

Tutkimus autojen hammashihnavälitteisen jakopään kestä-
vyysongelmista

Jukka Sassi

Kone- ja tuotantotekniikan opinnäytetyö
Tuotantotekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2014

ALKUSANAT

Haluan kiittää saamastani tuesta ja avusta koko Lapin ammattikorkeakoulun materiaalin tutkimusyksikköä. Erityisesti haluan kiittää yliopettaja Timo Kauppia innostuneesta asenteesta sekä avusta työn ja tutkimusten toteuttamisessa. Isoin kiitos kuuluu kuitenkin perheelleni ja erityisesti vaimolleni, joka järjesti aikaa opinnäytetyön tekemiselle sekä kannusti ja tuki työn eri vaiheissa.

Keminmaassa 24.5.2014

Jukka Sassi

TIIVISTELMÄ

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU, Tekniikka

Koulutusohjelma:	Kone- ja tuotantotekniikka
Opinnäytetyön tekijä:	Jukka Sassi
Opinnäytetyön nimi:	Tutkimus autojen hammashihnavälitteisen jakopään kestävyysongelmista
Sivuja (joista liitesivuja):	44 (0)
Päiväys:	25.5.2014
Opinnäytetyön ohjaaja:	DI Mari-Selina Kantanen
<p>Tässä opinnäytetyössä tehtiin tutkimustyötä autojen hammashihnavälitteisen jakopään kestävyysongelmista. Tutkimukset suoritettiin Lapin ammattikorkeakoulun ja Aalto-yliopiston kanssa yhteistyössä. Työn tavoitteena oli selvittää, mitkä tekijät aiheuttavat jakopään hammashihnan ennenaikaista kulumista.</p> <p>Tutkimuksen teoriaosiossa on kuvattu yleisesti hammashihnan käyttötarkoitusta ja -ympäristöä. Tässä osiossa on myös eritelty työssä käytettyjä tutkimusmenetelmiä sekä tutkimuksessa hyödynnettyjä koneita ja laitteita. Menetelmillä oli tarkoitus selvittää, mitä autojen jakopäistä löytyvä ruskea pöly sisältää.</p> <p>Opinnäytetyön aineistona on käytetty aiheeseen liittyvää tietokirjallisuutta ja internet-sivustoilta löytyvää tietoa. Lisäksi taustamateriaalina on hyödynnetty Tiehallinnon tekemiä selvityksiä. Tutkimuksessa on myös käytetty henkilöhaastatteluiden tuloksia.</p> <p>Tutkimuksessa saatiin selville, että eri merkkisten autojen hammashihnapyörien materiaaleissa on eroa. Eroa on mm. materiaalien kovuudessa ja huokoisuudessa. Tutkimuksessa myös havaittiin teiden kunnossapitoon käytettävien kemikaalien aiheuttavan korroosiota hammashihnapyörissä.</p>	
Asiasanat: hammashihna, jakopää, tutkimus, hihnapyörä, vauriot, pöly, kuluminen	

ABSTRACT

LAPLAND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology

Degree programme:	Mechanical and Production Engineering
Author:	Jukka Sassi
Thesis title:	Investigation on abrasion resistance of a belt driven automotive timing system
Pages (of which appendixes):	44 (0)
Date:	25 May 2014
Thesis instructor:	Mari-Selina Kantanen, MSc (Tech.)
<p>The purpose of this study is to describe sustainability problems of car timing belts. The studies were carried out in cooperation with Lapland University of Applied Sciences and Aalto University. The purpose of this study is to determine at which factors cause premature wear on the separator head of car timing belts.</p> <p>There is described cars tooth pulley's in the use and environment part of the study. This section also specifies used research methods and machineries. The purpose of this part is to find out what is the so called brown dust which ends up to the separator head, is.</p> <p>The research material consist of the specific field based literature and Internet pages. In addition, the Road Administration's studies have been utilized as background material. The results of personal interviews are also used in the study.</p> <p>The main finding of this study is that there are significant differences between materials which car manufacturer use in order to make cars tooth pulleys. The differences occur for example in the hardness of material and its porosity. Furthermore, this study finds out that road maintenance chemicals cause corrosion on tooth pulleys.</p>	
Key words: timing belt, separator head, research, pulley, damage, dust, abrasion.	

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO	7
2 HAMMASHIHNA JA SEN KÄYTTÖTARKOITUS HENKILÖAUTOSSA	8
2.1 Hammashihnan historia	8
2.2 Hammashihnan rakenne	9
2.3 Hammashihnan käyttötarkoitus ajoneuvossa.....	11
2.4 Hammashihnan keskimääräinen vaihtoväli	11
2.5 Common rail	12
2.6 Jakopäähihnan vaurioitumisen yleisimmät syyt	13
3 JAKOPÄÄN HAMMASHIHNAAN KÄYTTÖYMPÄRISTÖ.....	15
3.1 Kalsium- ja natriumkloridin haittavaikutukset	15
3.2 OKTO-murskepitoisen asfaltin rakenne ja koostumus.....	17
4 KOEMATERIAALIT JA KÄYTETYT TUTKIMUSMENETELMÄT	18
4.1 Näytteiden jaottelu ja hankkiminen.....	18
4.2 Näytteiden valmistus ja mikrorakennetutkimus	18
4.3 FESEM -tutkimus	19
4.4 Tutkimusten toteuttaminen	20
4.5 Suolasumukaappi.....	21
4.6 Hihnapyörien kovuusmittaus	23
4.7 Haastattelut	24
4.7.1 Ennen aikainen kulumista ei ole esiintynyt.....	24
4.7.2 Ennen aikaista kulumista on esiintynyt.....	24
5 TUTKIMUSTULOKSET	25
5.1 Hammashihnapyörien yleis- ja mikrokovuusmittausten tulokset.....	25
5.2 Hammashihnapyörien kemiallinen koostumus.....	27
5.2.1 FESEM -tutkimuksen tulokset.....	27
5.3 OKTO-murskepitoisen asfaltin koostumus	29
5.4 Jakopääpölyn alkuaineanalyysit	30
5.5 Suurenuskuvat jakopääpölystä	31
5.6 Suolasumukaapin tulokset	33
5.7 Haastattelututkimuksen tulokset.....	37
5.8 Hammashihnapyörien mikrorakennekuvat.....	38

6 POHDINTA.....	41
LÄHTEET	43

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Lapin ammattikorkeakoululle. Työn tarkoituksena oli selvittää, mitkä tekijät aiheuttavat jakopään hammashihnan ennenaikaista kulumista. Innoituksen aiheeseen sain omasta mielenkiinnosta koneisiin ja halusin selvittää, miksi autojen hammashihnat kuluvat liian aikaisin. Yhteisenä tekijänä kuluneille jakopäille oli niiden kopasta löydetty ruskea pöly. Tutkimuksessa oli tarkoitus selvittää, mitä tämä pöly on ja mistä se on kulkeutunut jakopään koteloon.

Jakopään hammashihna on auton moottorissa ajoitettua tehoa siirtävä hihna. Jakopään hammashihnan vaurioituminen aiheuttaa lähes poikkeuksetta moottorin vaurioitumisen. Alustavassa suunnitelmassa tutkimukset jakaantuivat kahteen osioon. Tutkimuksessa keskityttiin selvittämään, mitä jakohihnakoeloista löytyvä ruskea pöly sisältää. Jakopään pölylle suoritettiin alkuaineanalyysiä. Toisena tutkimuskohteena oli selvittää, onko autovalmistajien hihnapyörissä materiaalista eroa. Tutkimuksessa valittiin satunnaisotannalla viiden eri myynnissä olevan autovalmistajan hihnapyörä tarkempaan tarkasteluun. Moottorimalli rajattiin dieselkäyttöiseen moottoriin, jonka suihkutusrakenne on common rail -tyyppinen.

Hihnapyörille suoritettiin Lapin ammattikorkeakoulun testilaboratoriossa useita aineenkoetusmenetelmiä. Käytetyt menetelmät olivat alkuaineanalyysi, mikrokovuusmittaus, mikrorakenteen tarkastelu ja mikroskooppitutkimukset. Hammashihnapyörrien tarkemman alkuainekeostumusanalyysin suoritti Ruukki Metals Oy.

Tutkimuksen edetessä saimme lisäselvityspyynnön ELY-keskukselta, joka tilasi Lapin ammattikorkeakoululta suolasumukaappitestin. Testin tarkoituksena oli altistaa tutkimukseen valittujen viiden eri autovalmistajan hihnapyörät teiden kunnossapidossa käytettävällä kemikaalille. Suolasumukaappit testit suoritettiin Lapin ammattikorkeakoulun testilaboratoriossa.

Tutkimuksessa selvitettiin, onko Etelä-Lapissa ja Oulun seudulla tierakennusaineena käytettävällä OKTO-murskeella osallisuutta jakopäävaurioihin. Tutkimus suoritettiin yhteistyössä Aalto-yliopiston kanssa. Aalto-yliopisto teki kulutus- ja laboratoriokokeita OKTO-murskepitoiselle asfaltille. Lapin ammattikorkeakoulun laboratoriossa suoritettiin OKTO-murskepitoisen asfaltin alkuainekeostumismittaus.

Työni jakaantuu asiapohjaisesti kolmeen osioon. Ensimmäisessä osiossa on keskitytty hammashihnaan ja sen käyttöympäristöön. Toisessa osiossa on esitelty opinnäytetyössä käytettyjä tutkimusmenetelmiä. Kolmas osio keskittyy tuloksiin ja niiden käsittelyyn.

2 HAMMASHIHNA JA SEN KÄYTTÖTARKOITUS HENKILÖAUTOSSA

2.1 Hammashihnan historia

Hammashihnakäyttöinen jakopää tuli tunnetuksi vuonna 1956, kun Bill Devin voitti omavalmisteisella ajoneuvolla (kuva 1) amerikkalaisen rallimestaruuden. Kyseisen auton moottori oli tyyppiä OHC (overhead camshaft = sylinterikannen yläpuolinen nokka-akseli), jossa nokka-akselia pyörittää ajastettu hammashihna. Vuonna 1956 Bill Devin oli kuitenkin liian kiireinen ja varaton patentoidakseen keksintönsä. (Devinsportscars:n www-sivut, hakupäivä 29.3.2014.)



Kuva 1 Bill Devinin rakentama ensimmäinen hammashihnakäyttöisellä jakopäällä varustettu ajoneuvo (Devinsportscars:n www-sivut, hakupäivä 29.3.2014.)

Vuonna 1962 saksalainen automerkki Glas 1004 oli ensimmäinen sarjavalmistettu auto, jossa käytettiin kumista hammashihnaa (kuva 2). Kuitenkin vasta vuonna 1966 Vauxhall Motors alkoi ensimmäisenä maailmassa valmistaa sarjavalmistetuista moottorityyppeistä, jossa moottorin yläpuolella olevia nokka-akseleiden ajoitettuun pyörittämiseen käytettiin kumista hammashihnaa. Moottorityyppi kulki nimellä Slant four. (Chick 2014, sähköpostiviesti.)

Nykypäivänä hammashihnakäyttöinen jakopää löytyy jokaiselta autonvalmistajalta ainakin jostakin moottorimallista. Hammashihnakäyttöisiä autoja löytyy liikenteestä arviolta noin 200 miljoonaa kappaletta. (Devinsportscars:n www-sivut, hakupäivä 29.3.2014.) Entisaikaan hammashihnalla pyöritettiin pääsääntöisesti vain nokka-akselia. Nykyisin hammashihnalla voidaan nokka-akseleiden lisäksi siirtää voimaa myös korkeapaine- ja vesipumpulle.



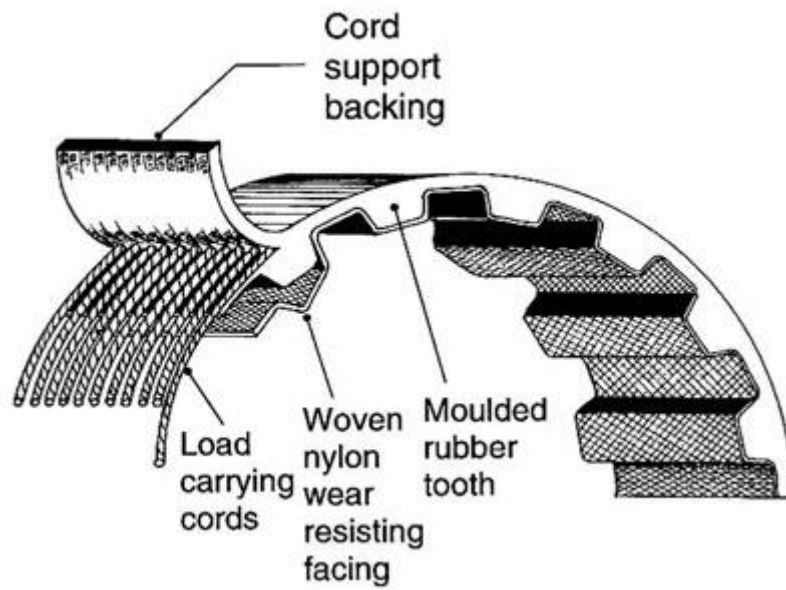
Kuva 2 Glas s 1004, ensimmäinen sarjavalmistettu auto, jossa käytettiin jakopäässä hammashihnaa (Museoviraston www-sivut, hakupäivä 23.4.2014.)

2.2 Hammashihnan rakenne

Hammashihna voidaan jakaa neljään eri kerrokseen. Kerrokset ovat valettu toisiinsa kiinni. Kerrokset voidaan erotella kuvan 3 mukaisesti seuraaviin osakokonaisuuksiin: hampaat, punokset, runko ja pintamateriaali. Hampaiden tehtävä hihnassa on estää luistaminen ja näin ollen mahdollistaa ajoitettu tehon siirto. Hammashihnan hammastus sopii täsmällisesti hihnapyörän hammastukseen ja mahdollistaa tehon siirron myös voimakkaissa kiihdytyksissä. Hammashihnan hampaiden jakoväli ja hammastuksen mittatarkkuus ovat erittäin tärkeitä tekijöitä hihnan käyttökestävyydessä. Hammashihnan ja hihnapyörien välinen kytkeytyminen tapahtuu progressiivisesti ja pehmeästi. (Pyrrö 2012, 19.)

Hammashihnan punokset ovat hihnan tehoa siirtävä osa. Punokset ja runko muodostavat taipuisan, mutta muuttumattoman kompaktin kokonaisuuden. Punokset ovat yleensä valmistettu taipuisasta ja venytyksen kestävästä, mutta joustamattomasta lasikuidusta. Taipuisuutensa takia yhtä hammashihnaa voidaan kierrättää moottorissa monen eri toimilaitteen kautta (kuva 4). Punoksien avulla hammashihnalla on mahdollisuus siirtää tarvittavaa tehoa käyttöpyörältä käytettäville pyörille. (Pyrrö 2012, 19.)

Hammashihna on päällystetty kauttaaltaan kulutusta kestävällä materiaalilla. Yleisesti hampaat ovat päällystetty nailonilla. Kemiallisella hammashihnan käsittelyllä saadaan hihnalle hankaus- ja vanhenemiskestävyyttä. Tämä mahdollistaa tehon siirtämisen myös hammashihnan selkäpuolella. (Pyrrö 2012, 20.)



Kuva 3 Hammashihnan kerrokset: Cord support backing = runko, Load carrying cords = punokset, Moulded rubber tooth= hampaat, Wear resistant facing = kulutuksen kestävä pinta (Pyrrö 2012, 19.)



Kuva 4 Hammashihna V8 doch mallisessa moottorissa (Alfabb:n www-sivut, hakupäivä 1.4.2014.)

2.3 Hammashihnan käyttötarkoitus ajoneuvossa

Hammashihnan käyttötarkoitus ajoneuvon moottorissa on välittää käyttövoimaa luistamatta ketjuperiaatteella kampiakselin käyttöpyörältä toimilaitteille. Luistamattomuuden takia hammashihnalla pystytään toteuttamaan ajoitetusti tahdissa mm. nokka-akseleiden pyörittäminen. Tämä ominaisuus on välttämätön moottorin toiminnan kannalta. (SKS 1999, 1.)

Hammashihnan saama suosio autovalmistajien keskuudessa perustuu sen useisiin hyviin ominaisuuksiin. Hammashihnalla saavutetaan suuri tehonsiirtokyky. Sen aksiaalinen kuormitus on vähäinen ja punokset pitävät pitkänkin hammashihnan vakaana. Hammashihna on vaihtovälin välisen ajan huolto- sekä voiteluvapaa, sillä jakopäässä ei ole metallista kosketusta. Myönteistä on myös se, että käytöstä syntyvä melu on pientä. (SKS 1999, 1; Pyrrö 2012, 23.)

Hammashihnan hyötysuhde voi oikein suunniteltuna olla jopa 98 %. Hyötysuhteella tarkoitetaan sitä, kuinka paljon hihna pystyy siirtämään tehoa toimilaitteille hukkaamatta sitä välille. Hammashihnan hyvä hyötysuhde perustuu siihen, että hammashihnan ja hihnapyörän välinen pintakitka on vähäinen. Tämän lisäksi ohuen poikkileikkauksen ansiosta hihna on erittäin taipuisa ja taipuisuus antaa hihnalle vähäisen hystereesin. (Pyrrö 2012, 23.) Hystereesillä tarkoitetaan hammashihnan vastustusta kiertyessään hihnapyörän ympärille.

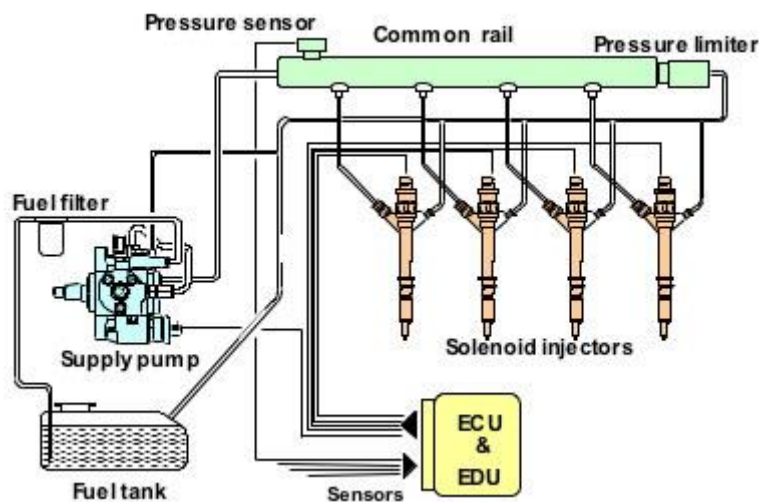
2.4 Hammashihnan keskimääräinen vaihtoväli

Hammashihnan vaihdolle on jokaisella autonvalmistajalla omat moottorikohtaiset kilometri- ja aikasuositukset. Keskimääräinen hammashihnan vaihtoväli on noin 120 000 km. Ajallisesti hammashihna on yleensä vaihtokunnossa ollessaan 5 -vuotta vanha. Hammashihnojen kestävyyttä kehitetään koko ajan ja nykyään markkinoilta löytyy malleja, joiden hihnan vaihtoväliksi ilmoitetaan jopa 210 000 km. (Autouutiset www-sivut, hakupäivä 5.4.2014.)

2.5 Common rail

Common rail (= yhteispaineruiskutus) -moottorin nimitys määräytyy suoraan moottorin toimintaperiaatteen mukaan. Yleensä kampiakselilta hammashihnan välityksellä voiman ottava korkeapainepumppu syöttää jopa 1600bar paineella polttoaineen annostelukiskoon. Kiskon tehtävänä on jakaa polttoaine suuttimille meneville polttoainelinjoille. Polttoainelinjat päättyvät suuttimiin, jotka suihkuttavat hienona sumuna polttoaineen suoraan sähköohjatusti palotilaan. (Ak training:in www-sivut, hakupäivä 8.4.2014.)

Nykyaikaisissa diesel-moottoreissa yhteispaineruiskutusjärjestelmiä käyttää lähes poikkeuksetta kaikki autonvalmistajat. Common rail -järjestelmän edut ovat moninaiset. Järjestelmässä korkeapaineista polttoainetta on aina saatavilla pyynnöstä. Tämä mahdollistaa sen, että yhtä palamisvaihetta kohti voidaan suihkuttaa useasti polttoainetta palotilaan. Korkeammalla ruiskutusaineella saadaan hienojakoisempi sumu, ja hienojakoisuus mahdollistaa hapen määrän lisäämisen, joten polttoainelitrasta saadaan parempi hyötysuhde. Edellä mainittujen seikkojen takia common rail -tekniikalla on pystytty vähentämään pakokaasu-, hiukkas- ja melupäästöjä. Kuvassa 5 on kuvattuna common rail -suihkutuksen rakennekuva. (Ak Training:in www-sivut, hakupäivä 8.4.2014.)



Kuva 5 Common rail -järjestelmän havainnekuva, jossa fuel filter = polttoainenesuodatin, supply pump = korkeapainepumppu, common rail = syöttö kisko, solenoid injectors = suihkutus suuttimet (Jorii verkkosivuprojektin www-sivut, hakupäivä 8.4.2014.)

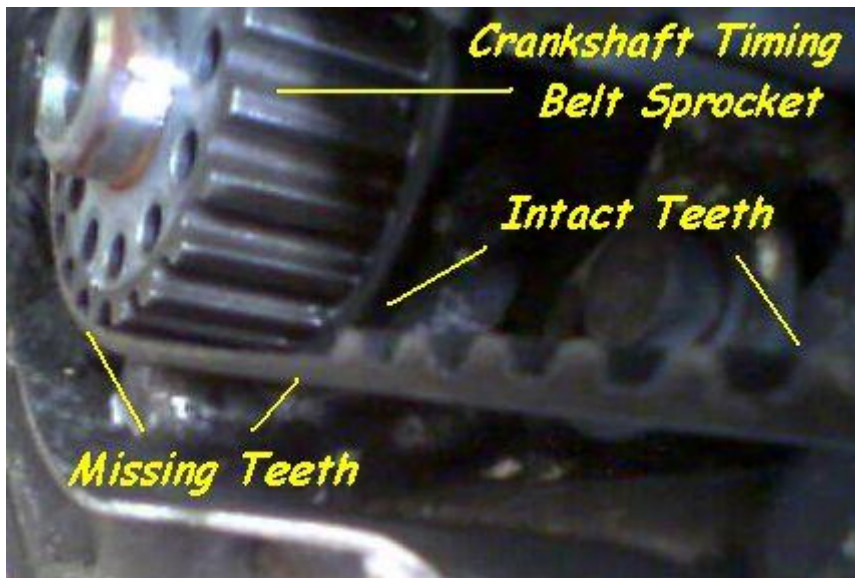
2.6 Jakopäähihnan vaurioitumisen yleisimmät syyt

Hammashihnan ennenaikainen vaurioituminen voi johtua useasta eri syystä. Yleisimmät vaurioitumisen syyt johtuvat asennusvirheestä tai laakerien vaurioitumisesta. Hammashihnan asennuksessa hihnan kireydellä on suuri merkitys hammashihnan kestoan. Liian kireälle asennettu hihna voi katketa tai aiheuttaa liian suuren aksiaalisen kuormituksen hihnapyörille, mistä voi seurata laakerien kiinnileikkaantuminen. Liiallinen kireys myös kuluttaa hihnaa ja hihnapyöriä ennenaikaisesti, kun taas reilusti liian kireällä oleva hihna voi katketa heikoimmasta kohdasta. (Karhunen 2007, 94–96.)

Hammashihnan asennusvaiheessa väärin asennettu kiristin voi pahimmillaan jäädä asentoon, jolloin kiristin ei käytössä kiristä hihnaa ollenkaan. Tästä seurauksena on yleensä hammashihnan ennenaikainen löystyminen ja jakopään vaurioituminen. Liiallinen löysyys hammashihnassa lisää hammashihnan hampaiden kuormaa taittaen hampaita ja tästä syystä hampaat irtoavat hihnan rungosta. Hampaiden irrotessa hammashihna ei enää pyöri ajoitetusti tai ollenkaan, ja näin ollen aiheuttaa mahdollisen moottorivaurion. (Karhunen 2007, 94.)

Tutkittaessa ennenaikaisesti kulunutta jakopäätä, voidaan jakopäästä yleensä nähdä, mikä ennenaikaisen kuluminen on aiheuttanut. Hammashihnan sileällä puolella olevat poikittaiset murtumat ja poikki- viillokset viittaavat yleensä liian korkeaan käyttölämpötilaan. Kulumat, repeämät ja kuoppautumiset hammashihnan reunoilla kertovat mahdollisesta linjausvirheestä. Linjausvirheen voi aiheuttaa kulunut tai väljä laakeri hihna- tai apulaitepyörässä. Yleisesti väärä hammashihnan kulkureitti aiheuttaa ennenaikaisen hihnan rikkoutumisen, josta voi seurata mahdollinen moottorivaurio. Öljy- tai polttoainevuodot hammashihnalle aiheuttavat hammashihnan muokkautumisen ja siitä voi seurata hammashihnan ennenaikainen kuluminen. Hammashihnan vaurioituminen on mahdollista myös ulkoisen esineen tunkeutuessa hammashihnan ja hihnapyörän väliin. Kyseisessä tilanteessa vauriot ovat hyvin yleisiä. (Karhunen 2007, 96–100.)

Hammashihnapyörien kuluminen aiheuttaa hihnaradan korkeuden muuttumisen ja siitä seuraa kiristimen kiristysvaran loppuminen. Tämän seurauksena hammashihna löystyy. Teräväreunaiseksi kulu- neet hihnapyörät syövät hammashihnan hammastusta. Löysällä ja hihnapyörien kuluttamasta jakohih- nasta lähtee ennen pitkään hampaita pois, mistä seurauksena on yleensä moottorivaurio. Kuvassa 6 on näkyvissä hammashihna, josta on irronnut hampaita.



Kuva 6 Liiallisen hammashihnan löysyyden aiheuttama yleinen seurannaisvaurio, hammashihnasta puuttuu hampaita (Econofix:n www-sivut, hakupäivä 18.4.2014).

3 JAKOPÄÄN HAMMASHIHNAAN KÄYTTÖYMPÄRISTÖ

Jakopään hammashihna altistuu monenlaisille ympäristötekijöille. Hammashihnalta vaaditaan suurta voimaa ja kestävyyttä myös ääriolosuhteissa. Pakkasen kangistaman moottorin käynnistäminen aiheuttaa suuren rasituksen myös hammashihnalle. (Karhunen 2007, 97.) Liian korkea lämpötila voi myös korventaa hammashihnan (Anonyymi haastattelu 23.4.2014). Lisäksi ajoneuvo altistuu teiden kunnossapidossa käytettävään sulatuskemikaalin haittavaikutuksille.

3.1 Kalsium- ja natriumkloridin haittavaikutukset

Suomessa on käytettävissä liukkauden torjuntaan useita eri kemikaaleja. Yleisimmin käytetyt liukkaudentorjuntakemikaalit ovat vuorisuola eli natriumkloridi sekä kalsiumkloridi. Tiehallinnon teettämässä Tiehallinnon selvityksiä 38/2006 -julkaisussa kartoitettiin kalsiumkloridiliuoksen haittavaikutuksia ajoneuvoihin ja ympäristöön. Tutkimuksessa kalsiumkloridiliuosta verrattiin pääasiallisesti natriumkloridiliuokseen. (Vestola ym. 2006, 14.)

Tiehallinnon selvityksessä havaittiin, että kalsiumkloridi on hygroskooppinen aine. Hygroskooppisuus tarkoittaa sitä, että aine imee itseensä vettä ja kiinteä olomuoto laimenee veden imemisen takia nopeasti liuosmuotoon. Kalsiumkloridiliuos voi olla myös hygroskooppinen tietyssä väkevyydessä. Hygroskooppisuutensa ansiosta kalsiumkloridiliuos pystyy imemään itseensä kosteutta ilmasta ja sulattamastaan jäästä. Veden imemisen sivutuotteena syntyy lämpöä, mistä seurauksena on sulaminen. Kalsiumkloridi sitoo vettä alhaisemmassa lämpötilassa ja ilmakehän kosteudessa kuin natriumkloridi. (Vestola ym. 2006, 19–21.)

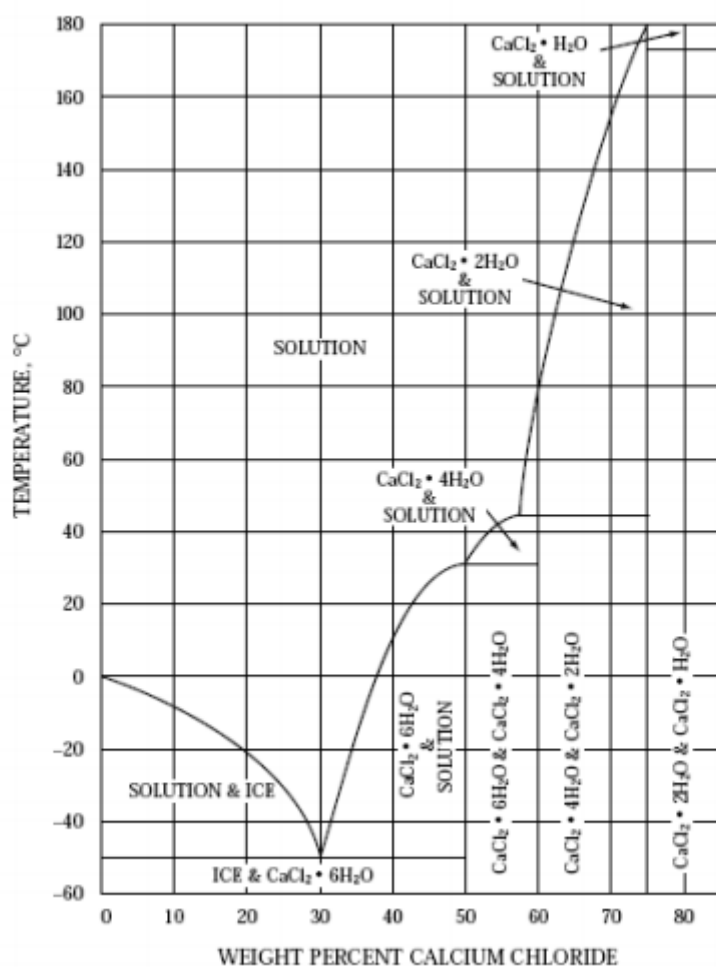
Tiehallinnon selvityksiä 38/2006 -julkaisusta selviää, että kalsiumkloridin aiheuttama korroosio on suurempi kuin natriumkloridilla. Kalsiumkloridi alkaa sitoa vettä itseensä suhteellisen kosteuden arvon ollessa vähintään 25 °C lämpötilassa 30 %. Vastaava arvo 10 °C lämpötilassa on 41 % ja nollassa asteessa 45 %. Kalsiumkloridin korroosiovaikutus jatkuu myös lämpötilan ollessa miinuksella. Aine pysyy kosteana, koska hygroskooppisuutensa ansiosta kalsiumkloridi imee kosteutta myös ympäröivästä ilmasta. Pitoisuudesta riippuen, kalsiumkloridi pysyy sulana jopa -51 °C (29,4 % -liuos). Hyvän pakkasen keston ansiosta aineen aiheuttava korroosio jatkuu myös lämpötilan mennessä pakkaselle. Korroosio lakkaa, kunnes aine on kokonaan liennut veteen tai liuoksen vahvuudesta riippuen liuos jäätyy. (Vestola ym. 2006, 22, 63.)

Kalsiumkloridi on syövyttävintä 2-6 % -liuksilla ja natriumkloridi 10-20 % -liuksilla. Teiden kunnossapidossa natriumkloridia käytetään noin 23 % -liuksena ja kalsiumkloridia 30 % -liuksena.

Tielle levittäessä suolat laimenevat hyvin nopeasti sitoessaan ympäristöstä vettä. (Vestola ym. 2006, 19, 30.)

Kuvassa 7 on esitetty faasidiagrammi kalsiumkloridille. Diagrammin vasemmassa pystysarakkeessa on lämpötila ja alapalkissa kalsiumkloridin pitoisuus prosentteina liuoksesta. Kalsiumkloridin eutektinen piste eli alin lämpötila, jossa neste säilyy vielä liuoksena, on $-51\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tämä lämpötila saavutetaan, kun liuoksen kalsiumkloridi pitoisuus on 29,6 m-%. Mikäli liuoksen CaCl_2 - pitoisuutta kasvatetaan ja sen jälkeen liuosta jäädytetään, kiinteytyy heksahydraatti ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ensin ja jäljelle jäävä puhdas jää vasta eutektisessä pisteessä. (Vestola ym. 2006, 20.)

Natriumkloridin eutektinen piste on $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja se saavutetaan 23 % -liuoksella. Kuitenkin natriumkloridi vaatii toimiakseen lämpöä ja on näin ollen tehokkaimmillaan lähellä $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Natriumkloridin sulatusteho lakkaa lämpötilan laskiessa $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ alapuolelle. Suomessa liukkaudentorjuntaan käytetään kemikaaleja yleisesti vain yli -7 asteen lämpötiloissa. Yli -7 asteen lämpötiloissa kalsium- ja natriumkloridin liukkaudentorjuntatehossa ei ole juurikaan eroa. (Vestola ym. 2006, 20, 63.)



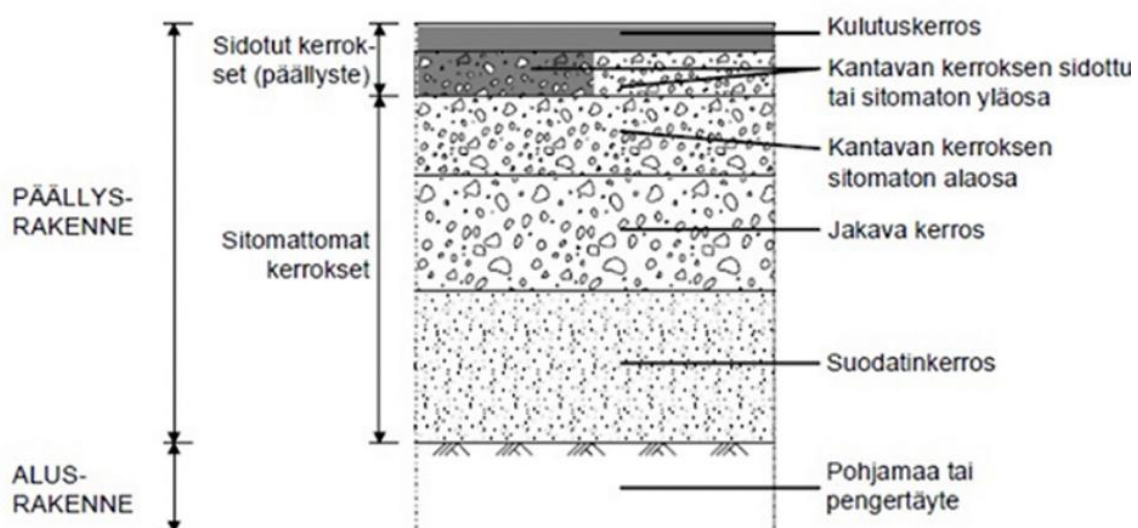
Kuva 7 Kalsiumkloridin faasidiagrammi (Vestola ym. 2006, 20.)

3.2 OKTO-murskepitöisen asfaltin rakenne ja koostumus

OKTO-murske (Outokumpu Tornio-murske) (kuva 8) on Torniossa sijaitsevan Outokummun Ferrokromitehtaasta syntyvää jälkikäsiteltyä kuonaa. Ilmajäähdytetty ferrokromikuona murskataan ja se on saanut kaupanimen OKTO-murske. OKTO-murske on koostumukseltaan hyvin homogeenistä ja sopii hyvin asfaltin päällysteiden runkoaineeksi tai kantavaan kerrokseen (kuva 9). (Tiehallinto 2007.) Tutkimuksessa haluttiin selvittää, onko OKTO-murskeella tekemistä ennen aikaisten hammashihnojen kulumisten kanssa. Tutkimuksessa OKTO-mursketta sisältävää päällystettä testattiin Aalto-yliopiston laboratoriossa.



Kuva 8 Tornion terästehtaalla sivutuotteena syntyvä OKTO-murske (Lapin Kansan www-sivut, hakupäivä 23.4.2014.)



Kuva 9 Teoreettinen esitys asfaltin rakenteesta (ELY-keskuksen www-sivut, hakupäivä 27.4.2014.)

4 KOEMATERIAALIT JA KÄYTETYT TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimuksia varten hankittiin viiden (5) eri automerkin hammaspyöriä. Hammaspyörät merkittiin juoksevalla numerolla 1-5, koska automerkkejä ei haluttu julkistaa tutkimuksen yhteydessä. Haastattelutuloksissa esiintyy myös automerkit 6-8.

Hammaspyörät leikattiin Lapin ammattikorkeakoulun ELMA-laboratorion tarkkuuslaikkaleikkurilla sopivan kokoisiksi paloiksi. Kaikista hammaspyöristä lähetettiin noin puolet Ruukki Metals Oy:n Raahen tutkimuskeskuksen analyttiseen laboratorioon kemiallisen koostumuksen määrittämistä varten. Määrittäminen tehtiin optisella spektrometrillä sekä LECO-kaasuanalysointilaitteilla (C, N, S ja O). (Kauppi 2014, 1.) Tutkimuksessa testiautot rajautuivat dieselmotorisiin ajoneuvoihin, joiden polttoaineen suihkutuksen toimintaperiaate on common rail.

4.1 Näytteiden jaottelu ja hankkiminen

Automerkeiltä 1-5 selvitettiin automalli, jonka moottorina toimii common rail -tyyppinen moottori. Valikoituneiden ajoneuvojen rekisteritunnuksilla hankittiin paikallisilta merkkikorjaamoilta alkuperäisvalmisteinen kampiakselin hihnapyörä. Näytteet nimettiin seuraavasti: automerkki 1:n hihnapyörästä tuli näyte 1, automerkki 2:n hihnapyörästä tuli näyte 2 jne. Hihnapyörän hankkimisen jälkeen pyörät leikattiin kolmeen eri osaan ja palat nimettiin näytteen nimen mukaan näyte 1.1, 1.2, 1.3 jne. Näytepalat 1.1, 2.1, 3.1, 4.1 ja 5.1 lähetettiin analysoitavaksi Ruukki Metals Oy:n Raahen tutkimuskeskuksen analyttiseen laboratorioon. Palat 1.2, 2.2, 3.2, 4.2 ja 5.2 laitettiin suolasumutestiin ja jäljelle jääneistä paloista (1.3, 2.3, 3.3, 4.3 ja 5.3) valmistettiin mikrorakenne- ja kovuusmittauksien hiennäytteet.

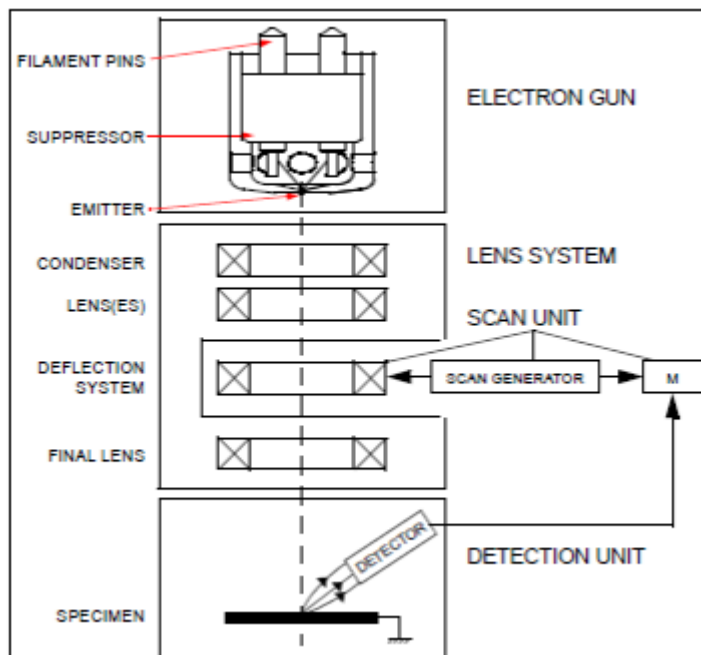
4.2. Näytteiden valmistus ja mikrorakennetutkimus

Valomikroskooppitutkimuksia varten tehdyt näyteleikkeet valettiin sähköä johtavaan PolyFast -muoviseokseen, hiottiin Al₂O₃ -vesihiomapapereilla #1000 -karkeuteen (#180, #600 ja #1000) ja kiillotettiin 3 μ ja 1 μ timanttisuspensioilla. Hihnapyörästä valmistettiin näytteitä, josta osa syövytettiin kiderakenteen tarkempaa tarkastelua varten. Tutkimuksessa mikrorakenteita tarkasteltiin Leica IDM5000M -käänteismikroskoopilla ja Quanta 450 FEG kenttäemissiopyyhkäisyelektronimikroskoopilla (FESEM) kiillotetuista näytteistä ja 3 %:n Nitalilla syövytetyistä näytteistä. Näytteiden pintaa analysoitiin FESEM:iin yhdistetyllä Thermo Nora System 312E EDS -alkuaineanalysointilaitteella. (Kauppi 2014, 2.)

4.3 FESEM -tutkimus

FESEM ja EDS -termit pitävät sisällään kaksi eri laitetta, jotka eivät voi toimia ilman toisiaan alkuaineanalyyseissä. FESEM (Field Emission–Scanning Electron Microscope) on suomennettuna kenttäemissiopyyhkäisyelektronimikroskooppi. Laite toimii parina lisävarusteena saatavan EDS eli (Energy Dispersive Spectrometry) röntgenanalyysointilaitteen kanssa. Näytettä tutkittaessa FESEM:n elektroni pommittaa tarkasteltavaa näytettä piste kerrallaan. Pisteet kulkeutuvat laitteen sivulla olevien läpivientien kautta tyhjiökammioon. Tyhjiökammion sisällä on detektoreita, jotka tunnistavat pommituksessa irtoavan säteilyn pisteen kohdalta. Saaduista detektorien signaaleista muodostetaan sen jälkeen erilaisia kuvia. (Kauppi 2011, 8.)

Lapin Ammattikorkeakoululla on käytössä Thermo Nora System 312E EDS –alkuaineanalyysointilaitte. Tällä röntgenanalyysointilaitteella eli materiaalianalyysointilaitteella mahdollistuu näytteen eri alkuaineiden tunnistaminen. Tutkimuksessa hyödynnettiin materiaalianalyysointilaitteen tuloksia. Kuvassa 10 on esitettyä FESEM:n rakennekuva.

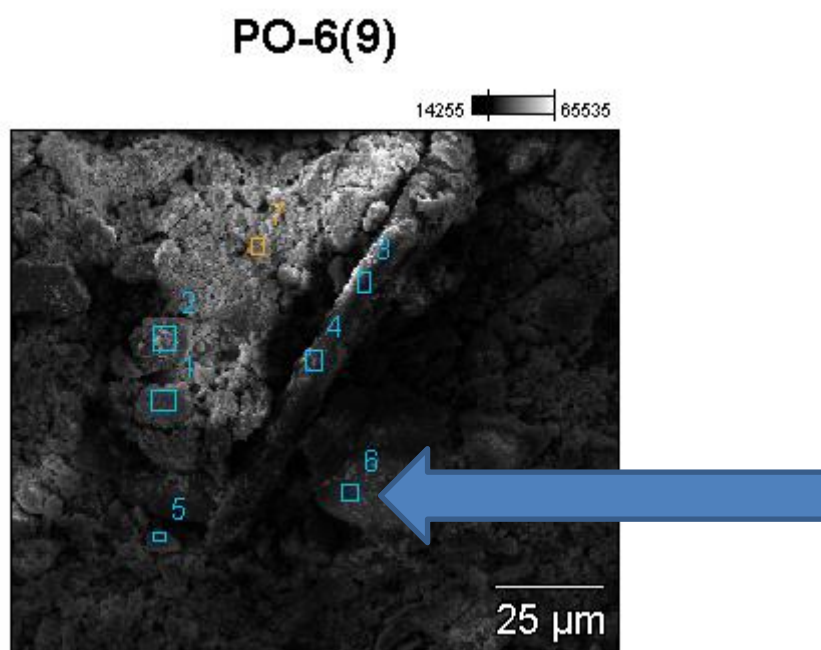


Kuva 10 FESEM:n rakennekuva (Kauppi 2011, 11.)

4.4 Tutkimusten toteuttaminen

Työn aikana kerättiin pölynäytteitä kymmenistä autoista satunnaisotoksen periaatteella. Pölynäytteitä analysoitiin Lapin ammattikorkeakoulun kenttäemissiopyyhkäisyelektronimikroskoopilla (FESEM), jonka yhteydessä olevalla EDS -analysaattorilla saatiin selville pölyssä olevat alkuaineet ja niiden pitoisuudet. Kuvassa 11 näkyvät turkoosin väriset laatikot esittävät yhtä alkuaineanalyysi kohtaa. Alkuaineanalyysyjä tutkimuksessa tehtiin yhteensä 262 kappaletta. Saadut tulokset yhdistettiin yhteen taulukkoon ja tuloksista selvisi alkuainepitoisuuksien keskiarvo prosentteina näytepisteen kokonaisuudesta. Tuloksissa on myös nähtävillä, kuinka usein kyseistä alkuainetta on pölynäytteissä esiintynyt.

Lapin ammattikorkeakoulun tutkimus autojen hammashihnavälitteisen jakopään kestävyysongelmista tehtiin yhteistyössä Aalto-yliopiston kanssa. Aalto-yliopisto toimitti tutkimuksiin näytteet OKTO-murskepitoisesta asfaltista. Näytteet analysoitiin Lapin ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Vastavasti Aalto-yliopistolle toimitettiin autoista satunnaisotannalla kerättyä jakopääpölyä.



Kuva 11 FESEM -tutkimuksen yhden pölynäytteen otantapisteeet. Kuvassa nuolella osoitettu neliö kuvaa yhtä otantapistettä. Tutkimuksessa otantapisteeitä oli yhteensä 262 kappaletta.

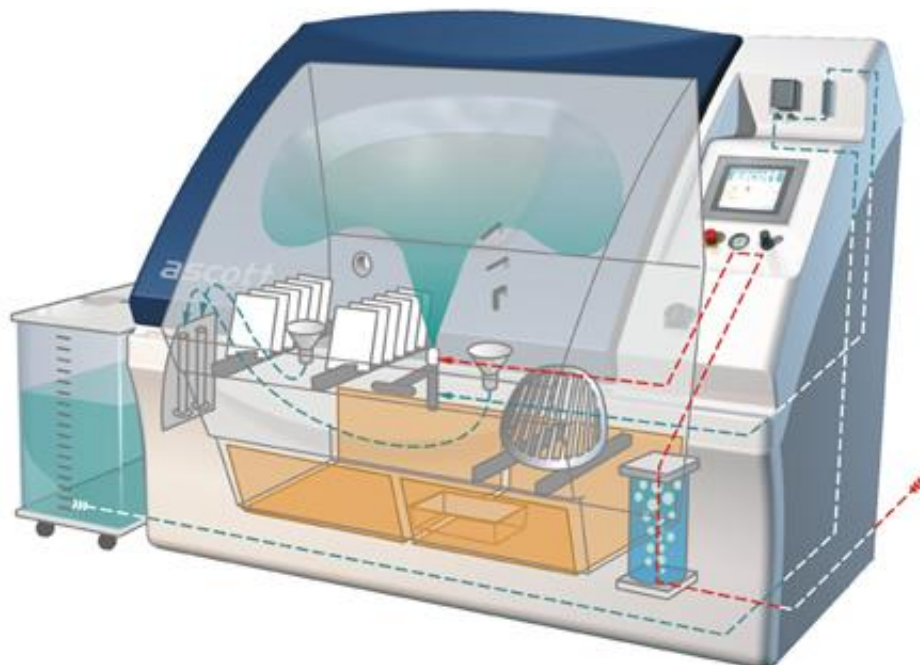
4.5 Suolasumukaappi

Tutkimuksessa suoritettiin testattavien ajoneuvojen hammashihnapyörille suolasumukappitestausta. Korroosiotestaustapahtumassa tutkittavat näytteet altistetaan suljetussa tilassa halutulle aineelle. Laboratorio-olosuhteissa saavutetaan halutut olosuhteet ja näin ollen kaksi viikkoa kestäväällä testillä pystytään toteamaan, kuinka kyseinen kappale reagoi tiettyyn aineeseen. (Ascott:n www-sivut, hakupäivä 20.4.2014.)

Testin tarkoituksena oli selvittää, kuinka eri autovalmistajien hihnapyörät reagoivat liukkaudentorjunnassa käytettäviin kemikaaleihin. Korroosiotestausta tapahtuu kuvan 12 mukaisesti. Kuvassa 12 vasemmalla näkyvässä nestesäiliössä on kaapin sisälle suihkutettava aine. Aine johdetaan pumpun avustuksella suuttimille, mistä se suihkutetaan paineilman avulla kaapin sisälle. Kaapin sisällä on useita antureita, joilla varmistetaan, että halutut olosuhteet pysyvät testauksen ajan. (Ascott:n www-sivut, hakupäivä 20.4.2014.) Suihkutuskiikot jakautuvat kuivatus- ja suihkutusosioihin. Suihkutus kestää 5 minuuttia ja kuivatus 55 minuuttia. Kaapin sisällä kosteus on 70 % ja lämpötila 35 °C. Kyseiset lämpötila ja kosteus ovat ideaalisia ruosteen muodostumiselle ja sen takia jo kaksi viikkoa kestävästä testistä saadaan tuloksia aineen syövyttävyydestä. Kuvassa 13 on kuvattuna Lapin ammattikorkeakoulun suolasumukaappi Ascott CC 1000XP.

Korroosiotestausta voidaan suorittaa tasaisilla tai vaihtelevilla olosuhteilla. Tasaisella olosuhteella tarkoitetaan sitä, että kaapin sisällä oleva lämpötila ja kosteus eivät muutu testauksen aikana. Vaihtelevassa eli sykliisessä korroosiotestaustapahtumassa olosuhteita voidaan muuttaa testauksen aikana ja testauksessa käytettävää ainetta suihkutetaan tiettyin väliajoin. (Ascott:n www-sivut, hakupäivä 20.4.2014.) Hihnapyörien suolasumutestauksessa käytettiin standardia Volvo STD 423-0014 mukailtuna. (Kauppi 2014.)

Lapin ammattikorkeakoulun suolasumutestissä oli käytössä kalsiumkloridiliuosta. Liuoksen väkevyys ilmoitettiin sijoittuvan 28-40 % välille. Suolasumutestissä käytettävän liuoksen toimitti Oulun YIT:n infrapalvelukeskuksen kunnossapito-osasto ELY-keskuksen tilauksesta.



Kuva 12 Havainnekuva Ascott CC 1000 XP:n toiminnasta (Ascott:n www-sivut, hakupäivä 20.4.2014.)



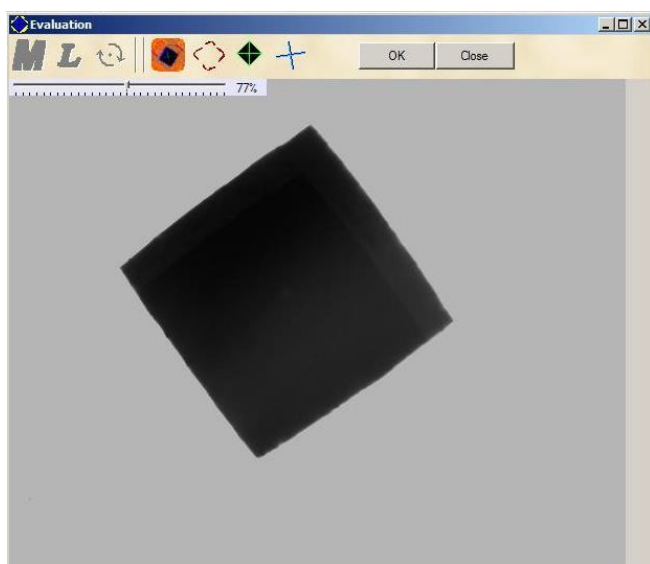
Kuva 13 Testeissä käytetty Lapin ammattikorkeakoulun suolasumukaappi Ascott CC 1000 XP. Kuvassa oikealla näkyvässä säiliössä kalsiumkloridiliuosta, jota suihkutettiin suuttimista korroosiotestauksessa hihnapyörien päälle.

4.6 Hihnapyörien kovuusmittaus

Tutkimuksessa suoritettiin uusille hihnapyörille yleiskovuusmittaus ja mikrokovuusmittaus. Yleisesti hyvin kova materiaali on hauras, mutta kestää hyvin kulutusta. Mittaukseen käytettiin Lapin ammatti-korkeakoulun testauslaboratorion Struers Duramin A2500ET kovuusmittaria (kuva14). Mittauksessa hihnapyörien kovuutta mitattiin vickers -kovuusmittauksella HV10 standardin mukaan. Mittauksessa hihnapyörästä valmistetaan näyte, joka asetetaan mikrokovuusmittariin ja kappaleen pintaa painetaan kolmion muotoisella terällä tietyllä voimalla. Painamisen jälkeen kappaleen pintaan muodostuneen kolmion muotoinen alue mitataan ja tämän jälkeen pystytään laskemaan, kuinka hyvin kappale on vastustanut vieraan esineen tunkeutumista. Mitä kovempi kappale on, sitä pienempi on mittauksesta jäänyt painauma (kuva15).



Kuva 14 Yleiskovuusmittari Struers Duramin A2500ET



Kuva 15 Yleiskovuusmittarin jättämä painauma

4.7 Haastattelut

Yhtenä osa-alueena tutkimuksessa oli haastattelun tekeminen. Jakopäähihnojen kulumisongelmaa kartoitettiin soittelemalla eri puolella Suomea sijaitseviin ajoneuvokorjaamoihin. Haastattelussa korjaamoyrittäjiltä tiedusteltiin, ovatko he joutuneet tekemisiin hammashihnojen ennen aikaisten kulumisten kanssa.

4.7.1 Ennen aikainen kulumista ei ole esiintynyt

Haastattelussa soitettiin Vaasassa, Lahdessa, Kuopiossa, Turussa ja Kokkolassa sijaitseviin korjaamoihin. Haastatteluista kävi selville, ettei korjaamoissa ollut ilmennyt yhtään jakopäähihnan ennen aikaisista, selvittämättömästä syystä johtuvaa jakohihnavauriota. Soittelukierroksessa saatiin yhteys 18 eri korjaamoon.

4.7.2 Ennen aikaista kulumista on esiintynyt

Haastattelimme alueemme ammattiautoilijoita saadaksemme heiltä tietoa ennen aikaisista jakopäähihnavaurioista. Ammattiautoilija 1 liikkuu pääsääntöisesti vain Kuivaniemen alueella ja ajot sijoittuvat muualle kuin valtateille. Ajoneuvon hammashihnaa ei ollut tarvinnut vaihtaa ennen aikaisesti. (Haastattelu ammattiautoilija 1:n kanssa 25.4.2014.)

Ammattiautoilija 2 liikkuu pääsääntöisesti Tornion alueella. Autoon on jouduttu vaihtamaan hammashihna kolme kertaa samoilla ajetuilla kilometrimäärillä kuin ammattiautoilija 1:n autoon ei hammashihnaa ollut vielä vaihdettu lainkaan. Molempien autojen ikä oli alle kolme vuotta ja ajoneuvojen malli ja moottorityyppi oli sama. (Haastattelu ammattiautoilija 2:n kanssa 26.2.2014.)

5 TUTKIMUSTULOKSET

Tutkimustulokset koostuivat pääasiallisesti laboratoriotesteistä. Laboratoriotestit suoritettiin Lapin ammattikorkeakoulun testilaboratoriossa. Tutkimukset tehtiin yhteistyössä Aalto-yliopiston kanssa. Hammashihnakoteloista kerättyä pölynäytettä toimitettiin Aalto-yliopistolle ja vastaavasti Aalto-yliopisto toimitti näytteet OKTO-murskepitoisesta asfaltista. Tässä tutkimuksessa esitetyt alkuaine-analyysit on kaikki tehty Lapin ammattikorkeakoulun testilaboratoriossa.

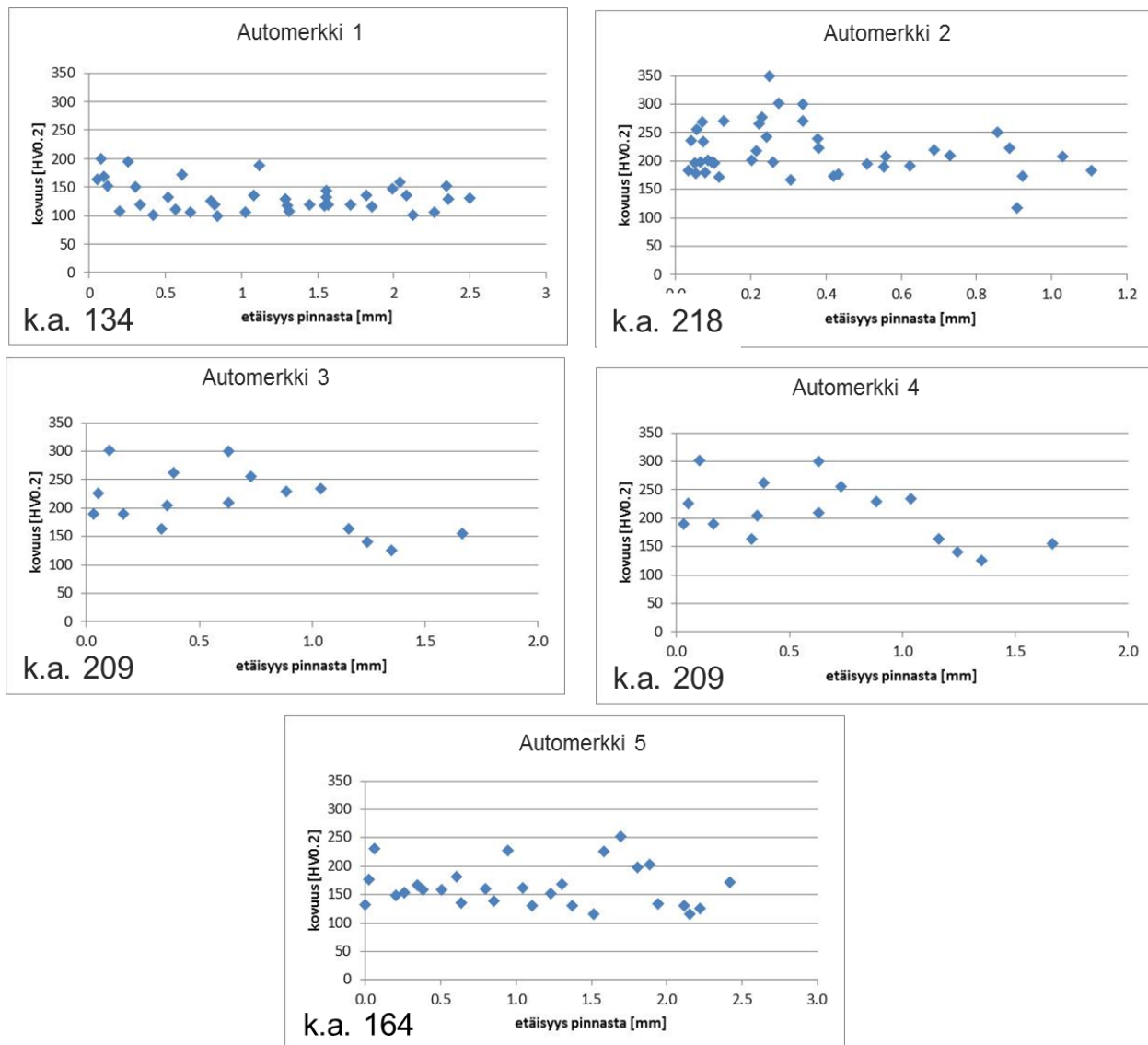
5.1 Hammashihnapyörien yleis- ja mikrokovuusmittausten tulokset

Automerkkien 1-5 hihnapyörille suoritettiin yleiskovuusmittaus. Mittausmenetelmänä käytettiin vickers -kovuusmittausmenetelmää. Mittauksessa hihnapyöristä mitattiin kovuus hampaan ja otsapinnan kohdalta. Alla olevasta taulukosta 1 on nähtävissä, että automerkki 2:n hihnapyörä on kaikista kovin. Automerkkien 3:n ja 4:n hihnapyörät ovat seuraavaksi kovimpia. Automerkki 5:n pyörät ovat hieman kovempia kuin automerkki 1:n pyörät.

Taulukko 1 Hihnapyörien yleiskovuusmittauksen tulokset

Kovuustaulukko									
Hammas									
Automerkki 1		Automerkki 2		Automerkki 3		Automerkki 4		Automerkki 5	
Mittapst	HV 10	Mittapst	HV 10	Mittapst	HV 10	Mittapst	HV 10	Mittapst	HV 10
1	149	1	208	1	206	1	206	1	134
2	138	2	226	2	210	2	210	2	153
3	142	3	202	3	201	3	201	3	160
4	143	4	211	4	211	4	211	4	166
5	122	5	206	5		5		5	183
Keskiarvo	139	Keskiarvo	211	Keskiarvo	207	Keskiarvo	207	Keskiarvo	159
Otsapinta									
Mittapst	HV 10	Mittapst	HV 10	Mittapst	HV 10	Mittapst	HV 10	Mittapst	HV 10
1	151	1	194	1	174	1	174	1	155
2	155	2	177	2	196	2	196	2	162
3	151	3	191	3	187	3	187	3	172
4		4	188	4	181	4	181	4	175
5		5	193	5	207	5	207	5	140
Keskiarvo	152	Keskiarvo	189	Keskiarvo	189	Keskiarvo	189	Keskiarvo	161

Mikrokovuusmittauksessa automerkin 2:n pyörä oli kovin. Seuraavaksi kovimmat olivat automerkin 3:n ja 4:n. Automerkin 5:n pyörä oli neljänneksi kovin ja automerkin 1:n pyörä oli pehmein. Tulokset ovat näkyvissä kuvassa 16.



Kuva 16 Mikrokovuusmittauksen tulokset

5.2 Hammashihnapyörien kemiallinen koostumus

Taulukossa 2 on kuvattu hammaspyörämateriaalien kemialliset koostumukset. Siinä on esitetty vain tärkeimpien alkuaineiden pitoisuudet. Taulukon perusteella kysymys on keskihiilistä, kuparilla seostetuista teräksistä. (Kauppi 2014, 3.) Hihnapyörien hiilipitoisuuden vaihtelu on kohtalaisen suurta. Hiilipitoisuus vaikuttaa hihnapyörissä kovuuteen ja faasiosuuksiin. Taulukosta 3 on nähtävissä kuparipitoisuudessa suuria vaihteluita. Kupari myös osatekijältään vaikuttaa hihnapyörän lujuuteen ja perliittisen kiderakenteen muodostumiseen. Perliittinen kiderakenne nostaa lujuutta, mutta heikentää sitkeyttä. Automerkin 2:n hihnapyörässä happipitoisuus on erityisen suuri. Taulukon 2 arvoista on nähtävissä, että koostumukset eivät ole tyypillisiä valukomponenteille tai muokatuille osille. Tulokset viittaavat pulverimetallurgiseen valmistusteknologiaan. (Kauppi 2014.)

Taulukko 2 Tutkittujen materiaalien kemialliset koostumukset

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Al	O	N
Näyte	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.710	0.013	0.21	0.015	0.030	2,19	0.064	0.068	0.004	0.096	0.019
2	0.510	0.066	0.39	0.005	0.006	1,45	0.063	0.048	0.011	0.517	0.020
3	0.750	0.036	0.24	0.005	0.009	3,68	0.085	0.090	0.011	0.122	0.005
4	0.750	0.036	0.24	0.005	0.009	3,68	0.085	0.090	0.011	0.122	0.005
5	1,10	0.026	0.10	0.010	0.003	1,95	0.023	0.017	0.006	0.045	0.024

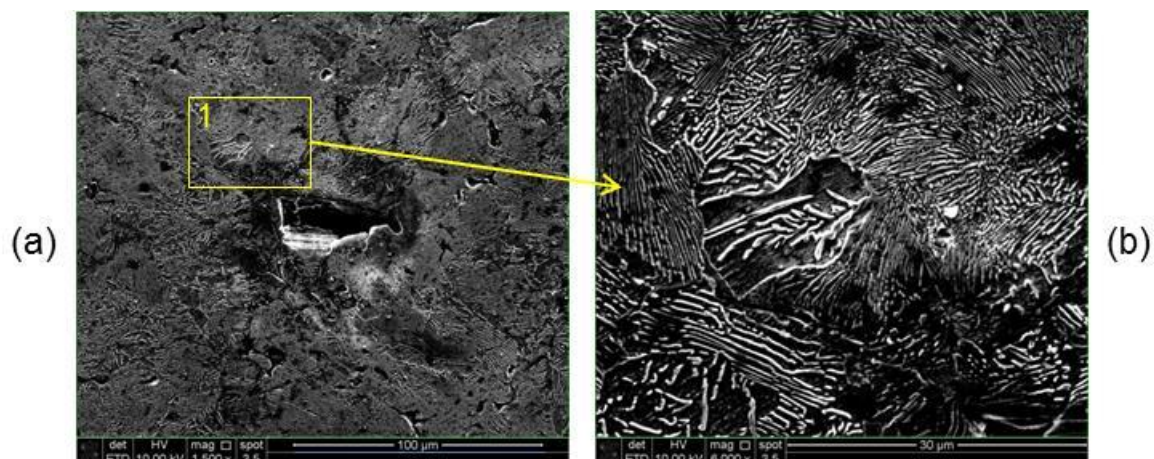
5.2.1 FESEM -tutkimuksen tulokset

FESEM -tutkimus antoi yksityiskohtaisempaa tietoa mikrorakenteista. Kuvassa 17 nähdään automerkin 4 hammaspyörän mikrorakennetta, jota hallitsee lamellimainen perliittinen rakenne. Oikeanpuoleisessa kuvassa (b) perliitin vuorottelevat ferriitti (α) - sementiitti (Fe_3C) lamellit ovat selkeästi erotettavissa. Hiilipitoisuus automerkin 4 tapauksessa oli 0.71 p- %, joka on ns. eutektoidinen koostumus, ja jonka pitäisikin johtaa lähes 100 % perliittiseen rakenteeseen. (Kauppi 2014, 5.)

Hammashihnapyörissä havaittu huokoisuus aiheuttaa usein sen, että pulverimetallurgisesti tehty komponentti on mekaanisilta ominaisuuksiltaan muokatusta materiaalista tehtyä huonompi. Yksi tapa parantaa erityisesti väsymiskestävyyttä on ns. tiivistää pintaosa eli vähentää huokosten määrää pinnasta radikaalisti. Tästä esimerkki nähdään kuvassa 19. Yksikään tutkituista hammaspyöristä ei ollut pinta-tiivistetty. Hammashihnapyörien huokoisuutta analysoitiin taulukossa 3 esitetyllä tavalla. Huokosten määrää verrattiin prosentuaalisesti ehjään perusaineeseen. Taulukosta on havaittavissa, että automerkeissä 3 ja 4 huokosten määrä on suurin. Automerkit 1, 2 ja 5 ovat keskiarvillisesti lähes yhtä huokoisia materiaaleja. (Kauppi 2014.)

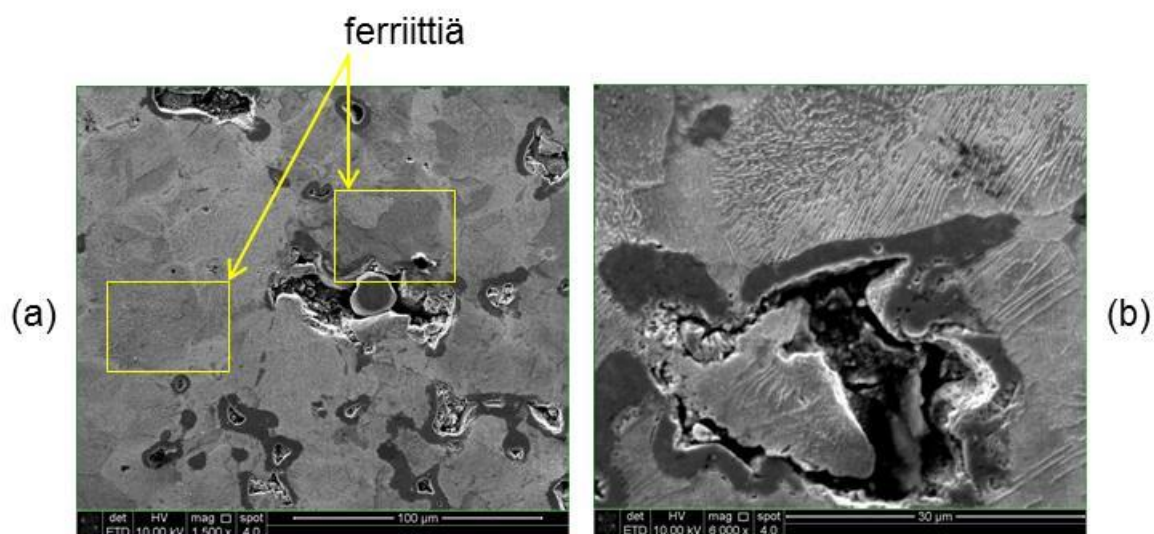
Taulukko 3 Automerkkien huokoisuus mikrorakennekuvassa

Automerkki	1	2	3	4	5
Mittaus 1	18,20 %	18,20 %	21,20 %	21,20 %	16,90 %
Mittaus 2	14,90 %	14,70 %	20,40 %	20,40 %	16,60 %
Mittaus 3	16,90 %	16,60 %	16,40 %	16,40 %	11,20 %
Mittaus 4	13,80 %	15,00 %	19,50 %	19,50 %	20,00 %
huokoisuus-%	15,90 %	16,10 %	19,40 %	19,40 %	16,20 %

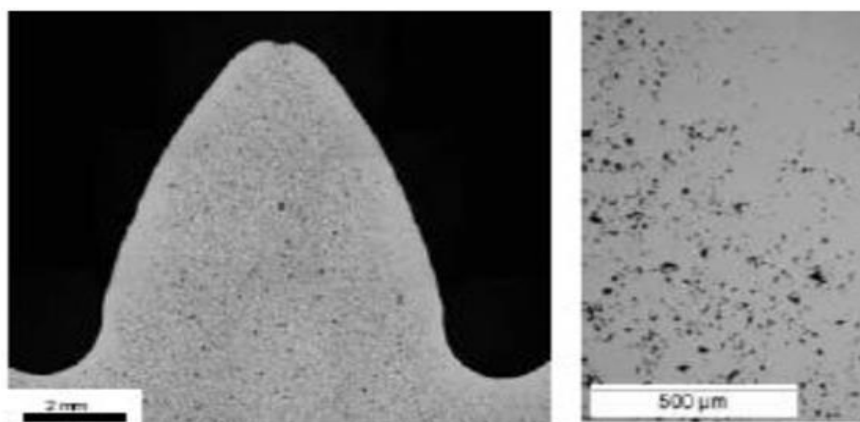


Kuva 17 Automerkin 4 hammaspyörän mikrorakennetta, (a) yleiskuva ja (b) alueen 1 suurennus (Kauppi 2014, 5.)

Kuvassa 18 nähdään automerkin 1 hammaspyörän mikrorakennetta. Matalammasta hiilipitoisuudesta ($C = 0.51$ p-%) johtuen rakenteessa esiintyy myös ferriittialueita. (Kauppi 2014, 6.)



Kuva 18 Automerkin 2 hammaspyörän mikrorakennetta, (a) ferriitti alueita perliitin seassa, (b) huokonen ja hienojakoista perliittiä (Kauppi 2014, 6.)



Kuva 19 Pintatiivistetty hammas (Esmaeli ym. 2011, 36.)

5.3 OKTO-murskepitoisen asfaltin koostumus

Tutkimuksessa selvitettiin OKTO-murskepitoisen asfaltin alkuainekoostumus. Tutkimukset suoritettiin Lapin ammattikorkeakoulun kenttäemissiopyyhkäisyelektronimikroskoopilla. Taulukossa 4 on nähtävissä OKTO-murskepitoisen asfaltin alkuainekoostumus. Taulukosta on havaittavissa, että prosentuaalisesti happea (O) on näytteissä ollut eniten. Piin (Si) eli hiekan osuus on myös merkittävä. Kromia OKTO-murskepitoisesta asfaltista löytyi keskiarvallisesti 4,39 %.

Aalto-yliopiston kulumisen kesto –mittauksessa OKTO-murskepitoista asfattia verrattiin vastaavaan käytettyyn valtatie pinoitukseen. Testissä pinnoitteet altistettiin kulutukselle. Testissä selvisi, että OKTO-murskepitoinen asfaltti kestää kaksinkertaisen kulutuksen verrattuna normaaliin asfalttiin.

Taulukko 4 OKTO-murskeen analyysien alkuainekoostumukset painoprosentteina

	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>S</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>
keskiarvo	12,61	26,58	0,95	6,67	8,45	18,6	0,08	1,01	5,06	0,34
hajonta	3,05	3,47	0,57	1,48	2,37	3,45	0,04	0,87	2,28	0,16
	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Co</i>	<i>Zn</i>	<i>Mo</i>	<i>Pb</i>	
keskiarvo	4,39	0,16	11,73	0,02	10,13	0,25	4,21	0,08	0,09	
hajonta	4,93	0,05	6,13	0	0	0	1,09	0,05	0,01	

5.4 Jakopääpölyn alkuaineanalyysit

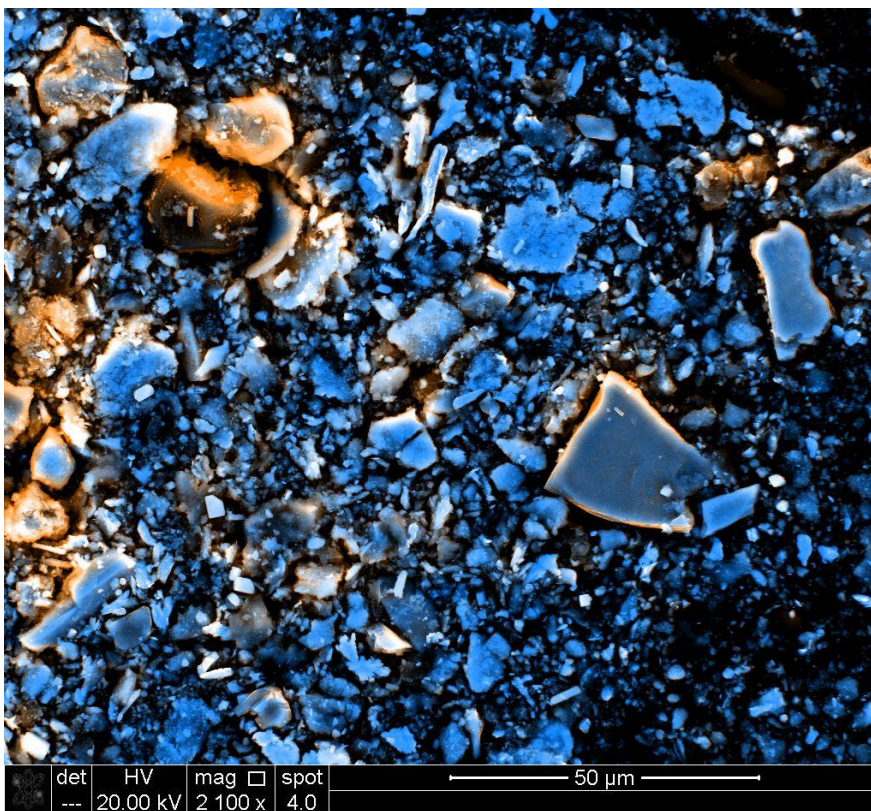
Tutkimuksessa näytteitä analysoitiin kenttäemissiopyyhkäisyelektronimikroskoopilla, johon oli liitetty EDS -alkuaineanalyysaattori. Taulukkoon viisi on listattu keskiarvo, näytteissä esiintyvä hajonta, havaintojen lukumäärä ja prosenttiosuus näytteissä. Alkuaineanalyysistä otettiin yhteensä 262. Taulukon 5 tuloksissa on nähtävissä, että lähes jokaisessa näytteessä on esiintynyt seuraavia alkuaineita: hiiltä (C), happea (O), alumiinia (Al), piitä (Si), rautaa (Fe), klooria (Cl) ja kalsiumia (Ca). Painoprosentteina näytteen alkuainemassasta näytteistä suurin osuus oli raudalla 35,32 % ja hiilellä 29,48 %. Happea pölynäytteissä oli 17,06 %. Loput alkuaineet jakaantuvat alle 8 %:n ja alle 1 %:n määrään. Kromia löytyi 48 näytteestä ja sen keskimääräinen painoprosentti näytteen massasta oli 0,41 %.

Taulukko 5 Alkuaineanalyysin kaikkien tulosten keskiarvoinen tulos

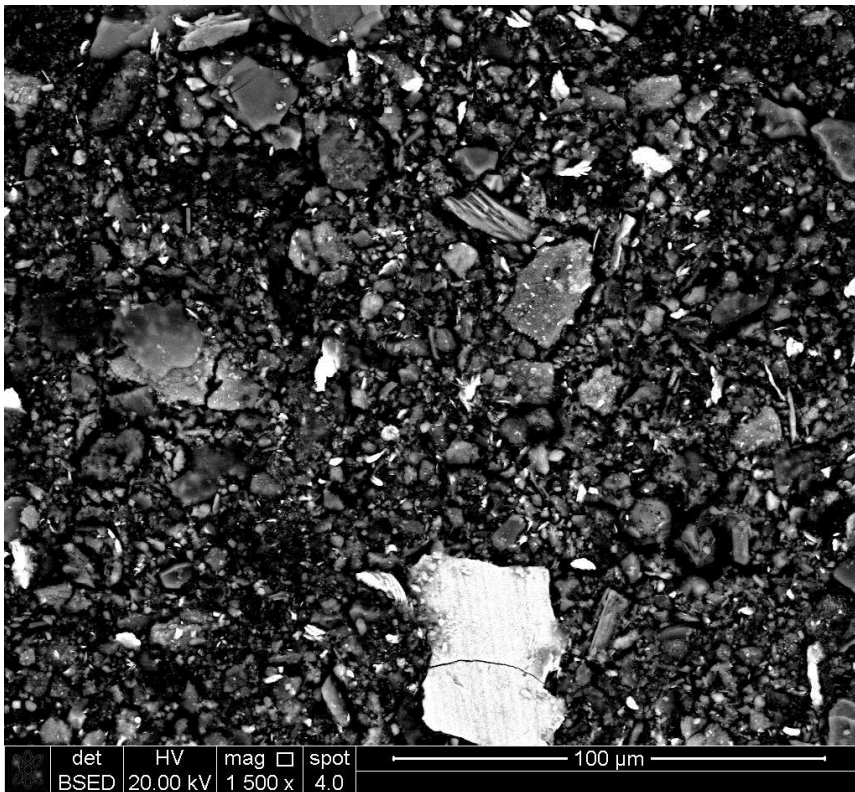
Näytetunnus	<i>C</i>	<i>O</i>	<i>F</i>	<i>Na</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>
keskiarvo	29,48	17,06	0,30	0,46	1,24	2,13	7,09	0,16
hajonta	16,15	9,15	2,99	1,31	3,18	3,46	11,44	0,27
havaintoja	262	255	8	77	167	241	252	149
osuus näytteissä	100 %	97 %	3 %	29 %	64 %	92 %	96 %	57 %
Näytetunnus	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Ta</i>	<i>Bt</i>	<i>Mo</i>	<i>Ni</i>
keskiarvo	0,83	35,32	0,34	1,98	0,03	0,04	0,05	0,03
hajonta	4,32	24,41	0,43	6,32	0,14	0,37	0,29	0,15
havaintoja	40	250	116	134	24	7	13	9
osuus näytteissä	15 %	95 %	44 %	51 %	9 %	3 %	5 %	3 %
Näytetunnus	<i>S</i>	<i>Cl</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Cr</i>		
keskiarvo	0,27	0,47	0,65	1,23	0,43	0,41		
hajonta	1,61	0,94	2,02	3,53	4,18	2,70		
havaintoja	105	213	102	210	46	48		
osuus näytteissä	40 %	81 %	39 %	80 %	18 %	18 %		

5.5 Suurennuskuvat jakopääpölystä

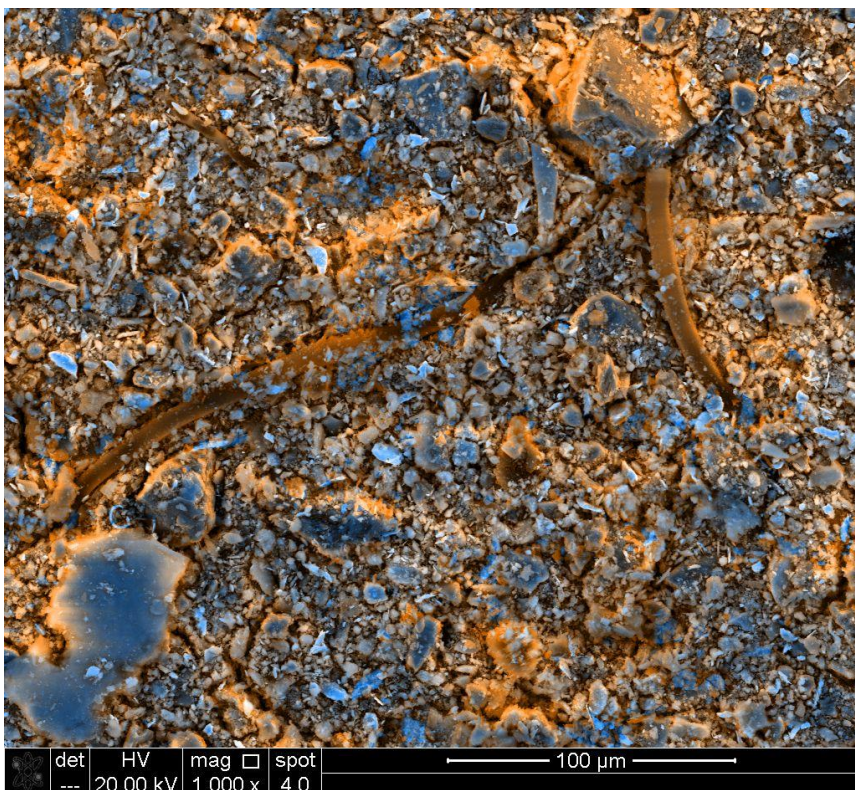
FESEM:in avulla tutkimuksessa pystyttiin saamaan hyvin tarkkoja kuvia tutkittavista pölynäytteistä. Tutkittava jakopääpöly oli erittäin hienojakoista ainetta. Jakopääpölyn keskihalkaisija oli noin $20\mu\text{m}$ eli milleiksi muutettuina $0,02\text{ mm}$. Hiekanjyväksi lasketaan $0,06\text{--}2\text{ mm}$ kokoiset rakeet (Aaltojen alla www-sivut, hakupäivä 24.5.14.) eli jakopään pöly on keskimäärin huomattavasti hienompaa ainesta kuin hiekka. Pölynäytteiden suurennuskuvista oli selvästi havaittavissa pölyn kaksijakoinen rakenne. Lähes jokaisen kuvan taustalla oli erittäin hienojakoista pölyä ja kuvan etuosassa näkyi taustan partikkeleita huomattavasti suurempia kappaleita. Kuvissa 20–22 on esitettyä $1000\text{--}2100$ -kertaisia suurennuksia jakopääpölystä.



Kuva 20 2100 -kertainen suurennus jakopääpölystä



Kuva 21 1500- kertainen suurennus jakopäänpolystä, josta nähtävissä selvästi kaksijakoinen rakenne



Kuva 22 1000 -kertainen suurennus jakopäänpolystä, jossa näkyy hammashihnan säie

5.6 Suolasumukaapin tulokset

Suolasumutestissä näytteet aseteltiin kuvan 23 mukaan. Testiin lisättiin uusien pyörien lisäksi myös yksi käytössä kulunut pyörä. Suolasumutesti suoritettiin luvussa 5.3 kerrotun mukaisesti. Näytteitä seurattiin ja dokumentoitiin viikon välein. Kuvassa 24 on näkyvissä hihnapyörien pintaruostuminen ensimmäisen viikon jälkeen. Kuvassa 25 näkyvät hihnapyörät ovat olleet suolasumukaapissa 12 päivää eli testin loppuun saakka.

Suolasumutestin jälkeen hihnapyörät pestiin ja pintojen ruostumisen määrä arvioitiin silmämääräisesti. Hihnapyörien ruostumisen määrän selvittämiseksi hihnapyörien ruostumista verrattiin toisiinsa. Ensimmäisenä vertailukohtana oli ruostumisen nopeus ja toisena ruosteen määrä testin loputtua. Edellä mainitulla tavalla arvioituna hihnapyörien ruostuminen jaettiin numeroilla 1-5. Asteikossa numero 1 tarkoittaa, että hihnapyörään ei ilmaantunut lainkaan korroosiota. Numero 2 tarkoittaa, että näytteessä on havaittavissa pientä korroosiota ja numero 3, että näytteessä ilmenee selvää korroosiota. Numero 4 tarkoittaa, että näytteessä esiintyy voimakasta korroosiota ja numero 5, että hihnapyörään on ilmestynyt voimakasta korroosiota ja syöpymää.

Automerkki 1:n (kuva 26 (a)) hihnapyörä oli tasaisesti ruostunut ja syöpynyt pinnasta. Automerkin 2 (kuva 26 (b)) hihnapyörässä oli havaittavissa voimakkaita syöpymäalueita tasaisen pintaruosteen lisäksi. Automerkki 3:n ja 4:n (kuvat 26 (c) ja (d)) hihnapyörissä pintaruostetta esiintyi vähän, mutta niissä oli havaittavissa voimakkaita syöpymäalueita. Automerkki 5:n (kuva 26 (e)) hihnapyörä ruostui ensimmäisenä ja hihnapyörässä oli nähtävissä voimakkaita syöpymäalueita. Taulukossa 6 on suolasumutestin arviointitaulukko hihnapyörien korroosiosta.

Taulukko 6 Suolasumutestin arviointitaulukko

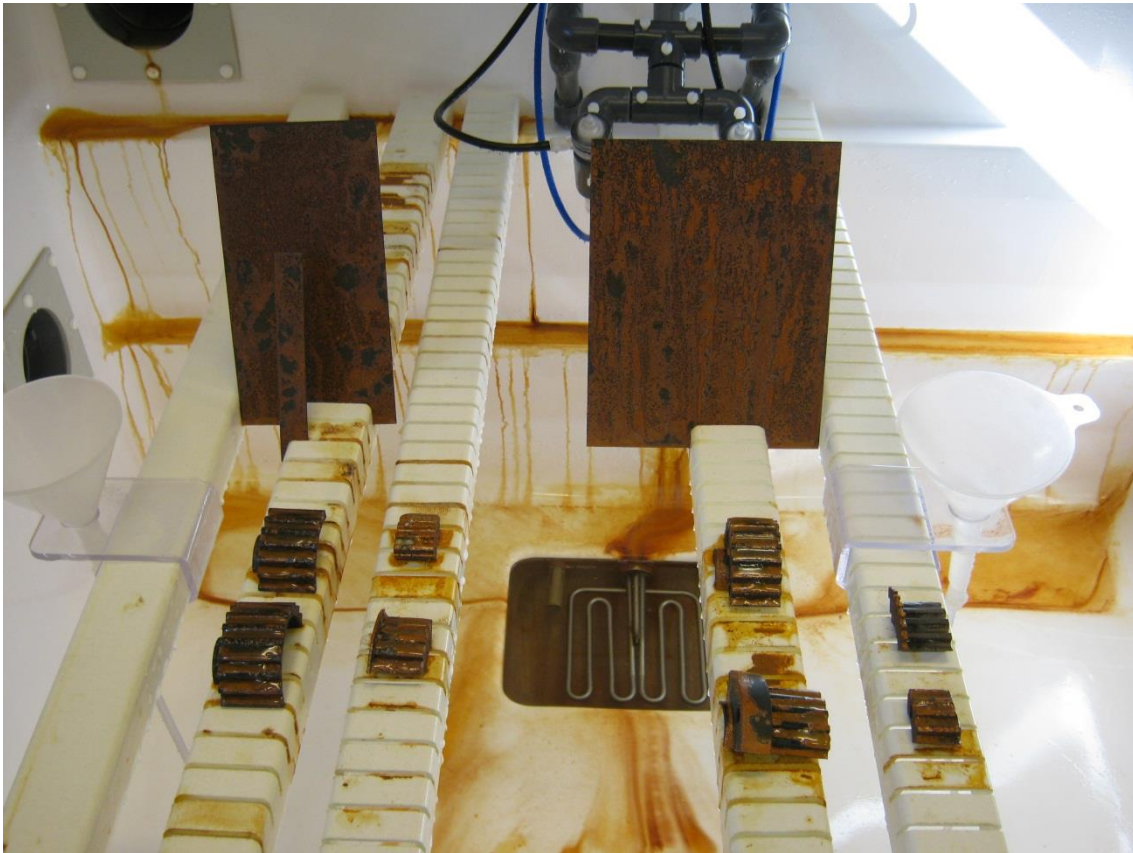
Suolasumutesti CaCl ₂ 282 tuntia	
Korroosion arviointi asteikolla 1-5	Arvosana
Automerkki 1	4
Automerkki 2	4
Automerkki 3	4
Automerkki 4	4
Automerkki 5	5



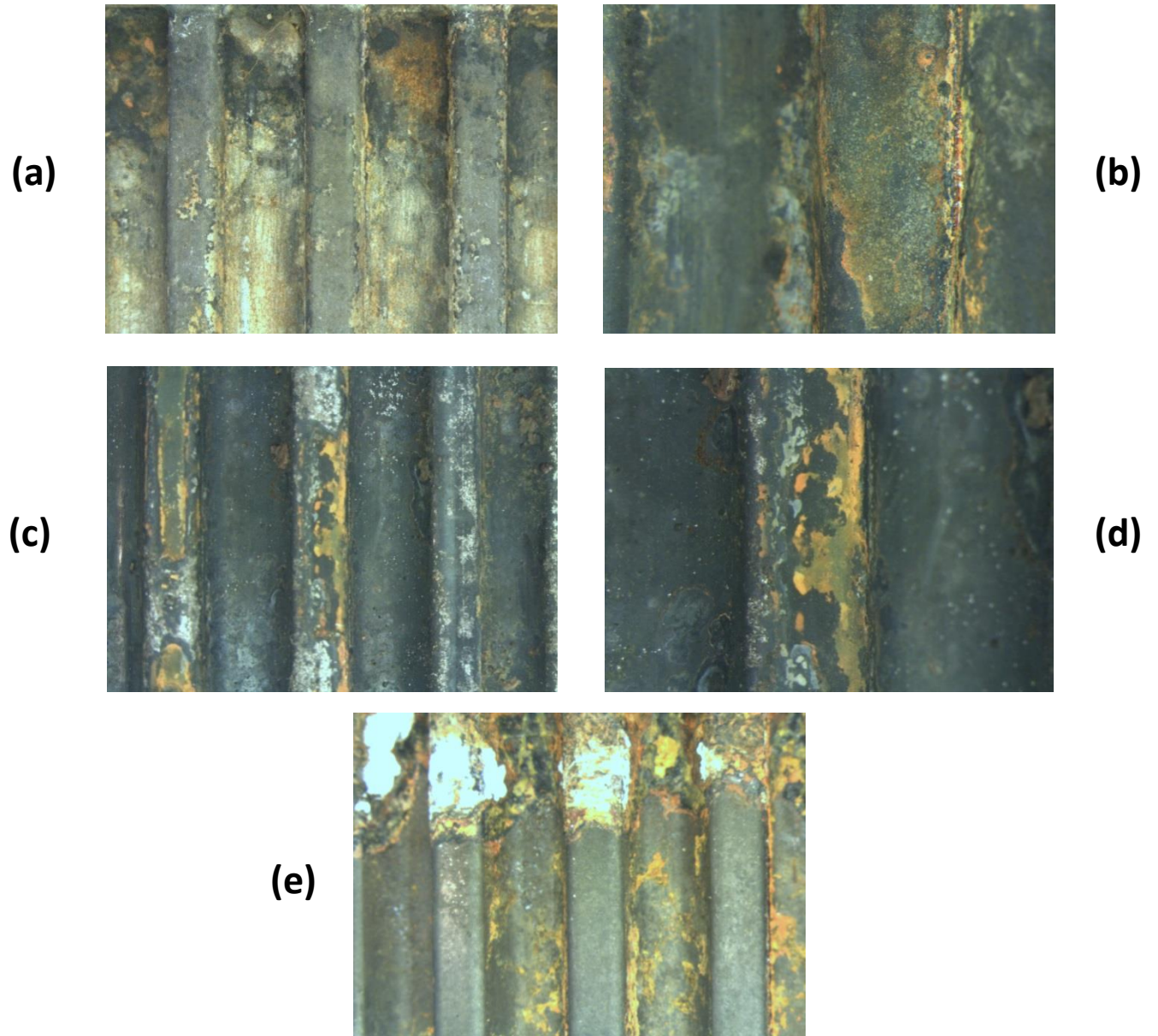
Kuva 23 Hihnapyörät suolasumutestin aloituksessa



Kuva 24 Hihnapyörät suolasumutestissä 6. päivän jälkeen



Kuva 25 Hihnapyörät suolasumutestissä 12. päivän jälkeen



Kuva 26 Suolasumutestin jälkeiset hihnapyörät lähikuvassa, jossa (a) on automerkki 1, (b) on automerkki 2, (c) on automerkki 3, (d) on automerkki 4 ja (e) on automerkki 5.

5.7 Haastattelututkimuksen tulokset

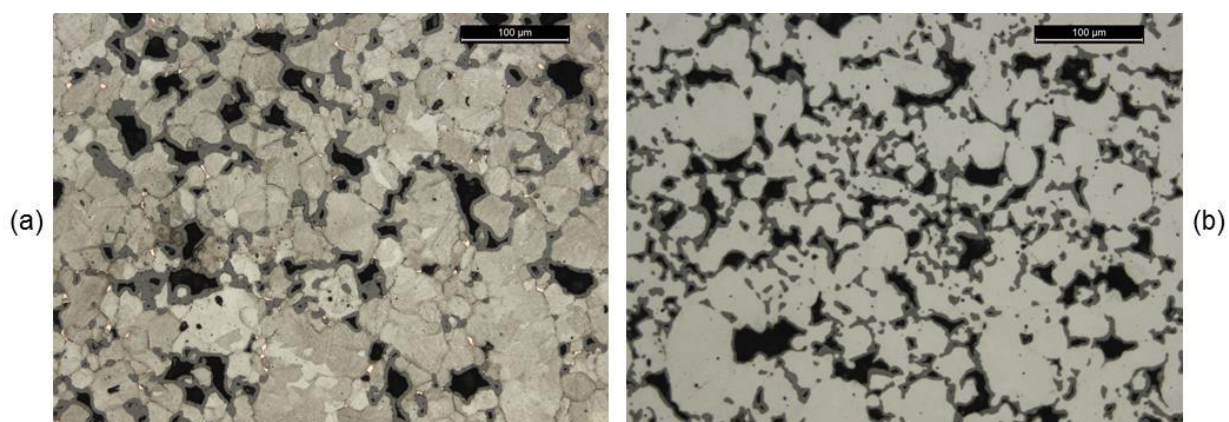
Haastattellessa automerkin 1 korjaamon edustajaa selvisi seuraavia tietoja. Kyseisen merkin ajoneuvoista eivät hammashihnat kulu normaalista poiketen ulkopuolisen aiheuttajan takia. Kyseisellä merkillä oli hammashihnojen kanssa ollut ongelmaa eräässä automallissa moottoria kuormitettaessa raskaasti. Yleisesti ongelma oli johtunut siitä, että kuormatulla ajoneuvoilla oli hinattu raskaalla kuormalla lastattua perävaunua. Kuormasta johtuen ajoneuvon moottori joutui tuottamaan lähes maksimaalisen tehon ajon aikana. Kyseisessä moottorissa hammashihna pyörittää monia eri komponentteja. Kasvaneen tehon tarpeen vuoksi hammashihnalta otettiin enemmän voimaa ja näin ollen ongelmaksi aiheutui hammashihnan kuumentuminen. Kyseisen muutoksen jälkeen hammashihnan hampaat kovettuivat ja alkoivat kuluttaa hihnapyöriä. Kyseisten ajoneuvojen hammashihat olivat lopulta katkenneet ja aiheuttaneet moottorivaurion. Ajoneuvojen korjausten yhteydessä jakopääkotelot olivat olleet erittäin pölyisiä ja hammashihnat korventuneen näköisiä. (Anonyymi haastattelu, 23.4.2014.)

Haastattelussa automerkin 1 edustajan kanssa selvisi, että kyseisellä automerkillä on ollut ongelmia hammashihnojen kulumisen kanssa alkaen vuodesta 2001, jolloin kyseiseltä autonvalmistajalta tuli markkinoille uusi konetyyppi. Konetyyppi oli malliltaan common rail -tyyppinen diesel ja siinä hammashihna pyörittää mm. syöttöpumppua. Ongelmaa esiintyi tietystä tehtaasta tulleissa autoissa. Vastaavasti moottorissa, joka oli valmistettu toisella tehtaalla, ei hammashihnan kulumisen ongelmaa esiintynyt. Vika paikallistettiin silloisissa tutkimuksissa huonoon hammaspyörämateriaaliin. Lopullista syytä kulumiselle ei löydetty tai tuloksia ei koskaan julkaistu. Nykyisin ongelma on kyseiselle moottorityypille satunnainen. (Anonyymi haastattelu, 23.4.2014.)

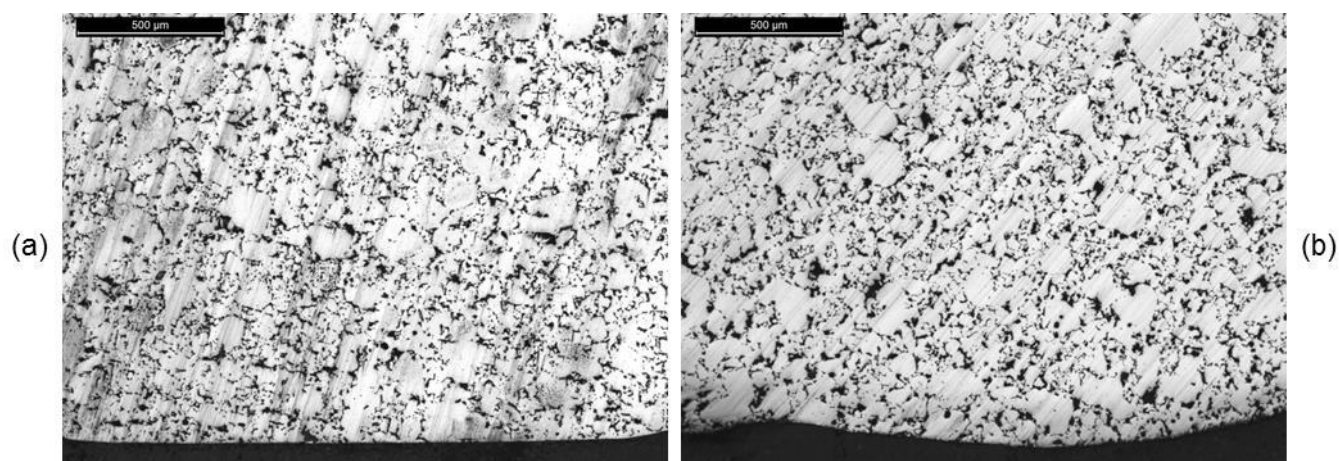
Haastattelussa ajoneuvokorjaamon työnjohtajan kanssa, jotka huoltavat automerkkejä 2, 5, 6 ja 7, selvisi seuraavia asioita. Automerkeissä 2 ja 5 ei ollut esiintynyt yllättävää hammashihnojen kulumista Kemi-Oulu -alueella. Automerkeiltä 6 ja 7 löytyi molemmilta useita tapauksia, joissa hammashihna oli jouduttu vaihtamaan epätavallisen aikaisin. Selvittelyn jälkeen selvisi, että ajoneuvoista löytyi automerkki 3:n valmistama moottori. Kyseistä moottoria valmistaa ja käyttää myös automerkki 3 omissa ajoneuvoissaan. Automerkillä 3 on ollut ennenaikaisia hammashihnojen kulumisia kyseisellä moottorilla valmistetuissa ajoneuvoissa. Automerkeillä 6 ja 7 ei ollut ongelmaa muiden kuin automerkki 3 valmistamien moottoreiden kanssa hammashihnan kestävydessä. (Anonyymi haastattelu, 3.4.2014.)

5.8 Hammashihnapyörien mikrorakennekuvat

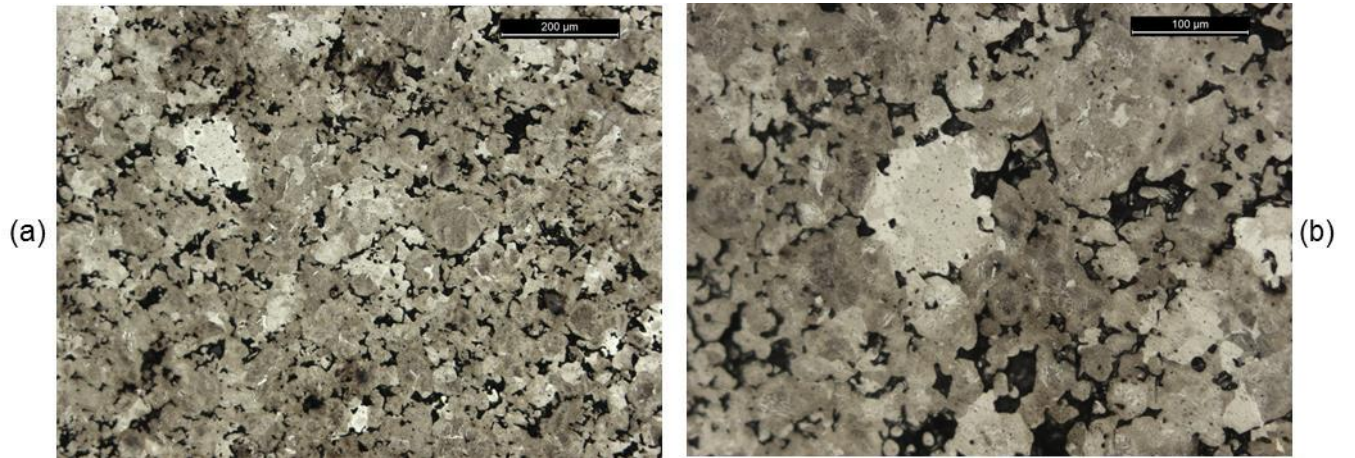
Kuvissa 27–30 nähdään hammashihnapyörien mikrorakenteita käänteismikroskoopissa kiillotetusta pinnasta kuvattuna. Mustat alueet ovat todennäköisesti mikrohuokosia, joita on syntynyt hammaspyörän valmistuksen aikana. Kuvien perusteella mikrorakenteissa ei ole suuria eroja. Syövytys toi esiin varsinaisen mikrorakenteen, joista nähdään esimerkkejä kuvassa 30. Suurennus on sen verran pieni, että mikrorakenteiden yksityiskohtia on vaikea erottaa. (Kauppi 2014, 4, 5.)



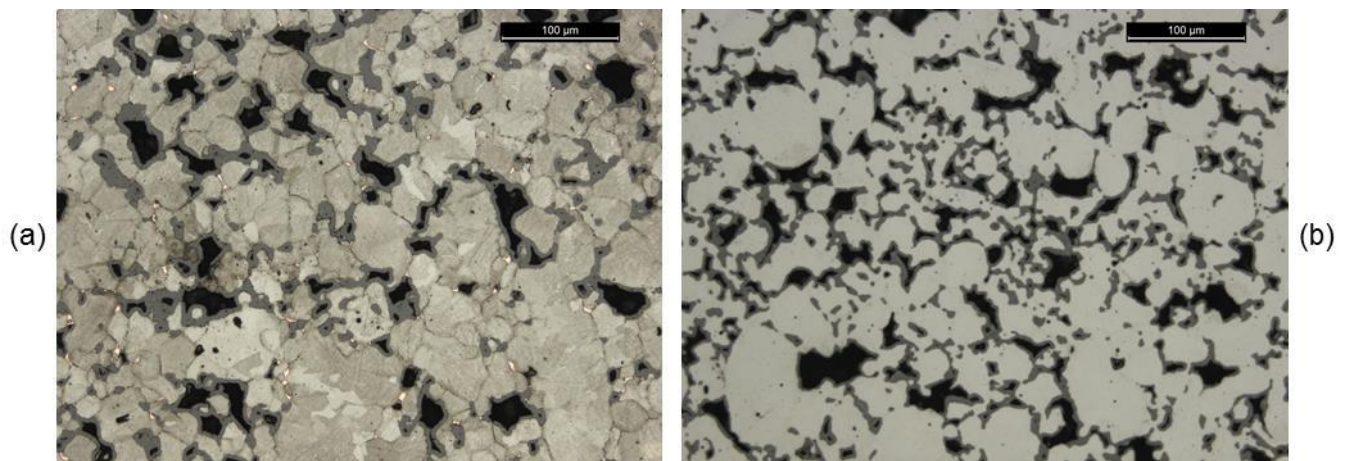
Kuva 27 Automerkkien 2 (a) ja 3 (b) hammaspyörien syövytettyä mikrorakennetta (Kauppi 2014, 4, 5.)



Kuva 28 Hammashihnapyörien mikrorakennetta (a) automerkki 1, (b) automerkki 4 (Kauppi 2014, 4, 5.)



Kuva 29 Automerkin 2 hammaspyörän mikrorakennetta (a) 75x ja (b) X - suurennus (Kauppi 2014, 5.)



Kuva 30 Automerkkien 2 (a) ja 3 (b) hammaspyörien syövytettyjä mikrorakennetta (Kauppi 2014, 5.)

5.9 Jakopään kulumismalli

Tutkimuksessa selvitettiin jakopään kulumismallia. Tuloksissa havaittiin, että ennenaikaisesti kuluneita jakopäitä yhdisti samanlainen kulumismalli. Jakopään hammashihnapyörät kuluvat ja reunat leikkautuvat teräväksi. Kuluneiden hihnapyörien halkaisija pienenee ja näin ollen hammashihnan kiristin joutuu kiristämään hihnaa lisää kireyden pitämiseksi toleranssin sisällä. Kulumisen jatkuessa jakopään hammashihnan kiristimestä loppuu kiristysvara ja hihnan kireys löystyy. Kuluneet hihnapyörät aiheuttavat lisäksi sen, että hammashihnan hampaat taivuttuvat, koska ne pohjaavat hihnapyörän uraan. Terävät hihnapyörän reunat alkavat leikata hammashihnan hampaita irti. Tämän tapahtumaketjun jatkuessa tarpeeksi pitkään irtoavat hammashihnan hampaat ja hammashihna eivät enää pyöri ajoitetusti. Jakopäässä esiintyvä ruskea pöly on merkki siitä, että hihnapyörät ovat alkaneet jo kuluaan. Kuvassa 31 uudet ja kuluneet hammashihnapyörät ovat vierekkäin.



Kuva 31 Kuluneet ja uudet hammashihnapyörät vierekkäin (Hs10.snstatic:n www-sivut, hakupäivä 24.5.2014.)

6 POHDINTA

Tutkimuksessa käsiteltiin viiden eri autovalmistajan hihnapyöriä. Hihnapyörien mikrokovuusmittaukset osoittivat, että eri automerkkien hammaspyörissä on suuria eroja kovuudessa. Kulumiskestävyyden kannalta on tietysti sitä parempi, mitä kovempaa materiaali on. Suuret erot automerkkien hammashihnapyörien välillä osoittavat sen, että kulumiskestävyydessäkin on eroja. Jatkotutkimuksessa pitäisi tutustua useampaan merkkiin yksityiskohtaisemmin sekä saada näytteitä rikkoontuneista jakopäistä eri puolelta Suomea.

Hammashihnapyörien koostumuksessa on eroja varsinkin hiilen, kuparin ja hapen osuudella seoksessa. Materiaalin hiilipitoisuudella voidaan vaikuttaa muun muassa faasirakenteeseen ja sitä kautta kappaleen kulutuskestävyyteen. Hihnapyörien happipitoisuus vaikuttaa kappaleen huokoisuuteen ja sitä kautta materiaalin kulutuksen kestävyyteen sekä korroosion kestoon. Huokoisessa materiaalissa korroosiolle altista pinta-alaa esiintyy enemmän ja näin ollen hihnapyörä on alttiimpi ruostumiselle.

Uutisointi autojen jakopäiden ennen aikaisista kulumisista johti ELY-keskuksen lisäselvitykseen, jossa tutkittiin OKTO-murskeen osuutta hammashihnavaurioihin. Tutkimukset suoritti Aalto-yliopisto yhteistyössä Lapin ammattikorkeakoulun kanssa. Tutkimustuloksissa oli havaittavissa että OKTO-murskeella ei ole tekemistä ennen aikaisten vaurioiden kanssa.

Lapin ammattikorkeakoulussa ja Aalto-yliopistossa suoritettujen pölyn alkuaineanalyysien perusteella voidaan sanoa, että OKTO-murskeessa esiintyvää kromia esiintyy jakopään pölyssä erittäin vähän. Ruskea pöly koostuu pääosin hiilestä, hapestä, alumiinista, piistä, raudasta, kloorista ja kalsiumista. Eniten keskiarvollisesti pölyssä esiintyy rautaa. Kun hihnapyörien alkuaineanalyysiä ja jakopään pölynäytteitä vertaa keskenään, voi havaita, että hammashihnapyörän materiaalin lisäksi näytteistä löytyvät alkuaineet natrium, kloori, kalium ja pii. Tiesuolan elementtejä ovat kalium, natrium ja kloori. Piitä eli hiekkaa esiintyy kaikkialla. Jakopääpölyn alkuaineanalyysin pohjalta voidaan siis todeta, että teiden kunnossapitoon käytettävällä kemikaalilla on osuutta hammashihnojen ennen aikaiseen kulumiseen.

Jakopääpölyn suurennuksissa on havaittavissa selvästi erottuva kaksijakoinen rakenne. Pölyn seasta löytyy 1500 -kertaisessa suurennuksessa lohokareilta näyttäviä palasia. Tutkimuksessa selvitettiin, mitä nämä lohokareet ovat ja miten ne eroavat taustalla olevasta pölystä. Tuloksissa havaittiin että lohokareiden alkuainekoostumus oli keskimääräisesti sama kuin taustalla olevan pölyn.

Suolasumukaapin testauksessa tarkoituksena oli selvittää, ruostuvatko hihnapyörät ja jos ruostuvat, miten nopeasti ja kuinka paljon. Testissä selvisi, että kalsiumkloridi ruostutti kaikkia autovalmistajien

hihnapyöriä. Pintaruosteen lisäksi kalsiumkloridi aiheutti myös syöpymiä hammashihnapyörien pinnoille. Syöpymien syvyydessä ja määrässä oli hihnapyörien välillä eroa.

Toivon, että opinnäytetyöni herättää kysymyksiä ja aihetta tutkittaisiin lisää. Tutkimuksia voitaisiin jatkaa kartoittamalla, onko ongelma alueellinen. Luotettavalla tilastollisella tiedolla voitaisiin myös osoittaa, onko ongelma vain tiettyjen autovalmistajien ajoneuvoissa. Jos näin on, kyseisessä autossa on jokin rakenteellinen tai materiaallinen seikka, joka edesauttaa ennenaikaista kulumista.

Uusia ja kuluneita hihnapyöriä pitäisi tutkia laajemmin. Tutkimuksiin voisi lisätä vaihdettuja jakopäänosia sellaisista ajoneuvoista, joissa ongelmaa ei esiinny. Näitä ennenaikaisesti hajooneiden - ja ehjänä säilyneiden jakopäiden alkuaineanalyysi tutkittaisiin ja tätä verrattaisiin vastaavaan uuteen hammashihnapyörän alkuaineanalyysiin. Kyseisen testin jälkeen voitaisiin tarkastella, onko hammashihnapyörässä esiintyvien alkuaineiden lisäksi esiintynyt jotain muuta alkuainetta.

Tutkimustyötä tehdessäni olen pohdiskellut, miten ongelmasta päästäisiin eroon. Keskustelin työni tekovaiheessa useiden asentajien kanssa ongelmasta. Eräs asentaja mainitsi, että jakopään koteloon tulisi asentaa putki, joka imee sieltä koko ajan ilmaa pois. Tällä voitaisiin ehkäistä ulkopuolisen pölyn jääminen jakopään koteloon. Idea voitaisiin toteuttaa viemällä moottorin ilmansuodatin kotelosta imuputki jakopään koteloon yläosaan. Jakopään pölyt imeytyisivät ilmansuodattimeen ja näin ollen eivät aiheuttaisi ongelmia jakopään kestävyyskannan kanssa. Lisäksi imuputki kuivattaisi jakopään mahdollisen kosteuden ja tämän ansiosta korroosioreaktio ei pystyisi etenemään.

Toinen vaihtoehto on jakopään tiivistäminen niin tiiviiksi, että koteloon eivät pääse ulkopuoliset aineet. Tässä toimenpiteessä piilee mahdollinen ongelma. Mikäli jakopään kotelo muutetaan liian tiiviiksi ja ilma ei pääse kotelossa ollenkaan vaihtumaan, voi jakopää kuumentua ja aiheuttaa ennenaikaisen kulumisen. Kolmantena vaihtoehtona olisi hammashihnapyörien pintatiivistys. Tiivistyksellä hammashihnapyörien materiaalista saataisiin huokoisuus vähenemään ja sitä kautta kulutuskestävyyttä lisää.

Opinnäytetyön tekemisessä sain hyvää kokemusta materiaalin tutkimisesta ja teoretiedon hyödyntämisestä tutkimuksessa. Materiaalitekniikan kursseilla käsitellyt asiat avautuivat uudessa valossa tutkimuksen loppuvaiheessa. Mielenkiintoisen tutkimuksesta teki sen, että ongelma on todellinen ja vastaus ongelmaan piilee pienissä tekijöissä.

LÄHTEET

Aaltojen alla. Hiekka- ja sorapohjat. Hakupäivä 24.5.2014.

[www.aaltojenalla.fi/cgi-](http://www.aaltojenalla.fi/cgi-bin/bsbw/search.cgi?loc=1&13=13&lang=fin&file=Elinymparistot&mark=&tm=universal_1&tm_d=content_1&menu=menu3)

[bin/bsbw/search.cgi?loc=1&13=13&lang=fin&file=Elinymparistot&mark=&tm=universal_1&tm_d=content_1&menu=menu3](http://www.aaltojenalla.fi/cgi-bin/bsbw/search.cgi?loc=1&13=13&lang=fin&file=Elinymparistot&mark=&tm=universal_1&tm_d=content_1&menu=menu3)

Ak Training 2009. Hakupäivä 8.4.2014.

www.akautomotivetraining.co.uk/Commonraildieseldiagnosticsquickhealthcheck_000.pdf.pdf

Alfabb 2010. Hakupäivä 8.4.2014.

www.alfabb.com/bb/forums/164-168-1991-1995/31593-timing-belt-years-vs-miles-2.html

Anonyymi haastattelu ammattiautolija 1:n kanssa 25.4.2014.

Anonyymi haastattelu ammattiautolija 2:n kanssa 26.4.2014.

Anonyymi haastattelu 3.4.2014.

Anonyymi haastattelu 23.4.2014.

Ascott 2013. Hakupäivä 20.4.2014.

<http://ascott-analytical.com/salt-spray-mode-cct.html>;

Autoutiset. Autohtori koeajaa. Hakupäivä 5.4.2014.

www.autoutiset.com/html/juttuarkisto/0110/0110Koeajo.pdf

Chick, Denis, director Vauxhall Motors. Re:Vauxhall Motors. Sähköpostiviesti

leena.sassi@lapinamk.fi 23.4.2014.

Devinsportscars. Hakupäivä 29.3.2014.

www.devinsportscars.com/Images/Images2/DevinPanhard1.jpg

Devinsportscars. Hakupäivä 29.3.2014.

www.devinsportscars.com/TheMan3.html

Econofix. Hakupäivä 18.4.14.

www.econofix.com/tbelt.html;

ELY-keskus. Teoreettinen tien rakenteen kuvaus. Hakupäivä 27.4.2014.

www.ely-keskus.fi/documents/10191/515653/tien_rakenne.pdf/ab6e000b-401f-4264-8746-54c103ecd0cf

Esmaeli, Milad – Subramaniam, Ashwin 2011. Engine Timing Geartrain Concepts and Proposals for Gear Rattle Noise Reduction in Commercial Vehicles. Master of Science Thesis. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden.

Hs10.snstatic. Hakupäivä 24.5.2014.

<http://hs10.snstatic.fi/webkuva/taysi/560/1305749848557?ts=501>

Jorii verkkosivuprojekti. Common Rail –järjestelmän toiminta. Hakupäivä 8.4.2014.

<http://users.metropolia.fi/~jorii/Verkkosivuprojekti/commonrailjarjestelmantoiminta.html>

Karhunen, Matti 2007. Jakopään hammashihnojen ongelmat. Artikkelit Koneviesti 20.4.2007 nro 6.

Kauppi, Jaana 2011. FE-SEM- ja EDS-laitteiden käyttöönotto. Opinnäytetyö. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Kemi.

Kauppi, Timo 2014. Eri automerkkien jakopään hammaspyörämateriaalit. Sisäinen tekninen raportti.

Lapin Kansa 2013. Jakohihnavauriot: Ammattikorkeassa tutkimukset aloitettu jo viikkoja sitten.

Hakupäivä 23.4.2014.

www.lapinkansa.fi/Lappi/1194847367120/artikkeli/jakohihnavauriot+ammattikorkeassa+tutkimus+aloitettu+jo+viikkoja+sitten.html;

Museovirasto. Glas S 1004 Cabriolet. Hakupäivä 23.4.2014.

<http://suomenmuseonline.fi/fi/kohde/Mobilia/3838?itemIndex=17365>

Pyrrö, Markku 2012. Moottorin jakopään käyttömekanismien rakenne, toiminta ja opetuskansio.

Opinnäytetyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Oulu.

SKS 1999. Hammashihnakäytön suunniteluopas, hakupäivä 5.4.2014.

[www.sks.fi/www/sivut/186CEF516D83C523C2257B6B003E6E36/\\$FILE/Hammashihnakayton_suunnitteluopas_LL%20hihnat.pdf](http://www.sks.fi/www/sivut/186CEF516D83C523C2257B6B003E6E36/$FILE/Hammashihnakayton_suunnitteluopas_LL%20hihnat.pdf)

Tiehallinto 2007. Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa. Hakupäivä 27.4.2014.

<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100041-v-07-sivutuoteohje.pdf>

Vestola, Elina - Pohjanne, Pekka - Carpen, Leena - Kaunisto, Tuija - Ahlroos, Tiina 2006. Kalsiumkloridin sivuvaikutukset. Tiehallinnon selvityksiä 28/2006. Helsinki: Edita Prima Oy.

