat ja tiivistys pyrittiin hoitamaan molemmissa samantyyppisellä rakenteella. Taittopäässä on kuvan 19 mukaisesti kaksi eri akselia, joista alemmassa on akselin lisäksi ruuvikiristys ja pyörintävahti. Kuljettimen käyntihäiriöiden välttämiseksi molemmissa taittoakseleissa päädyttiin käyttämään vain yhtä hammastettua ketjupyörää. Toisena pyöränä molemmissa käytettiin kiekkomaisista levyä. Ketjupyörät tehtiin yksiosaisina ja ne kiinnitettiin akseleihin hitsaamalla, koska niiden kulumisen arvioitiin olevan niin vähäistä, että niitä ei tarvita vaihtaa kuljettimen käyttöiän aikana.

Koska taittopäässä ei ole laakereiden lisäksi muita akselin liityntämittoihin vaikuttavia komponentteja, voitiin taittoakselit mitoittaa niiden lujuuden kannalta huomattavasti tiukemmin kuin vetoakseli. Kun taittoakseleiden halkaisija oli päätetty, muutettiin vetoakselissa käytetyt laakeripesä, sokkelotiiviste ja kiinnityslevy taittopäähän sopiviksi. Vetopään laakeroinnissa käytetyt komponentit haluttiin kopioida mahdollisimman samanlaisina taittopäähän, ja niiden pienentäminen akselin halkaisijan suunnassa jäikin lähes ainoaksi sovitusyöksi. Ala-akselin laakereiden voitelu hoidettiin vetopäästä poiketen laakeripesän kannen läpi akselin pituussuunnassa.



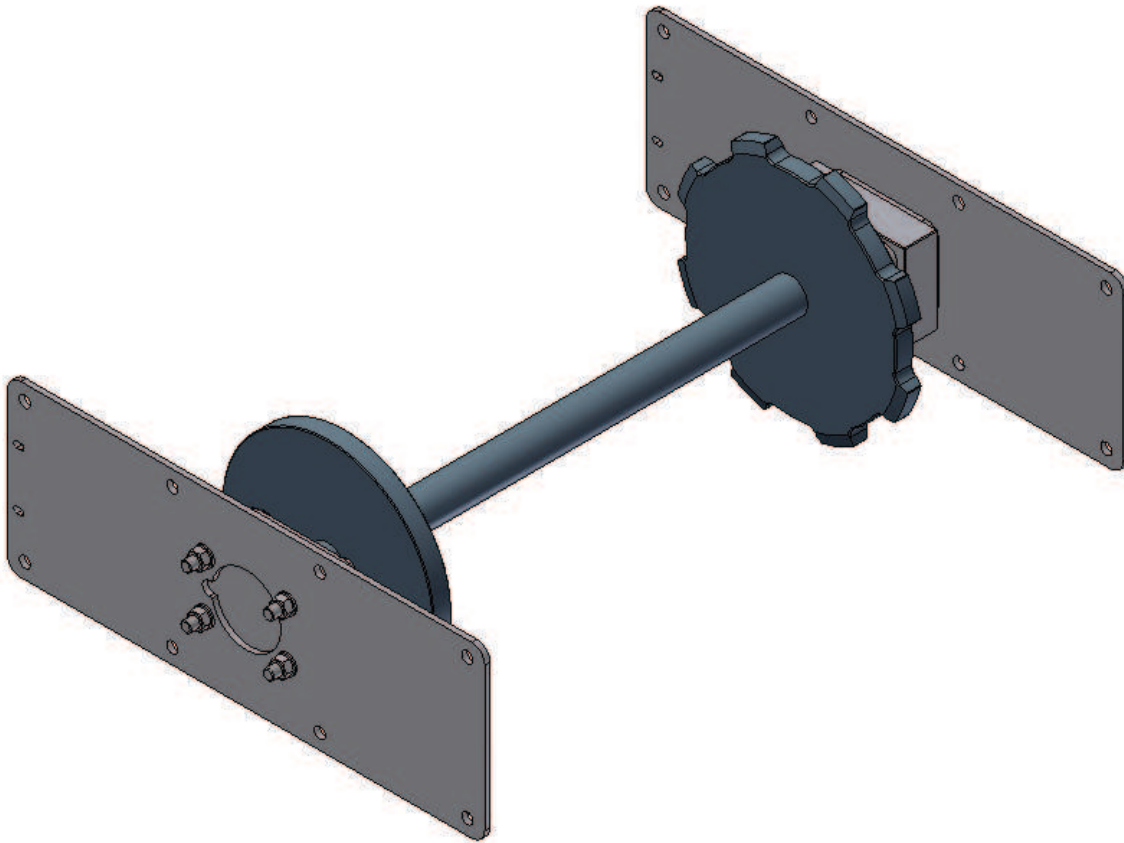
KUVA 19. Taittopää. (Savon Konesuunnittelu Oy)

Kuvassa 20 näkyvää ala-akselia käytetään ketjun taittamisen lisäksi kuljetinketjun kiristyksen säätöön sekä kuljettimen toiminnan seuraamiseen pyörintäanturin välityksellä. Siksi ala-akseliin lisättiin ruuvikiristyslaite ja pyörintävahdin vaatima haittakieko. Ruuvikiristyksen vaatiman 300 mm säädön takia akselin kiinnityslevyistä tehtiin hyvin pitkät, jolloin ne pitävät taittopään kotelon tiiviinä millä tahansa kiristyksen säädöllä. Toisen puolen kiinnityslevyyn tehtiin myös kiinnikkeet pyörintävahdin suojakotelolle. Varsinainen pyörintäanturi kiinnitetään suojakoteloon, jota voidaan säätää pysytysuunnassa oikean tunnistusetaisyuden varmistamiseksi.



KUVA 20. Taittopään ala-akseli. (Savon Konesuunnittelu Oy)

Kuvassa 21 näkyvä taittopään yläakseli ohjaa paluuketjun kulkua taittopään sisällä. Kun ala-akselia säädetään ruuvikiristyslaitteella, pysyy yläakseli paikallaan, joten sen kiinnitykseen ei tarvinnut suunnitella säätövaraa eikä siten vetopäästä poikkeavaa laakereiden voitelua. Ylä-akselin laakerointi voitiin toteuttaa ala-akseliin verrattuna pienemmällä määrällä komponentteja, koska akselin kumpaakaan päätä ei tarvinnut jättää laakeripesän ulkopuolelle. Yläpään laakerien voitelun helpottamiseksi taittopään rungon molempiin kylkiin laitettiin rasvauslinja, jonka avulla voitelu onnistuu hoitotasolta käsin.



KUVA 21. Taittopään yläakseli. (Savon Konesuunnittelu Oy)

5.3 Suunnittelutyön ongelmakohdat

Kolakuljettimen suunnitteluprojekti alkoi käytännössä samaan aikaan tuotekehitysprojektin kanssa ja tämä aiheutti ainakin alkuvaiheessa sekaannusta projektin lähtötietojen ja jo tuotekehityksessä päätettyjen asioiden soveltamisessa. Lisäksi joidenkin kolakuljettimen komponenttien suunnittelu aiheutti yllättävän paljon pään vaivaa, kuten oli yrityksessä olevan tiedon mukaan aiheuttanut aina ennenkin.

Suurin ongelma projektissa oli rajata tuotekehityksen vaikutus projektin kohteena olevan kolakuljettimen suunnitteluun. Ohjeistuksena projektin alkaessa oli, että tuotekehitystä ja asiakasprojektia tehdään rinnakkain ja molemmista ammennetaan hyviksi nähtyjä ratkaisuja molempiin projekteihin. Työn edetessä täytyi monesti pohtia, että tehdäänkö taittopään runko käyttäen mahdollisimman vähän materiaalia, vai otetaanko sen rakenteessa huomioon myöhemmin tuotesarjaan tehtävien suurempien tai pienempien kuljettimien asettamia vaatimuksia.

Veto- ja taittoakseleiden läpivientien suunnittelu on aiheuttanut yrityksen aikaisemminkin tekemissä kolakuljettimissa paljon ongelmia ja niitä riitti pohdittavaksi myös

tässä projektissa. Vaikka vetopäässä ei vaadittu akselille säätövaraa kuin 20 mm, oli akselin asennusaukon tiivistämisessä silti riittävästi haastetta. Kun aukon sulkeminen toteutettiin kotelomaisella osalla, tuli sen tiivistää vetopään kotelo neljää eri pintaa vasten. Tämä tuotti ongelmia tiivistävän komponentin sivujen suunnittelemiseksi sen muotoisiksi, että pinnat tiivistäisivät vetopään luotettavasti valmistuksen epätarkkuuksista huolimatta.

Asennusaukkojen tiivistäminen tuotti ongelmia myös taittopäässä. Kiristettävän taitto-akselin vaatiman säätövaran takia akselin kiinnityslevystä piti tehdä melko suuri ja se vaikeutti luotettavien kiinnityspisteiden suunnittelua. Koska taittopään ala-akselin asennusaukon kulmarautoihin piti tehdä hyvin pitkät reiät, alkoivat akselin kiinnityspisteet vaikuttaa riittämättömiltä. Kun kiinnitystä ja akseliin kohdistuvia rasituksia tarkasteltiin lähemmin, todettiin kiinnityksen kuitenkin olevan riittävä, sillä akseliin kohdistuvat suurimmat kuormat jakautuvat kiinnitysruuvien lisäksi ketjun ruuvikiristyslaitteelle ja sitä kautta suoraan taittopään runkoon.

6 YHTEENVETO

Kolakuljettimen suunnitteluperusteissa käsiteltiin kuljetintyyppin toimintaperiaate, esiteltiin sen rakenne ja annettiin neuvoja suunnitteluongelmien ratkaisemiseksi. Perusteissa käsiteltiin muun muassa kuljettimen tärkeimpien komponenttien, kuten kuljetin-ketjujen, akseleiden ja kolien, suunnitteluvaatimuksia ja otettiin kantaa kuljettimella siirrettävän materiaalin vaikutuksesta eri komponenttien rakenteeseen. Suunnittelu-perusteiden tarkoituksena on toimia kolakuljettimen suunnitteluvaatimuksiin perehdyt-tävänä tietolähteenä, ja osio esitteleekin kolakuljettimen tärkeimmille komponenteille asetettavat vaatimukset melko hyvin. Liitteenä olevat laskentapohjat toimivat lisäksi hyvänä apuna vastaavanlaisen kuljettimen komponenttien mitoituksessa.

Kehitystyössä esiteltiin tuotekehitysprojektin lähtötiedot sekä sille asetetut vaatimuk-set. Lisäksi valaistiin tuotekehityksessä käytettyjä menetelmiä ja esiteltiin sen tulok-sena saatuja komponentteja. Opinnäytetyön aikana tuotekehitystä tehtiin tuotesarjan vaatimien käyttökoneistojen, ketjujen ja ketjupyörien porrastamiseksi sekä kehitettiin uusia menetelmiä muun muassa kuljettimen tiivistykseen ja ketjupyörien kiinnityk-seen.

Kehitystyössä otettiin huomioon työlle asetetut vaatimukset, kuten terästoimittajien vakiolevykoot ja osien myöhempi vakiointi. Valmiiden levykokojen hyödyntäminen onnistui hyvin, eikä niiden käyttö tehnyt rakenteista tarpeettoman suuria tai pieniä. Koska varsinaiseen tuotekehitykseen käytetty työaika jäi asiakasprojektin aloittami-sen takia vähäiseksi; vakiointityö rajoittui siihen, että sen vaatimukset pyrittiin otta-maan nyt kehitetyissä osissa huomioon. On siis luultavaa, että jatkossa tuotekehityk-sessä joudutaan muokkaamaan suunniteltuja komponentteja sellaisiksi, että ne vas-taavat paremmin koko tuotesarjan vaatimuksiin. Tuotekehityksen ratkaisujen testaa-minen samaan aikaan toteutetussa asiakasprojektissa tuotti kuitenkin hyödyllistä tie-toa asioista, joita ei ilman oikean projektin vaatimia työvaiheita olisi välttämättä huo-mattu. Projektien samanaikaisesta toteuttamisesta lienee siis ollut enemmän hyötyä kuin haittaa.

Asiakasprojektissa esiteltiin sille asetetut vaatimukset, suunnitellut komponentit ja perustelut niissä käytetyille rakenteille. Asiakasprojektissa kommentoitiin myös suun-nittelun ongelmakohtia ja niiden ratkaisuja. Kolakuljettimen veto- ja taittopään suun-nittelutyö sujui verrattain hyvin, vaikka kaikkia asiakkaan vaatimia komponentteja ja rakenteita ei toteutettu täysin lähtötietojen mukaan. Työn edetessä joistakin alussa määrätystä komponenteista luovuttiin ja niiden tilalle jouduttiin valitsemaan asiak-

kaan tai Savon Konesuunnittelu Oy:n ohjeiden mukaisia muita komponentteja. Projektin lopputulokseksi saatiin kuitenkin asiakkaan tarpeet täyttävät ja osittain tuotekehityksen vaatimusten mukaiset kolakuljettimen veto- ja taittopää sekä niiden vaatimat työ- ja kokoonpanokuvat.

Opinnäytetyön tuloksena Andritz Oy sai kuljetinkomponentteja ja arvokasta tietoa biovoimalaitosten kolakuljettimien tuotesarjaa varten sekä suunnitelmat toimittamansa kuljettimen veto- ja taittopäälle. Andritz Oy voi käyttää saamiaan suunnitelmia nykyisen projektin ja tuotekehityksen läpivientiin sekä hyödyntää niiden sisältämää tietoa tulevissa projekteissa. Savon Konesuunnittelu Oy sai työn tuloksena omaa kirjallista materiaalia ja mitoituspohjia kolakuljettimien suunnittelun tueksi. Tätä materiaalia yritys voi käyttää hyödyksi kuljettimien suunnittelussa myös tulevaisuudessa.

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. ja Välimaa, V. 2003. *Koneenosien suunnittelu*. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Fayed, M. E., Skocir, T. S. 1997. *Mechanical Conveyors: Selection and Operation*. Lancaster, Pennsylvania, USA: Technomic Publishing Company, Inc.

F.E.M. Section II. Continuous Handling: Rules for the design of mobile equipment for continuous handling of bulk materials. 1997. Paris, France: De la Federation Europeenne de la Manutention.

Käyttötekniikka – Käytännön sovelluksia, osa 1. SEW -vaihdemoottoreiden käyttöratkaisuja. Laskentamenetelmiä ja esimerkkejä. 1998. Hollola: Sew Eurodrive Oy.

Selection of bearing size [verkkodokumentti]. 2011. SKF [viitattu 24.3.2011]. Saatavissa: http://www.skf.com/portal/skf/home/products?newlink=1_0_27&lang=en

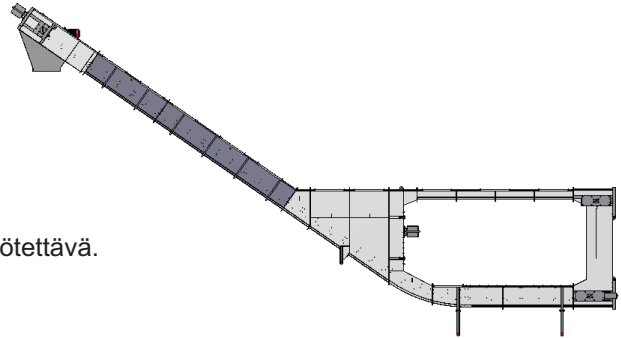
SFS 4200 1978. Kuljettimet. Luokittelu ja sanasto. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Tuote-esite [verkkodokumentti]. FB-Ketjutekniikka Oy (entinen Suomen Ketjutekniikka Oy) [viitattu 12.3.2011]. Saatavissa: <http://www.fbketjutekniikka.fi>

Tuoteluettelo. 1994. Suomen Ketjutekniikka Oy (nykyinen FB-Ketjutekniikka Oy).

Liite 1

Kolakuljettimen laskenta



Huom!

Laatikoimattomat ja alleviivatut arvot on syötettävä.

1 Kuljettimen tiedot

$$\rho := 450 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Siirrettävän materiaalin tiheys

$$C_k := 350 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

Kuljettimen kapasiteetti

$$v := 0.35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ketjunopeus

$$B := 1500\text{mm}$$

Leveys

$$e_k := 2$$

Ketjujen lukumäärä

$$s_k := 1000\text{mm}$$

Kolajako

$$L_v := 12000\text{mm}$$

Kuljettimen vaakasuoran osan pituus

$$L_x := 22000\text{mm}$$

Kuljettimen kaltevan osan vaakapituus

$$\alpha := 35\text{deg}$$

Kaltevuuskulma

$$L_y := L_x \cdot \tan(\alpha) = 15405 \cdot \text{mm}$$

Kaltevan osan nousu

$$L_{xy} := \sqrt{L_x^2 + L_y^2} = 26857 \cdot \text{mm}$$

Kaltevan osan pituus

$$L_1 := L_v + L_{xy} = 38857 \cdot \text{mm}$$

Kuljettimen kokonaispituus

2 Kuljetinketjun laskenta

Teoria, kuvat ja taulukot:

Suomen ketjutekniikka Oy (nykyinen FB-Ketjutekniikka Oy), Tuoteluettelo 1994.

Laskennan sovellusehdot:

- ala- tai yläpohjakuljetin
- kuljettimessa vaakasuora ja kalteva osuus
- ketju ilman rullia
- materiaali siirretään kolilla, ei ketjun päällä.

2.1 Kokeiltava kuljetinketju

SFS 2380 M630-A-250

$$p := 250\text{mm}$$

$$z := 8$$

$$D := \frac{p}{\sin\left(\frac{180\text{deg}}{z}\right)} = 653.28\cdot\text{mm}$$

$$m_1 := 34.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$m_k := 36\text{kg}$$

$$m_2 := \frac{1}{s_k} \cdot m_k = 36 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

2.2 Staattinen ketjuvoima

$$G_1 := e \cdot m_1 + m_2 = 129 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$G_2 := \frac{C_k \cdot \rho}{v} = 125 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\mu_1 := 0.2$$

$$\mu_3 := 0.6$$

Kitkakerroin μ_1

Liukupinta	μ_1
Teräs, voitelematon	0,35
Teräs, voideltu	0,25
Muovi	0,20

Kitkakerroin μ_3

Kuljetettava aine	μ_3	v max suositeltava	Kuluttavuus
Hake	0,45	0,4	Vähän kuluttava
Hiekka, kuiva	0,65	0,1	Erittäin kuluttava
Hiekka, märkä	0,90	0,05	Erittäin kuluttava
Kalkki	0,60	0,1	Kuluttava
Kaoliini	0,50	0,2	Vähän kuluttava
Kalkkikivi	0,60	0,1	Kuluttava
Hilli	0,60	0,2	Vähän kuluttava
Pasutteen	1,00	0,05	Erittäin kuluttava
Puun kuori, kuiva	0,40	0,4	Vähän kuluttava
Puun kuori, märkä	0,40	0,2	Kuluttava
Sahanpuru	0,40	0,4	Vähän kuluttava
Sementti	0,70	0,1	Kuluttava
Sementtiklinkkeri	0,80	0,05	Erittäin kuluttava
Sepeli	0,90	0,5	Erittäin kuluttava
Sora	0,65	0,05	Erittäin kuluttava
Tuhka, märkä	0,70	0,05	Erittäin kuluttava
Turve*	0,60	0,04	Kuluttava
Vilja	0,40	0,4	Vähän kuluttava

*Ketjut muovikiskoilla, turve muottivaneripohjalla

Ketjun tyyppi

Ketjun lenkkipituus

Ketjupyörän hammasluku

Ketjupyörän
jakohalkaisija

Ketjun metripaino

Kolan paino

Kolien metripaino

Ketjujen ja kolien
metripaino

Materiaalin metripaino

Ketjun liukukitkakerroin

Materiaalin
liukukitkakerroin

$$F_{sa} := 0.011 \cdot L_v \cdot [\mu_1 \cdot G_1 + \mu_3 \cdot (G_1 + G_2)] \cdot \left(\frac{\text{kN}}{\text{kg}} \right) = 23.5 \cdot \text{kN}$$

Vaakaosan ketjuvoima

$$F_{sb} := 0.011 \cdot [\mu_1 \cdot L_x \cdot G_1 + \mu_3 \cdot L_x \cdot (G_1 + G_2) + L_y \cdot G_2] \cdot \left(\frac{\text{kN}}{\text{kg}} \right) = 64.3 \cdot \text{kN}$$

Kaltevan osan ketjuvoima

$$F_{s1} := F_{sa} + F_{sb} = 87.8 \cdot \text{kN}$$

Ketjuvoima yhteensä

2.3 Dynaaminen ketjuvoima

$$a := \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot v^2}{z \cdot p} = 0.151 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Nopeusvaihtelun aiheuttama kiihtyvyyys

$$F_{d1} := 0.003 \cdot a \cdot L_1 \cdot (2 \cdot G_1 + G_2) = 0.007 \cdot \text{kN}$$

2.4 Kokonaisketjuvoima

$$F_{\text{kok}} := F_{s1} + F_{d1} = 87.8 \cdot \text{kN}$$

2.5 Käyttöolosuhdekerroin

$$k_A := 1.1$$

Kuormitus

$$k_B := 1$$

Rinnakkaiset ketjut

$$k_C := 1.2$$

Siirrettävän materiaalin kuluttavuus

$$k_D := 1$$

Lämpötila

$$k_E := 1.1$$

Ketjun nopeus

$$k_F := 1.1$$

Käyttötunnit

Käyttöolosuhdekerroin k_2						
$k_2 =$ taulukon antamien osatekijöiden tulo						
käyttöolosuhteet			k	käyttöolosuhteet		
Kuormitus	Tasainen		1,0	Lämpötila	alle 90 °C	1,0
	Kohtalaisia iskuja		1,1		90–180 °C	1,1
	Kovia iskuja		1,3		180–260 °C	1,2
Rinnakkaiset ketjut	Kuormitus jakaantuu tasan kaikille ketjuille		1,0	Ketjun nopeus	alle 0,3 m/s	1,0
	Epätasainen kuormitus		1,2		0,3 ... 0,6 m/s	1,1
						yli 0,6 m/s
Siirrettävän materiaalin kuluttavuus	Vähän kuluttava		1,0	Käyttötunnit	alle 8 h/vrk	1,0
	Kuluttava		1,2		8–16 h/vrk	1,1
	Erittäin kuluttava		1,4		24 h/vrk	1,2

$$k_2 := k_A \cdot k_B \cdot k_C \cdot k_D \cdot k_E \cdot k_F = 1.6$$

2.6 Ketjun valinta

$$F_C := \frac{F_{\text{kok}}}{e_k} = 43.9 \cdot \text{kN}$$

Yhden ketjun kuorma

$$k_3 := 7$$

Varmuuskerroin

$$F_m := k_2 \cdot k_3 \cdot F_C = 491 \cdot \text{kN}$$

Ketjulta vaadittava murtokuorma

SFS 2380 M630-A-250

Kuljettimeen valittu ketju

3 Käyttökoneiston mitoitus

3.1 Lähtötiedot

$$F_{\text{kok}} = 87.8 \cdot \text{kN}$$

Ketjuvoima

$$v = 0.35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ketjunopeus

$$D = 653.28 \cdot \text{mm}$$

Ketjupyörän jakohalkaisija

$$\eta := 0.85$$

Käyttökoneiston hyötysuhde

3.2 Alustavat vaatimukset

$$n_{21} := \frac{v}{\pi \cdot D} \cdot (6.28) = 10.2 \cdot \text{rpm}$$

Vetoakselin pyörimisnopeus

(kerrointa 6.28 ei tarvita käsinlaskussa)

$$T_{21} := F_{\text{kok}} \cdot (0.5 \cdot D) = 28.7 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Vetoakselin vääntömomentti

$$P_2 := F_{\text{kok}} \cdot v = 30.7 \cdot \text{kW}$$

Ketjunsiiirtoteho

$$P_1 := \frac{P_2}{\eta} = 36.2 \cdot \text{kW}$$

Sähkömoottorin teho

3.3 Vaihdemoottorilta vaadittavan käyttökertoimen määrittäminen

Teoria, kuvat ja taulukot:

Sew Eurodrive. Käyttötieteellinen - Käytännön sovelluksia, osa 1. Painos 06/98.

Laskennan sovellusehdot:

- vaihteen tyyppi hammas-, kartio-, kierukka- tai Spiroplan
- pätee vain Sew:n vaihteille

$$n_1 := 1470 \text{ rpm}$$

Kokeiltavan
sähkömoottorin
pyörimisnopeus

$$J_m := 0.357 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Kokeiltavan
sähkömoottorin
massahitausmomentti

$$z_v := 6$$

Vaihteen käynnistysten
ja pysäytysten
lukumäärä/ tunti

$$t_v := 8$$

Vaihteen käyntiaika
tuntia/ päivä

$$m_J := L_1 \cdot (2G_1 + G_2) = 14880 \text{ kg}$$

Materiaalin ja
kuljetinketjun paino

$$J_x := 91.2 \cdot m_J \cdot \left(\frac{v}{n_1} \right)^2 = 7 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

Materiaalin ja
kuljetinketjun
aiheuttama
sähkömoottorille
reduoitu
massahitausmomentti

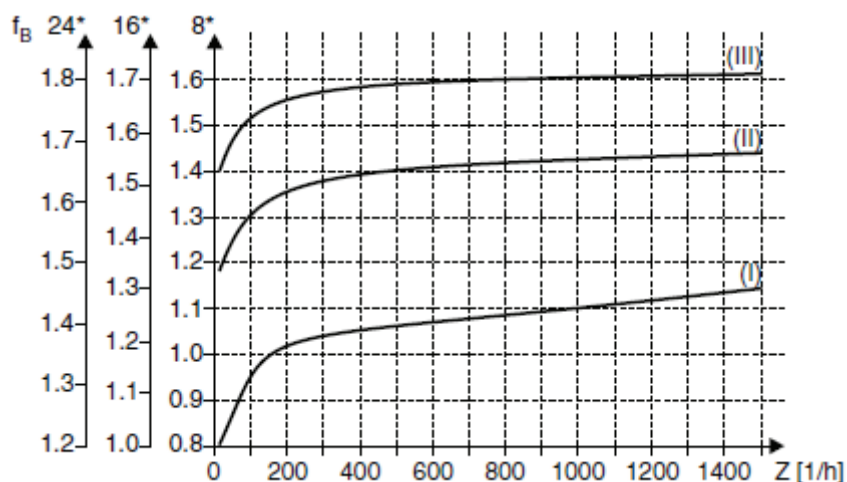
$$k_J := \frac{J_x}{J_m} = 19.6$$

Massan
kiihtyvyyserroin

Alla olevan kuvaajan x-akseli kuvaa vaihteen pysäytysten ja käynnistysten määrää tunnissa ja y-akseli vaihteen päivittäistä käyntiaikaa. Kun lisäksi tiedetään massan kiihtyvyyserroin ja kuormitusluokkien rajat, saadaan kuvaajasta käyttökertoimen minimiarvoksi:

$$f_{b1} := 1.18$$

Käyttökertoimen
minimiarvo



Kuormitusluokat

- I tasainen, sallittu massan kiihtyvyyserroin $\leq 0,2$
- II vähäisiä sysäyksiä, sallittu massan kiihtyvyyserroin ≤ 3
- III rajuja sysäyksiä, sallittu massan kiihtyvyyserroin ≤ 10

$$\text{Massan kiihtyvyyserroin} = \frac{\text{kaikki ulkoiset massahitausmomentit}}{\text{moottoripuolen massahitausmomentti}}$$

3.4 Vaihdemoottorin valinta

Tarkennetut vaatimukset:

$$P_{11} := P_1 \cdot f_{b1} = 42.7 \cdot \text{kW}$$

Sähkömoottorin teho

$$n_{21} = 10.2 \cdot \text{rpm}$$

Vetoakselin
pyörimisnopeus

(toleranssi +/- 1 rpm)

$$T_{22} := T_{21} \cdot f_{b1} = 33.9 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

Vaihteen toisiomomentti

$$f_{b1} = 1.18$$

Käyttökerroin

Vaihdemoottoritoimittajan luettelosta:

$$f_{b2} := 1.2$$

Vaihdemoottorin
käyttökerroin

$$P_{111} := 45 \text{ kW}$$

Sähkömoottorin teho

$$i := 144.59$$

Vaihdemoottorin
välityssuhde

$$T_{11} := \frac{P_{111}}{2 \cdot \pi \cdot n_1} \cdot (6.28) = 0.3 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

Sähkömoottorin
momentti

(kerrointa 6.28 ei tarvita käsinlaskussa)

Vaatimusten tarkistus:

$$n_{22} := \frac{n_1}{i} = 10.2 \cdot \text{rpm}$$

Vaihteen toisiopään
pyörimisnopeus

$$T_{222} := T_{11} \cdot i = 42.2 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$T_{222} \geq T_{22}$$

Vaihteen toisiomomentti

Huom!

Muista tarkistaa myös seuraavat edellä syötetyt arvot ennen vaihdemoottorin hyväksymistä:

- käyttökoneiston hyötysuhde
- kokeiltavan sähkömoottorin pyörimisnopeus + massahitausmomentti.

SEW KH187-DV225M4

Kuljettimeen valittu
vaihdemoottori

SEW Gearmotors 04/2004, 425 + 489

Tuoteluettelo ja
sivunumerot

1870 kg

Massa

Liite 2

Vetoakselin kuormien laskenta

M315-A-200

Käytön ketjuvoima normaalisti	Fs	37,46	kN
Käytön ketjuvoima ylikuormituksessa	Fs	108,634	kN
Vaihdemoottorin massa	mv	1300	kg

1. Vetoakselin kuormat

1.1 Kuormat normaalisti (A)

Ketjuvoima	Fs	37,46	kN
Vaihdemoottorin painon aiheuttama kuorma	Fv	12,75	kN
			kN

2.2 Kuormat ylikuormituksessa (B)

Ketjuvoima	Fs	108,63	kN
Vaihdemoottorin painon aiheuttama kuorma	Fv	12,75	kN
Oikosulkumoottorille: tapaus B = 2.9 x A			

Liite 3

Akseli- ja laakerilaskenta

Lihavoimattomat arvot on syötettävä.

1. Kuljettimen tiedot

Ketju		M315-A-200	
Kuljetinleveys		1250	mm
Ketjunopeus		0,2	m/s
Pyörimisnopeus		7,31	rpm
Kapasiteetti		200	m ³ /h
Laakeriväli c-c, arvio		1440	mm
Vaihdemoottorin massakeskipisteen etäisyys lähempään laakeriin		432	mm
Ketjupyörän ja laakerin välinen etäisyys vetopäässä, c-c mitta		135	mm
Ketjupyörän ja laakerin välinen etäisyys taittopäässä, c-c mitta		135	mm

2. Vetopää

2.1 Kuormitustapaukset

Tapaus A, normaali

Säteiskuorma	Fr	37,5	kN
Aksiaalikuorma, 0.1 x Fr	Fa	3,75	kN
Vaihdemoottorin painon aiheuttama kuorma	Fv	12,75	kN
Laakerin 1 tukivoima	L1	35,31	kN
Laakerin 2 tukivoima	L2	14,90	kN
Vääntömomentti vaihteen ja lähemmän ketjupyörän välillä	T	9,80	kNm
Vääntömomentti ketjupyörien välillä, jakosuhte 50/50	T	4,90	kNm
Taivutusmomentti laakerivälin keskellä	M	0,23	kNm
Taivutusmomentti vaihteen puoleisen laakerin kohdalla	M	5,51	kNm
Taivutusmomentti vaihteen puoleisen ketjupyörän kohdalla	M	2,46	kNm
Taivutusmomentti vaihteen vastapuolen ketjupyörän kohdalla	M	2,01	kNm

Tapaus B, ylikuormitus

Säteiskuorma	Fr	108,6	kN
Aksiaalikuorma, 0.1 x Fr	Fa	10,9	kN
Vaihdemoottorin painon aiheuttama kuorma	Fv	12,75	kN
Laakerin 1 tukivoima	L1	70,90	kN
Laakerin 2 tukivoima	L2	50,49	kN
Vääntömomentti vaihteen ja lähemmän ketjupyörän välillä	T	28,42	kNm
Vääntömomentti ketjupyörien välillä, jakosuhte 50/50	T	14,21	kNm
Taivutusmomentti laakerivälin keskellä	M	4,58	kNm
Taivutusmomentti vaihteen puoleisen laakerin kohdalla	M	5,51	kNm
Taivutusmomentti vaihteen puoleisen ketjupyörän kohdalla	M	2,34	kNm
Taivutusmomentti vaihteen vastapuolen ketjupyörän kohdalla	M	6,82	kNm
Oikosulkumoottorille: tapaus B = 2.9 x A			

2.2 Vetoakseli

2.2.1 Halkaisija sallitulla jännityksellä (B)

Tarkastelupiste: vaihteen vastapuolen ketjupyörä, taivutus ja vääntö			
Varmuusluku	n	1,3	
Akselimateriaalin myötöraja, S355 D >100, KOS 2003	Re	350	MPa
Sallittu taivutusjännitys	Stsall	269	MPa
Sallittu vääntöjännitys, 0.6 x Stsall	Svsall	162	MPa
Pienin sallittu umpiakselin halkaisija taivutuksen suhteen	D	64	mm
Pienin sallittu umpiakselin halkaisija väännön suhteen	D	77	mm
Tarkastelupiste: vaihteen puolen laakeri, taivutus ja vääntö			
Pienin sallittu umpiakselin halkaisija taivutuksen suhteen	D	59	mm
Pienin sallittu umpiakselin halkaisija väännön suhteen	D	96	mm

2.2.2 Söderbergin laskentamenetelmä (A)

Teoria: Airila, Ekman, Hautala jne. 2003. Koneenosien suunnittelu, 326 - 327.

Tarkastelupiste: laakerivälin keskikohta, taivutus ja vääntö			
Varmuusluku	n	2	
Akselimateriaalin taivutusvaihtolujuus	Stw	260	MPa
Akselimateriaalin myötöraja, S355 D >100, KOS 2003	Re	350	MPa
Taivutuksen lovenvaikutusluku tarkasteltavassa leikkauksessa, sorvattu akseli	Kft	1,1	
Suurin taivutusmomentti	Mt	0,23	kNm
Suurin vääntömomentti	Mv	4,9	kNm
	välitulos 1	0,000000000	
	välitulos 2	0,0000000002	
	välitulos 3	0,0000140326	
Pienin sallittu umpiakselin halkaisija	D	66	mm
Tarkastelupiste: vaihteen puolen laakeri, taivutus ja vääntö			
Taivutuksen lovenvaikutusluku tarkasteltavassa leikkauksessa, olake	Kft	1,5	
Suurin taivutusmomentti	Mt	5,51	kNm
Suurin vääntömomentti	Mv	9,80	kNm
	välitulos 1	0,0000000010	
	välitulos 2	0,0000000008	
	välitulos 3	0,0000423586	
Pienin sallittu umpiakselin halkaisija	D	95	mm
Tarkastelupiste: vaihteen puolen ketjupyörä, taivutus ja vääntö			
Taivutuksen lovenvaikutusluku tarkasteltavassa leikkauksessa, hitsi	Kft	3	
Suurin taivutusmomentti	Mt	2,46	kNm
Suurin vääntömomentti	Mv	9,80	kNm
	välitulos 1	0,0000000008	
	välitulos 2	0,0000000008	

Pienin sallittu umpiakselin halkaisija	välitulos 3	D	0,0000399058 93	mm
--	-------------	---	----------------------------------	----

2.2.3 Vetoakselin poikkileikkausten minimihalkaisijat

Laakeriväli	Dmin	93	mm
Laakerin asennuspinta	Dmin	96	mm

2.3 Vetopään laakerit

2.3.1 Käyttöaikatiedot

Päivittäinen käyttöaika	Td	8	h
Tavoiteltu laakereiden vaihtoväli	Tg	10	a
Seisokkipäiviä vuodessa	Ts	15	d
Taivoiteltu kestoikä	TL	28000	h

2.3.2 Laakerikuormat

Suurin jatkuva säteiskuorma yhdelle laakerille	Fr	35,309	kN
Suurin esiintyvä säteiskuorma yhdelle laakerille	Fr, max	70,896	kN
Aksiaalikuorma	Fa	10,863	kN

3. Taittopää

3.1 Kuormitustapaukset

Tapaus A, normaali

Säteiskuorma	Fr	54,9	kN
Aksiaalikuorma, 0.1 x Fr	Fa	5,5	kN
Taivutusmomentti laakerivälin keskellä	M	3,71	kNm
Taivutusmomentti ketjupyörän kohdalla	M	3,71	kNm

Tapaus B, ylikuormitus

Säteiskuorma	Fr	155,6	kN
Aksiaalikuorma, 0.1 x Fr	Fa	15,56	kN
Taivutusmomentti laakerivälin keskellä	M	10,50	kNm
Oikosulkumoottorille: tapaus B = 2.9 x A			

3.2 Taittoakseli

3.2.1 Halkaisija sallitulla jännityksellä (B)

Tarkastelupiste: laakerivälin keskikohta, taivutusjännitys			
Varmuusluku	n	1,3	
Akselimateriaalin myötöraja, S355 D >100, KOS 2003	Re	350	MPa
Sallittu taivutusjännitys	Stsall	269	MPa
Pienin sallittu umpiakselin halkaisija	D	74	mm

Tarkastelupiste: laakerin asennuspinta, leikkausjännitys			
Sallittu leikkausjännitys, 0.6 x Stsall	Ssall	162	Mpa
Pienin sallittu umpiakselin halkaisija	D	25	mm

3.2.2 Söderbergin laskentamenetelmä, KOS 2003, (A)

Teoria: Airila, Ekman, Hautala jne. 2003. Koneenosien suunnittelu, 326 - 327.

Tarkastelupiste: ketjupyörän hitsi, taivutusjännitys			
Varmuusluku	n	2,0	
Akselimateriaalin myötöraja, S355 D >100, KOS 2003	Re	350	MPa
Taivutusmomentin keskiarvo	Mtm	3,7	kNm
Taivutusmomentin amplitudi, arvio 0.1 x Mtm	Mta	0,4	kNm
Akselimateriaalin taivutusvaihtolujuus	Stw	260	MPa
Taivutuksen lovenvaikutusluku tarkasteltavassa leikkauksessa, hitsi	Kft	3	
	välitulos 1	0,000011	
	välitulos 2	0,000004	
Pienin sallittu umpiakselin halkaisija	D	67	mm

3.2.4 Taittoakselin poikkileikkausten minimihalkaisijat

Laakeriväli	Dmin	74	mm
Laakerin asennuspinta	Dmin	25	mm

3.3 Taittopään laakerit

2.3.1 Käyttöaikatiedot

Päivittäinen käyttöaika	Td	8	h
Tavoiteltu laakereiden vaihtoväli	Tg	10	a
Seisokkipäiviä vuodessa	Ts	15	d
Tavoiteltu kestoikä	TL	28000	h

2.3.2 Laakerikuormat

Suurin jatkuva säteiskuorma yhdelle laakerille	Fr	27,455	kN
Suurin säteiskuorma yhdelle laakerille	Fr, max	77,775	kN
Aksiaalikuorma	Fa	15,555	kN

Liite 4

Ketjupyörän geometrian määrittäminen

Lähde: Suomen ketjutekniikka Oy, Tuoteluettelo 1994.

HUOM! Lokeroidut arvot on syötettävä.

1. Ketjun tiedot

Ketju		M630-A-250		
Ketjun jako	p	250	mm	
Holkin tai rullan halkaisija	d	50	mm	Taulukko A
Sivulevyn korkeus	h	100,00	mm	Taulukko A
Sivulevyn korkeus korotetuilla sivulevyillä		100,00		Taulukko A
Sisäleveys	b	66,00	mm	Taulukko A
Laipallisen kulkurullan leveys	e	45,00	mm	Taulukko A

Taulukko A:

HUOM! Mitat ketjutyypeille SFS 2380 A, B, C, D ja E.

Ketju no	Jako				Sisälev. b_1	Tappi d_1	Holkki d_2	Ryntörulla d_3	Kulkurulla d_4	Laip.kulkurulla		b_2	b_3	Sivulevyt			
										d_5	e			s	h_1	h_2	h_3
M 40	63	80	100	125	20	8,5	12,5	18	36	42	13,5	21	24	* 4	25	35	22,5
M 56	63	80	100	125	24	10	15	21	42	50	17	24	27	4	30	*40	25
M 80	80	100	125	160	28	12	18	25	50	60	20	29	33	5	35	50	32,5
M 112	80	100	125	160	32	15	21	30	60	70	22	33	37	6	40	60	40
M 160	100	125	160	200	37	18	25	36	70	85	25,5	38	43	7	50	70	45
M 224	125	160	200	250	43	21	30	42	85	100	30	44	49	8	60	90	60
M 315	160	200	250	315	48	25	36	50	100	120	33	51	58	10	70	100	65
M 450	200	250	315	400	56	30	42	60	120	140	37	60	66	12	80	120	80
M 630	250	315	400	500	66	36	50	70	140	170	45	69	78	14	100		
M 900	250	315	400	500	78	44	60	85	170	210	52	79	89	16	120		

Taulukko B:

Kulma α	
z	α
6- 7	120°
8- 9	122°
10-12	124°
13-16	126°
17-22	128°
23-30	132°
31-40	136°

2. Hammasaukon muoto (pakollinen)

Hammasluku	z	8	1	
Jakoympyrä	D	653,28	mm	
Hammasaukon levitys <i>koneistetulle hammaslovelle:</i>	g	4,5	mm	d ≤ 70 mm
<i>valetulle hammasaukolle:</i>		4		d > 70 mm
		10		
Hammasaukon pohjan säde	r	25,75	mm	d ≤ 70 mm
		25,5		d > 70 mm
Kulma	á	122	astetta	Taulukko B
Hammasaukon kyljen säde	R	118,40	mm	d ≤ 70 mm
		165,23		d > 70 mm
Pääympyrä	Dp	684,28	mm	d ≤ 70 mm
		675,78		d > 70 mm
Tyviympyrä	Dt	603,28	mm	
Ketjupyörän navan maksimihalkaisija <i>normaaleille sivulevyille:</i>	Dn	483,55	mm	
<i>korotetuille sivulevyille:</i>		483,55		
Hampaan leveys <i>holkeille ja normaaleille rullille:</i>	l	58,40	mm	
<i>max</i>		55,72		
<i>min</i>		58,00		
<i>valittu</i>				
<i>laipallisille kulkurullille:</i>		39,50		
<i>max</i>		37,45		
<i>min</i>		25,00		
<i>valittu</i>				
Hampaan pään leveys <i>holkeille ja normaaleille rullille:</i>	l1	41,50	mm	
<i>laipallisille kulkurullille:</i>		8,50		

3. Hammasaukon pidennys (valinnainen)

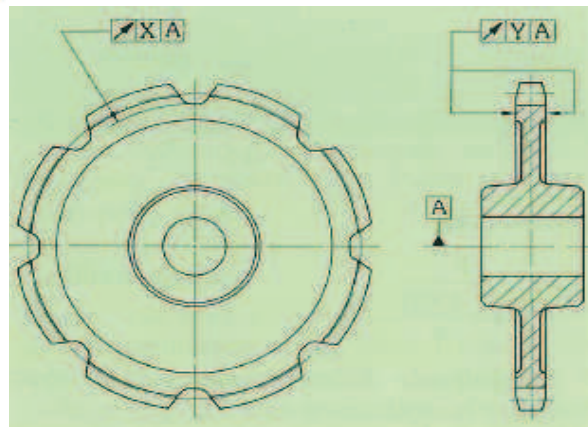
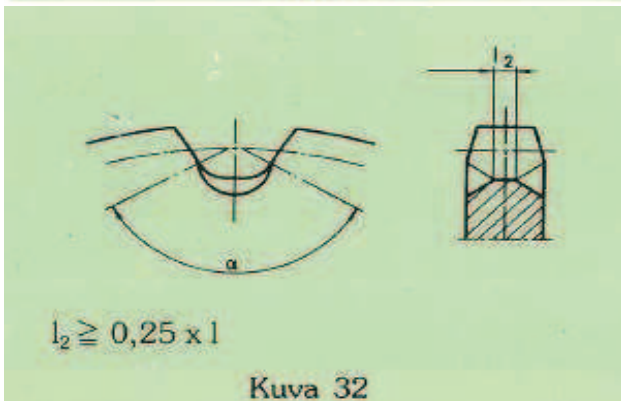
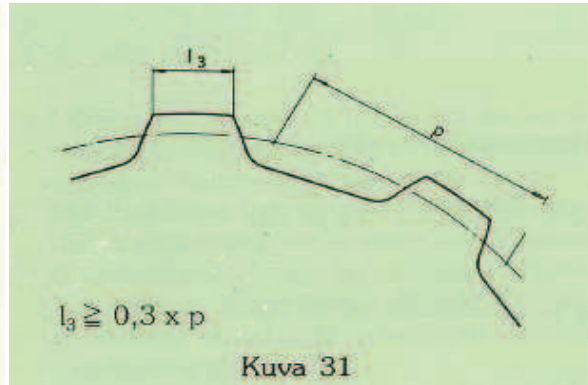
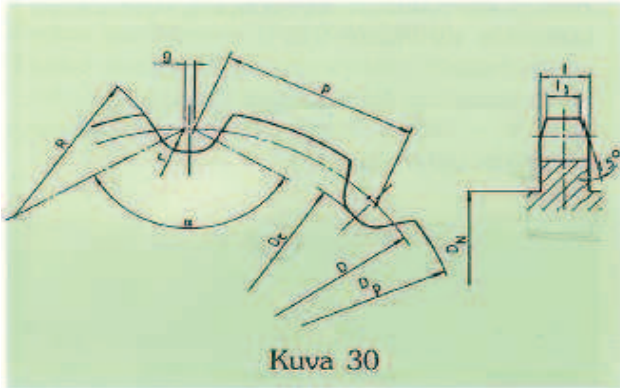
Hampaan pituus				
<i>min</i>	l3	75,00	mm	

4. Hammasaukon kevennys (valinnainen)

Hammasaukon pohjan leveys <i>holkeille ja normaaleille rullille:</i>				
<i>min</i>	l2	14,50	mm	
<i>laipallisille kulkurullille:</i>				
<i>min</i>		6,25		

5. Toleranssit

Koneistettu hammaskehä, heitto - kuitenkin enintään	X=Y=	0,7 0,2	mm	
Koneistamaton hammaskehä, heitto - kuitenkin enintään	X=Y=	3,0 1,5		



Liite 5

Ketjupyörän kiinnitysvaihtoehtojen laskenta

Ketjun SFS 2380 M630-A-250 ketjupyörä

Huom! Lihavoimattomat arvot on syötettävä.

1. Kitkaliitos

Teoria:

F.E.M. Section II. Continuous Handling: Rules for the design of mobile equipment for continuous handling of bulk materials. 1997.

Laskennan sovellusehdot:

- liitoksen tason suuntaiset kuormat
- yksileikkoinen liitos
- kaksihampaisen hammaspalan kiinnitys

Kuormat

Ketjuvoima	Fk	82	kN
Ketjuvoiman varsi	r1	0,327	m
Ruuvivoiman varsi	r2	0,2	m
Ruuvien määrä	a	3	kpl
Yhden ruuvin kuorma ketjun maksimikuormituksella	F21	44,690	kN
Yhden ruuvin kuorma käytön maksimimomentilla	F22	129,601	kN
F22 = F21 x 2.9 (oikosulkumoottori)			

Ehdot

Ruuvi: <ul style="list-style-type: none">- lujuusluokka- murtolujuus suurempi kuin- 0.2 %:n pysyvää venymää vastaavan jännityksen on oltava- ruuvin oikea kiristysmomentti varmistetaan käyttämällä momenttiavainta.		10,9	
		1000	MPa
		900	MPa
Aluslevy: <ul style="list-style-type: none">- karkaistuja aluslevyjä on käytettävä liitoksen molemmin puolin ts. yksi kummallakin puolella- aluslevyn kovuuden on vastattava vähintään ruuvimateriaalin kovuutta.			
Liitettävät osat: <ul style="list-style-type: none">- materiaali- liitospinnat on hiekkapuhallettava- lepokitkakerroin- ennen asennusta liitospinnat on puhdistettava maalista, öljystä, maa-aineksista, ruosteesta, hilseestä, purseista tai muista vioista jotka voivat heikentää kitkaliitoksen pitävyyttä.		S355	
		0,55	

Case I: Main loads.

Yhdeltä ruuvilta vaadittava pito	F21	44,690	kN
Standardin sivulta 3-36 saadaan ruuville M20:			
- kuorman siirtokyky		60,5	kN
- liitoksessa vaadittava puristus		154	kN
- ruuvin kiristysmomentti		474	Nm
Standardi rajoittaa ruuvin jännityksen arvoon $0.7 \cdot \sigma_E$.	Ruuvi:	3 x M20	

Case III: Main, additional and special loads.

Yhdeltä ruuvilta vaadittava pito	F22	129,601	kN
Standardin sivulta 3-36 saadaan ruuville M30:			
- kuorman siirtokyky		175	kN
- liitoksessa vaadittava puristus		350	kN
- ruuvin kiristysmomentti		1617	Nm
Standardi rajoittaa ruuvin jännityksen arvoon $0.7 \cdot \sigma_E$.	Ruuvi:	3 x M30	

2. SoviteruuviTeoria:

F.E.M. Section II. Continuous Handling: Rules for the design of mobile equipment for continuous handling of bulk materials. 1997.

Laskennan sovellusehdot:

- liitoksen tason suuntaiset kuormat
- yksileikkoinen liitos
- kaksihampaisen hammaspalan kiinnitys

Kuormat

Ruuvien määrä	a	2	kpl
Yhden ruuvin kuorma ketjun maksimikuormituksella	F21	67,035	kN
Yhden ruuvin kuorma käytön maksimimomentilla	F22	194,402	kN

Ehdot

Ruuvi:			
- lujuusluokka		10,9	
- reiän toleranssi		H11	
- jos sopivia, käytetään ruuveja DIN 7968 tai DIN 7999			
- ruuvin kierteellinen osa ei saa olla leikkauskuormituksen vaikutusalueella			

Case I: Main loads.

Yhdeltä ruuvilta vaadittava leikkauskestävyys	F21	67,035	kN
Standardin sivulta 3-27 saadaan ruuville:			
- sallittu pintapaine	p	780	MPa
- sallittu leikkausjännitys	τ	360	MPa
Levymateriaalille S355 saadaan standardin sivulta 3-12:			
- sallittu pintapaine	p	240,0	MPa
- sallittu leikkausjännitys	τ	138,6	MPa
Ruuvi DIN 7968-M16:			
- nimellishalkaisija	dn	16	mm
Liitettävät osat:			
- liitettävän levyparin ohuemman levyn paksuus	ts	29	mm
- leikkautuva pituus	e	100	mm
Ruuvin leikkausjännitys	τ_r	333,4	MPa
Ruuvin pintapaine	pr	144,5	MPa
Levyn leikkausjännitys	τ_l	11,6	MPa
Levymateriaalin pintapainetta vastaan ottavalle pinta-alalle on ehto:			
$As = ts \cdot dn \leq 0.5 \cdot e \cdot ts$	$0.5 \cdot e \cdot ts =$	1450	mm ²
	As	464	mm ²
Levyn pintapaine	pl	144,5	MPa
	Ruuvi:	2 x M16	

Case III: Main, additional and special loads.

Yhdeltä ruuvilta vaadittava leikkauskestävyys Standardin sivulta 3-27 saadaan ruuville: - sallittu pintapaine - sallittu leikkausjännitys	F22 p τ	194,402 975 450	kN MPa MPa
Levy materiaalille S355 saadaan standardin sivulta 3-12: - sallittu pintapaine - sallittu leikkausjännitys	p τ	300,0 173,2	MPa MPa
Ruuvi DIN 7968-M24: - nimellishalkaisija	dn	24	mm
Ruuvien pintapaine Ruuvien leikkausjännitys	pr τr	279,3 429,7	MPa MPa
Levy materiaalin pintapainetta vastaan ottavalle pinta-alalle on ehto: $As = ts \cdot dn \leq 0.5 \cdot e \cdot ts$	0.5 * e * ts = As	1450 696	mm ² mm ²
Levyn pintapaine Levyn leikkausjännitys	pl τl	279,3 33,5	MPa MPa
	Ruuvi:	2 x M24	

3. SoviteholkkiTeoria:

F.E.M. Section II. Continuous Handling: Rules for the design of mobile equipment for continuous handling of bulk materials. 1997.

Laskennan sovellusehdot:

- liitoksen tason suuntaiset kuormat
- yksileikkoinen liitos
- kaksihampaisen hammaspalan kiinnitys

Kuormat

Holkkien määrä	a	2	kpl
Yhden holkkin kuorma ketjun maksimikuormituksella	F21	67,035	kN
Yhden holkkin kuorma käytön maksimimomentilla	F22	194,402	kN

Ehdot

Holkki: - materiaali - reiän toleranssi		42CrMo4 H11	
---	--	----------------	--

Case I: Main loads.

Yhdeltä holkilta vaadittava leikkauskestävyys Levy materiaalille S355 saadaan standardin sivulta 3-12: - sallittu pintapaine - sallittu leikkausjännitys	F21 p τ	67,035 240,0 138,6	kN MPa MPa
Holkkimateriaalille (alla) saadaan OVAKON aineslehdestä: 42CrMo4 (OVAKO ASTM A 193 B7) - Rp0,2% - Rm		720,0 860,0	MPa MPa
ja standardin sivulta 3-12:			

- sallittu pintapaine	p	430,9	MPa
- sallittu leikkausjännitys	τ	248,8	MPa
Liitettävät osat:			
- liitettävän levyparin ohuemman levyn paksuus	ts	29	mm
- leikkautuva pituus	e	100	mm
- holkin ulkohalkaisija	D	28	mm
- holkin sisähalkaisija	d	17	mm
- holkin poikkileikkauksen ala	Ah	389	mm ²
Holkin pintapaine	pr	82,6	MPa
Holkin leikkausjännitys	τ_r	172,4	MPa
Levyateriaalin pintapainetta vastaan ottavalle pinta-alalle on ehto: As = ts*D ≤ 0.5*e*ts	0.5*e*ts =	1450	mm ²
	As	812	mm ²
Levyn pintapaine	pl	82,6	MPa
Levyn leikkausjännitys	τ_l	11,6	MPa
Holkki:	2 x 28x17-57		

Case III: Main, additional and special loads.

Yhdeltä holkiltä vaadittava leikkauskestävyys	F22	194,402	kN
Levyateriaalille S355 saadaan standardin sivulta 3-12:			
- sallittu pintapaine	p	300,0	MPa
- sallittu leikkausjännitys	τ	173,2	MPa
Holkkimateriaalille (alla) saadaan OVAKON aineslehdessä: 42CrMo4 (OVAKO ASTM A 193 B7)			
- Rp0,2%		720,0	MPa
- Rm		860,0	MPa
ja standardin sivulta 3-12:			
- sallittu pintapaine	p	538,6	MPa
- sallittu leikkausjännitys	τ	311,0	MPa
Liitettävät osat:			
- liitettävän levyparin ohuemman levyn paksuus	ts	29	mm
- leikkautuva pituus	e	100	mm
- holkin ulkohalkaisija	D	38	mm
- holkin sisähalkaisija	d	21	mm
- holkin poikkileikkauksen ala	Ah	788	mm ²
Holkin pintapaine	pr	176,4	MPa
Holkin leikkausjännitys	τ_r	246,8	MPa
Levyateriaalin pintapainetta vastaan ottavalle pinta-alalle on ehto: As = ts*D ≤ 0.5*e*ts	0.5*e*ts =	1450	mm ²
	As	1102	mm ²
Levyn pintapaine	pl	176,4	MPa
Levyn leikkausjännitys	τ_l	33,5	MPa
Holkki:	2 x 38x21-57		

4. Yksiosainen kiilaurapyörä

Teoria: Airila ym. 2003. Koneenosien suunnittelu, 378 - 384.

Kuormat

Kiilojen määrä	a	4	kpl
Napaliitoksen vaadittu momentinsiirtokyky ketjun maksimikuormituksella	Tk	26,814	kNm
Napaliitoksen vaadittu momentinsiirtokyky käytön maksimimomentilla	Tm	77,761	kNm

Mittatiedot

Akselin halkaisija	d	240	mm
Kiilan leveys	b	56	mm
Kiilan korkeus	h	32	mm
Kiilan pituus ($0.7 d < l < 2.5 d$) + linjassa FB-Ketjutekniikan napapituuden kanssa	l	170	mm
Kiilan leikkauspinta-ala	A	9520	mm ²
Akselin uran syvyys	t1	20	mm
Navan uran syvyys	t2	12,4	mm

Materiaalien kuormitettavuus

Akselinavan sallittu pintapaine - yksisuuntainen kuormitus, kovia iskuja - kiilan materiaali Ck45 - napa ja akseli terästä s. 378-379	pn	90	MPa
Kiilan sallittu leikkausjännitys - tykyttävä kuormitus s. 379	tk	50	MPa

Momentin siirtokyky

Navan momentinsiirtokyky pintapaineen mukaan	Mv,n	95,771	kNm
Akselin momentinsiirtokyky pintapaineen mukaan	Mv,a	134,640	kNm
Kiilan momentinsiirtokyky leikkautumisen mukaan	Mv,k	228,480	kNm

Tasakiila: 4 x A-56x32x170 SFS 2636

2. Kiristys- ja säätövara

Suomen Ketjutekniikka: Tuoteluettelo (FB-Ketjutekniikka Oy), 10 - 11

2.1 Kiristysvara

Akseliväli, koko ketjun pituuden puolikas	L7	26,5	m
Ketjun jako	p	200	mm
Ketjun koon huomioiva kerroin, valitaan alla olevasta taulukosta	J	1,2	
	M224	1,1	
	M315	1,2	
	M450	1,3	
	M630	1,4	
	M900	1,5	
Kiristysvara		159	mm
Kiristysvaran on oltava vähintään 2 x p		400	mm

2.2 Säätövara

= 0.5 x p	L8	100	mm
-----------	----	------------	----

2.3 Ketjukiristuksen liikevara

Säätövara lyhemmäksi	-	100	mm
Säätövara pidemmäksi	+	500	mm
Liikevara yhteensä		600	mm

3. Riippuman ja taittopyörän välillä olevien johteiden aiheuttama kitkavoima

Johteen pituus	LJ	6,1	m
Kitkakerroin teräs/ muovi	u	0,2	
Kitkavoima	Fu	0,81	kN

4. Taittoakselin kuormat

4.1 Kuormat normaalisti

Edeltä saadaan:			
- käytön ketjuvoima normaalisti	Fs	37,46	kN
- riippuman aiheuttama ketjuvoima	KA1	1,9	kN
- kitkavoima	Fu	0,81	kN
Kun taittopyörään kohdistuvan kuorman oletetaan jakautuvan vaaka- ja pystykomponentteihin, saadaan:			
$F_x = F_s$		37,46	kN
$F_y = KA1 + F_u + F_s$		40,15	kN
Taittoakseliin kohdistuva resultanttikuorma		54,91	kN

4.2 Kuormat ylikuormituksessa

Edeltä saadaan:			
- käytön ketjuvoima ylikuormituksessa	Fs	108,63	kN
- riippuman aiheuttama ketjuvoima	KA1	1,9	kN
- kitkavoima	Fu	0,81	kN
Lisäksi oletetaan tilanne, jossa paluuketju jää jumiin samalla kun vetoakseli pyörii normaalisti. Tällöin riippuman aiheuttaman voiman ja kitkavoiman kanssa samaan suuntaan vetää lisäksi voima Fs. Kun taittopyörään kohdistuvan kuorman oletetaan jakautuvan vaaka- ja pystykomponentteihin, saadaan:			
$F_x = F_s$	Fx	108,63	kN
$F_y = KA1 + F_u + F_s$	Fy	111,32	kN
Taittoakseliin kohdistuva resultanttikuorma	FT	155,55	kN

www.savonia.fi

