

Amina Abdulkadir Abukar

Esipesuaineen levitystekniikan optimointi automaattisessa autonpesukoneessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

15.5.2018

Tekijä(t) Otsikko	Amina Abdulkadir Abukar Esipesuaineen levitystekniikan optimointi automaattisessa autonpesukoneessa
Sivumäärä Aika	41 sivua 15.5.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaajat	Tekninen tuki Timo Lahtinen ja Timo Pohjolainen Lehtori Timo Laitinen
<p>Opinnäytetyössä tutkittiin kahden suuttimen optimaalista levitystekniikkaa. Työn tarkoitus oli tutkia ja testata, kuinka paljon eri suuttimet irrottivat likaa auton pinnalta silloin, kun auto on automaattisessa autonpesukoneessa. Työn teoriassa käsiteltiin eri suutinten suihkutuskulmaa, pisarakokoa ja suihkun iskuvoimaa. Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdyttiin myös siihen, mitkä eri tekijät vaikuttivat suuttimiin. Nämä tekijät olivat pesunesteen viskositeetti, lämpötila, paine ja pintajännitys. Työ tehtiin Pine Line Oy:lle.</p> <p>Työssä testatut suuttimet olivat SSF Spraying Systems Finland Oy:n pistesuihkusuutin ja viuhkasuutin. Lisäksi kokeessa käytettiin teräslevyjä simuloimaan auton ulkopintaa, Pine Line Oy:n bitumikalvospraytä simuloimaan poispestävää likakerrosta ja pesuaineena Power Cleaner -liuotinta. Kokeet tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun Materiaali- ja pintakäsittelyn laboratoriossa. Kokeeseen kuuluivat sumutuskoe ja vedensuihkutuskoe. Kokeessa käytetyn viuhkasuuttimen malli oli HB1/8U-SS1520 ja pistesuihkusuuttimen B1/8MEG-0004.</p> <p>Kokeiden jälkeen saatiin kaikkien levyihin jääneen bitumikerroksen pinta-alamassat. Tuloksessa saatiin tietää, kuinka paljon suhteellisesti bitumikalvo oli irronnut levyistä. Kokeessa tehtiin rinnakkaiskokeet ja toistojen määrä oli kolme. Kokeen lopussa laskettiin näytteiden keskiarvo ja toistojen keskihajonta. Kokeessa oli saatu selvälle, että viuhkasuutin oli parempi irrottamaan likaa laajalla alueella kuin pistesuihkusuutin. Pistesuihkusuutin koetuloksessa kalvoa oli irronnut 8–20 %. Viuhkasuutin koetuloksessa kalvoa oli lähtenyt 60–90 %. Koetuloksien perusteella viuhkasuuttimella saadaan likaa irrotettua tehokkaasti auton laajoilta pinnoilta kuin pistesuihkusuuttimella. Viuhkasuutin on kokeen mukaan taloudellisempi.</p>	
Avainsanat	viuhkasuutin, pistesuihkusuutin, bitumikalvospray, Power Cleaner -liuotin

Author(s) Title Number of Pages Date	Amina Abdulkadir Abukar The dissemination technique of prewash material in automatic car wash machine 41 pages 15 June 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Timo Lahtinen and Timo Pohjolainen, Technical Support Timo Laitinen, Senior Lecturer
<p>In the thesis the optimum spreading technique for two nozzles was examined. The purpose of the work was to study and test how different nozzles removed dirt from the car surface when the car is in an automated car wash. In the theoretical part the spray angle, the droplet size and the impact force of the various nozzles were examined. In the theoretical part of the thesis, various factors influencing the nozzles were also studied. These factors were viscosity, temperature, pressure, and surface tension of the washing liquid. The thesis was done for Pine Line Oy.</p> <p>The nozzle that were used in the test were received from SSF Spraying Systems Finland Oy. The nozzles were flat spray nozzle and fan nozzle. In addition, in the experiment, steel plates were used to simulate the outer surface of the car, Pine Line Oy's bituminous membrane film to simulate a wash-off layer and Power Cleaner washing liquid was used as a detergent. The tests were conducted at the Metropolia Polytechnic's Materials and Surface Treatment Laboratory. The test included a spray test and a water injection test. The model of the fan nozzle used in the test was HB1 / 8U-SS1520 and point spray nozzle B1 / 8MEG-0004.</p> <p>After the experiments, the surface masses of the bituminous layer remaining on all plates were calculated. The calculations showed how much the bitumen membrane had been relatively detached from the plates. The experiment included parallel tests, and the number of repetitions was three. At the end of the experiment, the average of the amount of removed bitumen membrane in samples and the standard deviation of the repetitions were calculated. It was found in the experiment that the flat spray nozzle was better at removing dirt in a wide area than the flat spray nozzle. In the flat spray nozzle test, 8 % - 20 % of the membrane was removed and with the fan nozzle, 60 % - 90 %. Test results show that the fan nozzle removes the dirt from the wide surfaces of the car more effectively than the flat spray nozzle. On the basis of the experiment, the fan nozzle is more economical.</p>	
Keywords	fan nozzle, flat spray nozzle, bitumen spray, Power Cleaner solvent

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yleistä suuttimista	1
3	Suutintyytit	1
3.1	Viuhkasuuttimet	3
3.2	Onttokartiosuuttimet	5
3.3	Sumutussuuttimet	7
3.4	Täysikartiosuuttimet	8
3.5	Pistesuihkusuuttimet	9
3.6	Pneumaattinen suutin	11
3.7	Ilmasuihkusuuttimet	11
4	Suuttimen toimintaa karakterisoivat suureet ja niihin vaikuttavat tekijät	13
4.1	Suihkukulma	13
4.2	Pisarakoko	15
4.3	Suihkun Iskuvoima	16
4.4	Viskositeetti	18
4.5	Pintajännitys	18
4.6	Lämpötila	18
4.7	Paine	19
4.8	Ominaispaine	19
5	Suuttimen kuluminen ja lisävarusteet	21
6	Koemenetelmä	28
7	Kokeen suoritus	30
7.1	Koelevyjen valmistaminen ja punnitus	30
7.2	Koelevyjen testaaminen vedensuihkutuskokeessa	32
8	Tulokset ja tulosten tarkastelu	34
8.1	Pistesuihkusuuttimen tulokset	34
8.2	Viuhkasuuttimen tulokset	37

9 Yhteenveto ja pohdintaa	39
9.1 Yhteenveto tuloksista	39
9.2 Pohdintaa	40
Lähteet	41

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on tutkia, miten tehokkaasti erilaiset suuttimet irrottavat likaa auton pinnalta silloin, kun auto on automaattisessa autonpesukoneessa. Työssä käytetyt suuttimet ovat pistesuihkusuutin ja viuhkasuutin. Molemmat suuttimet saatiin SSF Spraying Systems Finland Oy:stä. Opinnäytetyössä testattavat aineet olivat bitumikalvo-spray ja Power Cleaner -liuotin. Kokeet suoritetaan materiaali- ja pinnoitelaboratoriossa.

Opinnäytetyön on tilannut Pine Line Oy, joka on erikoistunut valmistamaan vähemmän ympäristöä kuormittavia pesuaineita ammattikäyttöön: teollisuudelle, puhdistukseen ja autonpesukoneisiin. Tämä työ on osa yrityksessä kehitteillä olevaa menetelmää, jossa tutkitaan ja testataan optimaalista levitystekniikkaa automaattisissa autonpesukoneissa käytettäville levitysjärjestelmille.

Automaattisen autonpesukoneen toimintaperiaate on se, että ajetaan likainen auto sisään. Koneen levitysjärjestelmässä on pumppu, kemikaaliletkut, magneettiventtiilit ja jakohaara suuttimelle. Levitysjärjestelmään kuuluu myös sähkönohjaukset, jotka eivät sisälly insinööriyöhön. Kun auto on autonpesukoneessa, pumppu käynnistyy automaattisesti. Tämän jälkeen pumpataan kemikaalia siirtolinjaan. Kemikaali siirtyy suuttimille. Tässä vaiheessa venttiilit avautuvat sähköisellä käskyllä. Lopussa suuttimet levittävät kemikaalia paikoillaan olevan auton pestäville pinnoille.

2 Yleistä suuttimista

Suutin on suukappale, jonka läpi virtaava neste- tai kaasuaine muotoillaan käytössä tarvittavaan muotoon. Suuttimet ovat muodoltaan ja kooltaan erilaisia. [1.]

Autoteollisuudessa suuttimia käytetään moottorin osien ja muiden rakenneosien tuotannossa esimerkiksi rakenneosien voiteluun, pesuun ja kuivaukseen sekä työkalujen jäädytykseen. Auton pintakäsittelyssä valitaan sellainen suutin, joka levittää pesuainetta tasaisesti.

Suuttimen tehtävä on suihkutettavan nesteen pisaroituminen haluttuun pisarakokoon, tilavuusvirtauksen tuottaminen tietyllä paineella, sekä haluttu suihkukulma ja iskuvoima. Suutin sumuttaa pesuainetta kaasuttimen kautta auton pinnalle.

Nestesuuttimet on jaettu käyttösovelluksen, materiaalin ja nesteen pisaroittamistavan mukaan. Levitettäessä pesuainetta auton pinnalle suutin pystyy tuottamaan leveän alueen suihkukuviota, kuten tasainen suihku, pistesuihku, täysikartio, onttokartio, hienoja-keinen suihku, soikea suihku, sekä neliömuotoinen suihku, jonka kulmat ovat 0 –170°. Tällaiset kuviot ja erilaiset suihkukulmat takaavat halutun peiton. [2.]

Olosuhteeseen ja käyttötarkoitukseen soveltuvan suuttimen valinta on tärkeää. Suuttimista on saatavilla erilaisia materiaalivaihtoehtoja, jotka kestävät kulutusta, kemikaaleja, korroosiota ja erilaisia lämpötiloja. Lisäksi on olemassa sellaisia malleja, jotka eivät tukeudu helposti ja ovat helppo ylläpitää. Suuttimien standardimateriaaleja ovat metallit ja muovit. Tarvittaessa suuttimien materiaalina käytetään myös korkean suorituskyvyn metalliseoksia. [2.]

Suuttimesta löytyy tieto, joka kertoo, mikä suutinmalli on kyseessä. Suuttimessa lukee suutintyyppi, suihkutuskulma, koko ja kärjen materiaali (kuva 1). [3;4.]



Kuva 1. Suutinmalli, jossa nähdään suutintyyppi, koko, suihkutuskulma ja kärjen materiaali [3;4.].

3 Suutintyyppit

Kaikki suuttimen mallimerkinnät ja käyttökohteet on mainittu taulukossa 1.

Taulukko 1. Suutinten käyttökohteet ja mallimerkinnät

	Käyttökohte	Mallimerkinnät
Viuhkasuutin	erilaiset puhdistukset, pesut, huuhtelut ja poistot	H-VV, H-U, P, K, MEG
Onttokartiosuutin	erilaiset jäähdytykset, pintakäsittely, pölynsidonta	A,B, BD, BSJ
Sumutussuutin	jäähdytys, kostutus, spraykuivaus, pölynsidonta	LN, LNN, M, 7N
Täyskartiosuutin	palosuojaus, pesu, jäähdytys, pölyntorjunta	GG, HH, TG, HHSJ, R, HHMFP
Pistesuihkusuutin	pölyntorjunta, korkeapainepesurit, leikkaussovellukset	MEG, H-U, UltraStream
Pneumaattinen suutin	voitelu, kostutus, pölyntorjunta	
Ilmahajotteinen suutin		XA, SAM, SpiralAir

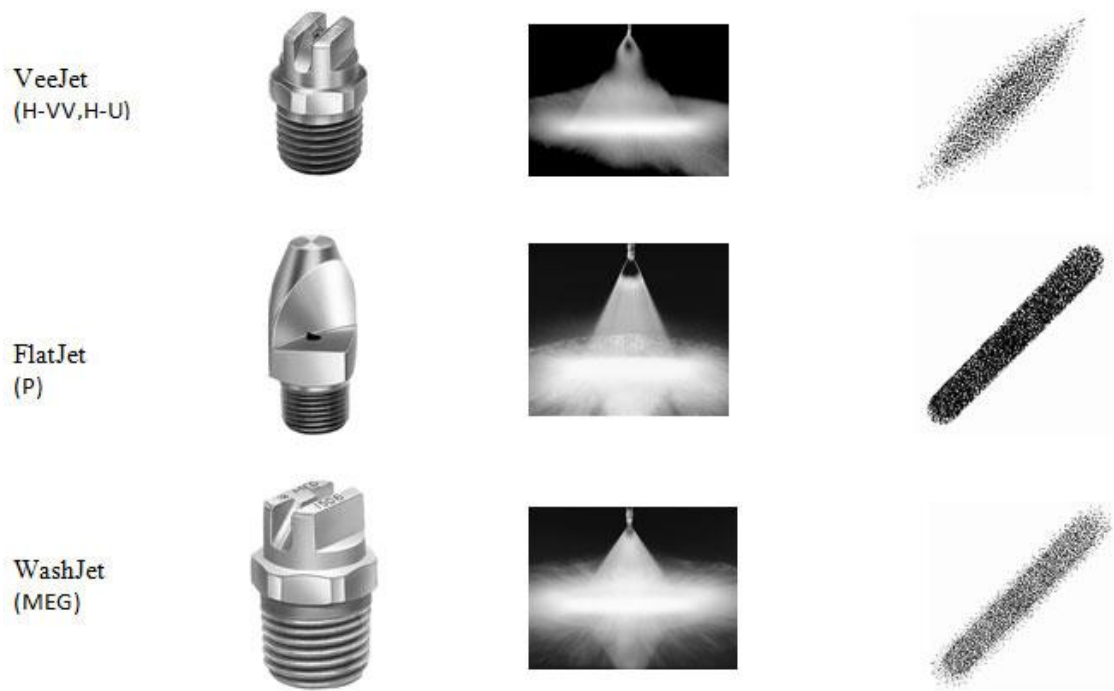
3.1 Viuhkasuuttimet

Viuhkasuutin on yleisin käytetty suutintyyppi, joka muodostaa viuhkamaisen suihkukuvion. Viuhkasuuttimella on sisäinen virtausominaisuus, jonka takia suuttimen suihkukuvio on tarkasti rajattu linja. Viuhkasuuttimen suihkukulmat vaihtelevat välillä 5–145°. Viuhkasuuttimia löytyy eri kokoisina ja eri laitteille. [2;5;6.]

Korkeapainepuhdistuksen takia viuhkasuutinten tiedetään olevan tehokkaimpia suuttimia ja lisäksi ne on helppo asentaa suutinpidikkeelle.

Viuhkasuutinmalleja ovat FlatJet, VeeJet, WashJet ja FloodJet (kuva 2). FlatJet- ja VeeJet-suuttimien normaalikäyttöpaine on 3–20 bar, WashJet-suuttimen, jota käytetään korkeapainepesuissa, normaalikäyttöpaine 50–276 bar (MEG-suutin) ja FloodJet-suuttimen paine on 1–4 bar. Lisäksi saatavilla on erikoismallisia viuhkasuuttimia. [2;5;6;7;8.]

Viuhkasuutinten tavallisimmat mallimerkinnät ovat H-VV, H-U, P, K ja MEG (kuva 2). Yleensä suutinmallille (kuva 3) annetaan nimi, jolla voidaan tunnistaa, mistä materiaalista on kyseessä. [2;5.]



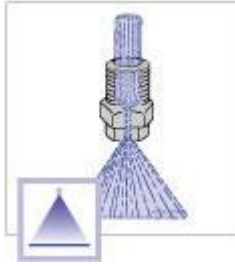
Kuva 2. Viuhkasuutinmallit ja niiden suihkutuskuviot [2.].



Kuva 3. Viuhkasuuttimen malli on AISI303. Sen rakenne on kolmiosainen ja materiaali on ruostumaton messinkiä [2.].

Viuhkasuuttimen yleiset käyttökohteet ja mallimerkinnot on mainittu (taulukon numero 1). Suuttimen käyttökohteisiin kuuluu vesihuuhtelu, vesijäähdytys, tuotteiden pesu, jäähdytys ja sammutus, kaasupesurit, lipeäpesurit, pölyntorjunta, palontorjunta, pesu- ja huuhtelusovellukset, pintakäsittely, putkien ja kanavien puhdistus, teiden puhdistus, pintojen puhdistus, graffitin poisto, laivojen ja säiliöiden puhdistus ja vesiverhot sekä erilaiset suurta iskuvoimaa vaativat sovellukset. [2.]

Yhtä viuhkasuutinmallia kutsutaan lusikkasuuttimeksi. Lusikkasuuttimet muodostavat tarkasti rajatun viuhkamaisen suihkukuvion suihkun osuessa ulkoiseen levyyn eli lusikkaan (kuva 4). Lusikkasuuttimet kuuluvat erikoismallisiin suuttimiin ja kestävät hyvin liikaa. [9.]



Kuva 4. Lusikkasuutin muodostaa viuhkamaisen suihkukuvion [9].

3.2 Onttokartiosuuttimet

Onttokartiosuutin (engl. hollow cone nozzle) luo rengasmaisen suihkutuskuvion, jossa pisarat ovat levittäytyneet ympyrän kehälle. Onttokartiosuuttimia on monta eri tyyppiä. Onttokartiosuutin voi olla aksiaalinen tai tangentiaalinen. Tangentiaalinen onttokartiosuutin muodostaa nesteessä pyörivää liikettä. Nesteen pyörivää liikettä saadaan aikaan, kun nesteen syöttö sijoitetaan tangentiaalisesti sekoituskammioon. Suuttimen sisälle syntyy nestekerros, joka vaikuttaa pisarakokoon. Suuttimen aukolla nesteen pyörivä liike muuttuu aksiaaliseksi ja tangentiaaliseksi nopeudeksi. Tästä syntyy pyöreä nestefilmi, joka hajoaa nopeasti pieniksi pisaroiksi päästyään suuttimen aukosta. Tangentiaalinen onttokartiosuutin kestää hyvin likaa, koska suuttimella on suuret poraukset (kuva 5). [5;10.]

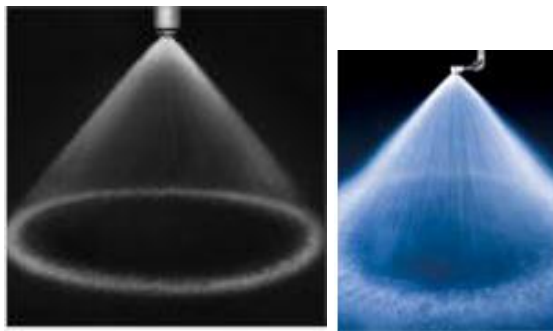
Muita onttokartiosuutintyyppejä ovat spiraalisuutin, sumutussuutin sekä ilmahajoitteinen suutin. Ilmahajoitteiset suuttimet muodostavat nesteessä ilman avulla erittäin pieniä pisaroita (kuva 6). Rakenteensa avulla onttokartiosuuttimilla voidaan ruiskuttaa paljon kiinteitä partikkeleita sisältäviä nesteitä. Suuttimen läpäisykyky on erittäin hyvä, koska suutinrungossa ei ole virtauksenohjainta. Suutin ei myöskään pääse tukkeutumaan helposti. [5;10.]

Onttokartiosuutinten mallimerkinnot ja käyttökohteet on mainittu taulukossa 1. Suuttimen tavallisimmat mallimerkinnot ovat A, B, BD ja BSJ (kuva 5). Onttokartiosuutinmallien yleiset käyttöpaineet ovat 0,2–10 bar, ja tilavuusvirtaus on 0,1 litraa minuutissa yli 100 litraan minuutissa. WhirlJet In-Line -ja SpiralJet suuttimet päästävät lävitsensä tuhansia litroja nestettä minuutissa. WhirlJet-onttokartiosuuttimet toimivat pyöreäkammioperiaatteella (kuva 7).

Ontonkartiosuutinten yleisimmät käyttökohteet ovat kaasun jäähdytys, vesijäähdytys, veden ilmaaminen, meriveden ruiskutus, metallin pintakäsittely, pölynsidonta sekä kaasun ja ilman pesu lentotuhkasta ja muista palamisjätteistä. [2;5;10.]



Kuva 5. Tangentiaalinen ontokartiosuutin [2;5.].



Kuva 6. Aksiaaliset ontokartiosuuttimet muodostavat erittäin pieninä pisaroita [2.].



Kuva 7. Ontokartiosuuttimet WhirlJet (A, B), WhirlJet In-Line (BD, BDM) ja SpiralJet (BSJ) [2.].

3.3 Sumutussuuttimet

Sumutussuuttimet ovat nestesuuttimia, jotka saavat aikaan hydraulisesti (nestepaineella) erittäin pientä pisarakokoa. Sumutussuuttimia käytetään sellaisissa kohteissa,

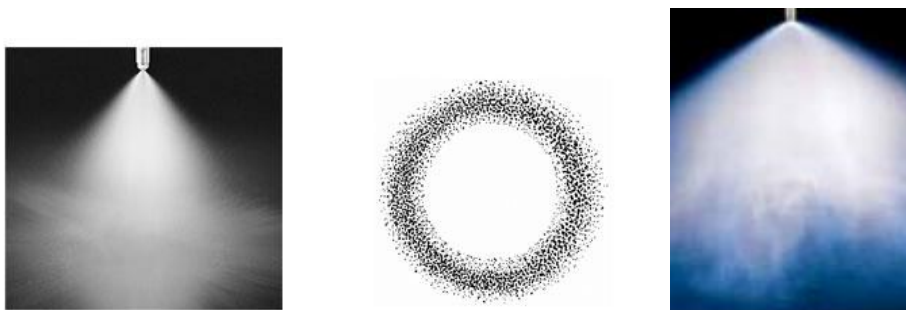
joissa halutaan saada pientä pisarakokoa ilman, että käytetään paineilmaa nesteen pisaroitumiseen. Sumutussuuttimet muodostavat sumumaisen onttokartiosuihkun. Käytännössä sumutussuuttimen suihkumuoto on täyskartiomuotoinen. Suuttimen suihkumuoto on hieno sumupilvi, jonka pisarat kulkeutuvat ilmavirran mukana. Yleensä sumutussuuttimia käytetään sisätiloissa kostutus-, haihdutus-, jäähdytys- ja ilmankosteussovelluksissa. [2;5;10.]

Nestepaineella toimivat sumutussuuttimet voidaan jakaa kolmeen tyyppiin. Hydraulinen sumutussuutin on tavallisin malli (kuva 8). Siinä suuttimen pienen suutinaukon läpi pakotettu neste hajotetaan leikkausvoiman avulla pieniksi pisaroiksi. Toinen käytetty sumutussuutinmalli perustuu törmäykseen. Tässä mallissa neste pisaroituu hienoksi sumuksi, kun se törmää koukun muotoisen metallikappaleen pintaa vasten. Kolmas malli perustuu Beten spiraalisuutinmalliin. Siinä neste johdetaan pienestä reiästä läpi, jolloin se hajoaa pisaroiksi törmätessään spiraalinmuotoiseen kappaleeseen (kuva 9). [2;5;10.]

Sumutussuutinten tavallisimmat mallimerkinnot ovat LN, LNN, M ja 7N (kuva 9). Mallimerkinnot on mainittu yhteenvetotaulukossa.



Kuva 8. Hydraulinen sumutussuutin (M), FogJet-sumutussuutin (kapeakulmainen) (FF) ja hydraulinen sumutussuutin (laajakulmainen) (LNN-W) [2.].



Kuva 9. Sumutussuuttimen suihkutuskuviot [2.].

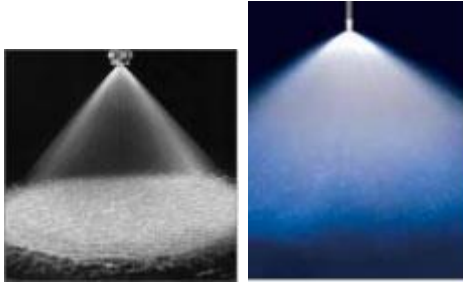
Sumutussuutinten yleisimmät käyttökohteet ovat jäähdytys, kostutus, spraykuivaus ja pölynsidonta. [2;5;10.]

3.4 Täyskartiosuuttimet

Täyskartiosuuttimia on useita eri tyyppisiä. Yleisesti käytetyn perusmallisen täyskartiosuuttimen (engl. full cone nozzle) toiminta perustuu pyörteilevään nestevirtaukseen. Suuttimessa on virtauksenohjain, joka optimoi turbulenssia. Täyskartiosuutin muodostaa kartiomaisen suihkutuskuvion. Tällaista suihkutuskuviota saadaan aikaan, kun pyörivässä liikkeessä oleva neste poistuu ulostuloaukosta, jonka jälkeen se altistuu keskipakovoimalle (kuva 10). Täyskartiosuuttimen pisarajakauma on tasainen. Spiraalisuutin muodostaa onttokartiomaisen suihkutuskuvion. Lisäksi spiraalisuuttimella on kyky kestää nesteessä esiintyviä epäpuhtauksia. Spiraalisuuttimen käyttö sopii esim. palosuojaukseen (kuva 11). Aksiaalinen täyskartiosuutin jakaa nesteen tasaisesti pyöreälle alueelle. Suuttimen sisällä oleva teräpala saa aikaan nesteessä pyörivän liikkeen. Pisan muodostuminen, suihkun syntyminen ja nesteen jakautuminen tasaisesti vaikuttavat pyörrekammioon, pyörivän liikkeen mitoittamiseen ja toiminnalliseen koordinointiin. Pisarot ovat suurempia kuin onttokartiosuuttimilla, koska täyskartiosuuttimilla on suurempi tangentiaalinen nopeus ja turbulenttiset virtaukset ovat eri aksleilla. [2.]

Ilmahajoitteisen täyskartiosuuttimen pisarakoko on erittäin pieni verrattuna perusmallisiin täyskartiosuuttimiin ja spiraalisuuttimiin. Neste hajotetaan pieniin osiin ilman tai kaasun avulla. Ilmahajoitteisen suuttimen ilmanpaine tai nesteenpaine voidaan säätää monipuolisesti joko nostamalla hajotusilman määrää suhteessa nestemäärään, jolloin saadaan aikaan hienoa sumua, tai muodostamalla suuria pisaroita isommalla virtauksella (kuva 12). [4] Tangentiaaliset täyskartiosuuttimet eivät tukkeudu helposti. Täyskartiosuuttimen suihkukuvio muodostaa tasaisen nestejaon pyöreälle alueelle. [2.]

Täyskartiosuutinten yleisesti käytetyt mallimerkinnot ovat GG, HH, TG, HHSJ, R ja HHMFP (kuva 11). [2.]



Kuva 10. Aksiaalinen täyskartiosuutin jakaa nesteen tasaisesti pyöreälle alueelle [2.].



Kuva 11. Kuvassa on FullJet(HH), SpiralJet(HHSJ, HHSJX) ja DistribJet (RF) [2.].



Kuva 12. Tangentiaaliset täyskartiosuutin [2;4.].

Täyskartiosuutinten käyttökohteet, jotka on mainittu taulukossa 1, ovat pölyntorjunta malmin, kivihiilen yms. käsittelyprosesseissa, vaahdontorjunta, savukaasujen rikkinpoisto, pesu ja jäähdytys, kemialliset prosessit, jätemateriaalien ja varastosäiliöiden kas- telu palon estämiseksi, pesu- ja huuhteluprosessit sekä metallin ja muiden materiaalien sammutus ja jäähdytys. [2.]

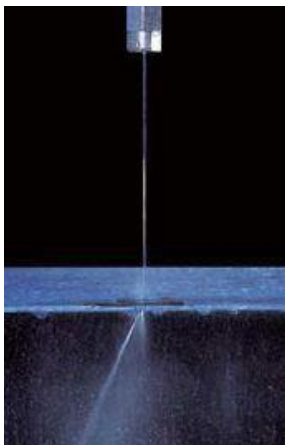
3.5 Pistesuihkusuuttimet

Pistesuihkusuutin on nimensä mukaisesti pistemäisen suihkun muodostava suutin. Täl- laiset suuttimet muodostavat pistemäisen suihkukuvion, koska niillä on korkea iskuvoima

(kuva 13). Pistesuihkusuutin suihkuttaa pienelle alueelle, ja tällöin se saa aikaan tehokkaan pesun. Mikäli kohdetta halutaan pestä joka puolelta, pistesuihkusuutin ei ole sovelias, koska suihkun muodostama peitto on erittäin pieni. [2;5.]

Pistesuihkusuuttimen suutinmateriaali vaihtelee suuresti käyttökohteen mukaan. Matalapaineisissa pesuissa käytettävän kokometallisen suuttimen materiaali on tehty ruostumattomasta tai happoa kestävästä teräksestä. Korkeapaineisissa pesuissa suuttimen runkomateriaalina käytetään samaa materiaalia kuin matalapaineisissa. Muita runkomateriaaleja ovat kovametallit kuten rubiini, safiiri ja karbidi. Kovametalli kestää hyvin kulumista ja korkeapaineisena se kestää myös haastavimmissa olosuhteissa. [2;5.]

Pistesuihkusuutinten yleisesti käytetty mallimerkinnät ovat Washjet (MEG), UltraStream ja VeeJet (H-U) (kuva 14). [2;5.]



Kuva 13. Pistesuihkusuutin muodostaa pistemäisen suihkukuvion [2;5.].



Kuva 14. Kuvassa on NeedleJEt-rubiinisuiutin, Safiirisuiutin ja UltraStream-leikkaussuiutin [2.].

Pistesuihkusuuttimia käytetään yleisesti paperiteollisuudessa. Pistesuihkusuutinten yleisiä käyttökohteita ovat palontorjunta, korkeapainepesut ja leikkaussovellukset (esim. paperiradan leikkaus). Suuttimen käyttökohteet löytyvät taulukosta 1. [2;5.]

3.6 Pneumaattinen suutin

Pneumaattinen suutin eli paineilmasuutin tuottaa ilmanpaineen avulla erittäin pientä pisarakokoa. Pneumaattinen suutin muodostaa hienojakoisen suihkun. Sen suihkukuvio muodostuu, kun ilma ja neste sekoittuvat keskenään. Lisäksi suutin muodostaa kaikista pienimmän pisaran. Erilaisilla suihkukuviolla voidaan muodostaa joko pyöreitä tai litteitä kuvioita. Suihkumuoto säilyy, kun paineilman voima on jatkuva. Pisarat alkavat kuitenkin haihtua, kun paineilman voima heikkenee. Pisaroiden haihtumiseen vaikuttavat myös pisaroiden koko, laajentumisaika ja suhteellinen ilmankosteus. [10.]

Kaikista suutintyypeistä paineilmasuuttimet ovat monikäyttöisimpiä. Paineilmasuuttimia käytetään pinnoituksessa, voitelussa, kostutuksessa, kaasunkäsittelyssä ja pölyn torjuntasovelluksissa. Suuttimen käyttökohteet löytyvät taulukosta 1. [10.]

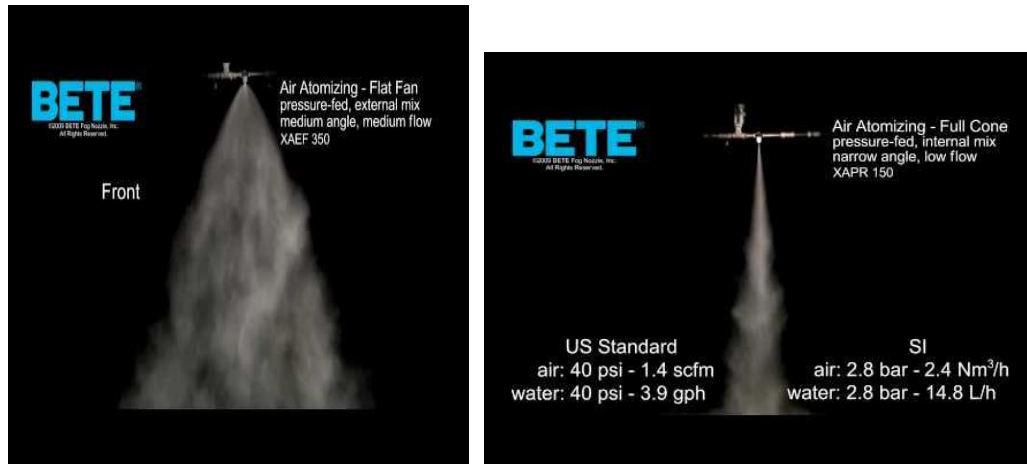
3.7 Ilmahajoitteiset suuttimet

Ilmahajoitteiset suuttimet muodostavat suihkun, joka koostuu pienistä pisaroista. Ilmahajoitteisen suihkun muodostaminen saadaan aikaan, kun käytetään paineilmaa tai muuta kaasua, joka on sekoittunut nesteen kanssa. Käytännössä neste pisaroituu joko suutinrungon sisällä tai nesteen ulostuloaukon jälkeen. [2;5;10.]

Ilmahajoitteisen suuttimen suihkutuskuvio voi olla joko viuhkamainen tai suora kuten pistesuihkusuuttimilla (kuva 15). Muihin suuttimiin verrattuna ilmahajoitteisen suuttimen virtausmäärä on alhaisin (kuva 16). Ongelmana tässä suutinmallissa on sen kova ääni. [2;5;10.]

Ilmahajoitteisen suuttimen yleisimmin käytetty malli on Bete-malli (kuva 17). Bete-malliset suuttimet jakautuvat erilaisen virtausmäärän mukaan kolmeen pääryhmään XA-, SAM -ja SpiralAir sarjaan. XA-sarja on suunniteltu alhaisemmille virtausmäärille

(1,0 –2800 l/h), SAM-sarja muodostaa erittäin tarkan virtauksenohjattavuuden alhaisilla virtausmäärillä (2,7–174 l/min) ja SpiralAir-sarjan virtausmäärä on suurempi kuin kaksi edellistä (2–80 l/min). Suuttimen mallimerkinnot löytyvät yhteenvetotaulukossa (TAULUKKO 1) [2;5;10.].



Kuva 15. Ilmahajotteinen suutin voi muodostaa eri paineella viuhkamaisen tai suoran suihkutuskuvion [2;5.].



Kuva 16. Ilmahajotteisen suuttimen suihkutuskuvio [2;5.].



Kuva 17. Ilmahajotteinen Bete-malli [2;5.].

4 Suuttimen toimintaan karakterisoivat suureet ja niihin vaikuttavat tekijät

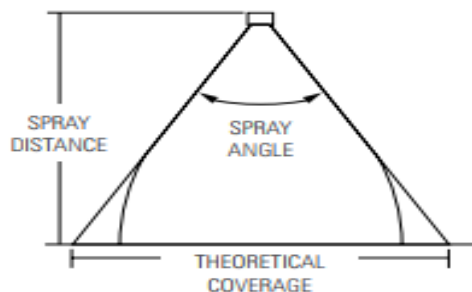
4.1 Suihkukulma

Nestesuuttimelle on määritelty nimelliskulma. Nimelliskulma on suuntaa antava arvo tietyllä paineella. Koska paine vaihtelee paljon, virtaustaulukoihin on valittu suihkukulmille muutamaa eri painetta. Taulukko 2 kertoo teoreettisen suihkun peittoalueen eri suihkukulmilla. Todellinen peitto on kuitenkin hieman pienempi (kuva 18).

Perusmallisen täyskartiosuuttimen suihkutuskulma vaihtelee 15–125 asteen välillä, joillakin malleilla se on jopa 170 astetta. [11, s. 5.]

Spiraalimuotoisen täyskartiosuuttimen suihkutuskulma on 30–150 astetta.

Pistesuihkusuuttimen suihkukulma on 0 astetta, koska se muodostaa pistemäisen suihkumuodon. Suuttimien suihkukulmat koottu taulukkoon 3. [11, s. 5.]



Kuva 18. Suihkukulman todellinen peitto, jos kulma on 65° [11, s.5].

Suihkukulmaan vaikuttavat tekijät ovat suihkutettavan nesteen syöttöpaine ja ruiskutettavan aineen viskositeetti, lämpötila ja pintajännitys. Näiden lisäksi suihkukulmaan vaikuttavat pyörteiset virtaukset ja ilmanvastukset. Suihkukulma määritellään suuttimen aukolla. Suihkukulmaa määritettäessä on hyvä tietää myös suihkunleveydet ja peiton halkaisijat. [10;11, s. 5.]

Kaikista hankalin arvioitava tekijä suihkun muodostuksessa on ruiskutettavan aineen viskositeetti. Suihkun lähtökulma pienenee viskositeetin kasvaessa. Käytännössä tämä voidaan ratkaista joko nostamalla käyttöpainetta tai vaihtamalla suutin kokonaan toiseen

suuttimeen, jonka nimelliskulma on suurempi. Näiden lisäksi ongelma voidaan myös ratkaista lämmittämällä ruiskutettavaa ainetta. [10;11, s. 5.]

Taulukko 2. Teoreettinen suihkun peittoalue eri suihkukulmilla (Spraying systems Co) [10.].

THEORETICAL SPRAY COVERAGE																								
at Various Distances in Inches (cm) from Nozzle Orifice																								
Spray Angle	2"	5 cm	4"	10 cm	6"	15 cm	8"	20 cm	10"	25 cm	12"	30 cm	15"	40 cm	18"	50 cm	24"	60 cm	30"	70 cm	36"	80 cm	48"	100 cm
5°	.2	.4	.4	.9	.5	1.3	.7	1.8	.9	2.2	1.1	2.6	1.3	3.5	1.6	4.4	2.1	5.2	2.6	6.1	3.1	7.0	4.2	8.7
10°	.4	.9	.7	1.8	1.1	2.6	1.4	3.5	1.8	4.4	2.1	5.3	2.6	7.0	3.1	8.8	4.2	10.5	5.2	12.3	6.3	14.0	8.4	17.5
15°	.5	1.3	1.1	2.6	1.6	4.0	2.1	5.3	2.6	6.6	3.2	7.9	3.9	10.5	4.7	13.2	6.3	15.8	7.9	18.4	9.5	21.1	12.6	26.3
20°	.7	1.8	1.4	3.5	2.1	5.3	2.8	7.1	3.5	8.8	4.2	10.6	5.3	14.1	6.4	17.6	8.5	21.2	10.6	24.7	12.7	28.2	16.9	35.3
25°	.9	2.2	1.8	4.4	2.7	6.7	3.5	8.9	4.4	11.1	5.3	13.3	6.6	17.7	8.0	22.2	10.6	26.6	13.3	31.0	15.9	35.5	21.2	44.3
30°	1.1	2.7	2.1	5.4	3.2	8.0	4.3	10.7	5.4	13.4	6.4	16.1	8.1	21.4	9.7	26.8	12.8	32.2	16.1	37.5	19.3	42.9	25.7	53.6
35°	1.3	3.2	2.5	6.3	3.8	9.5	5.0	12.6	6.3	15.8	7.6	18.9	9.5	25.2	11.3	31.5	15.5	37.8	18.9	44.1	22.7	50.5	30.3	63.1
40°	1.5	3.6	2.9	7.3	4.4	10.9	5.8	14.6	7.3	18.2	8.7	21.8	10.9	29.1	13.1	36.4	17.5	43.7	21.8	51.0	26.2	58.2	34.9	72.8
45°	1.7	4.1	3.3	8.3	5.0	12.4	6.6	16.6	8.3	20.7	9.9	24.9	12.4	33.1	14.9	41.4	19.9	49.7	24.8	58.0	29.8	66.3	39.7	82.8
50°	1.9	4.7	3.7	9.3	5.6	14.0	7.5	18.7	9.3	23.3	11.2	28.0	14.0	37.3	16.8	46.6	22.4	56.0	28.0	65.3	33.6	74.6	44.8	93.3
55°	2.1	5.2	4.2	10.4	6.3	15.6	8.3	20.8	10.3	26.0	12.5	31.2	15.6	41.7	18.7	52.1	25.0	62.5	31.2	72.9	37.5	83.3	50.0	104
60°	2.3	5.8	4.6	11.6	6.9	17.3	9.2	23.1	11.5	28.9	13.8	34.6	17.3	46.2	20.6	57.7	27.7	69.3	34.6	80.8	41.6	92.4	55.4	115
65°	2.5	6.4	5.1	12.7	7.6	19.1	10.2	25.5	12.7	31.9	15.3	38.2	19.2	51.0	22.9	63.7	30.5	76.5	38.2	89.2	45.8	102	61.2	127
70°	2.8	7.0	5.6	14.0	8.4	21.0	11.2	28.0	14.0	35.0	16.8	42.0	21.0	56.0	25.2	70.0	33.6	84.0	42.0	98.0	50.4	112	67.2	140
75°	3.1	7.7	6.1	15.4	9.2	23.0	12.3	30.7	15.3	38.4	18.4	46.0	23.0	61.4	27.6	76.7	36.8	92.1	46.0	107	55.2	123	73.6	153
80°	3.4	8.4	6.7	16.8	10.1	25.2	13.4	33.6	16.8	42.0	20.2	50.4	25.2	67.1	30.3	83.9	40.3	101	50.4	118	60.4	134	80.6	168
85°	3.7	9.2	7.3	18.3	11.0	27.5	14.7	36.7	18.3	45.8	22.0	55.0	27.5	73.3	33.0	91.6	44.0	110	55.0	128	66.0	147	88.0	183
90°	4.0	10.0	8.0	20.0	12.0	30.0	16.0	40.0	20.0	50.0	24.0	60.0	30.0	80.0	36.0	100	48.0	120	60.0	140	72.0	160	96.0	200
95°	4.4	10.9	8.7	21.8	13.1	32.7	17.5	43.7	21.8	54.6	26.2	65.5	32.8	87.3	39.3	109	52.4	131	65.5	153	78.6	175	105	218
100°	4.8	11.9	9.5	23.8	14.3	35.8	19.1	47.7	23.8	59.6	28.6	71.5	35.8	95.3	43.0	119	57.2	143	71.6	167	85.9	191	114	238
110°	5.7	14.3	11.4	28.6	17.1	42.9	22.8	57.1	28.5	71.4	34.3	85.7	42.8	114	51.4	143	68.5	171	85.6	200	103	229	-	286
120°	6.9	17.3	13.9	34.6	20.8	52.0	27.7	69.3	34.6	86.6	41.6	104	52.0	139	62.4	173	83.2	208	104	243	-	-	-	-
130°	8.6	21.5	17.2	42.9	25.7	64.3	34.3	85.8	42.9	107	51.5	129	64.4	172	77.3	215	103	257	-	-	-	-	-	-
140°	10.9	27.5	21.9	55.0	32.9	82.4	43.8	110	54.8	137	65.7	165	82.2	220	98.6	275	-	-	-	-	-	-	-	-
150°	14.9	37.3	29.8	74.6	44.7	112	59.6	149	74.5	187	89.5	224	112	299	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160°	22.7	56.7	45.4	113	68.0	170	90.6	227	113	284	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
170°	45.8	114	91.6	229	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Taulukko 3. Suutintyyppien suihkukulmat

Suutintyyppi	Suihkukulma
Viuhkasuutin	5-145
Sumutussuutin	15-120
Täyskartiosuutin	15-125 (170)
Pistesuihkusuutin	0

4.2 Pisarakoko

Pisarakoko on suure, joka määrittää suihkun muodostavien pienten pisaroiden halkaisijan. Suihkun pisarakoko on tärkeä tietää seuraavissa sovelluksissa kuin kaasun jäähdytys, kaasun käsittely, palontorjunta ja sumutuskuivaus.

Yksi menetelmä, jossa mitataan suuttimen pisaroiden jakauma, on laserdopplerpartikkelianalysointilaitte (engl. Laser Doppler Particle Analyzer). Tällä mittalaitteella pystytään mittaamaan pisarakoko ja pisaroiden nopeus samanaikaisesti. Mittaustuloksena saadaan tarkka kuvaus suihkun ominaisuuksista. [6;11, s.6;12.]

Pisarakoon terminologia

Käyttötarkoituksen, pisarakokotiedon ja mittausmenetelmien mukaan käsitteet voidaan erottaa seuraavalla tavalla:

VMD = volume median diameter

- Puolet ruiskutetun tilavuuden pisaroista on VMD arvoa suurempi ja puolet vastaavista pienempiä.

SMD = sater mean diameter

- Ilmoittaa sen yksittäisen pisaran halkaisijan, jolla on sama tilavuus tai pinta-ala suhde kuin koko suihkulla.

MND = median number diameter

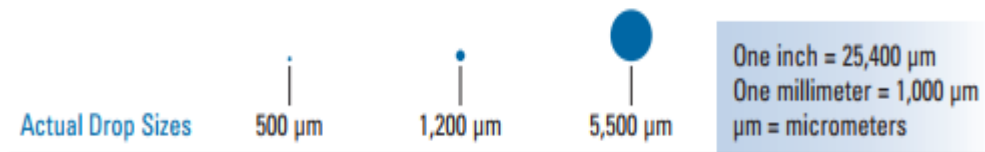
- Puolet suihkun muodostavista pisaroista (kpl) ovat suurempia ja puolet pienempiä kuin MND:n halkaisija.

Yleensä pisarakoko ilmoitetaan pisaran halkaisijana. Pisarakokomenetelmistä yleisin käytetty menetelmä on VMD. [11, s 6.]

Pisarakokoon vaikuttavia tekijöitä ovat paine, ruiskutettavan aineen ominaisuus, suuttimen kapasiteetti ja suihkun muoto eli suutintyyppi (Taulukot 4 ja kuva 19). Yleensä täyskartiosuuttimet, joilla on suuri kapasiteetti, muodostavat suuren pisarakoon. Toisaalta hajoitusilmasuuttimet muodostavat pienen pisarakoon. Pisarakoko pienenee paineen noustessa. [11, s.6.]

Taulukko 4. Eri suutintyyppien muodostamien pisarakokojen vertailu [10.].

Suihkunmuoto	Paine 0,7 bar		Paine 2,8 bar		Paine 7 bar	
	Kapasiteetti(l/min)	VMD μm	Kapasiteetti(l/min)	VMD μm	Kapasiteetti(l/min)	VMD μm
Sumutus/Ilmahaj.	0,02	20	0,3	15	45	400
Sumutus/Ilmahaj.	0,08	100	30	200	45	400
Sumutus	0,83	375	0,1	110	0,2	110
Sumutus	0,83	375	1,6	330	2,6	290
Onttokartio	0,19	360	0,38	300	0,61	200
Onttokartio	45	3400	91	1900	144	1260
Viuhka	0,19	260	0,38	220	0,61	190
Viuhka	18,9	4300	38	2500	60	1400
Täysikartio	0,38	1140	0,72	850	1,1	500
Täysikartio	45	4300	87	2500	132	1720



Kuva 19. Pisarakoot eri paineella ja kapasiteetilla [11.].

4.3 Suihkun iskuvoima

Iskuvoima on teho, jonka suihku tuottaa pinnalle. Iskuvoima voidaan määrittellä monella tavalla. Suihkun iskuvoima on kuitenkin keskeinen erilaisissa ruiskutussovelluksissa.

Yleensä tarkastellaan suihkun iskupainetta, joka tarkoittaa suihkusta pinta-alayksikköä (cm^2) kohden muodostuvaa voimaa (Taulukko 5). Paineen ollessa vakio iskupaine vaikuttaa suihkun tasaisuuteen ja muotoon. Alla oleva taulukko 6 antaa tarkan lukuarvon todellisesta iskuvoimasta (kg/cm^2). Luku kertoo todellisen iskuvoiman prosenttiosuuden teoreettisesta iskuvoimasta. [6;11, s.7.]

Suihkusuutin tuottaa matalaa painetta, korkeaa painetta ja hyvin korkeaa painetta. Matala paine saadaan aikaan täyskartiosuuttimilla ja leveäkulmaisilla viuhkasuuttimilla. Korkeaa painetta tuottavat suuttimet ovat kapeakulmaiset viuhkasuuttimet, joiden kulmat ovat 15–60° (Taulukko 5). Hyvin korkeaa painetta tuottavat suuttimet ovat piste-suihkusuuttimet. [6;11, s.7.]

Teoreettinen iskuvoima lasketaan seuraavalla kaavalla 1:

$$P_t = 0,024 \times Q \times \sqrt{P},$$

jossa Q = virtaus, l/min (1)

P = paine-ero suuttimessa, bar [11, s.7.].

Taulukko 5. Todellisen iskuvoiman ja teoreettisen iskuvoiman suhde [10.].

Suihkukuvio	Suihkukulma	Tod. Iskuvoima/cm2 Teoreettisesta
Viuhka	15	30 %
	25	18 %
	35	13 %
	40	12 %
	50	10 %
	65	7 %
	80	5 %
Täyskartio	15	11 %
	30	2,50 %
	50	1 %
	65	0,40 %
	80	0,20 %
	100	0,10 %
Onttokartio	60, 80	1,0- 2,0 %

4.4 Viskositeetti

Ruiskutuksen osalta viskositeetilla on tärkeä rooli esimerkiksi suihkun laatuun ja suuttimen toimintaan. Lisäksi ruiskutettavan nesteen viskositeetti vaikuttaa suihkutuskuvion muodostumiseen ja kapasiteettiin. Jos viskositeetti kasvaa, niin suihkukulma pienenee. Käytännössä tällaiset ongelmat voidaan välttää, jos nostetaan painetta tai lämmitetään ruiskutettavaa ainetta.

Viskositeetti vaikuttaa eri suuttimiin eri tavalla. Viuhkasuuttimessa oleva suihku ei pyöri, mikä kasvattaa viskositeettia ja pienentää kapasiteettia. Täyskartiosuuttimella ja ontto-kartiosuuttimella suihkun pyörimisliike on hidasta, jolloin viskositeetti ja kapasiteetti kasvavat. [11, s. 9.]

4.5 Pintajännitys

Pintajännitys on näkyvämpi alhaisissa käyttöpaineissa. Kun nesteen pintajännitys on suuri, se aiheuttaa suihkukulman pienenemisen. Viuhka- ja ontto-kartiosuuttimilla esiintyy tällaisia ongelmia. Yleensä tällaiset ongelmat voidaan välttää, jos valitaan sellainen suutin, jolla on pienempi suutinaukko ja jonka käyttöpainetta voidaan nostaa.

Käytännössä pintajännityksellä ei ole kovin suurta merkitystä monissa sovelluksissa esimerkiksi pisarakokoon, suihkun laatuun tai tasaisuuteen. [11, s. 9.]

4.6 Lämpötila

Nesteen lämpötilan vaihtelu ei vaikuta suoraan suuttimen suorituskykyyn vaan se vaikuttaa viskositeettiin, pintajännitykseen ja painovoimaan. Suuttimien virtaustaulukoissa olevat arvot on laskettu ruiskutettaessa vettä huoneenlämmössä. [1;11, s. 9.]

4.7 Paine

Paine vaikuttaa pisarakokoon, suihkukulmaan ja suuttimen kapasiteettiin. Jos painetta nostetaan, pisarakoko pienenee ja suihkukulma suurenee tiettyyn pisteeseen asti.

Kun tiedetään suuttimen paine eri kapasiteeteilla, niin voidaan laskea kapasiteetille li-
kiarvo eri paineilla seuraavasti (TAULUKKO 1). [11, s. 9.]

$$Q_1 = Q_2 \times \frac{\sqrt{P_1}}{\sqrt{P_2}} \quad (2)$$

, jossa Q_1 = virtaus halutulla paineella

Q_2 = virtaus (arvo otettu taulukosta) (l/min)

P_1 = haluttu käyttöpaine (bar)

P_2 = paine virtauksella (arvo otettu taulukosta) [11, s. 9.].

4.8 Ominaispaino

Ominaispaino on nesteen tiheyden suhde veden tiheyteen. Jos ruiskutettavaan aineen tiheys on eri kuin veden, niin suuttimen kapasiteettia (virtausta suuttimen läpi) täytyy laskea. Suuttimien virtaustaulukoissa olevat arvot soveltuvat vedelle. Koska nesteen ominaispaino vaikuttaa nesteen virtausnopeuteen, niin virtaustaulukon kapasiteetit on kerrottava muuntokertoimella (kuva 20). [11, s. 9.]

Ominaispainon vaikutus huomioidaan seuraavasti:

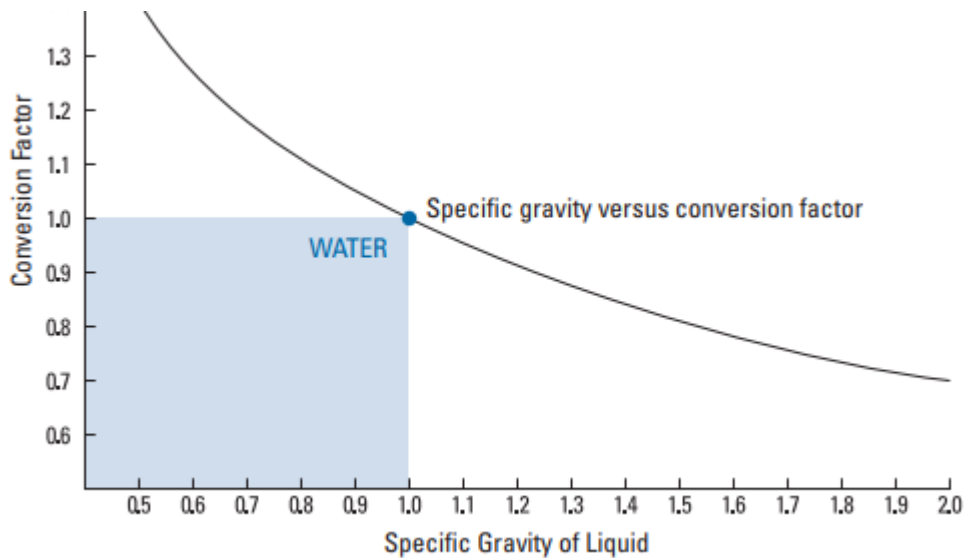
$$Q = Q_w \times \frac{1}{\sqrt{d}} \quad (3)$$

, jossa Q = todellinen virtaus

Q_w = kapasiteetti vedelle

d = nesteen ominaispaino

Yleensä kapasiteetista puhuttaessa lukua $\frac{1}{\sqrt{d}}$ voidaan kutsua ns. tiheyskertoimeksi.



Kuva 20. Ominaispainon ja muunnoskerroimen välinen riippuvuus [11.].

Suuttimen suoritukseen vaikuttavat monet tekijät on mainittu taulukossa 6. Taulukossa 6: 1) Suihkukulma kasvaa aluksi tiettyyn rajaan, ja pienenee lopuksi. 2) Ontto- ja täyskartiosuuttimien viskositeetti kasvaa. Viuhkasuuttimen viskositeetti pienenee. 3) Nesteen lämpötilan kohoaminen riippuu ruiskutettavasta nesteestä ja suutinmallista. [11, s. 9.]

Taulukko 6. Suuttimen suoritukseen vaikuttavat tekijät

Suutintyyppi	Käyttöpaineen kasvu	Tiheyden kasvu	Viskositeetin kasvu	Nesteen lämpötilan nousu	Pintajännityksen kasvu
Suihkun tasaisuus	Paranee	Merkityksetön	Huononee	Paranee	Merkityksetön
Kapasiteetti	Kasvaa	Pienenee	2	3	Merkityksetön
Pisarakoko	Pienenee	Merkityksetön	Kasvaa	Pienenee	Kasvaa
Suihkukulma	Kasvaa ja 1	Merkityksetön	Pienenee	Kasvaa	Merkityksetön
Iskuvoima	Kasvaa	Merkityksetön	Pienenee	Kasvaa	Merkityksetön
Virtausnopuus	Kasvaa	Pienenee	Pienenee	Kasvaa	Merkityksetön
Suuttimen kuluminen	Kasvaa	Merkityksetön	Pienenee		3 Merkityksetön

5 Suuttimen kuluminen ja lisävarusteet

5.1 Suuttimen kuluminen

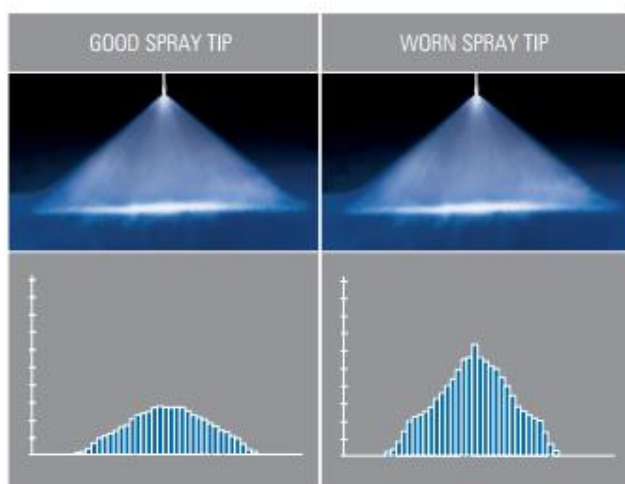
Suuttimet kuluvat ja vioittuvat kuten muutkin kulutusosat. Kulunut suutin muodostaa huonomman suihkun. Kulumista on voinut tapahtua pitkään ennen kuin sitä huomaa suihkun muodostuksessa. Suuttimen kuluminen aiheuttaa muutoksia suihkukulmaan, tilavuusvirtaukseen, suihkun iskuvoimaan, järjestelmän paineeseen, pisarakokoon, ja lisäksi suihkun tasaisuus iskupinnalla huononee.

Suuttimen kulumisen havaitseminen ei ole helppoa. Esimerkiksi eroosio suuttimen reiässä ei aina näy suuttimen päällä eikä suihkutuskuvioista pysty huomaamaan eroa. Alla on esimerkki, jossa nähdään suuttimen kulumista. Kuvassa kuluneen suuttimen kärjessä huomataan tapahtuneen muutos. Kuluneen suuttimen kärki on hieman suurempi kuin tavallisesti. Lisäksi kärjen kuluminen voidaan havaita siitä, että suihkutuksen kapasiteetti ylittää 30 (kuva 21). [12, s.16.]



Kuva 21. Suuttimessa tapahtuneita muutoksia [12, s.16.].

Suuttimen kulumisen havaitsemiseksi on tehty testi, joka kuvaa suihkun laatua jo ennen kuin suuttimen kulumisen on silmin nähtävissä. Testi antaa luotettavan tuloksen suihkun tasaisuudesta (kuva 22). Testitulokset näyttävät kuinka uuden suuttimen suihku jakautuu tasaisesti iskupinnalle, kun taas kuluneen suuttimen jakauma on epätasainen (kuva 20). Kokonaisvirtaus on kasvanut 30 % epätasaisuuden kasvun lisäksi. Käytännössä tämä tarkoittaa, että ruiskutettava neste on levittänyt epätasaisesti kohteen pinnalle. [12, s.16.]



Kuva 22. Testi, joka kuvaa suihkun laatua ennen kuin suutin kuluu [12, s.16.].

Kulunut suutin muuttaa virtausnopeutta. Suuttimen suorituskyky heikkenee virtausnopeuden lisääntyessä. Lisäksi lisääntynyt virtausnopeus ja matalapaineiset suihkut saavat aikaan isomman pisarakokoon.

Sovellukset, joissa käytetään positiivisia siirtymäpumppuja, antavat saman kapasiteetin riippumatta paineesta. [12, s.16.]

Muita tekijöitä, jotka kuluttavat suuttimia ja heikentävät niiden suoritusta, ovat eroosio, korroosio, korkea lämpötila, paakkuuntuminen, tukkeuma, vaurio ja suuttimen vääränlainen asennus. Jos valitaan oikea suutinmateriaali, niin korroosio ja lämpötila eivät vaikuta ruiskuun. Silloin kun kasautuminen tapahtuu suutinaukossa tai suutinaukon ulkopuolella, vaikutus näkyy suihkun tasaisuudessa, virtauksessa ja pisarakoossa. Suutinaukko alkaa tukkeutua, jos ruiskutettavan nesteen mukana kulkeutuu epäpuhtauksia. [12, s.16.]

Käytännössä esiintyvät ongelmat on lueteltu seuraavassa.

Eroosio

Suuttimessa tapahtuu eroosio vaihtelevien ympäristöolosuhteiden takia. Ulkoisesti eroosiota voidaan havaita, kun suuttimen sisäiset virtauskanavat joko suurenevat tai vääristyvät. Tuloksena saadaan virtauksen yleinen lisääntyminen, paineen väheneminen, suihkukuvioiden muuttuminen epäsäännölliseksi ja suihkupisaroiden kasvaminen. Alla on kuva kuluneesta suuttimesta (kuva 23). [12, s.14.]



Kuva 23. Suutin on kulunut eroosion takia [12, s. 14.].

Korroosio

Suutin voi mennä rikki suihkusuutinmateriaalissa muodostuvan kemiallisen reaktion takia. Tulos on samanlainen kuin eroosiossa, mutta vahinko näkyy tai tapahtuu pääasiassa suuttimen ulkopuolella. Erityisesti ilmasuutin on erittäin herkkä korroosiolle. Pieni määrä korroosiota vaikuttaa negatiivisesti pisarakoon ja suihkun yhdenmukaisuuteen (kuva 24). [12, s.14.]



Kuva 24. Korroosion muodostuminen suuttimessa [12, s. 14.].

Korkea lämpötila

Suutin voi pehmetä tai mennä rikki korkean lämpötilan takia (kuva 25). [12, s.14.]



Kuva 25. Korkean lämpötilan aiheuttama suuttimen kuluminen [12, s. 14.].

Paakkuuntuminen

Nesteen haihtuminen saa aikaan reiän reunalle kerrostuman. Reiän sisällä muodostuu pysyvä kiinteän kuivan aineen kerros, joka estää aineen virtauksen. Paakkuuntuminen vahingoittaa suuttimen toimintaa. Lisäksi joillekin suutintyypeille, varsinkin ilmasuuttimelle, paakkuuntumisesta voi koitua vakavia seurauksia (kuva 26). [12, s.14.]



Kuva 26. Paakkuuntumisen takia reikä umpeutuu kiinni. Paakkuuntuminen näkyy suutinaukon ulkopuolella [12, s.14.].

Vaurio

Suutin tai sen reikä vahingoittuvat, jos puhdistukseen käytetään sellaisia puhdistusvälineitä, jotka aiheuttavat naarmuntumista. Suutin voi vahingoittua myös, jos se putoaa asennuksen tai toiminnan aikana (kuva 27). [12, s.14.]



Kuva 27. Suutin voi vaurioitua monesta syystä [12, s.14.].

Tukkeutuminen

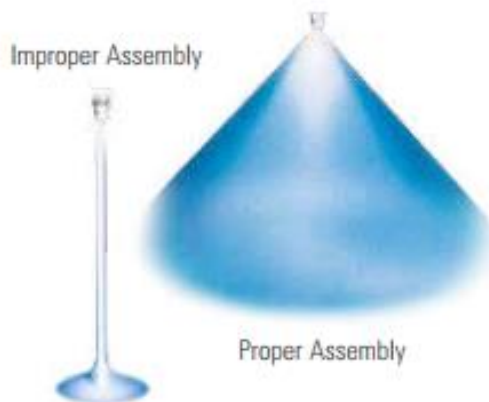
Suuttimen reikää tukkivat epätoivotut kiinteät partikkelit. Tukkeuma aiheuttaa virtauksen rajoittumista ja häiritsee suihkutuskuvion muodostumista (kuva 28). [12, s.14.]



Kuva 28. Suuttimen tukkeutuminen vaikuttaa suihkun tasaisuuteen [12, s.14.].

Suuttimen vääränlainen asentaminen

Suuttimet tarvitsevat välillä puhdistusta ja huoltoa. Puhdistuksen jälkeen suutin täytyy koota huolellisesti, jotta suuttimen sisäiset komponentit kuten tiivisteet, O-renkaat ja sisäiset siivet ovat linjassa. Suuttimen virheellinen asennus aiheuttaa vuotoa ja suihkutuskyvyn teho vähenee (kuva 29). [12, s.14.]



Kuva 29. Suuttimen vääränlainen asentaminen aiheuttaa monenlaisia ongelmia [12, s.14.].

Suuttimen ikää voidaan pidentää monella tavalla. Suutin tarvitsee jatkuva ylläpitämistä. Paineen vähentäminen on yksi niistä tavoista, joilla voidaan pidentää suuttimen ikää. Kun painetta vähennetään, nesteen nopeus hidastuu suuttimen reiän sisällä. Matalalla paineella työstäminen voi kuitenkin pienentää suihkun näkyvyyttä ja vähentää iskunvaiikutusta. Nämä muutokset aiheuttavat suuttimen suoritukselle laadullisia ongelmia, jotka tulevat kalliiksi verrattuna suuttimen vaihtamisen kustannuksiin. [12.]

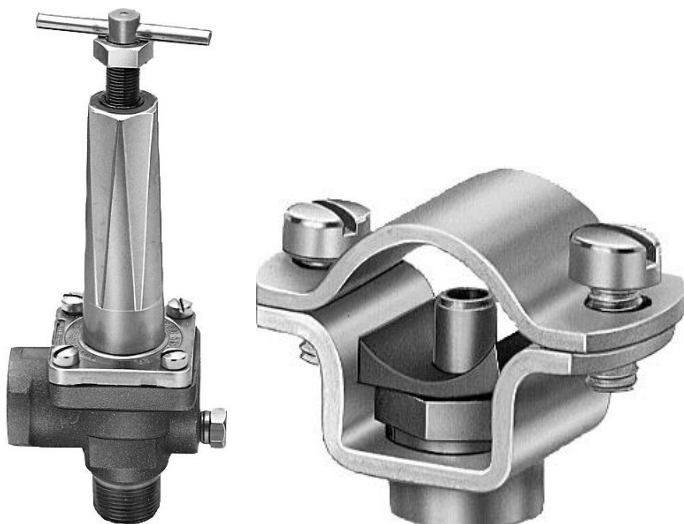
Suutinmateriaalin vaihtaminen voi pidentää suuttimen ikää. Kovan pinnan omaavat materiaalit ehkäisevät materiaalin kulumista. Yleensä materiaalit on tehty teräksestä, messingistä, valuraudasta, ruostumattomasta teräksestä, monista muoveista ja karbideista. Lisäksi saatavilla on myös sellaisia materiaaleja, jotka estävät korroosion muodostumista. Alla on suhdeluku, joka kuvaa suutinmateriaalin kestävyyttä (Taulukko 7). [12.]

Taulukko 7. Suhdeluku, joka kertoo, kuinka kauan suutinmateriaalit kestävät [12.].

APPROXIMATE ABRASION RESISTANCE RATIOS	
Spray Nozzle Material	Resistance Ratio
Aluminum	1
Brass	1
Polypropylene	1 – 2
Steel	1.5 – 2
MONEL	2 – 3
Stainless Steel	4 – 6
HASTELLOY	4 – 6
Hardened Stainless Steel	10 – 15
Stellite	10 – 15
Silicon Carbide (Nitride Bonded)	90 – 130
Ceramics	90 – 200
Carbides	180 – 250
Synthetic Ruby or Sapphire	600 – 2000

5.2 Suuttimen lisävarusteet

Suuttimille on saatavilla lisävarusteita, jotka parantavat suuttimen kestävyyttä. Suuttimen asennuksessa käytettävät osat ovat nivelliittimet, pallonivelet ja silmukkayhteet. Erilaisien venttiileiden ja säädinten avulla ohjataan virtausta. Lisäksi nestesuodattimella vähennetään tukkeutumisongelmia (kuva 30). [2.]



Kuva 30. Suuttimen lisävarusteet: silmukkayhde ja pallonivel [2.].

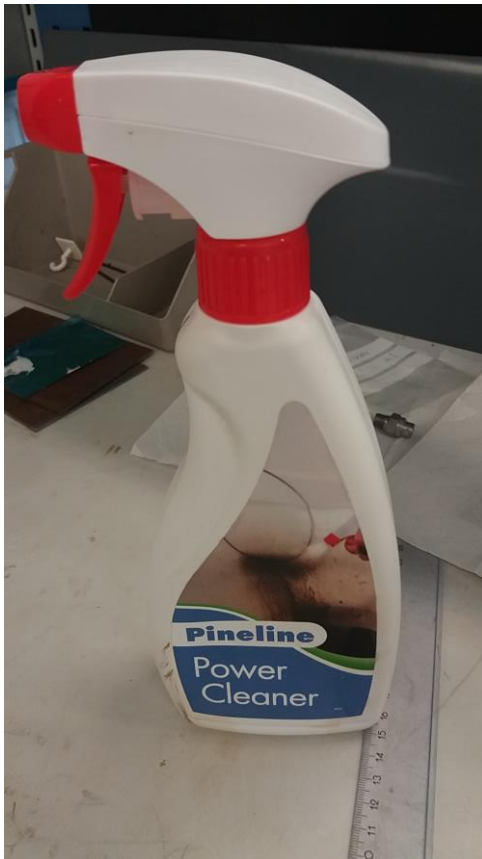
6 Koemenetelmät

Kokeessa valmistettiin aluksi koelevyt. Puhtaiden teräslevyjen pinnoille sumutettiin ta-saisesti bitumisprayllä. Kuivuneet ja punnittu koelevyt testattiin vesisuihkutuskokeessa.

Työssä käytettiin työn tilaajan toimittamaa bitumikalvoainetta ja Power Cleaner -liuotinta (kuva 31 ja 32). Kokeissa tutkittiin kahta erilaista suutinta. Työtä varten tehtiin levyjen sumutuskoe ja suihkutusaltaassa suoritettava vesisuihkutuskoe. Levyjä oli yhteensä 12. Kokeessa käytetty viuhkasuuttimen malli oli HB1/8U-SS1520 ja pistesuihkusuuttimen B1/8MEG-0004. Kokeessa tehtiin rinnakkaiskokeet ja toistoja oli kolme (kuva 33).



Kuva 31. Bitumispray sumutetaan puhtaan levyn pintaan.



Kuva 32. Pinnoitettuun levyyn suihkutettiin Power Cleaner -liuotin.



Kuva 33. Kokeeseen käytetty viuhkasuuttimen malli on HB1/8U- SS1520 (vas.) ja piste-suihkusuuttimen malli on B1/8MEG-0004 (oik.).

7 Kokeen suoritus

7.1 Koelevyjen valmistaminen ja punnitus

Kokeessa yhdelle suuttimelle valmistettiin kuusi koelevyä. Levyjä oli yhteensä 12 (kuva 34). Levyjen koot olivat 150 mm x 75 mm x 1 mm. Kokeet aloitettiin puhdistamalla levyt asetonilla. Puhtaat levyt (m_1) punnittiin analyysivaa'alla, jonka tarkkuus oli 0,001 g. Punnituksen jälkeen levyt merkittiin loppuksi tussilla (kuva 35).

Testattava bitumikalvospray levitettiin kerran tasaisesti puhtaiden teräslevyjen pinnoille. Tämän jälkeen bitumisprayn annettiin kuivua levyihin 2–3 tuntia. Kokeessa tehtiin rinnakkaiskokeet ja toistojen määrä oli kolme.

Kuivuneet levyt punnittiin uudestaan kalvon määritystä varten (m_2) (kuva 35). Punnituksessa huomattiin, että jokainen levy painoi noin 1 gramman enemmän sumutuksen jälkeen.

Ennen kokeiden aloittamista bitumikalvon pinta-alamassa laskettiin kaavalla 4:

$$\frac{\Delta m(21)}{A} = \frac{m_2 - m_1}{A} \quad (4)$$

Kokeiden jälkeen levyjen massat punnittiin (m_3) uudestaan. Tämän jälkeen määritettiin bitumikalvon pinta-alamassat kaavalla 5:

$$\frac{\Delta m(3)}{A} = \frac{m_3 - m_1}{A} \quad (5)$$

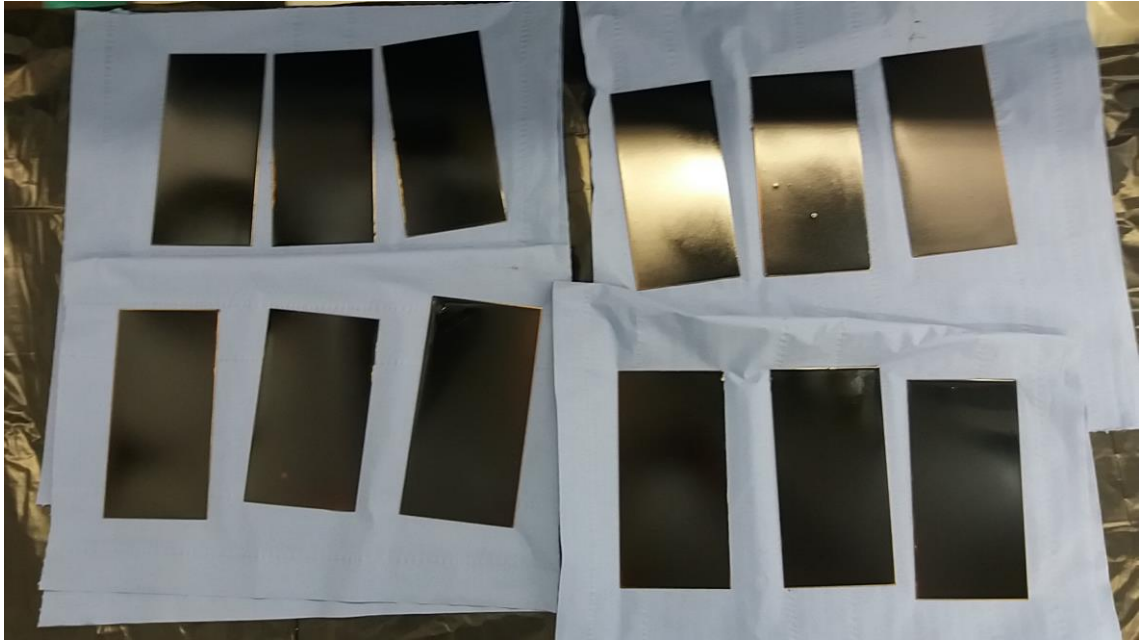
Lopuksi laskettiin bitumikalvon pinta-alamassan muutos $\Delta m_4/A$ kaavalla 6:

$$\frac{\Delta m(4)}{A} = \frac{m_1 - m_2}{A} \quad (6)$$

Lopputuloksesta saatiin tietää, kuinka paljon bitumikalvoa oli irronnut koelevyistä.



Kuva 34. Kokeeseen käytetty puhtaat levyt punnittiin ja merkittiin numerolla.



Kuva 35. Kuivuneet koelevyt bitumispraysumutuksen jälkeen.

7.2 Koelevyjen testaaminen vedensuihkutuskokeessa

Kokeen tarkoitus oli testata, miten tehokkaasti eri suuttimet irrottivat bitumikalvoa levyistä. Koe suoritettiin polypropeenimuovista tehdyssä vesisuihkualtaassa. Vesialtaassa oli teline, johon koelevyt laitettiin. Teline oli 45°:n kulmassa vaakasuoraa pintaa nähden. Vesialtaan alle oli asennettu vettä kierrättävä sähköpumppu. Kokeen alussa vesiallas huuhdeltiin ja siihen vaihdettiin puhdas vesi. Kokeessa käytettyjen suihkusuuttimien halkaisijat ja paineet olivat erilaiset. Pistesuihkusuuttimen korkein paine oli kokeessa mitattu 6,5 bar ja teho oli 7,8 l/min. Viuhkasuuttimen korkein paine oli 5,5 bar ja teho oli 6,4 l/min. Kokeessa tehtiin havainto suuttimien suihkukuviosta. Pistesuihkusuutin muodosti vesisuihkussa suoran viivan, jonka kulma oli 0°. Viuhkasuutin muodosti viuhkamaisen suihkukuvion, jonka kulma oli 15°. Tämän vaatimuksen todentamista varmistettiin silmämääräisesti.

Punnituksen jälkeen koelevyt alettiin testata vedensuihkutuskokeessa. Koelevy asennettiin laitteen telineeseen. Seuraavaksi levyihin suihkutettiin Power Cleaner -liuotinta. Annettiin liuottimen vaikuttaa hetken. Tämän jälkeen levyjä suihkutettiin minuutin ajan vesisuihkulla (kuva 36).

Vesisuihkulaitteessa veden lämpötilaksi mitattiin 22 °C ja vedenpaineeksi säädettiin 6,5 bar (kuva 37).



Kuva 36. Koelaitteen 1) vesiallas, 2) painemittari, 3) pistesuihkusuutin ja 4) koelevy.



Kuva 37. Vedensuihkutuslaite. Laitteessa on 1) painemittari, 2) sähköpumppu ja 3) vesiallas.

8 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Kokeessa tarkasteltiin, kuinka bitumikalvo irtoaa jokaisesta levystä, kun siihen kohdistuu vesisuihkun paine. Kokeessa käytettiin eri paineisia suuttimia. Koetuloksessa laskettiin molempien suuttimien pinta-alamassasuhde, keskiarvo ja toistojen otoskeskihajonta.

8.1 Pistesuihkusuuttimen tulokset

Kokeessa punnittiin puhtaiden levyjen massat. Sumutuksen jälkeen levyt punnittiin uudestaan. Laskettiin bitumikerrosten pinta-alamassat eli $\Delta m_{21}/A$ (Taulukot 8 ja 9).

Vesisuihkutuskokeessa levyt punnittiin jälleen ennen ja jälkeen, ja laskettiin bitumikerrosten pinta-alamassat $\Delta m_{31}/A$ (Taulukko 10).

Lopussa laskettiin pinta-alamassan muutosta kaavalla 6 (Taulukko 11).

Testin jälkeen laskettiin bitumikalvon pinta-alamassan keskiarvo. Tulokseksi saatiin $0,1206 \text{ g/cm}^2$, ja toistojen otoskeskihajonta oli $0,0572 \text{ g/cm}^2$.

Tuloksessa nähdään, että bitumikalvoa oli irronnut enemmän ensimmäisissä levyissä.

Taulukko 8. Levyjen massat alussa ja lopussa

Pistesuihkusuutin			B1	Pistesuihkusuuttimen maksimi paine mitattiin 6,5 bar			Liuottimen vaikutusaika oli 1 min				
Viuhkasuutin			H1	Viuhkasuuttimen maksimi paine mitattiin 5,3 bar			Vesisuihkutus kesti 1 min jokaisessa testissä.				
Tyhjän levyjen massat:				Pinnoitettujen levyjen massat (ennen testiä):				Pinnoitettujen levyjen massat (testin jälkeen):			
Numero	Suutin	massa (g)		Numero	Suutin	massa (g)		Numero	Suutin	massa (g)	
1	B1	88,0600		1	B1	89,6087		1	B1	89,3964	
2	B1	86,7978		2	B1	87,5731		2	B1	87,4168	
3	B1	87,7624		3	B1	88,4452		3	B1	88,3930	
4	B1	87,8919		4	B1	88,8076		4	B1	88,7264	
5	B1	88,0107		5	B1	88,9870		5	B1	88,8869	
6	B1	87,9987		6	B1	88,4661		6	B1	88,3444	
7	H1	87,5687		7	H1	88,2753		7	H1	88,1574	
8	H1	87,4513		8	H1	88,1614		8	H1	87,9200	
9	H1	88,0506		9	H1	88,7273		9	H1	88,4774	
10	H1	101,4258		10	H1	102,3262		10	H1	102,0825	
11	H1	43,3732		11	H1	44,7211		11	H1	44,6455	
12	H1	87,2089		12	H1	88,6087		12	H1	88,5175	

Taulukko 9. Bitumikalvon pinta-alamassa ennen testiä $\Delta m_{21/A}$

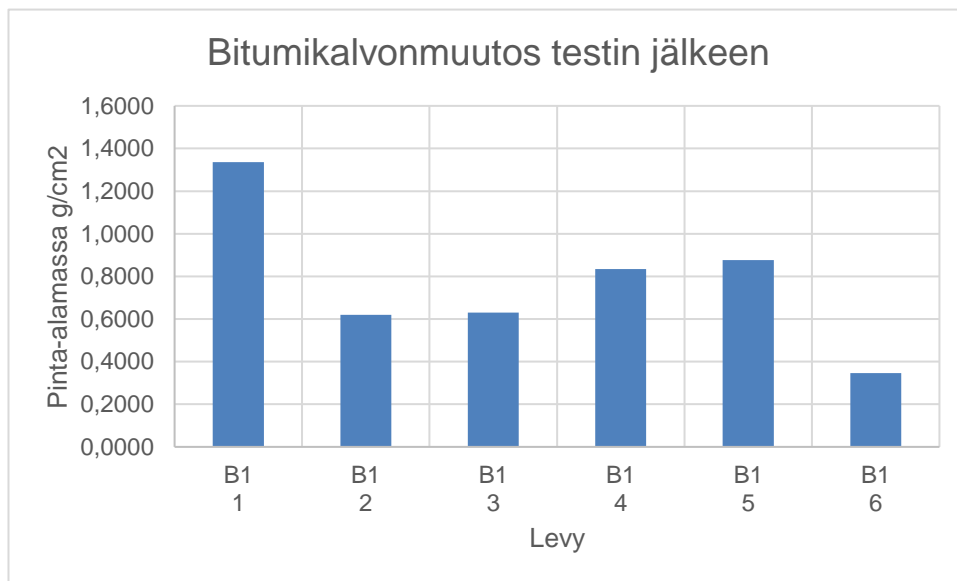
Numero	Suutin	pinta-alamassa (g/cm ²)
1	B1	1,5487
2	B1	0,7753
3	B1	0,6828
4	B1	0,9157
5	B1	0,9763
6	B1	0,4674

Taulukko 10. Bitumikalvon pinta-alamassa testin jälkeen $\Delta m_{31/A}$

Numero	Suutin	pinta-alamassa (g/cm ²)
1	B1	1,3364
2	B1	0,6190
3	B1	0,6306
4	B1	0,8345
5	B1	0,8762
6	B1	0,3457

Taulukko 11. Bitumikalvon pinta-alamassanmuutos Δm (4)/A

Numero	Suutin	pinta-alamassa (g/cm ²)
1	B1	0,2123
2	B1	0,1563
3	B1	0,0522
4	B1	0,0812
5	B1	0,1001
6	B1	0,1217



Kuva 38. Kuvaaja bitumikalvonmuutos testin jälkeen

Bitumikalvon muutoksen tuloksista piirrettiin kuvaaja (kuva 38). Bitumispraytä oli sumutettu kaikkiin levyihin tasaisesti massaltaan noin 1 g kerros. Tulosten perusteella ensimmäisestä levystä oli irronnut eniten bitumia (kuva 39). Kaikissa kuudessa kokeissa paine oli 6,5 bar. Pistesuihkusuutin irrotti bitumikalvoa tehokkaasti ensimmäisessä levyssä. Keksiarvo oli 0,1206 g/cm² ja toistojen otoskeskihajonta oli saatu 0,0572 g/cm².



Kuva 39. Bitumikalvo kului vesisuihkun kohdalta. Levyt 1–6 oli testattu pistesuihkusuuttimella ja levyt 7–12 viuhkasuuttimilla.

8.2 Viuhkasuuttimen tulokset

Viuhkasuutin kokeessa laskettiin puhtaan levyjen massan ja pinnoitettujen levyjen pinta-alamassat $\Delta m_{21/A}$ (Taulukko 12).

Vesisuihkutuskokeessa saatujen tuloksessa laskettiin levyjen pinta-alamassat $\Delta m_{31/A}$ (Taulukko 13).

Lopulta laskettiin pinta-alamassan muutosta kaavalla 6 (Taulukko 14):

Kokeessa viuhkasuuttimelle laskettiin keskiarvo ja toistojen otoskeskihajonta. Keskiarvo oli $0,17\text{g/cm}^2$ ja toistojen otoskeskihajonta oli $0,0834\text{ g/cm}^2$.

Bitumikalvon muutoksen tuloksista piirrettiin kuvaaja (kuva 40).

Taulukko 12. Bitumikalvon pinta-alamassanmuutos ennen testiä Δm 21/A

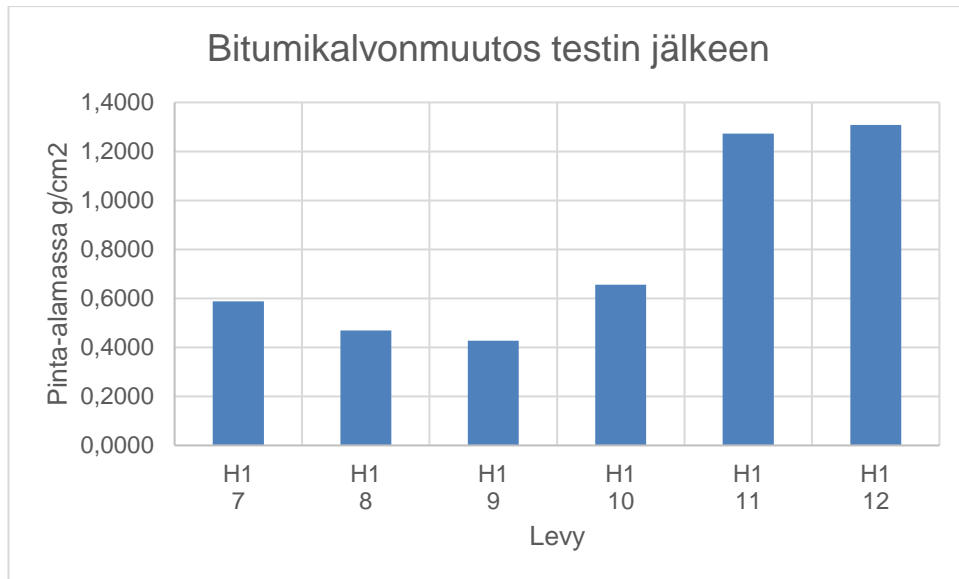
Numero	Suutin	pinta-alamassa (g/cm ²)
7	H1	0,7066
8	H1	0,7101
9	H1	0,6767
10	H1	0,9004
11	H1	1,3479
12	H1	1,3998

Taulukko 13. Bitumikalvon pinta-alamassanmuutos testin jälkeen Δm 31/A

Numero	Suutin	pinta-alamassa (g/cm ²)
7	H1	0,5887
8	H1	0,4687
9	H1	0,4268
10	H1	0,6567
11	H1	1,2723
12	H1	1,3086

Taulukko 14. Bitumikalvon pinta-alamassanmuutos Δm 4/A

Numero	Suutin	pinta-alamassa (g/cm ²)
7	H1	0,1179
8	H1	0,2414
9	H1	0,2499
10	H1	0,2437
11	H1	0,0756
12	H1	0,0912



Kuva 40. Kuvaaja bitumikalvonmuutos testin jälkeen

Bitumikalvon muutoksen tuloksista piirettiin kuvaaja (kuva 40). Bitumia oli irronnut eniten levyistä 11 ja 12.

9 Yhteenveto ja pohdintaa

13.1 Yhteenveto

Taulukko 15. Bitumikalvon pinta-alamassanmuutos $\Delta m_4/A$

Bitumikalvon pinta-alamassan muutos ($\Delta m_4/A$)				
Numero	Suutin	pinta-alamassa (g/cm ²)		
1	B1	0,2123		
2	B1	0,1563		
3	B1	0,0522		
4	B1	0,0812		
5	B1	0,1001		
6	B1	0,1217	0,1206	—> Pistesuihkusuuttimen keskiarvo
7	H1	0,1179	0,057158995	—> Pistesuihkusuuttimen keskihajonta
8	H1	0,2414		
9	H1	0,2499		
10	H1	0,2437		
11	H1	0,0756		
12	H1	0,0912	0,1700	—> Viuhkasuuttimen keskiarvo
			0,083365287	—> Viuhkasuuttimen keskihajonta

Pistesuihkusuutintuloksessa keskiarvo oli $0,1206 \text{ g/cm}^2$ ja toistojen otoskeskihajonta oli saatu $0,0572 \text{ g/cm}^2$. Koetuloksissa todettiin, että pistesuihkusuutin irrotti likaa 8–35%.

Viuhkasuutintuloksessa keskiarvo oli $0,17 \text{ g/cm}^2$ ja toistojen otoskeskihajonta oli $0,0834 \text{ g/cm}^2$. Viuhkassuuttimen koetuloksissa likaa oli irronnut 60–90 % (TAULUKKO 15).

Tuloksissa huomattiin, että viuhkasuutin irrotti likaa laajalla alueella kuin pistesuihkusuutin.

13.2 Pohdintaa

Tässä kokeessa oli tarkoitus tutkia, miten tehokkaasti erilaiset suuttimet irrottavat likaa auton pinnalta silloin, kun auto on automaattisessa autonpesukoneessa. Kokeessa oli tarkoitus tehdä kokeita useammalle erilaiselle suuttimille, mutta vain kaksi olivat sopivia vesisuihkulaitteeseen.

Työ suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun Materiaali- ja pintakäsittelylaboratoriossa. Laboratoriokokeissa tehdyt sumutuskoe ja vesisuihkutukokeet onnistuivat hyvin. Työt aloitettiin esikokeella. Esikokeessa selvitettiin, miten lian saa parhaiten irti levystä. Kokeessa selvisi, että molemmat suuttimet olivat tehokkaita irrottamaan likaa levystä. Yllättävää tuloksissa oli se, että pistesuihkusuutin irrotti likaa niin tehokkaasti, vaikka sen suihkukulma on 0° . Viuhkasuutinkokeessa likaa oli irronnut laajalla alueella. Tulosten perusteella voidaan olettaa, että viuhkasuuttimella saadaan likaa irrotettua tehokkaasti auton laajoilta pinnoilta. Viuhkasuutin on kokeen mukaan taloudellisempi - sen avulla säästetään enemmän aikaa ja rahaa. Kuitenkin molemmat suuttimet olivat omalla tavallaan tehokkaita.

Kokeessa tehtiin toistoja ja laskettiin toistojen keskihajonta. Pistesuihkusuuttimen koetuloksissa todettiin, että likaa oli lähtenyt irti 8–35 %.

Viuhkassuuttimen koetuloksissa likaa oli irronnut 60–90 %.

Tarkemmin tuloksia voidaan tarkastella ottamalla valokuvat jokaisesta levystä ja laskea levyjen tummien ja vaaleiden alueiden pinta-alat kuvankäsittelyohjelman avulla. Jatkossa olisi mielenkiintoista tutkia myös muita suuttimia.

Lähteet

- 1 Suutin. 2009. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Suutin>>. Luettu: 20.1.2017.
- 2 Sprayingsystem. <<http://www.sprayingsystems.fi/#>>. Luettu 26.2.2017.
- 3 Flat Fan Nozzles. <<http://www.pnr.eu/wp-content/uploads/2017/05/FLAT-FAN-NOZZLES.pdf>> Luettu 27.2.2017.
- 4 Ruiskutussuuttimet. 2013. Verkkoaineisto < http://www.hankkija.fi/Liitetiedostot/Docs/Suutinasiaa_2013.pdf> Luettu 20.04.2017.
- 5 Projecta. <<https://www.projecta.fi/teollisuustuotteet/suuttimet.html?p=2>> Luettu 20.04.2017.
- 6 Lechler. Suuttimen suorituskyky ja huolto. Verkkoaineisto. < http://www.lechler.fi/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/LechlerFI-Shop-Site/fi_FI/-/EUR/ViewStandardCatalog-Browse?CatalogCategoryID=UZt_AAABOzoAAAFB93MGRO78> Luettu 24.3.2018. Luettu: 12.07.2017
- 7 Hansa-Engineering <<http://hansa-engineering.se/fi/dysor-sprayapplikationer/dysor-flatstrale/>> Luettu 10.01.2018.
- 8 E.M.Leino <<http://emleino.fi/tuotteet/viuhkasuutin-812x20>> Luettu 29.01.2018.
- 9 Lusikkasuuttimet. < http://www.lechler.fi/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/LechlerFI-Shop-Site/fi_FI/-/EUR/ViewStandardCatalog-Browse?CatalogCategoryID=UJZ_AAABBVQAAAFBtXIGRO78Suuttimet> Luette 29.01.2018.
- 10 Suuttimet Dysor. <<http://www.suuttimet.fi/dysor>> Luettu 1.02.2018.
- 11 Spray. <<http://www.spray.com/v1/cat70m/cat70mpdf/sscocat70ma.pdf>> Luettu 24.3.2018.
- 12 Spray. < http://www.spray.com/literature_pdfs/TM410B_Optimizing_Your_Spray_System.pdf> Luettu 24.3.2018.

