

Henri Kiminki

# Suihkupuhdistuksen tehokkuuden parantaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka

Insinööriytyö

27.04.2015

Tekijä(t) Otsikko	Henri Kiminki Suihkupuhdistuksen tehokkuuden parantaminen
Sivumäärä Aika	52 sivua + 4 liitettä 27.4.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Korroosionesto
Ohjaaja(t)	Metropolia Kai Laitinen FSP Oy Teknologijahtaja Jukka Lähde
<p>Opinnäytetyö on tehty Finnish Steel Painting Oy:lle. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia suihkupuhdistukseen liittyviä parametreja, joilla on vaikutusta suihkupuhdistuksen tehokkuuteen ja sitä kautta sen kustannuksiin.</p> <p>Opinnäytetyön kokeellisessa osassa verrattiin suihkupuhdistuksessa käytettävien puhallusrakeiden ja -suuttimien vaikutusta sen tehokkuuteen. Kokeissa suihkupuhdistettiin kylmävalssattuja metallilevyjä erilaisilla puhallusrake ja -suutin yhdistelmillä. Metallilevyt oli ruostutettu ruostumisasteeseen B standardin SFS-EN ISO 8501-1 mukaisesti. Puhallusrakeiden ja suuttimien järjestys satunnaistettiin, joilla varmistettiin kokeiden tilastollinen riippuvuus. Inhimillisten tekijöiden riippumattomuus varmistettiin tekijöiden vakinaistamisella.</p> <p>Kokeissa saatuja mittaustuloksia analysoitiin Excelin kaksisuuntaisella ANOVA varianssi-analyysillä. Kaksisuuntaisen varianssianalyysin perusteella voidaan todeta, että molempien suunnittelumuuttujien, suutinkoon ja suihkupuhdistusrakeen tasojen välillä on tilastollisesti merkitsevää eroa, mutta tekijöiden välillä ei havaittu yhdysvaikutusta. Tulosten perusteella suuttimella on suurempi vaikutus suihkupuhdistuksen tehokkuuteen kuin puhallusrake yhdistelmällä, mutta rake yhdistelmällä voidaan optimoida suihkupuhdistuksen tehokkuus. Tehokkuutta merkittävästi heikentämättä kustannussäästöjä voidaan tavoitella sellaisilla raeyhdistelmillä, jotka sisältävät tunnetusti pitkään kierrätettäviä rakeita, vaikka ne eivät olisi puhdistustehokkuudeltaan parhaimpia.</p>	
Avainsanat	Hiekkapuhallus, Pintakäsittely, Korroosionesto, Metallurgia, Metallituoteteollisuus

Author(s) Title	Henri Kiminki Improving the efficiency of abrasive blasting
Number of Pages Date	52 pages + 4 appendices 27 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Materials Technology and Surface Engineering
Specialisation option	Corrosion protection
Instructor(s)	Kai Latinen, Principal Lecturer, Metropolia UAS Jukka Lähde, CTO, FSP Oy
<p>The thesis was made to Finnish Steel Painting Ltd. The aim of this study was to examine the parameters of sandblasting which have an impact on blasting efficiency and thus on its cost.</p> <p>The experimental part of the thesis compared the effectiveness of blasting materials and nozzles and how they affect the effectiveness of blasting in different blasting material mixtures and nozzle sizes. In the experimental part cold-rolled metal sheets were blasted with different blasting materials and nozzle combinations. Metal plates were rusted to rate B according to SFS-EN ISO 8501-1 standard. Blasting material and nozzles were used in randomized order, which ensures the statistical dependence of tests. The independence of human errors was ensured by using the same people in their individual tasks.</p> <p>Data from the experiments were analyzed by two-way ANOVA variance analysis on Excel. The results of the way analysis of variance show that there is a statistically significant difference between the two design parameters, the blasting material and the nozzle, also no relation between factors were observed. On the basis of the results, the nozzle has a greater impact on the efficiency of blasting than any blasting material combination, but the combination of different blasting materials can be used to optimize the efficiency of blasting. Cost savings can be pursued without significant loss of efficiency by using blasting materials that can be recycled more often than regular materials even though are not the most efficient.</p>	
Keywords	sand blasting, surface treatment, corrosion prevention, metallurgy, metal products industry

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Pinnan epäpuhtaudet	3
2.1	Ulkopuolelta tulevat epäpuhtaudet	3
2.1.1	Kloridien poistaminen maalattavalta pinnalta	4
2.2	Valssihilse ja ruoste	6
2.3	Vaurioitunut maali	6
3	Puhdistettavat pinnat	8
3.1	Teräspinnan esikäsittelyasteet	8
3.1.1	Teräsharjaus	8
3.1.2	Suihkupuhdistus	9
3.2	Suihkupuhdistettavat kappaleet	10
3.2.1	Puhdistettavan materiaalin paksuus	10
3.3	Tarvittava pintaprofiili	11
3.4	Esikäsittelyn laatuvaatimukset	15
4	Raesuihkupuhdistus	16
4.1	Suihkupuhdistuksen historia	17
4.2	Sinkopuhallus	17
4.3	Paineilma-raesuihkupuhallus	19
4.3.1	Suihkupuhdistuskello	20
4.3.2	Tehokkuus	24
4.3.3	Suihkupuhdistus paikkamaalauksessa	28
4.3.4	Pyyhkäisysuihkupuhdistus (Hiekkapesu)	28
4.4	Puhallusmateriaalin kierrätys	28
4.4.1	Suihkupuhdistusrakeiden palautuslaitteet	29
4.5	Puhallusmateriaalit	34
4.5.1	Metalliset puhallusmateriaalit	34
4.5.2	Ei-metalliset puhallusmateriaalit	36
4.5.3	Puhdistusrakeen valinta	39
4.6	Erityyppisten teollisuusmetallien suihkupuhdistus	41

5	Koesuunnitelma	43
6	Koemateriaalit ja kokeiden suoritus	44
7	Tulokset	47
7.1	Tulosten tarkastelu	49
7.2	Yhteenveto	51
	Lähteet	52

#### Liitteet

Liite 1. SFS-ISO 8145 standardin esimerkkikuvat puhdistusasteista

Liite 2. Koeohjelma

Liite 3. Mittaustulokset

Liite 4. Kaksisuuntaisen ANOVA varianssianalyysin termistöä

## Lyhenteet

FSP	Finnish Steel Painting Oy
HG40	Särmikäs teräsrae, kokojakauma 0,3 – 0,9 mm.
M60	Alumiinioksidirae, kokojakauma 0,3 – 0,4 mm.
S230	Teräskuula, kokojakauma 0,5 – 0,9 mm.
G17	Valurautarae, kokojakauma 0,4 – 0,9 mm.
Mohs	Mohsin kovuusasteikko, tapa luokitella mineraalien kovuus.
Venturisuutin	Venturi-ilmiö on Bernoullin lakiin liittyvä ilmiö, jossa virtaavan aineen nopeus suurenee ja paine pienenee, kun se kulkee kavennetun putken läpi. Venturisuutin kapenee suuttimen puolella välissä jonka jälkeen jälleen halkaisija kasvaa.
Viippaletku	Suihkupuhdistuksessa käytettävä ohuempi ja taipuisampi letku erikoiskohteisiin.
Pop-up-venttiili	Suihkupuhdistuskellossa sisällä oleva ”tulppa” joka nousee ylös suihkupuhdistuksen alkaessa ja mahdollistaa paineen nousun suihkupuhdistuskellossa tiivistämällä rakeenlisäys aukon.
G-rae	Grit-särmikäs puhallusrae.
S-rae	Shot-pyöreä puhallusrae.
Kloridi	Kloridi (Cl-) on anioni, jossa klooriatomiin on liittynyt yksi ylimääräinen elektroni, tai ioniyhdiste, jossa kloridi-ioni on anionina.
UHPWJ	Ultrahigh-pressure water jetting. Korkeapainevesisuihkutus joka suoritetaan yli 1700 barin paineella.

## 1 Johdanto

Tämä tutkimus suoritetaan Finnish Steel Painting Oy:lle. FSP on yksi Euroopan suurimmista teollisuuden pintakäsittelyalan yrityksistä. Yrityksellä on palveluksessaan yli 200 alan ammattilaista, liikevaihto oli vuonna 2013 n. 25 m€. Yrityksellä on Suomessa, Ruotsissa, Puolassa ja Virossa yhteensä yli 30 kiinteää toimipistettä, joissa käytetään jonkinlaista rakeiden kierrätysjärjestelmää. Tämän vuoksi FSP haluaa tutkimustietoa eri puhalusrakeiden vaikutuksesta suihkupuhdistuksen tehokkuuteen nykyisiä järjestelmiä muuttamatta. Opinnäytetyössä tutkitaan eri suihkupuhdistusrae-yhdistelmien ja erikokoisten suuttimien vaikutusta suihkupuhdistuksen tehokkuuteen.

Yleisesti metallien esikäsittelyitä tehdään kahdesta syystä: pinnan puhdistamiseksi kaikesta ei-toivotusta materiaalista ja metallipinnan karhentamiseksi ennen pintakäsittelyä. Ei-toivottuja materiaaleja ovat kaikki muu ylimääräinen materiaali pintakäsitteltävän metallin pinnalla paitsi itse metalli. Korjausmaalauksessa tiukasti kiinni olevaa vanhaa maalipintaa ei tarvitse välttämättä poistaa kokonaan, vaan karhennus pyyhkäisysuihkupuhdistuksella eli hiekkapesulla riittää.

Uudistuotannossa teräksen pinnalta poistettavia ei-toivottuja materiaaleja ovat valssihilse ja epäpuhtaudet. Yleisimpiä epäpuhtauksia uusissa kappaleissa ovat kuljetus- ja tehdasrasvat, pajamaalit- ja lakat sekä suolat. Tehdasrasvat ja konepajapinnoitteet ovat erittäin hyödyllisiä kunnes kappale halutaan pintakäsittää; suolat joutuvat uusiin kappaleisiin huolettoman hoidon, kuljetuksen ja esikäsittelyn seurauksena. Konepajapinnoitteet- ja rasvat yleensä lisätään jo terästehtaalla esimerkiksi tarjoamaan väliaikaista korroosiosuojaa varastoinnin tai kuljetuksen ajaksi työmaalle, jossa kappale myöhemmin asennetaan ja pintakäsitetään. Tehdasrasvalla valeltu metallikappale kerää itseensä epäpuhtauksia magneetin lailla kuten pölyä, hiekkaa, nokea, tiesuoloja ja kaikkea mitä teiden varsilla esiintyy ennen sen saapumista paikkaan jossa kappale pintakäsitetään. Vaikka rasva kerää epäpuhtauksia, on rasva itsessäänkin ongelma maalattavalle kappaleelle. Öljyt ja rasvat estävät erittäin tehokkaasti maalin adheesiota metallin pintaan samalla tavalla kuin rasva ja öljy paistinpannalla estävät ruokaa tarttumasta paistinpannuun kiinni. Uuden teräskappaleen esikäsittely on hyvin suoraviivaista; pesu pinta-aktiivisilla alkalisilla pesuaineilla, huuhtelu puhtaalla vedellä, ja yleisimmin valssihilseen poisto suihkupuhdistuksella.

Useimmat huoltomaalaustyöt eivät sisällä uuden teräsrakenteen maalausta, mutta enemmän jo olemassa olevan rakenteen uudelleenmaalausta. Pinnan valmistelussa poistetaan kaikki irtoava vanha maali ja ruoste siten, että vain tiukasti kiinni oleva maali ja ruoste jäävät jäljelle. Mekaaniset esikäsittelyt kuten neulapistooli ja teräsharja-, irrottavat kohtalaisen hyvin kiinnittyneitä ruostetta ja likaa, mutta kummallakaan ei saavuteta riittävää pintaprofiilia tai -puhtautta uudelleenmaalausta varten. Tavanomainen kuiva suihkupuhdistus on yleisin käytetty esikäsittelymenetelmä; kuitenkin märkäpuhallus ja korkeapainevesipuhdistukset ovat erinomaisia esikäsittelymetodeja, jotka ovat kasvattaneet suosiotaan teollisessa tuotannossa.

Ennen minkäänlaista esikäsittelyä huoltomaalattava pinta tulisi puhdistaa kerääntyneistä öljyistä ja rasvoista alkalisilla pesuaineilla ja huuhdeltava puhtaalla vedellä. Riippumatta valitusta esikäsittelymetodista, olisi pinnoilta hyvä testata kloridien (ja muidenkin epäpuhtauksien) määrä esikäsittelyn jälkeen ennen uuden maalipinnan maalaamista. (1, s.67)



## 2 Pinnan epäpuhtaudet

Teräspinnoilla esiintyviä epäpuhtauksia ovat:

- Ulkopuolelta tulevat epäpuhtaudet
- valssi- ja hehkuhilse sekä ruoste
- aikaisemmin maalatut vaurioituneet pinnoitteet

### 2.1 Ulkopuolelta tulevat epäpuhtaudet

Ulkopuolelta tulevia epäpuhtauksia ovat ensisijaisesti öljyt, rasvat ja vahat, noki, pöly, hiekka, savi ja muut pienhiukkaset, toisin sanoen kaikki sellaiset aineet, joita kutsutaan tavallisesti liaksi. Pinnalla voi olla suolajäämiä, erityisesti klorideja sekä sulfaatteja ja happamassa ympäristössä myös pieniä määriä happoja, useimmiten rikkihappoa.

Teräspinnoilla olevat öljyt, rasvat ja vahat on yleensä tarkoitettu pintojen ruostesuojaukseen varastoinnin ja kuljetuksen ajaksi. Öljyä ja rasvaa voi tulla teräksen pintaan myös terästuotteen tai rakenteen valmistuksen eri vaiheissa voitelu- ja leikkausnesteinä. Öljyiseen ja rasvaiseen pintaan tarttuu helpommin pölyä, nokea ja muita hiukkasia helpommin kuin puhtaaseen pintaan. Yleensä nämä epäpuhtaudet poistuvat pinnasta samanaikaisesti öljyn ja rasvojen kanssa. Suurimmat likakasaumat voidaan poistaa kaapimalla tai harjaamalla, mutta täysin puhtaaksi ei pintaa sellaisilla keinoilla saada. Pinnalle on tehtävä rasvanpoistokäsittely. (1, s.78)

Suolat, erityisesti kloridit ja sulfaatit, happojäämät sekä mahdolliset alkalit, täytyy poistaa erityisen tarkasti pintakäsiteltävältä teräspinnalta. Ne aiheuttavat, hyvin pieninäkin määrinä esimerkiksi maaliin rakkuloita sekä maalikalvon alaista ruostumista. Tämä johtuu siitä, että ne hygroσκοoppisina imevät kosteutta ja muodostavat elektrolyytin. Koska nämä epäpuhtaudet ovat vesiliukoisia, voidaan ne poistaa vesiperustaisilla puhdistusaineilla. Sen sijaan orgaanisilla liuotteilla ei saada vesiliukoisia epäpuhtauksia täysin pois pinnalta. (1, s.78)

### 2.1.1 Kloridien poistaminen maalattavalta pinnalta

Ruotsin korroosioinstituutin teettämässä tutkimuksessa (1, s.75–76) on tutkittu kuuma-valsattua terästä, jonka pinnalta on ensin poistettu valssihilse suihkupuhdistamalla. Suihkupuhdistuksen jälkeen pintaa on ruiskutettu päivittäin 3 %:lla natriumkloridi – liuoksella viiden kuukauden ajan kunnes pinnalle on muodostunut paksu, tiukasti kiinnittynyt ruostekerros. Natriumkloridi-käsittelyn jälkeen teräskappaleet altistettiin erilaisille esikäsitteilymenetelmille, joilla yritettiin poistaa mahdollisimman paljon ruostetta. Tämän jälkeen koekappaleista testattiin kloridipitoisuudet Breslen – testillä. Mittaustulokset ovat taulukossa 1. (1, s.75 - 76)

Taulukko 1. Kloridien poistuminen teräspinnalta erilaisissa esikäsitteilymenetelmissä. (1, s. 76)

Esikäsitteilymenetelmä	Keskimääräinen kloridien määrä pinnassa (mg/m <sup>2</sup> )	Esikäsitteilyssä poistuneiden kloridien osuus (%)
Ei esikäsitteilyä	349	--
Teräsharjalla puhdistusasteelle St2	214	39
Neulapistooli puhdistusasteelle St2	263	25
UHPWJ, 2500 bar, ei inhibiittoria	10	97
Märkäpuhallus alumiinioksidilla, 300 bar, ei inhibiittoria	16	95
Kuiva suihkupuhdistus puhtausasteelle Sa 2 1/2 (kuparikuona)	56	84

Käytetystä esikäsitteilymenetelmästä huolimatta on tarpeellista tarkistaa, että maalattavat pinnat ovat vapaita suoloista, öljyistä ja liasta.

Ei ole merkitystä kuinka hyvä tuleva pinnoite on. Sen lisääminen pinnalle joka sisältää klorideita tietää varmasti ongelmia lähitulevaisuudessa. Kloridit voivat tarttua monista lähteistä kuten tiesuolasta, jos työmaa on lähellä teitä tai ajoväyliä, joita suolataan talvella. Toinen merkittävä lähde on tuuli työmailla, jotka sijaitsevat rannikkoalueilla; pistävä, virkistävän tuntuinen tuulahdus meri-ilmaa tarkoittaa tiheää uudelleenmaalausväliä, ellei rakenne ole suojattuna tuulelta. Jopa kappaleen asennusta suorittavien työntekijöiden kädet sisältävät tarpeeksi suoloja aiheuttamaan rakkuloitumista maalipinnassa. (1, s.78)

Ruoste vanhassa teräskappaleessa voi sisältää merkittävästi klorideja. Kloridit jotka alun perin aiheuttivat kappaleen ruostumisen, voivat olla vielä juuttuneena ruosteen matriisiin; kloridien luonteeseen kuuluu, että ne esiintyvät ruosteonkaloiden pohjalla – juuri siellä, mistä niitä on hankalin puhdistaa.

Ideaalisin kloridien mittauskoe olisi menetelmä jolla voidaan suorittaa mittaus tuhoamatta näytettä:

- Asennuspaikalla mieluummin kuin laboratoriossa
- Erilaisilta pinnoilta (karkeilta, sileiltä, kaarevilta, suorilta)
- Nopeasti
- Helposti ja siten, että virhemittausten mahdollisuus olisi pieni
- Luotettavasti
- Edullisesti

Kuitenkaan sellaista menetelmää ei ole olemassa eikä mittaustapaa, joka kattaisi nämä kaikki ominaisuudet. Mittaus perustuu pinnan kostuttamiseen liuoksella johon, kloridien ja muiden suolojen on mahdollisuus liueta, minkä jälkeen mitataan liuoksen sähkönjohtavuus tai sen kloridipitoisuus jälkikäteen. Kaksi eniten käytettyä mittaustapaa ovat Bresle –koe ja kostutettu suodatinpaperi –tyyppinen mittaustapa Elcometeriltä. (1. s.78)

Breslen testi on kuvattu standardissa SFS-EN ISO 8502-6. Tarrareunainen kalvo liimataan testattavalle pinnalle. Kalvon pinta-ala tunnetaan, yleensä 1250 mm<sup>2</sup>. Kalvo täytetään tunnetulla määrällä ionivaihdettua vettä. Kun vesi on ollut kontaktissa mitattavaan pintaan 10 minuuttia, se imetään pois kalvon sisältä ja siitä analysoidaan kloridien pitoisuus. Kloridipitoisuuden analysointiin on useita eri menetelmiä; titraus paikan päällä tunnetulla liuoksella, sähkönjohtavuusmittaus tai tiloissa, joissa voidaan käyttää edistyneempiä pitoisuusmittauksia. Sähkönjohtavuusmittauksella ei voida erottaa liukseen muodostuneita kemiallisia eroja. Jos testiä käytetään pahasti ruostuneella pinnalla, testillä ei voida erottaa kuinka paljon sähkönjohtavuus johtuu klorideista ja kuinka paljon liuenneista rauta-ioneista itsessään. (1. s.78)

## 2.2 Valssihilse ja ruoste

Valssihilsettä ja hehkuhilsettä syntyy, kun terästä valssataan levyksi tai profiiliksi, tai kapaleita hehkutetaan korkeassa lämpötilassa. Teräksen ollessa kontaktissa ilman hapen kanssa korkeassa lämpötilassa muodostuu pintaan oksidikerros. Oksidikerroksen rakenne riippuu hehkutuslämpötilasta, pitoajasta ja jäähtymisnopeudesta. Tavallisesti nopeasti jäähdytetyn kuumavalssatun teräsnauhan pinnalla oksidikerros muodostuu lähinnä terästä olevasta wüstiittikerroksesta ( $\text{FeO}$ ) ja sen päällä olevasta magnetiitista ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Hitaassa jäähtymisessä saattaa alemmassa lämpötilassa magnetiitin päälle vielä muodostua hematiiittia ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Wüstiittikerroksella on merkitystä peittaamalla tehtävässä pinnan puhdistuksessa, koska se liukenee helpoimmin peittäusliuokseen. (2, s.25)

Valssihilse itsessään muodostaa hyvän ruostesuojan niin kauan kuin se on ehyt. Se on kuitenkin hauras ja ennemmin tai myöhemmin se rikkoontuu. Silloin alkaa ruostuminen halkeamien kohdalla. Valssihilse on terästä jalompaa, minkä seurauksena teräspinta on syöpyvä osa muodostuvassa korroosioparissa. Ruoste vaatii suuremman tilavuuden kuin rauta, josta se on muodostunut. Seurauksena on, että ruoste irrottaa valssihilseen ja paljastaa lisää teräspintaa. Seostamattoman teräksen pintaan muodostuva ruoste on huokoista. Sen johdosta vesi ja happi voivat tunkeutua ruosteen läpi teräspinnalle ja aiheuttaa ruostumisen. Lisäksi ruoste pidättää kosteutta ja epäpuhtauksia, erityisesti suoloja ja happoja. Siten ruostuminen voi nopeutua. Pinnoite joka levitetään ruosteiselle pinnalle, ei ole suorassa kontaktissa teräksen kanssa. Se vähentää maalin suojauskykyä, ja ruostuminen voi jatkua edelleen. Valssihilse ja ruoste eivät liukene rasvanpoistokylvyissä. Ne ovat tiukasti kiinni pinnassa, joten niiden poistamiseen on käytettävä joko mekaanisia, kemiallisia tai termisiä menetelmiä. (2, s.24–25)

## 2.3 Vaurioitunut maali

Vaurioitumaton ja hyvin alustassaan kiinni oleva maali on tavallisesti hyvä alusta uudelle maaliyhdistelmälle eikä se aiheuta juuri puhdistusongelmia. Vaurioitunut tai esimerkiksi maalikalvon alla tapahtuneen ruostumisen seurauksena, alustastaan irronnut maali tulee poistaa. Teräspinta vaurioituneen kohdan ympärillä esikäsitellään vaadittavan esikäsitelyasteeseen. Huonosta esikäsitelystä tai maalista aiheutuva maalikalvon alla tapah-

tuva ruostuminen on petollista, koska sitä voi olla vaikea havaita, ennen kuin on tapahtunut merkittäviä vaurioita. Useinkaan ei havaita vahinkoa ennen kuin paksu ruostekakku irtoaa yhdessä maalikalvon kanssa. Esikäsiteltäessä vanhaa maalipintaa on tärkeää tarkistaa maalikalvon alla mahdollisesti esiintyvä ruostuminen.

### 3 Puhdistettavat pinnat

Primäärinen pinnan puhdistus tarkoittaa koko teräspinnan puhdistusta kauttaaltaan paljaaseen teräkseen. Tämän tyyppinen pinnan puhdistus käsittää valssi- tai hehkuhilseen, ruosteen, olemassa olevien pinnoitteiden ja kontaminanttien poistamisen. Primääristen puhdistuksen jälkeen koko maalattava pinta on paljasta terästä. Puhdistusmenetelmien merkinnät ovat Sa, St ja Fl. (2, s.40)

Sekundäärinen pinnan puhdistus tarkoittaa, että kappaleen pinnalle jätetään terveet osat orgaanisia ja metallisia pinnoitteita. Kun maalaus tehdään paikkamaalauksena ja vain osa pintaa esikäsitellään, merkitään esikäsitelyasteen merkinnän eteen kirjain P merkiksi, että esikäsitely on tehty paikallisesti, esim. PSa 2 ½ pinta on paikallisesti puhdistettu esikäsitelyasteeseen Sa 2 ½. Tämän tyyppinen pinnan puhdistus käsittää valssihilseen, ruosteen ja kontaminanttien poistamisen, mutta jättää jäljelle osan tai osia pinnalla olevista pinnoitteista. Paikalliset puhdistusmenetelmät merkitään PSa, PSt ja PMa. (2, s.40)

Ennen maalien ja vastaavien tuotteiden levittämistä suihkupuhdistetut pinnat voivat vaatia kuivausta. Kuivumisessa voi muodostua lentoruostetta ja se voi olla välttämätöntä poistaa, jos sitä pidetään haitallisena myöhemmässä pintakäsittelyssä. (2. s.40)

#### 3.1 Teräspinnan esikäsitelyasteet

##### 3.1.1 Teräsharjaus

St-asteikko kuvaa teräspintojen puhtausasteita, jotka on saatu aikaan käsin kaapimalla ja teräsharjaamalla tai koneellisesti.

**St 1:** Kevyt teräsharjaus.

**St 2:** Huolellinen kaavinta ja teräsharjaus. Kaavinnalla ja käsin tehdyllä teräsharjauksella, koneharjauksella tai konehionnalla poistetaan irtoava valssihilse, ruoste ja vieraat hiukkaset. Sen jälkeen pinta puhdistetaan pölynimurilla, puhtaalla ja kuivalla paineilmapuhalluksella tai puhtaalla harjalla. Pinnalla on puhdistuksen jälkeen oltava heikko metallin kiilto ja St 2 – kuvien ulkonäkö (SFS 4957). (2. s.40–41)

**St 3:** Hyvin huolellinen kaavinta ja teräsharjaus. Kaavinnalla ja käsin tehdyllä teräsharjauksella, koneharjauksella tai konehionnalla pinta käsitellään kuten ruosteenpoistoasteessa St 2, mutta vaaditaan selvä metallin kiilto ja St 3-kuvien ulkonäkö (SFS 4957). (2. s.40–41)

### 3.1.2 Suihkupuhdistus

Sa-asteikko kuvaa suihkupuhdistettujen teräspintojen puhtausastetta.

**Sa 1:** Kevyt suihkupuhdistus. Paljain silmin tarkasteltaessa ei pinnalla saa olla näkyvää öljyä, rasvaa, likaa eikä heikosti kiinni olevaa valssihilsettä, ruostetta, maalia tai vieraita aineita. (SPC-luokitus SP 7; Brush-Off Cleaning, NACE-luokitus 4; Blast cleaning of all except tightly adhered residues of mill scale, rust and coating) (2. s.41)

**Sa 2:** Huolellinen suihkupuhdistus. Paljain silmin tarkasteltaessa ei pinnalla saa olla näkyvää öljyä, rasvaa, likaa eikä heikosti kiinni olevaa valssihilsettä, ruostetta, maalia tai vieraita aineita. Pinnalle jäävien epäpuhtauksien tulee olla hyvin kiinni alustassa. (SSPC-luokitus SP 6; Commercial Blast Cleaning, NACE-luokitus 3; Blast cleaning until at least 65 % of surface is free of all visible residue.) (2. s.41)

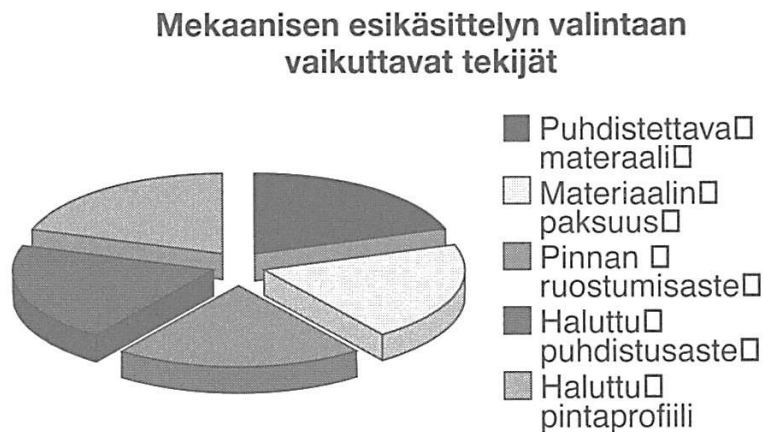
**Sa 2 ½:** Hyvin huolellinen suihkupuhdistus. Paljain silmin tarkasteltaessa ei pinnalla saa olla näkyvää öljyä, rasvaa, likaa eikä heikosti kiinni olevaa valssihilsettä, ruostetta tai vieraita aineita. Pinnalle jäävät epäpuhtaudet näkyvät korkeintaan heikkoina värjäytyminä, laikkumaisina tai juovamaisina varjostumina. (SSPC-luokitus SP 10; Near-White Blast Cleaning, NACE-luokitus 2; Blast cleaning until at least 95 % of surface is free of visible rust, mill scale, paint and foreign matter.) (2. s.41)

**Sa 3:** Suihkupuhdistus metallipuhtaaksi. Paljain silmin tarkasteltaessa ei pinnalla saa olla näkyvää öljyä, rasvaa, likaa eikä heikosti kiinni olevaa valssihilsettä, ruostetta, maalia tai vieraita aineita. Pinnalla on oltava yhtenäinen metallin väri. (SPPC-luokitus SP 5; White Metal Blast Cleaning, NACE-luokitus 2; Removal of all visible rust, mill scale, paint and foreign matter by blast cleaning.) (2. s.41)

Liitteessä 1 on esitetty standardin SFS-8145 määrittelemät eri esikäsitteilyasteeseen puhdistettujen teräspintojen ulkonäkö, joita voidaan käyttää vertailupintoina tehtävissä esikäsitteilyissä.

### 3.2 Suihkupuhdistettavat kappaleet

Erimuotoisissa ja eri materiaaleista valmistetuissa kappaleissa täytyy ottaa huomioon useita eri seikkoja ennen suihkupuhdistusta (kuva 1.), jotta kappaleelle saadaan vaadittu pintaprofiili, puhdistusaste ja kappale säilyvät rakenteellisesti ja ominaisuuksiltaan muuttumattomana suihkupuhdistuksen aikana.



Kuva 1. Esikäsittelyn valintaan vaikuttavat tekijät (3, s. 60)

#### 3.2.1 Puhdistettavan materiaalin paksuus

Ohuita teräslevyjä ei voida puhdistaa suihkupuhdistuksella, koska ne menettävät muotonsa. Myös ohut seinämäiset putket menettävät jäykkyyttään suihkupuhdistuksessa, vaikka ne eivät suoranaisesti vääntyisikään. Teräslevyjien ja putkien muodonmuutosherkkyys riippuu mm. seuraavista tekijöistä:

- Kappaleen muodosta
- Käytettävästä suihkupuhdistusrakeesta
- Suihkupuhdistusetäisyydestä
- Puhalluspaineesta (3, s.61)

Suuret levypinnat vääntyvät helposti, ja yleensä alle 2 mm:n paksuista levymateriaalia ei voida suihkupuhdistaa tavanomaisilla menetelmillä. Tiheydeltään ja kooltaan suuret pu-



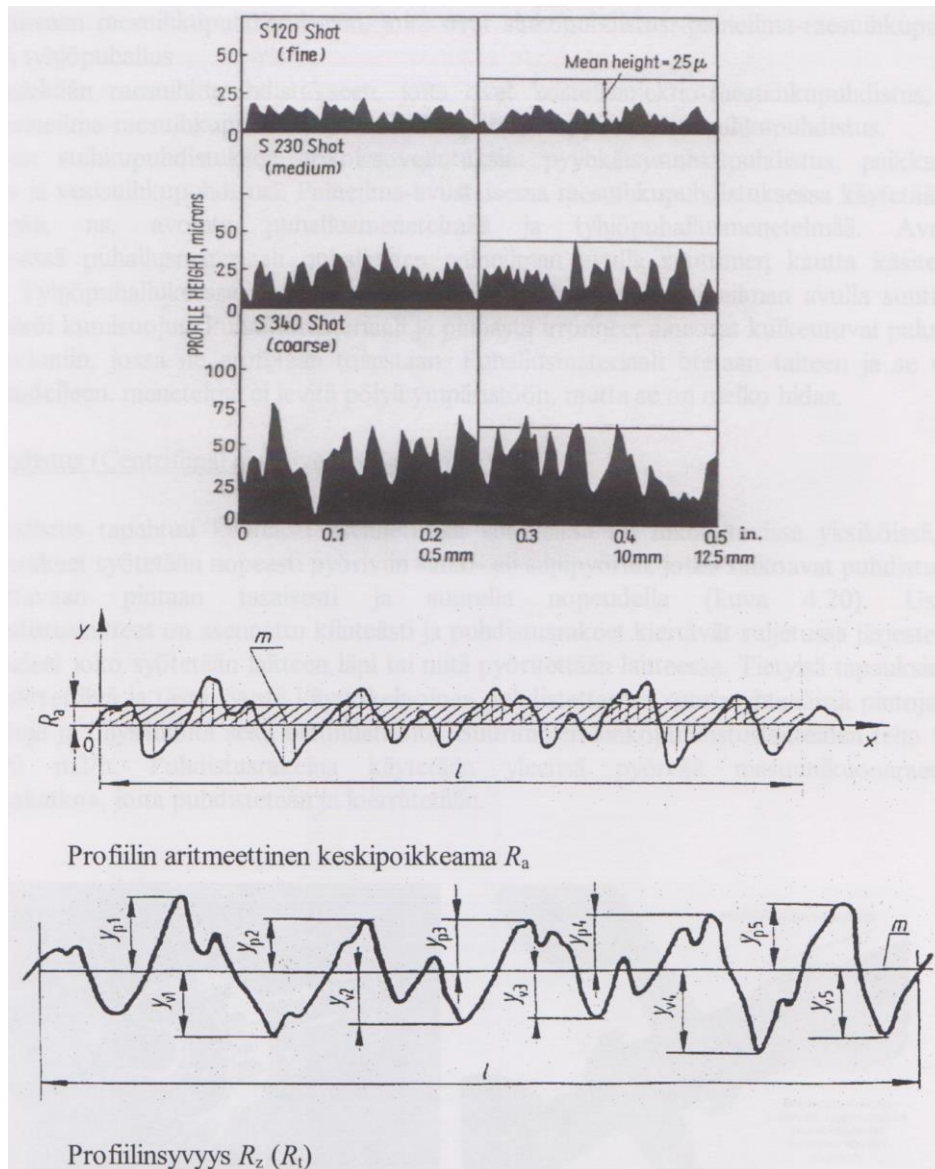
hallusaineet saavat aikaan muodonmuutoksia helpommin kuin kevyemmät puhallusaineet, esimerkiksi raskas teräsrae verrattuna kevyeen luonnonhiekkään. Myös liian läheltä suoritettu suihkupuhdistus saa helposti aikaan muodonmuutoksia. (3, s. 61)

Mitä suurempi paine on, sitä enemmän rakeet muokkaavat puhallettavaa pintaa. Periaatteessa ohuttakin levymateriaalia voidaan puhdistaa suihkupuhdistuksella. Tällöin kuitenkin työn tehokkuus laskee niin vähäiseksi, että sitä ei ole yleensä järkevää tehdä. Erikoiskohteissa voidaan käyttää hyvin kevyitä rakeita, kuten pähkinänkuoria ja erilaisia muovirakeita, jotka eivät muokkaa pintaa. Jos suihkupuhdistusta ei voida käyttää kappaleen mekaaniseen puhdistukseen materiaalin ohuuden vuoksi, voidaan käyttää jotain seuraavia ruosteenpoistomenetelmiä:

- Koneellinen teräsharjaus
- Koneellinen hionta hiontalaikalla
- Koneellinen hionta hiomapaperilla
- Koneellinen hionta muovilaikoilla (3, s. 61)

### 3.3 Tarvittava pintaprofiili

Suihkupuhalluksessa saavutettava pintaprofiili on pinnan mikrokärheus, joka yleensä ilmoitetaan päänhuippujen korkeuden suhteen päälaaksoihin (SFS-ISO 8503-1). Pinnan kärheus määritellään kuvan 2 mukaisesti seuraavina arvoina:  $R_a$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ ,  $R_t$  ja  $S_m$ . (2, s.38)



Kuva 2. Suihkupuhdistuksessa pyritään karhentamaan pintaa maalin kiinnipysyvyyden parantamiseksi.  $R_a$  – ja  $R_z$  ( $R_t$ )-arvojen määrittäminen. (2, s.31)

Puhallusrakeiden koko, -muoto ja -laatu tulee valita siten, että saadaan pinnoitteen kannalta sopiva pinnankarheus eli pintaprofiili. Pintaprofiilia voidaan arvioida standardin SFS-ISO 8503 (Teräspinnan määrittely) mukaisilla ISO-pintaprofiilivertailukappaleilla. Pyöreällä rakeella (S = shot) saadaan melko pyöreä pintaprofiili ja särmikkäällä terävä (G = grit). Standardi luokittelee pintaprofiilin hienoon, keskikarheaan ja karheaan erikseen molemmille raemuodoille. Vertailukappaleiden avulla arvioidaan suihkupuhdistetut pinnat silmämääräisesti tai tunnustelemalla. (4, s.17)

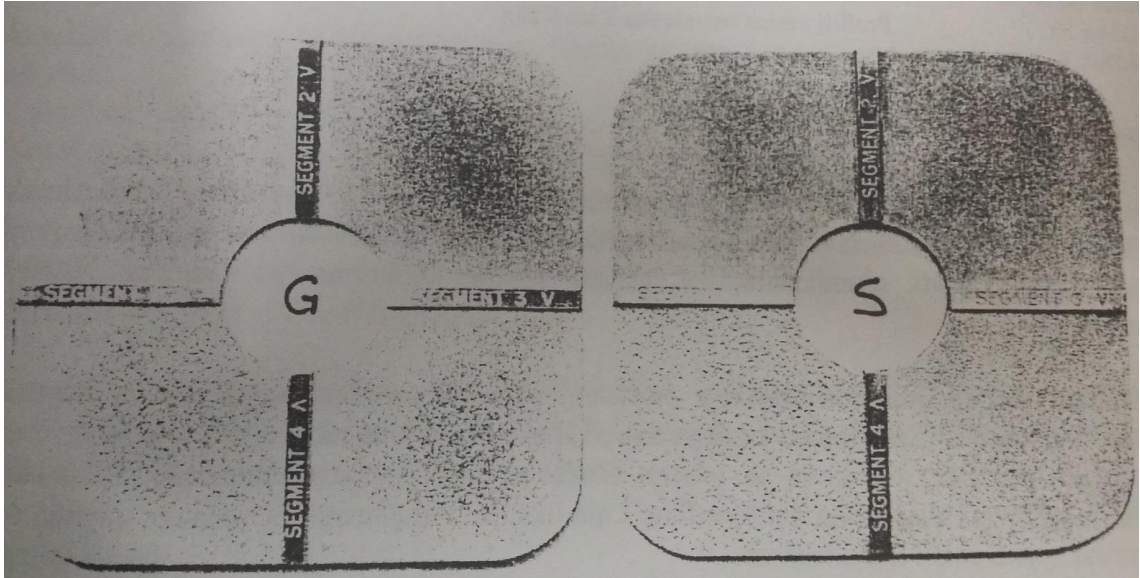
Arvioitavalta pinnalta poistetaan kaikki pöly ja roskat. Valitaan sopiva pintaprofiilivertailukappale, G tai S, ja asetetaan se pintaa vasten. Pintaa verrataan vuorotellen vertailukappaleen jokaisen osa-alueeseen, joiden pinnankarheusarvot on esitetty taulukossa 2 ja havainnekuva pintaprofiilivertailukappaleista kuvassa 3. Määritellään ne kaksi osa-alueita, joiden väliin testattava pinta jää ja ilmoitetaan sopivin laatumäärein: hieno, puolikarhea tai karhea. (2, s.39)

Taulukko 2. Nimellisarvot ja poikkeamat ISO-pintaprofiilivertailukappaleen eri osa-alueiden pintaprofiileille. (2, s.39)

Grit (Särmärae)		
Osa-alue	Karheuden nimellisarvo ( $\mu\text{m}$ )	Suurin sallittu poikkeama ( $\mu\text{m}$ )
1	25	3
2	60	10
3	100	15
4	150	20
Shot (pyöreä rae)		
Osa-alue	Karheuden nimellisarvo ( $\mu\text{m}$ )	Suurin sallittu poikkeama ( $\mu\text{m}$ )
1	25	3
2	40	5
3	70	10
4	100	15

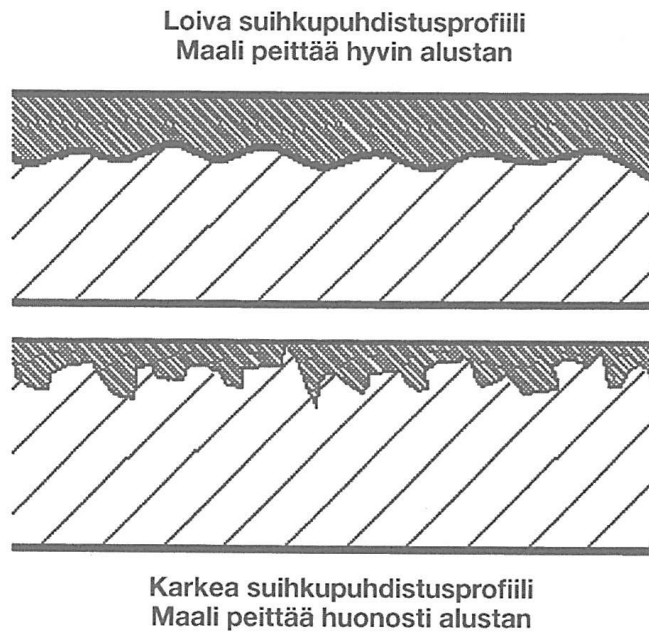
Vertailukappaleet teräkselle käyttäen särmikästä tai pyöreää suihkupuhdistusraetta

Hieno (G tai S)	Profiili vastaa osa-alueita 1:stä 2:een
Keskikarhea (G tai S)	Profiili vastaa osa-alueita 2:sta 3:een
Karhea (G tai S)	Profiili vastaa osa-alueita 3:sta 4:een



Kuva 3. SFS-ISO 8503-1 pintaprofiilivertailukappaleet. (2, s.38)

Karhennettuun metallipintaan maali tarttuu paremmin kuin sileään, koska karhennetussa pinnassa on enemmän tartuntapinta-alaa. Toisaalta karheaan pintaan on levitettävä maalia runsaammin kuin sileään, jotta lopullinen maalaustulos saadaan tasaiseksi ja profiilin huippujenkin kohdalle saadaan riittävä kalvonpaksuus. Maalien välillä on eroja tartuntakyvyn suhteen. On olemassa maalityyppejä, joita ei voida käyttää ollenkaan, ellei metallipintaa ole ensin karhennettu suihkupuhdistuksella tai muilla keinoilla. Toisaalta on maaleja, jotka tarttuvat hyvin sileäänkin pintaan. On aina muistettava, että esikäsitteily ja maalaus muodostavat yhdessä kokonaisuuden ja että esikäsitteilyn tulee olla sopiva tulevan maalauskäsittelyn kanssa. (3, s. 61)



Kuva 4. Pintaprofiilin vaikutus maalin peittävyteen (3, s.61)

### 3.4 Esikäsittelyn laatuvaatimukset

Yleisin esikäsittelyn laatuastevaatimus teräsrakenteilla vastaa laatuastetta 04 standardin SFS 8145 mukaisesti, mikä tarkoittaa suihkupuhallusta puhtausasteeseen Sa 2. Vaativissa ilmastokorroosiorasituksissa edellytetään esikäsittelyastetta 05 vastaten suihkupuhdistusta puhtausasteeseen Sa 2 ½ (useat maalityypit edellyttävät) sekä upporasituksissa Sa 3. Suihkupuhdistuskustannukset (puhdistusaika ja raekustannukset) nousevat noin 3-kertaiseksi siirryttäessä Sa 2:sta Sa 3:een, joten liian suurien pinnanpuhtausvaatimusten asettaminen voi tulla turhan kalliiksi. (2, s.41)

## 4 Raesuihkupuhdistus

Raesuihkupuhdistus on yleisin metallien, etenkin teräsrakenteiden, esikäsittelemiseksi ennen pintakäsittelyä. Standardin SFS-EN ISO 8504-2 mukaan raesuihkupuhdistuksella tarkoitetaan suuren liike-energian sisältävän puhdistusraesuihkun iskeytymistä käsiteltävään pintaan. (2, s. 32) Karkean partikkelin kineettisen energian ( $I$ ) määrä ennen sen iskeytymistä kappaleen pintaan on määriteltävissä sen massan ( $m$ ) ja nopeuden ( $v$ ) avulla seuraavalla yhtälöllä:

$$I = \frac{(m \cdot v^2)}{2}$$

Partikkelin iskeytyessä kappaleeseen, kineettinen energia voidaan käyttää joko hajottamaan partikkeli tai muokkaamaan sitä plastisesti, halkaisemaan ja irrottamaan vanha maalipinta tai poistamaan ruoste ja valssihilse. Partikkelin iskeytyessä käsiteltävän kappaleen pintaan sen hiova vaikutus tai plastinen muokkaantuminen riippuu käsiteltävän kappaleen fysikaalisista ominaisuuksista. Jos käsiteltävä kappale on riittävän kovaa eikä käytettävä suihkupuhallusrae pureudu kappaleen pintaan, puhallusrae joko hajoaa tai muokkautuu plastisesti. Jos käsiteltävä kappale on pehmeämpää kuin käytettävä puhallusrae sen iskeytyessä kappaleen pintaan sillä on hiova vaikutus. (2, s.32)

Yleisesti välitetyn kineettisen energian määrä ja sen riittävyys irrottamaan pinnan epäpuhtauksia riippuvat seuraavista seikoista:

- Kappaleeseen iskeytyvän partikkelin nopeus ja massa
- Iskeytymä pinta-ala
- Puhdistettavan kappaleen kovuus ja lujuus
- Partikkelin kovuus ja lujuus

Puhdistusrakeet singotaan tyypillisesti joko keskipakovoiman tai suuri-nopeuksisen ilma- tai nestevirran avulla. Raesuihkupuhdistuksessa saadaan alustaan puhalletuksi ns. profiili (kuva 4.), joka riippuu suihkupuhdistusolosuhteista, puhdistusrakeiden ominaisuuksista, pinnan alkuperäiskunnosta ja suihkupuhdistettavan teräksen ominaisuuksista, ja jonka ansiosta maali tai pinnoite tarttuu paremmin. Pintaprofiilin merkitys on korostunut, kun käytetään nopeasti kuivuvia maaleja. Raesuihkupuhdistus jaetaan standardin SFS-EN ISO 8504-2 mukaan:

- kuivaan raesuihkupuhdistukseen, joita ovat sinkopuhdistus, paineilma-raesuihkupuhdistus ja tyhjöpuhallus
- märkään raesuihkupuhdistukseen, joita ovat kosteusinjektio-raesuihkupuhdistus, märkä paineilma-raesuihkupuhdistus, lietesuihkupuhdistus ja painenestesuihkupuhdistus

Lisäksi on suihkupuhdistuksen erikoissovellutuksia: pyyhkäisysuihkupuhdistus, paikka-suihkupuhdistus ja vesisuihkupuhdistus. Paine-ilma avusteisessa raesuihkupuhdistuksessa käytetään kahta menetelmää, ns. avointa puhallusmenetelmää ja tyhjöpuhallusmenetelmää. Avoimessa menetelmässä puhallusmateriaali puhalletaan paineilman avulla suuttimen kautta käsiteltävälle pinnalle. Tyhjöpuhalluksessa pinnalle puhalletaan puhallusrakeita paineilman avulla suuttimesta, jota ympäröi kumisuojaus. Puhallusmateriaali ja pinnasta irronneet ainesosat kulkeutuvat paluuletkua pitkin sykloniin, jossa ne erotetaan toisistaan, Puhallusmateriaali otetaan talteen ja se voidaan käyttää uudelleen. Menetelmä ei levitä pölyä ympäristöön, mutta se on melko hidas. (2, s.32)

#### 4.1 Suihkupuhdistuksen historia

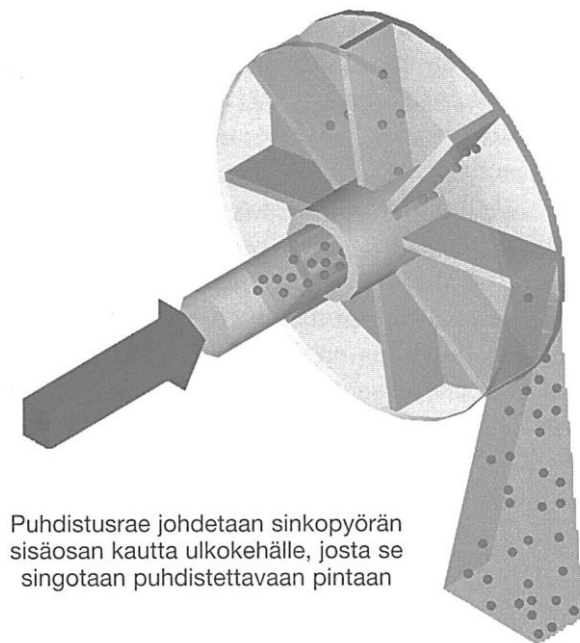
Hiekkapuhallus otettiin käyttöön jo 1900-luvun alussa. Menetelmä oli erittäin likaava ja siinä muodostui voimakkaasti pölyä, mutta oli suhteellisen halpa menetelmä.

Tila jossa puhallettiin, täytyi nopeasti pölystä, eikä hiekkapuhallusta voitu suorittaa kovin pitkään, ennen kuin näkyvyys hävisi kokonaan. Pölystä huolimatta työntekijät eivät käyttäneet lainkaan suojaimia, joten he sairastuivat usein pölykeuhkoon (silikoosi). Puhalluksessa käytetty hiekka lapioitiin suoraan lattialta laitteistoon. (5, s.52)

#### 4.2 Sinkopuhallus

Sinkopuhallus syrjäytti 1900-luvun puolivälissä hiekkapuhalluksen teräksen teollisena suihkupuhdistusmenetelmänä. Ongelmana olleita pölyn ja lian määriä pystyttiin ratkaisevasti laskemaan ja näin hallitsemaan paremmin laitoksen terveysriskejä. (5, s.22)

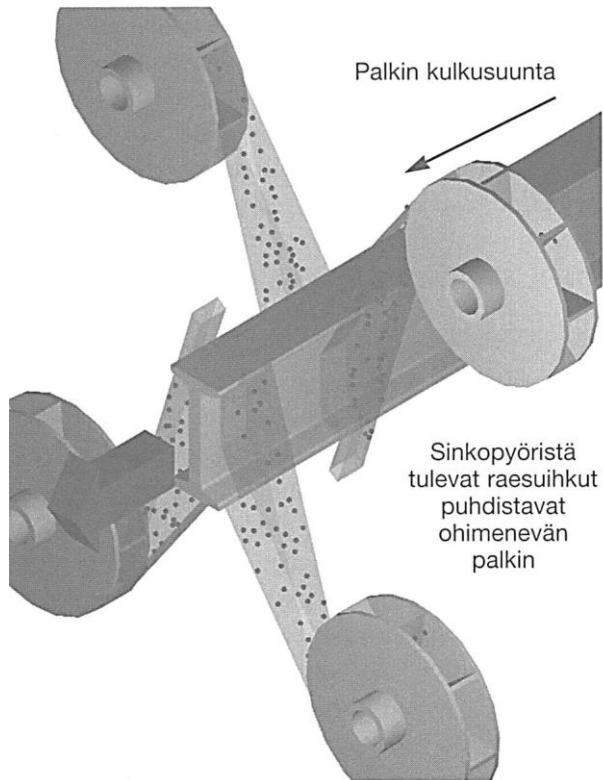
Sinkopuhdistus tapahtuu kiinteästi asennetuissa laitoksissa tai liikuteltavissa yksiköissä, joissa puhdistusrakeet syötetään nopeasti pyöriin sinko- eli siipipyöriin, jotka sinkoavat puhdistusrakeet puhdistettavaan pintaan tasaisesti ja suurella nopeudella (kuva 5.). Useimmat sinkopuhdistuslaitteet on asennettu kiinteästi ja puhdistusrakeet kiertävät suljetussa järjestelmässä. Työkappaleet joko syötetään laitteen läpi tai niitä pyöritetään laitteessa. Tietyissä tapauksissa laite voi olla siirrettävä ja tästä syystä käyttökelpoinen puhdistettaessa suuria yhtenäisiä pintoja, kuten laivarunkoja ja öljysäiliöitä sekä betonilattioita. Suurimpien sinkopuhdistuslaitteiden teho voi olla yli 2000 m<sup>2</sup>/h. (2, s.32)



Kuva 5. Sinkopuhdistuksen periaate (3, s.72)

Puhdistusrakeina käytetään yleensä pyöreää masuunikuonaraetta, teräskuulia tai teräslankakatkoa, joita puhdistetaan ja kierrätetään. Sinkopuhdistus soveltuu jatkuvaan käyttöön työkappaleille, joilla on luokseen pääsevät pinnat kuten teräslevyt ja erilaiset profiilit (kuva 6.). Menetelmä soveltuu myös kappaleille, joilla on erilaiset ruostumisasteet. Sinkopuhalluksella päästään esikäsitteilyasteeseen Sa 3 kaikissa ruostumisasteissa olevilla teräspinnoilla. (2, s.33)

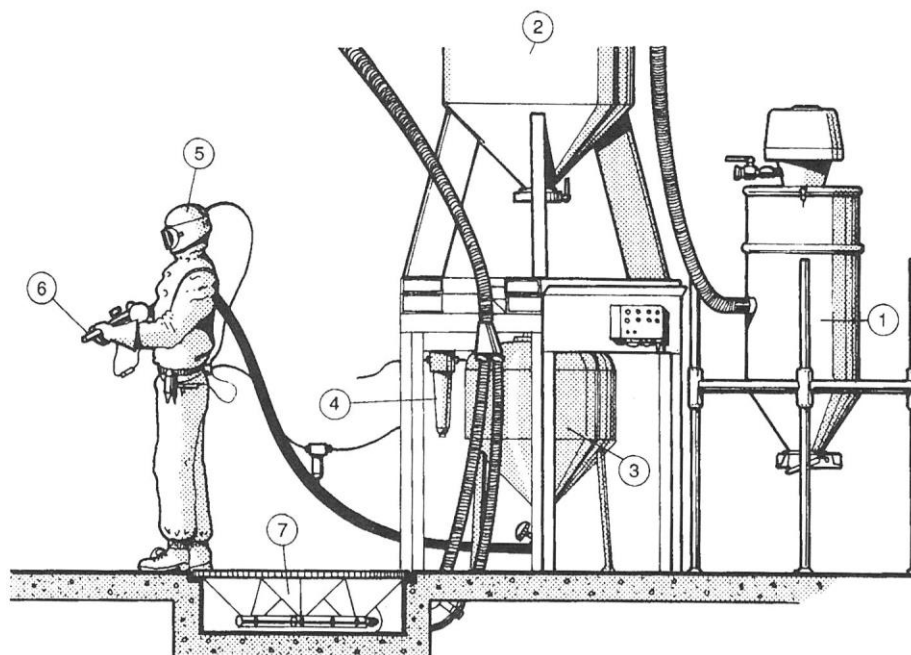




Kuva 6. Sinkopuhdistuslaitteisto toiminnassa (3, s.72)

#### 4.3 Paineilma-raesuihkupuhallus

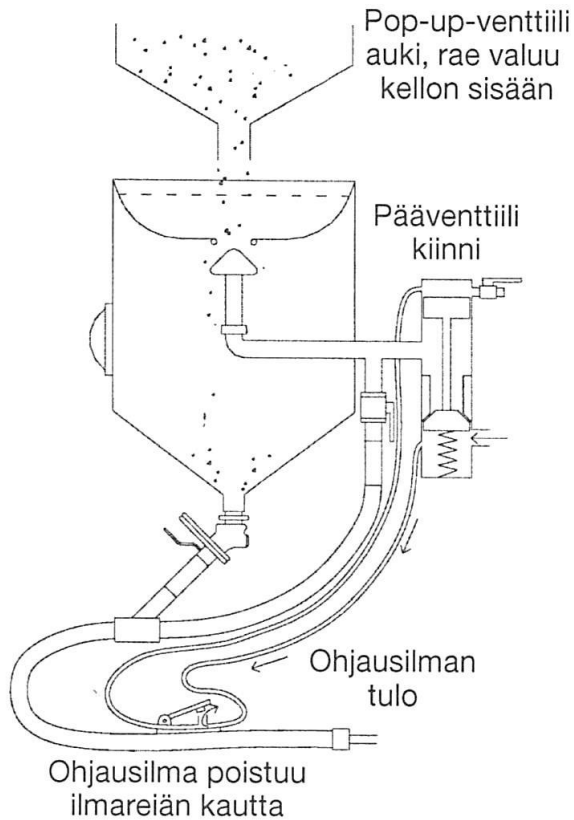
Paineilma-raesuihkupuhdistuksessa eli avopuhalluksessa puhallusrae syötetään ilmapvirtaan, jolloin ilma/rae-seos saatetaan nopeaan liikkeeseen paineilman avulla ja suunnataan kohti puhdistettavaa pintaa. Puhallusrae syötetään ilmapvirtaan paineistetusta säiliöstä tai imetään ilmapvirtaan alipaineisesta säiliöstä. (kuva 7.). Kun puhdistusrae osuu pintaan suurella nopeudella, irrottaa se pinnalla olevia epäpuhtauksia. Suihkupuhdistus on mekaanisista ruosteenpoistomenetelmistä tehokkain. Suihkupuhdistuksella voidaan poistaa nopeasti vanhat pinnoitteet, ruoste ja valssihilse teräksen pinnalta.



Kuva 7. Paineilma-raesuihkupuhalluksen periaate kierrätyksellä ja talteenotolla; 1 puhallusraesiilo, 2 erottaja, 3 puhalluskello, 4 ilmansuodatin, 5 puhallussuoja, 6 puhallussuutin, 7 lattia-kaivo puhallusmateriaalin kokoamiseen (2, s.33)

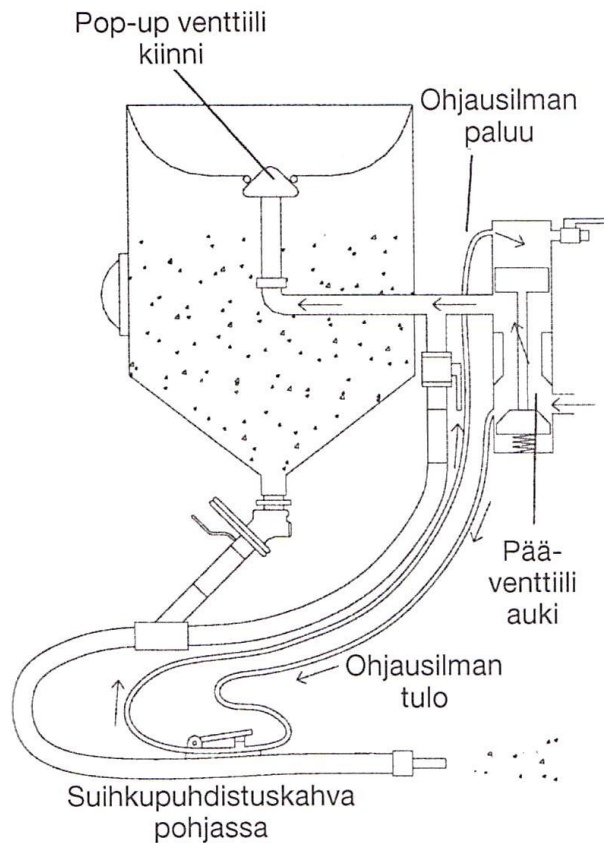
#### 4.3.1 Suihkupuhdistuskello

Suihkupuhdistuskello on painesäiliö, josta syötetään ilmavirran mukaan suihkupuhdistusraetta letkun kautta suuttimelle. Suihkupuhdistuskellon toimintaperiaate on seuraava: Suihkupuhdistusrae kaadetaan tai palautetaan palautuslaitteen avulla suihkupuhdistuskellon päällä olevaan avoimeen keräyssäiliöön. Kun suihkupuhdistuskello ei ole paineistettu, on sen ohjusventtiili kiinni ja pop-up-venttiili auki (kuva 8.). Tällöin puhdistusrae pääsee valumaan säiliöön. (3, s.64)



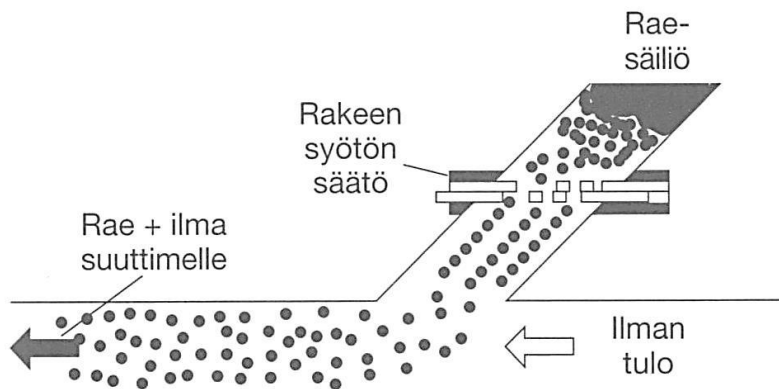
Kuva 8. Pop-up-venttiili auki (3, s.64)

Kun suihkupuhdistus aloitetaan, avautuu suihkupuhdistuskellon pääventtiili ja puhallusletkussa alkaa virrata ilmaa. Suihkupuhdistuskellon pop-up-venttiili sulkeutuu ja suihkupuhdistuskellon sisälle tulee painetta, joka työntää rautta ulos alaosassa olevan raeventtiin kautta suihkupuhdistusletkuun (kuva 9.). Raeventtiin kautta suihkupuhdistusletkuun (kuva 9.). Raeventtiili on aukoltaan säädettävä. Säädön avulla voidaan määrätä, miten paljon rautta kello syöttää ulos ilman mukaan. Rakeen syöttö säädetään sellaiseksi, että rakeelle saadaan mahdollisimman suuri nopeus kun se virtaa ilman mukana suihkupuhdistusletkua pitkin suihkupuhdistussuuttimelle (kuva 10.). Sopiva säätö saadaan aikaan kokeilemalla rakeen syötön vaikutusta puhdistuksen tehokkuuteen. (3, s.64)



Kuva 9. Pop-up-venttiili kiinni (3, s.65)

Pääventtiin avauduttua alkaa ilma virrata suihkupuhdistusletkuun. Raeventtiin kohdalla ilma ja rae sekoittuvat keskenään ja virtaavat letkua pitkin suihkupuhdistussuuttimelle. Suihkupuhdistuskelloa ei voida täyttää käytön aikana. Kun suihkupuhdistuskellon on tyhjentynyt rakeista, täytetään se uudella rakeella tai sen annetaan täyttyä palautusjärjestelmän avulla kellon päälle tuoduilla rakeilla. (3, s.65)



Kuva 10. Rakeensyöttö (3, s.65)

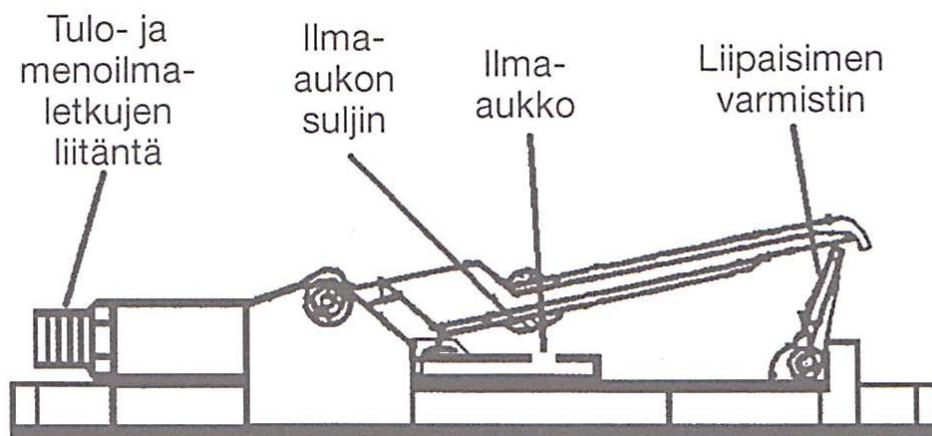
### Suihkupuhdistuskellon toiminnan ohjaus

Suihkupuhdistuskellon toimintaa ohjataan kytkemällä sen pääventtiili auki- tai kiinniasentoon. Kun pääventtiili on kiinni, ei suihkupuhdistus ole toiminnassa, ja tällöin suihkupuhdistuskello voi täyttyä. Kun pääventtiili on auki, on suihkupuhdistuskello paineellinen, pop-up-venttiili on kiinni ja ilma virtaa suihkupuhdistusletkua pitkin. (3, s.65)

Pääventtiiliä voidaan ohjata joko sähköisesti, pneumaattisesti paineilman avulla tai manuaalisesti paineilmaventtiiliä kääntämällä.

Sähköisessä ohjauksessa suihkupuhdistuskellon pääventtiiliä ohjataan johtimia pitkin välitettävän sähköisen signaalin avulla. Katkaisija on suihkupuhdistuskahvassa. Sähköisen ohjauksen etuna on hieman pneumaattista ohjausta nopeampi ja varmempi toiminta. (3, s.65)

Pneumaattisessa ohjauksessa suihkupuhdistuskahvassa on ilmaventtiili joka sulkeutuu kun kahva painetaan alas (kuva 11.). Tällöin ohjausletkun paine nousee ja paineen nousu saa pääventtiilin aukeamaan. Ilmaventtiilin kahvassa on varmistin joka estää käynnistyksen vahingossa. Jos letkusto jostain syystä putoaa kädestä puhalluksen aikana, ilmaventtiili aukeaa ja puhallus loppuu itsestään (ns. ”kalmankahva”). Vanhoissa laitteissa ohjaus voi olla toteutettu yhdellä letkulla. Puhalluskello voi silloin lähteä toimimaan itsestään, jos letku jää puristuksiin johonkin. Kahdella letkulla toteutetussa ohjauksessa ei tätä vaaraa ole. Pneumaattinen ohjaus on sähköistä hitaampi mikä johtuu paineen muutoksen viiveestä. (3, s.65)



Kuva 11. Pneumaattisen ohjauksen suihkupuhdistuskahva (3, s. 65)

#### Suihkupuhdistuskellon paineilman tarve

Rakeen nopeus on sen syötön kohdalla lähes nolla, joten siitä on kiihdytettävä suihkupuhdistusletkun matkalla suuren nopeuden aikaansaamiseksi. Suuri rakeen nopeus saadaan aikaan suurella ilmavirtauksella suihkupuhdistusletkussa. Ilman virtausnopeus taas riippuu suurimmaksi osaksi sen paineesta. Jotta paine saadaan pysymään korkeana, on ilman tuoton oltava suuri. Liian pienellä ilmantuotolla paine laskee suihkupuhdistusletkussa nopeasti. Tämän vuoksi suihkupuhdistuksessa käytettävältä kompressorilta vaaditaan suurta tuottoa ja korkeaa painetta. Kompressorin on pystyttävä tuottamaan niin paljon ilmaa, että paine ei laske alle 7 barin suihkupuhdistuksen aikana suihkupuhdistusletkun päässä. Kompressorin kokoluokka riippuu käytettävän letkun halkaisijasta, sekä letkujen pituudesta. (3, s.66)

#### 4.3.2 Tehokkuus

Suihkupuhdistusnopeuteen vaikuttavia tekijöitä on niin inhimillisiä kuin mekaanisiaakin. Suihkupuhdistuksen nopeuteen vaikuttavat poistettava materiaali, käytettävissä oleva laitteisto ja sen tehokkuus, käytettävissä oleva puhallusmateriaali ja suuttimet, sekä merkittävin yksittäinen tekijä suihkupuhdistuksen nopeuteen on työntekijän ammattitaito. Ammattitaito korostuu etenkin kun suihkupuhallettavat kohteet ovat pinta-alaltaan suuria tai kappaleet ovat muodoltaan hankalia.

### Poistettava materiaali

Tavallisimmin poistetaan metallipinnoilta ruostetta, valssihilsettä ja vanhoja maali- ja pinnoitekerroksia. Ruosteenpoiston nopeuteen vaikuttavat pinnan ruostumisaste ja vaadittava puhdistusaste. Täsmälleen oikeaa puhalluskulmaa ja -etäisyyttä on vaikea määrittellä, sillä tehokkain puhalluskulma ja etäisyys riippuvat käytettävästä puhallusraemateriaalista, vaaditusta puhdistusasteesta, puhallettavan kappaleen materiaalista- ja muodosta sekä siinä mahdollisesti olevasta pinnoitteesta. Kuvissa 15. ja 16. on kuvattu puhalluskulman- ja etäisyyden vaikutusta suihkupuhalluksen tehokkuuteen.

Rakeen iskeytyessä kappaleen pintaan, pinta lämpenee, mikä aiheuttaa ongelmia poistettaessa esimerkiksi paksuja massakerroksia, jotka lämmitessään muuttuvat elastisiksi ja hidastavat työskentelyä. Öljy ja rasva leviävät lämmitessään pinnalle, joten ne on poistettava ennen suihkupuhdistusta. (3, s.70)

### Työpaine suuttimessa

Tehokas suihkupuhdistus vaatii 7 barin paineen puhallussuuttimessa. Puhdistusnopeus laskee huomattavasti, jos paine alenee. 10 %:n paineenlasku alentaa työskentelynopeutta 15 %. Jotta paine pystytään pitämään suuttimessa riittävän suurena, tarvitaan tehokas kompressori tuottamaan riittävästi paineilmaa. Paineilman kulutus on riippuvainen suuttimen koosta. 11 mm:n suutin tarvitsee käytännössä 9 m<sup>3</sup>/minuutissa ilmaa tuottavan kompressorin. Letkut ja liittimet aiheuttavat painehäviöitä. Kompressorilta puhalluslaitteeseen tulevan letkun pitäisi olla mahdollisimman lyhyt ja suuri halkaisijaltaan. Puhallusletkun sisähalkaisijan tulee olla 3-4 -kertaa suurempi kuin suuttimen sisähalkaisija. Jotkin työt vaativat letkulta suurempaa taipuisuutta, jolloin voidaan käyttää normaalin työletkun jatkeena ohuempaa ns. viippaletkua. Ohuen letkun käyttö aiheuttaa painehäviöitä ja siten laskee työskentelynopeutta, joten sitä ei kannata käyttää turhaan. Turhan pitkiä letkuja ei myöskään kannata käyttää painehäviöiden vuoksi. Letkuliittimien on oltava letkun ulkopuolista tyyppiä, jotta rakeet pääsevät liikkumaan esteettä letkussa. (3, s.70)

### Suuttimen koko ja muoto

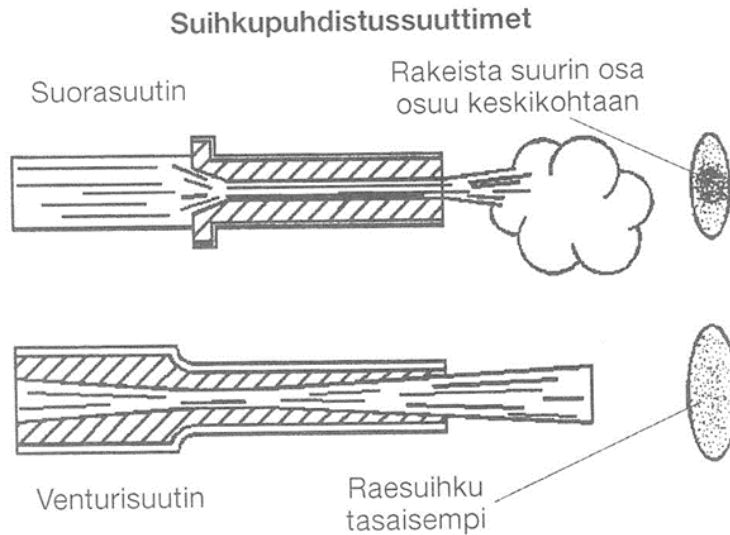
Suuttimen halkaisijalla on oleellinen vaikutus puhdistusnopeuteen, jos paineilmaa on saatavilla riittävästi. Taulukossa 3 selvitetään suuttimen koon vaikutusta puhdistustehokkuuteen.

Taulukko 3. Suutinkoon vaikutus puhalluksen tehokkuuteen. (3, s.70)

Suuttimen halkaisija (mm)	Puhdistusteho (%)
6,5	100
8,0	157
9,5	220
11,0	320
12,5	400

Käytännössä 14 mm:n suutin on käsipuhalluksessa suurin käyttökelpoinen koko. Sitä suuremmat suuttimet ovat käytössä liian raskaita niiden aiheuttaman rekyylivoiman takia. Suorareikäisiä suuttimia käytetään kun suuttimelta edellytetään pientä kokoa tai kun käytetään hauraita puhallusrakeita, kuten lasikuulia, jolloin rakeen nopeus pyritään pitämään mahdollisimman pienenä. Venturisuuttimessa puhallusrae saavuttaa yliäännopeuden ja suuttimen jälkeinen pyörteen muodostus on vähäinen. Raesuihkun jakautuma on tasainen (kuva 12.). Suuren nopeuden ansiosta rakeen iskuteho on suuri ja tehollinen puhallusalue on laaja. Venturisuuttimella saavutetaan 30 - 40 % suurempi puhallusnopeus kuin suorareikäisellä suuttimella. (3, s.70)

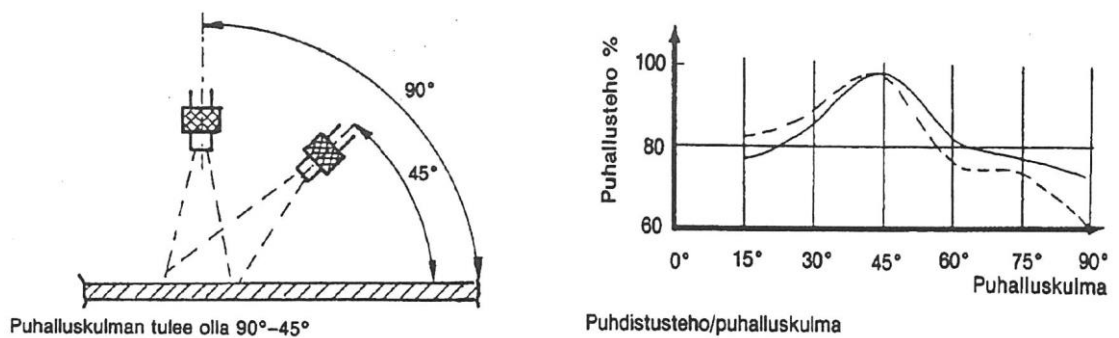




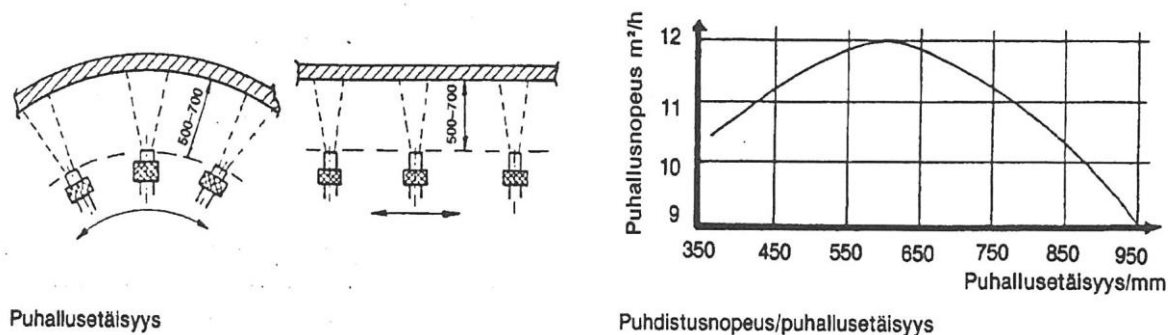
Kuva 12. Suora- ja venturisuutin (3, s.70)

### Puhalluskulma ja -etäisyys

Suihkupuhdistajan on etsittävä sopiva kulma ja etäisyys kokeilemalla. Paras puhdistusteho saavutetaan kulman ollessa 35 - 50° ja etäisyyden 55 - 75 cm poistettavan materiaalin ja rakeen laadusta riippuen (kuvat 13 ja 14). (2, s.45)



Kuva 13. Puhalluskulman vaikutus puhdistuksen tehokkuuteen (2, s.45)



Kuva 14. Puhallusetäisyyden vaikutus puhdistuksen tehokkuuteen (2, s.45)

#### 4.3.3 Suihkupuhdistus paikkamaalauksessa

Paikkamaalauksen ongelmat tulevat esille suihkupuhdistetun pinnan ja vanhan maalikalvon reuna-alueilla. Maalikalvo halkeilee ja rakeita tunkeutuu maalikalvon alle. Ruostunut tai vaurioitunut kohta suihkupuhdistetaan puhtaaksi. Vanhan maalikalvon reunat puhalletaan loiviksi käyttämällä matalaa puhalluskulmaa ja mahdollisimman pientä rautaa. Sopiva puhallusetäisyys on noin 90 - 120 cm. Ympäröivä ehyt maalikalvo karhennetaan pyyhkäisysuihkupuhdistuksella. (3, s.71)

#### 4.3.4 Pyyhkäisysuihkupuhdistus (Hiekkapesu)

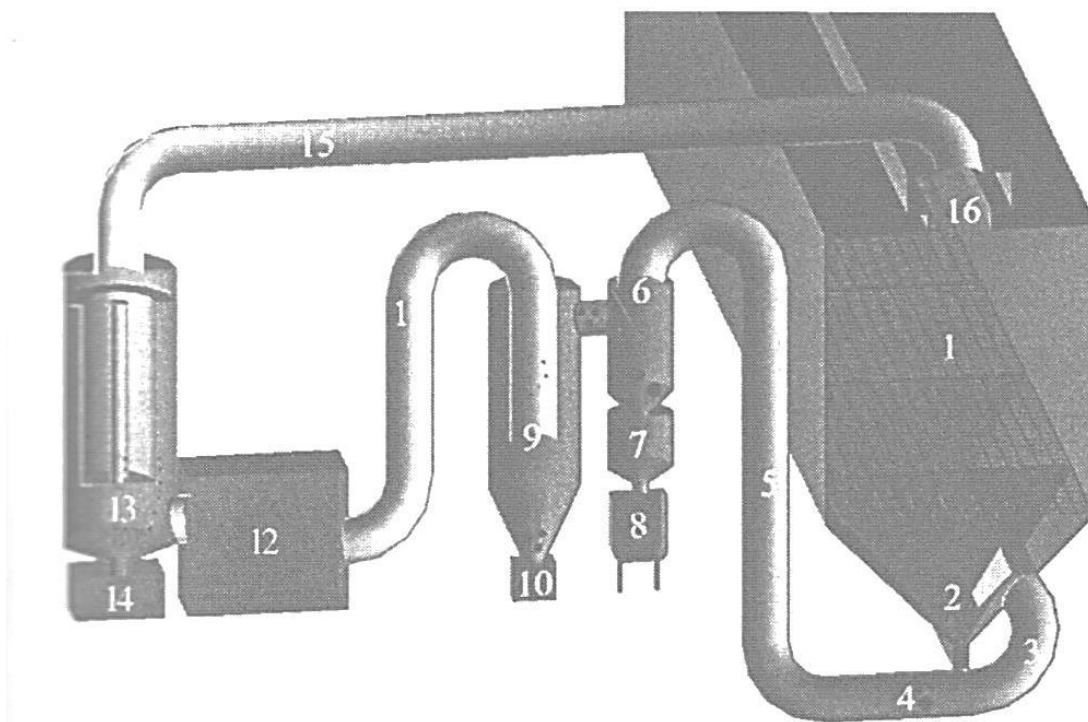
Kevyen suihkupuhdistuksen tavoitteena on puhdistaa tai karhentaa orgaaninen tai metallinen pinnoite tai poistaa pintakerros siten, että tavoite on hieman karhennettu, mutta ei vaurioitunut alustaan saakka. Menetelmää käytetään esimerkiksi sinkityillä pinnoilla ja vanhoilla, kovilla maalipinnoilla kun niitä ei haluta poistaa kokonaan. Tavallisesti kevyessä suihkupuhdistuksessa käytetään alhaista ilmanpainetta ja hienoa raekokoa. Pintavaatimukset on kevyessä suihkupuhdistuksessa sovittava osapuolten kesken. Pyyhkäisysuihkupuhdistuksesta käytetään lyhennettä SaS. (3, s.71)

#### 4.4 Puhallusmateriaalin kierrätys

Kun suihkupuhdistusmateriaalina käytetään kierrätettävää rautaa, on rae palautettava käytön jälkeen suihkupuhdistuskelloon. Samalla siitä on poistettava hienontunut rae, roskat ja pöly.

#### 4.4.1 Suihkupuhdistusrakeiden palautuslaitteet

Yleisin rakeen palautustapa on pneumaattinen kuljetus eli sen imeminen tehokkaalla imurilla. Koska rakeen imeminen vaatii erittäin suuria ilmamääriä eikä sen sisältämiä epäpuhtauksia voida päästää ulkoilmaan, kiertää sama ilma kokoajan järjestelmässä. Seuraavassa käsitellään kierrätyslaitteen osia ja niiden tehtäviä (kuva 15.):



Kuva 15. Suihkupuhdistusrakeen kierrätyslaitteisto. 1. Suihkupuhdistuskammio 2. Keräyssiiot 3. Ilmaputkisto 4. Alaimuputki 5. Imuputki ylöspäin 6. Rakeen erotussiilo 7. Kiertoan menevän rakeen siilo 8. Suihkupuhdistuskellon seula 9. Sykloni 10. Syklonin keräyssäiliö 11. Poistoputki syklonista imuriin 12. Imuri/puhallin 13. Pölynpoistolaite 14. Pölyn keräyssäiliö 15. ja 16. Ilman paluuputki puhalluskammioon. (3, s.67)

#### Keräyssiiot

Rakeet ja ruostepöly putoavat ritilälattian läpi siiloihin. Ritilöiden läpi ei saa päästä putoamaan suuria roskia, tai muita esineitä, jotka tukkisivat siilon pohjan tai siilon pohjassa olevat alaventtiilit. Venttiileistä voidaan säätää rakeiden putoamisnopeutta siilosta alaimuputkeen. Jos säätö on liian pienellä, tukkeutuu siilo helposti. Jos säätö on liian suurella, voi rakeen syöttö olla hetkellisesti liian nopeaa alaimuputkeen, jos suihkupuh-

distusta tehdään kokoajan yhden siilon päällä tai jos suihkupuhdistustilan seinien reunoilta palautetaan rakeita kiertoon. Liian nopea rakeen syöttö alaimuputkeen voi tukkia sen. (3, s.67)

#### Ilmaputkisto

Koska rakeen palautusjärjestelmä on kiertojärjestelmä, otetaan rakeen imemiseen käytettävä ilma suihkupuhdistuskammioista. Ilmaputkiin ei saa päästä raetta. Rakeen pääsy on estetty erillisellä ohjauslevyllä. (3, s.67)

#### Alaimuputki

Alaimuputkessa on oltava niin suuri ilmavirtaus, että se pystyy kiihdyttämään sinne tulevien rakeiden nopeuden suuremmaksi kuin mitä on rakeen vapaa putoamisnopeus. Tällöin se voi nousta ylös ilman mukana pystysuoraa putkea pitkin. (3, s.67)

#### Rakeen erotussiilo

Rae putoaa ylhäältäpäin ja törmää erotuslevvyyn, joka estää painavampia rakeita menemästä suoraan ilman poistoaukon kautta sykloniin. Erotussiilon toiminta perustuu sen suureen halkaisijaan, jolloin ilman virtausnopeus laskee alhaiseksi. Tällöin isokokoiset rakeet eivät nouse ilmavirran mukana poistoaukkoon. Kevyet rakeet, roskat ja pöly menevät poistoilman mukana edelleen sykloniin. (3, s.67)

#### Kiertoon menevän rakeen siilo

Suihkupuhdistukseen palautettava rae kerääntyy siilon. Siilon alapäässä on venttiili, joka voidaan tarvittaessa sulkea. Venttiili suljetaan silloin, kun halutaan puhdistaa kellon päällä oleva seula roskista. (3, s.68)

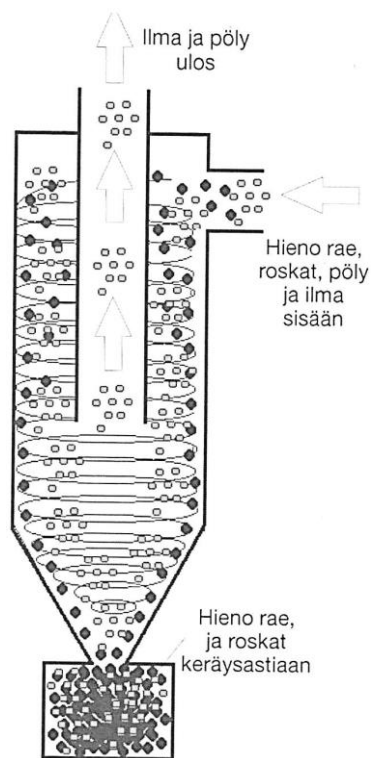
#### Suihkupuhdistuskellon seula

Seula estää roskien pääsyn suihkupuhdistuskellon sisään. Seula on puhdistettava roskista riittävin väliajoin. Jos seula on tukossa, se ei päästä rakeita kelloon ollenkaan tai sitten hyvin hitaasti. Puhdistustyö on aina helpompi tehdä ennakoivasti, koska tällöin

suihkupuhdistuskello voidaan tyhjentää suihkupuhdistamalla. Jos seula on kokonaan tukossa, joudutaan kellon päällä oleva keräyssäiliö tyhjentämään rakeista, ennen kuin seula saadaan puhdistettua. (3, s.68)

### Sykloni

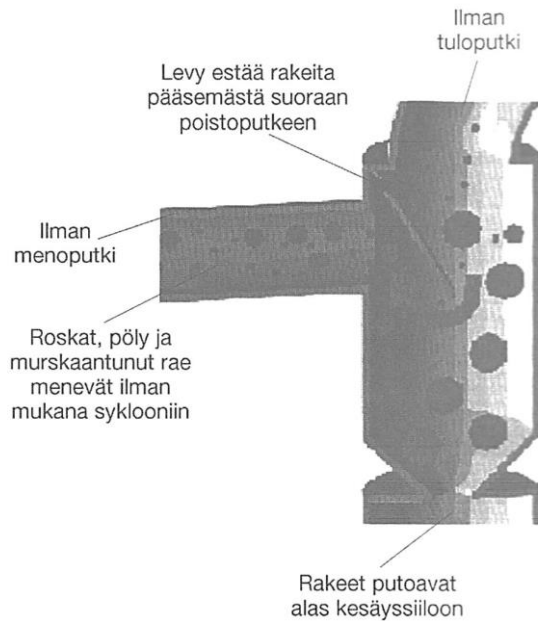
Rakeesta erotettu ilma, isot roskat ja pöly tulevat sykloniin. Sykloni on erotuslaite, jonka toimintaperiaate on seuraava: sykloniin tuleva ilma saadaan pyörivään liikkeeseen syklonin sisäpintaa pitkin tuloputken sijoituksen avulla. Pyörivän ilman mukana oleva kiinteä aine, kuten pilkkoutunut suihkupuhdistusrake, ja roskat alkavat kiertää syklonin reunoja pitkin koska niiden tiheys ja samalla keskipakovoima on ilmaa ja kevyttä pölyä suurempi. Rae ja roskat kiertävät syklonin reunoja pitkin päätyen syklonin alla olevaan keräyssäiliöön, josta ne voidaan ottaa talteen. Kevyt pöly menee syklonin jälkeen ilman mukana (kuva 16.). (3, s.68)



Kuva 16. Sykloni (3, s.68)

### Syklonin keräyssäiliö

Säiliö tyhjenetään kun se on täynnä. Täyttyminen voidaan todeta koputtamalla säiliön kylkeä (kuva 17.). (3, s.68)



Kuva 17. Suihkupuhdistusrakeen keräyssäiliö (3, s.67)

### Poistoputki syklonista imuriin

Putkessa virtaa ilma ja hieno pöly, jota sykloni ei ole erottanut ilmasta. (3, s.68)

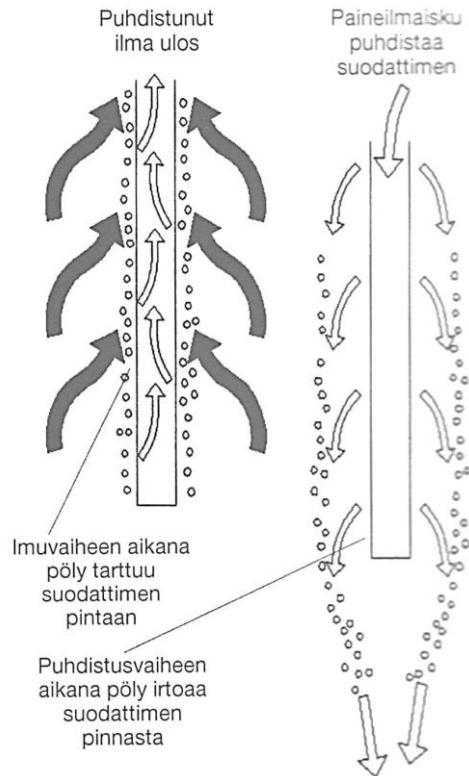
### Imuri/puhallin

Imuri imee syklonista tulevan ilman ja puhaltaa sen eteenpäin pölynpoistoon. Imuri voi olla laitteistossa myös pölynpoiston jälkeen. (3, s.68)

### Pölynpoistolaite

Pölynpoistolaitteen sisällä on runsaasti letkusuodattimia, joiden tehtävänä on erottaa ilmasta pöly. Letkusuodattimen läpi menevä pölytön ilma palautetaan suihkupuhdistustilaan. Jotta letkusuodattimet eivät menisi pölystä tukkoon, johdetaan niiden sisään määräjain ilman avulla paineisku, joka irrottaa suodattimen pinnalla olevaa pölyä ja pudot-

taa pölyn keräysastioihin. Suodattimia tarvitaan paljon, koska niiden yhteisen suodatuspinta-alan on oltava suuri. Liian pieni suodatuspinta-ala aiheuttaisi niin paljon vastusta ilmavirtaan, että imurin teho laskisi liian pieneksi (kuva 18.). (3, s.68)



Kuva 18. Pölynpoistolaite (3, s.69)

### Ilman paluuputki puhalluskammioon

Pölytön ilma palautuu suihkupuhdistuskammioon. Ilma on varsin lämmintä sillä sitä lämmittää sekä suihkupuhdistuksessa rakeiden törmäysten aiheuttama lämpeneminen (rakeen liike-energia muuttuu törmäyksessä lämpöenergiaksi) että itse imurin toiminta. Rakeiden ja ilman kitka lämmittää myös ilmaa. (3, s.68)

### Hienosuodattimet

Palautusilma puhdistetaan vielä hienosuodattimilla, ennen kuin se johdetaan takaisin suihkupuhdistuskammioon. (3, s.69)

## 4.5 Puhallusmateriaalit

Kuivassa suihkupuhdistuksessa voidaan käyttää vain raskaita hiovia aineita teräskappaleiden esikäsitelyssä maalausta varten. Kevyemmät hiovat materiaalit kuten, aprikoosin siemenet, muovi partikkelit, lasikuulat tai partikkelit ja pähkinän kuoret ovat soveltumattomia järeille teräsrakenteille. Niiden matalan tiheyden takia ne eivät pysty välittämään tarpeeksi kineettistä energiaa työstettävään kappaleeseen, jotta siitä olisi hyötyä puhdistuksen kannalta. Taloudellisesti kannattavasti hiovan materiaalin pitäisi olla:

- Suuri tiheys, jotta se pystyy välittämään merkittävän määrän kineettistä energiaa alustaan
- Sopiva kovuus, jotta kova hiova partikkeli ei hajoa pölyksi tai pehmeämpi partikkeli muokkautu plastisesti (kineettisen energian hukka) iskeytyessä alustaan
- Edullinen
- Saatavissa suurissa erissä
- Terveydelle mahdollisimman haitaton (1, s.68–69)

### 4.5.1 Metalliset puhallusmateriaalit

Metallisia suihkupuhallusaineita aloitettiin käyttämään puhallushiekan tilalla jo 1900-luvun alkuvuosikymmenillä. Niiden käyttö yleistyi nopeasti metalliteollisuudessa. Ne eivät olleet voimakkaasti pölyäviä, mutta olivat huomattavasti tehokkaampia verrattuna perinteiseen hiekkapuhallukseen. Yhdellä tonnilla valurautarakeita voitiin puhaltaa saman verran kuin 40 – 50 tonnilla hiekkaa. Metallisten raeaineiden käyttöönottoa vauhdittivat 1930-luvulla voimaan tulleet sisätiloissa tehtävän hiekkapuhalluksen kieltäminen ja sinkopuhalluksen käyttöönotto, jossa puhallusaineet kierrätettiin ja näin pystyttiin käyttämään kalliimpia materiaaleja. (5, s.35)

Metalliset raeaineet valmistetaan sulattamalla rautaa tai terästä. Sulatuksen jälkeen sula-aines ohjataan kouruihin, jonka päässä on vesisuihku. Tämä jäähdyttää sulan aineksen nopeasti pieniksi rakeiksi, jotka tippuvat alla olevaan vedellä täytettyyn altaaseen erottelua varten. (5, s.32)



Metallisia puhallusaineita voidaan kierrättää jopa 200 kertaa. Niiden tiheys on 1½ - 2½ kertaa suurempi kuin muilla puhallusaineilla, mikä nopeuttaa ja parantaa raesuihkupuhdistuksen tehokkuutta. (5, s.35)

Erikovuisia ja -kokoisia rakeita on olemassa laaja valikoima perinteisten murskeen ja kuulien lisäksi. Metallisilla puhallusrakeilla puhallettaessa ei muodostu näkyvyyttä haittaavaa pölyä.

Metallisilla puhallusaineilla puhallettaessa on tärkeää tietää oikea rakeiden sekoitussuhde, jotta pinta ei tule liian karkeaksi eikä sileäksi. Oikea suhde parantaa laatua ja säästää kustannuksia. Sekoitussuhteen valintaan vaikuttavat rakeen omat ominaisuudet, alustan materiaali, työskentelykulma, suihkun paine-, ja haluttu puhdistusaste. Karkeampia puhallusaineita joudutaan lisäämään enemmän, jotta raekokojakaantuma säilyisi sopivana. Metalliset raeaineet eivät myöskään aiheuta pinnan kontaminoitumista puhallusainejäämistä.

#### Valurautarakeet

Valurautarakeet ovat yleisin puhallusaine avopuhalluksessa, jos rakeet voidaan kierrättää. Niitä käytetään uudelleen jopa 50 kertaa. Valurautarakeet eivät sovellu sinkopuhallukseen, koska ne kuluttavat voimakkaasti laitteistoa. (9, s.86)

#### Lankakatko

Lankakatkot valmistetaan kylmävedetystä teräslangasta. Lankakatkoa käytetään sinkolaitteistoissa, koska sen käyttöikä on suurempi kuin teräskuulien. Niiden huonona puoleena voidaan pitää sitä, että lankakatkot kuluttavat sinkolaitteistoa enemmän kuin teräskuulat.

#### Teräskuulat

Teräskuulia, eli pyöreää teräsraetta käytetään lähinnä sinkolaitteistoissa. Niitä on kahta eri hiilipitoisuutta: 0,9 % ja 0,2 %. (11, s.7) Valurautarakeisiin verrattuna ne ovat huomattavasti kestävämpiä. Teräskuulan puhdistusteho kovilla materiaaleilla ja vanhojen kovien pinnoitteiden irrottamisessa on suurempi kuin särmikkäällä teräsrakeella. Teräskuulien muodostama pintaprofiili on tasaisempi kuin teräsrakeella puhallettu pinta. Tällöin maalin

kulutus on pienempi, mutta riippuen käytettävästä pinnoitteesta tarttuvuus on yleensä huonompi. Teräskuulien sisältämä grafiittinen hiili aiheuttaa pinnan kontaminoitumista.

### Teräsmurske

Teräsmurske eli särmikäsrakeinen teräshiekka on valmistettu murskaamalla teräskuulia. Laitteiden kuluminen on huomattavasti suurempaa kuin teräskuulia käytettäessä.

#### 4.5.2 Ei-metalliset puhallusmateriaalit

Ei-metalliset puhallusaineet jaetaan kolmeen luokkaan: luonnossa esiintyviin, tuotannon sivutuotteisiin ja valmistettuihin tuotteisiin.

### Luonnossa esiintyvät puhallusmateriaalit

Luonnossa esiintyvät hiekat ja kivet ovat eniten käytettyjä puhallusmateriaaleja. Hiekkaa on käytetty suihkupuhalluksessa siitä lähtien kun menetelmä kehitettiin. Tästä on myös tarttunut hiekkapuhallus -sana kansankieleen, jolla tarkoitetaan raesuihkupuhallusta, vaikka hiekkaa ei käytettäisikään puhallusmateriaalina kyseisessä työssä. Hiekkarakeiden muoto vaihtelee suuresti, eikä niitä voi muotoilla samalla tavalla kuin metallisia raeaineita. Puhallettaessa uutta teräspintaa se on kuitenkin tehokas materiaali. Yhteistä kaikille luonnonmateriaaleille on runsas pölynmuodostus, jonka vuoksi kvartsihiekan käyttö on kielletty Euroopassa. Hiekalla puhdistetaan enää isoja teräsrakenteita, koska sen tilalle on tullut uusia vähemmän pölyäviä raemateriaaleja. (5, s.45)

Silikaatteja sisältämättömiä hiekoja on mm. oliviinihiekkä, joka on kertakäyttöinen, halpa ja pölyävä puhallusaine, joka on kehitetty nimenomaan korvaamaan kvartsihiekkää. Granaattia, joka on kova ja kallis teräksen erikoispuhallukseen käytettävä materiaali, pystytään kierrättämään useita kertoja. Zirkoniumoksidi on toinen kova ja kallis erikoistuote. Rakeena se on erittäin pienihalkaisijaista, mikä rajoittaa sen käyttöä vain erityiskohteisiin.

Osa silikaatteja sisältämättömistä hiekoista sopii myös suihkupuhdistukseen. Niitä kutsutaan yhteisnimellä raskaat mineraaliset hiekat. Mineraalihiekkoihin kuuluvat staurolitti

ja magnetiitti ovat kovia ja tiheitä, mutta rakeeltaan hienompia kuin silikaattihiekat. Uuden teräspinnan puhaltamiseen raskaat mineraaliset hiekat ovat tehokkaita, mutta niiden hinta rajoittaa käyttöä. (6, s.66)

#### Tuotannon sivutuotteena syntyneet puhallusmateriaalit

Tuotannon sivutuotteiden käyttö kasvaa teräksen suihkupuhalluksessa nopeimmin niiden suhteellisen halvan hinnan sekä silikaattien vähäisen pitoisuuden ansiosta. Ne soveltuvat niin uusien kuin vanhojen pintojen puhallusmateriaaleiksi. Metallien tuotantolaitoksista, erilaisista voimalaitoksista ja maataloudesta syntyy sivutuotteina käyttökelpoisia puhallusaineita, joiden hinta muodostuu lähinnä kuljetus- ja jätekustannuksista. (5, s.45)

Nämä puhallusmateriaalit ovat tuotannon ylijäämiä, joita muodostuu malmin sulattamisen tai voimalaitoksilla hiilen polttamisen yhteydessä masuunissa. Osa sulatuksessa ja höyrykattiloissa muodostuvista jäännösmetalleista ovat lasimaisia, homogeenisiä sekoituksia erilaisia oksideita joilla on hyvät fysikaaliset ominaisuudet suihkupuhallusmateriaaleiksi. Kuitenkaan kaikilla sivutuotteena muodostuvilla jäännösmateriaaleilla ei ole soveltuvia fysikaalisia ominaisuuksia ja myrkyttömyyttä, jota suihkupuhallusmateriaalilta edellytetään. (1, s.70)

Hiili-, kupari- ja nikkeli-kuonat ovat soveltuvimpia ja eniten käytettyjä tämän tyyppisistä suihkupuhdistusmateriaaleista. Kaikki kolme materiaalia ovat muodoltaan särmiikkäitä ja ovat kovuudeltaan luokka 7 - 8 Mohsia ja tiheydeltään  $2,7 - 3,3 \text{ g/cm}^3$ , tämä yhdistelmä tekee niistä tehokkaita suihkupuhdistuksessa. Lisäksi ne sisältävät erittäin vähän vapaata kvartssia, alle 1 %. (1, s.70)

Maataloudessa syntyneistä ylijäämätuotteista sopivat saksanpähkinän ja maissin kuoret puhallusmateriaaleiksi. Ne ovat kovia, mutta kevyitä ja soveltuvat pinnan epäpuhtauksien puhdistamiseen ilman, että pohja tai maali vaurioituu. (10, s.89)

### Valmistetut puhallusmateriaalit

Aikaisemmin mainitut teräsrakeet ja kuulat ovat luonnollisesti myös tehdasvalmistettuja, mutta tässä tapauksessa valmistetuilla suihkupuhdistusmateriaaleilla tarkoitetaan puhallusmateriaaleja jotka ovat varta vasten räätälöityjä ominaisuuksiensa kuten kovuuden, lujuuden ja muodon suhteen suihkupuhdistusta varten. Näiden puhallusaineiden fysikaaliset ominaisuudet valmistetaan vastaamaan tiettyä puhdistuskohteen erityisvaatimuksia. Niiden hinta on 10 – 15 kertaa kuonia ja yli 40 kertaa hiekkaa kalliimpia. Tämän vuoksi niitä ei käytetä tavallisissa puhdistuskohteissa. Valmistettuihin puhallusaineisiin kuuluvat alumiinioksidi, piikarbidi ja lasikuulat. Alumiinioksidi on tavallisista puhallusaineista kovin, ja sillä voidaan puhdistaa jopa karkaistua terästä. Lasikuulia käytetään pienien ja herkkien esineiden esimerkiksi alumiinipintojen puhdistukseen. (5, s.46)

Valmistettuja suihkupuhdistusmateriaaleja käytetään niiden erinomaisten mekaanisten ominaisuuksien takia ja niiden mahdollisuutta kierrättää uudelleen useita kertoja. Suljetuissa systeemeissä, jossa kierrätys on suunniteltu toimivaksi, nämä materiaalit ovat ekologisesti ja etenkin taloudellisesti kannattavia. Lisäksi näitä materiaaleja on mahdollista käyttää vanhojen maalien poistossa jotka sisältävät lyijyä, kadmiumia tai kromia. Kun suihkupuhdistusmateriaali saastuu näiden myrkyllisten maalien puhdistuksessa, ne on mahdollista puhdistaa ennen seuraavaa käyttökertaa. Jos kierrätysmaksut ovat suuret, puhdistusmateriaali, joka muodostaa erittäin vähän jätettä, kierrätettävyytensä ansiosta, herättää kiinnostusta. (1, s.72)

Piikarbidi on tiheä ja erittäin kova ja särmikäs materiaali (tiheys  $3,2 \text{ g/cm}^3$  ja kovuus 9 Mohs). Se takaa nopean leikkautumisen ja muodostaa karkean pintaprofiilin. Sitä voidaan käyttää erittäin kovien pintojen puhdistukseen. (1, s.72)

Alumiinioksidi on tiheä ja kova särmikäs puhallusmateriaali (tiheys  $4,0 \text{ g/cm}^3$  ja kovuus 8,5 - 9 Mohs). Se takaa nopean leikkautumisen ja muodostaa karkean pintaprofiilin johon tulevalla pinnoitteella on mahdollisuudet tarttua erittäin lujasti. Alumiinioksidi muodostaa erittäin vähän pölyä ja se voidaan kierrättää, mikä on edellytys suhteellisen korkean hinnan takia. Alumiinioksidi ja piikarbidi eivät sisällä vapaata piitä. (1, s.72)

### 4.5.3 Puhdistusrakeen valinta

Puhallusraemateriaalilla voidaan vaikuttaa kappaleen profiiliin, puhdistusasteeseen ja pinnan karheuteen. On tärkeää tietää, mitä puhallusainetta tulee käyttää puhdistettavaan kappaleeseen. Rakeen muodon, kovuuden ja materiaalin tulisi ratkaista valittava puhdistusmateriaali. Rakeen hinta ja kulutus määrittelevät kuitenkin usein puhallusmateriaalin valinnan. Puhallusrakeet jaotellaan metallisiin ja ei-metallisiin sekä pyöreisiin, särmikkäisiin ja sylinterimäisiin.

#### Kovuus

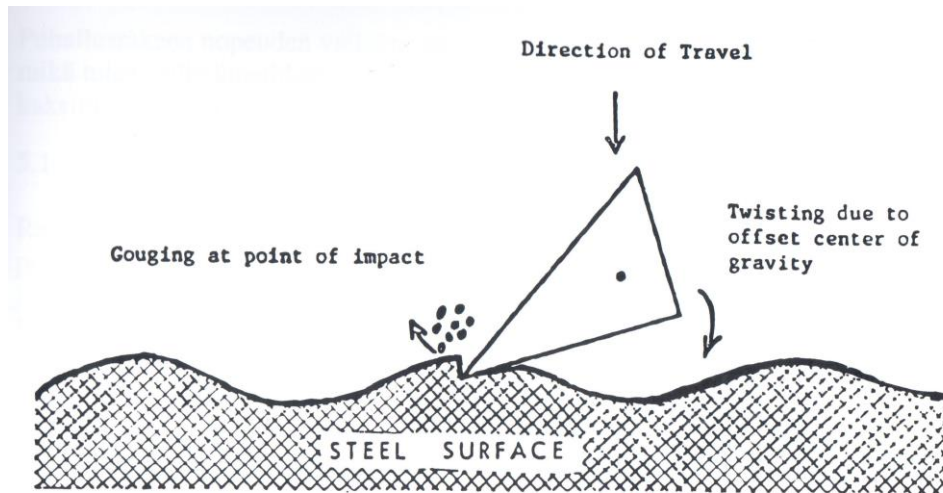
Suihkupuhdistuksessa rakeen liike-energia kuluu epäpuhtauksien irrottamiseen pinnalta ja pinnan profiilin muodostamiseen ja osa liike-energiasta menee hukkaan rakeiden muodonmuutoksiin. Rakeet voivat pirstoutua kokonaan (hiekkä ja kuona), pyöristyä (teräsrakeet) tai muuttua särmikkäiksi. Mitä kovempia rakeet ovat, sitä suurempi osa energiasta saadaan hyödynnettyä. Teräslankakatkojen kovuus kasvaa käytössä.

Kovien puhallusrakeiden tärkein tehtävä on poistaa kappaleen pinnalta epäpuhtauksia, vanhoja pinnoitteita ja metallin valmistusprosessissa syntyviä sivutuotteita kuten esimerkiksi valssihilsettä. Kiillotukseen ja lian poistoon sopivat pehmeät raemateriaalit. (8, s.36)

#### Muoto

Kulmikkaat rakeet sopivat parhaiten pehmeän pintamateriaalin kuten maalin, ruosteen ja lian poistamiseen. Pintaprofiili terävsärmäisillä rakeilla on karkea niiden kalvavasta ja leikkaavasta vaikutuksesta johtuen (kuva 19.). Pyöreillä rakeilla sen sijaan poistetaan kovien pintojen epäpuhtauksia kuten valssihilsettä. Pintaprofiili on pyöreäsärmäisillä rakeilla yleensä tasaisempi kuin terävsärmäisillä. (6, s.66)

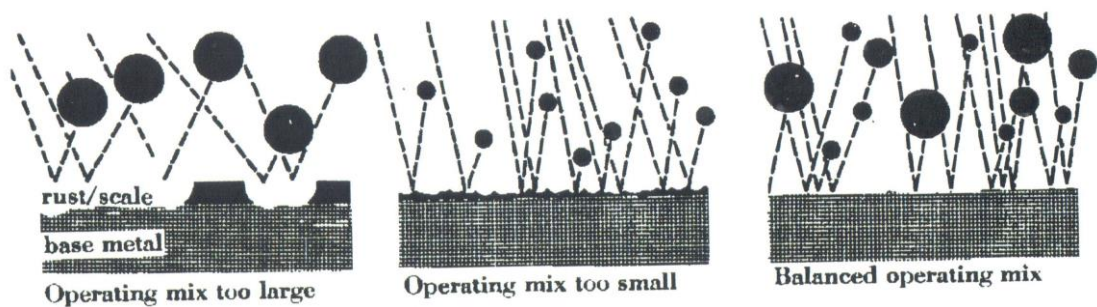
Käytännössä jos suihkupuhdistusjärjestelmässä pääasiallisesti käytetään särmikkäitä rakeita, ei niitä käytännön syistä vaihdeta pyöreisiin rakeisiin, ellei kyseessä ole suuremman mittakaavan puhdistustyö. Rakeiden vaihtaminen aiheuttaa suuren kuluerän sekä rakeidenkierrätysjärjestelmän uudelleen säädön. Kaikissa järjestelmissä ei välttämättä ole mahdollista käyttää pyöreitä rakeita riippuen kierrätysjärjestelmän kierrätystavasta ja järjestelmässä käytetyistä komponenteista.



Kuva 19. Särmikkään puhallusrakeen isku teräksen pintaan. (5, s.49)

### Koko

Puhallusraeaineen kokojakauman on oltava sopiva, jotta saavutetaan tehokas puhdistus. Isoilla rakeilla on suurempi kineettinen energia, jolloin ne ovat tehokkaampia irrottamaan vanhaa maalia tai pinnoitetta, sekä oikean pintaprofiilin aikaansaamiseksi. Isoilla rakeilla ei kuitenkaan saavuteta riittävää iskeytymien tiheyttä työnopeuden kärsimättä. Tästä syystä raeaineen tulee sisältää riittävä määrä hienompaa ainesta (kuva 20.). Paras lopputulos saadaan aikaan sekoittamalla oikea määrä isoja ja pieniä rakeita sekä huolehtimalla puhalluksen aikana, ettei puhallusaineen kokojakauma pienene liikaa. (6, s.66)



Kuva 20. Puhallusaineen kokojakauman vaikutus puhallettavaan pintaan. (7, s.8)

### Tiheys

Raeaineen tiheys ratkaisee työtehokkuuden. Mitä suurempi on materiaalin tiheys, sitä tehokkaampi puhdistusvaikutus on. Tehokkuuden voi laskea mekaniikan kinetiikan energian peruskaavalla. Käytännössä puhallusrakeen nopeuden vaikutus on rakeen massaakin merkittävämpi, mikä tulee esille edellä mainitusta kinetiikan energian kaavasta. Nopeuden kaksinkertaistuminen nelinkertaistaa kineettisen energian määrän. (5, s.35)

### Rakeiden määrä

Rakeiden määrää säädetään venttiilistä. Paineilma kytketään päälle ja raeventtiiliä avataan kunnes puhdistusnopeus ei enää kasva. Teho pienenee, jos puhallusaineen määrä kasvaa liikaa. Ohjearvona raesyötössä voidaan pitää 1 litraa rakeita ilmaukuutiometriä kohden. Esimerkiksi kun käytetään 11 mm:n suutinta, täyden (200 litraa) puhalluslaitteen rakeet puhalletaan loppuun 20 minuutissa. (3, s.71)

## 4.6 Erityyppisten teollisuusmetallien suihkupuhdistus

### Kylmävalssattu teräs

Kylmävalssattu teräs on yleensä suojattu öljyllä, joka poistetaan kemiallisilla menetelmillä. Mekaanisia menetelmiä tarvitaan yleensä silloin, kun pintaan on tullut ruostetta varastoinnin aikana. Kylmävalssattu teräs on yleensä ohutta materiaalia, jolle suihkupuhdistus ei ole sopiva puhdistusmenetelmä. Yleensä metallin pinta ei ole kauttaaltaan ruosteessa, vaan siitä pitää poistaa vähäisiä ruostemääriä. (3, s.60)

### Kuumavalssattu teräs

Kuumavalssatun teräksen pinnalla oleva valssihilse on poistettava ennen maalausta. Valssihilsettä ei voida poistaa pesumenetelmällä eikä teräsharjauksella, joten yleensä se poistetaan suihkupuhdistuksella. (3, s.60)

### Sinkitty teräs

Maalin tartuntaa sinkittyyn teräkseen voidaan parantaa suihkupuhdistamalla sen pintaa kevyesti pyyhkäisysuihkupuhdistuksella eli ns. hiekkapesulla. Liian voimakas suihkupuhdistus kuluttaa sinkkikerroksen pois. Sopivia suihkupuhdistusmateriaaleja ovat luonnonhiekkä, alumiinioksidi, silikaatit ja kuonat. Teräs- tai valurautarakeita ei voida käyttää, koska niistä jää pintaan rautaa, joka ruostuu ja vaurioittaa suojaavaa pintakerrosta. (3, s.60)

### Ruostumaton teräs

Ruostumattoman teräksen suihkupuhdistuksessa voidaan käyttää lasikuulia, luonnonhiekkää, alumiinioksidia tai ruostumatonta teräsraetta. Teräs- tai valurautarakeita ei voida käyttää samasta syystä kuin sinkattujen teräskappaleiden kanssa. (3, s.60)

### Alumiini

Alumiinin ja muiden kevytmetallien esikäsittelyyn ei yleensä suositella suihkupuhdistusta. Kevytmetallit ovat hyvin herkkiä muodonmuutoksille, ja pintaan takertuneet vieraat aineet haittaavat suojaavan oksidikerroksen syntymistä. Suihkupuhdistusta käytetään lähinnä valetuille alumiini- tai alumiiniseoskappaleille. Puhallusmateriaalina käytetään esimerkiksi lasihelmiä tai luonnonhiekkää. Monet alumiiniseokset ovat erittäin herkkiä muodonmuutoksille, joten niitä on suihkupuhdistettava varoen. (3, s.60)



## 5 Koesuunnitelma

Tämän päättötyön kokeellisena osana tutkitaan eri suihkupuhallusrakeiden ja suuttimien vaikutusta suihkupuhdistuksen tehokkuuteen. Tutkimuksella haluttiin saada lisätietoa voidaanko suihkupuhallusrakeen ja tietyn suuttimen valinnalla parantaa suihkupuhdistuksen tehokkuutta ja sitä kautta laskettua kustannuksia. Mahdollisella rakeiden kulutuksen pienentymisellä, pidemmän kierrätettävyyden syklin takia, ja halvemmän raemateriaalin käytöllä voidaan kustannuksia saada pienennettyä entisestään. Kaikki tutkimuksen kokeet on suoritettu Finnish Steel Paintingin Porvoon toimipisteessä.

Raesuihkupuhdistuksen puhdistusnopeus syntyy monen eri tekijän summasta. Jotta eri tekijöiden vaikutuksia voitaisiin vertailla, osa tekijöistä vakioitiin, jotta ne eivät sekoittuisi tutkittaviin muuttujiin.

Koesuunnitelman suunnittelumuuttujiksi valittiin suuttimen koko ja raetyyppi, jotka ovat molemmat tyypiltään kvalitatiivisia muuttujia. Suunnittelumuuttujat ovat kiinteitä ja ristikkäisiä, sillä samaa suutinta käytetään kaikille raetyypeille. Raetyypit katsotaan kiinteiksi tekijöiksi, koska työssä verrataan raetyyppejä eikä rae-erien välistä vaihtelua. Puhdistukseen kuluva aika on koesuunnittelun vastemuuttuja.

Suunnittelumuuttujien kvalitatiivisen luonteen vuoksi koesuunnitelmaksi valitaan faktoriaalinen koesuunnitelma. Koesuunnitelman tavoitteena on selvittää, vaikuttavatko käytetty suihkupuhdistusrae, suutin tai niiden yhdysvaikutus puhdistuksen nopeuteen.

Hypoteesit:

- $H_0$ : tekijän 1 (suutin) tasojen välillä ei ole eroja
- $H_0'$ : tekijän 2 (raetyyppi) tasojen välillä ei ole eroja
- $H_{00}$ : tekijän 1 (suutin) ja 2 (raetyyppi) välillä ei ole yhdysvaikutusta
- $H_1$ : Ainakin yksi tekijän 1 taso poikkeaa muista
- $H_1'$ : Ainakin yksi tekijän 2 taso poikkeaa muista

Kokeissa tutkittiin kahden eri muuttujan vaikutuksia. Tämän takia kokeet tehtiin kummankin muuttujan kaikilla tasokombinaatioilla. Kombinaatioiden lukumäärä saatiin selville tuloperiaatteella.

## 6 Koemateriaalit ja kokeiden suoritus

Jotta pintojen puhdistukseen kuluva aikaa saatettiin verrata, puhdistettavat levyt olivat pinta-alaltaan, materiaailtaan ja ruostumisasteeltaan toisiaan vastaavat. Testikappaleina käytettiin 350 x 450 x 2 mm kokoisia kuumavalssattuja teräslevyjä, joita ruostutettiin ennen suihkupuhdistusta kuuden viikon ajan ulkoilmassa. Kuuden viikon kuluttua kaikki koekappaleet olivat saavuttaneet standardissa SFS-EN ISO 8501-1 ruostumisasteen B. Ruostumisaste määriteltiin vertaamalla koekappaleita standardissa oleviin esimerkkivalokuviin ja sanalliseen kuvaukseen.

Suihkupuhdistuksessa tehokas puhalluskulma voi vaihdella 30 asteesta 55 asteeseen. Alan kirjallisuuden perusteella suihkupuhdistuksen puhallusteho on suurimmillaan 45 asteen puhdistuskulmassa. Tämän ja esikokeissa saatujen tulosten perusteella kokeissa päädyttiin käyttämään mahdollisimman tarkasti 45 asteen puhdistuskulmaa. Keskimääräinen suutinetäisyys puhdistettavasta pinnasta on tehokkailla suihkupuhdistuslaitteilla 500 - 700 mm. Kokeissa etäisyys suihkupuhallussuuttimen ja koelevyn välillä pyrittiin pitämään 600 mm:ssä, kirjallisuuden mukaan puhdistusnopeus saadaan maksimoitua tällä etäisyydellä. Etäisyys todettiin sopivaksi myös puhdistusta edeltäneissä esikokeissa. Jotta suihkupuhdistaja ei vaikuttaisi puhdistukseen, sama henkilö on puhaltanut kaikki levyt.

Suihkupuhallukset suoritettiin Clemconin 200 litran suihkupuhdistuskellolla, joka oli kytketty 8 barin paineilma-verkkoon. Suihkupuhdistuskellosta puhallushalliin tuleva suihkupuhdistusletku oli 7 metriä pitkä ja sisähalkaisijaltaan 1 1/4 tuumaa. Valitut raepuhallusmateriaalit olivat rae-kooltaan toisiaan vastaavia, jolloin suihkupuhdistuskellon rakeen syöttö voitiin pitää kaikkien kokeiden ajan vakiona.

FSP Oy:n Porvoon toimipiste käyttää tällä hetkellä raesuihkupuhdistamiseen HG40-teräsraetta ja suutinta numero 7. Kokeet päätettiin toteuttaa nykyisten tasojen lisäksi kahdella muulla tasolla: suuttimena käytettiin numeron 7 lisäksi suuttimia 6 ja 8. Puhdistusraetyypeinä HG40-teräsrakeen lisäksi raeyhdistelmiä HG40 (teräsrae) + S230 (teräskuula), HG40 + G17 (valurautamurske), M60 (alumiinioksidi) + G17 ja M60 + S230. HG40-raetta on pidetty suihkupuhdistuksessa hyvänä ja tehokkaana perusrakeena masansa, kokonsa ja särmikkyytensä takia. Muiden puhdistusrakeiden yhdistelmien tehokkuudesta yrityksellä ei ole aikaisempaa kokemusta, mutta niitä päätettiin kokeilla alan kirjallisuudessa olleiden viitteiden perusteella.

Testin tarkoituksena on selvittää, miten suihkupuhdistuksen tehokkuus muuttuu suhteessa HG40-suihkupuhdistusrakeella saatuihin tuloksiin ja olisiko yrityksellä kannattavaa vaihtaa HG40 rae johonkin raeyhdistelmään kustannuksien pienentämiseksi tehokkuutta uhraamatta. Sekoittamalla valittuja suihkupuhdistusrakeita, pitäisi saada sellaisia yhdistelmiä joita voidaan kierrättää useampia kertoja kuin tällä hetkellä käytössä olevaa HG40-teräsraetta.

Tästä eteenpäin suihkupuhdistusraetyyppejä käsitellään numeroilla 1, 2, 3, 4 ja 5 joiden määritykset ja sekoitussuhteet on esitetty taulukossa 3. Sekoitussuhteet on valittu rakeiden jälleenmyyjän ehdotusten ja kirjallisuudesta löytyvien tietojen perusteella.

Taulukko 4. Kokeissa käytetyt suihkupuhdistusraetyypit ja numerointi.

<b>Raetyyppi ja sekoitussuhde</b>	<b>Numero</b>
HG40 (teräsrae)	1
70 % HG40 (teräsrae) + 30 % S230 (teräskuula)	2
70 % HG40 (teräsrae) + 30 % G17 (valurautamurske)	3
70 % G17 (valurautamurske) + 30 % M60 (alumiinioksidi)	4
70 % M60 (alumiinioksidi) + 30 % S230 (teräskuula)	5

Kombinaatioiden lukumääräksi saadaan 3 (suuttimet) x 5 (puhdistusrakeet) = 15.

Kokeet päätettiin toistaa kaikilla kombinaatioilla koevirheen selvittämiseksi, jotta tuloksia voidaan pitää vertailukelpoisina. Jokaisella rae- ja suutin yhdistelmällä puhallettiin kolme koelevyä, jolloin kokeiden kokonaismääräksi tuli 45. Koesuunnitelman tilastollinen riippuvuus on varmistettu satunnaistamisen avulla.

Jotta puhdistusajankohta ja ympäristön olosuhteiden vaikutus puhdistustulokseen saataisiin minimoitua, kaikki kokeet on suoritettu saman päivän aikana, minkä takia koesuunnitelmassa ei ole tarvittu lohkotusta.

Varsinaisissa kokeissa yksi henkilö on suihkupuhaltanut ja toinen on mitannut puhdistamiseen kuluvaan aikaa ja huolehtinut, että puhalluskulma ja etäisyys pysyivät mahdollisimman vakiona. Ajanotto on käynnistynyt puhdistuksen alkaessa ja päättynyt, kun tavoiteltu puhtausaste Sa 2½ on saavutettu levyn pintaan.

Suihkupuhdistusrakeen vaihto vaatii koko puhdistuslaitteiston tyhjentämistä ja satunnaistamisen edellyttämä, lähes jokaisen levyn välillä tehtävä rakeiden vaihto olisi nostanut rakeiden kulutusta, koekustannuksia ja kokeen pituutta merkittävästi. Tämän takia samalla suihkupuhdistusrakeella puhdistettiin kaikki 15 koestettavaa levyä, minkä jälkeen laitteisto tyhjennettiin ja puhdistusrake vaihdettiin. Samalla puhdistusrakeella tehtävän puhdistuksen aikana käytetty suutin on valittu satunnaisessa järjestyksessä. Koeohjelma löytyy liitteestä 2.

## 7 Tulokset

Kokeista saadut yksityiskohtaiset mittaustulokset löytyvät liitteestä 3. Mittaustuloksissa on eritelty jokaisen levyn suihkupuhaltamiseen kulunut aika sekunneissa, käytetty raeyhdistelmä ja suutin.

Kokeeseen valitut muuttujat olivat kvalitatiivisia ja kiinteitä, joten mittaustuloksia voitiin analysoida kaksisuuntaisella varianssianalyysillä. Mittaustulosten perusteella Excelillä laskettu kaksisuuntainen ANOVA varianssianalyysi toistoilla on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Kaksisuuntainen varianssianalyysi toistoilla puhalluskokeissa mitatuista ajoista kullakin rae- ja suutinyhdistelmällä.

Anova: kaksisuuntainen, toistot sallittuja

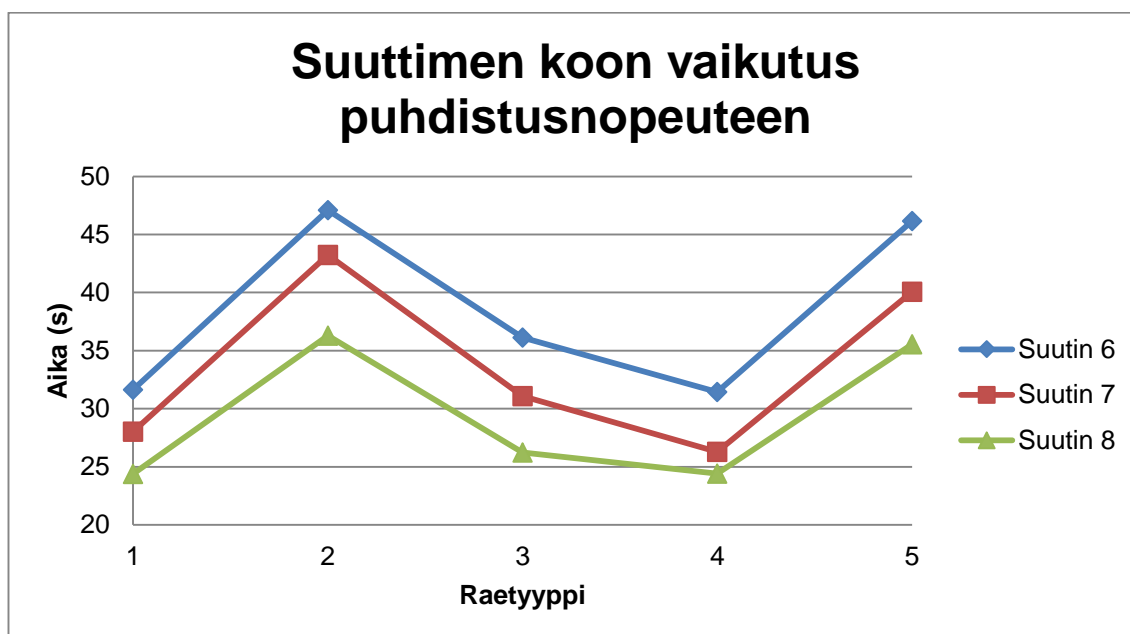
YHTEENVETO	Rae 1	Rae 2	Rae 3	Rae 4	Rae 5	Yhteensä
<i>Suutin 6</i>						
Lukumäärä	3	3	3	3	3	15
Summa	94,86	141,3	108,39	94,35	138,44	577,34
Keskiarvo	31,62	47,1	36,13	31,45	46,14667	38,4893333
Varianssi	2,9644	5,0013	5,6469	0,4396	0,118533	52,3996924
<i>Suutin 7</i>						
Lukumäärä	3	3	3	3	3	15
Summa	84,05	129,71	93,21	78,85	120,17	505,99
Keskiarvo	28,01667	43,23667	31,07	26,28333	40,05667	33,7326667
Varianssi	32,28373	18,83323	3,2781	1,618533	2,838033	56,7446638
<i>Suutin 8</i>						
Lukumäärä	3	3	3	3	3	15
Summa	73,16	108,91	78,65	73,22	106,6	440,54
Keskiarvo	24,38667	36,30333	26,21667	24,40667	35,53333	29,3693333
Varianssi	0,533433	3,088633	12,50343	0,200433	1,446433	33,7109638
<i>Yhteensä</i>						
Lukumäärä	9	9	9	9	9	
Summa	252,07	379,92	280,25	246,42	365,21	
Keskiarvo	28,00778	42,21333	31,13889	27,38	40,57889	
Varianssi	18,75564	29,17635	23,78619	10,54275	22,37469	
<b>ANOVA</b>						
<i>Vaihtelun lähde</i>	<i>NS</i>	<i>va</i>	<i>KN</i>	<i>F</i>	<i>P-arvo</i>	<i>F-kriittinen</i>
Suutin	624,1948	2	312,0974	51,56093	1,96E-10	3,3158295
Rae	1787,084	4	446,7711	73,81008	4,35E-15	2,68962757
Vuorovaikutus	31,30069	8	3,912586	0,64639	0,732787	2,26616327
Sisällä	181,5895	30	6,052982			
Yhteensä	2624,169	44				

Excelin analyysityökalu osaa laskea suoraan kiinteiden ja ristikkäisten tekijöiden varianssianalyysin, jolloin tulostaulukkoa ei tarvitse muokata.

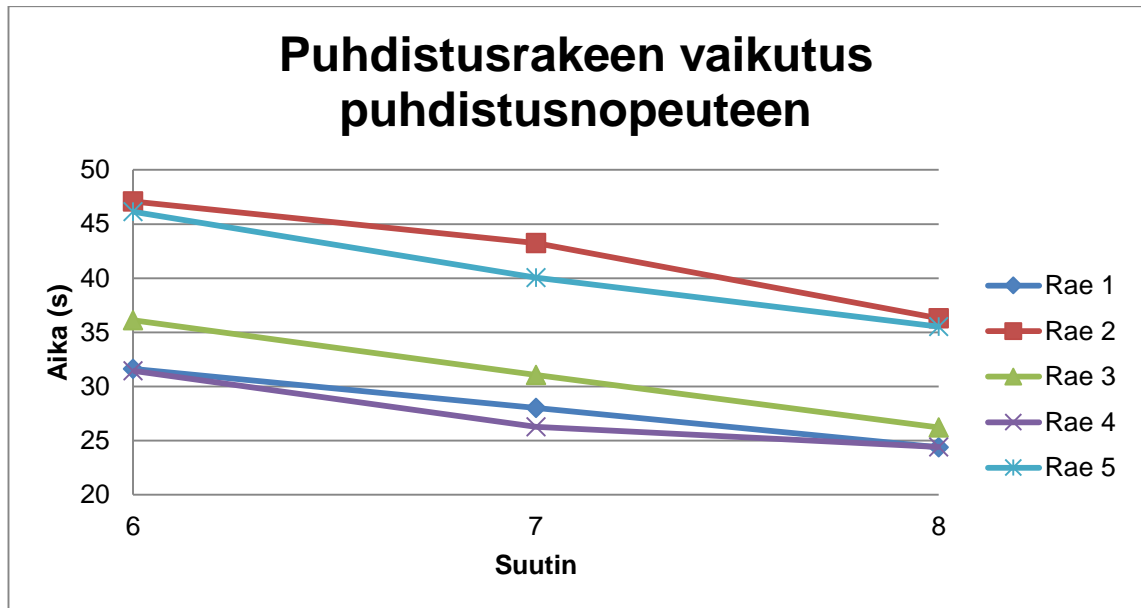
Kaksisuuntaisen ANOVA varianssianalyysin termistöä on selitetty liitteessä 4.

### 7.1 Tulosten tarkastelu

Excelin laskemasta varianssianalyysistä kokeen lopputuloksen kannalta kiinnostavia arvoja ovat P-arvot suuttimen ja rae-yhdistelmien osalta. Yleisesti P-arvoa käytetään koellisten tutkimusten tulosten satunnaisvirheen tunnuslukuna. Kun koesuunnitelman merkitsevyytasona käytetään 0,05:tä, hypoteesit  $H_0$  (suutin) ja  $H_0'$  (raetyyppi) hylätään, sillä  $p$ -arvo  $< 0,05$ . Tämä tarkoittaa, että molempien suunnittelumuuttujien, suutinkoon ja suihkupuhdistusrakeen tasojen välillä on tilastollisesti merkitsevää eroa. Tuloksista nähdään kuitenkin, että  $H_{00}'$  (vuorovaikutus)  $> 0,05$ , mikä tarkoittaa, ettei tekijöiden välillä ole tilastollisesti merkitsevää yhdysvaikutusta. Varianssianalyysin tulosten oikeansuuntaisuus voidaan hyvin havaita kuvioista 1 ja 2, joissa puhdistukseen kuluneen ajan keskiarvot on esitetty suihkupuhdistusrakeen ja suutinkoon funktioina.



Kuvio 1. Suuttimen koon vaikutus puhdistusnopeuteen.



Kuvio 2. Puhdistusrakeen vaikutus puhdistusnopeuteen.

Kun suutinkoon ja suihkupuhdistusrakeen tasojen välillä oli tilastollisesti merkitsevää eroa, mutta suunnittelumuuttujien välillä ei havaittu yhdysvaikutusta, voidaan tuloksia pitää tämän perusteella luotettavina. Jos kokeiden suoritustavalla ja tekijällä olisi ollut merkittävästi vaikutusta saatuihin tuloksiin, olisi se näkynyt suurina vaihteluina saaduissa mittaustuloksissa ja mahdollisena yhdysvaikutuksena varianssianalyysissä.

Suuttimen läpi kulkeva ilmamäärä ja suihkupuhallusrakeen nopeus suuttimen suulla on suoraan verrannollinen suuttimen halkaisijaan, joka taas on suoraan verrannollinen suihkupuhdistuksen tehokkuuteen. Kuviosta 1 voidaan todeta, että puhdistukseen kuuluva aika pienenee kaikilla puhdistusraeityypeillä, kun siirrytään suurempaan suutinhalkaisijaan. Suurempi suutin parantaa jokaisen suihkupuhdistusrakeen puhdistustehokkuutta.

Mittaustulosten perusteella suuttimen vaihto suutinkoosta 7 suutinkokoon 8 voi parantaa suihkupuhdistuksen tehokkuutta parhaimmillaan 13 %. Suihkupuhdistuksen kustannuksia voidaan saada laskettua uhraamalla puhdistuksen tehokkuutta. Järjestelmään voidaan lisätä teräskuulia olemassa olevien teräsrakeiden sekaan, jolloin raeyhdistelmää pitäisi pystyä kierrättämään pidempään kuin pelkkää teräsraketta sisältävää järjestelmää. Tämä voi olla mahdollista sellaisissa suihkupuhdistuslaitoksissa, joissa käyttöaste on pieni ja maksimaalista puhdistusnopeutta ei välttämättä tarvita.



Kuvion 2 perusteella voidaan havaita, että suihkupuhdistusrakeet 1 ja 5 olivat tehokkaimpia jokaisella suutinkoolla. Kaikkien suihkupuhdistusrakeiden tehokkuus pysyy samassa järjestyksessä käytetystä suuttimesta riippumatta.

## 7.2 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää onko suihkupuhdistusrakeen tai suuttimen koolla, tai niiden yhdistelmällä vaikutusta suihkupuhdistuksen kokonaistehokkuuteen. Kokonaistehokkuuden kasvua haettiin ilman tarvetta nykyisten järjestelmien muuttamiseen. Vertailukohtana käytettiin FSP:n Porvoon toimipistettä, jossa on käytössä rakeiden kierrätysjärjestelmä. Tällä toimipisteellä käytetään suutinkoko 7 ja puhallusraeaineena HG40 -teräsraetta.

Suoritettujen kokeiden perusteella raeyhdistelmällä on vaikutusta puhdistuksen nopeuteen. Tulosten perusteella käytännön tasolla raeyhdistelmällä ei kuitenkaan ole ratkaisevinta merkitystä puhdistustehokkuuden. Suurempi vaikutus kokonaistehokkuuteen on sillä, minkä kokoinen suutin on käytössä. Oikeanlaisen puhdistusrakeen tai niiden yhdistelmien valinnalla voidaan kuitenkin optimoida järjestelmän puhallustehokkuus maksimiin.

Kaikissa käyttökohteissa ei voida käyttää mitä tahansa raetta. Jos raetyyppejä ei voida vaihtaa, suihkupuhdistuksen tehokkuutta voidaan kasvattaa suurentamalla suutinkoko, jos käytössä on halkaisijaltaan alle 14 mm:n suutin. Yli 14 millimetrin suuttimella ei ole käytännöllistä puhallaa rekyylin ja erittäin suuren ilmamäärän tarpeen takia.

FSP:n Porvoon toimipisteessä voidaan nostaa suihkupuhalluksen tehokkuutta vaihtamalla nykyinen suutinkoko suurempaan. Tällä hetkellä käytössä oleva suutinkoko 7 voidaan vaihtaa esimerkiksi suutinkokoon 8, jolla tulosten perusteella voidaan kasvattaa HG40 raetta käytettäessä puhalluksen tehokkuutta jopa 13 %. Raeyhdistelmää ei siis tehokkuuden parantamiseksi kannata vaihtaa nykyisessä järjestelmässä. Nykyisessä järjestelmässä voidaan myös tavoitella kustannussäästöjä kasvattamalla suutinkoko ja lisäämällä pitkäikäisempiä teräskuulia teräsrakeiden sekaan ilman, että puhdistusteho laskisi merkittävästi.

## Lähteet

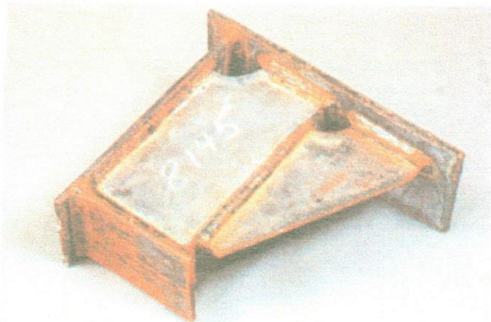
- 1 Amy Forsgren: Corrosion control through organic coatings. USA, LLC, 2006
- 2 Raimo Soininen: Materiaali- ja pintakäsittelytekniikan julkaisuja no. 6; Pintakäsittelyn perusteet, rev 2. 2005
- 3 Isto Jokinen, Asko Kuusela, Tapani Nikkari: Metallituotteiden maalaus 1. painos, Gummerus Kirjapaino Oy, 2001
- 4 Metallipintojen teollinen maalaus 5. painos, Tikkurila Oy, Industrial Coatings
- 5 Appleman, B & Berger, D & Hower, H & Keane J: Good painting practice. Pittsburgh SSPC, 1993
- 6 Hansink, J: Understanding the grain shape of abrasive, JPCL, 3/94 s. 66-67
- 7 Haznstad, S: Shop cleaning and painting of steel. USA. Technology Publishing Company, 1990
- 8 SSPC: Users guide to selection of blasting materials. USA. SSPC 1998
- 9 Kemiallinen ja sähkökemiallinen pintakäsittely osa 1. rev. 5. Vantaa Suomen Galvanointitekniinen yhdistys, 1996
- 10 Appleman, B & Weaver, R & Boocock, S: User's guide to selecting abrasives. JPCC 17/98 s. 89-91
- 11 Metallituotteiden esikäsittely ja maalaus. Julkaisu 32–76. Helsinki: INSKO, 1976

## SFS-ISO 8145 standardin esimerkkikuvat puhdistusasteista

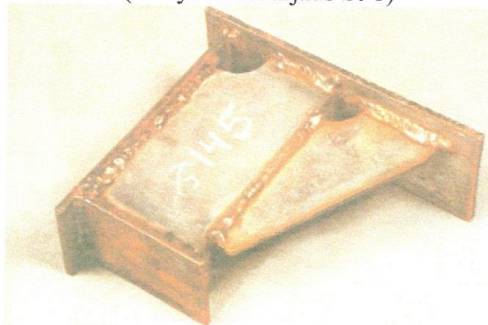
Seuraava kuvasarja esittää SFS-ISO 8145 standardin esimerkkikuvat, miltä mekaanisten esikäsittelyjen eri laatuasteet näyttävät käytännössä.



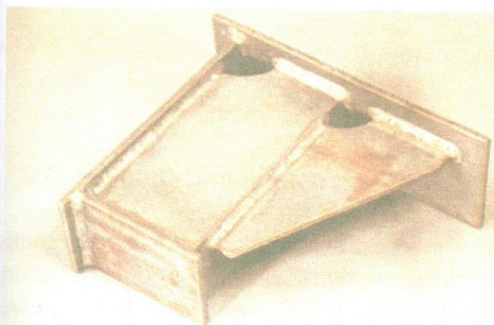
§  
Lähtötila 00



Laatuaste 01 (Kevyt teräsharjaus St 1)

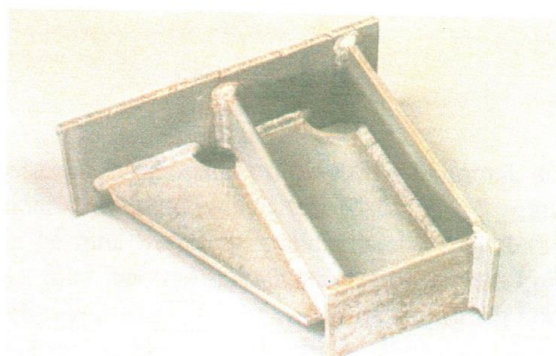
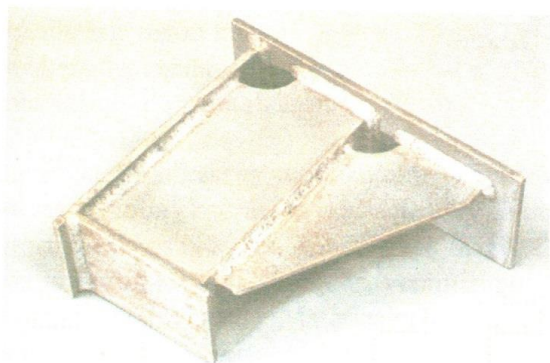


Laatuaste 02 (Teräsharjaus St 2)

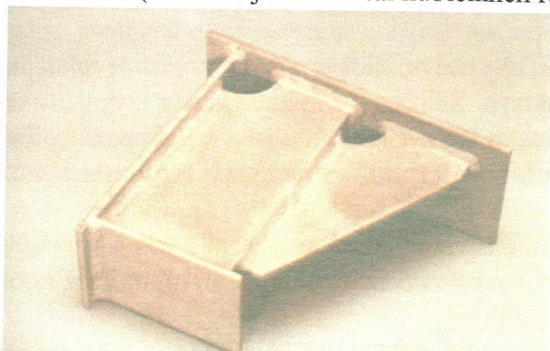


Laatuaste 03 (Teräsharjaus St 3 tai raesuihkupuhdistus Sa 1)

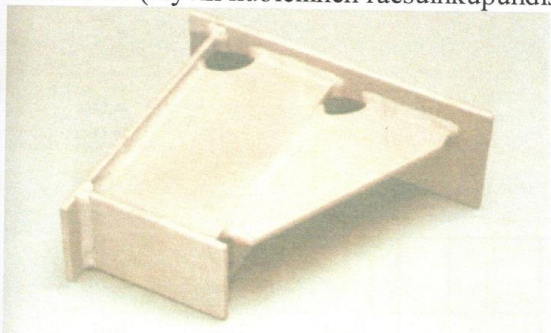




Laatuaste 04 (Teräsharjaus St 3 tai huolellinen raesuihkupuhdistus Sa 2)



Laatuaste 05 (Hyvin huolellinen raesuihkupuhdistus Sa 2½)



Laatuaste 06 (Hyvin huolellinen raesuihkupuhdistus Sa 2½ tai suihkupuhdistus metallinpuhtaaksi Sa 3)

## Koeohjelma

Suutinkoko	Rae
8	1
6	1
7	1
7	1
8	1
6	1
7	1
6	1
8	1
6	2
8	2
7	2
7	2
6	2
7	2
8	2
6	2
8	2
6	3
6	3
7	3
7	3
8	3
8	3
8	3
6	3
7	3

Suutinkoko	Rae
6	4
8	4
7	4
6	4
8	4
8	4
7	4
7	4
6	4
8	5
8	5
6	5
7	5
7	5
6	5
6	5
8	5
7	5

**Mittaustulokset**

Suihkupuhdistukseen kuluneet ajat sekunneissa jokaisella rae- ja suutin yhdistelmällä.

Suutin	Rae	Aika
8	1	23,97
6	1	31,24
7	1	24,23
7	1	34,55
8	1	25,23
6	1	30,12
7	1	25,27
6	1	33,50
8	1	23,96
6	2	47,01
8	2	35,38
7	2	38,40
7	2	44,52
6	2	44,91
7	2	46,79
8	2	38,33
6	2	49,38
8	2	35,20
6	3	36,96
6	3	37,98
7	3	30,63
7	3	33,06
8	3	27,59
8	3	22,20
8	3	28,86
6	3	33,45
7	3	29,52

Suutin	Rae	Aika
6	4	30,99
8	4	32,21
7	4	31,15
6	4	26,01
8	4	25,17
8	4	27,67
7	4	24,35
7	4	23,99
6	4	24,88
8	5	45,76
8	5	46,42
6	5	46,26
7	5	38,22
7	5	40,42
6	5	41,53
6	5	35,69
8	5	36,65
7	5	34,26

**Kaksisuuntaisen ANOVA varianssianalyysin termistöä**

Summa	Tietyllä suuttimella ja raeyhdistelmällä mitattujen aikojen summa.
Lukumäärä	Kokeiden määrä tietyllä suuttimella ja raeyhdistelmällä.
Sisällä	Sisällä –sarake kuvaa otosten sisäistä vaihtelua.
NS	Yhdistettävien rivien neliösummat. Neliösumma on matemaattisen optimoinnin menetelmä.
va	Vapausaste. Vapausaste on niiden muuttujien lukumäärä, jotka voivat vaihdella.
KN	Keskineliösumma.
F	F-jakauma on jatkuva todennäköisyysjakauma. F-jakaumaa sovelletaan tilastollisen testisuureen jakaumana nollahypoteesin ollessa voimassa.
P-arvo	P-arvo on tilastollisessa hypoteesin testauksessa todennäköisyys, jolla vähintäänkin yhtä merkittävä ero tuloksessa saadaan aikaan käyttämällä nollahypoteesia. Yleisesti P-arvoa käytetään kokeellisten tutkimusten tulosten satunnaisvirheen tunnuslukuna.
F-kriittinen	Satunnaismuuttujan todennäköisyys saada tietty arvo.