



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JAMI LIETZÉN
LIIKKUVIEN MURSKAINTEN JA SEULOJEN KUMIOSIEN SUUN-
NITTELUN LAADUNPARANNUS

Diplomityö

Tarkastaja: Apulaisprofessori Tero Juuti
Teknisten tieteiden tiedekunnan dekaani
on hyväksynyt aiheen ja tarkastajan
26.4.2017

TIIVISTELMÄ

LIETZÉN, JAMI: Liikkuvien murskainten ja seulojen kumiosien suunnittelun laadunparannus

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 94 sivua, 4 liitesivua

Joulukuu 2017

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Koneensuunnittelu ja tuotekehitys

Tarkastaja: Apulaisprofessori Tero Juuti

Avainsanat: suunnitteluohjeet, kumiosat, laadunparannus

Kumiosien suunnittelu on mekaniikkasuunnittelijan näkökulmasta sekä helppoa että haastavaa. Erilaisten osien suunnittelu on käytännön prosessina samanlainen huolimatta siitä, mistä materiaalista osa tullaan tekemään. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin kumi- ja metallimateriaalien toisistaan poikkeava käyttäytyminen erilaisissa olosuhteissa. Mekaniikkasuunnittelijan tulisi pystyä jo suunnitteluvaiheessa havaitsemaan ja ennustamaan kumiosan todellista käyttäytymistä. Osan todenmukaista käyttäytymistä sekä kumimateriaalin kykyä kestää voimakkaasti kuluttavassa ympäristössä on haastavaa ennustaa ja toiseksi, tähän tarvittavaa tietotaitoa ei mekaniikkasuunnittelijalla oletusarvoisesti ole riittävästi.

Tämän työn tavoitteena on löytää kaikki ne suunnittelun hyvät tavat, joiden perusteella voidaan sanoa, että kumimateriaalin valinta on käyttökohteeseen sopiva ja osan muodot ovat kestävyuden ja toiminnallisuuden kannalta riittävät. Selvitystyössä on hyödynnetty kumimateriaalien käyttäytymisestä löytyvää runsasta aineistoa sekä materiaalivalmistajien että mekaniikkasuunnittelijoiden kokemusta. Lisäksi työn tekemisessä on hyödynnetty tiivistä yhteistyötä tuotannon laatu- ja huolto-organisaatioiden kanssa, joiden avulla ratkaisujen vaikutuksia on pystytty lyhyellä tähtämellä tarkastelemaan.

Tämän työn tuloksena on muodostettu mekaniikkasuunnittelijoille ohjeisto, joka ohjaa kumiosien parempaan suunnitteluun ja antaa uusille suunnittelijoille lyhyen tietopaketin kaikista niistä asioista, joita tulee kumiosia suunniteltaessa pohtia. Ohjeisto käsittää sekä sopivan materiaalin valinnan että ohjaa muotoilemaan kumikappaleet siten, että ne kestävät riittävän pitkään käyttökohteessaan. Työn ohessa on muodostettu myös laatuorganisaatiota palvelevat ohjeet kumiosien laadun tarkkailuun ja muodostettu yksiselitteiset keinot laatupoikkeamien reklamointiin. Lisäksi tämän työn sivutuotteena on pyritty edistämään kohdeyrityksen kumiosien varaosamarkkinoita.

ABSTRACT

LIETZÉN, JAMI: Improving design of elastomers in mobile crushing and screening plants

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 94 pages, 4 Appendix pages

December 2017

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

Major: Machine design and product development

Examiner: Assistant professor Tero Juuti

Keywords: Design instructions, rubber part, quality improvement

Designing a rubber part is an easy and difficult task at the same time in mechanical designer's point of view. Designing process is the very same regardless the material of designed part. True behaviour of different materials in different environments and applications becomes a problem that mechanical designer must consider. Mechanical designer must be able to predict and detect the true behaviour of a rubber part in various applications and in severe conditions. These properties are hard to predict and even though it would be possible a mechanical designer often does not have right materials that would support his/her design decisions.

The agenda of this thesis is to find all right design decisions that supports sustainable manners of rubber part design. Rubber material should be chosen per application and the shapes of part should be sufficient enough to preserve durability and functionality. This thesis exploits literature review of the mechanical properties of rubbers and broad expertise of material manufacturers and designers. Intense cooperation with quality and service departments has been in key role in enabling design changes and validating them.

Thus, a code of practice (CoP) of rubber parts for mechanical designers is introduced. Its aim is to instruct mechanical designers to produce better designs of rubber parts even though the skill level of a designer is low or insufficient. The CoP is designed to provide extensive data of how a rubber part should be shaped and what material it should be in different application areas of mobile crushing and screening equipment's. This code of practice discusses material selection and shaping separately and it does not provide specific data for every solution since its aim is to provide only general guidelines. In addition, general guidelines for quality control of rubber parts were published to support continuous quality improvement and to enable simple and unambiguous means for quality complaints.

ALKUSANAT

Tämä tutkimus on osa Metso Minerals Oy:n laatuprojektia, jonka tavoitteena on kehittää toimintatapoja ja tuotteita. Tavoitteena on luoda yksinkertaiset säännöt ja ohjenuorat kuumiosien valintaan, joiden avulla suunnittelun laatua pyritään kehittämään oikeaan suuntaan. Tämän projektin rahoittajina ovat toimineet Metso Minerals Oy ja Etteplan Oyj, jonka palveluksessa allekirjoittanut toimii.

Tahdon kiittää työn tarkastajaa apulaisprofessori Tero Juutia, jolla löytyi aina uusia näkökulmia ja menetelmiä ongelmien ratkaisemiseksi, sekä ohjaajaani tuoteturvallisuuspäällikkö Juhamatti Heikkilää, jolla riitti aina aikaa ja tukea vastaan tulleiden asioiden selvittämisessä. Esimiestäni Mikko Gratschevia tahdon kiittää tämän diplomityön tekemisen mahdollistamisesta sekä työn joustavuudesta, jonka ansiosta olen pystynyt myös opiskelemaan samanaikaisesti.

Tahdon kiittää erityisesti sinua Anna, kun olet tukenut ja rohkaissut jatkamaan tilanteesta riippumatta, mikä on ollut korvaamaton voimavara. Lisäksi kiitän perhettäni ja ystäviäni, joiden vilpitön tuki on ollut korvaamatonta.

Tampereella, 9.12.2017

Jami Lietzén

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Työn tavoitteet ja ongelmat	2
2.	MENETELMÄT	3
2.1	Hiljainen tieto	4
2.2	Organisaatiossa oppiminen	5
2.2.1	Kouluttaminen ja tiedon jakaminen	6
2.3	Property Driven Development, PDD	6
2.4	Design reuse	8
3.	YRITYS	9
3.1	Metso Oyj	9
3.1.1	Järjestelmät ja laitteet	10
4.	ELASTOMEERIT	12
4.1	Elastomeerien ominaisuuksia	12
4.1.1	Kumin vanheneminen	12
4.1.2	Kumit koneensuunnittelussa ja lisäaineiden vaikutus	13
4.1.3	Kumin varastointi	15
4.1.4	Kumin käsitteleminen	16
4.2	Kulumisen kivenmurskauksessa	17
4.2.1	Kulumisen ja kitka	17
4.2.2	Kulumisen ja materiaalivirta	18
4.2.3	Kulumisen ja ääni	21
4.3	Kumin merkitys kivenmurskaimissa	22
5.	NYKYTILANNE	26
5.1	Nykyinen suunnitteluprosessi	27
5.2	Mistä kumilaatuongelmat ovat johtuneet	28
5.2.1	Globaalit materiaalinimikkeet	30
5.2.2	Suunnittelu	31
5.2.3	Valmistus ja alihankinta	31
5.2.4	Materiaalitoimittajat ja laadunvarmistus	33
5.3	Kumiosien laatu tällä hetkellä	33
5.3.1	Huoltokorjaamo	33
5.3.2	Suunnittelu	34
5.3.3	Tuotanto ja varasto	35
6.	SUUNNITTELUOHJEIDEN TARPEET	37
6.1	Lokotrack ST-sarjan mobiiliseulat	38
6.2	Large Lokotrack -tuotteet	39
6.3	Compact Lokotrack -tuotteet	40
6.4	Kumivalmistajat	41
7.	PROPERTY DRIVEN DEVELOPMENT, PDD	44
7.1	Kivenmurskainten hierarkkinen toimintorakenne	44

7.2	Kumiosien tyypilliset ominaisuudet.....	46
7.3	Käytettävissä olevien tuotteiden analysointi.....	48
7.4	Tuotteiden ja käyttötarkoituksen liittäminen.....	50
7.5	Ulkoisten tekijöiden vaikutus kumiosiin.....	51
8.	SUUNNITTELUOHJEET	52
8.1	Materiaalin valinta.....	52
8.2	Muotojen ohjeistus	57
8.2.1	Kumiosien materiaaliarvot sekä suositukset.....	57
8.2.2	Kumien kiinnitys ja merkittävät mitat	58
8.2.3	Kumiosien dimensiot	62
8.2.4	Kumiosien muodot ja loppuun asti suunnitteleminen.....	64
8.2.5	Kumiosien jakaminen osiin ja liitokset.....	67
8.2.6	Kumiosien murtumisen estäminen.....	73
8.2.7	Tiivistäminen kumeilla	74
8.2.8	Kuljetinhihnojen kouruuntuminen ja hihnapyörät	78
8.2.9	Kumin laajempi hyödyntäminen.....	81
8.3	Suunnitteluprosessi.....	82
9.	KUMIOSIEN ELINKAARI	84
9.1	Tuotantoketjun laajempi muokkaus	84
9.2	Tuotantoketjun muokkaaminen säännöillä.....	86
10.	YHTEENVETO	88
10.1	Suunnittelun pääperiaatteet	88
10.2	Kumiosien materiaalin valinta	89
10.3	Kumiosien muotoratkaisut	89
10.4	Valvonta	90
11.	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUS	91
11.1	Jatkotutkimus	91
11.2	Taloudelliset mahdollisuudet	92
	LÄHTEET.....	93

LIITE A: Property Driven Development -kartta

LIITE B: ST-kumimateriaaliehtotus

LIITE C: Large Lokotrack -kumimateriaaliehtotus

LIITE D: Compact Lokotrack -kumimateriaaliehtotus

KUVALUETTELO

Kuva 1.	Luonteenpiirteet ja ominaisuudet (Weber & Deubel 2003 s. 2).....	7
Kuva 2.	Metson markkina-alueet (Metso Oyj 2017a).....	9
Kuva 3.	Metson muotoutuminen (Metso Oyj 2017a).....	10
Kuva 4.	ST2.8 mobiiliseulan toimintaperiaate (kuvakaappaus: metso.com).....	11
Kuva 5.	Leuka-, impaktori- ja kartiomurskain (kuvakaappaus: metso.com).....	11
Kuva 6.	Eroosionopeus 120µm partikkeleilla, 30° iskukulmalla ja 50 m/s nopeudella (Arnold et al. 1991).....	14
Kuva 7.	Smiley Monroen kuljetinhihnan iskukoe (Smiley Monroe Ltd 2017)	19
Kuva 8.	Luonnonkumin eroosionopeus iskukulman funktiona (Arnold et al. 1991).....	19
Kuva 9.	NR kumin eroosion nopeus iskunopeuden funktiona (Arnold & Hutchings 1991)	20
Kuva 10.	Metso Trellex® Poly-Cer 70S 95/5 (Metso AB, 2017).....	21
Kuva 11.	Materiaalin syötön vaikutus ääneen (Hansen & Goelzer 1995 s. 255).....	22
Kuva 12.	LT1213S kumiosien sijainti	23
Kuva 13.	Tyypillinen koneen kustannusjakauma (Ullman 2003)	25
Kuva 14.	Suunnittelusta osaksi -prosessi.....	26
Kuva 15.	Todellinen suunnittelusta osaksi -prosessi.....	26
Kuva 16.	Kumiosien elinkaari.....	29
Kuva 17.	Kulutuskumien vanha materiaalispesifikaatio	30
Kuva 18.	Esimerkki huonosta kumilaadusta, joka halkeilee taitettaessa	32
Kuva 19.	Repäisty kumipala	34
Kuva 20.	Kuljetinhihnojen väliaikainen varastointi	36
Kuva 21.	Esimerkki esiseulasta (ST2.8) ja seulasta (ST3.8) (Metso Oyj 2016)	38
Kuva 22.	Large LT, paino noin 103 000 kg (Metso Oy, 2016).....	39
Kuva 23.	Iskupalkkimurskain LT1213S, paino noin 51 000 kg (Metso Oy 2016).....	40
Kuva 24.	Kumivalmistajan eräs tiivistysratkaisu (Metso AB, 2016)	42
Kuva 25.	Tavanomainen tiivistys / kulutuskumiratkaisu Lokotrackeissa	43
Kuva 26.	Materiaalinkäsittelyprosessi ja käsiteltävä tuoterakenne	45
Kuva 27.	Koneiden kumiosien ominaisuuksia	47
Kuva 28.	Käytettävissä olevat kumituotteet ja niiden kovuudet	49
Kuva 29.	Tuotteiden ja käyttötarkoitusten liittäminen.....	50
Kuva 30.	LT Compactien kumimateriaalien valinta	53
Kuva 31.	Trellex 60 ShA kumin paksuuden laskenta (Metso Oyj 2002).....	54
Kuva 32.	LT Large kumimateriaalien valinta.....	55
Kuva 33.	Kaksi erilaista tapaa tiivistää kuljetinhihna.....	55
Kuva 34.	ST kumimateriaalien valinta.....	56
Kuva 35.	Taustalevyn vakiokiinnitystavat (Metso AB 2017 s. 48).....	58

<i>Kuva 36.</i>	<i>Kiinnityspultin liiallinen kireys</i>	<i>59</i>
<i>Kuva 37.</i>	<i>Kiinnityslatan virheellisiä sijoitteluja</i>	<i>60</i>
<i>Kuva 38.</i>	<i>Lattakiinnitys ja pyöritykset</i>	<i>60</i>
<i>Kuva 39.</i>	<i>Sivukumin kiinnitys latan avulla</i>	<i>61</i>
<i>Kuva 40.</i>	<i>Lämpövenymän osin aiheuttama kumin pullistuma</i>	<i>63</i>
<i>Kuva 41.</i>	<i>Kulmien suunnittelu</i>	<i>65</i>
<i>Kuva 42.</i>	<i>Puutteellisesta suunnittelusta johtuva vaurio</i>	<i>66</i>
<i>Kuva 43.</i>	<i>Rakenteen suunnitteleminen loppuun asti</i>	<i>67</i>
<i>Kuva 44.</i>	<i>Yhtenäinen sivukumi</i>	<i>68</i>
<i>Kuva 45.</i>	<i>Sivukumien puutteellinen jatkossuunnittelu</i>	<i>69</i>
<i>Kuva 46.</i>	<i>Jatkos magneettierottimen kohdalla</i>	<i>70</i>
<i>Kuva 47.</i>	<i>Puutteellinen jatkos, osa 1</i>	<i>71</i>
<i>Kuva 48.</i>	<i>Puutteellinen jatkos, osa 2</i>	<i>72</i>
<i>Kuva 49.</i>	<i>Parempi jatkossuunnittelu</i>	<i>72</i>
<i>Kuva 50.</i>	<i>Kulman suunnittelu</i>	<i>73</i>
<i>Kuva 51.</i>	<i>Kulmalistan käyttö</i>	<i>74</i>
<i>Kuva 52.</i>	<i>Kulman virheellinen tiivistysuunnittelu</i>	<i>75</i>
<i>Kuva 53.</i>	<i>Viimeistely suunnittelu</i>	<i>76</i>
<i>Kuva 54.</i>	<i>Syöttöpään tiivistys</i>	<i>77</i>
<i>Kuva 55.</i>	<i>Kaksiosainen tiivistystapa (Smiley Monroe)</i>	<i>77</i>
<i>Kuva 56.</i>	<i>Hihnapyörän ja sivukumin välin rako</i>	<i>79</i>
<i>Kuva 57.</i>	<i>Metso Mineralsin ohjeistus kouruuntumisesta (Metso AB 2016)</i>	<i>79</i>
<i>Kuva 58.</i>	<i>Metso Mineralsin ohjeistus kuljettimen hihnapyörien halkaisijoista (Metso AB 2016)</i>	<i>80</i>
<i>Kuva 59.</i>	<i>Kumin hyödyntäminen pölysuojina</i>	<i>81</i>
<i>Kuva 60.</i>	<i>Modifioitu elinkaari</i>	<i>85</i>
<i>Kuva 61.</i>	<i>Nykyisen elinkaaren pieni modifikaatio</i>	<i>86</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

EPDM	Ethylene Propylene Diene Monomer, kumimateriaali
IRHD	International Rubber Hardness Degree, standardoitu kumin kovuusmittayksikkö
LT	Metso Minerals Oy:n käyttämä termi mobiilimurskaimista, Lokotrack
NBR	Nitrile Butadiene Rubber, synteettinen kumimateriaali
NC	Numerical Control
NR	Natural Rubber eli luonnon kumipuusta saatava kumilaatu
PDD	Property Driven Development / Design
PU	Polyuretaani, synteettinen kumimateriaali
SBR	Styrene Butadiene Rubber, synteettinen kumimateriaali
ShA	Shore A, IRHD:tä vastaava elastomeerien kovuusmittayksikkö
ST	Metso Minerals Oy:n mobiiliseulojen tuoteryhmä
UV	Ultra Violet -säteilyn lyhenne

1. JOHDANTO

Kivenmurskaimissa käytetään kumiosia estämään materiaalivirran vuotoja ja rakenteiden ennenaikaisia kulumisvaurioita. Kumiosat toimivat tietyissä tapauksissa myös turvallisuustekijöinä, sillä niillä pyritään sekä pienentämään äänenpainetta että estämään prosessiaineen putoamisen esimerkiksi laiteoperaattorin päälle.

Kumiosien hyödyntäminen kivenmurskaus- ja seulalaitteissa vaatii sekä materiaali- että prosessitietämystä, sillä kumiosien materiaali tulisi valita murskausprosessimateriaalin ja käyttötilanteen perusteella. Käytettävissä olevat kumimateriaalit on rajattu kuten metalliosat, eli tiettyjen ominaisarvojen, kuten kovuuden ja venymän avulla. Ongelmaksi tässä muodostuu se, että numeeriset arvot joilla materiaaleja on rajattu, ovat olleet kumimateriaalin laadun mittareina merkityksettömiä. Nämä ovat aiheuttaneet tilanteen, jossa kumimateriaalien todelliset ominaisuudet ovat olleet riittämättömiä käyttökohteen tarpeisiin nähden.

Kumiosien muotojen suunnitteluprosessi on täsmälleen samanlainen kuin metalliosilla. Mekaniikkasuunnittelija, jonka päätehtävä on suunnitella koneen mekaaniset rakenteet, suunnittelee myös kumiosien muodot ja määrittää niiden käyttötarpeet ja kestoian. Tässä kohtaa suunnittelija kohtaa haasteita, sillä kumi- ja metalliosan suunnitteleminen on hyvin erilaista materiaalieroista johtuen. Kumiosien suunnittelussa joudutaan usein abstraktilla tasolla muodostamaan kompensatioita esimerkiksi osien kokoon eli käytännössä liioittelemaan muotoja, sillä osien suunnitteleminen käytettävissä olevilla työkaluilla todellisen muotoisiksi on sekä haastavaa että usein liian työlästä annettuun aikatauluun nähden. Mekaniikkasuunnittelijan kyvyt riittävät kyllä todellisen muodon hahmottamiseen, mutta tämä aiheuttaa tilanteen, jossa kumiosaa ei suunnitella loppuun asti, vaan osan muodot hahmotellaan sellaiseksi, joka mielletään tilanteeseen nähden riittäväksi. Osaa ei siis muotoilla vastaamaan todellista tarvetta, vaan se jätetään suunnittelultaan kesken-eräiseksi osaksi, jonka kuvitellaan taipuvan konkreettisenä kappaleena oikeaan muotoon. Tämän seurauksena on se, että fyysisen kumiosan käyttökelpoisuudesta ei voida olla varmoja ennen kuin se on käyttökohteessansa.

Tämä työ on rajattu käsittelemään pelkästään mobiilimurskaimien sekä -seulojen kumiosia pois-lukien kuljetinhihat. Tämän työn tarkoituksena on kartoittaa ja muodostaa kokonaisuus kumiosien suunnitteluun tarvittavista materiaali- ja suunnittelutiedoista, joiden avulla suunnittelija saa mahdollisimman kattavat tietotaidot yksiselitteisessä ja hyödynnettävässä muodossa. Tässä työssä ei oteta huomioon kumiosien vauriomekanismeista fluidien tai ionisoivan säteilyjen vaikutuksia, sillä ne eivät ole sellaisia vauriotekijöitä, joita tämän työn käsittelemät kumiosat joutuvat kohtaamaan tavanomaisesti.

2. MENETELMÄT

Elastomeeriosien suunnittelu on valintojen ja kompromissien tekemistä sekä tiedon jalostamista tuotteeksi. Elastisen osan suunnitteleminen usein vaatii sellaista metallirakenteista poikkeavaa tietoa, jota ei mekaniikkasuunnittelijalla tavallisesti ole muistissa tai välittömästi muilla tavoin saatavilla. Vaikka laadukasta tietoa voi nopeasti löytää esimerkiksi kulumiskestävyyydestä, on vaikeaa saada tietoa siitä, miten tietty materiaali kestää todellisissa olosuhteissa ja erilaisissa prosesseissa.

Lähes jokaisella kumiosien kanssa työskentelevällä on oma mielipide ja kokemus siitä, millaisia niiden tulisi olla ja millaisia ei. Mielipiteitä tulee kuitenkin tarkastella kriittisesti tietolähteenä, sillä mielipiteiden voimakkuus ja esittämisen innokkuus saattavat aiheuttaa virhearvioita esimerkiksi materiaalien todellisesta laadusta ja soveltuvuudesta johonkin sovellukseen. Tämän tiedon jalostamista ja jakamista varten on tässä työssä suoritettu haastatteluja, erilaisia oppimistapahtumia sekä käytetty erilaisia olemassa olevan tiedon jalostamisen ja hyödyntämisen menetelmiä, joista merkittävimpinä ominaisuusjohteinen kehitystyökalu (Property Driven Development, PDD) sekä Design Reuse. Tutkimuksena tämä työ on kvalitatiivinen, sillä pyrkimyksenä on ymmärtää kokonaisuus, joka määrää osien laadun sekä vaaditut ominaisuudet. PDD on menetelmänä hyvä juuri kokonaisuuden hahmottamiseen ja vuorovaikutussuhteiden tarkastelemiseen.

Käytetyt teoriat on valittu myös kohdeyrityksen organisaation sekä tuoterakenteiden perusteella. Yrityksellä on hyvin pitkä historia kivenmurskaimien suunnittelussa ja tuotannossa, joten hiljaisen tiedon määrä on valtava etenkin siksi, että kansainvälisen organisaation sisältä löytyy myös laajaa asiantuntemusta juuri kumimateriaaleista erillisen kulusosaorganisaation kautta. Organisaation sisäinen tieto ei kuitenkaan ole saavuttanut osia suunnittelevia yksiköitä, joten tiedon kerääminen helpommin hyödynnettävään muotoon on tarpeellista. Tuotteiden selkeästä toimintomodulaarisesta jaottelusta johtuen joikaista moduulia on järkevää tarkastella yhtenä kehitettävänä kohteena. Toimintomodulien osien kehittämiseen soveltuu hyvin PDD, sillä sen avulla saadaan jaoteltua nopeasti ja helposti sekä tuoterakenne että käytettävissä olevat tuotteet. Nämä voidaan yksinkertaisesti yhdistää hiljaisen tiedon ja tunnettujen materiaaliominaisuuksien avulla kokonaisuudeksi, jolloin PDD toimii materiaalivalinnan työkaluna jokaiselle moduulille. Design Reuse, eli olemassa olevien suunnitelmien uudelleenkäyttö, on hyvin käyttökelpoinen työkalu tässä työssä, sillä kohdeyrityksen pitkäaikaisen toiminnan aikana on muodostunut sekä hyviä että huonompia ratkaisuja, joista voidaan oppia nykyisiä laitteita suunniteltaessa. Historia- ja asiakastiedoista löytyy helposti etenkin toimimattomat ratkaisut, sillä laitteista saatuja palautteita on runsaasti, joita voidaan hyödyntää hyviä ratkaisuja etsittäessä.

2.1 Hiljainen tieto

Elastomeeriosien (tässä työssä kumiosien) suunnitteluun on olemassa kaikki tarvittava tieto, jota hyödyntämällä voidaan löytää oikeat ratkaisut oikeaan sovellukseen. Tässä työssä tarvittava tieto koostuu yleisestä informaatiosta, tietotaidoista, yksilötaidoista ja teknologiasta. Hiljainen tieto, jonka avulla oikeat ratkaisut voidaan löytää, on sekä näiden edeltävien tietolajien että ulkoisten vuorovaikutuksien tuote. Hiljainen tieto on siis informaatiota, ajatusmalleja, arvoja, periaatteita, uskomuksia, mielipiteitä sekä asiaan sitoutumista, eikä sitä pysty laajuutensa takia helposti jalostamaan eksplisiittiseksi tiedoksi. (Bratianu & Orzea 2010)

Haastatteluilla voidaan kerätä nimenomaan hiljaista tietoa, joka ei ole edennyt riittävän pitkälle organisaatioketjussa, jotta se vaikuttaisi suunnitteluratkaisuihin. Tiedon leviäminen tavallisesti alkaa yksilötasolta, sillä kokemuksista oppinut henkilö jakaa tietoa työyhteisölleen eteenpäin (Kogut & Zander 1992), ensin lähimmälle työskentelyryhmälleen tai tiimilleen. Haastattelujen avulla pyritään edistämään tiimien ja yksilöiden tietojen leviämistä eteenpäin, jotta olennaiset tiedot saadaan muutettua yleiseksi informaatioksi koko organisaation käytettäväksi. Jo informaation välittäminen eteenpäin siitä, kuka organisaatiossa aiheesta parhaiten tietää, on tärkeä osa tiedon oikeanlaista leviämistä (Kogut & Zander 1992).

Yksilöiden tietotaitojen ja kokemusten jakamiseen organisaatiossa voidaan tunnistaa neljä mekanismia. Ensimmäisessä mekanismissa yksilö jakaa omat kokemuksensa tuomat tietotaidot, jakamiseen tarkoitettuun erityiseen tietokantaan, jotta muut vastaavissa töissä olevat henkilöt saavat samat tiedot käyttöönsä (Bartol & Srivastava 2002). Tietokannalla ei tässä tarkoiteta mitään monimutkaista rakennetta, vaan se voi olla esimerkiksi aivan yksinkertainen muistilappu tai vastaavaa, joka on muun ryhmän saatavilla. Viralliset vuorovaikutukset, kuten tiimipalaverit ja muut koordinoituidut tapaamiset, ovat toinen tiedonjaon mekanismi (Bartol & Srivastava 2002) ja väline innovaatioiden luomiseen. Usein erilaisten innovaatioiden ja muiden yksilötason oivallusten muodostama kehityspotentiaali vaatii viralliselta yhteisöltä hyväksynnän ennen kuin se saadaan laajempaan käyttöön. Tämä muodostaa virallisesta tiedonjakomekanismista tärkeän osan hiljaisen tiedon jakamiseen. Epävirallisten keskustelujen käyminen, kuten kahvihuonekeskustelujen ja muiden tapaamisten, kuten tehdasympäristössä nopeasti vieraileminen, ovat niin ikään eräs tiedonjaon mekanismi ja menetelmä. Viimeisenä tiedonkulun mekanismina toimii työyhteisö (communities of practise), jonka vaikutukset ulottuvat yli organisaatorajojen. (Bartol & Srivastava 2002) Etenkin virtuaalisten keskustelukanavien epävirallisten keskustelujen avulla työyhteisössä voidaan paneutua ongelmaan ottamatta kantaa siihen, mihin organisaatioon kukin kuuluu ja mikä on kenenkin ydinosuusalue.

Hiljaisen tiedon keräämiseen haastattelujen avulla sovelletaan tässä työssä edellä mainituista tiedonjaon mekanismeista epävirallista keskustelua sekä kokemustietokantaa. Käytännössä kokemustietokannan muodostaminen on tämän työn yksi ydinasia, sillä kun se

on luotu, voidaan muodostaa suunnittelulle yleiset elastomeerien suunnittelussa tarvittavat periaatteet, joita voidaan myös käyttää laadunvalvonnan työkaluna. Suunnitteluohjeet tulee siis jakaa yli organisaatorajojen, jotta niistä saatava hyöty palvelisi laajempaa organisaatiokenttää, kuin tavanomaiset ohjeet. Tässä työssä epävirallisten haastattelujen merkitys on suuri, sillä useilla tahoilla on hyvin paljon erilaisia mielipiteitä ja kokemuksia siitä, millaisia tässä työssä käsiteltävien elastomeerien tulisi olla. Sellaisien henkilöiden haastattelemisen, joilla on paljon käytännön kokemusta elastomeerien käytöstä sekä käyttäytymisestä todellisissa olosuhteissa, on merkittävä elementti erilaisten ratkaisujen löytämisessä ja ohjeiden muodostamisessa. Hiljaisen tiedon poimiminen on tehokkainta, kun haastatteluun osallistuvaa rohkaistaan ratkaisemaan jotain tiettyä tilannetta, johon yksilön täytyy käyttää juuri niitä taitoja, jotka hän on kokemuksen myötä saanut (Kopra 2012). Tätä periaatetta sovelletaan myöhemmin myös esitellyissä työpajoissa ja muissa organisaatiossa oppimisen tapahtumissa.

2.2 Organisaatiossa oppiminen

Organisaatiossa oppiminen on monimutkainen prosessi, jossa on sekä hyötyjä että haittoja. Tietoa on hyvin runsaasti saatavilla, joka perustuu sekä faktoihin, että kokeiluihin, mutta etenkin positiivisen tiedon jalostuessa ja kulkeutuessa eri toimijoiden käyttöön, voi rinnalla muodostua myös ennakkoluuloja sekä väärinkäsityksiä (Levitt ja March 1988). Tuloksien kriittisyyden tarkastelun jäädessä puutteelliseksi tai saatavilla olevan tiedon pitäminen absoluuttisena tietona, kaventuu mahdollisten uusien ratkaisujen määrä. Organisaatioissa tämä ilmenee sellaisina käsityksinä, että esimerkiksi jotain materiaalia on josain sovelluksessa aikaisemmin kokeiltu huonolla menestyksellä, niin miten se nytkään voisi toimia, vaikka todellisuudessa materiaalien kehittyminen on saattanut olla hyvin suurta ja onnistuminen saattaisi olla jopa todennäköistä. Sen sijaan että ongelmiin etsittäisiin oikeita vastauksia, tulisi keskittyä esittämään oikeita kysymyksiä, jotta saataisiin selville se, mitä ei oikeasti tiedetä (Kopra 2012), eikä vain esittää valmiita ja vanhentuneita ratkaisuja tai argumentteja, joiden todenperäisyydestä ei ole täyttä varmuutta.

Opitun asian unohtuminen on tärkeä osa tiedon karttumista, mikä tapahtuu, kun jokin joko yksinkertaisesti vain unohdetaan tai sitten opitaan jotain uutta, joka korvaa vanhemman tiedon (Tuomi 1999). Siksi on tärkeää, että nykyistä tietoa arvioidaan uudelleen ja korjataan, mikäli se koetaan tarpeelliseksi. Tässä työssä on tarkoitus paneutua juuri tähän ongelmaan elastomeerien kohdalla, eli korjata ja uudelleen arvioida aiemmin opitut tavat sekä valistaa uusista menetelmistä ja materiaaleista sekä palauttaa mieliin elastomeereille tunnusomaiset piirteet.

Organisaatiossa oppiminen ja tiedon siirtyminen tapahtuvat vuorovaikutuksen kautta, ensisijaisesti ryhmätasolla (Hedlund 1994), josta se kulkeutuu myöhemmin eri ryhmien välillä, mikäli viestintä toimii. Vuorovaikutuksen tulisi olla ryhmien ja yksilöiden välillä aktiivista, sillä esimerkiksi hiljaista tietoa ei voida kouluttaa, vaan se pitää kokeilemalla

oppia (Haldin-Herrgard 2000) Kaiken saatavilla olevan tiedon muistaminen ja hallitseminen ei kuitenkaan ole mahdollista, joten on järkevämpää antaa eri ryhmille informaatiota siitä, mistä tieto mihinkin ongelmaan löytyy.

2.2.1 Kouluttaminen ja tiedon jakaminen

Uuden asian kouluttaminen suurelle organisaatiolle on pitkä ja haastava prosessi, jonka onnistumisesta ei ole takeita. Elastomeerien käytöstä eri sovelluksissa on jo nyt saatavilla runsaasti tietoa muun muassa valmistajilta, joilla on hyvin kattavat dokumentit materiaaliensa suositelluista käyttökohteista. Tieto on kuitenkin hajanaista, eikä se ole päässyt etenemään yksittäisiä henkilöitä pidemmälle, joka implikoi sitä, että jonkinlaisen helpon tiedonvälityskanavan käytön aloittaminen olisi tarpeellista. Tiedon jakamisestakin voi tulla ongelma, sillä opittuja asioita ei usein kirjata muistiin. Olemassa olevia tukimateriaalejakaan ei usein hyödynnetä eikä myöskään muiden tekemiä valmiita ratkaisuja kopioida (Smith et al. 2007), vaikka se olisi täysin hyväksyttyä tai jopa suositeltua ajan sääntämiseksi.

Parhaimpia tapoja tiedon jakamiseen on tarjota selkeät ohjeet käytännöllisessä tietokannassa, josta tarvittavat tiedot voidaan nopeasti poimia (Reddy ja McCarthy 2006). Tietokannan käyttöön sekä materiaalin sisältöön täytyy kuitenkin antaa opastusta, joka tässä tapauksessa tulee olemaan yksinkertainen koulutustilaisuus suurelle ryhmälle, jossa käydään läpi tärkeimmät työn tulokset. Tällä tavoin saadaan järjestettyä muodollinen tilaisuus, joka antaa tiedon ohjeiden olemassaolosta, jonka avulla tieto saadaan organisaatiossa nopeasti liikkeelle. Tämä myöskin avaa mahdollisuuden laajempaan dialogiin, jonka avulla voidaan ohjeita tarvittaessa jatkokehittää.

2.3 Property Driven Development, PDD

Property driven development (PDD) on tuotekehityksen menetelmä, jolla voidaan kehittää tuotetta analysoimalla käyttökohteen todellisia olosuhteita ja valitsemalla näitä ominaisuuksia vastaavat olemassa olevat ratkaisut. Elastomeerien osalta ja tässä työssä erityisesti, tämä tarkoittaa sitä, että juuri tietyn osan sijainnista ja käyttöolosuhteista riippuen tiettyihin vallitseviin olosuhteisiin pitää löytää mahdollisimman sopiva kaupallinen materiaali.

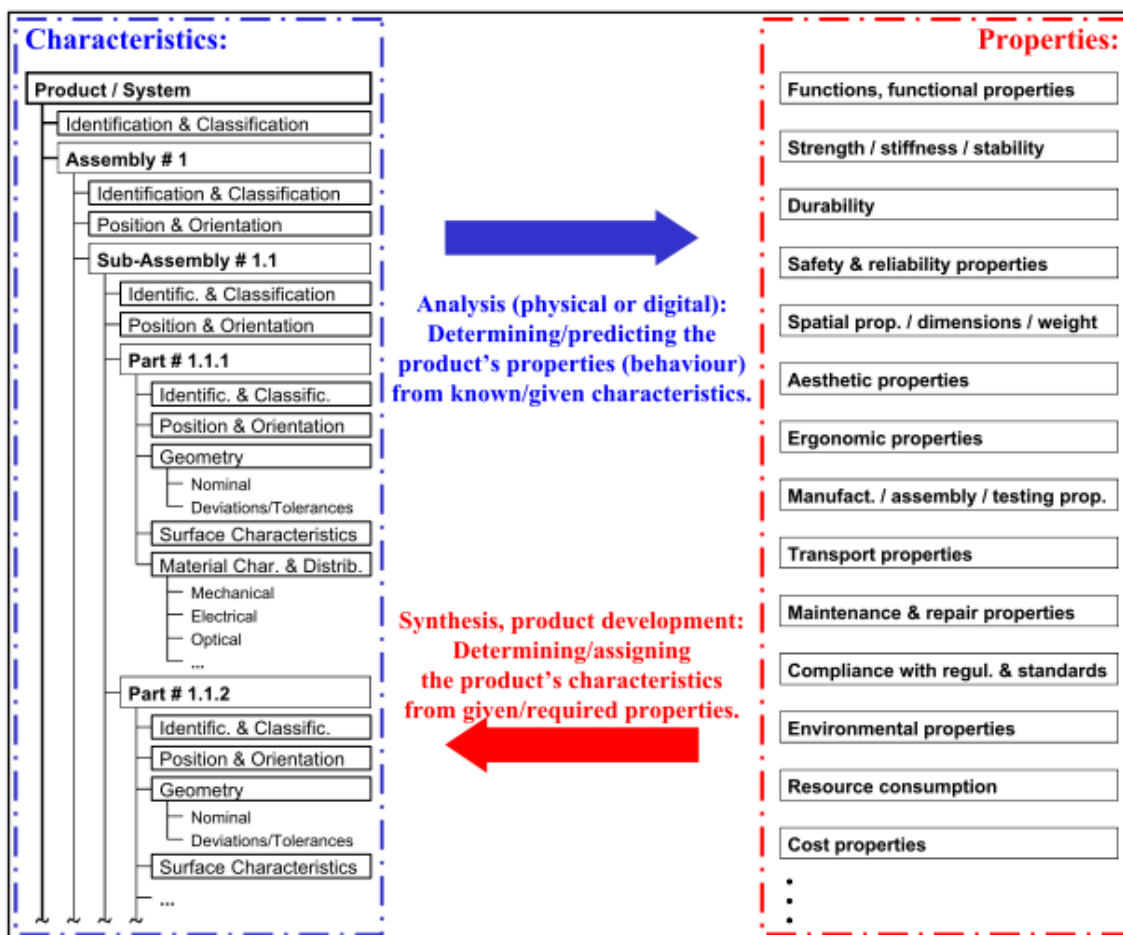
PDD on tuotekehityksen menetelmänä sellainen, että se vaatii paljon pohjatietoa designista ja käyttötilanteista. Ilman tarkkaa tietoa siitä, millaiset ovat vallitsevat tilanteet ja olennaiset ominaisuudet, ei voida PDD menetelmää menestyksekkäästi käyttää, mikä rajaa tämän menetelmän käyttäjiä. Oleellisen tiedon hankkimiseen ovat Hubka ja Eder (1996) esittäneet muutamia menetelmiä, joista tämän työn kannalta merkittävimpiä ovat

- valmiiden ratkaisujen katalogit,
- valmiit suunnittelusäännöt,

- kokemukset ja mittaustulokset,
- standardit ja
- vaatimuslistat.

Näiden tarkoituksena on vastata suunnittelijan kysymyksiin, jotka ilmenevät kehityksen kohdetta tarkasteltaessa tarkemmin.

Elastomeeriosat ovat tyypillinen monisäikeinen ongelma, johon voidaan soveltaa Weberin ja Deubelin (2003) Property-Driven Development / Design (PDD) menetelmää. Tässä kehitysmenetyksessä tuoterakenne jaetaan rakenteellisesti osiin, joka noudattaa käytännössä koneen tuoterakenteen rakennepuuta sekä ominaisuuksiin, joita osilta vaaditaan tai halutaan saavuttaa (kuva 1). Käytännössä ongelmaan kehitetään siis ratkaisu tyypillisten ominaisuuksien kautta, soveltamalla olemassa olevia ratkaisuja vastaamaan ominaisuuksia. Prosessi sinällään on iteratiivinen, sillä sopivia ratkaisuja voi olla useampia kuin yksi.



Kuva 1. Luonteenpiirteet ja ominaisuudet (Weber & Deubel 2003 s. 2)

Ensimmäiseksi täytyy tuotteistosta selvittää tyypilliset rakenteet ja muodostaa hierarkkinen rakenne kaikkine riippuvuussuhteineen. Kun hierarkkarakenne on selvitetty, muodostetaan kokemuksen sekä hiljaisen tiedon avulla ominaisuuskartta, joka kertoo sen, miten elastomeerien ominaisuudet ja todellisten osien luonteenpiirteet korreloivat toisiinsa nähdessä. Tämän jälkeen osien luonteenomaisuudet ja niiden väliset vaikutussuhteet kirjataan,

jotta saadaan selvitettyä, mitä ominaisuuksia osilta todella vaaditaan. Kun sekä luonteenpiirteet että ominaisuudet on selvitetty, tehdään sama prosessi käänteiseen suuntaan, jotta saadaan selvitettyä mikä muoto, materiaali tai olemassa oleva ratkaisu soveltuu parhaiten juuri tähän spesifiin tilanteeseen. Mikäli kumiosalla on useita vaadittuja ominaisuuksia, on suoritettava iteraatiokierroksia, jonka jälkeen vaihtoehtoja punnitaan ja valistuneella arvauksella tehdään lopullinen valinta esimerkiksi materiaalista.

2.4 Design reuse

Yleisesti, tuotteiden elinkaari on ajan saatossa lyhentynyt ja markkinat edellyttävät yhä uudenlaisia ominaisuuksia vanhoilta tuotteilta. Uusia tuotteita ja toimintoja pitäisi siten saada nopeammin markkinoille, jotta pystyttäisiin vastaamaan kysyntään. Projektiluontoisissa yrityksissä ja uusien tuotteiden kohdalla suunnittelun toiminnot saattavat aiheuttaa pullonkaulan, joka aiheuttaa paineita toimitusajan toteutumiselle (Pulkkinen 2007). Tämän suunnittelun pullonkaulan purkamiseen Pulkkinen (2007) esittää kolme tavallista tapaa: ylityöt, toimitusajan pidentäminen ja uusien työntekijöiden palkkaaminen. Nämä eivät kuitenkaan usein ole mahdollisia toimia, jolloin tuotteiden suunnittelun valmistuminen myöhästyy, johtaen tilanteeseen, että jotkin tuotteen ratkaisut tehdään ensin tuotantolinjalla, jonka jälkeen ne dokumentoidaan ja suunnitellaan vasta jälkikäteen.

Vaihtoehtoisesti toimitusajassa pysymiseen voidaan vaikuttaa systemaattisella suunnittelun uudelleenkäytöllä (design reuse), joka on parempi keino tuotteliaisuuden parantamiseen (Pulkkinen 2007). Elastomeerien osalta pyritään pääsemään tilanteeseen, että yleisimmät hankaluudet, joita suunnittelussa esiintyy, ovat dokumentoituja tilanteita, joihin on saatavilla valmiita ratkaisuja. Näin päästään eroon tilanteesta, jossa elastomeeriosien materiaalitiedot sekä muodot täytyisi alusta asti päättää.

Design reusen käyttöön on tunnistettavissa kolme prosessia (Duffy et al. 1995, Duffy & Ferns 1999):

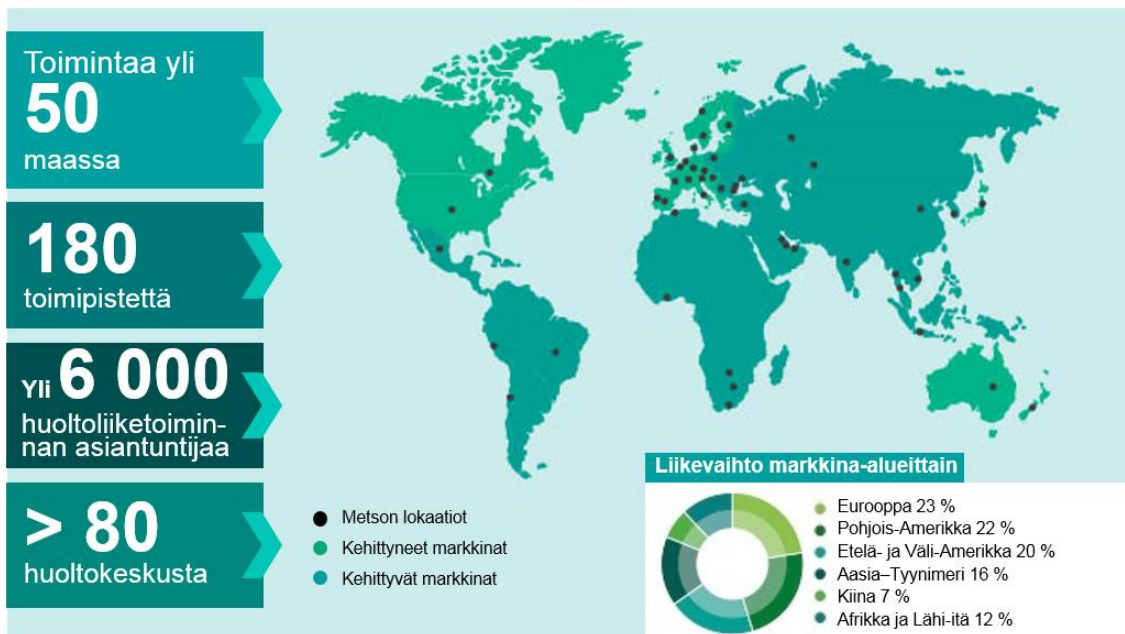
- olemassa olevien uudelleen hyödynnettävien ratkaisujen tunnistaminen,
- uudelleenkäytettävien designien suunnitleminen sekä
- uuden suunnitleminen hyödyntämällä olemassa olevien ratkaisujen pohjalta.

Elastomeeriosien kohdalla näistä toteutuu etenkin olemassa olevien ratkaisujen hyödyntäminen, sillä elastomeeriosien muotoratkaisuja on pyritty aiemmin standardoimaan verraten huonolla menestyksellä. Tavoitteena on ollut vakioida esimerkiksi reikävälejä, joiden saaminen sopivaksi useissa kohteissa, jotka ovat alati muuttuvia, on liki mahdotonta. Siksi tässä tapauksessa pyritään design reusen käytöllä antamaan suunnittelulle vakioituja ylätasen ratkaisuja, joita ei ole laajennettu pienimpiin yksityiskohtiin asti, jättäen ne siis jokaisen suunnittelijan omaan harkinnan varaan. Design reusea siis sovelletaan elastomeerien osalta oikean materiaalien valintaan ja tyypillisten tilanteiden, kuten kumileikkeiden taivutuksien, suositeltuihin toteutustapoihin.

3. YRITYS

3.1 Metso Oyj

Metso Oyj kuuluu kivenmurskauksen, kaivosteollisuuden ja virtauksensäädön johtaviin teollisuusyrityksiin. Metso Oyj on globaali toimija, jolla on toimipisteitä ympäri maailmaa (kuva 1) ja joka palvelee kaivos-, kivenmurskaus-, kierrätys-, öljy-, kaas-, massa-, paperi- ja prosessiteollisuuksia. Metso toimii 51 maassa ja se työllistää yli 11500 henkilöä, joiden keskimääräinen työsuhteen kesto on 9,6 vuotta (Metso Oyj 2017b).



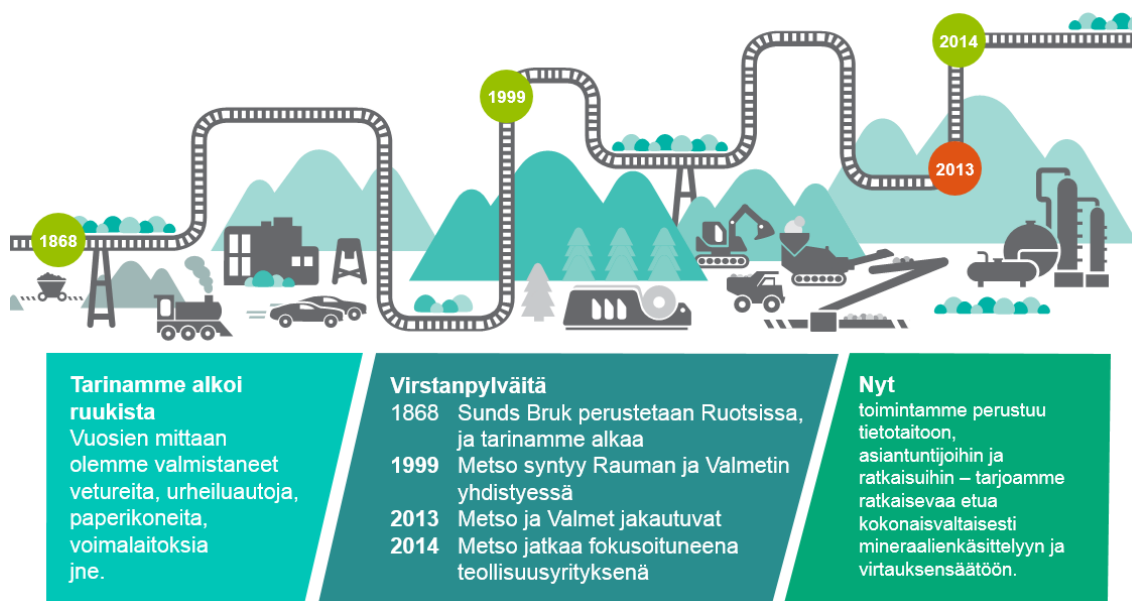
Kuva 2. Metson markkina-alueet (Metso Oyj 2017a)

Metso on jaettu kolmeen liiketoiminta-alueeseen (Metso Oyj 2017b):

- Minerals Capital, liikevaihto 694 milj. euroa
- Minerals Service, liikevaihto 1261 milj. euroa
- Flow Control, liikevaihto 631 milj. euroa

Toiminnoista Minerals Service vastaa teknisistä palveluista sekä varaosista, Minerals Capitalin liiketoiminta-alueella on kivenmurskaus, kaivosteollisuus ja kierrätys ja Flow Control vastaa venttiileistä ja pumpuista. Tämä työ on tehty palvelemaan Minerals Capital liiketoiminta-alueen kivenmurskauslaitosten ja seulojen suunnittelutoimintojen tarpeita.

Metson kehittyminen nykyisenlaiseksi globaaliksi toimijaksi on ollut pitkä ja monivaiheinen prosessi (kuva 2), jonka aikana erilaisten yhdistymisien ja jakautumisien kautta on syntynyt nykyisenlainen Metso.



Kuva 3. Metson muotoutuminen (Metso Oyj 2017a)

Merkittävimpanä lähiaikajakson tapahtumana voidaan pitää Metson jakautumista sekä Valmetiksi että Metsoksi vuonna 2013, jolloin tehtiin päätös keskittyä ydintoiminnan kehittämiseen. Puhuttaessa Metsosta tarkoitetaan tässä työssä, tästä eteenpäin, nimenomaan Minerals segmenttiä ja etenkin Tampereen alueen toimintoja, kuten laitesuunnittelua, mobiilimurskaimien ja -seulojen valmistusta sekä huoltokorjaamon palveluita.

3.1.1 Järjestelmät ja laitteet

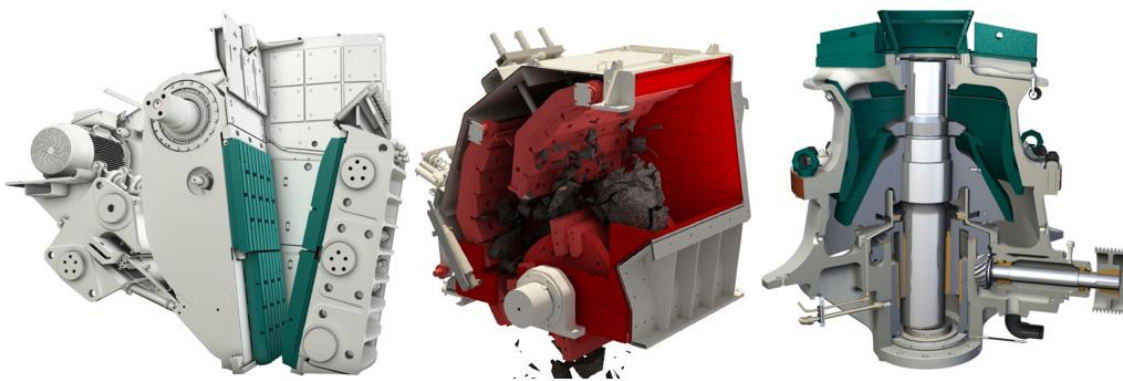
Metso Minerals Capital liiketoiminta-alueen päätuotteita ovat kuljettimet, prosessilaitteet, kivenmurskaimet, seulat, syöttimet, mobiilimurskaimet ja -seulat sekä näihin rinnastettavat palvelut (Metso Oyj 2017b). Metson Tampereen Hatanpään toimipisteessä Lokomonkadulla päätuotteita ovat mobiilimurskaimet ja -seulat. Tässä työssä keskitytään mobiilimurskainten ja -seulojen laitekokonaisuuden laadun kehittämiseen sen sijaan, että paneuduttaisiin vain tietyn koneen yhteen osa-alueeseen.

Mobiiliseulat (ST) ovat tela-alustaisia seulalaitteita, joissa on yksi tai useampitasoinen seula, jonka tarkoitus on erotella eri kiviä toisistaan (kuva 4). Seuloilla tuotetaan haluttua lopputuotetta suoraan luonnon materiaalista, murskatusta aineksesta tai kierrätettävästä massasta. Seulalaitteen toiminta perustuu siihen, että materiaalivirta ohjataan verkkojen läpi, joiden reikäkoot ovat erilaisia ja erimuotoisia halutusta materiaalityypistä riippuen. Reikien läpi pääsee siten vain ne materiaalikoot, jotka halutaan syötemateriaalista erottaa. Verkkoja vaihtamalla voidaan siten vaihtaa prosessituotteen aineskoko, mutta laitteen kokoa kasvattamalla voidaan kasvattaa prosessoitavan materiaalin määrää.



Kuva 4. ST2.8 mobiiliseulan toimintaperiaate (kuvakaappaus: metso.com)

Kiviaines täytyy usein murskata pienemmäksi, jotta sitä voidaan hyödyntää paremmin ja useammassa käyttökohteissa. Mobiilimurskaimet, eli Lokotrakit (LT), ovat tela-alustaisia kivenmurskauslaitteita, joita voidaan tarvittaessa helposti siirtää murskattavan aineksen lähelle. Mobiilimurskaimissa käytetään kolmea murskaintyyppiä riippuen toimintaperiaatteesta: impaktori-, leuka- tai kartiomurskain (kuva 5).



Kuva 5. Leuka-, impaktori- ja kartiomurskain (kuvakaappaus: metso.com)

Impaktori on murskaintyyppi, jossa suurella nopeudella pyörivä roottori murskaa kivilajikkeen raekokoa pienemmäksi, kiviaineksen joko osuessa roottorin iskupalkkiin tai sinkoutuessa seinämää vasten. Leukamurskaimissa kaksiosaisen kidan toinen puoli, eli leuka, liikkuu epäkeskistä rataa, murskaten ainesta pienemmäksi. Leukamurskaimia käytetään usein primäärin vaiheen murskaimina, joten tyypillisesti suuren ja kovan kiviaineksen murskaamiseen käytetään leukamurskainta. Keskivaiheen kivimurskauksessa käytetään kartiomurskainta, jossa kartio pyörii epäkeskistä rataa aiheuttaen kartion ja seinämien välille kiviä murskaavan alueen. Useimpia murskaimia ja seuloja voidaan sijoittaa peräkkäiseksi prosessilaitokseksi, eli junaksi, jolloin syötemateriaalista saadaan murskattua useampia lajikkeita, mikäli asiakkaan tarpeena on tuottaa useita lopputuotteita samanaikaisesti.

4. ELASTOMEERIT

Kivenmurskaimissa ja seulalaitteissa on runsaasti liikkuvia osia ja rajapintoja, joita ei voida jäykästi kiinnittää toisiinsa. Tämän takia muun muassa materiaalivirran hallinnassa käytetään elastomeeriosia (kumi ja kumi-kerami komposiittiosia), joiden avulla materiaalivuodot ja koneen hallitsematon kuluminen estetään. Eri elastomeereistä valmistettuja kumiosia käytetään kivenmurskaimissa ja seuloissa pääosin materiaalin siirtämiseen, koneen suojaamiseen ja tiivistämiseen.

4.1 Elastomeerien ominaisuuksia

Elastomeereilla on monia tyypillisiä ominaisuuksia, kuten muun muassa hyperelastisuus. Elastomeerien kyky taipua, venyä ja puristua ilman plastista muodonmuutosta on erityispiirre, jota voidaan koneenrakenteissa laajalti hyödyntää. Siksi elastomeerit ovat lähes ideaali materiaali sellaisiin käyttökohteisiin, joissa rajatut liikkeet pitää olla mahdollisia, eikä osia siten voida kiinnittää jäykästi yhteen. Elastomeerit ovat myös pintojen väliseen tiivistämiseen erinomaisia, sillä ne kykenevät ylläpitämään tiiveyttä pienistä liikkeistä huolimatta, juuri elastisuuden takia. Käytännössä tässä työssä puhutaan vain muutamasta elastomeerilaadusta, joten tästä eteenpäin voidaan käyttää elastomeereistä yleisesti termiä kumi.

4.1.1 Kumin vanheneminen

Ympäristön vaikutukset ovat vaikeasti hallittavia tekijöitä, joka aiheuttavat kumiosiin vaurioita. Etenkin työkoneissa, joita käytetään ulkona ilmastolta suojaamattomana, on kumiosien vanheneminen usein ongelma. Eri kumimateriaaleille on saatavilla säänkeston vertailuarvoja, jotka ovat tavallisesti mitattu normaalilämpötilassa (20°C). Koneiden todelliset käyttölämpötilat tosin ovat hyvin harvoin normaaleja. Lämpimissä olosuhteissa kumin vanheneminen on nopeaa, sillä kumiosien pintalämpötila saattaa auringon säteilyn vaikutuksesta nousta hyvin korkeaksi. Useimmille kumituotteille on rajattu maksimikäyttölämpötila (noin 70°C), juuri kiihtyneen vanhenemisen ja materiaalin virumisen takia. Lisäksi matalat lämpötilat ovat ongelmallisia, koska kumiosien elastisuus (kumimaisuus) huononee kylmissä olosuhteissa, kunnes saavutetaan lasiintumispiste, jossa kumi muuttuu hauraaksi ja kovaksi. Matalissa lämpötiloissa kumien tiivistyskyky on siis heikentynyt ja laitteen vaurioriski kasvaa. Kylmien lämpötilojen vaikutukset eivät kuitenkaan ole niin suuria, mikäli kone pysyy käynnissä jatkuvasti, jolloin kumin sisäisistä (muodonmuutokset) ja ulkoisista kitkoista (materiaalin liukuminen ja iskeytyminen) johtuva lämmöntuotto ylläpitää kumin elastisuutta, jolloin kumiosa ei pääse vaurioitumaan.

Taulukossa 1 on lueteltuna kumin vanhenemiseen vaikuttavia luonnollisia tekijöitä sekä vanhenemismekanismeja. Tässä työssä käsitellyt kumin vanhenemistekijät ovat käytännössä mekaaninen jännitys ja paine, lämpötila, ilmankosteus sekä UV-valo (otsoni). Ionisoiva säteily ja fluidien vaikutus on tässä työssä merkityksetön, sillä niitä ei esiinny tavallisissa käyttöolosuhteissa. Koneita ei lähtökohtaisesti käytetä ionisoivalle säteilylle alttiissa tiloissa. Fluidien vaikutus on mahdollinen moottorimoduuleissa, joissa niiden vaikutukset suoraan rajaavat mahdolliset materiaalivalinnat.

Taulukko 1. *Kumin vanhenemiseen vaikuttavat tekijät ja mekanismit (Brown et al. 2000)*

Vanhenemistekijä	Vanhenemismekanismit
Lämpötila	lämmöstä johtuva hapettuminen, silloittuminen, sulautuminen
UV-säteily (otsoni)	valosta johtuva hapettuminen
Ionisoiva säteily	säteilyhapettuminen, silloittuminen
Ilmankosteus	hydrolyysi
Fluidit	kemiallinen hajoaminen, turpoaminen, halkeilu
Mekaaninen jännitys ja paine	väsymisvauriot, viruminen, abraasio, painauma yms.

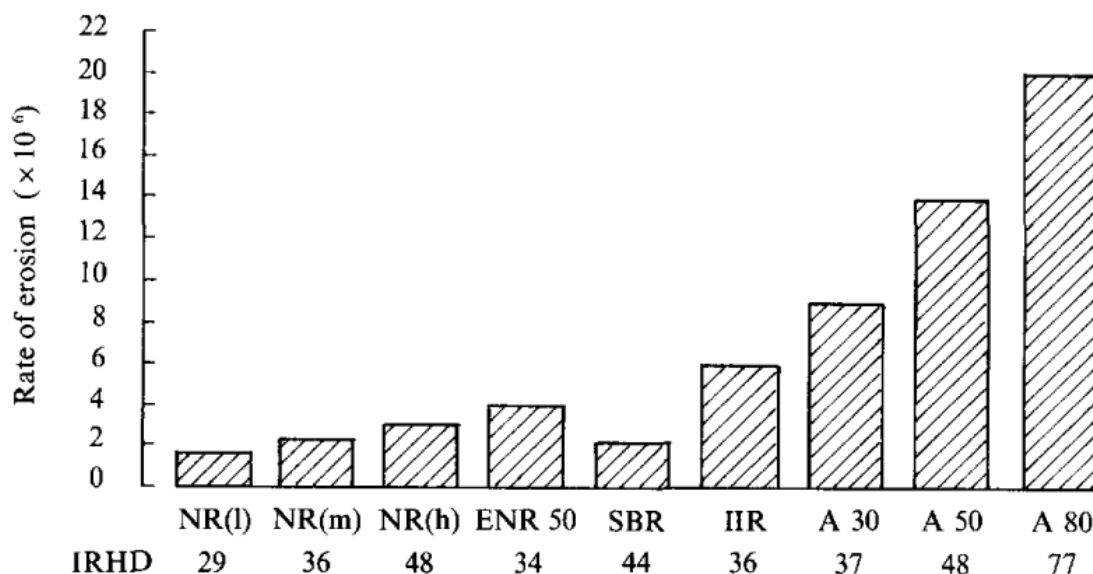
Joissain tapauksissa lyhytaaltainen UV-säteily voi aiheuttaa materiaalivaurioita kumiin, mutta useimmiten vaurion aiheuttaa UV-valon ja ilman hapen yhdistelmästä muodostuva otsoni, joka on haitallista kumeille. Kumin hapettumisprosessi on irreversiibeli, eli palautumaton, joka siis tarkoittaa sitä, että kumille ei enää saada takaisin kertaalleen menetettyjä ominaisuuksia (Brown et al. 2000). Myös ilmankosteuden ja UV-säteilyn yhdistelmä on usein kumimateriaaleille haitallista, vaikka UV-säteilylle tai kosteudelle kumimateriaali olisi yksittäisenä tekijänä vastustuskykyinen (Brown et al. 2000).

Mekaaninen jännitys ja paine yhdistettynä ympäristön vaikutuksiin, aiheuttaa nopeutunutta vanhenemistä. Etenkin, jos kumiosa tai -materiaali on suuren jännityksen alaisena, kuten taivutettuna pienelle säteelle tai puristettuna, kumin jännitystilan ja UV-säteilyn/otsonin vaikutuksesta kumi alkaa säröillä ja halkeilla. Se, kuinka nopeasti säröilyä alkaa tapahtua riippuu kumin kemiallisesta koostumuksesta. Jatkuva jännitys on jo itsessään kumille haitallista. Kumin ollessa pitkiä aikoja vakiojännityksen ja lämpövaihteluiden alaisena, tapahtuu virumista, eli plastista muodonmuutosta, jonka jälkeen kumiosa ei ole kykenevä palautumaan alkuperäiseen muotoonsa, huolimatta siitä, että kumin palautumiskyky alkuperäiseen muotoonsa on yleensä erinomaista.

4.1.2 Kumit koneensuunnittelussa ja lisäaineiden vaikutus

Kumit jaetaan koneensuunnittelun näkökulmasta materiaaleihin ja kovuusluokkiin. Styreenibutadienikumi (SBR), luonnonkumi (NR), sekä öljynkestävä nitrilikumi (NBR) ovat tyypillisiä koneenrakennuksessa käytettäviä kumimateriaaleja. Kulutusta kestäviä NBR-kumeja käytetään usein vain sellaisissa kohteissa, joissa kumi saattaa olla kosketuksissa fluidien, kuten öljyn ja rasvan, kanssa. SBR- ja NR-kumeja käytetään tavallisesti

kulutuskestävyyttä vaativissa kohteissa, sillä niiden kulutuksenkestävyys on erinomaista, kuten kuvasta 1 nähdään.



Kuva 6. Eroosionopeus $120\mu\text{m}$ partikkeleilla, 30° iskukulmalla ja 50 m/s nopeudella (Arnold et al. 1991)

Kuvasta 6 havaitaan, että etenkin pehmeä *NR(l)* sekä *SBR* ovat kulumiskestävyydeltään erinomaisia suorassa eroosiokulumisessa. Mielenkiintoista eroosiokulumismittauksessa on se, että yleisesti kulumista kestävä materiaalina pidetty polyuretaani (Kuvassa 1: A30, A50 ja A80) ei ole kovinkaan hyvä iskeytyvässä eroosiokulumisessa.

Kumien kovuutta mitataan Shore A tai normaalilla IRHD asteikoilla. Mitta-asteikon perusosaltaan (35 – 85 IRHD) nämä kummatkin käytännössä vastaavat toisiaan, mutta mitaustapa on erilainen. Shore A kovuusmittauksessa mittatyökalun kärki on terävän kartion muotoinen, kun taas IRHD mittavälineen kärki on pallon muotoinen (Morgans et al. 1999). Lisäksi testauksessa käytetyt voimat, testiajat ja testausprosessit ovat erilaiset (Morgans et al. 1999). Tässä työssä käytetään Shore A asteikkoa, sillä se on kovuusyksikkönä mekaniikkasuunnittelussa yleisemmin tunnettu.

Koneenrakennuksessa yleisesti käytettyjen kumien kovuudet ovat välillä 35-65 Shore A. Muitakin kovuuksia käytetään, mutta ei läheskään niin usein, sillä mikäli tarvitaan lievästi kovempaa materiaalia, käytetään tavallisesti muovia. Toisaalta vaativimpiin tarkoituksiin voidaan valita vahvikkeellinen kumi, jossa on yksi tai useampia polyesteri / polyamidi tai muusta vastaavasta materiaalista valmistettu verkkomainen vahvikekerros. Vahvikekerrokset vaikuttavat myös kumilevyn repimis- ja vetolujuuteen.

Kumien kovuutta, kulutuksen- ja säänkestävyyttä voidaan säätää täyte- ja lisäaineilla. SBR kumien täyteaineena käytetään yleensä hiilimustaa, jonka päätehtävä on kasvattaa

veto- ja repimislujuutta (Donnet et al. 2013). Hiilimustaa lisäämällä saadaan parannettua kumin kulumisenkesto ja muita mekaanisia ominaisuuksia. Lisäksi hiilimusta antaa SBR kumille sen tyypillisen mustan värin. Hiilimusta voidaan korvata toisella täyteaineella, mikäli kumimateriaalista halutaan edullisempaa. Korvaavana aineena käytetään usein savea, jonka ominaisuudet kumin eivät ole läheskään yhtä hyvät kuin hiilimustalla. Kun savea käytetään hiilimustan korvaajana, kasvaa myös kumimateriaalin tiheys, joka siten näkyy suoraan myös painossa. Myös veto- ja repimislujuusarvot huononevat, mutta Shore A kovuus pysyy samana. Sillä kovuus saadaan pysymään samana täyteaineesta huolimatta, on olemassa riski, että edullisemman hinnan takia siirrytään käyttämään ominaisuuksiltaan heikompaa SBR kumia, joka ei sovellu käyttökohteeseen riittävän hyvin, jos materiaalia ei ole spesifioitu muuten kuin kovuuden osalta.

Muilla kumin lisäaineilla pyritään vaikuttamaan kumin vanhenemis-, vulkanisointi-, plastisoitumis- ja erikoisominaisuuksiin. Lisäaineet ovat passiivisia, eivätkä siten vaikuta suoraan itse kumin mekaanisiin ominaisuuksiin, kuten kovuuteen, vaan lähinnä kumin ominaisuuksien säilyvyyteen ja saavuttamiseen. Tärkeimmät lisäaineilla saavutetut ominaisuudet tämän työn kannalta ovat lämpöä, UV-säteilyä, hapettumista ja otsonin vaikutuksia vastaan toimivat lisäaineet.

4.1.3 Kumin varastointi

Kumin oikeanlaisesta varastoinnista on olemassa standardeja, joista yleisimmin käytetään ISO 2230:2002 standardia. Tämä standardi määrittää sen, millaisissa olosuhteissa kumia tulisi säilyttää, jotta sen elinikä olisi pisin mahdollinen ja ominaisuudet pysyisivät mahdollisimman muuttumattomina.

Standardia ISO 2230:2002 mukaillen, voidaan listata varastointivaatimuksia, joita tulisi tuotannossa noudattaa, että kumituotteiden säilyminen olisi paras mahdollinen:

1. Kumimateriaalin valmistajan ohjeita on noudatettava
2. Käsittele kumimateriaaleja hyvän teollisuushygieenian periaatteiden mukaisesti
3. Kumimateriaaleilla on yhden (1) vuoden varastointielinikä
4. Kumimateriaalit on säilytettävä alkuperäisissä pakkauksissaan
5. Varastointilämpötilan tulee olla 25°C ja 15°C välillä. Mikäli kumia varastoidaan alle 15°C lämpötilassa, tulee kumien antaa lämmitä kauttaaltaan noin 30°C ennen käyttöä
6. Varastointitilan suhteellinen ilmankosteus tulee olla < 70% ja mikäli tilassa varastoidaan myös polyuretaanituotteita niin < 65%. Varastointitilassa ilmankosteuden kondensoitumista ei sallita
7. Kumimateriaalit tulee säilyttää pimeässä ja valolta suojattuna. Kumimateriaaleihin ei saa kohdistaa suoraa auringonvaloa tai voimakkaita keinotekoisia valoja, joissa on korkea UV-pitoisuus
8. Kumimateriaalit tulee suojata ionisoivalta säteilyltä
9. Varastotila ei saa sisältää laitteita, jotka kykenevät tuottamaan otsonia. Varastointitilan täytyy olla myös pakokaasuton eikä orgaanisia höyryjä saa esiintyä

10. Kumeihin ei saa kohdistaa jännitystä, puristusta tai muodonmuutosta varastoitaessa
11. Kumimateriaalit eivät saa olla kosketuksissa erilaisten nesteiden tai puoli-juoksevien aineiden (kuten öljyt, rasvat, hapot) kanssa
12. Kontaktit metallien kanssa on estettävä, jollei kumi ole jo metalliin liitettyä
13. Eri kumilaadut on säilytettävä erillään toisistaan
14. Kumimateriaalivarastoja tulee kierrättää hyvien teollisuuskäytäntöjen mukaisesti

Mikäli näitä 14:a kohtaa noudatetaan mahdollisimman tarkasti, voidaan varmistua siitä, että kumin vanhenemista ei pääse tapahtumaan ennen kuin materiaali on todellisessa loppukäytössä. On kuitenkin huomioitava, että mikäli kyseessä on varastoitava osakokoonpano tai muu kokonaisuus, jossa käytetään kumiosia, tulisi noudattaa samoja sääntöjä kuin pelkkää materiaalia varastoitaessa. Tämä on usein kuitenkin tilarajoitteiden takia mahdotonta, joten osat, joissa on käytetty kumiosia, tulisi esimerkiksi kääriä mustaan UV-suojattuun kutistemuoviin tai vastaavaan, jotta materiaalin ominaisuudet saadaan säilytettyä riittävän hyvinä. Näin varmistuttaisiin siitä, että kumiosat pysyvät kunnollisina loppukokoonpanoon ja koneen myyntiin asti.

4.1.4 Kumin käsitleminen

Kumeja tulisi käsitellä hyvien teollisuuskäytäntöjen mukaisesti, kuten kierrättäen kumivarastoja esimerkiksi First In First Out (FIFO) periaatteen tavoin, jotta saadaan kumiosat käytettyä tehokkaasti ja mahdollisimman hävikittömästi. Lisäksi kumimateriaalit täytyisi leikata oikeisiin muotoihin oikeilla menetelmillä.

Kumimateriaaleihin pätee samat säännöt kuin teräsrakenteissa. Kumeja ei tulisi leikata sellaisiksi, että niissä on reunoissa lovia tai muita epäjatkuvuuskohtia. Lisäksi, jos kumissa on kulmia, tulisi ne pyöristää riittävällä säteellä, että kumiin kohdistuvat voiman jakautuisivat suuremmalle alalle. Terävät kulmat ja lovet ovat tyypillisesti ongelmallisia kivenmurskaus ja muun materiaalikäsitteilyn koneissa, sillä nämä laitteet ovat usein jatkuvan värinän alaisena. Tästä johtuen säröt ja lovet alkavat nopeastikin laajeta, jolloin osat tai rakenteet saattavat murtua ennenaikaisesti.

Kumeja leikatessa tulisi kiinnittää suurta huomiota leikkauspinnan tasalaatuisuuteen. Lovien ja muiden leikkauspinta- tai mittapoikkeamien muodostuminen pitäisi pyrkiä estämään. Usein näitä ongelmia ei ole, sillä koneiteollisuudessa on tavallista, että myös kumituotteet leikataan joko vesileikkaus- tai koneistuskeskuksella suoraan suunnittelijalta saattujen mittojen ja viivapiirrosten (DXF) mukaisesti. Joillakin toimijoilla ei kuitenkaan ole mahdollisuutta tuottaa kumiosia NC-koneistuskeskuksilla, joten he tyypillisesti leikkaavat kumiosat käsin esimerkiksi mattoveitsellä. Tämä ei ole kuitenkaan hyvän laatu- tai työturvallisuuskäytäntöjen mukaista, sillä kumeja tulisi leikata oikeilla menetelmillä, kuten myös metalliosien, jo turvallisuussyistä. Huoltotilanteissakin kumiosien leikkaaminen tulisi suorittaa kyseiseen tehtävään tarkoitettulla välineellä, kuten paineilmaleikkurilla.

4.2 Kuluminen kivenmurskauksessa

Kivenmurskauslaitteiden kuluminen on suurimpia käyttökuluja polttoainekustannusten ohella. Kulumista tapahtuu käytännössä kaikkialla kivenmurskaimissa, sillä vaikka osa ei olisi suoraan kosketuksissa materiaalivirran kanssa, on se jatkuvasti alttiina pölylle ja materiaalivirran vuodoille. Teräsrakenteita suojataan materiaalivirran vaikutuksilta erilaisilla kulutusosilla, kuten metallisilla suurlujuusteräs- eli kulutuslevyillä ja kulutuskumiosilla, joita tässä työssä ensisijaisesti tarkastellaan.

Kumimateriaalien kulumisesta voidaan tunnistaa kaksi eri päätyyppiä: mekaaninen kulutus ja yleinen kumin molekyyllitasoinen hajoaminen (Fukahori & Yamazaki 1995). Kumin mekaaninen kuluminen on tyypillisesti kumin käyttökohteesta riippuvaa abrasiivista kulumista. Molekyyllitasoinen hajoaminen johtuu yleisimmin ympäristöstä, kuten otsonin, UV-valon, lämmön vaikutuksesta sekä näiden kaikkien yhdistelmästä. Molekyyllitasoinen hajoaminen hoidetaan lisäaineilla ja niiden yhdisteillä, joten tässä työssä ei ole mielekästä tarkastella niiden toimintaa.

Kivenmurskaimen kumiosien mekaaniselle kulumiselle voidaan tunnistaa tyypillisiä kulumisen vuorovaikutuspareja riippumatta siitä, missä päin konetta kumiosa sijaitsee:

- Kuluminen ja kitka,
- kuluminen ja materiaalin muoto sekä kovuus,
- kuluminen ja karkean materiaalin pitoisuus,
- kuluminen ja iskukulma sekä -korkeus,
- kuluminen ja ääni,
- kuluminen ja materiaalin liikenopeus ja
- kuluminen ja materiaalikapasiteetti.

4.2.1 Kuluminen ja kitka

Kitkasta johtuva kuluminen on etenkin kuljettimissa ongelma. Kuljetinhihnojen ja tiivistyskumien välillä on kitkainen kontakti, josta aiheutuu esimerkiksi lämpöä. Etenkin uusissa tai uusituissa kuljettimissa adheesiosta johtuva kuluminen ja materiaalin irtoaminen ovat ongelmallisia. Puhtaat kumipinnat lähes vulkanoituvat toisiinsa kiinni koekäytössä syntyvän kitkalämmön takia, joten kun kuljetinta koekäytetään uudelleen, materiaalia saattaa repeytyä irti esimerkiksi kuljetinhinnan pinnasta. Tätä ongelmaa ei juuri esiinny käytössä olevissa kuljettimissa, sillä tällöin kuljetinhinnan ja tiivistyskumien välillä on pöly- ja muita partikkeleita, jolloin kulumismekanismi on erilainen eikä yhtä merkittävää adheesiota synny. Kuljetinhihnojen kulumista ei haluta tapahtuvan ennen kuin se on käytöstä johtuvaa, joten kulumiselta on pyritty suojautumaan käyttäen saippualiuosta tai silikonisprayta, joita ruiskutetaan kontaktipintojen väliin kitkan pienentämiseksi. Kemikaalit ovat SBR ja NR kumeille haitallisia ja aiheuttavat kumin turpoamista (Metso Oyj, 2012), mutta tätä ei yleensä tapahdu, mikäli koekäyttöliuoksen kemikaalipitoisuus (silikonin etenkin) on riittävän pieni.

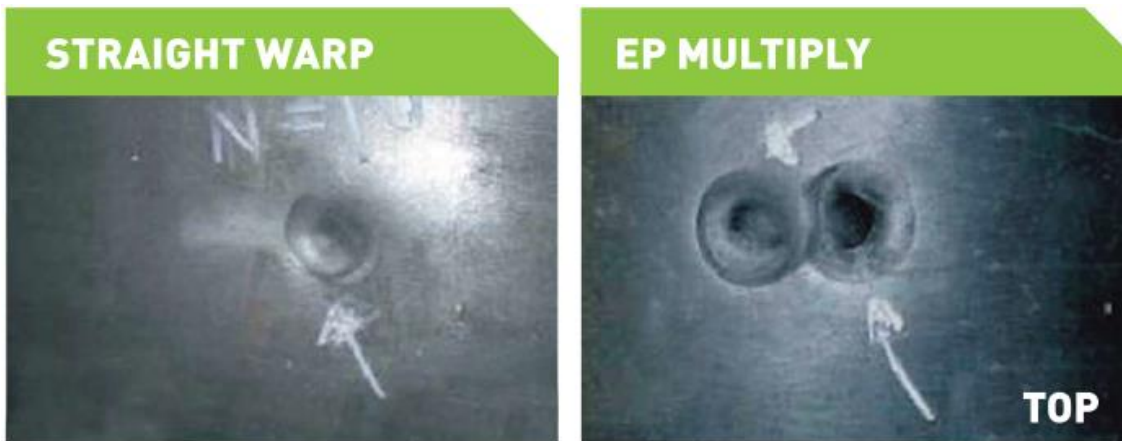
Kitkasta johtuvaa kulumista voidaan hallita myös materiaaleilla. Tiivistyskumit voivat olla esimerkiksi polyuretaanilevyä, jolloin hihnan ja tiivistekumin välinen kitkakerroin on pienempi. Tiivistyskumit eivät myöskään saisi olla liian kovaa materiaalia, jotta ne eivät pureudu pehmeämpään, tyypillisesti hyvin kalliiseen, kuljetinhihnaan. Myös vahvikkeellisten kumien käyttöä tulisi välttää tiivistyskumeina, sillä mikäli kumi pääsee kulumiaan siten, että pehmeä pintakumikerros on kulunut loppuun, pureutuu vahvikekerros nopeasti kuljetinhihnaan.

4.2.2 Kuluminen ja materiaalivirta

Kumiosien kuluminen riippuu suurelta osin kivenmurskausprosessin materiaalivirrasta, sillä osien välisen adheesion osuus kulumisesta on pölyn ja muun lian takia, materiaalivirtaan vaikutuksiin verrattuna, lähes merkityksetön. Kumien ennen aikainen vaurioituminen kivenmurskauslaitteissa on monen asian summa, sillä kiviaineksen koko, karkeus ja muoto sekä materiaalivirran liikenopeus, kapasiteetti, iskukulma ja iskunopeus vaikuttavat kaikki osaltaan kulumiseen ja kulumisnopeuteen.

Kumiosien kuluminen riippuu osin siitä, millaista materiaalia materiaalivirrassa on. Kiven koko ja siten myös muoto sekä kovuus ovat kulumiseen vaikuttavia tekijöitä. Yleisesti voidaan todeta, että mitä kovempi ja suurempi kiviaines on kyseessä, sitä kovempaa kulutusta kestävä kumi tulisi käyttää. Murske, liete ja hiekka ovat tavanomaisimmat kulutusta aiheuttavia materiaaleja, jotka vaativat kumiosilta erityisen paljon kulutuskestävyyttä. Mutta mikäli kiviaines on hyvin hienoa, ei kumiosien välttämättä tarvitse olla 60 Shore A kovuista, vaan myös 40 Shore A tai pehmeämpi saattaa olla soveltuvaa, kunhan huolehditaan siitä, että itse materiaali on kulutusta kestävä, kuten SBR- tai NR-kumia.

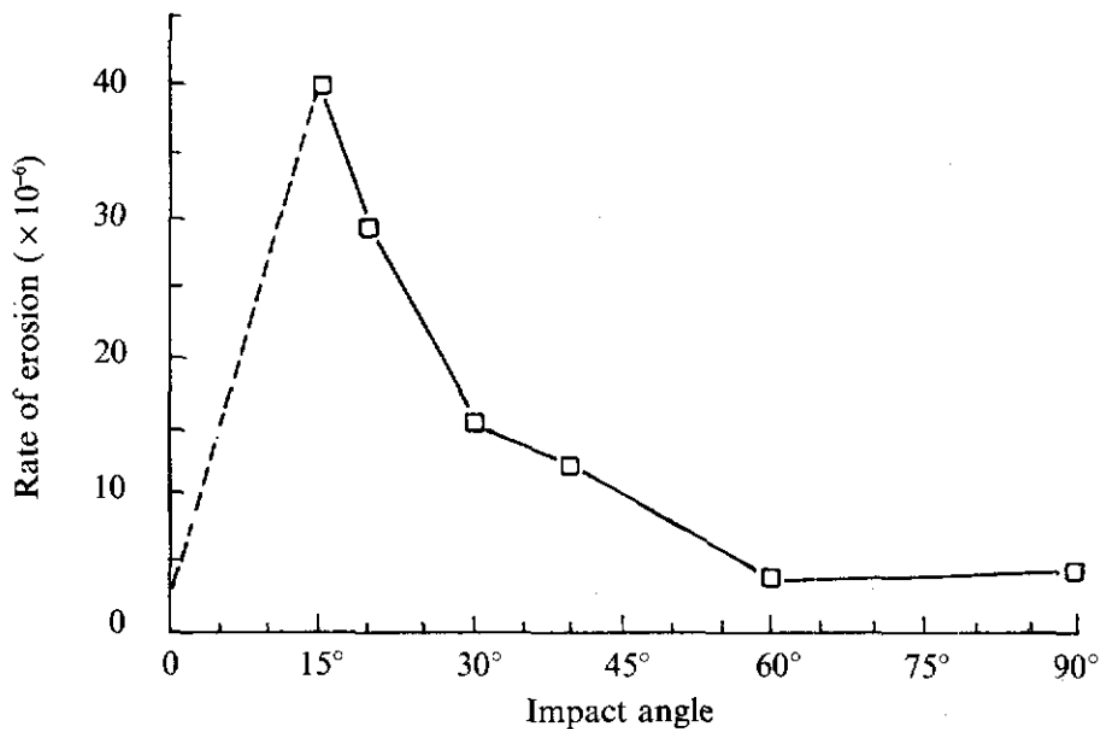
Kulutuskumien paksuus on verrannollinen materiaalivirran kiviaineksen kokoon ja karkeuteen. Jos kumiosa on liian ohutta, repeytyy se kiviaineksen siihen kohdistamasta voimasta. Tämä johtuu siitä, että kumimateriaalilla ei ole tällöin riittävä paksuutta, jotta se pystyisi absorboimaan tarpeeksi energiaa, vaan iskuenergia pääsee heijastumaan taustamateriaalista takaisin, joka johtaa siihen, että kumi leikkaantuu tai säröytyy. Mikäli kumi taas olisi riittävän paksua materiaalivirtaan nähden, kumista ei todennäköisesti pääsisi irtoamaan materiaalia kumin sitkeyden ja riittävän elastisuuden takia. Sama leikkaantumisongelma tulee vastaan myös, mikäli materiaalivirran iskukorkeus on korkealla, jolloin kumilta vaadittu absorbtioenergian suuruus kasvaa ja iskuvoima pääsee repimään kumista palasia (kuva 7).



Kuva 7. Smiley Monroen kuljetinhihnan iskukoe (Smiley Monroe Ltd 2017)

Kuvassa 7, Smiley Monroen tekemässä kahden eri vahvikekerrostyyppin iskunkestävyyden vertailussa, kumimateriaalia on irronnut iskun seurauksena (Smiley Monroe Ltd 2017). Vastaavanlaista irtoamista tapahtuu myös kumin ollessa liian ohutta, jolloin iskun tapahtuessa jäykkä taustarakenne aiheuttaa kumin elastiselle deformaatiolle ylisuuren jännitystilan.

Iskukulma jolla materiaalivirta osuu kumiosaan, on erittäin merkittävä kulumistekijä. Kumiosaan iskeytyvän aineksen vaikutuksesta kumista irtoaa abraasion takia partikkeleja. Iskukulman pienetessä kumin kyky absorboida iskuenergiaa, eli kyky joustaa sitkeästi iskujen vaikutukset, heikkenee, kuten kuvasta 6 nähdään.

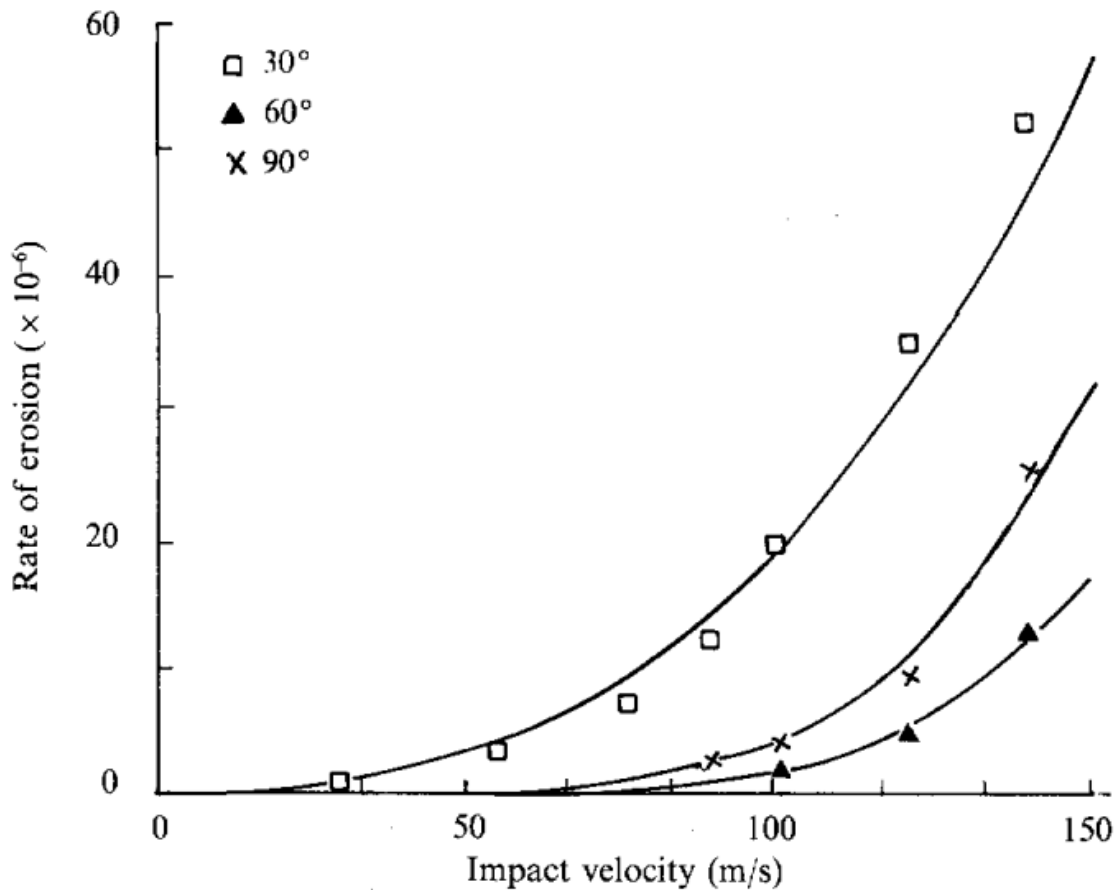


Kuva 8. Luonnonkumin eroosionopeus iskukulman funktiona (Arnold et al. 1991)

Kuvan 8 perusteella havaitaan, että iskukulman tulisi olla kumimateriaalin kestävyys kannalta 50°-90° välillä. Tällöin materiaali pystyy vastaanottamaan iskuenergian ilman,

että kumiosan materiaalihukka on normaalista poikkeavaa. Pienemmillä iskukulmilla (<50°) materiaalivirta saa aikaan kumin pinnassa materiaalin leikkaantumista, josta johdun kumi kuluu nopeammin.

Kumiosien kulumisnopeus on myös materiaalivirran liikenopeudesta riippuvainen, kuten kuvasta 9 nähdään. Kuvassa on havainnollistettu myös iskukulman vaikutusta eroosionopeuden tasoon, kuten kuvassa 8.



Kuva 9. NR kumin eroosion nopeus iskunopeuden funktiona (Arnold & Hutchings 1991)

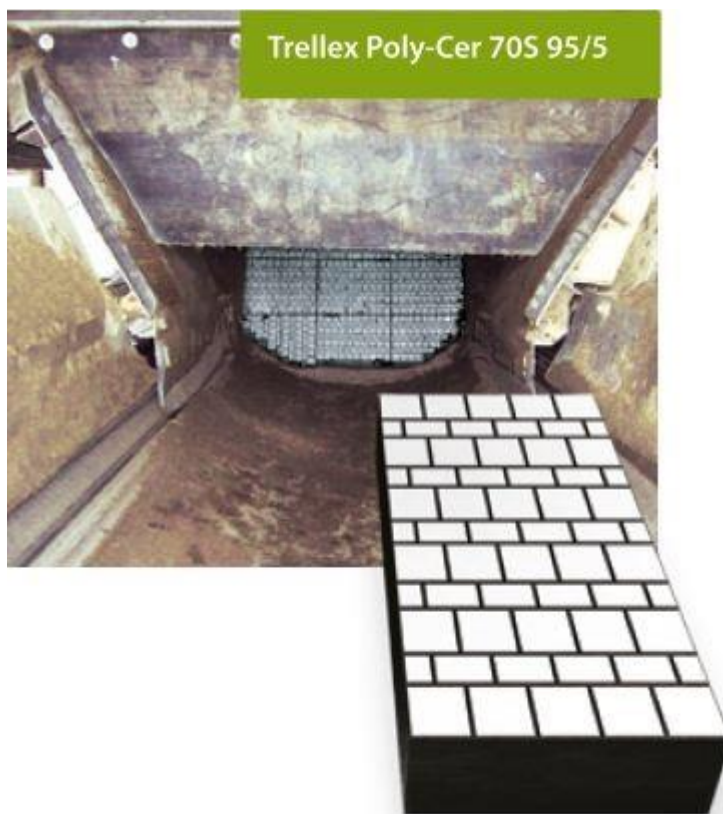
Kuten yleisesti voidaan olettaa, kuvasta 9 havaitaan, että iskunopeuden kasvaessa kulumisnopeus kasvaa. Tämä johtuu siitä, että voima, jonka partikkeli kohdistaa kumiosaan, noudattaa samaa kineettisen energian periaatetta kuin muutkin materiaalit, eli iskuenergia

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2,$$

missä massan m pysyessä vakiona, nopeuden v kasvu kasvattaa energiaa toiseen potenssiin. Siten kuluttajapartikkelin nopeuden kasvu näkyy eksponentiaalisena kulumisen tason kasvuna (kuva 9). Kulumisen kiihtyminen on erityisen voimakasta kulumiskulman ollessa alle 50°. Lisäksi iskukulman ollessa loiva, kulumisen kiihtyminen on voimakkaampaa jo pienemmillä partikkelinopeuksilla.

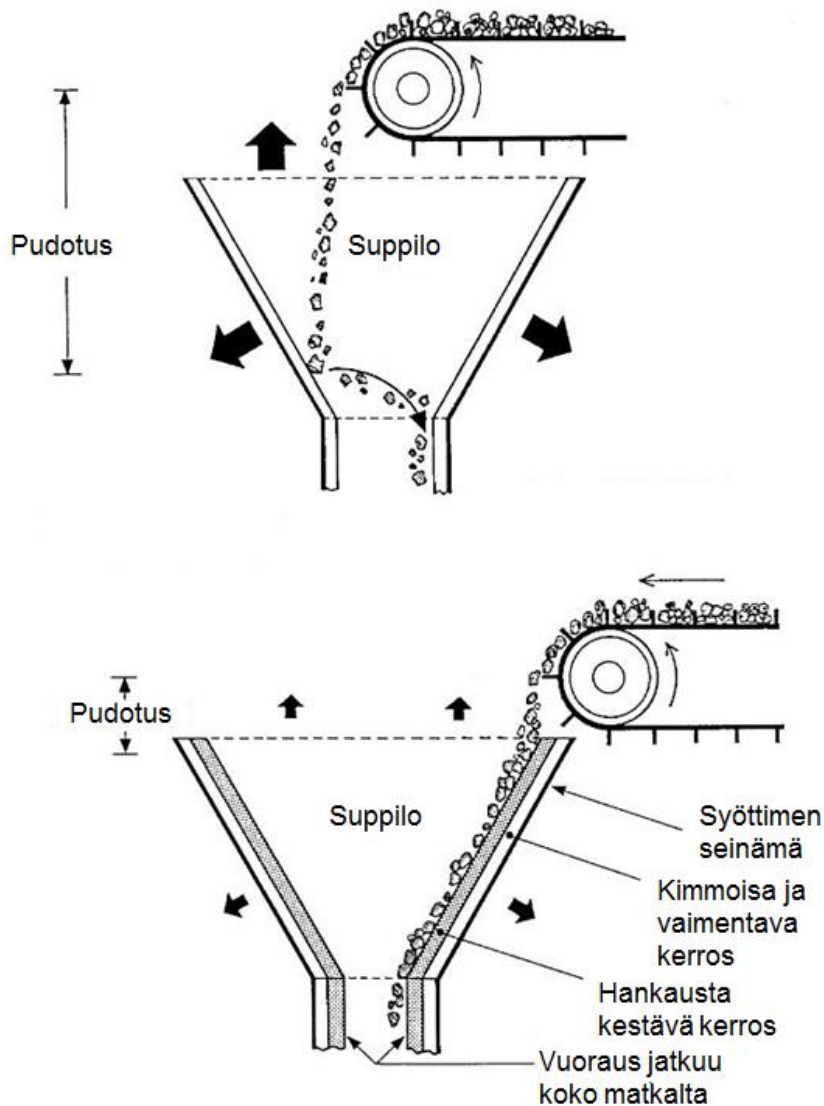
4.2.3 Kuluminen ja ääni

Kivenmurskauslaitteissa suppilot yleensä vuorataan teräksisillä kulutuslevyillä, jotka ovat materiaaliominauksiltaan erittäin sitkeitä, eli tyypillinen myötöraja on yli 1000MPa. Teräksisten kulutuslevyjen etuna kumimateriaaleihin nähden on hinta ja saatavuus, jotka ovat erinomaisia ympäri maailmaa. Teräksisten kulutuslevyjen heikkous on äänentuotossa, joka johtuu teräslevyn kyvyttömyydestä absorboimaan iskuenergiaa. Teräslevyt eivät myöskään välttämättä kestä niin kauaa, kuin jokin muu vaihtoehtoinen materiaali. Kulutuspinnot voidaan myös vuorata kumisilla tai komposiittirakenteilla.



Kuva 10. Metso Trellex® Poly-Cer 70S 95/5 (Metso AB, 2017)

Kuvassa 10 on Metson esimerkki vaihtoehtoisesta kulutuslevyrakenteesta, joka on kumista ja keraamista muodostettu komposiittirakenne. Keraamiosien tarkoitus vastaanottaa materiaalivirran abraasio ja kumin tehtävänä on absorboida iskuenergia, jolloin saadaan hyödynnettyä molempien materiaalien parhaimmat ominaisuudet. Etenkin seulakoreissa, syöttimissä ja suppioloissa tapahtuvat materiaalin iskeytymiset aiheuttavat ääntä, jota on pyrittävä pienentämään etenkin kaupunkialueella tai sen läheisyydessä. Murskausprosessi kaupunkialueella vaatii usein ympäristöluvan, joka edellyttää tietyn äänenpaine-tasoehdon täyttymistä. Tiukentuvien ympäristölupien takia myös murskausprosesseja täytyy kehittää, joka on johtanut siihen, että kivenmurskaimia vuorataan kulutuslevyille vaihtoehtoisilla materiaaleilla eli kumeilla, joiden etuina on parempi äänen ja värähtelyn absorptiokyky (Austrell, 1997).



Kuva 11. Materiaalin syötön vaikutus ääneen (Hansen & Goelzer 1995 s. 255)

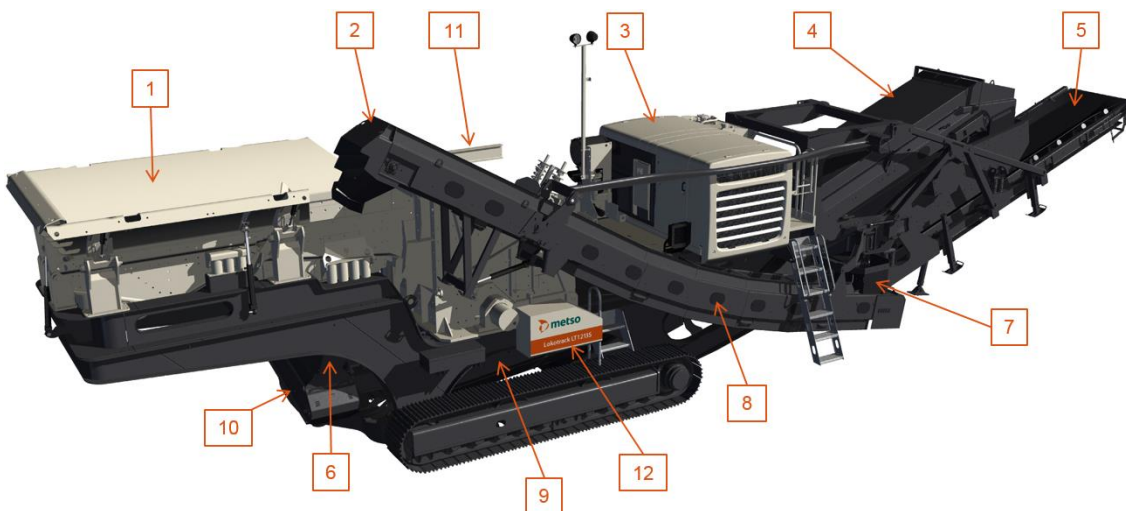
Lisäksi rakenteellisilla ratkaisuilla voidaan vaikuttaa ääneen, kuten kuvasta 11 nähdään. Materiaalin pudotuskorkeus vaikuttaa iskuenergian suuruuteen, joka havaitaan äänenä. Mikäli materiaalin virtaus kohdistetaan siten, että pudotuskorkeus on mahdollisimman pieni, saadaan vaikutettua äänen tuottoon. Lisäksi esimerkiksi suppilot voitaisiin vuorata kimmoisalla ja iskuenergiaa absorboivalla materiaalilla, joka voidaan päällystää toisella kovemmallalla kerroksella, mikäli materiaalin virtaus on järjestetty sellaiseksi, että se on enemmän liukuvaa kuin iskevää liikettä (kuva 11). Tämä pienentäisi osaltaan ääni-impulssien syntymistä.

4.3 Kumin merkitys kivenmurskaimissa

Kumiosia ei yleensä mielletä sellaisiksi, että ne osallistuisivat suoraan kivenmurskausprosessiin. Tämä pitää tavallaan myös paikkansa, sillä itse kiven murskaamiseen kumi ei yleensä osallistukaan, mutta murskatun ja murskaamattoman materiaalin siirtämiseen

kumi on kriittisessä roolissa. Materiaalin liikuttamiseen joudutaan käyttämään kuljetin- hihnoja, jotka ovat tavallisesti kumista valmistettuja, vaikka toki myös metallilamelleista tehtyjä hihnarakenteita on etenkin syöttimissä käytössä. Lisäksi kumiosia käytetään koko koneen tiivistämiseen ja materiaalivirran hallintaan. Yleinen käytäntö tuntuu kivenmurs- kaimia suunnitellessa olevan sellainen, että kumimateriaalien ominaisuuksiin ei pereh- dytä joko ollenkaan tai sitten tyydytään jo olemassa oleviin ratkaisuihin.

Kumiosat ovat olennainen osa konerakenteen kokonaisuutta, eikä laite yleensä toimi toi- votulla tavalla ilman, että kumiosatkin ovat kunnossa. Etenkin koneen tuottaman ainek- sen laatuun kumiosat vaikuttavat, sillä kumiosien avulla pystytään vaikuttamaan siihen, että materiaalivirrat eivät pääse sekoittumaan. Etenkin seuloissa eri kivilaatujen sekoittu- minen on suuri ongelma, sillä jos eri laatuja (tai kiviä) pääsee sekoittumaan, joutu- taan materiaalinkäsittelyprosessi pahimmillaan aloittamaan alusta. Oikeilla kumiosilla voidaan estää materiaalivirtojen sekoittuminen, sillä hyvälaatuinen kumi kykenee estä- mään vuodot pitkän aikaa, mikäli koneen konstruktio on tähän suotuista. Jos kumi pääsee rikkoutumaan heti ensimmäisillä koneen käyttökerroilla, koneen tuottaman loppumateri- aalin laatu heikkenee ja siten myös koko koneen laatuvaikutelma huononee.



Kuva 12. LT1213S kumiosien sijainti

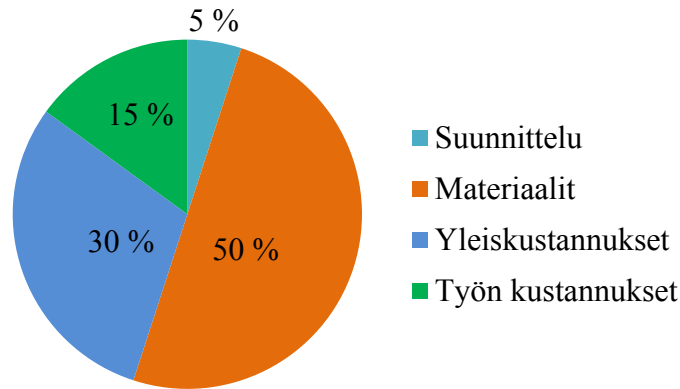
Esimerkiksi Metson LT1213S koneessa (kuva 12) kumiosia on runsaasti ja näillä kaikilla osilla on käyttötarkoitus. Ilman näitä kumiosia koneen tuottaman materiaaliaineksen laatu olisi merkittävästi huonompaa, sillä eri lajikkeita olisi mahdollisesti sekoittunut toisiinsa. Jokaisella kumiosalla on käyttökohteesta riippuen tyypillisiä piirteitä, kuten iskevä kulu- tustilanne, joita kumiosien on kestettävä. LT1213S:n kumiosille voidaan tunnistaa kuvan 12 numeroinnin avulla tyypillisiä luonteenpiirteitä, jotka ovat listattuna seuraavaan tau- lukkoon (taulukko 2).

Taulukko 2. *LT1213S kumiosat käyttökohteineen ja erityispiirteineen.*

Nro	Moduuli	Komponentti	Erityispiirteet / vaatimukset
1	Syötin	Nivelsuojat, kuljetinkumit, jousisuoja	Suuri iskuvoima, abrasiivinen materiaalivirta
2	Paluukuljetin	Hihna, tiivistyskumit, iskupalkit, purkukouru, pölysuoja	Tiiveys, keveys, säänkesto
3	Moottorimoduuli	Tärinäeristin, letkut, suojakumit	Öljyn ja liuottimien kesto, lämpö
4	Seulamoduuli	Aluskumit, tiivistys, tärinäeristin, suojat	Väsyttävä kuormitus, abraasio, liukuminen, isku
5	Tuotekuljetin	Hihna, tiivistys, rummut, iskupalkit, pölysuoja	Materiaaliaines hienoa, keveys, tiiveys, säänkesto
6	Jakosuppilo	Tiivistys	Liukuva abraasio, materiaali monipuolista
7	Ylitekuljetin	Helmakumi, tiivistys, iskupalkki, hihna	Väsymislovia, isku ja liukumainen kulutus
8	Tarkistusluukut	Näkö- ja sormisuoja	Repimisenkestävyys, uudelleenkäytettävä
9	Pääkuljetin	Tiivistys, iskupalkit, hihna	Voimakas isku, suuri materiaalivirta, keveys, tiiveys, säänkesto
10	Sivukuljetin	Tiivistys, iskupalkit	Tiiveys, keveys, säänkesto, abraasio
11	Murskain	Syöttösuppilo, kiilahihna, hihnasuojat	Abraasio, suuri iskuvoima, joustava, (öljynkesto)
12	Säiliöt / kotelot	Suojat, kannakkeet, tankit	Öljyn ja liuottimien kesto

Kuten yllä olevasta taulukosta huomataan, kumiosia käytetään hyvin erityyppisissä paikoissa ja niiden käyttötarkoitukset ovat hyvin erilaisia. Tämä tarkoittaa myös sitä, että kumiosilta vaaditaan hyvin paljon erilaisia ominaisuuksia, joka indikoi siihen, että eri käyttökohteisiin tulee valita eri kumimateriaalia. Taulukossa 2 harmaalla sävyllä merkityt kumiosat ovat sellaisia, ettei niiden materiaaliin voida vaikuttaa tämän työn puitteissa.

Eri kumimateriaalien valinta käyttökohteesta riippuen vaikuttaa koneen kokonaishintaan, sillä yleisesti materiaalitoimittajilla on käytössä tilauksen koosta riippuva hinnasto. Tällöin hintaan siis vaikuttaa se, kuinka paljon mitäkin materiaalia tilataan, jolloin mikäli samaa materiaalia voidaan käyttää mahdollisimman useassa osassa, saadaan kokonaishintaa painettua alemmas.



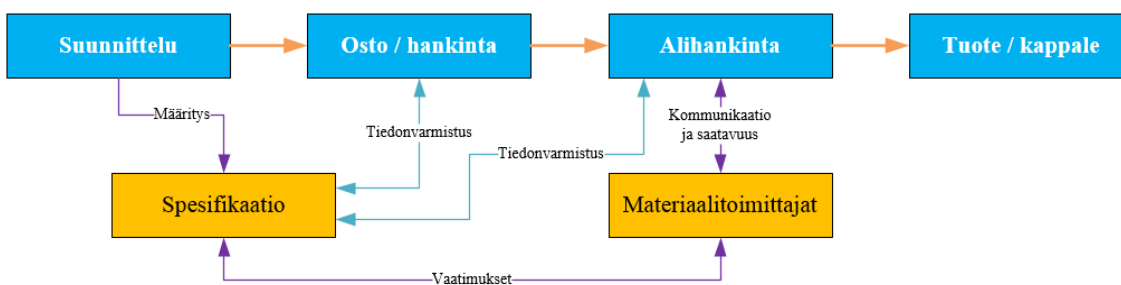
Kuva 13. Tyypillinen koneen kustannusjakauma (Ullman 2003)

Kuten kuvasta 13 voidaan tulkita, koneen tyypillinen kustannusjakauma suunnittelusta valmiiseen koneeseen ulottuvalla aikavälillä, materiaalikustannuksien osuus on noin puolet koko koneen hinnasta. Materiaalien kustannukset ovat siten konetta valmistavalle yritykselle suurin suora kuluerä. Vaikka koneen kustannuksista elinkaaren alkuvaiheessa vain 5% on suunnittelukustannuksia, on suunnittelun vaikutus koko koneen elinkaaren aikana kertyviin kustannuksiin hyvin merkittävä. Koneen koko elinkaaren kustannusrakenne määritetään pitkälti suunnitteluratkaisuja tehdessä, joten koneen kustannuksia tulisi suunnitella ajatella elinkaarikokonaisuutena. Koneen osana myös kumimateriaalien elinkaari tulisi siten ottaa huomioon. Tyypillisesti kulutuskumiosille annetaan kivenmurskainlaitteissa yhden vuoden (2000 h) elinikä normaalissa käytössä, jonka jälkeen ne tulisi vaihtaa uusiin. Se, vastaako kumille annettu kestoikä todellisuutta, riippuu täysin siitä, onko materiaalivalinta ja käyttökohde kumimateriaalille suotuisa.

Globaalin talouden tilanteen ja laitevalmistuksen sopeuttamistarpeiden vuoksi laitteiden valmistuskustannuksia on pyritty pienentämään. Materiaalikustannusten suuri osuus valmistuskustannuksissa (kuva 13) on johtanut siihen, että jatkuvien kustannuspaineiden vaikutuksesta valmistavat sidosryhmät, kuten alihankintaketju, on joutunut jatkuvasti etsimään halvempia kumimateriaalitoimittajia. Kumimateriaalien kilpailutusvaiheessa on kuitenkin joko unohtunut materiaalin spesifikaatio tai sitten sen tulkinnessa on ollut puutteita joko alihankinnassa tai materiaalitoimittajilla. Mahdollista on myös se, että olemassa ollut materiaalispesifikaatio ei ole koskaan saavuttanut osia valmistavaa ryhmää. Vaikutus kivenmurskaimen kustannuselinkaareen on ollut välillinen, sillä materiaalin vaihdos on pienentänyt koneiden suoria valmistuskustannuksia, mutta takuista ja muista reklamoinneista johtuen kustannukset ovat kasvaneet muilla elinkaaren vaiheilla. Käytännössä tämä on johtanut sellaiseen tilanteeseen, että kumeista johtuvat ja laitevalmistajalle tulevat kustannukset ovat joko nousseet tai pysyneet lähes alkuperäisen tilanteeseen tasolla, vaikka yleislaatu on heikompi kuin ennen.

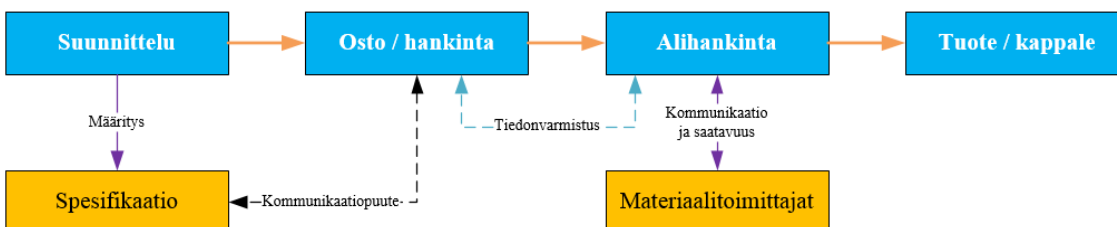
5. NYKYTILANNE

Prosessi, miten kumiosat tuotetaan, ymmärretään selkeäksi ja suoraviivaiseksi (kuva 14). Suunnitteluyksikön suunnitteleman kappaleen tiedot välitetään ostolle / hankinnalle, joka tietojen keräämisen jälkeen välittää kaikki tarvittavat tiedot eteenpäin alihankinnalle tai osan valmistajalle. Osan valmistajan tulisi vielä varmistaa materiaalien oikeellisuus spesifikaatiosta ja kommunikoida materiaalien saatavuudesta materiaalitoimittajien kanssa (jotka tarvittaessa vielä varmistavat vastaavuudet spesifikaatioiden kanssa). Lopuksi valmistaja / alihankkija valmistaa tuotteen tai kappaleen, joka vastaa täysin suunniteltua.



Kuva 14. Suunnittelusta osaksi -prosessi

Kumimateriaalit ovat kuitenkin olleet huonolaatuisia, eivätkä koneiden kumit ole kestäneet käyttöä. Usein kumiosat ovat olleen haurastuneita jo ennen koneeseen kiinnittämistä ja asiakkaalle lähettämistä. Kumiosien laatuongelmien on todettu alkaneen kumituotteiden vaihtuessa halvempaan vaihtoehtoon. Lisäksi alihankintaketjussa on ollut käytössä toimintatapa, jossa kumimateriaalia on tilattu suuria eriä varastoon, josta on sitten tarpeen mukaan leikattu koneisiin sopivia palasia. Itse materiaalin, että sen säilytyksen on todettu olleen puutteellista ja tavanomaisiin vaatimuksiin nähden riittämätöntä. Kokonaisuutena kumilaadun heikkeneminen on ollut kuitenkin monen asian summa, sillä kuvan 14 mukaisesta prosessista on poikettu huomattavasti. Todellinen prosessi on ollut kuvan 15 tapainen, jossa merkittävänä ongelmana on kommunikaatiopuutteet.



Kuva 15. Todellinen suunnittelusta osaksi -prosessi

Kuvan 15 mukaisessa prosessissa merkittävin ero toivottuun hankintaprosessiin verrattuna on spesifikaation merkitys. Käytännössä koko suunnittelusta osaksi -prosessin ajan kaikki tieto on ollut saatavilla, mutta sitä ei ole riittävästi hyödynnetty, etenkin spesifi-

kaation osalta. Alihankkija tai muu valmistaja on tehnyt materiaalihankinnat joko puutteellisin tiedoin tai kokonaan ilman spesifikaatiota, jolloin kommunikaatiokatkoksista tai välinpitämättömyyksistä johtuen materiaali ei ole ollut sitä, mitä tuotteelta on vaadittu. Käytännössä tilanne on vastannut sitä, että suunnitteluorganisaation tekemä vaatimusmäärittely on ohitettu kustannuspaineiden vuoksi.

Tavoitteena olisi, että kommunikaatiopuutokset korjataan, jotta materiaali olisi juuri sitä, mitä sen on suunnittelussa spesifioitu olevan, eli päästäisiin kuvan 12 mukaiseen valmistusprosessiin. Tämän lisäksi osien suunnittelun laatua tulee parantaa, jotta yleisimmät osan muodoista johtuvat ongelmat saadaan poistettua jo ennen tuotantoa.

5.1 Nykyinen suunnitteluprosessi

Koneensuunnittelussa ja tuotekehityksessä on monta suunnittelutapaa, sillä suunnittelu voidaan aloittaa ikään kuin puhtaalta pöydältä tai sitten käytössä on historiatietoa. Metsolla mobiilimurskaimien ja -seulojen suunnitteluprosessi on lähes aina Design Reusea, eli suuri osa uudesta tuotteesta on tavallaan aiemmin suunniteltua, jota sitten myöhemmissä ratkaisuisa sovelletaan tai muokataan käyttökohteeseen sopivaksi. Käytännössä suunnitteluprosessi menee siten, että aiemmin suunniteltuja ratkaisuja yhdistellään ja kehitetään paremmiksi, jolloin uudelleensuunnittelun kautta saadaan uusi ja parempi tuote tuotantoon. Myös täysin uusia kokoonpanoja tai tuotteita suunnitellaan, mutta suhteutettuna parannusprojekteihin, uustuoteprojektien määrä on suhteellisen pientä. Yksinkertaistettuna (kumi)osien tämänhetkinen suunnitteluprosessi voidaan tunnistaa seuraavaksi:

1. Tallennetaan vanha osanimike uudelle numerolle tai perustetaan täysin uusi osa
2. Suunnitellaan tarvittavat sopivat muodot. Taivutussäteet yms. päätellään
3. Tarkistetaan, että vanha materiaalinimike on sopiva tai kopioidaan sopiva jostain olemassa olevasta osanimikkeestä
4. Lasketaan paino ja lisätään puuttuvat attribuutit
5. Tehdään tarvittavat piirustukset ja kuvannot
6. Käynnistetään julkaisuprosessi

Suunnittelijan työ Metsolla on melko luovaa, sillä tavallisesti uudistettavat kohteet ilmaistaan suullisesti tai muutamien kuvien avulla, jolloin suunnittelijan tehtävä on annettujen rajojen sisällä toteuttaa parhaaksi näkemänsä ratkaisu. Suunnittelua ei ole rajattu erilaisilla ohjeilla tai säännöillä, jolloin lopputuloksiakaan ei ole ennalta rajattu. Tämä antaa suunnittelijalle usein hyvinkin vapaat kädet parhaimpien ratkaisujen löytämiseen. Yleisimpiä asioita, jotka rajaavat suunnitteluratkaisuja ovat hinta ja valmistettavuus sekä tarpeiden muuttuminen. Tuotekehityksen rajoitteet perustuvat yleensä suullisten ohjeiden antoon, jolloin toimeksiantaja tekee linjavedon hyväksyttävistä ratkaisuista ja suunnittelija tuottaa käytännön toteutuksen. Esimerkiksi jokin rakenne saatetaan määrätä pultattavaksi, jotta se pystytään asentamaan mahdollisimman helposti jälkikäteen. Tuotteen hinta ja toteutettavuus kulkevat aina rinnakkain, sillä mikäli tuote on helppo tehdä, eikä vaadi

useita valmistusvaiheita tai erikoisempia valmistustekniikoita, on se aina edullisempi ja siten toteutuskelpoisempi.

Suunnitteluprosessille ja ohjeille on kuitenkin tarpeita, vaikka itse prosessi tuleeikin säilyttää luovana. Yhteiset säännöt pitävät tuotteet harmonisina huolimatta siitä, kuka tai ketkä on ne suunnitellut. Perehdytys oikeiden materiaalien käyttöön ja valintaan on yksi sellainen ohjetieto, joka tulisi myös jokaisella aloittelevalla, kuten myös kokeneemmalakin suunnittelijalla olla saatavilla. Osa suunnitteluperiaatteista tulee pohjakoulutuksen mukana, joten kaikkea suunnittelutietoa ei tarvita kirjallisena. Työhön perehdyttäessä jonkinlaisen pohjatiedon antaminen kirjallisena on kuitenkin tärkeää, jotta yhteiset yrityskohtaiset käytännöt olisivat mahdollisimman nopeasti hallinnassa ja tiedossa.

Suunnittelutiedolle on siis tarvetta vain joissain tapauksissa, mutta kumituotteet ovat sellaisia, joihin kokemusten ja palautteiden perusteella tarvitaan ohjeita. Mekaniikkasuunnittelija on usein perehtynyt lähinnä metallien ominaisuuksiin ja niiden käyttökohteisiin, jolloin huolimatta siitä, että tietoutta vaihtoehtoisista materiaaleista olisi saatavilla, ei niitä välttämättä osata riittävässä määrin soveltaa. Kumimateriaalien käytössä on havaittavissa tällaista ongelmaa, sillä vaikka laadukkaita materiaaleja on olemassa ja hyvin saatavilla, ei mekaniikkasuunnittelija ole saanut riittävästi perehdytystä näiden käyttöön, jolloin niiden parhaimmat ominaisuudet ovat jääneet hyödyntämättä. Perustavanlaatuinen kysymys kumimateriaalien käytössä on se, että mitä tai millaista materiaalia käytetään missäkin kohtaa kivenmurskainta. Mekaniikkasuunnittelija osaa yleensä suoraan antaa arvion siitä, kestääkö jokin teräsrakenne tai mitä metallia mihinkin kohtaan kannattaisi käyttää, mutta mikäli kysytään, mitä kumia kannattaisi käyttää esimerkiksi murskaimen alle tulevan kuljettimen tiivistämiseen, täytyy suunnittelijan pysähtyä pohtimaan ongelmaa. Tällaisia kysymyksiä varten tarvitaan suunnitteluprosessissa ohjeita, jotta voidaan allokoida suunnittelijan asioiden tutkimiseen käyttämää aikaa luovaan suunnittelutyöhön.

5.2 Mistä kumilaatuongelmat ovat johtuneet

Kumilaatuongelmat ovat johtuneet usean tahon yhteisvaikutuksesta. Globaalin hankintaketjun hallittavuus pohjatasolta valmiiseen tuotteeseen asti on erittäin haastavaa, josta johtuen yhdenkin puutteellisen tiedon välittäminen saattaa aiheuttaa pitkäaikaiset vaikutukset. Nykyinen kumiosan elinkaari on kuvan 16 mukainen.



Kuva 16. Kumiosien elinkaari

Kumiosien nykyiselle elinkaarelle (kuva 16) on tyypillistä, että suunnittelun määräämän tarpeen mukaisesti (oranssit laatikot) osto valitsee oikean materiaalitoimittajan ja hankkii oikean materiaalin (sinivihreät laatikot), mikäli kumiosa asennetaan omalla tuotantolinjalla. Käytännössä materiaalin hankinta jää kuitenkin suurelta osin alihankkijan (punaiset laatikot) vastuulle, sillä kumiosat ovat rakenteellisesti sijoitettuna osa-kokoonpanoihin, jotka alihankkija tuottaa. Alihankkija siis sekä hankkii materiaalin että leikkaa ja asentaa kumiosat. Tästä johtuen kumiosan elinkaaren jäljitettävyyden on tavallaan heikentynyt, sillä lopullista rakenteeseen tulevaa kumimateriaalia ei voida välttämättä riittävästi luotettavasti jälkikäteen määrittämään.

Toisaalta, globaali tuotantoketju perustuu luottamukseen, eikä jokaista materiaalikeskustelua voida välttämättä päättää oman tuotannon sisällä, etenkin kun kyse ei ole äärimmäisen kriittisistä komponenteista (turvallisuus ja lujuus) vaan lähinnä yleislaadullisista osista. Kuitenkin se, että materiaalivalinnassa saatetaan tietoisesti ohittaa Metson oma suunnittelu- ja laatuorganisaatio kustannussäästöjä tavoiteltaessa, on olemassa oleva riski, joka täytyisi laadunvalvonnassa tiedostaa. Puutteellista materiaalia havaittaessa tulisi välittömästi suorittaa reklamointia sekä antaa palautetta, jotta osa olisi sitä materiaalia, mitä suunnittelu on valinnut. Toisaalta ostolla / hankinnalla on kuitenkin oltava oikeus valita ja kilpailuttaa alihankkija sekä materiaalitoimittaja, jotta tuotteen lopullinen hinta- ja -jakauma pysyy järkevänä. Laadua ei tulisi kuitenkaan kilpailutuksessa unohtaa. Tämä aiheuttaa tuotantoketjussa ristiriidan, sillä sekä laadun parantaminen että kustannusten pieneneminen täytyisi tapahtua samanaikaisesti, mikä ei usein ole kovinkaan helppoa.

5.2.1 Globaalit materiaalinimikkeet

Kumisten osien globaalit materiaalinimikkeet ovat olleet hyvin yksinkertaiset (kuva 17). Globaalit materiaalispesifikaatiot ovat kuitenkin olleet pääosiltaan riittävän kattavat, eikä niitä voi kritisoida riittävän löyhiksi, sillä lähes jokainen kumimateriaali, joka täyttää tämän spesifikaation vaatimukset, on riittävän laadukasta. Kuvan 17 spesifikaatio ei kuitenkaan ole määräävä tiettyjen ominaisuuksien, kuten murtovenymän, osalta, joka jättää materiaalin ominaisuuksiin tulkinnan varaa. Lisäksi se on materiaalien ominaisarvoiltaan kohtalaisen löyhä, sillä useimmat hyväksi todetut kumituotteet ylittävät nämä arvot moninkertaisesti.

Property	Request	Typical value
Hardness, (IRHD, Shore A) (ISO 48, ASTM D 2240)	60±5 or 65±5	
Lowest operating temperature	-25 °C	
Highest operating temperature	+70 °C	
Tensile strength, (ISO 37, ASTM D 412)	min. 5 MPa	
Elongation at Break, (ISO 37, ASTM D 412)		200-400 %
Weather Resistance	Good	
Wear resistance *, (ISO 4649, ASTM D 5963)	max. 150 mm ³	
Colour	Black	
Rubber Type		NR / SBR

Kuva 17. Kulutuskumien vanha materiaalispesifikaatio

Kumimateriaalien materiaalidokumenteista on järjestelmässä useita muitakin spesifikaatioita ja datalehtiä kuin globaali spesifikaatio, jotka ovat joko vanhentuneet tai sitten niitä ei nimiketiedoissa yksinkertaisesti enää ole. Jos ominaisuuksia ei ole mitenkään määritetty, jää osan valmistajan vastuulle materiaalin määrittäminen, vaikkakin se tulisi aina epäselvissä tapauksissa erikseen varmistaa. Huomattavaa on etenkin se, että vaikka globaalit materiaalispesifikaatiot ovat olleet olemassa jo pitkän aikaa, on näitä käytetty osien materiaalien määrittämiseen verraten vähän. Yleisimmin käytetyillä materiaalinimikkeillä on ollut sama yhden materiaalivalmistajan oma datalehti useiden vuosien ajan ja vaikka se on edelleen saatavilla, ei tätä tuotetta ole saatavilla koko globaalin hankintaketjun alueella. Tästä johtuen materiaalien ominaisuudet saattavat poiketa kokoonpanojen valmistusmaasta riippuen, kun eri valmistajat valitsevat lähimpänä tätä olevaa tuotetta. Tässä tavallaan on globaalin materiaalispesifikaation käyttö epäonnistunut, sillä sen käytöaste on ollut verraten matala.

Kumimateriaalien määrittämisessä on ollut käytössä samanlainen pohjaspesifikaatio kuin teräksillä, joka on ollut hyvä toimintatapa yhtenäisyyden takia. Kuitenkin, kumimateriaalin sääkestävyys on teräkseen nähden paljon merkittävämmässä roolissa, joten näihin olisi ollut hyvä asettaa esimerkiksi minimiarvot, kuten vetolujuudelle on asetettu. Myös teräksen materiaalispesifikaatiosta voidaan tunnistaa samoja mahdollisia ongelmia kuin kumeilla. Myötö- ja murtolujuus sekä osa muista materiaalisuureista on annettu ”Typical value” arvoina. Tässä on riski, että jossain vaiheessa tavarantoimittaja tai alihankkija tulkitsee nämä arvot vain ohjeelliseksi, sillä ne ovat ikään kuin viitearvoja, eivätkä siten

määräviä minimiarvoja. Materiaalispesifikaation näkökulmasta arvojen tulisi olla ehdottomia minimejä, joita täytyisi noudattaa osan valmistajasta riippumatta.

5.2.2 Suunnittelu

Suunnittelussa käytetyt materiaalinimikkeet ovat olleet useita vuosia puutteellisia, joten kumilaadun ongelmat ovat kerääntyneet pitkällä aikavälillä. Suunnittelijoiden luodessa uusia kumiosia, olisi ollut hyvä tarkastaa materiaalinimikkeiden vaatimukset ja vaatia muutoksia, mikäli puutteellista tai riittämätöntä tietoa on havaittu. Vaikka globaalien materiaalispesifikaatioiden kohdalla ei välttämättä ole tällaisia materiaaliongelmiä, ovat yleisesti käytetyt lokaalit materiaalinimikkeet olleet puutteellisia. Tämä johtunee siitä, että materiaalinimikkeet on aikoinaan luotu nopeasti vain tiettyä tarvetta varten, jolloin Design Reusen käytön myötä tämä yksi lokaali materiaali on päässyt leviämään yleisesti käytettäväksi.

Materiaalinimikkeiden ja -spesifikaatioiden puutteellisuuden lisäksi suunnittelusta johtuvia design-ongelmia on runsaasti. Kumiosien suunnitleminen on mielletty työlääksi ja hankalaksi elastisuuden takia, sillä todellisten muotojen mallintaminen on ollut aiemmin haasteellista ja arvauksiin perustuvaa. Tästä johtuen kumiosien suunnittelu on jätetty muodoiltaan keskeneräiseksi, mikä on sitten heijastunut todellisen kumiosan toimivuuteen.

5.2.3 Valmistus ja alihankinta

Valmistusta tai alihankintaa ei voida suoraan syyttää kumilaatuongelmista, mikäli materiaalit vastaavat spesifioitua laatua. Erityisesti käytettäessä lokaaleita materiaalinimikkeitä, joiden datalehdet ovat olleet suomen kielellä, on kuitenkin olemassa riski, että osaa valmistettaessa Suomen ulkopuolella, inhimillisistä syistä johtuen materiaali ei ole ollut sitä mitä sen pitäisi. Tällöin tosin tulisi erikseen varmistaa osaan valittavan materiaalin oikeellisuus.

Huolimatta siitä kuka kumiosat on valmistanut, on osien ja kokoonpanojen oltava toimitettaessa ehjiä. Kumiosien osalta ehjyysvaatimus ei ole aina toteutunut, josta esimerkkinä kuvan 18 tapaus, jossa kumileike on taivutettu kulman yli ja taitoksessa esiintyy materiaalin puutteiden takia halkeilua. Missään tapauksessa ei voida pitää hyväksyttävänä perusteluna sitä, että mikäli materiaalitiedot ovat puutteellisia, voidaan valita mikä tahansa materiaali kysymättä toimeksiantajalta, eli Metsolta hyväksyntää. Valmistajalla ei usein ole myöskään saatavilla tietoa siitä, mikä komponentti on kriittinen esimerkiksi turvallisuuden kannalta, joten on äärimmäisen tärkeää, että suunnitelluista materiaaleista ei missään tilanteissa poiketa.



Kuva 18. *Esimerkki huonosta kumilaadusta, joka halkeilee taitettaessa*

Alihankkijat (ja muu valmistus) ovat ottaneet suuria riskejä, sillä mikäli suuria puutteita kumeissa on havaittu tarkastuksissa, on koko tuote mahdollisesti palautettu takuihin ja tuotevastuisiin vedoten. Vähintään reklamointia on tapahtunut, sillä kumiosien laatu ei ole ollut hyväksyttävää.

Osa alihankkijoista ei myöskään ole noudattanut kumeille asetettuja yleisiä standardien mukaisia varastointivaatimuksia. Materiaalit ovat saattaneet olla alkuperäisissä rullissaan, mutta säilytettynä ulkona suorassa auringonvalossa, jolloin kumien ikääntyminen on ollut nopeaa verrattuna oikeamaan säilytystapaan, mikä on vaikuttanut suoraan lopputuotteen laatuun.

5.2.4 Materiaalitoimittajat ja laadunvarmistus

Materiaalitoimittajat ovat toimittaneet alihankkijoille Metson valitsemissa materiaaleja, jotka ovat olleet hyvälaatuisia. Jossain vaiheessa materiaalitoimittajat ovat pyytäneet lupaa käyttää ei-kriittisissä komponenteissa edullisempaa materiaalia, jota on ollut paremmin saatavilla, jolloin esimerkiksi yksittäinen suunnittelija tai ostaja on saattanut antaa tähän luvan. Materiaalin vaihdoksen sallinut toimija ei ole välttämättä ollut tietoinen vaihtoehtoisten materiaalin heikkouksista tai todellisesta laadusta. Laadunvarmistuksen tehtävä on varmistaa se, että materiaalit ovat sitä, mitä niiden pitäisikin olla ja tarvittaessa reklamoida puutteista, joten edullisen materiaalin puutoksiin pitäisi reagoida välittömästi.

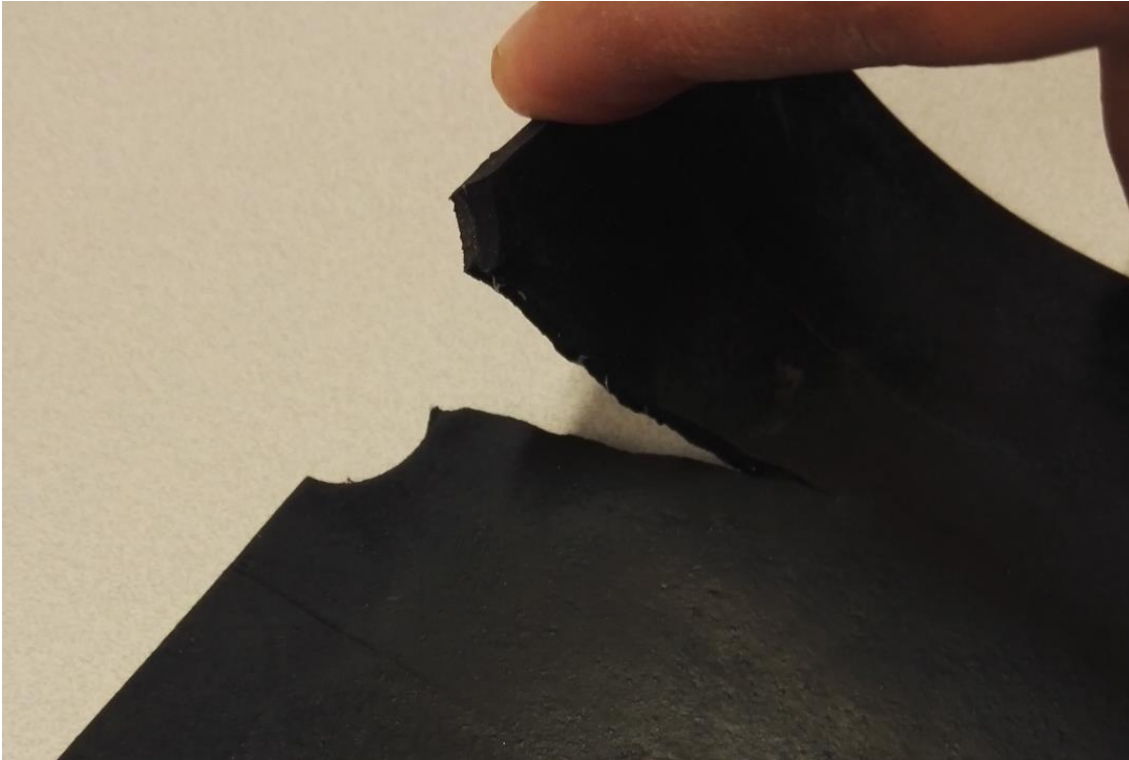
Materiaalitoimittajat ovat myös toimineet olemassa olevien spesifikaatioiden puitteissa, joten suoranaisesti kumilaatuongelma ei ole heistä lähtöisin. Virhe on tapahtunut, kun toisen materiaalivalmistajan tuote on hyväksytty tuotantoon ilman riittäviä selvityksiä. Lisäksi, mikäli alihankkija ei ole käyttänyt Metson suosittamia materiaalitoimittajia vaan ostaneet materiaalit muualta, kuten esimerkiksi Aasiasta suoraan tehtaalta, siirtyy materiaalien laatuvastuu alihankinnalle, jonka siis tulisi varmistaa se, että materiaalit vastaavat Metson asettamia kriteerejä. Edelleen, laadunvarmistuksen tulisi puuttua välittömästi puutteelliseen materiaaliin heti, kun laatu poikkeama on huomattu. Vastuukysymys materiaalien oikeellisuudesta ei siis ole helppo, vaan se on hyvin monen tekijän summa.

5.3 Kumiosien laatu tällä hetkellä

Kumilaadusta tullut palautetta monelta eri organisaatiotasolta. Suurimmaksi osin kumilaadusta on raportoitu laatu- ja huolto-organisaatioista. Raportoidut ongelmat ja havainnot ovat eri tyyppisiä organisaatiosta riippuen, sillä työtehtävien tyypit eroavat toisistaan merkittävästi. Esimerkiksi suunnitteluorganisaatio on hyvin harvoin fyysisesti tekemisissä kumin kanssa, joten kokemukset usein riippuvat muiden ryhmien raporteista.

5.3.1 Huoltokorjaamo

Huoltokorjaamo vastaa käytettyjen koneiden huolto-, korjaus- ja päivitystoiminnoista, minkä lisäksi osa kotimaahan toimitettavista koneista loppuvarustellaan huoltokorjaamossa. Vierailu huoltokorjaamolla paljastaa nopeasti kumilaadun nykytilanteen: pahimmillaan kumiosat repsottavat ja irtoavat koneesta pienellä nykäisyllä, jopa täysin uusissa koneissa. Tällaiset osat tulee aina vaihtaa uusiin ennen koneen toimittamista asiakkaalle, mikä aiheuttaa Metsolle tarpeettomia kustannuksia ja pahimmassa tapauksessa jopa toimituksien myöhästymisiä.



Kuva 19. Repäisty kumipala

Kuten repäistyn kumipalan (kuva 19) leikkauspinnasta nähdään, on se kiiltelevä, kuten metalli kiiltelee murtuessaan hauraasti. Tämä on usein merkki siitä, että kumin ominaisuuksia parantavasta hiilimusta-seosaineesta on suuri osuus korvattu savella, josta johtuen kumi murtuu helpommin. Lisäksi se, että kumiosista pystyy irrottamaan palasia paljain käsin, on jo itsessään merkki materiaalin riittämättömästä laadusta ja huonoista mekaanisista ominaisuuksista. Yleisesti huoltokorjaamolta saadun palautteen perusteella voidaan todeta, että kumimateriaalien laatu on liian usein ollut ala-arvoista. Kuten aiemmin on todettu, jopa vastavalmistuneista koneista on kumimateriaalia irronnut jo heti koeikäytön jälkeen tai kumiosien asennus on ollut muuten ollut puutteellista.

5.3.2 Suunnittelu

Valmiita osakokoonpanoja ja koneita tarkastellessa tietyt suunnitteluvirheet toistuvat. Kumien asettelua ei ole aina loppuun asti mietitty, joten esimerkiksi, kun kumiosa on taitettu reunan tai kulman yli, on se taitettu liian pienelle säteelle. Tästä johtuen kumi altistuu jatkuvalla jännitystilalle, jolloin se on herkimmillään sään vaikutuksille. Ongelmat ilmenevät useimmiten kumin halkeiluna tai repeämisenä taivutuskohdasta.

Suunnittelussa ei ole olemassa yhtä hyväksi todettua suunnittelutapaa kulmien ylityksiä varten. Tästä johtuen erilaisia ratkaisuja helpotuksista on useita, kuten neliskulmaisia ja avaimenreiän muotoisia reikiä. Useimmiten taivutetussa kumileikkeessä ei ole ollenkaan helpotusreikiä, vaan kumi on pakotettu taipumaan, jolloin se repeää herkästi. Välillä myös

kulmien ylitykset on pyritty välttämään toteuttamalla tiivistys kahdella eri kuminpalsella, joka on osin hyvä menettelytapa. Tällöin kumien liitoskohtaan jää kuitenkin aukko, josta materiaalivirta saattaa päästä vuotamaan.

Suunnittelussa tehdään myös oletuksia, jotka vaikuttavat kumien suunnitteluun. Yksi tällaisista oletuksista on se, että seulottu materiaali on puhdasta, eli kaikki materiaalikoot ovat erottuneet toisistaan täydellisesti. Tämä vaikuttaa siihen, että tämän oletuksen perusteella esimerkiksi ylittekuljettimen materiaalivirrassa ei ole ollenkaan pienempiä materiaalikokoja. Tämä luonnollisesti vaikuttaa siihen, että kumien suunnittelussa ei oteta huomioon todellisia tiivistystarpeita, joka muodostuu siitä, että pienijyväinen materiaali tarttuu suurempaan, joten sitä on aina jonkin verran materiaalivirrassa mukana. Kumiosien suunnittelussa tehdään myös usein oletuksia siitä, että mikäli kumileike suunnitellaan riittävän suureksi, se kykenee muotoutumaan riittävästi tiivistettävää pintaa vasten. Monessa tilanteessa olisi kuitenkin hyvän toimintatavan mukaista, että kumiosa suunnitellaan juuri sellaiseksi kuin sen tulisi olla sen sijaan, että kumiosasta vain tehdään ylisuuri ja toivotaan sen muotoutuvan riittävästi, jotta se tiivistää esimerkiksi jonkin rajapinnan. Nykyinen toimintatapa jättää kumiosan designin keskeneräiseksi, jolloin pyöritykset ja muut helpotukset helposti unohtuvat, vaikka ne ovat osan toiminnallisuuden kannalta merkityksellisiä.

5.3.3 Tuotanto ja varasto

Tuotannossa loppukokoonpano suoritetaan varastossa olevista osa-kokoonpanoista ja moduuleista. Kokoonpanot ja moduulit tulevat varastoon alihankkijoilta täydellisinä kokoonpanoina, eli myös kaikki kumiosat ovat kiinni kokoonpanoissa. Tästä aiheutuu ongelmia, sillä kokoonpanojen asennetut kumiosat ovat usein täysin suojaamattomia varastossa, joka sijaitsee ulkona ja usein jopa suorassa auringonvalossa. Myös muut kumiosat, kuten esimerkiksi kuljetinhihnat (kuva 20), saatetaan välivarastoida ulkona suojaamattomina. Kuten aiemmin kappaleessa 4.1.3 on todettu, tulisi kumiosat varastoida oikein, jotta kumi ei menetä ominaisuuksiaan tai muuten vaurioidu peruuttamattomasti.



Kuva 20. Kuljetinhihnojen väliaikainen varastointi

Osavarastojen sijainti ulkoilmassa säästää huomattavasti tilakustannuksissa. Varaosille tämä kuitenkin on haitallista, sillä mikäli osia ei ole mitenkään suojattu, korroosio vaikuttaa merkittävästi. Etenkin kun ottaa huomioon, että Metson Tampereen tehdas on kaupunkialueella valtatie, junaradan ja teräsvalimon vieressä, voidaan pitää todennäköisenä, että ympäristö ei ole täysin puhdas, vaan erilaiset ilman ja maaperän happamuudet saattavat vaikuttaa osien kuntoon ja korroosion vaikutus suurenee.

Tuotannon näkökulmasta esiasennetut kumiosat ovat kuitenkin edullisia, sillä se pienentää tuotantolinjan läpimenoaika. Toki joistakin kumiosista on myös haittaa, sillä ne saattavat aiheuttaa pieniä haittoja asennustilanteissa, kuten esimerkiksi kasvattamalla osien painoa tai olemalla kokoonpanon kiinnityspisteiden tiellä. Hyötyihin nähden esiasennettujen osien haitat ovat lähes merkityksettömiä. Mikäli varastointiaika on pitkä ja kumilaatu on heikko, kasvavat läpimenoaika ja kustannukset, sillä kumien vaihtamiseen joudutaan allokoimaan resursseja.

6. SUUNNITTELUOHJEIDEN TARPEET

Suunnitteluohjeiden tarve tulee siitä, että kumien suunnittelemiseen ei ehditä kovinkaan syvällisesti perehtymään ja nykyinen tilanne on kestävä. Hiljaisen tiedon dokumentointi ja uusien ratkaisuiden tuominen esiin ovat suunnitteluohjeiden ydin.

Suunnitteluohjeiden tarpeet voidaan helpoiten määrittää haastatteluilla ja kyselyillä. Näiden lisäksi voidaan soveltaa monelle eri sidosryhmälle samanaikaisesti työpajamenetelyä, jossa vuorovaikutus on keskeisessä roolissa. Työpajojen tarkoitus on ennen kaikkea jakaa tietoa muutos- ja kehittämistarpeista sekä löytää kaikki hyvät ja toimivat rakenteet. Keskeistä tämän projektin kannalta on tunnistaa ja kirjata kaikki olennaiset kumien kehitystarpeet ja käytännöt, jotka ovat vaikuttaneet ja vaikuttavat edelleen nykyisiin suunnitteluratkaisuihin. Toisin sanoen, hiljainen tieto tulee saattaa jokaisen hyödynnettäväksi informaatioksi. Lisäksi ongelmakohtien tunnistaminen ja kirjaaminen ovat työpajojen tärkeimpiä tehtäviä, jotta ongelmiin päästäisiin puuttamaan mahdollisimman nopeasti projektin päätyttyä.

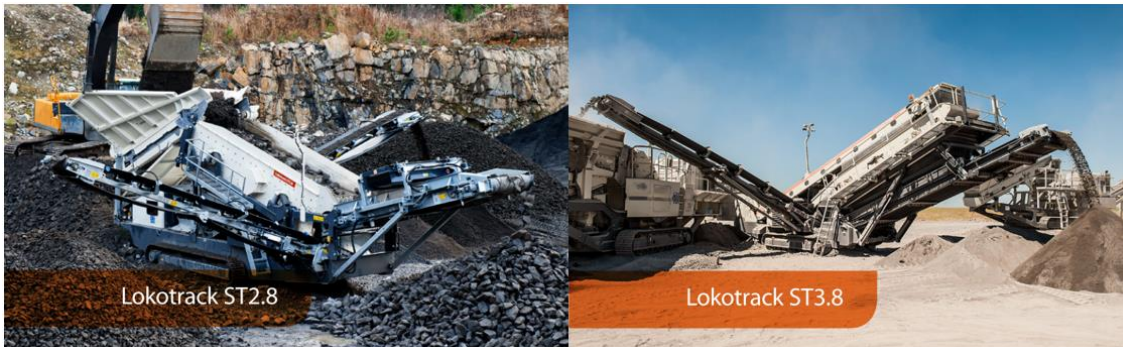
Työpajat jaetaan kolmeen osioon, jotka on valittu Metson koneiden tuoteryhmien perusteella. Tarkastelun kohteena ovat siten mobiiliseulat, Large ja Compact Lokotrakit eli suuret ja pienet murskaimet. Jaottelut on tehty käytännössä valmistuslinjojen ja tuotetyyppien perusteella, sillä näin saadaan valittua työpajoihin juuri ne henkilöt, jotka tuntevat tuotteet parhaiten.

Työpajatyöskentelyssä on tärkeää, että siihen osallistuvat henkilöt edustavat erilaisia näkökulmia. Osallistujat on valittu siten, että mahdollisimman monella on kokemusta ongelmista, mutta se, miten ne koetaan tai miten ne nähdään, ovat erilaisia. Tästä johtuen työpajojen osallistujat ovat suunnittelun, huollon sekä tuotannon edustajia. Työpajat toteutetaan intensiivikursseina, joka on jaettu kolmeen pääosaan: teoria ja tausta, vuorovaikutus ja ongelmat sekä ratkaisut ja yhteenveto. Ensimmäisessä osuudessa kerrotaan, miksi tätä työpajaa on lähdetty toteuttamaan ja mitä muutoksia on tähän mennessä jo tehty. Tarkoitus on antaa mahdollisimman paljon taustatietoa ongelmista sekä antaa mahdollisimman selkeä kuva siitä, mikä on työpajan tavoite antamatta kuitenkaan valmiita ratkaisuja.

Toisessa vaiheessa vuorovaikutuksen avulla pyritään selvittämään kaikki kokemukset eri tuoteryhmien koneista, joiden tulisi vaikuttaa tuleviin suunnitteluratkaisuihin. Työpajan lopuksi ongelmat ja ratkaisut nivotaan yhteen. Ryhmäpohdintojen perusteella muodostetaan ohjeiden tarpeet ja sisältötavoitteet, eli se, mitä ohjeiden tulisi sisältää, jotta ne vastaisivat suunnitteluohjeiden todellisia tarpeita.

6.1 Lokotrack ST-sarjan mobiiliseulat

ST-seulakoneiden työpajassa käytiin läpi yleisimpiä koneissa esiintyviä ongelmakohtia, jotka ovat johtuneet kumiosista. Koko ST-tuoteryhmä voidaan jakaa käyttötarkoituksen mukaisesti kahteen ryhmään: esiseuloihin (ST2.8 ja ST2.4) ja seuloihin (ST3.5, ST3.8 ja ST4.8).



Kuva 21. Esimerkki esiseulasta (ST2.8) ja seulasta (ST3.8) (Metso Oyj 2016)

Esiseulalla (esim. kuva 21) seulotaan perus- tai kierrätysmateriaaleja, jonka jälkeen ylite, eli suurirakeinen materiaaliaines usein ohjataan murskaukseen. Tyypillistä esiseulottavalle materiaalille on takertuvuus, eli eri materiaalikoot ovat takertuneina toisiinsa. Tarkoitus on siis seuloa hienoaines karkeasta materiaalista pois ennen mahdollista murskausta, joka vaatii seulalta suurta epäkeskistä liikettä. Seula (esim. ST3.8 kuvasta 21) taas sijoitetaan usein murskaimen jälkeen, jolloin murskatusta materiaalista saadaan erotettua eri lajikkeet.

ST-koneiden kumeissa on useita ongelmakohtia, joista materiaali vuotaa. Näistä ongelmakohdista muutamat toistuvat lähes joka koneen kohdalla, joten nämä ovat ne kysymykset, joihin tarvittaisiin nopeimmin ohjeistusta:

- Moduulien rajapintakohdat vuotavat materiaalia
- Seulan helmakumit repeävät
- Rumpujen kumibombeerukset irtoavat
- Hienoaineskuljettimien syöttöpää vuotaa
- Rakenteelliset ongelmat rikkovat hihnoja

ST-koneiden ongelmakohdat voidaan ilmaista myös siten, että ne muodostavat suunnitteluohjeiden tarpeen, eli asiat, mitä ohjeissa tulee sivuta.

- Rajapintakohtien referenssirakenne
- Seulan helmakumin materiaali ja design
- Kuljettimien syöttöpäiden referenssirakenne
- Rakenteellisiin ongelmiin puuttuminen
- Rumpujen designin uudelleensuunnittelu (vaatii erillisen analyysin)

Lisäksi työpajassa ilmeni tietotarve kumien perusominaisuuksista, kuten pituuden lämpölaajenemiskertoimesta ja minimitaivutussäteistä. Tällä hetkellä kumien materiaaliominaisuuksille ei ole annettu mitään ohjearvoja, joten esimerkiksi taivutuksissa on hyödynnetty peltiosien viitearvoja, jotka ovat käytännössä noin 2 x levyvahvuus. Kumiosille tämän on todettu olevan liian pieni.

Työpajan lisäksi kumiosista on pyydetty palautetta myös huoltokorjaamolta ja tuotantolta. Molemmissa ryhmissä on havaittu sama ongelma: kumiosia on vaikea käsitellä. Tämä johtuu esimerkiksi siitä, että kumiosat on suunniteltu koko kuljettimen pituisiksi tai seulan helmakumi on tehty yhdestä kappaleesta. Tämä hankaloittaa kumien käsittelemistä ja vaihtoa huomattavasti, sillä kumiosien paino saattaa nousta liian suureksi, jotta yksi henkilö pystyisi niitä käsittelemään. Lisäksi kumiosat kuluvat usein tietyistä kohdista nopeammin kuin muualta, joten mikäli osa on yhtenäinen ja kuluu vain yhdestä pisteestä, on koko kumi vaihdettava. Huoltokorjaamo ehdottaakin tähän muutosta siten, että kumiosat jaettaisiin tarvittaessa vyöhykkeisiin, jolloin nopeammin kuluva kohta voitaisiin vaihtaa erikseen. Mikäli esimerkiksi kuljettimen sivukumi jaotellaan kulumisen perusteella, joudutaan lisäksi tekemään ohjeistus oikeanlaisen jatkoksen suunnittelemiseen.

6.2 Large Lokotrack -tuotteet

Large Lokotrack on yleisnimitys liikkuville kivenmurskaimille (kuva 22), joiden massa on yli 60 000 kg. Tämän jaottelun perusteella Metson tuotteista mm. LT120, LT130E, LT300HP ja LT330D kuuluvat Large LT työpajassa käsiteltäviin koneisiin.



Kuva 22. Large LT, paino noin 103 000 kg (Metso Oy, 2016)

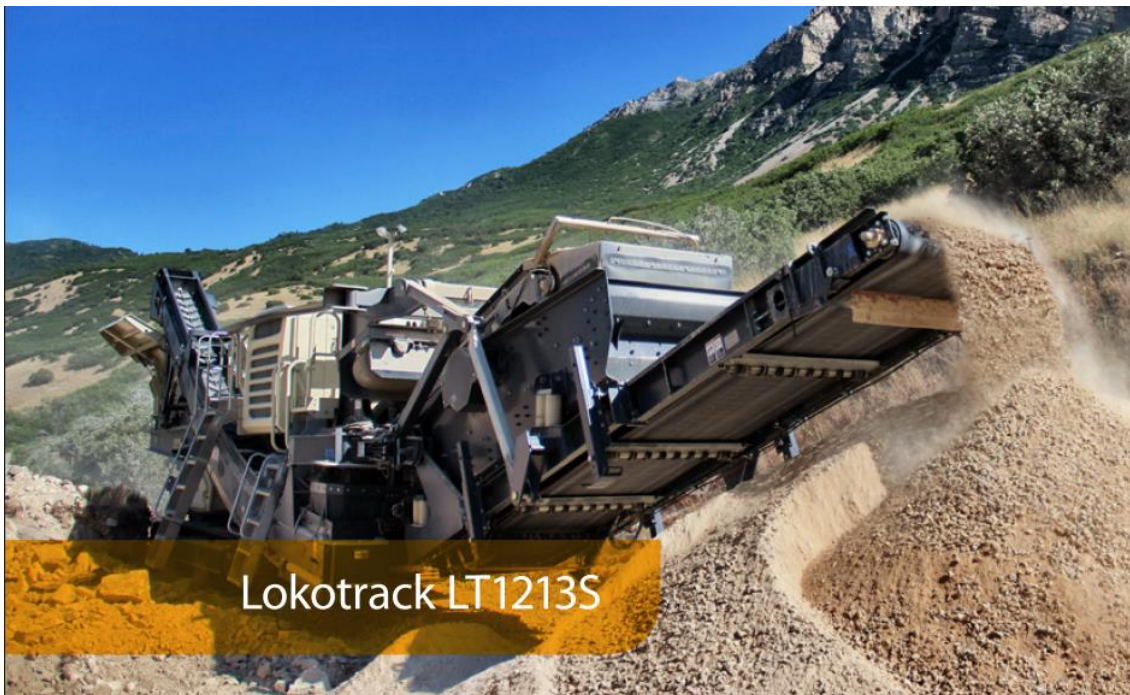
Large Lokotrack työpajassa tarpeelliseksi koettiin kiristämisen ohjeistaminen, jonka toteutuksessa on monia vaihtoehtoisia tapoja, joista eräs tapa on lisätä asennusdokumentteihin tai piirustuksiin liiallisen kiristämisen kieltävä tekstikenttä, kuten esimerkiksi

- Rubber material fracture is prohibited when tightened
- Only small deformation allowed when tightened

Tekstien lisäämiseen asennuskuviin liittyy kuitenkin ongelmia. Mikäli voitaisiin antaa jonkinlainen kiristysmomentti, voitaisiin varmistua helposti kiristämisen oikeellisuudesta. Tässä muodostuu esteeksi kumi viskoelastisuus, josta johtuen ei voida käytännössä antaa yhtä tiettyä kiristysmomentin arvoa. Tekstimuotoisessa kiristysohjeessa ongelmaksi muodostuu sopivan kireyden määrittäminen. Tämän tueksi täytyisi tehdä erillinen valmistusohje, joka määrittäisi joko visuaalisesti tai joillain mitoilla oikean kireyden.

6.3 Compact Lokotrack -tuotteet

Compact Lokotracks nimitystä käytetään Metso Mineralsilla mobiilikivenmurskaimista, joiden paino on noin 60 000 kg tai vähemmän. Compact luokan koneita on useita, joista merkittävimpiä ovat LT1213S, LT96, LT106, LT200HP. Tuotteet edustavat samalla kolmea eri murskausmenetelmää: iskupalkki-, kartio- ja leukamurskausta.



Kuva 23. Iskupalkkimurskain LT1213S, paino noin 51 000 kg (Metso Oy 2016)

Työpajassa keskityttiin lähinnä kuvan 23 mukaiseen LT1213S koneeseen, mutta suunnitteluohjeisiin tuli esiin muutamia uusia tarpeita. Etenkin sivukumien muodon tekemiseen tarvitaan ohjeistus. Lista ohjeistuksien tarpeista, jotka LT Compact työpajassa tulivat edellisten lisäksi esille, on seuraava:

- sivukumien kiinnittämistapa ja taivutussäde,
- sivukumin ja hihnan kontaktipinnan ohjeistus.

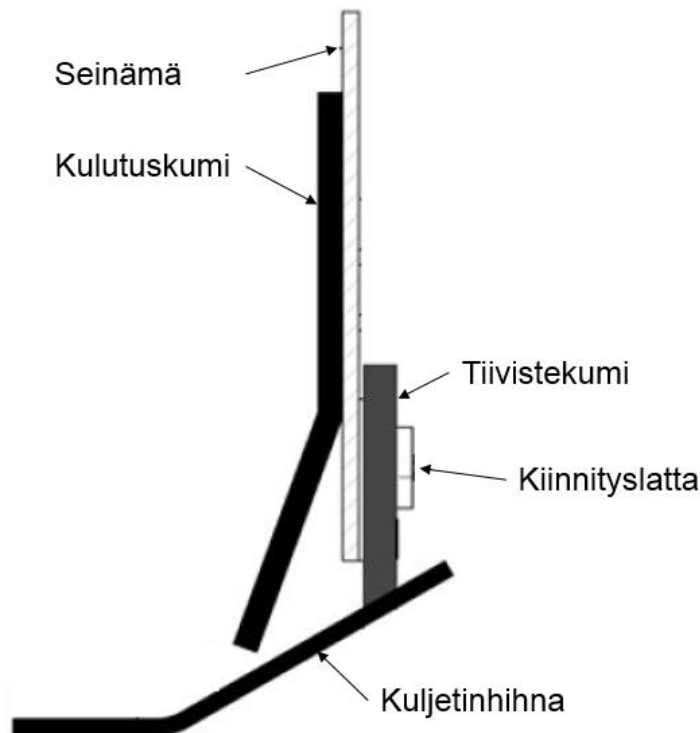
Lisäksi työpajassa ilmeni suuri halu ja tarve kokeilla 40 ShA kumin soveltuvuutta sivukumien materiaalina, sillä tällä hetkellä käytetty 60 ShA kumi on ongelmallista. Hihnan tyypillinen kovuus on 60 ShA, joten mikäli myös sivukumi on saman kovuinen, ei voida olla varmoja siitä, kumpi kumiosa kuluu ensimmäisenä. Lisäksi kun sivukumien materiaali on ollut epämääräistä ja usein vielä tätäkin kovempaa, on sivukumi saattanut aiheuttaa vaurioita kuljetinhihnaan. Myös sivukumien muotoilu on ollut ongelmallista, sillä sivukumissa on ollut terävä reuna kuljetinhihnaa vasten. Materiaalin valinnan pohjana on kuitenkin aina hinta, joten 40 ShA ja 60 ShA SBR kumien hintojen eroavaisuudet tulee selvittää ennen materiaalin muutosta.

Joissakin kohteissa on kuitenkin käytettävä kovempaa kumia muun muassa sivukumina. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi sellaiset, jotka ovat jatkuvasti alttiita kovalle iskevälle kulutukselle tai kumiosan sijainti muuten vaatii kulutuskestävyyttä. Näissä tapauksissa tarvitaan kuitenkin erittäin tarkka muodon ohjeistus, jotta vältetään esimerkiksi kuljetinhihnan ennenaikaiselta kulumiselta.

6.4 Kumivalmistajat

Kumivalmistajien rooli suunnittelutarpeiden määrittämisessä on suuri. Olemassa olevien ratkaisujen kirjaaminen ja soveltaminen Metson koneisiin auttavat tunnistamaan sekä puutteellisen suunnittelun että uudenlaiset lähestymistavat. Materiaalivalmistajien suosittelemat ja Metson koneissa olevat ratkaisut eroavat toisistaan hyvin paljon, joten uusia ratkaisujen yhdistelmiä voidaan helposti löytää.

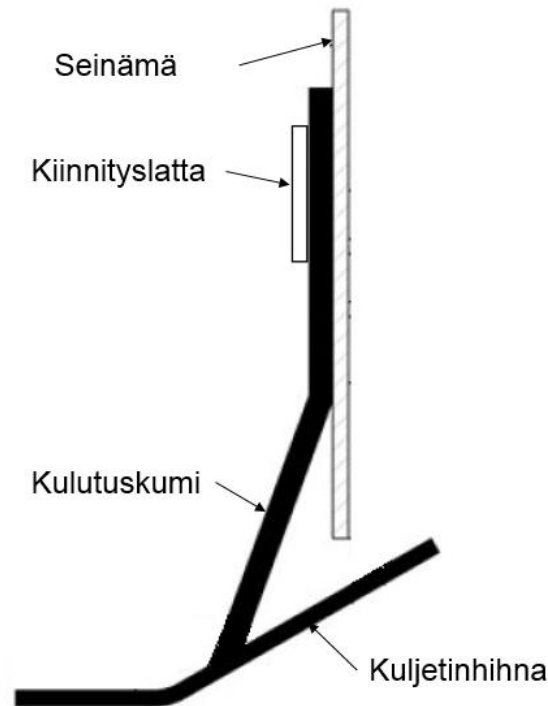
Materiaalivalmistajien ratkaisut koneiden tiivistämiseen perustuvat tavallisesti kahteen kerrokseen: kulutuskumiin ja tiivistimeen (kuva 24). Kulutuskumin tehtävä on ottaa vastaan materiaalivirran iskut, eli kulutus, ja samalla keskittää materiaalivirtaa haluttuun kohtaan. Tiivistin on erillinen kumielementti, joka tiivistää laitteen. Tiivisteiden tarkoitus ei ole siten vastaanottaa iskevää tai liukuvaan kuormaa vaan estää pienet vuodot, jonka vuoksi tiivistimen materiaaliksi valitaan pehmeää ja verraten liukas (EPDM tai PU) materiaali, joka on samalla hyvin pintoja tiivistävää. Erillisen tiivistekumin ongelmana on se, että kuljetinhihnan toisella puolella täytyy olla vastinpinta, jotta tiiviste saadaan puristettua riittävästi hihnaa vasten. Kokonaisuudesta tulisi myös hieman nykyistä monimutkaisempi, sillä kahden eri kumiosan käyttö vaatii nykyisten ratkaisujen muuttamista sellaiseksi, että molemmat kumiosat voidaan kiinnittää oikein.



Kuva 24. Kumivalmistajan eräs tiivistysratkaisu (Metso AB, 2016)

Materiaalivalmistajien ratkaisussa on etuna myös se, että kulutuskumi on irrallaan kuljetinhihnasta, eikä siten aiheuta hihnaan kulumista (kuva 24). Tyypillisesti kulutuskumi on myös liimattu erilliseen metalliseen pohjalevyyn, jolloin kulutuskumin taivutuskulmaa voidaan tarvittaessa säätää. Materiaalivalmistajilla on olemassa tiivistimille erilaisia kiinnitysratkaisuja, joiden avulla kulunut tiiviste voidaan tarvittaessa nopeasti vaihtaa, pienentäen siten samalla myös koneiden seisokin pituutta. Tavallisesti tiivistinkumi vaatii esimerkiksi kuljetinhihnan alapuoliselta rakenteelta sen, että siellä on käytössä liukupalkit, joiden päällä hihna liukuu. Näin saadaan varmistettua se, että tiivistettävä pinta pysyy kiinni, eikä hihnan liikkeiden takia esiinny rakoja.

Metson kivenmurskauslaitteissa ja seuloissa tiivistys ja materiaalin ohjaus on tällä hetkellä toteutettu yhdellä kumiosalla. Normaaleissa ja karkean materiaalin prosesseissa tämä yksitasoinen tiivistys soveltuu hyvin, mutta mikäli prosessimateriaali on hyvin hienojakoista, pienet materiaalivuodot ovat todennäköisiä.



Kuva 25. Tavanomainen tiivistys / kulutuskumiratkaisu Lokotrackeissa

Kuvan 25 kivenmurskaus- ja seulakoneissa tyypillinen tiivistysrakenne on edullinen ja usein riittävän toimiva. Etenkin tavallisessa tiivistystilanteessa, jossa materiaalivirta on jo keskittynyt, ei ole enää tarvetta monitasoiselle tiivistämiselle. Kumiosille tyypillistä on myös lattakiinnitys, jolloin kumia ei liimata ollenkaan, mikä nopeuttaa osan vaihtamista. Kulutuskumi jätetään usein myös yli pitkäksi, joka takaa sen, että kumin kuluessa hihnan kosketuskohdasta kuljetin ei ala välittömästi vuotamaan. Tämä tiivistysratkaisu ei myöskään vaadi kuljetinhihnan alle liukupintaa (liuku- tai iskupalkkeja), sillä kulutuskumin ylimääräinen pituus pystyy kompensoimaan kuljetinhihnan liikkeitä. Kuvan 25 ratkaisu ei kuitenkaan poista sitä ongelmaa, että kulutuskumi saattaa aiheuttaa kuljetinhihnaan kulumia, etenkin jos reunakumi on taivutettu jyrkälle kulmalle, jolloin kumi painautuu voimakkaasti hihnaa vasten.

Lisäksi kumivalmistajilla on muita ratkaisuja etenkin kuljettimiin. Tämän takia ohjeisiin tulee mahdollisesti lisätä vaihtoehtoisten ja kaupallisten ratkaisujen valikoimaa tukemaan olemassa olevia ratkaisuja ja antamaan vaihtoehtoisia näkökulmia.

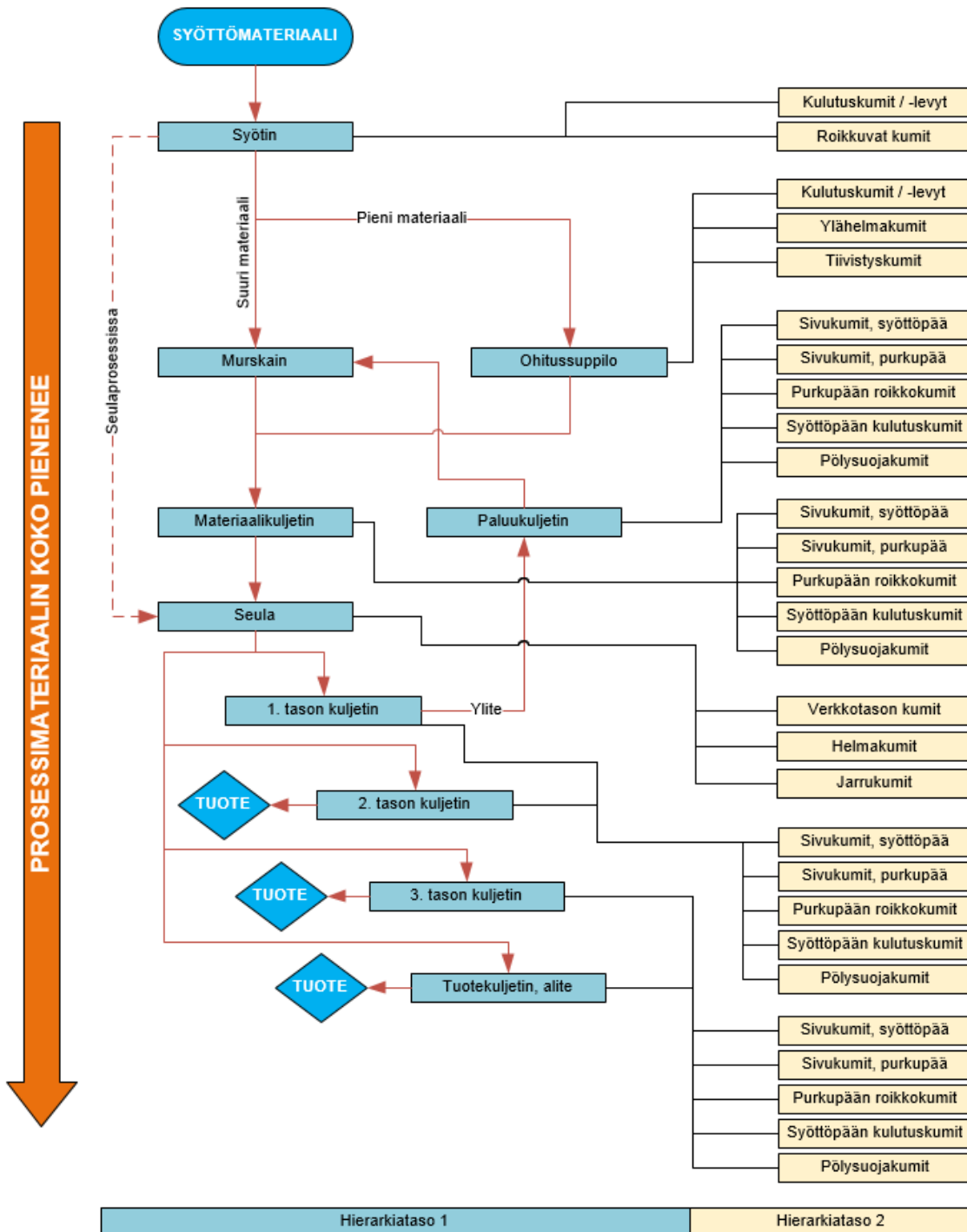
7. PROPERTY DRIVEN DEVELOPMENT, PDD

Kumiosien materiaalivalinta ja muotojen kehittäminen ovat tyypillisesti kokemusperäisen tiedon soveltamista. Lähes kaikilla sidosryhmillä on erilaisia mielipiteitä sekä kokemuksia siitä, millaisia kumiosien tulisi olla, jotta ne vastaisivat sitä mielikuvaa, mikä pyritään asiakkaille tarjoamaan. Tämä mielipiteiden kirjo vaikeuttaa oikeiden ratkaisujen valintaa ja tuotteiden kehittämistä oikeaan suuntaan. Tässä kappaleessa pyritään esittämään kaikki päätöksiin vaikuttavat asiat, joiden avulla vastataan suunnitteluohjeiden tarpeisiin. Koko tässä yhteydessä luotu PDD:n, eli ominaisuusjohtaisen kehitystavan mukainen kokonaisrakenne on nähtävissä liitteessä A.

7.1 Kivenmurskainten hierarkkinen toimintorakenne

Tässä työssä ei ole tarkoituksena uudelleensuunnitella modulaarisuutta, vaan olemassa olevien rakenteiden perusteella jakaa tuotteet sellaisiin osiin, että niihin voidaan soveltaa PDD menetelmää. Käytännössä Lokotrak-tuotteet on jaettu toimintoperäisiin moduuleihin. Tässä yhteydessä käytetty koneenrakenteen jaottelu perustuu materiaalivirran liikkeisiin.

Materiaalin kiertoprosessi on kuvassa 26 kuvattuna hierarkiatasolla 1, jolla siis on koneiden tyypillinen päätaso, joka on tässä yhteydessä järjestettynä materiaalivirran kulun (punaiset vaikutusviivat) mukaisesti. Kuvaan ei ole kuitenkaan otettu mukaan runkoa, sillä se ei tavallisesti sisällä kumiosia. Materiaalivirran kuvaus on olennainen osa kumiosien kehitystä, sillä oikeiden kumimateriaalien valinta pohjautuu suurelta osin syöttömateriaalin ja haluttujen prosessituotteiden ominaisuuksiin sekä niistä riippuviin koneen asetusarvoihin. Kuvassa 26 prosessimateriaalin koko pienenee alareunaa kohti, joka vaikuttaa suoraan kumiosien (hierarkiataso 2) tyypillisiin ominaisuuksiin. Hierarkiatasolta 2 on tarkoituksenmukaisesti poistettu kaikki muut komponentit ja alikokoonpanot, jotta kehitysprosessin kuvauksesta saadaan selkeä.



Kuva 26. Materiaalinkäsittelyprosessi ja käsiteltävä tuoterakenne

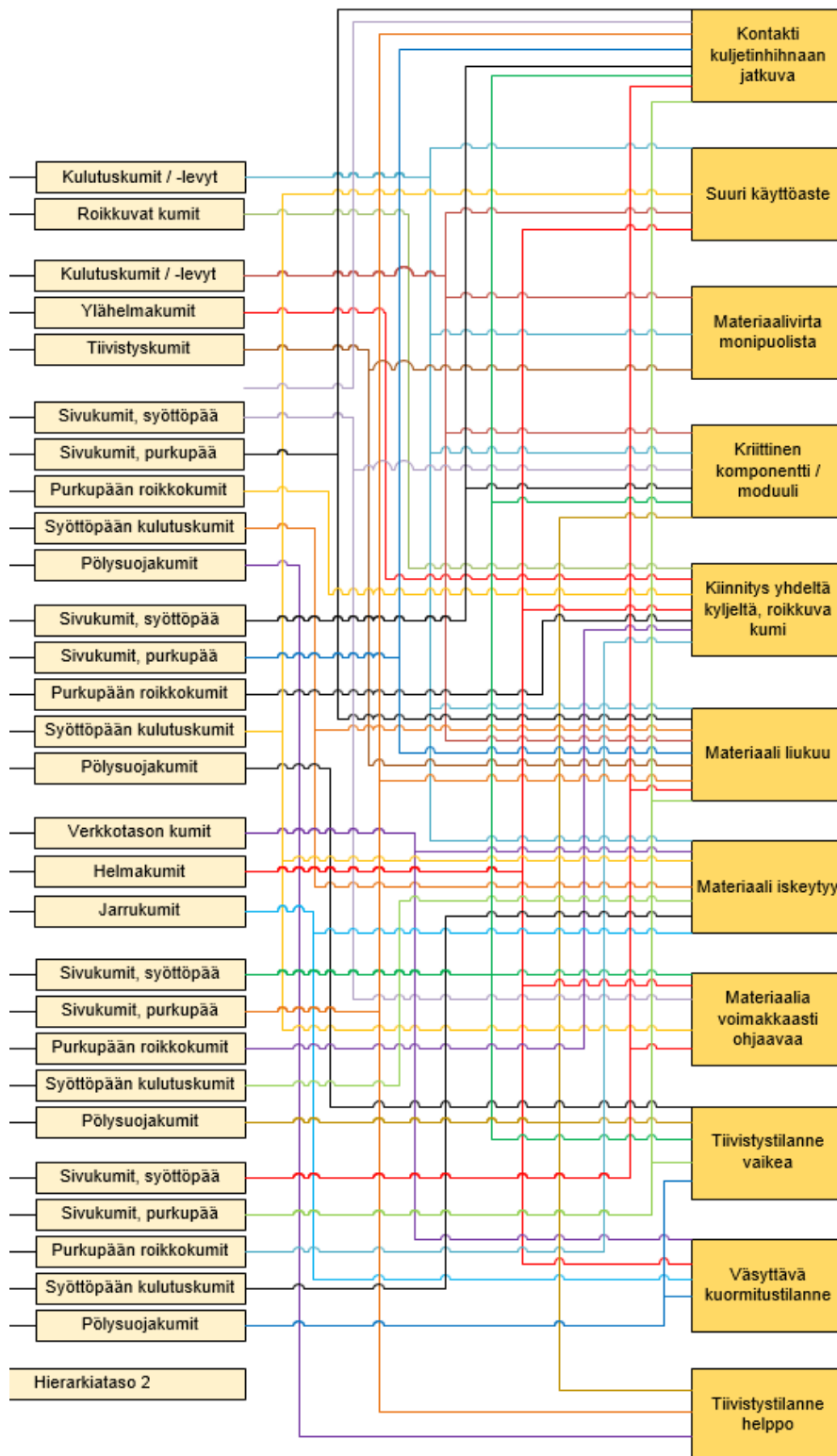
Kuvassa 26 on seulta tulevien materiaalikuljettimien kumiosia yhdistelty. Näin on tehty siksi, että todellisissa käyttöolosuhteissa seulaa käytetään 2-3 verkkotasolla sekä monilla eri verkon reikäkooilla, jolloin kuljettimien osien tulee olla sopivia toisiinsa nähden tiettyjen prosessituotteiden osalta. Konerakenteen hierarkiaa voitaisiin kuvata yksinkertaisemmin, mikäli kuljettimet olisivat konfiguroituvia ja rajapinnat vakioituja, mutta tässä tapauksessa näin ei ole. Kuvassa 26 käsiteltävä tuoterakenne ei vastaa täysin todellista rakennetta, sillä sitä on modifioitu vastaamaan tämän kumiongelman tarpeita. Tarkoituksena ei siis ole käsitellä yksityiskohtaisesti juuri tiettyä tuotetta ja sen ongelmia, vaan

ulottaa kehitystyössä syntyvät ratkaisut mahdollisimman laajalle koko tuotevalikoimaan. Esimerkiksi mikäli käsiteltäisiin vain seulontaprosessia, kuvan 26 koneenrakenteesta poistuisi muun muassa murskain sekä paluukuljetin, joten kumiosiakin olisi siten vähemmän. Tämä rajoittaisi suunnittelun ohjeisiin nähden tarpeellisten ratkaisujen määrää liiaksi.

7.2 Kumiosien tyypilliset ominaisuudet

Hierarkiatason 2 (kuva 27) osia voidaan jatkoanalysoida siten, että kyseessä olevassa moduulissa olevat osien tyypilliset ominaisuudet luetellaan. Huolimatta siitä, että kumiosat ovat eri moduuleissa, on tyypilliset kumiosien ominaisuudet hyvin pitkälti samankaltaisia.

Tyypillisten ominaisuuksien määrittäminen on tehty käytännön havaintojen sekä haastattelujen ja kokemuksen perusteella. Sinällään kumiosien ominaisuuksien määrittäminen ei ole yksinkertaisesti mitattavissa, sillä niiltä vaadittuja ominaisuuksia on useita. Koneen kaikilla kumiosilla on samoja tyypillisiä ominaisuuksia, jotka on määritetty seuraavassa kuvassa (kuva 27).



Kuva 27. Koneiden kumiosien ominaisuuksia

Kuvassa 27 on koneenrakenteen kumiosat sekä niiden tyypilliset ominaisuudet listattuna. Jokaista kumiosaa kuvastaa joukko ominaisuuksia, jotka ovat juuri tälle kumiosalle tyypillisiä. Tätä voidaan käyttää tavallaan myös menetelmänä, jonka avulla jokainen kumiosa pystytään identifioimaan, sillä jokaisen kumiosan ominaisuuksien kombinaatio on

erilainen. Lisäksi kumiosien ominaisuuksista voidaan havaita koko rakenteen kannalta merkittävimmät ominaisuudet:

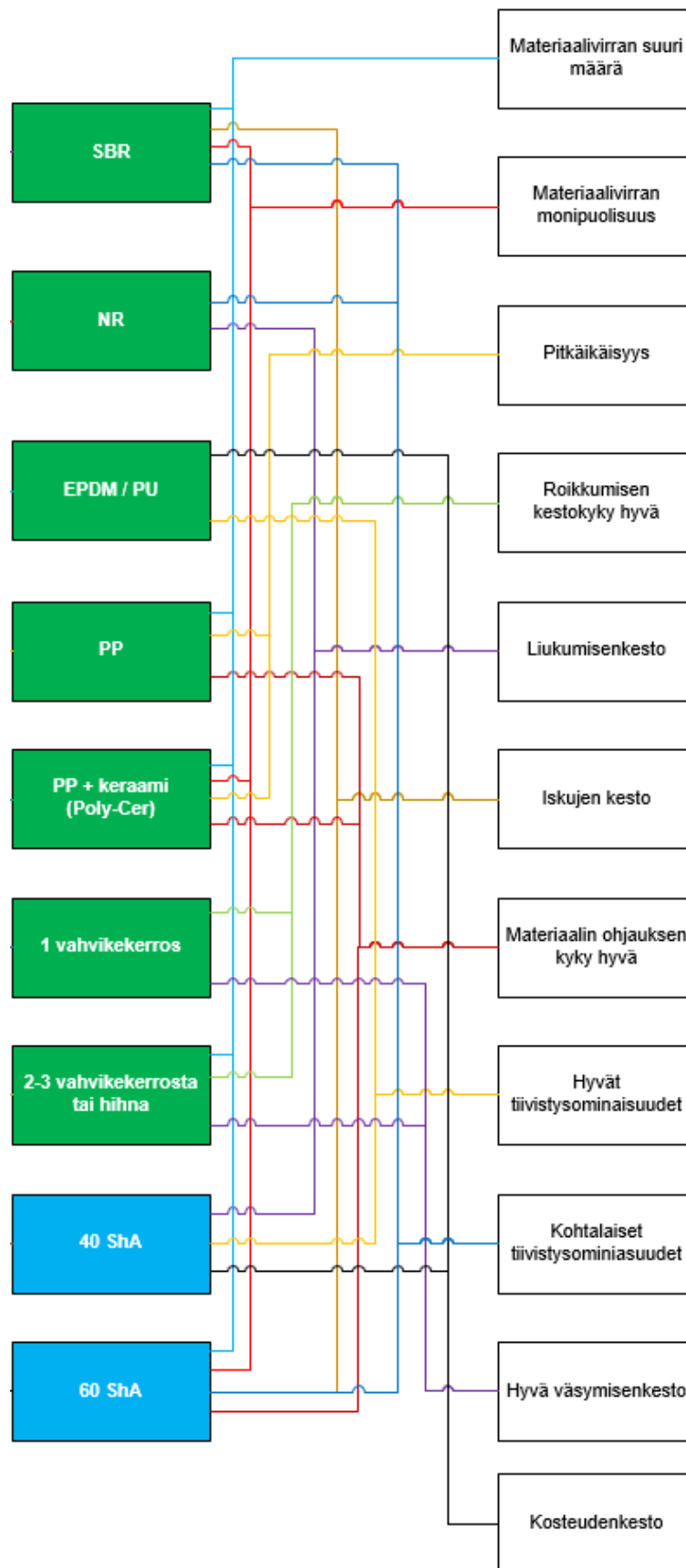
- kontakti kuljetinhihnaan jatkuva (7),
- kiinnitys yhdeltä kyljeltä, roikkuva kumi (7),
- materiaali liukuu (kumin pintaa pitkin jatkuvasti) (9) ja
- materiaali iskeytyy (jatkuvasti) (7).

Suluissa oleva numero on vaikutusviivojen lukumäärää kyseiselle ominaisuudelle, joten voidaan todeta, että muun muassa materiaalin liukuminen kumiosan pintaa vasten (abraasio ja adheesio) on kumiosalle tyypillisin ongelmia aiheuttava kulumismekanismi.

7.3 Käytettävissä olevien tuotteiden analysointi

Käytettävissä olevat tuotteet tulee analysoida, jotta saadaan muodostettua logiikkatieto, jolla oikeita materiaaleja voitaisiin valita. Kyseessä on samankaltainen menettely kuin kuvan 27 kumiosien tapauksessa sillä erolla, että nyt tulkinta on tehty käänteisesti. Kumiosien tyypilliset ominaisuudet ja valittavissa olevat kumituotteet ja kovuudet on listattu (kuva 28) rinnakkaisiin sarakkeisiin. Vaaditut ominaisuudet vastaavat kumiosille lähes tulkoon tyypillisiä ominaisuuksia.

Ominaisuuksien, tuotteiden sekä kovuuksien välille on muodostettu relaatioita, jotka kuvaavat valmistajien ilmoittamia tietoja ja kyseessä olevien tuotteiden kokemuksia. Kumituotteet ja kovuudet on valittu sillä perusteella, että niitä tulee olla hyvin saatavilla ja niiden käyttämiseen on jo totuttu. Toisin sanoen, kumimateriaalit eivät saa olla liian harvinaisia tai uusia, jotta niiden käyttö oikeissa kohteissa voidaan suuremmitta riskeittä aloittaa.

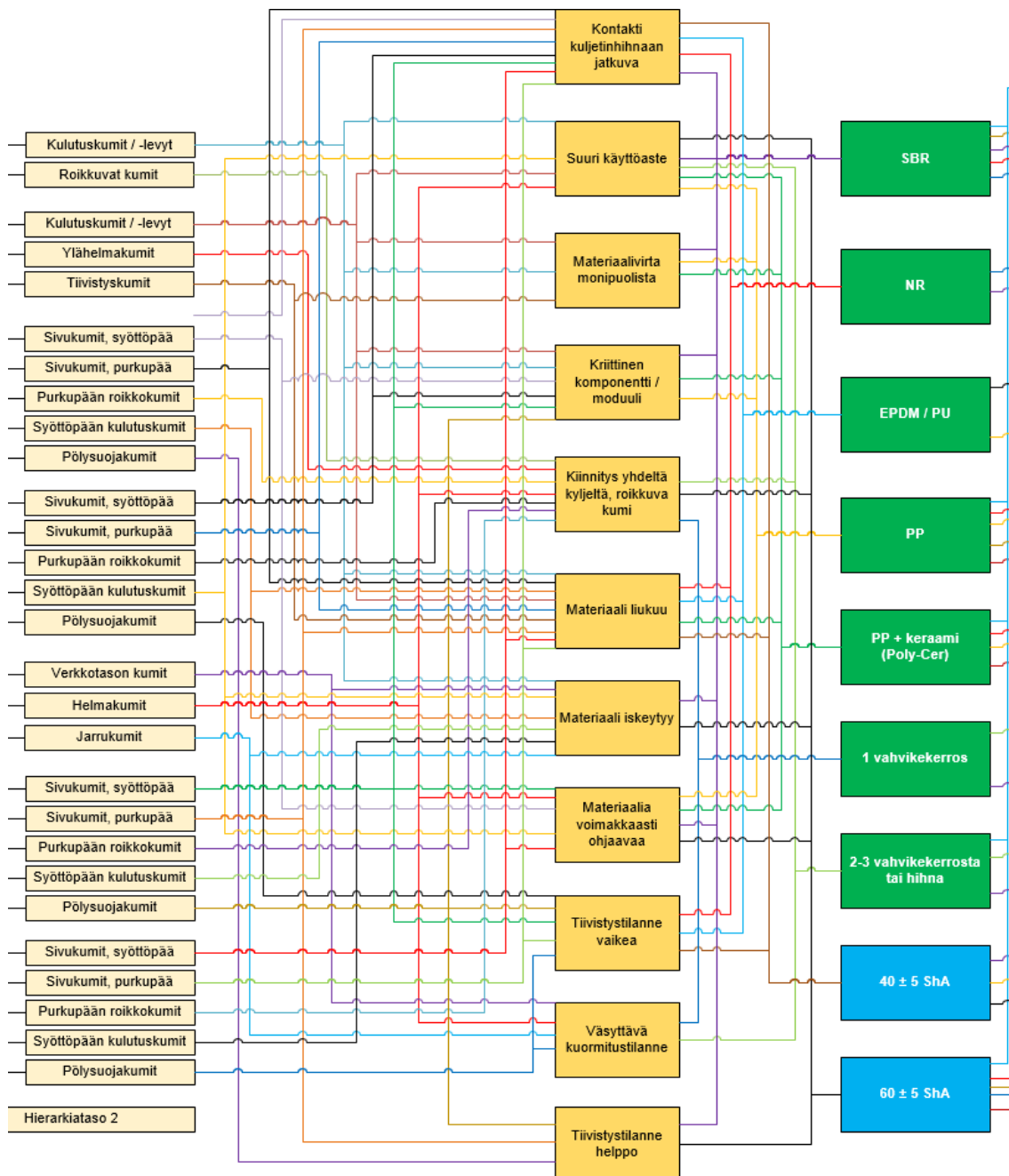


Kuva 28. Käytettävissä olevat kumituotteet ja niiden kovuudet

Kuvan 28 tuotteiden analysointia verrataan tämän jälkeen kumiosien analysointiin.

7.4 Tuotteiden ja käyttötarkoituksen liittäminen

Sallittujen ja saatavilla olevien kumituotteiden sekä kovuuksien liittäminen on hyvin suoraviivainen prosessi. Vaihtoehtojen määrä on kuitenkin kumiosan sijainnista ja käyttötarkoituksesta riippuen joko muutamia tai useita.



Kuva 29. Tuotteiden ja käyttötarkoitusten liittäminen

Kuvassa 29 on siis kyse todellisen materiaalin ja oikean kovuuden liittamisestä oikeaan komponenttiin. Tämän kuvan avulla voidaan siis määrittää oikea kumimateriaali kovuuksineen oikeaan koneen kumiosaan. Esimerkiksi kuvan 29 vasemmassa yläreunassa oleva *Kulutuskumit / -levyt*, jotka kuuluvat siis kuvan 26 mukaisen rakenteen perusteella koneen syöttimeen, voivat olla materiaaliltaan joko SBR kumia tai PP-elementtiä ja kovuudeltaan

60 ShA. Materiaalin kovuudelle saadaan yksi arvo, mutta mahdollisille materiaaleille on kaksi eri vaihtoehtoa tässä vaiheessa. Tarvitaan siis vielä lisäkysymyksiä, joiden avulla voidaan määrittää oikea materiaali kyseiseen käyttökohteeseen. Tällaisia lisäkysymyksiä ovat kaikki ulkoiset tekijät.

7.5 Ulkoisten tekijöiden vaikutus kumiosiin

Ulkoiset tekijät vaikuttavat merkittävästi kumiosiin. Tärkeimpiä kumiosiin vaikuttavista ulkoisista tekijöistä ovat saatavuus ja olemassa olevat rakenteet. Vaikka kaikkia materiaalikokoja on todennäköisesti saatavissa jopa kohtuullisilla toimitusajoilla Suomessa, saattaa tilanne olla hyvin erilainen esimerkiksi Intiassa tai Brasiliassa. Tämän takia koneissa tulee käyttää sellaisia materiaaleja, joiden saatavuus on kansainvälisesti hyvää. Lähtökohtaisesti tämä tarkoittaa sitä, että materiaalien paksuuksiksi tulee valita ne, joita on ympäri maailmaa helpoiten saatavilla. Nämä paksuudet ovat 6, 10, 15 ja 20 mm. Lisäksi tulee ottaa huomioon, että Euroopan ulkopuolella on usein käytössä tuumakoot. Tähän työhön se ei sinällään vaikuta, sillä nyt käsitellään vain koneiden ensiasennusosien (OEM) materiaaleja. Lisäksi Metson koneet on suunniteltu siten, että kumiosien paksuus ei ole herkkä, eli käytännössä sillä ei ole väliä, onko kumin paksuus 5 vai 6 mm. Tämä antaa siten pieniä vapauksia kumiosien materiaalin valintaan myös jälkimarkkinoilla.

Materiaalien saatavuus on eräs merkittävä ulkoinen tekijä. Edellisen kappaleen esimerkin *Kulutuskumit / -levyt* valinnasta jäljelle jääneet materiaalit olivat PP ja SBR. Käyttökohteelle täytyy kuitenkin vielä suorittaa ohjeiden mukainen (kuva 31) paksuuden laskenta, joka antaa tulokseksi 75 mm. Näin paksua kumia ei ole normaalisti saatavilla SBR arkkina vaan vain PP- tai Poly-Cer -elementtinä. Siten saatavuus rajoittaa esimerkin kohdalla lopulliseksi materiaaliksi PP-elementin ja 60 ShA kovuuden.

8. SUUNNITTELUOHJEET

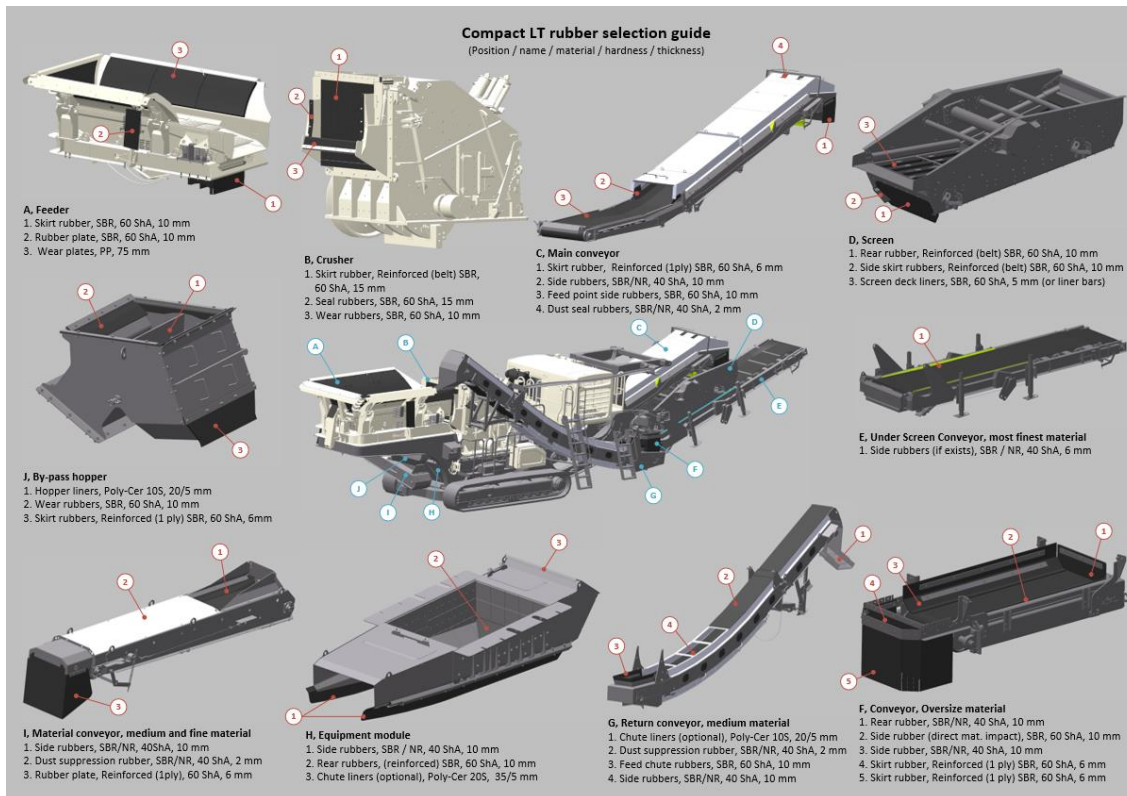
Suunnitteluohjeet ovat yksinkertaistettu visualisointi PDD-menetelmän lopputuloksesta, jossa soveltuvimmat ratkaisut on löydetty. Kumiosien analysointi on suoritettu PDD:n kokonaiskuvaa tulkitsemalla (liite A) ja tässä kappaleessa esitellään tulokset käyttäjätasoisemmassa muodossa. Suunnitteluohjeet on jaettu kahteen osaan: oikean materiaalin valintaan ja oikeiden muotoratkaisujen valintaan.

8.1 Materiaalin valinta

Kumiosien materiaalit valitaan käyttökohteen perusteella. Materiaalien valinta perustuu kumimateriaalivalmistajien suosituksiin sekä toimiviksi havaittujen materiaalien suosiin. Lisäksi kumiosien materiaalivalinnassa on otettu huomioon muun muassa materiaalien saatavuus, sillä materiaalivalmistajat pitävät vain tiettyjä paksuuksia vakiovarastoissaan.

Materiaalien valinta on jaoteltu kolmeen kategoriaan tuoteryhmien perusteella. Jokaiselta tuoteryhmältä valitaan yksi konemalli, joka on mahdollisimman hyvä kuvaamaan koko tuoteryhmää. Materiaalivalinnat tehdään tulkitsemalla kappaleen 7 mukaista PDD ominaiskarttaa sekä ottamalla huomioon ulkoiset vaikutukset. Materiaalivalintojen tarkoitus on antaa mekaniikkasuunnittelijalle alustavaa tietoa siitä, mitä kumimateriaalin tulisi olla missäkin kohdassa. Kyseessä ei siten ole yleispätevä ohje, vaan enemmänkin materiaalien preliminääriseen valintaan ohjeistava kuva, jonka avulla suunnittelija pääsee alkuun materiaalien valinnassa.

Ensimmäinen materiaalien valinnan kategoria on LT Compact tuoteryhmä. Ryhmää kuvaamaan on valittu LT1213S, joka on moduuleiltaan monipuolinen ja siten sisältää useita erilaisia kumiosia.



Kuva 30. LT Compactien kumimateriaalien valinta

Kuvassa 30 (liite D) on esitelty LT1213S koneen yksinkertaistettu moduulirakenne, joka kuvastaa hyvin myös muiden LT Compact tuotteiden kumiosien kannalta merkittävää rakennetta. Kuvassa on merkitty jokaiselle moduulille tyypillisiä ominaisuuksia vastaavat materiaalit paksuuksineen. Kuvassa ilmenevät suositellut materiaalit vastaavat ominaisuusperäisen kehitystavan (PDD) materiaaleja, jonka lisäksi materiaaleille on laskettu oikeat paksuudet (kuva 31) ottaen huomioon myös materiaalien saatavuudet.

Materiaalivalinnan ensimmäisessä vaiheessa valitaan käyttökohteen perusteella suositeltu perusmateriaali. Käytetyt materiaalit ovat tavalliset kulutuskumit (NR tai SBR, kovuudet 40ShA ja 60ShA), liukkaammat kumimateriaalit (PU tai EPDM), vahvikkeelliset (SBR ja NR) ja öljynkestävät (NBR) kumit sekä PP ja Poly-Cer kumielementit.

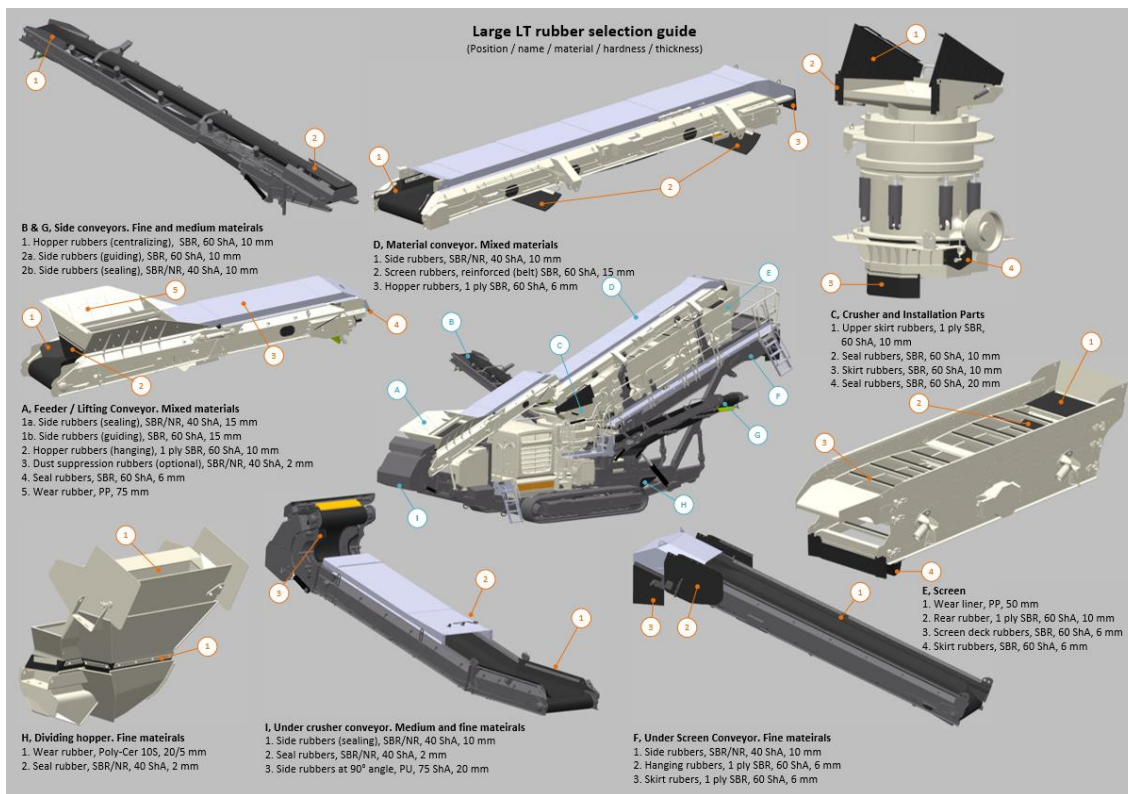
Rubber sheet thickness selector for Trellex rubbers		
Fill in values with white backgrounds		
Drop height, m (range 0-3m, 0.5m accuracy)	0,5	
Particle size maximum, mm (range 0-150)	5	
Impact abrasion		
Conditions	User input	C-value
Angle of impact in degrees	70	1
Hardness of rock, MOHR number*	1	0
Shape of rock (use drop down list)	Round	0
Coarse rock %	50	1
Density of rock, g/cm ²	2	0
Capacity, Tonns Per Hour	200	1
Sum of C-values		3
Sliding abrasion		
Conditions	User input	C-value
Hardness of rock, MOHR number	1	0
Shape of rock (round, sharp or very sharp)	Round	0
Coarse rock %	50	1
Density of rock	2	0
Capacity, Tonns per hour	200	1
Velocity, m/s	1,5	0
Sum of C-values of impact		2
Greater C-value defines thickness		3
Rubber sheet thickness	10	
*MOHS numbers, source Trellex sheeting manual		
1 Crushed by fingernail	Talc	
2 Scratched by a fingernail	Gypsum	Graphite, Sulphur, Mica, Gold
3 Scratched by an iron nail	Calcite	Dolomite
4 Easily scratched by a knife	Flurite	Magnesite
5 Scratched by a knife	Apatite	Magnetite
6 Hardly scratched by a knife	Orthoclase	Granite, Pyrite
7 Scratches glass	Quartz	Basalt
8 Scratched by quartz	Topaz	Beryl
9 Scratched by a diamond	Corundum	
10 Cannot be scratched	Diamond	

Rubber sheet thickness, source: Trellex sheeting manual				
Particle size max.	Drop height	Sum of C-values		
mm	m	0-3	4-7	8-12
25	0	15	20	25
	0,5	10	15	20
	1	15	20	25
	1,5	20	25	30
	2	20	25	30
	2,5	20	25	30
50	3	25	30	35
	0	20	25	35
	0,5	15	20	25
	1	20	25	30
	1,5	25	30	35
	2	25	30	35
75	2,5	25	30	35
	3	35	40	50
	0	25	35	50
	0,5	20	25	30
	1	25	30	35
	1,5	35	40	50
100	2	35	40	50
	2,5	35	40	50
	3	50	50	75
	0	35	50	75
	0,5	25	30	35
	1	35	40	50
150	1,5	35	40	50
	2	50	50	75
	2,5	50	50	75
	3	50	50	75
	0	50	75	100
	0,5	35	40	50

Kuva 31. Trellex 60 ShA kumin paksuuden laskenta (Metso Oyj 2002)

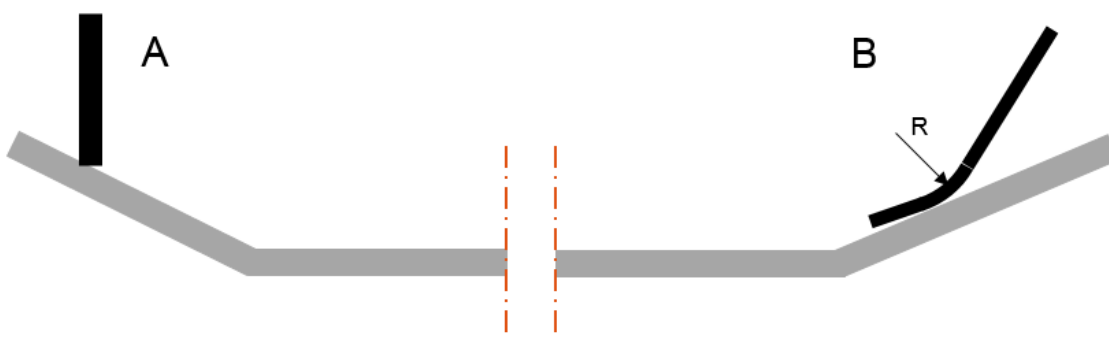
Kumin paksuus pohjautuu koneen prosessiparametreihin ja designiin. Etenkin iskukulma vaikuttaa kumin paksuuteen ja materiaaliin, joten konstruktiota muuttamalla voidaan pienentää koneen kumiosien painoa ja hintaa sekä parantaa kulumiskestävyyttä. Kumipaksuuden laskemista täytyy hyödyntää etenkin kohteissa, joissa materiaalin aiheuttama kuluma on erityisen iskevää tai liukuvaa. Normaaleissa materiaalivirran ohjausta ja roiskumisen estoa vaativissa tilanteissa voidaan käyttää normaaleja paksuuksia, jotka on merkattu materiaalivalintojen kuviin (kuvat 30, 32, 35). PP- ja Poly-Cer elementtien paksuuden valintaan tulee aina tehdä valmistajan ohjeiden mukaisesti, jolloin materiaaliprosessin parametrien perusteella saadaan oikea elementin paksuus. Materiaalivalinnan kuvissa PP ja Poly-Cer elementtien paksuudet on valittu suoraan valmistajien ohjeiden mukaisesti tyypillisten käyttötilanteiden perusteella.

Large LT koneille vastaava materiaalivalintataulukko kuin Compact LT:lla on oheisen tapainen (kuva 32 / liite C).



Kuva 32. LT Large kumimateriaalien valinta

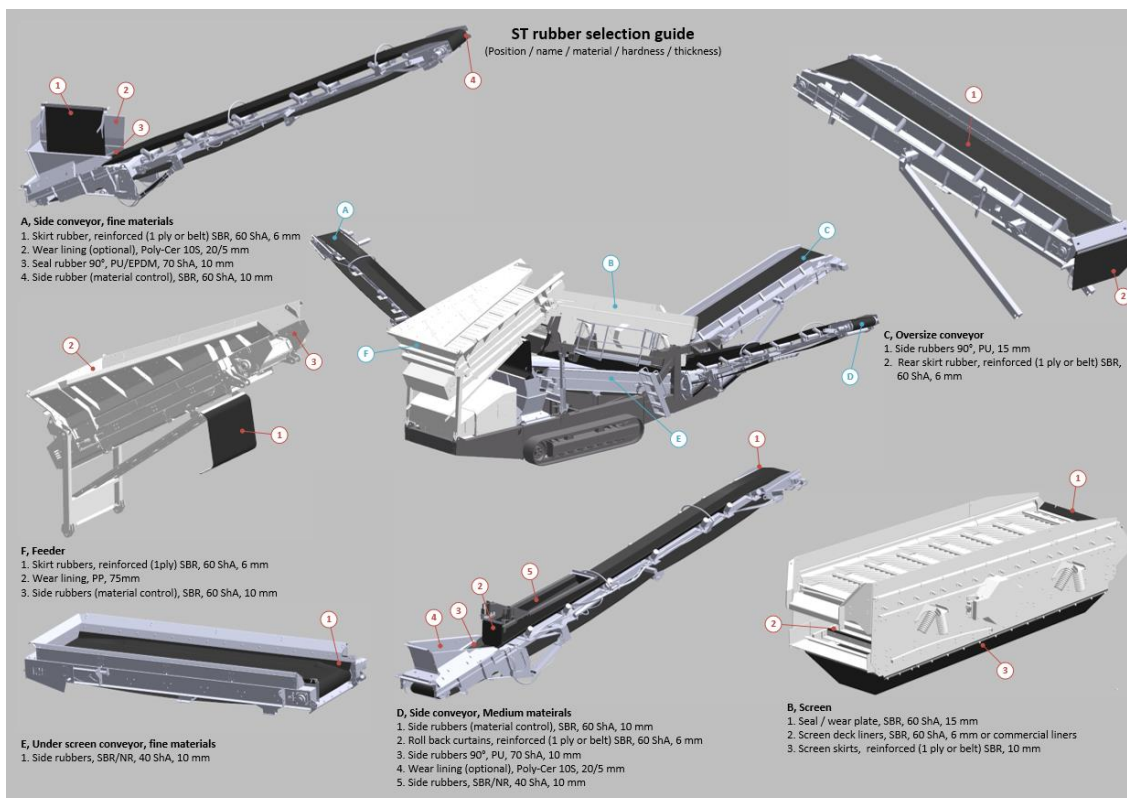
Large-koneiden kumimateriaalit ovat hyvin samanlaisia kuin Compact-koneiden. Tämä johtuu siitä, että yleisesti prosessimateriaalikin on samanlaista. Poikkeuksiakin näistä materiaalihjeista löytyy. Compact koneissa kuljettimien sivukumit ovat laahaavia, eli kumi nojaa kuljetinhihnaan kyljeltään (kuva 33, tapaus B), jolloin näiden kumiosien välinen puristusvoima on riippuvainen sivukumin taivutussäteestä. Osassa Large-koneiden sivukumeista on kyseessä kuvan 33 tilanteesta A, jossa kumi on 90° kulmassa kuljetinhihnan nähden (tai jossain muussa kulmassa riippuen kuljetinhihnan kouruuntumisesta), mutta todellinen tiivistävä pinta on kumileikkeen päädyn pinta-ala eikä osan kyljen kosketuspinta.



Kuva 33. Kaksi erilaista tapaa tiivistää kuljetinhihna

Molemmat kuvan 33 tapaukset vaativat eri materiaalin kestääkseen kulutusta kuitenkin rikkomatta kuljetinhihnaa. Tavanomaisemmassa *B* tapauksessa sivukumin materiaalin tulee olla ominaisuuksiltaan kuljetinhihnaa huonompaa tarkoittaen sitä, että sivukumileikkeen tulee olla muun muassa pehmeämpi kuin kuljetinhihna. Materiaalina voidaan tällöin käyttää samaa kuin kuljetinhihna, eli tyypillisesti SBR kumia. Koekäyttötilanteissa tulee kuitenkin huomioida, että hihnan ja sivukumien ominaisuudet ovat tällöin hyvin lähellä toisiaan, jolloin on riski, että kumiosat tahmautuvat (jopa vulkanoituvat) toisiinsa kitkankontaktin lämmöntuoton takia. Siksi tässä tilanteessa sivukumimateriaalin tulisi olla pehmeämpää, jolloin materiaalien ominaisuudet eivät ole liian lähellä toisiaan. Kuvan 33 tapauksessa *A* sivukumi tiivistää kuljetinta osan poikkileikkauksen pinta-alallaan, eikä leikkeen kylkipituudella. Tämä tilanne vaatii sivukumilta uudenlaisia ominaisuuksia verrattuna tavalliseen sivukumiin. Siksi kumiosan materiaalin tulisi olla liukasta, eli kuljetinhihnan ja kumiosan välinen kitkakerroin olisi mahdollisimman pieni. Materiaalin tulee siis hihnan ollessa SBR:ää olla esimerkiksi polyuretaania (PU) tai EPDM:ää. Tämänkaltaisen tiivistysratkaisu on erinomainen sellaisiin tapauksiin, joissa ei ole tilaa kuvan 33 *B* vaihtoehtoon.

ST:t eroavat kuljettimien kumiosiltaan muista Metson tuotteista. Eroavaisuudet selittyvät osin tuoteryhmän historialla, sillä ST on verraten uusi konekokonaisuus.



Kuva 34. ST kumimateriaalien valinta

Kuten kuvasta 34 (sekä liite B) huomataan, on ST kuljettimien sivukumit yleisesti kuvan 33 A tapauksen mukaisia, eli 90° kulmassa kuljetinhihnaa vasten. Tämä on sellainen tilanne, jossa tiivistävien kumiosien kulumisen tulee olla hallittua ja hieman normaalia hitaampaa, jotta koneen tiiveyttä ei menetetä liian nopeasti. Siksi tiivistävien sivukumien materiaali tulisi olla esimerkiksi PU:a, mikäli osa on kosketuksissa materiaalivirran kanssa ja EPDM:ä mikäli tarpeena on ainoastaan pölyhiukkasten eristäminen. Käytännössä tilanne on suuressa osassa ST koneita sellainen, että materiaaliksi tulee valita PU ja jotta kulumisen on kontrolloitua, tulisi materiaalin kovuuden olla noin 70 ShA. Tällaisen materiaalin valinta kuitenkin vaatii sen, että kumiosan muodot myötäilevät kuljetinhihnan muotoja. Kosketuspinta tulee siis olla viistetty kuljetinhihnan kouruuntumista vastaavaksi. Myös SBR kumia voidaan käyttää pystysuorana tiivistimenä, mutta tällöin tulee varmistua siitä, että hihnan ja sivukumin välillä on pieni rako.

8.2 Muotojen ohjeistus

Kumien materiaalin valinta ei ole yleensä riittävä toimenpide siihen, että kumiosa toimisi kuten sen on tarkoitus. Kumien muotoilussa pitää ottaa huomioon samoja suunnittelullisia näkökulmia kuin teräsrakenteissakin, jonka lisäksi kumimateriaaleilla on teräkseen nähden erityisominaisuuksia. Seuraavissa kappaleissa on esitetty seuraaviin ratkaisuja yleisiin ongelmiin, kuten

- koneessa on materiaalivuotoja kylmissä lämpötiloissa,
- kumiosat ovat murtuneita kulmista ja taitoksista,
- kuljetinhihnat nopeasta kouruuntumisesta johtuu tiivistysvaikeuksia,
- kuljetinrumpujen pinnat kuoriutuvat irti,
- kumit repeytyvät kulmista,
- välivarastoinnin vauriot ja
- kumiosat eivät tiivistä riittävästi.

8.2.1 Kumiosien materiaaliarvot sekä suositukset

Yleisimmät materiaaliarvot on hyvä tietää, jotta voidaan varmistua siitä, että osa sopii käyttökohteeseensa. Kumiosille tyypillisiä arvoja on seuraavassa taulukossa.

Taulukko 3. Kumiosien materiaaliominaisuuksia sekä suunnittelun ohjearvoja

Laadukkaiden kumiosien tavanomaiset lukuarvot	
Lämpöpiteneumakerroin, $10^{-6} \text{ m}/(\text{m}^* \text{K})$	150 - 200 (teräkselle = 12)
Vähimmäispyöröstys, mm	R = paksuus (mutta vähintään R5)
Tiheys, g/cm^3	1,00 - 1,2
Murtovenymä, %	> 300
Murtojännitys, MPa	> 10
Kumiosan maksimileveys, mm	1400

Edellisen olevan taulukon (taulukko 3) arvojen perusteella voidaan helposti huomata, että esimerkiksi lämpötila vaikuttaa huomattavasti eri tavalla kumeihin kuin teräkseen. Kumiosien kulmien pyöristäminen on olennainen osa väsymiskestävyyttä, sillä määrittämällä minimisäde pyöristykselle, voidaan varmistua siitä, että lovivaikutus on riittävän pientä. Kumiosan maksimileveyden arvo on niin ikään suuntaa antava, sillä 1400 mm on tavanomainen maksimileveys, joita materiaalitoimittajilta saa ilman lisätoimenpiteitä.

8.2.2 Kumien kiinnitys ja merkittävät mitat

Kumiosat voidaan kiinnittää metallirakenteisiin pulttaamalla, niittaamalla ja ruuvaamalla. Erona teräsrakenteisiin nähden, kumisia osia kiinnitettäessä tulee kiinnittää huomiota enemmän kiristysmomenttiin, sillä jos kumiosa kiristetään liian kireälle, aiheutuu kumiin säröjä tai pursoutumista (kuva 36), josta kumi lähtee murtumaan jo pienen ajan kuluessa. Kumiosan kiinnittämiseen ei voida kuitenkaan antaa yhtä kiristysmomentin arvoa, sillä ensinnäkin, on epäkäytännöllistä kiristää kumileikkeiden kaikki kiinnitysosat tiettyyn momenttiarvoon ja toiseksi, eri kumilaadut vaativat eri kiristysmomentit. Siten kiristäminen tulee ohjeistaa kirjallisesti siten, että kumiosan pursoutumista ja rikkoutumista ei yksinkertaisesti sallita.

Myös liimausta voidaan käyttää kumiosan kiinnittämiseen, mikäli noudatetaan täsmällisesti kumivalmistajan antamia liimausohjeita. Usein liimausta ei kuitenkaan pystytä suorittamaan riittävän puhtaissa olosuhteissa, joten käytännössä liimausta ei voida suositella muualla kuin tehdasolosuhteissa. Mikäli kiinnityspinnalta vaaditaan tasaisuutta eikä erillisiä kiinnittimiä voida käyttää, voidaan käyttää esiliimattuja kumiosia, joihin on siis liimattu metallinen taustalevy. Taustalevyn avulla kumiosa voidaan taistaa pysyvästi tiettyyn kulmaan, mikä edesauttaa kulumisen hallintaa. Myös kiinnitysosat saadaan helpommin piilotettua, kun kiinnitys tapahtuu vain metallisen taustapellin avulla (kuva 35).



Kuva 35. Taustalevyn vakiokiinnitystavat (Metso AB 2017 s. 48)

Kumien kiinnitystapa riippuu käyttökohteesta. Jos kumin tarkoitus on roikkua ja hallita putoavaa materiaalivirtaa, olisi kumin oltava kiinnitetty metallisella latalla, jolloin kumi pysyy myös kitkan, eikä pelkän pultin, avulla paikallaan. Lisäksi kun kumi on kiinnitetty latalla, pulteista aiheutuvat kiristysvoimat jakautuvat laajemmalle alueelle, eikä kumiin pääse syntymään liian herkästi vaurioita, kuten pursoutumista.

Kumiosat tulee kiinnittää tukevasti paikalleen. Kiinnittämisessä tulisi siis suosia lattakiinnitystä, jotta kumin elinikä on pisin mahdollinen. Mikäli kumi kiinnitetään pulteilla, tulee prikan olla riittävän suuri. Pulttikiinnitystä tulisi kuitenkin välttää, sillä pultit kiristetään

tuotannossa ja huollossa koneella, jolloin ne kiristetään liian tiukalla vaurioittaen kumiosaa. Tähän kuitenkin auttaisi se, että kumiosien kiinnittämiseen olisi kirjallinen ohjeistus, joka kiinnittäisi asentajan huomion oikeaan kiristykseen.



Kuva 36. Kiinnityspultin liiallinen kireys

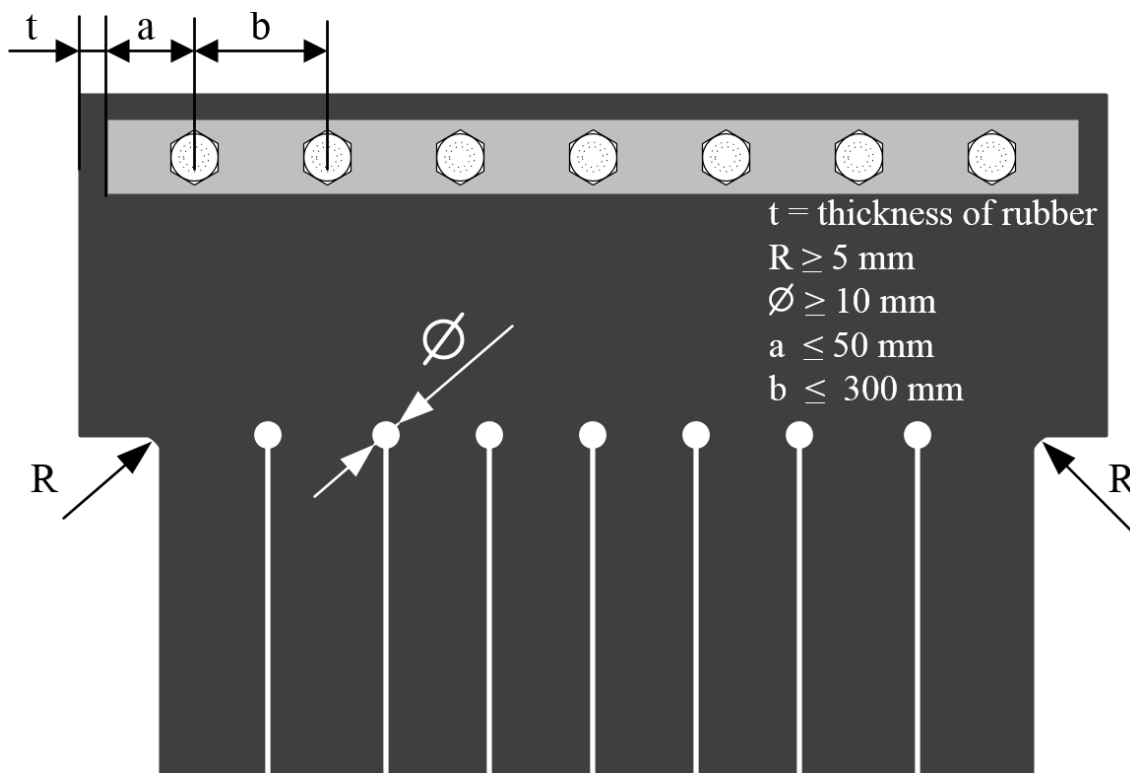
Kumiosa pyrkii kompensoimaan pultin kiristyksestä johtuvat voimat, mikä näkyy etenkin tällaisessa ”universaalissa” kiinnitysosassa (kuva 36), jossa kiinnityshahlo on pitkän muotoinen. Mikäli kumin kiinnityskohta olisi vain pyöreä reikä, ei kumi pääsisi juurikaan muuttamaan muotoaan ruuvin kohdalta, vaan pullistuminen tapahtuisi latan reuna-alueilla. Lähtökohtaisesti, yllä olevan kuva tapauksessa ruuvi on kiinnitetty liian suurelle kireydelle, mikä aiheuttaa sen, että kumi vaurioituu. Tätä kuitenkin edesauttaa se, että kuvan 36 universaali kiinnityslatta ei tue kumiosaa koko pinta-alaltaan. Pitkien reikien takia latta muotoutuu ja taipuu pultin kiristysvoimasta niin paljon, että kumiin muodostuu pienelle alueelle lokaali maksimijännitys, joka aiheuttaa vaurioita kumiin. Toisin sanoen, latta ei ole riittävän jäykkä jakaakseen voimaa suuremmalle alueelle. Tästä johtuen kiinnityslatan tulisi olla tarvittaessa L-palkin muotoinen, jossa on kiinnitysreikiä jopa 200-300 mm välein.

Kumiosia kiinnitettäessä latoilla, tulee kiinnittää huomiota kiinnityslatan sijaintiin kumiin nähden. Etuna on se, että kumi voidaan sijoittaa laitteeseen siten, että kumi ei päästä yläreunastaan materiaalivuotoja.



Kuva 37. Kiinnityslatan virheellisiä sijoitteluja

Mikäli kiinnityslatta sijaitsee liian alhaalla kumiin nähden, muodostuu kumiin kotelokoko kiinnityslatan yläpuolella, kuten yllä olevista kuvista nähdään (kuva 37). Latta voi sijaita myös väärässä kohdassa materiaalivirran kulkuun nähden, jolloin se muodostaa hyllymäisen rakenteen, johon prosessimateriaali jää jumiin. Lisäksi tulee kiinnittää huomiota siihen, miten kumiosat kiinnitetään. Kuvassa 38 on suositeltu kumiosan kiinnittämistapa tärkeimpine mittoineen.

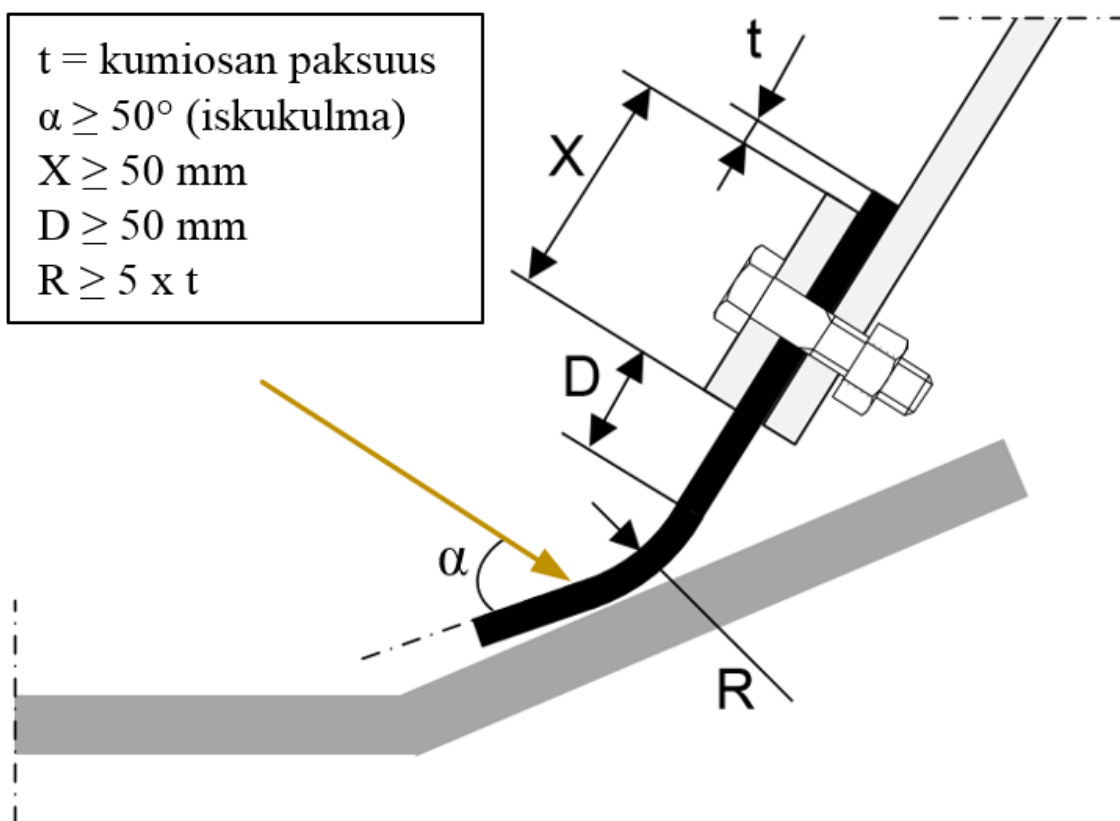


Kuva 38. Lattakiinnitys ja pyöritykset

Kiinnittämisessä tulee kiinnittää huomiota sekä kiinnityspisteeseen että -tapaan. Kumit tulisi lähtökohtaisesti kiinnittää lattojen avulla, mutta mikäli tilanne vaatii, voidaan myös suurikantaisia pultteja ja isoja prikoja käyttää. Tällöin kuitenkin tulee huolehtia siitä, että kiinnitystiheys on riittävä, eli pultteja / ruuveja on vähintään 150 mm välein, eikä niitä kiristetä liian tiukalle. Edellisessä kuvassa (kuva 38) kumi on kiinnitetty siten, että kiinnityslatan yläpuolelle jää noin kumin paksuuden verran kiinnittämätöntä pintaa, jol-

loin varmistetaan siitä, että kumi pysyy paikallaan rikkoutumatta tai koteloitumatta. Pulttikiinnitystä voidaan käyttää kiinnitettäessä kumia haastavalle pinnalle, mutta edelleen, lattakiinnitystä tulisi käyttää aina kun mahdollista. Kumiosa tulee kiinnittää tukevasti paikalleen, jolloin kumiosa pääsee liikkumaan vain niiltä alueilta, mistä sen on suunniteltu liikkuvan. Jotta kumiosa ei väsy rikki liikkeestä, tulee varmistaa, että kaikki toiminnalliset kulmat on pyöristetty vähintään 5 mm säteelle, kuten kuvassa 38.

Etenkin kiinnitettäessä sivukumeja, tulee edellisten asioiden lisäksi ottaa huomioon pienin sallittu taivutussäde sekä muut kiinnitykseen vaikuttavat dimensiot (kuva 39). Jotta hihnaan nojaava kumiosa kykenee tiivistämään kuljettimen, tulee kokonaisrakenteen olla sellainen, että kumiosa ei ole kriittinen komponentti. Tämä saadaan toteutettua siten, että materiaalivirran ohjaus hoidetaan ensisijaisesti kuljetinhihnan kouruuntumisella, jolloin materiaali keskittyy eikä nojaudu sivukumia vasten. Sivukumin tehtävänä on siten vain rakenteen tiivistäminen.



Kuva 39. Sivukumin kiinnitys lattan avulla

Lattakiinnityksessä pultin sijainti tulisi olla keskellä lattaa, jolloin kumiin kohdistuva jännityskenttä on mahdollisimman symmetrinen lattan keskiakselin suhteen. Taivutussäde R riippuu kumiosan paksuudesta t ja materiaalin kovuudesta. 60 ShA kovuisen kumiosan taivutussäteen tulisi olla noin 5-kertainen paksuuteen nähden, eli mikäli kumiosan paksuus on 10mm, tulee taivutussäteen olla vähintään 50mm. 40 ShA kumimateriaaleilla taivutussäde voi olla tarvittaessa jyrkempi, mutta tätä 5-kertaista sädettä paksuuteen nähden tulisi käyttää myös tällaisissa osissa.

Etäisyys D kuvassa 39 on se mitta, joka tulisi olla kiinnityslatan reunan ja kumiosan taivutuksen aloituksesta. Lattaa ei voida kiinnittää siten, että kumin taipuminen alkaa välittömästi latan reunasta, sillä kumiosa taivutuu tällöin terävää särmää vasten. Tämä aiheuttaa kumiosan leikkaantumisen sekä usein liiallisen voiman esimerkiksi sivukumin ja hihnan välille, joka nopeuttaa osien kulumista. Etäisyyden D tulisi olla noin 50 mm, jotta kumi pääsee taivutumaan jouhevasti. Myös latan leveys X tulisi mitoittaa siten, että se riittää kumiosan kiinnittämiseen. Riittävä latan leveys on 50 mm, mikäli pultti sijoitetaan latan keskelle.

Mikäli kumiosaan kuitenkin kohdistuu materiaalivirran iskeytymistä, tulee iskukulman α olla vähintään 50° . Mikäli kumiosaan iskeytyvän materiaalivirran kulma on tätä pienempi, kasvaa kulumisnopeus eksponentiaalisesti. Käytännön sovelluksissa alle 50° iskukulmalle suositellaan, että kumiosa on muotoiltu porrasmaiseksi, jolloin todellinen iskukulma saadaan järjestettyä mekaanisella ratkaisulla yli 50° kulmaiseksi.

8.2.3 Kumiosien dimensiot

Kumiosissa täytyy ottaa huomioon lämpötilan vaikutus kumiosien kokoon, sillä kumin pituuden lämpölaajenemiskerroin on $150 - 200 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$. Teräkseen verrattuna kumin pituuden muuttuminen on yli kymmenkertaista. Lämpötilan vaihteluista johtuen etenkin pitkät kumiosat tulee suunnitella siten, että ne olisivat hieman ylimittäisiä todelliseen tarpeeseen nähden. Tällöin varmistutaan siitä, että esimerkiksi kuljetin pysyy tiiviinä huolimatta siitä, että konetta käytetään hyvin matalissa lämpötiloissa. Toisaalta, esimerkiksi kuljettimien sivukumit on hyvä kiinnittää latoilla koko yläreunan pituudelta kiinni, sillä mikäli kumiin jää yläreunaan kiinnittämättömiä alueita, saattavat ne pullistua (kuva 40) lämmön vaikutuksesta. Tällöin riskinä on se, että materiaalia pääsee vuotamaan kuljettimen sisäisiin rakenteisiin tästä sivukumin yläpinnassa olevasta reunasta aiheuttaen kuljettimeen sisäisiä vaurioita.



Kuva 40. Lämpövenymän osin aiheuttama kumin pullistuma

Kuvassa 40 on esimerkki siitä, mitä kumille tapahtuu, kun se sekä kiinnitetään huolimattomasti ja kumi pääsee lämpölaajenemaan. Koneen tiivistys huononee huomattavasti kumiosan päästessä pullistumaan. Riskinä on etenkin prosessimateriaalin pääseminen kuljettimen tai muun koneenrakenteen sisään, jolloin se saattaa aiheuttaa suuriakin vaurioita, kuten hihnarumpujen vioittumisia. Lisäksi kumin pituuden lämpölaajenemiskertoimesta johtuen, kumit tulee asentaa saman lämpötilaisina kuin ne ovat olleet osia leikattaessa. Lämpötilaero leikatessa ja asennettaessa aiheuttaa sen, että kumiosat eivät välttämättä sovi niille tarkoitettuihin asennuspaikkoihin.

Myös varastoitaessa kumiosan mitat muuttuvat, joten valmiin kumileikkeen varastointiaika täytyisi pitää mahdollisimman lyhyenä. Mittojen muuttuminen korostuu etenkin silloin, jos kumeja ei säilytetä oikein. Kumiosien tulisi olla myös riittävän pieniä, että ne voidaan helposti vaihtaa. Lisäksi kumien kokoa tarkasteltaessa tulisi ottaa huomioon, miten kumi kuluu. Mikäli kumi kuluu tietystä kohtaa erityisen nopeasti, tulisi kumiosan olla sen kokoinen, että vain usein kuluvalta alueelta tarvitsee osa vaihtaa, eikä esimerkiksi seulan helmakumeja koko matkalta. Kumiosan kokoa tulisi myös ajatella painon kannalta. Taulukossa on listattuna tyypillisimpien kumilevyjen neliöpainot valikoiduille Trellexin T60 ja T40 kumilevyille. Kumiosan massan tulee olla riittävän pieni, jotta sen pystyy helposti vaihtamaan annetussa tilassa.

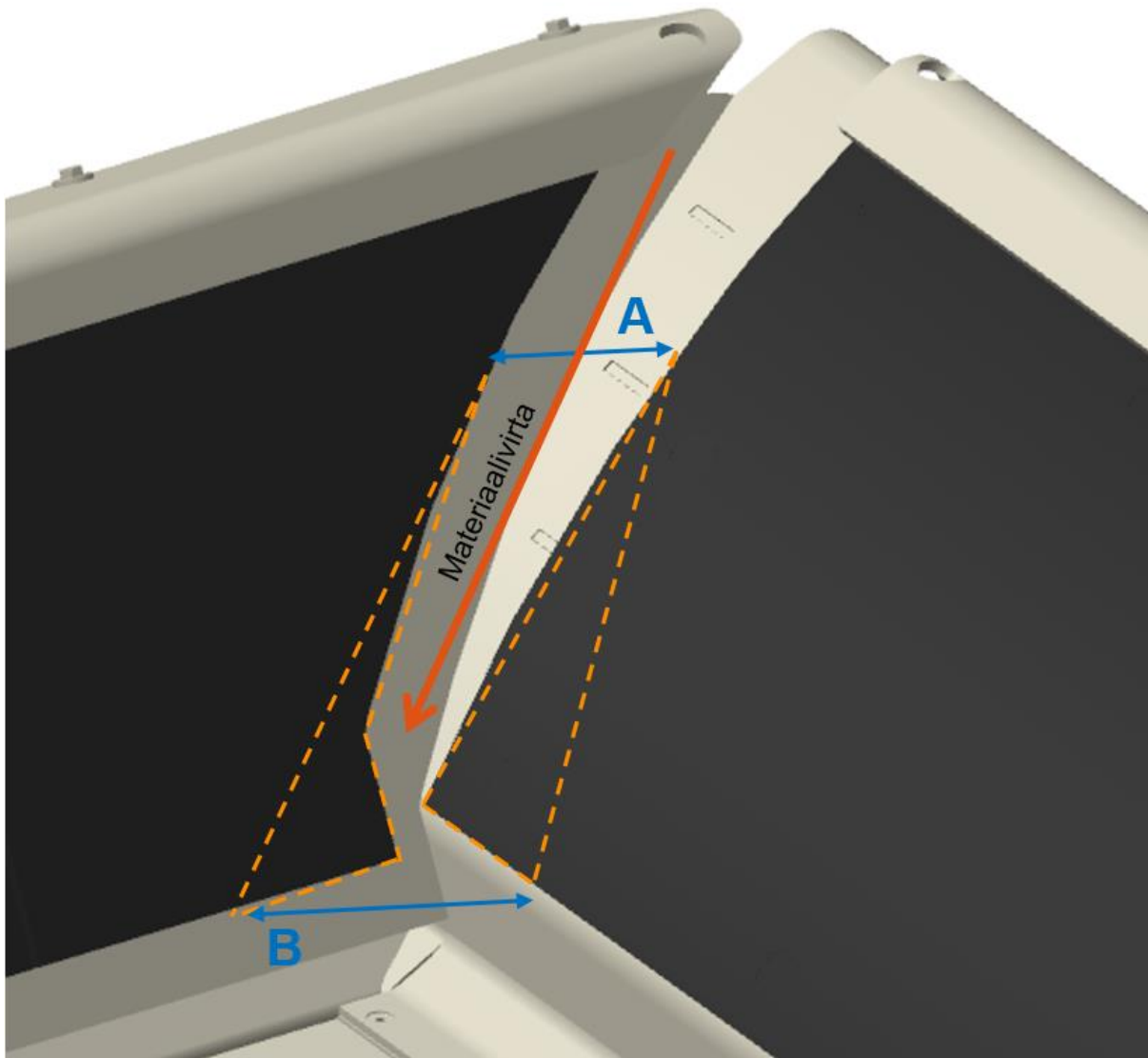
Taulukko 4. Kumilevyjen tyypilliset massat (Trellex 2017)

Kumilevyn paksuus, mm	Massa, kg/m ² T60	Massa, kg/m ² T40
5	5,6	5,0
10	11,3	10,0
15	17,0	15,0
20	22,6	20,0
25	28,6	25,0

Kumiosat tulee jakaa myös muista kuin painollisista syistä, mutta liian suurien kumiosien käsiteltävyys tulisi aina ottamaan huomioon. Etenkin painaville kumiosille tulisi antaa nosto-ohjeet tai selvät nostopisteet. Lisäksi nostoapuvälineiden kehittäminen ja suunnitteleminen kumiosille on tarpeellista. Kumilaidat ovat painonsa takia ongelmallisia. Vaikka pinta-alaltaan kumilaidat eivät olisi merkittävän suuria, painavat ne paksuuden takia yleensä useita kymmeniä kiloja, joten niitä ei voi käsin nostamaan.

8.2.4 Kumiosien muodot ja loppuun asti suunnitteleminen

Kumiosien muodot voivat olla ongelmallisia, kuten teräsosatkin tietyissä tilanteissa. Täsmälleen samat ilmiöt esiintyvät niin kumi, kuin peltiossakin. Seuraavassa kuvassa (kuva 41) on tavallinen syöttimen kumilaitojen ongelmatilanne. Kumiosat muodostavat supenevan raon, johon kivet jäävät jumiin ja aiheuttavat vaaratilanteen laitoja laskettaessa kuljetusasentoon. Kuvaan 41 on hahmoteltu leikkauslinjat, joiden rajaamat alueet poistamalla saataisiin kumiosien väliin jäävästä raosta laajeneva.



Kuva 41. Kulmien suunnittelu

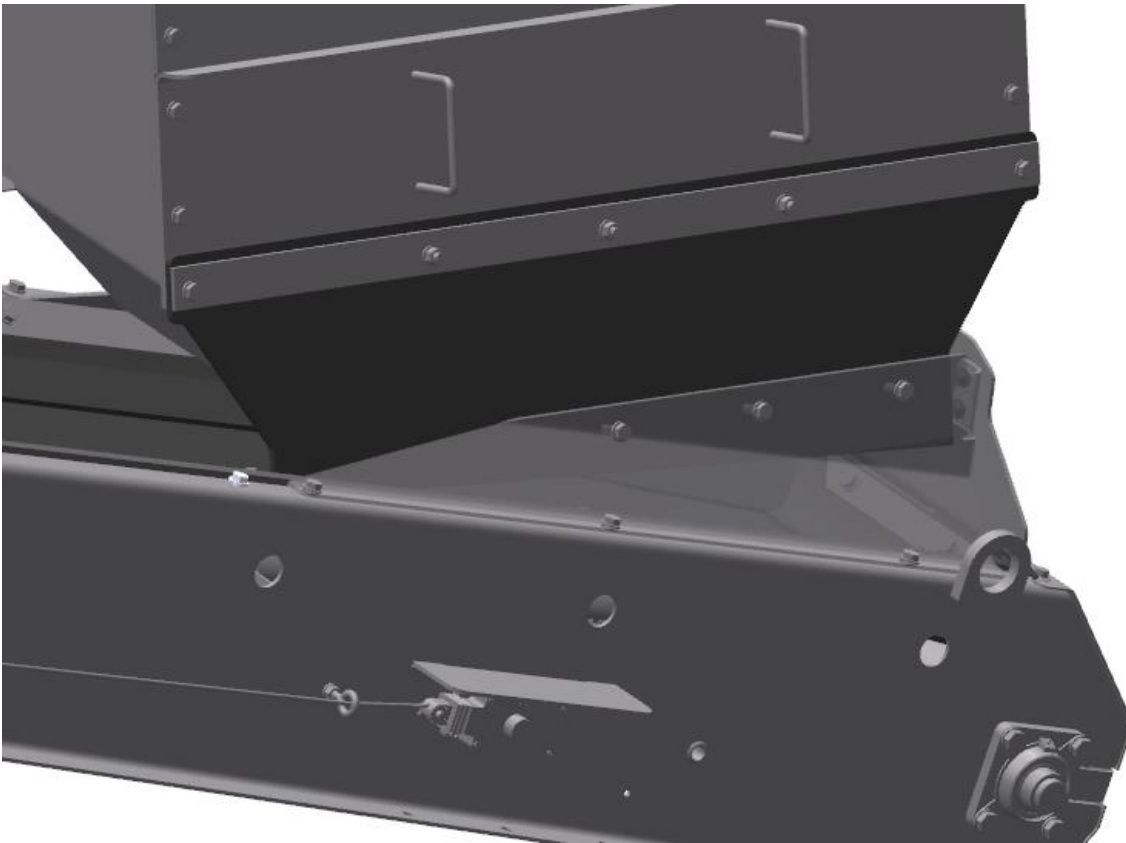
Kumilaitoja suunniteltaessa tulisi siten ottaa huomioon kivien ja muun materiaaliaineksen pakkautuminen ja kiilautuminen rakoihin, kuten teräsrakenteissakin. Siksi kumilaitojen väli täytyy jättää avautuvaksia materiaalivirtaan nähden, eli kuvan 41 mittojen suhteen $a/b < 1$, jolloin rako on muodoltaan laajeneva. Joskus edes kumilaitojen yhdensuuntaisuus ei riitä estämään kivien juuttumista. Kumilaidat usein kestävätkin jopa kulutusteräksestä tehtyjä laitoja pidempään, joten kumilaitojen suunnittelun ja asennuksen virheellisyys aiheuttaa pitkäaikaisen ongelman.

Liian lyhyet kumiosat ovat ongelmallisia kestävyysnäkökulmasta. Kumiosien riittämättömyys johtuu useimmiten keskeneräisestä suunnittelusta, sillä kaikkia todellisia muotoja ei ole tällöin huomioitu esimerkiksi osan pituuteen tai leveyteen. Tästä esimerkkinä jakosuppilon kumi (kuva 42), jonka suunnittelussa ei ole huomioitu pituuden lisäksi metallisen reunan vaikutuksia kumin kestävyysnäkökulmasta.



Kuva 42. Puutteellisesta suunnittelusta johtuva vaurio

Kumiosa on liian lyhyt, jolloin se pääsee liikkeestä johtuen osumaan terävää reunaa vasten, rikkoutuen kontaktikohdasta. Tällaisissa kohdissa voisi olla hyvä harkita joko mekaanisen teräsrakenteen muuttamista niin, ettei kumiosaa tarvita tai sitten kumiosa voitaisiin kiinnittää myös alapuoliseen rakenteeseen. Jos teräsrakenteita ei pystytä muokkaamaan niin, että kuminosien tarve poistuu, voidaan niitä esimerkiksi pidentää ja muotoilla siten, että ne korvaavat teräsrakenteen osia. Käytännössä olisi kuitenkin järkevämpää korvata kumiosat metallisilla rakenteilla.



Kuva 43. Rakenteen suunnittelemisen loppuun asti

Kuvan 42 tilanteeseen yhtenä ratkaisuna olisi kumiosan pidentäminen. Rakennetta pitäisi ensisijaisesti muokata sellaiseksi, että se ei pääse hinkkaamaan terävään reunaan, vaikka kumiosa heiluisi koneen tärinästä. Tässä tapauksessa helpoin tapa olisi pidentää kumiosaa siten, että sen pystyy kiinnittämään alla olevan kuljettimen rakenteisiin (kuva 43). Vaihtoehtoisesti alla olevat metalliosat voitaisiin korvata kumin avulla, mikäli niiden tarkoitus on vain estää materiaalin roiskuminen. Kokoonpanojen väliset rajapinnat tulisi suunnitella siten, että niiden välillä vallitsisi positiivinen peitto, eli se osa, johon materiaali virtaa olisi leveämpi. Tällöin materiaalivirtaa ei tarvitsisi supistaa.

8.2.5 Kumiosien jakaminen osiin ja liitokset

Kumiosat tulisi painon lisäksi jakaa osiin kulumisen perusteella. Etenkin kuljettimissa ja seuloissa on kumien kulumisen kannalta erilaisia alueita, joissa kumit kuluvat nopeammin kuin muualla. Kumiosat kuluvat kuljettimen päistä nopeammin kuin keskivaiheilta, sillä materiaalivirta pakkautuu näissä pisteissä. Etenkin lastausalueen kumiosat ovat kovan kulutuksen alaisina, sillä materiaalivirta ei ole vielä keskittynyt.



Kuva 44. Yhtenäinen sivukumi

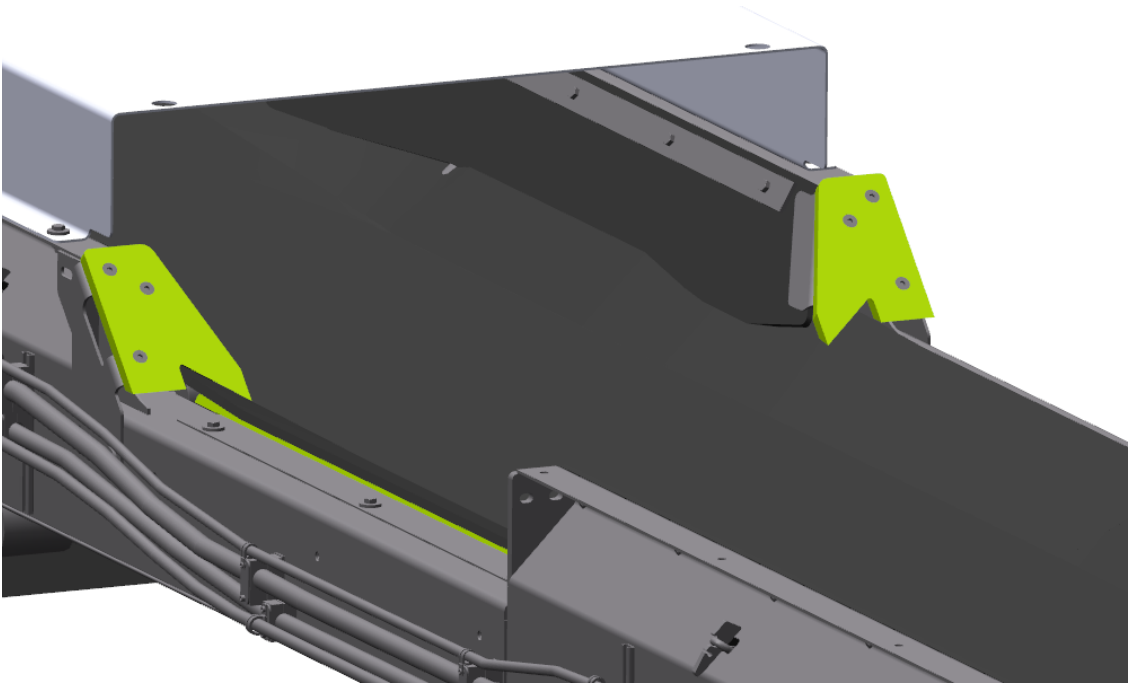
Kuvassa 44 on tavallinen kuljettimien ongelma: kumiosa on yhtenäinen koko kuljettimen matkalta. Paino tällaisessa osassa ei välttämättä ole merkittävä osan kapeuden takia. Kumi kuitenkin kuluu lastauspäästään ja taitoksien kohdalta nopeammin kuin keskivaiheilta ja purkupäästään, joten lastausalueen kumi joudutaan todennäköisesti vaihtamaan useammin kuin muualta. Siksi kumiosat olisi hyvä jakaa kulumisen tahdin perusteella ikään kuin vyöhykkeisiin, joiden jako perustuu kyseisestä komponentista saatuun tutkimus / kokemusperäiseen tietoon. Kumiosia ei tällöin tarvitsisi vaihtaa koko matkalta vaan vain kyseiseltä vyöhykkeeltä, jolloin säästetään materiaali- ja asennuskustannuksissa. Myös kumiosien suunnittelemineen helpottuu, kun mutkia ja taitoksia ei tarvitse suunnitella moneen suuntaan vaan pärjätään yksinkertaisemmilla kumileikkeen muodoilla.

Toinen sivukumeissa ja muissa vastaavissa kokoonpanoissa, joissa kumi on paloitetava osiin, huomioitava asia on jatkoksien suunnittelu. Kumiosia ei ole hyvä taittaa jyrkälle kulmalle, sillä ne murtuvat taitoksesta herkästi, eivätkä kestä siten riittävän kauaa. Kuvassa 45 on tyypillinen jatkosvirhe magneettierottimen kohdalla. Yhden ja saman sivukumin avulla on tiivistetty myös katkoksen reunat. Suunnittelijan näkökulmasta tämä rakenne näyttää yksinkertaiselta ja toimivalta sekä edulliselta, mutta tällaisessa designissa on kuitenkin ongelmia, kuten seuraavasta kuvasta 45 voidaan huomata.



Kuva 45. Sivukumien puutteellinen jatkossuunnittelu

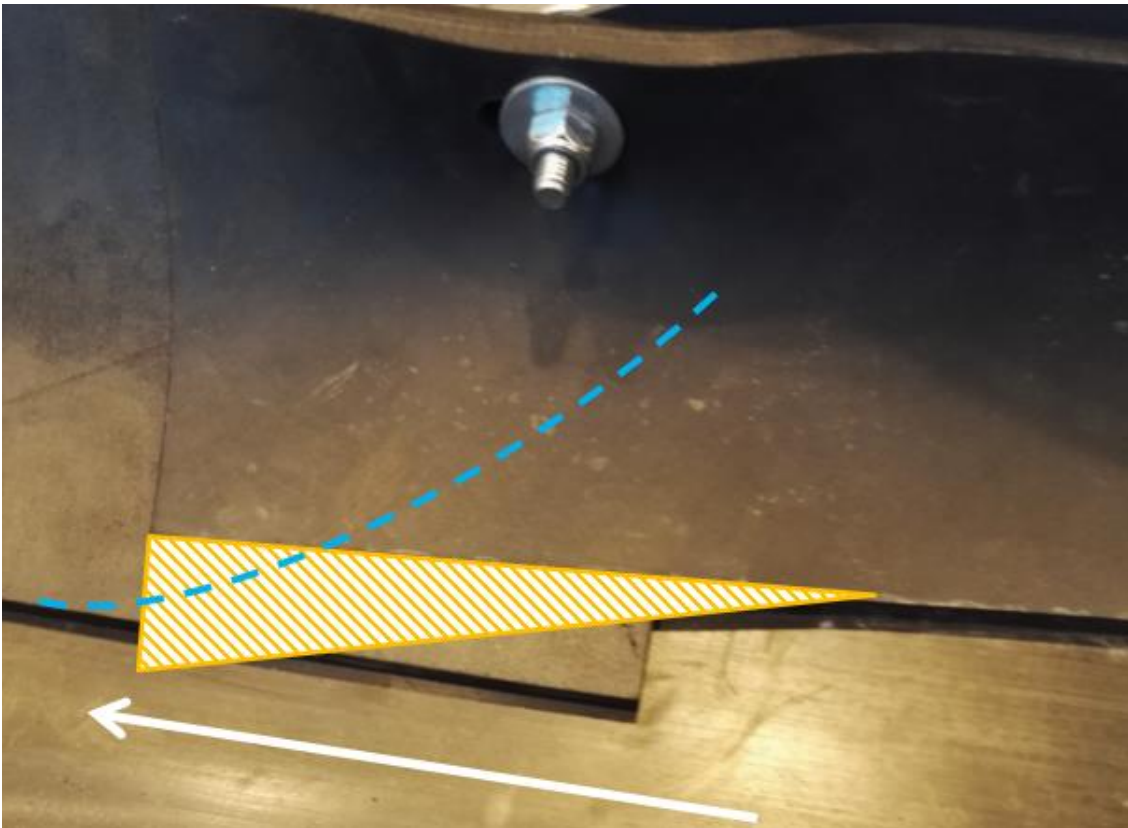
Paksua kumiosaa on vaikea taittaa niin jyrkälle kulmalle, että kumi pitäisi suunnitellun muotonsa. Etenkin kovemmat 60 ShA kumit, jotka eivät taitu yhtä helposti kuin pehmeämmät kumit, jäävät korkeaan jännitystilaan, joka aiheuttaa sen, että kumi murtuu kulmasta nopeasti UV-valon ja otsonin vaikutuksesta. Kumin yläreuna myös pyrkii pullistumaan, sillä jyrkkä taitos kahteen eri suuntaan ei ole kumille tällaisessa tapauksessa luonnollista. Lisäksi, kuten kuvasta 45 huomataan, kumin tiivistysmahdollisuudet ovat huonot, sillä sivukumin alareunaan jää rako, johon materiaalivirta tyssääntyy repien joko sivukumin irti tai sitten materiaalivirta pääsee kulkeutumaan kuljettimen rakenteisiin.



Kuva 46. Jatkos magneettierottimen kohdalla

Jatkos magneettierottimen (kuva 46) ym. katkokset pitäisi suunnitella toisella tavalla. Sivukumeja ei tulisi missään tapauksessa taittaa, vaan kulma pitäisi toteuttaa erillisillä osilla. Esimerkiksi muovisia osia voidaan käyttää, jotta tiivistyskohta pysyisi paikallaan eikä pääsisi liikkumaan. Muovi ja metalliosien käyttäminen jatkoksissa nostaa rakenteen hintaa, mutta se ei kuitenkaan kasva merkittävästi kokonaisuuteen nähden, joten tällaista rakennetta voidaan hyvällä omatunnolla suosia. Myös tämä rakenne voidaan tehdä virheellisesti, mikäli sivukumin kiinnitys on jätetty vaillinaiseksi, jolloin kumiosan pää pysyy kääntymään keskikohtaa kohti. Sivukumin etureuna täytyy kiinnittää tukevasti, jotta se ei pääse avautumaan, eikä materiaalivirta pääsisi repimään sivukumia irti. Kuvassa 46 sivukumi on kiinnitetty sekä pitkällä latalla että erillisellä pienellä metallilistalla, joka pitää kumin pään paikallaan ja tiiviinä muovista osaa vasten.

Kuljettimien sivukumien jatkoksissa täytyy myöskin olla tarkkana. Kumiosat tulee asentaa siten, että ne ovat materiaalivirran suuntaan (oranssi nuoli kuvassa 47) positiivisessa peitossa. Kuvassa 47 kumit on asennettu oikein päin, eli materiaalivirtaan nähden oikeanpuoleinen kumi on vasemman päällä.



Kuva 47. Puutteellinen jatkos, osa 1

Kuvassa 47 kumiin keskinäiset koot ja muodot ovat kuitenkin virheelliset. Materiaalivirta ei saa törmätä kumiin päätyyn, sillä materiaalivirta saattaa päästä sivukumiin alle repien kumiin lopulta irti. Lisäksi, jos alempi kumi on päällimmäistä suurempi, kumiin väliin muodostuu reikä, josta materiaalivirta pääsee kulkemaan. Tulisi myös huomioida se, että alempi sivukumi pitäisi olla muotoiltu (sininen katkoviiva) siten, että se olisi sulavalinjainen materiaalivirran liikkeeseen nähden. Myös päällimmäisen sivukumiin alareunaa pitäisi jatkaa (keltaisella rajattu alue), jolloin päällimmäinen kumi kykenisi ohjaamaan materiaalia hieman pois jatkoskohdan alueelta. Lisäksi kumi on kiinnitetty yläreunasta yhdellä pienellä pultilla, joka altistaa repeytymiselle. Tämän voisi toteuttaa yhtä lailla lattalla, jolloin liitoskohdasta tulisi riittävän jäykkä.

Kuvassa 48 on toisenlainen puutteellinen jatkos, jossa sivukumiin pituudesta johtuen on jouduttu tekemään liimajatkos. Tämän jatkoksen ongelmina ovat sekä liimauksen kestävyys että jatkoskohdan sijoittaminen. Liimaus on puutteellinen, sillä liimattavien pintojen tulisi olla viistettyjä, jotta kontaktipinta-ala olisi mahdollisimman suuri. Lisäksi jatkos ei saisi olla kahden kiinnityslatan välissä, sillä liimauksen pettäessä kumiosat pääsevät irtautumaan laidasta. Jatkos tulisi sijoittaa siten, että se olisi mekaanisesti varmistettu esimerkiksi kiinnityslatalla. Tällaisen jatkoksen tekeminen ei kuitenkaan tulisi olla sallittua, sillä liimauksen pettäessä, sen korjaaminen on käytännön olosuhteissa mahdotonta.



Kuva 48. Puutteellinen jatkos, osa 2

Seuraavassa kuvassa (kuva 49) on esimerkki siitä, millainen kuljettimen jatkoskohdan tulisi olla. Jatkosalueella kumiosat ja kiinnitykset tulisi suunnitella sellaiseksi, että materiaalivirta ei pääse missään tapauksessa tarttumaan alemman sivukumin pätyyn.

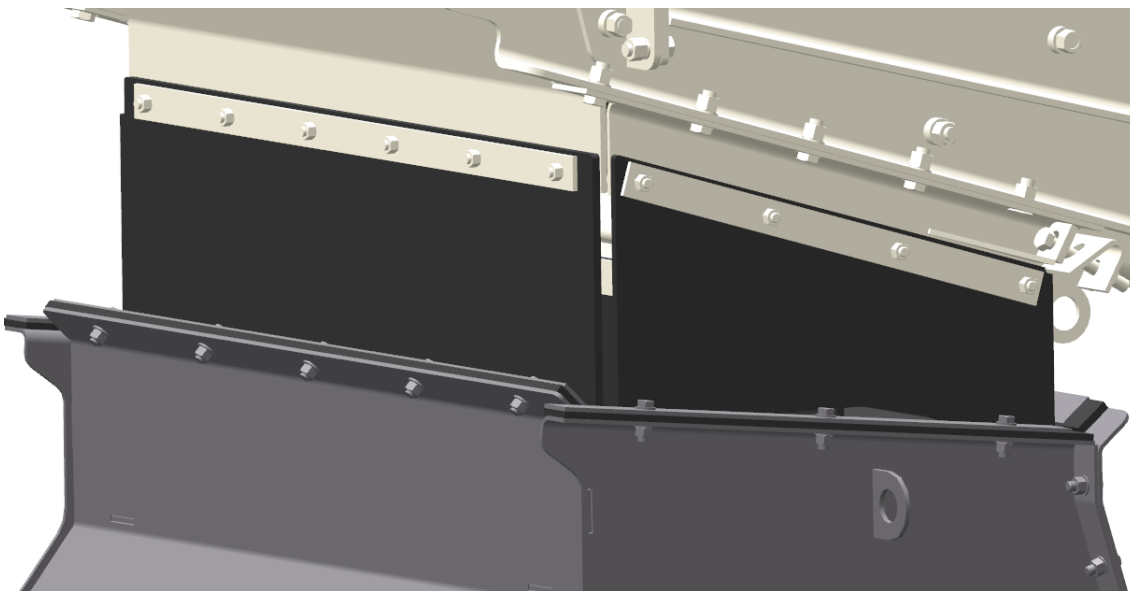


Kuva 49. Parempi jatkosuunnittelu

Lisäksi jatkoksessa tulee ottaa huomioon se, että takana oleva kumiosa ei saa päästä irtomaan tai taittumaan, jolloin materiaalivirta pääsisi kulkemaan kuljettimen sisäisiin rakenteisiin. Sivukumien jatkoskohdassa tulisi lisäksi olla riittävä peittoalue (vähintään 200mm), jolloin esimerkiksi kuljettimen asennon tai taittokulman muuttuessa sivukumien välille ei pääse muodostumaan reikää.

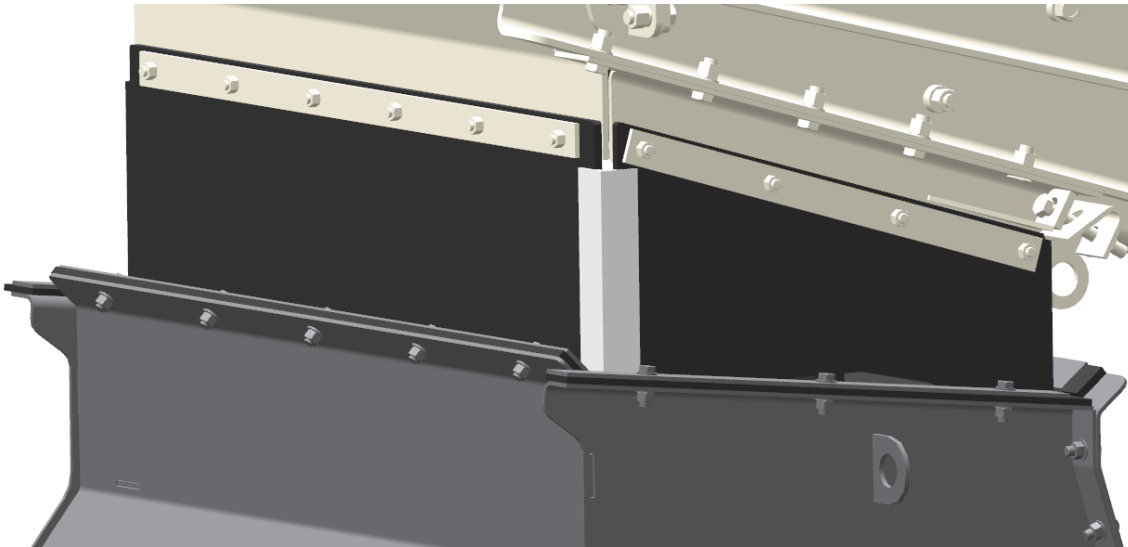
8.2.6 Kumiosien murtumisen estäminen

Kumiosat tulee suunnitella siten, että ne eivät pääse ennaikaisesti rikkoutumaan. Kumiosien suunnittelu voidaan rinnastaa teräsrakenteisiin, sillä yhtäläisesti kumi- kuin teräsosissakin, kulmat tulee pyöristää. Kumiosia ei tulisi taittaa kulmien yli etenkin, jos taustalla oleva teräsrakenne on terävä. Tavoitteena on, että kumeihin ei tehdä taitoksia ollenkaan, jollei ole se aivan välttämätöntä. Kumiosat tulisi suunnitella siten, että kulmiin jätetään avoin sauma, eikä terävää kulmaa ylitetä taittamalla kumia sen yli.



Kuva 50. Kulman suunnittelu

Kuvassa 50 on esitettyä tiivistyskumiratkaisu, jossa joka kyljelle on oma kumiosansa. Tämän rakenteen etuna on se, että kumiosan vanhenemista nopeuttavia taitoksia ei ole, joten tiivistysrakenne on pitkäikäisempi. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin se, että liitosta ei saada täysin tiiviiksi, jolloin pahimmassa tapauksessa liitoskohdasta vuotaa prosessimateriaalia. Mikäli kokoonpanojen välinen tiiveys on tärkeää, voidaan kulmaukseen lisätä jäykkä tai elastinen lista tarvittaessa, jonka tarkoituksena on kiinnittää nämä kahden eri kyljen kumiosat yhteen (kuva 51).



Kuva 51. Kulmalistan käyttö

Murtumien estämisessä kriittisin työvaihe on leikkaaminen. Kumiosien leikkauspinnan tulee olla tasainen ja tasalaatuinen, jotta osalla olisi riittävä kestoikä kulutuksessa. Kumiosien leikkaaminen tulisi tapahtua oikeanlaisella välineellä, kuten vesileikkauksella tai muulla NC-leikkurilla. Mikäli tietokoneohjattua leikkausta ei ole saatavilla, tulisi osat tilata sellaisesta paikasta, että ne saa valmiina leikkeinä. Huoltotoimenpiteitä tehdessä myös pneumaattinen kumileikkuri on sopiva kumin työstämiseen. Tällöin tulee kuitenkin huomioida, että pyöristykset ja muut kaarevat leikkauspinnat tulee tehdä erikseen esimerkiksi meistillä. Veitsellä leikkaamista tulisi välttää, sillä leikkauspinnasta ei pystytä saamaan riittävän tasaista, vaan siihen jää helposti uurteita tai vekkejä, joista kumi lähtee repeytymään etenkin väsyttävässä kuormitustilanteessa.

8.2.7 Tiivistäminen kumeilla

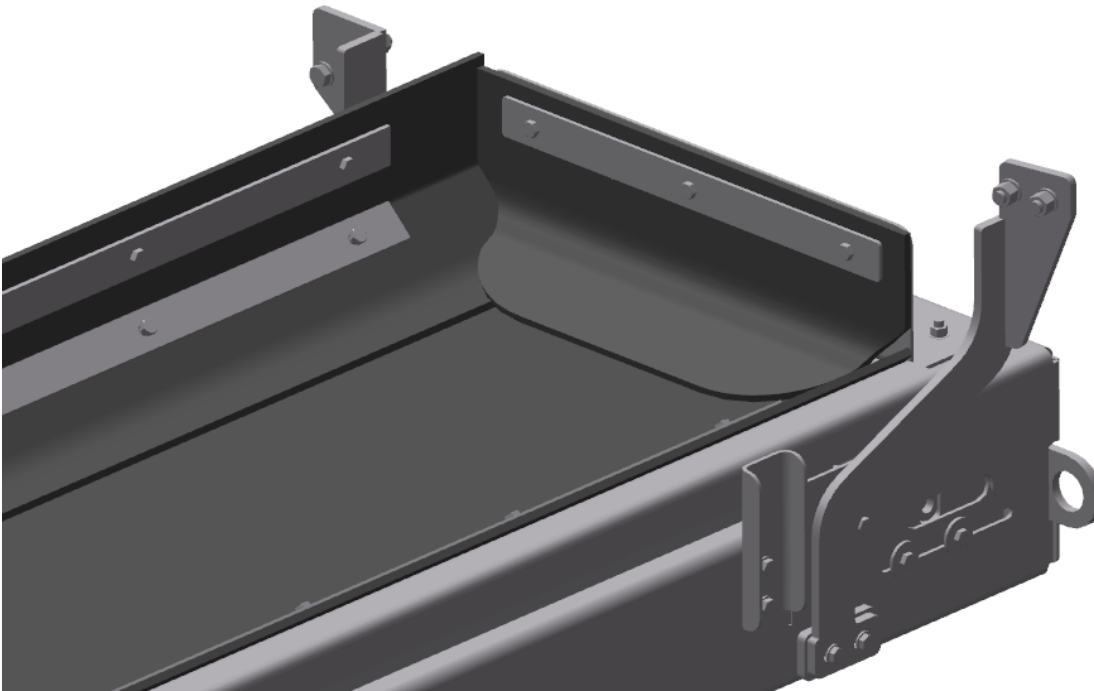
Materiaalivirran vuotoja pystytään ohjaamaan ja hallitsemaan rakenteellisilla ratkaisuilla. Usein kuitenkin tarvitaan kumiosia viimeiseen tiivistykseen, jotta pienimmätkin vuodot saadaan tukittua. Kumiosia suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon se, että kumi pystyy muotoutumaan riittävästi, on riittävän kokoinen ja oikeaa materiaalia estääkseen vuodot ja kestääkseen riittävän aikaa. Vaikka suunniteltaessa kumille saataisiin tehtyä hyvät muodot, on tavallista, että käytännössä kumiosa ei pysty muotoutumaan riittävästi. Tästä esimerkkinä erään kuljettimen sivukumit (kuva 52), jossa syöttöpään tiivistys on toteutettu yhdellä kumiosalla, joka on muotoiltu siten että se pystyy taipumaan kaikille kyljille.



Kuva 52. *Kulman virheellinen tiivistinsuunnittelu*

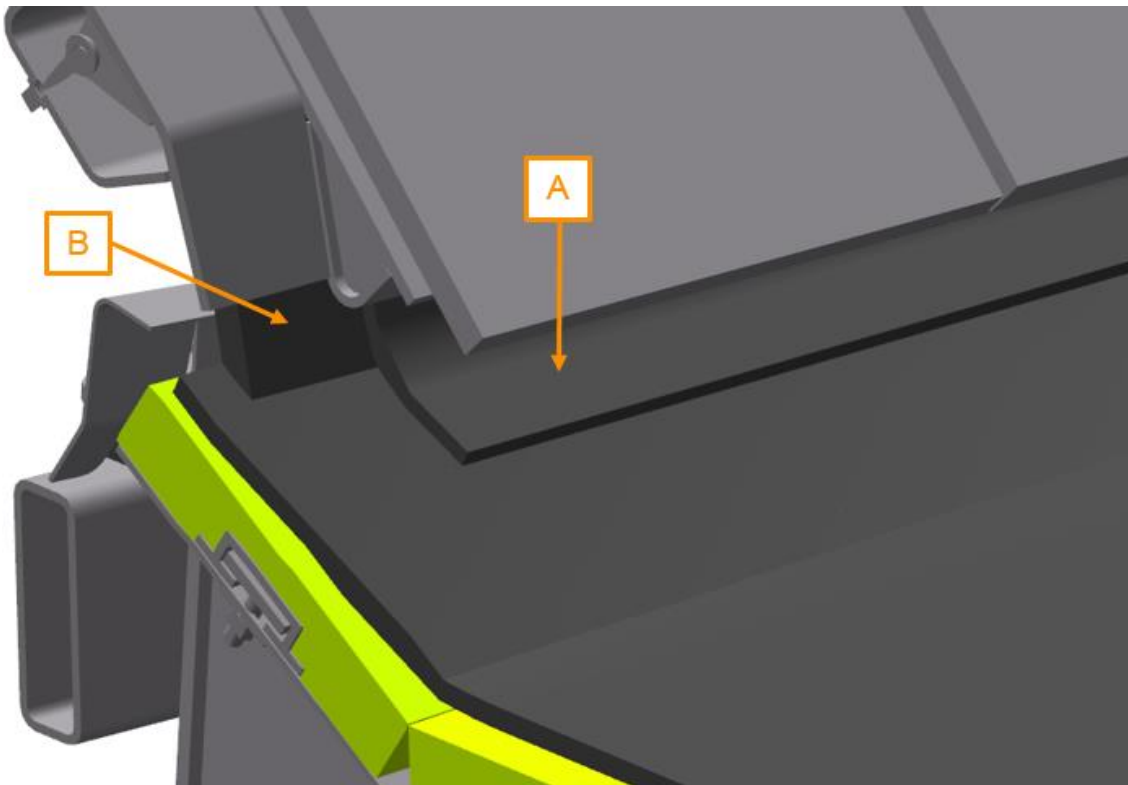
Suunnitelmana kumiosan rakenne ja muoto on näyttänyt hyvältä ja hyvin tiivistävältä, mutta kulmaan tuleva jyrkkä taitos on käytännössä mahdoton toteuttaa. Kulman taitoksesta johtuen kumiin avautuu aukko, jota ei tulisi, mikäli tiivistys olisi tehty erillisistä kumiosista.

Kuljettimen syöttöpään tiivistäminen erillisillä osilla on osin vaikeaa. Kumiosat tulee muotoilla riittävän suuriksi, jotta kaikki aukot peittyvät, eikä rakoja pääse syntymään. Voidaan todeta, että tiivistyskumit tulee suunnitella mieluummin hieman ylisuuriksi kuin liian pieniksi. Kumi kuluu ja muotoutuu lopulliseen muotoonsa käytössä, joten ylisuuri kumi ei ole yhtä suuri haitta kuin liian pieni (kuva 53).



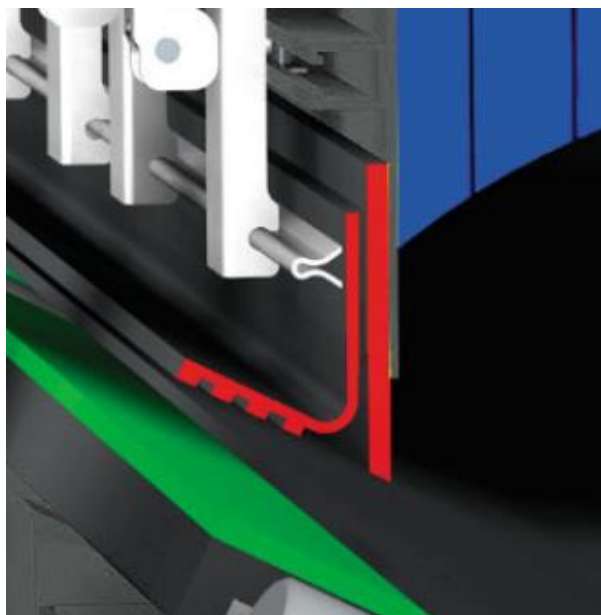
Kuva 53. Viimeistely suunnittelu

Syöttimien tiivistäminen voidaan toteuttaa myös kaksiosaisella tiivistyksellä (kuva 54). Tällainen menettelytapa on suositeltava etenkin hienoa tai seka-ainesta käsiteltäessä, jolloin toissijainen tiivistin estää kaikkein pienimpien partikkelien vuotamisen ympäröiviin rakenteisiin. Kaksiosaisen tiivistyksen etuna on parantunut tiiveys, mutta haittana voidaan todeta olevan kuljetinhihnan ja tiivistyskumien kitkan sekä komponenttien määrän kasvu. Etenkin veden jäätyminen kuljetinhihnan ja tiivistimien väliin saattaa aiheuttaa sen, että kuljetinta käynnistettäessä hihna ei liiku ennen kuin sivukumit repeytyvät irti kuljetinhihnasta. Tästä johtuen, joko sekundääritiivistimen materiaalin täytyy olla sellainen, että kitkakerroin on pieni, tai sitten toista tiivistintä käytetään vain sellaisilla alueilla, joihin ei yleensä pääse vettä. Sekundääristä tiivistintä ei myöskään ole yleensä tarpeellista käyttää muuten kuin syöttöalueilla tai sellaisissa kohdissa, joissa materiaalivirran suuntaa joudutaan ohjaamaan, eli materiaali ei ole vielä keskittynyttä.



Kuva 54. Syöttöpään tiivistys

Kuvassa 54 oleva suora sekundääritiivistys (*B*) vaatii kuljetinhihnan alapuoliselta rakenteelta sen, että siellä on isku- tai liukupalkit (vihreät osat), jotta rakenne pysyisi tiiviinä. Mikäli rakenteessa ei ole isku- tai liukupalkkeja, eikä niitä pysytä siihen lisäämään, voidaan käyttää toisenlaista sekundääritiivistintä, kuten alla olevan kuvan 55 polyuretaanista valmistetussa Smiley Monroen mallissa, jossa tiivistys muotoutuu liikkuvaa pintaa vasten.



Kuva 55. Kaksiosainen tiivistystapa (Smiley Monroe)

Kuvan 55 kaksiosaisen (punaiset osat) tiivistysratkaisun ongelmana on se, että se vaatii kuljetinhihnalta lisää leveyttä tavanomaiseen tilanteeseen nähden. Taitetun kumilevyn pinta on uurrettu, joten kosketuspinta-alaa on pienennetty tavalliseen kumilevyyn nähden. Lisäksi taitoskohdassa on kumissa helpotus, jonka avulla kumi voidaan taittaa ilman että vaurioita syntyy yhtä nopeasti kuin tavalliseen kumilevyyn.

Kaksiosaisen tiivistyksen käyttäminen tavanomaisissa tilanteissa on usein tarpeetonta, sillä prosessimateriaali on verraten suurta. Yksinkertainen tiivistysratkaisu, eli kuvan 54 rakenteen osa A yksistään, on usein parempi nimenomaan pienemmän kitkan takia. Mikäli koneet on suunniteltu siten, että kiinteillä rakenteilla, kuten kulutuslevyillä yms. ohjataan materiaalia kuljettimen keskelle, on kaksiosaisen tiivistyksen käyttäminen liioiteltua. Tämä on myös tilanne johon tulisi koneensuunnittelussa pyrkiä, sillä kumiosien tarkoitus ei ole ensisijaisesti toimia materiaalin ohjaimina, vaan pelkästään tiivistiminä. Mikäli kululevyjä käytetään materiaalin ohjaamisessa, pystytään myös paremmin ennustamaan osien vaihdontarpeet, sillä niiden kulumisesta on olemassa yksityiskohtaisempaa tietoa kuin ”väärällä” tavalla käytettyjen kumiosien kulumisesta.

8.2.8 Kuljetinhihnojen kouruuntuminen ja hihnapyörät

Kuljetinhihnojen liian nopea kouruuntuminen johtaa siihen, että esimerkiksi kuljettimen syöttö- ja purkupään tiivistys on hankalaa. Tämä johtuu siitä, että tavanomainen kumilevyllä toteutettu tiivistys on kouruuntumisnopeuteen nähden puutteellinen, sillä kumilevy ei pysty muotoutumaan riittävän tiiviiksi kuljetinhihnaa vasten tiivistettävän pinnan muuttuessa. Tämä näkyy kuljettimissa siten, että taittopäässä hihnan ja sivukumin väliin jää rako (kuva 56), koska tavallisesti käytetty jäykkä ja kova kulutuskumilevy ei pysty muotoutumaan riittävästi, jotta hihnan ja sivulevyn välinen tiivistettävä pinta pysyisi kiinni. Lisäksi ongelma, mikä tulee vastaan kouruuntumisen ollessa liian nopeaa tai hidasta on se, että hihna ei keskity kunnolla tai se kuluu liian nopeasti.

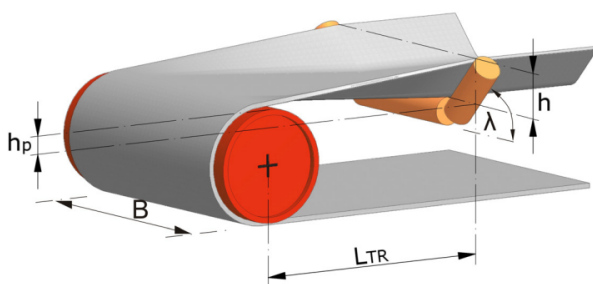


Kuva 56. Hihnapyörän ja sivukumin välin rako

Kumimateriaalien valmistajat ja jakelijat tarjoavat kuljetinhihnoilleen oikeat kouruuntumismatkat. Seuraavassa kuvassa (kuva 57) on Metso Minerals Trellexin ohjeistus kuljetinhihnan oikeanlaisesta kouruuntumisesta.

Standard values for transition lengths

(minimum transition length, troughed to flat with standard three-roll troughing idlers).



Standard values for minimum transition length in mm

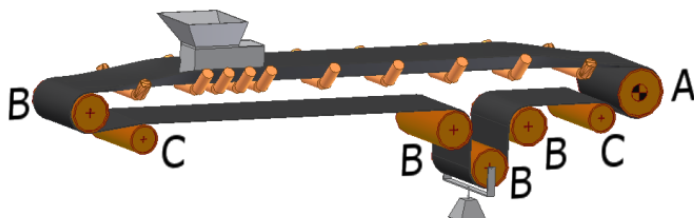
Troughing angle λ	Without pulley elevation	With pulley elevation *)
20°	0.9 x B	0.7 x B
25°	1.1 x B	0.8 x B
30°	1.3 x B	0.9 x B
35°	1.5 x B	1.0 x B
40°	1.7 x B	1.2 x B
45°	1.9 x B	1.3 x B

*) Pulley elevated 1/3 of the trough height above the center idler roll ($h_p=h/3$)

Kuva 57. Metso Mineralsin ohjeistus kouruuntumisesta (Metso AB 2016)

Mikäli ensimmäinen hihnapyörä on liian lähellä veto- tai taittorumpua, kohdistuu hihnapyörään liian suuria voimia sen kestokykyyn nähden, jolloin sen pinta kuluu liian nopeasti. Lisäksi veto- tai taittorumpuun kohdistuu nopeasta kouruuntumisesta ylimääräisiä väsyttäviä voimia, jotka voivat aiheuttaa ennenaikaisia vaurioita, kuten rumpun akselin

katkeamisen. Kaikille hihnapyörille on myös asetettu minimikoot, joilla voidaan varmistua siitä, että ne kestävät riittävän kauan. Seuraavassa kuvassa (kuva 58) on Metso Trellexin ohjeistus hihnapyörien sekä taitto- ja vetorumpujen minimihalkaisijoista. Rumpujen kokoon vaikuttaa hyvin paljon kuljetinhihnan murtolujuus sekä leveys ja paksuus. Mitä kestävämpi ja samalla jäykempi, paksumpi tai leveämpi kuljetinhihna on, sitä suurempia tulee hihnapyörien olla.



Recommended minimum pulley diameters

Minimum diameters are given in the table below for three different groups of pulleys:

Group A: Drive and discharge pulleys and all other pulleys where belt tension is relatively high.

Group B: Pulleys, where belt tension is relatively low.

Group C: Snub Pulleys, where belt wrap angle is $\leq 30^\circ$.

Belt type	Recommending diameter in mm (without lagging) based on % utilization of rated operating belt tension								
	Over 60% to 100%			Over 30% to 60%			Up to 30%		
	Pulley group			Pulley group			Pulley group		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
EP160/2	250	200	160	200	160	125	160	160	125
EP 250/2	250	200	160	200	160	125	160	160	125
EP 315/2	250	200	160	200	160	125	160	160	125
EP 315/3	315	250	200	250	200	160	200	200	160
EP 400/2	315	250	200	250	200	160	200	200	160
EP 400/3	315	250	200	250	200	160	200	200	160
EP 500/3	400	315	250	315	250	200	250	250	200
EP 500/4	500	400	315	400	315	250	315	315	250
EP 630/3	500	400	315	400	315	250	315	315	250
EP 630/4	500	400	315	400	315	250	315	315	250
EP 800/4	630	500	400	500	400	315	400	400	315
EP 800/5	630	500	400	500	400	315	400	400	315
EP 1000/3	630	500	400	500	400	315	400	400	315
EP 1000/4	630	500	400	500	400	315	400	400	315
EP 1000/5	800	630	500	630	500	400	500	500	400
EP 1250/4	800	630	500	630	500	400	500	500	400
EP 1250/5	800	630	500	630	500	400	500	500	400
EP 1600/4	1000	800	630	800	630	500	630	630	500
EP 1600/5	1000	800	630	800	630	500	630	630	500
EP 2000/5	1250	1000	800	1000	800	630	800	800	630

Please note that belts with profiled top covers may require larger diameter pulleys. Please contact us for more information.

Kuva 58. Metso Mineralsin ohjeistus kuljetinhihnan hihnapyörien halkaisijoista (Metso AB 2016)

Hihnapyörien halkaisijakoot riippuvat myös käyttöasteesta. Kivenmurskaimilla voidaan käytännössä suosittaa 60-100% käyttöastetta, jotta koneesta saadaan riittävän luotettava käyttöasteesta riippumatta. Huomioitavaa on se, että suositusmitta ei ota kantaa pyörien päällystyksen vaan se on minimimitä hihnapyörän rungolle.

Hihnapyöriä on päällystetty kumilla, joka on kiinnitetty liimaamalla. Kumilla päällystetään joko koko hihnapyörä tai sitten vain keskiosa, jolla saadaan aikaan bombeerattu (keskeltä koholla oleva) muoto, joka auttaa kuljetinhihnan keskittymisessä. Kovalla käytöllä olevien veto- tai taittopään hihnarumpujen kumipäällysteet eivät aina kestä riittävästi. Ensisijaisesti kumin liimaukseen tulisi kiinnittää huomiota ja varmistaa, että liimausprosessi on suoritettu täsmällisesti. Toisena vaihtoehtona on siirtyä kokonaan koneistamalla tehtyihin veto- tai taittorumpuihin, jolloin niitä ei päällystettäisi ollenkaan kumilla, vaan

sama muoto saataisiin aikaiseksi koneistamalla. Mikäli kumia ei rumpuun laiteta, menetetään kumin kitkaominaisuudet, jolloin etenkin vetävä rumpu saattaa luistaa. Kuljettimen luotettavuus kuitenkin paranee, sillä mahdollisesta kumibombeerausesta irtoamisesta ei aiheudu seisokkeja.

8.2.9 Kumin laajempi hyödyntäminen

Kumiosia voidaan käyttää myös korvaamaan metallisia rakenteita. Tällä tavoin voidaan saavuttaa sekä kustannus että painohyötyjä. Etenkin pölysuojauksessa kumiosien käyttäminen on suositeltavaa, sillä tähän tarkoitukseen on olemassa erityisiä kumilaatuja, jotka kestävät säätä ja pölyä usein jopa tavallisia metallirakenteita paremmin. Kumiosat saadaan myös helposti muotoiltua tiivistämään monimutkaisiakin pintoja, joita olisi vaikea muilla tavoin tiivistää. Kumin elastisuuden takia myös kokoonpanojen välisiä rakoja voidaan pölytiivistää, sillä kahden eri tahtia liikkuvan komponentin rajapinnan tiivistäminen jäykällä materiaalilla on hyvin vaikeaa ilman, että syntyy merkittävää kulumista. Lisäksi kumisten pölysuojien vaihtaminen on yleensä verraten helppoa, nopeaa ja edullista, sillä kumiosat voidaan kiinnittää kiinnityslistoilla, joiden vaihtamiseen ei tarvita työkaluja.



Kuva 59. Kumin hyödyntäminen pölysuojina

Yllä olevassa kuvassa (kuva 59, kumit keltaisen sävyillä) on kolme erilaista tapaa pölysuojauksen toteuttamiseen. Ensimmäisessä (A) vaihtoehdossa sivulaitojen väliin on pingotettu 40 ShA pölynsuojakumia. Kiinnitys voidaan toteuttaa ilman adhesiiveja tai pulttausta kumilistojen avulla, jolloin asentaminen voidaan suorittaa missä tahansa ja jopa ilman työkaluja. Haittana tässä ratkaisussa on se, että mikäli kivet pääsevät putoamaan kumisen pölysuojan päälle, toimii se ponnahduslustana kiville. Tästä syystä tätä ratkaisua voidaan suositella vain koneen sivukuljettimiin sekä koneen päällä kulkeviin materiaalikuljettimiin. Hyperelastisuuden takia ohutta pölynsuojakumia voidaan käyttää myös aiemmin mainituissa rajapintojen tiivistämisessä.

B-vaihtoehdossa kumiosat on pultattu kiinteästi teräsrakenteeseen. Tämän etuna on se, että mitä tahansa kumimateriaalia voidaan käyttää, mutta haittana on se, että kumiosat muodostavat lämpimissä olosuhteissa kumin ja metallin välille raon, josta pöly pääsee karkaamaan. Lisäksi tässä rakenteessa on sama haitta kuin A rakenteessa: kivet pääsevät pomppaamaan sen päältä. Tässä rakenteessa käytetty kumi voi kuitenkin olla kovempaa, joten kivet eivät pomppaa aivan yhtä paljoa.

C-vaihtoehto on tavallinen ratkaisu, jossa käytetään alumiinisia pölysuojia. Metallilevyjä ei yleensä pystytä asentamaan täysin tiiviisti, eikä kanttauksiakaan välttämättä pystyttyä

toteuttamaan ilman helpotuksia. Tästä johtuen tämä ratkaisu vaatii metalliosien lisäksi kumisia osia. Metallirakenteisen pölysuojauksen etuna on se, että kivi ei pääse kanteen osuessaan pomppaamaan kovinkaan paljoa, vaikkakin osumasta muodostuu kumilevyyn nähden huomattavasti ääntä.

8.3 Suunnitteluprosessi

Nykyinen suunnitteluprosessi on pitkälti historiatietoon perustuvaa ja siten uusien osien voitaisiin todeta olevan jo pohjimmiltaan vanhentuneita ratkaisuja. Kumiosien kohdalla materiaalitieto on tällä hetkellä rakennehierarkiassa lapsinimikkeenä, ja usein muotoratkaisutkin ovat kopioita edellisistä versioista. Nykyinen suunnitteluprosessi on hyvin suoraviivainen ja intuitiivinen, eikä siinä voida todeta olevan mitään ongelmaa, mikäli materiaalinimikkeet ovat kunnossa. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin se, että nimikkeitä on tyypillisesti avattu useita lähes samanlaisille materiaalille ja jokaisella nimikkeellä on omanlaisensa spesifikaatio. Siitä, mikä spesifikaatio on ajan tasalla, ei voida olla varmoja. Tästä johtuen nykyisen prosessin mukaisesti luodut nimikkeet saattavat olla suunnittelun päätyttyä jo vanhoja. Siten nykyisestä suunnitteluprosessista ei voida käyttää design reuse nimitystä, koska materiaali ja muotovalintoja ei olla tietoisesti valittu, eikä niitä päivitetä uusien tarpeiden mukaisesti.

Nimikkeiden harmonisointia varten materiaalispesifikaatioita on muutettu sellaiseksi, että nykyisin eri nimikenumeroilla olevat, käytännössä identtiset materiaalit eri spesifikaatioilla, vastaavat toisiaan täysin. Tämä tarkoittaa sitä, että samankaltaisten materiaalinimikkeiden kuvaukset ja dokumentit on vaihdettu identtisiksi, jolloin eri nimikenumeroilla olevat materiaalit ovat todellisuudessa täsmälleen samoja. Seuraavassa vaiheessa tiettyjen nimikkeiden käyttö kiellettäisiin, jolloin päästäisiin tilanteeseen, jossa yksi materiaalinimike vastaa yhtä todellista materiaalia. Lisäksi suunnitteluprosessia muokataan seuraavanlaiseksi.

1. Tallennetaan vanha kuminimike uudelle numerolle tai perustetaan täysin uusi osanimike
2. Valitaan **ohjekuvista tai ohjeistuksien perusteella** oikea materiaali ja paksuus
3. Suunnitellaan **muodot noudattaen ohjearvoja** ja muuta ohjeistusta
4. Lasketaan paino ja lisätään attributit
5. Tehdään piirustukset ja kuvannot, **lisätään kiinnittämisen ohjeteksti**
6. Käynnistetään julkaisuprosessi

Merkittävin muutos kumiosan suunnitteluprosessissa on siirtyminen pois historiatiedosta tämänhetkiseen tietoon. Suurin muutos prosessissa on se, että ennen kuin osalle pohditaan muoto, valitaan materiaali käyttökohteen tilanteen perusteella. Lisäksi muodot ohjeistetaan täsmällisesti, jotta osien muodoista saadaan tulevaisuudessa mahdollisimman harmonisoituja.

Lisäksi suunnitteluprosessiin tulee vaihe, jossa piirustukseen lisätään tekstimaininta, joka velvoittaa kumin oikeaan kiristämiseen. Kumiosalle ei enää sallita liiallista ylikiristämistä, jolloin kumimateriaali pääsee pursoutumaan ja repeytymään kiinnityspisteestään. Tiettyä kiristysmomentin ohjearvoa ei kuitenkaan voida antaa, sillä kuten on aiemmin mainittu, jokaisella kiinnitystavalla ja kiinnitysvälineen koolla tulisi tällöin olla oma momenttiarvo. Sen sijaan kiinnitys tullaan ohjeistamaan piirustuksessa sanallisesti: kumi ei saa vaurioitua tai pursoutua kiinnitettäessä.

9. KUMIOSIEN ELINKAARI

Vaikka kumimateriaalit ja kumiosien muodot olisivat oikeanlaiset, saattaa kumien elinkaaren aikana olla epäsuotuisia tapahtumia. Tällaisia ovat esimerkiksi alihankintaketjun piittaamattomuus materiaalivalinnasta tai väärän materiaalin ostaminen kustannussäästöä tavoiteltaessa, joita on aiemmissa kappaleissa käsitelty. Toisaalta, huolimatta siitä, että materiaali olisi juuri oikeaa, voidaan varastokäytännöillä pilata kumiosien ja -materiaalien ominaisuudet.

Kumiosien laatuun voidaan helpoimmin puuttua valvonnan tehostamisella, joka vaatii resursseja laatuorganisaatiolta. Se, kuinka paljon lisäresursseja tarvitaan, riippuu kumiosien tuotantoketjusta. Tuotantoketjujen muokkaamisen ei tulisi aiheuttaa muutostarpeita koneiden rakenteisiin, sillä moduulien tulee edelleen olla täydellisiä, jotta kaikki osat (ja harvinaisemmat muunteluvaatimukset) pysyvät hallittavissa. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotantoketjua voidaan muokata vain asennusjärjestyksen ja hankinnan osalta, jolloin moduulit ovat edelleen valmiita kokonaisuuksia ennen loppukokoonpanoa.

9.1 Tuotantoketjun laajempi muokkaus

Kumiosien laadun varmistamiseksi voitaisiin kuvan 16 mukaista nykyistä elinkaarta kehittää oheisen kaltaiseksi (kuva 60). Kumiosien vaihtoehtoinen elinkaari vähentäisi alihankinnan vastuuta ja vaikutusta kumiosien laatuun. Rakenteisiin tämä muutos ei vaikuta, sillä tämä muutos vaikuttaa vain tuotantolinjaan ja asennusjärjestykseen.



Kuva 60. Modifioitu elinkaari

Kuvassa 60 olevaa kumiosan elinkaara on muokattu nykyiseen nähden siten, että kumiosien säilyttäminen, leikkaaminen ja asentaminen suoritettaisiin täysin Metson omalla tuotantolinjalla. Toisin sanoen materiaalia ei toimitettaisi ollenkaan alihankkijalle vaan materiaali toimitettaisiin prosessin myöhempään vaiheeseen Metsolla. Tällöin kumiosien laadunvalvonta olisi yksinkertaisempaa ja varastointiolosuhteita pystyttäisiin jatkuvasti auditoimaan. Oston kannalta oikean materiaalin toimittaminen omalle tuotantolinjalle on helpompaa, sillä oikea materiaalin toimittaminen tai yhteistyöllä hankkiminen alihankkijalle saattaa olla monimutkaista. Etenkin, mikäli alihankkija toimii eri valtiossa tai on jopa ETA-alueen ulkopuolella, voi spesifikaatioiden mukaisten materiaalien saaminen olla jopa mahdotonta.

Myös kumiosien varastointiaika lyhenee, mikäli osat toimitetaan omalle tuotantolinjalle. Kumiosien materiaaliominaisuudet olisivat tällöin suuremmalla todennäköisyydellä riittävän hyvät koneen valmistusta ja toimitusta varten. Mikäli kumiosat asennettaisiin omalla tuotantolinjalla, päästäisiin myös eroon yhdestä tuotantovaiheesta, eli uudelleensäädöstä. Poikkeuksia kumien toimitusketjuun täytyy kuitenkin sallia, sillä esimerkiksi kuljetinhihnat täytyisi edelleen asentaa alihankinnassa, jotta kuljetin saadaan oikein koottua.

Elinkaarta muokkaamalla pystytään vaikuttamaan myös kumiosien hintaan, sillä materiaalikustannuksista poistuisi yksi välikäsi, eli Metso pystyisi ostamaan omalta kumimateriaalitehtaaltaan suoraan. Nykyisellä menettelytavalla kumimateriaalit toimitetaan ali-

hankkijoille tai nämä hankkivat materiaalin itse, jolloin hinta on automaattisesti suurempi. Metso kantaa tällöin myös riskin siitä, että alihankkija pystyisi ostamaan Metson hintatasolla materiaalia kilpailijoiden tuotteisiin tai muihin tarpeisiin. Tämä vaikuttaa suoraan Metson katteisiin. Mikäli kumiosat asennetaan Metson tuotantolinjalla, tuo se yhden vaiheen tuotantoon lisää, joka siten lisää resurssien tarvetta ja kasvattaa tuotantolinjan läpimenoaikaa. Vastaavasti materiaalien ja kumiosien muotojen ollessa kunnossa, pienenee uudelleentekemisen (rework) tarve, joka vastavuoroisesti pienentää koneen läpimenoaikaa.

9.2 Tuotantoketjun muokkaaminen säännöillä

Jotta materiaalien laadunvalvontaa voitaisiin helpottaa ja siten koneiden kokonaisvaltaista laatuvaikutelmaa kohentaa, voidaan nykyistä kumiosan elinkaarta myös toisella tapaa kehittää. Kuvassa 61 oleva elinkaari vastaa täysin nykyistä elinkaarta muuten paitsi alihankkijan tekemien osakokoonpanojen valmistamisen työvaiheesta on poistettu kumiosien asentaminen. Kumiosat siis edelleen leikattaisiin oikeisiin mittoihin alihankinnassa, mutta itse asentaminen tehtäisiin Metson tuotantolinjalla.



Kuva 61. Nykyisen elinkaaren pieni modifikaatio

Tämä merkitsisi sitä, että kaikki kumiosat (poislukien kuljetinhinnat) toimitettaisiin välivarastoon erikseen kokoonpanon rinnalla. Tämä tuo Metson tuotantolinjaan yhden työvaiheen lisää. Kumiosien oikean varastointitavan toteutumista voitaisiin tällöin helpommin valvoa ja kontrolloida, sillä kumiosien pakkaaminen oikein välivarastointia varten olisi huomattavasti helpommin toteutettavissa. Riskinä tässä menettelytavassa on se, että

varastonhallinnassa kumiosat saattaisivat kadota, mikäli kumiosia ei olisi fyysisesti jollain menetelmällä sidottu kokoonpanoon. Myöskään varastointiaikaa ei tällä muutoksella saada pienennettyä. Materiaalikustannushyödyt ovat verraten pienemmät kuin muunnetun elinkaaren avulla, sillä hankinnassa olisi edelleen välikäsi, joka lisää aina oman katteensa.

10. YHTEENVETO

Tämän työn tuloksena ei ole pelkästään kumiosien suunnitteluohjeet, vaan myös suunnittelun toimintaan vaikuttaminen ja mahdollisten vikaantumisskenaarioiden dokumentoiminen. Suunnitellun kumiosan toteutuminen aitona kappaleena on pitkä prosessi, johon vaikuttavat useat sidosryhmät, eikä todellista lopputulosta tiedetä ennen kuin suunniteltu osa on fyysinen osa koneen kokonaisuutta. Tämän työn tuotteiden, eli suunnitteluohjeita ja hyviä toimintatapoja noudattamalla voidaan kuitenkin varmistua siitä, että kumiosan on todellisuudessa juuri sellainen kuin sen on suunniteltu olevan ja se toimii niin, kuin sen on haluttu toimivan.

10.1 Suunnittelun pääperiaatteet

Kumiosien suunnittelussa tulisi noudattaa pääperiaatteita, joiden avulla koneen oikeanlainen toimivuus ja pitkäikäisyys voidaan varmistaa. Näitä periaatteita noudattamalla voidaan myös pienentää kumiosien vaikutusta koneilla tuotetun materiaalityönteon laatuun.

- **Kumiosan tehtävä on tiivistää laite**, eikä ohjata materiaalivirtaa
- Kumimateriaalit **eivät käyttäydy kuten metallit**
- Kuten metalliset osatkin, tulee kumiosat **suunnitella aina loppuun asti**
- Jos kumiosa on liian vaikea mallintaa, **jaa se yksinkertaisempiin osiin**
- Jotta kumiosien ominaisuuksia voidaan mitenkään hallita, **ei spesifikaatioista saa poiketa**

Nämä ohjenuorat ovat Lean-ajattelutavan mukaisia järkeistyksiä, jotka tyypillisesti unohtuvat kiireen keskellä. Laatu ajatellen näitä ohjenuoria kuitenkin tulisi noudattaa täsmällisesti, sillä mikäli yksikin näistä jää huomioimatta, näkyy se suoraan materiaalityönteon tai ennenaikaisina vikaantumisina. Ohjenuorien tarkoitus on palauttaa suunnittelijan mieleen perusasiat kumiosien suunnittelussa. Etenkin spesifikaatioista poikkeaminen on johtanut suuriin ongelmiin, kun materiaali ei todellisuudessa olekaan ollut sitä mitä sen tulisi olla. Suunnittelussa hyvänä lähtökohtana voidaan pitää sellaista tilannetta, että kaikki rajapinnat pyrittäisiin suunnittelemaan siten, että kumiosat eivät olisi kriittisessä roolissa materiaalityönteon liikkeen suhteen. Toisin sanoen komponenttien ja kokoonpanojen välillä tulisi olla positiivinen peitto, jolloin se komponentti, josta materiaali tulee, on kapeampi kuin se, minne materiaali virtaa. Esimerkiksi seulanaluskuljettimen tulisi olla leveämpi kuin seula, jolloin kumiosat eivät aktiivisesti ohjaisi materiaalia vaan todellinen rooli olisi passiivinen, kuten pölyn suojaamista ja laitteen tiivistämistä

10.2 Kumiosien materiaalin valinta

Jokaiselle tuoteryhmälle on tehty alustavat materiaalivalinnat liitteissä B-D, joiden avulla mekaniikkasuunnittelija pääsee alkuun. Materiaalin valintaan voidaan kuitenkin antaa yksinkertaisia hyviä menettelytapoja, joita noudattamalla päästään jo erinomaiseen lopputulokseen.

- Se, kumman toistaan vasten liikkuvan kumiosan halutaan kuluvan ensin, tulee olla toista pehmeämpää (esimerkiksi 60 ShA hihna ja 40 ShA sivukumi)
- Mikäli kuljettimen reunakumi on 90° asteen kulmassa hihnaa vasten, tulee reunakumin olla liukasta ja pehmeää materiaalia, kuten alle 60 ShA PU tai EPDM
- Mikäli halutaan käyttää kovaa (+65 ShA) materiaalia sivukumissa, tulee jättää sivukumin ja hihnan väliin rako. Kumiosat eivät saa koskettaa toisiaan.
- Kuljetinhihnaa vasten olevassa reunakumissa EI saa olla vahvikekerroksia
- Mikäli kumiosa roikkuu, tulisi kumissa olla ainakin yksi vahvikekerros
- Mikäli kumiosa suojaa metallirakenteita eikä liiku toista kumia vasten, voidaan käyttää tavanomaisinta kumia, jonka materiaalispesifikaatiot sallivat
- Mikäli kumiin kohdistuva kuormitus on voimakkaasti iskevää, tulee kumin olla paksua
- Mikäli materiaalivirta liukuu pintaa vasten, tulisi se suojata tähän suunnitellulla kumi-kerami-komposiitilla

Tärkein asia materiaalin valinnassa on kuitenkin se, että se pysyy todelliseen kappaleeseen asti. Poikkeuksia materiaalin valinnassa ei tulisi tehdä missään vaiheessa, sillä siitä saattaa aiheutua pitkäkestoisia kustannus- ja laatuhaittoja.

10.3 Kumiosien muotoratkaisut

Kumiosien muodon ohjeistukset voidaan listata käyttökelpoisena pikaohjeistuksena, jota voidaan käyttää suunnittelun tukena. Kyseessä on kuitenkin osin abstraktimainen ohjeistus, joka vaatii suunnittelijalta kokemusta, eikä se siten tällaisenaan sovellu aloittavan mekaniikkasuunnittelijan käyttöön. Kokemattomampaa suunnittelijaa varten muodostetaan tämän työn pohjalta rinnalle myös yksityiskohtaisemmat ohjeet.

Hyvin suunnitellussa kumiosarakenteessa...

- kumiosa ei taitu terävän reunan yli
- taivutussäteet ovat hyvin loivia
- ei ole taitettuja kumiosia (jollei aivan välttämätöntä).
- kahden kumiosan välillä vallitsee positiivinen peitto (vähintään 200 mm päällekkäisyyttä)
- on jatkoskohdissa hyödynnetty myös muita osia, kuten muovi- ja metalliosia

Hyvän kumiosan...

- suunnittelu on tehty loppuun saakka
- muodot ovat jouhevia
- toiminnalliset kulmat on pyöristetty vähintään 5 mm säteellä
- koko on vähintään riittävä, mielellään hieman ylisuuri

- kiinnitys on toteutettu lattojen avulla
- kiinnitys voidaan irrottaa helposti ja yhdeltä puolelta, yksin
- kiristäminen on toteutettu kumiosaa vaurioittamatta
- jatkoskohtien muodot mukailevat materiaalivirran suuntaa.

Kuvallisten ohjeiden käyttö saattaa hidastaa suunnitteluprosessia, sillä ongelmien monimuotoisuudesta johtuen oikean ratkaisun löytäminen saattaa olla hidasta. Kuvalliset ohjeet (liitteet B-D) on kuitenkin hyvä olla olemassa, sillä oppiminen on yksilöllistä ja joissakin tapauksissa asiat jäävät paremmin mieleen, kun tukena on kuvia.

10.4 Valvonta

Kumiosien materiaalin valintaan ja muotojen tekemiseen kuuluu luonnollisena osana myös valvonta, jonka avulla voidaan todeta kumin olevan sellainen kuin sen on suunniteltu olevan. Hyvän kumilaadun tunnistamiselle on mahdollista määrittää muutamia keinoja, jotka auttavat nopeassa laadun kenttäarvioinnissa:

- Hyvä kumi ei halkeile taitettaessa tai kiinnitettäessä
- Hyvälaatuinen kumi haisee kumille, ei kemikaaleille (liuottimille / bensinille)
- Hyvää kumia on hyvin vaikea repiä rikki ilman työkaluja
- Kumi on elastista ja taipuisaa vaikka se olisi kovuudeltaan 60ShA
- Kumin leikkauspinta ei kiiltele paljoa (kiiltely johtuu savesta)
- Mikäli kumissa on vahvikekerros, se on vahva

Näiden yksinkertaisten menetelmien avulla voidaan asennetun todeta kumilaadun olevan sellaista kuin sen halutaan olevan. Mikäli materiaali ei olekaan sellaista, kuin sen yllä kuvaillaan olevan, täytyy suorittaa jatkotoimenpiteitä, kuten materiaalitestejä tai reklamointia. Huomioitavaa on se, että kumiosien laadun tunnistaminen vaatii harjoittelua, eikä johtopäätöksiä tule vetää liian kevyin perustein. Todellisen kumilaadun toteaminen olisi hyvä kuitenkin lisätä osaksi suunnittelun prosesseja, jotta materiaalien voidaan todeta toimivan myös oikeasti ja kumiosan todellinen käyttäytyminen tulisi tutummaksi jokaiselle suunnittelijalle.

11. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUS

Mekaniikkasuunnittelijan näkökulmasta elastomeeriosien suunnitleminen on ollut haastavaa, sillä tietoa tavanomaisesta poikkeavan materiaalin käyttäytymisestä ei ole ollut riittävästi saatavilla. Lisäksi kumiosien suunnittelu koetaan haastavaksi ja epämielekkääksi juuri materiaalin elastisuuden takia, mikä osaltaan heikentää suunnittelun laatua. Tässä työssä ilmenneiden asenteiden ja käytäntöjen perusteella voidaan todeta, että suurin kumiosien suunnittelua vaikeuttava tekijä on suunnittelija itse, joka ei ole täysin tietoinen siitä, miten kumimateriaaleja tulisi soveltaa ja mikä on kumiosan perimmäinen käyttötarkoitus. Voidaan siis kärjistäen todeta, että suunnittelija on unohtanut sen, että kumiosan tarkoitus on kivenmurskaus- ja seulalaitteissa tiivistää sen sijaan, että se toimisi aktiivisena materiaalin ohjaimena.

Tiedon lisääminen ja tarjoaminen helpottavat oikeaa asennoitumista kumiosien suunnitteluun sekä auttaa parantamaan suunnittelun laatua. Tämän työn pohjalta toteutetut suunnittelu- ja materiaalivalinnan ohjeet on tehty juuri sitä varten, että ennakkoasenteita saataisiin lievennettyä ja tarvittavat tiedot esitettynä ikään kuin tarjottimella. Tietotaitojen lisäämiseksi täytyy tehdä useita rinnakkaistoimenpiteitä, jotta tarvittavat tiedot olisivat myös helposti saatavilla ja siten nopeasti hyödynnettävissä. Tällaisia toimia ovat esimerkiksi koulutustilaisuuksien järjestäminen, joissa käydään läpi etenkin sitä, mistä tarvittavat tiedot saa, miten niitä voi parhaiten hyödyntää ja miten toimia tulevaisuudessa.

Suunnitteluorganisaation tulee kokonaisvaltaisesti ottaa käyttöön kumiosien suunnittelun ohjeet sekä ylläpitää niitä aktiivisesti. Ilman ohjeiden ja suositusten hyödyntämistä tämän työn merkitys jää hyvin vähäiseksi. Hankintaorganisaation tulee tukea suunnittelua varmistamalla, että hankittavat materiaalit toteuttavat kiristetyt vaatimukset ja näitä hyväksytyjä materiaaleja käytetään niin omassa valmistuksessa kuin alihankinnassakin. Valmistus- ja laatuorganisaation tehtäväksi jää ylläpitää laatua valvonnan avulla. Tärkein tehtävä, jolla laatua pystytään parantamaan, on aktiivinen puuttuminen riittämättömään laatuun. Puutteet tulee välittömästi korjata ja reklamoida, jotta hyödyt pystytään saavuttamaan.

11.1 Jatkotutkimus

Materiaalin valinta perustuu tällä hetkellä saatavilla olevaan tietoon, joten sitä täytyy jatkuvasti päivittää. Mahdollisten jatkotutkimuksien perusteella materiaalivalinnan tietoja tulee päivittää ja korjata, jotta uudet ratkaisut olisivat mahdollisimman toimivia. Tässä työssä esitettyjen tuloksien varmistaminen pitkäkestoisilla käytännön kokeilla ja aidoissa prosessiolosuhteissa, on tärkeä vaihe, joka tulisi suorittaa mahdollisimman nopeasti oh-

jeiden lanseeraamisen jälkeen. Lisäksi tulisi suorittaa toimenpiteitä, joilla pystytään varmistamaan siitä, että uudet käytännöt otetaan mahdollisimman kokonaisvaltaisesti arkiseksi osaksi kumiosien suunnittelua.

11.2 Taloudelliset mahdollisuudet

Työn tavoitteista erityisesti tiedon jakaminen ja sen saatavuuden hallinta on huomattavasti parantunut. Koulutustapahtumien avulla on pyritty puuttumaan jo tekeillä oleviin suunnitteluratkaisuihin ja esittämään nykyiset ongelmakohdat, joihin tulisi puuttua mahdollisimman pian. Myös tietoa siitä, mistä lisätietoa saa on pyritty jakamaan. Yrityksen organisaatiosta löytyy runsaasti asiantuntevaa henkilöstöä, jota ei olla tarpeisiin nähden riittävästi aiemmin hyödynnetty.

Tämän työn vaikuttavuus näkyy etenkin laitteiden laatuvaikutelmassa, sillä negatiivista asiakaspalautetta keränneet kohteet on osin jo tämän työn aikana korjattu. Lisäksi käytettävät materiaalit on nykyisin hyvin tarkasti rajattu tiettyihin laatuihin ja brändeihin, joiden ominaisuudet on erillisillä materiaalitutkimuksilla tarkistettu. Materiaalit ovat nyt laadullisesti sellaisia, jollaisia niiden tulisi olla, jotta ne vastaavat sekä ulkoista laatuvaikutelmaa että ovat ominaisuuksiltaan riittäviä.

Taloudelliset hyödyt tästä työstä ovat merkittävät, sillä tämän työn implementoimisen jälkeen tavoitteena on, että kumiosien laatu on niin hyvä, ettei niitä takuutyönä tarvitse vaihtaa. Tämä itsessään tuo jo tuhansien eurojen säästön. Lisäksi yrityksen sisäisen kumiorganisaation korostunut hyödyntäminen kumiosien valmistajana tuottaa koko organisaatiolle hyötyä, sillä ennen tätä työtä omien kumituotteiden hyödyntäminen oli lähes minimaalista. Tällä hetkellä materiaalivalintojen suositukset korostavat oman organisaation tuotteiden käyttöä, sillä tämä käytännössä mahdollistaa yritykselle uuden taloudenlähteen. Oman organisaation tuotteisiin hyväksytyt kumituotteet merkataan OEM (Original Equipment Manufacturer) merkinnällä, mikä edistää yrityksen kumiosien varaosamarkkinoiden syntyä. Taloudellinen hyöty tästä on pidemmällä aikavälillä jopa merkittävä.

LÄHTEET

- Arnold, J. C. & Hutchings, I. M., 1991. The Erosive Wear of Elastomers. *Journal of Natural Rubber Research*, 6(4), ss. 241-256
- Austrell, P-E., 1997. Modelling of Elasticity and Dampinf for Filled Elastomers. Report TVSM-1009. Lund University, Division of Structural Mechanics.
- Bartol, K. M. & Srivastava, A., 2002. Encouraging Knowledge Sharing: The Role of Organizational Reward Systems. *Journal of Leadership & Organizational Studies*, 9(1), ss. 64-76.
- Bratinau, C. & Orzea, I., 2010. Tacit Knowledge Sharing in Organizational Knowledge Dynamics. *Proceedings of the European Conference on Intellectual Capital*, ss. 107-114
- Brown, R., Forrest, M. & Soulanget G. 2000. Long-term and Accelerated Ageing Tests on Rubbers. iSmithers Rapra Publishing.
- Donnet, J-B. & Custodero, E., 2013. Chapter 8 – Reinforcement of Elastomers by Particulate Fillers. *The Science and Technology of Rubber*. 4. painos, ss. 383-416.
- Duffy, A. H. B. & Ferns, A. F., 1999. An Analysis of Design Reuse Benefits. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design*, ss. 799-804.
- Duffy, S. M., Duffy. A. H. B & MacCallum, K. J., 1995. A Design Reuse Model. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design*, ss. 490-495.
- Fukahori, Y. & Yamazaki, H., 1995, Mechanisms of rubber abrasion part 3: how is friction linked to fracture in rubber abrasion. *WEAR*, 188(12), ss. 19-26
- Haldin-Herrgard, T., 2000. Difficulties in diffusion of tacit knowledge in organizations. *Journal of Intellectual Capital*, 1(4), ss. 262-279.
- Hansen, C. H. & Goelzer, I. F., 1995. Occupational exposure to noise: evaluation, prevention and control. World Health Organization, ss. 245-296
- Hedlund, G., 1994. A Model of Knowledge Management and the N-Form Corporation. *Strategic Management Journal*, 15, ss. 73-90.
- Kogur, B. & Zander, U., 1992. Knowledge of the Firm, Combinative Capabilities and the Replication of Technology. *Organization Science*, 3(3), ss. 383-397.
- Kopra, M-J., 2012. Facilitating Experience-based Learning in Groups: A Method for Capturing Lessons Learned. Julkaisu 1077, Tampere teknillinen yliopisto

Levitt, B. & March, J.G., 1988. Organizational learning. *Annual Review of Sociology*, 14, ss. 219-340.

Metso Oyj, 2002. *Sheeting Manual, Rubber & Polyurethane*. Saatavissa: (8.6.2017) <http://www.metso.com/services/wear-lining/>

Metso Oy, 2016. *Lokotrack® Mobile crushing & screening plants*. Saatavissa (26.6.2017) <http://www.metso.com/industries/aggregates/>

Metso AB, 2016. *Metso Conveyor Solutions Handbook. Launch Edition*. Saatavissa: (8.6.2017) <http://www.metso.com/services/spare-wear-parts-conveyors/>

Metso AB, 2017. *Metso wear lining and sheeting – Handbook. Version 1.2*. Saatavissa: (26.6.2017) <http://www.metso.com/services/wear-lining/>

Metso Oyj, 2017a. *Metso yleisesitys 2017*.

Metso Oyj, 2017b. *Metso 2016 Vuosikatsaus*. Saatavissa: (26.6.2017) <http://www.metso.com/fi/yritys/>

Morgans, R., Lackovic, S. & Cobbold, P., 1999. Paper No. 2. *Understanding the IRHD and Shore Methods used in Rubber Hardness Testing*. Wallace Instruments.

Nonaka, I., Toyama, R. & Konno, N., 2000. SECI, Ba and Leadership: a Unified Model of Dynamic Knowledge Creation. *Long range planning*, 33(1), ss. 5-34.

Pulkkinen, A., 2007. *Product Configuration in Projecting Company: The Meeting of Configurable Product Families and Sales-Delivery Process*. Julkaisu 712. Tampereen teknillinen yliopisto

Reddy, W. & McCarthy, S., 2006. *Sharing best practice*. *International Journal of Health Case Quality Assurance*, 19(7), ss. 594-598.

Smiley Monroe Ltd, 2017. *Conveyor Belts – Straight Warp*. Saatavissa: (27.6.2017) <http://www.smileymonroe.com/products/conveyor-belts/>

Smith, H. A., McKeen, J. D. & Singh, S., 2007. *Tacit Knowledge Transfer: Making it Happen*. *Journal of Information Science & Technology*, 4(2), ss. 23-44.

Tuomi, I., 1999. *Corporate knowledge: theory and practice of intelligent organizations*.

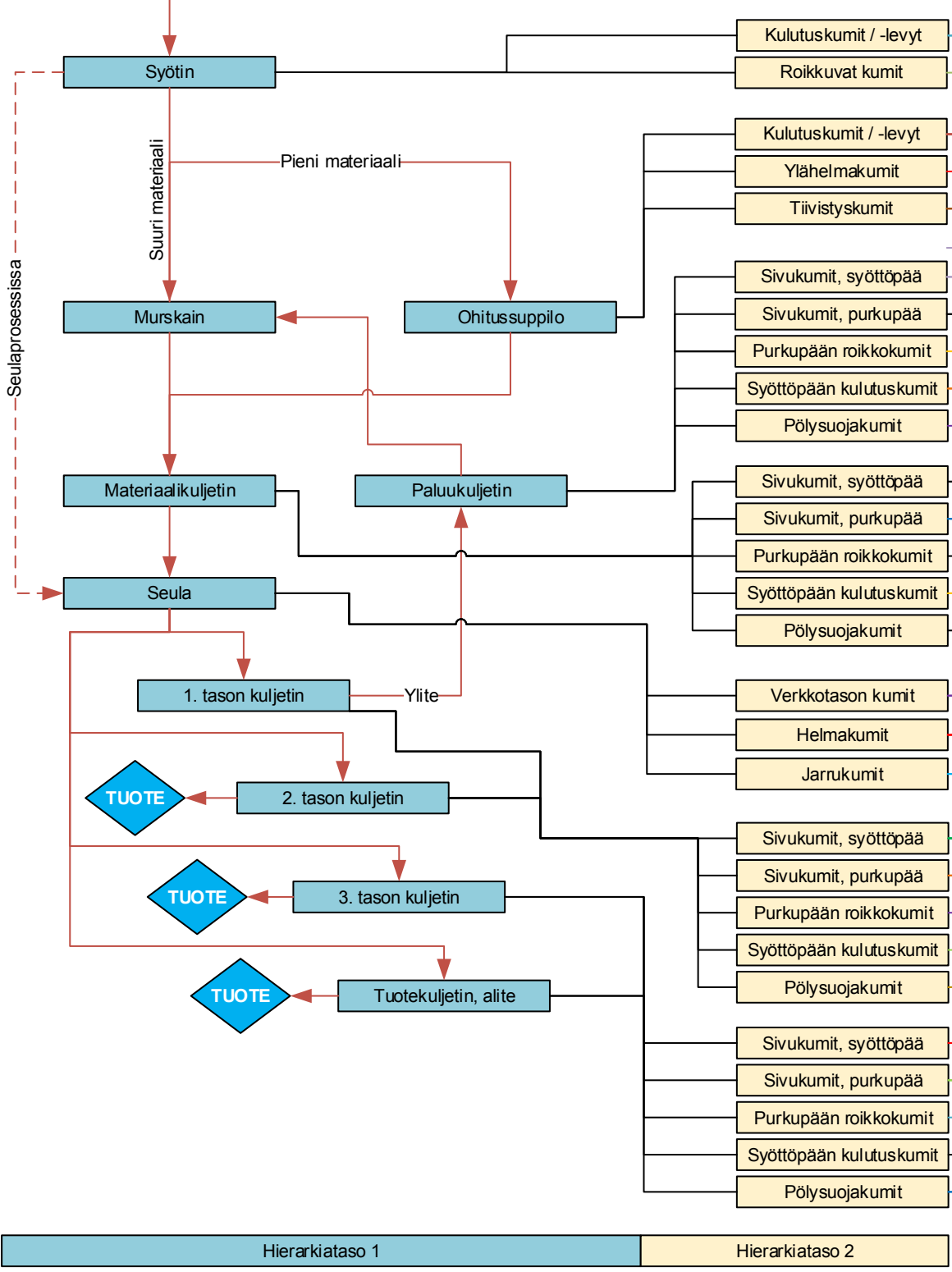
Ullman, D. G., 2003. *The Mechanical Design Process*. 4. painos.

Weber, C. & Deubel, T. 2003, *New Theory-based Concepts for PDM and PLM*. *Proceedings of ICED 03*, Royal Institute of Technology, Sweden.

Analysi: käyttöolosuhteet muunnettuna ominaisuuksiksi

PROSESSIMATERIAALIN KOKO PIENENEÄ

SYÖTÖMATERIAALI



Seula-prosessissa

Kulutuskumit / -levyt
Roikkuvat kumit

Kulutuskumit / -levyt
Ylähelmakumit
Tiivistyskumit

Sivukumit, syöttöpää
Sivukumit, purkupää
Purkupään roikkokumit
Syöttöpään kulutuskumit
Pölysuojakumit

Sivukumit, syöttöpää
Sivukumit, purkupää
Purkupään roikkokumit
Syöttöpään kulutuskumit
Pölysuojakumit

Verkkotason kumit
Helmakumit
Jarrukumit

Sivukumit, syöttöpää
Sivukumit, purkupää
Purkupään roikkokumit
Syöttöpään kulutuskumit
Pölysuojakumit

Sivukumit, syöttöpää
Sivukumit, purkupää
Purkupään roikkokumit
Syöttöpään kulutuskumit
Pölysuojakumit

Kontakti kuljetinhihnaan jatkuva

Suuri käyttöaste

Materiaalivirta monipuolista

Kriittinen komponentti / moduuli

Kiinnitys yhdeltä kyljeltä, roikkuva kumi

Materiaali liikuu

Materiaali iskeytyy

Materiaalia voimakkaasti ohjaavaa

Tiivistystilanne vaikea

Väsyttävä kuormitustilanne

Tiivistystilanne helppo

SBR

NR

EPDM / PU

PP

PP + keraami (Poly-Cer)

1 vahvikekerros

2-3 vahvikekerrosta tai hihna

40 ± 5 ShA

60 ± 5 ShA

Materiaalivirran suuri määrä

Materiaalivirran monipuolisuus

Pitkäikäisyys

Roikkumisenkestokyky hyvä

Liukumisenkesto hyvä

Iskujen kesto hyvä

Materiaalin ohjauksen kyky hyvä

Hyvät tiivistysominaisuudet

Kohtalaiset tiivistysominaisuudet

Hyvä väsymisenkesto

Kosteudenkesto

Synteesi: ominaisuudet tuotteiden kautta käyttökohteelle sopiviksi

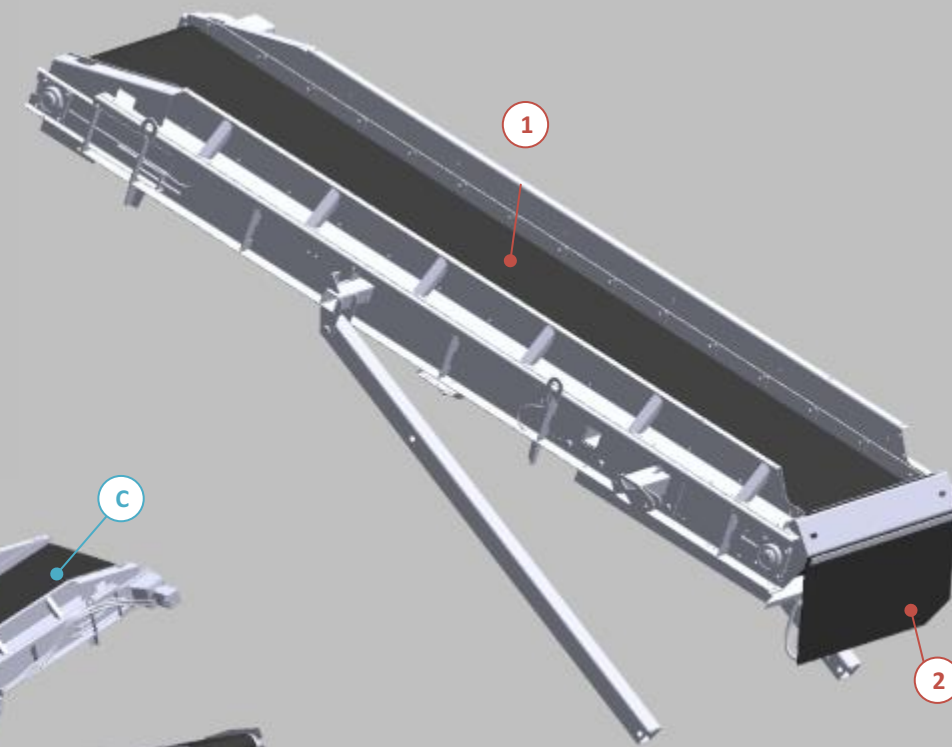
ST rubber selection guide

(Position / name / material / hardness / thickness)



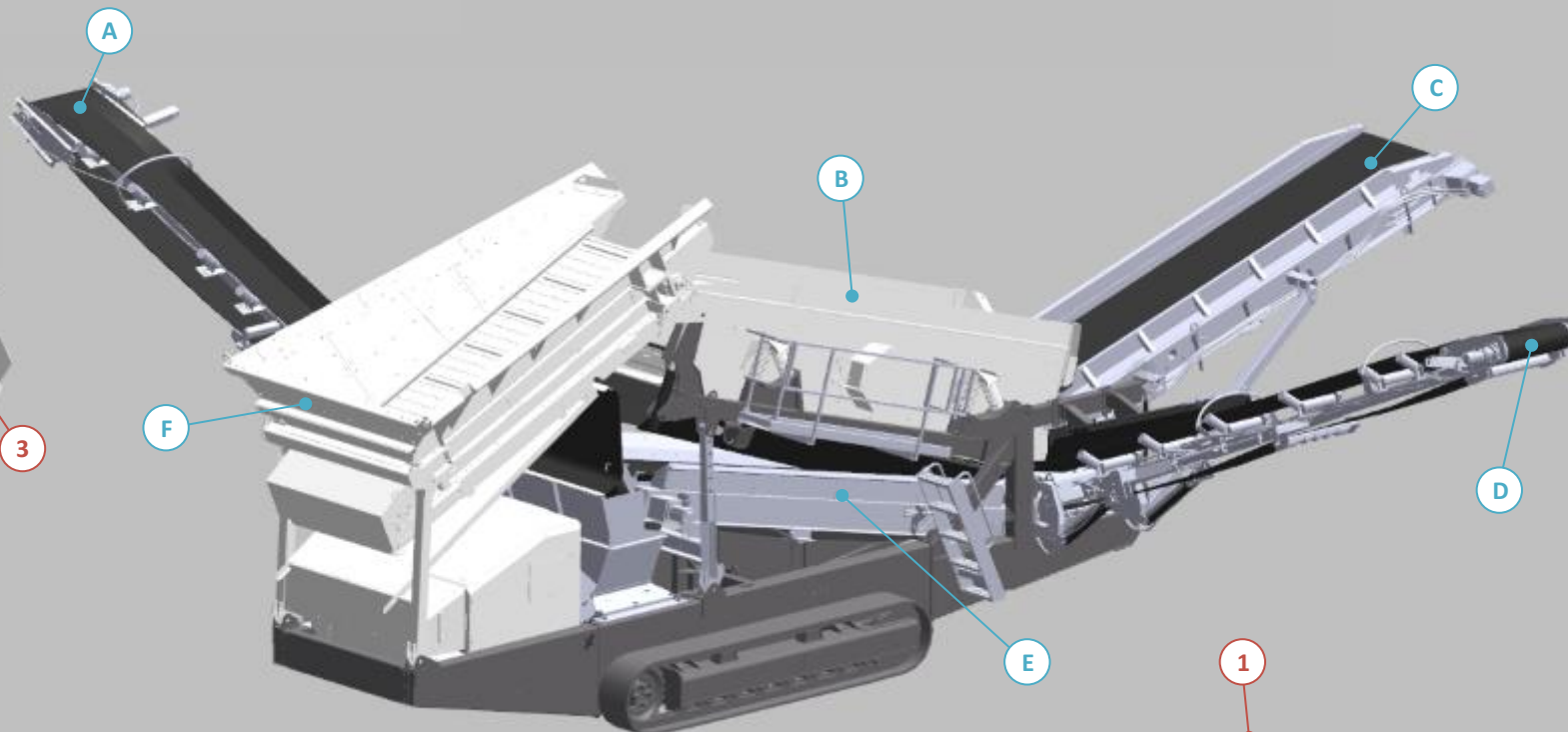
A, Side conveyor, fine materials

1. Skirt rubber, reinforced (1 ply or belt) SBR, 60 ShA, 6 mm
2. Wear lining (optional), Poly-Cer 10S, 20/5 mm
3. Seal rubber 90°, PU/EPDM, 70 ShA, 10 mm
4. Side rubber (material control), SBR, 60 ShA, 10 mm



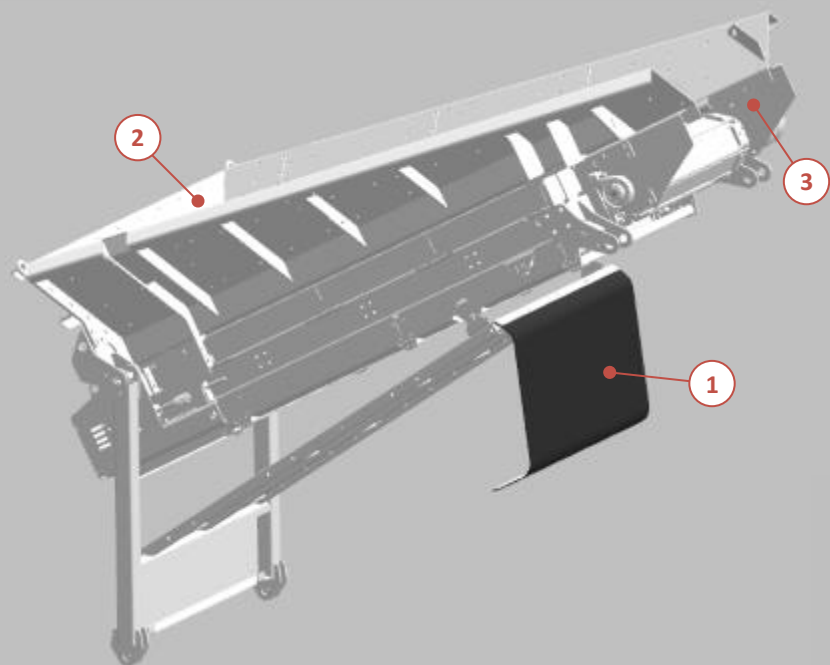
C, Oversize conveyor

1. Side rubbers 90°, PU, 15 mm
2. Rear skirt rubber, reinforced (1 ply or belt) SBR, 60 ShA, 6 mm



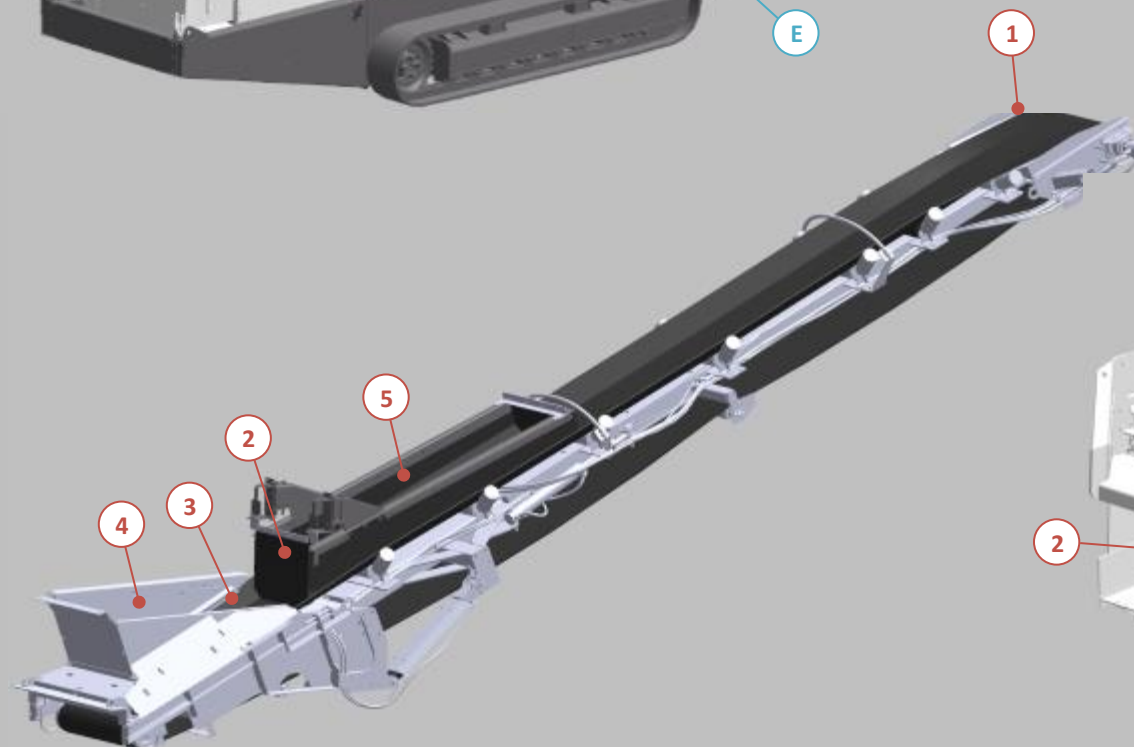
B, Screen

1. Seal / wear plate, SBR, 60 ShA, 15 mm
2. Screen deck liners, SBR, 60 ShA, 6 mm or commercial liners
3. Screen skirts, reinforced (1 ply or belt) SBR, 10 mm



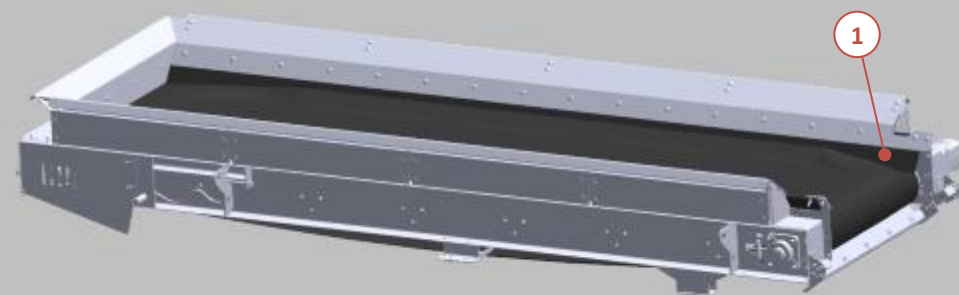
F, Feeder

1. Skirt rubbers, reinforced (1ply) SBR, 60 ShA, 6 mm
2. Wear lining, PP, 75mm
3. Side rubbers (material control), SBR, 60 ShA, 10 mm



D, Side conveyor, Medium materials

1. Side rubbers (material control), SBR, 60 ShA, 10 mm
2. Roll back curtains, reinforced (1 ply or belt) SBR, 60 ShA, 6 mm
3. Side rubbers 90°, PU, 70 ShA, 10 mm
4. Wear lining (optional), Poly-Cer 10S, 20/5 mm
5. Side rubbers, SBR/NR, 40 ShA, 10 mm



E, Under screen conveyor, fine materials

1. Side rubbers, SBR/NR, 40 ShA, 10 mm

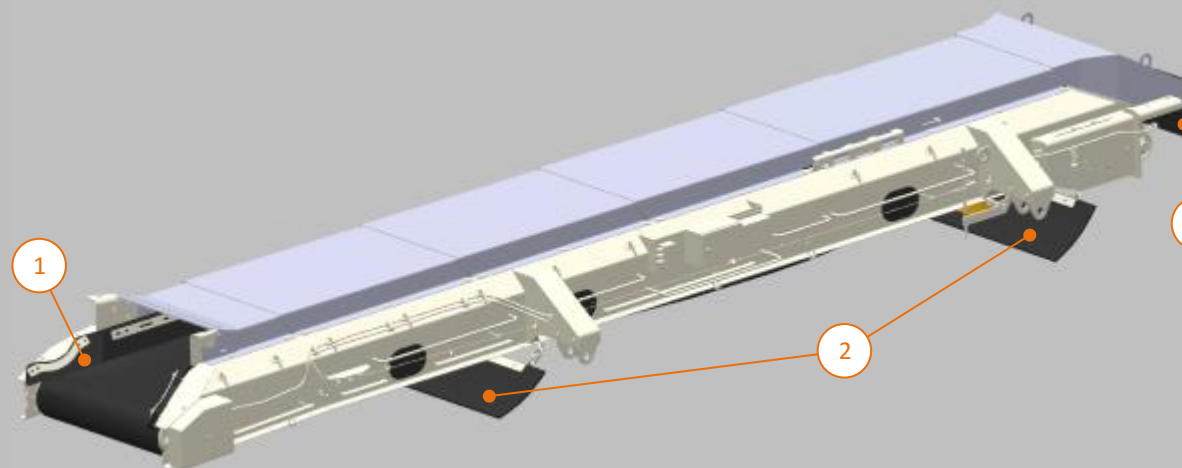
Large LT rubber selection guide

(Position / name / material / hardness / thickness)



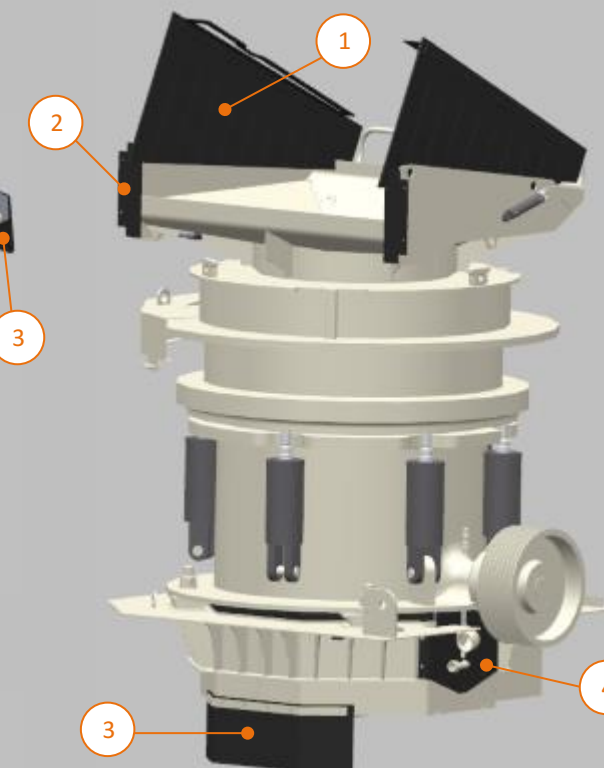
B & G, Side conveyors. Fine and medium materials

- 1. Hopper rubbers (centralizing), SBR, 60 ShA, 10 mm
- 2a. Side rubbers (guiding), SBR, 60 ShA, 10 mm
- 2b. Side rubbers (sealing), SBR/NR, 40 ShA, 10 mm



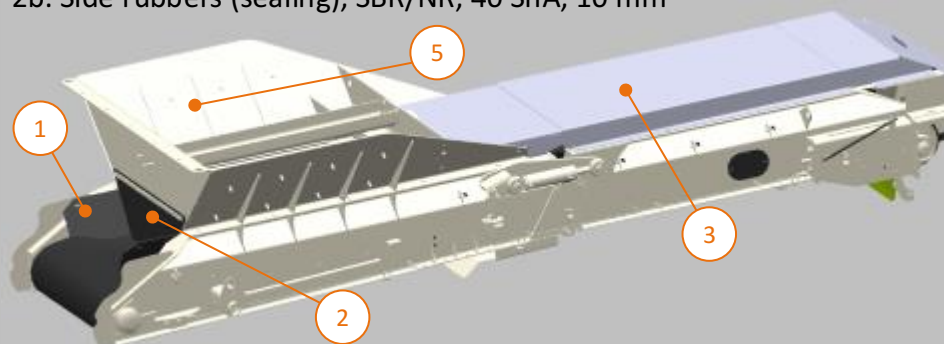
D, Material conveyor. Mixed materials

- 1. Side rubbers, SBR/NR, 40 ShA, 10 mm
- 2. Screen rubbers, reinforced (belt) SBR, 60 ShA, 15 mm
- 3. Hopper rubbers, 1 ply SBR, 60 ShA, 6 mm



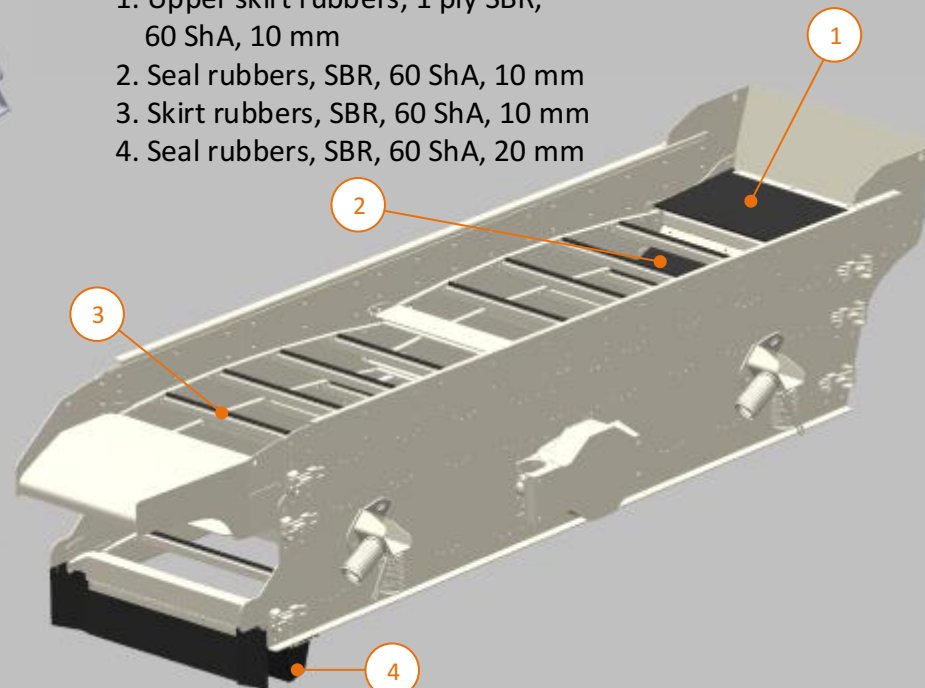
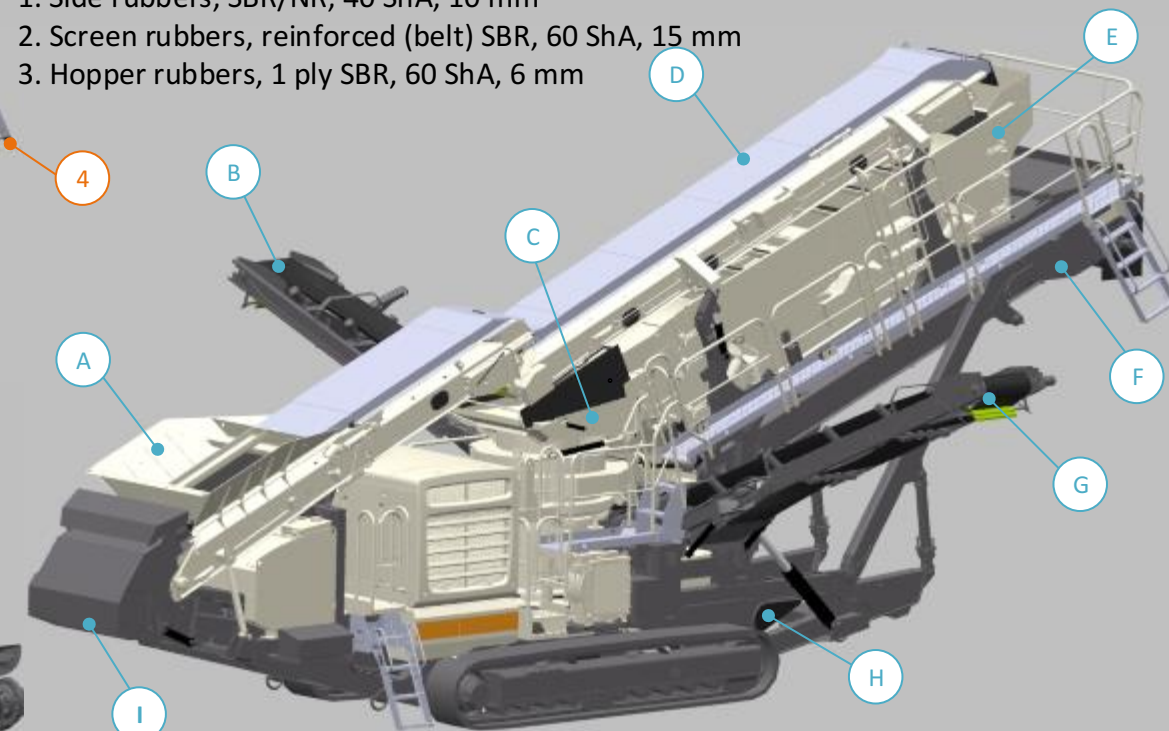
C, Crusher and Installation Parts

- 1. Upper skirt rubbers, 1 ply SBR, 60 ShA, 10 mm
- 2. Seal rubbers, SBR, 60 ShA, 10 mm
- 3. Skirt rubbers, SBR, 60 ShA, 10 mm
- 4. Seal rubbers, SBR, 60 ShA, 20 mm



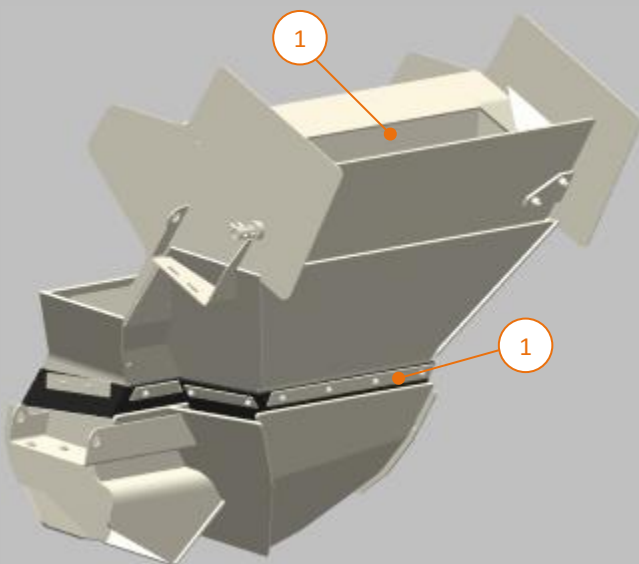
A, Feeder / Lifting Conveyor. Mixed materials

- 1a. Side rubbers (sealing), SBR/NR, 40 ShA, 15 mm
- 1b. Side rubbers (guiding), SBR, 60 ShA, 15 mm
- 2. Hopper rubbers (hanging), 1 ply SBR, 60 ShA, 10 mm
- 3. Dust suppression rubbers (optional), SBR/NR, 40 ShA, 2 mm
- 4. Seal rubbers, SBR, 60 ShA, 6 mm
- 5. Wear rubber, PP, 75 mm



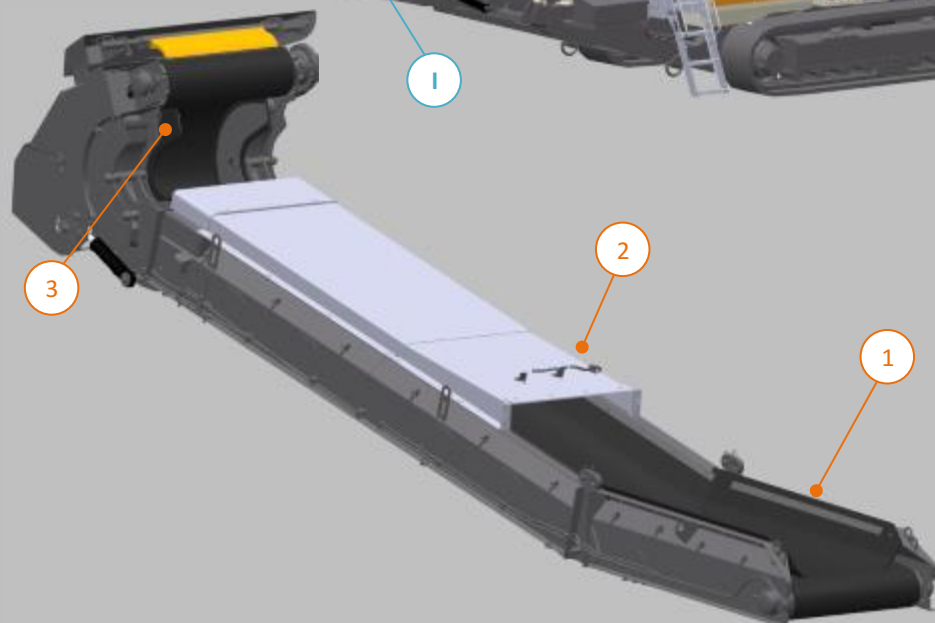
E, Screen

- 1. Wear liner, PP, 50 mm
- 2. Rear rubber, 1 ply SBR, 60 ShA, 10 mm
- 3. Screen deck rubbers, SBR, 60 ShA, 6 mm
- 4. Skirt rubbers, SBR, 60 ShA, 6 mm



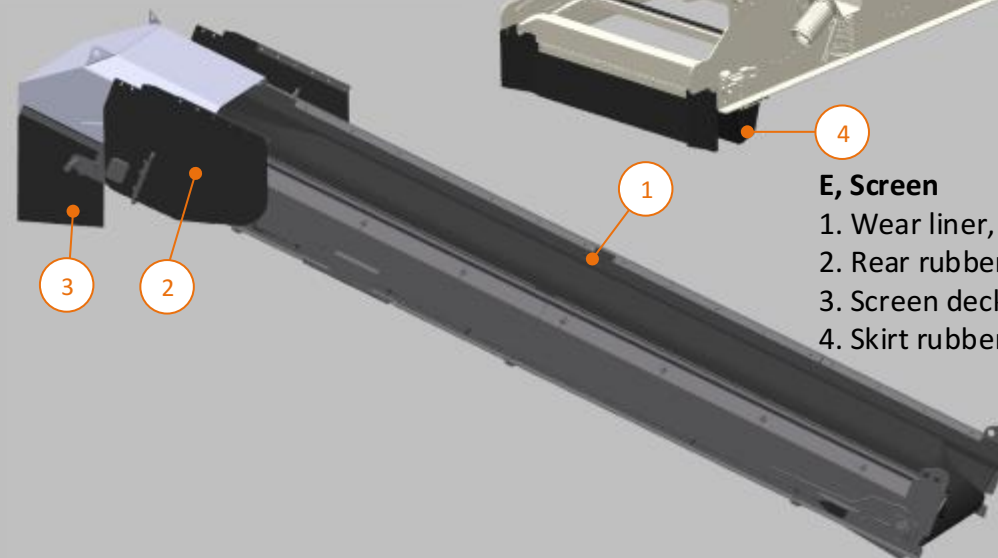
H, Dividing hopper. Fine materials

- 1. Wear rubber, Poly-Cer 10S, 20/5 mm
- 2. Seal rubber, SBR/NR, 40 ShA, 2 mm



I, Under crusher conveyor. Medium and fine materials

- 1. Side rubbers (sealing), SBR/NR, 40 ShA, 10 mm
- 2. Seal rubbers, SBR/NR, 40 ShA, 2 mm
- 3. Side rubbers at 90° angle, PU, 75 ShA, 20 mm

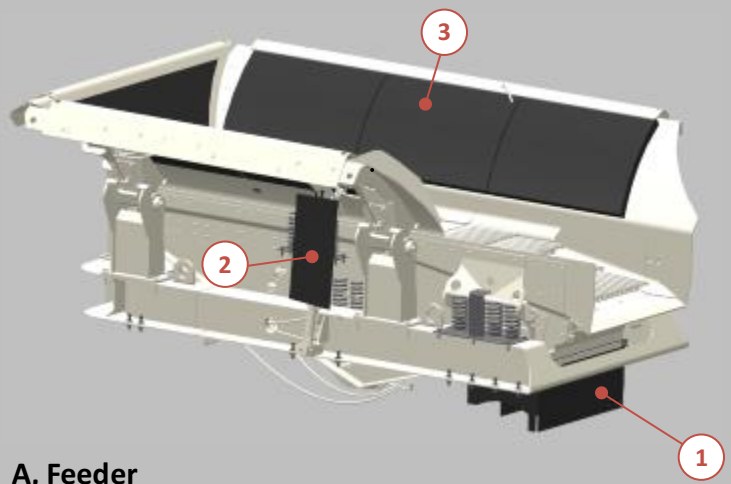


F, Under Screen Conveyor. Fine materials

- 1. Side rubbers, SBR/NR, 40 ShA, 10 mm
- 2. Hanging rubbers, 1 ply SBR, 60 ShA, 6 mm
- 3. Skirt rubbers, 1 ply SBR, 60 ShA, 6 mm

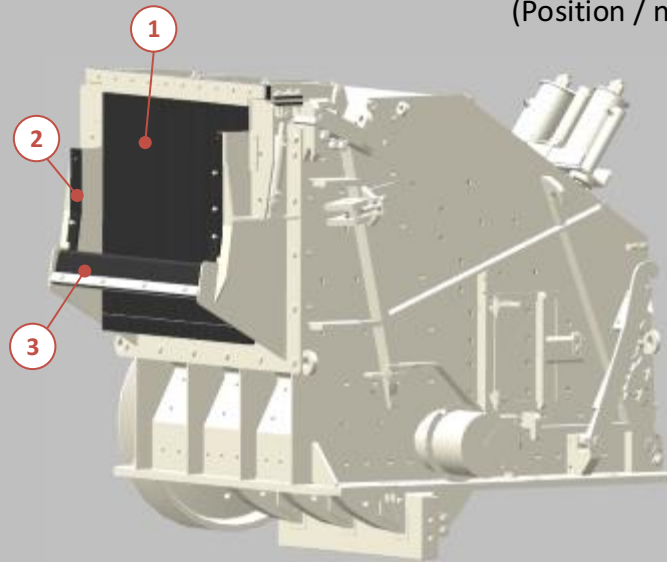
Compact LT rubber selection guide

(Position / name / material / hardness / thickness)



A, Feeder

- 1. Skirt rubber, SBR, 60 ShA, 10 mm
- 2. Rubber plate, SBR, 60 ShA, 10 mm
- 3. Wear plates, PP, 75 mm



B, Crusher

- 1. Skirt rubber, Reinforced (belt) SBR, 60 ShA, 15 mm
- 2. Seal rubbers, SBR, 60 ShA, 15 mm
- 3. Wear rubbers, SBR, 60 ShA, 10 mm



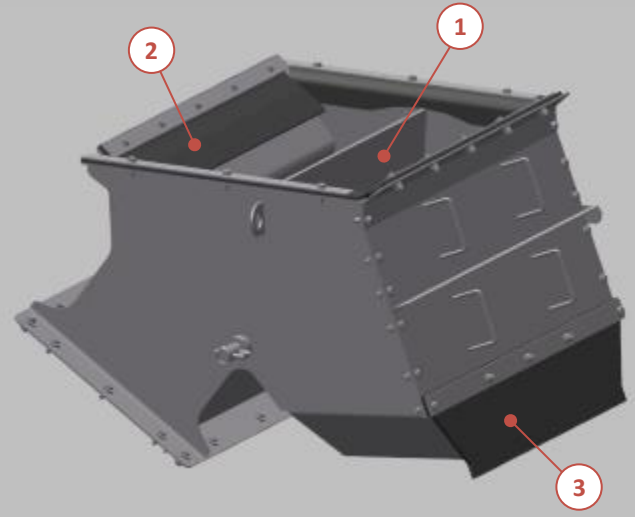
C, Main conveyor

- 1. Skirt rubber, Reinforced (1ply) SBR, 60 ShA, 6 mm
- 2. Side rubbers, SBR/NR, 40 ShA, 10 mm
- 3. Feed point side rubbers, SBR, 60 ShA, 10 mm
- 4. Dust seal rubbers, SBR/NR, 40 ShA, 2 mm



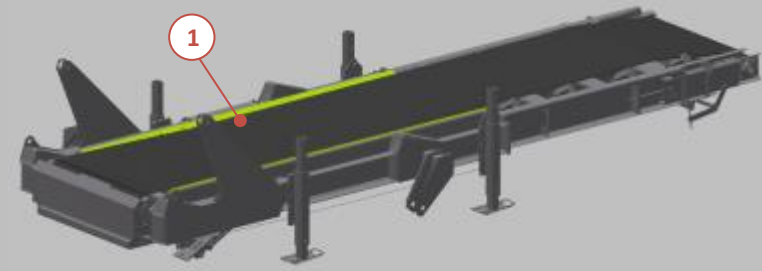
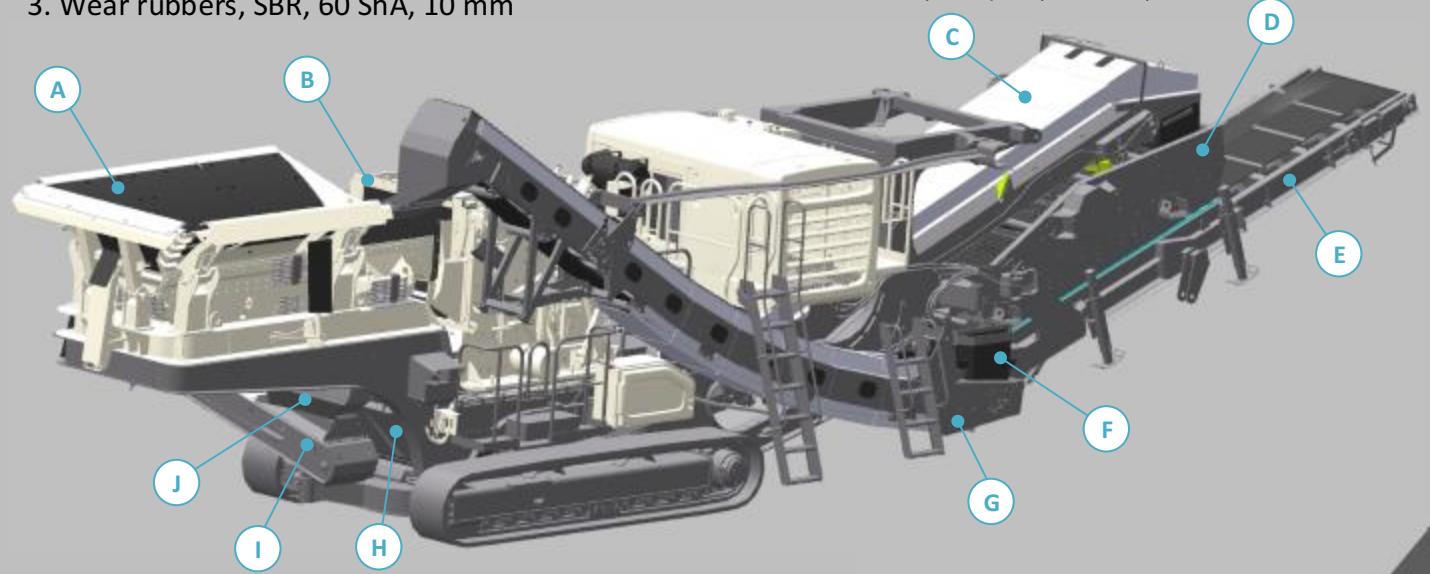
D, Screen

- 1. Rear rubber, Reinforced (belt) SBR, 60 ShA, 10 mm
- 2. Side skirt rubbers, Reinforced (belt) SBR, 60 ShA, 10 mm
- 3. Screen deck liners, SBR, 60 ShA, 5 mm (or liner bars)



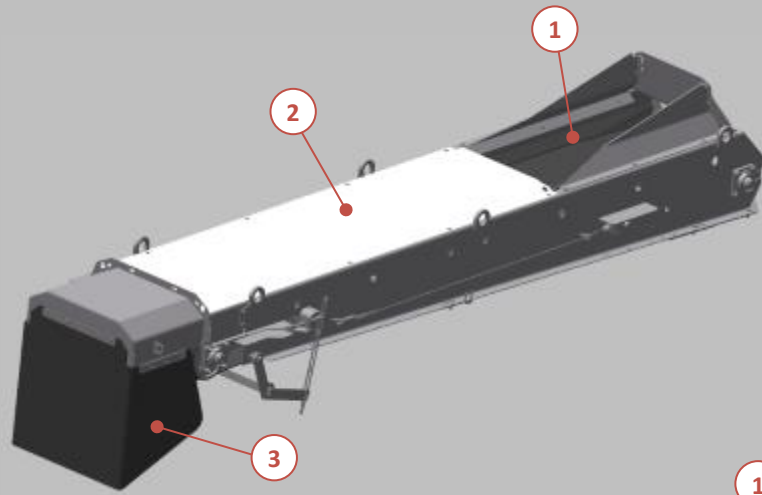
J, By-pass hopper

- 1. Hopper liners, Poly-Cer 10S, 20/5 mm
- 2. Wear rubbers, SBR, 60 ShA, 10 mm
- 3. Skirt rubbers, Reinforced (1 ply) SBR, 60 ShA, 6mm



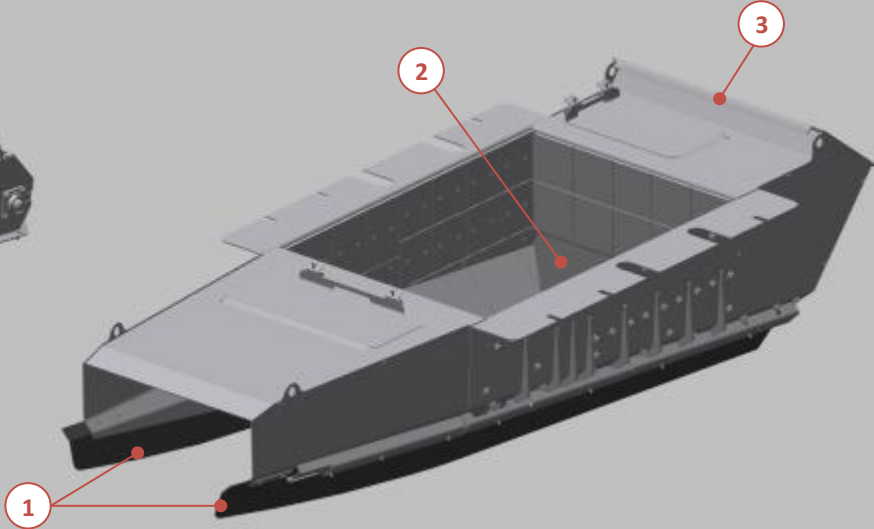
E, Under Screen Conveyor, most finest material

- 1. Side rubbers (if exists), SBR / NR, 40 ShA, 6 mm



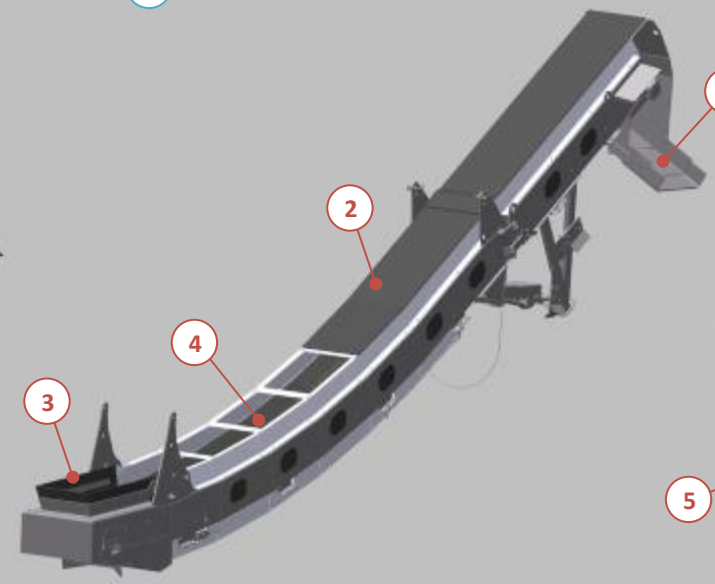
I, Material conveyor, medium and fine material

- 1. Side rubbers, SBR/NR, 40ShA, 10 mm
- 2. Dust suppression alternative, SBR/NR, 40 ShA, 2 mm
- 3. Rubber plate, Reinforced (1ply), 60 ShA, 6 mm



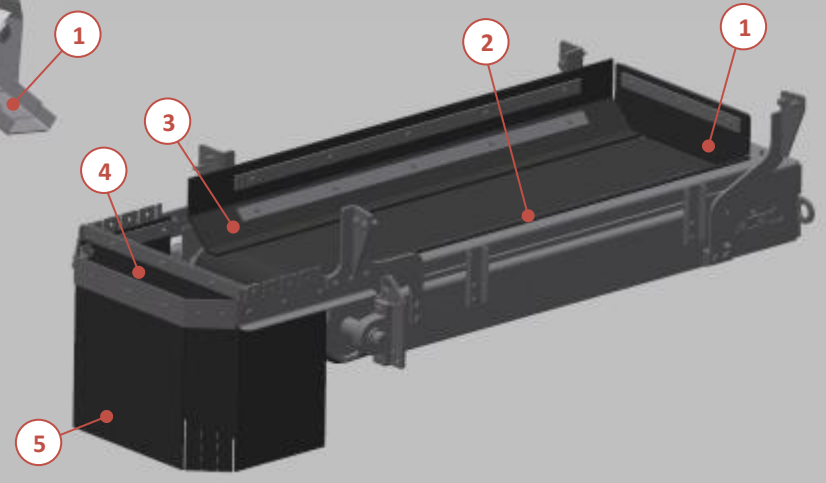
H, Equipment module

- 1. Side rubbers, SBR / NR, 40 ShA, 10 mm
- 2. Rear rubbers, (reinforced) SBR, 60 ShA, 10 mm
- 3. Chute liners (optional), Poly-Cer 20S, 35/5 mm



G, Return conveyor, medium material

- 1. Chute liners (optional), Poly-Cer 10S, 20/5 mm
- 2. Dust suppression rubber, SBR/NR, 40 ShA, 2 mm
- 3. Feed chute rubbers, SBR, 60 ShA, 10 mm
- 4. Side rubbers, SBR/NR, 40 ShA, 10 mm



F, Conveyor, Oversize material

- 1. Rear rubber, SBR/NR, 40 ShA, 10 mm
- 2. Side rubber (direct mat. impact), SBR, 60 ShA, 10 mm
- 3. Side rubber, SBR/NR, 40 ShA, 10 mm
- 4. Skirt rubber, Reinforced (1 ply) SBR, 60 ShA, 6 mm
- 5. Skirt rubber, Reinforced (1 ply) SBR, 60 ShA, 6 mm