

Eetu Karjalainen

SEULAN MATERIAALIVAIHTOEHTOJEN KESTÄVYYSELVITYS

SEULAN MATERIAALIVAIHTOEHTOJEN KESTÄVYYSSSELVITYS

Eetu Karjalainen
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, koneautomaatio

Tekijä: Eetu Karjalainen
Opinnäytetyön nimi: Seulan materiaalivaihtoehtojen kestävyys selvitys
Työn ohjaaja: Esa Törmälä
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2018
Sivumäärä: 34 + 0 liitettä

Opinnäytetyössä selvitettiin murskausjyrsimessä käytettävän seulan materiaalivaihtoehtojen kestävyyttä. Työssä tutkittiin materiaalien kestävyyksien testaustuloksia yrityksen valmistamalla testausyksiköllä. Samalla testausyksikön toimivuutta testattiin käytännön kokeissa jatkotestauksia varten. Työn tilaajana toimi Suokone Oy.

Ennen testausyksikköä yritys käytti materiaalivalinnassa laskentaohjelmaa, joka antoi karkean arvion materiaalin toimivuudesta. Tavoitteena oli tunnistaa kulumisongelmat tutustumalla kulumisen teoriaan. Käytetystä murskausjyrsimestä tehtiin vaurioanalyysi, jossa kulumisen aiheuttajia selvitettiin teorian ja yrityksen kokemusten avulla. Vaurio-analysissä kootuista aiheuttajista tehtiin testaus suunnitelma. Aiheuttajia olivat nopeus, kosketuskulma, maaperä, seulassa käytettävä materiaali ja aika. Ohjausryhmä suunnitteli mahdollisimman todenmukaisen testausyksikön ja testausmenetelmän. Näiden avulla voitiin testata kulumiseen vaikuttavat muuttajat.

Tehdyt kokeet osoittivat testattavien materiaalien olevan vertailukelpoisia ja materiaaleissa syntyi eroja keskenään. Tämä todisti testausyksikön toimivuuden, jonka avulla yritys pystyy määrittämään parhaan mahdollisen materiaalin murskausjyrsimen seulaa varten. Kokeet jatkuvat yrityksen toimesta testausyksikön parissa, jotta paras mahdollinen ratkaisu saataisiin selville.

Asiasanat: kuluminen, testaus, murskausjyrsin, muuttuja

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering (BSc), Machine
Automation

Author: Eetu Karjalainen

Title of thesis: Durability Report of Material Options of a Screen

Supervisor: Esa Törmälä

Term and year when the thesis was submitted: spring 2018

Pages: 34 appendices

The objective of this Bachelor's thesis was to examine the durability of material options of a crusher screen. The first step of this project was to start material durability testing with the tester which the company had built. At the same time functionality of the tester was tried out in practical trials for extension. The commissioner of the thesis is Suokone Oy.

Before the tester was made, the company had used a calculation program to choose the right material, which gave a rough estimate of the functionality. The target was to recognize the wear problems by exploring the theory of wear and making a damage analysis of a secondhand crusher. By taking the wear sources into account, the testing plan was made, which included the designing of the tester and test method. These could be used to find out the variables of the wear, which are speed, hit angle, soil, material and time.

The tests showed that the materials fulfilled the comparison requirements and there were differences between them. This proved the functionality of the tester, which helps the company define the best possible material for the crusher screen. The testing continues at the hands of the company to find out the best solution.

Keywords: wear, testing, crusher, variable

ALKULAUSE

Ensinnäkin suuret kiitokset Suokoneen henkilökunnalle, ohjaavalle opettajalle ja tilaajalle halukkaasta yhteistyöstä. Kokemus oli varmasti hieno, eikä selvitys ollut vain yksi muiden joukossa vaan hyvin mieleenpainuva ja mielenkiintoinen kokemus.

Selvityksellä saimme jo näin lyhyessäkin ajassa paljon tietoa, joka varmasti auttaa tulevaisuuden selvittelyissä ja materiaalivalinnoissa.

Eetu Karjalainen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	7
2 SEULAN KULUMISESTA	8
2.1 Kulumismuodot	8
2.1.1 Abrasiivinen kuluminen	9
2.1.2 Adhesiivinen kuluminen	10
2.1.3 Väsymiskuluminen	11
2.1.4 Tribokemiallinen kuluminen	11
2.1.5 Iskut	12
2.2 Rockwell-kovuus	12
2.3 Brinell-kovuus	13
3 KÄYTETYN SEULAN VAURIOANALYYSI	14
3.1 Murskausjyrsimen kuluminen	14
3.2 Seulan kuluminen	16
3.2.1 Geometria	18
3.2.2 Nopeus ja ajoparametrit	22
4 KULUMISKOKEIDEN TESTAUSSUUNNITELMA	23
4.1 Wear calc -laskentaohjelman tulokset materiaalivalinnasta	23
4.2 Kulumistestauksessa käytettävien muuttujien valinta	23
4.2.1 Pyörimisnopeus	23
4.2.2 Testilevyjen kulma	24
4.2.3 Maaperä	24
4.2.4 Testilevyjen materiaali	24
4.2.5 Aika	25
4.3 Testausyksikön vaatimukset ja suunnittelu	25
5 KULUMISKOKEIDEN TULOKSET	29
6 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	34

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on osana konetekniikan tutkintoa. Opinnäytetyö toteutetaan tekijän projektina, jonka tekemistä valvotaan siinä käytettävien vaiheiden ja edellytyksien mukaan. Tässä opinnäytetyössä selvitetään murskausjyrsimissä käytettävien seulan materiaali- vaihtoehtojen kestävyyttä. Tilaajan mukaan nykyisin käytettävän seulan materiaalin kestävyys on vaihdellut huomattavasti ja siinä on havaittu liian nopeaa kulumista.

Aikaisemmin yritys on käyttänyt laskentaohjelmaa, jolla voidaan vertailla eri materiaalien kulumista. Ohjelman avulla yritys on tehnyt karkean arvion materiaalin valitsemiseksi. Aluksi kulumisongelmaa lähestytään tutustumalla kulumisenteoriaan. Käytetystä seulasta tehdään vaurioanalyysi, jossa teoriataustan avulla tutkitaan seulan kulumista.

Vaurioanalyysissä valittujen muuttujien perusteella tehdään testaussuunnitelma. Valitut muuttujat ovat nopeus, kosketuskulma, maaperä, seulassa käytettävä materiaali ja aika. Testaussuunnitelmassa ohjausryhmä suunnittelee testausyksikön, missä testaukseen valituille materiaaleille tehdään kestävyyskokeita muuttujia vaihtelemalla. Lopuksi saaduista tuloksista tehdään yhteenveto, jossa selvitetään testausyksikön toimivuus ja syntyneet erot testattujen materiaalien välillä. Tämän jälkeen yritys jatkaa kokeita löytääkseen parhaan materiaalin murskausjyrsimen seulaa varten.

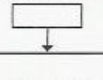
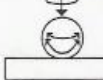


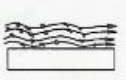
2 SEULAN KULUMISESTA

Kuluminen on tribologian tutkimusalue, jossa käsitellään kulumista, siitä aiheutuvaa kitkaa sekä voitelun merkitystä teollisessa ympäristössä. Kulumisessa puhutaan materiaalihäviöstä, joka tapahtuu kahden tai useamman kappaleen liikkeellisessä kosketuksessa toisiinsa nähden. Kiinteiden partikkelien liikehdintä erilaisissa neste- tai kaasuvirtauksissa voivat myös aiheuttaa kulumista. Vaikuttavimmat tekijät kulumisessa ovat suhteellisen liikkeen nopeus, pyörivän liikkeen kulmanopeus, kiihtyvyys ja käytettävät materiaalit. Näihin tekijöihin vaikuttavat geometria, kosketuspintojen koko ja käyttö- ja ympäristöolosuhteet. (1, s. 11–12, 97.) Tässä tapauksessa suhteellinen liike voisi olla murskausjyrsimen roottori.

2.1 Kulumismuodot

Kulumisen luokittelua on yritetty perustella siten, että korostetaanko pintavauriollista vai fysikaalista tapahtumaa. Näistä syntyy kaksi luokittelua, jotka ovat suhteellisesta liikkeestä syntyvä kuluminen ja kulumismekanismista riippuva kuluminen. Kulumismekanismeihin pohjalta aiheutuvaan kulumiseen kuuluvat adhesiivinen, abrasiivinen, väsymis- ja tribokemiallinen kuluminen, jotka jaetaan DIN 50320 -standardin mukaan (2). Suhteellisesta liikkeestä aiheutuva kuluminen voidaan jaotella niiden aktivoinnin perusteella erilaisiin kulumistyyppihin. Näitä ovat liukuminen, isku, vierintä, eroosio, kaasuerosio, pisaraerosio, korroosioerosio, kavitaatio ja värähtely. Kulutuksessa voi vaikuttaa yksi tai useampi kulumismekanismi, joka hankaloittaa tarkempaa tutkimista. Tutkiessa on siis tärkeää tunnistaa yksi hallitseva kulumistekijä kulumistapahtuman ymmärtämiseksi. (1, s. 100.)

Tässä opinnäytetyössä murskausjyrsimen materiaalivaihtoehtojen tiheydet oletetaan olevan samoja. Siten kulumisen mittaaminen tapahtuu painohäviön suhteuttamisella kulumisaikaan. Mittauksissa on eroteltavissa tasaisen kulumisen ja sisäänajokulumisen vaiheet. Testauksen alussa kuluminen on suurimmillaan, jonka jälkeen se muuttuu vakioksi epäpuhtauksien poistuessa ja pinnankarheuden tasoittuessa kosketuspinoilta. (1, s. 102–103). Kuvassa 1 nähdään, kuinka kulumismekanismi määritetään systeemin rakenteen, rasiustyypin ja kulumistyyppin avulla.

Systeemin rakenne	Kulumisen aiheuttava rasitustyyppi	Kulumistyyppi	Kulumismekanismi			
			Adheesio	Abrasio	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-suihku 	Eroosio		X	X	X
Kiinteä pinta ja kaasu	Virtaus 	Kaasu-eroosio				X
Kiinteä pinta ja neste	Virtaus Värähtely 	Kavitaatio			X	X
	Virtaus Isku 	Pisara-eroosio			X	X
Kiinteä pinta ja nesteessä kuluttavia partikkeita	Virtaus 	Eroosio		X	X	
		Korroosio-eroosio		X	X	X

KUVA 1. Kulumismekanismit eri kulumistyypeillä (1, s. 101)

2.1.1 Abrasiivinen kuluminen

Hiontakulumista kutsutaan abrasiiviseksi, jolloin vastinpinnoissa olevat ulokkeet aiheuttavat naarmuuntumista kappaleiden pinnoissa. Toinen vastinpinnoista on kovempi, mikä saa pehmeämmän pinnan kulumaan normaalivoiman vaikutuksesta, kuten kuvassa 2. (1, s. 108–111.)



KUVA 2. Kahden kappaleen abraasio (muokattu 3, s. 8)

Myöhemmässä vaiheessa kappaleista irtoilee partikkeleita, jotka muokkauslujittuvat ja kuluttavat molempia vastepintoja. Tätä sanotaan kolmen kappaleen abraasioksi (kuva 3). (1, s. 108–111.)



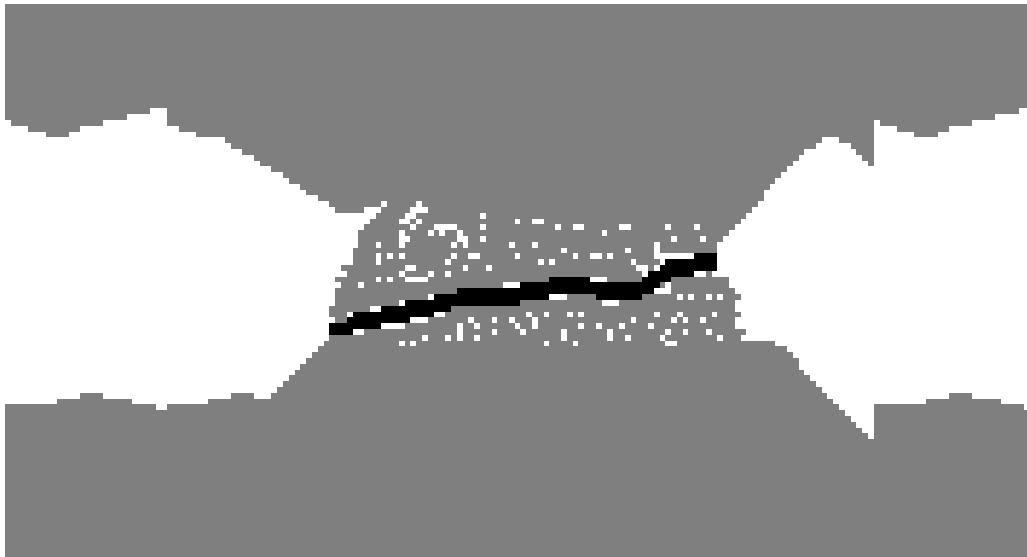
KUVA 3. Kolmen kappaleen abraasio (muokattu 3, s. 9)

2.1.2 Adhesiivinen kuluminen

Kahden vastepinnan leikkautumista, tahmautumista tai hitsautumista liitoksen kohdalta kitkan ja lämmön takia kutsutaan adhesiiviseksi kulumiseksi. Kuten kuvassa 4, kyseistä tapahtumaa voidaan kutsua myös kylmähitsautumiseksi. Kulumisnopeuteen vaikuttaa repeytyneen liitoksen kohta. Repeytyminen ei synnytä kulumispartikkeleita vastepintojen väliin, jos se tapahtuu pintojen rajapinnassa. Usein adhesiivinen kuluminen kuitenkin aiheuttaa irtonaisia partikkeleita ja kuluneissa pinnoissa on nähtävissä muokkautumista.

Muokkautuminen aiheuttaa kuoppia, kohoutumia ja aineiden kulkeutumista materiaalien välillä. (3, s. 7–8.)

Kulumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, kuormitus ja voitelu. Käytännössä tätä tartuntakulumista tapahtuu, kun metallikappaleet pyörivät tai laahaavat toisiaan vasten kuten ketjupyörät ja akselit laakeripintoja vasten. (4, s. 19.)



KUVA 4. Adhesiivinen kulumisen (muokattu 3, s. 7)

2.1.3 Väsymiskuluminen

Materiaaleilla tapahtuu väsymisrasituksesta aiheutuvaa kulumista. Tämä voi tapahtua myös ilman pintojen varsinaista koskettamista, mutta se vaatii tykytystä tai pitkäaikaista vaihtuvaa mekaanista rasitusta. Materiaaliin vaikuttaa siten maksimipuristus- ja maksimi-leikkausjännitys. Nämä saavat pintaan säröjä, jotka myöhemmin irtoilevat kulumispartikkeleina. Jos kulumista ei voida selvästi sanoa adhesiiviseksi eikä abraasiiviseksi, on usein kyseessä pintakerroksen väsyminen. (1, s. 113–114, 338–341.)

2.1.4 Tribokemiallinen kuluminen

Tribokemiallisessa kulumisessa metallien pinnoille kertyvä oksidikerros pienentää kitkaa ja kulumisnopeutta, mutta vastinpintojen ulokkeiden kosketuksesta aiheutuva lämpö kasvattaa kerroksen paksuutta. Siksi se ei enää pysy kiinni ulokkeissa vaan irrottaa pinnoista kulumispartikkeleita. (1, s. 111–113, 338–341.)

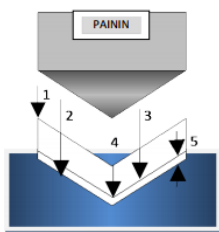
2.1.5 Iskut

Suuri paine ja iskut voivat tehdä murtumia ja muodon muutoksia materiaalin pintaan. Murskaamisella tarkoitetaan kulutuskestävää hienojen partikkelien välistä abraasiota. Muokkauslujittuvat mangaaniteräkset kestävät eniten iskuja, koska ohut pintakerros kovettuu, mutta sisäosaa jää sitkeäksi. Myös martensiittisiä teräksiä käytetään iskunkestävyyden saavuttamiseksi. Kaivosteollisuuden iskuvasarat ja murskaimet ovat yleisiä käyttökohteita. (5, s. 3.)

2.2 Rockwell-kovuus

Erityisesti koneistettujen kappaleiden kovuuden ja pintakovuuden mittaamiseksi käytetään Rockwellin koetta. Siinä joko timanttikartiota- tai kovametallikuulapaininkärkeä painetaan materiaalia vasten, jonka kyky vastustaa kulumista, naarmutusta, abraasiota ja tunkemaa kertoo materiaalin kovuuden. Menetelmässä sovitaan tietyt testiolosuhteet, joissa kärjen koko, muoto ja materiaali vaikuttavat painimen tunkeman syvyyteen. Testikuorman ja painimen mukaan saadaan määriteltyä kovuusalue, joita ovat esimerkiksi HRA, HRB ja HRC. (6.)

Testissä esikuormalla tehdään ensipainauma. Sen jälkeen paininta pidetään paikallaan 3 s ennen varsinaista pääkuormaa. Mittausta varten pääkuorman aiheuttamaan tunkemaan annetaan vaikuttaa esikuorma. Vaikutuksen jälkeen lukuarvo voidaan lukea näytöltä. (6). Kuvassa 5 on esitetty testaustapahtuma.



Kuva 1.

- 1) Painuman syvyys esikuorman vaikuttaessa
- 2) Painuman syvyys esi- ja lisäkuorman vaikuttaessa
- 3) Painuman syvyys lisäkuorman poistamisen jälkeen
- 4) Painuman lopullinen syvyys
- 5) Kimmoisen palautuminen

KUVA 5. Rockwell-koe (6)

Testituloksessa esitetään Rockwellin kovuuden arvo, joka voidaan lukea lukuarvona testilaitteen näytöltä. Seuraavana esitetään mittaustavan tunnus, jossa kerrotaan käytetty testausmenetelmä. Lopuksi ilmoitetaan asteikon tunnus, joka katsotaan Rockwellin taulukosta, sekä käytetty paininkärki osoittavalla kirjaimella (kuva 6). (6.)

Rockwellin kovuus esitetään 70HRBW

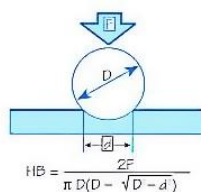
- 70 on Rockwellin kovuuden arvo,
- HR on Rockwellin mittaustavan tunnus,
- B on Rockwellin asteikon tunnus (taulukko 1),
- W on käytettyä paininkärkeä osoittava kirjain, S = teräs, W = kovametalli.

KUVA 6. Rockwell-esitystapa (6)

2.3 Brinell-kovuus

Brinellin testimenetelmää käytetään, kun halutaan määrittää Brinellin kovuus. Yleensä kyseistä menetelmää hyödynnetään, jos mitattava kappale on pinnanlaadultaan liian epätasainen muille testimenetelmille (7, linkit Test types -> Brinell hardness testing). Näitä ovat esimerkiksi kulutusteräkset, jotka ovat perinteisiä rakenneteräksiä kestävämpiä. Kulutusteräkset ovat suunniteltu kestämään abrasiivista kulumista, johon vaikuttaa teräksen pintakovuus. Kulutusterästen nimikkeissä oleva luku ilmoittaa Brinellin kovuuden, kuten Hardox 400, XAR 500 tai Raex AR 500 (8). Teräkselle ja valuraudalle testikuormat ovat usein 500 ja 3 000 kilopondin välillä, joka välittyy noin 1 - 10 millimetriä halkaisijaltaan olevan pyöreän mittakärjen kautta. Karbidikärkeä pidetään kappaleen pinnassa tietyn aikaa, jonka jälkeen se poistetaan. (7, linkit Test types -> Brinell hardness testing.)

Kuvassa 7 Brinellin arvon laskemiseksi katsotaan kappaleeseen syntyneen kuopan ulkohalkaisijan mitta verrattuna mittakärjen halkaisijaan, joka antaa tuloksen HB-yksikkönä. Kuoppaa tutkitaan testiin soveltuvilla mikroskoopeilla, mutta siitä huolimatta saadut testitulokset eivät ole tarkkoja ja tulosten vaihtelevuutta ilmenee täydellisissäkin testiolosuhteissa. Toleroinnin helpottamiseksi, Brinellin arvon mittaamisessa käytetään nykyään automatisoitua tekniikkaa. (7.)



Test Method Illustration

D = Ball diameter
d = Impression diameter
F = load
HB = Brinell result

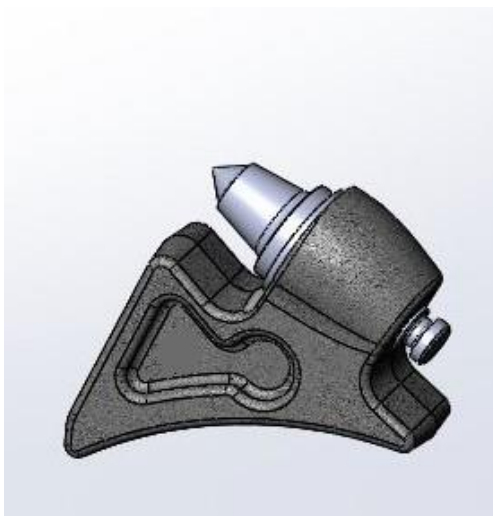
KUVA 7. Brinell-koe (7, linkit Test types -> Brinell hardness testing)

3 KÄYTETYN SEULAN VAURIOANALYYSI

Opinnäytetyöstä pidetyssä ensimmäisessä katselmoinnissa sovittiin vaurioanalyysin laatimisesta. Vaurioanalyysissä käydään läpi seulassa ilmenneitä vaurioita, niiden mahdollisista aiheuttajista sekä vaurioita analysoivista testimenetelmistä.

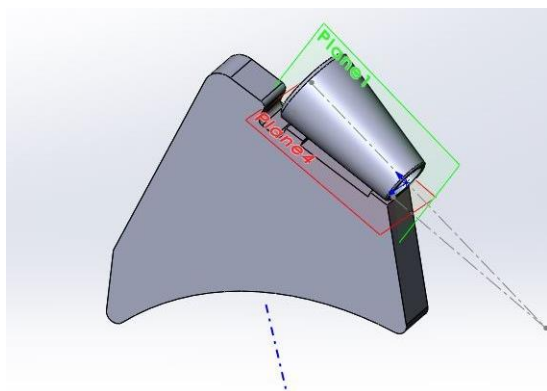
3.1 Murskausjyrsimen kuluminen

Murskausjyrsimillä ajettaessa suurin kuluminen tapahtuu terissä ja teränpitimissä. Terät ovat metallisia, joihin on upotettu kulutusta kestävä kovametallikärki (kuvat 8 ja 9).



KUVA 8. Yleisteränpidin terällä varustettuna

Murskattava pintakerros halutaan saada joskus syvemmäksi, jolloin käytetään kapeaa ja korkeaa viiltopidintä (kuva 9).



KUVA 9. Viiltopidin syvempään leikkaukseen

Pitimet on valmistettu hiiletyskarkaisemalla booriteräksestä ja niiden kovuudet ovat noin 58 HRC. Terillä puolestaan HRC-kovuus on 60 ja kovametallikärjillä varustetuilla 110.

Terien leikatessa maaperää roottori, teränpitimet ja terät kuljettavat materiaalia kohti vastateriä ja jyrsimen runkoa. Koska vastaterä ottaa iskut vastaan ensin, joutuu se kovemmalle koetukselle kuin runko. Rungon pohjalevy on valmistettu Hardox 400:sta, jonka kovuus on 347 HB. Vastaterät tehdään Hardox 500 -levystä polttamalla irrottamalla ja suorakarkaisemalla veteen. Niiden kovuudet ovat 437 HB. Kuvasta 10 katsottuna voidaan huomata, että terien ja niiden pitimien välinen lujuusero muihin koneeseen valmistettuihin osiin on todella suuri.

HV	HB	HRC	Muut- lujuus R _m N/mm ²	HV	HB	HRC	Muut- lujuus R _m N/mm ²
155	147		495	410	390	41,8	1320
160	152		510	420	399	42,7	1350
165	156		530	430	409	43,6	1385
170	162		545	440	418	44,5	1420
175	166		560	450	428	45,3	1455
180	171		575	460	437	46,1	1485
185	176		595	470	447	46,9	1520
190	181		610	480		47,7	1555
195	185		625	490		48,4	1595
200	190		640	500		49,1	1630
205	195		660	510		49,8	1665
210	199		675	520		50,5	1700
215	204		690	530		51,1	1740
220	209		705	540		51,7	1775
225	214		720	550		52,3	1810
230	219		740	560		53,0	1845
235	223		755	570		53,6	1880
240	228	20,3	770	580		54,1	1920
245	233	21,3	785	590		54,7	1955
250	238	22,2	800	600		55,2	1995
255	242	23,1	820	610		55,7	2030
260	247	24,0	835	620		56,3	2070
265	252	24,8	850	630		56,8	2105
270	257	25,6	865	640		57,3	2145
275	261	26,4	880	650		57,8	2180
280	266	27,1	900	660		58,3	
285	271	27,8	915	670		58,8	
290	276	28,5	930	680		59,2	
295	280	29,2	950	690		59,7	
300	285	29,8	965	700		60,1	
310	295	31,0	995	720		61,0	
320	304	32,2	1030	740		61,8	
330	314	33,3	1060	760		62,5	
340	323	34,4	1095	780		63,3	
350	333	35,5	1125	800		64,0	
360	342	36,6	1155	820		64,7	
370	352	37,7	1190	840		65,3	
380	361	38,8	1220	860		65,9	
390	371	39,8	1255	880		66,4	
400	380	40,8	1290	900		67,0	

KUVA 10. Hilametin kovuustaulukko (9, linkit Kovuusarvojen vertailutaulukko)

3.2 Seulan kuluminen

Seuloilla varustellut murskausjyrsimet ovat tehty ennen Hardox 400 -rakenneteräksestä, mutta nykyään Hardox 450 -rakenneteräksestä. Ne poltetaan levystä suorana ollessa, mistä ne etenevät karkaisuun. Taivutus koveraksi tapahtuu karkaisun jälkeen. Kovuus seulaverkoilla on noin 392 HB, joka vastaa kovuudeltaan rungon ja vastaterän puoliväliä.

Kulunutta seulaa tutkiessa huomattiin, että seulan iskeytymisreuna eli yläreuna, johon kovahitsaus tehdään, oli pyöristynyt. Verkon toinen reuna oli pysynyt lähes kulumattomana. Kuvissa 11 ja 12 kulumisessa ei ilmene suuria murtumia vaan se vaikuttaa enemmän hioutumisesta aiheutuneelta kulumiselta. Kyseessä voisi olla kolmen kappaleen abraasio.



KUVA 11. Mitoissaan oleva murskausjyrsimen seula

Tilaaaja on huomannut murskausjyrsimen seulan kestävyys heikentyvän erittäin kuluttavilla maaperillä ajettaessa. Kuvassa 12 kulunut murskausjyrsimen seula.



KUVA 12. Kulunut murskausjyrsimen seula

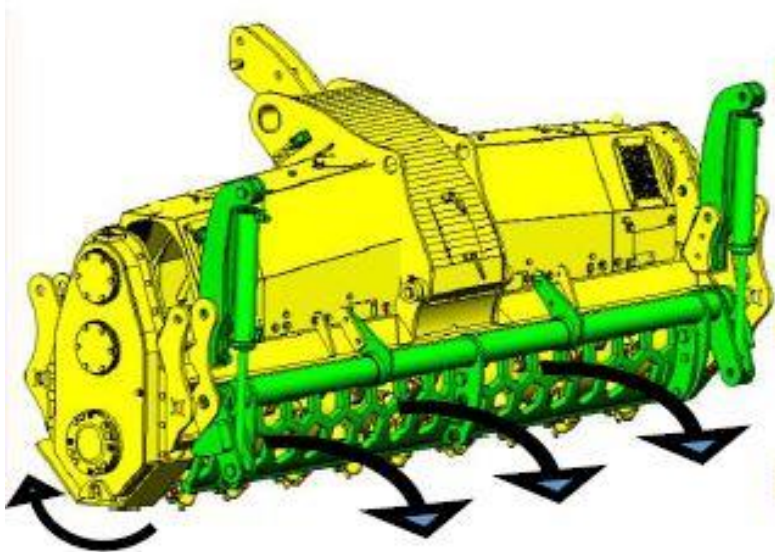
Seulat, jotka eivät ole vaurioituneet muodollisesti liikaa, on kulumista pyritty estämään kovahitsaamalla. Kuvassa 13 nähdään, kuinka korjaus seuloihin tehdään. Tämä vie kuitenkin paljon resursseja yritykseltä eikä seulan kestoikää kovahitsin kanssa vielä tiedetä.



KUVA 13. Kovahitsaamalla korjattu seula

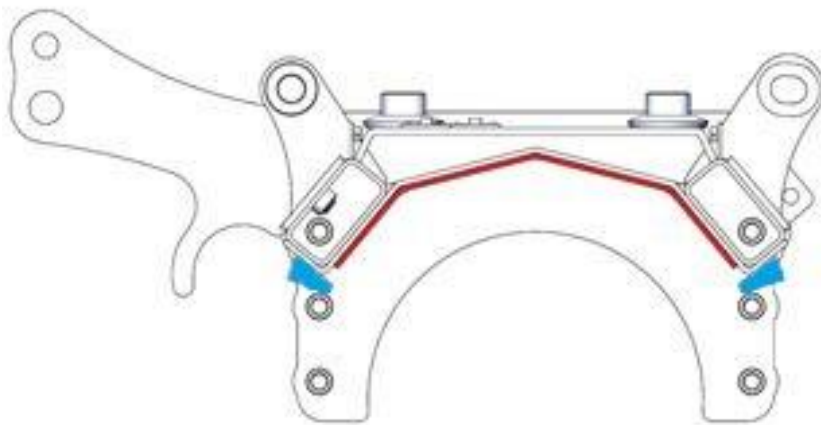
3.2.1 Geometria

Seula on kovera roottoriin nähden, johon on tehty kuusikulmioista verkkomainen rakenne. Sen tarkoituksena on pilkkoa roottorista lentävää materiaalia hienonnetuksi kerrokseksi. Kuvassa 14 on esitetty murskausjyrsimen seulan toiminnan idea. Roottorin pyöriessä materiaali kulkeutuu yläkautta seulalla, jonka reiät päästävät ohennetun materiaalin takaisin maaperään.



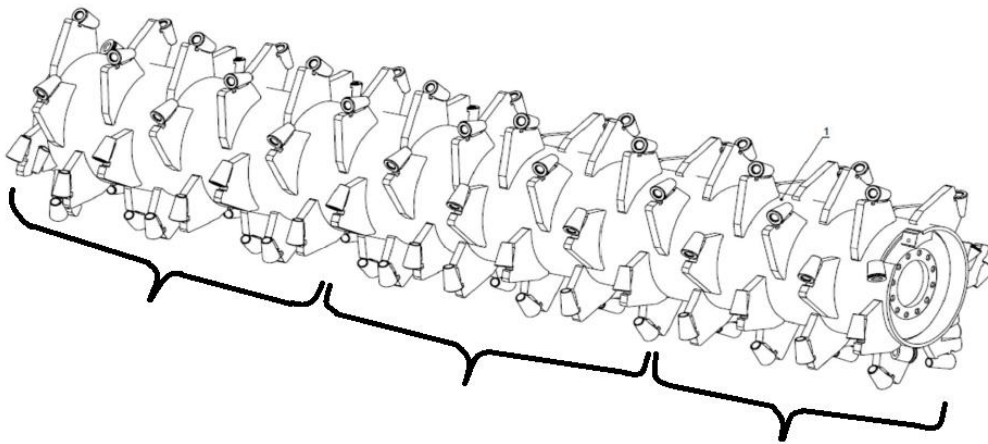
KUVA 14. Jyrsimen runko, roottori ja seula kokonaisuus

Kuvassa 15 punaisella värillä korostettu kotelomainen runko saa materiaalin ohjautumaan seulalle. Rungon lisäksi siniseksi värjättyt vastaterät ohjaavat sekä pilkkovat seulalle tulevaa materiaalia. Myös vastaterät olivat kuluneet samasta kohtaan, mistä seulan kulumista oli tapahtunut. Seurauksena seulalle tuli esiin enemmän kosketuspintaa vastaterän väistyessä iskun tieltä. Tämä voisi lisätä kulumista koko seulan pinta-alalla.



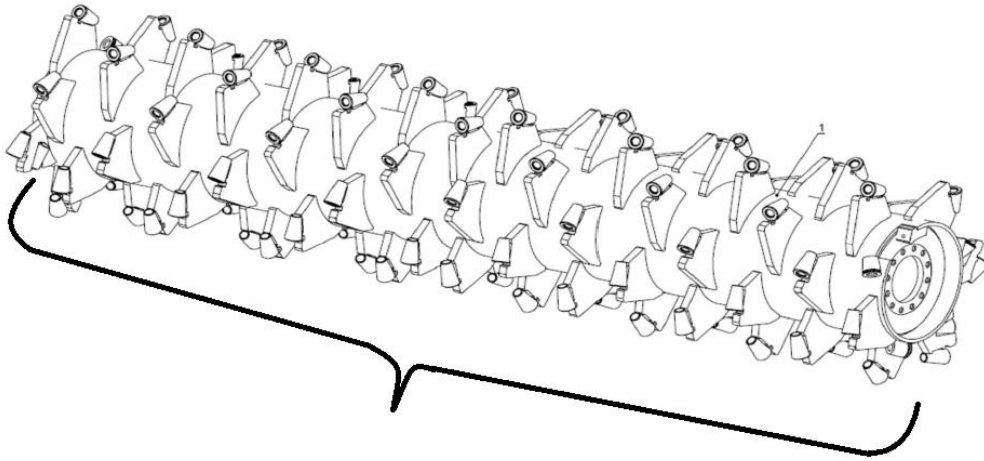
KUVA 15. Runko ja vastaterät

Roottorit ovat suunniteltu toimimaan pehmeällä ja kovalla maalla niiden käyttötarkoituksen mukaan. Valinnan mukaan teränpitimet ovat joko matalia tai korkeita. Pitimien sijoittamisella saadaan määriteltyä materiaalivirran segmentti roottorin leveys suunnassa. Kuvassa 16 on kuvattu periaatetta, kuinka terät kuljettavat materiaalia roottorin kolmeen osaan.



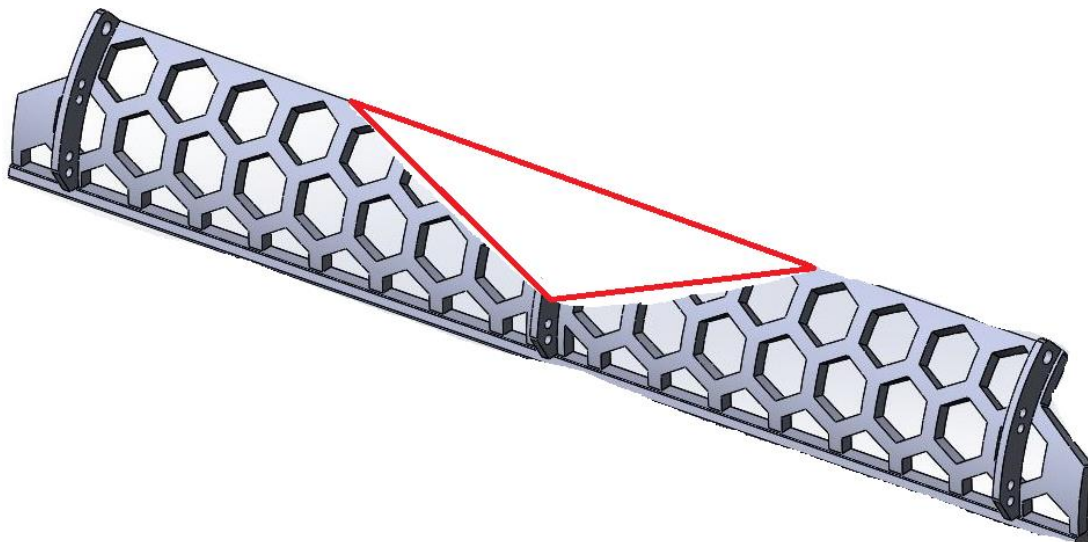
KUVA 16. Murskausjyrsimen roottori materiaalia kolmeen segmenttiin kuljettavalla korkeilla teränpitimillä

Yhteen segmenttiin jakaminen voisi selittää kulumisen keskeltä, koska silloin materiaalivirtaus olisi siinä suurimmillaan. Myös suurimmat kannot ja objektit pyritään murskaamaan roottorin keskiosalla, jotta jyrsin ei ala heilumaan ja objektit voitaisiin väistää traktorin renkaiden välistä. Kuvassa 17 on yhteen osaan materiaalia kuljettava roottori.



KUVA 17. Murskausjyrsimen roottori materiaalia keskelle kuljettavalla korkeilla teränpitimillä

Kulumista on tapahtunut myös liukuseula -mallissa, missä seulaluukku mahtuu menemään rungon ja roottorin väliin. Kulumisen malli on esitetty kuvassa 18. Kulumisen on alkanut seulan keskeltä yläreunasta hyvin läheltä vastaterää. Se on edennyt kohti seulan alareunaa samalla leventyen yläreunasta.



KUVA 18. Seulan kulumisen malli

3.2.2 Nopeus ja ajoparametrit

Murskausjyrsimillä ajetaan tietyillä kierrosnopeuksilla, mikä tehostaa terien leikkausominaisuuksia murskattavaa materiaalia vasten. Suuret nopeudet puhdistavat myös roottoria eikä se pääse täyttymään murskatusta materiaalista. Joskus ajossa tapahtuvan roottorin jumittumisen osa syynä voi olla liian pienet kierrosnopeudet.

Yleisesti käytettyjen murskausjyrsin mallien pyörimisnopeudet vaihtelevat välillä 7 - 12 metriä/sekunnissa (m/s)

4 KULUMISKOKEIDEN TESTAUSSUUNNITELMA

Testaussuunnitelman tarkoituksena oli tiedostaa vaurioanalyysissä käsiteltävän kulumistapauksen syyt eli muuttujat. Testausyksikön suunnittelussa kulumiseen vaikuttavat muuttujat otettaisiin huomioon, jotta testaaminen vastaisi mahdollisimman paljon oikeaa murskaustilannetta.

4.1 Wear calc -laskentaohjelman tulokset materiaalivalinnasta

Alkuperäisesti yritys on valinnut käytettävän materiaalin Wear calc -laskentaohjelman avulla. Testaamat tulokset osoittivat, että tavallinen rakenneteräs ja seulan materiaali eroavat selvästi kestävyydeltään toisistaan, koska seulan materiaali on kestävämpi, kun maa-aineksena oli graniitti tai muu yleinen kivi. Raekoon ollessa keskikokoinen ja törmäysnopeutena käytettiin roottorin pyörimisnopeutta, mikä oli noin 10m/s.

Kuitenkin materiaalin vaihtuessa hiekkaan ja saveen raekoon ollessa pieni, muuttui kestoikä huomattavasti huonompaan suuntaan. Erot syntyivät samankaltaisesti 0:sta 45 asteeseen valitulla kosketuskulmalla, mutta yli 45°:n kulma tasoitti erot tavallisen rakenneteräksen ja seulan materiaalin välillä. Suurimmalla kulmalla kestävin vaihtoehto oli perus rakenneteräs.

4.2 Kulumistestauksessa käytettävien muuttujien valinta

Testaukseen valittiin samat muuttujat, joka Wear calc -laskentaohjelmalla pystytään valitsemaan. Valitut muuttujat ovat pyörimisnopeus, kosketuskulma, maaperä, seulassa käytettävä materiaali ja aika. Testauksen avulla testausyksikön ja Wear calc -laskentaohjelman tuloksia voidaan verrata keskenään. Oman testausyksikön avulla yrityksellä on jatkossa mahdollisuus tehdä juuri omaan tarkoitukseen sopiva testausmenetelmä vaihtelemalla muuttujien määrää.

4.2.1 Pyörimisnopeus

Testauksessa tulisi tapahtua roottorin kaltaista pyörintää, mikä aiheuttaisi materiaalin liikehdinnästä johtuvan kulumisen. Mitä suurempi nopeus materiaalien kosketuksessa on, sitä enemmän ne kuluttavat toisiaan. Testausyksikön rummun pitäisi kestää todella suurta pyörimisnopeutta. Jotta testi vastaisi todellisuutta, on myllyn pyörimisnopeus

oltava 0–12 m/s välillä. Osa testeistä olisi hyvä tehdä suurimmilla nopeuksilla. Ensimmäiset testaukset tehdään traktorilla ja yrityksellä on mietinnässä pitkäaikainen ratkaisu.

4.2.2 Testilevyjen kulma

Kulumisen nopeuteen ja pinta-alaan vaikuttaa liikehtivän materiaalin kosketuskulma. Jos kosketuskulma on jyrkkä, kuluu vastakappale suurella voimalla pieneltä alueelta. Loivassa kosketuskulmassa puolestaan vastakappale kuluu pienellä voimalla suurelta alueelta. Murskausjyrsimestä lentävä materiaali koskettaa kulumaa vastakappaletta niin monessa eri kulmassa, että testauksessa ei pystytä käyttämään vain yhtä kosketuskulmaa. Kulmaa säätämällä saadaan selville kaikki seulan mahdolliset kulutusasennot, joita käytetään ajon aikana. Testilevyjä kosketuskulmaa pitäisi pystyä vaihtelemaan 0 - 90 asteen välillä, jonka avulla voitaisiin selvittää ovatko Wear Calc -laskentaohjelmalla saadut tulokset vertailukelpoisia.

Testilevyjen kulmaan päätettiin vaikuttaa tekemällä viisteet testilevyihin. Kokeissa käytetään 90 asteen levyjä ja 45 asteen reunaviistettyjä levyjä. Vaihtoehtoina testilevyjen kosketuskulman säätämiseen olivat välikiinnikkeet tai valmiiksi taivutetut testilevyt.

4.2.3 Maaperä

Kulumiseen vaikuttaa kosketuksessa olevien materiaalien ominaisuudet. Niitä ovat kovuus, sitkeys ja tiheys, jotka ovat suoraan yhteydessä kulumisen volyyymiin. Murskausjyrsimillä ajetaan monella erilaisella maaperällä, minkä seurauksena seulaan kohdistuu monen eri materiaalin ominaisuudet. Lähtökohtana on testata äärilaidat eli pienet raekoot, kuten hiekka ja savi. Jatkotesteihin myös moreeni, joka koostuu mullasta ja keskikokoisista kappaleista, sekä suuret raekoot, joita voisivat olla isot kivet.

Lisäksi testattaisiin joitakin vaihtoehtoja sekaisin. Jos yritys haluaa selvittää jonkin tietyn maaperän tutkimisen, on mahdollisuus testata myös sitä. Näitä voisivat olla tasalaatuinen hiekka, hiekoitusmurske ja sepeli.

4.2.4 Testilevyjen materiaali

Murskaustilanteessa maaperän kanssa kosketuksessa on murskausjyrsimen seula. Testauksessa seulan sijalla ovat testilevyt, jotka valmistetaan seulan sekä sitä

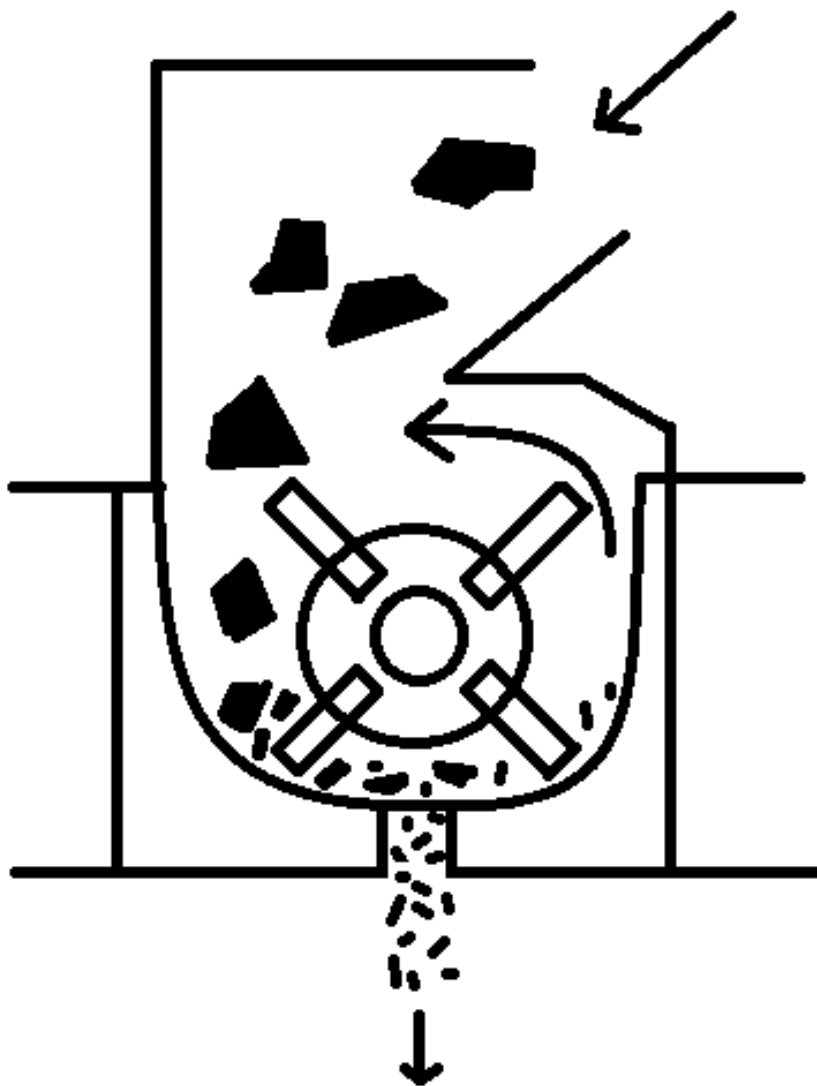
mahdollisesti korvaavista raaka-aineista. Ensimmäisellä testikierroksella kokeiltavat levyt olivat perus rakenneteräs sekä seulassa käytettävä kulutusteräs. Jatkotestaukseen otetaan mukaan myös seulaa kovemmat kulutusteräket. Vaihtoehtona on testata kovahitsattuja testilevyjä sekä kaivosteollisuuden kuljettimien syöttösuppiloissa käytettäviä kulutuslevyjä.

4.2.5 Aika

Tärkein kulumiseen liittyvä muuttuja on aika. Kosketuksessa olevat materiaalit kuluttavat toisiaan loputtomiin, kunnes toinen materiaali on hävinnyt kokonaan. Tästä syystä ensimmäisillä testauksilla pyritään erottamaan testilevyissä tapahtuneet selvät painohäviöt ja muodonmuutokset, jotka ratkaisevat testauskerroissa käytettävän ajan.

4.3 Testausyksikön vaatimukset ja suunnittelu

Toisen katselmoinnin jälkeen päätettiin testausvälineen olevan vasaramyllystä tehty oma versio. Kuvassa 19 nähdään vasaramyllyn periaate, missä materiaali hienonnetaan iskuvasaroilla. Materiaalin raekoon pienentyessä se seuloutuu pohjalla olevaan säiliöön.

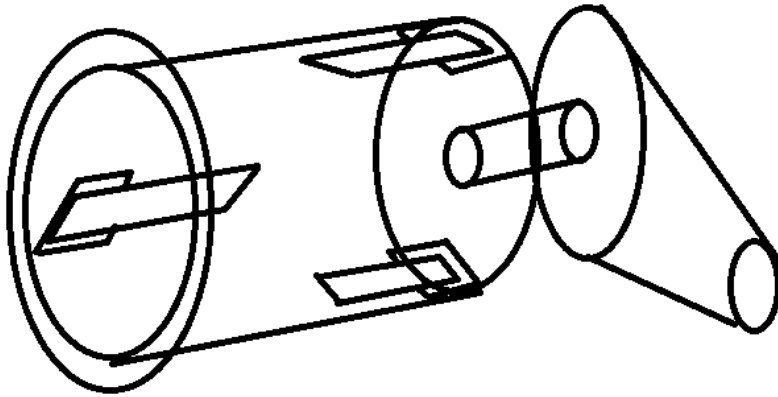


KUVA 19. Vasaramyllyn periaate

Vasaramyllyn muutoksia olisivat vasaroiden tilalle sijoitetut testilevyt, joita voidaan asettaa useampaa eri materiaalia samaan testiajoon. Seulovan pohjan tilalla olisi umpinainen pohja, jotta kaikki testilevyt olisivat samanlaisessa kokoaikaisessa kulutuksessa. Testilevyjen kiinnitykset tulisivat olla kiinteitä ja ne kestäisivät samassa asennossa kaikki testiajot, jotta kosketuskulmaan ei vaikuttaisi muu kuin testilevyihin tehdyt viisteet.

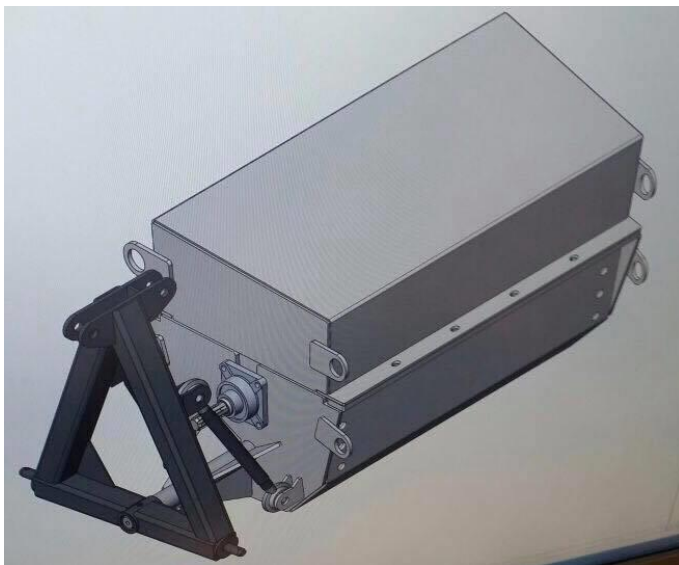
Testausyksikön tulisi pyöriä murskausjyrsimen roottorin nopeudella. Rummun päätyjä voisi tukea laakeristot. Sen toisesta päästä otettaisiin voimansiirto hihnavedolla ja vauhtipyörällä, jotka tasoittaisivat tulevia voimia. Voima voitaisiin tuoda joko

sähkömoottorilla tai traktorilla. Toisen päädyn tulisi olla avattava, jotta koepalat pystyttäisiin vaihtamaan sekä kuluttavaa materiaalia voitaisiin lisätä.



KUVA 21. Esimerkki testimyllystä

Seuraavana työvaiheena oli suunnitella testausyksikkö, joka lopuksi piirrettiin Solidworks -suunnitteluohjelmalla. Testausyksikössä on avattava kansi, josta materiaalia voidaan kaataa sisään. Päistä laakeroitu akseli pyörittää siihen hitsattuja laippoja, joihin pystytään kiinnittämään testilevyt. Testilevyjen määrää ja kulmaa voidaan säädellä laippojen rei'ityksen avulla.



KUVA 23. Testausyksikkö kokonaisuus

Testilevyt ovat laserleikattuja suunnikkaan muotoisia kappaleita, joissa on pultinreiät kiinnitystä varten. Testilevyjen tunnistenumero kirjoitettiin kohtaan, missä sen pinta on

vastakkain laipan tai välikappaleen kanssa. Kuvassa 24 on perusrakenneteräksestä valmistettu testilevy ennen mylytystä.



KUVA 24. Perus rakenneteräksestä valmistettu testilevy

5 KULUMISKOKEIDEN TULOKSET

Tulosten tarkastelussa verrattiin testauslevyissä tapahtuneita pyörityksiä, lohkeamisia ja murtumisia. Erot voitiin tarkastaa silmämääräisesti tai vatupassilla. Levyjen massatappiot saatiin selväksi punnitsemalla kappale kolme kertaa ennen ja jälkeen testiä. Kirjanpidon lisäksi levyistä otettiin kuvamateriaalia.

Ensimmäiset testausmyllytykset osoittivat hiekoitusmurskeen olevan liian hentoa ja rakeet pölyttyivät jo muutamassa minuutissa. Samoin kävi hiekkapuhalluksessa käytettävälle kvartsille, minkä seassa mylly pystyi pyörimään pidemmänkin aikaa ilman minkäänlaisia testipaloihin syntyneitä muodonmuutoksia. Jäätynyt hiekka puolestaan pakkaantui ja kulutti paljon, mutta todella epätasaisesti. Hiekka myös lämpeni ja kuivui ajon aikana, mikä toi epävarmuutta saatuihin testituloksiin.

Ainoat vertailukelpoiset maaperät olivat märkä hiekka sekä kuvassa 25 käytetty märkä sepeli. Kuivassa hiekassa testilevyt kaivoivat itselleen kuopat, jonka seurauksena hiekka väistyi jo muutamassa minuutissa.



KUVA 25. Testimyllytyksellä

Traktoria ajettiin, sillä kierrosnopeudella, että testilevyjen kehänopeus vastaisi murskausjyrsimen roottorin kehänopeutta. Myllytystestit antoivat vertailukelpoisia tuloksia jo kolmenkymmenen minuutin kohdalla, jonka jälkeen testilevyt irrotettiin, pestiin ja punnittiin.

Testilevyjen vertailussa suurimmat erot olivat painoeroissa perus rakenneteräksen keventyessä neljä kertaa enemmän, mitä seulassa käytettävä materiaali. Visuaalisesti testilevyt olivat samassa suhteessa pyöristyneet etureunasta sekä ylänurkkauksesta (kuva 26).



KUVA 26. Perus rakenneteräs vasemmalla ja seulassa käytetty materiaali oikealla

Seuraavissa testeissä olivat mukana myös seulan materiaalia kovemmat teräkset. Nämä materiaalit kestivät kulutusta huomattavasti paremmin jättäen suuren painoero välin pehmeisiin teräksiin. Testit osoittivat, että mitä paremman kulutusta kestävä teräksen voi valita kulutuskohteeseen, sen pidempi kestoikä saavutetaan. Kuvassa 27 ovat perus

rakenneteräksen ja seulan materiaalin lisäksi kovemmat materiaalit, jotka ovat olleet samassa myllytyksessä.



KUVA 27. Pehmeimmästä teräksestä kovimpaan vasemmalta oikealle

Jotta Wear calc -laskentaohjelmasta saadut tulokset voitaisiin todentaa, testejä tehtiin eri pyörimisnopeuksilla sekä viistetyillä testilevyillä. Pyörimisnopeuden nostaminen kahdeksasta metriä sekunnista kahteentoista metriä sekuntiin lisäsi kulumisprosessia varsinkin kuluttavissa olosuhteissa. Samoin kulumisen kasvaminen voitiin havaita viistetyillä testilevyillä, missä materiaali pyrkii liukumaan pidemmän matkaa paineenalaisena testilevyä vasten. Wear calc -laskentaohjelman muuttujia olivat maaperä, kosketuskulma ja pyörimisnopeus, jotka voitiin testata myllytyksessä. Kuitenkin järjestys kulumisessa pysyi joka testauksessa samana eli kovin teräs kului vähiten. Viistetyissä levyissä syntyneet painoerot erottuivat visuaalisesti laserleikkaus jäljen häipyessä testilevyn pinnalta, kuten kuvassa 28.



KUVA 28. Viistetyt testilevyt pehmeimmästä teräksestä kovimpaan vasemmalta oikealle

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tutustuttiin tilaajan ongelmaan, joka oli liian nopeasti kuluva murskausjyrsimen seula. Lähtökohtana oli tutkia käytetyn seulan kuluneisuuden aiheuttajia ja miettiä sitä ehkäiseviä toimenpiteitä. Ensimmäisenä tavoitteena oli tiedostaa aihealueen teoria ja muuttajat, joiden pohjalta tehtiin opinnäytetyöhön kuuluva kirjallinen tutkimus. Teoriaa pyrittiin soveltamaan käytetyn seulan kulumisongelmien selvittämiseksi tekemällä vaurioanalyysi. Kun syyt vaurioon ja mahdolliset muuttajat saatiin tunnistettua, siirryttiin testausyksikön suunnitteluun. Samalla suunniteltiin testausmenetelmä, jotta testilevyt olisivat keskenään vertailukelpoisia. Ensimmäisissä testausmyllytyksissä todennettiin testausyksikön toimivuus ja materiaalien kestävyyskokeet voitiin aloittaa. Uudella testilaitteistolla on saavutettu opinnäytetyöhön asetetut tavoitteet ja uusia kehitysideoita on mietittävänä. Testaukset jatkuvat yrityksen toimesta testausyksikön parissa, jotta paras mahdollinen ratkaisu saataisiin selville.

Tarkoituksena oli testata samoilla muuttujilla yhtä aikaa useiden mahdollisten seulan valmistusmateriaaleista valmistettujen testilevyjen kestävyyttä. Testien perusteella ainoastaan kovimman teräksen lisääminen seulaan ei ole lopullinen ratkaisu vaan kulumiseen vaikuttavat lisäksi pyörimisnopeus, kosketuskulma ja materiaali. Testaukset todistivat myös, että Wear Calc -laskentaohjelman tulokset olivat suuntaa antavia, mutta eivät täysin luotettavia.

Seulan testaamiseksi mietittiin jo valmiita testausasemia, joita on paljon käytössä esimerkiksi kaivosteollisuudessa. Testausasemien ongelmina kuitenkin olivat liian alhainen nopeus, ainoastaan pieni rakeisen materiaalin käyttö ja suora kosketuskulma. Tulosten tarkastelumenetelmiä pystyttiin hyödyntämään myös tämän työn kokeissa, jossa punnitaan materiaalihäviö ja verrataan alkuperäiseen kappaleeseen.

LÄHTEET

1. Kivioja, S. – Kivivuori, S. – Salonen, P 2007. Tribologia – Kitka, kuluminen ja voitelu. Helsinki: Hakapaino Oy.
2. DIN 50320. 1979. Wear; Terms, Systematic Analysis of Wear Processes, Classification of Wear Phenomena. Saatavissa: <https://www.beuth.de/de/norm/din-50320/1647273>. Hakupäivä 7.3.2018.
3. Parikka, R. – Lehtonen, J 2000. Kulumismekanismit ja niiden merkitys vierintälaakereiden eliniälle. Espoo: VTT valmistustekniikka.
4. Stolarski, T. A. 1990. Tribology in Machine Design. Oxford: Butterworth-Heineman.
5. Kovahitsaus. Korjaushitsauskäsikirja. Osa 3. Helsinki: Esab Oy. Saatavissa: <http://docplayer.fi/3816097-Korjaushitsauskasikirja.html>. Hakupäivä 9.2.2018.
6. SFS-EN ISO 6508-1. 2006. Kovuusmittaus. Rockwell. Helsinki: Finfocus Instruments Oy. Saatavissa: <http://static.ecome.fi/upload/43/Kovuus%20Rockwell.pdf>. Hakupäivä 9.2.2018.
7. NEWAGE Hardness Testers. USA: Ametek Inc. Saatavissa: <http://www.hardnesstesters.com/test-types/brinell-hardness-testing>. Hakupäivä 9.2.2018.
8. SFS-EN ISO 6506-1. 2006. Kovuusmittaus. Brinell. Helsinki: Finfocus Instruments Oy. Saatavissa: <http://static.ecome.fi/upload/43/Kovuus%20Brinell.pdf>. Hakupäivä 20.3.2018.
9. Lämpökäsittelyn tilaus. Hilamet Oy. Saatavissa: <https://asiakas.kotisivukone.com/files/hilamet.tarjoaa.fi/hilametkovuustaulukko.pdf>. Hakupäivä 11.4.2018.