



Käsikirja kivenmurskaimen kulumissuojien suunnitteluun

Timo Törmä

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2021

Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Tuotekehitys

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotekehitys

TÖRMÄ, TIMO:
Käsikirja kivenmurskaimen kulumissuojien suunnitteluun

Opinnäytetyö 45 sivua
Toukokuu 2021

Kivenmurskaimen kulumissuojien innovaatiot kehittyvät uusien materiaalien myötä jatkuvasti. Kulumissuojien kehittämiseen ja suunnitteluun tarvittiin käsikirjaa, jossa tarvittava tieto olosuhteista ja ilmiöistä on koottu yhdeksi dokumentiksi. Käsikirja tuotettiin Metso Outotec Finlandin murskainkulutusosa- ja kammio-optimoinnin osastolle opetus- ja markkinointitarkoituksiin. Käsikirja toimii prosessin kehitysvaiheen nollapisteenä, joka toimii seurantaan ja kehittämiseen liittyvänä alkukohtana.

Suunnitteluprosessin perustaksi esiteltiin murskainmalliin liittyvä toimintamekanismi sekä sen tuottamat olosuhteet ja ilmiöt. Suunnitteluprosessin kuvaus toteutettiin suunnittelijalle optimaalisessa toteutusjärjestyksessä. Prosessi käynnistyy konemalliin liittyvän tiedon hankinnalla ja jalostuksella. Hankittu tieto luo suunnitteluvaiheelle kehysympäristön ja mittakaavan. Olosuhteiden ja ilmiöiden vaikutukset kulumissuojille käsiteltiin kulumiseen vaikuttavien ominaisuuksien ja rakenteellisten rajoitteiden osalta.

Opinnäytetyönä valmistuneen käsikirjan kehitys jatkuu prosessin ja tuotteen suhteen. Markkinoinnin tueksi käsikirja käännetään englannin kielelle, ja siitä tullaan tuottamaan organisaation sisäiseen käyttöön kohdennettu teos, joka sisältää yksityiskohtaisempaa tietoa esimerkiksi suunnittelusta.

Opinnäytetyön liitteet ovat luottamuksellista tietoa, eikä niitä julkaista tämän työn julkisessa versiossa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Product Development

TÖRMÄ TIMO:
Designing Handbook for Rock Crusher Wear Protection

Bachelor's thesis 45 pages
May 2021

Innovations in Rock Crusher Wear Protection are constantly evolving with new materials. A manual was needed for the development and design process of the Wear Protection, in which the necessary information on conditions and phenomena would be compiled into a single document. The manual was produced for Metso Outotec Finland Crusher Consumables and Chamber Optimization department for teaching and marketing purposes. The manual serves as a benchmark for the development phase of the process.

As a basis for the design process, the operating mechanism of the crusher model and the conditions and phenomena it produced were presented. The description of the design process was presented in optimal execution order for the designer. The process was started with the acquisition and processing of information related to the machine model. The acquired information formed a framework environment and scale for the designing phase. The effects of conditions and phenomena on wear protection were presented in terms of properties and structural constraints affecting wear.

The development of the handbook completed in this study continues in terms of the content to the process and the product. To support the company's marketing organization the handbook will be translated into English and an internal version will be produced for the organization, which will contain more detailed information regarding, for example, the designing process.

The appendices of this thesis are confidential information and were not published in the public version of this thesis.

Key words: designing, wear protection, cone crusher, gyratory crusher

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	GYRATORINEN KIVENMURSKAIN	7
	2.1 Gyrtorinen toimintaperiaate	7
	2.2 Kartiomurskain	9
	2.3 Kara-akselimurskain.....	10
3	OLOSUHTEET	12
	3.1 Kuluminen	12
	3.2 Materiaalivirta.....	15
	3.2.1 Liike	16
	3.2.2 Iskuvoima	20
4	SUUNNITTELUPROSESSI	22
	4.1 Prosessin käynnistyminen.....	22
	4.2 Suunnitteluympäristön määrittely	23
	4.2.1 Päärunko	24
	4.2.2 Liikkuvat- ja kiinteät rakenteet	26
	4.2.3 Toleranssi ja väistöt.....	27
	4.2.4 Erikoispiirteet.....	29
	4.3 Suunnittelu	29
	4.3.1 Kumi-keramimateriaali	31
	4.3.2 Taivutus ja dimensioiden muutos	32
	4.3.3 Rakenteiden jaollisuus ja akkumulaatio	33
	4.3.4 Saumat ja kulmat.....	34
	4.3.5 Tukirakenne ja kiinnitys	35
	4.3.6 Sovitus ja optimointi.....	36
	4.4 Tarkastelu	36
	4.4.1 Prosessiin soveltuvuus	37
	4.4.2 Tuotelinjan arviointi ja hyväksyntä	37
	4.4.3 Valmistustekninen arviointi ja hyväksyntä	38
	4.4.4 Markkina-alueen informointi ja mallin esittely	38
	4.5 Hyväksyntä	39
	4.5.1 Materiaalispesifikaatiot	39
	4.5.2 Valmistustekniset piirustukset	39
	4.5.3 Tuotetieto ja attribuutit	40
	4.5.4 Asennusdokumentit ja – ohjeet	41
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	42
	LÄHTEET.....	44

LYHENTEET JA TERMIT

Benchmark	prosessin kehitysvaiheen alkupiste
Pivotpoint	kahden rotaatioakselin liikkumaton leikkauspiste
CSS	Closing Side Setting
OSS	Opening Side Setting
Chamber	kivenmurskaimen murskauskammio
Gyratorinen	heilurimainen oskilloiva liikerata
Mantle	sisempi kartioterä, Kartio
Bowl liner/Concave	ulompi kartioterä, Vaippa
Tribologia	kulumismekanismeja tutkiva tieteenala
Fluidi	aineen olomuotojen toisiinsa nähden vapaasti liikkuva osajoukko
$x(t)$	matkan ajan funktiona, m
t	aika, s
v_0	kappaleen alkunopeus, m/s
g	putoamiskiihtyvyyden keskiarvo, m/s^2
r	ympyrän säde, m
ω	kulmanopeus, rad/s, 1/s
PLM	Product Lifecycle Management, tuotteen elinkaarihallinnan järjestelmä
ETO	Engineering To Order, kohdennettu tilaus suunnittelu

1 JOHDANTO

Moderni yhteiskunta tarvitsee jatkuvasti uusia raaka-aineita kaikilla teollisuudenaloilla maailmanlaajuisesti. Esimerkiksi rakennusteollisuuden, autoteollisuuden, elektroniikkateollisuuden sekä kemianteollisuuden tarpeisiin kaivetaan maamateriaaleja, joiden jatkojalostaminen ja käsittely vaativat koneita ja laitteita, kuten esimerkiksi kivenmurskaimia.

Kivenmurskaimet ovat avainasemassa raaka-aineiden käsittelyssä ja niiden tarve kasvaa jatkuvasti, kun materiaalien kysyntä lisääntyy globaalisti. Kivenmurskaimia valmistaa maailmalla muutamia yrityksiä, joista yksi esimerkki on Suomalainen Metso Outotec. Yrityksellä on pitkä historia maamateriaalien käsittelyyn erikoistuneista koneista ja laitteista alkaen aina 1900-luvun alusta.

Kivenmurskaimen rakenteissa vallitsee erittäin haastavat olosuhteet koneen toiminnan aikana. Murskaimen rakenteita suojataan murskatun materiaalin virtaukselta kulutuskestävillä materiaaleilla, joista yksi uusimmista sovelluksista on kumi-kerääminen panelointi murskauskammion alapuolisessa päärungon valumatilassa.

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda uuden materiaaliratkaisun suunnitteluprosessin tueksi käsikirja, jotta erilaiset materiaalivirran luomat ilmiöt ja ominaisuudet tulee huomioitua varsinaisessa tuotteessa.

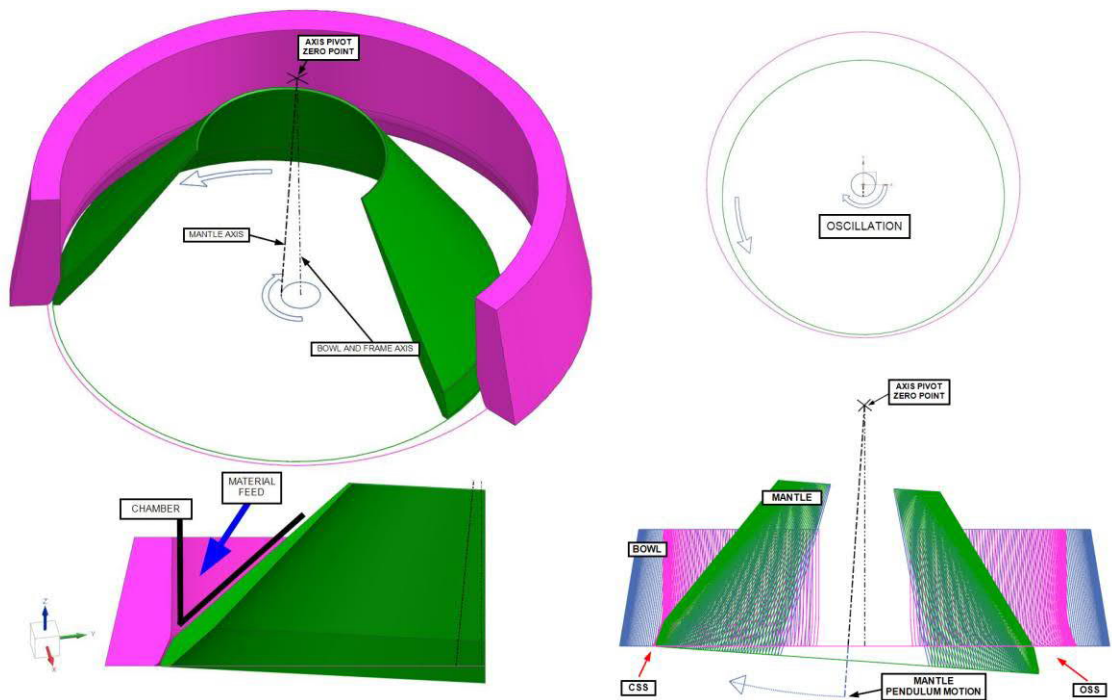
Tämän opinnäytetyön tarkoitus on koota suunnitteluprosessissa huomioitavia näkökulmia suunnittelun toteutumisesta sekä esitellä toteutuva prosessi yleisellä tasolla. Opinnäytetyötä käytetään opetus- ja markkinointitarkoituksiin sekä itse suunnitteluprosessin ja tuotteen kehittymisen seurantaan. Teos toimii niin sanottuna ”Benchmark”-pisteenä ja ajan saatossa käsikirjan jatkokehittyessä, seurannalla on mahdollista tarkastella tuotteen ja sen suunnitteluprosessin kehitystä. Aihe rajataan koskettamaan vain suunnitteluprosessiin keskeisesti liittyvien tekijöiden ja vaiheiden osalta.

2 GYRATORINEN KIVENMURSKAIN

2.1 Gyratorinen toimintaperiaate

Gyratorisen kivenmurskaimen toiminta perustuu kahden sisäkkäin olevan kartioterän väliseen liikkeeseen, jossa sisempi kartio toimii liikkuvana elementtinä ja ulompi kartio kiinteänä. Kartioiden välinen etäisyyden muutos toteutuu sisemmän kartion oskillaatioliikkeellä ulomman kartion keskiakselin suhteen. Oskillaatioliike on ulomman teräkartion keskiakselin ympäri pyörivää epäkeskeistä pyörimisliikettä. (Eloranta, J. 1995.) Kartioiden keskiakselit leikkaavat toisensa taitepisteessä (Eng. Pivotpoint), missä molemmat keskiakselit ovat samassa pisteessä, ja pisteen sijainti on murskainrakenteen mallista riippumatta vakio. Sisempi kartioterä kiertää ulomman kartion keskiakselia kulmassa, mistä aiheutuu kartioiden välisen etäisyyden muutos kiertoliikkeen aikana.

Terien välistä murskauksen toteuttavaa pintaa kutsutaan kivipinnaksi. Terien välistä pienempää etäisyyttä tällä pinnalla kutsutaan sulkeutuvan puolen asetuksella (Eng. CSS, Closed side setting) sekä suurempaa etäisyyttä avautuvan puolen asetuksella (Eng. OSS, Opened side setting). Kivipinnan yläpuolista tilaa kutsutaan kammioksi (Eng. Chamber), johon murskattava materiaali syötetään koneen yläpuolelta. (Ruuskanen, J. 2006.) Kuvion 1 esimerkkipiirros havainnollistaa kartioterien asemointia toisiinsa nähden sekä niiden keskiakseleiden ja liiketilan välistä suhdetta.



KUVIO 1. Gyratorisen murskaimen kartioterien mekanikka ja liiketila

Kartioteristä sisempää terää kutsutaan kartioksi (Eng. Mantle) sekä ulompaa terää vaipaksi (Eng. Bowl liner/Concave). Vaipalla ei ole XY-tasossa tai rotaatioakselien suhteen vapausasteita, joten sen keskiakseli ei liiku tasossa tai se ei ole pyörimisliikkeessä. Kartiolla on vapaa rotaatiovapausaste oman keskiakselinsa ympäri ja murskaustapahtuman aikana se vierii murskattavan materiaalin avulla vaipan kivipintaa pitkin. Oskillaatioliike ja gyratorinen liikerata aiheuttaa kartiolle heiluriliikkeen säteen kohtisuoran suuntaisessa tasossa ja samalla myös pyörimisliikkeen. Kartion pyörimisnopeus määräytyy murskaimen työnopeuden mukaan ja on oskillaatioliikkeeseen nähden vastakkainen sekä hitaampi.

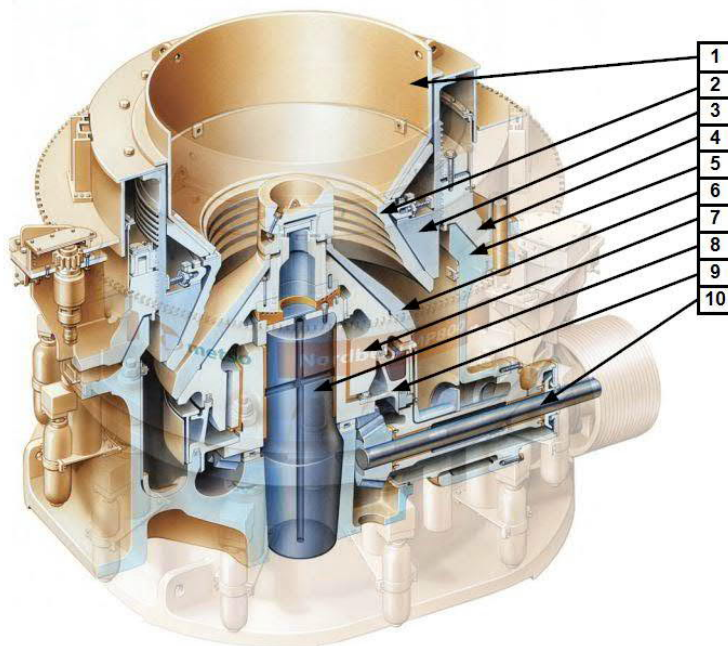
Kartioiden välistä etäisyyttä säädetään vaipan korkeusasemaa muuttamalla tai kartion korkeusasemaa muuttamalla. Säättömekanismi määräytyy koneen fyysisen kokoluokan mukaan. Suuremmissa konemalleissa, kuten ensimmäisen murskausvaiheen esikaramurskaimissa, säätö toteutetaan kartion korkeusasemanmuutoksella. Pienemmissä, toisen ja kolmannen murskausvaiheen konemalleissa, etäisyyden säätö toteutuu vaipan korkeusasemaa muuttamalla.

Gyratorinen murskain voidaan valmistaa erilaisilla rakennemekanismeilla, joissa toimintamekanismi toteutuu samanlaisina. Metso Outotec valmistaa kahta

rakennemallia, kartiomurskainta ja kara-akselimurskainta, joiden mekanismit ovat samankaltaisia, mutta rakenne ja liikerata on toteutettu erilaisilla rakenneratkaisuilla.

2.2 Kartiomurskain

Kartiomurskain on yksi gyratorisen kivenmurskaimen rakenteellinen toteutusmuoto. Kartiomurskaimessa pääakseli on kiinteästi kiinnitettynä koneen päärungossa ja oskillaatioliike toteutetaan kartioterän kiinnitysrakennetta kiertämällä gyratorisella liikeradalla pääakselin keskiakselin suhteen. Tällaisessa murskainmallissa murskattavan materiaalin syöttöaukko on esteetön ja kartioterä kiinnitetään kartiopäänrakenteeseen ruuvimekanismilla. Kuvion 2 esimerkki havainnollistaa läpileikkausta Metso Outotecin valmistamasta Nordberg MP800 kartiomurskaimen rakenteesta sekä keskeisimpien pääosien osanumerointi.



KUVIO 2. Metso Outotec Nordberg MP800 kartiomurskain (Metso Minerals Industries Inc, 2019, muokattu)

Kartiomurskain koostuu kuviossa 2 muutamista keskeisistä pääosista, jotka ovat taulukossa 1 nimettynä suomeksi ja englanniksi.

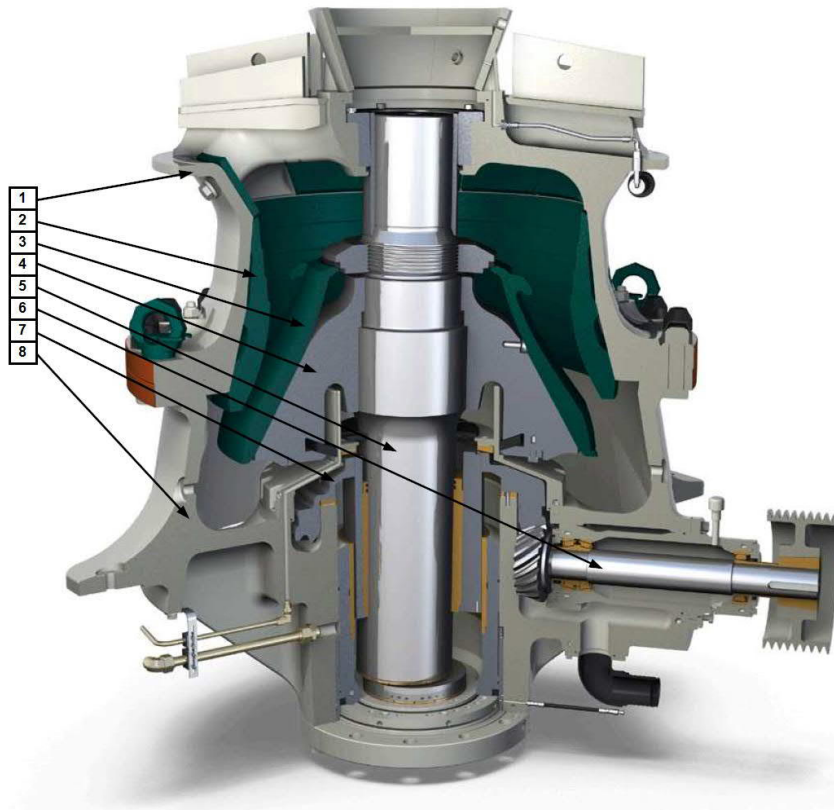
TAULUKKO 1. Kuvion 2 koneenosalista

Numero	Osa (FI)	Item (ENG)
1	Syöttösuppilo	Feed Cone
2	Vaippa	Bowl Liner/Concave
3	Vaipparunko	Bowl
4	Säätökehä	Adjustment Ring
5	Päärunko	Main Frame
6	Kartio	Mantle
7	Kartiopää	Head
8	Pääakseli	Main Shaft
9	Vastapaino	Counter Weight
10	Käyttöakseli	Counter Shaft

MP800 kartiomurskaimen rakenne on toteutettu kiinteällä pääakselilla, jonka ympäri gyratorisesti liikkuva kartiopää pyörii. Gyratorinen liikerata on toteutettu pääakselin ympärillä olevalla erillisellä rakenteella, jonka rakenteellinen geometria toteuttaa halutun liikeradan.

2.3 Kara-akselimurskain

Kara-akselimurskain on toinen Metso Outotecin valmistama gyratorisen kivenmurskaimen rakenteellinen muoto. Kara-akselimurskaimessa pääakseli on liikkuva ja kiinnitettynä yläpäästään erilliseen tukirunkorakenteeseen. Oskillaatioliike toteutetaan pääakselin alapäätä kiertämällä gyratorisella liikeradalla koneen päärungon keskiakselin suhteen. Pääakselin yläpään erillisen tukirunkorakenteen takia syöttösuppilorakenne on suppeampi ja yläpuolelta syötettävällä materiaalilla on enemmän rajoitteita. Kartioterän kiinnitys toteutuu mutterikiinnityksellä ja kartiopää on kiinteästi kiinnitettynä pääakselissa. Kuvio 3 havainollistaa esimerkkiä läpileikatusta Metso Outotecin valmistamasta Nordberg GP300 kara-akselimurskaimen rakenteesta sekä keskeisimpien pääosien osanumerointi.



KUVIO 3. Metso Outotec Nordberg GP300 kara-akselimurskain (Metso Corporation, 2017, muokattu)

Kara-akselimurskain koostuu kuviossa 3 muutamista keskeisistä pääosista, jotka taulukossa 2 nimettyinä suomeksi ja englanniksi.

TAULUKKO 2. Kuvion 3 koneenosalista.

Numero	Osa (FI)	Item (ENG)
1	Ylärunko	Spider Frame
2	Vaippa	Bowl Liner/Concave
3	Kartio	Mantle
4	Kartiopää	Head
5	Pääakseli	Main Shaft
6	Käyttöakseli	Counter Shaft
7	Vastapaino	Counter Weight
8	Päärunko	Main Frame

GP300 kara-akselimurskaimen rakenne on toteutettu gyratorisesti liikkuvalla pääakselilla, jossa kartiopää on asennettuna kiinteästi. Gyratorinen liikerata on toteutettu pääakselin alapäässä olevalla rakenteella, joka liikuttaa koko pääakseliin kiinnitettyä rakennetta halutulla geometrisella liikeradalla.

3 OLOSUHTEET

3.1 Kuluminen

Kuluminen on ilmiö, jota esiintyy kosketuspintojen välisessä liikkeessä. Ilmiötä kutsutaan tribologiaksi, joka tieteellisesti kuvaa pintojen välisestä liikkeestä aiheutuvaa materiaalin irtoamista, kulumista eli materiaalihukkaa. Kuluminen tapahtuu monin eri tavoin ja on usein myös olosuhderiippuvainen, minkä vuoksi ajansaatossa on syntynyt monia erilaisia luokittelutapoja tapahtuman mekanismien ymmärtämiseksi. Näiden ilmiöiden luokittelu onkin usein haastavaa ja moninaista, usein niiden keskinäisten riippuvuuksien takia.

Kulumismekanismit voidaan tietyn määritelmän perusteella jakaa seuraaviin kulumisen päämekanismeihin:

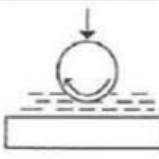
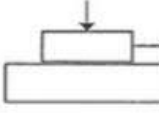
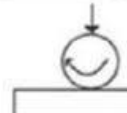
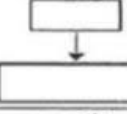
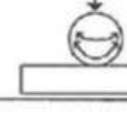
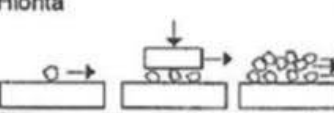
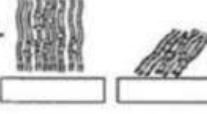

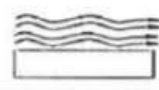
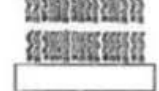

- abrasiivinen
- adhesiivinen
- tribokemiallinen
- väsyminen

Päämekanismi aktivoituu joidenkin tai useiden kulumistyyppien seurauksena.

Aktivoivia kulumistyyppejä ovat esimerkiksi:

- eroosio
- isku
- kaasuerosio
- kavitaatio
- korroosioerosio
- liukuminen
- värähtely

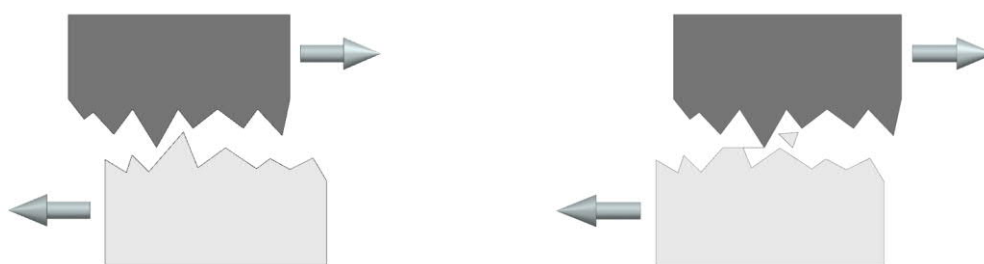
Samanaikaisesti voi toteutua useita tai vain yksittäinen kulumistyyppi, joka aktivoi edellä mainitun päämekanismin. Kuviossa 4 taulukoituna erilaisten kulumistyyppien toteutuminen päämekanismeissa sekä näiden samanaikainen esiintyminen. (Kivioja, S., Kivivuori, S. & Salonen, P. 1998.)

Systeemin rakenne	Kulumisen aiheuttava rasitustyyppi	Kulumistyyppi	Kulumismekanismi			
			Adheesio	Abraasio	Pinnan väsyminen	Tribo-kemiallinen
Kiinteiden pintojen välissä voiteluaine	Liukuminen Vierintä Isku Sysäykset 				X	X
Kiinteät pinnat toisiaan vasten	Liukuminen 	Liukumis-kuluminen	X	X	X	X
	Vierintä 	Vierintä-kuluminen	X	X	X	X
	Iskukuormitus 	Isku-kuluminen	X	X	X	X
	Värähtely 	Värähtely-kuluminen	X	X	X	X
Kiinteät pinnat ja kulumispartikkeli	Hionta 			X		
Kiinteät pinnat ja partikkelit	Partikkeli-sulhku 	Erosio		X	X	X
Kiinteä pinta ja kaasu	Virtaus 	Kaasu-erosio				X
Kiinteä pinta ja neste	Virtaus Värähtely 	Kavitaatio			X	X
	Virtaus Isku 	Pisara-erosio			X	X
Kiinteä pinta ja nesteessä kuluttavia partikkeita	Virtaus 	Erosio		X	X	
		Korroosio-erosio		X	X	X

KUVIO 4. Pääkulumismekanismien aktivoituminen eri kulumistyyppien mukaan (Kivioja, S., Kivivuori, S. & Salonen, P. 1998.)

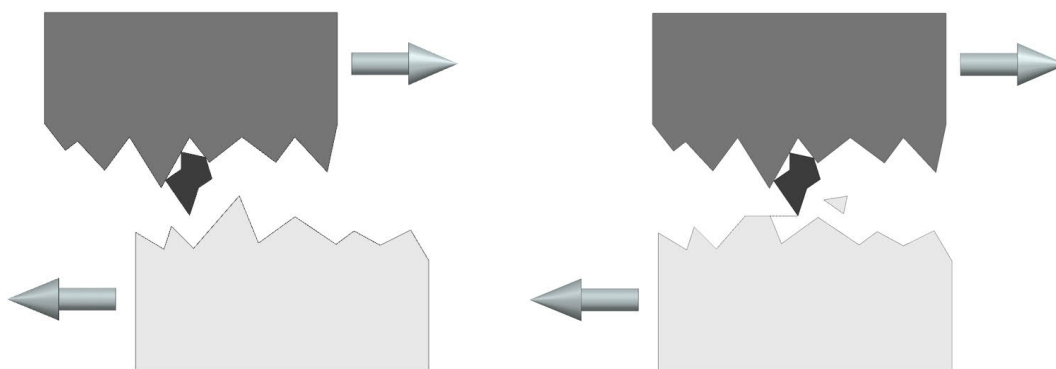
Abrasiivinen kuluminen

Abrasiivinen kulumismekanismi on kahden pinnan välistä hiovaa kulumista, missä kovemman vastinpinnan pinnanulokkeet irrottavat materiaalia pehmeämmän pinnan ulokkeista. Abraasio esiintyy kahden tai kolmen kappaleen kulumistilana, jossa kahden kappaleen tilassa on kovempi ja pehmeämpi vastinpinta. Kolmen kappaleen kulumistila usein alkaa kahden kappaleen tilanteena ja muuttuu kolmen kappaleen kulumistilaksi, kun vastinpinnasta irtoava kova partikkeli jää kappaleiden väliin. (Kivioja, S., Kivivuori, S. & Salonen, P. 1998.) Kuviossa 5 kahden kappaleen kulumistilanne kappaleiden liikkuessa vastakkaisiin suuntiin, jolloin tumma kovempi materiaali leikkaa pehmeämmän materiaalin pinnanulokkeen.



KUVIO 5. Abraasio kahden kappaleen kulumistilassa

Kuviossa 6 kolmen kappaleen abraasiokuluminen, jossa vastinpintojen välissä oleva musta kova partikkeli irrottaa materiaalia pehmeämmästä vastinpinnan pinnanulokkeesta.



KUVIO 6. Abraasio kolmen kappaleen kulumistilassa

Abraasiota voi esiintyä hioutumalla, kovertumalla ja naarmuuntumalla. Kulunutta pintaa tarkasteltaessa, pinnassa havaitaan naarmuuntumista, uria ja uurteita sekä kovemalla vastinpinnalla voidaan havaita murtumia ja säröjä. Hiovaa abraasiota esiintyy tilanteissa, joissa kulumistapahtumaan vaikuttaa liikkeen lisäksi paine.

Tällaista yhdistelmää esiintyy erityisesti kivenmurskaimissa materiaalivirtauksen sekä murskautumistapahtuman aikana. Murtumia ja säröjä esiintyy murskauskammion teräosissa sekä kammion jälkeisessä päärunon valumatilassa sekä sen kulutussuojarakenteissa. Murskainterissä ja päärunon suojauksessa käytetään mangaaniseosteista valettua kulutusterästä sekä kaupallisia kulutusta kestäviä teräslaatuja. (Metso Mining and Construction Technology. 2011.)

3.2 Materiaalivirta

Kivenmurskaimen ollessa toiminnassa syötetty maamateriaali murskataan haluttuun raekokoon, joka vierii tai lentää iskukimmokkeen vaikutuksesta kohti valumatilaan. Tätä materiaalivirtaa kutsutaan lopputuotteeksi tai murskeeksi. Materiaalivirta koostuu lukemattomista partikkeleista, joista valtaosa on murskaimeen asetetun raekoon mukainen, mutta virrassa esiintyy myös, murskautumismekanismista riippuen, tietyn verran raekokoa suurempia ja pienempiä partikkeleita.

Gyratorisen murskainrakenteen liikerata aiheuttaa sisäkartioterän terähelmalle liikenopeuden mikä antaa lopputuotteen materiaalivirralla aikaiseksi helmanopeuden. Helmanopeudelle voidaan antaa symbolinen arvo v_0 . Lopputuote siroutuu viuhkamaisena nauhana päärunon pystyseiniä kohden ja viuhkan tulokulma on riippuvainen terähelman jättökulmasta. Viuhkamainen virtaus aiheuttaa valumatilassa kaoottiset olosuhteet virtauksessa olevien partikkelien törmäillessä lentoradan aikana toisiinsa. Tämän mekanismin kuvantaminen on matemaattisesti haastavaa ja epätarkkuus liian suuri tuloksen käyttökelpoisiin hyötyihin nähden. Tästä syystä mekanismin yksinkertaistettu kuvaaminen toteutetaan tutkimalla yhden virtauksessa liikkuvan partikkelin liiketilaa. Yhden partikkelin liiketilasta saadaan tarvittava informaatio päärunkoon

kohdistuvien iskukohtien suhteen. Materiaalivirrassa kulkeva partikkeli määritetään infinidesimaaliseksi pisteeksi, jolloin siihen ei vaikuta tilavuuden tai massan fysikaaliset vaikutukset ja muutokset.

Lopputuotteen materiaalivirta käyttäytyy fluidin kaltaisesti ja tarkkaan liikkeen analysoimiseen sovelletaan fluidien dynamiikan tieteenalaa. Analyysia yksinkertaistamalla koskettamaan vain yhden partikkelin liiketilaa saavutetaan tarpeellinen tieto ja käyttäytymismalli. Liiketilan kuvaamisella selvitetään päärunгон pystyseinämään kohdistuva materiaalivirran kriittinen iskeytymisalue, jonka korkeusaseman määrittäminen on tarpeen suojauksen turvallisen kiinnityslokaation sekä -mekanismin rakenteen määrittämiseen. Edellä mainitut rakenteet suunnitellaan kulutuskestäväksi, mikäli rakenne sijoittuu lähelle kriittistä iskeytymisaluetta. Partikkelin iskeytymiskulma ja nopeus ovat suoraan verrannollisia partikkelin massaan ja liikenopeuteen, joka noudattaa yksinkertaistetussa tilanteessa heittoliikkeen paraabelista lentorataa sekä iskeytymistä kuvataan yksinkertaistetusti kimmoisan ja osittain kimmoisan törmäyksen sovelletuilla yhtälöillä.

3.2.1 Liike

Liike kuvataan suljetussa systeemissä, jossa partikkeliin kohdistuvia ulkoisia tekijöitä, kuten ilmanvastus, ei oteta huomioon.

Partikkelin liiketila kuvataan kahdessa eri tasotilanteessa, koneen keskiakseliin kohtisuoralla teräselman korkeuden tasolla sekä keskiakselin suuntaisella tasolla. Kahdessa tasossa kuvatut liiketilanteet yhdistämällä saavutetaan partikkelin teoreettinen iskeytymiskohta päärunгон suojaukseen ja iskun mekaniikkaa tutkitaan kimmoisan ja osittain kimmoisan törmäykseen soveltavilla matemaattisilla mekanismeilla. Yhdistetty liiketila perustuu suurpiirteiseen arvioon, jonka tarkoitus on havainnollistaa virtauksen liikettä ja etenemistä päärunгон sisällä kohti valumatilaa.

Partikkelin liiketila käynnistyy murskaustapahtumasta. Tapahtuman jälkeen kartion liikerata toteuttaa heiluriliikkeen, jossa kartion helmapinta ja kivipinta pakenevat partikkelin alta. Partikkeliin vaikuttaa tällä hetkellä putoamiskiikkyvyys g . Kartion pinnan paetessa alta, partikkelin putoamisesta seuraa osuminen

kartion helmareunaan tietyllä ajan hetkellä. Riippuen kartion asemasta gyratorisella radallaan, partikkeli joko jatkaa vierimistä kartion helmaa pitkin tai se saa heiluriliikkeen tangentin suuntaisen iskukimmokkeen. Tilanne yksinkertaistetaan heiluriliikkeen ajanhetkeen, jossa kaarevan heiluriliikeradan tangentti ja XY-taso ovat saman suuntaiset. Määräys yksinkertaistaa lentoradan teoreettista tutkimista sekä kyseisellä liiketilan ajanhetkellä, kartion heiluriliike antaa partikkelille suurimman kiihtyvyyden ja/tai liikemäärän momentin. Lentorataan liittyvät todelliset parametrit ovat Metso Outotec Finland Oy:n liikesalaisuuksia.

Teoreettisen lentoradan kuvaamiseksi koordinaatiosuunnat määritetään seuraavasti kartion keskiakselin suhteen:

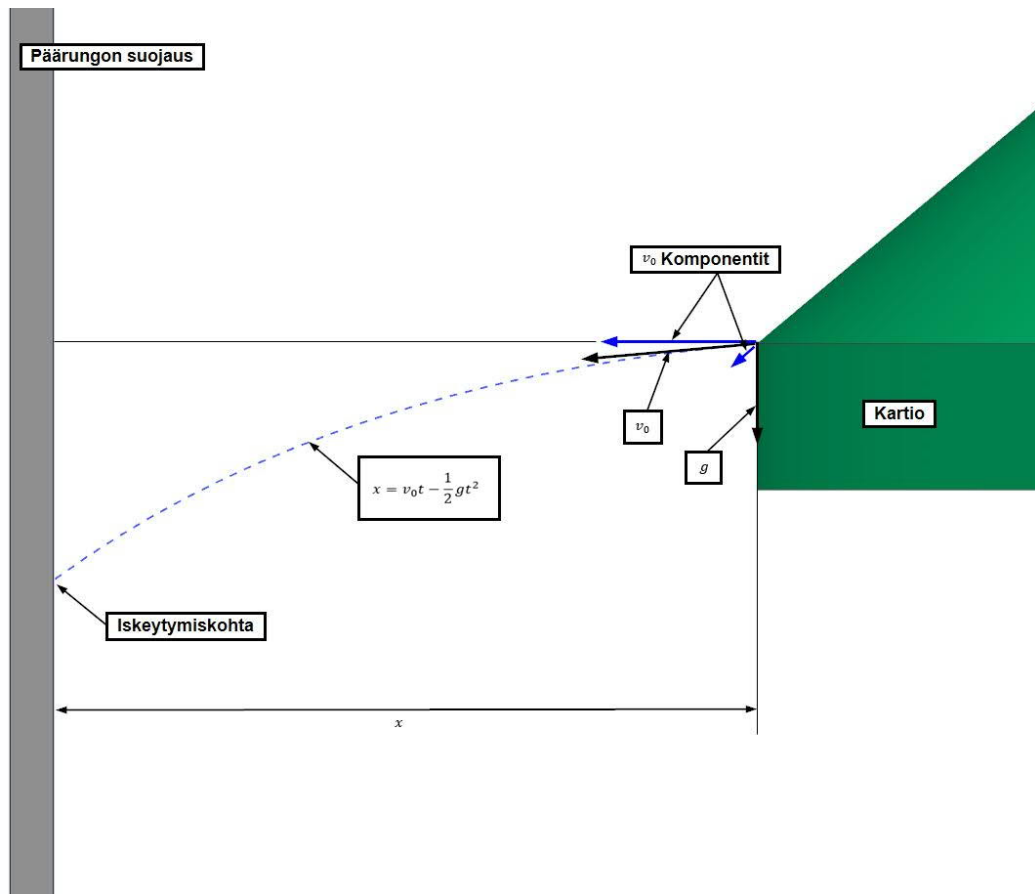
- XY-taso, horisontaali, keskiakseli pinnan normaali
- XZ-taso, vertikaali, kohtisuora keskiakseliin
- YZ-taso, vertikaali, kohtisuora edelliseen tasoon

XZ-tason liiketila

XZ-tason kohtisuorassa liiketilatarkastelussa partikkeli noudattaa kartion keskiakseliin kohtisuoran heittoliikkeen paraabelista lentorataa edellä mainitulla kartion liiketilan hetkellä (kaava 1). (Valtanen, E., 2016)

$$x(t) = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (1)$$

Jossa x kuvaa matkaa terähelmasta koneen päärungon pystyseinämän suojaukseen säteen suunnassa, v_0 kuvaa partikkelin saavuttamaa nopeutta iskukimmokkeesta tai vierinnästä, t lentoaikaa ja g yleistä putoamiskiihtyvyyden keskiarvoa. Partikkelin alkunopeus ja sen kulma, suhteessa kartiosta irtoamishetkeen, koostuu kahdesta komponentista. Partikkelin alkunopeuteen vaikuttaa heiluriliikkeen antama iskukimmoke ja/tai vierinnän antama kiihtyvyys ennen irtoamista. Kuvio 7 havainnollistaa esimerkkiä tästä partikkelin paraabelisesta lentoradasta XZ-tason tilanteessa kaavan 1 mukaisesti.



KUVIO 7. Partikkelin paraabelinen lentorataesitys XZ-tasossa

Kartion heiluriliikkeen tangentti on XY-tason suuntainen ja partikkeliin kohdistuu irtoamishetkellä heiluriliikkeen tangentin suuntainen kiihtyvyys sekä vierinnästä aiheutuva kiihtyvyys.

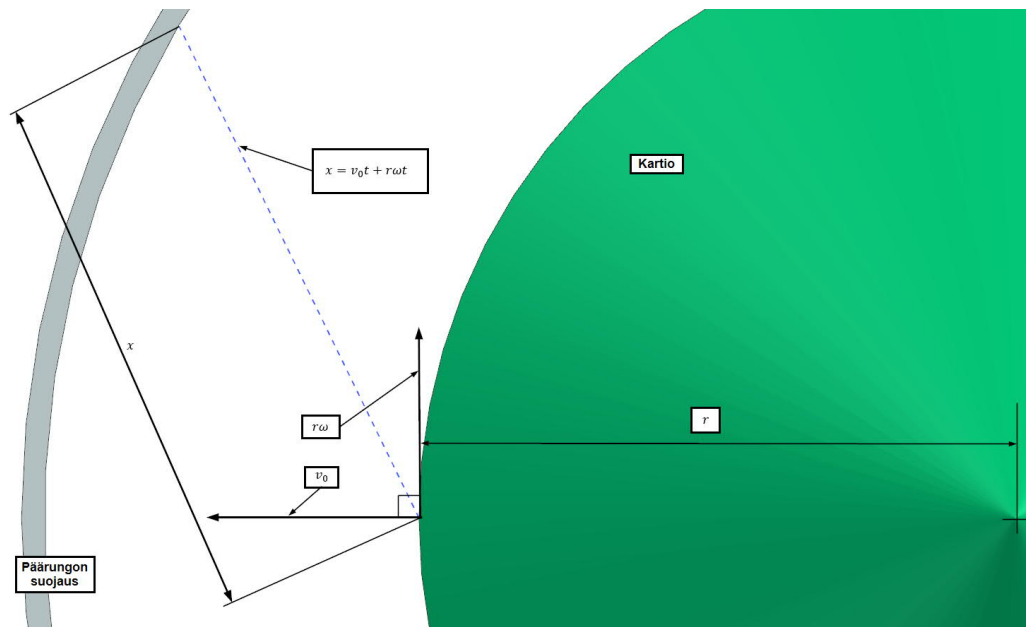
XY-tason liiketila

XY-tasossa tarkasteltuna partikkelin lentoradan suunta määräytyy kartion pyörimisnopeudesta johtuvan kulmanopeuden suuruudesta sekä heiluriliikkeestä aiheutuvasta iskukimmokkeesta tai vierinnän aikaansaavasta putoamiskiihtyvyydestä. Tasolla kuvattu liike noudattaa kartion helmasta irrotessaan pyörimisliikkeeseen sovellettavaa kahden komponentin matemaattista mallia (Kaava 2).

$$x(t) = v_0 t + r \omega t \quad (2)$$

Jossa x kuvaa lentoradan suuntaista matkaa terähelmasta päärungon suojauksen iskeytymiskohtaan, v_0 edellä määritettyä alkunoputta, t lentoaikaa, r

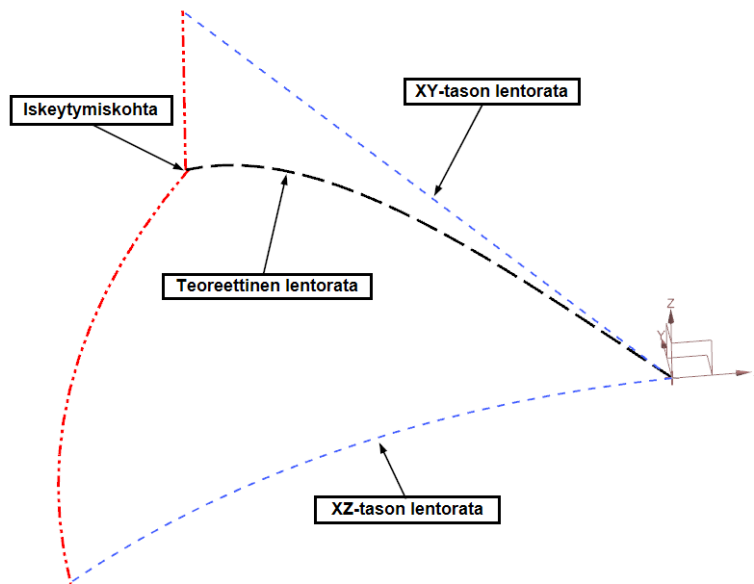
kartion sädettä sekä ω kartion kulmanopeutta. Kuvio 8 havainnollistaa esimerkkiä tästä partikkelin teoreettisesta lentoradasta sen irrotessa kartion helmapinnasta kaavan 2 mukaisesti.



KUVIO 8. Partikkelin lentorataesitys XY-tasossa

Yhdistetty liiketila

Liiketilat yhdistämällä ja määräämällä saman suuruiseksi saadaan yhdistetty liikeyhtälö. Yhdistettyä liikeyhtälöä voidaan havainnollistaa kolmiulotteisella kuvannolla molempien tilanteiden suhteen ja tästä esimerkkinä kyseinen tilanne kuviossa 9.



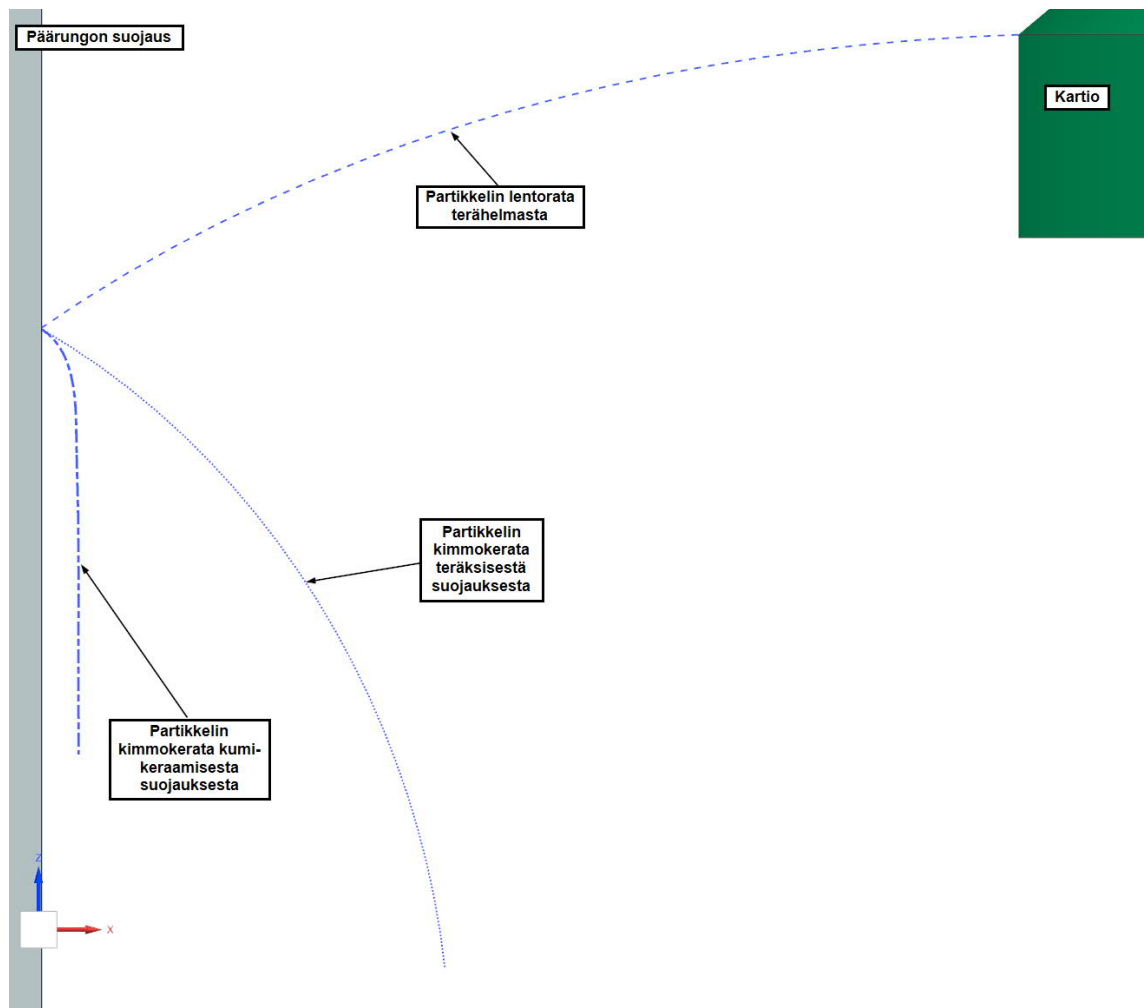
KUVIO 9. Partikkelin teoreettinen lentorata yhdistetyillä XY- ja XZ-tasojen liikeradoilla sekä helmareunaan sijoitetun origon suunnat

3.2.2 Iskuvoima

Partikkeli iskeytyy edellä mainitun liiketilän ansiosta päärunjon suojaukseen, josta se kimpoaa ja päättyy lopulta valumatilaan. Päärungon rakenteessa on tukivarsia ja käyttöakselin rakenteita, joihin materiaalivirta vaikuttaa päärunjon suojaukseen kohdistuneen iskun jälkeen. Partikkelin iskeytymistä käytössä oleviin teräksisiin suojauksiin voidaan pitää lähes kimmoisana törmäyksenä ja tällaiseen tilanteeseen on mahdollista soveltaa täysin kimmoisan törmäyksen matemaattista mallia. Kumi-keräamisuojauksen tilanteessa, kumimateriaali absorboi osan kappaleen liike-energiasta ja sen liike vaimenee törmäyksessä. Kumi-keräamimateriaalin tilanteessa törmäysmekanismista voidaan soveltaa osittain kimmoisan törmäyksen matemaattisesta mallista johdettua kaavaa.

Kumimateriaaliin osuvan partikkelin törmäyksessä kumimateriaali absorboi liike-energiaa, mikä vaikuttaa partikkelin liikerataan ja – tilaan törmäyksen jälkeen. Partikkelin osumista kuvataan osittain kimmoisan törmäyksen matemaattisella kaavalla. Kaavaan vaikuttavat suureet kumin värähdyksen vaimennuskyvystä sekä keräamimatriisin mekaaniset ominaisuudet. Kuvio 10 havainnollistaa

esimerkkiä tästä XZ-tasossa toteutuvasta liikemäärän muutoksesta kulumissuojaukseen törmäämisen jälkeen sen eri materiaalien suhteen.



KUVIO 10. Partikkelin liikemäärän muutos törmäyksen jälkeen teräksiseen- ja kumi-keraamiseen suojaukseen XZ-tasossa

Kumi-keraamisen suojauksen vaimennuskyky saa partikkelin putoamaan aikaisemmassa vaiheessa kohti valumatilaa, tukivarren- tai käyttöakselin suojaa. Lentoradan muuttuessa partikkelin liike muuttuu päärunгон keskiakselin suuntaiseksi ja siihen vaikuttaa lentoradan loppuvaiheessa normaali putoamiskiihtyvyyttä. Tarkemmat laskennalle oleelliset kaavat ja mallilaskelmat esitettynä liitteessä 1.

4 SUUNNITTELUPROSESSI

4.1 Prosessin käynnistyminen

Suunnitteluvaiheen käynnistämiseksi on kohteena olevasta konetyypistä selvitettävä koneen rakenteeseen kuuluvat, prosessin kannalta kriittiset ja suunnittelua varten tarpeelliset osakokonaisuudet. Tyypillisessä tilanteessa rakenteesta selvitetään pääsääntöisesti seuraavat osat ja komponentit:

- Päärunko
- Säättökehä
- Kulho
- Pääakseli
- Kartiopää
- Vastapaino
- Kartio
- Vaippa
- Käyttöakselin runko (jos erillinen)
- Päärungon terässuoja
- Tukivarren terässuoja
- Käyttöakselin terässuoja
- Vastapainon terässuoja

Rakenteiden osanumerointi selvitetään tuotteen elinkaaren hallintajärjestelmästä (Eng. Product Lifecycle Management, PLM). Selvitetystä osista ja rakenteista pyritään esisijaisesti käyttämään 3D-malleja, mutta vanhempien konetyyppien kohdalla saatavilla saattaa olla vain osan tai kokoonpanon tekninen piirustus. PLM järjestelmä sisältää lähes kaiken tarvittavan tuotetiedon tai tiedon saatavuudesta on olemassa jokin lähdeviite. Mikäli tarvittavasta osasta tai kokoonpanosta ei ole saatavilla kuin tekninen piirustus, tuotetietoa ja 3D-mallia tiedustellaan kyseisen konetyypin suunnitteluosaston tuotespecialistilta. Tuotespecialistilta on mahdollista pyytää muutakin suunnittelun tueksi tarvittavaa materiaalia, esimerkiksi koko päärunkorakenteen kokoonpanon leikkauskuvia ja erikoispiirteisiin liittyvää

dokumentaatiota. Mikäli mallia ei ole saatavilla, on piirustuksen pohjalta tuotettava rautalankamalli suunnitteluvaiheen tueksi.

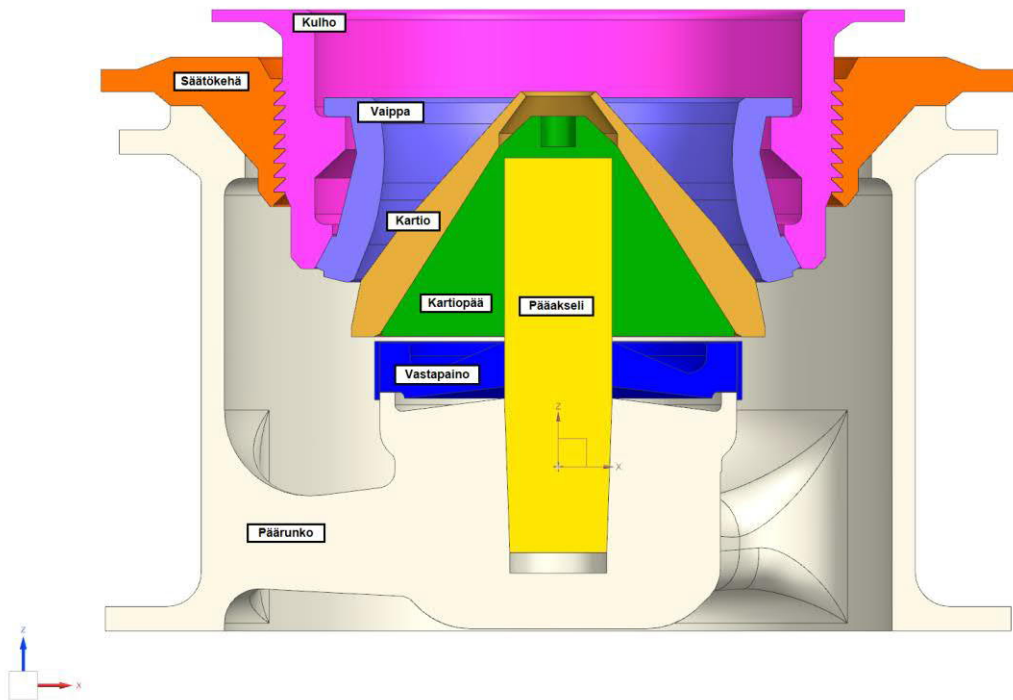
Lähtökohtien selvittämiseen vaikuttaa suunnittelun tarve. Erikoistapauksissa, kuten kohdennetussa tilaussuunnittelutilanteessa (Eng. Engineering to Order, ETO). Asiakaskohtaisesti lähtökohdat saattavat vaihdella tarvittavan rakenteen suhteen erittäin paljon. Suunnitteluympäristön määrittelyn tärkeys korostuu erikoistilanteissa, missä murskausprosessi on erikoislaatuinen. Esimerkiksi prosessi, jossa syötettävään materiaaliin suihkutetaan vettä ennen murskausta. Edellä mainituissa erikoistilanteissa asiakaskoordinaattori ja kenttähuollon henkilöstö ovat avainasemassa lähtökohtien suhteen. Erityisesti kenttähuollon henkilöstöllä on usein kaikkein kattavin tieto kohteeseen liittyvästä tarpeesta sekä siihen liittyvistä erikoisolosuhteista ja niiden tarpeista.

Lähtökohtien kartoituksen tärkeimpänä tekijänä toimii jaottelu tuotantomallin yleisosasuunnittelun ja kohdennetun tilaussuunnittelun (ETO) välillä. Yleisosasuunnittelun lähtökohtana toimii normaali yleinen tuotantomalli kohteena olevasta murskainmallista. Erikoistilanteissa suunnittelulle määrätään lähtökohdat kulloisenkin asiakastarpeen mukaan yksilöllisesti. Molemmissa tilanteissa suunnitteluvaihe on oma yksittäinen projektinsa ja rajautuu koskettamaan vain kyseistä tarvetta. Yleisosasuunnittelussa otetaan huomioon suunniteltavien osien ja kokonaisuuksien monikäyttömahdollisuus, mikä vähentää ja lyhentää seuraavan projektin läpimenoaika ja kustannuksia. Myös erikoistilanteissa suunniteltuja ratkaisuja on suositeltavaa tarkastella monikäyttömahdollisuuden suhteen. Esimerkkinä edellisestä päärunon pystyseinämasuojauksen käyttö teräksisten tukivarsi- ja käyttöakselisuojiin kanssa ja tämän suunnittelun osakokonaisuuden monikäyttömahdollisuus toteuttaminen kolmannen osapuolen lisenssillä valmistamassa murskainmallissa.

4.2 Suunnitteluympäristön määrittely

Suunnitteluympäristön määrittely on teknisesti koneen rakennetta ja toimintaa kartoittava vaihe suunnitteluprosessissa. Koneesta saaduista 3D-mallista tai rakenteen piirustuksesta rakennetaan kokonaiskuva sekä sovelletaan

edellisissä osioissa selvennettyä materiaalivirtaukseen liittyvää mekaniikkaa koneen terässuojauksen suhteen. Tilanteissa, joissa rakenteesta on jouduttu tekemään rautalankaversio, otetaan huomioon määrittelyn yhteydessä piirustuksessa esiintyvät rakenteelliset muodot erityishuomioinnilla sekä täydennetään tuotosta tarvittaessa. Teräksiset suojukset toimivat tulevan suunnittelun ääriiviivoina ja niiden suhteen toteutetaan vertailu toteutuneesta suunnittelun lopputuloksesta. Kuvio 11 havainnollistaa esimerkkiä murskaimen rakenteesta ja sen kuvitteellisen kokoonpanon läpileikkauksesta, jossa keskeisimmät osat on luotu Nordberg MP800 (Kuvio 2.) rakenteeseen pohjautuen.



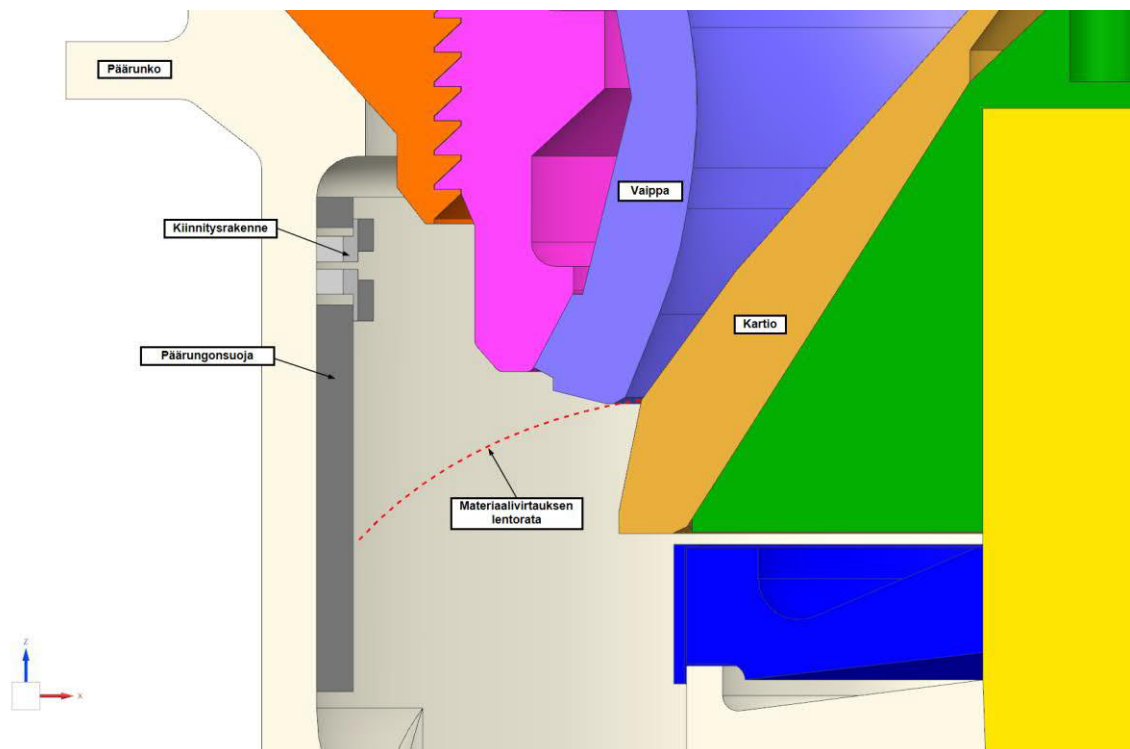
KUVIO 11. Murskainrakenteen kokoonpanon esimerkki läpileikkauksena

4.2.1 Päärunko

Koneen päärungosta tunnistetaan erikoispiirteet, jotka vaikuttavat suunnittelun yksityiskohtiin. Esimerkiksi tukivarsien poikkileikkausprofiili vaihtelee suuresti konetyypeittäin erilaisissa leikkaussuunnissa. Myös käyttöakselit rakenteet vaihtelevat suuresti ja rakenteiden eroavaisuudet jaotellaan kiinteisiin ja erillisiin

ratkaisuihin. Kiinteiden ratkaisujen kohdalla rakenteen geometria on samantapainen kuin tukivarren kohdalla. Erillisen rakenteen kohdalla geometria on lähes poikkeuksetta yksinkertainen. Eroavaisuus johtuu rakenteen ominaisuuksista, missä kiinteä rakenne osallistuu päärunгон keskiosan tuentaan ja erillinen ratkaisu on pelkästään käyttöakselin toimintaan liittyvä. Liitteessä 2 kuviossa 12 on kuvattuna erilaisten tukivarsien leikkausprofileja sekä käyttöakselin kiinteän- ja erillirakenteen eroavaisuuksia havainnollistavina esimerkkeinä.

Päärungon seinämäsuojausprofiilissa ratkaisevin osa-alue on kiinnityskorkeuden poikkileikkausprofiili sekä korkeuden suhde materiaalivirran kriittiseen keskilinjaan. Kiinnitysrakenteen korkeus määräytyy suunnittelun lähtökohtien mukaan. Jaotteluna käytetään olemassa olevaa kiinnitysrakennetta sekä uuden ratkaisun kehittämistä. Jaottelun määräytyminen on suoraan verrannollinen materiaalivirtauksen kriittiseen keskilinjaan. Kuvio 13 havainnollistaa esimerkkiä päärunгон seinämäsuojausprofiilista sekä kiinnityskorkeuden sijoittelua suhteessa materiaalivirtauksen lentorataan.



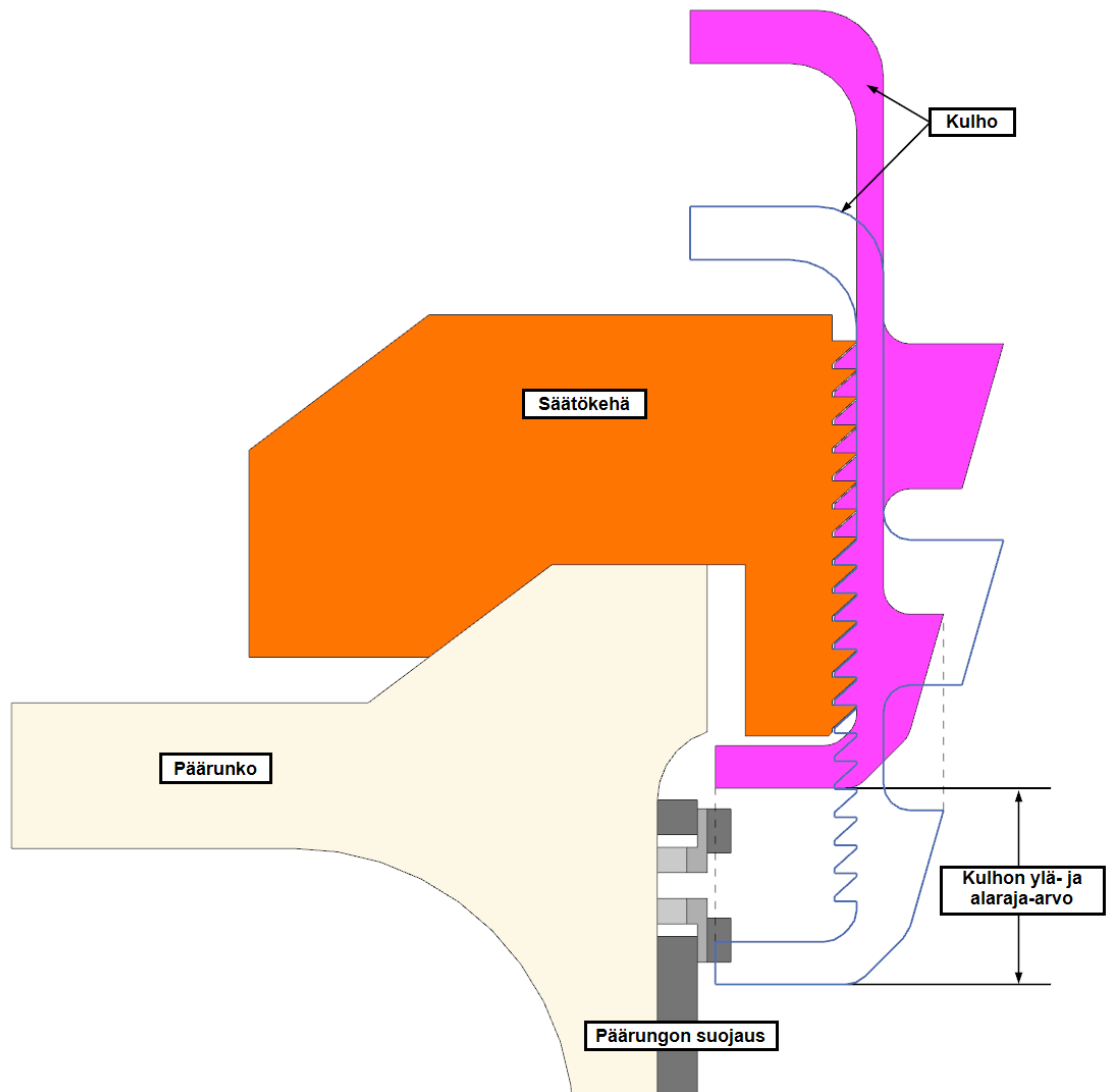
KUVIO 13. Päärungon seinämäsuojausprofiili, kiinnitysrakenne ja materiaalivirtauksen lentorataesimerkki

4.2.2 Liikkuvat- ja kiinteät rakenteet

Murskaimen rakenteessa esiintyy osia ja niiden kokonaisuuksia, jotka ovat joko kiinteästi kiinnitettyjä tai liikkuvia. Joidenkin rakenteiden kohdalla koko rakenne saattaa olla liikkuva, mutta liike ei aiheuta dimensioiden muuttumista.

Esimerkkinä tällaisesta rakenteesta on vastapainon suojaus, joka joissain konemalleissa liikkuu vastapainon pyöriessä ja toisissa malleissa se on kiinteästi asennettuna päärungon keskiosaan. Liikkuvalla vastapainon suojalla on määräävä merkitys tukivarsien- ja käyttöakselin suojauksen geometriaan suunnitteluvaiheessa. Liitteessä 2 kuvio 14 havainnollistaa esimerkkiä liikkuvan vastapainosuojan vaikutuksesta kumi-keramisuojauksen suunnitteluun.

Vaipan runkorakenne on liikkuva edellä esitellyssä murskainrakenteessa, poissulkien kara-akselisäätöiset konemallit, kuten esikaramurskaimet. Vaipan runkorakenne, eli kulho (Eng. Bowl), toimii murskaimen raekoon säädössä sulkevan reunan säädön suhteen ja liikkuu koneen keskiakselin suuntaisesti. Kulhon ylä- ja ala-aseman määrittäminen sekä päärungon ja kulhon välisen väistötilan määrittäminen on kiinnitysrakenteen määräävä tekijä seinämasuojauksen geometrian suunnitteluvaiheessa. Kuvio 15 havainnollistaa esimerkkiä kulhorakenteen liikeradasta sen ollessa ylä- ja alaraja-arvossa.



Kuvio 15. Esimerkki kulhorakenteen säätöliikkeen ylä- ja alaraja-arvosta

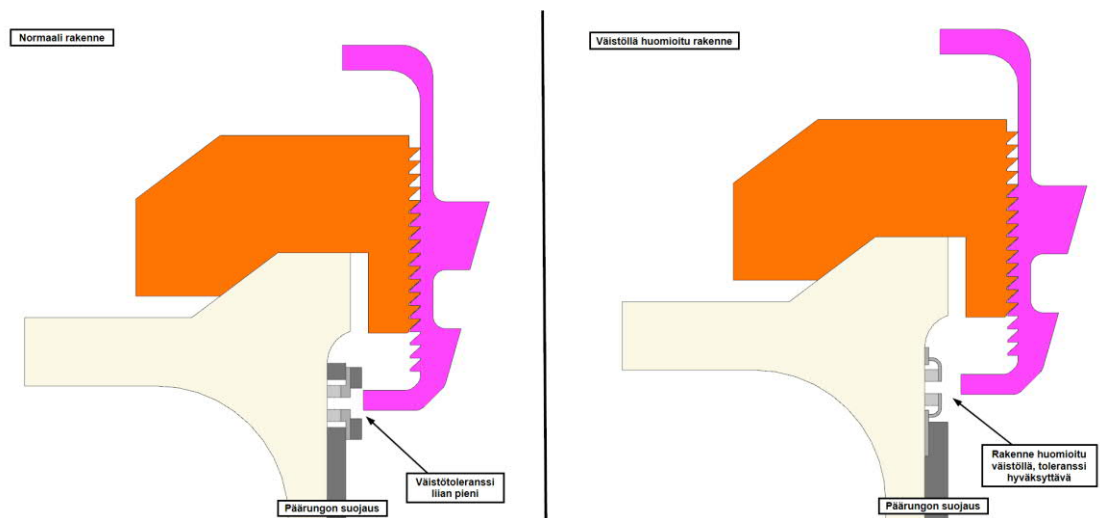
Päärungon rakenteessa saattaa olla muitakin muuttuvia ja/tai liikkuvia rakenteita, joista tarvittavan tiedon ja liikkumiseen/liikkeeseen liittyvät raja-arvot saa konemallin tuotelinjalta tai tuotespesialistilta.

4.2.3 Toleranssi ja väistöt

Päärunko valmistetaan teräksestä valutuotteena, joten toleranssillisesti rungon todellinen koko saattaa vaihdella suuresti. Toleranssiaste on aina sidonnainen geometrian mitoittamiseen ja voi vaihdella tapauskohtaisesti niin säteisesti, kuin pituusmitankin suhteen. Toleranssiasteen huomiointi on määräävässä asemassa erityisesti tukivarsisuojan tukirunkorakenteen, käyttöakselisuojan

tukirunkorakenteen sekä päärunon suojauksen leveyssuuntaisen dimensionoinnin suunnitteluvaiheessa.

Päärungossa ja sen rakenteissa saattaa konekohtaisesti esiintyä erikoispiirteitä, joiden kohdalla suunnitteluvaiheessa on otettava huomioon väistö rakenteen istuvuuden ja toiminnallisuuden kannalta. Esimerkkinä toteutettavasta väistöstä päärunon seinäsuojauksen kiinnityslokaation rakenne, joka suunnittelullisesti on mitoitettava riittävän etäälle kulhorakenteen liikeradasta sekä säätökehän turvatoiminnon liikeradasta. Kuvio 16 havainnollistaa esimerkkiä kiinnitysrakenteen normaalista rakenteesta (vasemmalla) ja väistöllä huomioidusta rakenteesta kulhon liikerataan (oikealla).



Kuvio 16. Päärungon suojauksen kiinnitysrakenteen normaalitilanteen väistö (vasen) ja toleranssi verrattuna näillä huomioitu muuttunut rakenne (oikea)

Teräksiset materiaalivirtauksen suojainkomponentit toimivat soveltavina esimerkkiratkaisuinä toleranssien ja väistöjen suhteen. Suojaimet ovat lähtökohtaisesti suunniteltu asennettavaksi toleranssinsa suurimmassa koossa olevaan rakenteeseen ja niiden käyttöä mitoituksellisenä lähtökohtana on suositeltavaa käyttää. Toleranssin suurin koko tarkoittaa kyseisen geometrian suurinta sallittua mitoituksellista arvoa.

4.2.4 Erikoispiirteet

Päärungon rakenteessa saattaa erikoistilanteissa esiintyä piirteitä, joita ei normaalissa tuotantomallissa esiinny. Tällaisesta erikoispiirteestä esimerkkinä lisenssillä valmistettu, kolmannen osapuolen tuottama kopio, alkuperäistä konemallia muistuttava runkomalli. Esimerkin rakenteessa jokin tai jotkin rakenteet on korvattu valmistajan itse suunnittelemissa ratkaisuilla ja nämä saattavat poiketa suuresti alkuperäisestä tuotantomallista.

Erikoispiirteisiin luetaan myös tuotantomallista saatavilla olevat erikoismallit, joissa saattaa muuttua jokin osakokonaisuus. Esimerkkinä erikoispiirteestä niin sanottu Short Head- malli, jossa kartion ja kartiopään rakenne on normaalia matalampi korkeussuunnassa sekä asemointi runkorakenteessa korkeammalla, kuin normaalissa tuotantomallissa.

4.3 Suunnittelu

Kumi-keräämisen suojausratkaisun suunnittelu on useiden ilmiöiden ja ominaisuuksien samanaikaista huomiointia, kuten esimerkiksi materiaaliriippuvaisten raja-arvojen huomiointia tai rakenteen kappalekohtaiseen jaollisuuteen liittyvien uusien vaikutusten arviointia. Kaikkien osien ja komponenttien suunnittelu toteutuu lähes samanaikaisesti, koska toisen komponentin geometrian muutos vaikuttaa joko suoraan tai ehdollisesti muihinkin komponentteihin.

Kumi-keräämisen suojarakenteen suunnittelu keskittyy tiettyjen kriittisten ilmiöiden ja murskausprosessin lopputuotteen ominaisuuksien huomioimiseen sekä edellä mainittujen aiheuttamien heikkouksien vaikutusten minimoimiseen. Prosessi on kehittynyt paljon lyhyessä ajassa ja sen vaiheittainen toteutuminen on rakentunut jaotellen vaiheet suunniteltavien komponenttien suhteen. Suunnitteluprosessi aloitetaan aina samassa rakenteellisessa järjestyksessä:

- Tukivarsisuoja
- Käyttöakselisuoja
- Päärungonsuoja

Oikea järjestys varmistaa kaikkien osakokonaisuuksien yhteensovittamisen asennusvaiheessa sekä mahdollisuuksien mukaan, rakenne on optimoitavissa yksinkertaisempaan ja sarjavalmistusystävällisempään muotoon.

Keskeisimpänä lähtökohtana on materiaalivirtauksen aiheuttaman kulumisen vaikutusten pienentäminen geometrisilla ratkaisuilla sekä tarvittaessa rakennetta vahvistamalla sellaisissa kohdissa, joissa rakenteen geometriaan vaikuttaa jokin toinen ominaisuus. Materiaalille tyypillinen heikko kohta on aina kahden paneelin saumakohta sekä paneelin reuna, jos se on suoraan alttiina materiaalivirran vaikutuksille.

Akkumulaatio eli materiaalin kertyminen ja kasaantuminen koneen toiminnan kannalta kriittisiin kohteisiin, on eräs geometrialla ratkaistava ongelma. Materiaalin akkumulaatiolla myös saavutetaan suojaavia materiaalipatjoja, joita voidaan hyödyntää tietyissä tilanteissa ja rakenteellisissa kohteissa. Väärään paikkaan kertyvä materiaali saattaa materiaalivirran vaikutuksesta liikkua sellaisiin kohteisiin koneessa, missä hienojakoinen materiaali aiheuttaa vahinkoa ja pahimmassa tilanteessa rikkoo koko koneen korjauskelvottomaksi.

Materiaalivirralla koneen rakenteessa on varattu valumatila, jonka tarpeiden huomiointi toteutuu rakenteiden muotoilulla ja jaottelulla. Suunnittelun tarkoitus valumatilan kohdalla on pyrkiä pitämään tilalle annetun pinta-alan muutos mahdollisimman pienenä. Kumi-keramiratkaisu eroaa terästuotteista materiaalivahvuuksien ja tarvitsemansa tilan kannalta suuresti, mikä aiheuttaa suurimpia haasteita suunnitteluvaiheeseen. Valumatilan muutoksen minimoimisen kohdalla, suunnittelussa toteutuu suurimmat kompromissit muiden huomioon otettavien osa-alueiden suhteen.

Kumi-keramimateriaalilla on myös omat rajoitteensa, jotka syntyvät valmistusteknisistä ominaisuuksista ja materiaalin geometrisesta rakenteesta. Tuotteet valmistetaan vulkanisointi-periaatteella ja rakennetta varten valmistetaan ulkomittojen mukainen muotti. Muotin dimensioissa huomioidaan valmistuslaitteiston vaatimat raja-arvot sekä keramirakennetta varten omat mitoitukselliset raja-arvot. Keramirakenne on toteutettu inserttimatriisina ja matriisille on valmistuslaitteistossa määrätty dimensionaalinen jakautuma.

Jakautuma toteutuu kaikissa paneeleissa samankaltaisena. Kumimateriaali itsessään ei ole tukeva elastisuutensa vuoksi ja tästä syystä sen rakenteeseen luodaan kiinnittämiseen ja tukirakenteeksi erilaisia ratkaisuja koneeseen asentamista varten sekä paneelien asentamiseksi erilliseen teräksiseen tukirakenteeseen.

Suunnittelussa huomioidaan valmistettavuus- sekä valmistuskustannuksien näkökulma optimointi vaiheella, jossa suunniteltujen osien mitoitusta ja geometriaa tarkennetaan ja yksinkertaistetaan. Paneelien suunnittelussa varmistetaan optimoinnilla myös kappaleiden soveltuvuus kyseiseen konetyyppiin ja tarvittavia hienosäädöllisiä muutoksia arvioidaan toteutuneiden rakenteiden sovittamisella koneeseen. Sovitus tapahtuu digitaalisessa ympäristössä suunnitteluohjelmalla tai 3D rakenteiden katselemiseen soveltuvalla ohjelmalla.

Turvallisuusteknisesti kaikkien suunniteltujen osakokonaisuuksien kohdalla otetaan huomioon kokonaispaino sekä rakenteen malli asennuksen suhteen. Tukivarsi- ja käyttöakselisuojan malli on monissa tilanteissa erittäin kompleksinen ja esimerkiksi nostettaessa raskasta rakennetta, on suunnittelun aikana luotava rakenne, joka täyttää vähintäänkin kolminkertaisen varmuuskertoimen tukirakenteen materiaalien myötölujuuteen nähden. Nosto-osasta tai rakenteesta tuotetaan elementtimenetelmän avulla analyysi, joka tarvittaessa liitetään tuotteen tuotehallinta-rakenteeseen.

4.3.1 Kumi-keramimateriaali

Kumi-keramipaneeli sisältää nimensä mukaisesti kumia ja keraami-inserttejä. Paneeli valmistetaan levymäisenä muottivalutuotteen kaltaisena tuotteena ja valmistusprosessi on vulkanisointimentelmällä toteutettu. Vulkanoinnissa muottiin kohdistetaan lämpöä ja painetta, jolloin muotissa olevat materiaalit liimautuvat kumimateriaaliin. Lämpö saa kumimassan muuttumaan kiinteästä aineesta, siirappia muistuttavaksi, helposti tarttuvaksi massaksi. Paine pakottaa kumin tunkeutumaan muotissa olevien materiaalien pinnan mikrorakenteeseen luoden lujan sidoksen. Kumilaatuna käytetään joustavaa ja hyvin kulutusta kestävä kumilaatua ja keraamin materiaalina on metallioksidi

Paneelin rakenteen geometria on keraami-inserttien osalta symmetrinen matriisi, jossa inserttien etäisyydet ovat vakiot tason akselien suunnissa. Insertin muoto vaihtelee tarpeen mukaan ja muoto on sidonnainen kone- tai sovelluskohteen mukaan. Murskainta suojaavassa sovelluksessa keraami on muodoltaan pääsääntöisesti pyöreä sylinterimäinen kappale. Matriisin järjestäytymismitoituksesta valmistusdokumentti liitteessä 3.

4.3.2 Taivutus ja dimensioiden muutos

Taivutus

Paneelin keraamimatriisin geometrian takia sillä on rakenteellisia raja-arvoja, jotka vaikuttavat sen toimintaan käyttöympäristössään. Paneelin taivutukselle sisä- ja ulkosäteellä, on määritetty valmistajan toimesta pienin sallittu taivutussäde. Taivutussäteen raja-arvo johtuu matriisirakenteen aiheuttamasta materiaalin poikkileikkauksen neutraaliakselin muutoksesta. Homogeenisessä tilanteessa neutraaliakseli on taivutetussa kappaleessa sen keskilinjalla, mutta kumi-keraami paneelin kohdalla keskiakselin sijainti on toispuoleinen. Paneelien suunnittelun yhteydessä tämä tekijä määrää taivutettujen muotojen toteutumista ja tämä määräys koskettaa kaikkia komponentteja ja niiden paneeliosia. Raja-arvon alittaminen johtaa matriisin avautumiseen materiaalivirralla ja keraamimatriisi alkaa avautua kumin kulumisen johdosta.

Dimensioiden muutos

Paneelin taivutuksen raja-arvon lisäksi sen dimensiot muuttuvat taivutuksen takia. Keraamimatriisin geometrian ja materiaalin ominaisuuksien vuoksi taivutettaessa matriisi pyrkii laajenemaan mikä vaikuttaa taivutetun paneelin lopullisiin dimensioihin. Ulkosäteelle taivutettu paneeli kasvaa dimensiollisesti suhteessa vähemmän, kuin sisäsäteelle taivutettu paneeli. Dimensioiden muuttumiseen liittyvä laskentamalli matriisin suunnan mukaan liitteessä 4.

4.3.3 Rakenteiden jaollisuus ja akkumulaatio

Rakenteiden jaollisuus

Kumi-keräämisen paneelin valmistustekniikan ja sen geometriallisten rajoitteiden takia, suunniteltavat rakenteet jaetaan lähes jokaisen osakokonaisuuden osalta. Esimerkiksi päärunkoa suojaava panelointi olisi valmistusteknisesti ja asennettavuudeltaan kannattamatonta valmistaa yhtenä kappaleena, joten suunnittelussa on luotava koko rakenteelle jaollisuus. Päärungon suojauksen kohdalla jaollisuuden määrää konetyypin koko sekä tukivarsien ja käyttöakselin sijainti ja rakenne. Jaollisuudella saavutetaan etuja valmistusteknisestä näkökulmasta sekä sillä varmistetaan tuotettujen osien asennettavuus kyseiseen koneeseen. Monissa tilanteissa rakenteen jaollisuus toteutetaan symmetrisenä, mikä tekee mitoituksista yksinkertaisempaa sekä mahdollistaa monikäyttömahdollisuuden ja sarjavalmistustuotannon.

Akkumulaatio

Jaollisuudella saadaan myös vaikutettua materiaalin akkumulaatioon tietyissä tilanteissa. Paneelien jakaminen kahdeksi tai useammaksi paneeliksi vaikuttaa materiaalin kertymiseen sellaisissa paikoissa, joissa materiaalivirtauksen suunta muuttuu. Esimerkkinä tukivarsien suojat, joiden kohdalla lähes kohtisuoraan putoava materiaalivirta osuu vertikaaliin suojaan. Tukivarsi- ja käyttöakselisuojuksen kohdalla akkumulaation ehkäiseminen on erityisasemassa. Erityisesti niissä konemalleissa, joissa varstapainon suoja on liikkuva. Liikkuvan vastapainon suojan takia, koneessa olevat tiivisterakenteet ovat erityisen alttiita materiaalivirran vaikutuksille ja paneelien jaollisuuden merkitys korostuu. Jaettujen paneelien saumakohdat ja asettelu, toimii materiaalivirtauksen suunnan muuttavana tekijänä. Tietyn tyyppisellä muotoilulla saavutetaan tilanne, jossa materiaalivirralla ei jää pinta-alaa akkumulaation kehittymiselle. Virtauksen suuntaa voidaan tällä tavoin myös ohjata ja suunnitellussa paneelirakenteessa virtauksen ohjautumista säädellään muotoperusteisesti. Esimerkiksi paneelien välisten saumojen asemoinnilla tai ylityskulmilla sekä edellisten keskinäisen korkeusaseman muutoksella.

4.3.4 Saumat ja kulmat

Saumat

Jaettu suojarakenne sisältää aina saumoja, jotka ovat rakenteellisesti heikoimpia kohtia materiaalivirran vaikutuksille. Saumakohdissa on otettava virtauksen suunta ja teoreettinen iskuvoima huomioon, jotta kulumistapahtuma toteutuisi mahdollisimman homogeenisenä verraten saumattomaan rakenteeseen. Saumakohtaa voidaan vahvistaa erilaisilla materiaaleilla kuten kulutuskestävillä teräksillä. Vahvistaminen ei kuitenkaan ole kaikissa tilanteissa mahdollista, joten ominaisuuksien on synnyttävä geometrisen suunnittelun avulla. Esimerkiksi päärungon suojauksen kohdalla, paneeleiden välisen sauman kumimateriaalin määrällä vaikutetaan suuresti kulumisprosessiin sauman kohdalla. Saumaan jätetty vähäinen kumimateriaali aiheuttaa kuitenkin suuremman haasteen paneeleiden mitoitukselle, joka on asennettavuuden näkökulmasta tärkeämmässä asemassa. Mitoituksen määrittämiseen vaikuttaa paneeleiden taivutussäde ja säteen aiheuttaman dimensionaalisen muutoksen arviointi edellyttää erityistä huomiointia.

Kulmat

Saumakohtia voidaan suojata myös teräksisillä materiaaleilla, mutta tämä sovellusmahdollisuus on suositeltavaa vain tietyissä tilanteissa, kuten ylityskulmissa. Esimerkiksi, kun tukivarsisuoja jaetaan useampaan paneeliin, luodaan eritasoinen tasopintojen saumakohta akkumulaation ehkäisemiseksi. Saumakohtaan muodostuu ylityskulma, joka suojataan teräksisellä huulilevyllä. Tällaisen suojatun rakenteen tarkoitus on vähentää kulumistapahtuman vaikutuksia paneelin reunassa, missä fluidin tavoin käyttäytyvä materiaalivirta kuluttaa rakennetta äärimmäisen paljon. Materiaalivirran ylittäessä kulman, siihen aiheutuu turbulenttista pyörteilyä materiaalivirran alapinnalla. Pyörteily kuluttaa kulmaa sen pystysuuntaiselta puolelta samaan aikaan kun ylittävä virta vaakasuuntaiselta puolelta. Kulmaa suojaava huulilevy hillitsee tätä tapahtumaa tehokkaasti rajoittaen kulman kulumista. Monissa tapauksissa huulilevysovellus toteutetaan esimerkiksi kiinnitysrakenteen yhteydessä tai tukirakenteessa.

4.3.5 Tukirakenne ja kiinnitys

Tukirakenne

Kumi-keräämisen paneelin geometrisen rakenteen ja materiaalien mekaanisten ominaisuuksien takia, paneelia varten on luotava tukirakenne. Tukirakenne voi olla joko ulkoinen sovellus tai valmistusvaiheessa sisään rakennettava. Sovelluksen käytön kulloisessakin tilanteessa määrää ensisijaisesti sijoituskohde, eli onko kyseessä käyttöakselisuoja tai päärungonsuoja.

Tukirakennesovellus vaikuttaa paneelin rakenteen- ja geometrian käyttäytymiseen taivutettaessa. Paneelin ollessa vapaarakenteinen, missä tukirakenteella saavutetaan vain paneelin venymisen estävä ratkaisu, sen taipumiskyky ei ole rajoittunut. Toinen rakennetyyppi on jäykkä rakenne, jossa paneelin taipuminen on estetty ja se on pakotettava koneellisesti taivutussäteelle. Jäykän rakenteen heikkoutena on kumimateriaaliin kohdistuva sisäinen jännityskenttä pakkotaivutustilanteessa. Sisäinen jännityskenttä vaikuttaa suuresti esimerkiksi saumakohdissa kulumisalttiuteen ja iskujen absorbointikykyyn.

Kiinnitys

Tukirakenne toimii myös kiinnitysmekanismien perustana. Paneelien kiinnittyminen koneeseen tai erilliseen tukirunkoon toteutetaan esimerkiksi ruuviliitoksella, hitsausliitoksella tai vaikka magneettikenttää hyödyntämällä. Kiinnitysmekanismeja ja sen menetelmää arvioidessa, otetaan huomioon sen sijainti koneessa tai rakenteessa sekä olosuhteet, joiden ominaisuudet vaikuttavat siihen. Hitsaamalla kiinnitetyissä paneeleissa suurimpana tekijänä on otettava huomioon koneessa esiintyvä värähtely, kun paneeli kiinnitetään koneen päärunkoon. Värähtely resonanssitaajuudella saa aikaan kiinnityksen peittämissä. Ruuviliitoksella toteutetussa ratkaisussa tärkein huomio kiinnitetään sen sijoitteluun materiaalivirran suhteen. Esimerkiksi päärungon suojauksen kohdalla, sen korkeusaseman määrittäminen kriittisen iskeytymisalueen ulkopuolelle, on määräävä tekijä. Käyttöakselin- ja tukivarrensuojauksen ruvikiinnitysmekanismien kohdalla, on paneeleihin suunniteltava erilliset kiinnitykseen soveltuvat osat. Erillisten osien vaikutuksia on arvioitava materiaalivirtauksen suhteen sekä paneelin geometrian suhteen.

4.3.6 Sovitus ja optimointi

Sovitus

Suunnitelluille kokonaisuuksille toteutetaan sovitusvaihe, jossa osien keskinäistä yhteensopivuutta tarkastellaan kokonaisuutena. Sovituksen tarkoituksena on varmistaa komponenttien oikeellinen asemoituminen toisiinsa nähden ja samalla arvioidaan niissä esiintyvien muotojen ja geometrioiden keskinäistä vaikutusta. Vaikutusten arvioinnilla saavutetaan kokonaiskuva tuotteiden toiminnallisista edellytyksistä sekä varmistetaan mahdollisten sovitusmekanismien muutosten tarve ennen tarkasteluvaihetta. Sovituksessa kappaleiden välisiä toleransseja arvioidaan koneessa toteutuvan prosessin kannalta sekä asennusteknisestä näkökulmasta. Keskinäinen toleranssi on aina kompromissi, jonka lähtökohtina on edellä mainitut sekä valmistustekninen näkökulma. Valmistustekninen näkökulma tarkentuu optimoinnin aikana, joka hienosäätää keskinäistä toleranssia.

Optimointi

Paneelien optimointi toteutetaan pääasiassa valmistusteknisistä lähtökohdista. Optimointi tarkoittaa suunniteltujen kappaleiden mitoituksellista säätämistä valmistuskelpoisempaan muotoon sekä tiettyjen rakenteiden mitoittamista standardisoitujen raaka-aineiden käyttöön soveltuvaksi. Esimerkiksi tukirakenteissa käytetyissä terästuotteissa on tarjolla laaja valikoima standardisoituja materiaaleja ja optimoinnilla mahdollistetaan tällaisten raaka-aineiden käyttö valmistuksessa. Optimoinnin suurin hyöty näkyy kappaleiden valmistettavuudessa sekä valmistuskustannuksien rakenteissa. Optimoinnilla saavutetaan myös kaikissa kappaleissa toteutuvia vakioimitoituksia, jotka luovat monikäyttömahdollisuuden edellytykset.

4.4 Tarkastelu

Suunnitellulle rakenteelle toteutetaan tarkasteluvaihe, jossa eri osien vaikutuksia, geometriaa ja rakennetta tarkastellaan kokonaisuutena eri näkökulmista. Vaiheeseen osallistuu eri organisaatioita, jotka ovat oman erikoisosaamisalueensa spesialisteja. Prosessiin soveltuvuutta arvioidaan konemallin suhteen tuotelinjan kanssa ja rakenteiden valmistettavuuteen

liittyvissä asioissa valmistustekniikan specialistien kanssa. Tuotteellistamisen näkökulmaa tarkastellaan markkina-alueen erikoisosaajien kanssa. Prosessiin osallistuu suuri määrä henkilöstöä, joten osa-alueittain toteutettava tarkastelu toteutuu ajallisesti ja organisoidusti pienemmissä ryhmissä.

4.4.1 Prosessiin soveltuvuus

Prosessiin soveltuvuuden arviointi aloitetaan organisaatioryhmän kanssa, jolla on suora ja yksityiskohtainen tieto koneen käyttöön liittyvistä parametreista ja lopputuotteeseen liittyvistä yksityiskohdista. Pääasiallisesti osallistuvat koostuvat tuotetuen ja asiakaspalvelun organisaatioista sekä kenttähuollon erikoisosaajista. Osallistuvan ryhmän suurin tietotaito on koneeseen liittyvissä todellisissa kulumiseen ja materiaalivirtaukseen liittyvissä tiedoissa ja aineistoissa.

4.4.2 Tuotelinjan arviointi ja hyväksyntä

Tuotelinjan hyväksyntä varmistaa suunnitellun rakenteen soveltuvuuden kyseisen konemallin rakenteisiin ja varmistaa tiettyjen teknisten vaatimusten toteutumisen konemalliin liittyen. Tuotelinjan hyväksyntä on yksi tärkeimmistä prioriteeteista koneen rakenteellisen- ja käytönaikaisen tuoteturvallisuuden varmistamiseksi. Tuotelinjan konemalliin erikoistuneen specialistin antama arvio suunnitellun rakenteen soveltuvuudesta koneen rakenteelliseen ja toiminnalliseen ympäristöön ja varmistaa oikeanlaisen suunnittelumenetelmän käytön. Tarvittaessa spesialisti antaa muutosehdotuksen, mikäli rakenteen geometria tuottaa ongelman jonkun koneeseen liittyvän mekanismin- tai rakenteen suhteen. Esimerkiksi suunniteltuun rakenteeseen toteutetun väistön tosiasiallisen toleranssitarpeen suhteen tai materiaalin akkumuloitumiseen liittyvissä tilanteissa varotoimenpiteiden suhteen.

Tuotelinjan hyväksyntä toimii sertifiointina suunnitellun rakenteen turvallisena ja varmistettuna tuotteena käytettäväksi kyseisessä konemallissa koneen mekaniikan edellytyksin.

4.4.3 Valmistustekninen arviointi ja hyväksyntä

Suunnitellun tuotteen valmistustekninen arviointi ja hyväksyntä prosessi on toinen tärkeän prioriteetin tarkasteluvaihe. Suunnitellun rakenteen valmistuskelpoisuus sekä siihen liittyvien mahdollisten uusien valmistusprosessien arviointi, on uuden rakenteen tärkein kaupalliseksi tuotteeksi hyväksymisen edellytys. Valmistustekninen organisaatio antaa tarvittavia muutosehdotuksia ja velvoitteita suunnitellun rakenteen suhteen. Valmistustekninen organisaatio käynnistää uuden tuotteen kustannuksia kartoittavan vertailulaskelmavaiheen.

Valmistustekninen hyväksyntä toimii sertifiointina suunnitellun rakenteen geometriaan liittyvän valmistuskelpoisuuden ja valmistettavuuden suhteen.

4.4.4 Markkina-alueen informointi ja mallin esittely

Edellä mainittujen organisaatioiden hyväksynnän perusteella suunniteltu rakenne esitellään markkina-alueen organisaatiolle, joka toimii tuotteen myyntiin ja markkinointiin erikoistuneena yksikkönä. Suunnittelun tuotokseen liittyvät uudet ominaisuudet esitellään vertailuna vanhojen ominaisuuksien suhteen. Markkina-alueen organisaatio on usein mukana tuotteen suunnittelun aikana sen alkamisesta tuotejulkaisuun. Markkina-alue myös toimii monissa tilanteissa uuden suunnittelutarpeen käynnistäjänä, esimerkiksi ETO-tilauksen suhteen. ETO-tilauksiin saattaa liittyä asiakasesittely, jossa halutut ominaisuudet esitellään ja hyväksytetään asiakkaalla.

Asiakasesittely

Markkina-alue voi tarvittaessa toteuttaa suunnitellun tuotteen kohdalla asiakasesittely tilaisuuden, jossa potentiaalinen asiakas pääsee perehtymään tarjolle tulleeseen uuteen ratkaisuun kyseisestä tuotteesta. Asiakasesittely on pääasiallisesti aina ETO-tilauksen tilanteissa ja tällaista tilannetta varten suunnittelija tuottaa esittelymateriaalin.

4.5 Hyväksyntä

Suunnitellulle rakenteelle toteutetaan viimeisenä vaiheena lopullinen hyväksyntäprosessi, jossa tuotteeseen liittyvä tieto sekä tarvittavien dokumentaatioiden oikeellisuus varmistetaan. Hyväksynnässä kaikille rakenteen osille ja kokonaisuuksille veloitetaan tietyt materiaalispesifikaatiot. Tällaisia ovat esimerkiksi nostoturvallisuuteen liittyvät materiaaliin liittyvät lujuuslaskelmat, rakenteiden valmistustekniset piirustukset, tuotetieto ja määritykset sekä asennukseen ja sen menetelmiin liittyvät dokumentit.

4.5.1 Materiaalispesifikaatiot

Suunnittelussa käytetyistä materiaaleista tallennetaan tuotteen tietoihin spesifikaatiot, jotka määrittävät valmistuksessa käytettävät materiaalit. Tieto tallennetaan tuotteen elinkaarihallinnan järjestelmän tietokantaan. Tallennettu tieto kulkee tuotteen mukana kaikissa vaiheissa ja toimii esimerkiksi materiaalihankinnalle määrällisenä indikaattorina valmistuksen suunnittelun ja toteutuksen vaiheissa.

Spesifikaatiot määrittävät esimerkiksi lujuusominaisuuksien vaatimukset sekä kumin ja keraamin kohdalla halutut kulumiseen vaikuttavat laatuvaatimukset. Useiden spesifikaatioiden kohdalla tieto on järjestelmässä jo olemassa, joten niissä tapauksissa tieto voidaan liittää tuotteeseen. Mikäli spesifikaatio on uusi tietosisältö, siitä luodaan dokumentaatio järjestelmään. Uudelle dokumentaatiolle on oma hyväksyntä ja määrittelyprosessi.

4.5.2 Valmistustekniset piirustukset

Kaikista uusista suunnitelluista osista ja kokonaisuuksista, luodaan valmistustekniset- sekä kokoonpanopiirustukset. Piirustuksista selviää kappaleiden mitoitukselliset tekijät sekä käytettyyn materiaaliin liittyvä määräys. Piirustuksiin lisätään myös vaihtoehtoiset raaka-aineet. Globaalissa valmistusympäristössä kaikki materiaalit eivät ole aina saatavilla

valmistuslokaatiossa ja tämä otetaan huomioon antamalla vaihtoehtoiset perusraaka-ainevaihtoehdot. Monissa tilanteissa tämä koskettaa terästuotteita, koska kumin ja keraamin kohdalla käytössä on erikoislaatuinen raaka-aine, jonka toimitusketju on ulotettu valmistuksen kaikkiin lokaatioihin. Edellä mainittuun on olemassa myös poikkeus ja kumimateriaalin muutokseen liittyvään poikkeukseen annetaan erillinen sallittu poikkeama prosentteina.

4.5.3 Tuotetieto ja attribuutit

Hyväksyttävään tuotteeseen liittyy monia tuotetietoon liittyviä tekijöitä, jotka ohjaavat ja määrittävät tuotteen hierarkkisen aseman. Tuotteelle annetaan PLM-järjestelmään seuraavat tiedot:

- sanakirjakuvaus
- teknillinen kuvaus
- nettopaino
 - ISO järjestelmän mukainen
 - Imperiaalisen järjestelmän mukainen
- materiaalin tyyppi
- tuotehierarkia
- erillinen tuoteryhmä
- materiaalityyppi
- materiaalin mitat

Sanakirjakuvaus kertoo, että tuote kuuluu esimerkiksi kumi-keraamisiin tuotteisiin. Teknillinen kuvaus kertoo mihin rakenteelliseen tarkoitukseen tuote on tarkoitettu. Kappaleen massa on kuljetusteknisesti välttämätön, mutta myös asentavalle- ja valmistavalle taholle turvallisuuteen liittyvä oleellinen tieto. Materiaalin tyyppi osoittaa onko kyseessä suunniteltu tuote vai esimerkiksi kaupallinen standardiosa, kuten ruuvi. Tuotehierarkia määrittää millaisen liiketoimintaorganisaation hallintaan tuote kuuluu. Esimerkiksi Metso Outotecilla, murskainteknologia on jaoteltu kahteen eri osastoon. Erillinen tuoteryhmä sitoo tuotteen käytettäväksi tietyssä konetyypissä, kuten esimerkiksi MP800 kartiomurskaimeen. Materiaalityyppi osoittaa suunnitellun tuotteen pääraaka-

aineryhmän. Kumi-keramisissa tuotteissa pääraaka-aineena on kumi. Materiaalin ulkoiset mittatiedot ovat pääasiallisesti logistisiin tarkoituksiin. Kuljetuksen suunnittelijat saattavat olla sellaisessa tietoon oikeutetussa asemassa, että esimerkiksi piirustuksia ei pääse tarkastelemaan ja materiaalin mittoja varmistamaan sitä kautta. Tästä syystä kappaleista annetaan mittatiedot erikseen.

4.5.4 Asennusdokumentit ja – ohjeet

Suunniteltu tuote tarvitsee asennusohjeen ja siihen liittyvät spesifikaatiot. Jokaisesta uudesta tuotteesta tai tuotekokonaisuudesta luodaan asiakasta ja asennuksen suorittavaa henkilöstöä varten ohje oikeaoppista asentamista, mutta myös turvallista asentamista varten. Suunnittelijan on otettava huomioon suunnitteluvaiheessa tuotteiden asennettavuuteen liittyvät tekijät sekä ymmärtää tuotoksiensa asennusmahdollisuudet. Koneen geometriallisiin tarpeisiin ja esimerkiksi huoltoseisokin aikaisiin toimenpiteisiin asennusmahdollisuuksista tiedon saa tuotelinjalta ja/tai kenttäorganisaation henkilöstöltä.

Asennukseen tarvittavat dokumentit ja ohjeet tuotetaan joko ohjeisiin erikoistuneen sisäisen organisaation kanssa tai ulkoisen toimijan kanssa. Asennusohjeen tulee noudattaa Euroopan yhteisön koneturvallisuusdirektiiviä, mutta tarvittaessa myös kohdemaan turvallisuuteen liittyvää lainsäädäntöä.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Johtopäätökset

Kivenmurskaimen kulumissuojien suunnittelun käsikirja lähtee aiheen käsittelyssä kohteena olevan konetyypin ja sen mekaanisen toiminnan esittelyllä. Toiminnan kuvaamisella lukijalle annetaan selkeä kuva koneen toiminnasta ja mekaniikasta, sekä sen toimintamekanismin aikaansaamista ilmiöistä.

Kivenmurskaimen tuottaman lopputuotteen ominaisuuksia ja ilmiöiden vaikutuksia käsitellään yksinkertaistetuilla menetelmillä. Menetelmät avaavat näitä vaikutuksia ja luo suunnittelulle tärkeitä huomiointikohteita, joiden toteutuminen on erityisen tärkeää suunnitellun tuotteen kestävyydelle ja vaikutuksille koneen käytön aikana.

Suunnitteluprosessi on kokonaisuutena hyvin monitahoinen toteutus. Prosessi aloitetaan tiedon hankinnalla sekä saadun tiedon käsittelyllä. Tarvittava tieto jalostetaan suunnitteluympäristön luomista varten, mikä määrittää mitoituksellisen kehyksen ja monissa tapauksissa määrää suunnitteluvaiheiden suunnan. Tämä riippuvuus osoitetaan olevan tarpeeseen sidonnainen ja se ohjaa suunnittelun lopputuloksen tarkoitusta. Prosessissa tarve jaetaan kahteen tilanteeseen, jossa toisen suunnittelusuunta on yleinen tuotesarja ja toinen asiakaslähtöinen erikoistilanne. Prosessin käynnistämistä varten ja tarvittavan tiedon keruuseen osallistuu eri organisaatioita yrityksen sisältä. Organisaatioiden roolit ovat yksilöllisiä ja saadulla tiedolla on oma roolinsa suunnittelun eri vaiheissa. Suunnitteluprosessin mitoitusketkeseen sovelletaan käsikirjan teoreettisen osan sisältöä eri ilmiöiden vaikutusten suhteen. Ilmiöiden vaikutukset tuodaan esille tarvittavien näkökulmien ja ratkaisumahdollisuuksien muodossa. Ratkaisujen todelliseen muotoon annetaan suuntaviivat toteutukselle ja visuaalisten mallien sijaan lukija kehittää oman mielikuvan toteutuvasta geometriasta. Käsikirjan tarkoituksena osoitetaan tällä tavoin olevan vain aiheeseen liittyvien vaikutusten huomiointi tuotteen suunnittelussa. Prosessi viimeistellään tarkastelu- ja hyväksyntävaiheella, jossa osallistuvien organisaatioiden näkemykset otetaan huomioon ennen tuotteen julkistamista ja valmistukseen saattamista.

Pohdinta

Opinnäytetyön tuloksena syntyi kokonaisvaltainen kuvaus uuden kulumista vähentävän materiaaliratkaisun suunnitteluprosessista. Prosessin kuvaamisessa haastavinta oli saada prosessin kuvauksen nollapiste lukittua. Prosessi kehittyi uusien suunnittelussa huomioitavien tekijöiden takia koko opinnäytetyöprosessin ajan ja sama kehitys jatkuu edelleen. Prosessi on kehittynyt harppauksin pisteen lukitsemisen jälkeen, mikä luo tekijälle haastavan muistinvaraisen tilanteen nollapisteen tarkasteluun. Opinnäytetyön kirjoittamisen aikana tuotteeseen kehitettiin uusia ominaisuuksia vähentämään kulumisefektiä. Prosessiin myös liitettiin uusia organisaatioita, joiden sisällytys muutti tuotteen rakennetta ja valmistuksellisia mahdollisuuksia. Jotkin aiheet jouduttiin muuttuneen tilanteen takia jättämään pois, tuotteeseen liittyvän immateriaalioikeusprosessin myötä ja ne tulevat olemaan yksi käsikirjan jatkokehityksen osa-alue.

Kehitysideana tilaajaosapuolelle ehdotetaan, että suojatusta tuotteesta ja siihen liittyvästä suunnittelun käsikirjasta tuotetaan julkinen painos. Painoksessa olisi esiteltynä tuotteeseen liittyvät huomiot ja niiden todelliset ratkaisut. Tämä saattaisi edistää tietoisuutta tuotteesta sekä antaisi selkeämmän kuvan sen todellisesta potentiaalista.

LÄHTEET

Eloranta, J. J. 1995. Influence of Crushing Process Variables on the Product Quality of Crushed Rock. 168. Julkaisu. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu

Kivioja, S., Kivivuori, S. & Salonen, P. J. 1998. Tribologia – kitka, kuluminen ja voitelu. 2. painos. Helsinki: Otatieto Oy.

Metso Corporation. 2017. Metso Crushing and Screening Solutions. Käsikirja. Luettu 30.10.2020.

Metso Minerals Industries Inc. 2019. Nordberg Cone Crushers - MP Series. Käsikirja. Luettu 24.10.2020.

Metso Corporation. 2011. Metso Mining and Construction Technology. Käsikirja. Luettu 5.9.2020.

Ruuskanen, J. J. 2006. Influence of Rock Properties on Compressive Crusher Performance. 585. Julkaisu. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto

Valtanen, E., 2016. Tekniikan Taulukkokirja. 21. painos. Mikkeli: St Michael Print Oy