

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Matti Mujunen

AVAINPESÄN PÖLYTESTAUSLAITTEEN SUUNNITTELU

Opinnäytetyö
Toukokuu 2015



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2015
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutusohjelma
Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä

Matti Mujunen

Nimeke

Avainpesän pölytestauslaitteen suunnittelu

Toimeksiantaja

Abloy Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Abloy Oy:n tuotekehitykseen avainpesien pölytykseen soveltuva prototyyppilaite. Laitteen avulla saadaan kontrolloitu määrä pölyä avainpesän sisälle.

Työssä tutkittiin yleisesti rakenteiden kulumista ja kuluttamista käyttöolosuhteissa sekä testiym-
päristöissä. Pölytyslaitteen suunnittelu vaati oikeaan käyttöön nojaavia tietoja lukkojen pölyisyy-
destä, jota varten selvitettiin historiatiedoiltaan selkeiden lukkojen likaisuus. Työssä tutkittiin
myös rakennuksen sisällä vallitsevan alipaineen vaikutusta ilman läpivirtaukseen lukkopesän läpi.

Tutkimuksissa esille tulleiden tietojen ja kokemusten perusteella suunniteltiin prototyyppilaite,
jossa pölyistä ilmaa imetään alipaineen avulla avainpesän läpi. Avainpesän pölyisyyttä säädetään
pölytysajalla, pölyn määrällä sekä alipaineella. Laitteesta tehtiin suunnitteluohjelmistolla 3d-malli.

Kieli
suomi

Sivuja 33
Liitteet 1
Liitesivumäärä 1

Asiasanat

Tribologia, kuluminen, kulutustestaus, pölytestaus



THESIS
May 2015
Degree Programme in Mechanical
and Production Engineering
Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
FINLAND
p. (013) 260 6800

Author

Matti Mujunen

Title

Designing of a Dust Testing Device for the Cylinder Locks

Commissioned by

Abloy Oy

Abstract

The objective of this project was to design a prototype device which could carry a controlled amount of dust into lock cylinder. With this kind of device comparative wearing tests of the products can be done.

Tribology, a science of wear, friction and lubrication was part of studies during the design process. Other research areas were wearing of locks in dusty environments, standardized wearing tests for locks and evaluation of air flow through key cylinder in a case where at the other side of door is negative air pressure. With this acquired knowledge designing of a dust testing device was able to be done.

The result of this thesis is a CAD-model of the designed prototype device. The device allows the operator to adjust the amount of dust carried inside the lock cylinder by using different dusting times, dust dosages and air pressures.

Language

Finnish

Pages 33

Appendices 1

Pages of Appendices 1

Keywords

Tribology, wearing, wear testing, dust testing

Sisältö

1	Johdanto.....	5
1.1	Abloy Oy.....	5
1.2	Opinnäytetyö ja sen tavoitteet.....	6
2	Tribologia.....	7
2.1	Kuluminen.....	8
2.1.1	Adhesiivinen kuluminen.....	10
2.1.2	Abrasiivinen kuluminen.....	10
2.1.3	Väsymisen aiheuttama kuluminen.....	12
2.1.4	Tribokemiallinen kuluminen.....	12
2.1.5	Kulumisen aiheuttajat.....	12
2.1.6	Kulumisen mittaaminen.....	14
2.2	Voitelu.....	14
3	Lukkojen kuluminen.....	14
3.1	Kulumisen aiheuttajat.....	15
3.1.1	Katupöly.....	15
3.1.2	Muut pölynlähteet.....	16
3.2	Lukkojen testaus.....	16
3.2.1	Kulutustestauslaitteisto.....	16
3.2.2	Testisykli.....	17
4	Alipaineesta aiheutuva ilmavirta lukkosylinterissä.....	18
4.1	Testilaitteisto.....	18
4.2	Ilmavirran määrittäminen.....	20
4.3	Avainpesän teoreettinen pölyntyminen.....	21
5	Käytettyjen lukkojen tutkimus.....	22
6	Pölytestauslaitteen suunnittelu.....	26
6.1	Testipöly.....	28
6.2	Alipaineistus.....	28
6.3	Mallinnus.....	30
7	Pohdinta.....	31
	Lähteet.....	33

1 Johdanto

1.1 Abloy Oy

Abloy-lukon keksi Emil Henriksson vuonna 1907. Keksinnön erikoisuus oli sen muista lukkotyypeistä erottava levyhaittasylinteri, jonka tyyppisiä lukkoja Abloy valmistaa nykyisinkin (kuva 1). Abloy Oy on osa ASSA ABLOY – konsernia, joka on listattuna Tukholman pörssissä. Sillä on tehtaat Joensuussa ja Björkbodassa, joissa valmistetaan lukitustuotteiden lisäksi ovensulkimia, rakennusheloja ja oviautomaatiikkaa. [1]



Kuva 1. Leikkauskuva Abloy-lukon haittalevyrakenteesta (Kuva Abloy Oy)

Nykyisistä tuotteista tunnetuin lienee ABLOY SENTO (Kuva 2), jonka symmetrisen avaimen lehti on valmistettu mustasta muovista. Normaalin mekaanisen tuotteen lisäksi yritys valmistaa kodin lukitsemiseen esimerkiksi ABLOY CONTROL+ -keskuslukitusjärjestelmää (kuva 2).[1]



Kuva 2. ABLOY SENTO – avain ja CONTROL+ -kauko-ohjain (Kuva Abloy Oy)

1.2 Opinnäytetyö ja sen tavoitteet

Tämä opinnäytetyö sai alkunsa työharjoittelusta Abloy Oy:llä kesällä 2014. Tavoitteena oli löytää opinnäytetyöksi aihe, josta olisi hyötyä yrityksen tuotekehitykselle. Aiheeksi päätyi avainpesän pölytestauslaitteen suunnittelu. Pölytestauslaitteen käyttötarkoitus on valmistella avainpesä kulutustestauksia varten.

Mekaanisille lukkoille tehdään kulutustestauksia standardin SFS EN 1303 mukaisella menetelmällä, jossa simuloidaan normaalia lukon avaamista avaimella. Yhdenmukaisilla menetelmillä saadaan luotettavaa ja vertailukelpoista tietoa niin nykyisten, kuin vasta kehittelevaiheessa olevien tuotteiden välillä. Uudella testausmenetelmällä saataisiin tuloksia tuotteiden kulumisesta ja käyttäytymisestä ollessaan pölyisenä kulutustestauksessa.

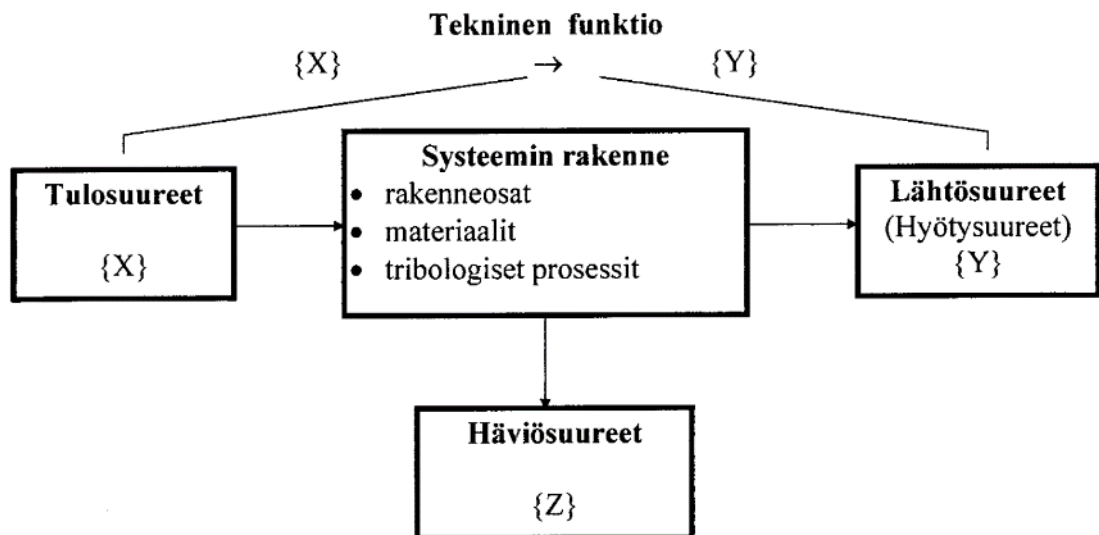
Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella laite, jolla saadaan avainpesän sisus pölytettyä hallitusti. Varsinaiset kulutustestaukset ajetaan jo olemassa olevalla kuvassa 3 näkyvällä laitteistolla. Tietoperustaksi raportissa käydään läpi kulumisen eri muotoja, voitelua sekä tarkemmin lukkojen kulumista ja kulutustestausta. Testilaitteen suunnittelua ja käyttöä varten päätettiin tutkia ilmavirtausta avainpesässä sekä käytettyjen lukkojen pölyisyyttä. Tutkimuksilla haluttiin saada tietoa ja perusteita laitteen annosteleman pölyn määrään, mihin laitteen käyttäjillä halutaan olevan kontrolli.



Kuva 3. Avainpesän kulutustestilaite. (Kuva Matti Mujunen)

2 Tribologia

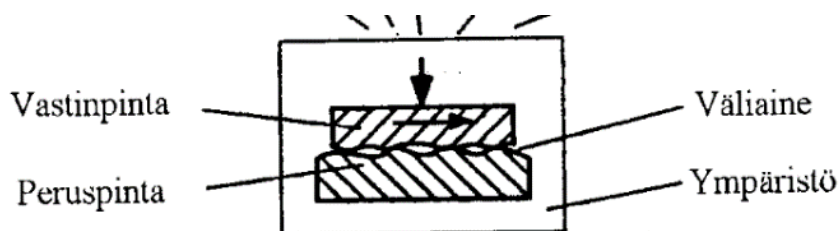
Tribologia keskittyy tutkimaan koneteknisiä ilmiöitä kulumisen ja mekaanisen kosketuksen kannalta, käyttäen oppeja kitkasta, voitelusta ja materiaalitutkimuksesta. Sen tavoitteena on kehittää tietoutta kulumisesta ja luoda näin mahdollisuuksia tuotteiden optimointiin esimerkiksi tehokkuuden, käyttömukavuuden tai taloudellisuuden näkökulmasta. [2] Laitteessa, komponentissa tai prosessissa tapahtuvaa energian, aineksen tai signaalin muunnosta voidaan kuvata tribosysteemillä. Tribosysteemissä on lähtö-, tulo- ja häviösuureet sekä näiden välillä itse toiminnallinen systeemi. [3]



Kuvio 1. Tribosysteemi kuvattuna tulo-, lähtö- ja häviösuureilla. [3]

Kuvion 1 mukaisessa tribosysteemissä tulosuureina voidaan pitää esimerkiksi nopeutta, lämpötilaa tai normaalivoimaa. Lähtösuureet ovat hyvin useasti esimerkiksi liikettä, voimaa tai momenttia. Häviösuureita ovat kuluminen, kitka tai esimerkiksi akustiset suureet. Käytännössä erilaisia tribosysteemejä on ääretön määrä. [3]

Kuviossa 2 on tribosysteemin rakenne esitetty yksinkertaisena kahden pinnan välisenä kosketuksena. Koskettavien pintojen väliin jää väliaine ja kaikkiin vaikuttaa ympäristöolosuhteet.



Kuvio 2. Esimerkki tribosysteemin mikrorakenteesta. [3]

2.1 Kuluminen

Kuluminen on monessa tilanteessa epätoivottava ilmiö. Syynä ovat toisiaan vastaan liikkuvissa komponenteissa tai pinnoissa tapahtuvat materiaalihäviöt, joista syntyvä hukka on myös rahallisesti merkittävää. Materiaalihäviöt kuitenkin syntyvät monien erilaisten kulumistapojen seurauksena, joista useampia voi tapahtua yhtä aikaa. Jossakin ympäristössä tai pinnassa dominoiva kulumistyyppi ei välttämättä dominoi toisessa.

Kulumisen epäsuoria, ulkoisia aiheuttajia on myös lukematon määrä ympäristössämme, esimerkkinä lämpötilan muutokset, epäpuhtaudet tai kemikaalit. Tästä johtuen myös kulumiseen liittyviä muuttujia ja eri tilanteisiin sopivia teorioita on paljon ja tutkimus hyvin laajaa. [3; 4]

Standardi MIL-STD-810G luettelee pölyiselle ja hiekkaiselle ympäristölle altistumisen vaikutuksia kaikille mekaanisille, optisille, sähköisille, elektronisille, elektrokemiallisille ja elektromekaanisille laitteille. Näitä ovat mm. pintojen abraasio ja eroosio, vastakappaleiden ja liikkuvien osien toiminnan häiriintyminen sekä lisääntynyt hiertäminen kontaktissa olevien pintojen välillä. [5]

IEC:n standardi 68-2-68 määrittelee pölyn ja hiekan mahdollisiksi haittavaikutuksiksi mm. elektronisten ominaisuuksien muutokset (esim. kosketushäiriöt tai resistanssin muutos) sekä tukkeumat erilaisissa ilmvirtausta vaativissa paikoissa. [6]

Kulumisella voidaan ajatella olevan myös myönteisiä vaikutuksia. Mekaanisen kosketuksen ansiosta materiaaliin syntyy liukumista vähemmän vastustava, sileämpi pinta, eli pinnanlaadulliset virheet hioutuvat. Tästä johtuen monen mekaanisen sovelluksen toiminta parantuu sisäänajovaiheen aikana. [3]

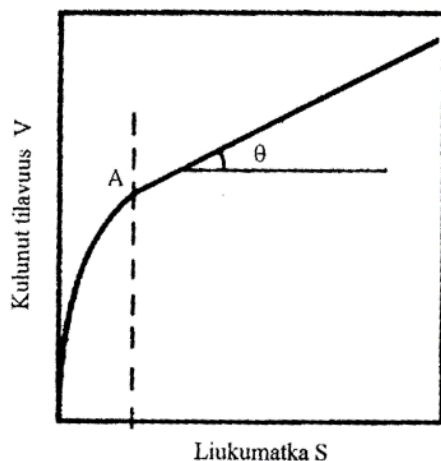
Kulumisen kolme peruslakia ovat:

- kulunut tilavuus on suoraan verrannollinen liukumismatkaan
- kulunut tilavuus on suoraan verrannollinen kuormaan
- kulunut tilavuus on kääntäen verrannollinen materiaalin myötölujuuteen [3]

Peruslait nojaavat kulumistilavuuden lausekkeeseen:

$$V = 2 \alpha \frac{F_N \cdot s}{\sigma_0} \quad , \text{ jossa}$$

- V on kuluneen materiaalin tilavuus
- α on todennäköisyyskerroin (<1), joka kertoo todellisen kosketusten lukumäärän.
- F_N on puristusvoima
- s on matka
- σ_0 on materiaalin myötölujuus [3]



Kuvio 3. Liukumismatkan suhde kulumistilavuuteen. [3]

Kuviossa 3 esitetään kuvaajana kulumistilavuuden suhdetta liukumatkaan. Pisteeseen A asti kuluminen on hyvin voimakasta, mutta sen jälkeen lineaarista. Kulumistilavuuden

lauseke kuvaa yksinkertaistetusti kulumistapahtumaa. Todellisuudessa eri mekanismit voivat olla samanaikaisesti tapahtuvia.

Kulumista voidaan luokitella monenlaisin tavoin. P. Salosen [3] mukaisesti ne jaetaan tässä kahteen päätyyppiin, eli luokitteluun suhteellisen liikkeen pohjalta sekä kulumismekanismin mukaan.

2.1.1 Adhesiivinen kuluminen

Adhesiivisen eli tartuntakulumisen aikaansaaja on yleensä riittämätön voitelu. Se on myös yleinen kulumisen alkupiste. Kahden vastakkaisen pinnan liikkeessä toisiaan vasten syntyy adhesiivisia kitkaliitoksia. Liitosten syntyyn vaikuttavat paljon materiaalien ominaisuudet, kuorman määrä sekä voitelun vaikutus. Esimerkiksi oksidikalvot toimivat ”kuivana voiteluna”, tehden kitkasta ja lämpenemisestä pienempää. Jos kitkaliitokset repeävät liitoskohdasta, kulumista ei tapahdu. Repeämän ollessa toisen materiaalin puolella, myös materiaalia siirtyy puolelta toiselle, jolloin adhesiivista kulumista tapahtuu. Tämän jälkeen kuluminen kiihtyy, koska nyt mahdollistuvat myös muut kulumismekanismit, esimerkiksi abraasio.

2.1.2 Abrasiivinen kuluminen

Abrasiivinen kuluminen on seurausta kovista partikkeleista tai pinnanmuodoista kahden toistaan vasten liukuvan pinnan välissä. Ulkonevat muodot ja partikkelit naarmuttavat ja irrottavat materiaalia. Pelkässä puhtaassa abraasiossa kulumisen määrä (tilavuus) on suoraan verrannollinen liukumismatkaan. Kulumisen nopeus riippuu partikkeleiden koosta, muodosta, kovuudesta ja liikkeen vapaudesta. Kovien pinnanmuotojen aiheuttamaa kulumista kutsutaan kahden kappaleen väliseksi abrasiiviseksi kulumiseksi. [3; 4]

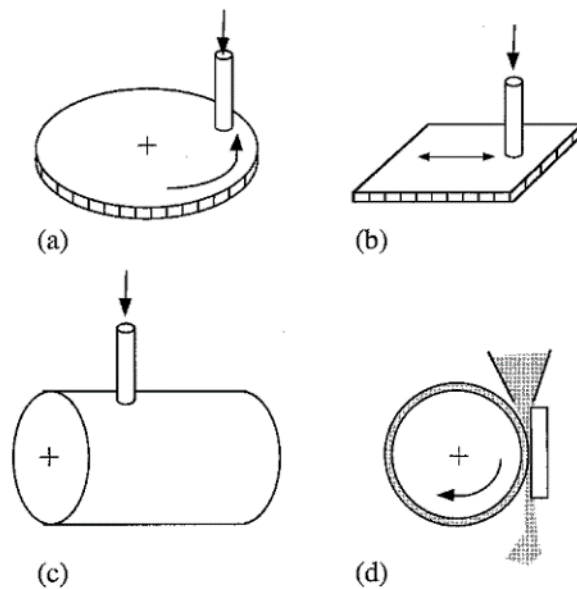
Kolmen kappaleen välisessä abraasiossa kahden liukuvan pinnan välissä on kovia partikkeleja, josta johtuen kulumistyyppit ovat erilaisia verrattuna kahden kappaleen väliseen abraasioon. Tähän kulumisvaiheeseen päästään usein muiden mekanismien seurauksena, kun materiaaleista irronneet partikkelit muokkauslujittuvat, jolloin naarmujen ja urien syntyminen mahdollistuu. [3; 4]

Abrasiivisella kulumisella on kolme mahdollista toteutumismekanismia:

- kyntäminen
- leikkaaminen
- hauras murtuminen [3]

Kyntäminen ja leikkaaminen synnyttävät uria materiaalin pintaan. Kyntämisessä muokautuneesta pinnasta aurautuu uran sivuille materiaalia. Abrasiivin tai vastinpinnan pinnanlaatu vaikuttaa siihen, kumpi näistä toteutuu. Hauras murtuminen mahdollistuu erityisesti silloin, kun materiaali on haurasta ja jäykkää sekä kuormitus on iskumaista.[3]

Abrasiivinen kuluminen tunnetaan melko hyvin verrattuna esimerkiksi liukumisessa tapahtuvaan adheesioon. Erilaisilla analyttisillä menetelmillä pystytään arvioimaan kuluminen määrää, kun tiedetään abrasiivisten partikkelien ja kuluvien pintojen ominaisuudet sekä vallitsevat kuormitukset ja nopeus. Kuviossa 4 esitellään mittausmenetelmiä abrasiiviselle kuluttamiselle.[3]



Kuvio 4. Neljä mittausmenetelmää abraasiolle. [4]

2.1.3 Väsymisen aiheuttama kuluminen

Hyvin voidelluissa järjestelmissä, missä liuku- ja vierintäpintojen välissä on voiteluaine, on abrasiivinen ja adhesiivinen kuluminen hyvin vähäistä. Väsymisrasituksessa, joka on hyvin yleistä em. järjestelmissä, komponenttiin kohdistuu syklimäistä, toistuvaa vetoa ja puristusta. Materiaalin pinnassa olevat ulokkeet joutuvat täten myös toistuvaan muokkaukseen, joka aiheuttaa väsymismurtuman. Tähän murtumaan kohdistuu samanlaista väsyttävää kuormitusta, joka lopulta saa aikaan partikkelin irtoamisen.[3]

2.1.4 Tribokemiallinen kuluminen

Metallisten materiaalien ominaisuutena voi pitää oksidikerroksen syntymistä. Tätä tapahtuu kun paljas metalli altistuu ilmassa olevalle hapelle. Oksidikerroksen syntyessä tapahtuu perusmateriaalin häviämistä. Koneenrakennuksessa pyritään kuitenkin välttämään sitä, että laitteiden käyttö aiheuttaisi metallilastujen syntyä. Hyvä keino kulumisen ja kitkan pienentämiseen onkin synnyttää materiaalien pintaan oksidikerros. Oksidikerroksen adheesiota ja abraasiota vastustavat ominaisuudet ovat siis hyödyllisiä monissa tapauksissa.[3]

2.1.5 Kulumisen aiheuttajat

Edellisessä luvussa jaettiin kulumisen mekanismeihin, mutta se voidaan eritellä myös kulumisen aiheuttavien liikkeiden mukaan. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 1 esitellään kulumista monipuolisesti.

Liukuvassa kosketuksessa pinnat liikkuvat toisiaan vastakkaisiin suuntiin. Pinnanlaadulliset ulokkeet ottavat kiinni toisiinsa, mikä mahdollistaa kitkaliitosten syntymisen, joka johtaa aikaisemmissa luvuissa mainittuihin adhesiiviseen ja abrasiiviseen kulumiseen.












Vierivä liike tai kosketus on läsnä esimerkiksi hammaspyörissä. Vierivä kontakti on kyseisenlaisissa sovelluksissa kuitenkin useasti voideltu, jolloin abraasion tai adheesion aiheuttamaa kulumista ei toteudu. Merkittävimmäksi jää vierintäväsyminen, joka suuren kuormituskertamäärän jälkeen aiheuttaa väsymismurtumista rakenteen pinnalla.

Iskevä liike aiheuttaa iskukohdassa plastista muodonmuutosta. Säröjen syntymisen ja kulumisen alkamisen mahdollisuudet kasvavat kun muodonmuutoksia tapahtuu. Muodonmuutoksen suuruus riippuu materiaalin lujuusominaisuuksista.

Värähtelykulumisessa toistuva liike yhdistettynä normaalivoimaan aikaansaa adheesioliitoksia. Näistä syntyvät abrasiiviset partikkelit synnyttävät uusia kulumiskohtia. Partikkelit aiheuttavat myös värähtelyn alla puolipallon muotoisia kuoppia, joista tunnistaa tämän tyyppisen kulumisen.

Eroosiossa kulumisnopeus on suoraan verrannollinen kuluttavien partikkelien nopeuden neliöön. Kulumista tapahtuu, kun materiaaliin iskeytyvät partikkelit irrottavat pintakerrosta. Tätä kulumistyyppiä hyödynnetään esimerkiksi hiekkapuhalluksessa. Toisaalta sitä pidetään epätoivottuna esimerkiksi putkistoissa ja turbiineissa. Partikkelien nopeuden lisäksi eroosionopeuteen vaikuttaa partikkelien tulokulma. [3]

Taulukko 1. Kulumisen taulukoituna systeemin rakenteen, rasiustyyppin, kulumistyyppin ja kulumismekanismin mukaan. [3]

Systeemin rakenne	Kulumisen aiheuttava rasiustyyppi	Kulumistyyppi	Kulumismekanismi			
			Adheesio	Abrasio	Pinnan väsyminen	Tribo-kemialinen
Kiinteiden pintojen välissä voiteluaine	Liukuminen Vierinta Isku Sysäykset 				X	X
Kiinteät pinnat toisiaan vasten	Liukuminen 	Liukumiskuluminen	X	X	X	X
	Vierinta 	Vierintäkuluminen	X	X	X	X
	Iskuuormitus 	Iskukuluminen	X	X	X	X
	Värähtely 	Värähtelykuluminen	X	X	X	X
Kiinteät pinnat ja kulumispartikkeli	Hionta 			X		
Kiinteät pinnat ja partikkelit	Partikkeli-suihku 	Eroosio		X	X	X
Kiinteä pinta ja kaasu	Virtaus 	Kaasu-eroosio				X
Kiinteä pinta ja neste	Virtaus Värähtely 	Kavitaatio			X	X
	Virtaus Isku 	Pisara-eroosio			X	X
Kiinteä pinta ja nesteessä kuluttavia partikkeita		Eroosio		X	X	
		Korroosio-eroosio		X	X	X

2.1.6 Kulumisen mittaaminen

Koneteknisissä sovelluksissa kulumisen tapahtuu tyypillisesti kahdessa vaiheessa: sisäänajokulumis- ja tasaisessa kulumisvaiheessa. Sisäänajovaiheessa materiaalia poistuu liukumismatkaan suhteutettuna paljon. Materiaalien pinnat hioutuvat toisiaan vasten ja materiaaliparille ominaisen aikajakson jälkeen kosketuspisteessä- tai kohdassa pinnan- karheet ovat tasoittuneet. Tämän jälkeen kuluminen jatkuu tasaisesti. Kulumisen suuruus määritellään joko pelkällä kuluneen materiaalin tilavuudella tai kulumisnopeudella, missä yksikkönä on tilavuuden suhde liukumismatkaan, eli esimerkiksi m^3/m . [3]

2.2 Voitelu

Mekaanisissa konstruktiossa on tärkeää, että toisiaan vastaan liikkuvien osien välillä olisi voitelu. Tällä voidaan estää osien kosketukset, pienentää kitkaa ja kulumista, vaimentaa värähtelyjä ja suojata osia korroosiolta. Nestevoitelussa voiteluaine erottaa osat täysin toisistaan, jolloin neste hoitaa täysin nopeuseron tasaamisen. Tällainen järjestely on tribologisesti paras toteutustapa, mutta ei kuitenkaan aina mahdollinen.

Rajavoitelutilanteessa pinnankarheushuiput osuvat toisiinsa, eikä erottavaa kalvoa ole, kuten nestevoitelussa. Pintojen liukumista toisiaan vasten helpottavat tällöin erilaiset li- säaineet.[3]

3 Lukkojen kuluminen

Käyttöolosuhteissa lukot ovat kevyesti, ohuella lukkoöljyllä voideltuja, mikä parantaa kulutuksen kestoa ja tekee lukon käytöstä jouhevampaa. Ohut voiteluainekerros ei kuitenkaan voi estää abrasiivisten pinnanmuotojen tai partikkelien aiheuttamaa kyntämistä. Toimivan ja voidellun lukon käyttö vaatii vain maltillisia voimia, esimerkiksi SFS EN- 1303 – standardissa määritellään kulutustestiin ohjearvoiksi alle 10 N (avaimen työntö lukkopesään) ja 1,5 Nm (avaimen kääntö) [7]. Pienet rasitukset koskettavissa pinnoissa aiheuttavat vastaavasti vain pieniä muodonmuutoksia.

Kitkasta aiheutuva lämpörasitus on hyvin pieni, johtuen pienestä, muutamien senttimetrien liukumismatkasta ja kokonaiskuormasta. Materiaaliparin valinnalla on vaikutus siihen, että kumpi osa kuluttaa toista. Avaimen ollessa helpommin vaihdettava ja uusittava, on sen materiaali valittu pehmeämmäksi.

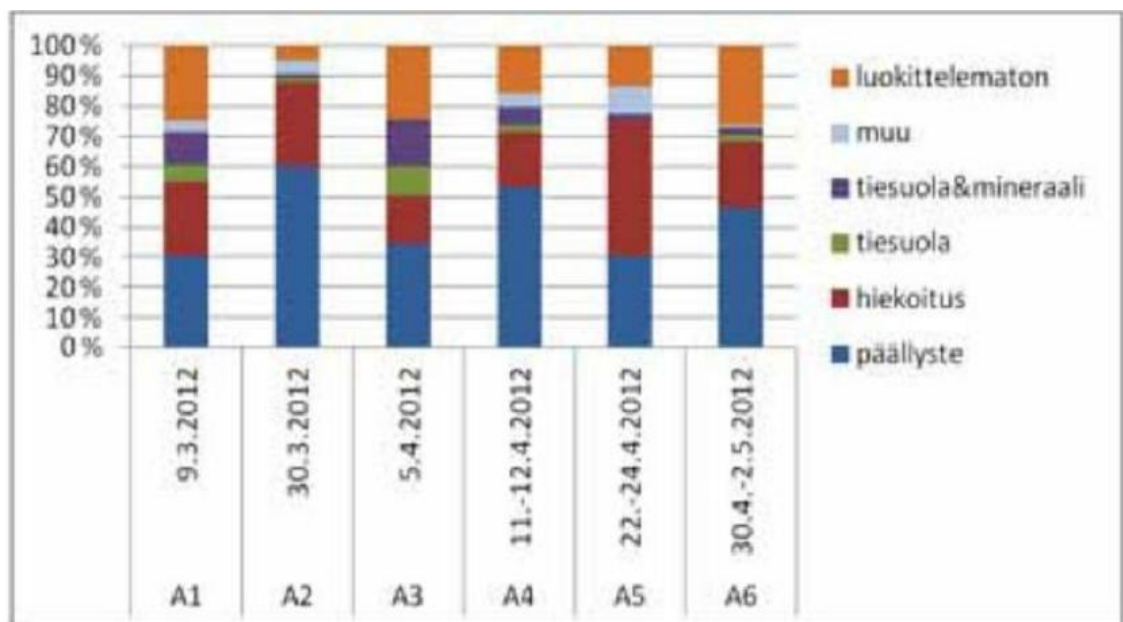
3.1 Kulumisen aiheuttajat

3.1.1 Katupöly

Ulkotiloissa sijaitsevat lukot joutuvat alttiiksi monenlaisille pöly- ja hiekkapartikkeille. Katupölyn määrä vaihtelee kuukausittain ja ilmaan nousevan pölyn määrään vaikuttaa liikenteen määrä. Keväisin katupölyn määrä on suurimmillaan. Katupölynä pidetään PM_{10} -hiukkasia, eli alle $10\ \mu m$ halkaisijaltaan olevia partikkeleita. [8; 9]

Katupöly muodostuu pääasiassa nastarenkaiden kuluttamasta tiepäällysteestä sekä hiekoitushiekasta. Pieni osuus on myös teiden sulana pitoon käytetyllä suolalla. Esimerkkinä Helsingin Mannerheimintiellä vuoden 2013 PM_{10} keskiarvo on $24.5\ \mu g/m^3$. Korkeimmillaan pitoisuudet voivat kuitenkin nousta monikymmenkertaiseksi (Liite 1). [8]

Taulukko 2. Helsingin Suurmetsäntiellä kerättyjen katupölynäytteiden koostumukset.[9]



Erityisesti tiepäällyste on merkittävä katupölyn lähde, sen osuus ilmanäytteissä vaihtelee 30 ja 60 prosentin välillä, kuten nähdään edellisellä sivulla olevasta taulukosta 2. Helsingin seudun ympäristöpalvelut –kuntayhtymän julkaiseman ilmanlaatututkimuksen mukaan talvihiekoituksen osuus katupölynäytteissä on 16 ja 45 prosentin välillä. Lisäksi tie-suolan määrä ilmanäytteissä on 2 ja 8 prosentin välillä. [9]

3.1.2 Muut pölynlähteet

Tieliikenteen lisäksi pölyä ja hiekkaa nousee ilmaan maatalousalueilla. Kuivan heinän ja viljan säilytys ja prosessointi on yksi maatalouteen liittyvistä pölynlähteistä. Myös erilaiset kemikaalit, yleisimmin lannoitteet, ovat levitystapansakin vuoksi pölynlähteitä. Koti- ja toimisto-olosuhteissa pölyä syntyy vaatekuiduista. Niitä löytyy vaatteiden lisäksi mm. huonekaluista ja matoista. [6]

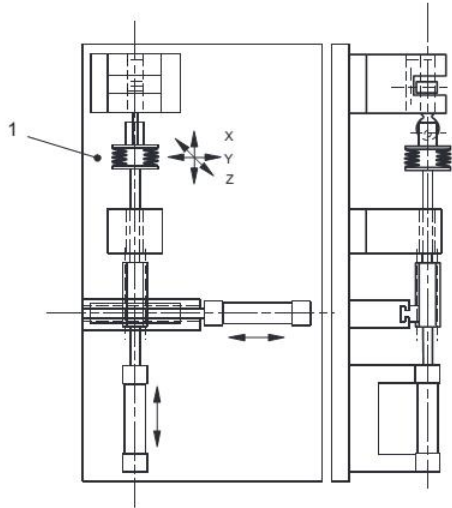
3.2 Lukkojen testaus

Lukkojen kulutustestaukset suoritetaan standardin SFS-EN 1303 mukaisilla testilaitteilla ja -menetelmillä. Kyseinen standardi koskee rakennuksiin käytettävien sylinterilukkojen testausta. Se erittelee sylintereiden ja avainten vaatimukset lujuudelle, turvallisuudelle, kulutuskestolle, suorituskyvylle ja korroosionkestolle.[7] Abloy Oy:n tuotekehitys tekee uusille tuotteille standardia laajempia ja raskaampia testauksia erilaisissa ympäristöolosuhteissa ennen lopullista päätöstä tuotteen rakenteesta [10].

3.2.1 Kulutustestauslaitteisto

Kulutustestaukset tehdään kyseiseen tehtävään valmistetuilla standardinmukaisilla laitteilla. Standardi antaa laitteelle suosituksia esimerkiksi avaimen syöttö- ja poistoliikkeessä käytettävään voimaan tai käännössä käytettävään momenttiin, jotka ovat 10 N ja 1,5 Nm.[7]

Alla olevassa kuviossa on esimerkkirakenne avainten ja avainpesien kulutustestauslaitteelle. Kuvion vasemmalla puolella on laitteen piirros ylhäältä ja oikealla projektio vasemmalta laidalta.



Kuvio 5. SFS-EN 1303:n mukainen kulutustestilaite kahdesta suunnasta kuvattuna.[7]

Testilaitteessa avainpesä asetetaan vasemmassa yläkulmassa olevaan telineeseen. Avain pyörii X-akselin (kuviossa pystysuunta) ympäri ja liikkuu edestakaisin samalla akselilla.

3.2.2 Testisykli

Kulutustesti ajetaan Abloy Oy:n lukkosylintereille seuraavasti:

- a) avaimen työntö lukkopesään
- b) avaimen kääntö myötäpäivään niin, että lukkorungon telki aukeaa
- c) avaimen kääntö takaisin vastapäivään
- d) avaimen poisto

Sekvenssi toistetaan 5 – 12 sykliä minuutissa.

Lukkojen kulutuskestävyys arvostellaan kolmella arvosanalla:

- grade 4; 25 000 testisykliä
- grade 5; 50 000 testisykliä
- grade 6; 100 000 testisykliä.

Jokaiseen arvosanaan vaaditaan lukon toimivuus uudella avaimella ilman, että avaimen kääntöön vaadittava momentti ylittää 1,5 Nm.[7]

4 Alipaineesta aiheutuva ilmavirta lukkosylinterissä

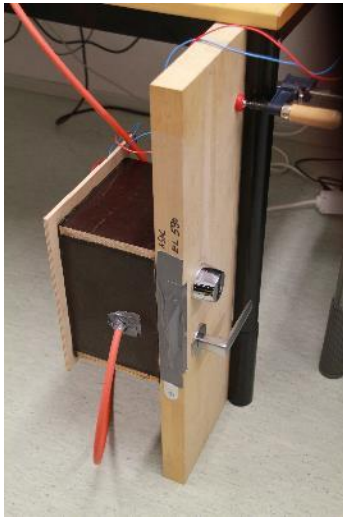
Rakennusten alipaineisuus aiheutuu eri lämpötilassa olevista ilmamassoista. Paine-eron suuruus riippuu säästä, ilmanvaihtotavasta ja lämmitystekijöistä. Asumisterveysoppaan mukaan tavoiteltava paine-ero ulkoilmaan on -5...-20 Pa tapauksissa, joissa ilmanvaihto on toteutettu koneellisella poistolla. Jos käytössä on painovoimainen poisto, tavoite on tällöin 0...-5 Pa.[11]

Kim Seppäsen tutkimuksen [12] mukaan esimerkiksi omakotitalot ja rivitalot pysyvät hyvin näissä tavoitearvoissa, mutta kerrostaloissa on enemmän hankaluuksia. Tutkimuksen kohteista n.10 % oli erittäin alipaineisia, eli paine-ero oli yli 20 Pa [12].

4.1 Testilaitteisto

Lukkopesän läpi kulkeva ilmavirta tutkittiin Karelia-ammattikorkeakoulun tiloissa Wärtsilä-kampuksella. Ilmavirran suuruutta ja olemassaoloa haluttiin tutkia, jotta saadaan testilaitteen syöttämälle partikkelimäärälle todellisiin olosuhteisiin pohjautuva arvo. Testiovi, eli klossi, oli Abloy Oy:n testausosastolta, samoin kuin lukkorunko.

Testattava kokonaisuus vastasi normaalia omakotitalon oven lukitusta (kuva 4). Klossin sisäilmapuolelle rakennettiin vanerista tilavuudeltaan 5,5 litran tiivis kammio, joka ympäröi oven kahvan ja lukon vääntimen. Kammion sivulla olevassa 100 mm reiässä oli samalla halkaisijalla oleva 12 V tuuletin, joka asennettiin imemään kammioon alipaine.



Kuva 4. Testiklossiin kiinnitettynä tiivis kammio sekä letku paine-eromittarille. (Kuva Matti Mujunen)

Testilaitteiston hankinnoissa ja suunnittelussa apua ja neuvoja saatiin fysiikan lehtori Miska Piiraiselta. Ilmanpaineen mittaukseen käytettiin PRODUAL PEL 2500-N – paine-erolähetintä (kuva 5). Laitetta käytettiin sen omalta näytöltä ja se asetettiin mittaamaan ± 100 Pa:n alueelle. Paine-eromittaukset tehtiin huoneilman ja alipainekammion sekä avainpesän välillä.



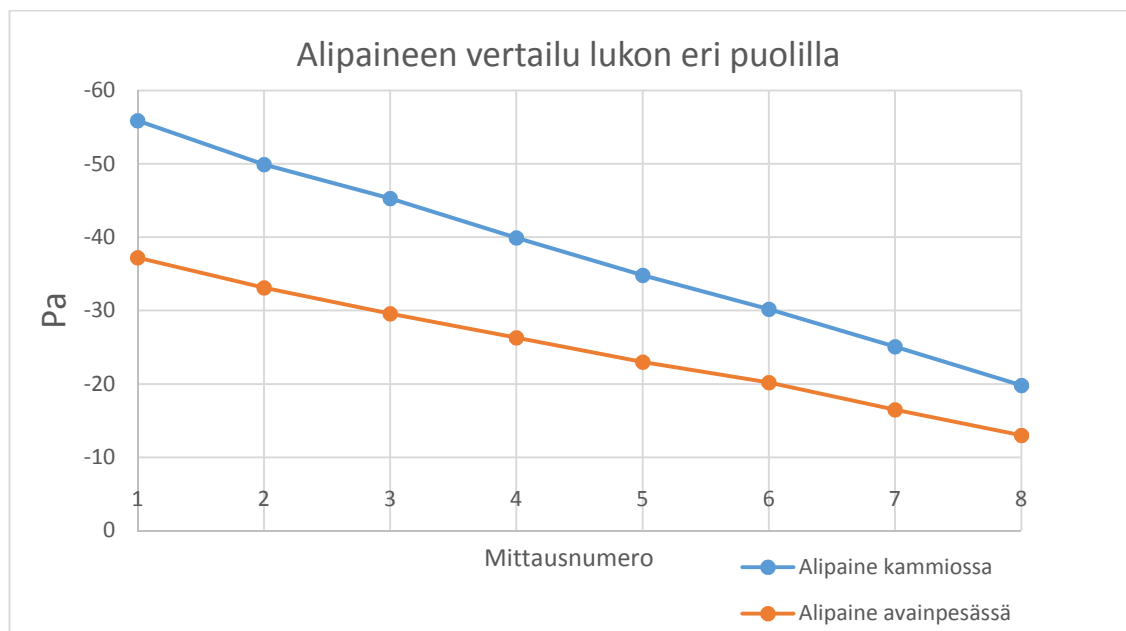
Kuva 5. Ilmavirtamittauksissa käytetty PRODUAL-paine-eromittari. (Kuva Matti Mujunen)

4.2 Ilmavirran määrittäminen

Klossiin kiinnitetyssä kammiossa saatiin mitatuksi alipaineeksi suurimmillaan -60 Pa verrattuna huoneilmaan. Tämä lukema osoittautui riittäväksi, eikä suurempaa imutehoa tuottavaa tuuletinta tarvittu.

Ensimmäisenä määritettiin avainpesän ilmanpaine, kun klossin toinen puoli oli alipaineistettu. Testi toistettiin eri ilmanpaineilla (taulukko 2). Testeissä käytettiin ainoastaan yhtä paine-eromittaria, jota jouduttiin kytkemään edestakaisin klossin eri puolille. Vaikka mittari kalibroikin itsensä automaattisesti, aiheuttaa kyseinen järjestely suurentunutta virhettä mittauksiin.

Taulukko 3. Alipaineisuuden vertailu avainpesässä ja klossin sisäkahvan puolella.



Ilmavirtamittauksessa ei pystytty käyttämään virtausmittauslaitteita erittäin pienestä virtauksesta johtuen. Ensimmäinen menetelmä oli kuplamittaus, jossa asennettiin u-putki tiiviisti lukon ulkohelaan. U-putken läpi kulkeva ilmavirta aiheutti kuplia putkenpohjalla olevassa etanolissa ja ilmavirran suuruus laskettiin kuplien koon ja määrän perusteella. Kuplien syntyminen osoittautui haastavaksi pienemmällä kuin -50 Pa:n alipaineella. Yhden kuplan pituus -58 Pa:n paineella oli 40mm ja kupla täytti videokuvan perusteella

60% putken tilavuudesta kyseisellä matkalla. Näin yhden kuplan ilmatilavuudeksi voidaan laskea $1,2 \text{ cm}^3$, kaavalla:

$$\pi * 4 \text{ mm}^2 * 40 \text{ mm} * 0,6 = 1206 \text{ mm}^3, \text{ jossa U-putken sisäsäde on } 4 \text{ mm}.$$

Kuplia ilmaantui tällä paineella 3,8 kappaletta sekunnissa, jolloin ilmavirran suuruus on $4,56 \text{ cm}^3/\text{s}$ tai $0,27 \text{ l/min}$. Mittauksia ei pystytty tekemään tällä menetelmällä muilla paineilla.

Toisena mittausmenetelmänä käytettiin ilmalla täytettyä pussia (nimellistilavuus 1000 cm^3), joka asennettiin myös tiiviisti lukon ulkohelaan. Pussin tyhjentymisestä mitattiin aika, jolloin voidaan laskea lukkopesän läpi kulkeva ilmavirta. Taulukko 4:ssä on mittapussin tyhjentymisajat paineittain, joista on johdettu ilmavirran suuruudet.

Taulukko 4. Oven sisäpuolella vallitsevan alipaineen vaikutus ilmavirtaan lukkopesässä.

Kammion paine [Pa]	Pussin (1l) tyhjentymis- nopeus [min:s]	Ilmavirta [l/min]	Ilmavirta [m3/vuosi]
-60	1:29	0,67	352
-50	1:40	0,6	315
-40	2:10	0,46	242
-30	2:40	0,38	200
-20	4:05	0,25	131
-15	4:45	0,21	110

4.3 Avainpesän teoreettinen pölyyntyminen

Mitatuilla ilmavirroilla ja vuoden 2013 katupölymittauksiin (Liite 1) perustuen avainpesään päätyy esimerkkitapauksessa Helsingin Mannerheimintiellä yhdessä vuodessa noin $8600 \mu\text{g}$ katupölyä, kun pesän läpi ilmaa imevän alipaineen suuruus on 60 Pa .

5 Käytettyjen lukkojen tutkimus

Lukkojen kulumista tutkittiin erilaisista kohteista saaduilla näytelukoilla (taulukko 5), jotka purettiin ja kuvattiin.

Taulukko 5. Näytelukkojen tiedot.

Näytelukon numero, käyt- tötyyppi	Paikkakunta	Ikä, käytön määrä
Lukko 1, postilaatikko	Helsinki, keskusta	Puoli vuotta, 2 krt/päivä
Lukko 2, postilaatikko	Helsinki, keskusta	Puoli vuotta, 2 krt/päivä
Lukko 3, riippulukko PL 330	Joensuu	n. 10 vuotta, 3 krt/viikko
Lukko 4, riippulukko 3020	Joensuu	n. 25 vuotta, 50 krt/vuosi
Lukko 5, riippulukko 3020	Joensuu	n. 25 vuotta, 50 krt/vuosi

Kuvissa 6 ja 7 on haittalevyt kahdesta samanlaisessa käytössä olleesta lukosta. Ensimmäinen on käytännössä täysin puhdas, voiteluöljy on kirkasta. Kummatkin ovat kulumi-
sasteeltaan samanlaiset, eli lähes uudenveroiset.



Kuva 6. Haittalevy, lukko 1 (Kuva Matti Mujunen)

Lukon 2 (kuva 7) voiteluöljyn seassa on hienorakeista pölyä, joka antaa öljylle tumman värin.



Kuva 7. Haittalevy, lukko 2 (Kuva Matti Mujunen)

Riippulukot sijaitsivat Joensuun Sirkkalassa, lähellä vaneritehtaalte johtavaa raskaan liikenteen väylää. PL330- mallisen riippulukon toiminta oli vaivatonta, eikä lukon purkamisen yhteydessä löydetty juurikaan pölyä tai hiekkaa. Kuvassa 8 on kyseisestä lukosta purettu haittalevy.



Kuva 8. Haittalevy, lukko 3 (Kuva Matti Mujunen)

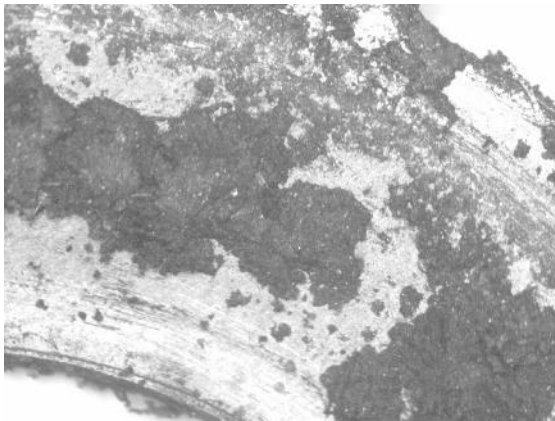
Vaikka lian määrä olikin pieni, näkyy materiaalin pinnassa abraasion jälkiä. Lukon 3 laskennallinen käyttömäärä on näytteistä suurin, joka näkyy myös pyöristyneinä särminä.

Lukko 4, eli 3020-mallinen riippulukko (kuva 9) oli kaikkein likaisin, joka vaikutti myös sen käyttöön kankeana avaimen kääntämisenä. Kyseisen lukon voitelu oli heikkoa.



Kuva 9. Haittalevy, lukko 4 (Kuva Matti Mujunen)

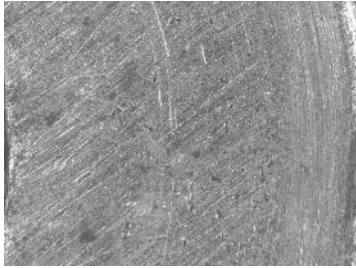
Yllä olevassa kuvassa 9 haittalevyn pinnalla on muihin näytteisiin verrattaessa suuri määrä pölyä tai ohutta hiekkaa. Aines on paakkuuntunut, oletettavasti voiteluöljyyn.



Kuva 10. Mikroskooppikuva, lukko 4 (Kuva Matti Mujunen)

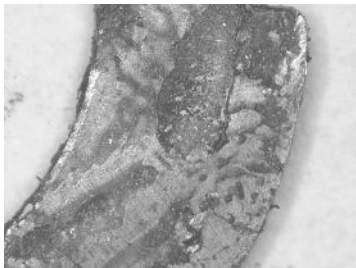
Haittalevyjä kuvattiin myös mikroskoopilla, jolla saatiin tarkemmat kuvat pintojen kulumisesta ja lukkoon kerääntyneen pölyn ja hiekan rakenteesta. Kuvassa 10 näkyy mikroskooppitaisyydeltä osa puhdistamatonta lukon 4 haittalevystä.

Haittalevyt kuvattiin myös puhdistettuina. Näin saatiin selkeämmät otokset materiaalin pinnasta ja kulumisesta.



Kuva 11. Mikroskooppikuva, puhdistettu lukko 4 (Kuva Matti Mujunen)

Yllä olevassa kuvassa 11 on sama levy, kuin kuvassa 10. Levyn pinnassa on tapahtunut selvää kulumista. Ohuet urat ja mustina näkyvät kuopat ovat seurausta kuvissa 9 ja 10 näkyvästä liasta ja normaalista lukon kääntöliikkeestä. Alapuolella olevassa kuvassa 12 on pölyisen voiteluöljyn peitossa oleva haittalevy.



Kuva 12. Mikroskooppikuva, lukko 2 (Kuva Matti Mujunen)

Alla olevassa kuvassa 13 on mikroskooppikuvattuna puhdistettu lukon 2 haittalevy. Merkittävimpänä asiana näkyy kiertoliikkeestä peräisin oleva urautuminen keskellä.



Kuva 13. Mikroskooppikuva, puhdistettu lukko 2 (Kuva Matti Mujunen)

6 Pölytestauslaitteen suunnittelu

Edellisessä luvussa esitelty näytelukko numero 4 on hyvä esimerkki erityisen pölyisestä tapauksesta. Sitä voidaan myös pitää suuntaa-antavana kappaleena haettaessa sopivaa pölyn määrää avainpesässä kulutustestauksissa.

Testilaitteen tai testimenetelmän suunnittelun lähtökohtana pidetään sitä, että se pystytään integroimaan nykyiseen kulutustestaukseen vaivattomasti. Abrasiivin eli pölyn vieminen avainpesän sisälle on oltava varmatoimista ja helposti säädettävää, jotta oikeanlaisen annostuksen löytäminen mahdollistuu.

Laitteen toimintaperiaate vaikuttaa pölytyksen hallittavuuteen, joka halutaan maksimoida. Esimerkiksi puhaltamalla pölyä suoraan lukon sisään tapahtuu helposti siten, että pölyä on liikaa [13]. Tavoitteena on päästä mahdollisimman lähelle luonnollista, useiden vuosien ajan kestävästä pölyyntymisestä.

IEC:n standardi 68-2-68 jakaa pölytestauksen viiteen eri ryhmään:

- Testi *La1*, jossa testattava tuote altistetaan ei-abrasiiviselle hienolle pölylle, joka koostuu talkista tai rautapölystä. Pölytiheys on $600 \text{ g} / \text{m}^2 / \text{h}$ ja ilmanpaine vaihtelee sykleissä.
- Testi *La2*, jossa testattava tuote altistetaan ei-abrasiiviselle hienolle pölylle, joka koostuu talkista tai rautapölystä. Pölytiheys on $2000 \text{ g} / \text{m}^3$ ja testattava tuote voidaan alipaineista.
- Testi *Lb*, jossa pöly päästetään putoamaan vapaasti suljetussa tilassa testattavan tuotteen päälle. Pölytiheys on $6 \text{ g} / \text{m}^2 / \text{d}$.
- Testi *Lc1*, jossa testattava tuote altistetaan joko turbulentille tai laminaariselle il-mavirralle, johon on lisätty pölyä ja/tai hiekkaa. Kammiossa on järjestetty ilman-kierto. Pölytiheys 1, 3 tai $10 \text{ g} / \text{m}^3$. Tuotteen alipaineistus on mahdollista.
- Testi *Lc2*, jossa testattava tuote altistetaan joko turbulentille tai laminaariselle il-mavirralle, johon on lisätty pölyä ja/tai hiekkaa. Pölytiheys 1, 3 tai $10 \text{ g} / \text{m}^3$. [6]

Kyseisistä metodeista *Lc1* osoittautui monilta osin tarpeiden mukaiseksi. Tässä tapauk-sessa pölytyskammion sisällä oleva il-mavirta tai pyörteily on sopivaa, kun pöly leviää

mahdollisimman tasaisesti ilmatilaan. Erillistä ilmankierrätystä ei suunniteltu, jotta prototyypin yksinkertainen rakenne voitaisiin säilyttää.

Pöly kulkeutuu avainpesään ilmavirralla, joka synnytetään lukon toisella puolella olevalla alipaineella. Tällainen järjestely osoitettiin toimivaksi tutkittaessa ilmavirran suuruutta lukkopesän läpi. Pölyn kulkeutumisen annostelua voidaan säätää pölytysajalla sekä alipaineen suuruudella. Pöly annostellaan joko massan tai tilavuuden perusteella laitteen pölykammion pohjalla olevaan irti kierrettävään astiaan. Tässä kammiossa oleva tuuletin nostaa ja sekoittaa hienorakeisen pölyn ilmamassaan.[13]

Tuulettimen ominaisuuksiksi vaaditaan 0-24 V käyttöjännite, halkaisija ~100 mm sekä täysin pölysuojattua IP6X-rakennetta[14]. Lisäksi kammioon mahdollisesti kiinnitettävällä pienellä täryllä pyritään irrottamaan pohjalle pakkaantunutta pölyä takaisin pyörteeseen ilmaan.[13]

Avainpesä asennetaan sisältä avoimeen kartiomalliseen kiinnikkeeseen, jonka toiseen päähän liitetään tiiviisti alipaineletku. Kiinnikkeen materiaaliksi valittiin kumi [15]. Elastisen materiaalin käyttö mahdollistaa tiiviimmän liitoksen avainpesän ja kiinnikkeen välillä, jolloin työskentelyä hankaloittavien tiivistysaineiden käyttöä voidaan välttää. Tarkoituksena on, että kumikiinnike pysyy laitteen rungossa kiinni puristuksen varassa. Avainpesän asennus tapahtuu kumikiinnike irtonaisena laitteesta.

6.1 Testipöly

Pölytykseen käytetään Powder Technology Inc:n eri raekoossa saatavia testipölyjä (kuva 14). Koska käytettävä testipölyn raekoko asettuu juuri hengitysoireitakin aiheuttavan ka-
tupölyn kanssa samalle alueelle [8], on muistettava huolehtia asianmukaisesta hengityssuojauksesta.



Kuva 14. Testipölyä 5-10 mikrometrin raekoossa. (Kuva Matti Mujunen)

6.2 Alipaineistus

Alipaineen muodostamiseen voidaan käyttää joko erillistä alipainepumppua tai imemään asennettua tuuletinta. On kuitenkin varauduttava siihen, että ajankäytön vuoksi alipainetta on pystyttävä laskemaan ali rakennuksissa esiintyvien paineiden. Ilmavirtamittauksissa (kappale 5) päästiin 12 V:n tuulettimella 60 Pa:n paine-eroon, jolloin ilmaa virtasi 0,67 litraa minuutissa lukkopesän läpi. Tehokkaampi, esimerkiksi 24 V:n tuuletin antaa mahdollisuuden suurempiin paine-eroihin.

Alipainepumpun käyttö tekee laitekokonaisuuden käyttämisestä ja rakentamisesta helpompaa verrattuna tuulettimeen. Alipaineen tuottoon kehitetyt pumput tarjoavat myös suurempia imutehoja. Tulevaisuudessa valmiin prototyypin käytön perusteella selvinnee lukkopesän pölytyskäyttöön riittävä alipaine.

Suunnitteluvaiheessa käytetään italialaisen VUOTOTECNICA® S.r.l.:n alipainepumpua VTL 2 (kuva 15), joka on valmistajan pienin jatkuvaan käyttöön soveltuva laite.[16]



Kuva 15. VTL 2- alipainepumppu (Kuva VUOTOTECNICA S.r.l)

Pumpun tuottaman alipaineen säätöön tarvitaan alipainesäädin. VUOTOTECNICA:n valikoimasta valittiin tuote 110350 (kuva 16), joka on tarkoitettu ilmakehän ilmanpaineen läheisyydessä toimimiseen.[16]

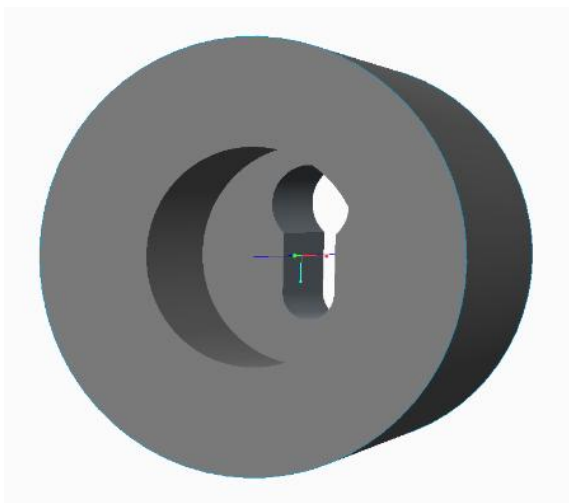


Kuva 16. Alipainesäädin (vas.) ja imuilman suodatin (Kuva VUOTOTECNICA S.r.l)

Pumpun vaurioitumisen ehkäisemiseksi pumpun imupuolelle on asennettava suodatin, joka suodattaa käytössä olevat pienimmätkin partikkelit. VUOTOTECNICA:n kyseiseen tarkoitukseen suosittelema ja valmistama öljykylpyinen alipainesuodatin FO20 (kuva 16) suodattaa partikkelit 1 mikrometriin asti. Toimilaitteet liitetään toisiinsa vakiokokoisilla liittimillä ja letkuilla.[16]

6.3 Mallinnus

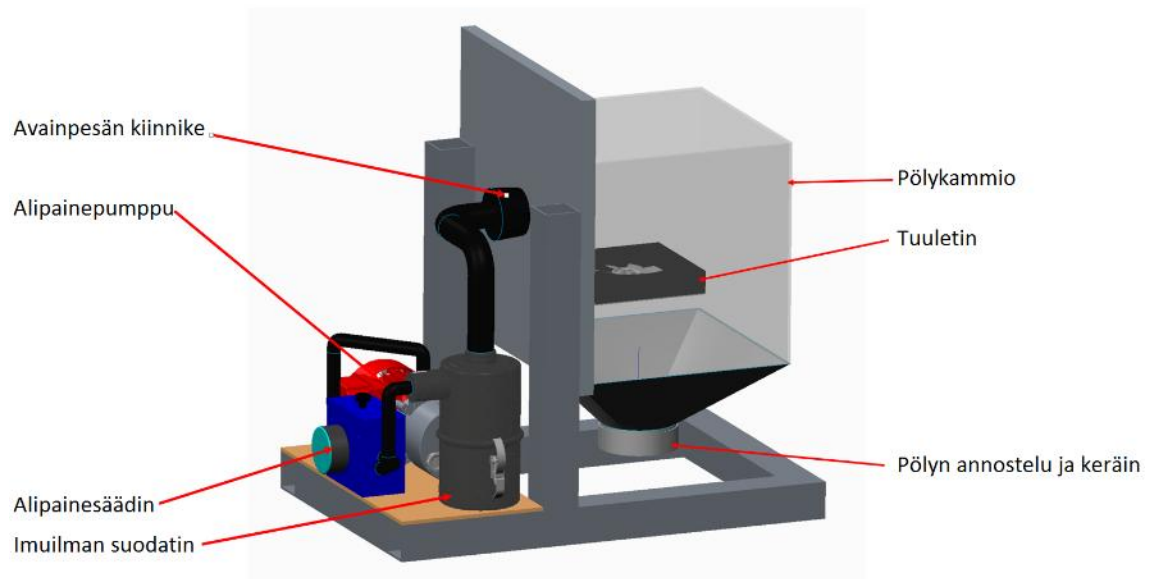
Prototyyppi mallinnettiin PTC Creo 2 – suunnitteluohjelmistolla. Eri toimilaitteet sijoitettiin samaan runkoon, lukuun ottamatta kammion sisällä olevan tuulettimen virtalähdettä. Pölykammio mallinnettiin ilmatilavuudeltaan noin 30 litraiseksi ja kuution malliseksi, jota myös IEC:n standardi 68-2-68 suosittelee. Toimilaitteiden välille mallinnettiin kumiletkut. Kuviossa 6 on avainpesän kiinnikkeen malli, joka mahdollistaa avainpesän alipaineistuksen.



Kuvio 6. Avainpesän kiinnikkeen 3d-malli.

Laitteen runko valmistetaan kevyestä alumiiniprofiilista ja pölykammion seinämät läpinäkyvästä polykarbonaatista. Alipaineistuslaitteisto kiinnitetään runkoon kiinnitettyyn vanerilevyyn. Tärylaitetta ei mallinnettu, johtuen siitä, että pölykammioon kiinteästi asennettu täry voi aiheuttaa liimauksien ja liitosten rikkoutumisia.

Alla olevassa kuviossa 7 on kokoonpano toimilaitteineen, lukuun ottamatta virtalähdettä. Tarvittavat kiinnittimet eivät näy kuvassa.



Kuvio 7. Pölytestauslaitteen 3d-malli.

7 Pohdinta

Pölylle altistettujen lukkojen kulutus- tai käyttötestausta ei ole Abloylla aiemmin tehty, eikä alalla ole olemassa sitä koskevia standardeja. IP-luokituksen saaneet tuotteet estävät tehokkaasti erilaisten tulppien ja korkkien avulla pölyn ja veden pääsyn avainpesään, mutta normaalissa rakennuslukituksessa tällaiset ratkaisut ovat käyttöä hankaloittavia. Uudella pölytestausmenetelmällä saadaan tietoa monien tuotteiden toiminnasta likaantuneena. Pölyttämiseen käytettävän ajan, pölytyypin, sekä – määrän vakiintuminen mahdollistaa tuotteiden ja materiaalien keskinäisen vertailun.

Opinnäytetyössä tehdyt tutkimukset käytettyjen lukkojen pölyisyydestä antoivat pinta-araapausun siitä, mitä lukkojen sisällä oikeassa käytössä on. Jo pienessä otoksessa oli kuitenkin havaittavissa suuria eroja lukoissa olevien ylimääräisten partikkelien määrissä.

Lukkojen kuluneisuudessa ei merkittäviä eroja ollut, yhtä huomattavasti enemmän käytettyä lukkoa lukuun ottamatta. Tulevaisuudessa testattavaksi ja tutkittavaksi jää esimerkiksi se, että mihin kohtaan lukkopesässä pöly kulkeutuu kulutustestauksessa.

Avainpesästä läpi virtaava ilma saatiin todistettua ja mitattua onnistuneesti. On kuitenkin huomattava, että erilaisissa ovi- ja lukkoyhdistelmissä virtauksen suuruus voi vaihdella. Mittauksissa käytetty testijärjestely auttoi myös pölytestauslaitteen toimintaperiaatteen suunnittelussa.

Pölytinlaitteen prototyypin rakentaminen jää tämän opinnäytetyön ulkopuolelle ja monia suunniteltuja piirteitä jouduttaneen muuttamaan valmistusteknisistä tai käyttöön liittyvistä syistä. Tämä on otettu huomioon ja tiedetty projektin alusta lähtien. Suunnitellun laitteen hyvinä puolina tekijä pitää itse rakenteen yksinkertaisuutta, joka mahdollistaa myös muutosten teon.

Opinnäytetyön tekeminen oli oppimisen kannalta antoisaa. Käytettyjen lukkoyksilöiden tutkimisen yhteydessä kävi selväksi, että aiheen laajuus riittäisi omaksi opinnäytetyökseen. Yksi suurimmista haasteista oli löytää pölytestauslaitteelle käyttötarkoitukseen sopiva periaate. Tämä kuitenkin löytyi ja rakenteesta oltiin yhtä mieltä osapuolten kesken. Lopuksi haluan kiittää projektiin osallistuneita henkilöitä Karelia-ammattikorkeakoululla sekä Abloy Oy:llä.

Lähteet

1. Abloy Oy. Yritysesittely. 2015. Saatavissa: <http://www.abloy.fi/fi/abloy/abloyfi/Yritys/>. Hakupäivä: 5.1.2015.
2. Suomen tribologiyhdistys ry. Tribologia. 2014. Saatavissa: <http://www.tribologysociety.fi/?s=tribologia/>. Hakupäivä: 25.11.2014.
3. Kivioja, S, Kivivuori, S, Salonen, P. Tribologia - kitka, kuluminen ja voitelu. Otatieto. Helsinki. 2007.
4. Axén, N, Hogmark, S, Jacobson, S. Modern Tribology Handbook. Friction and Wear measurement techniques. CRC Press LLC. 2001.
5. MIL-STD-810G. Test Method Standard, Environmental Engineering Considerations. Department of Defense, USA. 2008.
6. 60068-2-68. Environmental testing –Part 2-68: Tests – Test L: Dust and sand. International Electrotechnical Commission (IEC). 1994.
7. SFS-EN 1303. Building hardware. Cylinders for locks. Requirements and test methods. SFS. 2005.
8. Ilmatieteenlaitos.Ilmanlaatuportaali. 2015. Saatavissa: <http://www.ilmanlaatu.fi/index.php>. Hakupäivä: 4.1.2015
9. Kupiainen, K, Pirjola, L, Ritola, R, Stojiljkovic, A, Malinen, A. Talvirenkaiden pölypäästöt ja katupölylähteiden osuudet kadunvarrella kerätyissä hiukkasnäytteissä. 2013. Saatavissa: https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/Documents/Julkaisut/3_2013_talvirenkaiden_polyypaastot_netti.PDF/. Helsingin seudun ympäristöpalvelut- kuntayhtymä. Hakupäivä: 5.1.2015.
10. Tirkkonen, J. Tuotteiden ympäristöolosuhdetestaukset. [Yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Matti Mujunen. Lähetetty 22.4.2015.
11. Asumisterveysopas. Ympäristö ja Terveys-lehti. Pori. 2009
12. Seppänen, K. Painesuhteet rakennuksen ulkovaipan yli. Itä-Suomen yliopisto. Kuopio. 2010.
13. Abloy Oy, Lukot-testausosasto. Palaveri 25.3.2015.
14. Wikipedia. IP-luokitus. 2015. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/IP-luokitus/>. Hakupäivä: 30.4.2015
15. Klemm, M. Avainpesän kiinnikkeen rakenne. [Yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Matti Mujunen. Lähetetty 10.4.2015.
16. VUOTOTECNICA® S.r.l. Yrityksen kotisivut. 2015. Saatavissa: <http://www.vuototecnica.net>. Hakupäivä: 20.4.2015

Liitteet

Liite 1. PM10 –hiukkasten pitoisuudet vuonna 2013. [8]

Hengitettävien hiukkasten (PM ₁₀) pitoisuudet 2013				
Asema	Raja-arvo 40 µg/m ³ Vuosikeskiarvo	Yli 50 µg/m ³ ylityspäivien lukumäärä korkeintaan 35 ylitystä sallitaan vuodessa	Korkein tunti-arvo	Ajallinen kattavuus
Helsinki Mannerheimintie	24.5	17	320.8	99%
Kuopio Sorsasalo	23.0	40*	1195.4	98%
Vantaa Kehä III Varisto	22.9	0	410.6	97%
Espoo Leppävaara 4	19.6	17	436.4	99%
Lappeenrannan keskusta 4	18.1	13	500	91%
Vaasan keskusta	17.5	20	499.2	96%
Helsinki Vallila 1	17.4	3	255.8	99%
Kuopio Tasavallankatu	17.1	11	289.4	91%
Lahti Laune	16.4	11	351.7	99%
Tampere Pirkankatu	15.6	7	852	99%
Hyvinkää Hyvinkää	15.5	12	437.8	98%
Lappeenranta Ihalainen	15.5	6	595	99%
Turku Kauppatori	15.0	8	301.5	98%
Kotkan Satama (HaminaKotka Satama oy)	14.9	0	465	92%
Pietarsaari Bottenviksvägen	14.7	11	693.3	96%
Oulu Keskusta 2	14.3	3	191	99%
Jyväskylä Lyseo 2	14.2	5	250	92%
Hämeenlinna Niittykatu	14.0	9	561.6	100%
Tampere Epila 2	13.9	8	530	98%
Kotka Rauhalta	13.9	1	358	97%
Vantaa Tikkurila 3	13.8	4	225.9	99%
Raisio Raision keskusta	13.5	2	164.1	98%
Seinäjoki Vapaudentie 6a	13.2	6	292	99%
Kokkola Keskusta	13.2	3	199	86%
Helsinki Kallio 2	13.1	0	206.4	99%
Kouvola Käsityöläiskatu	13.1	1	266	99%
Rauma	13.0	6	305.7	97%
Äänekoski Hiski	13.0	3	696	97%
Kouvola Kuusankoski	12.9	0	100.5	68%
Varkaus Psaari 2	12.7	6	281.4	100%
Jämsä Seppolantie	12.7	11	314.4	89%
Lappeenranta Lauritsala	12.4	4	367	99%
Länsi-Turunmaa Parainen III	12.3	0	135.8	64%
Kajaanin keskusta 3	12.0	2	252.6	100%
Heinolan keskusta	12.0	10	443.4	97%
Kuopio Maaherrankatu	12.0	3	350.3	94%
Joutsenon keskusta	11.9	1	294	99%
Valkeakoski Hiekkatekonurmi	11.9	7	343.7	98%
Kotka Kirjastotalo	11.5	0	103	98%
Turku Oriketo	11.4	0	123.1	98%
Naantali	11.3	4	218.6	100%
Lohja Nahkurintori 2	11.1	3	386	97%
Helsinki Vartiokylä Huilvipolku	10.8	0	177.9	81%
Imatra Rautionkylä	10.8	0	477	97%
Pieksämäki Savontie	10.8	0	113.8	98%
Virolahti	10.6	0	213.8	79%
Kokkola Ykspihlaja	10.5	2	358	96%
Harjavalta Pirkkala	10.3	0	167.6	100%
Kuopio Kasarmipuisto	10.3	0	194.3	99%
Harjavalta Kaleva	10.3	0	316.6	100%
Imatra Teppanala	10.3	0	286	99%
Imatra Mansikkala	10.2	2	278	99%
Jyväskylä Palokka 2	10.2	3	566	100%
Kaarina	9.7	3	401.7	100%
Oulu Pyykösjärvi	9.6	1	305	100%
Lahti Salmaankatu	9.6	0	73.3	64%
Raahe Keskusta 2	9.4	0	118	99%
Pori Porin keskusta	9.2	1	211.3	91%
Vaasa vesitorni	8.1	2	347	96%
Inari Raja-Jooseppi	3.9	0	34.1	94%
Muonio Sammalunturi	3.2	0	20.9	70%

* Kuopion Sorsasalon mittaus sijaitsee silta- ja rakennustyömaan vaikutuspiirissä eikä edusta väestön keskimääräistä altistusta alueella. Tämän takia sitä ei ole raportoitu ylityksenä.