



Kierrätysteräksen polttoleikkauspaikan ilmanvaihdon kehittäminen

Kirjoittajat:

Ilpo Kulmala, Antti Lehtinen ja Matti Niemeläinen



Hanke on toteutettu Työsuojelurahaston tuella

Raportin nimi Kierrätysteräksen käsinpolttopaikan ilmanvaihdon kehittäminen	
Asiakkaan nimi, yhteystiedot ja yhteystiedot Outokumpu Stainless Oy Pauliina Rantakeisu Pauliina.Rantakeisu@outokumpu.com	Asiakkaan viite
Projektin nimi Kärynhallinnan parantaminen kierrätysterästen käsinpolttoleikkauksessa	Projektin numero/lyhytnimi 75863/KIPAKÄRY
Raportin laatija(t) Ilpo Kulmala, Antti Lehtinen ja Matti Niemeläinen	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 18/
Avainsanat Polttoleikkaus, kohdeilmanvaihto, CFD mallinnus	Raportin numero VTT-CR-03976-12
Tiivistelmä <p>Kierrätysteräksen polttoleikkauksessa vaihtelevat olosuhteet sekä suuret lämmön- ja epäpuh- tauksien tuotot aiheuttavat polttoleikkauksikäryjen vaikean hallittavuuden. Ongelmana on saada polttoleikkauksikäryt kulkeutumaan oikeaan suuntaan poistoilmanvaihtoa kohden niin etteivät ne jää leijumaan leikkauspaikkaan ja siellä työskentelevien henkilöiden ympärille.</p> <p>Tavoitteena oli tehostaa polttoleikkauksikäryjen hallintaa siten, että kärynpolto toimii myös olosuhteiden ja erilaisten ilmavirtausten vaihdelleessa. Hankkeessa käytettiin apuna virtauslas- kentamallia, jonka avulla simuloitiin lähtötilanne ja erilaisia parannusehdotuksia. Lupaavin ratkaisu toteutettiin ja asennettiin polttoleikkaushalliin.</p> <p>Kehitetyn ratkaisun toimivuutta määritettiin visuaalisesti ja mittaamalla hiukkaspitoisuutta polttoleikkaushallin sisäpuolelta. Ensimmäinen ratkaisu ei toiminut suunnitellusti, joten koh- depoistoa kehitettiin edelleen siten että imua siirrettiin lähemmäksi päästölähdettä. Lisäksi ko- keiltiin erilaisia puhallusratkaisuja.</p> <p>Poistohuuvan muutoksilla, riittävän voimakkaalla vaakasuuntaisella tasosuuhkulla ja poistoil- mavirran lisäyksellä saatiin olosuhteita parannettua merkittävästi lähtötilanteeseen verrattuna. Parhaimmillaan vaakapuhalluksen avulla ja poistoilmavirran lisäyksellä pitoisuuksia kyettiin pienentämään viidesosaan verrattuna tilanteeseen jossa puhallusta ei käytetty.</p>	
Luottamuksellisuus	luottamuksellinen
Tampereella 8.6.2012 Laatija	Tarkastaja
Ilpo Kulmala perustutkija	Seppo Enbom Erikoistutkija
Hyväksyjä	
VTT:n yhteystiedot	
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Tilaaaja Outokumpu Stainless Oy, VTT	
<p style="text-align: center;"><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>	

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	3
2	Tavoite.....	3
3	Kohteen kuvaus.....	3
4	Kehittämisvaiheet	4
4.1	Lähtötilanteen toimivuuden mallinnus	4
4.2	Parannusvaihtoehtojen simulointi	7
4.2.1	Puhallussuihkun validointi	7
4.2.2	Puhallus viistoon, keräävä huuva polttoleikkaustilan takaosassa	8
4.2.3	Liikuteltava imuhuuva	10
5	Polttoleikkauspaikalla koekäytetyt kohdeilmanvaihtoratkaisut	10
5.1	Ensimmäinen versio.....	10
5.2	Toinen versio	11
6	Mittaukset ja tulosten tarkastelut	12
6.1	Puhallus yläviistoon, imu ylhäällä (1. versio).....	13
6.2	Kohdennettu imu, puhallus alaspäin, (2. versio)	14
6.3	Kohdennettu imu, vaakapuhallus (2. versio)	15
7	Johtopäätökset ja suositukset.....	17
	Lähdeviitteet	18

1 Johdanto

Outokumpu Tornio Works käsittää Outokummun merkittävimmät tuotantolaitokset, ferrokromisulaton ja terästehtaan, joka valmistaa n. miljoonan tonnin vuosikapasiteetilla valssattuja ruostumattomia teräksiä. Tuotannon eri vaiheissa (mm. kuuma- ja kylmävalssauksessa) muodostuu ajoittain teräskappaleita, joita on tarve pilkkoa määrämittäisiin ennen käyttöä terässulaton raaka-aineena.

Kierrätysteräksen paloittelulaitos (KIPA) käsittää kolme tuotantolinjaa: käsinpolttoleikkauspaikat, koneellisen polttoleikkauslinjan ja mekaanisen leikkauslinjan. Metallikappaleet, jotka ovat liian suuria automaattiselle polttoleikkauslinjalle, pilkotaan pienemmiksi käsin happipeitsellä. Ennen KIPA-laitoksen valmistamista sulatukseen menevät kappaleet paloitetiin ulkotilassa, jolloin leikkauksessa syntyneet huuрут kulkeutuivat ympäristöön. KIPA:lla polttoleikkaushuurut kerätään kohdepoistojärjestelmällä ja talteenotettu metallipöly kierrätetään.

Suurten kappaleiden manuaalinen polttoleikkaus tapahtuu Outokumpu Tornio Works:in tehtailta hallissa, jossa on kaksi, poistoilmanvaihdolla varustettua polttoleikkauskammiota. Paloittelulaitoksella käsitellään vuosittain noin 30 000 tonnia kierrätysterästä.

Kierrätysteräksen paloittelussa happileikkauksella syntyy runsaasti huuруja, joista on haittaa työntekijöille ja lähialueella työskenteleville henkilöille. Ruostumattoman teräksen leikkauksessa muodostuu kromi- ja nikkelihuuruja, jotka ovat syöpävaaraa aiheuttavia aineita [1].

2 Tavoite

Hankkeen tavoitteena oli parantaa kierrätysteräksen paloittelulaitoksella ja sen lähiympäristössä työskentelevien henkilöiden työturvallisuutta ja työolosuhteita parantamalla paloittelulaitoksen polttoleikkaushuurujen hallintaa.

3 Kohteen kuvaus

Hankkeessa kehitettiin kierrätysteräksen käsinpaloittelulaitoksen (Kuva 1) ilmanvaihtoa. Paloittelu tehdään kahdessa samankaltaisessa, mutta hieman erisuuruudessa tilassa, jotka on erotettu toisistaan seinällä. Projektissa rajoitettiin tarkastelemaan kuvan 1 oikeanpuolesta tilaa.

Polttoleikkaustila on korkea johtuen tarpeesta tuoda polttoleikkattavat tuotteet trukeilla. Haasteena on ilmavirtojen ja ilman epäpuhtauksien hallinta vaihtelevissa olosuhteissa. Lisäksi paloitettavat kappaleet ovat erikokoisia ja muotoisia, joten ratkaisun tulisi toimia tehokkaasti hyvin erilaisissa tilanteissa.



Kuva 1: Kierrätysteräksen paloittelulaitos.

Kehitettävällä ratkaisulla oli joitakin rajoitteita:

- Ratkaisu ei saa haitata trukkien liikennöintiä polttoleikkauspaikalle
- Liikuteltavat ratkaisut eivät olleet toivottavia, koska niiden käyttö on hankalaa ja toimintavarmuus likaisissa olosuhteissa epävarmaa.

4 Kehittämisvaiheet

Hankkeen kehittämisvaiheita olivat:

- olemassa olevan polttoleikkaustilan ja polttoleikkaushuurujen poistojärjestelmän virtausmallinnus ja simulointi (lähtötilanne)
- parannusvaihtoehtojen toimivuuden arviointi virtauslaskennan avulla
- laskentatulosten perusteella valitun kohdeilmanvaihtoratkaisun rakentaminen ja toimivuusmittaukset
- em. kohdeilmanvaihtoratkaisusta saatujen kokemusten perusteella uusitun kohdepoistoratkaisun parannustoimenpiteiden suunnittelu, asennukset ja toimivuusmittaukset

4.1 Lähtötilanteen toimivuuden mallinnus

Hankkeen alussa arvioitiin alkuperäisen kohdeilmanvaihtoratkaisun toimivuutta käyttämällä virtausmallinnusta (CFD, computational fluid dynamics). Mallinnettavan tilan CAD-malli sekä sen perustella tehty yksinkertaistettu virtausmalli on esitetty kuvassa 2.

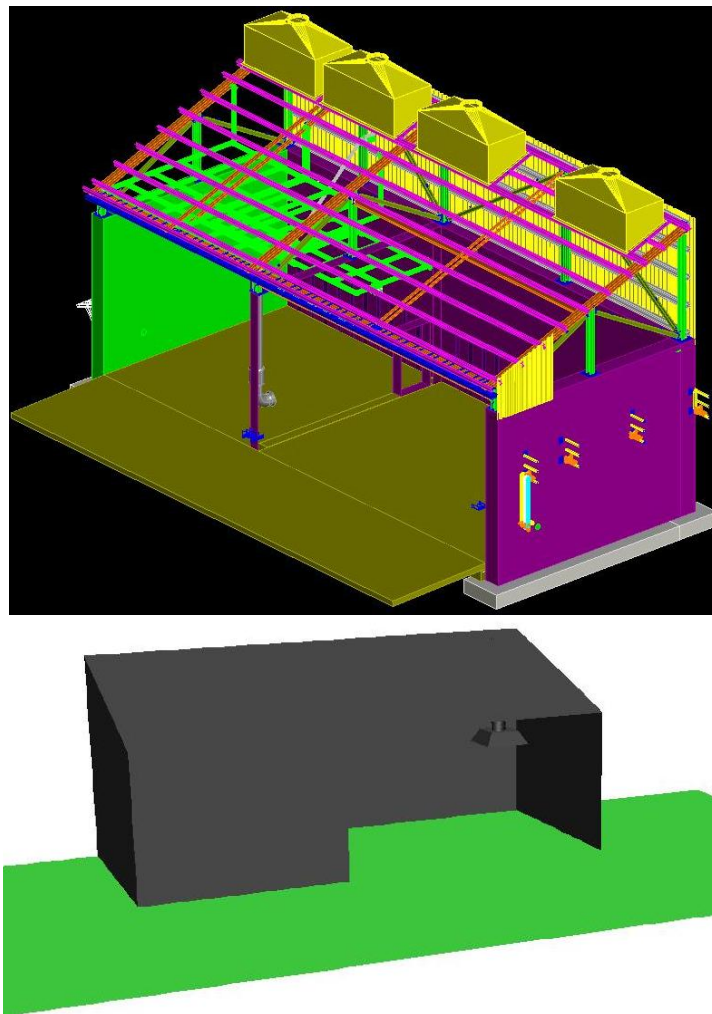
Mallinnuksessa käytettiin kaupallista Ansys Fluent 13 –ohjelmistoa [2]. Virtauskenttää kuvaavat Navier-Stokesin yhtälöt ratkaistiin niiden Reynolds-keskiarvotetussa (RANS, Reynolds-averaged Navier-Stokes) muodossa [2]. Vir-

tauksen turbulenssi kuvattiin käyttämällä ns. todenmukaista $k-\epsilon$ -mallia [3]. Seinämäalueilla turbulenssin vaikutus kuvattiin standardiseinämafunktioilla [4].

Lämpötilan vaikutus ilman tiheyteen kuvattiin ideaalikaasun tilanyhtälöllä, jolloin nosteen vaikutus tulee mallissa huomioitua tiheyserojen kautta. Paineenvaihtelut laskentatapauksissa olivat pieniä, joten paineenvaihtelusta aiheutuvaa ilman koonpuristumista ei mallinnettu. Virtausmalli kalibroitiin siten, että polttoleikkaustilan huuvan kautta poistuva ilmamäärä vastasi aiemmissa mittauksissa todettua $30000 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

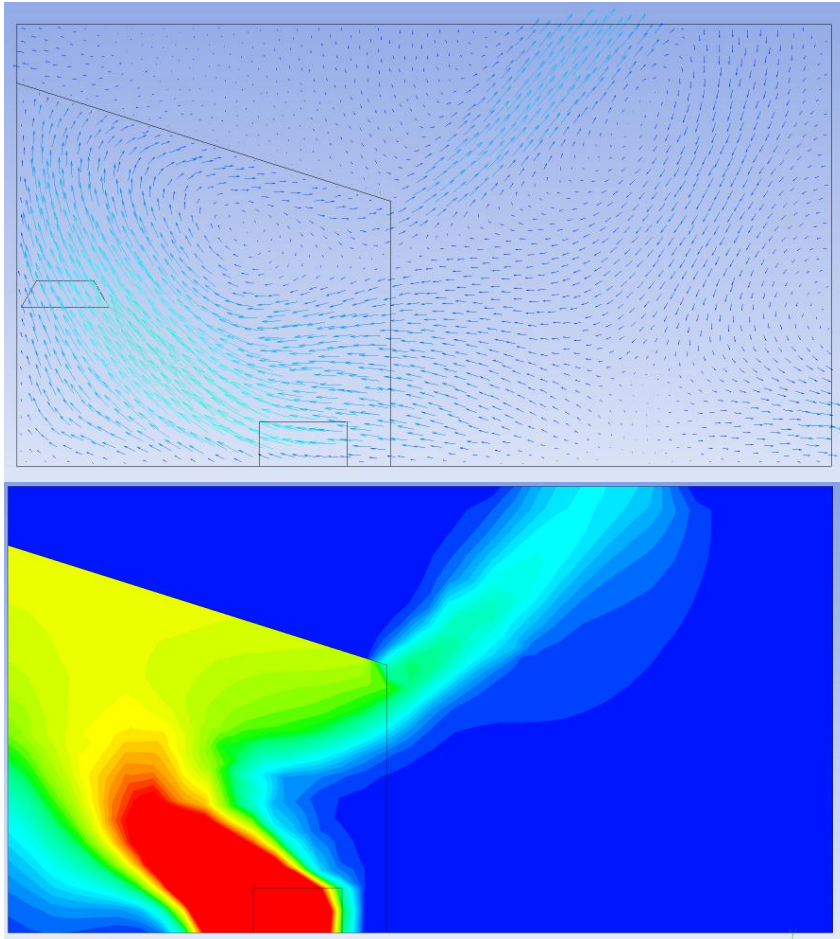
Polttoleikkaustapahtuman mallinnuksen lähtöoletuksena oli, että polttoleikkauksessa syntyvä huuru ja lämpö vapautuu tasaisesti $2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ kokoiselta alueelta oviaukon läheisyydessä. Lämmöntuotoksi oletettiin 40 kW . Lämmöntuotto arvioitiin mittaustiedon perusteella ulko- ja poistoilman välisestä lämpötilaerosta. Mallinnus tehtiin ajasta riippumattomana. Tuulen vaikutusta ei otettu huomioon.

Mallinnukseen liittyy epävarmuuksia, johtuen polttoleikkaustapahtuman aiheuttaman nosteen yksinkertaistetusta kuvaamisesta sekä muista yksinkertaistuksista. Oletuksena kuitenkin oli, että mallinnuksen avulla saataisiin riittävän luotettavaa tietoa parannusehdotusten suunnittelemiseksi.

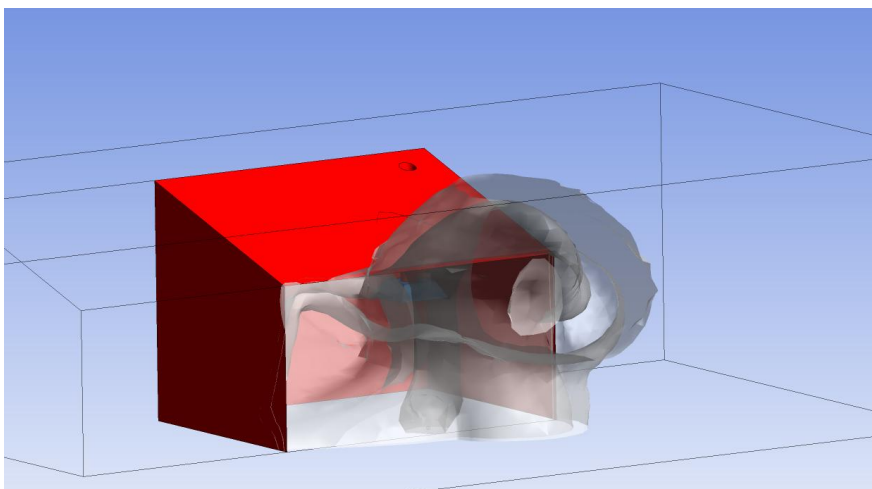


Kuva 2: Kierrätysteräksen paloittelulaitoksen CAD-malli (ylhäällä) sekä virtausmalli (alhaalla)

Lähtötilanteen mallinnettu virtauskenttä sekä polttoleikkaushuurujen pitoisuusjakauma on esitetty kuvassa 3. Kuvasta 4 nähdään, että ilma kiertää polttoleikkaustilan alaosassa imuhuuvua kohden, mutta nousee takaseinällä osittain huuvan ohi kohti kattoa. Ilma (ja huurut) palaavat kattoa myöten kohti oviaukkoa ja pääsevät osittain ulkoilmaan. Polttoleikkaushuurujen pitoisuus on korkeimmillaan polttoleikattavan kappaleen läheisyydessä.



Kuva 3: Mallinnettu virtauskenttä.



Kuva 4: 3D-kuva mallinnetusta savukentästä lähtötilanteessa.

4.2 Parannusvaihtoehtojen simulointi

Lähtötilanteen simuloinnin jälkeen malliin tehtiin lukuisia laskentakokeiluja, joiden avulla yritettiin ideoida parannuksia kohdepoistoon. Esimerkiksi:

- Puhalluslaatikoiden käyttö virtaukseen ohjaamiseen (puhallussuunnat oviaukolta takaosaa kohden tai sivusuunnassa, vinot puhallukset katon suuntaisesti)
- Aabergin huuva
- Erilaiset pressuratkaisut, joilla ilman kiertoa saataisiin muutettua
- Väliseinäratkaisut
- Liikuteltavat ratkaisut

4.2.1 Puhallussuihkun validointi

Varteenotettavimmaksi keinoksi suunnata polttoleikkauksessa syntyviä voimakkaita nostevirtauksia kohdepoistoihin arvioitiin tasomaiset puhallussuihkut. Yksinkertaisimmin tasosuihkut saadaan aikaan puhalluslaatikoilla, joiden kylkeen tehdään pitkä puhallusrako.

Jotta virtausmallin toimivuutta voitiin arvioida tekemättä mittauksia, toteutettiin puhallussuihkun CFD -laskentatavan validointi ennen koko tilan virtausmallinusta. Puhallussuihkun CFD -laskenta tehtiin siten, että kaikki polttoleikkaustilan rakenteet (seinät, katto, imuhuuva) poistettiin mallista. CFD -laskennan tuloksia verrattiin analyttiseen, mittaustietoon perustuvaan, suihkun keskiakselin nopeusjakautuman laskentamallin tuloksiin. [5]

$$V = 2.4 \cdot V_0 \sqrt{\frac{b}{x}}$$

missä

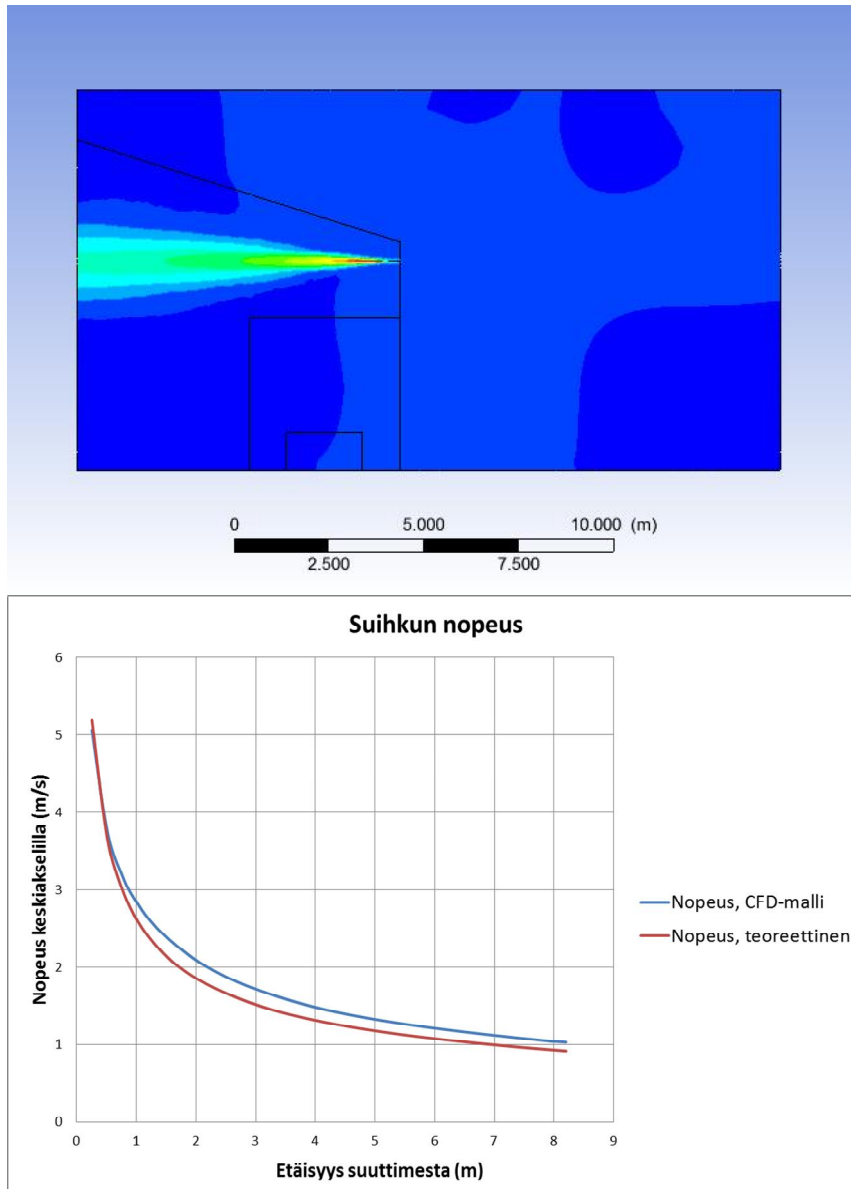
V = suihkun keskiakselin nopeus (m/s)

V_0 = suihkun alkunopeus (m/s)

b = raon paksuus (m)

x = etäisyys raosta keskiakselilla

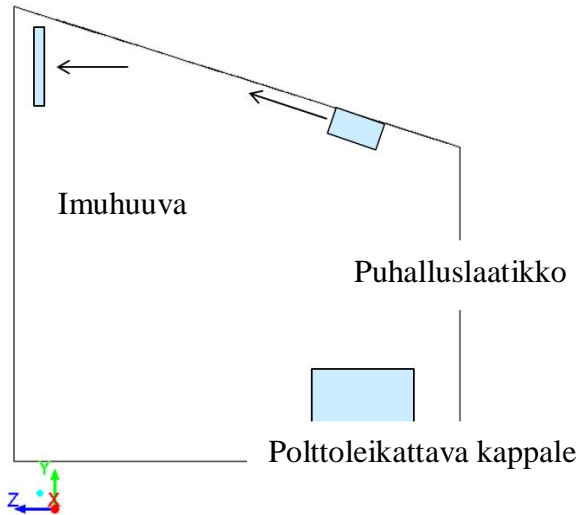
Puhallussuihkun CFD-laskennan virtausnopeuden ja analyttisen, mittauksiin perustuvan yhtälön avulla lasketun virtausnopeuden välillä on esitetty alla (Kuva 5). Vertailusta nähdään, että puhalluslaatikon rakosuikun malli vastaa hyvin todellisuutta ideaaliolosuhteissa.



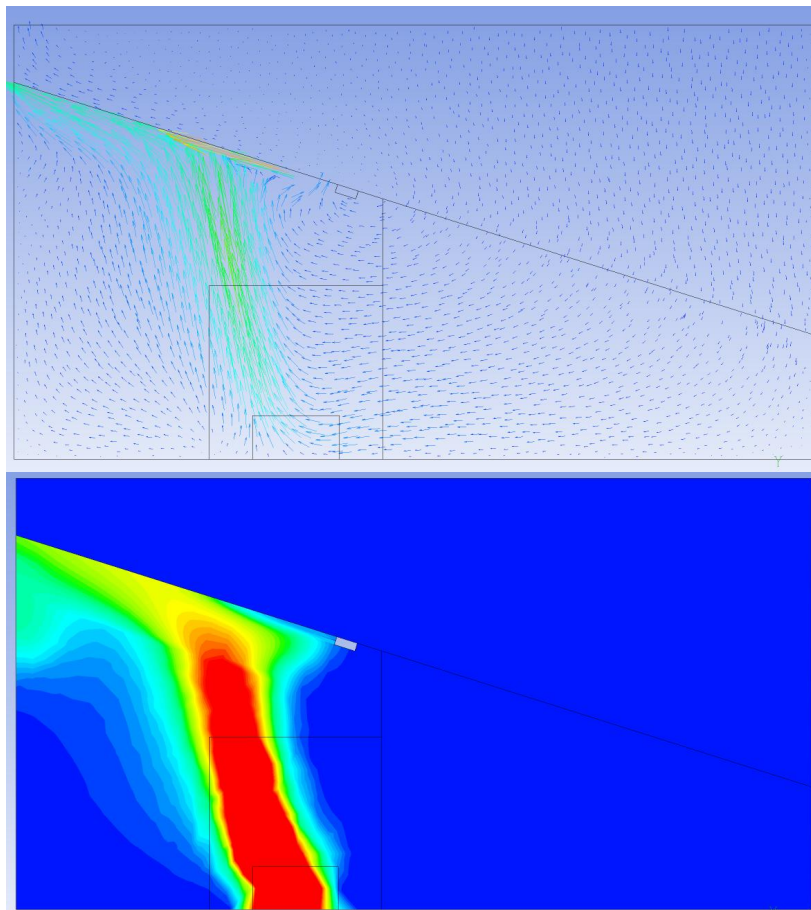
Kuva 5: Mallinnettu virtausnopeus puhalluslaatikosta validointimallissa, josta polttoleikkaustilan seinä ja katto on poistettu. Alhaalla on vertailu teoreettiseen virtausnopeuteen.

4.2.2 Puhallus viistoon, keräävä huuva polttoleikkaustilan takaosassa

Kiinteistä ratkaisuista mallinnuksen perusteella lupaavin ratkaisu on esitetty alla (Kuva 6). Siinä puhalluslaatikosta puhalletaan ilmaa koko polttoleikkaustilan leveydeltä tasaisella nopeudella siten että tasosuihkun liikemäärä on 1.4 N/pituusmetri. Takaosassa ylhäällä on keräävä imuhuuva. Ratkaisun mallinnettu virtauskenttä sekä savupitoisuus on esitetty alla (Kuva 7).



Kuva 6: Kokeiltu ehdotus uudesta kärynpoistoratkaisusta.



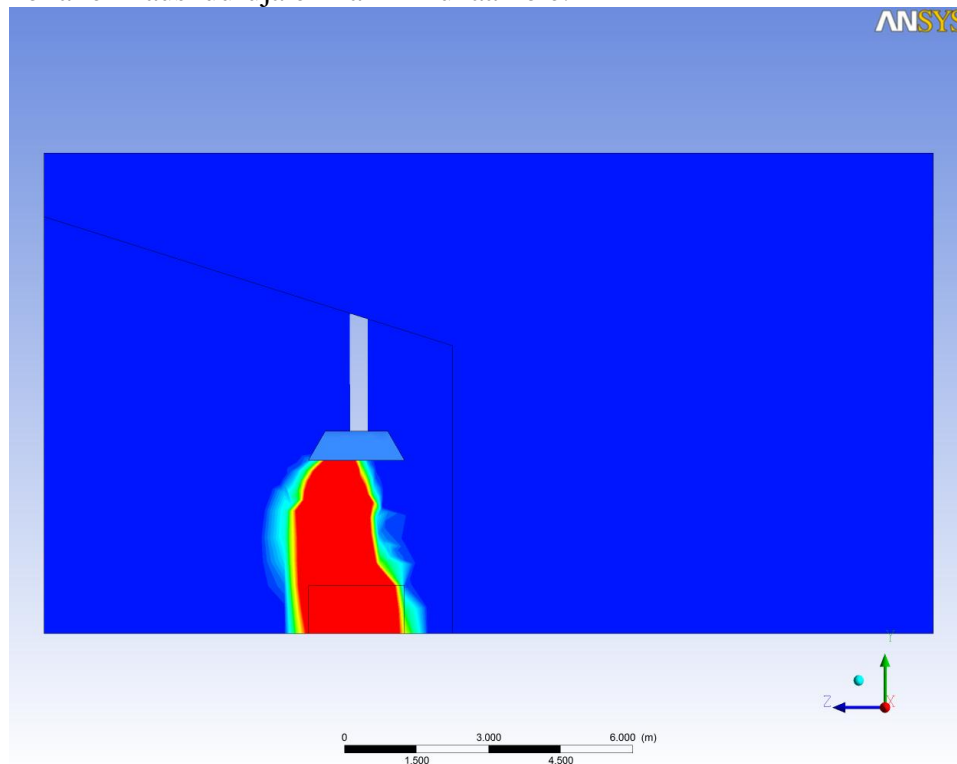
Kuva 7: Mallinnettu virtauskenttä (ylhäällä) sekä leikkaushuurujen pitoisuus (alhaalla) kokeilussa parannusehdotuksessa (puhallus ylhäältä yläviistoon, liikemäärä 1.4 N/m).

Kuvasta 7 nähdään, että nyt virtaus nousee mallin mukaan suuremmin ylös kohti kattoa ja virtaussuunta katonrajassa on ovelta kohti keräävää huuvaa. Polttoleikkauspisteen lähistöllä leikkaushuurupitoisuus on edelleen melko korkea. Mallin perusteella käytännössä kaikki huuru näyttäisi kuitenkin kulkeutuvan imuhuuvulle ja sitä kautta suodattimille, eikä leviävän oviaukosta ulos.

4.2.3 Liikuteltava imuhuuva

Vaikka liikuteltavat ratkaisut eivät olekaan toivottavia niiden hankalan käytettävyyden ja rikkoutumisherkkyiden vuoksi, myös tällaisia ratkaisuja kokeiltiin mallinnuksella.

Mallinnettu leikkaushuurujen pitoisuusjakauma liikuteltavalla imuhuuvalla on esitetty alla (Kuva 8). Nähdään, että leikkaushuuru kulkeutuu mallin mukaan suoraan imuhuuvalle. Leikkaushuurujen pitoisuus polttoleikkauspisteen välittämässä läheisyydessä on edelleen korkeahko, mutta muualla polttoleikkaustilassa tai oviaukolla leikkaushuuruja ei mallin mukaan ole.

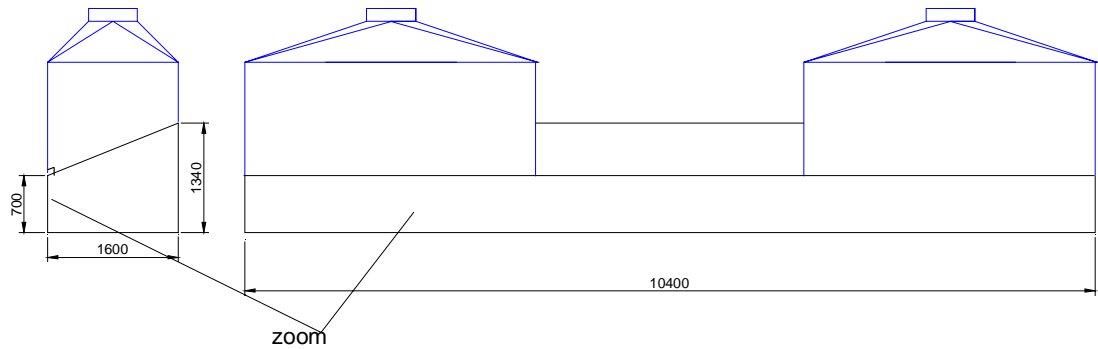


Kuva 8: Mallinnettu polttoleikkaushuurujen pitoisuus liikuteltavalla huuvalla.

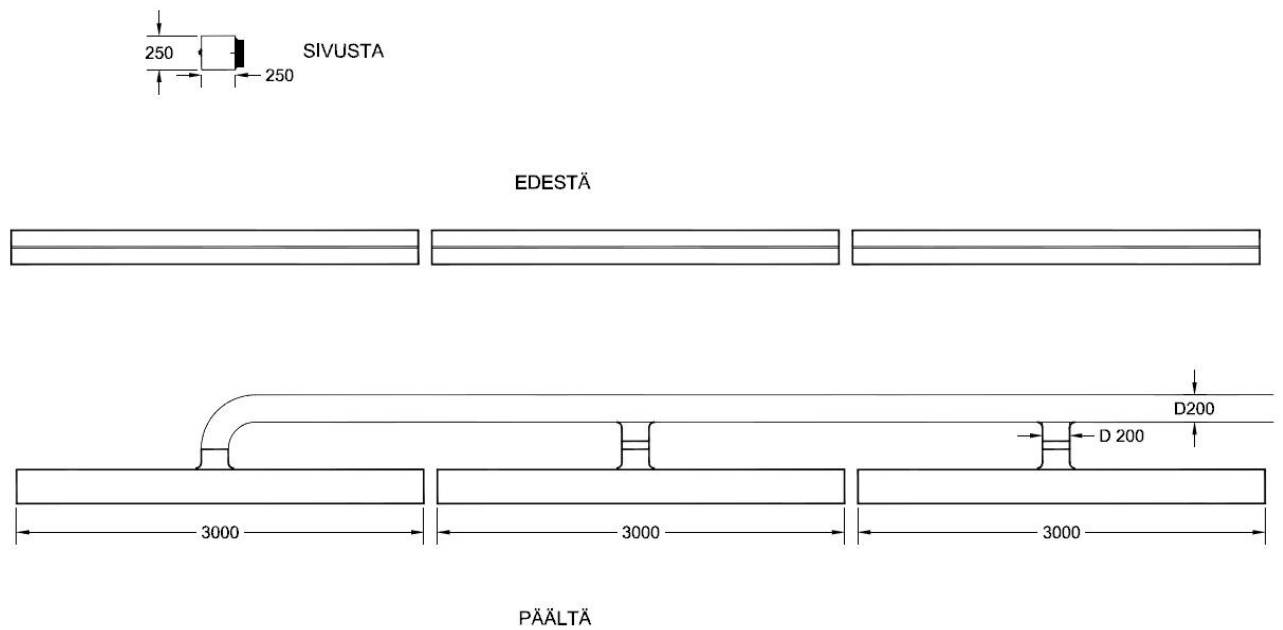
5 Polttoleikkauspaikalla koekäytetyt kohdeilmanvaihtoratkaisut

5.1 Ensimmäinen versio

Mallinnusten perusteella tehtiin ehdotus uudeksi kohdeilmanvaihtoratkaisuksi. Se muodostui kuvan 9 mukaisesta imuhuuvasta ja kuvan 10 puhallusosasta. Ratkaisu toteutettiin ja sitä kokeiltiin joulukuussa 2011. Kohdepoisto ei kuitenkaan toiminut suunnitellusti, vaan polttoleikkaustila täyttyi polttoleikkaushuuruista, joista huomattava osa karkasi avoimesta oviaukosta ulos (kuva 14).



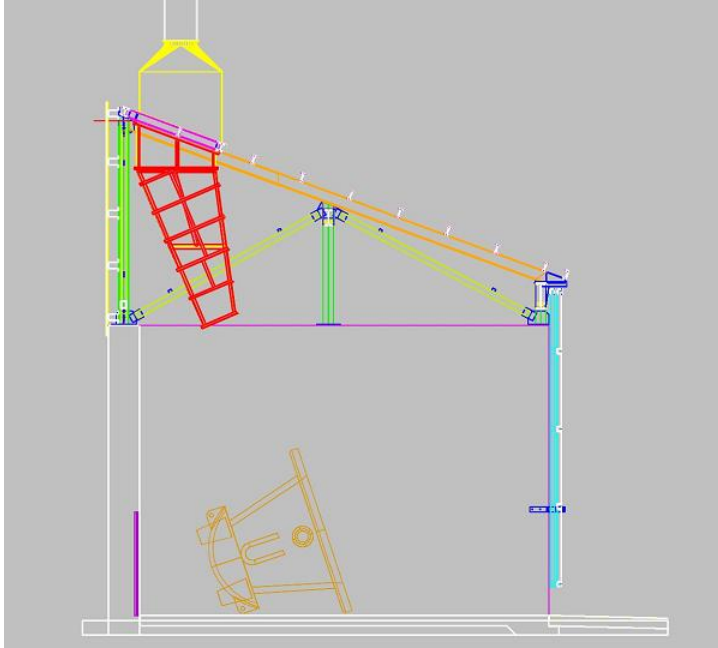
Kuva 9. Ensimmäinen versio kohdepoistoratkaisuksi. Mitat millimetreinä.



Kuva 10. Puhallusosa. Mitat millimetreinä. Puhallusraon korkeus 3 mm.

5.2 Toinen versio

Ensimmäisen version tehottomuuden vuoksi kohdepoistoa kehitettiin edelleen tuomalla imu niin alas kuin käytännössä mahdollista (Kuva 11) ja lisäämällä kaulukset imuhuuvan molemmille puolille. Kaulusten tavoitteena on vähentää ilmavirtausta huuvan takaa jolloin imun tehoa voidaan jonkin verran parantaa. Uusittu ratkaisu asennettiin keväällä 2012 ja sen toimintaa kokeiltiin toukokuussa 2012.



Kuva 11. Uusi kohdepoistoratkaisu.



Kuva 12. Uusitun kohdepoiston imuaukko ja kaulukset. Oviaukon puoleiset kaulukset ovat nostettavissa ylös kappaleiden sisääntuonnin ja poisviennin ajaksi.

6 Mittaukset ja tulosten tarkastelut

Kohdeilmanvaihtoratkaisujen toimintaa arvioitiin mittaamalla ilman hiukkaspitoisuutta. Ensimmäinen versio mitattiin 8.-9.12.2011 ja toinen ”evoluutiomalli” 23.5.2012. Ensimmäisissä mittauksissa käytettiin suoraanosoittavaa mittalaitetta (Dustrak). Toisen version mittauksessa kokonaispölypitoisuus määritettiin keräämällä näytteet kalvosuodattimille. Näytteenottoaikat (2 kpl) sijaitsivat 1,5 m korkeudella 1 m etäisyydellä sivuseinistä ja 5 m etäisyydellä takaseinästä.

Polttoleikkauksen päästö pyrittiin vakioimaan vertailukelpoisten tulosten saamiseksi. Tämän vuoksi kokeissa käytettiin samaa teräsrullaa. Suodatinnäytteitä keuhattiin polttoleikkauksen ajan (10 minuutin mittausjakso).

Keskimääräiset pölypitoisuudet on esitetty taulukossa 1 ja kuvissa 13, 15 ja 16. Ensimmäinen versio mitattiin suoraanosoittavalla Dustrak -pölymittarilla, jonka lukemat eivät ole täysin vertailukelpoisia suodatinmenetelmällä mitattujen kokonaispölypitoisuuksien kanssa.

Eri vaihtoehdot ja mitatut pitoisuudet on esitetty taulukossa 1.

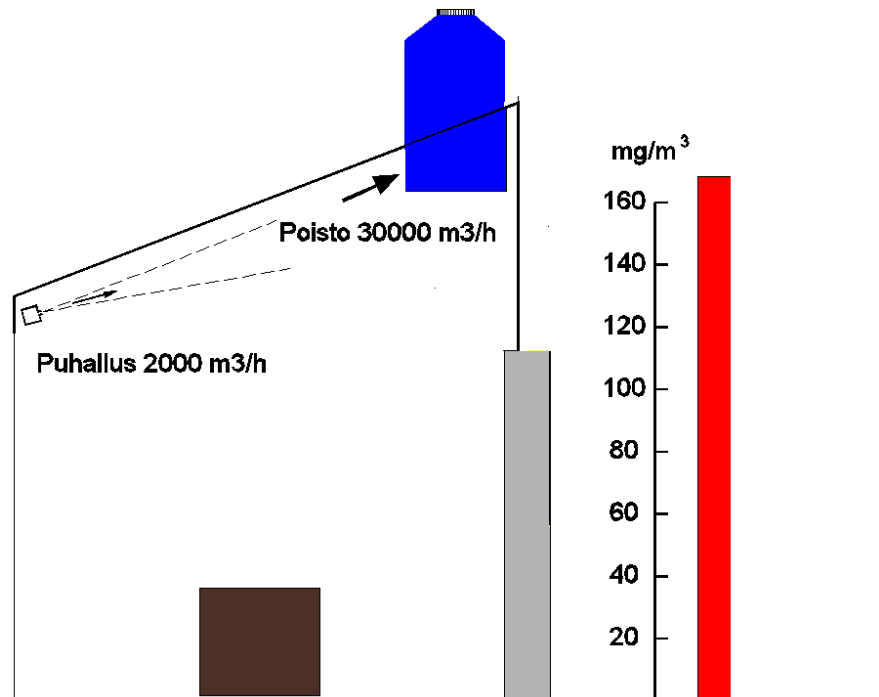
Taulukko 1. Mitatut pölypitoisuudet eri tilanteissa.

Versio	Kuvaus	Puhallus-ilmavirta (m ³ /h)	Poistoilmavirta (m ³ /h)	Pitoisuus (mg/m ³)
1	Vaakapuhallus + poisto	2000	30000	167 ^{*)}
2	Pelkkä poisto	-	30000	78
2	Poisto + puhallus alaspäin	2000	30000	47
2	Poisto + puhallus alaspäin	3000	30000	127
2	Poisto + puhallus alaspäin	3000	50000	102
2	Poisto + puhallus alaspäin	3000	60000	91
2	Poisto + vaakapuhallus 2.1 m	3000	60000	40
2	Poisto + vaakapuhallus 2.5 m	3000	60000	40
2	Poisto + vaakapuhallus 2.8 m	3000	60000	78
2	Poisto + vaakapuhallus 4.0 m	3000	60000	16
2	Poisto + vaakapuhallus 5.0 m	3000	60000	26

^{*)} Mitattu suoraanosoittavalla Dustrak-mittalaitteella

6.1 Puhallus yläviistoon, imu ylhäällä (1. versio)

Ensimmäinen versio (puhallus viistosti ylös, keräävä huuva takaosassa) suunniteltiin ja mitoitettiin virtausmallinnuksen perusteella. Ratkaisu ei kuitenkaan toiminnut tyydyttävästi: polttoleikkaushuurut täyttivät koko polttoleikkaustilan ja huomattava osa leikkaushuuruista karkasi polttoleikkaustilasta ulkoilmaan (kuvat 13 ja 14).



Kuva 13. Pölypitoisuudet tilanteessa jossa poisto oli katonrajassa (1. versio).



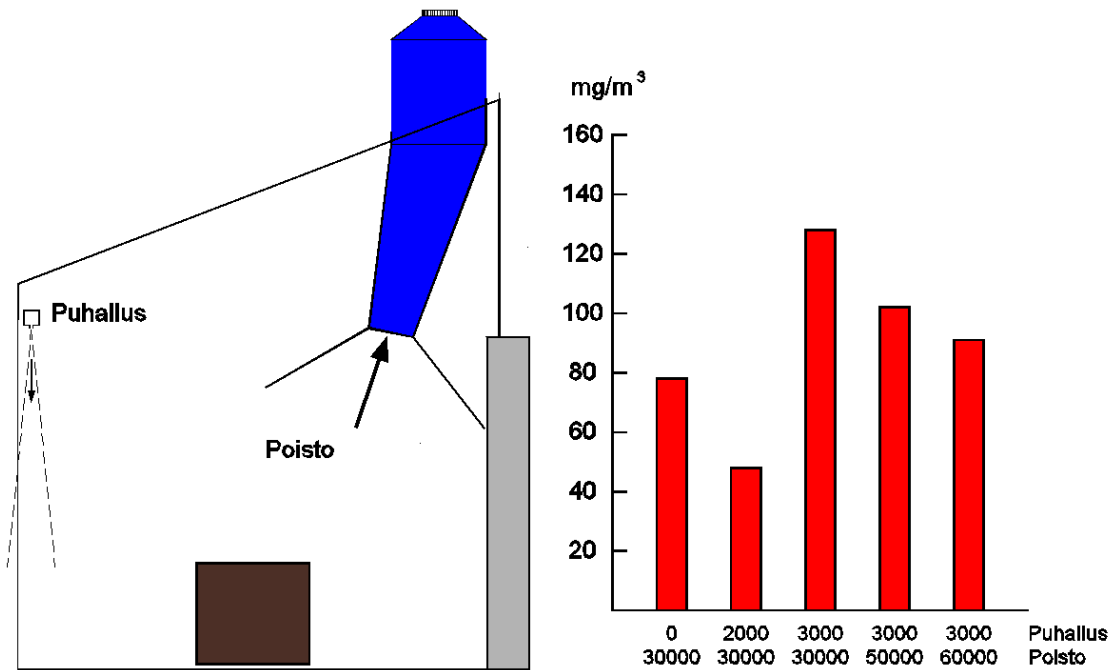
Kuva 14. Savua karkasi silminnähdessä ulkoilmaan. Polttoleikkaustilassa huurua oli niin paljon ettei polttoleikkaajaa näkynyt.

6.2 Kohdennettu imu, puhallus alaspäin, (2. versio)

Toisessa versiossa imu tuotiin lähemmäksi polttoleikattavaa kappaletta. Oviaukolle asennettu puhallus oli suunnattu alaspäin tavoitteena muodostaa ilmaverho, joka estäisi epäpuhtauksien leviämisen ulkoilmaan. Puhalluksen liikemäärät olivat 1.4 ja 3.2 N/pituusmetri (puhallusilmavirrat 2000 ja 3000 m³/h). Lisäksi ratkaisua kokeiltiin ilman puhallusta.

Poistoilmavirtaa lisättiin lähtötilanteesta (30000 m³/h) sulkemalla viereisen polttoleikkaustilan ilmanvaihto, jolloin ilmavirta kasvoi arvoon 50000 m³/h. Suurin poistoilmavirta (n. 60000 m³/h) saatiin aikaan pienentämällä pölynpoistojärjestelmän muiden haarojen ilmavirtaa.

Tuloksista havaitaan, että ensimmäiseen versioon verrattuna pitoisuudet olivat laskeneet selvästi, Kuva 15. Pelkällä poistolla (ei puhallusta) pitoisuus oli n. 80 mg/m³. Pienemmällä puhalluksen liikemäärällä pitoisuus aleni vielä jonkin verran, mutta suurempi puhalluksen ilmavirta heikensi tilannetta. Tilanteessa jossa puhallusilmavirta oli vakio (3000 m³/h) poistoilmavirran lisääminen alensi pitoisuuksia, mutta ei aivan ilmavirtojen suhteessa.

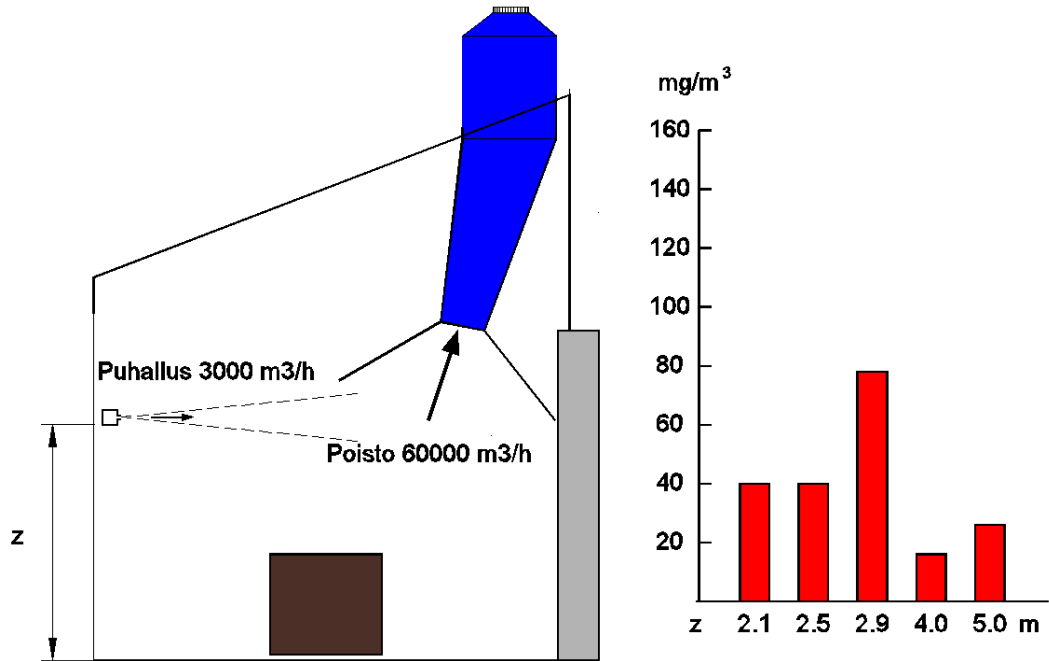


Kuva 15. Keskimääräinen pölypitoisuus alaspäinsuunnatulla pystysuoralla puhalluksella eri puhalluksen ja poiston ilmavirroilla (ilmavirrat yksikössä m³/h).

6.3 Kohdennettu imu, vaakapuhallus (2. versio)

Puhallusta kokeiltiin myös siten, että se oli vaakatasossa tai kallistettuna (korkeudella 5.0 m) niin että puhallus oli suunnattu kohti imuhuuvaa. Puhalluskorkeutta vaihdeltiin haarukkatrukin avulla. Poistoilmavirta oli kaikissa tapauksissa 60000 m³/h ja puhallusilmavirta 3000 m³/h. Puhalluksessa tämä vastasi liikemäärää 3.2 N/pituusmetri.

Tulokset on esitetty kuvassa 16. Mitatut pitoisuudet olivat selvästi pienemmät kuin muissa tapauksissa. Parhain tulos saavutettiin puhalluskorkeudella 4.0 m, jolloin pitoisuudet olivat alle 20 mg/m³. Toisaalta vielä 5 m korkeudessa puhallus auttoi selvästi tilannetta. Vaikka polttoleikkaushuuruja oli ilmassa vielä huomattavasti ja osa siitä karkasi edelleen oviaukosta ulos, parani näkyvyys kuitenkin niin paljon että polttoleikkaaja oli näkyvissä polttoleikkauksen ajan, kuva 17.



Kuva 16. Keskimääräinen pölypitoisuus vaakasuoralla puhallusilmavirralla eri puhalluksen korkeuksilla.



Kuva 17. Vaakasuuntaista puhallussuihkua kokeiltiin eri korkeuksilla haarukkatrukin kannatella puhallusosaa. Tasainen ja riittävän voimakas puhallussuihku auttoi ohjaamaan polttoleikkauksessa muodostuvia savuja kohti poistoa.

Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon myös ympäristön olosuhteet. Mittaushetkellä olosuhteet olivat ideaaliset: tuulen nopeus oli alhainen ($< 2\text{ m/s}$) ja suunta lännestä. Suuremmilla tuulen nopeuksilla ja toisilla suunnilla tuuli osuu polttoleikkaushallin oviaukosta sisään ja voi painaa savuista ilmaa ulos ennen kuin kohdepoisto ehtii siepata vapautuvat epäpuhtaudet. Tulokset kuvastavat kuitenkin hyvin eri ratkaisujen suhteellisia tehokkuuksia.

7 Johtopäätökset ja suositukset

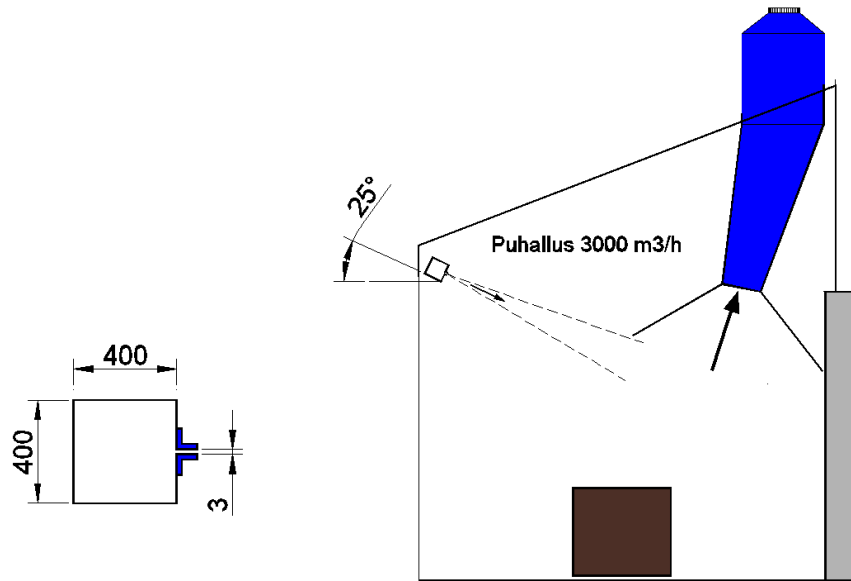
Polttoleikkauksessa muodostuu suuria määriä leikkaushuuruja ja lämpöä. Epäpuhtauksien hallinta on haastavaa kappaleiden suuren koon ja toisaalta käytännön rajoitusten takia. Leikattavien kappaleiden koko, muoto ja sijainti vaihtelevat suuresti. Lisäksi kappaleiden sisäänvuoto ja ulosvienti asettavat rajoituksia eri ilmanvaihtoratkaisuille. Siten kohdeilmanvaihdon yleisperiaatteita – koteloitua mahdollisuuksien mukaan, suojaseinämien käyttöä tai imun tuomista päästölähteen välittömään läheisyyteen – ei voitu suoraan käyttää.

Virtausmallinnus osoittautui hyödylliseksi työkaluksi vertailtaessa eri ratkaisujen suhteellisia tehokkuuksia. Mallinnuksen tuloksia tarkastellessa on kuitenkin huomioitava, että mallin tilanne on huomattavasti yksinkertaistettu todellisuuteen nähden. Esimerkiksi tuulen vaikutusta tai polttoleikkaustapahtuman detaljitason ilmiöitä ei ole huomioitu mallissa. Myös polttoleikkaustapahtumassa vapautuvassa lämpöäärässä sekä tämän aiheuttamassa nosteilmiössä on epävarmuutta sekä ajallista vaihtelua. Voimakkaat nopeusvaihtelut aiheuttavat sen että kohdepoiston tehokkuus on käytännössä alhaisempi kuin laskelmissa ennustettu, joten laskentatuloksia kannattaa käyttää varauksellisesti kohdeilmanvaihdon mitoituksessa. Varsinkin nostevirtausten tapauksissa on laskentatulokset syytä todentaa mittauksin.

Uusitulla kohdepoistoratkaisulla, jossa imu on tuotu mahdollisemman alas ja jossa käytetään kauluksia tehostamaan imun toimintaa, voitiin polttoleikkaushuurujen pitoisuutta laskea merkittävästi verrattuna ensimmäiseen versioon. Alaspäinsuunnatulla oviverhopuhalluksella näyttäisi olevan positiivinen vaikutus, kun puhalluksen liikemäärä on 1.4 N/m. Aiempien kokemusten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että tämä on riittämätön estämään epäpuhtauksien purkautumisen ulos leikkaushallista silloin kuin tuulen suunta ja nopeus ovat epäsuotuisat. Suuremmilla puhalluksen liikemäärillä (3.2 N/m) pitoisuudet olivat puolestaan korkeampia kuin ilman puhallusta.

Paras tulos saavutettiin tilanteessa jossa poistoilmavirta oli kasvatettu arvoon 60000 m³/h ja jossa käytettiin vaakapuhallusta ohjaamaan epäpuhtauksia kohdepoistohuuvaan. Oikein sijoitettuna riittävän voimakkaalla ja tasaisella puhalluksella leikkaushuuru-pitoisuudet saatiin alenemaan viidesosaan tilanteesta jossa käytettiin pelkkää poistoa. Optimaalisin tilanne saavutettiin, kun suihku puhalsi 4 m korkeudella kohti poistoa. Ongelmana on kuitenkin sijoittaa puhallus näin alas niin, etteivät trukit kolhisi puhallusosaa. Toisaalta kohtuullisen hyvä tulos saavutettiin myös 5 m korkeudella olevalla puhalluksella. Tällainen tilanne voitaisiin järjestää kuvan 18 osoittamalla tavalla sijoittamalla huuvaan suunnattu puhallusosa oviaukon yläpuolelle. Sopivan puhaltimen paineentuohto ilmavirralla 0.8 m³/s tulee olla 2000 Pa.

Polttoleikkaushallin poistoilmavirran kohdentaminen siihen polttoleikkaustilaan, joka on käytössä alentaa pitoisuuksia polttoleikkaushallin sisällä. Tämän vuoksi polttoleikkaushallin toisen poistoilmahaaran sulkupelti kannattaa sulkea, mikäli molemmissa polttoleikkaustiloissa ei ole yhtäaikaista toimintaa.



Kuva 18. Ehdotus puhallusratkaisuksi (mitat millimetreinä). Kuvan ratkaisulla tasainen ja riittävän voimakas puhallussuihku saadaan aikaan ilmavirralla $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ($3000 \text{ m}^3/\text{h}$).

Lähdeviitteet

- [1] IARC Monographs vol 49, Evaluation of carcinogenic risks to humans, 1990
- [2] Ansys Fluent 13.0 User's Guide. Ansys Inc. 2010.
- [3] T.-H. Shih, W. W. Liou, A. Shabbir, Z. Yang, and J. Zhu. "A New Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows - Model Development and Validation". Computers Fluids. 24(3). 227–238. 1995.
- [4] B. E. Launder and D. B. Spalding. "The Numerical Computation of Turbulent Flows". Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 3. 269–289. 1974.
- [5] Awbi H. (1991) Ventilation of Buildings, Chapman and Hall.