

Paperikoneen voimansiirron modernisoinnin selvitys

Matti Kananen

Kone- ja tuotantotekniikan opinnäytetyö
Konetekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2013

ALKUSANAT

Haluan kiittää Efora Oy:tä ja erityisesti kunnossapitopäällikkö Marko Julkua erittäin mielenkiintoisesta sekä haastavasta opinnäytetyöaiheesta. Haluan kiittää Efora Oy:n Alpo Olkoniemeä ja Tuomo Salmelaa yhteistyöstä. Kiitokset kuuluvat myös opinnäytetyön valvojalle, projekti-insinööri Aslak Siimekselle saamistani mainiosta neuvoista opinnäytetyötäni varten.

Kemissä 07.05.2013

Matti Kananen

TIIVISTELMÄ

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU, Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma:	Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyön tekijä:	Matti Kananen
Opinnäytetyön nimi:	Paperikoneen voimansiirron modernisoinnin selvitys
Sivuja (joista liitesivuja):	52 (1)
Päiväys:	07.05.2013
Opinnäytetyön ohjaaja:	Projekti-insinööri Aslak Siimes
Yritys:	Efora Oy
Yrityksen yhteyshenkilö:	Kunnossapitopäällikkö Marko Julku
<p>Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin paperikone viiden voimansiirron modernisoinnin selvitystä. Opinnäytetyö tehtiin Efora Oy:lle Stora Enson Veitsiluodon tehtaille. Työn tarkoituksena oli tehdä vertailu PK-5:n käytössä olevien hammaskytkimien ja markkinoilla tarjolla olevien metallilamellikytkinten välillä.</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää, voidaanko käytössä olevia hammaskytkimiä modernisoida metallilamellikytkimillä. Työssä muodostetussa vertailussa tarkasteltiin, onko modernisointi teknisesti mahdollista ja taloudellisesti kannattavaa. Jos lamellikytkimet voidaan ottaa käyttöön ilman muutoksia laiterakenteissa, pyritään niistä yritykselle muodostuvat kustannukset kartoittamaan ja vertailemaan. Tarkoituksena oli selvittää, muodostuuko metallilamellikytkimistä taloudellista hyötyä ja millä aikavälillä. Metallilamellikytkinten käyttö poistaa, tai ainakin vähentää, kunnonvalvonnasta syntyneitä kustannuksia. Voiteluaineista syntyneet kustannukset poistuvat kokonaan metallilamellikytkintä käytettäessä.</p> <p>Kytinten, sähkömoottoreiden, vaihdelaatikoiden ja telojen teknisten tietojen selvittämisessä käytettiin SAP- toiminnanohjausjärjestelmää, arkistoa ja henkilöhaastatteluja. Vaihtoehtoisten metallilamellikytkinten tiedot on saatu sähköpostitse kytkinvalmistajilta. Työssä laadittu laitetaulukko on tehty Microsoft Excel-ohjelmalla. Taulukko sisältää työssä kerätyt tiedot ja havainnot ja ne on eritelty omille välilehdille.</p> <p>Työssä laaditussa vertailusta ja niistä syntyneistä havainnoista Efora Oy saa pohjustavaa tietoa siitä, voidaanko metallilamellikytkimiä ottaa käyttöön ja millaiset kustannukset sijoitetusta investoinnista syntyy.</p>	
Asiasanat: hammaskytkin, metallilamellikytkin, voimansiirto, kustannukset.	

ABSTRACT

KEMI-TORNIO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology

Degree programme:	Mechanical and Production Engineering
Author:	Matti Kananen
Thesis title:	Modernization of Paper Machine Transmission
Pages (of which appendixes):	52 (1)
Date:	7 May 2013
Thesis instructor:	Aslak Siimes, BEng
Company:	Efora Oy
Supervisor from company:	Marko Julku, Maintenance Manager
<p>The final project conversed the modernization of paper machine five transmission. The final project was done to Efora Oy Stora Enso Veitsiluoto mill. The purpose was to produce a comparison between gear couplings of PK5 and available steel lamella couplings.</p> <p>The objective was to find out if the existing gear couplings could be modernized with steel lamella couplings. The comparison examined if the modernization is technically possible and economically feasible. If the steel lamella couplings can be implemented without changes to the device structures, the costs to Efora Oy have to be surveyed and compare them to gear couplings used. The purpose was to investigate if the steel lamella couplings can make economic benefits and at what interval. The use of steel lamella couplings removes or at least reduces maintenance costs. Lubrication costs will be completely removed with steel lamella couplings.</p> <p>Technical information of gear couplings, electric motors, gear boxes and rolls was examined by using the SAP ERP system, archives and personal interviews. Information of alternative steel lamella couplings was obtained by e-mail from manufacturers. The table was composed by using Microsoft Excel program. The table contains collected data and perceptions and they are individually categorized in table.</p> <p>Efora Oy receives information about the fact that if the steel lamella couplings can be used and what kind of costs the investment causes.</p>	
Key words: gear coupling, steel lamella coupling, transmission, costs.	

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	8
2 EFORA OY	10
3 STORA ENSO OYJ	12
3.1 Veitsiluodon tehtaot	12
3.2 PK-5	14
4 AKSELIEN LIITTÄMINEN TOISIINSA.....	16
4.1 Akselinliitokset ja niiden valinta.....	16
4.1.1 Akselien välinen liike ja tehonsiirtokyky.....	16
4.1.2 Kuormituksen luonne ja käyttökohteen rakenteelliset vaatimukset.....	17
4.1.3 Asennus ja ympäristöolosuhteet.....	17
4.1.4 Elinikä ja kokonaiskustannukset.....	18
4.2 Liikkuvat vääntöjäykät akselinliitokset	18
4.2.1 Hammaskytkimet	19
4.2.2 Metallilamellikytkimet.....	21
5 KYTKIMEN MITOITUS	23
5.1 Voimanlähteet	23
5.2 Voimansiirtolaitteet.....	23
5.3 Käytettävät laitteet	24
5.4 Kytkimen valinta.....	24
6 VOIMANSIIRTOKOMPONENTTIEN RAKENNE	27
6.1 Jarruttomat komponentit, PK-5 ja PPK-5	27
6.2 Jarrulliset komponentit, jälkikäsitteily ja välirullaimet.....	29
7 CASE VEITSILUOTO PK-5.....	32
7.1 Esiselvitys	32
7.2 Tarkasteltavien laitteiden ja hammaskytkinten teknisten tietojen kartoitus	33
7.3 Hammaskytkinten kunnonvalvonta ja niistä syntyvät kustannukset.....	37
7.4 Hintatiedustelut metallilamellikytkimistä	40
7.5 Hammas- ja metallilamellikytkinten vertailu.....	41

7.5.1 Tekniset tiedot.....	41
7.5.2 Kunnossapito.....	42
7.5.3 Varaosat	43
7.5.4 Toimitusajat	43
7.6 Kytkimien kustannusvertailu	44
8 MODERNISOINNISSA HUOMIOITAVAT ASIAT JA TULOKSET	47
8.1 PK-5	47
8.2 PPK-5	47
8.3. Jälkikäsitely ja välirullaimet	48
9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	49
LÄHTEET	51
LIITTEET	52

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

PK	Paperikone
PPK	Päällystyspaperikone
VR	Väilirullain
PL	Pituusleikkuri
SK	Superkalanteri
MWC	Medium weight coated (= keskiraskaasti päällystetty)
URK	Uudelleenrullauskone
DBSE	Distance between shaft ends (= akselipäiden välinen etäisyys)

1 JOHDANTO

Kesätyöni päätyttyä Stora Enso Veitsiluodossa tiedustelin Efora Oy:ltä aihetta oppinnäytetyölle. Kunnossapitopäällikkö Marko Julku kertoi, että heillä olisi aihe insinöörityölle ja se koskisi PK-5:n voimansiirron modernisoinnin selvitystä. Työni aihe sai alkunsa Stora Enson Oulun tehtaalla ilmenneistä ongelmista hammaskytkimillä varustetuista käytöistä.

Insinöörityön tarkoituksena on selvittää, onko käytössä olevien hammaskytkimien modernisointi mahdollista markkinoilla olevilla metallilamellikytkimillä ja vertailla niitä teknisestä ja taloudellisesta näkökulmasta. Paperikoneella voimansiirto on toteutettu hammaskytkimiä käyttäen. Vertailtavien lamellikytkinten fyysiset mitat, niiden sallima ominaistehonsiirtokyky ja pyörimisnopeudet asettavat rajoitteita niiden mahdolliselle käyttöönotolle PK-5:llä, joten niitä on vertailtava nykyisin käytössä oleviin hammaskytkimiin. Vertailulla pyritään selvittämään, voidaanko metallilamellikytkimiä käyttöönottaa niiden teknisten ominaisuuksien sekä mitoituksen puolesta. Jos kytkimet voidaan ottaa käyttöön, pyritään niistä yritykselle muodostuneet kustannukset kartoittamaan ja vertailemaan. Tarkoituksena on selvittää, muodostuuko metallilamellikytkimistä taloudellista hyötyä ja millä aikavälillä. Metallilamellikytkinten käyttö poistaa, tai ainakin vähentää, kunnonvalvonnasta syntyneitä kustannuksia. Voiteluaineista syntyneet kustannukset poistuvat kokonaan metallilamellikytkintä käytettäessä.

Työ on rajattu käsittelemään liikkuvia vääntöjäykkiä akselinliitoksia. Tämä rajaus koskee PK-5:n käyttölaitteiden hammaskytkimiä, joten työssä ei käsitellä käytössä olevia sakara, tappi, tampusuuri ja joustokytkimiä. Myös vaihdelaatikoiden ja sähkömoottoreiden sekä nivelakseliliitosten tarkastelu rajattiin työn ulkopuolelle.

Tavoitteena on tehdä kokonaisvertailu hammaskytkimien ja metallilamellikytkimien välillä. Vertailulla pyritään kartoittamaan, kuinka paljon taloudellista hyötyä saadaan jos voimansiirto modernisoitaisiin metallilamellikytkimillä, kuinka suuret kustannukset siitä syntyvät, millä aikavälillä sijoitettu investointi saataisiin takaisin maksettua hammaskytkimien huoltokustannuksilla ja pystytäänkö metallilamellikytkimiä ottamaan käyttöön ilman laiterakenteita muuttamatta sekä voidaanko rikkoutumistilanteessa syntyviä kustannuksia pienentää.

Työn tuloksista tehtiin taulukko, joka luovutettiin Efora Oy:lle. Taulukkoon on listattu käytössä olevat sähkömoottorit, vaihteet ja hammaskytkimet, niiden tekniset tiedot, hammaskytkinten vuosittaiset kunnonvalvonnalliset toimenpiteet, niistä syntyvät kustannukset sekä vertailtavien hammas- ja metallilamellikytkinten osto- ja varaosahinnat kunnossapitokustannuksineen.

2 EFORA OY

Efora Oy on kunnossapito- ja engineering- palveluihin erikoistunut yritys. Se on teollisuuden tuotantolinjojen elinkaaren hallinnan, tuotantotehokkuuden, häiriöttömän käynnin turvaamisen ja niiden kehittämisen osaaja. (Efora Oy, Intranet, hakupäivä 26.11.2012)

Vuoden 2008 alussa Stora Enso päätti selvittää kunnossapitotoimintojen mahdollisen uudelleenjärjestelyn tuomat edut ja vaikutukset Suomen tehtaiden liiketoiminnalle. Selvityksessä ilmenneet tulokset osoittivat vahvaa potentiaalia kunnossapitokustannusten alentamismahdollisuuksista ja laitosten paremmasta käytettävyydestä. Stora Enso ja ABB kirjoittivat aiesopimuksen 2008 syyskuussa ja lokakuun 22. päivä sopimuksen Efora Oy:n perustamisesta. Yritys aloitti toimintansa 1.1.2009. (Efora Oy, Intranet, hakupäivä 26.11.2012)

Yritystä hallinnoi ABB ja Efora Oy:n toimintamalli perustuu ABB:n globaaliin Full Service® – konseptiin. Stora Enso omistaa 51 % ja ABB 49 % yrityksestä. (Efora Oy, Intranet, hakupäivä 26.11.2012)

Yhteisyrityksen sopimus koskee Stora Enson Veitsiluodon, Oulun, Varkauden, Imatran, Uimaharjun ja Heinolan tehtaiden kunnossapitopalveluja. Sopimukseen on sisällytetty kunnossapitoa, suunnittelu- ja projektitoimintoja, teknistä ostoa, varastotoimintoja sekä dokumenttien hallintaa. (Efora Oy, Intranet, hakupäivä 26.11.2012)

Toiminnassaan Efora hyödyntää kattavaa verkostoaan, jonka avulla se pystyy tarjoamaan tehokasta kokonaiskunnossapitopalvelua, osaavaa ja kohdennettua erikoiskunnossapitoa sekä maailmanluokan suunnittelu- ja projektointipalveluja. (Efora Oy, Intranet, hakupäivä 26.11.2012)

Eforan tarjoamat kokonaiskunnossapitopalvelut perustuvat ABB Full Service® - konseptiin. Yritys sitoutuu pitkäaikaisissa suorituskykyyn perustuvissa sopimuksissa tuotantolaitteiden suorituskyvyn ja luotettavuuden ylläpitämiseen sekä kehittämiseen. Efora antaa arvolupauksen, jossa se lupaa täyttää TTT- ja ympäristövaatimukset, parantaa tuotannon ja talouden suorituskykyä, johtaa kunnossapitoa liiketoimintana,

parantaa luotettavuutta, pidentää prosessilaitteiden elinkaarta sekä hyödyntää ABB:n globaalia verkostoa ja resursseja. (Efora Oy, Intranet, hakupäivä 26.11.2012)

Efora Engineering -palvelulla voidaan kehittää tuotantotehokkuutta, kapasiteettia tai pidentää laitoksen elinkaarta. Tehdasinvestoinnissa, investointihankkeiden valmistelussa, suunnittelupalveluissa, pienprojekteissa ja kehityshankkeissa Efora hyödyntää kokemustaan maailmanluokan investointiprojektien johtamisesta ja suunnittelusta. (Efora Oy, Intranet, hakupäivä 26.11.2012)

Erikoiskunnossapito tarjoaa huoltopalveluja joissa vaaditaan erikoisosaamista sekä kustannustehokkuutta. Erikoiskunnossapitoon kuuluu: laite- ja telahuolto, kunnonvalvonta sekä sähkö- ja automaatiokunnossapito. (Efora Oy, Intranet, hakupäivä 26.11.2012)

3 STORA ENSO OYJ

Stora Enso OYJ on maailmanlaajuinen paperi-, pakkaus- ja puuteollisuuden alalla toimiva yritys, joka työllistää 30000 henkilöä yli 35 maassa. Stora Enso- konsernin liikevaihto vuonna 2011 oli 11,0 miljardia euroa ja yrityksen operatiivinen liikevoitto 866,7 miljoonaa euroa. (Stora Enso Oyj Insite, hakupäivä 17.12.2012)

Yhtiön vuosittainen tuotantokapasiteetti on 11,8 miljoonaa tn paperia ja kartonkia, 4,9 miljoonaa tn kemiallista sellua, 1,3 miljardia neliometriä aaltopahvia ja 6,0 miljoonaa kuutiometriä puutuotteita josta 3,1 miljoonaa kuutiometriä on jatkojalosteita. Stora Enson asiakkaita ovat kustantamot, painotalot, paperitukkurit, pakkaus- ja rakennusteollisuus. (Stora Enso Oyj Insite, hakupäivä 17.12.2012)

Stora Enson missio on hyödyntää ja kehittää omaa osaamistaan uusiutuvien raaka-aineiden käytössä, jotta se pystyisi vastaamaan maailmanlaajuisiin haasteisiin sekä asiakkaiden tarpeisiin. Yhtiön tuotteet tarjoavat ympäristöystävällisen vaihtoehdon ja pienemmän hiilijalanjäljen verrattuna moniin kilpaileviin tuotteisiin, joita ei ole valmistettu uusiutuvista materiaaleista. (Stora Enso Oyj Insite, hakupäivä 17.12.2012)

Tulevaisuuden kasvumarkkinat tulevat löytymään Kiinasta ja Latinalaisesta Amerikasta. Stora Enso keskittyy siellä valmistettaviin kuitupohjaisiin pakkauksiin, puuviljelmiltä peräisin olevaan selluun sekä tiettyihin paperilaatuihin. Tasaista kasvupotentiaalia pitkällä aikavälillä tarjoavat kuitupohjaiset pakkaukset useassa segmentissä. Pakkausalalla on paljon mahdollisuuksia tuoteinnovaatioihin, joiden avulla Stora Enso voi tarjota ympäristöystävällisiä ratkaisuja asiakkailleen. (Stora Enso Oyj Insite, hakupäivä 17.12.2012)

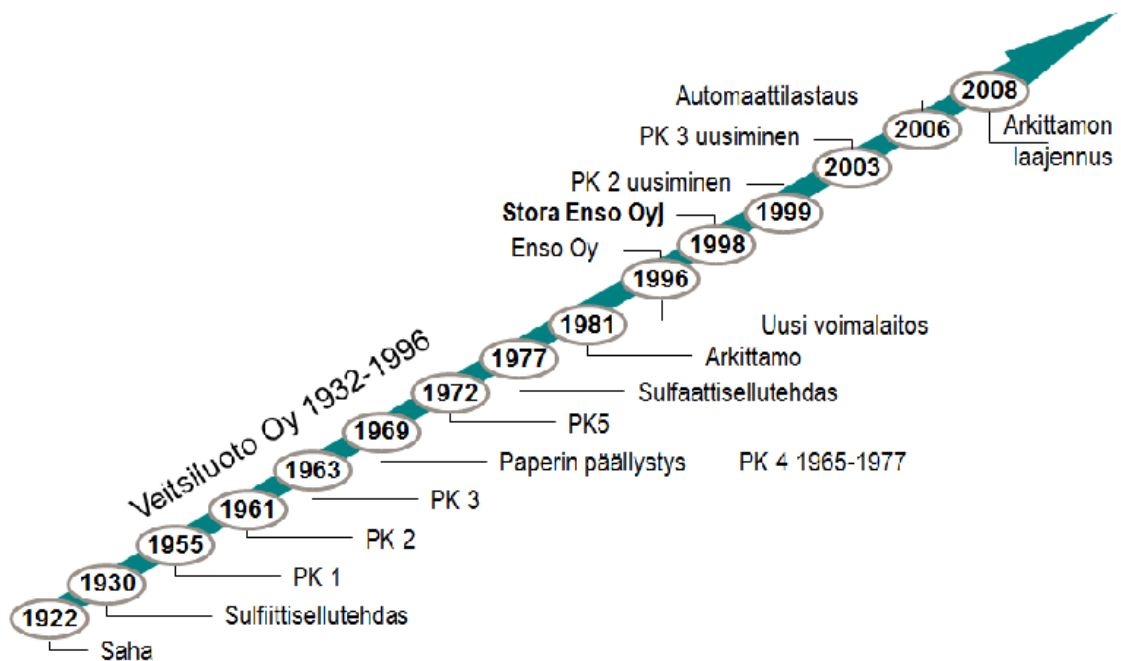
3.1 Veitsiluodon tehtaat

Kemin Veitsiluodossa sijaitseva Stora Enso Printing and –Reading -liiketoiminta-alueeseen kuuluva tehdas on maailman pohjoisin paperitehdas. Veitsiluodon paperitehdas on Euroopan neljänneksi suurin paperitehdasintegraatti, jonka tuotanto on jaoteltu kolmeen tuoteryhmään: päällystettyihin painopapereihin, toimistopapereihin ja sahatavaraan. Tehdas työllistää 750 henkilöä. Kuvassa 1 havainnollistetaan

Veitsiluodon tehdasintegraattia ja kuvassa 2 nähdään Veitsiluodon tehtaiden historia.
(Stora Enso Oyj Insite, hakupäivä 3.1.2013)



Kuva 1. Veitsiluodon tehtaat. (PowerPoint, Veitsiluodon yleisesittely, 2012)



Kuva 2. Veitsiluodon tehtaiden historia. (PowerPoint, Veitsiluodon yleisesittely, 2012)

Paperin, sellun ja sahatavaran tuotantoon käytetään nykyisin 2,6 miljoonaa kuutiometriä puuta vuodessa. Tehtaalla valmistetut tuotteet laivataan Ajoksen satamasta, josta on säännöllinen reittiliikenne Lyypekkiin ja Göteborgiin. (Stora Enso Oyj Insite, hakupäivä 3.1.2013)

Stora Enson Veitsiluodon tulosityksikkö valmistaa tulostus-, kirjekuori-, ja vihkopaperia, päällystettyä aikakauslehtipaperia, happivalkaistua koivu- ja havusellua, mekaanista massaa sekä sahatavaraa. Vuonna 2011 tehdas valmisti 570000 tn hienopaperia, 440000 tn aikakauslehtipaperia, 160000 tn sahatavaraa, 375000 tn sellua ja aikakauslehtipaperiin käytettävää mekaanista massaa 155000 tn. (Stora Enso Oyj Insite, hakupäivä 3.1.2013)

Toimistopaperin tuotantolinjaan kuuluvat paperin raaka-aineen valmistuksesta vastaava sellutehdas, hienopaperikoneet PK-2 ja PK-3, paperitehtaan jälkikäsitteily sekä arkittamo. (Stora Enso Oyj Insite, hakupäivä 3.1.2013)

Päällystetyn painopaperin valmistukseen kuuluvat paperikoneet PK-1 ja PK-5. Valmistettavan painopaperin kuituraaka-aineena käytetään Oulun sellutehtaan valmistamaa havusellua ja Veitsiluodon hiomolla valmistettavaa mekaanista massaa eli hioketta. (Stora Enso Oyj Insite, hakupäivä 3.1.2013)

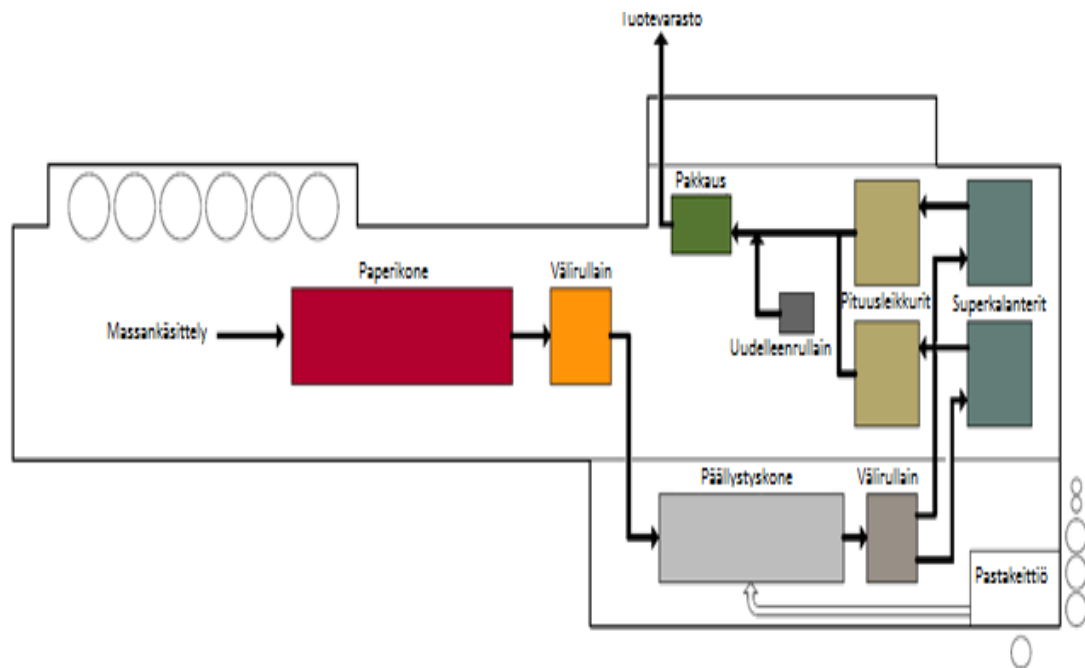
Veitsiluodon paperitehtaan yhteydessä toimiva saha kuuluu muista Stora Enson sahalaitoksista poiketen Printing and Reading toiminta-alueeseen. (Stora Enso Oyj Insite, hakupäivä 3.1.2013)

3.2 PK-5

Paperikone 5 on yksi neljästä paperinvalmistuslinjasta Stora Enso Veitsiluodon tehtaalla. PK-5 valmistaa Novapress ja Novasilk aikakauslehtipaperia, jonka neliöpaino vaihtelee 60 -80 gramman välillä. Paperikoneen vuotuinen tuotantokapasiteetti on 260000 tn, sen trimmileveys on 7,45m, pohjakoneen rakennenoisuus on 1300 m/min ja paperinpäällystyskoneen 1400m/min. (Stora Enso Oyj Insite, hakupäivä 3.1.2013)

PK-5:een kuuluu pohjapaperikone, päällystyskone, kaksi välrullainta (VR-51 ja VR-52), kaksi superkalanteria (SK-51 ja SK-52), kaksi pituusleikkuria (PL-53 ja PL-52) ja uudelleenrullaus- sekä pakkauskone. (Stora Enso Oyj Insite, hakupäivä 3.1.2013)

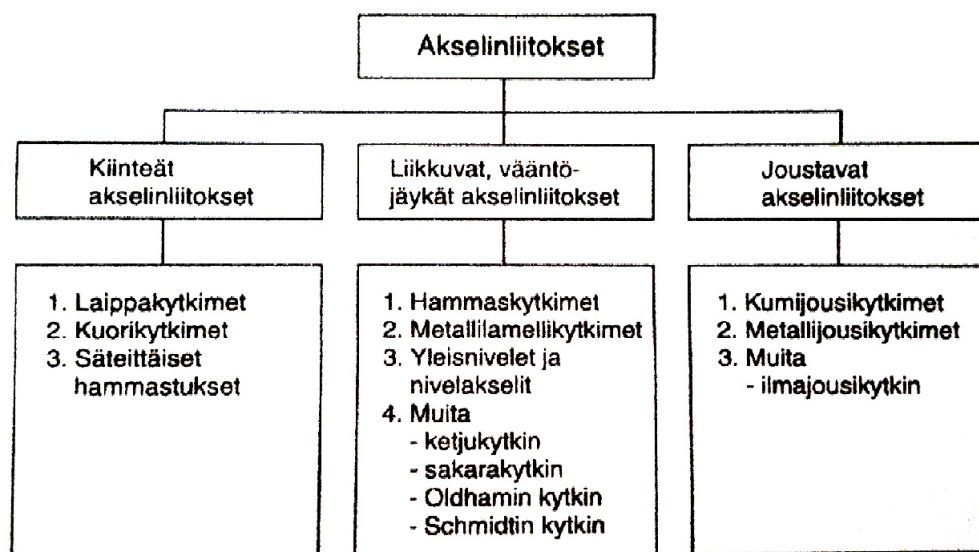
PK-5 aloitti toimintansa vuonna 1972 ja toimittajina olivat Valmet Oy sekä Beloit Walmsley Ltd. Alun perin PK-5 valmisti sanomalehtipaperia. Vuonna 1985 paperikoneen tuotanto muutettiin MWC -paperiksi. Paperikonetta on uudistettu vuosina 1985, 1995 ja 1996 Valmetin toimesta. Viimeisimmät suuret uudistukset paperikoneelle tehtiin vuonna 1995 ja 1996, jolloin muun muassa nostettiin koneen pyörimisnopeutta. Vuonna 1985 rakennettiin paperinpäällystyskone, jonka toimittivat Voith GmbH ja Wärtsilä. Paperinpäällystyskoneelle viimeisimmät suuret muutokset on tehty vuonna 1996 Voith Sulzer:n toimesta. Kuvassa 3 esitellään paperikone sekä paperin valmistusprosessin kulku. (Stora Enso Oyj Insite, hakupäivä 3.1.2013)



Kuva 3. PK-5. (Stora Enso Insite, hakupäivä 21.1.2013)

4 AKSELIEN LIITTÄMINEN TOISIINSA

Kytkimellä yhdistetään kaksi pyörivää akselia päittäin toisiinsa. Kytkin välittää tehon akselilta toiselle. Kytкимиä on olemassa monia eri rakenteita ja ne voidaan ryhmitellä akselinliitoksiin ja akselikytkimiin. Akselinliitokset jaotellaan kolmeen ryhmään: kiinteät, liikkuvat ja joustavat akselinliitokset. Kuvassa 4 esitetään akselinliitosten jaottelu. (Airila, Ekman, Hautala, Kivioja, Kleimola, Martikka, Miettinen, Niemi, Ranta, Rinkinen, Salonen, Verho, Vilenius & Välimaa, 1997, 344)



Kuva 4. Akselinliitosten jaottelu. (Airila ym. 1997, 344)

4.1 Akselinliitokset ja niiden valinta

Akselinliitoksen valintaa tehdessä on otettava huomioon useita eri tekijöitä. Huomioitavia asioita ovat mm. akselinliitoksen ympäristöolosuhteet, käyttökohteen asettamat vaatimukset ja tehonsiirtokyky. (Airila ym. 1997, 344)

4.1.1 Akselien välinen liike ja tehonsiirtokyky

Kytkevien akselien väliset asentopoikkeamat voivat johtua lämmönvaihteluista, asennusvirheistä tai elastisista muodonmuutoksista. Toisinaan käytettävän koneen

toiminta edellyttää, että akselit voivat liikkua toisiinsa nähden, tai että ne muodostavat toisiinsa nähden kiinteän kulman. Kytkimen valinnan määrää liikkeen suunta ja sen suuruus. (Airila ym. 1997, 344)

Kytkimen koko ja vääntömomentinsiirtokyky riippuvat sen ominaisrakenteesta. Vääntäjoustavuuden kasvaessa kytkimen koko myös kasvaa. Kytkimen pyörimisnopeutta rajoittaa sen valmistusmateriaalin sallima kehänopeus ja tästä johtuen kytkimen kokoluokan kasvaessa sen sallima pyörimisnopeus yleensä alenee. Kytkimelle kohdistuvat aksiaalipoikkeamien vaikutus täytyy huomioida, sillä ne alentavat kytkimen sallimaa pyörimisnopeutta ja tehonsiirtokykyä. Suuria pyörimisnopeuksia haluttaessa kytkin täytyy tasapainottaa dynaamisesti. (Airila ym. 1997, 345)

4.1.2 Kuormituksen luonne ja käyttökohteen rakenteelliset vaatimukset

Kytöntä valittaessa täytyy tarkastella kytkettävien koneiden kuormituksen luonnetta. On tarkasteltava, onko kohdistuva kuormitus tasaista vai jaksollista ja esiintyykö siinä kuormitushuippuja. Vääntöjäykät kytkimet välittävät sille kohdistuvat momenttisysäykset eteenpäin sellaisenaan, joustavat kytkimet taas vaimentavat sille kohdistuneita kuormitushuippuja. Jotta resonanssivaaralta vältyttäisiin, joustavalla kytkimellä voidaan muuttaa vääntövärähtelyjen ominaistaajuutta. (Airila ym. 1997, 345)

Kytkimen välitys voi aiheuttaa vaikeuksia edestakaisessa liikkeessä. Suunnaltaan vaihtelevan vääntömomentin tapauksessa on kiinnitettävä huomiota navan ja kytkettävän akselin väliseen liitokseen, sillä esim. tasakiila ei sovellu kohteisiin, joissa sille kohdistuvan momentin suunta vaihtelee nopeasti. (Airila ym. 1997, 345)

4.1.3 Asennus ja ympäristöolosuhteet

Kytkimen tyyppiä valittaessa täytyy huomioida liitettävien akseleiden asento, sillä ne voivat olla joko vaaka- tai pystysuorassa. Hyvän käyttövarmuuden saamiseksi sekä asennuksen helpottamiseksi liitettävien koneiden pitää olla vakaasti asennettuja ja mielellään samalla perustuksella. Radiaali- ja aksiaalisuuntainen asennus otetaan huomioon kytkintä valittaessa. (Airila ym. 1997, 345)

Akselinliitoksen valinnassa tulee ottaa huomioon ympäristön lämpötila. Kytkimen valmistusmateriaali tai sen voitelu voivat asettaa rajoituksia käyttölämpötilalle. Kuluttavat tai korrosiiviset aineet voivat aiheuttaa kytkimelle kohdistuvaa epänormaalia kulumista ja täten lyhentää sen elinikää. Käyttöympäristössä oleva otsoni ja öljy voivat rikkoa kytkimessä olevan kumisen jousto-osan. Toisinaan vaaditaan, että kytkimen täytyy olla sähköisesti eristävä. (Airila ym. 1997, 345)

4.1.4 Elinikä ja kokonaiskustannukset

Oikein valittu kytkin täyttää halvimmallalla hinnalla sen luotettavuudelle, eliniälle, toiminnalle ja huollolle asetetut vaatimukset. (Airila ym. 1997, 346)

Kytkimen elinikää tarkasteltaessa on muistettava, että asennuksessa huonosti tehty suuntaus alentaa kestoikää huomattavasti. Rikkoutuvan tai kuluvan osan tulee olla helposti saatavissa ja vaihdettavissa. Toisinaan kytkimeltä vaaditaan kykyä siirtää vääntömomenttia, vaikka sen joustava osa rikkoontuisi. (Airila ym. 1997, 345)

4.2 Liikkuvat vääntöjäykät akselinliitokset

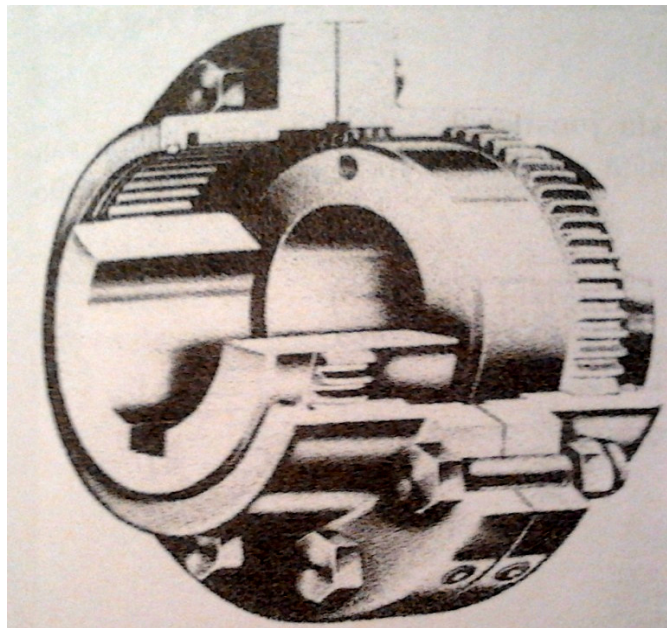
Liikkuvia vääntöjäykkiä akselinliitoksia käytetään kun akseleita ei voida asentaa riittävän tarkasti toistensa jatkeelle ja ne liikkuvat käytön aikana toisiinsa nähden. Käytön aikana syntyvä liikehdintä voi aiheutua akselien taipumasta, lämpötilan vaihteluista tai laakerien ja rungon joustosta. (Airila ym. 1997, 352)

Liikkuvien kytkimien rakenne on vääntöjäykkä ja niitä käytetään kun ei haluta muuttaa laitteiden aiheuttamia vääntövärähtelyomaisuuksia. Tavallisesti liikkuvien kytkinten aiheuttama liike perustuu osien väliseen liukumiseen tai niiden vierintään. Tästä johtuen kytkimen rakenne edellyttää tiettyä välystä ja voitelua. Liikkuvissa vääntöjäykissä akselinliitoksissa poikkeuksena ovat metallilamellikytkimet joiden sallima liike perustuu metalliosien joustoon. Metallilamellikytkimien rakenne on täysin välyksetön, eikä se tarvitse lainkaan voitelua. Kytkimien sallimat liikkeet ovat yleensä kohtalaisen pieniä, tai ne sallivat suuren poikkeaman vain yhteen suuntaan. (Airila ym. 1997, 352)

4.2.1 Hammaskytkimet

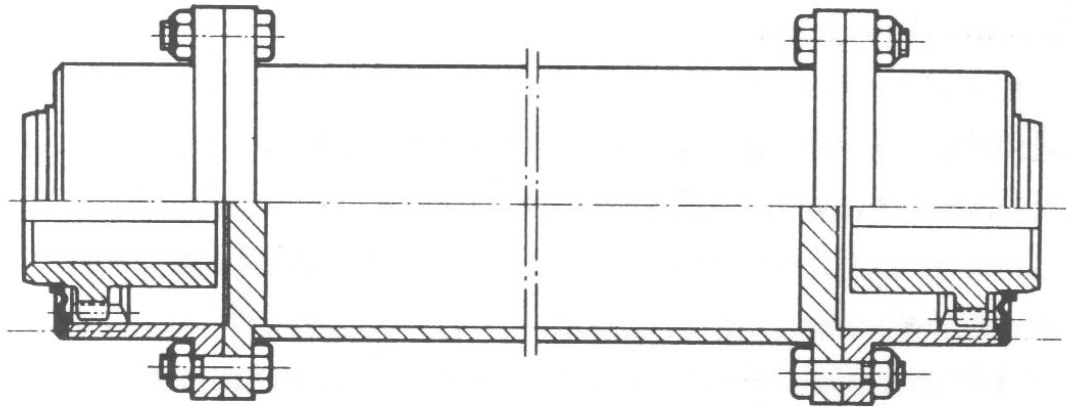
Kahdella hammastuksella varustettu kytkin sallii sille kohdistuneita kaikkisuuntaisia pieniä akselien välisiä asennusvirheitä. Kytkimen molemmat navat ovat varustettu hammaskehällä, joihin asennettavien akseleiden päät kiinnitetään. Hammaskytkimen liikkuvuuden lisäämiseksi navan hampaat ovat yleensä kuperia. (Airila ym. 1997, 352)

Putkimainen holkki yhdistää hammaskehiä ja sen molemmissa päissä on sisäpuolinen suora hammastus. Hammastuksessa olevien välysten johdosta ulkoholki on irrallinen osa. Kytkimelle kohdistuva vääntömomentti pyrkii keskittämään ulkoholkin mutta vähäisellä kuormituksella tämä vaikutus pienenee. Holkin tuenta voidaan toteuttaa sen päädyn ja navan muotoilulla. Nopeasti pyörivissä kytkimissä holkin tuenta toteutetaan hampaanpäänkeskityksen käytöllä, jolloin navan päähalkaisija on yhtä suuri kuin holkin hammastuksen tyvihalkaisija. Suuresta pyörimisnopeudesta johtuen kytkimen hampaanpäät ovat kaarevia ja ne sallivat kulmaliikkeen sekä samalla keskittävät kytkimen. Holkin rakenne voi olla yksi tai useampiosainen. Holkin keveyteen täytyy kiinnittää erityistä huomiota. Yksiosainen holkki on kevyempi, mutta jos holkki on useampiosainen, hammastuksen valmistaminen ja asennus on helpompaa. Kuvassa 5 on esitetty hammaskytkimen rakennekuva. (Airila ym. 1997, 352)



Kuva 5. ESCOGEAR –hammaskytkin. (Airila ym. 1997, 353)

Jos käyttölaitteiden etäisyys toisiinsa nähden on suuri, käytetään putkiakselilla varustettua kytkintä. Putkiakselikytkimen vääntömomenttia välittävät osat ovat sijoitettu putkiakselin molempiin päihin. Kuvassa 6 on putkiakselikytkin kokonaisuus. (Aho, Airila, Holvio, Mantovaara, Kivioja & Välimaa, 1985, 201)



Kuva 6. Väliputkella varustettu hammaskytkin. (KYMI-STRÖMBERG) (Aho ym. 1985, 199)

Hammaskytkimet voidaan jakaa kahteen pääryhmään: ns. turbokytkeisiin ja tavanomaisiin hammaskytkeisiin. Edellisissä käytetään hampaanpääkeskitystä ja kulmapoikkeamat pidetään pieninä. Turbokytkimet sallivat suuria pyörimisnopeuksia. Tavanomaiset hitaasti pyörivät hammaskytkimet siirtävät suuria vääntömomentteja. Tavanomaisissa hammaskytkimissä voidaan käyttää kylkikeskitystä. (Airila ym. 1997, 353)

Hammaskytkimissä käytetään evolventtihammastusta ja niiden tavanomaisin ryntökulma on 20° . Valmistusmateriaaleina käytetään terästä tai korkealuokkaista pallografiittirautaa. Pienikokoisissa kytkimissä valmistusmateriaalina voidaan käyttää muovia, jolloin se ei tarvitse lainkaan voitelua. Muut hammaskytkimet tiivistetään koteloksi ja se täytetään sille määrättyllä voiteluaineella. Kytkimissä käytetään öljy- tai rasvavoitelua. Turbokytkimelle suositeltava voitelu toimii läpivirtausperiaatteella, jolloin öljy johdetaan hampaiden juurin sille tehtyjä kanavia pitkin. Hammaskytkimen sisältä öljy virtaa pois holkkiin tehtyjen reikien kautta, ja se kerätään talteen kytkimen ympärille tehdyllä suojuksella. (Airila ym. 1997, 353)

Hammaskytkimet soveltuvat suurille tehoille ja pyörimisnopeuksille, ja niiden aiheuttamat tehohäviöt ovat pienet. Hammaskytkimen suurin sallittu kulmavirhe on tavallisesti $0,5 - 1,5^\circ$ hammastusta kohden. Suurin sallittu radiaalipoikkeama riippuu hammastuksen välisestä etäisyydestä ja sen sallimasta kulmavirheestä. Kytkimelle kohdistuvan kulmavirheen kasvaessa sen tehosiirtokyky alenee huomattavasti. (Airila ym. 1997, 353)

Hammaskytkimien tyypillisimpiä vaurioita ovat hammastuksen rikkoutuminen. Vauriot syntyvät voitelun puutteesta, asennuksessa syntyneistä linjausvirheistä tai tiivisteiden pettämisestä. Tiivisteet kuluvat käytössä ja ne alkavat vuotamaan päästäten voiteluaineen ulos kotelosta. (Olkoniemi 8.2.2013, haastattelu)

4.2.2 Metallilamellikytkimet

Metallilamellikytkimet siirtävät sille kohdistuneen vääntömomentin metalliosien välityksellä. Kyseiset metalliosat ovat rakenteeltaan kehän suunnassa jäykkiä, mutta taipuvat aksiaali- tai kulmaliikkeen vaikutuksesta. (Aho ym. 1985, 201)

Metallilamellikytkin jonka rakenne koostuu yhdestä joustoelimestä, sallii ainoastaan aksiaali -ja kulmavirheitä. Radiaalipoikkeaman sallimiseksi edellytetään kaksoiskytkintä, jossa sen kytkinlaippoja yhdistää väliholkki ja kaksi joustavaa osaa. Joustavat osat kiinnitetään kytkimen laippoihin ja väliholkkiin. Metallilamellikytkimen sallima kulmapoikkeama on samassa suuruusluokassa ($0,5 - 1,0^\circ$) hammaskytkimen kanssa. Kytkimelle kohdistuva radiaalipoikkeaman suuruus riippuu sallitusta kulmavirheestä ja kytkimen joustavien osien välisestä etäisyydestä. (Aho ym. 1985, 202)

Kytkimien joustavat osat luokitellaan rakenteen perusteella kolmeen eri ryhmään: rengasmaiset metallilamellit, sidelevyt ja membraanit. Metallilamellikytkimien yksittäiset tai monikerroksiset sidelevyt kiinnitetään kuusikulmion tai neliön muotoisesti. Rengasmaisten lamelleiden ja sidelevyjen kiinnitys kytkimeen tehdään vuorottain sen laippaan ja väliholkkiin. Membraanien rakenne tyypillisesti sisältää kaksi samankeskistä reikäjakoa, joista ne kiinnitetään eri kytkinpuoliskoihin. (Airila ym. 1997, 354)

Metallilamellikytkimien joustavat osat valmistetaan yleensä ruostumattomasta jousiteräksestä. Väliholkit ja kytkinlaipat valmistetaan tavallisesti teräksestä tai teräsvalusta, kun taas suurissa kytkimissä valmistusmateriaalina käytetään pallografiittirautaa. (Airila ym. 1997, 354)

Metallilamellikytkimet kestävät sille kohdistuneita korkeita lämpötiloja (jopa n 270 °C), eivätkä ne tarvitse huoltotoimenpiteitä tai minkäänlaista voitelua. Kytkimien rakenne on välyksetön ja niiden laakereille aiheutuvat lisäkuormitukset ovat suhteellisen pieniä. Kytkimien fyysinen koko verraten hammaskytkimeen on suurempi ja niiden sallima aksiaaliliike on suhteellisen pieni. Tyypillisimpiä havaittuja vaurioita metallilamellikytkimissä ovat asennuksessa syntyneet linjausvirheet jotka aiheuttavat kytkimen jousto-osien murtumisen. (Airila ym. 1997, 355; Olkonieniemi 8.2.2013, haastattelu)

5 KYTKIMEN MITOITUS

Teollisuudessa käytettävät kytkimet ovat niiden valmistajien sarjatuotteita. Kytkimien valmistajat määrittelevät niiden tekniset ominaisuudet, kuten nimellisvääntömomentin ja sallitun pyörimisnopeuden sekä fyysiset mitat kokoluokittain. Tuotteet jaotellaan kokoluokkiin ja tyyppeihin ja niiden tekniset ominaisuudet spesifioidaan tuotelistoihin.

Kytkimen mitoituksen jokainen valmistaja määrittelee yrityksen laskuohjelmalla, mutta yleisesti kytkimen koon valintaan ja mitoitukseen tarvitaan tietoja suunniteltavalta kohteelta. Mitoituksessa otetaan huomioon mm. voimanlähteiden-, käyttölaitteiden- ja käytettävien laitteiden tekniset tiedot. Jos suunniteltavassa kohteessa on erityispiirteitä ympäristössä tai teknisissä ominaisuuksissa täytyy ne ottaa huomioon kytkintä mitoittaessa.

5.1 Voimanlähteet

PK-5:n voimansiirrossa käytävinä laitteina toimii joko tasa- (DC) tai vaihtovirtasähkömoottori (AC). Kytkimen mitoituksessa ja koon valinnassa käytettävän sähkömoottorin teknisistä tiedoista täytyy tietää laitteen teho, sen pyörimisnopeus, moottorin vääntömomentti, laitteen akselihalkaisija ja sen vapaanpään mitta. (SAP-toiminnanohjausjärjestelmä; Valmet kytkimet)

Paperiteollisuudessa sähkömoottori on kytketty verkkoon taajuusmuuttajan avulla. Taajuusmuuttaja mahdollistaa portaattoman pyörimisnopeuden ja momentin säädön moottorille. Laitteen avulla moottorin aiheuttama kuorma kytkimille saadaan mahdollisimman stabiiliksi. (Hedman 2009, hakupäivä 10.2.2013)

5.2 Voimansiirtolaitteet

Voimansiirron yksi tärkeimmistä osista on vaihdelaatikko. Kytkintä mitoittaessa vaihdelaatikosta pitää tietää sen pyörimisnopeudet ensiöakselilla (sama kuin sähkömoottorin käyttävä pyörimisnopeus) ja toisioakselilla (vaihdelaatikon välityssuhde, i , määrittää), vaihdelaatikon aiheuttama toisiopuolen vääntömomentti ja

molempien akseleiden halkaisijat sekä niiden vapaanpään mitat. Jos toisioakselin pyörimisnopeutta ei tiedetä, se saadaan kaavasta. (Valmet kytkimet)

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

missä, i = Väilyssuhde
 n_1 = Ensiöakselin pyörimisnopeus
 n_2 = Toisioakselin pyörimisnopeus

5.3 Käytettävät laitteet

Voimansiirtolaitteiden käytettävistä kohteista pitää tietää niiden akselihalkaisijat ja vapaanpään mitat kytkimen valintaa varten. (Valmet kytkimet)

5.4 Kytkimen valinta

Kytkimen mitoituksessa ja koon valinnassa täytyy ottaa huomioon edellä käsiteltyjen komponenttien tiedot. Mitoitus aloitetaan selvittämällä kytkimelle kohdistuva vääntömomentti. Vääntömomentin selvittämiseen pitää tietää käyttölaitteiden tuottama teho ja pyörimisnopeus. Vääntömomentti lasketaan kaavasta:

$$T = \frac{P}{2\pi n} \quad (2)$$

missä, T = Vääntömomentti
 P = Laitteen teho
 π = Pii
 n = Pyörimisnopeus

Kytkimille kohdistuvat rasitukset ovat käytännössä vaikeita laskettavia, joten kytkimen valinnassa käytetään apuna sysäyskertoimia. Sysäyskertoimet määräytyvät käytettävien laitteiden aiheuttamasta kuormituksen luonteesta sekä niiden vuorokautisesta

käyttäjasta. Kuvassa 7 on tyypillinen sysäyskertoimen määrittämiseen käytetty taulukko. (Valmet kytkimet; Airila ym. 1997, 354)

Kuormitus	Työkone	Käyttömoottori		
		Poltto- moottori 1...3 syl. epätasaisuus- aste 1:80...1:100	Poltto- moottori 4...6 syl. epätasaisuus- aste 1:100...1:200	Sähkö- moottori Höyry- turpiini
Tasainen	Tuulettimet Nesteen sekoittimet Keskipakopumput Generaattorit	1,5...2,5	1,3...2,0	1,2...1,5
Epätasainen	Työstökoneet Generaattorit Sekoittimet Nostolaitteet	2,0...3,0	1,6...2,5	1,4...2,0
Iskumainen	Mäntäpumput ja -kompressorit Vintturit Lävistimet Leikkurit Lingot	2,5...4,0	2,0...3,0	1,6...2,5
Erittäin iskumainen	Valssaimet Kivemurskaimet Täristimet Puristimet Raskaat rullaradat	3,0...5,0	2,5...4,0	2,0...3,5

Kuva 7. Sysäyskertoimia. (Aho ym. 1985, 187)

Käyttökohteelle määritetty sysäyskerroin sijoitetaan kaavaan

$$T_1 \geq f * T \quad (3)$$

missä, T_1 = Kytkimen nimellisvääntömomentti

f = Sysäyskerroin

T = Kytkimen käyttövääntömomentti

Kaavasta määritellyn vääntömomentin perusteella valitaan käytettävä kytkinkoko, jonka nimellisvääntömomentti ja sallittu pyörimisnopeus vastaavat käyttökohteen asettamia vaatimuksia. Kytkintä valittaessa pyritään taloudellisuutta hakien sekä ylimitoitusta

varoen valitsemaan lähimmäksi laskettua arvoa oleva kytkin. Lopullista valintaa tehtäessä täytyy tarkastella sopivatko kytkimen muut kriteerit käyttökohteelle. Valitulle kytkimelle kohdistuvat liikevarat sekä käyttölaitteiden akseleiden vapaanpään mitat täytyy myös ottaa huomioon. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävissä kohteissa kytkimelle kohdistuvien päittäisliikkeiden esiintyminen pysyy kytkimen valmistajien määrittelemien arvojen sisäpuolella. Käyttölaitteiden, vaihdelaatikoiden/käytettävien laitteiden akseleiden vapaanpään mittaa täytyy verrata valitun kytkimen linjauksen vaatimaan tilaan. Kytkimen valmistaja on määritellyt valmistettaville kytkimelle linjauksen vaatiman tilan ja se ei saa ylittää laitteiden akseleiden vapaanpään mittaa. Jos mitta ylittää laitteiden akseleiden vapaan pään mitat, täytyy kohde ottaa uudelleen tarkasteluun jotta löydettäisiin sopiva malli halutulle käyttökohteelle. (Valmet kytkimet)

6 VOIMANSIIRTOKOMPONENTTIEN RAKENNE

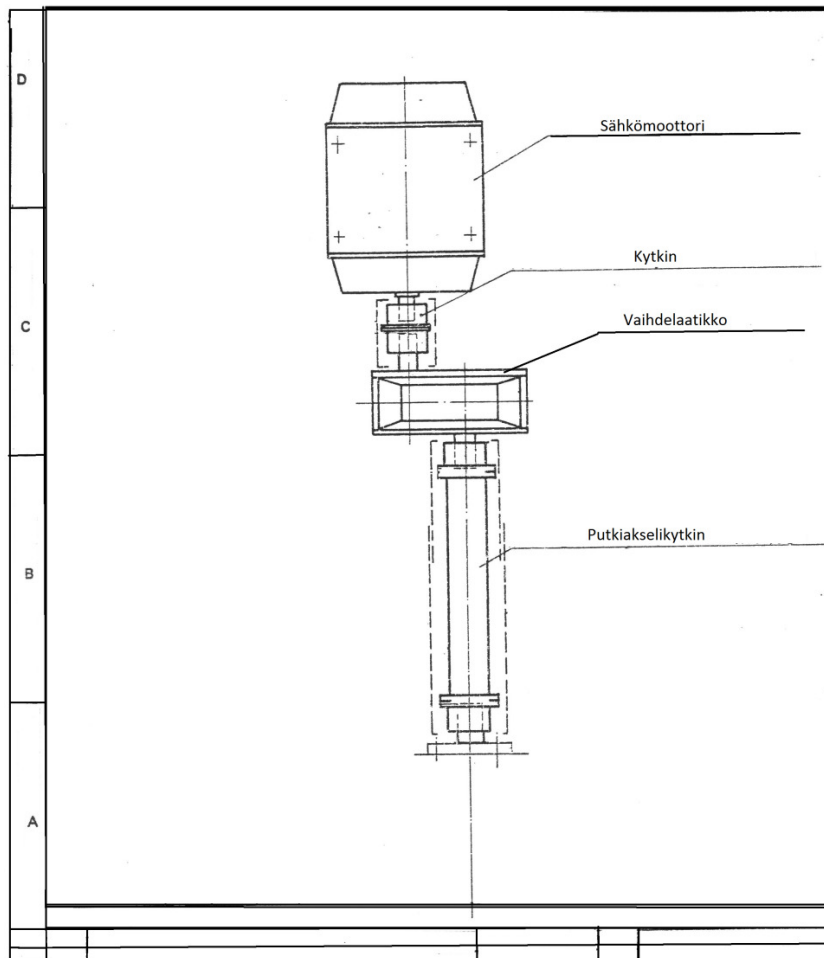
PK-5:lla käytössä olevien hammaskytkimien rakenteet ja tekniset ominaisuudet vaihtelevat suuresti. Työssä käsiteltävien kytkimien nimellisvääntömomentit vaihtelevat 860 ja 56000 Nm:n ja niiden pyörimisnopeudet 720 r/min ja 5500 r/min välillä. Laiterakenteissa on suuria etäisyyksiä, joten käytettävien putkiakselikytkimien kokonaismitat vaihtelevat 800 ja 4050 mm:n välillä. (SAP- toiminnanohjausjärjestelmä; Valmet kytkimet)

PK-5:n käyttämät voimansiirtokomponentit koostuvat useista eri laiterakenteista. Pohjakoneelle ja paperinpäällystyskoneella käytetyt laitteet ovat jarruttomia laitteita. Käytössä olevat välirullaimet, jälkikäsitelyssä molemmat pituusleikkurit ja superkalanterit sekä URK:n käyttölaitteet ovat jarruilla varustettuja komponentteja. (SAP- toiminnanohjausjärjestelmä)

Voimasiirrossa käytetyt kytkimet koostuvat normaali standardikytkimistä ja erikoiskytkimistä. Opinnäytetyössä käytetyt standardikytkimet kuuluvat Valmetin valmistamiin HK-100 sarjaan tai sen korvanneeseen HK-300 sarjaan. Putkiakselilla varustetut kytkimet ovat myös Valmetin valmistamia ja ne ovat HKBR-100 sarja sekä sen korvannut HKBR-300 sarja. (SAP- toiminnanohjausjärjestelmä; Valmet kytkimet)

6.1 Jarruttomat komponentit, PK-5 ja PPK-5

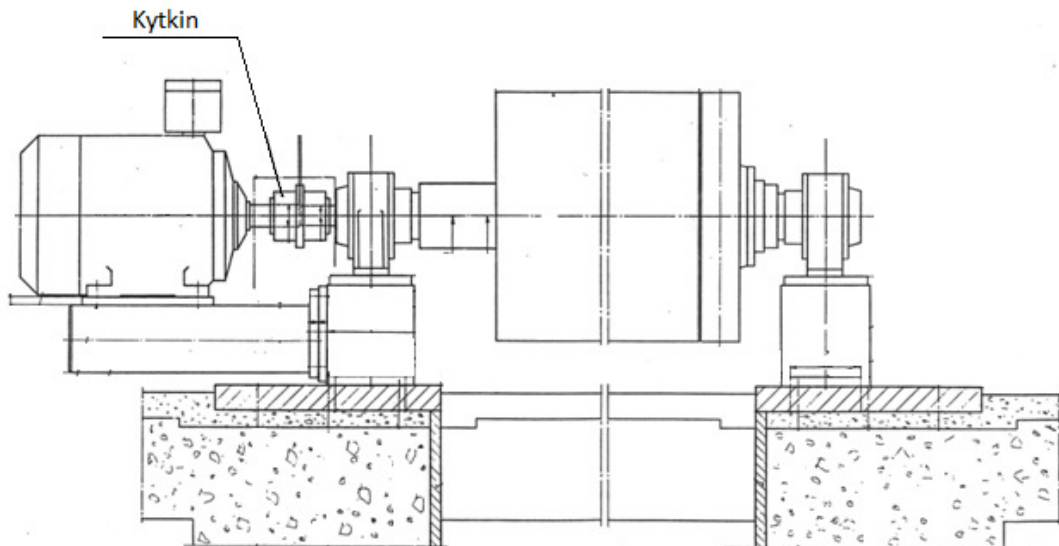
PK-5 ja PPK-5 voimansiirrossa olevat käyttölaitteet ovat jarruttomia komponentteja ja ne koostuvat sähkömoottorista, vaihdelaatikosta, hammas- ja putkiakselikytkimestä tai nivelakselista. Tällöin ensimmäinen hammaskytkin sijaitsee sähkömoottorin ja vaihdelaatikon ensiöakselin välissä. Vaihdelaatikon ja käytettävän laitteen välissä on putkiakselilla varustettu kytkin. Kuvassa 8 on esitetty tyypillinen kahdella kytkimellä varustettu kokoonpano. (SAP- toiminnanohjausjärjestelmä; PK-5 mekaaniset piirustukset)



Kuva 8. Voimansiirtokokoonpano 1. (PK-5 mekaaniset piirustukset)

Tyypillisimmät kohteet jossa käytetään hammas- sekä putkiakselikytkin kokonaisuutta ovat pohjakoneen märässä päässä, kuivatusryhmillä sekä paperinpäällystyskoneen kuivatusryhmä 1 ja 2 sekä päällystysasema 1 ja 2. (PK-5 mekaaniset piirustukset)

Pohjakoneen ja PPK-5:n paperinjohtotelojen käyttölaitteiden rakenteissa on eroavaisuuksia, sillä pohjakoneella olevat käyttölaitteet ovat varustettu hammaskytkimellä ja nivelakselilla, kun taas PPK-5:lla käytössä olevat paperinjohtotelojen käyttölaitteet ovat varustettu yhdellä hammaskytkimellä. PPK-5:n paperinjohtotelojen käyttölaitteet ovat yhdistetty suoraan käytettävän telan yhteyteen, jolloin ei tarvita nivelakselia voimansiirtoon, vaan pelkästään käytävä sähkömoottori ja hammaskytin. Näiden välityksellä teho siirretään suoraan käytettävälle telalle. Kuvassa 9 on esitetty tyypillinen PPK-5:lla käytetty yhdellä hammaskytkimellä varustettu voimansiirtokokoonpano. (SAP- toiminnanohjausjärjestelmä; PK-5 mekaaniset piirustukset)



Kuva 9. Voimansiirtokokoonpano 2. (PK-5 mekaaniset piirustukset)

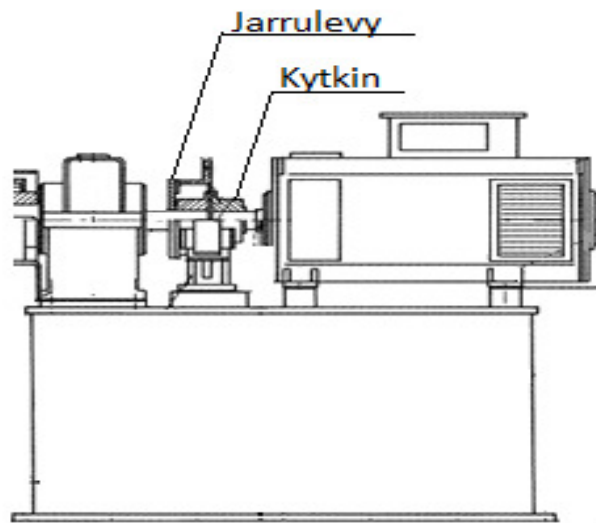
PK-5:n kompleksissa käytettäviä jarruttomia yhdellä kytkimellä varustettuja käyttölaitteita on pohjakoneen märässä päässä, puristinosalla, kuivatusosalla sekä paperinpäällystyskonella. Kuvasta poiketen edellä mainittujen käyttölaitteiden rakennekokonaisuus sisältää vaihdelaatikon ja toisiokäytössä olevan nivelakselin. (SAP-toiminnanohjausjärjestelmä; PK-5 mekaaniset piirustukset)

6.2 Jarrulliset komponentit, jälkikäsitteily ja välirullaimet

PK-5:n jarrulliset komponentit ovat käytössä molemmilla välirullaimilla, SK-51:llä, SK-52:lla, molemmilla pituusleikkureilla ja uudelleenrullaimella. Jarrullisten komponenttien rakenne ei poikkea jarruttomista käyttölaitteista kuin käytetyn jarruysikön osalta. Paperikoneella käytettyjä jarrulaitejärjestelmiä käyttölaitteissa on kolmen erityyppistä: Jarruilla varustettuja käyttölaitteita, joissa on käytössä HK-sarjan kytkin, jarrulla varustettuja HKBR -sarjan putkiakselikytkin kokonaisuuksia, joissa jarrulevyjä on kaksi kappaletta ja ne on sijoitettu putkiakselin ja kytkimen laippojen väliin sekä omaksi yksiköksi rakennettuja jarrulaitteita. (SAP-toiminnanohjausjärjestelmä)

Yleisin jarrullinen rakenne on havainnollistettu kuvassa 10, jossa kytkimen yhteyteen on lisätty jarruysikkö. Käyttölaitteiden kytkimet ovat Valmetin standardikytkimiä ja ne

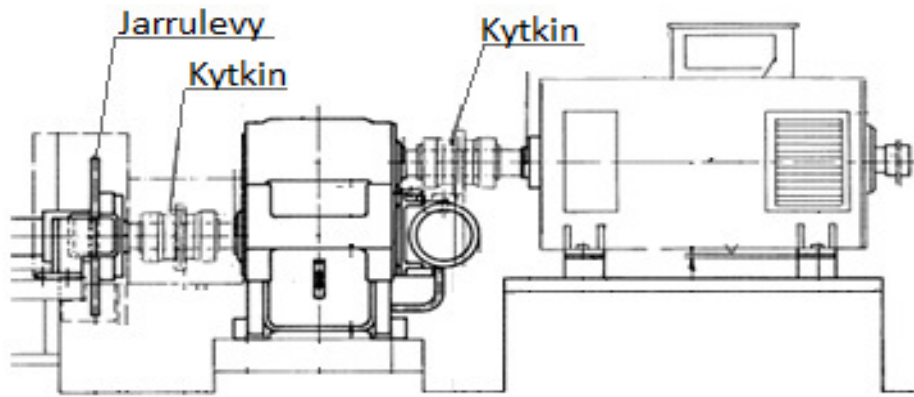
ovat sijoitettuna käyttölaiteessa olevan jarrulaipan sisään. (SAP-toiminnanohjausjärjestelmä)



Kuva 10. Jarrullinen voimansiirtokokoonpano 1. (PK-5 mekaaniset piirustukset)

Tällaisia jarrullisia rakenteita on käytössä superkalantereiden auki- ja kiinnirullauksen, PPK-5:n aukirullauksen, VR-52:n kiinnirullauksen, VR-51:n sekä VR-52:n paperinjohtotelojen käyttölaiteilla. Jarrullisia putkiakselikokonaisuuksia on käytössä PL-53:n ja VR-51:n aukirullauksen käyttölaiteilla. (SAP- toiminnanohjausjärjestelmä)

PK-5:lla käytössä olevat erilliset jarrukokonaisuudet voimansiirrossa ovat sijoitettuina käyttölaiteiden jälkeen käytettävän akselin yhteyteen. Kytkimet ovat sijoitettuna tyyppillisesti sähkömoottorin ja vaihdelaatikon väliin sekä tarvittaessa vaihdelaatikon ja käytettävän laitteen tai akselin väliin. Kuvassa 11 on esitetty erillisten jarrulaitteiden kokoonpano käyttölaiteilla. (SAP- toiminnanohjausjärjestelmä)



Kuva 11. Jarrullinen voimansiirtokokoonpano 2. (PK5 mekaaniset piirustukset)

Erillisillä jarrukokonaisuuksilla varustettuja käyttökohteita on VR-52:n ja PL-52:n aukirullaimet, URK:n kiinnirullain ja useita teloja samanaikaisesti pyörittävissä PL-53:n ja PL-52:n rullaustelojen käyttölaitteissa. (SAP- toiminnanohjausjärjestelmä)

7 CASE VEITSILUOTO PK-5

Case osiossa kartoitettiin hammaskytken osto- ja varaosahinnat sekä niistä muodostuvat vuosittaiset kunnonvalvonta- ja voiteluainekustannukset. Hammaskytken tekniset tiedot tuli myös selvittää, jotta voidaan muodostaa kokonaisvertailu hammaskytken ja metallilamellikytkinten välillä. Vertailulla pyritään selvittämään onko hammas- ja metallilamellikytkinten teknisissä ominaisuuksissa eroa sekä voidaanko metallilamellikytkintä ottaa käyttöön ilman laiterakenteisiin tehtäviä muutoksia ja niistä syntyviä kustannuksia. Vertailussa olevista kytkimistä pyritään selvittämään, kumpi kytkinmalli on käyttövarmempi vaihtoehto ja millä aikavälillä sijoitettu investointi maksaa itsensä takaisin hammaskytkenille suoritettavilla kunnonvalvonta- ja voiteluainekustannuksilla. Tarkoituksena on myös selvittää rikkoutumistapauksista syntyneet kustannukset ja vertailla, voidaanko metallilamellikytkintä käytettäessä laskettua syntyneitä kustannuksia ja kuinka suuret kustannuserot tällaisissa tapauksissa on kytkinten välillä.

Työn suorittamisessa on käytetty apuna Efora Oy:n käytössä olevaa SAP-toiminnanohjausjärjestelmää, arkistoissa olevia tietoja, laitevalmistajilta saatuja tietoja, Eforan henkilöstöltä asiantuntevaa tietämystä sekä tilanteen kartoittamiseen tarvittua kenttätyöskentelyä.

Työssä laadittiin taulukko, jossa on PK-5:lla käytössä olevat hammaskytkenet, sähkömoottorit, vaihdelaatikot sekä käytettävät laitteet ja niiden tekniset tiedot. Hammaskytkenien tekniset tiedot ja ominaisuudet, myynti- ja varaosahinnat sekä niiden kunnossapitokustannukset kirjattiin myös laadittuun taulukkoon.

7.1 Esiselvitys

Kytkinvertailua tehtäessä otettiin yhteyttä kolmeen lamellikytkin valmistajaan, jotka luottamuksellisista syistä nimetään tässä tapauksessa valmistaja A:ksi, B:ksi ja C:ksi. Valmistajilta tiedusteltiin halukkuutta tehdä tarjous valmistamastaan kytkimestä jokaiselle PK-5:llä olevalle käyttökohteelle. Samalla tiedustelulla pyrittiin myös selvittämään mitä tietoja he tarvitsevat voidakseen tarjota kytkimet esitetyille käyttöpositioille.

Kytkinvalmistajien tarvitsemat tiedot olivat sähkömoottoreiden tehot, pyörimisnopeudet ja akselihalkaisijat. Lisäksi valmistajat halusivat käytössä olevien hammaskytkimien sekä putkiakselikytkimillä varustettujen kohteiden akseleiden väliset etäisyydet (DBSE) ja kytkimille määritellyt nimellisvääntömomentit. Vaihdelaatikoista tarvittiin ensiö- ja toisioakselien pyörimisnopeudet, vaihdelaatikoiden välityssuhteet ja akselihalkaisijat sekä tarvittaessa käytettävistä laitteista niiden akselihalkaisijat.

7.2 Tarkasteltavien laitteiden ja hammaskytkinten teknisten tietojen kartoitus

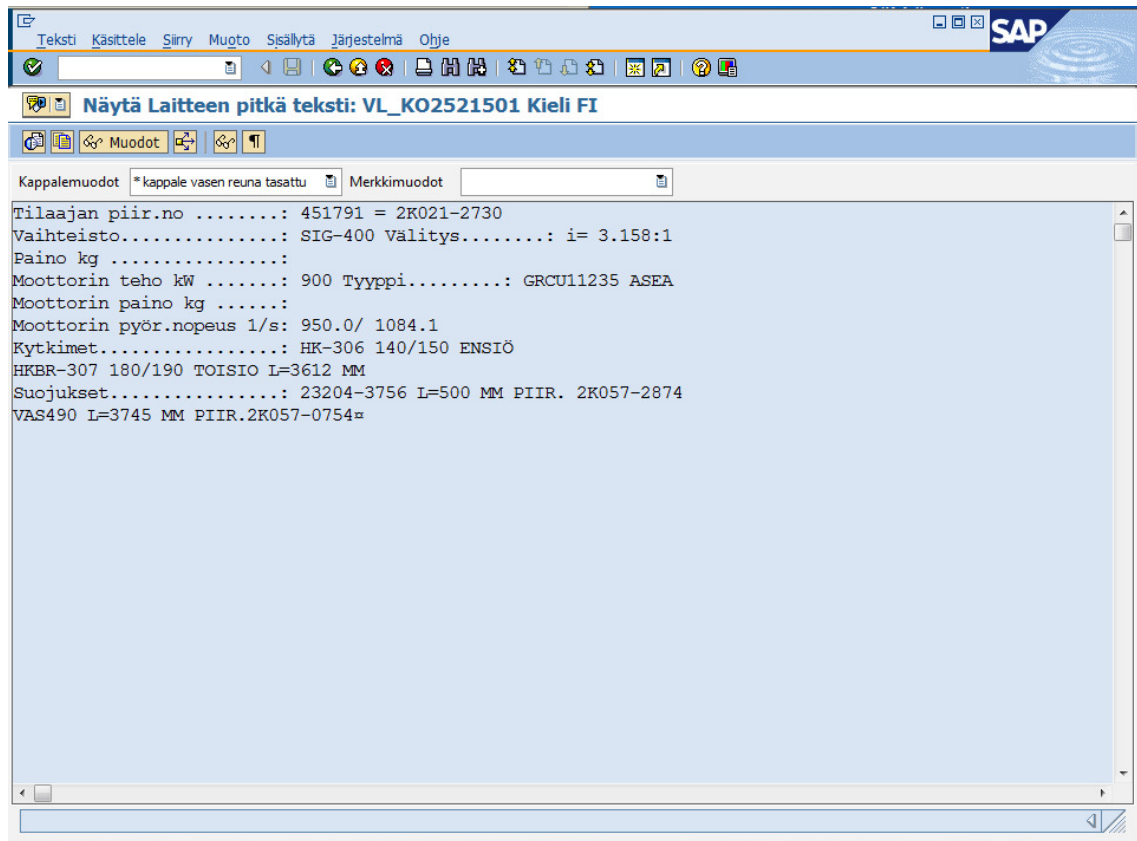
PK-5:lla käytössä olevat kytkimet, vaihdelaatikot, ja sähkömoottorit on kirjattu linjan kokoonpanopiirustuskansioihin sekä SAP- toiminnanohjausjärjestelmään. Tässä opinnäytetyössä käytettiin apuna Petteri Krekun laatimaa käyttölaitetaulukkoa. Käyttölaitetaulukosta saatiin vaihdelaatikoiden mallit, niiden kriittisyysluokat, vaihteistojen välityssuhde ja käyttöpositio selville. Muut tiedot saadaan valitsemalla SAP- järjestelmästä toimintopaikan rakenne (IH01) ja erittelemällä toimintopaikaksi Veitsiluodon tehdas (FI-VL), josta saadaan toimintopaikkarakenteen esille.

Toimintopaikkarakenteen alta löytyy listaus Veitsiluodon tehtaan toiminnoista. Veitsiluotovalikosta siirrytään kohtaan paperitehdas ja aukaistaan työssä käsiteltävä PK-5 linja. PK-5 linjan alta saadaan näkyviin kaikki linjalla olevat toiminnot. Selattaessa rakenneluettelohierarkiaa eteenpäin, saadaan näkyville jokaisen käyttökohteen laitteet ja toiminnot. Kuvassa 12 on esitetty esimerkkipolku haluttuun kohteeseen: PK-5 linja → Paperikone 5 → Perälaatikko ja viiraosa → Telojen käyttölaitteet → Alaviiran imutelan käyttölaitteet → Telan käyttölaitteet.

Toimintopaikka	FI-VL	VO:n aku	25.02.2013
Nimitys	VEITSILUOTO		
FI-VL-301-030	PK 3 LINJA		
FI-VL-301-035	PK2-3 YHTEISET		
FI-VL-301-040	PK1-5 RULLIENKÄSITTELY		
FI-VL-301-050	PK 5 LINJA		
FI-VL-301-050-020	PAPERIKONE PKS		
FI-VL-301-050-020-510	MASSAN JA VESIEN KÄSITTELY		
FI-VL-301-050-020-520	PERÄLAATIKKO JA VIIRAOSA		
FI-VL-301-050-020-520-520	PERÄLAATIKKO		
FI-VL-301-050-020-520-521	VIIRAOSA		
FI-VL-301-050-020-520-521-210	ERITTELEMÄTTÖMÄT		
FI-VL-301-050-020-520-521-211	OHJAUS JA KIRISTYS		
FI-VL-301-050-020-520-521-212	VEDENPOISTO		
FI-VL-301-050-020-520-521-213	PESU JA KAAVINTA		
FI-VL-301-050-020-520-521-214	VIIROJENVAIHTO		
FI-VL-301-050-020-520-521-215	TELOJEN KÄYTTÖLAITTEET		
VL-2521501	ALAVIIRAN IMUTELAN KÄYTTÖLAITTEET		
VL_H1494	LIERIÖVAIHDE		
VL_KO2521501	TELAN KÄYTTÖLAITTEET		
VL_173728	HAMMASKYTKIN HKBR-306 ESIP.	L	1,00 KPL
VL-2521502	ALAVIIRAN VETOTELAN KÄYTTÖLAITTEET		
VL-2521504	YLÄVIIRAN VETOTELAN KÄYTTÖLAITTEET		
FI-VL-301-050-020-521-223	VIIRAOSAN TELAPAIKAT		
FI-VL-301-050-020-530	PURISTINOSA		
FI-VL-301-050-020-540	KUIVAUSOSA		
FI-VL-301-050-020-541	PK5 ILMASTOINTI		
FI-VL-301-050-020-543	KONEKALANTERI		
FI-VL-301-050-020-545	RULLAIN		

Kuva 12. Toimipaikan rakenne-esitys: rakenneluettelo. (SAP-toiminnanohjausjärjestelmä)

Käyttölaitteiden alavalikossa on merkattu kyseisen position käytössä oleva kytkimen tyyppi. Avaamalla ”telan käyttölaitteet” -valikko saadaan näkyville laitteen yleiset tiedot. Valikossa on näkyvillä ”pitkä teksti” -kuvake jonka avaamalla saadaan näkyville telan käyttölaitteiden tarkemmat tekniset tiedot. Vaihdelaatikoiden tarkemmat tekniset tiedot oli kirjattu niille yksilöityyn ”pitkä teksti” -osioon. Kuvassa 13 on esitetty halutun position ”pitkä teksti” -osio.

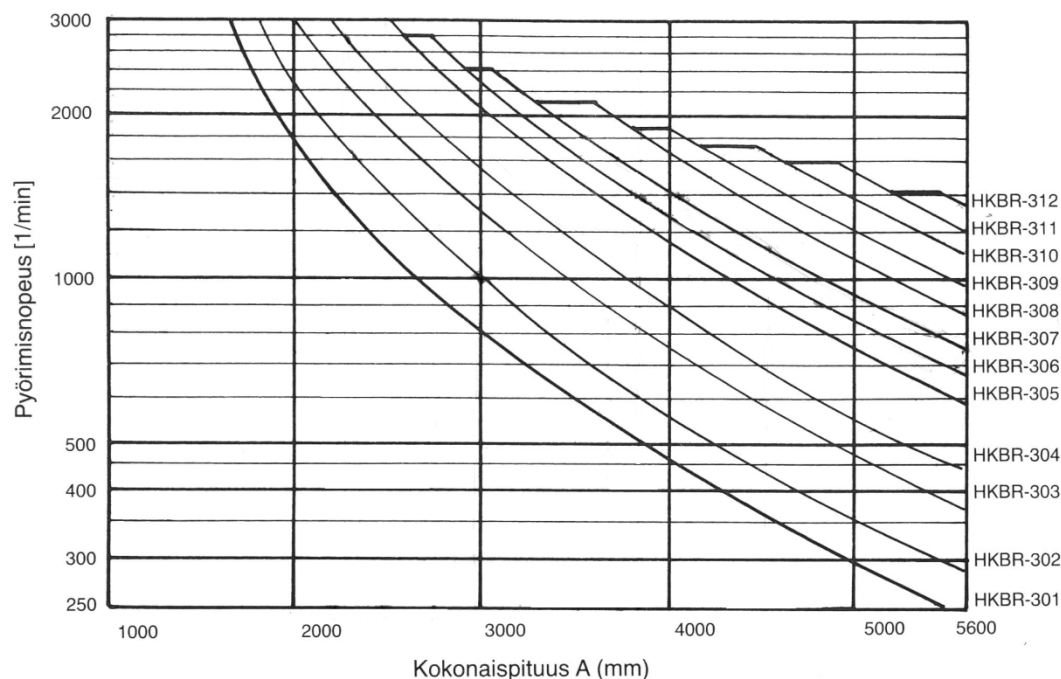


Kuva 13. Telan käyttölaitteiden tarkemmat tekniset tiedot. (SAP-toiminnanohjausjärjestelmä)

Telan käyttölaitteiden tarkemmista teknisistä tiedoista saadaan selville käytössä olevat kytkimet, niiden porauskoot, HKBR- sarjan kytkimen putkiakselin mitta ja tarvittavat sähkömoottoreiden tehot, pyörimisnopeudet sekä akselihalkaisijat. Työssä käytettyjen vaihdelaatikoiden akselihalkaisijat olivat kirjattuna niiden tarkempiin teknisiin tietoihin.

PK-5:n käyttölaitteet joissa on HK -sarjan kytkin käytössä, niiden DBSE -mitat ovat samansuuruiset kuin kytkimien vapaantilan mitat. Täten käyttölaitteiden akseleiden päiden välinen etäisyys saatiin selville HK -sarjan taulukosta. HKBR -sarjan putkiakselikytkimet ovat valmistettu yksilökohtaisesti. Positiolla käytössä olevien kytkinten akselinpäiden etäisyydet kartoitettiin PK-5 linjan ”mekaaniset piirustukset” -kansiosta. Kaikissa HKBR -sarjan kytkimien käyttöpositioissa ei ollut saatavissa DBSE -mittaa, joten vaadittujen mittojen selvittämisessä jouduttiin turvautumaan kenttätyöskentelyllä mitattuihin noin -arvoihin. Täten vertailussa voitiin käyttää kaikkia käytössä olevia kytkimiä.

PK-5:n HK -sarjan hammaskytkimet ja niiden tekniset tiedot saatiin selville Valmetin käsikirjasta ja ne listattiin laadittuun Excel -taulukkoon. HKBR -sarjan kytkimille ei ollut määritelty sallittuja pyörimisnopeuksia, vaan ne täytyi selvittää Valmetin käsikirjassa olevasta hammaskytkinten pyörimisnopeusraja-taulukosta. Kuvassa 14 on esimerkki pyörimisnopeusraja-taulukosta.



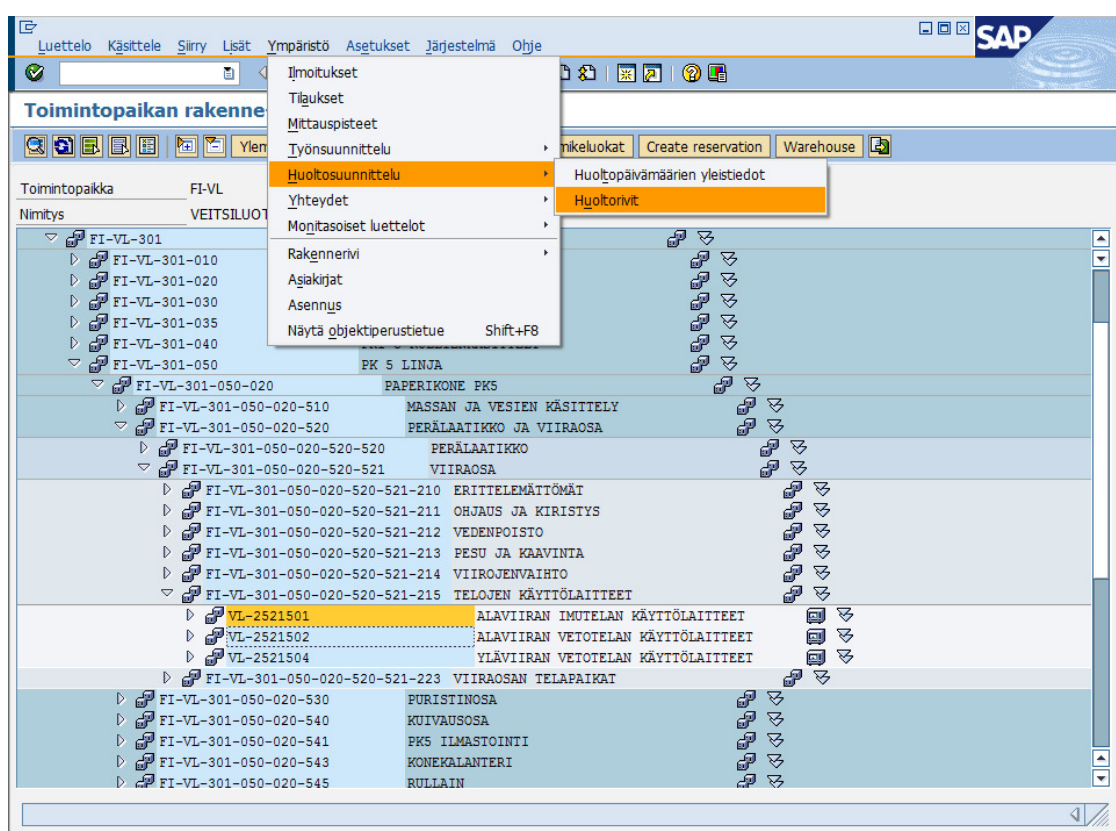
Kuva 14. Pyörimisnopeusraja-taulukko. (Valmet kytkimet)

HKBR -sarjan pyörimisnopeuksien selvittämiseen tarvittiin kytkimen kokonaismitta, jotta sille määritelty suurin sallittu pyörimisnopeus voitiin sijoittaa laitetaulukkoon. Kaikista käytössä olevista HKBR -sarjan kytkimistä ei ollut kokonaismittoja saatavilla, joten puuttuvat tiedot käytiin mittaamassa halutuilta käyttöpositioilta. Taulukosta määritellyjä pyörimisnopeuksia käytettiin vertailtaessa vastaavien lamellikytkinten sallimiin pyörimisnopeuksiin.

Kaikki työssä käytetyt laitteet, niiden tekniset tiedot, kytkinten nimellisvääntömomentit, suurimmat sallitut pyörimisnopeudet ja muut mitat kirjattiin työssä laadittuun Excel -taulukkoon.

7.3 Hammaskytkinten kunnonvalvonta ja niistä syntyvät kustannukset

Vuositasolla hammaskytkimille kertyneet huoltosuunnitelmat ja suunnitellut huoltotyöt ovat määritelty kullekin toimintopaikalle SAP- toiminnanohjausjärjestelmään. IH01 ”toimintopaikkarakenne- esitys” -komennolla voidaan tarkastella yksilöllisesti käyttökohteita ja niiden kunnossapidollisia toimintoja. Kuvassa 15 on esitetty esimerkkipolku halutun toimintopaikan huoltosuunnitelmiin ja suunniteltuihin huoltotoimenpiteisiin: Veitsiluodon tehdas → PK-5 linja → Perälaatikko ja viiraosa → Telojen käyttölaitteet → Alaviiran imutelan käyttölaitteet → Ympäristö → Huoltosuunnittelu → Huoltorivit.



Kuva 15. Huoltosuunnitelman haku. (SAP- toiminnanohjausjärjestelmä)

Valikon alta saadaan esille huoltorivien luettelo, jossa on eritelty hammaskytkimille määritellyt toimenpiteet. Taulukko sisältää mm. suunnitellun työn kuvauksen, toimintopaikan, huoltosuunnitelman ja vastuullisen työpisteen. Kuvassa 16 on esitetty valitulle käyttöpositiolla kunnonvalvonta ja ennakkohuoltotoimenpiteet.

Vim. ...	ObjLuettNr	H.suunn.	Huoltorivi	HS...	Huoltorivin kuvaus	VL-ryhmä	RLa	A	VastTyöp.	SR	Toimintopaikka
3100...	0	11192...	405091	OR	HAMMASKYTKIMIEN TARKASTUS.	359	42	A	FIVL2004	350	VL-2521501

Kuva 16. Huoltorivien luettelo. (SAP- toiminnanohjausjärjestelmä)

Huoltosuunnitelmasta selviää hammaskytkimille kohdistuvien huoltotoimenpiteiden syklit, joista voidaan selvittää, kuinka monta kertaa vuodessa halutulle kohteelle suoritetaan ennakkohuoltotoimenpiteitä ja mitä kyseinen toimenpide sisältää.

Hammaskytkimelle kohdistuvat toimenpiteiden kuvaukset ovat niiden sisältämien rasvamäärien tarkastaminen ja tekninen tarkastus/voitelu. PK-5:llä toimivat Eforan ennakkohuoltomiehet suorittavat kytkimille kohdistuvat rasvamäärien tarkastukset niille määritellyillä huoltoväleillä, syklien vaihdella 9 ja 26 viikon välissä. Hammaskytkimille suoritettavat rasvamäärän tarkastukset sisältävät myös niiden voitelun. Teknisesti vaativimmat tarkastustoimenpiteet suoritetaan pidemmällä aikavälillä syklien ollessa 104 viikkoa. Suoritettava toimenpide sisältää kytkimen hampaiden ja tiivisteiden kunnontarkastuksen, kytkimen linjauksen, sekä laippojen kiinnitysmomentin tarkastamisen. Tarkastustyön jälkeen suoritetaan kytkimen voitelu.

SAP:sta kartoitetuille hammaskytkimien kunnonvalvonta- ja ennakkohuoltotoimenpiteille laskettiin kustannukset. Vuositasolla käytetyt työtunnit määräytyvät kustannukset ovat viitteellisiä, eivätkä edusta Eforan virallista kantaa.

Hammaskytkimien kunnossapidon vuosittaiset kustannukset syntyivät rasvamäärien tarkastamisista ja voiteluhuollon työtunneista sekä käytetyistä voiteluainemääristä. Tarkempaan tarkasteluun otettiin se, kuinka paljon voiteluainetta kului hammaskytkimien voiteluun ja kuinka paljon työtunteja käytettiin suoritettaviin toimenpiteisiin. Työtuntimäärät jokaiselle positiolle saatiin näkyville ”huoltotoimenpiteet” -valikosta. Työtuntimäärä ja vuosittaiset työtoimenpiteet kerrottiin Eforan määrittelemällä tuntihinnalla, esimerkiksi:

$$2h * 2krt * 50€ = 200€ \quad (4)$$

missä, 2h = Työhön käytettävä työtuntimäärä
 2krt = Kuinka monta kertaa työ suoritetaan vuodessa
 50€ = Käytettävä tuntihinta

Hammaskytkimille syntyneitä voiteluainekustannuksia oli vaikea arvioida. Kytkimille suoritettavien rasvamäärän tarkastuksien yhteydessä joudutaan joka kerta lisäämään voiteluainetta, sillä sen todellista määrää ei voida havaita kytkimen ollessa kiinnitettynä käyttölaitteissa. Täten oletetaan, että jokaisella tarkastuskerralla lisätään kytkintyypille Valmetin taulukossa määritelty voiteluainemäärä. Valmetin valmistamissa HK- ja HKBR -sarjan hammaskytkimissä käytettävät voiteluainemäärät ovat yksilöity kokoluokittain ja ne vaihtelevat 0,1 -30 dm³:n välillä. PK-5:n hammaskytkimiin käytettävät voiteluainemäärät vaihtelevat 0,1 -2,8 dm³ välillä.

PK-5:n käyttämä voiteluaine hammaskytkimille ostetaan kilohinnalla. Valmet ilmoittaa käytettävän voiteluainemäärän hammaskytkimissä tilavuusmitalla (dm³). Käytettävälle voiteluaineelle määritelty suhteellinen tiheys on noin 0,9 kg/dm³ ja tätä arvoa käyttäen saadaan muutettua käytettävä voiteluainemäärä kiloiksi. Vuositasolla kytkimille lisättävä rasvamäärä kerrottiin käytetyn voiteluaineen ostohinnalla, josta saatiin vuotuiset voiteluainekustannukset kartoitettua. Vuositasolla hammaskytkimille kohdistuneet voiteluainemäärät selvitettiin kertomalla kytkimelle määrätty voiteluainetilavuus sille kohdistuvilla huoltokerroilla. Vuositasolla muodostuneet ennakkohuolto- ja suunnitellut huoltotoimenpiteet, niihin käytetyt työtunnit ja voiteluainemäärät sekä niistä syntyneet kustannukset kirjattiin työssä laadittuun Excel - taulukkoon.

7.4 Hintatiedustelut metallilamellikytkimistä

Työn yksi osa-alue oli saada tietoja lamellikytkimien hinnoista, niiden rakenteesta, teknisistä ominaisuuksista, kunnonvalvonnasta ja kunnossapitokustannuksista sekä vertailla kyseisiä tietoja nykyisin käytössä olevien hammaskytkimiin. Tarkoituksena oli selvittää, kumpi kytkinmalli on vuositasolla kustannustehokkaampi ratkaisu, sekä millä aikavälillä mahdollisesti kalliimpi metallilamellikytkin maksaisi itsensä takaisin vuosittain suoritettavien hammaskytkimien kunnonvalvonta toimenpiteistä syntyvillä kustannuksilla. Tiedustelulla pyrittiin myös selvittämään, onko olemassa nykyisille käyttölaitteille ja niiden rakenteille soveltuvia metallilamellikytkinmalleja, jotka voitaisiin ottaa käyttöön ilman laiterakenteille kohdistuvia muutostöitä.

Nykytilanteen kartoituksessa syntyneestä taulukosta eriteltiin tekninen osio ja se lähetettiin metallilamellikytkinvalmistaja A:lle, B:lle ja C:lle. Laaditussa taulukossa oli kytkimen mitoittamiseen tarvittavat oleelliset tiedot käytössä olevista kytkimistä, sähkömoottoreista, vaihdelaatikoista sekä käytettävistä laitteista. Valmistajien metallilamellikytkinmallien tulisi lähtökohtaisesti sopia nykyisten positioiden käyttövaatimuksiin ja niille määritelyihin kokoonpano- sekä asennusmittoihin. Mikäli valmistettavien metallilamellikytkimien käyttöönotto ei onnistuisi ilman muutostöitä, se täytyisi ottaa huomioon muodostuvissa kokonaiskustannuksissa.

Metallilamellikytkimille syntyvät muut käyttöönottokustannukset haluttiin eriteltynä laadittuun listaukseen. Kustannuksiin kuuluivat mm. tarvittaessa lamellikytkimien tasapainotus, jotta päästäisiin haluttuihin pyörimisnopeuksiin, sekä väliputkellisten kytkimien maalauttaminen. Väliputkelliset mallit pitää olla huomioväreillä maalattu, jotta ne täyttäsivät tehtaan niille asettamat turvallisuusvaatimukset.

Taulukon tietojen perusteella jokainen kytkinvalmistaja laati listauksen työssä käsiteltäville käyttöpositiolla valmistamistaan kytkimistä. Listauksessa piti olla eriteltynä käyttöpositiolla sopiva kytkinmalli, sen tekniset ominaisuudet, kytkimen myyntihinta, kytkimen varaosien hinnat ja kytkimelle kohdistuvat muut kustannukset, kuten putkiakselikytkinten tasapainotus ja maalaus.

7.5 Hammas- ja metallilamellikytkinten vertailu

Työssä suoritettavassa vertailussa pyritään selvittämään kokonaisvaltaisesti mahdollisia etuja tai haittoja kytkinten välillä. Valmistajien laatimasta taulukosta vertaillaan metallilamellikytkinten teknisiä ominaisuuksia, varaosia, niiden toimitusaikoja ja kunnossapidollisia toimenpiteitä hammaskytkimien vastaaviin tietoihin.

Kustannusvertailu hammas- ja metallilamellikytkimien myynti- ja varaosahintojen sekä niille syntyvien kunnossapitokustannuksien välillä esitetään kohdassa 7.6

7.5.1 Tekniset tiedot

A:n ja C:n tarjoamat kytkimet ovat mitoitettu käyttöpositiolle niissä käytettävien vääntömomenttien ja pyörimisnopeuksien perusteella. B on pyrkinyt mitoituksellaan nykyisten käytössä olevien kytkinten nimellisvääntömomentinarvoihin. Valmistaja C ei ilmoita kytkimilleen nimellisvääntömomentin arvoa, vaan ainoastaan sallitut vääntömomenttien kuormitushuiput. C:n tarjoamissa kytkimissä ei ollut myöskään niiden sallimaa pyörimisnopeutta. Täten ei voitu vertailla nimellisvääntömomenttia ja sallittuja pyörimisnopeuksia kyseisen valmistajan kytkimistä. Tarkasteltaessa laitteiden teknisiä ominaisuuksia ja niiden fyysisiä mittoja havaittiin valmistaja B:n tarjoamien kytkinmallien olevan väliputkellisia versioita jokaisessa käyttökohteessa, eikä heillä ole tuotevalikoimassaan väliputkettomia malleja. PK-5:n käyttämät putkiakselillisten kytkinten DBSE -mitat ovat myös liian suuria, joten kyseinen valmistaja oli jätettävä koko vertailun ulkopuolelle.

Työssä käytetyissä metallilamellikytkimissä havaittiin puutteellisuutta ja virheitä mitoituksen osalta useassa kohteessa. Valmistaja A:n kytkimissä oli puutteita mm. kokonaisuutta- ja halkaisijatiedoissa. Myös porauskoot olivat joissain kohdissa virheelliset. Valmistaja C:ltä ei saatu kaikkiin kohteisiin heidän valmistamiaan kytkimiä. Hammaskytkimille ja metallilamellikytkimille tehtävässä teknisessä vertailussa ilmeni myös, etteivät metallilamellikytkimille määritellyt nimellisvääntömomenttien arvot vastanneet hammaskytkimien arvoja kaikissa kohteissa. Tarjotuissa kytkimissä vääntömomenttien arvojen poikkeavuus ylittää kuitenkin käytössä syntyvät vääntömomentit ja tästä johtuvia epäkohtia ei havaittu.

Oikein mitoitetuissa kytkimissä havaitut pituusmittojen ja halkaisijoiden kokoerot eivät olleet merkittävät. Suurin halkaisijan muutos oli valmistaja A:n kytkimessä ja se oli 50 mm. Putkiakselittomien mallien kokonaispituudet ovat sallituissa rajoissa ja niitä otettaessa käyttöön ei havaita ongelmia sen suhteen. Saatujen tuloksien perusteella metallilamellikytkimet voidaan ottaa käyttöön fyysisten mittojen osalta. Nykyisin käytössä olevien hammaskytkinten suoja ei tarvitse uusia, jos metallilamellikytkimet otetaan käyttöön.

Vaihtoehtoisista metallilamellikytkimistä oli otettava huomioon sisältävätkö ne tilattaessa pelkän esiporauksen vai onko tilattava kytkin valmiiksi porattu käyttökohteelle. Valmistaja A:n kytkimet ovat esiporattuja, joten ne täytyy koneistaa käyttöönottoa varten. Valmistaja C:n kytkimet ovat valmiiksi porattuja joten ne voidaan ottaa suoraan käyttöön. On otettava huomioon, että jos tarkkoja poraukseen vaadittavia toleransseja ei ole tiedossa, suositeltavaa on niiden porausten tekeminen yrityksen toimesta. Hammaskytkimien putkiakseleita ei voida liittää uusiin metallilamellikytkimiin, joten niitä ei voida hyödyntää modernisoinnissa.

7.5.2 Kunnossapito

Hammaskytkimen rikkoutumisesta tai ennakkohuollollisista syistä johtuva vaihtotyö kattaa koko kytkimen, tai putkiakselilla varustetuissa kytkimissä molemmissa päissä olevien kytkimen puolikkaiden vaihdon. Vaihtotyöhön tarvitaan kaksi kunnossapitoasentajaa sekä tarvittaessa yksi koneistaja porausta varten. Koneistajan tarve on tapauskohtaista ja se riippuu siitä onko varaosana olevalle kytkimelle tehty laitekohtainen poraus ennakkoon, jotta kytkin voitaisiin ottaa käyttöön pelkällä vaihtotyöllä. Vaihtotyöhön sekä tarvittaessa koneistukseen käytettävä tuntimäärä on kahdeksan tuntia. Työhön kuluvasta ajasta yhteenlaskettu työtuntimäärä on 19 h. Syntyviin kustannuksiin on myös sisällytettävä uuden kytkimen hinta ja tarvittaessa rikkoutumisesta johtuva tuotantohävikki. Kaikki nämä seikat on otettava huomioon jotta saataisiin käsitys syntyneistä taloudellisista menetyksistä.

Metallilamellikytkimet ovat huoltovapaita eivätkä ne sisällä ennakkohuoltotoimenpiteitä. Rikkoutumistilanteessa kytkimelle syntyneet vauriot korjataan vaihtamalla lamellipakat. Putkiakselittomilla kytkimillä kyseiset lamellipakat

sijaitsevat kytkimen molemmissa päissä. Tästä johtuen vaihtotyöhön käytettävä aika kasvaa. Vaihtoajan kasvu johtuu siitä, että rikkoutuneiden osien vaihtamiseksi joudutaan irrottamaan koko kytkin. Metallilamellikytkimille suoritettavissa korjaustoimenpiteissä etuna on, etteivät ne vaadi koneistusta, koska käytettävien kytkimien navat eivät vaadi työstötoimenpiteitä.

Putkiakselikytkinkokonaisuuksilla saavutetaan kunnossapidollisia hyötyjä, sillä metallilamellikytkimien vaihdettavat osat sijaitsevat putkiakselin ja kytkimen laippojen välissä. Vioittuneen metallilamellikytkimen vaihtotyöhön käytettävä aika saadaan vähennettyä huomattavasti, sillä metallilamellikytkimestä ei tarvitse irrottaa kuin putkiakseli, jonka jälkeen pystytään vaihtamaan rikkoutuneet lamellipakat ilman kytkimen laippojen irrotusta käyttölaitteista.

7.5.3 Varaosat

HK-sarjan kytkin joudutaan vaihtamaan rikkoutuessa uuteen ja HKBR -sarjan kytkimille joudutaan uusimaan kytkinpuolikkaat putkiakselin päihin. Putkiakselia ei tarvitse kytkimen rikkoutuessa uusia. Metallilamellikytkimille valmistetaan erillisiä varaosia. Riippuen kytkimenvalmistajasta metallilamellikytkimien varaosasarjat sisältävät kytkimen molemmissa päissä olevat lamellipakat sekä niiden kiinnitykseen tarvittavat ruuvit. Lamellikytkinten putkiakselia ei myöskään tarvitse kytkinrikon tapahtuessa uusia. A:n varaosasarja sisältää ruuvit sekä lamellipakan. C:n valmistamat lamellipakat ja ruuvit on ostettava erikseen.

7.5.4 Toimitusajat

Kartoituksesta saaduilla tiedoilla hammaskytkinten toimitusajat vaihtelevat 4-6 viikon välillä. Verrattaessa hammaskytkinten toimitusaikoja metallilamellikytkinten vastaaviin tietoihin havaittiin, että niiden kestot olivat 2-12 viikkoa pidemmät kuin käytössä olevilla hammaskytkimillä. Lamellikytkinten toimitusajat eivät poikkea kolmen eri valmistajan kesken merkittävästi, joten huomattavia hyötyjä toimitusajoissa ei ole havaittavissa. Metallilamellikytkinten varaosien toimitusajat olivat samalla tasolla kuin hammaskytkinten toimitusajat.

7.6 Kytkimien kustannusvertailu

Hammaskytkimien ja lamellikytkimien ostohintaa, niille valmistettavien varaosien hintaa ja kunnossapidollisia sekä rikkoutumisesta syntyviä kustannuksia pyritään vertailemaan saatujen tietojen pohjalta. Kustannusvertailuun valittiin laaditusta Excel- taulukosta viisi kohdetta. Vertailussa käytettävät kytkinmallit ovat ensiökäytössä olevia kytkimiä, eivätkä ne sisällä putkiakselilla varustettuja kytkimiä. Tarkastelussa mukana oleva VR-52:n paperinjohtotela on jarrulla varustettu voimansiirtokomponentti, joka on otettava huomioon vertailua tehdessä. Taulukko 1 sisältää nykyisin käytössä olevien hammaskytkimien ja metallilamellikytkimien ostohinnat.

	Hammaskytkin	Kytkinvalmistaja A	Kytkinvalmistaja C
Käyttöpositio	ostohinta	ostohinta	ostohinta
Yläviiran vetotela	x_1	$41,6\% < x_1$	$37,2\% > x_1$
Pick-up tela	x_2	$44,4\% < x_2$	$10,0\% > x_2$
1. Puristimen imutela	x_3	$29,0\%^* < x_3$	$103,2\% > x_3$
Siirtoimutela	x_4	$48,7\% < x_4$	$37,2\% > x_4$
VR52 Pap.johtotela	x_5	$83,3\% > x_5$	$c_5 = x_5$

Taulukko 1. Kytkimien ostohinnat (*=kytkimen porauskoko tarkastettava)

Seisokeissa suoritettava hammaskytkimien vaihtoon käytettävä aika nostaa metallilamellikytkimien kustannuksia. Hammaskytkimien toimiessa häiriöttömästi, metallilamellikytkimille saatava takaisinmaksuaika on suuri, sillä vertailussa käytettävien hammaskytkimien aiheuttamat kunnossapitokustannukset ovat vuositasolla vähäisiä. A:n valmistamien kytkimien vaihdosta syntyvät kustannukset saadaan maksettua takaisin 6-21 vuodessa. C:n valmistamien kytkimien suuremmat ostohinnat nostavat niiden vaihdoista syntyneiden kustannusten hyödynnettävän aikavälin 10 -37 vuoteen.

Metallilamellikytkinvalmistajat eivät ole määritelleet heidän kytkimilleen tarkastustoimenpiteitä vaativia huoltovälejä. Suositeltavaa on, että lamellikytkimille suoritetaan tarkastukset seisokeissa, jotta voitaisiin välttää niiden rikkoutumisesta syntyviä lisäkustannuksia. Lamellikytkimille suoritettava kunnontarkastus tehdään visuaalisesti, jolloin tarkastetaan momenttia välittävien lamellielementtien kunto.

Yksittäisen kohteen tarkastukseen käytettävä aika on hyvin vähäistä ja täten saadaan hyödynnettyä ennakkohuoltomiehen työpanos muihin PK-5:llä suoritettaviin huoltotoimenpiteisiin. Vuosittain syntyneet voiteluainekustannukset sekä käytettävien aliurakoitsijoiden aiheuttamat kustannukset poistuvat metallilamellikytkimiä käytettäessä nostaen taloudellista kannattavuutta tältä osin.

Kytkimien kustannusvertailussa pyrittiin myös selvittämään, kuinka suuri taloudellinen hyöty saavutetaan lamellikytkinten varaosien hinnoissa verraten hammaskytkimien ostohintoihin. Taulukossa 2 on esitetty hammaskytkimien ostohinnat sekä lamellikytkimien varaosien hinnat

	Hammaskytkin	Kytkinvalmistaja A	Kytkinvalmistaja C
Käyttöpositio	ostohinta	varaosat	varaosat
Yläviiran vetotela	x_1	$86,7\% < x_1$	$48,7\% < x_1$
Pick-up tela	x_2	$90,0\% < x_2$	$51,0\% < x_2$
1. Puristimen imutela	x_3	$82,6\% < x_3$	$9,7\% < x_3$
Siirtoimutela	x_4	$89,4\% < x_4$	$48,7\% < x_4$
VR52 Pap.johtotela	x_5	$90,0\% < x_5$	$53,3\% < x_5$

Taulukko 2. Hammaskytkimien ostohinnat ja lamellikytkimien varaosien hinnat

Hammaskytkimille valmistettavia varaosia ei ole, joten sen rikkoutuessa joudutaan uusimaan koko kytkin. Rikkoutumisen aiheuttamat varaosakustannukset hammaskytkimien ja lamellikytkimien välillä ovat todella suuret, yhtä kohdetta lukuun ottamatta, jossa havaittu hyöty on vähäistä.

Rikkoutumisesta syntyneiden kokonaiskustannusten vertailussa käytettiin neljää kohdetta, jotka aiheuttavat tuotannon katkeamisen. Kyseisellä vertailulla saadaan todennettua kytkimen rikkoutumisesta syntyneet suurimmat taloudelliset menetykset. Kokonaiskustannukset ovat taulukossa 3 ja ne sisältävät kytkimille vaihdettavien varaosien hinnat ja tuotannon katkeamisesta sekä kytkimen korjaustoimenpiteestä syntyneet kustannukset.

	Hammaskytkin	Kytkinvalmistaja A	Kytkinvalmistaja C
Käyttöpositio	Kokonaiskustannukset	Kokonaiskustannukset	Kokonaiskustannukset
Yläviiran vetotela	x_1	$38,6\% < x_1$	$37,8\% < x_1$
Pick-up tela	x_2	$38,5\% < x_2$	$38,0\% < x_2$
1. Puristimen imutela	x_3	$39,0\% < x_3$	$37,0\% < x_3$
Siirtoimutela	x_4	$38,7\% < x_4$	$37,8\% < x_4$

Taulukko 3. Rikkoutumisesta syntyvät kokonaiskustannukset

Hammaskytkimen rikkoutuminen taulukossa 3 olevissa kohteissa johtaa paperintuotannon katkeamiseen ja tästä syntyvät kustannukset ovat merkittävät. Hammaskytkimen rikon aiheuttaman seisokin laskettu kestoajaksi on 8 tuntia, joka nostaa tuotannon katkeamisesta aiheutuvat kustannukset suuriksi. Lamellipakkojen vaihtoon ei tarvita koneistajan suorittamaa työstötoimenpidettä. Tämä lyhentää seisokin kestoajan 5 tuntiin. Lamellikytkintä käytettäessä seisokin kestoajasta muodostuneet taloudelliset menetykset vähenevät. Vertailussa käytettävien valmistajien A:n ja C:n kytkimistä muodostuneiden kokonaiskustannusten erot eivät ole merkittävät.

8 MODERNISOINNISSA HUOMIOITAVAT ASIAT JA TULOKSET

Selvitettäessä voimansiirron modernisointia hammaskytkimistä metallilamellikytkimiin, ilmeni useita erityistä tarkkailua vaativia kohteita. Suurimmat huomiot kiinnittyivät jarruilla varustettuihin voimansiirtokomponentteihin. Kyseisissä kohteissa jarrukomponentit aiheuttivat kokorajoitteita kytkimille. Muissa kohteissa huomioon otettavat asiat olivat kytkinten koot ja niiden tehonsiirtokyvyt.

8.1 PK-5

Pohjakoneella tapahtuva kytkimen rikkoutuminen aiheuttaa koko paperintuotannon katkeamisen jolloin syntyneet taloudelliset menetykset ovat suuret. Pohjakoneella olevien laitteiden käytettävät tehot ja niiden vääntömomentit yhdistettynä pitkiin laitteiden välisiin etäisyyksiin asettavat metallilamellikytkimille suuret vaatimukset luotettavuuden sekä käytettävien tehojen osalta. Tästä johtuen lamellikytkintä valittaessa on tarkkaan pohdittava kytkimille määriteltyjä käyttökertoimia ja niiden sallimia vääntömomentteja. Valmistajien laatimat kytkimet ylittävät laitteiden käyttämät tehot, joten tältä osin ei ollut havaittavissa ongelmia käytön suhteen. Jokaiseen käyttökohteeseen ei oltu määritelty metallilamellikytkimiä joten vertailua tältä osin ei voitu täydellisesti suorittaa.

8.2 PPK-5

SAP:n kirjattuja hammaskytkimille kohdistuneita häiriöilmoituksia oli havaittavissa PPK-5:n paperinjohtotelojen käyttölaitteilla muita työssä käsiteltäviä kohteita enemmän. Syntyneistä häiriökäynneistä selvitettiin mistä ne olivat syntyneet ja voitaisiinko kyseisiä ongelmia välttää lamellikytkinten vaihdolla. Muodostuneiden ongelmien selvittämisessä havaittiin, että ilmenneet ongelmat johtuivat muista syistä kuin kytkimen aiheuttamasta rikkoutumisesta. Häiriökäyntien syyt ja siihen tarvittavat korjaustoimenpiteet ovat suoritettu ja kyseiset ongelmat poistuneet.

PPK-5:n voimansiirtoon tehtävä mahdollinen modernisointi muissa kohteissa ei aiheuta muutostoimenpiteitä laiterakenteissa tai käytössä olevissa kytkimensuojissa.

Modernisointia tehtäessä on kuitenkin huomioitava metallilamellikytkinten valmistajien taulukoissa ilmenneet puutteet ja virheet. Mahdolliset ongelmat edellä mainituista asioista voivat aiheuttaa epäkohtia modernisointia tehtäessä.

8.3. Jälkikäsitely ja välirullaimet

Hammaskytkimien modernisointi jälkikäsitelyssä sekä välirullaimilla täytyy ottaa erityiseen tarkasteluun mm. laitteiden rakenteisiin yhdistettyjen jarrujen osalta. Yhdeksässä jarrulla varustetussa kohteessa jarrulevyt asettavat kytkimille kokorajoitteita, jotka on huomioitava tehtäessä mahdollisia uudistuksia voimansiirtoon. On selvitettävä, mahtuvatko listauksessa olevat kytkimet jarrulaippojen sisään lamellikytkimen kokonaishalkaisijan sekä pituuden puolesta. Jos lamellikytkin ylittää käytössä olevien HK -sarjan kytkimen kokonaishalkaisijan tai pituuden täytyy jarrulaite uusia, jotta lamellikytkin voitaisiin ottaa käyttöön. Tästä muodostuneet kustannukset vähentävät lamellikytkinten valinnalla haettavaa taloudellista hyötyä.

HKBR -sarjan kytkimiä jarrulaitteilla varustettuna on käytössä kahdessa kohteessa. Lamellikytkintä käyttöönotettaessa joudutaan uusimaan käyttöpositiolla olevat jarrulevyt, sillä jarrulevyjen kiinnitykset eivät vastaa lamellikytkimen putkiakselin pulttijakoa. Tästä muodostuneet ongelmat ja lisäkustannukset eivät johda taloudelliseen hyötyyn. Kustannuksia lisää myös putkiakselien uusimistarve.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Modernisointia selvitetessä ei voitu muodostaa täydellistä kokonaiskuvaa metallilamellikytkimien käytettävyydestä niiden valmistajien puutteellisten ja virheellisten tietojen vuoksi. Niiltä kohteilta, joiden osalta modernisointia voidaan harkita, havaittiin potentiaalia metallilamellikytkinten käyttöönotolle. Metallilamellikytkimille määritellyt tekniset ominaisuudet eivät poikenneet suuresti hammaskytkimistä, joten tältä osin ei havaittu ongelmia. Mahdollisissa modernisointikohteissa metallilamellikytkimien sallitut pyörimisnopeudet olivat suurempia kuin hammaskytkimien ja tämä on huomioitava, mikäli paperikoneen pyörimisnopeutta nostetaan.

Jarruilla varustetut komponentit on otettava tarkasteluun kytkimiä uusiessa. Jarrulevyjen kokorajoitteita täytyy tarkastella jotta metallilamellikytkimet voidaan ottaa käyttöön. Jos metallilamellikytkimet eivät mahdu jarrulevyjen sisään, muodostuneet toimenpiteet lisäävät kustannuksia ja täten käyttöönottoa ei suositella. Putkiakselikytkimillä varustetuissa jarrullisissa kohteissa on selvää, että ne vaativat muutostöitä, joten taloudelliset investoinnit eivät tuota haluttua hyötyä.

Kunnossapidollisesta näkökulmasta asiaa tarkasteltaessa metallilamellikytkimet ovat toimiva ratkaisu. Huoltotoimenpiteistä syntyviä välittömiä ja välillisiä kustannuksia saadaan pienennettyä. Tästä syntyvät taloudelliset hyödyt kasvavat, kun aliurakoitsijoiden huoltotoimenpiteistä ja voiteluaineista syntyneet kustannukset saadaan poistettua. Myös Eforalla toimivien ennakkohuoltomiesten työpanos voidaan ohjata muihin kohteisiin. Kytkimen rikkoutumisen aiheuttamia kustannuksia saadaan hillittyä metallilamellikytkintä käytettäessä. Etenkin jos rikkoutuminen aiheuttaa paperikoneen tuotannon katkeamisen, saavutettu taloudellinen hyöty on merkittävä. Varaosien hinnat vaihtelevat suuresti. Joissain kohteissa on huomattavasti halvemmat varaosat, kun taas joissain kohteissa varaosat voivat olla jopa kalliimpia kuin hammaskytkimien ostohinta. Vaikkei varaosilla tietyissä kohteissa saavutettava hyöty ole suuri, saadaan rikkoutumistilanteissa ajansäästöä, joka puolestaan kompensoi varaosien hankintakustannuksia.

Näen potentiaalia hammaskytkinten modernisoinnissa metallilamellikytkimiksi. Työni pohjalta suosittelen, että asiaa tarkasteltaisiin laajemmin, jotta yritykselle muodostuneita

vuosittaisia kustannuksia saataisiin alennettua. Erityisesti kannattaa tarkastella kohteita, joissa tuotanto voi katketa välittömästi tai pienellä viiveellä kytkimen rikkoutuessa.

LÄHTEET

- Aho, Kauko & Airila, Mauri & Holvio, Veikko & Mantovaara, Urpo & Kivioja, Seppo & Välimaa, Veikko. Koneenosien suunnittelu 3. Tehon siirto. 1985. Helsinki: WSOY
- Airila, Mauri & Ekman, Kalevi & Hautala, Pekka & Kivioja, Seppo & Kleimola, Matti & Martikka, Heikki & Miettinen, Juha & Niemi, Erkki & Ranta, Aarno & Rinkinen, Jari & Salonen, Pekka & Verho, Arto & Vilenius, Matti & Välimaa, Veikko. Koneenosien suunnittelu. 2 painos. 1997. Helsinki: WSOY
- Efora Oy, Eforan Intranet hakupäivä 26.11.2012
- Hedman, Antti. Taajuusmuuttajat. 2009. Hakupäivä 10.2.2013
<<http://www.pkky.fi/Resource.phx/pkky/projektit/taitaja-osaaminen/sahko.htx.i2025.pdf>>
- Mobil grease XTC material data bulletin. 1996. Hakupäivä 15.3.2013,
<http://www.sfm.state.or.us/cr2k_subdb/MSDS/MOBIL_XTC_GREASE.PDF2008:34.>
- Olkoniemi Alpo. Ennakkohuoltomiehen haastattelu. Efora Veitsiluoto. 8.2.2013
- PK-5 mekaaniset piirustukset
- SAP- toiminnanohjausjärjestelmä
- Stora Enso Oyj, sisäinen insite. Hakupäivä 17.12.2012
- Stora Enso Oyj, 2012 Veitsiluodon yleisesittely, Veitsiluodon Power-Point yritysesittely.
- Valmet kytkimet. Laitetaulukko

LIITTEET

Liite 1. Laitetaulukko