

Ville Väänänen

Jakopäiden ennenaikaisen kulumisen alueellinen esiintyminen ja mahdolliset syyt

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

30.8.2017

Tekijä Otsikko	Ville Väänänen Jakopäiden ennenaikainen kuluminen
Sivumäärä Aika	20 sivua + 2 liitettä 30.8.2017
Tutkinto	Insinööri AMK
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Koneensuunnittelu
Ohjaajat	Projekti-insinööri Aleks Malinen Technical manager Jussi Salmi
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli tutkia Suomessa havaitun autojen jakohihnojen ennenaikaisen kulumisen esiintyvyyttä alueittain, sekä koota ja jalostaa aiheesta olemassa olevaa tietoa. Insinööriyön tarkoitus on myös toimia pohjana Metropolia Ammattikorkeakoulun aiheesta tulevaisuudessa tehtävälle jatkotutkimukselle. Työ tehtiin VV-Auto Group Oy:n toimeksiannosta.</p> <p>Työssä selvitettiin VV-Autolta saadun tiedon perusteella jakopäävaurioiden esiintyminen alueittain suhteutettuna alueella käytössä olevien autojen määrään. Tutkimus osoitti, että merkittävä osa Volkswagen- Seat- ja Audi-autojen jakopäiden takuukorjauksista on tehty joko Oulussa, tai sen lähialueilla. Osana työtä oli analysoida jakopään kotelosta löytyvän pölyn koostumusta. Analyysi suoritettiin neljästä eri autosta peräisin olevalle pölylle. Kaksi näistä on ollut käytössä pääkaupunkiseudulla ja kaksi Oulun alueella.</p> <p>Insinööriyössä myös kerättiin olemassa olevaa tietoa ja pohdittiin, tukevatko tai kumoavatko tässä tutkimuksessa saadut tulokset joitain aiempia oletuksia.</p> <p>Tuloksista käy ilmi, että tutkittujen automerkkien ennenaikaiset jakopäävauriot ovat kasaantuneet pienelle maantieteelliselle alueelle ja suuressa osassa Suomea tapaukset ovat harvinaisia. Tutkimuksessa selvisi myös, että autojen jakopäästä löytyvän pölyn koostumuksessa on selkeä ero Oulussa ja pääkaupunkiseudulla käytössä olleiden autojen välillä.</p>	
Avainsanat	Jakopää, jakohihna, hammashihna, hammashihnapyörä, OKTO

Author Title	Ville Väänänen Premature Wear of Timing Belts in Finland
Number of Pages Date	20 pages + 2 appendices 30 August 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering and Production Technology
Specialisation option	Machine Design
Instructors	Aleksi Malinen, Project Engineer Jussi Salmi, Technical Manager
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to study the regional incidence of premature timing belt wear and failures in Finland and to collect and refine the existing data of possible causes of timing belt issues. In addition the objective was that this Bachelor's thesis would act as a basis for further topic-related research conducted at Metropolia UAS. The thesis was commissioned by VV-Auto Group Oy.</p> <p>The regional incidence of timing belt failures was studied using data received from VV-Auto Group Oy. It was discovered that a remarkable number of all the timing belt issues in Audi, Seat and Volkswagen cars appeared in the Oulu area.</p> <p>In this study, the content of dust collected from timing belt covers was analyzed. The analyses were conducted for samples collected from four different cars, two from the Helsinki area and two from the Oulu area.</p> <p>It was also examined if the new findings from this study supports or disproves the existing hypotheses of premature timing belt wear.</p> <p>As a result it was found out that the timing belt issues are mainly appearing on a small area in Finland and in most parts of the country failures are rare. It was discovered that the content of dust from timing belt covers differs depending on the geographic area where the car has been in use.</p>	
Keywords	Timing belt, pulley, OKTO

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Jakopää polttomoottoreissa	1
2.1	Jakohihnan historiaa	2
2.2	Jakohihnan rakenne ja ominaisuudet	2
2.3	Jakohihnan vaihtoväli	4
2.4	Common rail	4
2.5	Jakopään kulumisen mekanismi	4
3	Aiemmat tutkimukset Oulun alueen jakopääongelmista	5
4	Korjaamodata	6
4.1	Takuuhuolletut jakopäät suhteutettuna alueen autokantaan	6
4.2	Kaikki jakopäähän liittyvät huollot	7
4.3	Samaan autoon useasti tehdyt jakopää takuukorjaukset	8
4.4	Yhteenveto tilastoista	9
5	Jakopäästä löytyvän pölyn analyysi	10
5.1	Tutkimusmenetelmä	10
5.2	FE-SEM-EDS-tulokset	11
5.3	XRD-tulokset	13
5.4	Yhteenveto jakopääpölyn koostumuksesta	13
6	Kulumiseen vaikuttavia tekijöitä	14
6.1	Korundi	14
6.2	Hammashihnapyörät jakopäässä	15
6.3	Jäänestoaineet	15
6.4	Ilmasto	17
6.5	Nastarenkaat	19
6.6	OKTO-murske	19
7	Yhteenveto	20
	Liitteet	
	Liite 1. XRD Al-oksidi	
	Liite 2. XRD Fe-oksidi	

1 Johdanto

Insinööriyössä tutkitaan olemassa olevan tiedon avulla lähivuosina Suomessa havaittua autojen jakopään hammashihnojen -ja pyörien ennenaikaista kulumista. Tavoitteena on esittää VV-Auto Group Oy:ltä saadun korjaamodatan perusteella, onko jakopäiden viikaantumisissa selkeitä alueellisia eroja, kuten on epäilty. Tämän lisäksi tavoitteena on koota tähän mennessä tehdyistä tutkimuksista saatua tietoa ja esittää ennenaikaisen kulumisen mahdollisia aiheuttajia.

Katkeavat jakopään hihnat aiheuttavat suuria ongelmia koska lähes aina tämä johtaa moottorin rikkoutumiseen ja sitä kautta matkan katkeamiseen sekä kalliiseen moottoriremonttiin.

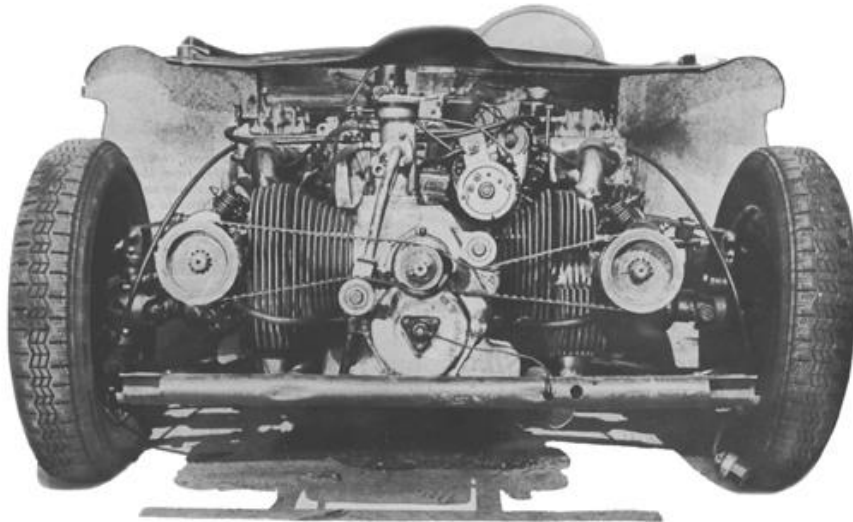
Työn tilaajana on VV-Auto Group Oy, joka on Volkswagen - Audi - ja Seat -henkilöautojen sekä Volkswagen-hyötyautojen ja MAN kuorma- ja linja-autojen Suomen maahan-tuoja. Tämä insinööriyö on ensimmäinen osa Metropolia Ammattikorkeakoulun VV-Auto Group Oy:lle tekemää tutkimusta, jossa selvitetään jakopään ennenaikaisen kulumisen syitä. Työ toimii myös pohjana tutkimuksen seuraavalle vaiheelle, jossa on tarkoitus kerätä pölynäytteitä eri puolilta Suomea Metropolia Ammattikorkeakoulun Nuuskija-autolla.

2 Jakopää polttomoottoreissa

Jakopääksi kutsutaan laitteistoa, joka pyörittää moottorin nokka-akselia puolella siitä nopeudesta jolla kampiakseli pyörii. Myös polttoainepumppu ja muut apulaitteen voivat saada voimansa jakopäästä. Aikojen saatossa liikettä kampiakselilta nokka-akselille on välitetty hammasrattaiden, ketjun sekä hihnan avulla. Tänä päivänä jakohihnat ovat käytössä 75 %:ssa eurooppalaisista moottoreista. Tämä kertoo hihnan eduista yksinkertaisuudessa, kitkan vähäisyydessä ja edullisimmissa kustannuksissa verrattuna muihin systeemeihin [1, s. 217]. Hammashihnoissa on tapahtunut huomattava kehitys sen jälkeen, kun niitä on ensimmäisiä kertoja käytetty moottorin jakopäässä.

2.1 Jakohihnan historiaa

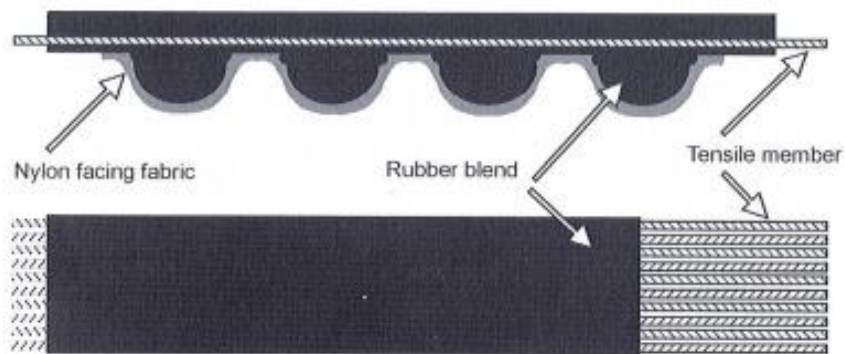
Polttomoottorien alkuaikoina nokka-akselit ja venttiilit saivat ajoituksensa ja liikevoimansa kampaakselilta hammaspyörien tai työntötangon välityksellä. Myöhemmin kehitettiin ketjuvälitteinen kannen yläpuolinen nokka-akseli. Ensimmäistä kertaa autonmoottorissa jakohihnaa käytettiin tiettävästi 1950-luvulla, kun Bill Devin rakensi autoonsa moottorin käyttäen Norton Manx-moottoripyörän sylinterejä, joissa oli kannen yläpuoliset nokka-akselit. Alun perin nokka-akseli oli hammasrataskäyttöinen, mutta tässä autossa niitä pyörittämään laitettiin hammashihnat [2]. Devin sai hammashihnat Gilmer-yhtiöltä, joka oli kehittänyt hammashihnoja 1940-luvulta lähtien lähinnä tekstiiliteollisuuden koneiden voimansiirtokomponentiksi [3]. (Kuva 1.)



Kuva 1. Devin Panhard [2]

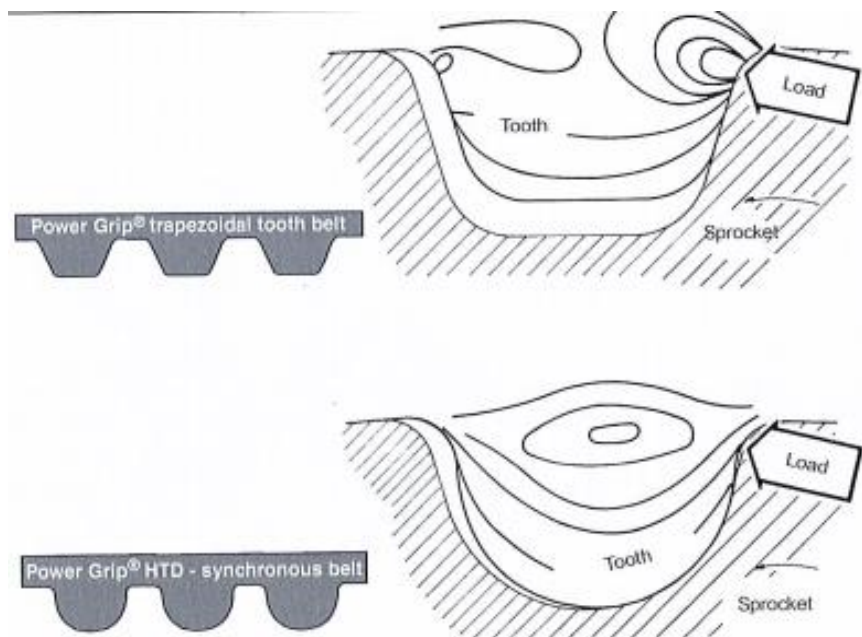
2.2 Jakohihnan rakenne ja ominaisuudet

Nykyaikainen jakohihna koostuu kolmesta osasta, voimaa välittävästä punoksesta, kumiseoksesta ja nylonkankaisesta päällysteestä hampaiden päällä lisäämässä kulutuskestävyyttä (Kuva 2).



Kuva 2. Jakohihnan rakenne [1, s. 219]

Oikeanlaisen hihnan venymä hihnan elinaikana on alle 0,1 %:a. [1, s. 219] Nykyaikaisessa moottorissa tämä vastaa 1—1,5 asteen muutosta venttiilien ajoituksessa. Hihnojen muotoilua on parannettu siten että hihnalle tuleva rasitus on pienentynyt (Kuva 3).



Kuva 3. Voiman jakautuminen hihnan hampaassa [1, s. 218]

2.3 Jakohihnan vaihtoväli

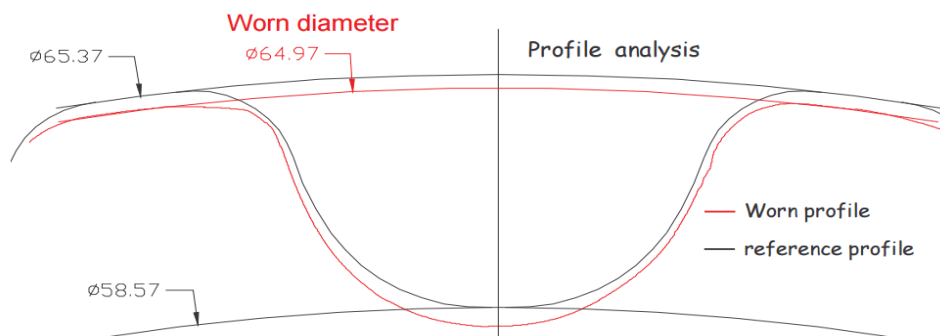
Suositus auton jakohihnan vaihtoväliksi vaihtelee merkeittäin ja moottorimalleittain. Usein ilmoitetaan sekä kilometri- että vuosimäärä. Keskimäärin aikasuositus on noin 6 vuotta ja kilometrisuositus noin 80 000—150 000 km. On myös moottoreita, joissa ajomääräsuositus on huomattavasti korkeampi, jopa yli 200 000 km. Nykyään monet jakohihnojen ja hihnapyörien valmistajat suosittelevat, että myös hammashihnapyörät ja hihnan kiristimet vaihdetaan samalla kun hihna uusitaan. Vaikka tekniikka on kehittynyt ja hihnat vahvistuneet, niin jotkut autovalmistajat ovat pienentäneet vaihtovälisuositustaan [4].

2.4 Common rail

Common rail eli yhteispaineruiskutus on moottoreiden ruiskutusjärjestelmä, jossa yksi pumppu tuottaa jatkuvan yli 1 000 barin paineen. Common rail -pumppu voi luoda lisärasitusta jakohihnalle. [5.]

2.5 Jakopään kulumisen mekanismi

Aikaisempien tutkimusten [7] perusteella vaikuttaa siltä, että jakopään ennenaikaisen kulumisen mekanismi on tunnettu. Ensin hammashihnapyörät kuluvat niin että hammashihnapyörän halkaisija pienenee. Tämän jälkeen kuluneet hammashihnapyörät alkavat kuluttaa itse hihnaa ja lopulta hihnasta leikkautuu hampaita irti. Hammashihnapyörien halkaisijan pienentyessä hihna löystyy, mitä kiristin yrittää korjata mutta lopulta kiristysvara loppuu ja hihna löystyy. Kuvan 4 mukaan hammashihnapyörän halkaisija on kulunut hampaan laelta 0,4 mm.



Kuva 4. Hihnapyörän kulumisen 100 000 km:n jälkeen

3 Aiemmat tutkimukset Oulun alueen jakopääongelmista

Ensimmäisiä kirjoituksia jakohihnojen poikkeuksellisen nopeasta kulumisesta Oulun seudulla alkoi ilmaantua vuoden 2012 aikoihin. Ensin autoihin liittyvillä internetin keskustelufoorumeilla ja sitten sanomalehdissä kuten, Kalevassa ja Helsingin Sanomissa [6]. Autokorjaamoilla ongelmia on havaittu jo 1990-luvulla [7, s.10].

Sittemmin aiheesta on tehty useita tutkimuksia: Lapin Ammattikorkeakoulu 2012, Aalto yliopisto 2013 ja Metropolia Ammattikorkeakoulu 2016 [7; 8; 9]. Aluksi julkisuudessa epäiltiin Oulun alueella tiemateriaalina käytetyn OKTO-murskeen olevan jakopääongelmien aiheuttaja. Skanska Oy:ltä saatujen tietojen mukaan OKTO-mursketta on käytetty valtatie 4:n, 8:n ja monien 8-alkuisten kolme- ja nelinumeroisten teiden materiaalina vuodesta 2008 alkaen Pohjois-Pohjanmaalla [10]. Alueellisesti OKTO-mursketta on käytetty siellä missä kuvan 5. mukaan ongelmiakin on.

Vuonna 2014 Aalto-yliopisto tutki yhdessä Lapin Ammattikorkeakoulun kanssa OKTO-murskeen osuutta jakopäiden rikkoutumisiin. Tutkimuksissa verrattiin muutaman Oulun seudulla rikkoontuneen jakopään sisältämän pölyn koostumusta OKTO-asfaltista kuluttamalla saatuun pölyyn. Tutkimuksen perusteella OKTO-murske ei ole jakopään mekaanisen kulumisen pääasiallinen aiheuttaja. Aalto-yliopiston tutkimukset täydennettynä GTK:n analyysein osoittivat autoista kerätyn pölyn sisältävän merkittäviä määriä rautakloridia, joka on syövyttävä rauta- ja kloridi-ionien muodostama ioniyhdiste; hyvin pieninä pitoisuuksina OKTO-murskeen rakeita (0,03 – 0,1 %); sekä pieniä pitoisuuksia erittäin kovaa mineraalia, korundia (0,04-0,1 %). Merkittävät rautakloridipitoisuudet autojen moottoritilaan kertyvästä pölyssä voidaan selittää korroosiolla. Jäänestoaineet syövyttävät sekä autoja että asfaltin kiviaineksia. [8, s. 8]

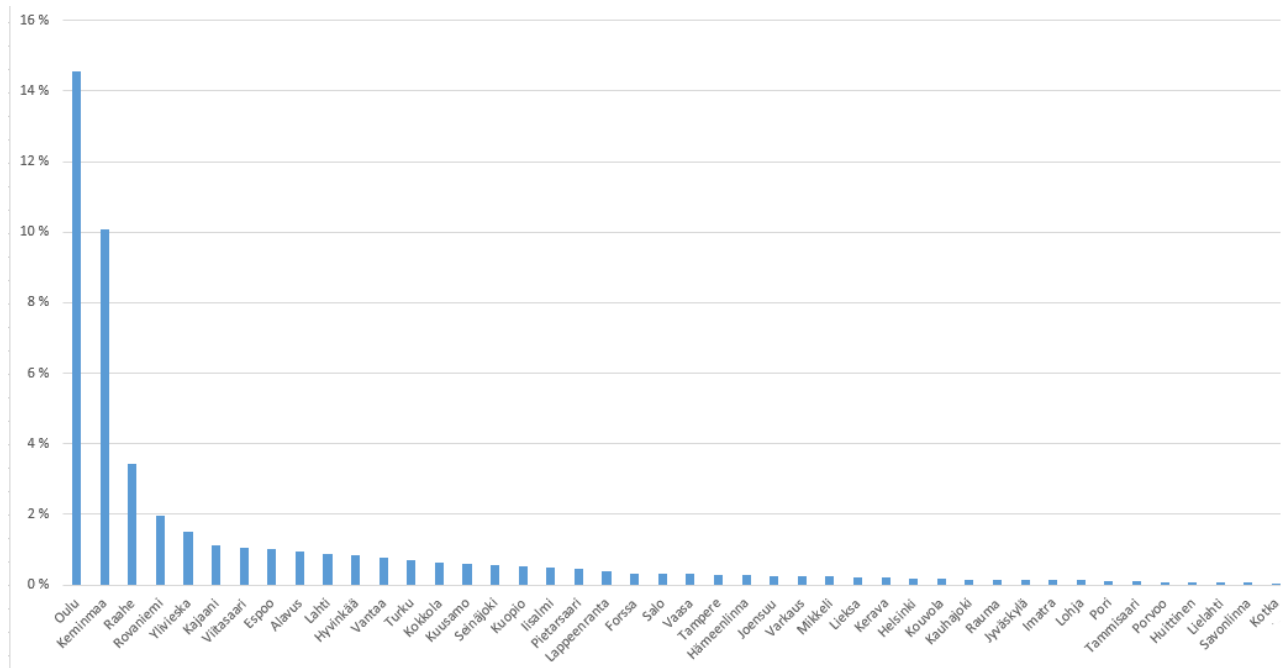
Autoista kerätty pöly sisälsi niin pieniä määriä OKTO-murskeen rakeita, että sen ei katsottu olevan kulumisen aiheuttaja. Rautakloridipitoisuudet taas viittaavat korroosion vaikutukseen. Mielenkiintoisena löydöksenä voidaan pitää korundia, josta lisää kappalessa 6.1. Aalto-yliopiston tutkimuksessa tutkittiin ainoastaan ongelma-alueen autojen jakopäistä peräisin olevaa pölyä, eikä sitä verrattu muun alueen autoista löytyvään pölyyn.

4 Korjaamodata

Tässä insinööriyössä on käytetty VV-Auton huoltojen tietojärjestelmästä kerättyä dataa, joka koskee autojen jakopäähän tehtyjä takuukorjauksia sekä jakopäihin liittyviä huoltoja yleisesti. Lisäksi saatiin yrityksen omiin tarkoituksiin tehty Excel-tiedosto, jossa on Suomen aktiivisessa käytössä olevat VW- Audi- ja Seat-autot jaoteltuina VV-Auton jälleenmyyjien mukaisesti alueittain. Nämä tiedot autokannasta perustuvat Trafin julkaisemaan avoimeen dataan ja koskevat autokantaa vuodelta 2015.

4.1 Takuuhuolletut jakopäät suhteutettuna alueen autokantaan

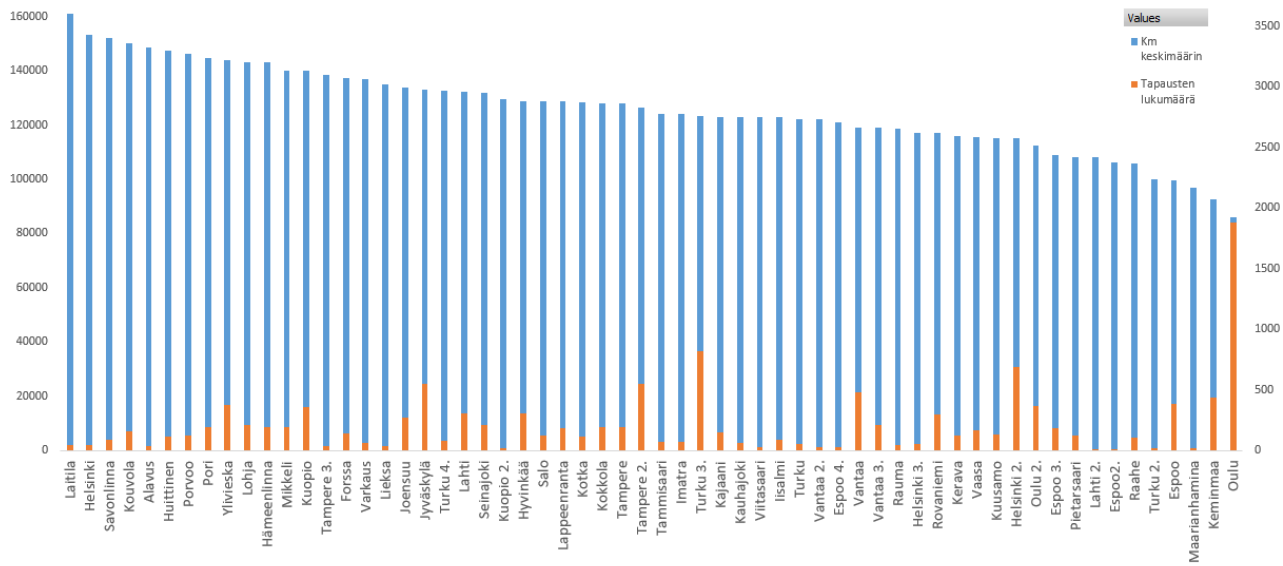
Kuvassa 5 näkyvät alueittain kaikki vuosina 2008—2015 tehdyt VW- Audi- ja Seat-autojen jakopäiden takuuhuollot suhteessa alueen autonkantaan. Autokantana on tässä laskussa käytetty vuosimallin 2006 tai sitä uudempia autoja. Autokannan alue on VV-Auto Group Oy:n käyttämä jaottelu, jossa jokaiselle korjaamopaikkakunnalle on määritelty potentiaalisten asiakkaiden alue. Alueiden autokannat yhdessä muodostavat koko Suomen autokannan. Autokannan vuosimallit on rajattu 2006 ja uudempiin, koska myös kaikki kyseisen ajanjakson takuukorjatut autot ovat vuosimallia 2006 tai uudempia. Näin saamme todenmukaisen kuvan, kuinka isoon osaan autoista, jotka voisivat käydä takuuhuollossa kyseisen paikkakunnan korjaamolla, on tehty jakopään huolto takuuna kyseisellä paikkakunnalla. Takuuna korjatut ovat niitä tapauksia, joissa jakopää on ollut selvästi kulunut tai hajonnut ennen vaihtovälin täyttymistä ja takuu on ollut voimassa. Tietokanta, josta kuva 5 on koostettu, pitää sisällään 2 854:n takuuhuollon tiedot.



Kuva 5. Takuuna huolletut Audi- VW- ja Seat-autojen jakopäät vuosina 2008—2015 suhteutettuna alueen autokantaan.

4.2 Kaikki jakopäähän liittyvät huollot

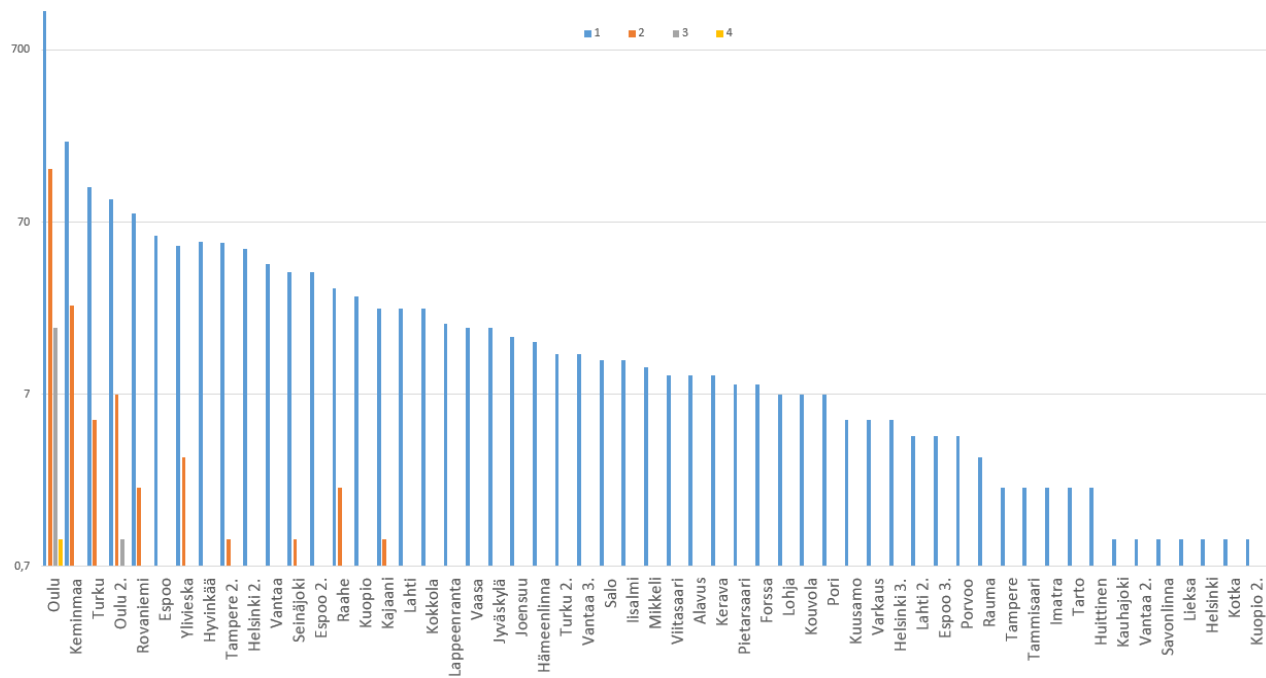
Kuvassa 6 näkyvät ajettut kilometrit ennen jakopään huollossa käyntiä. Suurin osa näistä tapauksista on auton ensimmäisiä jakopäähän liittyviä korjaamolla käyntejä, mutta mukana on myös tapauksia, joissa sama auto on käynyt huollossa useammin kuin kerran. Kuvassa 6 näkyy myös huoltojen lukumäärä korjaamoittain, oikeanpuoleisen asteikon mukaan. Mukana ovat kaikki jakopäähän liittyvät huollot, eivät ainoastaan takuuna tehdyt. Takuuhuollettujen tapausten ajokilometrien määrät ovat pienempiä kuin kuvassa 6, jossa ovat mukana kaikki huollot. Kuvan 6 tiedot käsittävät yli 61 000 huoltoa.



Kuva 6. Ajetut kilometrit ennen jakopään huoltoa ja jakopäähuoltojen lukumäärä korjaamoittain.

4.3 Samaan autoon useasti tehdyt jakopää takuukorjaukset

Kuvassa 7 näkyy takuukorjattujen autojen lukumäärä korjaamoittain. Taulukossa on eroteltu eri väreihin, niiden huollettujen autojen lukumäärä, joissa jakopää on huollettu takuuna kerran, kaksi, kolme ja neljä kertaa. Taulukossa on käytetty logaritmista asteikkoa, jotta useammin kuin kerran takuuna huolletut tapaukset näkyisivät selkeästi.



Kuva 7. Takuukorjatut jakopäät korjaamoittain. Eroteltuina autot joiden jakopää on takuukorjattu yhden, kaksi, kolme tai neljä kertaa. Logaritminen taulukko.

Kuvasta 5 käy selvästi ilmi, että Oulussa on tehty jakopään huoltoja suhteessa alueen käytössä oleviin autoihin moninkertainen määrä verrattuna muun maan keskiarvoon. Tietokanta josta kuva 5 on tehty sisältää yhteensä 2854:n takuuhuollon tiedot. Näistä 1625 on suoritettu Oulussa sijaitsevissa korjaamoissa. Kuvassa 5 Oulun jälkeen seuraavina olevat paikkakunnat ovat lähes siinä järjestyksessä kuin ne olisivat, jos ne olisi järjestetty etäisyytensä Ouluun mukaisesti. Myös kuvassa 6 näkyy, että Oulun korjaamoilla jakopäähuoltoja on tehty huomattavia määriä vuosina 2008—2017 ja huollot on tehty keskimäärin hieman pienemmillä ajokilometreillä kuin koko maassa.

4.4 Yhteenveto tilastoista

Myös automallien välillä on eroja takuukorjattujen määrässä mutta erot ovat kuitenkin huomattavan pieniä verrattuna alueellisiin eroihin. Kuvasta 5 käy ilmi, että suuressa osassa Suomea jakopäitä korjataan takuuna hyvin vähäinen määrä. Oulun korjaamoilla jakopäitä huolletaan takuuna monikymmenkertainen määrä muuhun Suomeen nähden. Oulun jälkeen seuraavat paikkakunnat ovat lähes siinä järjestyksessä, jossa ne olisivat, jos ne järjestettäisiin etäisyytensä Ouluun mukaisesti. Myös kuvan 7 ne tapaukset joissa samaan autoon jakopää on huollettu takuuna useammin kuin kerran, ovat enimmäkseen samoja paikkakuntia kuin kuvan 5 kärjessä olevat.

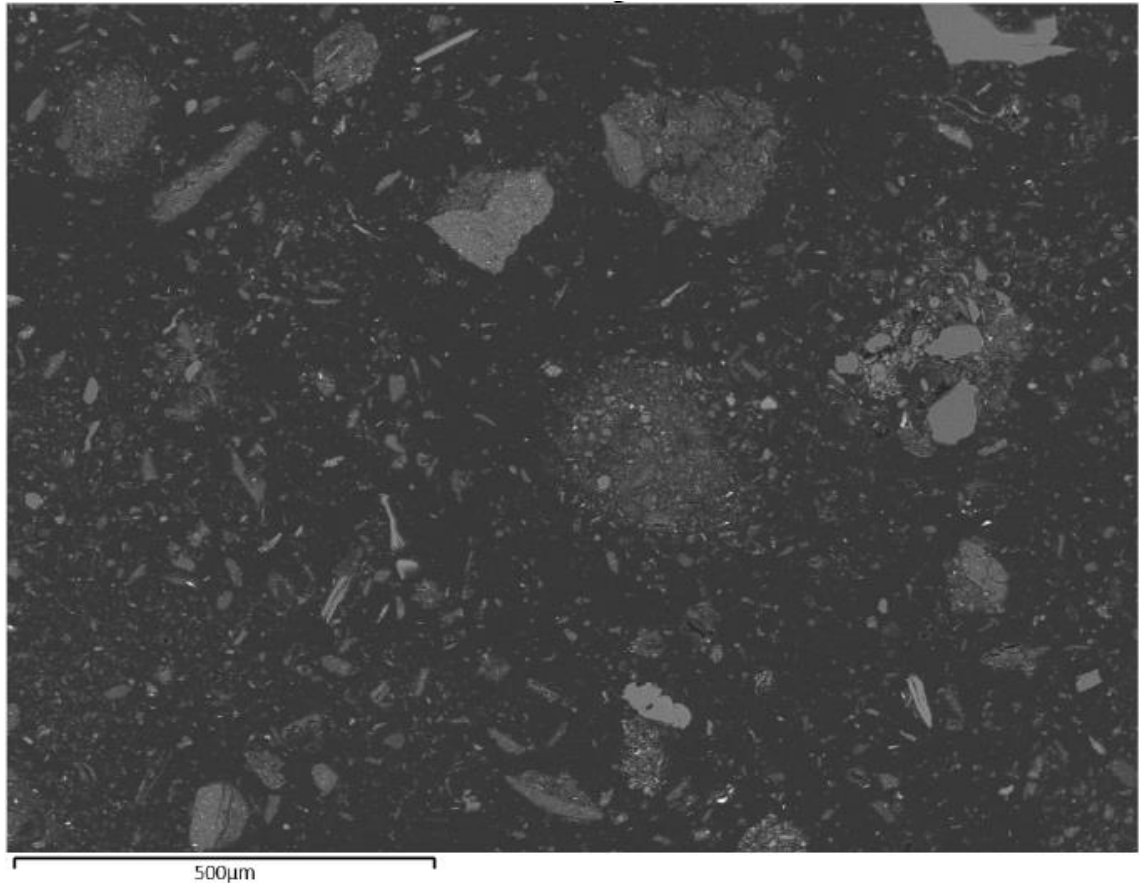
5 Jakopäästä löytyvän pölyn analyysi

Aiemmissa tutkimuksissa on analysoitu ainoastaan Oulun alueella käytössä olleiden autojen jakopäistä kerättyä pölyä. Koska kappaleen 4 mukaisesti on selvää, että Oulussa jakohihnojen ennenaikaiset vauriot ovat todella paljon yleisempiä kuin muualla Suomessa, on tärkeää verrata Oulun jakopäiden sisältämää pölyä muun Suomen jakopäistä löytyvään pölyyn.

Työn tässä osassa tutkittiin 4:n eri auton jakopään kotelosta kerätyn pölyn koostumus. 2 näistä autoista on ollut käytössä Oulun seudulla ja kaksi pääkaupunkiseudulla. Näytteet kerättiin alkukesällä 2017. Kaikki 4 näytettä ovat noin 100 000 km:ä ajetuista Volkswagen Passat-henkilöautoista. Pölyn koostumuksen analysoinnin suorittivat Geologian tutkimuskeskuksen Marja Lehtonen, Anna Stefanova ja Mia Tiljander Mineraalitekniikka ja materiaalit / Mineralogian laboratorion.

5.1 Tutkimusmenetelmä

VV-Auto lähetti Geologian tutkimuskeskukselle kaksi näytettä Oulusta ja kaksi pääkaupunkiseudun korjaamolta. Geologian tutkimuskeskus analysoi pölynäytteet pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (FE-SEM), johon on liitetty energiadiispersiivinen spektrometri (EDS). Lisäksi kaksi näytettä tutkittiin röntgendiffraktiolla (XRD), jotta Fe- ja Al-oksidiin esiintymismuoto saatiin varmistettua.



Kuva 8. Elektronimikroskoopin kuva jakopääpölystä.

5.2 FE-SEM-EDS-tulokset

Oulusta saatujen pölynäytteiden koostumus oli samansuuntainen kuin vuonna 2014 tutkittujen Oulun seudun näytteiden koostumus [8; 11]. Kumpikin tässä tutkimuksessa analysoitu Oulun näyte koostui suurelta osin Fe-oksidoista. Oulun näytteistä löytyi myös pieni määrä OKTO-mursketta. (Taulukko 1.)

Taulukko 1. Oulun näytteiden koostumus

Faasi	Analyysipisteet	%	Analyysipisteet	%
1 Mineraalifragmentit	200	3,9	479	9,5
2 "Kuona"	52	1,0	196	3,9
3 Fe-oksidi	3985	77,8	3870	76,6
4 Kohtien 1-3 seos	251	4,9	25	0,5
5 Metallinen Fe / teräs	11	0,2	11	0,2
6 Al-oksidi	31	0,6	59	1,2
7 Kloridi	434	8,5	214	4,2
8 "Oktomurske"	13	0,3	110	2,2
9 Muut	147	2,9	90	1,8
Yhteensä	5124	100,0	5054	100,0

Pääkaupunkiseudun näytteissä Fe-oksidiin määrä oli huomattavasti matalampi kuin Oulusta kerättyjen näytteiden (taulukko 2).

Taulukko 2. Pääkaupunkiseudun näytteiden koostumus

Faasi	Analyysipisteet	Wt%	Analyysipisteet	Wt%
1 Mineraalifragmentit	1741	46,7	2860	59,0
2 "Kuona"	684	18,3	330	6,8
3 Fe-oksidi	245	6,6	587	12,1
4 Kohtien 1-3 seos	220	5,9	373	7,7
5 Metallinen Fe / teräs	23	0,6	10	0,2
6 Al-oksidi	455	12,2	94	1,9
7 Kloridi	317	8,5	412	8,5
8 Muut	46	1,2	180	3,7
Yhteensä	3731	100,0	4846	100,0

Vuonna 2014 Aalto-yliopiston tutkimusta varten kerätyn ja analysoidun pölyn koostumuksen ollessa samansuuntainen kuin nyt analysoidut Oulun näytteet, voidaan olettaa, että tulokset ovat luotettavia, ts. ne kuvaavat jollain tarkkuudella Oulun alueella käytettyjen autojen jakopään kotelosta löytyvän pölyn koostumusta. On myös huomioitava, että yksittäisten näytteiden välillä on jonkin verran eroja, joten tarkempien ja luotettavampien tulosten saamiseksi näytteitä olisi oltava suurempi määrä.

5.3 XRD-tulokset

Röntgendiffraktio tutkimus suoritettiin kahdelle pölynäytteelle: näytteelle joka sisälsi runsaasti Al-oksidia, ja näytteelle joka sisälsi runsaasti Fe-oksidia.

Näytteessä, josta löytyi runsaasti Al-oksidia FE-SEMillä, ei havaittu Al-oksidia XRD:llä tutkittaessa. Al-oksidinäytteessä havaittiin ainoastaan silikaattiperäistä mineraaliainesta. Tämä johtunee siitä, että röntgendiffraktiolla voidaan havaita vain kiteisiä faaseja, joten näytteessä FE-SEMillä havaittu Al-oksidi olisi olomuodoltaan amorfista. [13.] Tämä tukee sitä, että lentotuhka olisi Al-oksidin lähde. Lentotuhkassa suuri osa materiaalista on amorfisessa, eli lasimaisessa muodossa [14, s. 234]. Al-oksidin olomuotoa ei siis pystytty varmistamaan, mutta se voi olla lentotuhkasta peräisin olevaa korundia.

Fe-oksidinäytteen Fe-faaseista tunnistettiin hematitti sekä metallinen rauta. Tulos viittaa siihen, että huomattava osa näytteen Fe-oksidi-faasista on hapettunutta rautaa. Mutta tässäkin näytteessä on mukana amorfista ainesta, joten osa Fe-oksidi-materiaalista saattaa olla myös amorfista. [12.]

5.4 Yhteenveto jakopääpölyn koostumuksesta

Pyyhkäisyelektronimikroskooppi- ja röntgendiffraktio-tutkimuksista käy ilmi että Oulusta ja pääkaupunkiseudulta otetut näytteet eroavat toisistaan. Suurimpana erona on Fe-oksidin määrä. Pk-seudun näytteissä Fe-oksidia on noin 10 %, kun taas Oulun näytteissä sitä on kolme neljäsosaa tutkitusta pölystä. XRD-tutkimuksessa selvisi, että suuri osa tästä Fe-oksidista on todennäköisesti hapettunutta terästä. Voidaan olettaa, että tämä hapettunut teräs on peräisin kuluneista hammashihnapyöristä.

Jos iso osa Oulun näytteiden koostumuksesta on peräisin hammashihnapyöristä, niin tämä tietysti laskee muiden aineiden suhteellista pitoisuutta pölyssä. Taulukossa 3 on vähennetty Oulun näytteiden Fe-oksidin määrää 10 %:iin, jolloin muiden aineiden osuudet vastaavasti nousevat. Tämä on tietysti täysin hypoteettinen kokeilu, eikä vastaa todellisen pölyn koostumusta. Mutta tällä tavalla voimme simuloida millainen koostumus ehkä olisi, jos siinä ei olisi niin paljon hihnapyöristä tullutta Fe-oksidia. Muokkauksen jälkeen nähdään, että kloridin määrä on hyvin korkea pk-seudun näytteisiin verrattuna.

Taulukko 3. Muokatut Oulun näytteet

Faasi	Näyte 1		Näyte 2	
	Analyysipisteet	%	Analyysipisteet	%
1 Mineraalifragmentit	200	15,8 %	479	36,4 %
2 "Kuona"	52	4,1 %	196	14,9 %
3 Fe-oksidi	127	10,0 %	132	10,0 %
4 Kohtien 1-3 seos	251	19,8 %	25	1,9 %
5 Metallinen Fe / teräs	11	0,9 %	11	0,8 %
6 Al-oksidi	31	2,4 %	59	4,5 %
7 Kloridi	434	34,3 %	214	16,3 %
8 "Oktomurske"	13	1,0 %	110	8,4 %
9 Muut	147	11,6 %	90	6,8 %
Yhteensä	1266	100,0 %	1316	100,0 %

6 Kulumiseen vaikuttavia tekijöitä

Vaikka Oulun alueella esiintyvistä ongelmista autojen jakopäissä on kirjoitettu lukuisia lehtiartikkeleita ja tehty tutkimusta, niin ongelmaan ei ole löytynyt yhtään selkeää syytä. Tähän mennessä ei ole ollut edes selvää tilastollista näyttöä siitä, tapahtuuko perämerenrannikolla selkeästi enemmän jakopään vaurioita kuin muualla Suomessa. Kappaleessa 4 esitetyistä tilastoista Volkswagen- Audi- ja Seat-autoihin tehdyistä jakopään huolloista käy ilmi, että ongelma on hyvinkin paikallinen.

6.1 Korundi

Aalto-yliopiston tutkimuksessa jakopäistä kerätyistä pölynäytteistä löytyi korundia, joka on hioma-aineenakin käytetty erittäin kova materiaali. Tutkimuksessa ei yritetty selvittää, mistä korundi on lähtöisin. Myöhemmissäkään tutkimuksissa tätä ei ole selvitetty vaan on ainoastaan todettu, että se on luonnossa harvinainen mineraali ja Oulun alueen kiviaineissa sitä ei pitäisi esiintyä. Haettaessa tietoa tätä työtä varten on huomioitu, että korundia esiintyy lentotuhkassa, jota syntyy hiilen palaessa esimerkiksi hiilivoimaloissa. Hiilivoimaloissa syntynyt lentotuhka kerätään nykyisin talteen suodattimilla ja sitä hyödynnetään maan- ja tienrakennuksessa. [15, s. 5].

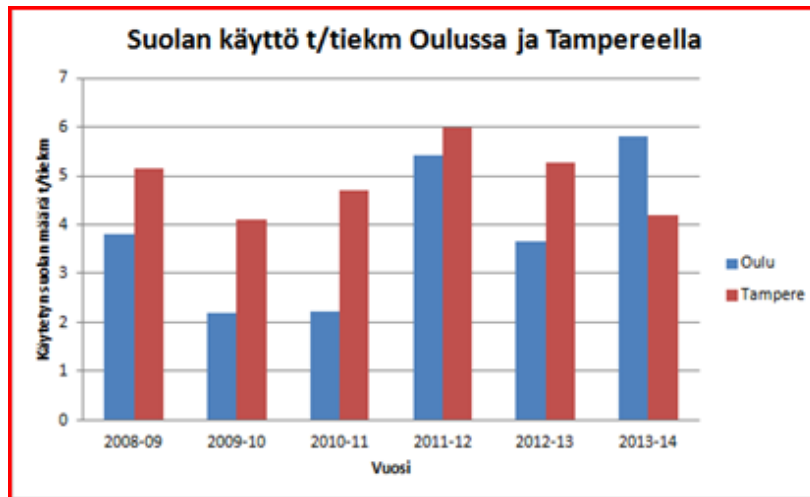
Kaikista tätä insinööriyötä varten Geologian tutkimuslaitoksen analysoimista näytteistä löytyi selvät määrät alumiinioksidia [11]. Pääkaupunkiseudun näytteissä Al-oksidin osuus oli korkeampi kuin Oulun näytteissä. Al-oksidin korkea pitoisuus myös pääkaupunkiseudun jakopään pölystä ei tue oletusta Al-oksidin osuudesta jakopään vaurioiden syntyyn. On hyvin mahdollista, että näytteissä havaittu Al-oksidi on lentotuhkasta peräisin olevaa korundia.

6.2 Hammashihnapyörät jakopäässä

Sekä Anton Henriksson että Jukka Sassi tekivät opinnäytetöissään kovuusmittauksia jakopään hammashihnapyörille [7; 9]. Näissä mittauksissa selvisi, että kovuudessa on eroja automerkeittäin [7, s. 25]. Voidaan olettaa, että hihnapyörien ollessa kovempia, hihnan vaurioitumiseen johtavaa kulumista ei esiintyisi niin paljon. Hammashihnapyörien ollessa samoja sekä Oulussa että muualla Suomessa, ainoastaan hihnapyörien laadulla ei voida selittää kulumisen suuria alueellisia eroja. Jukka Sassin insinööriyössä tutkittiin myös hammashihnapyörien kemiallista koostumusta. Koostumus viittasi pulverimetallurgiseen valmistusteknologiaan. [7.]

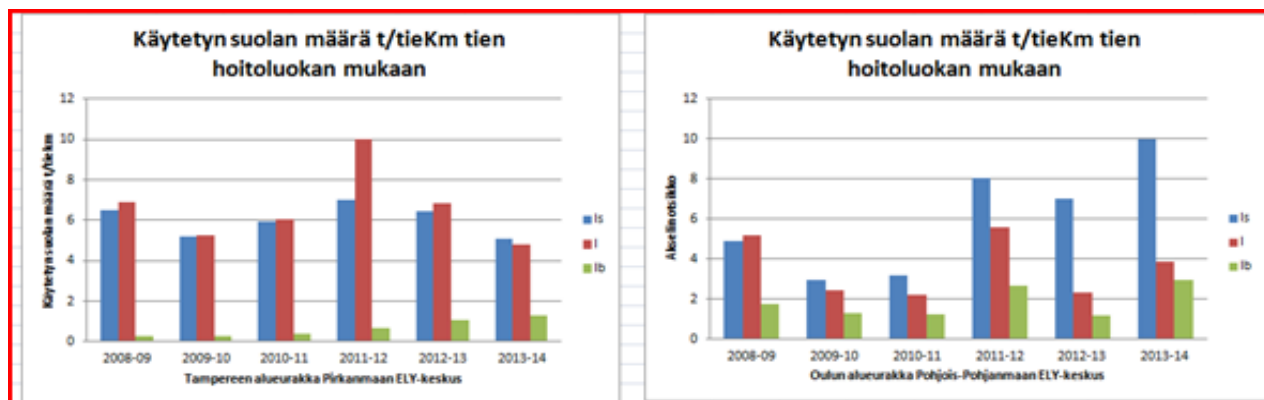
6.3 Jäänestoaineet

Koska tiesuolan aiheuttamaa korroosiota on epäilty jakopään kulumisen aiheuttajaksi, on syytä verrata, käytetäänkö alueella, jossa kulumista esiintyy, enemmän tiesuolaa kuin muualla. Olemassa olevan tiedon perusteella näin ei ole. Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen tiedotteen mukaan vuosina 2008 – 2014 Oulussa on käytetty tiesuolaa hieman vähemmän kuin Tampereella tiekilometriä kohden [16]. On kuitenkin huomioitavaa, että Oulun alueella ensimmäisen hoitoluokan teillä tiesuolan käyttö on lisääntynyt merkittävästi talven 2010—2011 jälkeen. (Kuva 9.)



Kuva 9. Suolan käyttö tonnia/tiekilometri Oulussa ja Tampereella [16]

Kuvasta 10 näkyy, että korkeimman hoitoluokan teiden suolaus on lisääntynyt Oulun alueella talven 2010—2011 jälkeen.



Kuva 10. Käytetyn suolan määrä tien hoitoluokan mukaan. Tampere ja Oulu. [16.]

Taulukosta 4 näemme suolan käytetyn kokonaismäärän, sekä kalsiumkloridin osuuden. Tiesuolana käytetään sekä kalsium- että natriumkloridia, Jälkimmäisen ollessa huomattavasti yleisempää.

Taulukko 4. Kalsium- ja natriumkloridin käyttö [8, s. 35]

	1.10.2007-30.9.2008			1.10.2012-30.9.2013		
	Salt applied (t)	Solution CaCl ₂ usage		Salt applied (t)	Solution CaCl ₂ usage	
		(t)	%		(t)	%
UUD ELY	29562	493.4	2	27015.3	252.1	1
VAR ELY	11788.8	326.7	3	11309	186.4	2
KAS ELY	11830.1	541.2	5	5876.5	0	0
PIR ELY	8136.6	1443.1	18	7774.7	1071.3	14
POS ELY	10122.8	1650.5	16	7710.5	965.3	13
KES ELY	6737.3	1710.1	25	4652.2	159.9	3
EPO ELY	9710.4	2627.8	27	7019.6	268.5	4
POP ELY	8551.5	725.1	8	6306.1	477.4	8
L ELY	2027.3	122.2	6	2199	52.8	2
Whole country	98466.8	9640.1	10	79862.9	3433.7	4

Kappaleessa 5 esitetyn jakopääpölyn koostumuksen tutkimuksen mukaan nähdään, että sekä Oulun että pääkaupunkiseudun näytteet sisältävät kloridia. Jos oletetaan että Oulun näytteiden jakopään ulkopuolelta tullut aines on laimentunut ruosteen suuren määrän takia, niin silloin Oulun näytteissä olisi enemmän kloridia (taulukko 3).

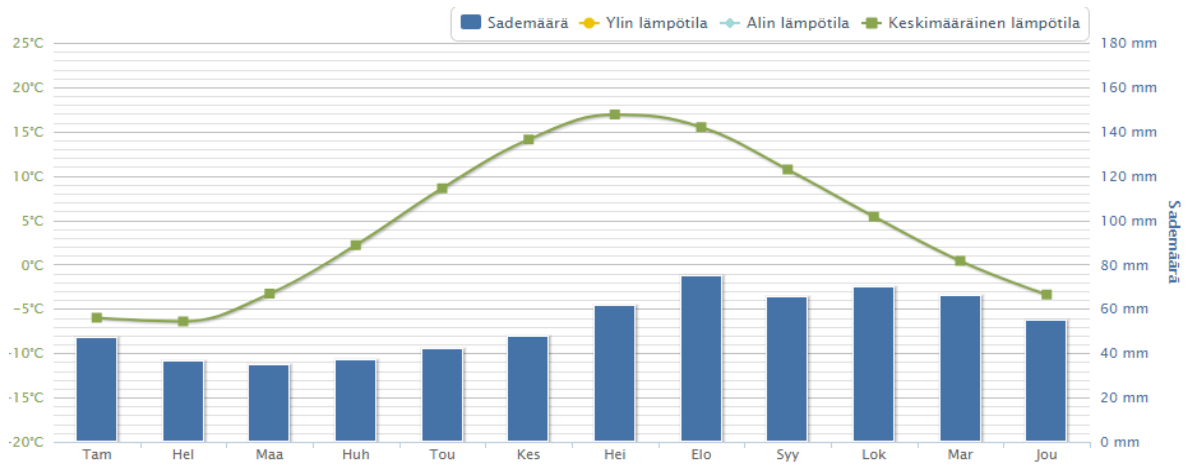
6.4 Ilmasto

Myös ilmaston on epäilty olevan ”Oulun taudin” takana. Tätä vastaan sotii kuitenkin se, että Volkswagenin Ruotsin jälleenmyyjät eivät ole huomanneet, että Ruotsin puoleisella perämerenrannikolla olisi poikkeuksellisen paljon jakopään vaurioita. Ainoastaan Kiirunan kaivosalueella on havaittu tällaista [17].

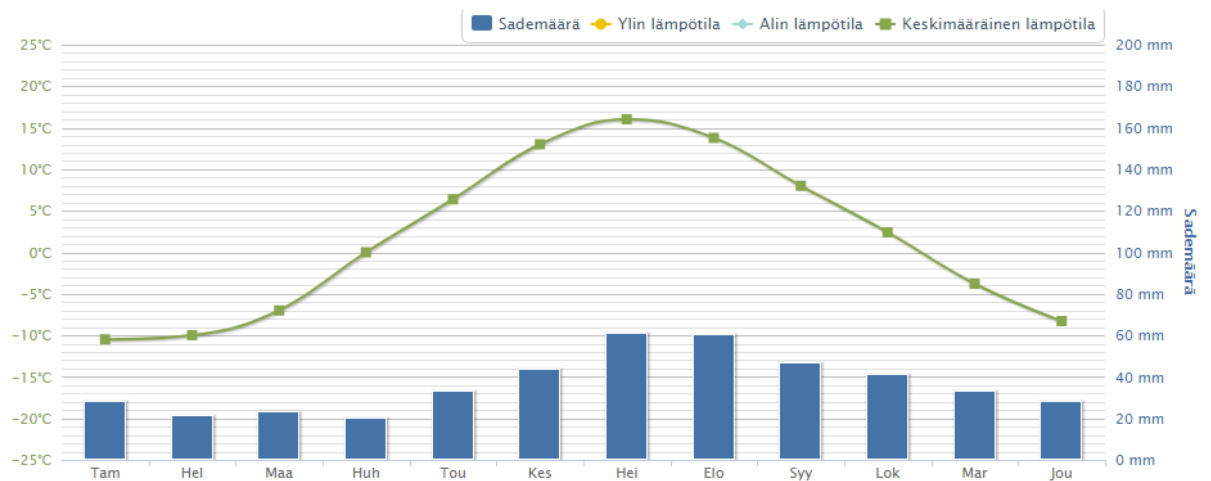
ELY-keskuksen mukaan:

Suolaa käytetään lähinnä silloin, kun tien pinnan lämpötila on – 4 (-6) °C tai sitä lämpimämpi. Erittäin vilkasliikenteisillä teillä voidaan käyttää suolaa kovemmallakin pakkasella. Kovilla pakkasilla ei kuitenkaan suositella suolausta, vaan liukkautorjuntaan käytetään hiekkaa. [18.]

Kuvista 11 ja 12 käy ilmi, että Helsingissä ajanjakso, jona keskilämpötila on otollinen teiden suolaukselle, kestää marraskuun puolivälistä huhtikuun alkuun. Oulussa ollaan 0 °C ja -6 °C välillä sekä keväällä että alkutalvesta yhteensä reilu kaksi kuukautta. Kuvista 11 ja 12 näemme myös, että vuoden jokaisena kuukautena saadaan Helsingissä keskimäärin enemmän sadetta kuin Oulussa.



Kuva 11. Kuukauden keskilämpötilat ja sademäärät Helsingissä



Kuva 12. Kuukauden keskilämpötila ja sademäärä Oulussa

6.5 Nastarenkaat

Nastat kuluttavat tietä ja irrottavat siitä pölyä. Näin ollen suurempi nastarenkaiden määrä johtaa suurempaan pölyn määrään. Tämä taas edesauttaa hammashihnapyörien kulumista autojen jakopäissä. Nastarenkaiden määrä on kuitenkin vähentynyt kitkarenkaiden suosion kasvaessa. Ruotsissa kitkarenkaat ovat yleisempiä kuin Suomessa ja nastoja käytetään vähemmän. Sekä Suomessa että Ruotsissa pohjoisessa käytetään enemmän nastoja kuin etelässä [18]. Nastarenkaiden käyttökausi on myös pidempi pohjoisessa, mikä voi edesauttaa maantiepölyn muodostumista niillä pohjoisilla alueilla joissa tiet ovat sulia suolauksesta ja suurista liikennemääristä johtuen.

Myös nastoista irtoavaa materiaalia on epäilty jakohihnojen ongelmien aiheuttajaksi. Tie, jolla on käytetty OKTO-mursketta kestää kulutusta paremmin kuin tavallinen asfaltti [8]. Oletuksena on, että kovempi tien pinta kuluttaisi enemmän nastoja. Nokian renkaiden mukaan nastarenkaan kuluessa itse nasta ei kulu kovin paljon vaan kumin kuluessa nastan ympäriltä aluksi nasta painuu sisään, sitten nastan ulkonema kasvaa, kunnes se irtoaa ja lähtee pois [20]. Vaikka nastat kuluisivatkin esimerkiksi muutaman prosentin vuodessa, niin siltikään niistä irtoava aines ei olisi määrältään kovin iso. Nokian renkaiden käyttämien nastojen runko on alumiinia ja kovametallikärki sisältää volframia, titaania, kobolttia ja hiiltä [20].

6.6 OKTO-murske

Muutamia vuosia sitten ennen Aalto-yliopiston tutkimusta OKTO-mursketta epäiltiin hyvin yleisesti syylliseksi jakohihnojen katkeamisiin. Skanska Oy:ltä saamieni tietojen mukaan OKTO-mursketta on käytetty juuri siellä, missä jakohihna vaurioita esiintyy eniten. OKTO-mursketta on myös löytynyt pieniä määriä jokaisesta Oulun seudun jakopääpölynäytteestä. Aalto-yliopiston ansiokkaassa tutkimuksessa ei kuitenkaan löydetty mitään, mikä viittaisi OKTO-murskeen osuuteen hammashihnapyörien kulumisessa tai jakohihnojen katkeamisessa.

7 Yhteenveto

Insinööriyössä tutkittiin jakopään osien ennenaikaisen kulumisen ja vauriotapausten alueellisia eroja Suomessa. VV-Auto Groupilta saadun, heidän korjaamojensa ylläpitämän datan perusteella saatiin selkeä kuva siitä, että vikaantumiset keskittyvät vahvasti Ouluun lähialueineen ja lisääntyvät mitä lähemmäksi Oulua mennään. Suurimmassa osassa Suomea ongelma on hyvin harvinainen.

Osana insinööriyötä oli myös jakopään kopasta kerätyn pölyn koostumuksen selvittäminen. Aiemmissa tutkimuksissa on tehty samanlainen pölyanalyysi Oulussa käytössä olleista autoista kerätylle pölylle. Tässä tutkimuksessa haluttiin saada vertailukohtaa Oulun tuloksille ja vertailualueeksi valittiin pääkaupunkiseutu.

Vaikka tämänkään tutkimuksen jälkeen ei ole tiedossa varmaa syytä Oulun seudun jakopääongelmiin, tiedetään ainakin, että ongelmat todella ovat melko paikallisia. Korundin alkuperästä on olemassa valistunut arvaus, ja tiedetään, että sitä löytyy myös pääkaupunkiseudun autojen jakopään pölystä. Jakopäistä kerätyn pölyn koostumuksesta nähdään, että suurin ero Oulun ja pääkaupunkiseudun näytteiden välillä on Fe-oksidiin määrässä. Suuri osa tätä Fe-oksidiä on hammashihnapyöristä peräisin olevaa ruostetta. Toinen eroavaisuus näytteiden välillä on Oulun näytteistä löytyvä pieni määrä OKTO-mursketta. Pölytutkimuksen tulokset tukevat korjaamodatankin esittämää tietoa siitä, että Oulun alueella jakopäät kuluvat nopeammin, mutta eivät kuitenkaan kerro sille selkeää syytä. Olisi mielenkiintoista tehdä samanlainen pölyn koostumuksen selvitys myös esimerkiksi Kuusamon, Vaasan tai Turun korjaamoilta saadulle jakopääpölylle. Tästä näkisi, onko korkea Fe-oksidiin määrä yhteydessä kenties pohjoiseen sijaintiin tai meren läheisyyteen.

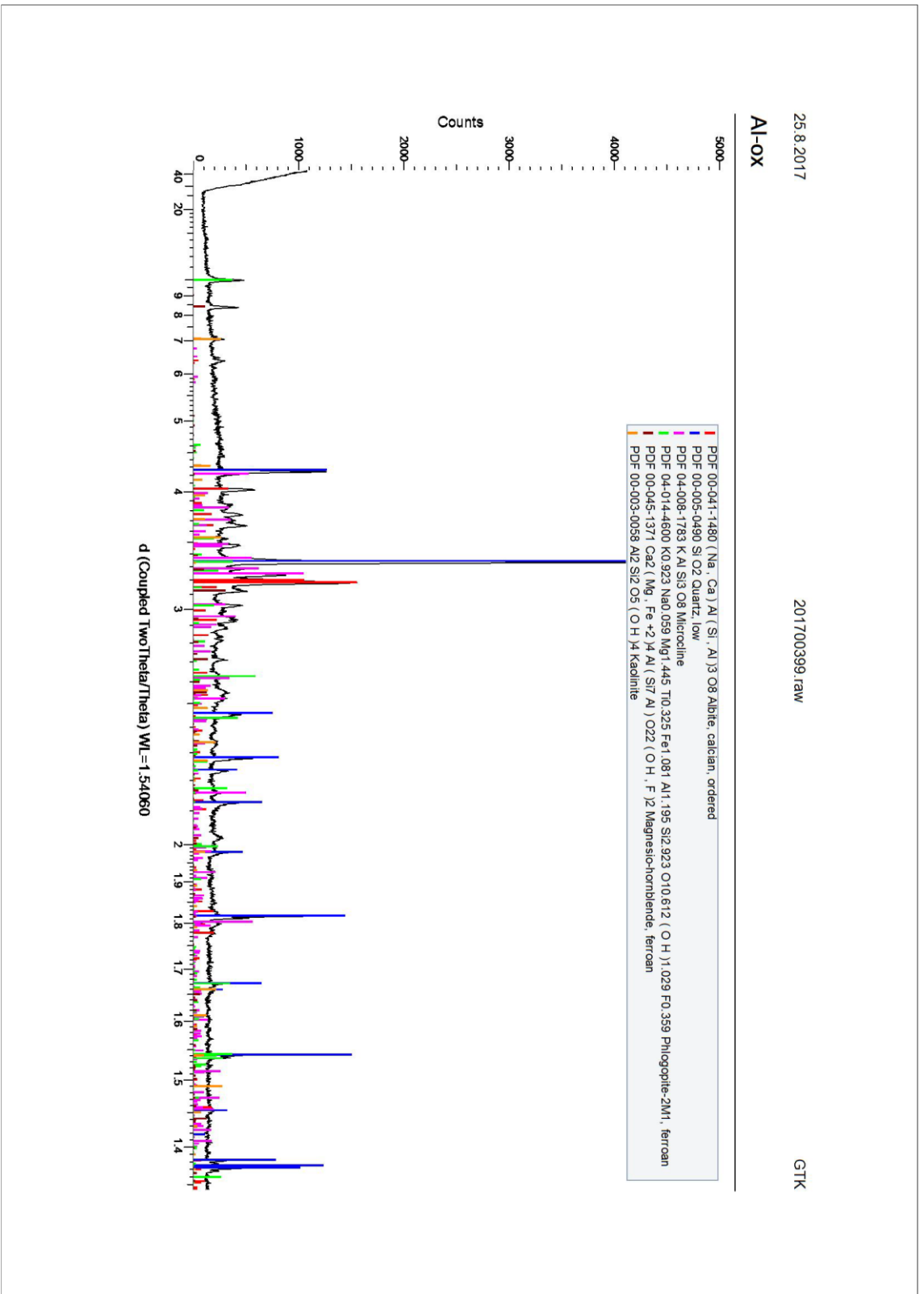
Lähteet

- 1 van Basshuysen, Richard & Schäfer, Fred. 2002. Internal combustion engine handbook. SAE International.
- 2 Ritch, Ocee. Small bore... big pull. Sports cars illustrated. 1957. Verkkodokumentti. <<https://web.archive.org/web/20140408132614/http://www.devin-sportscars.com/BeltDrive.html>>. Luettu 5.4.2017.
- 3 Gates Compass™ Power Transmission CD-ROM version 1.2. GatesFacts™ Technical Information Library. The gates rubber company. Verkkodokumentti. <<http://ww2.gates.com/IF/facts/documents/Gf000191.pdf>> Luettu 5.4.2017.
- 4 Pesonen, Jussi & Halonen, Eetu. Kaleva. Verkkodokumentti. <<http://www.kaleva.fi/uutiset/oulu/oulun-tauti-vaivaa-yha-autoja-ford-puolitti-jakohihnojen-vaihtojan/736378/>> Päivitetty 24.8.2016. Luettu 8.4.2017.
- 5 Contitech. 2017. Verkkodokumentti. <http://www.contitech.cn/pages/produkte/antriebsriemen/kfz-erstausruestung/produkt_zahnriemen_en.html> Luettu 10.4.2017.
- 6 Mainio, Tapio. 2013. Ruskea pöly rikkoo moottoreiden jakopäitä Oulussa. Helsingin Sanomat, 21.10.2013, s. A 10. Verkkodokumentti. <http://www.hs.fi/autot/art-2000002682474.html> Päivitetty 21.10.2013. Luettu 27.3.2017.
- 7 Sassi, Jukka. 2014. Tutkimus autojen hammashihnavälitteisen jakopään kestävyysongelmista. Opinnäytetyö. Lapin Ammattikorkeakoulu.
- 8 Makowska, Michalina, Leveinen, Jussi, Pellinen, Terhi & Marjamaa, Riikka. 2015. Composition of abraded dust from asphalt pavement produced using ferrochromium smelter slag (OKTO-aggregate). Aalto-yliopisto.
- 9 Henriksson, Anton. 2016. Jakohihnan ennenaikainen kuluminen. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 10 Katermaa, Pentti. 2017. Tuotantopäällikkö. Skanska Asfaltti Oy. Sähköpostikeskustelu 14.3.2017.
- 11 Lehtonen, Marja. 2017. Erikoistutkija, FT. Hammashihnakoteloista kerättyjen näytteen karakterisointi FE-SEM-EDS:llä. Geologian tutkimuskeskus, Mineraaliteknikka ja materiaalit.
- 12 Lehtonen, Marja. 2017. Erikoistutkija, FT. Geologian tutkimuskeskus, Mineraaliteknikka ja materiaalit. Sähköpostikeskustelu 29.8.2017.

- 13 Tiljander, Mia & Lehtonen, Marja. 2017. Tutkimusselostus, Kahden näytteen faasien tunnistus XRD:llä. Geologian tutkimuskeskus.
- 14 Snellings, Ruben. Mertens, Gilles & Elsen, Jan. 2012. Supplementary cementitious materials. Mineralogical Society of America.
- 15 Peuranen, Else. 2012. Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi asfalttiasemien ympäristönsuojeluvaatimuksista. Ympäristöministeriö.
- 16 Tervo, Markku. 2015. Suolan käyttölukuja Oulu / Tampere. Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus. PowerPoint-esitys
- 17 Salmi, Jussi. 2017. Technical Manager. VV-Auto Group Oy. Keskustelu. 24.4.2017.
- 18 Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Talvihoito. Verkkodokumentti. <<https://www.ely-keskus.fi/web/ely/talvihoito#.WSRD-2iGOHs>> Päivitetty 19.10.2016. Luettu 23.5.2017.
- 19 Toiskallio, Kalle. Kuukka-Ruotsalainen, Virpi & Alppivuori, Kari. 2013. Nasta-tutkimusohjelma 2011–2013 loppuraportti. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut.
- 20 Malinen, Aleksi. 2017. Projekti-insinööri. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Keskustelu. 24.4.2017.

XRD Al-oksidi

Röntgendifraktogrammi [13]



XRD Fe-oksidi

Röntgendifraktogrammi [13]

