

Jyrki Hilli

**RAEPUHALLUSSUUTTIMEN OPTIMOINTI BLASTMAN B20-S -ROBOTILLA**

Opinnäytetyö  
Kajaanin ammattikorkeakoulu  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Kevät 2014



Koulutusala Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka
Tekijä(t) Hilli Jyrki	
Työn nimi Raepuhallussuuttimen optimointi Blastman B20-S -robotilla	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot	Ohjaaja(t) Räsänen Sami
	Toimeksiantaja Blastman Robotics Oy
Aika Kevät 2014	Sivumäärä ja liitteet 23+9
<p>Insinööri työn aiheena oli tutkia Blastman Robotics Oy:n toimenannosta Blastman B20-S -raepuhallusrobotilla käytettäviä raepuhallussuuttimia. Tavoitteena työlle oli tutkia suihkun tehokasta puhdistusalueetta ja puhdistustehoa.</p> <p>Blastman B20-S -robotilla käytetään kahta eri suutinprofiilia, venturisuutinta ja bazookasuutinta. Näihin profiileihin liittyen työn tarkoituksena oli tutkia, olisiko suuttimien profiileja muuttamalla mahdollista saada laajempi ja nopeusjakaumaltaan tasaisempi suihku.</p> <p>Työ toteutettiin lähdemateriaaliin tutustumalla ja näihin perustuen käytettiin SolidWorks -3D mallinnusohjelmaa, jonka virtaussimulaatio-osalla pystyttiin mallintamaan suuttimen toiminta ja muokkaamaan suuttimen eri osia alueita</p> <p>Työn tuloksena suunniteltiin kaksi suutinta, joiden ominaisuudet olivat simuloinnin perusteella alkuperäisiin verrattuna parempia</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Suihkupuhallus, raepuhallus, suutin
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto



School Kajaani University of applied sciences	Degree Programme Machine and production technique
Author(s) Hilli Jyrki	
Title Optimising Blast Cleaning Nozzles in Blastman B20-S robot	
Optional Professional Studies	Instructor(s) Räsänen Sami
	Commissioned by Blastman Robotics Oy
Date Spring 2014	Total Number of Pages and Appendices 23+9
<p>The objective of this thesis was to study abrasive blasting nozzles used in Blastman B20-S blasting robots commissioned by Blastman Robotics Oy. The objective was to try to improve the nozzles area of effectiveness and cleaning power.</p> <p>In this study two different types of nozzles were reviewed, a venturi nozzle and a bazooka nozzle. The objective was, in reference to these nozzles, to find out if the performance of these nozzles could be improved to yield a larger area of effective blasting with a more even speed distribution.</p> <p>The work was carried out starting with the collection of reference material. The work related to improving the nozzles was implemented using Dassault Systemes SolidWorks 2012 3D software which had a suitable flow analysis segment. The flow simulation was used to model the function of the nozzle and to make proper adjustments accordingly.</p> <p>As results of this study two nozzles were designed which had, according to simulations, better properties in reference to the originals.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Blast cleaning, nozzle
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

## ALKUSANAT

Haluan kiittää kaikkia, jotka ovat olleet mukana tämän prosessin aikana.

Erityisesti haluan kiittää työni ohjaajaa Sami Räsästä, jonka kautta sain työni aiheen, sekä tilaajan edustajaa Juha Juntilaa Blastman Robotics Oy:stä työhöni liittyvästä neuvonnasta.

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 LOPPUTYÖN TARKOITUS JA TAVOITTEET	2
3 RAEPUHALLUS	3
3.1 Määritelmä	3
3.2 Laitteisto	4
3.3 Raepuhallusmateriaalit	7
3.4 Käyttökohteet	8
4 BLASTMAN ROBOTICS OY	9
4.1 Blastman Robotics Oy	9
4.2 Blastman B20-S	9
5 RAEPUHALLUSSUUTIN	11
5.1 Suuttimen geometria	11
5.2 Suuttimien jaottelu	12
6 RAEPUHALLUSSUUTTIMEN SUUNNITTELU	13
6.1 Lähtökohta ja tavoitteet	13
6.2 Toteutus	13
6.3 SolidWorks FlowSimulation 2012	15
6.4 Lopputulos	20
7 TULOSTEN TARKASTELO	21
8 YHTEENVETO	23
LÄHTEET	24
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tavoitteena oli tutkia Blastman Robotics Oy:n toimeksiannosta raepuhallusroboteissa käytettävien puhallussuuttimien toimintaa ja pyrkiä kehittämään niitä eteenpäin. Erityisesti haluttiin keskittyä niin sanotun Bazooka-profiilisen suuttimen toimintaan ja mahdollisesti pyrkiä sitä parantamaan.

Työn tekeminen alkoi, kun etsin sopivaa insinööriyön aihetta ja minulle tarjottiin useampaa aihealuetta liittyen raepuhallukseen ja tarkemmin Katera Steel Oy:n tiloissa olevaan raepuhallusrobottiin Blastman B20–S. Useasta aiheesta valikoitui robotilla käytettävien puhallussuuttimien optimointi. Tilaajan kanssa pidetyssä aloituspalaverissa keskustelimme työn tavoitteista, alustavista rajauksista ja aikataulusta. Tilaajalla oli tarve saada aihealueesta tietoa, sillä sen asiakkaat ovat olleet kiinnostuneita jo olemassa olevien kokoonpanojen käytön tehokkuuden parantamisesta ja tutkittavia suutinprofileja ei ole tiettävästi aiemmin yritetty optimoida.

Aiheeseen suoraan liittyvää kirjallisuutta on tarjolla niukasti. Ainoa teos, joka oli suorassa yhteydessä aiheeseen, oli Andeas Momberin kokoama teos Blast cleaning technology [1], joka käsittelee suihkupuhallusta varsin kattavasti. Tämän teoksen lähteitä seuraamalla löytyi useampia aiheeseen liittyviä tutkimuksia ja patenteja.

Suuttimen suunnittelu toteutettiin käyttäen Dassault Systemesin Solidworks 2012 -3D mallin-  
nusohjelmaa, josta löytyy virtauksen tutkimiseen tarvittavia lisäohjelmia. Käyttötarkoitukseen parhaiten soveltui Flow Simulation -lisäosa, jolla pystyttiin sekä simuloimaan yksittäisiä suuttimia että suuttimen käyttöympäristöä.

Työ koostui lähdemateriaaliin tutustumisesta, 3D-ohjelman virtaussimulaatio-osan käytön opettelusta ja simulaatioiden tekemisestä. Simulaatio-ohjelma löytyi Kajaanin ammattikorkeakoulun ohjelmistoista.

Työn lopputuloksena oli tarkoitus selvittää, onko raepuhallussuuttimen profiililla merkitystä puhdistuksen lopputulokseen ja missä määrin. Lisäksi työssä oli tarkoituksena pyrkiä optimoimaan käytössä olevia suuttimia paremmin soveltuviksi käyttötarkoituksiinsa. Optimoiduista suuttimista tuli myös tehdä tekniset piirustukset, jotka luovutettaisiin tilaajalle.

## 2 LOPPUTYÖN TARKOITUS JA TAVOITTEET

Lopputyön tarkoituksena oli tutustua raepuhallukseen ja erityisesti puhalluksessa käytettyihin suuttimiin. Tutkittavana aiheena oli suutinprofiileihin liittyvä kehitystyö ja erityisesti bazooka-suutin, jota käytetään teollisuudessa kappaleiden puhdistukseen esim. maalista tai ruosteesta. Suuttimen profiilin ominaisuudet tekevät suihkusta leveämmän verrattuna yleisesti käytettyyn venturi-profiiliin. Suutin on muokattu venturi-mallisesta suuttimesta jättämällä pois tasaisen halkaisijan osa, jotta suihkulla olisi laajempi tehollinen alue työstettävällä kappaleella. Suuttimen optimoinnilla voitaisiin mahdollisesti vaikuttaa myös puhdistuksen kustannuksiin käyttämällä mahdollisimman tehokkaasti hyödyksi puhalluksessa väliaineena käytettävä paineilma. Tilaajan käyttämän bazooka-suuttimen tekninen piirros löytyy liitteestä 2.

Tavoitteena lopputyöllä oli muokata bazooka-suutinprofiililla saatavaa suihkua siten, että suihkun tehollinen puhdistusalue kasvaisi ja sen nopeusjakauma olisi tasainen. Lopputuloksena oli tarkoitus saada suunniteltua alkuperäistä mallia muokkaamalla tehokkaammin käyttötarkoitukseen soveltuva suutinprofiili.

Lisäksi työssä tutkittiin myös mahdollisuutta parantaa venturi-suuttimen toimintaa suunnittelussa käytössään. Venturi-suutinta käytetään mm. valuhiekan poistossa. Tilaajan käyttämän venturi-suuttimen tekninen piirros löytyy liitteestä 3.

### 3 RAEPUHALLUS

#### 3.1 Määritelmä

Raepuhallus ja hiekkapuhallus, yhdistettynä käsitteenä suihkupuhallus, on pintakäsittelymenetelmä, jonka ensimmäinen patentti on vuodelta 1870, Tilgham Benjamin, US. patent 108.408 Improvement in cutting and engraving stone, metal, glass etc. Patentissa Tilgham määrittelee keksintönsä käytön seuraavasti: ”My invention consists in cutting, boring, grinding, dressing, pulverizing and engraving stone, metal, glass, wood and other hard or solid substances by means of a stream of sand or grains of quartz, or other suitable material, artificially driven as projectiles rapidly against them by any suitable method of propulsion.” Vapaasti käännettynä Tilgham kertoo keksintönsä liittyvän kiven, metallin, puun ja muiden kovien tai kiinteiden materiaalien leikkaamiseen, poraamiseen, hiomiseen, pinnoittamiseen, hajottamiseen ja kaiveramiseen hiekalla tai kvartsikiteillä kiihdytettynä iskeytymään työstettävään materiaaliin tilanteeseen sopivalla menetelmällä. [2.]

Patentissa Tilgham myös mainitsee puhalluksen välittäjäaineista seuraavaa: ”The means of propelling the sand which I prefer is by a rapid jet or current of steam, air, water, or other suitable gaseous or liquid medium; but any different propelling force may be used, as, for example, the blows of the blades of a rapidly revolving fan, or the centrifugal force of a revolving drum or tube, or any other suitable machine.” Vapaasti käännettynä: Hiekan kiihdytykseen voidaan käyttää höyry-, ilma-, vesi-, tai muuta soveltuvaa kaasua tai nestesuihkua, mutta myös muunlaisen kiihdyttävän voiman käyttö on mahdollista, esimerkiksi iskut nopeasti pyörivän puhaltimen siivekkeistä, pyörivällä rummulla tai putkella tai millä tahansa sopivalla koneella. [2.]

Suihkupuhallus on määritetty ISO 12944-4 (1998) –standardissa seuraavanlaisesti: ”Where blasting media (as tools) are accelerated in blasting devices of different blasting systems, and where they are forced to impinge the surface of a target (substrate) to be treated.” Vapaasti käännettynä: Missä puhallusmateriaali (työvälineenä) kiihdytetään puhalluslaitteissa erilaisissa puhallusjärjestelmissä ja missä ne pakotetaan törmäämään käsiteltävän kohteen pinnalle. [1, s. 3.]

Suihkupuhdistus voidaan jakaa osa-alueittain ISO 12944-4 (1998):n mukaan seuraavasti:



- Kuivat hiovat suihkupuhallusmenetelmät
  - Keskipakoisvoimainen suihkupuhdistus
  - Paineilmakäyttöinen hiova suihkupuhdistus
  - Tyhjiö- tai imupäinen hiova suihkupuhdistus
- Kosteussyöttöinen hiova suihkupuhdistus
  - (Ei alemmaa luokittelua)
- Märkä hiova suihkupuhdistus
  - Paineilmakäyttöinen märkä hiova suihkupuhdistus
  - Lietesuihkupuhdistus
  - Paineistettu nestesuihkupuhdistus
- Erityiset suihkupuhdistusapplikaatiot
  - Pyyhkäisysuihkupuhdistus
  - Pistesuihkupuhdistus

[1, s. 3.]

### 3.2 Laitteisto

Suihkupuhdistuksen laitteistot toimivat joko ejektori- tai painekammioperiaatteella. Näistä yleisempi tyyppi on painekammio-laite tehokkuutensa vuoksi. Painekammiolaitteessa rakeet syötetään säiliöstä paineen avulla suuttimelle virtaavan paineilman sekaan. [3, s. 407.]

Suihkupuhallinlaitteisto voidaan jakaa karkeasti paineilmaa tuottaviin ja paineilmaa kuluttaviin laitteisiin. Yleisin paineilmaa tuottava laite on kompressorin. Suuremmissa laitteissa kompressorin yhteydessä on paineastia tasaamassa kompressorin kuormaa. Suurin yksittäinen paineilmaa kuluttava laite on puhallussuutin, mutta myös ilman ja puhallusmateriaalin kuljettamiseen käytettävät letkut ja putket ovat painehäviön kautta paineilmaa kuluttavina tekijöinä. [1, s. 109.]

## Kompressorit

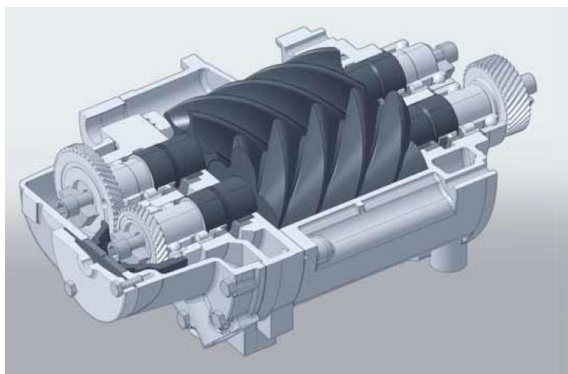
Paineilmaa voidaan saada aikaiseksi monenlaisilla eri kompressoreilla, kuten:

- Mäntäkompressori
- Dynaaminen kompressori
- Sentrifugaalinen kompressori

Yleisimmin käytetty kompressorityyppi on kuitenkin ruuvikompressori, joka kuuluu sentrifugaalisiin kompressoreihin. Ruuvikompressorin toiminta perustuu kahden vastakkaisesti suuntiin pyörivien kierteitettyjen roottoreiden aiheuttamaan ilman paineistumiseen. Paineistettava ilma otetaan ympäröivästä ilmasta ilmanpuhdistimen kautta. Kuvassa 1 on esimerkki ruuvikompressorista. Ruuvikompressorin etuihin kuuluvat mm:

- Kulumattomuus kitkattoman liikkumisen johdosta roottoreiden välillä
- Säädettävissä oleva sisäinen paine
- Korkeat kierrosnopeudet
- Pienet ulkomitat

[1, s. 109, 110.]



Kuva 1. Ruuvikompressori [4.]

Suihkupuhalluslaite

Suihkupuhallinlaite on tärkeä osa suihkupuhallusprosessissa. Laitteen päätehtävä on annostella paineilman sekaan tarvittava määrä puhallusmateriaalia. Liitteessä 5 on kuvattuna eräs puhalluslaite.

#### Paineilmalinjat

Kompressorilta paineilma toimitetaan puhalluslaitteelle paineilmalinjoja pitkin. Kiinteiden putkistojen lisäksi voidaan käyttää joustavia letkuja tarkoitukseen tehtyjä kiinnityslaitteita käyttäen. Paineilmalinjojen mitoitus on tärkeä osa puhalluslaitteen kokonaismoituksessa, sillä linjojen pituus ja halkaisijat vaikuttavat linjaston painehäviöön. Lisäksi paineletkujen halkaisija vaikuttaa letkujen käsiteltävyyteen ja painoon. [1, s. 111.]

#### Puhalluslinja

Puhalluslinjaa käytetään kuljettamaan puhallusmateriaali paineilman välityksellä suuttimelle. Paineilman kuljettaessa puhallusmateriaalia eteenpäin voidaan puhua pneumaattisesta kuljetuksesta. [1, s. 138.]

Linjassa kulkevan paineilman ja puhallusmateriaalin sekoitus muodostaa joko stabiilin tai epästabiilin virtauksen riippuen virtausnopeudesta, puhallusmateriaalista ja linjan ominaisuuksista. Virtauksen eri muodot voidaan todeta liitteestä 6. Liitteestä voidaan todeta, että syötön pysyessä vakiona paineilman virtausnopeutta lisäämällä voidaan puhallusmateriaalin virtausta säätää. [1, s. 140.]

Optimaalinen virtausnopeus, jossa päästään stabiiliin virtaukseen, riippuu linjan sisähalkaisijasta ja puhallusmateriaalin laskeutumisnopeudesta. Liitteessä 7 on teoreettisesti laskettu optimaalinen virtausnopeus linjassa. [1, s. 142.]

#### Suutin

Suutin on suurin paineilmaa kuluttava laite suihkupuhalluslaitteistossa. Suuttimet voidaan karkeasti jakaa kahteen luokkaan, sylinterimäisiin kapenevalla sisääntuloaukolla ja kapeneva sisääntulo- aukeava ulostulo –rakenteisiin. [1, s. 154.]

Suuttimen rakenne koostuu yleensä erillisestä kuoresta, jonka tehtävä on suojata suuttimen sisäosaa iskuilta ja mekaanisilta rasituksilta. Suuttimen sisäosa puolestaan on yleensä hyvin kovaa materiaalia, terästä, volframikarbida, komposiittia tai keraamista materiaalia. Sisäosan ma-

teriallin kovuus johtuu siitä, että puhallusmateriaalin aiheuttama kuluminen aiheuttaisi suuttimen nopean vaihtotarpeen. Yleistä vaihtorajaa on vaikea määrittää, mutta tyypillisesti suutin vaihdetaan jos sen pienin halkaisija on suurentunut 1–1,5 mm. [1, s. 155, 158.]

### 3.3 Raepuhallusmateriaalit

Suihkupuhallusmateriaalit voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin: [5.]

- Metalliset materiaalit
  - Teräskuula
  - Teräsrae
  - Teräslankakatko
- Materiaalit, jotka eivät ole rauta- tai teräsvalmisteisia
  - Alumiinilankakatko
  - Sinkkilankakatko
  - Kuparilankakatko
- Ei-metalliset puhdistusaineet
  - Mineraalit, kuten korundi tai piikarbidi
  - Hiekka
  - Orgaaniset
  - Muovit
  - Lasikuulat
  - Kuivajää

Yleisimmin suihkupuhdistuksessa käytetään puhallusmateriaalina hiekkaa, hiilikuonaa, teräskuulia ja teräslankakatkoja. Valittaessa kullekin suihkupuhdistussovellukselle sopivaa puhallusmateriaalia tulee seuraavia parametreja ottaa huomioon: [1, s.8, 7.]

- Materiaalin rakenne
- Materiaalin kovuus
- Materiaalin tiheys
- Mekaaninen käyttäytyminen
- Partikkelin muoto
- Partikkelien kokojakauma
- Keskiarvoinen raekoko

### 3.4 Käyttökohteet

Suihkupuhallus on tehokas menetelmä valuhilseen, kuonan ja pinnoitteiden poistoon. Lisäksi suihkupuhallusta voidaan käyttää pintojen esikäsitteilyyn tulevia pinnoituksia varten. Käyttösovelluksena voidaan käyttää manuaalista suihkutusta tai automatisoitua suihkutusta robotin avulla. Kuvassa 2 on esitettyä manuaalinen puhdistus.[1, s. 4.] [3, s. 407.]



Kuva 2. Manuaalinen suihkupuhdistus [6.]

## 4 BLASTMAN ROBOTICS OY

### 4.1 Blastman Robotics Oy

Blastman Robotics Oy on 1997 vuonna perustettu maailman johtava raepuhallukseen tarkoitettujen robottien ja manipulaattorien toimittaja. Sen historia alkaa 1980-luvun alkupuolella, kun Oy Tampella Ab aloitti kehitystyön raepuhallusmanipulaattorien valmistamiseksi. Ensimmäinen manipulaattori valmistettiin vuonna 1982 Tampellan omalle konepajalle.

Vientitoiminta alkoi vuonna 1986, kun yritys toimitti manipulaattorin Ruotsiin. Vuonna 1988 robottiliiketoiminta siirtyi Ouluun Rautaruukki Oy:lle, joka päätti keskittyä ydinliiketoimintaansa johtaen nykyisen yrityksen perustamiseen. Nykyisin yrityksen valikoimaan kuuluvat myös täydelliset raepuhallus- ja pintakäsittelylinjat. [7.]

### 4.2 Blastman B20–S

Tässä työssä on tutkittu Blastman B20–S -raepuhallusrobotissa käytettyjä suutinprofiileja; bazooka ja venturi. Blastman B20-S on siltamallinen robotti, joka räätälöidään asiakkaan tarpeen mukaan. Sen käyttökohteet ovat raskaassa konepajateollisuudessa, esimerkiksi junavaunujen, suurten teräsrakenteiden ja valujen puhdistus.

Edellä mainitun kaltainen kokoonpano on asennettuna Kajaanin Renforsin rannan teollisuusalueella. Raepuhallusrobotti on Kajaanin ammattikorkeakoulun ja Katera Steel Oy:n yhteishankinta. Robotissa on 8 vapausastetta, ja se on sijoitettuna 15 \* 7 \* 7 m raepuhalluskammioon. Laitteistoon kuuluu kammion ulkopuolinen ilmastoitu ja äänieristetty ohjaushytti. Kuvissa 3 ja 4 on kuvattuna Blastman B20-S -robotti ja sen käsivarsi [8.] [9.]



Kuva 3. Blastman B20-S -raepuhallusrobotin käsivarsi [9.]

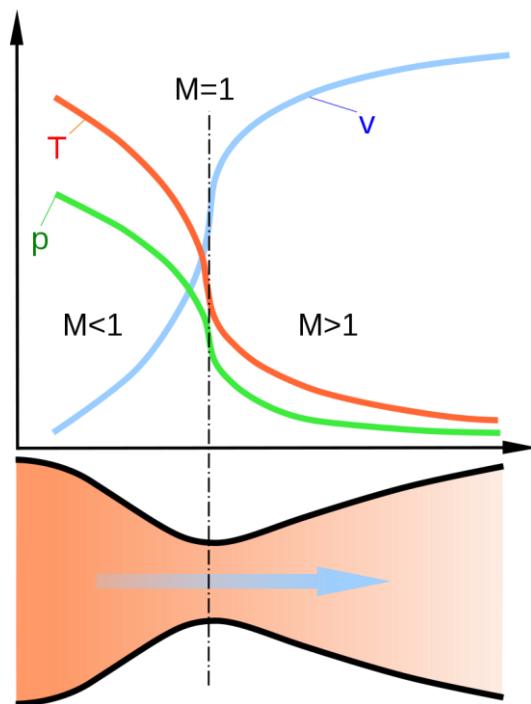


Kuva 4. Blastman B20-S -raepuhallusrobotti [10.]

## 5 RAEPUHALLUSSUUTIN

### 5.1 Suuttimen geometria

Suihkupuhdistuksessa käytettiin vielä 50-luvulle tultaessa suoria, yhden halkaisijan suuttimia. G.D. Albert ja W.H. Mead sovelsivat 1955 patentoimassaan suuttimessa (brittiläinen patentti 722464) ruotsalaisen Gustaf De Lavalin höyryturbiineja varten kehittämää suutinta, jossa on virtausta kuristava kurkkuosio. Tämän osan avulla voidaan kaasun virtausnopeutta kasvattaa huomattavasti. Tämän suuttimen nimitys, venturi, tulee Giovanni Batista Venturin mukaan nimetystä ilmiöstä, jossa pakottamalla virtaava aine halkaisijalta aiempaa pienempään mittaun saadaan aikaan virtausnopeuden kasvu ja paineen aleneminen. Kuvassa 5 on periaatekuva venturi-suuttimesta. [11.]



Kuva 5. venturi-suuttimen periaatekuva [12.]

Suuttimen toiminta perustuu ilmvirran voimakkaaseen kiihdyttämiseen, jonka yhteydessä puhalluksessa käytetyn materiaalin nopeus saadaan ilmanvastuksen avulla nostettua toimimaan tehokkaammin käyttötarkoituksessaan. Valittaessa puhalluksen materiaalia tuleekin ottaa huomioon suuttimessa tapahtuva kiihtyminen, joten materiaalin ilmanvastus tulisi olla riittävä, jotta kiihtyvä ilma saisi materiaalin tehokkaasti mukaansa lyhyessä suuttimessa.



Tullessaan suuttimelle ilma alkaa puristua vasten suuttimen kurkkuosiota, jolloin sen nopeus alkaa kasvaa. Ilmavirran nopeus pysyy samana suuttimen kurkkuosion läpi, ja tullessaan aukeavalle osiolla ilmanvirran kiihtyvyys alkaa nousta saavuttaen yläääninopeuksia.

Suuttimesta tulevan ilmavirran ollessa yläääninopeudessa muodostuu ilmavirtaan ns. shokkiaaltoja, kun virtaus hidastuu äänen nopeuteen. Näiden shokkiaaltojen muoto vaikuttaa suihkun muotoon, tasaisuuteen ja nopeuteen. Jos suuttimen suunnittelu on epäonnistunut tai sitä käytetään väärillä arvoilla, voi shokkiaalto muodostua liian kauas suuttimesta tai suuttimen sisään. Molemmissa tapauksissa suuttimen toiminta ei ole optimaalista. [1, s. 83.]

## 5.2 Suuttimien jaottelu

Suuttimet voidaan nykyisin karkeasti jakaa kahteen luokkaan: sylinterimäisiin kapenevalla sisäänntuloaukolla varustettuihin ja sylinterimäisiin kapeneva sisäänntulo- aukeneva ulostulo – suuttimiin. Työssä tutkittavana olleet suuttimet kuuluvat jälkimmäisiin, venturi-suuttimiin.

Nykyisin suihkupuhalluksessa käytetään useita erilaisia versioita molemmista suutintyypeistä, joiden nimellishalkaisijat, kurkkuosioden sijainnit ja pituus vaihtelevat suuresti käyttötarkoituksen ja käytettävän puhallusmateriaalin mukaan.

## 6 RAEPUHALLUSSUUTTIMEN SUUNNITTELU

### 6.1 Lähtökohta ja tavoitteet

Suuttimen suunnittelun lähtökohta oli parantaa bazooka-mallin raepuhallussuutinta, jota käytetään isojen pinta-alojen puhdistukseen esimerkiksi ruosteesta tai maalista. Suuttimen suunnittelussa tavoitteena oli saada suunniteltua suutin, jonka tehollinen puhdistusalue olisi suurempi kuin käytössä olevalla 16 mm:n bazooka-suuttimella. Käytössä olevan suuttimen teknisten piirustuksien avulla voitiin olemassa oleva suutin mallintaa 3D-ympäristöön ja tutkia sen ominaisuuksia. Tekninen piirros tilaajan käyttämästä suuttimesta löytyy liitteestä 2.

Lisäksi tutkittiin 16 mm:n venturi-suutinta, jonka käyttötarkoitus on pääasiassa esimerkiksi valuhiekan poisto valetun kappaleen pinnasta. Suuttimen muotoilulla tavoitellaan nopeavirtauksista ja pistemäistä suihkua, jotta se läpisisi valuhiekan tehokkaasti ja irrottaisi hiekan isoina palasina kappaleen pinnalta. Venturi-suuttimen tekninen piirros löytyy liitteestä 3.

### 6.2 Toteutus

Suunnittelu aloitettiin tutustumalla suuttimien teknisiin piirustuksiin, joiden pohjalta voitiin kyseiset suuttimet mallintaa 3D-ympäristöön. Suunnittelu päätettiin toteuttaa käyttämällä Dassault Systemesin SolidWorks 3D -mallinnusohjelmaa. Suunnittelu aloitettiin opettelemalla käyttämään SolidWorks-ohjelman Flowexpress-virtaussimulaatiolisäosaa, jonka avulla pyrittiin simuloimaan suuttimien toimintaa. Useiden kokeilujen jälkeen tultiin lopputulokseen, että tämä lisäosa ei kykene riittävään tarkkuuteen ja laajuuteen, jonka tämä työ vaatii. Toisena lisäosana SolidWorksissä oli Flow Simulation, joka todettiin käyttötarkoitukseen sopivammaksi. Flow Simulation -lisäosa on tarkoitettu suunnittelijoille, jotka tekevät suunnittelutöitä, joissa kaasujen tai nesteiden virtauksien hallinta on tärkeää. Tällä työkalulla he voivat testata suunnitelmia ennen varsinaista raskaampaa virtaussimulaatiota tarkoitukseen kehitetyillä ohjelmistoilla.

Simulaatiotyö aloitettiin mallintamalla tilaajalta saatujen teknisten piirustusten perusteella käytetyt suuttimet ja testaamalla niitä 3D-ympäristössä. Testauksen perustaksi määritettiin lähtöarvot, jotta simulaatio vastaisi käytäntöä mahdollisimman tarkasti. Lähtöarvot löytyvät liitteestä 1.

Suuttimien muokkaukseen haettiin lähdemateriaalia usealta eri alalta, joista lähin ala oli raketien suuttimet. Rakettien suuttimilla ja puhallussuuttimilla on paljon yhteistä, sillä molemmissa pyritään kohdentamaan suuttimen muodolla voima yhtenäisesti haluttuun suuntaan ja molemmat käyttävät hyväkseen Gustaf De Lavalin kehittämää venturi-suutinta. Muun muassa vuonna 1996 Penn State yliopistossa suoritetussa raepuhallussuuttimen suunnittelussa todetaan, että vaikka alat ovat lähellä toisiaan, ei suurempaa suunnittelutyötä ole tehty suuttimien optimoimiseksi tällä alalla. Työssä Gary S. Settles ja Stephen T. Geppert suunnittelivat venturi-suuttimeen muutoksia käyttäen tietokonelaskentaa. Tätä tutkimusta mukaillen tähän työhön saatiin suunnittelussa käytettyjä muokkaustapoja, joilla suuttimien toimintaa saatiin muokattua tarkoituksiinsa paremmin soveltuviksi. Näitä tapoja olivat:

- Suuttimen kurkun aloittaminen aikaisin, jotta saataisiin kiihtyminen alkamaan aikaisemmin ja suuttimen pituus käytettyä tehokkaammin.
- Suuttimen kurkkuosion pituus ei saa olla pidempi, kuin on tarpeellista stabiilin virtauksen saavuttamiseksi.
- Nopeasti aukeava loppuosuus, jotta ilma saataisiin kiihtymään nopeasti lähelle äänen nopeutta.
- Tasaisesti aukeava loppuosa, jonka tarkoitus on ylläpitää ilman kiihtymistä suuttimen loppuun asti.

Tutkimuksessa onkin edellä oleva tiivistetty sanoilla: ”Paina aikaisin, paina rajusti ja paina niin pitkään kuin on tarpeellista”. Kyseisessä tutkimuksessa on saatu lopputuloksena suutin, jonka tekijät ovat patentoineet nimellä Abrasive blast cleaning nozzle Us. Patent 5,975,996. Kuva tutkimuksessa saavutetusta suuttimesta löytyy liitteestä 4. [13.]

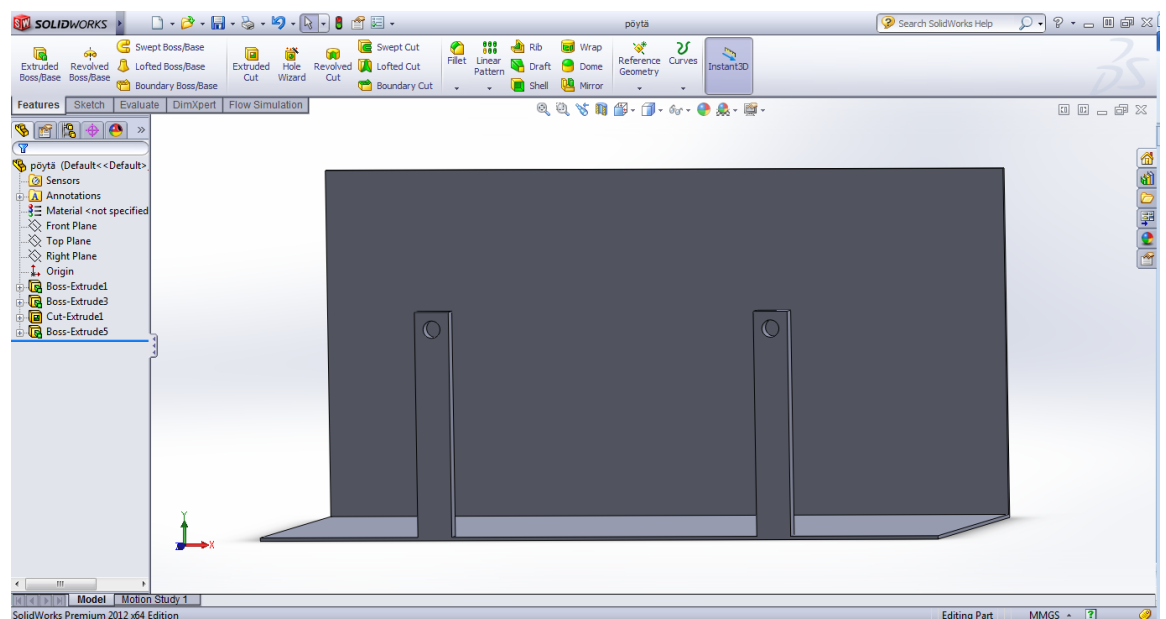
Suunnitteluvaiheessa tehtiin SolidWorks-ohjelmaan simulaatioympäristö, johon eri versioita suuttimista voitiin asentaa ja testata simulaation avulla. Eri versioita suuttimista simuloitiin kymmeniä ja aikaa simulaatioihin käytettiin kymmeniä tunteja. Useasti tehdessä peräkkäisiä

simulaatioita simulaatiossa alkoi esiintyä virheitä, joten luotettavuus peräkkäisissä simulaatioissa ei ollut riittävä. Tämä vaati ohjelmiston uudelleen käynnistämisen ja joissain tapauksissa jopa kappaleen uudelleen mallintamisen.

### 6.3 SolidWorks FlowSimulation 2012

Työssä käytetty virtauksen simulointiohjelma oli Solidworks FlowSimulation 2012. Ohjelma toimii työkaluna suunnittelijoiden töissä, joissa nesteiden ja/tai kaasujen virtauksien hallitseminen on tärkeää. Ohjelman käyttötarkoitus on toimia koealustana, jolla suunnittelijat voivat kokeilla suunnitelmien toimivuutta ennen niiden varsinaista ajamista raskaammilla käyttöönsuunnitelluilla ohjelmilla ja tällä tavalla mahdollisesti korjata suurempia ongelmia ennen suurempaa simulointia.

Simulointityö aloitettiin mallintamalla 3D-ympäristöön eräänlainen testialusta, johon voitiin lähtöarvoja noudattaen siirtää kokoonpanotoiminnolla testattavat suuttimet. Kuva testialustasta on kuvassa 6. Testausalustalla voitiin yhtäaikaaisesti testata muokattua ja muokkaamatonta suutinta vertailujen tekemistä varten. Ongelmaksi muodostui ohjelman vaatima tietokoneen teho, sillä ohjelma kaatui useasti ennen kuin simulointityö siirrettiin tehokkaamman näytönjainkortin omaavalle tietokoneelle.

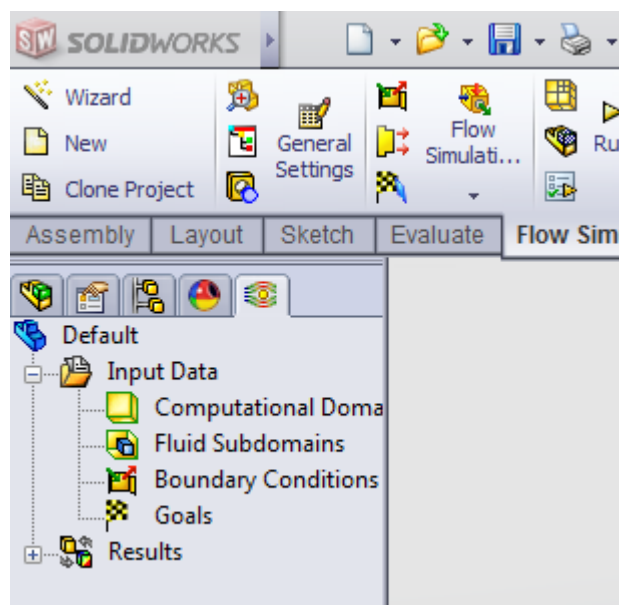


Kuva 6. Testialusta

Simulaation valmistelu aloitettiin lisäämällä SolidWorksin kokoonpanotoiminnolla ensin testialusta, johon sen jälkeen lisättiin testattavat erikseen mallinnetut suuttimet lähtöarvojen mukaisesti. Tässä vaiheessa käynnistetään Flow Simulation - ohjelma, joka löytyy lisäohjelmavalikosta. Ohjelman käynnistyttyä ohjelman sisässä olevalla LID-toiminnolla asetetaan kannet suuttimien letkupäihin, jotta simulaatiossa käytettävä virtaus saa lähtöpinnan.

Simuloitavan kohteen luomisen jälkeen voidaan aloittaa itse simulointi. Suositeltavaa on käyttää ohjelmasta löytyvää wizard-toimintoa, joka luo eri kohdissa määriteltyjen raja-arvojen mukaisesti simulaatiossa käytettävän ympäristön. Näissä kohdissa määritellään käytettävä yksikköjärjestelmä, analyysin tyyppi (sisäinen vai ulkoinen), virtauksessa käytettävä väliaine, seinämän pintaominaisuudet, vallitsevat ympäristön ominaisuudet sekä lopputuloksen tarkkuus. Tässä simuloinnissa käytettiin SI-yksikköjärjestelmää, ulkoista simulointia, väliaineena ilmaa, seinämän ominaisuuksina perusarvoja, ympäristön ominaisuuksina perusarvoja ja lopputuloksen tarkkuutena asteikolla annettua perusasetusta. Koska on odotettavissa, että virtausnopeus ylittää äänen nopeuden, on syytä virtausaineen kohdasta valita high mach number flow.

Seuraavaksi muokataan simulaatiossa käytettävän XYZ-koordinaatiston arvoja, jotta simulaatiossa käytetyn tilan koko on tarkoituksenmukainen, sillä simulaation kesto ja koko kasvaa sitä mukaa mitä suurempi simuloitava tilavuus on. Tässä työssä simuloitava tilavuus oli rajoitettu simulaatiotason mittojen mukaan. Tämä tehdään Computational Domain -kohdasta, joka näkyy kuvassa 7.



Kuva 7. FlowSimulation, asetusrvot.

Simulaatiossa käytettiin kahta peruslähtökohtaa; virtaus tulee suuttimien sisältä, LID-toiminnolla luotujen kansien pinnoilta ja simulaatiotason pystysuora seinämä on absorboiva pinta, jotta virtauksen muoto ja nopeus on selkeämmin havaittavissa simulaatiosta.

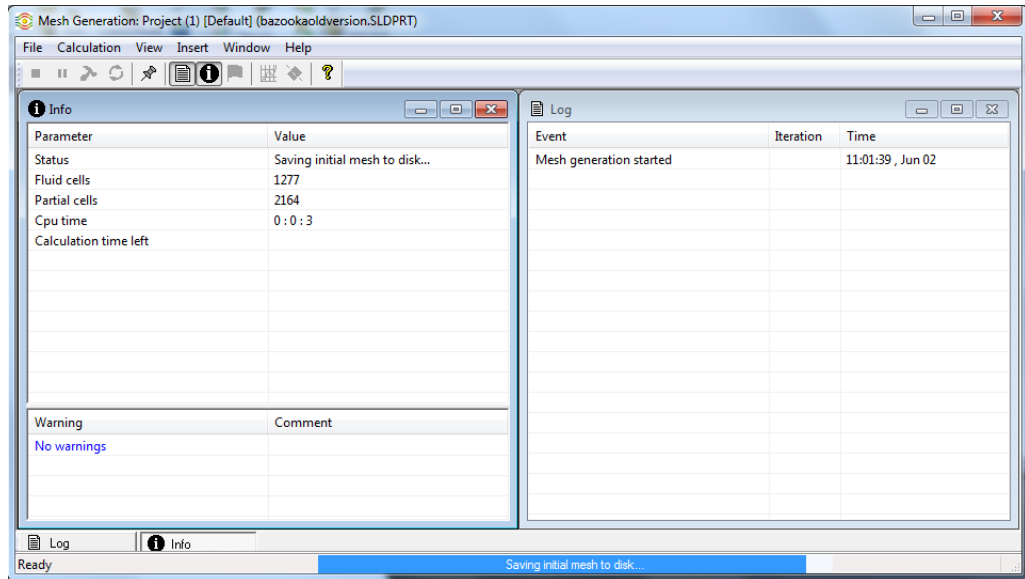
Virtauksen asetusrvot täytyy asettaa ennen simulaation aloittamista kuvassa 7 olevasta Boundary Conditions -kohdasta. Tässä simuloinnissa käytetään ulkoista simulointia, jolloin simulointi loppuu, kun virtaus saapuu laskenta-alueen rajalle. Jos simuloinnissa tehtäisiin sisäinen simulaatio, täytyisi virtaukselle määrittää samasta Boundary Condition -kohdasta myös virtauksen ulosmenopinta.

Boundary Conditions -kohtaa hiiren oikealla painikkeella painamalla saadaan aukaistua valikko, josta valitaan Insert boundary condition. Seuraavaksi valitaan Selection-osioon LID-komennolla luotujen kansien suuttimien sisäinen pinta, josta saadaan virtaukselle aloituspinta. Seuraavaksi valitaan virtauksen haluttu määritelmä. Tässä simuloinnissa on käytetty virtausnopeutta, joka määriteltiin 200 m/s:ksi. Tällöin valitaan Type-kohdasta inlet velocity ja alempaan kohtaan, flow parameters, syötetään virtausnopeus.

Näiden kahden toiminnon lisäksi kuvassa 7 näkyvällä Fluid Subdomain -toiminnolla voidaan lisätä alkuperäisestä virtauksen väliaineesta erillinen materiaali. Tällöin voidaan mallintaa kahden eri virtausmateriaalin käyttäytymistä. Goals-toiminnolla voidaan asettaa erilaisia raja-arvoja simulaatiolle, jos simulaatio on monimutkainen. Tällä toiminnolla voidaan asettaa simuloinnille arvoja esimerkiksi virtauksen suhteen, jolloin ohjelma lopettaa simuloinnin, kun virtauksen huippuarvot on saavutettu.

Kun halutut virtauksen lähtöarvot on asetettu, voidaan aloittaa simuloinnin laskeminen. Tämä tapahtuu ohjelman Run-toimintopainikkeesta. Tässä vaiheessa voidaan määrittää miten laskenta tapahtuu. Tarvittaessa voidaan lisätä laskenta verkon välityksellä toiselle koneelle ja määrittää kuinka montaa käytössä olevan tietokoneen ytimistä ohjelma käyttää laskennan suorittamiseen.

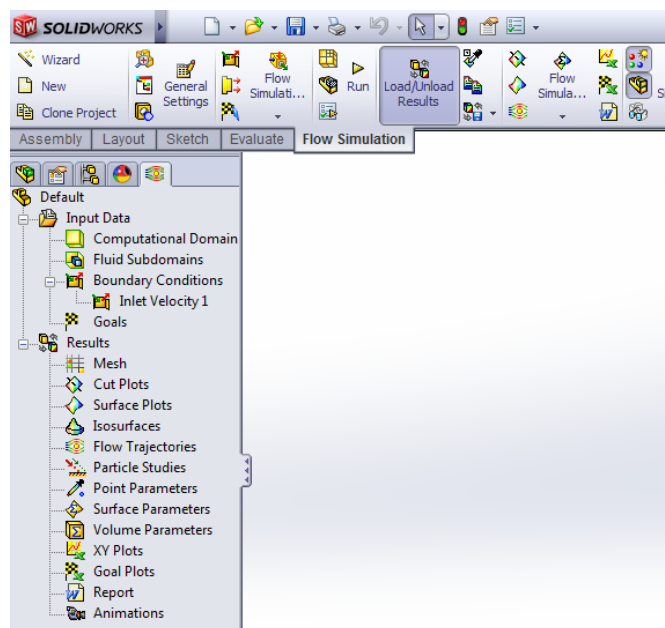
Tässä vaiheessa ohjelma aukaisee erillisen laskentaikkunan. Ikkunassa on nähtävissä simulaation laskennan tilanne. Laskentaikkuna on esitettyä kuvassa 8.



Kuva 8. Solidworks FlowSimulation -laskentaikkuna.

Laskennan loppumisen ohjelma ilmoittaa laskentaikkunassa solver is finished -ilmoituksella. Tässä vaiheessa ikkuna voidaan sulkea. Laskennan kesto riippuu laskettavasta tilavuudesta, virtauksesta ja määritetystä tarkkuudesta.

Laskennan loputtua voidaan saatuja laskentatuloksia tarkastella Results-kohdasta löytyvillä työkaluilla. Työkalut on esitettyä kuvassa 9.



Kuva 9. Results-valikon työkalut

Tässä työssä tärkeimpänä työkaluna analysoinnissa oli Cut Plots, jolla tehdyistä leikkauksista saatiin selville virtauksen muoto ja nopeus suuttimen läpi. Lisäksi työssä käytettiin Particle Studies -työkalua, jonka avulla saatiin visualisoitua rakeiden kulku suuttimessa ja suihkun muoto tullessa työstettävälle pinnalle. Particle Studies -työkalua käytettäessä on suositeltavaa käyttää Wizard-toimintoa, sillä sen avulla saadaan helposti tehtyä suihkun visualisointi.

Ensimmäisessä vaiheessa toimintoa määritetään partikkelien lähtöpinta, lähtökohtien lukumäärä, partikkelien fyysiset ominaisuudet, syöttömäärä, alkunopeus ja lämpötila. Tätä työtä tehdessä käytettiin arvoina: Lähtöpinta sama kuin simulaation ilmavirralla, lähtökohtia 100 kappaletta, partikkelin koko 1 mm, partikkelin materiaalina rauta, syöttömäärä 1 kg/s ja partikkelien nopeutena 200 m/s. Lämpötilalla ei katsottu olevan työn kannalta merkitystä.

Toisessa kohdassa määritetään partikkelien käyttäytyminen kohdatessa jonkin simulaatiossa olevan pinnan. Tässä kohdassa valittiin Ideal Reflection -valinta, sillä muussa tapauksessa partikkelit olisivat lopettaneet kulkeutumisen osuttuaan seinämään. Lisäksi suihkun muodon hahmottamisen parantamiseksi tulee More Conditions -kohdasta valita työstettävän kappaleen pinta ja määrittää se absorboivaksi.

Kolmannessa kohdassa voidaan määrittää Particle Study -työkalun fyysiset ominaisuudet. Vaihtoehtoina on lisätä tutkielmaan partikkelien kertyminen, partikkelien aiheuttama eroosio sekä painovoima, jolle sitä ole määritetty simulaation alussa. Tässä simuloinnissa ei kyseisiä tekijöitä otettu huomioon.

Viimeisessä kohdassa voidaan määrittää miten tutkielmassa saatava data tallennetaan, tutkielman visuaalinen ilme, tutkielman raja-arvot ja tutkielmassa käytetty laskennallinen tila. Nämä voidaan tarpeen mukaisesti säätää halutuiksi. Viimeisessä ruudussa olevasta Run-napista painamalla ohjelma luo halutun tutkielman. Sen jälkeen painamalla hiiren oikealla näppäimellä Particle Studies -kohdan alavalikossa olevaa Injection 1 -kohtaa avautuu valikko, josta valitsemalla Play, saadaan tutkielman visualisointianimaatio käyntiin.

Suuttimien kehittämisessä käytettiin enimmäkseen hyväksi sisäistä simulaatiota, jolla pystyttiin nopeasti ja helposti näkemään tehtyjen muutosten vaikutukset. Tähän tarkoitukseen voidaan soveltaa aiempaa ohjetta sillä erotuksella, että suuttimen ulostulopäähän sijoitetaan Lid-toiminnolla kansi ja tähän sijoitettuun kansipintaan määritetään Boundary Condition -kohdassa pinnan tyypiksi Environment Pressure, tai joku muu haluttu ominaisuus.



## 6.4 Lopputulos

Simulaatioiden avulla saatiin suunniteltua 2 suutinta, joiden ominaisuudet simulaation perusteella parantaisivat suuttimien toimintaa niiden käyttökohteissa.

Bazooka-mallisen suuttimen muotoa muokattiin siirtämällä nimellishalkaisijan omaava kurkkuosio suuttimessa taemmas, jolloin suihkun kiihtyminen alkaisi aikaisemmin ja lisäksi laajennettiin suuttimen ulostuloaukkoa 2 mm, jolloin simulaation perusteella saavutetaan tasaisempi nopeusjakauma ja laajempi tehollinen puhdistusalue.

Venturi-malliseen suuttimeen tehtiin enemmän muokkauksia. Suuttimen kokonaispituutta kasvatettiin 70 mm, jotta suuttimen sisällä saataisiin ilmavirralle annettua mahdollisimman suuri kiihtyvyys. Suuttimen kurkkuosiot siirrettiin taemmas, jotta ilmavirran kiihtyvyys alkaisi mahdollisimman aikaisin suuttimen sisällä. Kurkkuosion tasaisen halkaisijan aluetta pienennettiin suunnitteluohjeiden mukaisesti, jotta säästettäisiin kaikki pituus ilmavirran kiihdyttämiseen. Suoran kurkkuosion jälkeen suuttimen sisähalkaisijaa kasvatettiin nopeasti, jotta ilmavirran kiihtyminen alkaisi nopeammin. Suuttimen loppuosan halkaisija kasvaa tasaisesti loppua kohden, jotta ilman kiihtyminen jatkuisi suuttimen loppuun saakka. Tuloksena on pistemäinen suihku, jolla on suuri nopeus.

## 7 TULOSTEN TARKASTELU

Lopputuloksena saatiin suunniteltua 2 suutinta, joiden mitoitukset poikkeavat hieman alkuperäisistä. Suunnittelun tavoitteena oli selvittää, olisiko profiileja muokkaamalla mahdollista saada puhallustapahtuman tehokkuutta lisättyä. Alkuperäisiin tavoitteisiin nähden on työssä onnistuttu suunnittelemaan käytetyn ohjelmiston simulaation perusteella ominaisuuksiltaan parempia suuttimia. Näiden simulaatioiden perusteella suunnitelluista suuttimista on tarkoitus tehdä tekniset piirustukset, mutta ne luovutetaan suoraan tilaajalle.

### Bazooka-suutin

Bazooka-suuttimeen tehtiin lieviä muutoksia, lähinnä suuttimen kurkkuosion sijoitukseen, jolla pyrittiin saavuttamaan partikkelien parempi kiihtyvyys heikentämättä kuitenkaan suuttimen tehollista puhdistusalueetta.

Suuttimien virtausnopeuksia pyrittiin kasvattamaan sekä kurkkuosiota siirtämällä, että kasvattamalla suuttimen ulostuloaukon halkaisijaa. Suuttimen vertailu alkuperäiseen löytyy liitteestä 8.

Liitteestä 8 voidaan todeta, että suuttimen virtausnopeutta on pystytty simulaation mukaan kasvattamaan 12,3 m/s määrä ja vertailusta selviää, että suuttimen tehollinen alue jopa kasvaisi näillä muutoksilla. Liitteen kolmannessa kuvassa on kuvattu suuttimien toimintaa. Muokattu suutin on kuvassa vasemmalla. Kuvasta havaitaan, että muokatun suuttimen peittoalue on alkuperäistä suurempi. Kuitenkin vaadittaisiin käytännön testejä, jotta tämä saataisiin todettua käytännössä, sillä laboratorio-olosuhteiden ja varsinaisen työtilanteen välillä saattaa olla teki-joita, joita ei ole otettu tässä huomioon.

### Venturi-suutin

Venturi-suuttimeen tehtiin enemmän muutoksia. Suuttimen kurkkuosaa siirrettiin taaksepäin, jotta ilmvirran kiihtyminen alkaisi aikaisemmin. Kurkkuosion jälkeen halkaisijaa suurennettiin voimakkaasti, jotta kiihtyminen loppuosalla voisi alkaa. Lisäksi suuttimen kokonaispituutta kasvatettiin, jotta ilmvirralla olisi aikaa kiihtyä ennen ulostuloa. Suuttimen vertailu alkuperäiseen löytyy liitteestä 9.

Liitteestä 9 voidaan todeta, että suuttimen virtausnopeus on alkuperäistä 9,2 m/s suurempi ja pidemmän suuttimen ansiosta partikkelien nopeuksien tulisi kasvaa alkuperäiseen verrattuna.

Suuttimen käyttötarkoitus on pääasiassa tuottaa pistemäinen suihku, jolla saadaan esimerkiksi valuhiekka irtoamaan kappaleen pinnalta. Liitteen 9 kolmas kuva kuvastaa suuttimia toiminnassa. Kuvasta voidaan todeta, että muokatun suuttimen, joka on kuvassa vasemmalla, suihku olisi simuloinnin mukaan alkuperäistä hieman keskittyneempi, mutta ilman käytännön testejä tai tarkempaa simulointia tätä ei ole mahdollista varmentaa.

## 8 YHTEENVETO

Alkuperäisenä tavoitteena työssä oli tutkia, onko suuttimen profiilia muokkaamalla mahdollista parantaa olemassa olevien suuttimien tehokkuutta. Tässä työssä on tultu siihen lopputulokseen, että suuttimien tehokkuutta voidaan parantaa, mutta suuttimien tehokkuus riippuu suuresti käyttökohteesta ja vallitsevista ominaisuuksista.

Työkaluna tässä työssä käytetty SolidWorksin FlowSimulation -lisäosa ei täysin vastannut tämän työn tarpeita ja mikäli työtä olisi tarkoitus jatkaa, tulisi sen tilalla käyttää jotain muuta simulaatiotyökalua. Lisäksi suuttimien valmistaminen osoittautui liian haasteelliseksi valmistaa paikallisesti, joten käytännön testeihin valmistettavat suuttimet täytyisi valmistaa erikoistilauksena, jolloin niiden hinta olisi korkea.

Työ on ollut mielenkiintoinen ja olen oppinut paljon sekä suihkupuhdistuksesta, että Solidworksin lisäosista. Työstä jatkona voisi tehdä käytännön testejä joko näillä suuttimilla tai parantaa suunnitelmia eteenpäin. Olen varma, että tietokonesuunnittelun ja käytännön testien avulla suuttimien tehokkuutta olisi mahdollista parantaa huomattavastikin, kuten esimerkkinä käyttämässäni tutkimuksessa on tehty.

## LÄHTEET

1. Momber, Andreas. 2010. Blast cleaning technology ISBN: 978-3-642-09280-0
2. Tilgham, Benjamin. Us. Patent. 108,408 Improvement in cutting and engraving stone, metal, glass etc. Myönnetty 18.10.1870
3. E. Ihalainen; K. Aaltonen; M. Aromäki; P. Sihvonen. 1995. Valmistustekniikka. 13. painos. ISBN: 978-951-672-333-7
4. Oy Atlas Copco Ab. paineilmaopas. Kuva ruuvikompressorista.. Internet-osoite: [http://www.atlascopco.com/images/compressed\\_air\\_manual\\_tcm93-1249312.pdf](http://www.atlascopco.com/images/compressed_air_manual_tcm93-1249312.pdf) Haettu 4.6.2014
5. Räsänen, Sami. Raepuhallus.pdf
6. Rockcliffe shotblasting. Kuva manuaalisesta puhdistuksesta. Internet-sivut <http://www.rockcliffeblasting.co.uk/aboutBlasting.html> Haettu 4.6.2014
7. Blastman Robotics Oy. Internet-sivut. <http://www.blastman.com/sivu/fi/> Haettu 25.2.2014.
8. Junttila, Juha. Diplomityö. Suihkupuhdistusrobotin teleskooppipuomin kehittäminen. Oulun Yliopisto. Hyväksytty: 14.11.2006.
9. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Internet-sivut. <http://www.kamk.fi/fi/Palvelutyoelamalle/Teknologiapalvelut/Tuotantotekniikan-palvelut/Robotiikka> Haettu 2.6.2014
10. Blastman Robotics Ltd. Internet-sivut. <http://www.blastman.com/products-and-industries/products/robots/gantry-type-robots/> Haettu 2.6.2014.
11. Settles, G.S. Us. Patent 5,975,996 Abrasive blast cleaning nozzle. Myönnetty 2.11.1999
12. Wikipedia-artikkeli: De Laval nozzle. Periaatekuva venturi-suuttimesta. Internet-sivut [http://en.wikipedia.org/wiki/De\\_Laval\\_nozzle](http://en.wikipedia.org/wiki/De_Laval_nozzle) Haettu 4.6.2014
13. Settles; G.S. Geppert, S.T. 1997. Redesignin blasting nozzles to improve productivity. www-dokumentti <http://www.shotpeener.com/library/pdf/1997046.pdf> Haettu 07.10.2013
14. Sanstorm Blasting. Kuva ja tietoa puhalluslaitteesta. Internet-sivut. <http://sanstormblog.com/tag/funnel/> Haettu 2.6.2014.

## LIITELUETTELO

LIITE 1 SIMULOINNISSA KÄYTETYT RAJA-ARVOT

LIITE 2 TILAAJAN KÄYTTÄMÄ BAZOOKA -SUUTIN

LIITE 3 TILAAJAN KÄYTTÄMÄ VENTURI -SUUTIN

LIITE 4 ABRASIVE BLAST CLEANING NOZZLE US. PATENT 5,975,996

LIITE 5 SANSTROM BLASTING CLOSED TOP BLASTER

LIITE 6 PARTIKKELIVIRTAUKSEN ERI MUODOT

LIITE 7 OPTIMAALINEN VIRTAUSNOPEUS LETKUN HALKAISIJAN SUHTEEN

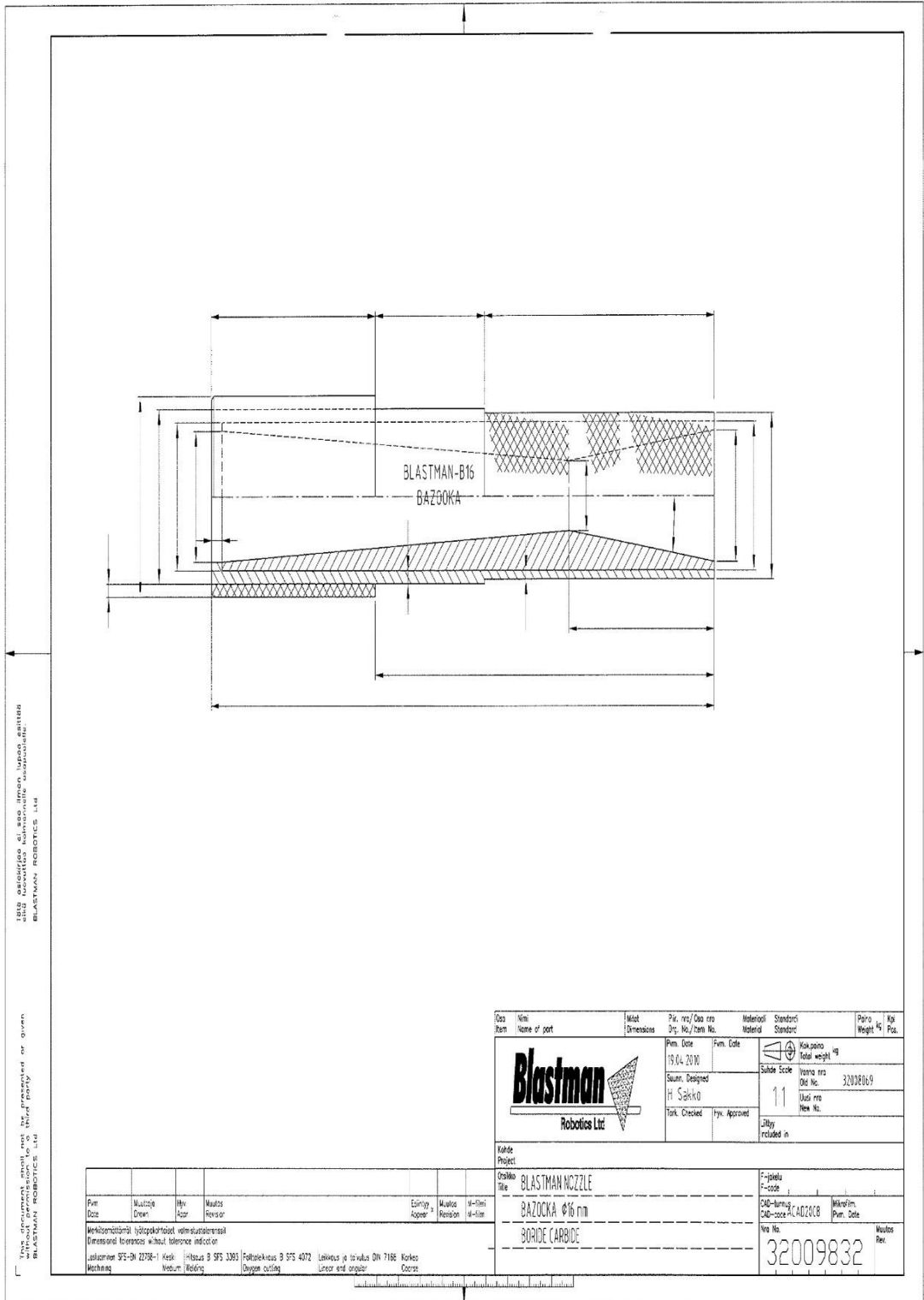
LIITE 8 BAZOOKA-SUUTTIMIEN VERTAILU

LIITE 9 VENTURISUUTTIMIEN VERTAILU

## SIMULOINNISSA KÄYTETYT RAJA-ARVOT

- Suuttimen nimellishalkaisija 16 mm.
- Simuloitavat suutinprofiilit bazooka ja venturi.
- Ilman virtausnopeus 200 m/s.
- Simuloinnissa käytettävä puhallusmateriaali teräshiekka.
- Teräshiekan raekoko 1 mm
- Puhallusmateriaalin syöttömäärä 3600 kg/h.
- Simuloinnissa suuttimen etäisyys kohteesta 70 cm.
- Puhalluspaine 6 Bar.
- Suuttimen suuntaus kohtisuoraan kohteeseen nähden.
- Paineilman kulutus 14,2 Nm<sup>3</sup>/min

TILAAJAN KÄYTTÄMÄ BAZOOKA -SUUTIN



This document shall not be prepared or given  
 to the customer without the approval of Blastman Robotics Ltd.  
 This document shall not be prepared or given  
 to the customer without the approval of Blastman Robotics Ltd.

This document shall not be prepared or given  
 to the customer without the approval of Blastman Robotics Ltd.

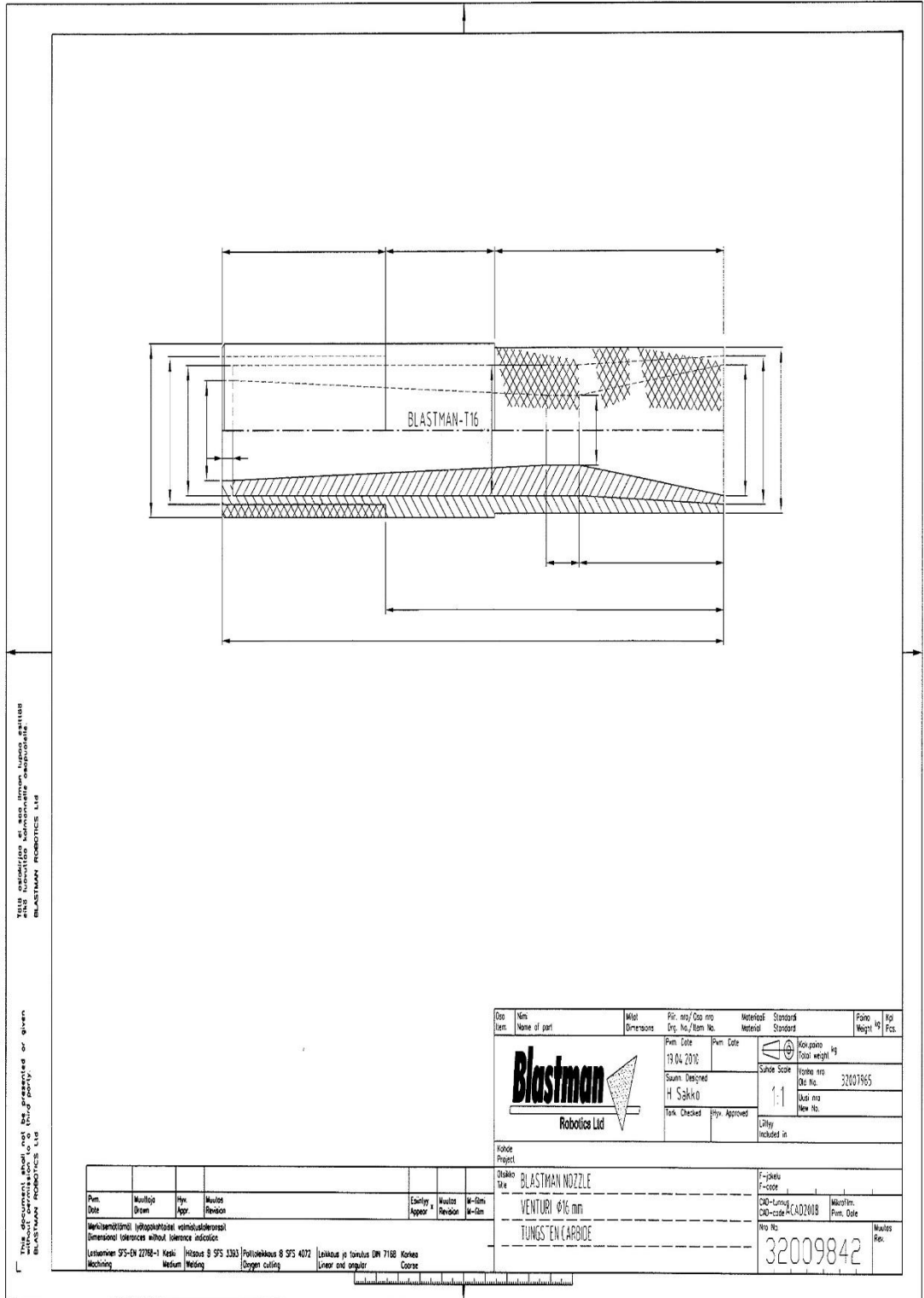
Qsa Item	Nimi Name of part	Mitat Dimensions	Pk. nro / Qsa nro Drg. No. / Item No.	Materiaali Material	Standardi Standard	Paino Weight	Kg Pcs.
			Pvm. Date 19.04.2010	Fvm. Code	Kokopaino Total weight	kg	
		Summ. Designed H. Salkko		Subite Scale	Yritys nro Old No.	32009832	
		Tark. Checked	Tryk. Approved	11	Uusi nro New No.		
Kalle Project Osa Title BLASTMAN NOZZLE BAZOOKA Ø16 mm BORIDE CARBIDE							
					F-tyyppi F-type		
					QAD-numero CAD-code	41402408	
					Yr. No.	32009832	
					Muutos Rev.		

Pvm Date	Muutos Order	Myy Buy	Muutos Revision	Esimies Approv.	Muutos Revision	Mittakaava Scale

Mekaanisista osista valmistettu, valmistusohje  
 Dimensionit koskevat vain toleranssi määrittäen  
 Valmistus SFS-DN 2278-1 keuhk. / Valmistus SFS 3385 / Puhdistus SFS 4072 / Lohkaisu ja sisäpinta DN 7186 / Käsitys / Machining / Heat treating / Drycleaning / Laser and grinding / Coarse



TILAAJAN KÄYTTÄMÄ VENTURI -SUUTIN

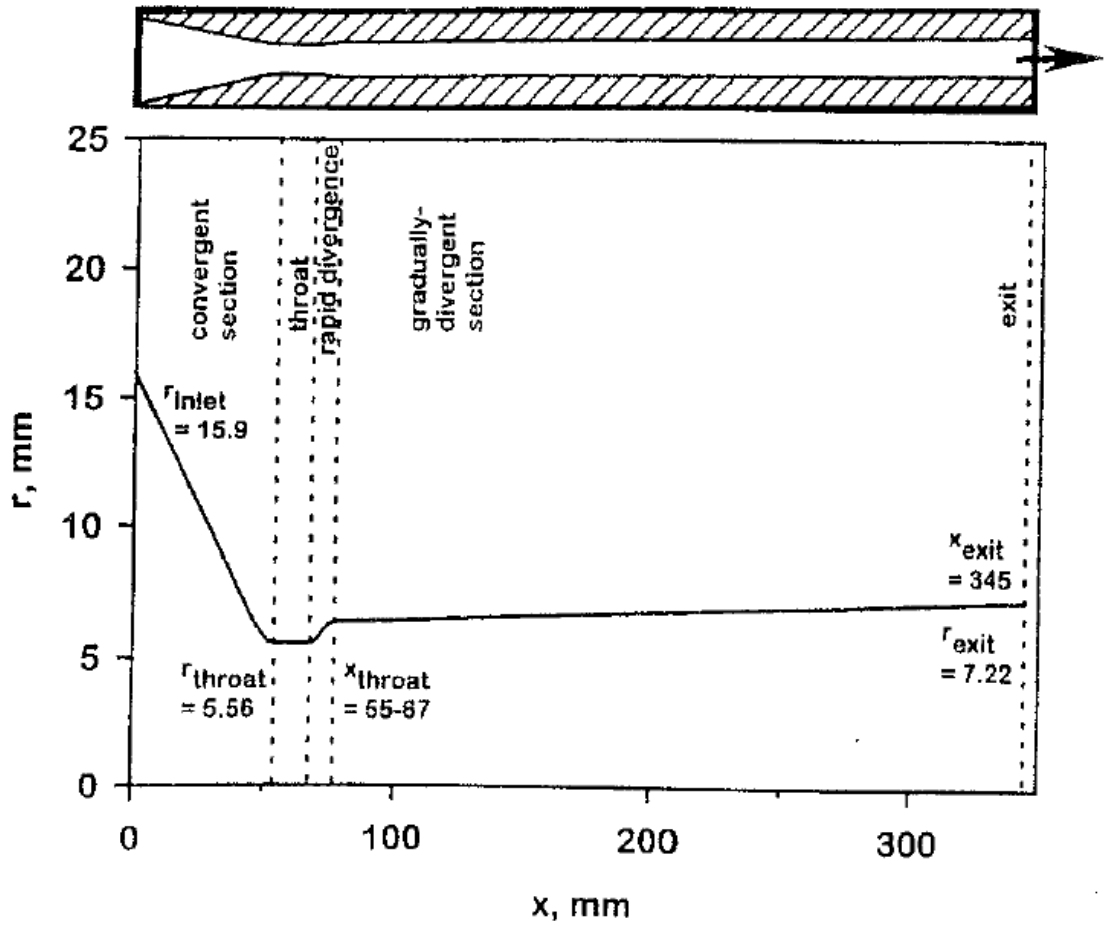


Tämä asiakirja on esitetty ilman lupaa jällellä levittää ilman Blastman Robotics Ltd:n kirjallista lupaa.

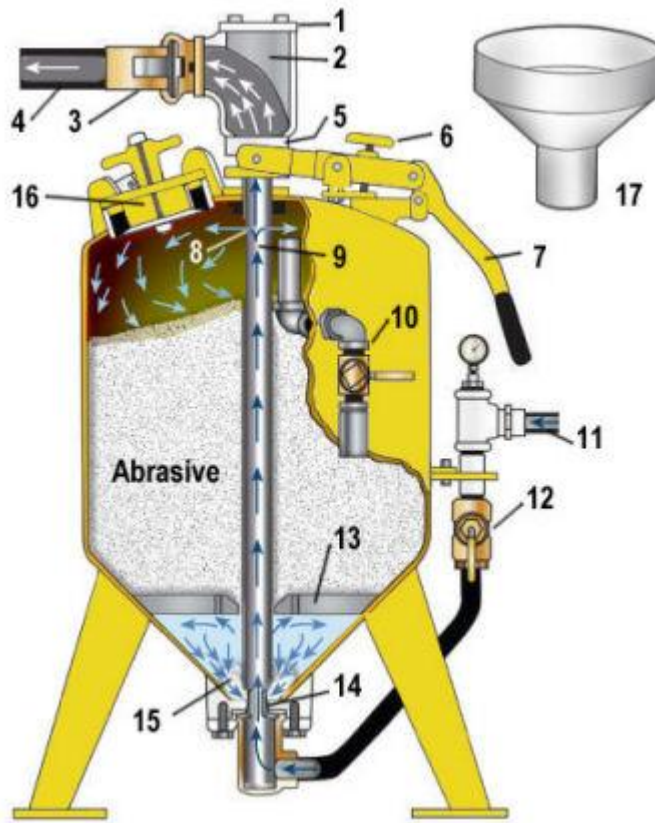
This document shall not be reissued or given without permission to a third party.

Doc Item	Name of part	Mat Dimensions	Part. no/ Doc no Org. No./Item No.	Material	Standard	Part Weight kg	Qty
	<b>Blastman</b> Robotics Ltd		Part. no/ Doc no 19.04.2016 Suunn. Designed H. Sakkio			Non-paint Total weight kg 32007965	
			Task. Checked	Qty. Approved		Scale 1:1	
Project: Title: BLASTMAN NOZZLE Size: VENTURI Ø16 mm Material: TUNGSTEN CARBIDE							
Pvm. Date	Muokki/ Drawn	Hyt. Appr.	Muutos Revision	Esitellyt Approv.	Mittakaava Scale	W-tila W-Item	W-tila W-Item
Merkinnät/Notes: (ytäpäätöksiä varten/for decisions) Dimensional tolerances without tolerance indication. Leikkaus: SFS-EN 2718-1 Kesk. Medium Hitaus: SFS 1363 Heat treatment Puhallus: SFS 4072 Oxygen cutting Leikkaus ja toimitus DW 7188 Korkeus Linear and angular Coarse							
						T-jäkeu F-008 CAD-Luokka CAD-008 No. No. 32009842 Muutos Rev.	

ABRASIVE BLAST CLEANING NOZZLE US. PATENT 5,975,996 [ 4 ]



## SANSTROM BLASTING CLOSED TOP BLASTER [ 14]



1. Puhallusmateriaalin ulostulo
2. Vaihdeettava ulostulon suoja
3. Kwik Fit -letkuliitin
4. Puhallusletku
5. Pyörivä akseli, sallii letkun 360 asteen liikkumisen
6. Puhallusmateriaalin säätöruuvi
7. Puhallusmateriaalin syötön katkaisu
8. Paineputken venttiili, tasaa paineen laitteen sisällä
9. Paineputki
10. Paineenpäästöjärjestelmä
11. Paineilmalinja
12. Paineilman syöttöjärjestelmä
13. Ohjuri, keskittää paineputken paineilmasuuttimen yläpuolelle
14. Paineilmasuutin
15. Ilman ja puhallusmateriaalin sekoitusosio, venturimainen toiminta takaa positiivisen materiaalin hallinnan ja tasaisen materiaalin annostelun
16. Täyttöaukko
17. Täyttösuppilo

PARTIKKELIVIRTAUKSEN ERI MUODOT [1, s.141.]

4.5 Abrasive Hose Lines

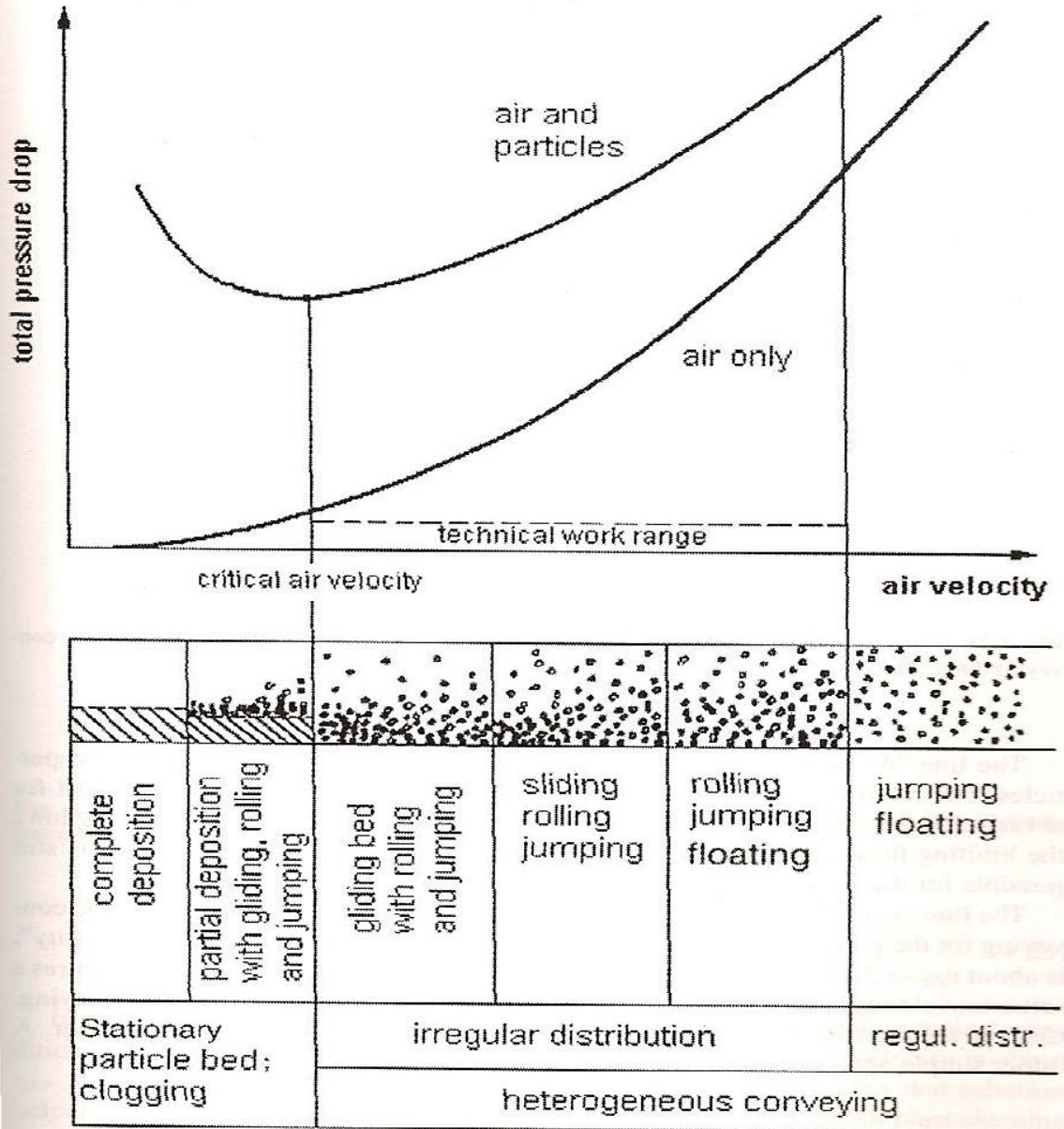


Fig. 4.27 Conveying modes in pneumatic solid particle conveying lines: general relationships (Burrke et al., 1989)

OPTIMAALINEN VIRTAAUSNOPEUS LETKUN HALKAISIJAN SUHTEEN [1, s.146.]

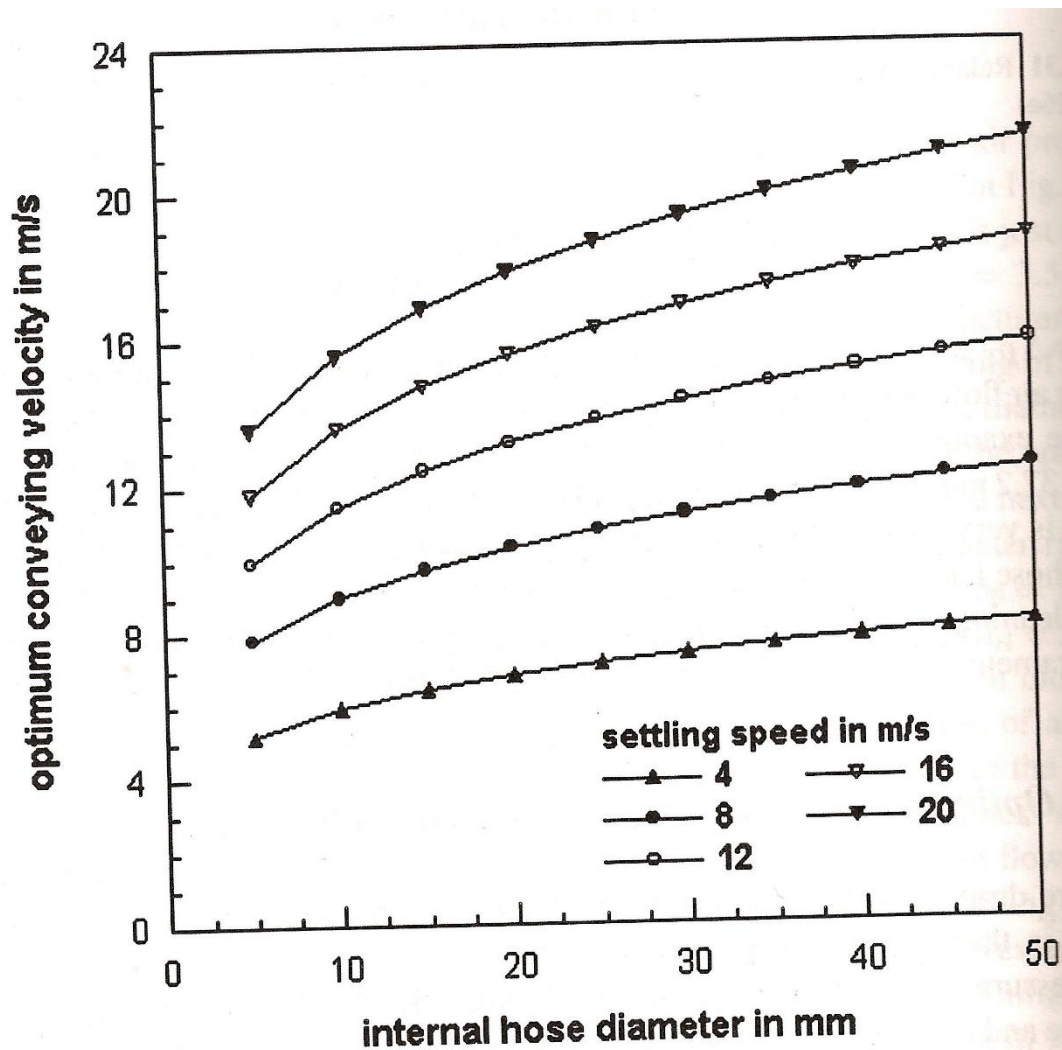
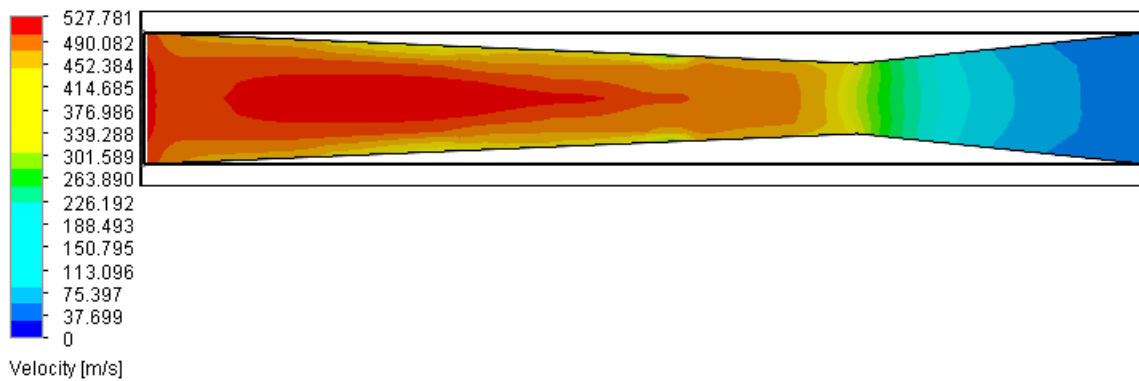


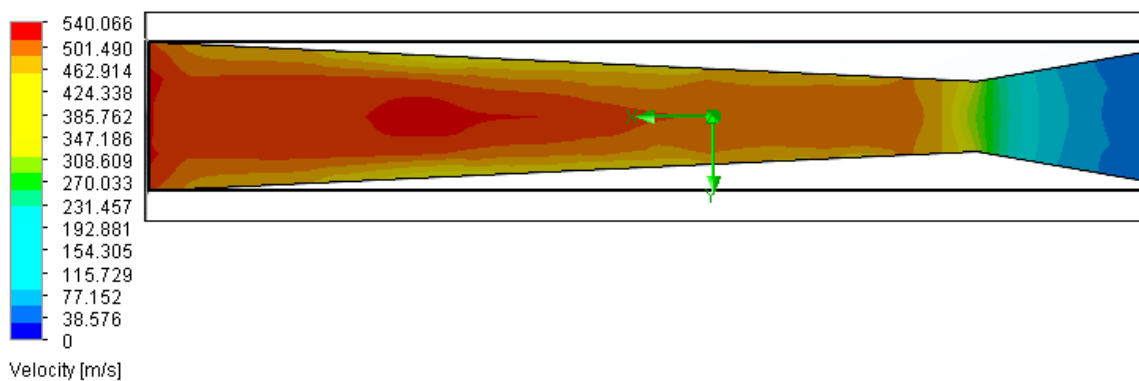
Fig. 4.32 Optimum air velocity for vertical conveying according to (4.26)

## BAZOOKA-SUUTTIMIEN VERTAILU

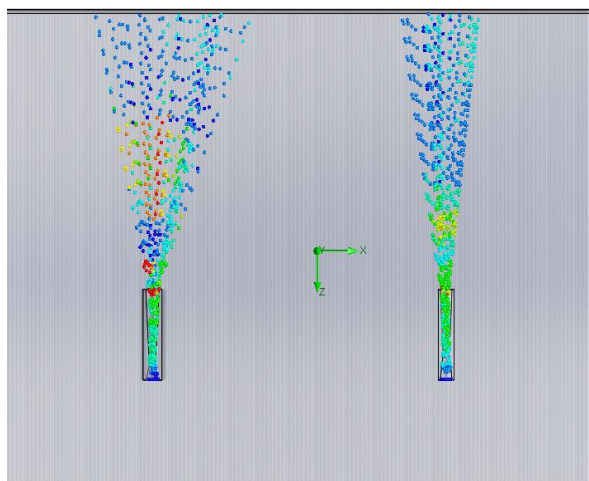
Tilaajan käyttämä suutin.



Muokattu suutin.

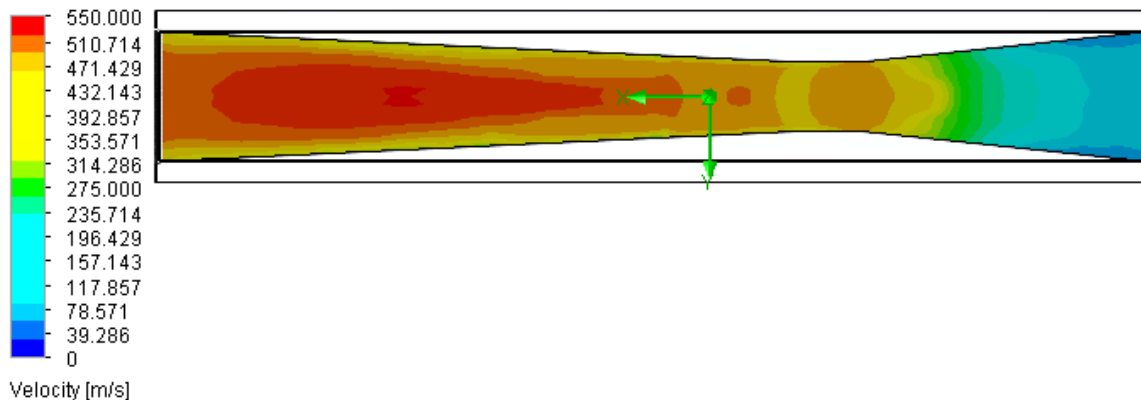


Suuttimien vertailu puhdistusalueesta. Muokattu suutin vasemmalla ja tilaajan käyttämä oikealla.

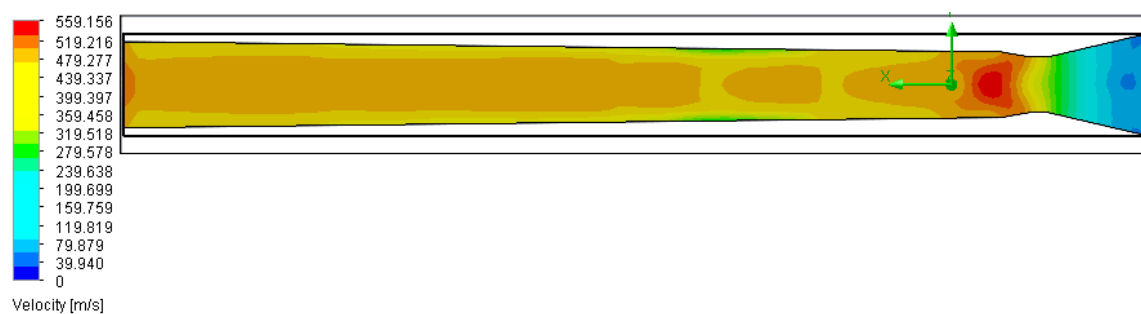


VENTURI-SUUTTIMIEN VERTAILU

Tilaajan käyttämä suutin.



Muokattu suutin.



Suuttimien vertailu puhdistusalueesta. Muokattu suutin vasemmalla ja tilaajan käyttämä oikealla.

