

Tuntemalla olosuhteet voit optimoida materiaalit kulutussovelluksiin

Kulumisen testauksella voidaan optimoida materiaalien valintaa erilaisiin käyttötarkoituksiin ja ennakoida kunnossapitojen aikataulutusta.

KULUMISEN hallinnassa kokonaisuuden ymmärtäminen on oleellisin asia, koska kulumisen riippuu koko ympäristöstä. Monet, toisiinsa sidoksissakin olevat muuttujat kuten lämpötila ja ilmankosteus luovat lukemattomia erilaisia olosuhtedemahdollisuuksia. Tilanteiden moninaisuus tekee kulumisen tutkimuksesta haastavan alan, sillä kulumisen kesto ei ole suoranaisten materiaaliominaisuus, kuten esimerkiksi kovuus, vaan se vaihtelee eri ympäristöissä.

Syvämpää ymmärrystä tapahtumista materiaalissa ja eri tekijöiden yhteydestä ja vaikuttavuudesta sen etenemiseen hankitaan pala palalta. Tampereen teknillisessä yliopistossa oleva kulumisosaamiskeskittymä Tampere Wear Center (TWC) on osallistunut ongelman ratkaisemiseen pitkäjänteisesti. Tässä apuna ovat olleet FIMECC:n monivuotiset hankkeet DEMAPP ja BSA, jotka ovat mahdollistaneet pidemmän aikavälin suunnitelmat.

Kulumisen testaus kannattaa

Kulumisen on monimutkainen tapahtuma, johon vaikuttavat useat eri tekijät. Niiden vaikutuksia on vaikea arvioida etukäteen. Testaamalla voidaan määrittää materiaalien sopivuutta kuhunkin käyttötarkoitukseen, optimoida materiaalin valintaa ja oikein toteutettuna tietoja voidaan käyttää kunnossapidon suunnitteluun ja aikataulutukseen.

Materiaalien käytettävyyden testausta ja kulumisen kestoja voidaan tehdä

kenttätestauksena, jolloin materiaalit ovat tarkoituksenmukaisessa käyttöympäristössään. Kenttätestauksen ongelmana ovat kuitenkin vaihtelevat olosuhteet, minkä johdosta varsinaisia syitä kunkin materiaalin menestymiselle on vaikea arvioida. Lisäksi testit ovat usein kalliita toteuttaa ja materiaalien vertailu on hyvin haastavaa, sillä lukuisat tekijät aiheuttavat vaihtelua tilanteeseen.

Esimerkiksi maansiirtokoneen kauhan tapauksessa muuttujina ovat muun muassa ympäristön säätö, kuljetettavan kiviainekset laatu ja koko sekä myös inhimilliset tekijät kuten koneenkuljettajan työskentelytapa. Lukuisista muuttujista johtuen tarkkaa vertailtavaa tietoa eri materiaalien välille on hankalaa saada, sillä vaikka kenttätestinäytteet olisivat asetettuina vierekkäin esimerkiksi kauhaan tai seulakoneen kulutusosiksi, ne saattavat altistua käytännössä erilaisille kuormitusolosuhteille kiven liikkeen myötä (ks. Vuorinen ym., 2016).

Laboratorio-olosuhteissa muuttujien määrää voidaan vähentää oleellisesti, mikä parantaa tulosten luotettavuutta ja vertailtavuutta materiaalien kesken. Parhaimmillaan kulumistestauksessa päästään mahdollisimman todenmukaiseen olosuhteiden mallintamiseen niin, että olosuhteet ovat hallitut.

Käytännössä tämä kuitenkin tarkoittaa jonkinasteisen kompromissin tekemistä hallittavuuden ja todellisuustason välillä. Esimerkkinä tästä on testauksessa käytettävän kiviain-

neksen valinta: todellisissa olosuhteissa kiven kokojakauma voi olla laaja ja vaihdella metrin kokoisista järkäleistä hiekkaan. Paremman vertailtavuuden ja toistettavuuden takia voi kuitenkin olla hyödyllistä käyttää testauksessa kapeaa kokojakaumaa, jotta tuloksissa näkyvät erot voidaan varmentaa materiaaleista johtuviksi eikä satunnaisten kokojakaumavaihtelun johdosta tapahtuneiksi poikkeamiksi (ks. Ratia 2015).

Kulumistestimenetelmän valinnassa tulee olla tarkkana, jotta tuloksista saadaan kaikki hyöty irti. Jos testauksen aiheuttama ja oikeassa koneosassa tapahtuva kulumismekanismi eivät ole samat, eivät testin tulokset ole välttämättä relevantteja.

Materiaalin kulumisen kesto voi riippua suurestikin siitä, millaisella kulumismekanismilla materiaalia poistuu pinnasta, esimerkiksi naarmuttuuko se vähän kerrallaan vai lähteekö siitä iskujen myötä kerralla isompia paloja. Varsinaisten kulumistulosten lisäksi oleellista onkin, että myös kulumispinnat ja kulumisen aiheuttamat muutokset materiaalissa analysoidaan.

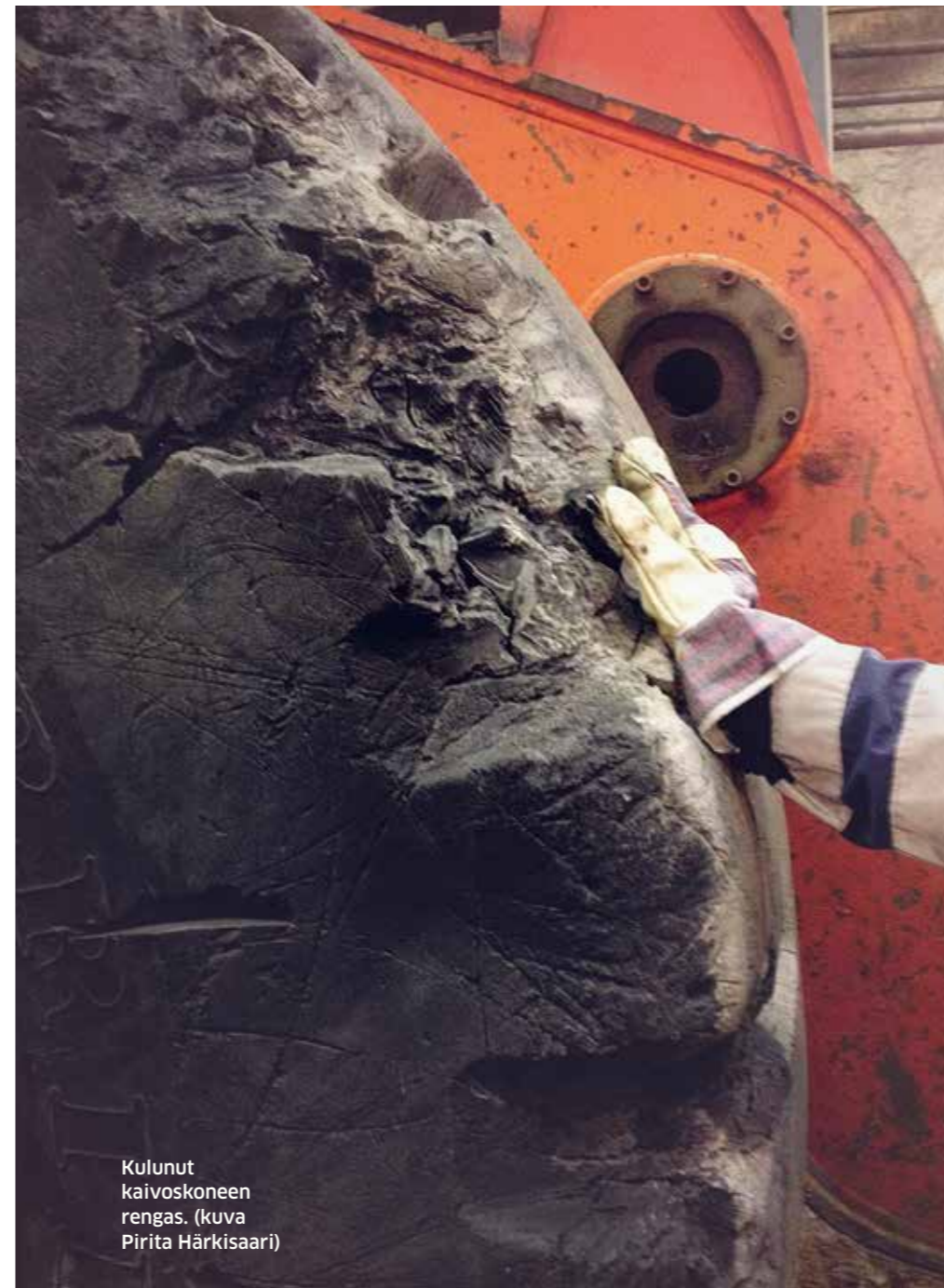
TWC on erikoistunut raskaan kulumisen testaamiseen

Jotta kulumistestituloksilla voidaan saavuttaa käytännön hyötyjä, on usein tarpeen räätälöidä testimenetelmiä mahdollisimman hyvin todellisuutta mallintaviksi. TWC on erikoistunut testimenetelmiin, jotka on kehitetty jokin sovellus, koneenosa tai kulutuspaala mielessä pitäen.

Vakiintuneimmat standarditesti-menetykset, kuten kumipyöräabraasio, eivät usein juurikaan mallinna käytännön olosuhteita. Jos testi- ja todelliset olosuhteet eivät korreloi keskenään, ei testituloksista saada parasta mahdollista hyötyä irti. Pahimmillaan tulokset voivat johtaa harhaan.

Esimerkkeinä räätälöidyistä kulumistestauslaitteista TWC:llä voidaan mainita murskaava pin-on-disc ja puristava murskain, jotka simuloivat hieman erilaisia murskaustapahtumia. Murskaavassa pin-on-discissä kahden toistensa suhteen liikkuvan pinnan välissä murskataan kiviä, jolloin pinnat

Murskaava pin-on-disc murskaa kiveä kahden näytteen välissä. (kuva TTY:n kuva-arkisto)



Kulunut kaivoskoneen rengas. (kuva Pirita Härkisaari)



VILMA RATIA,
tutkijatohtori,
Tampereen teknillinen
yliopisto,
vilma.ratia@gmail.com



NIKO OJALA,
tohtorikoulutettava,
Tampereen teknillinen
yliopisto,
niko.ojala@tut.fi



KATI VALTONEN,
projektipäällikkö,
Tampereen
teknillinen yliopisto,
kati.valtonen@tut.fi



VUOKKO HEINO,
tohtorikoulutettava,
Tampereen teknillinen
yliopisto, vuokko.
heino@tut.fi



naarmuttuvat.

Puristava murskain puolestaan murskaa soraa kahden pinnan välissä jopa 86 kN voimalla kohtisuoralla liikkeellä. Näissä testeissä voidaan hallita käytettyä kuormaa sekä soran ominaisuuksia.

Näytteet ovat usein levyjä tai tankoja, mutta toisinaan näyte kannattaa suunnitella vastaamaan niitä muotoja, jollainen testattavan materiaalin käyttökohde on. Tästä esimerkkinä on kulutusosan reunan muotoon suunniteltu näyte suuren nopeuden slurry-pot laitteistoon, jossa materiaaleja voidaan testata lähes minkä muotoisena vaan hyvin erilaisissa olosuhteissa, suuren partikkelikoon liete-eroosiosta kuiviin olosuhteisiin näytteitä kivipedin sisällä pyörittämällä. Slurry-potilla on simuloitu lietepumppuja, putkistoja, kiven porausta sekä esimerkiksi kaivoksissa käytettyjä väl-

TIETOJA VOIDAAN KÄYTTÄÄ KUNNOSSAPIDON SUUNNITTELUUN JA AIKATAULUTUKSEEN.

piä, joissa materiaalit joutuvat kovalle koetukselle.

Verrattaessa laboratorioissa testattuja näytteitä oikeissa kaivosolosuhteissa käytettyihin kappaleisiin on todettu, että oikein valituilla laboratoriotesteillä voitiin päästä samankaltaisiin kulumisnopeuksiin ja pinnan kulumismekanismeihin sekä pinnan alla tapahtuvaan muokkautumiseen, kun taas esimerkiksi perinteisillä hiekkapaperitesteillä ei vastaavutusta usein saavuteta (ks. Vuorinen ym., 2016 ja Valtonen ym., 2016). Todellisten käyttöolosuhteiden mallintaminen on siis mahdollista myös laboratoriotesteissä, vaikka menetelmiä tuleekin räätälöidä ja kehittää tapauskohtaisesti.

Tulosten tulkinnassa pitää olla tarkkana

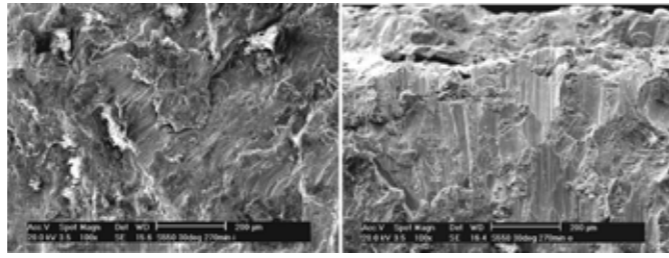
Testauksella päästään käsiksi siihen, mitä pinnassa tapahtuu sen kuluessa sekä siihen, mitkä asiat kulumiseen eniten vaikuttavat, mutta tulosten tulkinnassa tulee olla tarkkana. Raskaat kulumistestausmenetelmät ovat yleensä toiminnaltaan varsin yksinkertaisia, mutta niissäkin vallitsevat paikalliset olosuhteet pitää tuntea niiden vaikuttaessa siihen, missä osassa näytettä kulumista tapahtuu (ks. Ratia, 2015).

Esimerkiksi jos käytännön sovelluksessa kuluvan osan reunat ovat paljaana, ne kuluvat usein paljon. Vastaavasti toisissa sovelluksissa reunakulumista ei tapahdu. Tällöin kannattaakin miettiä, onko kulumisen erityisesti reunoissa ongelma vai ei ja vastaako laboratoriotesteissä tapahtuva kulumisen kyseistä tilannetta.

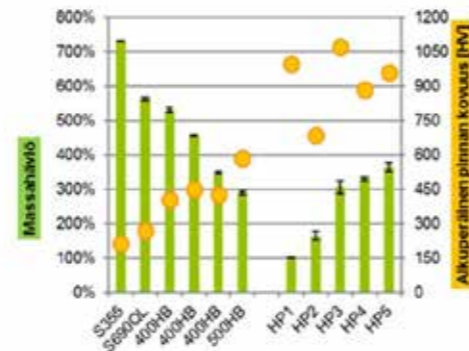
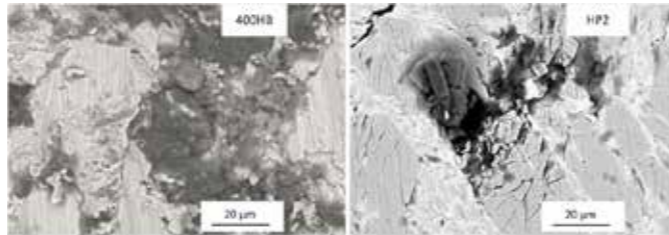
Materiaalien testaus on usein iso satsaus, eikä siitä saatavaa hyötyä kannata vähentää seikoilla, jotka olisivat helposti vältettävissä. Menetelmän valinnan lisäksi sopivien parametrien määrittäminen muun muassa kuormituksen ja käytettävän kivilaadun suhteen ovat tärkeitä.

Yksi monesti liian vähäiselle huomiolle jäävä asia on näytteenvalmistus. Näytteiden tulisi olla keskenään samanlaisia sekä mitoiltaan, pinnanlaadultaan että käsittelyltään. Jos näytteissä on suojaamattomia reunoja, viisteytetäänkö niitä? Halutaanko testata toimitustilaista materiaalia, vai olisiko sitä hyvä jollakin tavalla käsitellä ennen koetta?

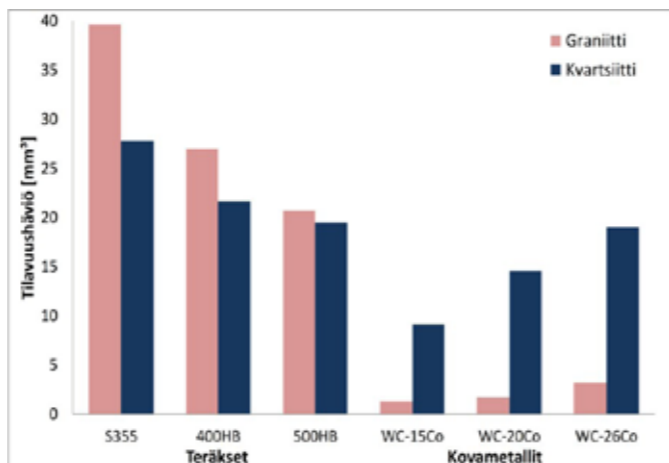
Toinen testien onnistumisen kannalta oleellinen asia on



Eri kohdissa tapahtunutta kulumista: keskiosan lyhyitä naarmuja vasemmalla ja reunaosan leikkautumista oikealla.



Eri materiaalien naarmuttavan abraasion kestoa (HP=Hitsauspinnoite) sekä teräksen muokkautunutta pintaa vasemmalla ja halkeilevaa hitsauspinnoitetta oikealla.



Graniitin ja kvartsiitin kuluttavuus naarmuttavassa abraasiassa (ks. Ratia ym., 2014).

niiden riittävä suoritus aika. Houkutus liian lyhyiden testien tekemiseen voi olla suuri, koska niitä saa tehtyä enemmän ja halvemmalla, mutta usein yllättävät ilmiöt tapahtuvat vasta viiveellä.

Käytännössä se tarkoittaa sitä, että kulumisnopeus ja jopa kulumistapa voivat vaihdella materiaaleilla testin kestosta riippuen. Kuluttamattomassa pinnassa tapahtuvat ilmiöt ovat erilaisia kuin jo kuluneessa, muokkautuneessa ja epätasaisessa, mahdollisesti osittain kivisessä pinnassa esiintyvät tapahtumat.

Kolmantena seikkana on vertailumateriaalin valinta ja käyttö testeissä. Vertailumateriaaliksi kannattaa valita sellainen materiaali, jonka ominaisuudet tunnetaan mahdollisimman hyvin ja jonka kulumistuloksissa ei ole suurta vaihtelua samanlaisissa olosuhteissa.

Vertailumateriaalin käyttö on erityisen tärkeää, jos testejä tehdään monessa eri erässä, tai jos testeissä käytetään luonnonkiveä, jonka ominaisuuksissa voi olla luonnollista vaihtelua. Vertailumateriaalin avulla voidaan varmistaa, että testi ja siinä käytettävät materiaalit toimivat samalla tavalla.

Kovuus ei ole kulumiskestävyys

Kovuuden merkitys kulumiskestävyteen riippuu olosuhteista, eikä suurempi kovuus ei aina vähennä kulumisen määrää. Esimerkiksi kivenmurskausovelluksia mallintavassa viiden toista kaupallisen 400 HB-kovuusluokan kulutusteräksen vertailussa havaittiin, että ero abrasiivisen eli naarmuttavan

Lisätietoja

- » www.tut.fi/twc
- » Twitter: @TampereWearCent ja @Materials_TUT
- » Ratia, V., 2015. Behavior of Martensitic Wear Resistant Steels in Abrasion and Impact Wear Testing Conditions. Väitöskirja, Tampereen teknillinen yliopisto.
- » Vuorinen, Ojala ym., 2016. Erosive and abrasive wear performance of carbide free bainitic steels – comparison of field and laboratory experiments. Lehdessä Tribology International.
- » Valtonen, Ratia ym., 2016. Comparison of laboratory wear test results with the in-service performance of cutting edges of loader buckets. Nordtrib-konferenssissa (painossa).
- » Ojala, Valtonen ym., 2014. Effects of composition and microstructure on the abrasive wear performance of quenched wear resistant steels. Lehdessä Wear.
- » Ratia, Heino ym., 2014. Effect of abrasive properties on the high-stress three-body abrasion of steels and hard metals. Lehdessä Tribologia.
- » Heino, Valtonen ym., 2013. Characterization of the effects of embedded quartz layer on wear rates in abrasive wear. Lehdessä Wear.



Slurry-pot tuottaa näytteisiin samanlaista kuormaa kuin esim. seulakoneet. (kuva TTY:n kuva-arkisto)

kulumisen kestävydessä voi olla jopa 50 prosenttia (ks. Ojala ym., 2014).

Perimmäinen syy löytyi terästen erilaisista muokkautumistavoista, jotka vaikuttivat terästen soveltavuuteen kyseisiin käyttöolosuhteisiin. Samanlaiset testit tehtiin myös hitsauspinnoitteille, joista neljästä kovimmasta pinnoitteesta kolme kesti testiolosuhteissa huonoiten.

Vertailtaessa eri materiaaleja on pelkän massahäviön lisäksi seurattava myös pinnoissa tapahtuneita kulumismekanismeja ja vaurioita, koska samaa luokkaa oleva massahäviö voi johtua hyvinkin erilaisista vauriomekanismeista. Siinä missä naarmuttava kuluminen voi pysyä samalla tasolla varsin pitkäänkin, voivat lukuisat iskeytymät aiheuttaa muokkautumista ja muutoksia materiaalin rakenteessa ja siten myös muuttaa sen käyttäytymistä.

Toisinaan kovin kivi ei kulutakaan eniten

Kivistä puhutaan usein yleistäen, vaikka koostumus ja rakenne vaikuttavat merkittävästi niiden rooliin kulumisolosuhteissa. Esimerkiksi leukamurskaimissa mangaaniteräs kuluu enemmän murskatessaan helposti murskautuvaa kiviainesta (alhainen puristuslujuus).

TODELLISTEN KÄYTTÖOLOSUHTEIDEN MALLINTAMINEN ON MAHDOLLISTA MYÖS LABORATORIOTESTEISSÄ.

Tämä johtuu siitä, ettei mangaaniteräs pääse murskaantumisen aikana kunnolla muokkauslujittumaan. Toisinaan kulumisen yhteydessä kivet voivat muodostaa pintaa suojaavan kerroksen tunkeutumalla pintaan ja muodostaen materiaalista ja kivistä koostuvan komposiittikerroksen. (ks. Heino ym., 2015)

Yhden ominaisuuden perusteella on hankalaa arvioida tulevaa kulumista-pahtumaa. Esimerkiksi naarmuttavaa murskausta testattaessa kvartsiitti, joka oli kovin testeissä käytetty kivi, tuottikin teräksillä vähäisemmän kulumista kuin graniitti. Kovametalleilla taas kvartsiitti aiheutti kertaluokkia suuremman kulumisen, mikä taas johtui nimenomaan erilaisesta kulumismekanismista näissä keskenään aivan erityyppisissä materiaaleissa.

Kova ja hauras kvartsiitti murskautui pienemmiksi partikkeleiksi, jotka taas pystyivät tunkeutumaan kovametallin karbidit sitovaan, pehmeämpään metalliin ja kuluttamaan sen pois, jolloin myös

karbidit irtosivat ja niiden tuoma suoja kulumista vastaan katosi. Kulumismekanismi siis riippui kiviaineksestä.

Tutkimustuloksia verkossa

Tampere Wear centeriltä on valmistunut viime vuoden puolella väitöskirja, jossa on tutkittu kulumiskestävien terästen käyttäytymistä erilaisissa iskumaisissa ja naarmuttavissa kulumistestausolosuhteissa (ks. Ratia, 2015). Tekeillä on myös monta muuta väitöskirjaa, muun muassa eri laboratoriotestausmenetelmien ja kenttätestauksen vertailtavuudesta, sekä kulumiskestävien terästen sovelluslähtöisestä testauksesta kaivosteollisuudessa.

Aiheeseen liittyviä julkaisuja voi käydä selaamassa ja lukemassa Tampereen teknillisen yliopiston TUTCRIS-portaalissa (www.tut.fi/tutcris), joka on kaikille avoin julkaisujen säilytyspaikka. Lisätietoja löytyy myös TWC:n laitteistosivustolta (www.tut.fi/twc), ja ajankohtaisimpia uutisia TWC:n Twitter-tililtä.