



TEKNOLOGISK

INSTITUT

Sikkerhed ved arbejde i stinkskab

Variation af lufthastighed og forstyrrelser fra omgivelserne og sammenligning af testmetoder efter DS457 og DS/EN 14175

2. udgave

Dato: d. 07-10-2014

Rekvirent:

Københavns Universitet
Att.: Bo Ravn

Erik Hvirgel Hansen
Morten Sandholm Madsen
Ville Gaunaa

Energi og Klima
Energieffektivisering
og ventilation





Indholdsfortegnelse

1 Opgavebeskrivelse/indledning	5
2 Sammenfatning	7
3 Anvendelse af rapporten i praksis	11
4 Måleoversigt og -laboratorium	15

Del 1 - Lufthastighedsmålinger

5 Hastighedsforstyrrelser	19
5.1 Indblæsningspose placeret 3,2 m fra stinkskab	20
5.1.1 Lufthastighed på 1 m/s	20
5.1.2 Lufthastighed på 0,5 m/s.....	21
5.1.3 Lufthastighed på 0,3 m/s.....	23
5.1.4 Lufthastighed på 0,2 m/s.....	24
5.2 Dysekanal placeret 0,75 m fra stinkskab	26
5.2.1 Lufthastighed på 0,5 m/s.....	26
5.2.2 Lufthastighed på 0,3 m/s.....	27
5.2.3 Lufthastighed på 0,2 m/s.....	29
5.3 Dysekanaler placeret hhv. 0,75 og 2,2 m fra stinkskab	31
5.3.1 Lufthastighed på 1 m/s	31
5.3.2 Lufthastighed på 0,5 m/s.....	32
5.3.3 Lufthastighed på 0,3 m/s.....	34
5.3.4 Lufthastighed på 0,2 m/s.....	35
5.4 Fortrængningsarmaturer placeret 1,05 m fra stinkskab	37
5.4.1 Hastighedsfordeling ved Comdif CBA4020	37
5.4.2 Hastighedsfordeling ved Comdif CBA2510	38
5.4.3 Comdif CBA4020 placeret 1,05 m fra stinkskab – Fabriksindstillede dyser.....	40
5.4.4 Comdif CBA4020 placeret 1,05 m fra stinkskab – Justerede dyser	40
5.5 Opsummering	42

Del 2 - Gasmålinger

6 Sammenligning af gasudslip ift. armaturtype	47
6.1 Indblæsningspose placeret 3,2 m fra stinkskab	48
6.2 Dysekanaler placeret hhv. 0,75 og 2,2 m fra stinkskab	51
7 Modifieret robusthedstest	52
8 Sammenligning af isobuten og svovlhexafluorid.....	55
8.1 Kalibrerings- og indstillingsmålinger	55



8.2 Lufthastighed i lugeåbningen på 0,2 m/s	56
8.3 Lufthastighed i lugeåbningen på 0,35 m/s	58
8.4 Lufthastighed i lugeåbningen på 0,5 m/s	59
9 Sammenligning af testmetoder og opstillinger	61
9.1 Test med arbejdende person og mekanisk plade	62
9.2 Test med varierende gastilførsel.....	63
9.3 Test med 1 og 9 injektorer	64
9.4 Test med 1 og 30 samplings prober	68
9.5 Test med stinkskab med hhv. ingen udstyr og udstyr	71

Del 3 - Støjmålinger

10 Støjmålinger i stinkskabet	75
--	-----------

Del 4 - Konklusion

11 Konklusion.....	81
---------------------------	-----------

Del 5 - Bilag

12 Målebeskrivelse	85
12.1 Måleudstyr	85
12.2 Måleforløb	86
12.2-1 Måling af hastighedsforstyrrelser i lugeåbning ved stinkskab uden sug på stinkskabet	86
12.2-2 Måling af gasudslip fra stinkskabet med sug på stinkskabet (isobuten).....	99
12.2-3 Måling af gasudslip fra stinkskabet med sug på stinkskabet (svovlhexafluorid) ..	103
12.2-4 Modificeret robusthedstest.....	106
12.2-5 Standard robusthedstest	107
13 Forklaring af dansk og europæisk testmetode for stinkskabe.....	108
13.1 Historik	108
13.2 Metodebeskrivelser DS 457.....	108
13. 3 Metodebeskrivelser EN/DS 14175-3	109
14 Sammenligning mellem tre forskellige indblæsningsformer	111



1 Opgavebeskrivelse/indledning

Københavns Universitet har bedt Teknologisk Institut om at være behjælpelig med at forestå ventilationstekniske målinger med henblik på at bestemme effektiviteten af et stinkskab under varierende systemforhold, samt om stinkskabet kan overholde de til stadighed stigende krav vedr. arbejdsmiljø og sundhed beskrevet i gældende standarder.

Nærmere beskrevet ønsker Københavns Universitet en undersøgelse af effektiviteten af et stinkskab under realistiske forhold i et standardiseret laboratorium. I den forbindelse har det været nødvendigt at opbygge en mock-up, som er udført i henhold til gældende standarder. Det forudsættes, at det testede stinkskab allerede har været underkastet en typegodkendelse efter EN/DS 14175-3. Formålet med de undersøgelser, der beskrives i nærværende skrivelse er, at illustrere i hvor høj grad stinkskabets funktion påvirkes af den aktuelle brug i et laboratorium med forskellige typer indblæsningsarmaturer og placeringen af disse samt med en realistisk forsøgsopstilling inde i selve stinkskabet.

Derudover har der været et generelt ønske om at afprøve testmetoder og – opstillinger beskrevet i hhv. DS 457 og EN/DS 14175-3 og sammenligne resultaterne fremkommet på baggrund af førnævnte to standarder. Konkret har Københavns Universitet ønsket det undersøgt om der er proportionalitet mellem målinger udført med isobuten (som DS 457) og svovlhexafluorid (som EN/DS 14175-3) i samme fysiske måleopstillinger. Tillige er der foretaget en række supplerende målinger for at validere testmetoder og generelt videns opbygge med henblik på at forbedre sikkerheden.

Der er i samråd med rekvirenten udvalgt nogle kardinalområder/målinger for at afdække stinkskabets effektivitet bedst muligt ved ovennævnte forsøgsgange. Prioriteringer har været ændret undervejs i forhold til de opnåede resultater.

Målingerne udført ved stinkskabet med udvalgte indblæsningsarmaturer fremgår som følgende, som er yderligere redegjort i Københavns Universitets Notat 006, dog med enkelte tilføjelser:

1. Måling af hastighedsforstyrrelser i lugeåbning ved stinkskabet uden sug på stinkskabet
2. Måling af gasudslip fra stinkskabet med sug på stinkskabet (isobuten)
3. Måling af gasudslip fra stinkskabet med sug på stinkskabet (svovlhexafluorid)
4. Modifieret robusthedstest
5. Standard robusthedstest
6. Støjmålinger i stinkskabet

Som beskrevet foretages forsøgene med tre forskellige typer indblæsningsarmaturer med varierende placering. Indblæsningsluftstrømmen varieres mellem ca. 612-3060 m³/h svarende til en lufthastighed i lugeåbningen mellem 0,2-1 m/s ved et åbningsareal på stinkskabsbredde x lugehøjde (1,7 m x 0,50 m = 0,85 m²). Forsøgsmetodikkerne og opstillinger m.m. er beskrevet i Del 5 - Bilag.



Forudsætningerne for at læse denne rapport er, at læseren besidder et vist kendskab til såvel gældende standarder som ventilationsteknik.

Rapporten er opdelt således, at læseren kort bliver introduceret om projektets formål i form af opgavebeskrivelse. Dernæst findes sammenfatning, hvordan rapporten skal anvendes i praksis og en kort måleoversigt. Efterfølgende er rapporten opdelt i 4 dele som følgende:

Del 1 – Lufthastighedsmålinger

Del 2 – Gasmålinger

Del 3 – Støjmålinger

Del 4 - Konklusion

Del 5 - Bilag

I bilag forefindes yderligere resultater (tabeller, plots, billeder m.m.).



2 Sammenfatning

Københavns Universitets initiativ med hensyn til en undersøgelse af sikkerheden omkring stinkskabe og målemetodikker har resulteret i interessante resultater og mere viden omkring sikkerheden ved stinkskabe og forskellige anvendte målemetoder.

Scope og succeskriterium:

Formålet med projektet er at simulere samt dokumentere arbejdsmiljøet med henblik på sikkerhed i og omkring stinkskabe, når disse udsættes for brug og håndtering i eksisterende laboratoriemiljøer.

Der er af Københavns Universitet fastsat et krav om, at stinkskabe der anvendes til arbejde med kræftfremkaldende stoffer skal have en sikkerhedsfaktor (S) > 40 . Som udgangspunkt skal alle stinkskabe kunne anvendes til dette formål. For yderligere information vedr. krav henvises til "Kravspecifikationer for procesventilation i laboratorier på KU, 29. marts 2011".

Resultater:

Alle forsøg er foretaget i et idealiseret laboratorium indrettet efter standarder og ønsker, hvilket kun til en vis grad svarer til virkeligheden. Det er derfor yderst essentielt at vurdere rumforhold, forstyrrelser af stinkskabet m.m. i det konkrete tilfælde, eftersom sikkerheden afhænger af dette. Dvs. at udarbejdede grafer vedr. sikkerheden i nærværende rapport kun gør sig gældende for én bestemt situation. Standarden beskriver idealiserede forhold.

Der er udført målinger iht. DS 457 og EN/DS 14175-3 for at afgøre, hvorvidt forskellige målemetoder tillige giver differentierende måleresultater. Københavns Universitet har ønsket en undersøgelse af om der er proportionalitet mellem målinger udført med isobuten (som DS 457) og svovlhexafluorid (som EN/DS 14175-3) i samme fysiske måleopstillinger. Opstillinger og målinger med SF_6 er gennemført i samarbejde med **I.F.I. Institut für Industrieaerodynamik GmbH Institut an der Fachhochschule Aachen**.

Der er i alt foretaget forsøg med 3 forskellige typer indblæsningsarmaturer; pose, dyse kanaler og Linda fortrængningsarmaturer (CBA), hvor lufthastigheder er målt hhv. foran stinkskabet (lugeåbning) og over stinkskabet ved slukket udsug. Som baggrund for sporgasmålingerne er der foretaget en serie af målinger af luftbevægelser i laboratoriet omkring stinkskabet, som har vist, at forstyrrelsernes størrelse varierer kraftigt mellem de forskellige armaturtyper i disses nærområder.

- 1) Indblæsningsposen gav negligeable lufthastighedsforstyrrelser
- 2) Dysekanaler gav relativt store lufthastighedsforstyrrelser der reducerede sikkerhedsfaktoren
- 3) Fortrængningsarmaturer (CBA) gav ingen signifikant forstyrrelse af luften i retning mod stinkskabet, men gav ved høj belastning diskomfort umiddelbart under armaturet. Der udføres ikke gasmålinger med dette armatur.



Ved brug af et forstyrrende armatur (dysekanal) og en lufthastighed på 0,40 m/s i lugeåbningen kan en sikkerhedsfaktor på 40 ikke opnås ved idealiserede forhold. Se afsnit 6.2, diagram 4, side 52. Der er ikke foretaget test med mere forstyrrende armatur end dysekanaler. Det skal bemærkes, at beregningerne er foretaget med en grænseværdi på 2 ppm (som chloroform) og en forureningsrate på 2,5 l/min (0,1 mol/min). I tilfælde af ændrede forudsætninger med hensyn til grænseværdi, forureningsrate og forstyrrelser (bygningsforhold, armaturer m.m.) forringes sikkerhedsfaktoren muligvis.

Forsøg med et ikke forstyrrende armatur (indblæsningspose) viser, at der ved en lufthastighed på 0,35 m/s i lugeåbningen og idealiserede forhold (ingen forstyrrelser, 1 stinkskab m.m.) kan opnås en sikkerhedsfaktor på 40 ud fra den i DS 457 angivne beregning. Se afsnit 6.1, diagram 3, side 49. Det skal bemærkes, at beregningerne er foretaget med en grænseværdi på 2 ppm (som chloroform) og en forureningsrate på 2,5 l/min. I tilfælde af ændrede forudsætninger med hensyn til grænseværdi, forureningsrate og forstyrrelser (bygningsforhold m.m.) kan denne sikkerhedsfaktor muligvis ikke overholdes og der bør foretages nye forsøg af den pågældende situation.

Diagrammer over sikkerhedsfaktorer som funktion af lufthastighed i lugeåbning kan ses i afsnit 6, side 47. I alle situationer med lave eller ukendte grænseværdier skal det ved valg af lufthastigheden i arbejdsåbningen medtages i overvejelserne, at en øgning fra 0,35 til 0,5 m/s alene giver en forøgelse af sikkerhedsfaktoren på ca. 500 gange. I tilfældet med et forstyrrende indblæsningsarmatur betyder dette, at sikkerhedsfaktoren ændrer sig fra ca. 20 til ca. 10.000. Se diagram 4, side 52.

En orienterende robusthedstest (modificeret) med en operatør arbejdende foran stinkskabet og en tæt forbipasserende person med en ganghastighed på 1 m/s har vist, at der ikke opnås en signifikant forværring af sikkerhedsforholdene. En mere dybdegående robusthedstest (standard robusthedstest angivet i EN/DS 14175-3) har dog vist, at den mekaniske plade har stor indflydelse for gasudslippet. Dog var den mekaniske plade placeret tættere på stinkskabet (som angivet i EN/DS 14175-3) end ved den modificeret test, eftersom der ikke var en operatør tilstede foran stinkskabet.

Der er ved alle forsøg foretaget målinger af lufthastigheden ved og omkring stinkskabet. Dette for, at man fremadrettet har mulighed for at måle lufthastigheder in-situ i eksisterende laboratorier og derefter sammenligne med målte lufthastigheder i nærværende projekt for derved at afgøre, hvorvidt stinkskabet i det pågældende laboratorium forstyrres mere eller mindre end det testede stinkskab i nærværende projekt. Dette skulle gerne give mulighed for at vurdere om sikkerheden (sikkerhedsfaktorerne) er bedre eller ringere end dem angivet i nærværende projekt, således alle målingerne foretaget i dette projekt ikke skal gentages i hvert laboratorium.

Som led i projektet er der udført målinger med isobuten og svovlhexafluorid, som viser, at der ikke er proportionalitet mellem gasudslippene iht. DS 457 og EN/DS 14175-3. Forsøg med gasserne viser, at isobuten resulterer i højere målte gaskoncentrationer ved brug af den europæiske testmetode (9 injektorer; 30 samplingsprober; mekanisk plade, der laver forstyrrelser foran stinkskabet). Ved brug af isobuten opnås derved en højere sikkerhedsfaktor end ved brug af svovlhexafluorid, eftersom udsugningen skal øges forholdsmæssigt.



Resultater opnået ved målemetoderne beskrevet i DS 457 og EN/DS 14175-3 er sammenlignet i nærværende projekt. Disse har vist, at middelgasudslip ved robusthedstests er markant større end personforstyrrende tests. Dog kan testmetoden beskrevet i DS 457 medføre enkelte højere peak-værdier, som ifølge DS 457 giver det største gasudslip. Den primære årsag til forskellen er, at den mekaniske plade (beskrevet i EN/DS 14175-3) forstyrrer strømningsfeltet omkring stinkskabets åbning urealistisk meget sammenlignet med en operatørs almindelige arbejdsbevægelser. Pladen suger luft ud af stinkskabet ved passage. Generelt forsøger DS 457 at simulere en virkelig situation med en koncentreret kilde foran brugeren og ved realistiske arbejdsbevægelser, hvor gasudslippet måles i åndingszonen (kritiske punkt). Forsøget medtager effekter af ændret og reduceret strømning(læzone) forårsaget af operatøren. Eventuelle gasudslip til læzonen forårsaget af stinkskabets udformning vil via opdriftsfeltet foran den varme operatør stige op til åndingszonen. EN/DS 14175-3 er en automatiseret test, hvis formål er at afsløre gasudslip til rummet og ikke udelukkende i åndingszonen. Der er ingen korrelation mellem den danske og europæiske testmetode.

Yderligere karakteristika ved målemetoder beskrevet i hhv. DS 457 og EN/DS 14175-3 er forklaret i afsnit 13, side 108.

Som demonstreret for Københavns Universitets inspektionshold blev der ved robusthedstesten og 0,5 m/s revet synlig røg ud af stinkskabet i en koncentration der kunne såvel ses som lugtes uden for stinkskabet.





3 Anvendelse af rapporten i praksis

Under forudsætning af, at forskellige basale krav i stinkskabets opbygning er opfyldt og forstyrrelser fra stinkskabets indre og dets omgivelser er holdt på et moderat niveau kan stinkskabet opnå en sikkerhedsfaktor 40 ved passende lufthastighed i lugeåbning eller bedre som vist i figuren i afsnit 6.2, diagram 4, side 52.

Rapportens formål

At angive de omstændigheder, hvor kombination af stinkskab, omgivelser og arbejde i stinkskabet giver en sikkerhedsfaktor på mindst 40.

Testen gælder følgende stinkskabstyper

Der er tale om et standardstinkskab med en lugeåbning på maksimalt 50 cm, airfoil ved bordforkant og afrundet skråt indadrettet lugeunderkant, sug ved bagkant af bordplade, sug i op af skab, og opstilling i skab, se billeder i rapport. Skønsmæssigt udsuges over halvdelen af luften fra sugespaltearealet ved bagkant af bordplade.

Forstyrrende luftbevægelser i laboratoriet

Det skal påses, at forstyrrelser fra kilder i stinkskabets omgivelser ikke er for store. Se rapporten og nedenstående oversigt. Da der i en laboratoriebygning anvendes ensartede løsninger er de normalt lette at få et overblik over.

1) Forstyrrelser fra indblæsningsarmaturer

Det kontrolleres, at den maksimale lufthastighed foran skabets lugeåbning ved afbrudt udsug ikke er over 0,2 m/s.

Det må ud fra de foretagne målinger vurderes, at lufthastigheden ind over skabets top (vtop) målt over skabets front ikke noget sted må være over 1/3 af den lavest forekommende hastighed i lugeåbningen. Dette for ikke at påvirke stinkskabets regulering (typisk regulering sker vha. af en rørforbindelse fra skab til overside af skab).

Eksempel: Ved hastighedsreduktion i lugeåbning til 0,3 m/s må vtop ikke overskride 0,1 m/s. Kontrol heraf sker med lufthastighedsmåler. Orientering af strømningsmønsteret foretages lettest med en røgpind der afgiver uopvarmet røg.

Af de undersøgte 3 indblæsningssystemer har der kun været problemer med indblæsningsdyserne Lindab VSR. Det må vurderes, at vtop kan reduceres til den ønskede værdi ved ophæng af en prelplade mellem stinkskab og det forstyrrende indblæsningsarmatur.



2) Forstyrrelser fra døre

Da erstatningsluftforsyningen til laboratoriet normalt tilpasses luftbehovet til stinkskabene, men med forsinkelse kan der opstå såvel overtryk som undertryk i laboratoriet i forhold til gangen udenfor. Det må ved undertryk (åben alle stinkskabe efter en lukket periode) med en røgpind påses, at der ikke er døre hvor dørbladet ved let åben tilstand leder luft ind mod et nærtstående stinkskab. I værste tilfælde må døren vendes fra venstre- til højre hængt eller omvendt eller et vindfang opsættes.

3) Forstyrrende luftbevægelser i stinkskabet

Det må påses, at der ikke i skabet er ventilatorer der blæser luft med retning ud af skabet.

Beregn selv den minimale lufthastighed i stinkskabet ud fra dit eget arbejdstilfælde

Metode:

- Beregn først k- værdien for nedenstående 5 eksempler (k= maksimal tilladt sporgaskoncentration i ppm i brugerens åndingszone).
- Gå derefter ind i diagram 4 for at finde hvor høj lufthastigheden skal være for at den aktuelle k-værdi ikke overskrides.

I alle eksempler refereres til diagram 4, side 52 udarbejdet på baggrund af forudsætninger beskrevet i nærværende rapport (2 dysekanaler, 1 stinkskab i forsøgsrummet, osv.). Det er derfor yderst essentielt at vurdere rumforhold, forstyrrelse m.m. som beskrevet ovenfor, eftersom den anvendte graf kun gør sig gældende for én bestemt situation.

Eksempel 1, DS 457. Standard tilfælde, varm proces, kontrolberegning

Ved hjælp af denne k-værdi findes af diagram 4 side 52, hvor stor lufthastighed skabet skal anvendes med for at bringe udslippet ned på denne k-værdi

Minimal lufthastighed i lugeåbning aflæses til 0,41 m/s, (grøn linje)

k = maksimal tilladt sporgaskoncentration i ppb i brugerens åndingszone fundet ud fra måling (beregnet som middeludslip + 3 x spredningen)

Grænseværdi (GV) = 2000 ppb = (2 ppm) svarer til grænseværdien for chloroform

Sporgastilførsel g ved aktuel prøvning = 2 l/min

Forureningsrate f = 2,5 l/min,

Nødvendig sikkerhedsfaktor s ønskes af KU til 40

$$k = \frac{GV \times g}{s \times f} = \frac{2000 \times 2}{40 \times 2,5} = 40 \text{ ppb}$$



Eksempel 2, DS 457. Lavere grænseværdi

Forureningsrate $f = 2,5$ l/minut, $GV = 800$ ppb. Øvrige værdier er som i eksempel 1.

$$k = \frac{GV \times g}{s \times f} = \frac{800 \times 2}{40 \times 2,5} = 16 \text{ ppb}$$

Minimal lufthastighed i lugeåbning aflæses til 0,44 m/s.

Eksempel 3, DS 457. Lavere grænseværdi, reduceret forureningsrate

Forureningsrate $f = 0,5$ l/minut, $GV = 100$ ppb

$$k = \frac{GV \times g}{s \times f} = \frac{100 \times 2}{40 \times 0,5} = 10 \text{ ppb}$$

Minimal lufthastighed i lugeåbning aflæses til 0,45 m/s.

Eksempel 4, DS 457. Lavere grænseværdi, oprindelig forureningsrate (eksempel 1)

Forureningsrate $f = 2,5$ l/minut, $GV = 10$ ppb.

$$k = \frac{GV \times g}{s \times f} = \frac{10 \times 2}{40 \times 2,5} = 0,2 \text{ ppb}$$

Minimal lufthastighed i lugeåbning aflæses til 0,49 m/s.

Eksempel 5, DS 457. Standard tilfælde, kold proces, kontrolberegning

Forureningsrate $f = 1$ l/minut, $GV = 2000$ ppb

$$k = \frac{GV \times g}{s \times f} = \frac{2000 \times 2}{40 \times 1} = 100 \text{ ppb}$$

Minimal lufthastighed i lugeåbning aflæses til 0,35 m/s.

Denne værdi på udsugning må absolut kun bruges hvis man er sikker på, at der altid forekommer små forureningsrater og kun grænseværdier over 2000 ppb = 2 ppm

Kommentar til de opnåede resultater:

I alle situationer med processer med lave eller ukendte grænseværdier skal det ved valg af lufthastigheden i arbejdsåbningen medtages i overvejelserne at en øgning fra 0,35 til 0,5 m/s alene giver en forøgelse af sikkerhedsfaktoren på ca. 500 gange.



4 Måleoversigt og -laboratorium

Målebeskrivelserne for udførte forsøg i projektet samt instrumentbeskrivelser forefindes i bilag 13. I dette afsnit beskrives overordnet, hvilke forsøg som er eksekveret i dette projekt samt en kort beskrivelse af det anvendte målelaboratorium (Mock-up).

Der er i nærværende projekt foretaget flere forsøg med forskellige indblæsningsarmaturer og deraf tilsvarende forskellige indblæsningsmønstre. De anvendte armaturer er nedenfor listet:

- Poseindblæsning (referencearmatur)
- Dysekanaler
- Comdif CBA fortrængningsarmatur

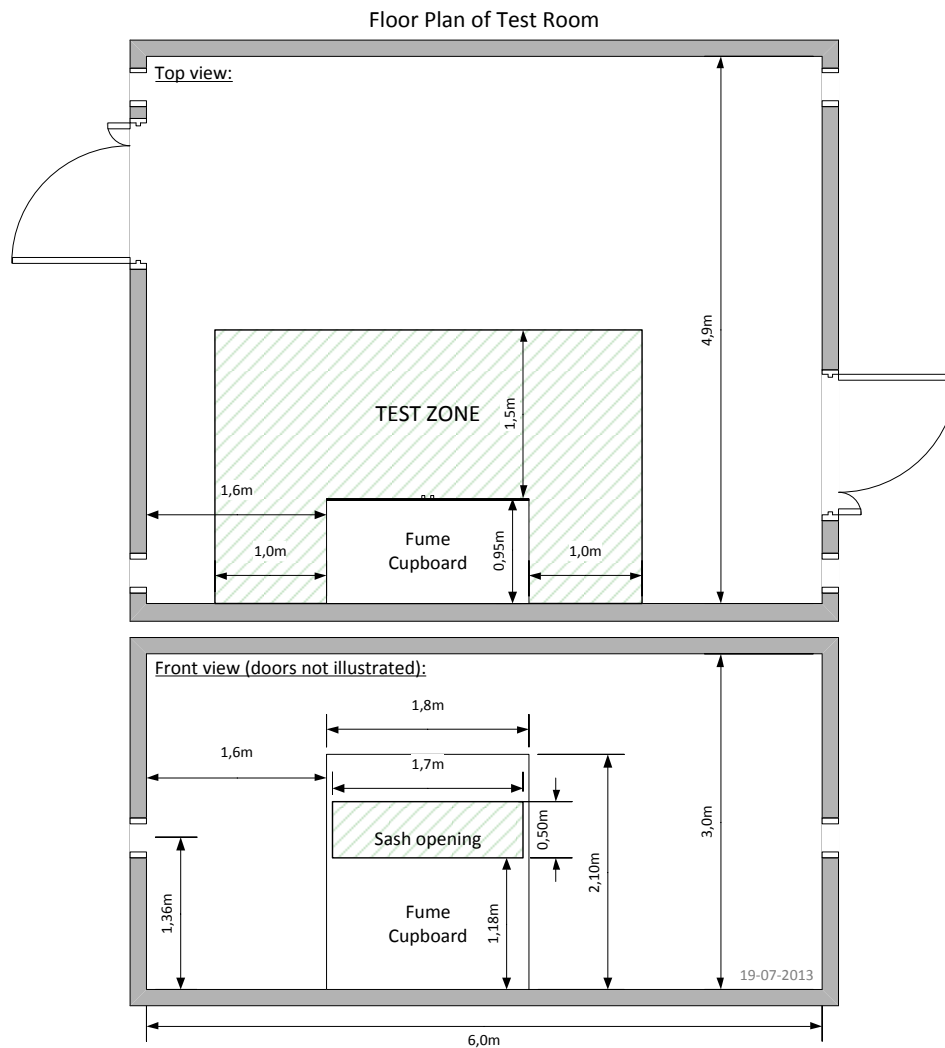
Armaturerne er skiftevis opsat i den opbyggede mock-up, hvorefter forskellige forsøg er udført. Beskrivelse af mock-uppen er tilsvarende beskrevet i Del 5 – Bilag, afsnit 12 Målebeskrivelse, side 83. Forsøgene foretaget i nærværende projekt er som følgende:

- Måling af hastighedsforstyrrelser i lugeåbning ved stinkskabet uden sug på stinkskabet
 - Hastighedsforstyrrelser ved poseindblæsning placeret 3,2 m fra stinkskab
 - Hastighedsforstyrrelser ved en dysekanal placeret 0,75 m fra stinkskab
 - Hastighedsforstyrrelser ved to dysekanaler placeret hhv. 0,75 og 2,2 m fra stinkskab
 - Hastighedsforstyrrelser ved to Comdif CBA armaturer placeret 1,05 m fra stinkskab
- Måling af gasudslip fra stinkskabet med sug på stinkskabet (isobuten)
 - Hastighedsforstyrrelser ved poseindblæsning placeret 3,2 m fra stinkskab
 - Hastighedsforstyrrelser ved en dysekanal placeret 0,75 m fra stinkskab
- Måling af gasudslip fra stinkskabet med sug på stinkskabet (svovlhexafluorid)
 - Hastighedsforstyrrelser ved poseindblæsning placeret 3,2 m fra stinkskab
 - Hastighedsforstyrrelser ved en dysekanal placeret 0,75 m fra stinkskab
- Modificeret robusthedstest
- Standard robusthedstest
- Støjmålinger i stinkskabet

Ved hvert af ovennævnte punkter er luftmængder i hhv. indblæsning og udsugning varieret, hvorfor forsøgsrækken er markant større end vist. Dertil er der ved forsøgene gående på måling af gasudslippet foretaget en række varierende målinger, hvor for eksempel forsøgsopsætning og -metode er ændret. Dette er ligeledes nærmere beskrevet i Del 2 - gasmålinger.

Som beskrevet tidligere er der konstrueret et målerum simulerende et almindeligt laboratorium med hensyn til dimensioner, areal m.m. Samtlige målinger eksekveres i dette målerum. Målerummet har målene 6 x 4,9 x 3 m og er konstrueret således, at det kan lukkes af for omgivelserne og opretholde et overtryk i henhold til gældende krav for laboratoriefaciliteter.

Eftersom de indledende forsøg er foretaget uden sug i stinkskabet, har det været nødvendigt at indsætte 4 stk. Ø250 rør i ydervæggen simulerende andre stinkskabets udsugning. Derfor er hullerne/Ø250 rør også placeret i samme højde som stinkskabets lugeåbning. Se figuren nedenfor.



Oversigt over målerummet med dimensioner og placering af stinkskab, døre og overstrømhuller.



Del 1 - Lufthastighedsmålinger





5 Hastighedsforstyrrelser

Indledende beskrivelse

Luftbevægelsen i målerummet ønskes fastlagt på baggrund af indblæsningstype og placering af denne. Dette er essentielt i forhold til at afgøre om, hvorledes luftstrømningsbilleder udarter sig og vurdere om indblæsningstypen og placering er kritisk i forhold til at undgå udslip af skadelige gasser fra stinkskaft til det omkringliggende laboratorium.

Indblæsningsprofilerne og -hastighederne gennem indblæsningsarmaturerne er afgørende for, at gældende krav til stinkskaftet kan overholdes.

Udførelsesbeskrivelse af lufthastighedsmålingerne findes i kapitel 2. "Målebeskrivelse" side 85

Succeskriterium

I forsøget ønskes det at fremprovokere luftforstyrrelser omkring stinkskaftet, hvorfor gældende krav med hensyn til maksimal tilladelige lufthastigheder må forventes ikke at blive overholdt. Den maksimale tilladte lufthastighed i målerummet omkring stinkskaftet er endvidere 0,2 m/s. Dertil vurderes lydforholdene fra indblæsningsarmaturerne ved hvert forsøg.

5.1 Indblæsningspose placeret 3,2 m fra stinkskab

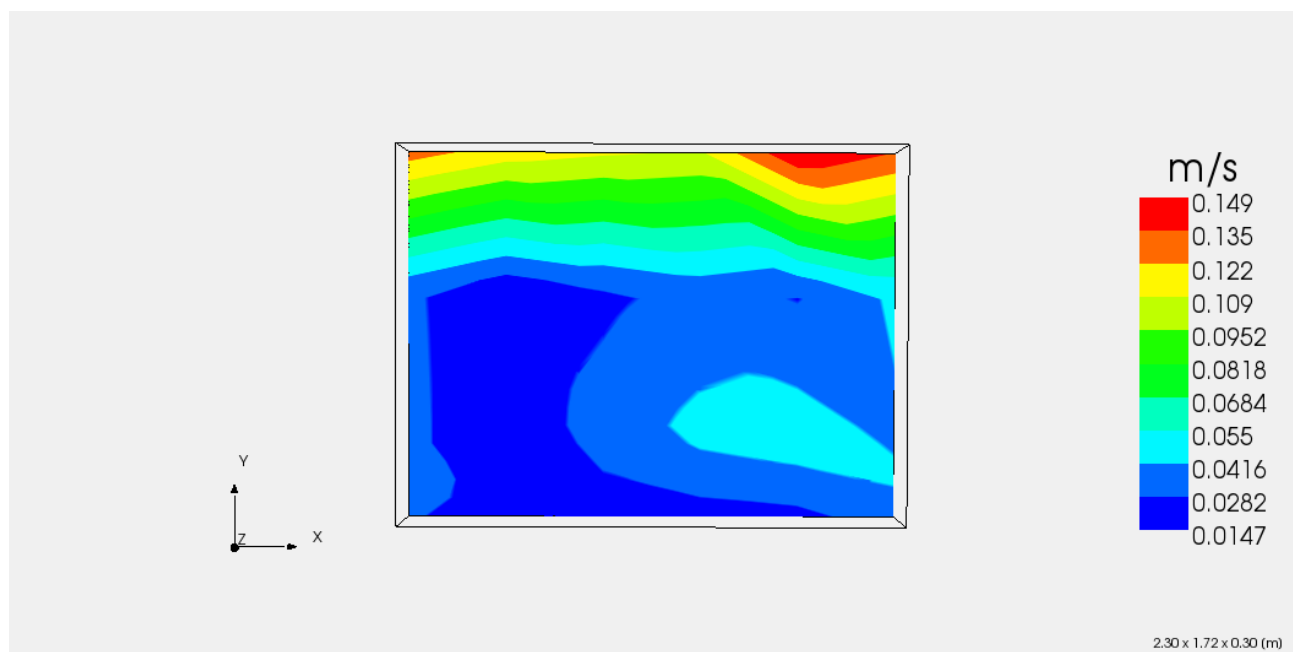
Der foretages i alt fire målinger med indblæsningsposen, hvor lufthastigheden/luftstrømmen er den varierende parameter. Forsøgsopstilling og udførelse af målingerne er beskrevet i Tabel 8 side 94.

5.1.1 Lufthastighed på 1 m/s

Målinger og resultater

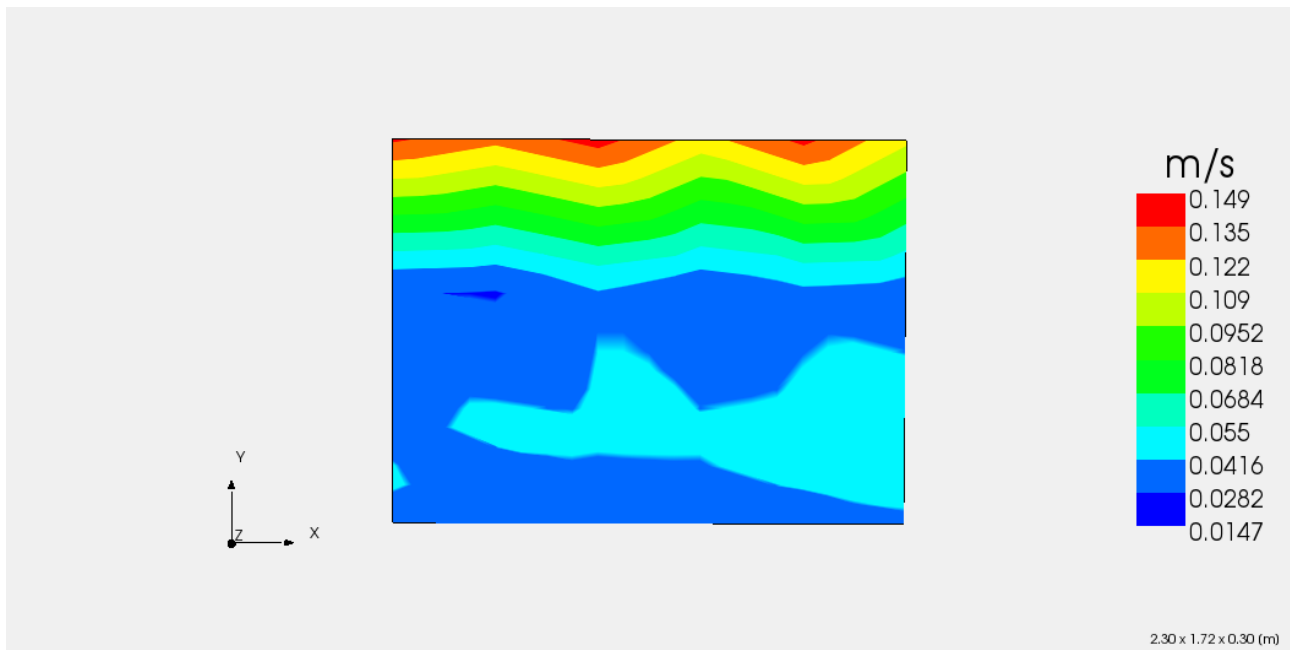
Ved forsøg #1 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 3060 m³/h friskluft, som kontrolleres ved flowmålinger. Rum og indblæsningstemperatur er under målingerne løbende logget og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Plot 1 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 30 cm væk i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv. Øvrig beskrivelse af målepunkternes placering findes i Del 5 – Bilag, afsnit 12 Målebeskrivelse, side 85.



Plot 1 – Hastighedsplot. Måleplan 1, 30 cm væk fra stinkskab.

Plot 2 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 60 cm væk i samme niveauer.



Plot 2 – Hastighedsplot. Måleplan 2, 60 cm væk fra stinkskab.

Umiddelbart varierer hastighederne ikke meget mellem måleplanerne 1 og 2. Dertil fremgår det tydeligt af begge plots, at luftforstyrrelserne fra indblæsningsposen er minimal selvom luftstrømmen er forholdsvis høj. Den højest målte hastighed befinder sig som forventet nær loftet og er 0,149 m/s. Tilsvarende er den højest målte hastighed ved lugeåbningen mindre end 0,05 m/s, hvilket er betydeligt under de maksimalt 0,2 m/s som EN/DS 14175 anbefaler som den højeste hastighed der bør accepteres uden yderligere undersøgelser.

Metoden giver et meget jævnt strømningsbillede uden nogen forstyrrende høj- eller lavhastighedszoner. Ved højere indblæsningshastigheder blev der observeret en let vibration i enkelte dele af posens overflade, men denne har ikke været kraftig nok til at forstyrre rummets øvrige strømningsbillede. Indblæsningsposen er desuden meget støjsvag.

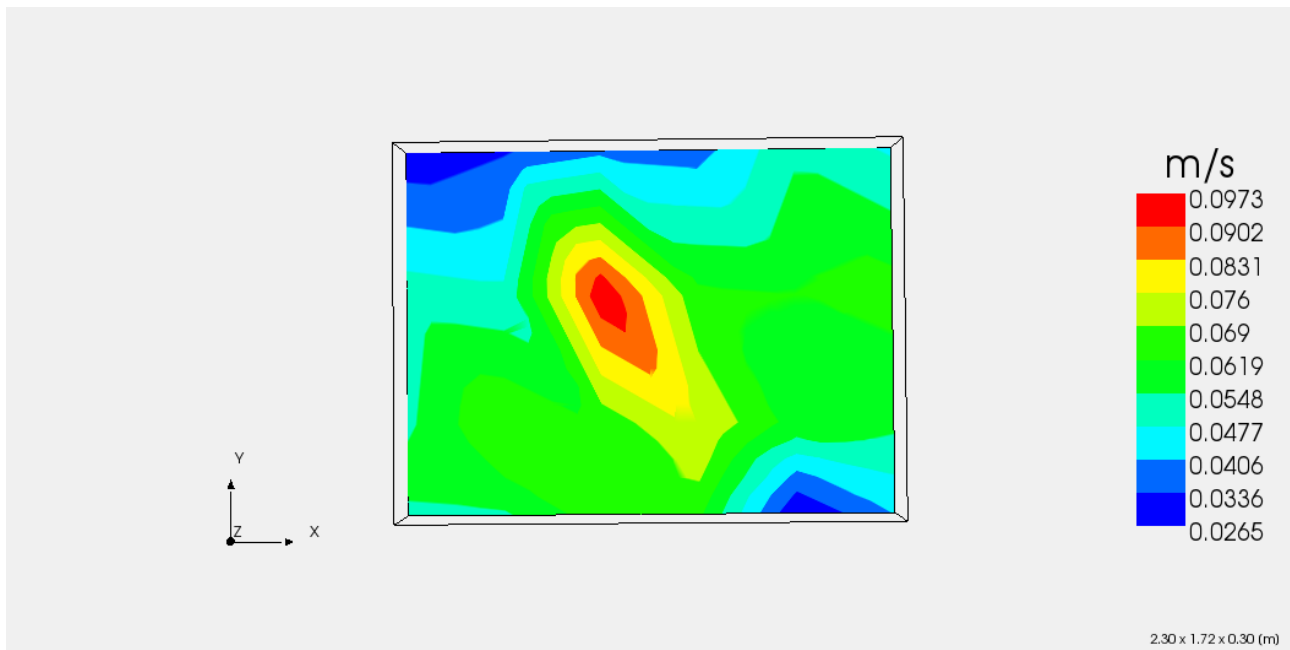
Samme tendenser er observeret ved de følgende målinger, hvor indblæsningsluftstrømmen er reduceret over 4 målinger fra 3060 m³/h til 612 m³/h.

5.1.2 Lufthastighed på 0,5 m/s

Målinger og resultater

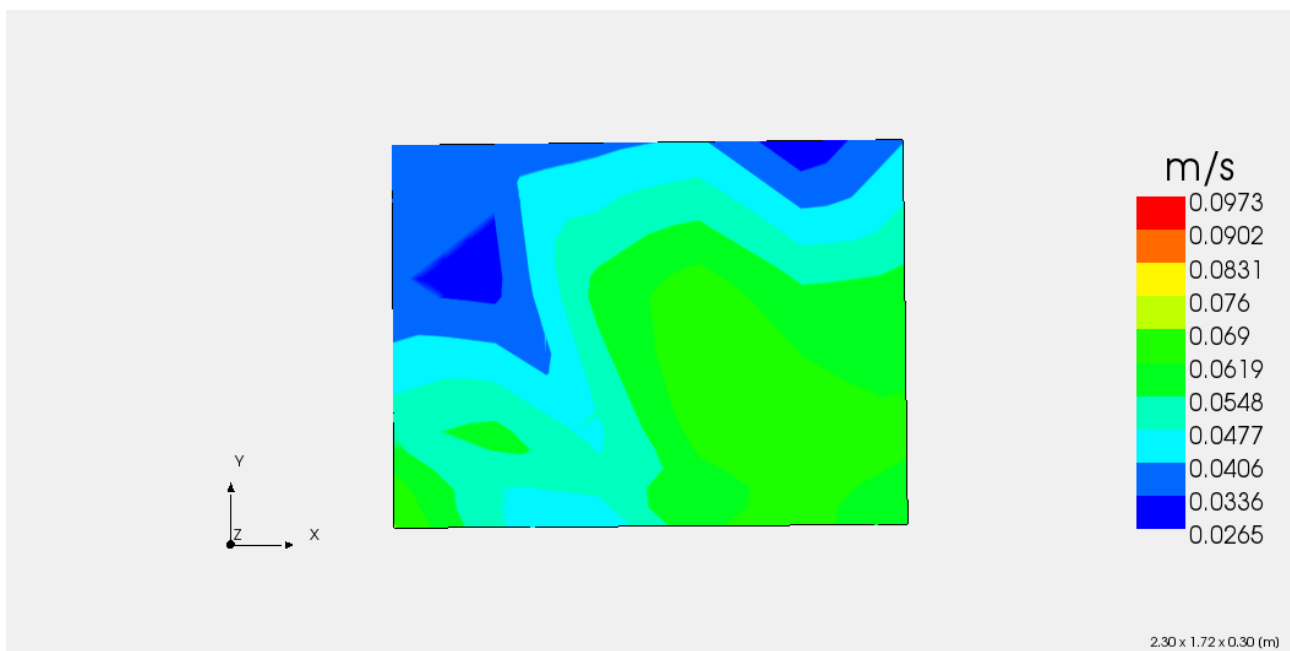
Ved forsøg #2 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 1530 m³/h friskluft, som kontrolleres ved flowmålinger. Rum og indblæsningstemperatur er under målingerne løbende logget og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Plot 3 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 30 cm væk i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Plot 3 – Hastighedsplot. Måleplan 1, 30 cm væk fra stinkskab.

Plot 4 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 60 cm væk i samme niveauer.



Plot 4 – Hastighedsplot. Måleplan 2, 60 cm væk fra stinkskab.

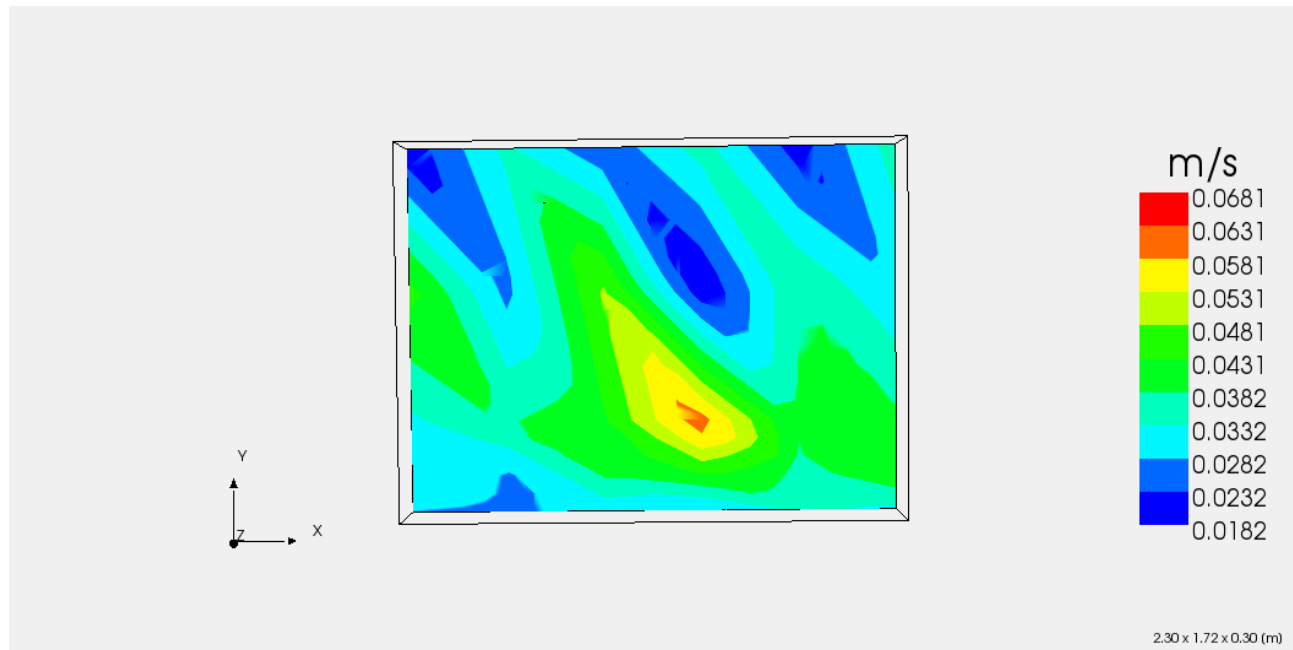
Umiddelbart varierer hastighederne ikke meget mellem måleplanerne 1 og 2. Dertil fremgår det tydeligt af begge plots, at luftforstyrrelserne fra indblæsningsposen er minimal og forventeligt markant faldende i forhold til forrige forsøg. Den maksimale målte hastighed er ca. 0,1 m/s og således langt under 0,2 m/s.

5.1.3 Lufthastighed på 0,3 m/s

Målinger og resultater

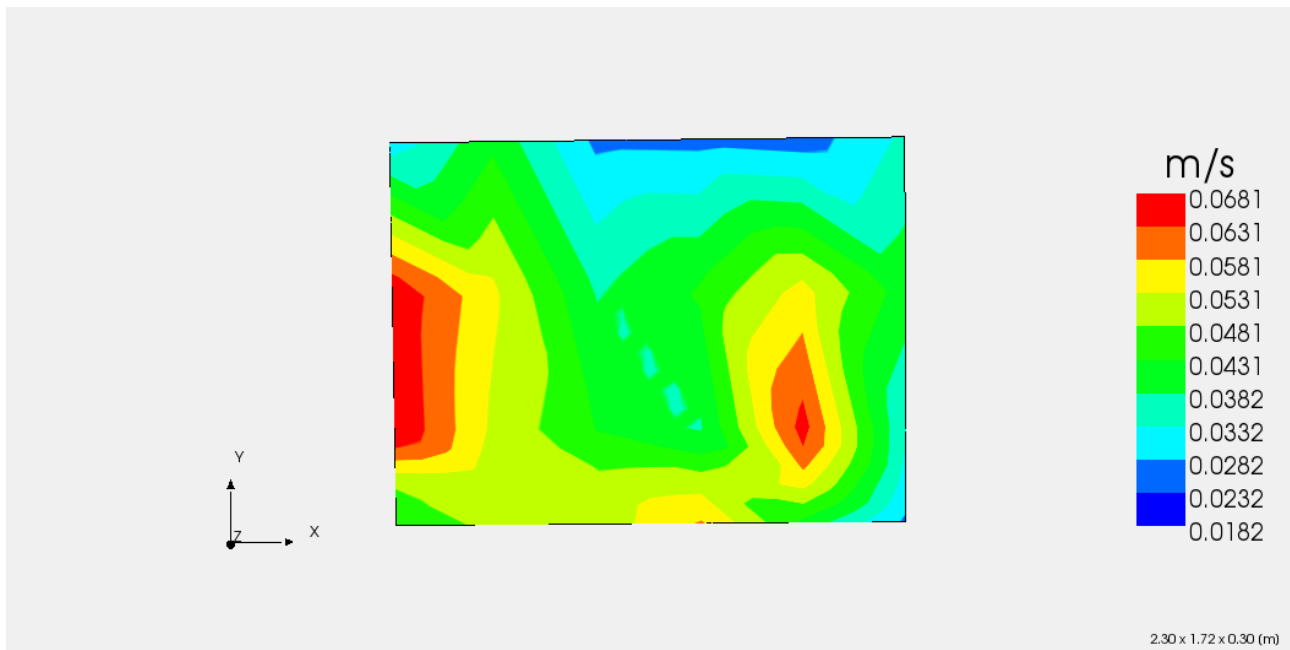
Ved forsøg #3 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 918 m³/h friskluft, som kontrolleres ved flowmålinger. Rum og indblæsningstemperatur er under målingerne løbende logget og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Plot 5 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 30 cm væk i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Plot 5 – Hastighedsplot. Måleplan 1, 30 cm væk fra stinkskab.

Plot 6 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 60 cm væk i samme niveauer.



Plot 6 – Hastighedsplot. Måleplan 2, 60 cm væk fra stinkskab.

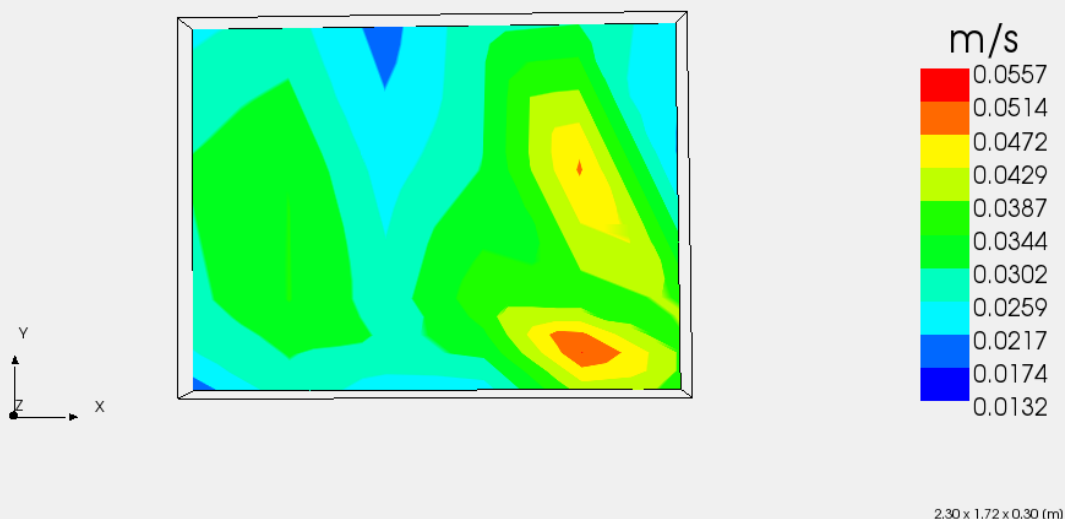
Umiddelbart varierer hastighederne ikke meget mellem måleplanerne 1 og 2. Dertil fremgår det tydeligt af begge plots, at luftforstyrrelserne fra indblæsningsposen er minimal og markant faldende grundet den lavere indblæsningsluftstrøm. Den maksimale målte hastighed er ved dette forsøg ca. 0,07 m/s.

5.1.4 Lufthastighed på 0,2 m/s

Målinger og resultater

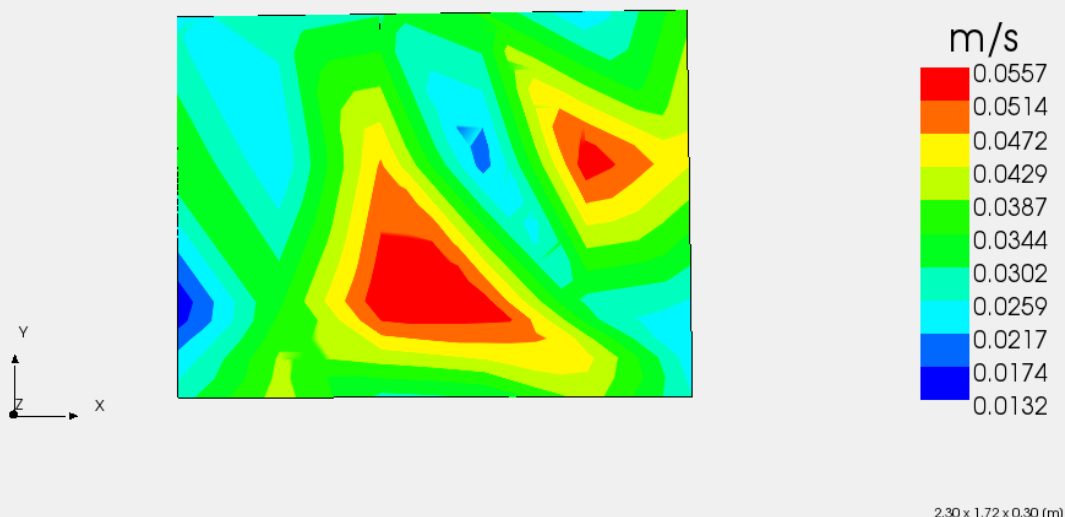
Ved forsøg #4 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 612 m³/h friskluft, som kontrolleres ved flowmålinger. Rum og indblæsningstemperatur er under målingerne løbende logget og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Plot 7 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 30 cm væk i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Plot 7 – Hastighedsplot. Måleplan 1, 30 cm væk fra stinkskab.

Plot 8 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 60 cm væk i samme niveauer.



Plot 8 – Hastighedsplot. Måleplan 2, 60 cm væk fra stinkskab.

Umiddelbart varierer hastighederne ikke meget mellem måleplanerne 1 og 2. Dertil fremgår det tydeligt af begge plots, at luftforstyrrelserne fra indblæsningsposen er minimal og markant faldende grundet den lavere indblæsningsluftstrøm.

5.2 Dysekanal placeret 0,75 m fra stinkskab

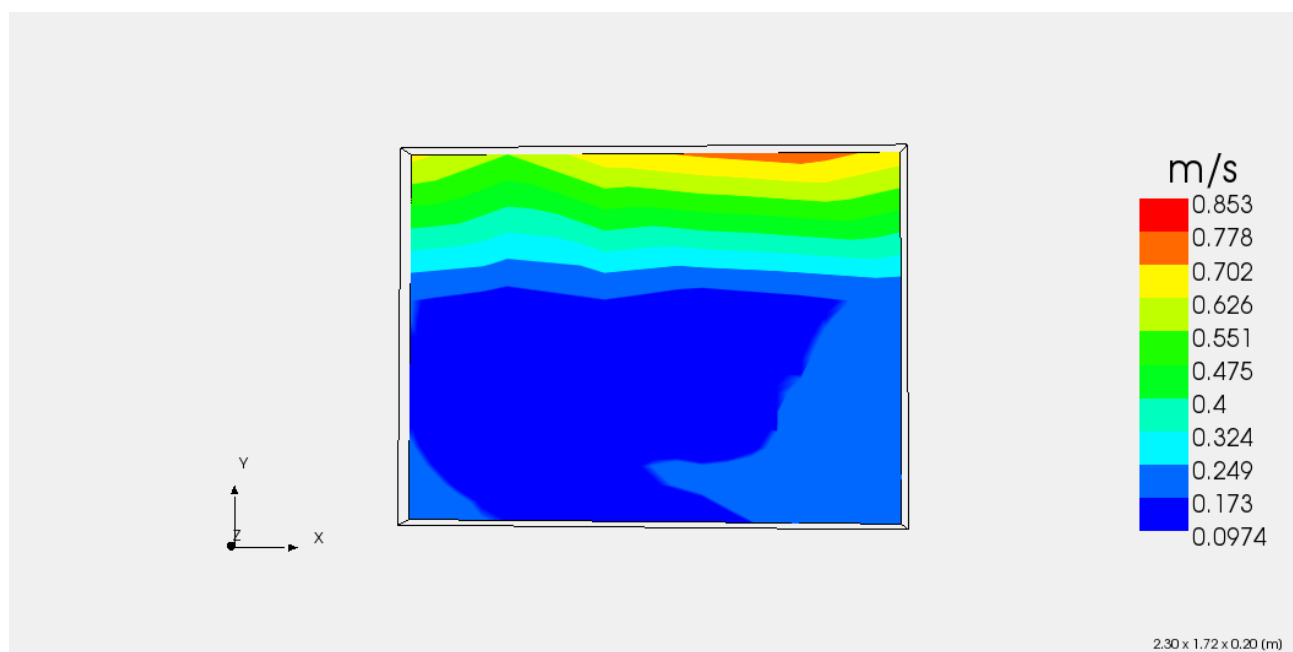
Der foretages i alt tre målinger med en Ø315 mm dysekanal, perforeret i de øvre 270°, hvor lufthastigheden/luftstrømmen er den varierende parameter. Forsøgsopstilling og udførelse af målingerne er beskrevet i afsnit 12.2-1, side 86.

5.2.1 Lufthastighed på 0,5 m/s

Målinger og resultater

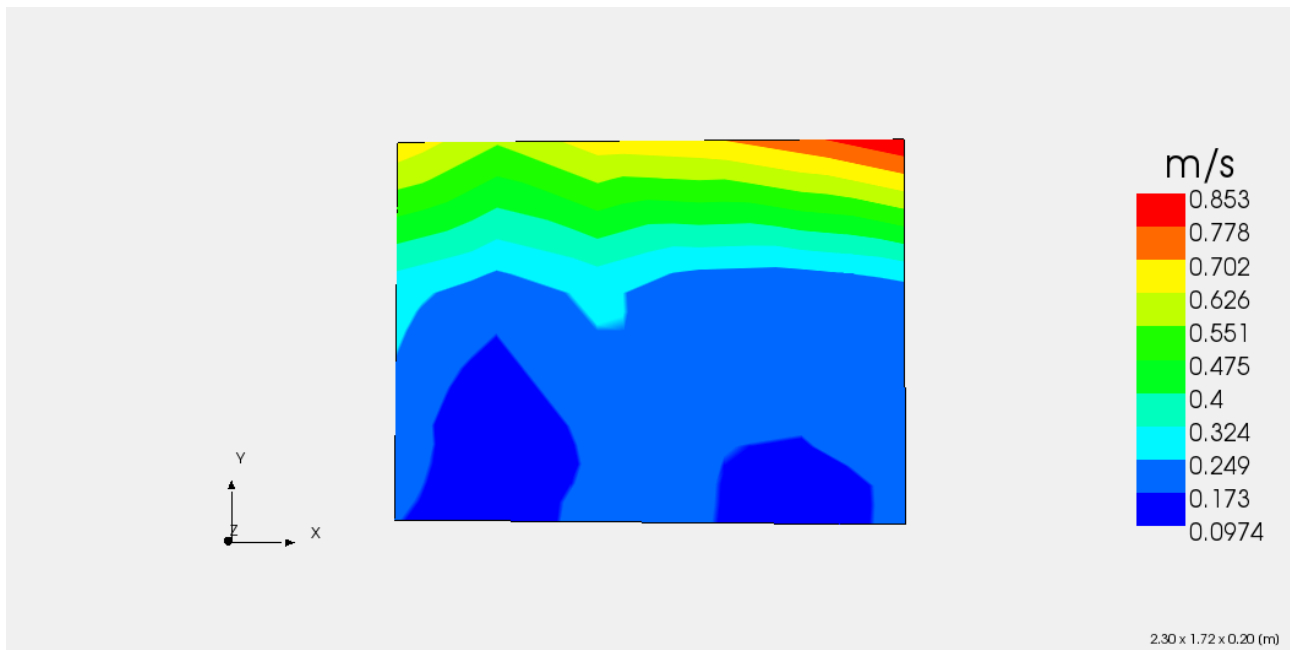
Ved forsøg #1 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 1530 m³/h friskluft, som kontrolleres ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperatur er under målingerne løbende logget og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Plot 9 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 30 cm væk i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv. Øvrig beskrivelse af målepunkternes placering findes i Del 5 – Bilag, afsnit 12 Målebeskrivelse, side 83.



Plot 9 – Hastighedsplot. Måleplan 1, 30 cm væk fra stinkskab.

Plot 10 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 60 cm væk i samme niveauer.



Plot 10 – Hastighedsplot. Måleplan 2, 60 cm væk fra stinkskab.

Umiddelbart varierer hastighederne ikke meget mellem måleplanerne 1 og 2. Forventeligt er lufthastighederne markant højere ved brugen af dysekanal som armatur end ved indblæsningsposen, som normalt betegnes som et lavhastigheds/impuls armatur. Den maksimale målte hastighed er ca. 0,9 m/s og er således langt højere end 0,2 m/s. Denne er dog målt nær loftet og derved uden for opholdszonen. Den højeste målte hastighed i opholdszonen og omkring lugeåbningen er ca. 0,3 m/s, dog befinder lufthastighederne omkring lugeåbningen sig generelt mellem 0,173-0,249 m/s.

Konklusionen er, at der ved brug af denne armaturtype med den pågældende luftstrøm vil forekomme lufthastigheder større end den i DS EN 14175 maksimale anbefalede hastighed på 0,2 m/s.

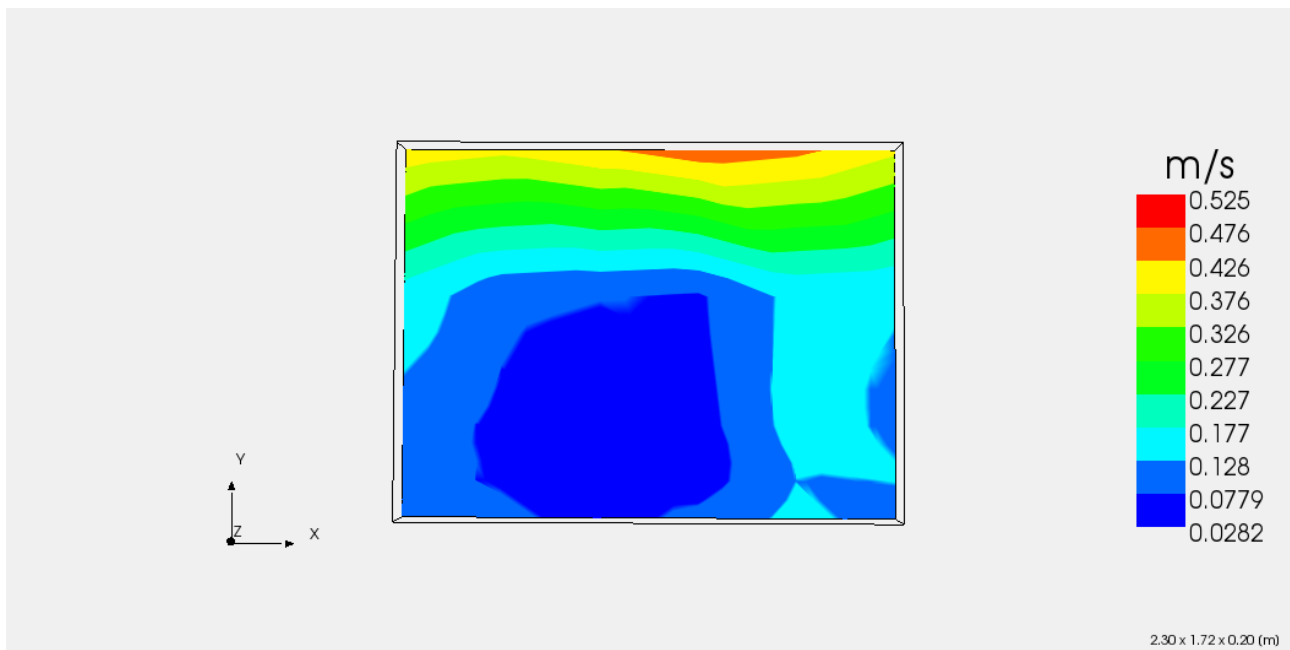
For at undersøge om, hvorledes armaturet reagerer ved højere luftstrømme er der foretaget en mindre undersøgelse, hvor luftstrømmen gradvist er forøget. Det konstateres på baggrund af undersøgelsen, at subjektivt vurderet er støjen fra armaturet uønsket højt ved luftstrømme højere end 270 m³/h pr. løbende meter.

5.2.2 Lufthastighed på 0,3 m/s

Målinger og resultater

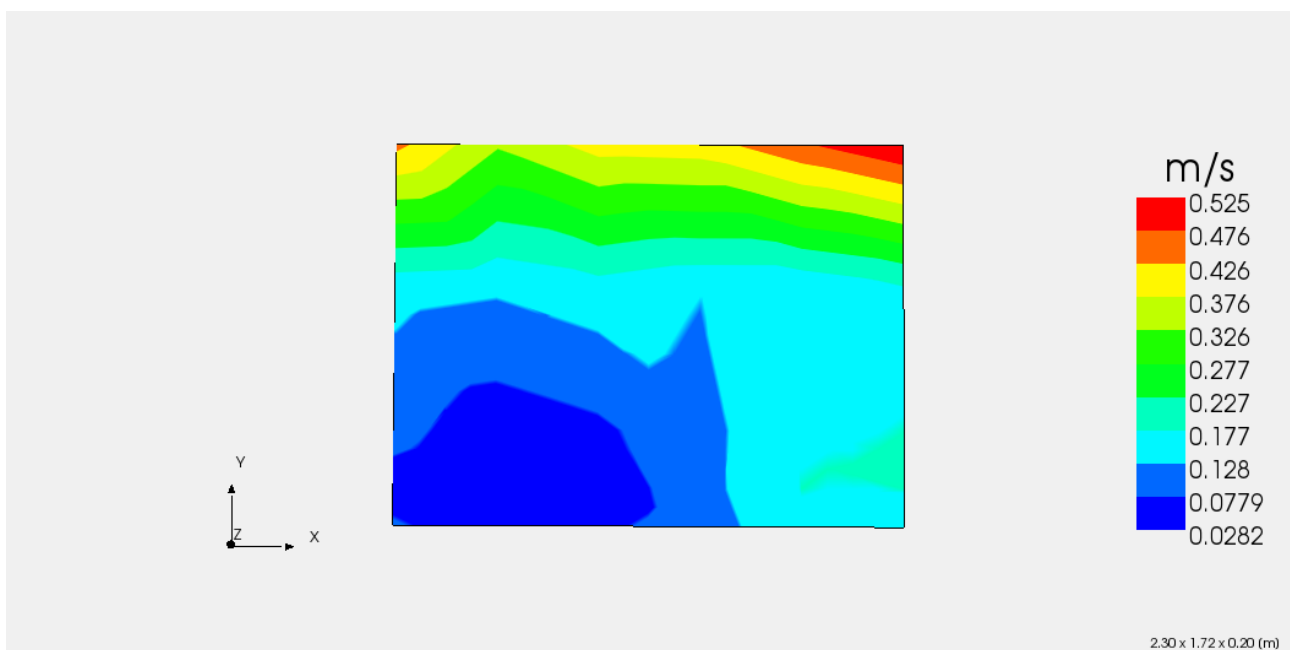
Ved forsøg #2 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 918 m³/h friskluft, som kontrolleres ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperatur er under målingerne løbende logget og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Plot 11 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 30 cm væk i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Plot 11 – Hastighedsplot. Måleplan 1, 30 cm væk fra stinkskab.

Plot 12 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 60 cm væk i samme niveauer.



Plot 12 – Hastighedsplot. Måleplan 2, 60 cm væk fra stinkskab.

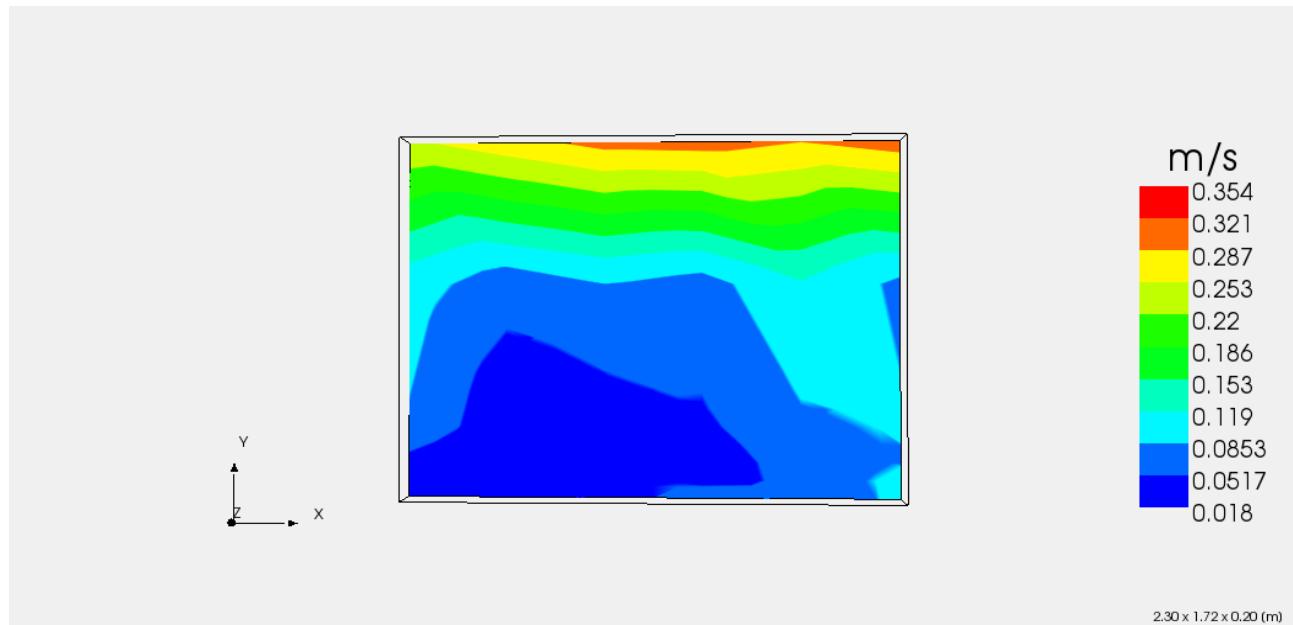
Umiddelbart varierer hastighederne ikke meget mellem måleplanerne 1 og 2. Lufthastighederne er faldende i forhold til forrige forsøg grundet den lavere indblæsningsluftstrøm. Den højeste observeret lufthastighed ved lugeåbningen er ca. 0,23 m/s. Generelt befinder lufthastighederne sig mellem 0,028-0,18 m/s ved lugeåbningen.

5.2.3 Lufthastighed på 0,2 m/s

Målinger og resultater

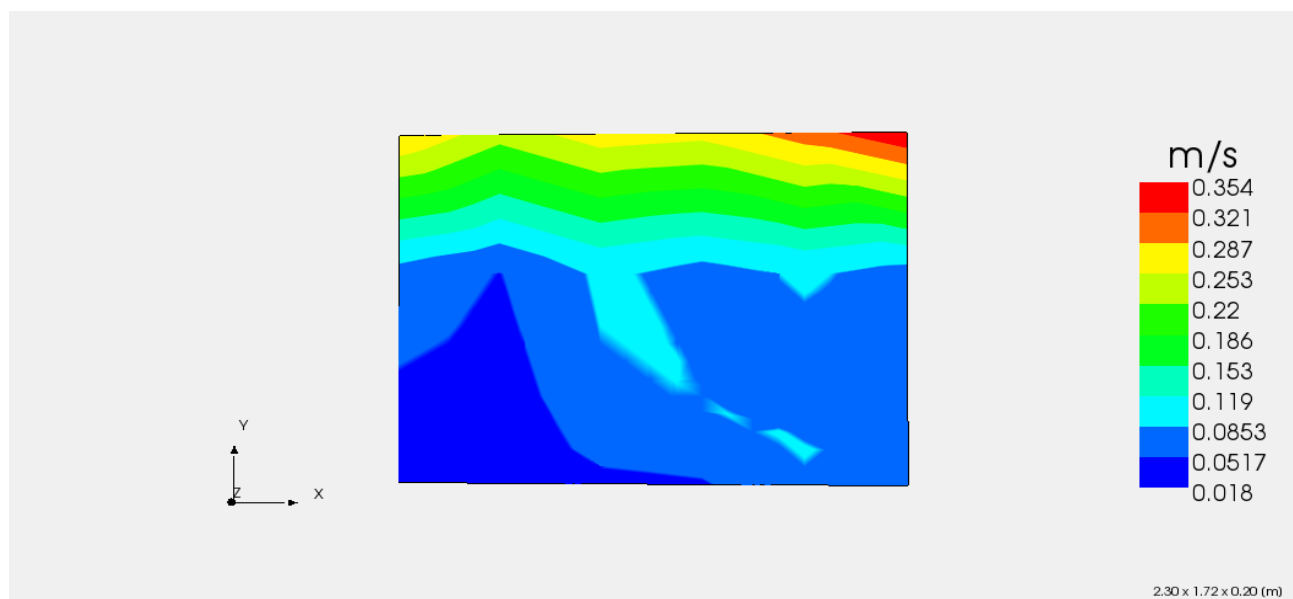
Ved forsøg #3 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 612 m³/h friskluft, som kontrolleres ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperatur er under målingerne løbende logget og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Plot 13 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 30 cm væk i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Plot 13 – Hastighedsplot. Måleplan 1, 30 cm væk fra stinkskab.

Plot 14 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 60 cm væk i samme niveauer.



Plot 14 – Hastighedsplot. Måleplan 2, 60 cm væk fra stinkskab.



Umiddelbart varierer hastighederne ikke meget mellem måleplanerne 1 og 2. Lufthastighederne er faldende i forhold til forrige forsøg grundet den lavere indblæsningsluftstrøm. Den højest målte hastighed i opholdszonen og omkring lugeåbningen er ca. 0,12 m/s, dog befinder hastighederne omkring lugeåbningen sig generelt mellem 0,02-0,12 m/s.

5.3 Dysekanaler placeret hhv. 0,75 og 2,2 m fra stinkskab

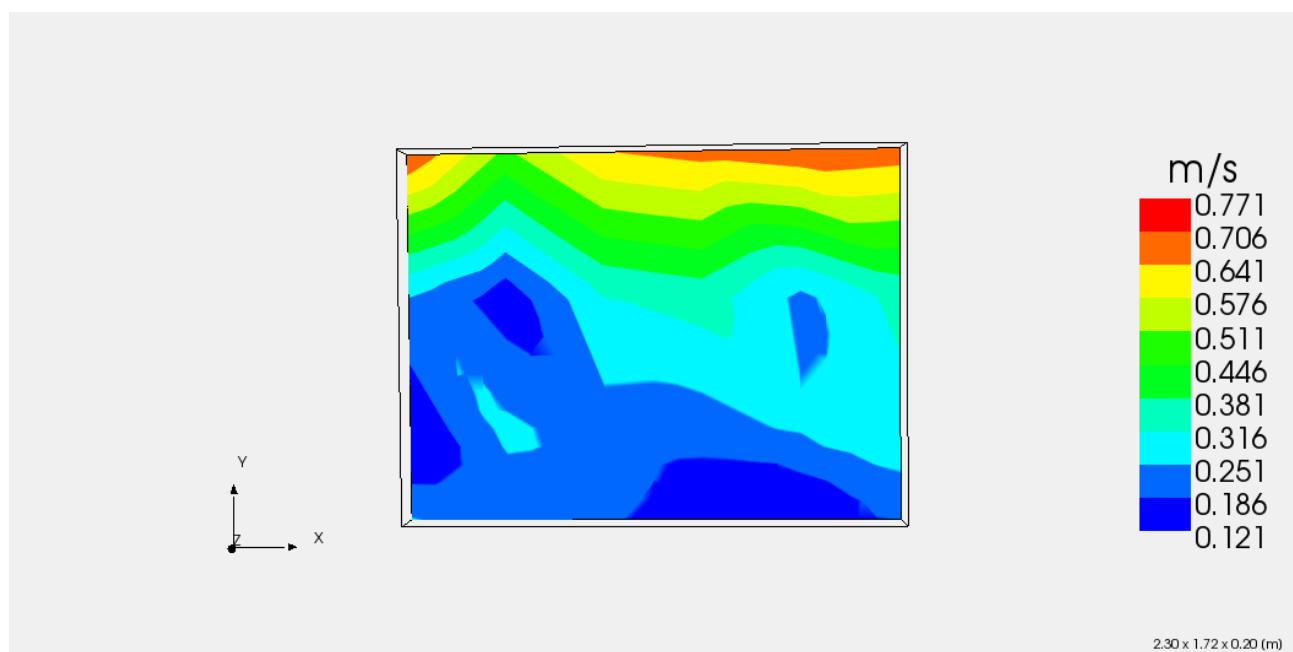
Der foretages i alt fire målinger med to Ø315 mm dysekanaler, perforeret i de øvre 270°, hvor lufthastigheden/luftstrømmen er den varierende parameter. Forsøgsopstilling og udførelse af målingerne er beskrevet i afsnit 12.2-1, side 86.

5.3.1 Lufthastighed på 1 m/s

Målinger og resultater

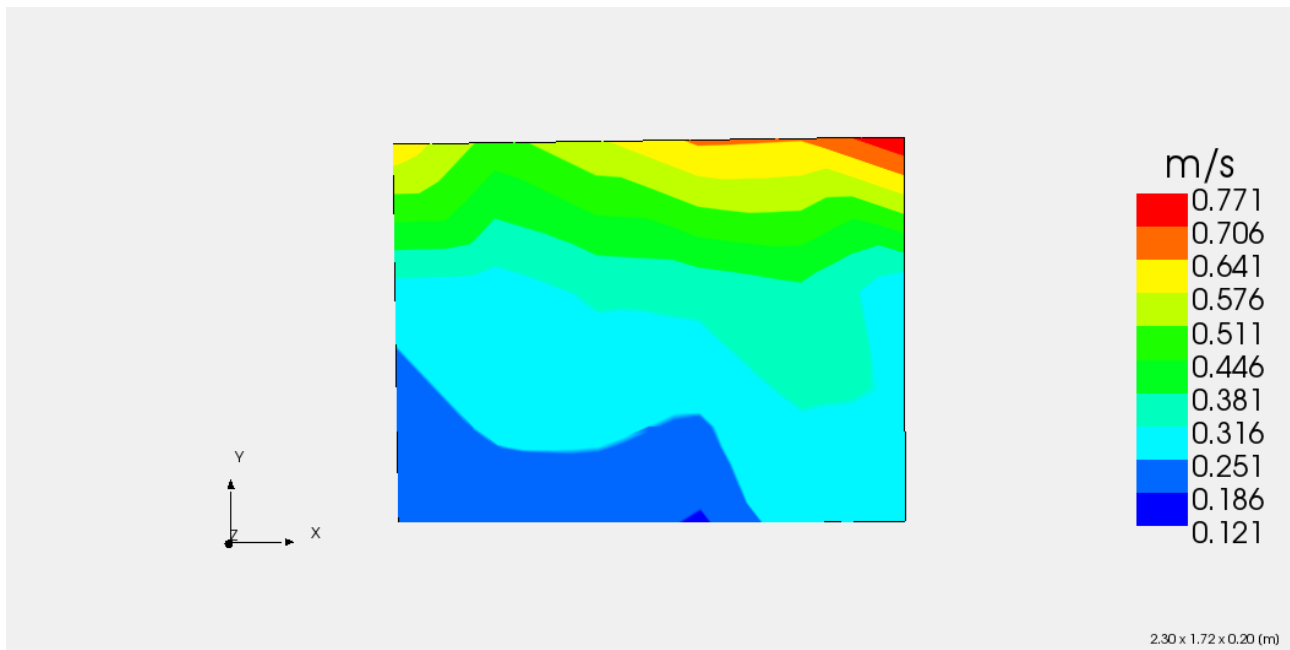
Ved forsøg #1 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 3060 m³/h friskluft, som kontrolleres ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperatur er under målingerne løbende logget og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Plot 15 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 30 cm væk i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv. Øvrig beskrivelse af målepunkternes placering findes i Del 5 – Bilag, afsnit 12 Målebeskrivelse, side 85.



Plot 15 – Hastighedsplot. Måleplan 1, 30 cm væk fra stinkskab.

Plot 16 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 60 cm væk i samme niveauer.



Plot 16 – Hastighedsplot. Måleplan 2, 60 cm væk fra stinkskab.

Hastighedsplottene minder ligeledes tidligere meget om hinanden. Der forekommer dog visse ulineariteter mellem måleplan 1 og 2 som formentligt skyldes stinkskabets interferens. Selvom der i nærværende forsøg anvendes to dysekanaler med den dobbelte tilførte luftstrøm ($3060 \text{ m}^3/\text{h}$) i forhold til forsøget med 1 dysekanal ($1530 \text{ m}^3/\text{h}$), er den maksimale lufthastighed reduceret. Den højest målte lufthastighed forekommer i begge forsøg i toppen af rummet. Anvendelse af to dysekanaler medvirker dog til, at lufthastighederne foran lugeåbningen i højden 1,18 m – 2,24 m er højere end ved anvendelse af 1 dysekanal placeret tættest på stinkskabet.

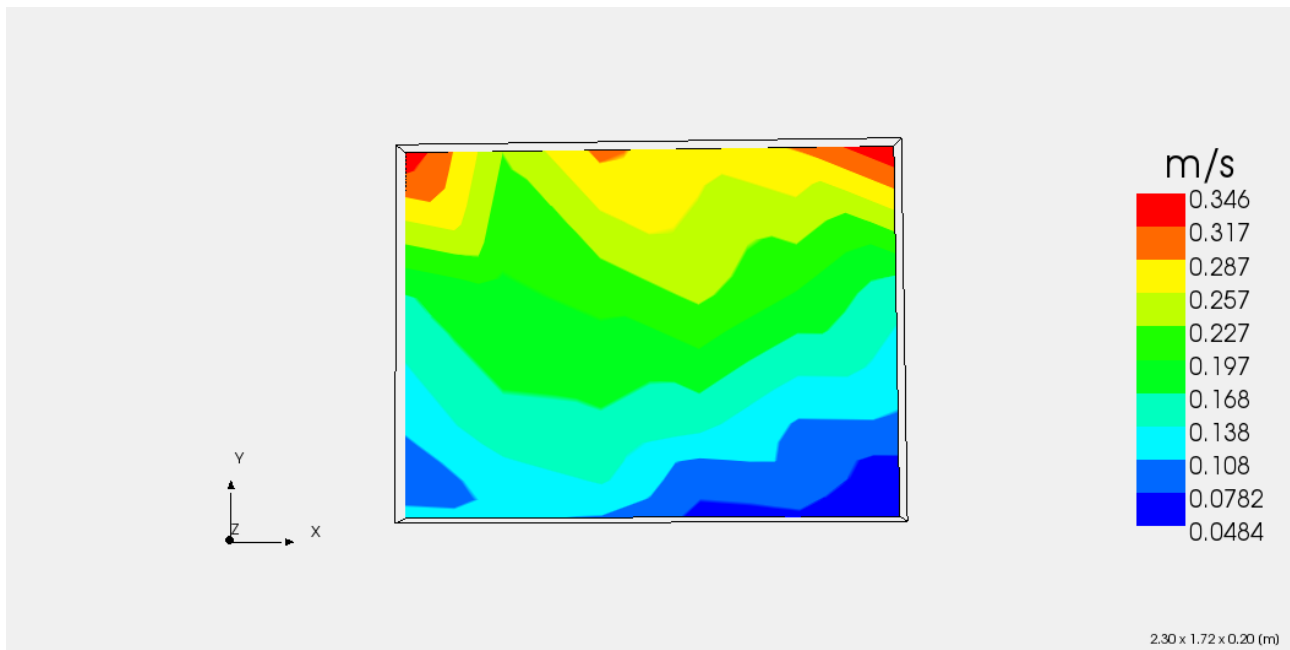
Lufthastighederne målt omkring lugeåbningen befinder sig generelt mellem 0,251-0,381 m/s med enkelte undtagelser. Lufthastighederne overstiger derved kravet om en maksimal hastighed på 0,2 m/s.

5.3.2 Lufthastighed på 0,5 m/s

Målinger og resultater

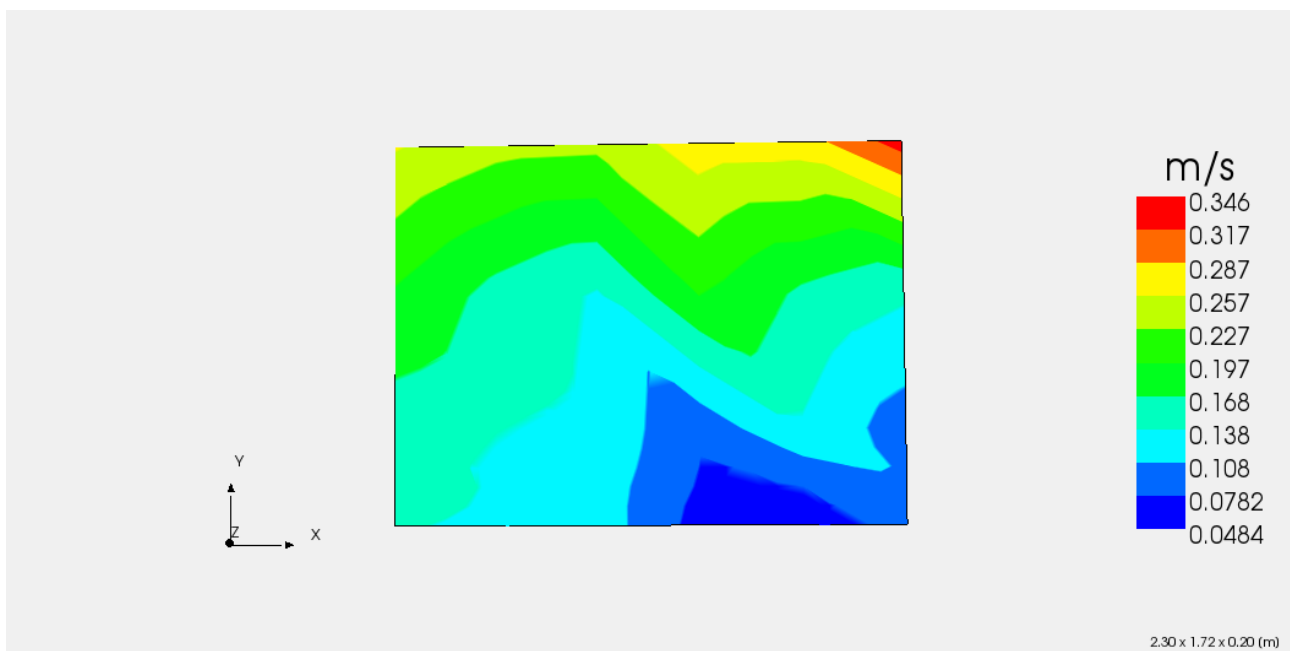
Ved forsøg #2 er ventilationsanlægget indstillet til at levere $1530 \text{ m}^3/\text{h}$ friskluft, som kontrolleres ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperatur er under målingerne løbende logget og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Plot 17 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 30 cm væk i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Plot 17 – Hastighedsplot. Måleplan 1, 30 cm væk fra stinkskab.

Plot 18 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 60 cm væk i samme niveauer.



Plot 18 – Hastighedsplot. Måleplan 2, 60 cm væk fra stinkskab.

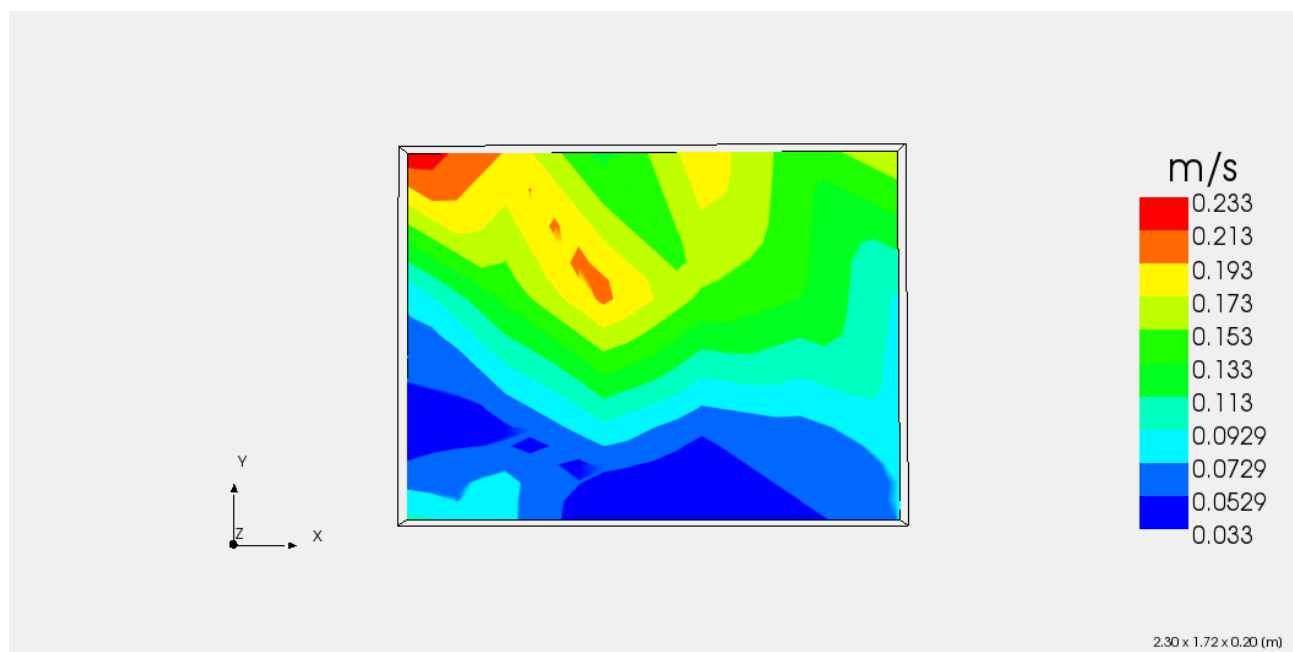
Der forekommer nogle, men stadigvæk in signifikante forskelle mellem måleplan 1 og 2. Ved begge måleplaner vil der forekomme hastigheder omkring lugeåbningen, som overstiger kravet om en maksimal hastighed på 0,2 m/s. Dog viser målingerne, at hastighederne generelt er lavere end 0,2 m/s omkring lugeåbningen.

5.3.3 Lufthastighed på 0,3 m/s

Målinger og resultater

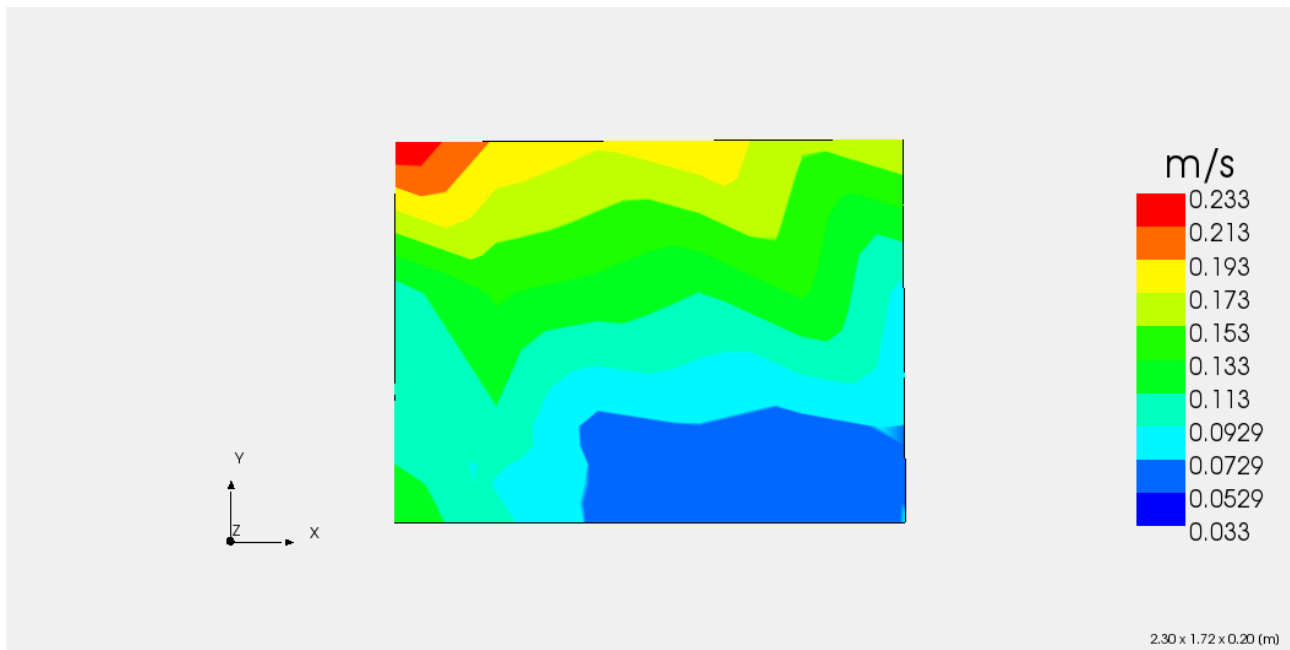
Ved forsøg #3 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 918 m³/h friskluft, som kontrolleres ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperatur er under målingerne løbende logget og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Plot 19 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 30 cm væk i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Plot 19 – Hastighedsplot. Måleplan 1, 30 cm væk fra stinkskab.

Plot 20 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 60 cm væk i samme niveauer.



Plot 20 – Hastighedsplot. Måleplan 2, 60 cm væk fra stinkskab.

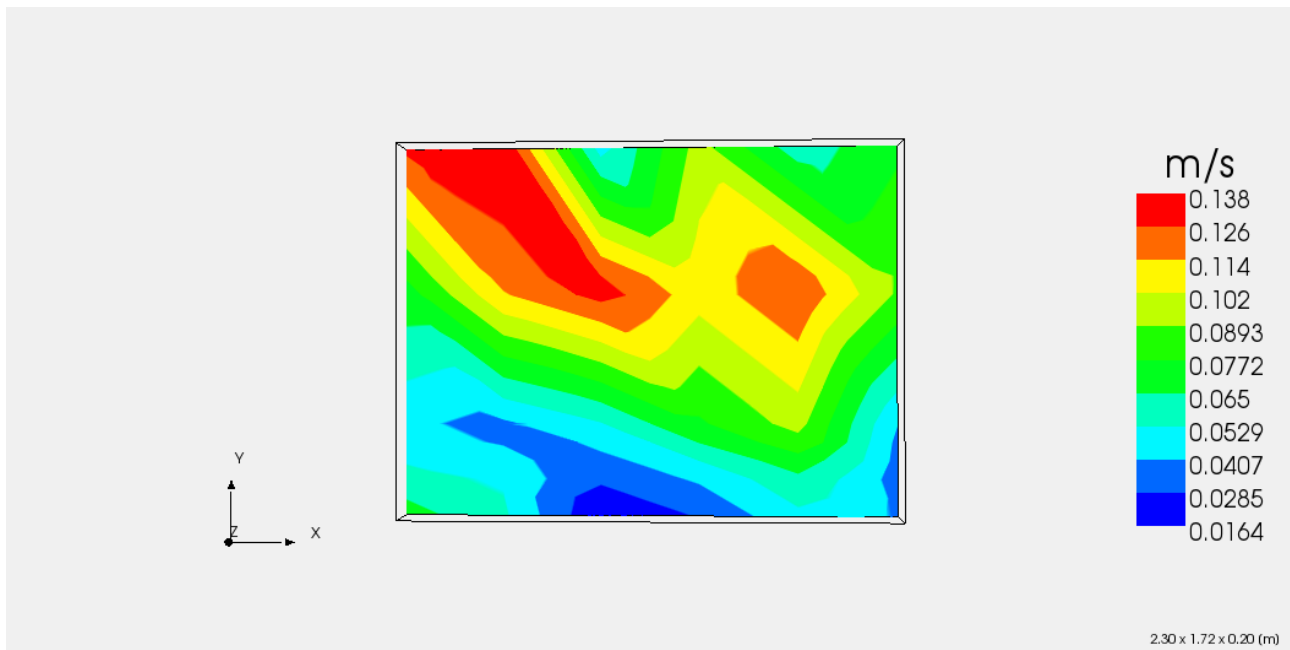
Der forekommer nogle, men stadigvæk insignifikante forskelle mellem måleplan 1 og 2. Med en indblæsningsluftstrøm på 918 m³/h igennem to indblæsningsdyser vil der ikke forekomme lufthastigheder over det tilladte.

5.3.4 Lufthastighed på 0,2 m/s

Målinger og resultater

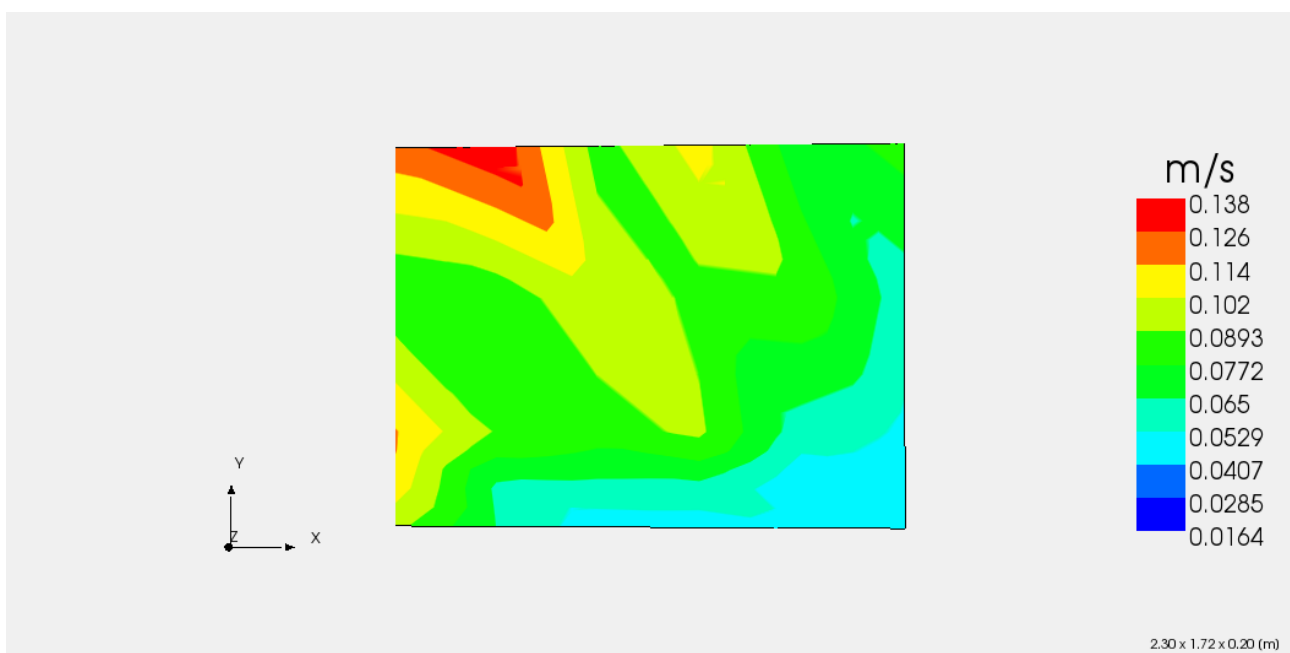
Ved forsøg #4 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 612 m³/h friskluft, som kontrolleres ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperatur er under målingerne løbende logget og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Plot 21 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 30 cm væk i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Plot 21 – Hastighedsplot. Måleplan 1, 30 cm væk fra stinkskab.

Plot 22 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen 60 cm væk i samme niveauer.



Plot 22 – Hastighedsplot. Måleplan 2, 60 cm væk fra stinkskab.

Der forekommer nogle, men stadigvæk insignifikante forskelle mellem måleplan 1 og 2. Med en indblæsningsluftstrøm på 612 m³/h igennem to indblæsningsdyser vil der ikke forekomme lufthastigheder over det tilladte.

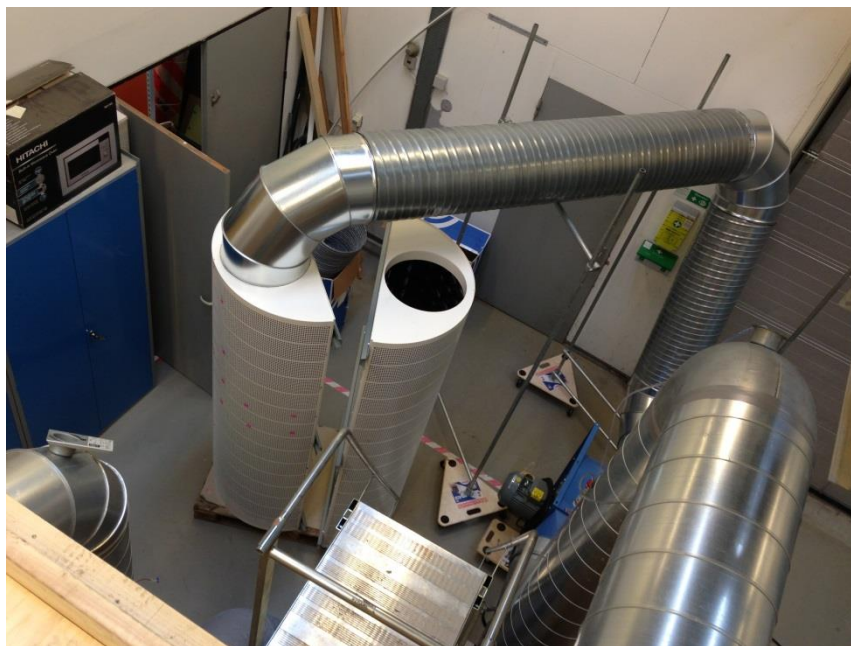
5.4 Fortrængningsarmaturer placeret 1,05 m fra stinkskab

Det er på baggrund af en visuel gennemgang af fortrængningsarmaturerne samt kendskab til dette produkt valgt at foretage en måling af hastighedsfordelingen på begge armaturstørrelser bestående af 2 Comdif CBA4020 og 4 Comdif CBA2510. Derudover foretages der en decideret måling af luftforstyrrelserne der evt. kan forekomme ved stinkskabet. Forsøgsopstilling og udførelse af målingerne er beskrevet i Del 5 – Bilag, afsnit 12 Målebeskrivelse, side 85.

5.4.1 Hastighedsfordeling ved Comdif CBA4020

Der er ved forsøget tilsluttet en ekstern ventilator til Comdif CBA4020-armaturet, hvor en luftstrøm på ca. 1500 m³/h blev tilført. Måling af hastighedsfordelingen er foretaget i afstanden 30-40 cm fra armaturet i luftens retning svarende til vinkelret på armaturets rektangulære bagplade.

Opstillingen ses på figur 1.



Figur 1 - Comdif CBA4020 indblæsningsarmatur.

Der foretages i alt 48 hastighedsmålinger spredt jævnt fordelt over armaturets overflade, som er inddelt i en række bånd. Hastighedsfordelingen er vist i følgende diagram 1.

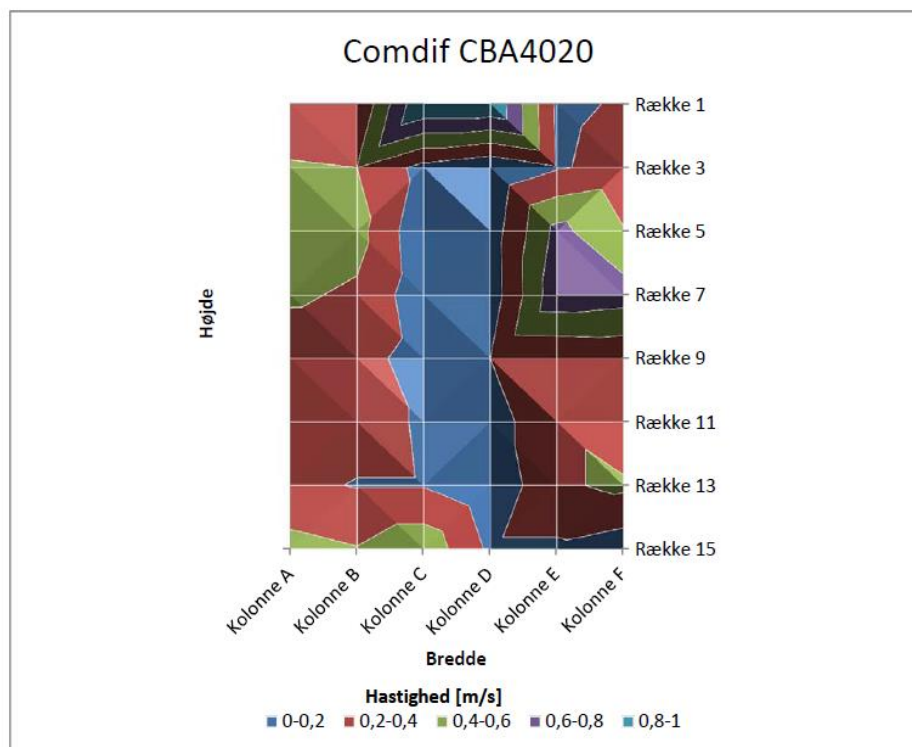


Diagram 1 – Hastighedsfordeling over Comdif CBA4020.

Rækkens nummer angiver i hvilket af de femten bånd af perforeringer der måles ud for, startende fra toppen og ned. Kolonnerne A-F er fordelt langs armaturet i bredden.

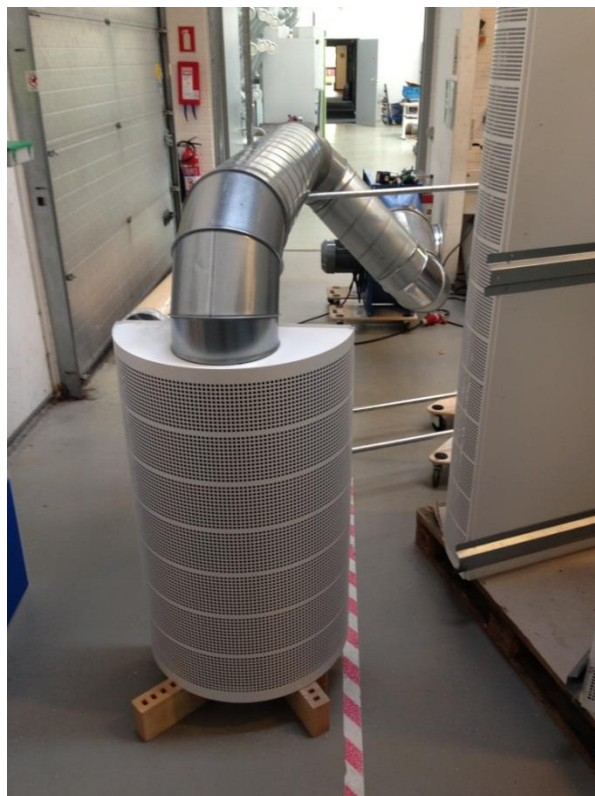
Som diagrammet viser, er hastighedsfordelingen over armaturet særdeles skævt. Tendensen er, at der forekommer en højhastighedszone i midten af armaturet. Ellers forekommer der ingen nævneværdig symmetri af hastighedsfordelingen. Det er på baggrund af hastighedsopmålingen vurderet, at det respektive armatur ikke umiddelbart egner sig som indblæsningsarmatur i nærværende forsøg.

Armaturets indblæsningsdyser var regulerbare og indstillet til fabriksindstilling. Ved kommende test kan dysernes indstilling ændres for således at undersøge om dette kan medføre en mere jævn lufthastighedsfordeling eller påvirke stinkskabet i større grad. Dette gør sig også gældende for Comdif CBA2510 armaturet.

5.4.2 Hastighedsfordeling ved Comdif CBA2510

Ligesom ved Comdif CBA4020 er der ved test af Comdif CBA2510 tilsluttet en ekstern ventilator. Ved forsøget blev der tilført ca. 800 m³/h, hvor 900 m³/h af Lindab er angivet, som den maksimale luftstrøm. Måling af hastighedsfordelingen er tilsvarende foretaget i afstanden 30-40 cm fra armaturet i luftens retning svarende til vinkelret på armaturets rektangulære bagplade.

Opstillingen ses på figur 2.



Figur 2 - Comdif CBA2510 indblæsningsarmatur.

Der foretages i alt 20 hastighedsmålinger spredt jævnt fordelt over armaturets overflade, som er inddelt i en række bånd. Hastighedsfordelingen er vist i følgende diagram 2.

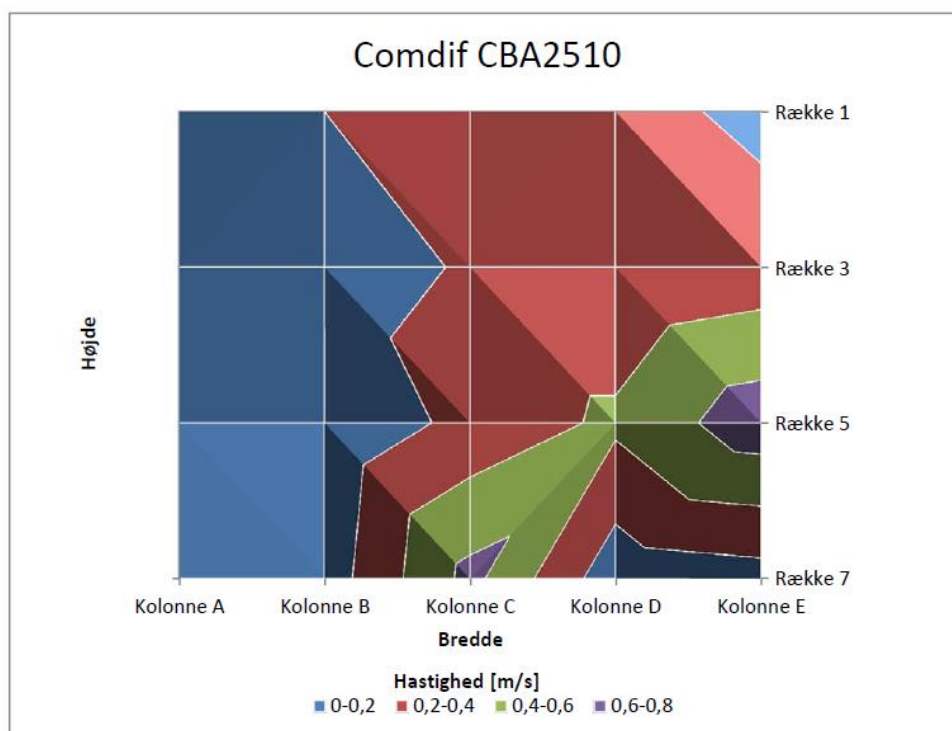


Diagram 2 – Hastighedsfordeling over Comdif CBA2510.

Rækkens nummer angiver i hvilket af de syv bånd af perforeringer der måles ud for, startende fra toppen og ned. Kolonnerne A-E er fordelt langs armaturet i bredden.

Tilsvarende armatur Comdif CBA4020 er hastighedsfordelingen ved Comdif CBA2510 skæv. Armaturet vurderes ligeledes at være uegnet til nærværende forsøg. Umiddelbart blev der ikke observeret nogen nævneværdig forskel i brugbarheden af typerne CBA4020 og CBA2510, udover, at den sidstnævnte model selvfølgelig er mindre, og derfor kræver mindre frihøjde i rummet for tilfredsstillende montering.

Det vælges kun at installere og foretage yderligere forsøg med Comdif CBA4020 opsat i mock-uppen.

5.4.3 Comdif CBA4020 placeret 1,05 m fra stinkskab – Fabriksindstillede dyser

De første målinger med Comdif CBA4020 er foretaget med fabriksindstillet dyser. Se figur 20 i bilag, side 98.

Lufthastigheder i referencepunkter				
Målested	Flow-hastighed i lugeåbning [m/s]			
	0,2	0,3	0,5	1,0
Over SSK, ved højre hjørne 7 cm under loft [E]	-	-	0,02	0
Over SSK, ved højre hjørne 21 cm under loft [D]	-	-	0	0,01
Over SSK, ved højre hjørne 21 cm over skabets top [C]	-	-	0	0,01
Over SSK, ved højre hjørne 7 cm over skabets top [B]	-	-	0	0,05
Inde i SSK, ved målerørets munding [A]	-	-	0,02	0,02
Foran SSK, 118 cm over gulv, 24 cm til venstre for venstre kant [Mk1]	-	-	0,21	0,2
Foran SSK, 118 cm over gulv, 114 cm til højre for venstre kant [Mk2]	-	-	0,05	0,11
Foran SSK, 224 cm over gulv, 114 cm til højre for venstre kant [Mk3]	-	-	0,05	0,08

Tabel 1 - Måleresultater for fortrængningsarmatur Comdif CBA 4020 med fabriksindstillede dyser. Målte hastigheder under 0,1 m/s kan helt eller delvis regnes forårsaget af naturlig turbulens i lokalet på grund af små temperaturforskelle. Hastighederne ved op til 0,3 m/s flow må formodes at være mindre end de ovenstående, og derfor uproblematisk, og er ikke målt efter.

Målingerne viser, at armaturet ikke er så forstyrrende på stinkskabet, som forventet. Dog bør armaturet placeres i en afstand fra personer, således at det ikke medvirker til diskomfort eftersom lufthastighederne i nedadgående retning var forholdsvis høje.

5.4.4 Comdif CBA4020 placeret 1,05 m fra stinkskab – Justerede dyser

Eftersom de første målinger med armaturet ikke medvirkede til nævneværdige forstyrrelser af stinkskabet er det valgt at justere dyserne i armaturet, hvorved stinkskabet udsættes for en større luftpåvirkning.



Lufthastigheder i referencepunkter				
Målested	Flow-hastighed i lugeåbning [m/s]			
	0,2	0,3	0,5	1,0
Over SSK, ved højre hjørne 7 cm under loft [E]	-	-	-	0,21
Over SSK, ved højre hjørne 21 cm under loft [D]	-	-	-	0,24
Over SSK, ved højre hjørne 21 cm over skabets top [C]	-	-	-	0,26
Over SSK, ved højre hjørne 7 cm over skabets top [B]	-	-	-	0,22
Inde i SSK, ved målerørets munding [A]	-	-	-	0,01
Foran SSK, 118 cm over gulv, 24 cm til venstre for venstre kant [Mk1]	-	-	-	0,04
Foran SSK, 118 cm over gulv, 114 cm til højre for venstre kant [Mk2]	-	-	-	0,02
Foran SSK, 224 cm over gulv, 114 cm til højre for venstre kant [Mk3]	-	-	-	0,04

Tabel 2 - Måleresultater for fortrængningsarmatur Comdif CBA 4020 med justerede dyser.
Målte hastigheder under 0,1 m/s kan helt eller delvis regnes forårsaget af naturlig turbulens i lokalet på grund af små temperaturforskelle. Hastighederne ved op til 0,5 m/s flow må formodes at være mindre end de ovenstående, og derfor uproblematisk, og er ikke målt efter.

Målingerne har vist, at stinkskabet forstyrres mere efter, at dyserne er justeret. Forstyrrelserne er dog relativt små sammenlignet med forsøgene, hvor dysekanalerne er anvendt.

5.5 Opsummering

Fire forskellige typer indblæsningsarmaturer og sammensætninger er blevet opsat i målerummet, konstrueret til det pågældende projekt og efterfølgende blevet undersøgt, med hensyn til at eftervise det pågældende armaturs indflydelse på luftbevægelserne omkring stinkskaftet placeret i målerummet.

Forsøgene har vist, at indblæsningsposen, som forventet giver anledning til de mindste forstyrrelser af luftbevægelserne ved og omkring stinkskaftet, og især i stinkskaftets lugeåbning. Ved en indblæsningsluftstrøm på 3060 m³/h varierede lufthastigheden ved lugeåbningen mellem ca. 0,015-0,05 m/s i vertikal retning. De resterende målinger foretaget med indblæsningsposen som armatur, viste endnu mindre lufthastigheder omkring stinkskaftet grundet de lavere tilførte luftstrømme. Pga. tilsmudsningproblemer anvendes poser sjældent.

Forsøgene foretaget med én dysekanal har vist, at der ved en indblæsningsluftstrøm på 1530 m³/h vil forekomme hastigheder højere end de ønskede 0,2 m/s. I henhold til Lindabs egen produktbeskrivelse om dysekanalen anvendes armaturet primært til industriventilation, det vil sige, at det ikke specifikt fremgår, at produktet er specielt udviklet til laboratorier og tager formentligt derfor primært ikke hensyn til komfort for personer der opholder sig under armaturet. Baseret på databladet og Teknologisk Instituts subjektive observationer, kan armaturet (Ø315 og 270° perforering) med hensyn til støjniveauet ikke belastes mere end ca. 270 m³/h pr. løbende meter.

I målerum med flere end ét stinkskaft vurderes det, at der skal opsættes yderligere to rækker dysekanaler som minimum for at levere den nødvendige luftstrøm. På baggrund af fornævnte beskrivelser konkluderes det, at dysekanalernes kapacitet er utilstrækkelig i forhold til den optagne plads.

Forsøgene foretaget med to dysekanaler har i lighed med forsøget med én dysekanal vist sig at medføre kraftige luftforstyrrelser ved og omkring stinkskaftet. Ved en indblæsningsluftstrøm på 3060 m³/h varierede lufthastigheden mellem 0,251-0,381 m/s med enkelte undtagelser. Samme konklusion omkring brugen af dysekanalerne som armatur gør sig gældende her, dog vil det som følge af to opsatte dysekanaler være muligt at tilføre en højere luftstrøm.

Forsøgene med CBA armaturerne har vist, at der ved justering af dyserne kan forekomme luftforstyrrelser over stinkskaftet. Disse er dog væsentligt mindre end ved anvendelse af dysekanalerne. Komforten vurderes dog at være ringere end ved de andre indblæsningsformer. Fordelen ved CBA armaturerne er, at de kan levere en større luftstrøm på omkring 1900 m³/h pr. armatur.

I forsøgene er en ekstern ventilator benyttet til udsugning af luften i stinkskaftet og som på ingen måde indgår i stinkskaftets normale styring. I realiteten styres udsugningsluftstrømmen ved hjælp af en regulator, som anvender et indstrømningsrør gående fra oversiden af stinkskaftet til midt i stinkskaftet. Det er derfor essentielt at undgå forstyrrelser/for høje hastigheder over stinkskaftet. For høje hastigheder over stinkskaftet kan muligvis medføre, at reguleringen ikke fungerer efter hensigten og giver for lav lufthastighed i arbejdsåbningen. Teoretisk og praktisk kan det give et problem, hvis indblæsningsarmaturet blæser ind over stinkskaftet. Specielt ved forsøgene med dysekanalerne som indblæsningsarmaturer, er der registreret forholdsvis høje



hastigheder mellem 0,7-0,9 m/s nær loftet/stinkskabets top, sammenlignet med indblæsningsposen og CBA armaturet.

På baggrund af de indledende forsøg bør det drøftes, hvilke armaturer der bør anvendes ved de kommende forsøg.





Del 2 - Gasmålinger





6 Sammenligning af gasudslip ift. armaturtype

Indledende beskrivelse

Gasudslippet fra stinkskalet ønskes fastlagt på baggrund af indblæsningstype og placering af denne. Dette er essentielt i forhold til at afgøre om, hvorledes indblæsningstypen og placering er kritisk i forhold til at undgå udslip af skadelige gasser fra stinkskalet til det omkringliggende laboratorium.

Udførelsesbeskrivelse af målinger af gasudslippet findes i bilag 13.2 side 108.

Til forsøget er der anvendt en person, som under forsøget er placeret foran stinkskalet med hænder og delvis underarme placeret inde i stinkskalet, der udfører raske arbejdsbevægelser. Dette er udført i henhold til DS457 for at simulere en realistisk situation.

Succeskriterium

I henhold til DS 457 skal sikkerhedsfaktoren minimum være 10. Københavns Universitet ønsker dog, at gasudslippet ikke er større end at en sikkerhedsfaktor på 40 kan opnås. Beregning af sikkerhedsfaktoren fremgår af næste side.

6.1 Indblæsningspose placeret 3,2 m fra stinkskab

Som tidligere beskrevet foretages der i alt otte målinger med indblæsningsposen, hvor lufthastigheden/luftstrømmen er den varierende parameter. Målingerne er beskrevet i afsnit 12.2-2, side 99.

De indledende målinger med posen som indblæsningsarmatur viste, at der ikke forekommer lufthastigheder over 0,149 m/s, det vil sige at posen i praksis er forstyrrelsesfri.

Nedenstående diagram er udarbejdet på baggrund af forudsætninger beskrevet i nærværende rapport (1 indblæsningspose, 1 stinkskab i forsøgsrummet, osv.). Det er derfor yderst essentielt at vurdere rumforhold, forstyrrelse m.m., eftersom den udarbejdede graf kun gør sig gældende for én bestemt situation.

Vurdering af brugersikkerheden ud fra DS 457

Sikkerhedsfaktoren er beregnet ud fra de i DS 457 foreslåede metoder kombineret med de værdier, det har været kutyme at bruge fra 1. udgave af DS 457 og disse er:

- GV for stof: 2 ppm (2000 ppb)
- Forureningsrate: 0,1 mol/min svarende 2,5 l/min (svarende til opvarmede processer)
- Forureningsrate: 0,04 mol/min svarende 1 l/min (svarende til uopvarmede processer)

De målte udslip til brugerens åndingszone er i henhold til DS 457 behandlet meget konservativt, idet der til den målte middelværdi er tillagt 3 gange standardafvigelsen. Dette svarer til, at 99,87 procent af værdierne ved en normalfordeling ligger under den værdi, der bruges i beregningen af sikkerheden.

Målinger og resultater

Luftstrømmen reguleres fra 612 m³/h til 3060 m³/h under forsøget, således der kan opstilles et diagram, hvor sikkerhedsfaktoren vises i forhold til lufthastigheden i lugeåbningen.

Diagram 3 viser sikkerhedsfaktoren for målinger med lufthastigheder fra 0,2 – 0,8 m/s i lugeåbningen og indblæsning af erstatningsluft via en Ø400 mm pose ved bagvæg.



Lufthastigheder i referencepunkter				
Målested	Flow-hastighed i lugeåbning [m/s]			
	0,2	0,3	0,5	1,0
Over SSK, ved højre hjørne 7 cm under loft [E]	-	-	0	0,12
Over SSK, ved højre hjørne 21 cm under loft [D]	-	-	0	0,12
Over SSK, ved højre hjørne 21 cm over skabets top [C]	-	-	0	0,12
Over SSK, ved højre hjørne 7 cm over skabets top [B]	-	-	0	0,12
Inde i SSK, ved målerørets munding [A]	-	-	0,02	0,02
Foran SSK, 118 cm over gulv, 24 cm til venstre for venstre kant [Mk1]	0,02	0,03	0,05	0,03
Foran SSK, 118 cm over gulv, 114 cm til højre for venstre kant [Mk2]	0,02	0,03	0,06	0,02
Foran SSK, 224 cm over gulv, 114 cm til højre for venstre kant [Mk3]	0,03	0,02	0,06	0,03

Tabel 3 - Måleresultater for indblæsningspose. Målte hastigheder under 0,1 m/s kan helt eller delvis regnes forårsaget af naturlig turbulens i lokalet på grund af små temperaturforskelle. Hastighederne over og inde i SSK ved op til 0,3 m/s flow må formodes at være forsvindende små, og er ikke målt efter.

Som tidligere beskrevet er diagram 3 udarbejdet på baggrund af målinger opnået i et idealiseret laboratorium. Dvs. at ændrede forudsætninger såsom placering af stinkskabs ift. indblæsningsarmaturer, opbygning af rum m.m. kan have stor betydning for resultatet og tilførsel af yderligere forstyrrelser af stinkskabet vil sandsynligvis forringe sikkerheden omkring stinkskabet.

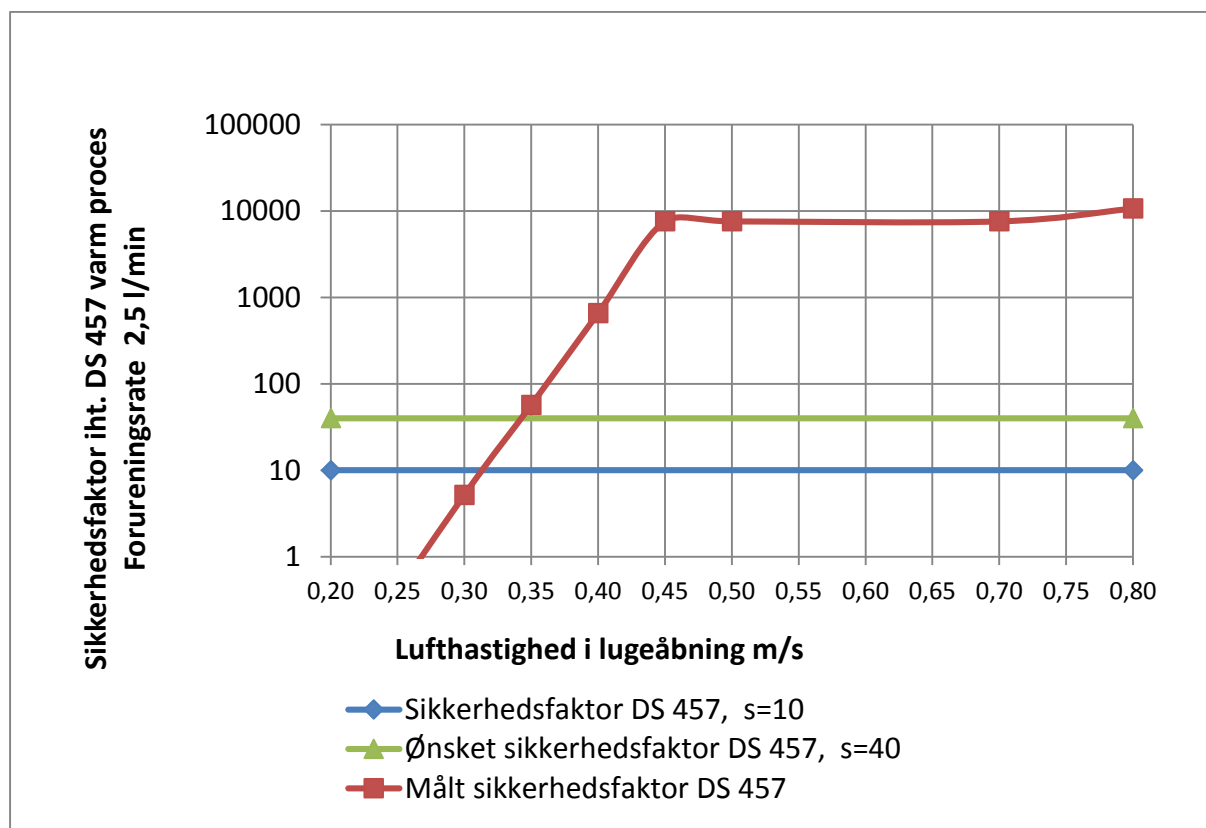


Diagram 3 – Sikkerhedsfaktor for indblæsningsposen.



I henhold til DS 457 må det beregnede udslip til åndingszonen ikke overstige modelgrænseværdien divideret med sikkerhedsfaktoren 10. Denne linje er indtegnet i diagrammet (blå linje).

København Universitets kravspecifikationer fastsætter en sikkerhedsfaktor på 40. Denne linje er indtegnet i diagrammet (grøn linje).

Af diagram 3, fremgår det, at med rolige ikke forstyrrende indblæsning og med idealiserede forudsætninger kan den ønskede sikkerhed opnås med en lufthastighed i lugeåbningen på 0,35 m/s. Det vil sige, at der ikke forekommer forstyrrelser fra armaturer, døre, vinduer mm, og at testrummet kun indeholder ét stinkskaab. I så fald, at forudsætningerne ændrer sig, kan sikkerheden forringes markant. I tabel 4 er resultaterne skemalagt.

Indblæsningspose placeret 3,2 m væk fra stinkskaab	
Opnået sikkerhedsfaktor 1	Min lufthastighed i luge: 0,27 m/s
Opnået sikkerhedsfaktor 10 (DS457 forslag)	Min lufthastighed i luge: 0,32 m/s
Opnået sikkerhedsfaktor 40	Min lufthastighed i luge: 0,35 m/s
Opnået sikkerhedsfaktor 100	Min lufthastighed i luge: 0,36 m/s
Opnået sikkerhedsfaktor >10000	Min lufthastighed i luge: 0,46 m/s

Tabel 4 – Sikkerhedsfaktor ift. lufthastighed i lugeåbning.

6.2 Dysekanaler placeret hhv. 0,75 og 2,2 m fra stinkskab

Som tidligere beskrevet foretages der i alt syv målinger med indblæsningsposen, hvor lufthastigheden/luftstrømmen er den varierende parameter. Målingerne er beskrevet i afsnit 12.2-2, side 99.

De indledende målinger med dysekanalerne placeret hhv. 0,75 og 2,2 m fra stinkskabet viste, at der vil forekomme luftforstyrrelser foran stinkskabet. Den højeste målte hastighed i opholdszonen og omkring lugeåbningen var ca. 0,35 m/s, dog med størstedelen befindende sig mellem 0,251-0,381 m/s.

Diagram 4 er udarbejdet på baggrund af forudsætninger beskrevet i nærværende rapport (2 dysekanaler, 1 stinkskab i forsøgsrummet, osv.). Det er derfor yderst essentielt at vurdere rumforhold, forstyrrelse m.m., eftersom den udarbejdede graf kun gør sig gældende for én bestemt situation.

Vurdering af brugersikkerheden ud fra DS457

Forudsætninger samt anden beskrivelse er vist i forrige afsnit omhandlende indblæsningsposen.

Målinger og resultater

Luftstrømmen reguleres fra 612 m³/h til 3060 m³/h under forsøget, således der kan opstilles et diagram, hvor sikkerhedsfaktoren vises i forhold til lufthastigheden i lugeåbningen.

Diagram 4 viser sikkerhedsfaktoren for målinger med lufthastigheder fra 0,2 – 0,8 m/s i lugeåbningen og indblæsning af erstatningsluft via to dysekanaler Ø315 m.m.

Lufthastigheder i referencepunkter				
Målested	Flow-hastighed i lugeåbning [m/s]			
	0,2	0,3	0,5	1,0
Over SSK, ved højre hjørne 7 cm under loft [E]	-	-	0,11	0,69
Over SSK, ved højre hjørne 21 cm under loft [D]	-	-	0,22	0,54
Over SSK, ved højre hjørne 21 cm over skabets top [C]	-	-	0,21	0,19
Over SSK, ved højre hjørne 7 cm over skabets top [B]	-	-	0,16	0,39
Inde i SSK, ved målerørets munding [A]	-	-	0	0,13
Foran SSK, 118 cm over gulv, 24 cm til venstre for venstre kant [Mk1]	0,07	0,1	0,11	0,25
Foran SSK, 118 cm over gulv, 114 cm til højre for venstre kant [Mk2]	0,03	0,04	0,07	0,15
Foran SSK, 224 cm over gulv, 114 cm til højre for venstre kant [Mk3]	0,11	0,15	0,24	0,35

Tabel 5 – Måleresultater for dysekanaler Ø315. Målte hastigheder under 0,1 m/s kan helt eller delvis regnes forårsaget af naturlig turbulens i lokalet på grund af små temperaturforskelle. Hastighederne over og inde i SSK ved op til 0,3 m/s flow må formodes at være forsvindende små, og er ikke målt efter.

Som tidligere beskrevet er diagram 4 udarbejdet på baggrund af målinger opnået i et idealiseret laboratorium. Dvs. at ændrede forudsætninger såsom placering af stinkskabs ift.

indblæsningsarmaturer, opbygning af rum m.m. kan have stor betydning for resultatet og tilførsel af yderligere forstyrrelser af stinkskalet vil sandsynligvis forringe sikkerheden omkring stinkskalet.

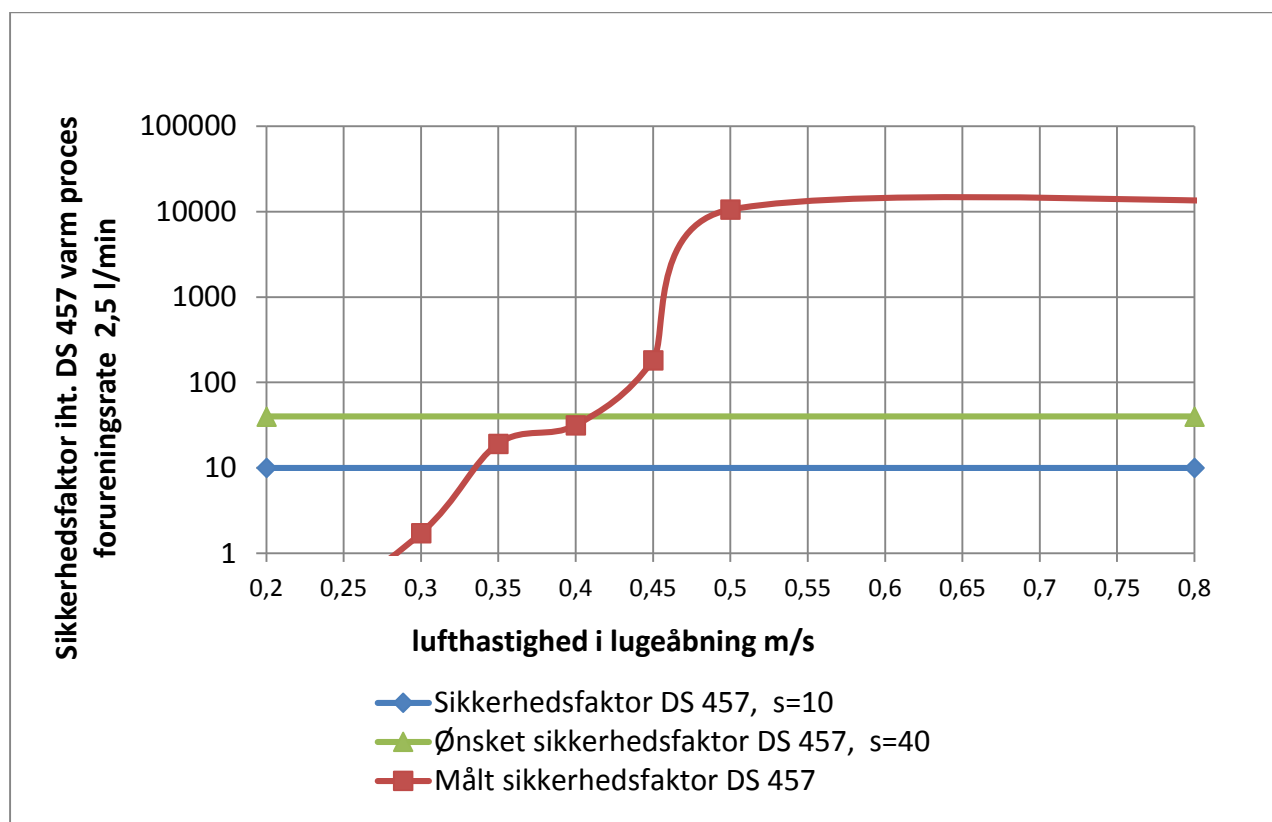


Diagram 4 – Sikkerhedsfaktor for to dysekanaler.

Af diagram 4, fremgår det, at med et forstyrrende indblæsningsarmatur kan den ønskede sikkerhed ikke opnås med en lufthastighed på under 0,41 m/s. Det skal dog bemærkes, at sikkerheden er undersøgt ved særlig idealiserede forhold. Det vil sige at der ikke forekommer forstyrrelser fra døre, vinduer mm, og at testrummet kun indeholder et stinkskalet. I så fald at forudsætninger ændrer sig, kan sikkerheden forringes markant. I tabel 6 er resultaterne skemalagt.

Dysekanaler placeret hhv. 0,75 og 2,2 m væk fra stinkskalet	
Opnået sikkerhedsfaktor 1	Min lufthastighed i luge: 0,27 m/s
Opnået sikkerhedsfaktor 10 (DS457 forslag)	Min lufthastighed i luge: 0,33 m/s
Opnået sikkerhedsfaktor 40	Min lufthastighed i luge: 0,41 m/s
Opnået sikkerhedsfaktor 100	Min lufthastighed i luge: 0,45 m/s
Opnået sikkerhedsfaktor >10000	Min lufthastighed i luge: 0,50 m/s

Tabel 6 – Sikkerhedsfaktor ift. lufthastighed i lugeåbning.

7 Modificeret robusthedstest

Den modificerede robusthedstest er foretaget ved anvendelse af to dysekanaler som indblæsningsarmaturer. Forsøgs setup er en gentagelse af tidligere målinger, hvor gasudslippet



blev målt. Ved forsøget vil der udover operatøren foran stinkskalet være en person gående bagved, frem og tilbage. Personen bevægede sig over en distance på 5 m langs stinkskalet umiddelbart bagved operatøren med en ganghastighed på 1 m/s (DS 457). Efter 30 sekunder returnerede personen til sin oprindelige position. Dette blev gentaget over en periode på 5 min.

Der er ikke gennemført tilstrækkeligt med målinger til at lave en sikker beregning, men baseret på resultaterne er indflydelsen af denne personpassage insignifikant i forhold til operatørens bevægelser. Der er ikke foretaget forsøg med en ganghastighed på 1,4 m/s.





8 Sammenligning af isobuten og svovlhexafluorid

8.1 Kalibrerings- og indstillingsmålinger

Der er udført en række indledende sporgasmålinger for at afprøve, kalibrere og indstille gasinjektor, opstilling og måleudstyr til de egentlige målinger. Alle disse målinger er udført med isobuten (C_4H_8).

Svovlhexafluorid (SF_6) er blandet med 90 % luft under testen. For at opnå et bedre sammenligningsgrundlag opblandes C_4H_8 også med 90 % luft, hvorved samme koncentration af gasserne fås.

Alle målinger i nærværende afsnit er foretaget med en Ø400 mm indblæsningspose, 9 gasinjektorer og 30 samplings prober. Se billeder af forsøgsoptilling i Del 5 – Bilag, afsnit 12 Målebeskrivelse (figur 26 og 27, side 104). Derudover er der anvendt en mekanisk plade til at skabe forstyrrelser foran stinkskabets luge. Udformning af denne plade er nærmere beskrevet i standarden EN/DS 14175-3.

8.2 Lufthastighed i lugeåbningen på 0,2 m/s

Luftstrømmen i stinkskabet er 612 m³/h svarende til en lufthastighed i lugeåbningen på 0,2 m/s.

Målingen løber over 5 minutter, hvor den mekaniske plade bevæger sig fra side til side foran stinkskabet med et interval på 30 sekunder og en pladehastighed på 1 m/s svarende til en almindelig ganghastighed i laboratorium.

Til måling af hhv. C₄H₈ og SF₆ anvendes to forskellige instrumenter der hver især er egnet til gasserne. Resultaterne er vist i diagram 5.

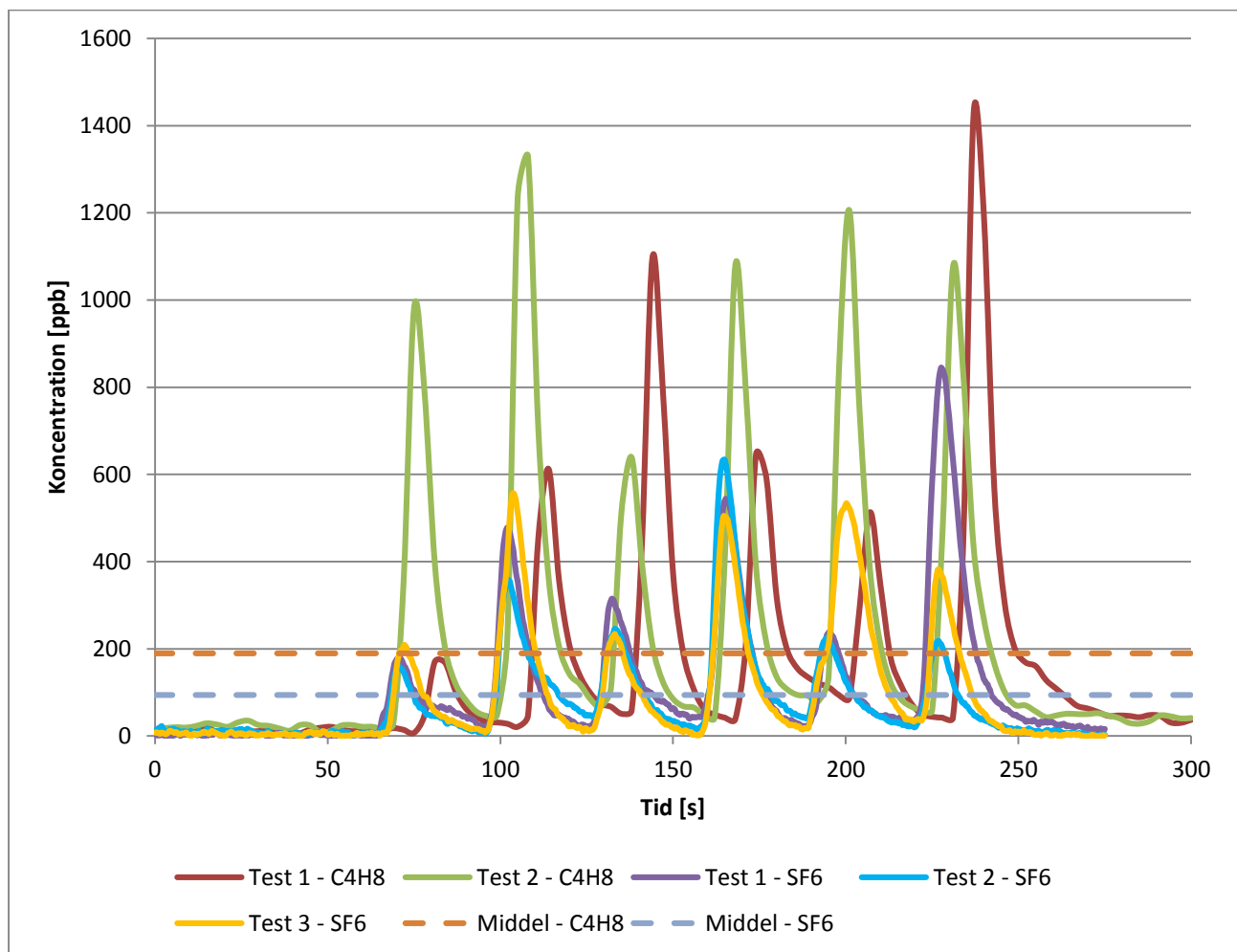
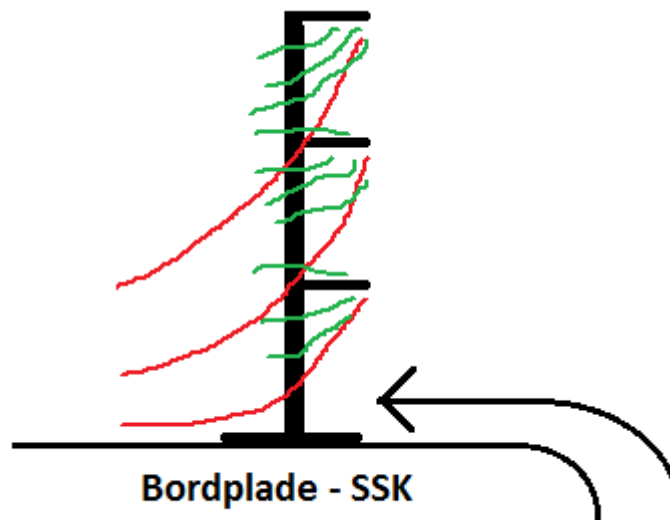


Diagram 5 - Sammenligning af resultater opnået ved måling med isobuten og svovlhexafluorid.

Som vist i diagrammet er der omkring en faktor 2 til forskel mellem middelværdien for C₄H₈ og SF₆, hvor brugen af C₄H₈ giver det største udslip. Målingerne med C₄H₈ viser, at resultaterne varierer fra gang til gang, hvilket indikerer en naturlig variation af målingen. Det anvendte instrument (ppbRAE) måler kulbrintegasser og er særligt følsom overfor C₄H₈. Instrumentet vil uden sporgastilførsel vise en svag baggrundskoncentration. Generelt har baggrundskoncentrationen typisk ligget omkring 15-25 ppb i alle målinger, som fratrækkes målingerne. Ved brug af SF₆ er der mulighed for at skelne mellem den respektive gas og gasserne i den atmosfæriske luft, hvorved målingerne med SF₆ er mere præcise.

Som beskrevet i nærværende indledning er blandingsforholdene foretaget mht. af opnå samme koncentration. Dette bevirker endvidere, at molvægt forskellen mellem luftblandingerne reduceres. Den forskellige massefylde af luftblandingerne kan have været medvirkende til forskellen på de målte koncentrationer. Nedenfor er situationen prøvet illustreret på figur 3.



Figur 3 – Illustration af gasudvikling af C_4H_8 og SF_6 fra injektor. C_4H_8 er illustreret med grønne streger og SF_6 med røde.

Massefylden for opblandingen af SF_6 og luft skulle teoretisk være 40,7 g/mol (10% SF_6 og 90% atmosfærisk luft). Det har dog ikke været muligt at vurdere om der er sket en 100 % opblanding mellem luften og den langt tungere SF_6 . Det betyder endvidere, at gassen i realiteten kan have sunket endnu hurtigere ned i højhastighedszonen. Højhastighedszonen forekommer langs bordpladen i stinkskalet markeret med pilen i figur 3.

Det er blevet forsøgt at benytte sig af infrarøde målinger og andet kunstigt lys for visuelt at kunne gasudviklingen. Disse metoder har dog ikke vist sig tilstrækkelige.

Resultatet indikerer dog i høj grad, at der er proportionalitet mellem metoder/gasser.

8.3 Lufthastighed i lugeåbningen på 0,35 m/s

Luftstrømmen i stinkskabet er 1000 m³/h svarende til en lufthastighed i lugeåbningen på 0,35 m/s.

Måleperiode og -opstilling er de samme som forrige måling, hvor det eneste ændret er udsugningsluftmængden.

Resultaterne er vist i diagram 6.

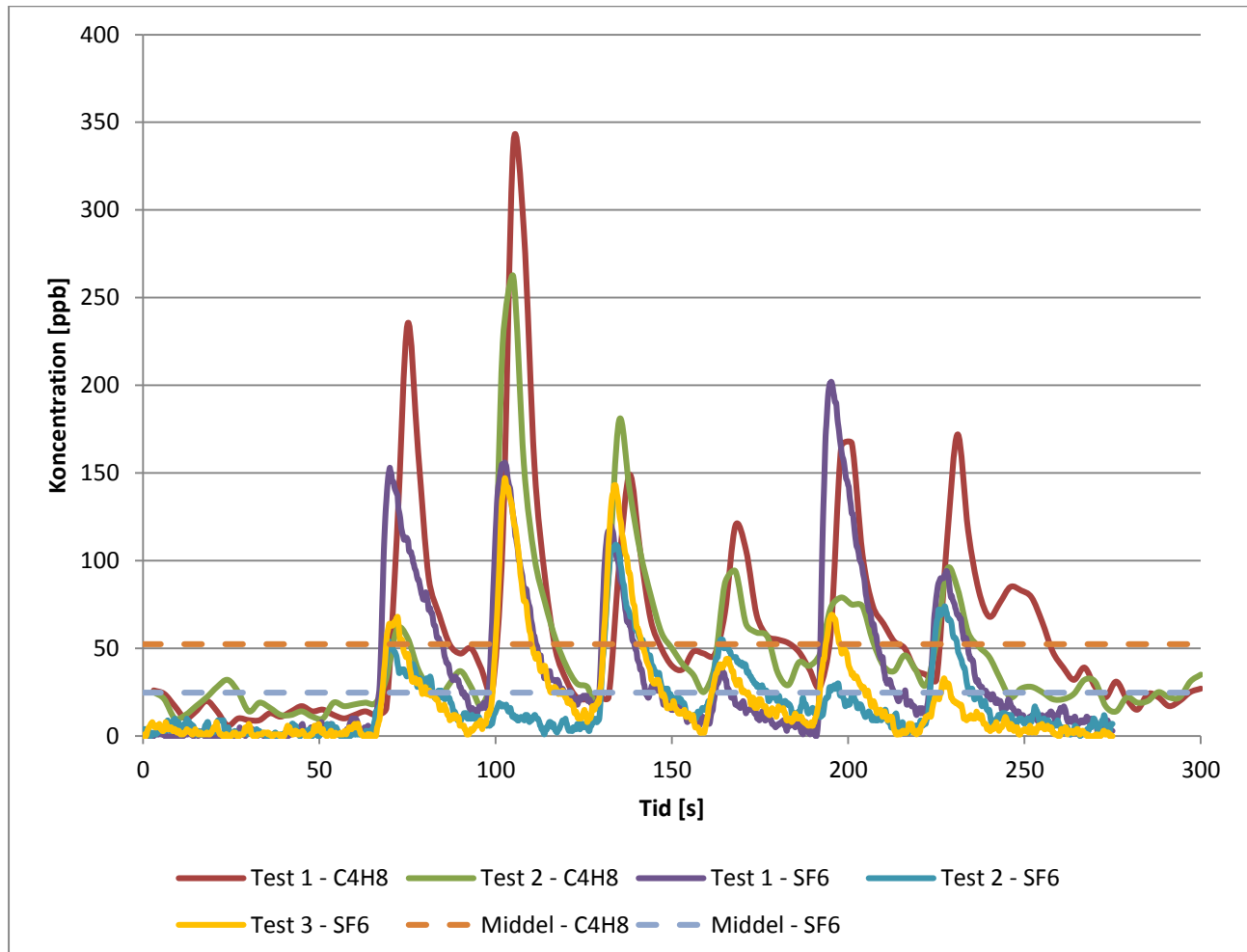


Diagram 6 - Sammenligning af resultater opnået ved måling med isobuten og svovlhexafluorid.

Som vist i diagrammet er der i lighed med forrige forsøg omkring en faktor 2 til forskel mellem middelværdien for C₄H₈ og SF₆, hvor brugen af C₄H₈ giver det største udslip. Baggrundskoncentrationen bør dog fratrækkes forsøget med C₄H₈, hvorved middelværdierne ligger lidt tættere. Dvs. at ved højere udsugningsluftmængder og deraf lufthastigheder i lugeåbningen bliver forskellen i gasudslippet mellem målingerne reduceret.

8.4 Lufthastighed i lugeåbningen på 0,5 m/s

Luftstrømmen i stinkskabet er $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ svarende til en lufthastighed i lugeåbningen på 0,5 m/s.

Måleperiode og -opstilling er de samme som forrige målinger, hvor det eneste ændret er udsugningsluftmængden.

Resultaterne er vist i diagram 7.

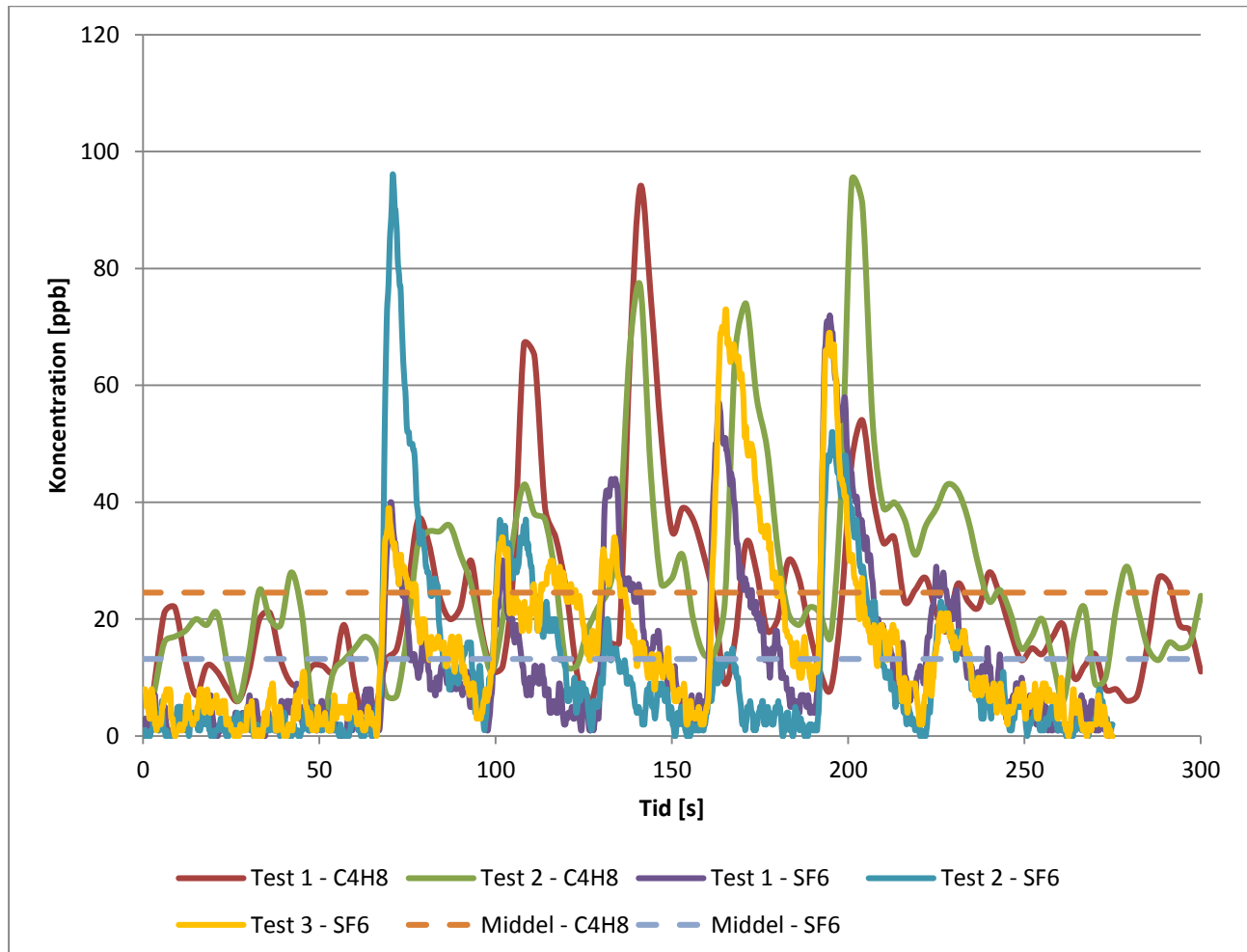


Diagram 7 - Sammenligning af resultater opnået ved måling med isobuten og svovlhexafluorid.

Som vist i diagrammet er der i lighed med forrige forsøg omkring en faktor 2 til forskel mellem middelværdien for C₄H₈ og SF₆, hvor brugen af C₄H₈ giver det største udslip. Baggrundskoncentrationen bør dog fratrækkes forsøget med C₄H₈, hvorved middelværdierne mere eller mindre er identiske. Dvs. at ved udsugningsluftmængder på omkring $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ og deraf lufthastigheder i lugeåbningen på omkring 0,5 m/s ikke er forskel mellem målingerne.





9 Sammenligning af testmetoder og opstillinger

Målingerne præsenteret i nærværende afsnit har til formål at afklare, hvorvidt der er forskel på testmetoder og resultater fremkommet på baggrund af hhv. den danske standard (DS 457) og den europæiske (EN/DS 14175-3). Endvidere skal forsøgene demonstrere, hvilke forhold man bør være opmærksomme på ved test af sikkerheden i stinkskabe.

Alle målinger i nærværende afsnit er foretaget med en Ø400 mm indblæsningspose.

9.1 Test med arbejdende person og mekanisk plade

I dette forsøg testes det, hvorvidt forsøget med en arbejdende person lavende mekaniske bevægelser i stinkskalet eller den mekaniske plade resulterer i samme gasudslip fra stinkskalet. I afsnit 6 "Sammenligning af gasudslip ift. armaturtype" side 47 er der ligeledes anvendt en arbejdende person opholdende sig foran stinkskalet med det formål at påvirke stinkskalet mest muligt.

Forsøgssopstillingerne er udover personen og den mekaniske plade, som begge har til formål at skabe forstyrrelser i stinkskalet på hver sin måde, identiske. Til måling af gasudslippet anvendes 1 sampling probe, eftersom forsøgsbetingelserne tillader dette. Forsøgene varer 5 min. Forsøgene gentages et par gange.

Det er valgt kun at udføre denne test ved en udsugningsluftmængde på 1000 m³/h svarende til en lufthastighed i lugeåbningen på 0,35 m/s.

Diagram 8 viser resultaterne af målingerne.

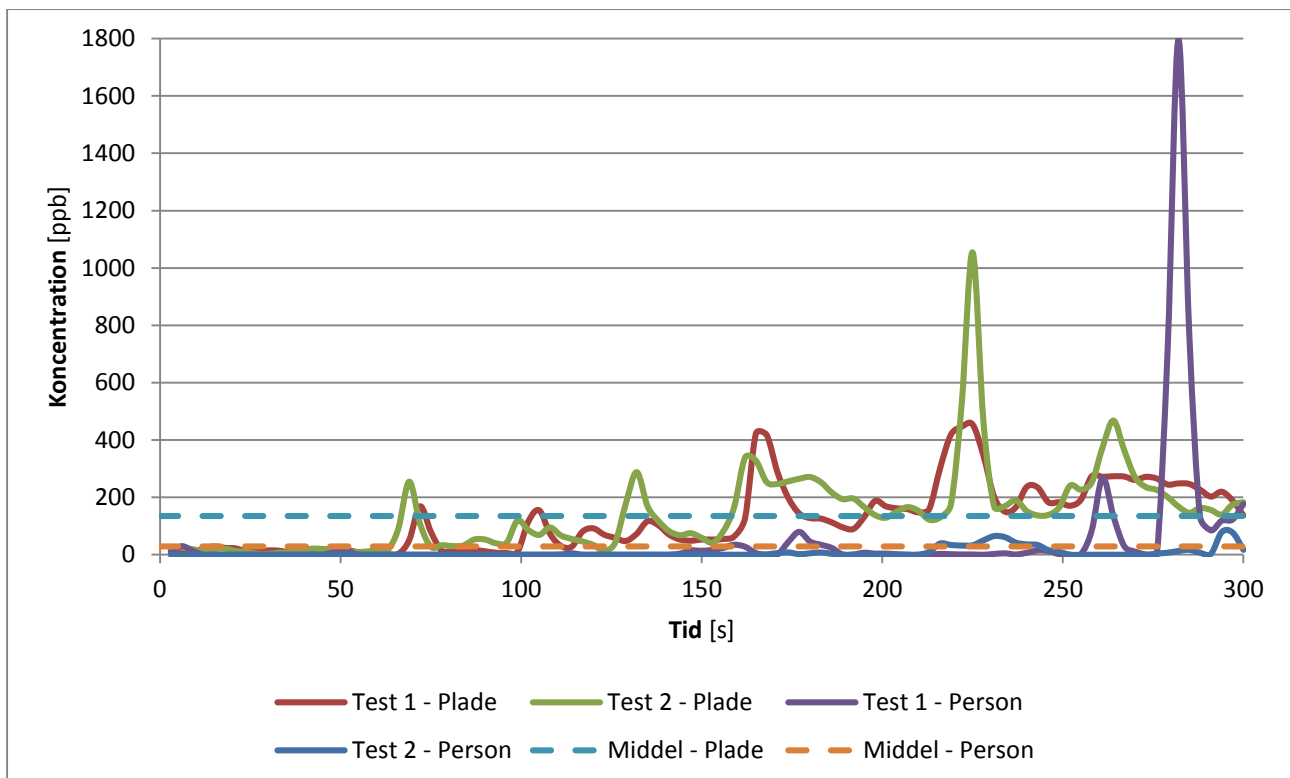


Diagram 8 – Sammenligning af resultater med hhv. en person- og pladeforstyrrelse af luften ved en lufthastighed i lugeåbningen på 0,35 m/s.

På baggrund af testmetoden med en person, som aktivt påvirker luftstrømningerne og resultaterne ville flere gentagelser sikkert have været fornuftigt. Det må vurderes, at en person ikke kan foretage nøjagtig samme bevægelser i 5 minutter. Dette ændrer dog ikke resultaterne fremkommet med brug af den mekaniske plade. Dette viser tydeligt, at middelgasudslippet ved brug af pladen er langt højere (omkring faktor 4 til forskel) end ved personforstyrrelserne, men

enkelte høje peak-værdier kan forekomme ved DS 457 testmetoden og ifølge af DS 457 vil dette give det største gasudslip.

9.2 Test med varierende gastilførsel

I dette forsøg testes det i hvilken grad gasudslippet afhænger af gastilførselens størrelse. Testopstillingen er den samme i alle 5 forsøg.

Til måling af gasudslippet anvendes 30 samplings prober, 1 injektor og 100 % C₄H₈. Forsøgene er foretaget over en periode på 5 min og er gentaget to gange, hvorefter middelværdien er beregnet. Disse er angivet i diagram 9.

Det er valgt kun at udføre denne test ved en udsugningsluftmængde på 1000 m³/h svarende til en lufthastighed i lugeåbningen på 0,35 m/s.

Diagram 9 viser resultaterne af målingerne.

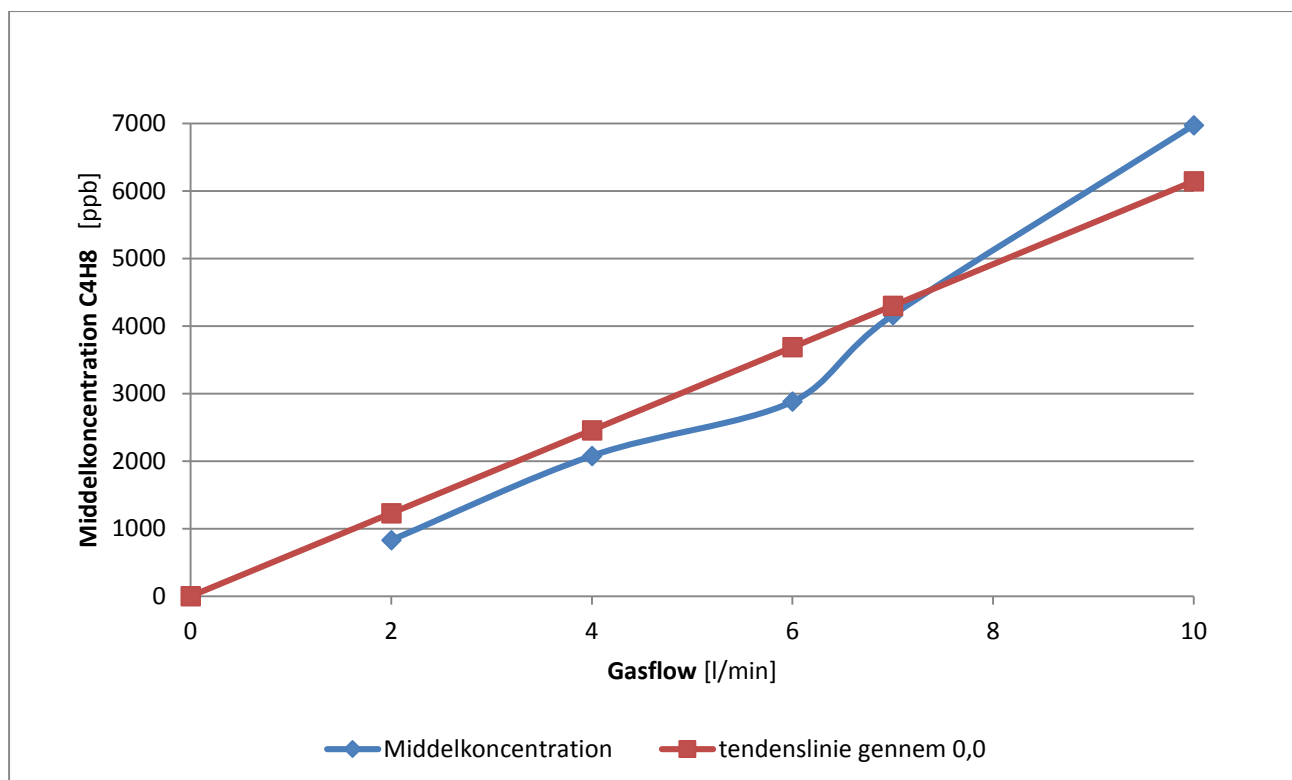


Diagram 9 – Middelkoncentrationerne er beregnet på baggrund af 5 minutters robusthedstest med periodiske forstyrrelser fra den mekaniske plade ved en lufthastighed i lugeåbningen på 0,35 m/s.

Resultatet viser tydeligt, at det målte gasudslip er afhængigt af gastilførslen. Det kan ikke være en ulempe at anvende en relativ stor sporgasstrøm, da det kun reducerer påvirkningen af en eventuel baggrundskoncentration fra andre stoffer.

9.3 Test med 1 og 9 injektorer

I dette forsøg testes det, hvorvidt hhv. 1 eller 9 injektorer placeret i stinkskabet resulterer i samme gasudslip fra stinkskabet. Der er foretaget tre forsøg med varierende lufthastighed i lugeåbningen; 0,2; 0,35 og 0,5 m/s.

I forsøget tilføres 4,5 l/min, hvoraf 10 % er C_4H_8 og resten atmosfærisk luft. Til måling anvendes 30 samplings prober iht. EN/DS 14175-3 og en mekanisk plade til at skabe forstyrrelser foran stinkskabet. Dette er tidligere beskrevet. Forsøgene varer 5 min, hvor pladen passerer stinkskabet hvert 30. sekund. Forsøgene gentages adskillige gange for at verificere målingerne.

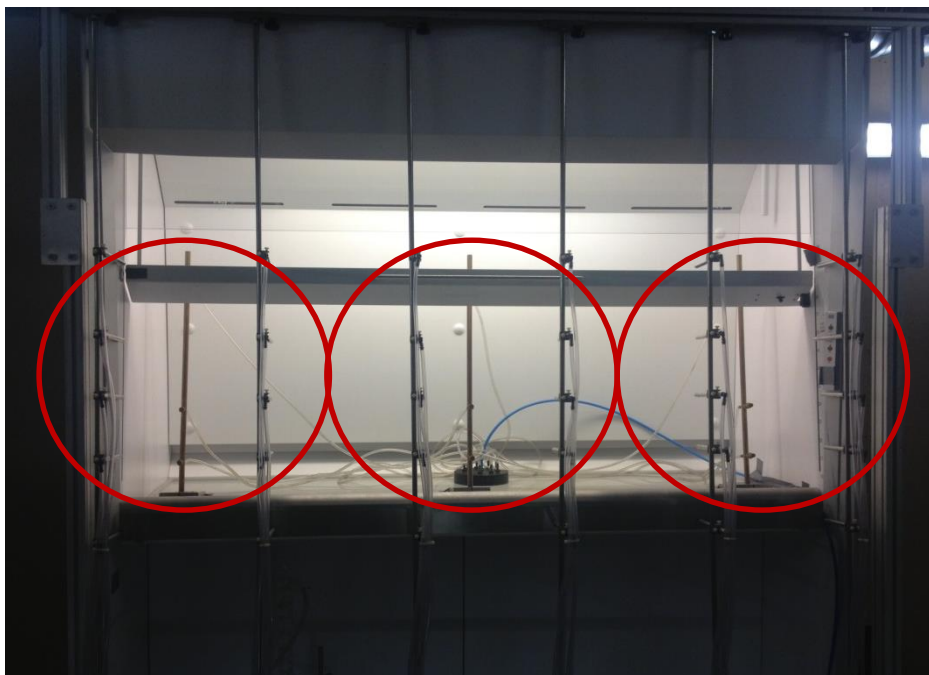
I begge forsøg har stinkskabet været fyldt med relevante instrumenter. Figurerne anvendt til illustrering af injektor placering svarer således ikke fuldstændigt overens med de aktuelle forsøgsopstillinger.

Figur 4 viser placeringen af 1 injektor.



Figur 4 – Forsøg med 1 injektor, markeret med rød cirkel.

Figur 5 viser placeringen af tre stativer med hver 3 injektorer.



Figur 5 – Forsøg med 9 injektorer, markeret med røde cirkler.

I diagram 10 er resultatet med en lufthastighed i lugeåbningen på 0,2 m/s vist.

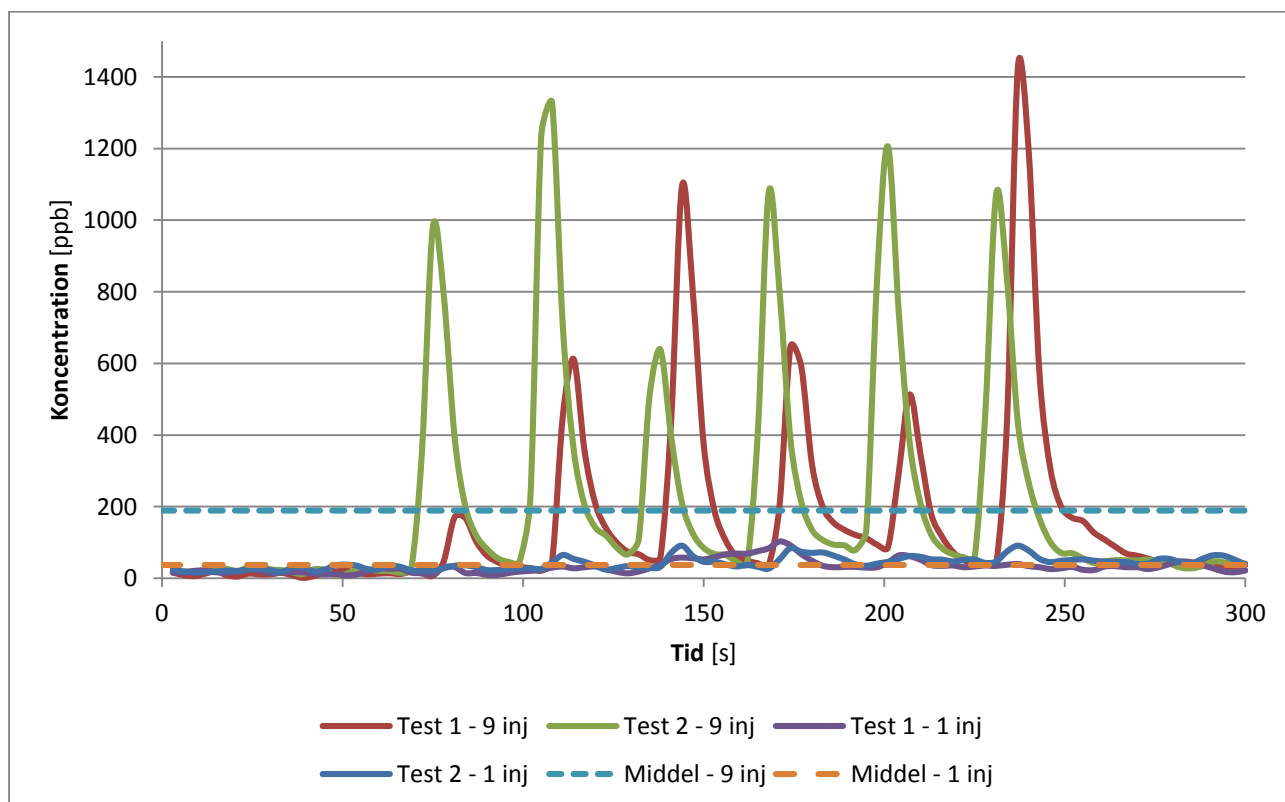


Diagram 10 - Sammenligning af resultater med hhv. 1 og 9 injektorer ved en lufthastighed i lugeåbningen på 0,2 m/s.

Som diagrammet viser, er der en tydelig forskel i gasudslippet mellem brugen af 1 og 9 injektorer, hvor der er omkring en faktor 5 til forskel.

I diagram 11 er resultatet med en lufthastighed i lugeåbningen på 0,35 m/s vist.

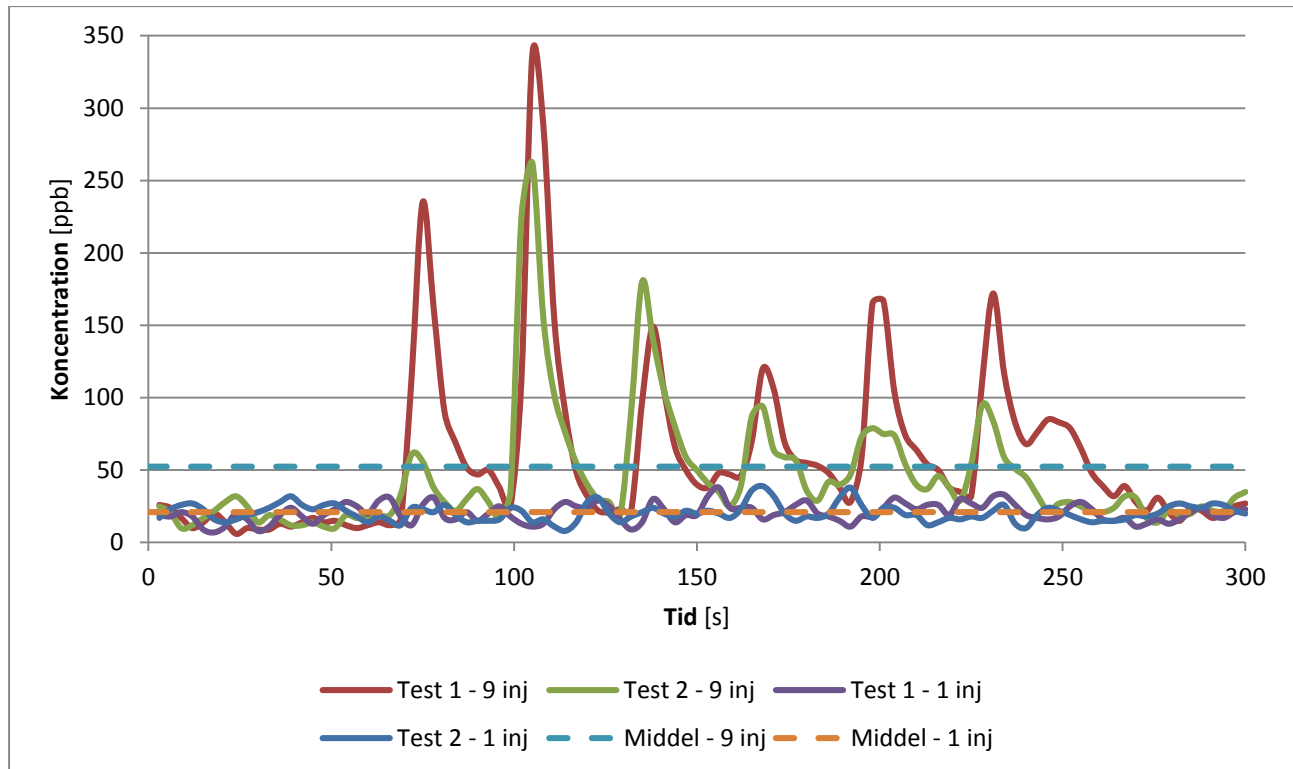


Diagram 11 - Sammenligning af resultater med hhv. 1 og 9 injektorer ved en lufthastighed i lugeåbningen på 0,35 m/s.

Som diagrammet viser, er der en tydelig forskel i gasudslippet mellem brugen af 1 og 9 injektorer, hvor der er omkring en faktor 2 til forskel. Variationen er dog reduceret væsentligt sammenlignet med forrige forsøg. Dette skyldes den forøgede udsugningsluftmængde.

I diagram 12 er resultatet med en lufthastighed i lugeåbningen på 0,5 m/s vist.

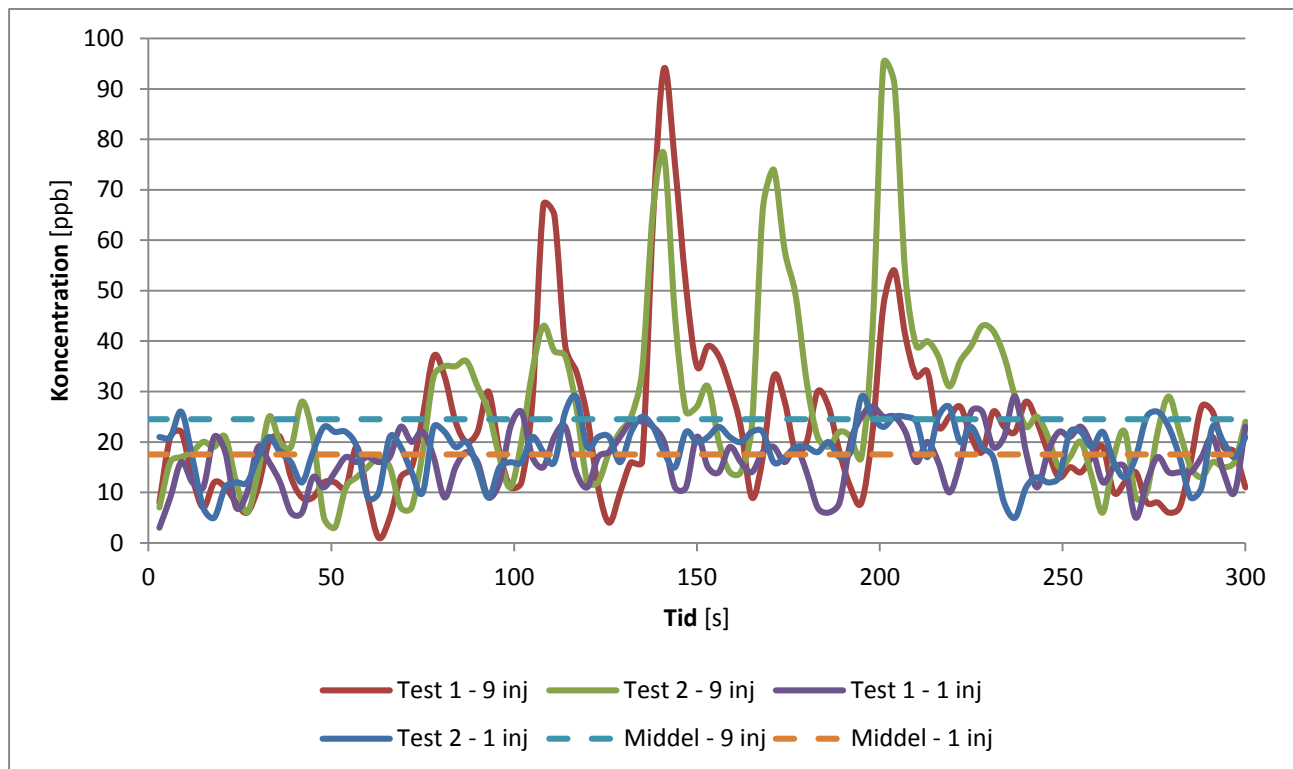


Diagram 12 - Sammenligning af resultater med hhv. 1 og 9 injektorer ved en lufthastighed i lugeåbningen på 0,5 m/s.

Som diagrammet viser, er der ved en lufthastighed i lugeåbningen på 0,5 m/s ingen nævneværdig forskel mellem 1 og 9 injektorer, hvilket skyldes den forøgede udsugningsluftmængde.

De tre foregående diagrammer viser, at gasudslippet generelt er lavere ved anvendelse af 1 injektor, hvilket vurderes at skyldes doseringsstedet. Idet doseringsstedet med 1 injektor er tæt ved bordpladen i stinkskalet, hvor der som tidligere nævnt generelt forekommer højere lufthastigheder, udsuges gassen nemmere/hurtigere. Det medvirker endvidere til, at det ikke er muligt at se, hvornår de mekaniske plade passerer stinkskalet.

I samtlige forsøg foretaget med 9 injektorer ses det tydeligt, hvornår den mekaniske plade passerer stinkskalet.

Den mest realistiske testopstilling vurderes at være den opstilling med 9 injektorer, eftersom der typisk i et stinkskalet i brug vil være flere afdampninger placeret flere steder i stinkskalet. Derudover placeres udstyr/processer oftes højere oppe i stinkskalet end doseringsstedet med 1 injektor, som er placeret lavere. Desuden giver forsøgsopstillingen med 9 injektorer anledning til det største gasudslip, hvorfor denne sikkerhedsmæssigt er at foretrække.

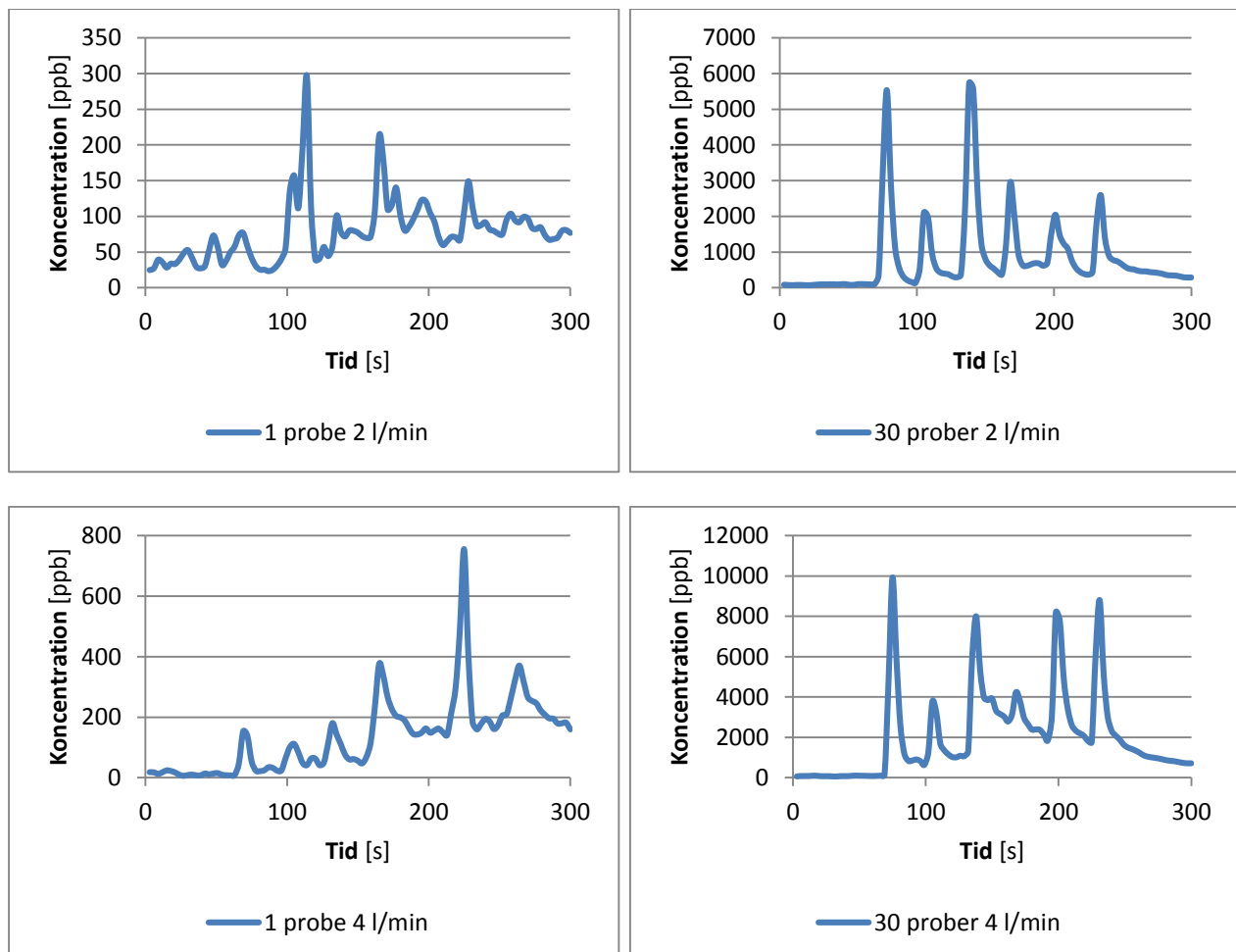
9.4 Test med 1 og 30 samplings prober

I dette forsøg testes det, hvorvidt antal samplings prober påvirker måling af gasudslippet fra stinkskabet. Dette for at afgøre om, hvorledes det er muligt at sammensætte eller forsimpler målemetoderne fra hhv. den danske og europæiske standard. Forsøget foretages med hhv. 1 samplings prober placeret i åndingszonehøjden på en person og 30 samplings prober fordelt jævnt i stinkskabets lugeåbning. Der anvendes kun 1 injektor i forsøget, som centrerer i stinkskabet.

Forsøgene er foretaget ved en lufthastighed i lugeåbningen på 0,35 m/s.

I forsøget varieres gastilførslen fra ca. 2 - 10 l/min. Til målingen anvendes en mekanisk plade til at skabe forstyrrelser foran stinkskabet. Dette er tidligere beskrevet. Forsøgene varer 5 min, hvor pladen passerer stinkskabet hvert 30. sekund. Forsøgene gentages adskillige gange for at verificere målingerne.

Nedenfor er diagrammer vist, hvor probe antal og gastilførsel er varieret.



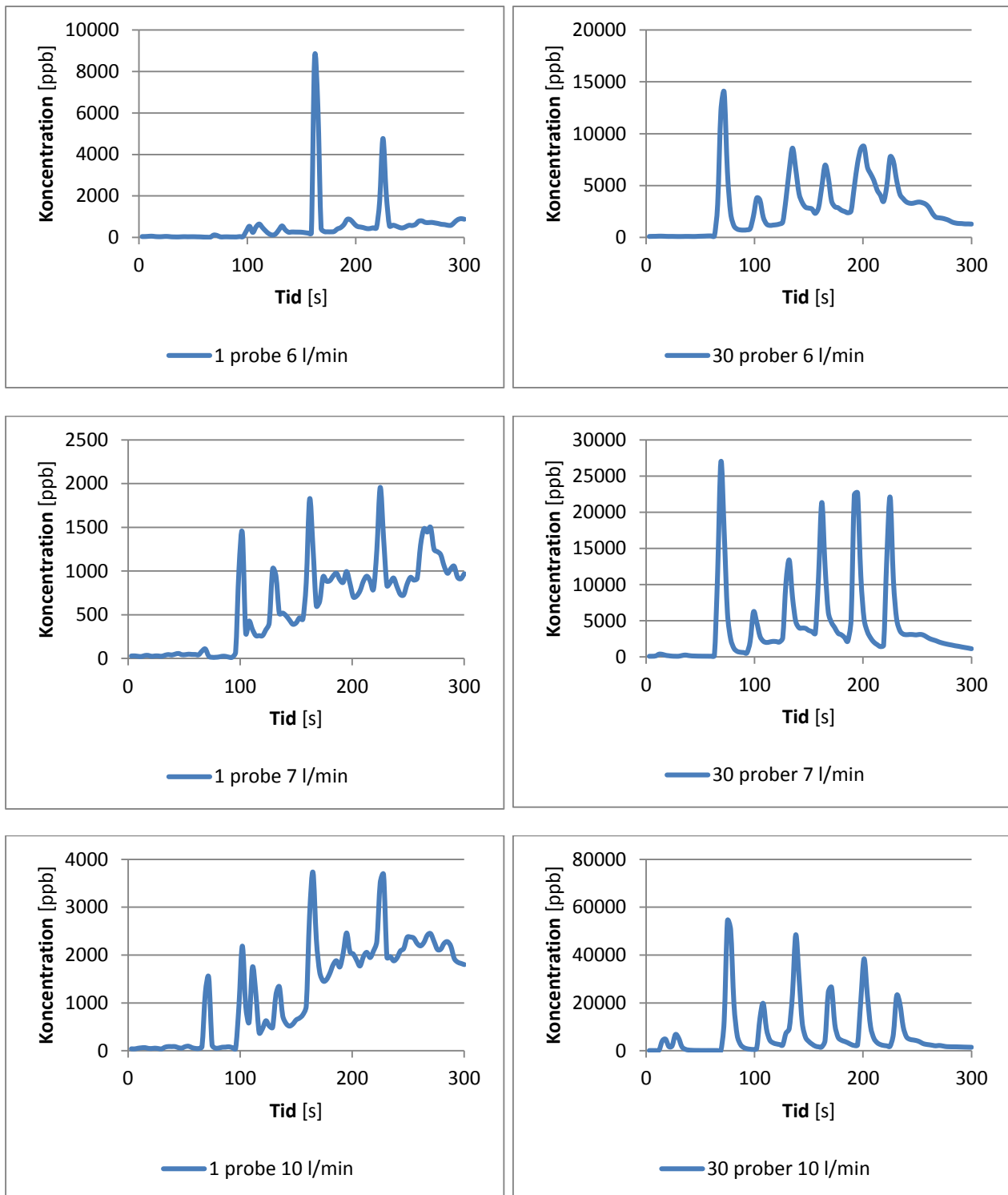


Diagram 13 – I alle forsøg er lufthastigheden i lugeåbningen 0,35 m/s.

Resultaterne viser tydeligt, at valg af målemetode har en afgørende effekt for resultatet (gasudslip) og at man ikke nødvendigvis kan blande to målemetoder sammen.

Den største årsag til forskellen er probe placeringen af den enkelte probe. Denne placeres centreret foran stinkskaftet, hvilket bevirker at målte gaskoncentrationer er mindre end ved anvendelse af 30 prober. Dette skyldes, at pladen danner et efterslæb(sug), når denne passerer



stinks-kabet, hvilket bevirker at størstedelen af gassen suges/skubbes ud til endevæggene, som 1 probe placeret i midten af stinks-kabet ikke vil opfange. I tilfælde af, at den europæiske standard 14175-3 ønskes anvendt, hvor den mekaniske plade indgår som del af testen, bør der anvendes minimum 30 prober for at minimere usikkerheden i målingen.

I så fald, at den mekaniske plade udskiftes med en arbejdende person opholdende sig foran stinks-kabet vil resultaterne med hhv. 1 og 30 prober sandsynligvis være mere sammenfaldende.

9.5 Test med stinkskab med hhv. ingen udstyr og udstyr

Dette forsøg er valgt som et supplerende forsøg for at undersøge påvirkningen af instrumenter på gasudslippet.

Forsøget er foretaget ved en lufthastighed i lugeåbningen på 0,2 m/s. Der anvendes 9 injektorer og 30 samplings prober fordelt jævnt i stinkskabets lugeåbning og en mekanisk plade til at skabe forstyrrelser foran stinkskabet. Dette er tidligere beskrevet. Forsøgene varer 5 min, hvor pladen passerer stinkskabet hvert 30. sekund. Forsøgene gentages adskillige gange for at verificere målingerne. Se billeder af dette i Del 5 – Bilag, afsnit 12 Målebeskrivelse (figur 27 og 28, side 104).

I diagram 14 er resultatet vist.

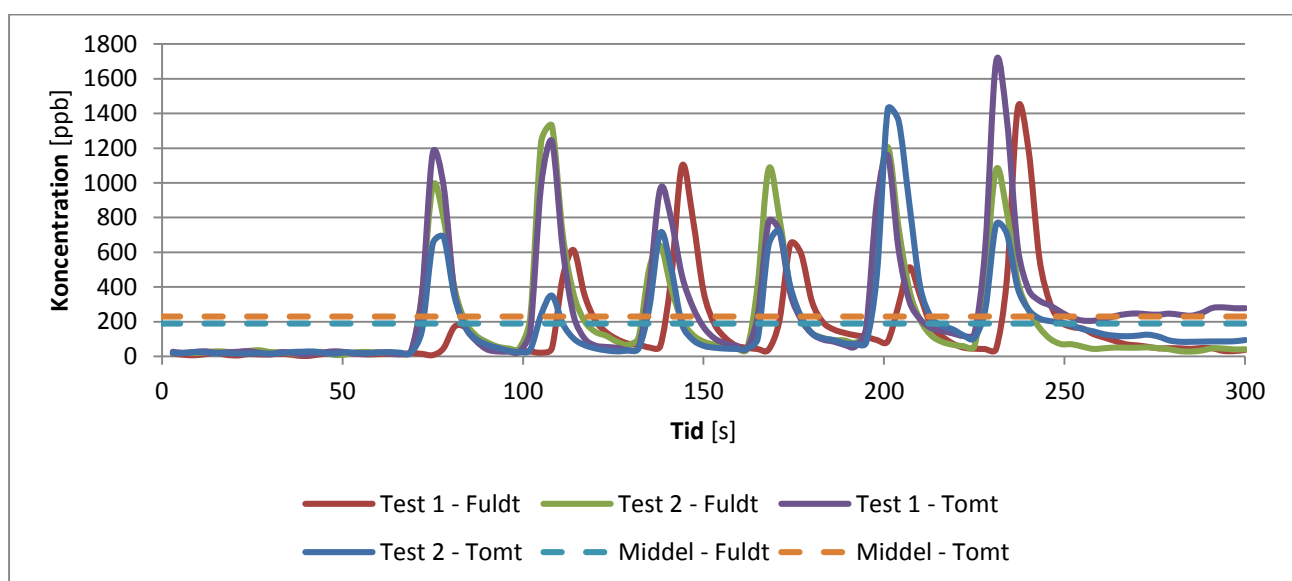


Diagram 14 – Sammenligning af resultater ved hhv. et tomt og fyldt stinkskab ved en lufthastighed i lugeåbningen på 0,2 m/s.

Der er ved robusthedstest ikke signifikant forskel på udslip fra fuldt og tomt stinkskab.





Del 3 - Støjmålinger



10 Støjmålinger i stinkskabet

I dette forsøg undersøges støjniveauet forårsaget af et reguleringsspjæld placeret i kanalsystemet i umiddelbar nærhed af stinkskabet (1 m).

Eventuel støj måles med en lydmåler centreret foran stinkskabet. Trykdifferencen over reguleringsspjældet måles med et TSI-instrument koblet til et pitotrør. Opstilling af forsøget kan ses på figur 6.



Figur 6 – Opstilling til støjmåling. Lydmåleren står på trefoden centreret foran stinkskabet.

Resultaterne af støjmålingen er vist i følgende diagrammer. Graderne som er plottet i begge diagrammer angiver åbningsgraden af spjældet, hvor 0° angiver åbent og 90° lukket. Eksempelvis fås ved en lufthastighed i lugeåbningen på 0,5 m/s og en spjældindstilling på 45° et trykfald på omkring 230 Pa.

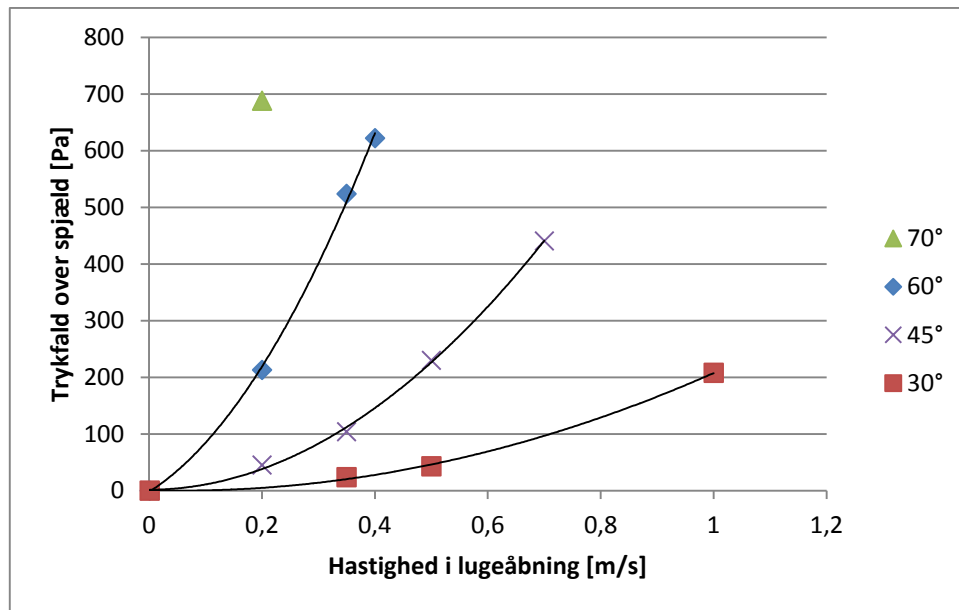


Diagram 15 – Trykfald over spjæld ift. lufthastighed og åbningsgrad af spjæld.

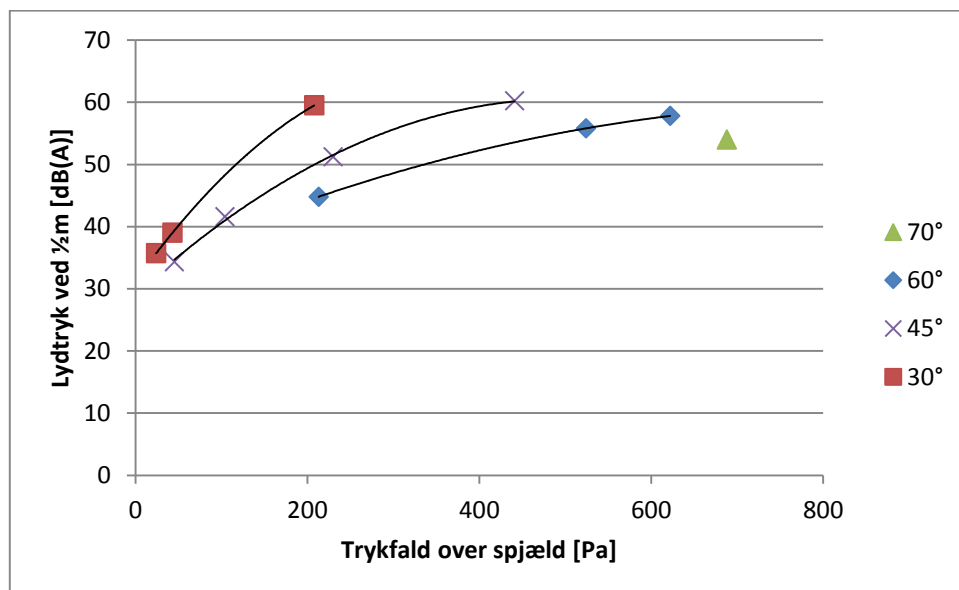


Diagram 16 – Lydtryk ift. trykfald over spjæld og åbningsgrad af spjæld.

I diagram 17 er udover målinger for spjældet angivet målinger for et lige kanalstykke uden indsat spjæld, som reference måling.

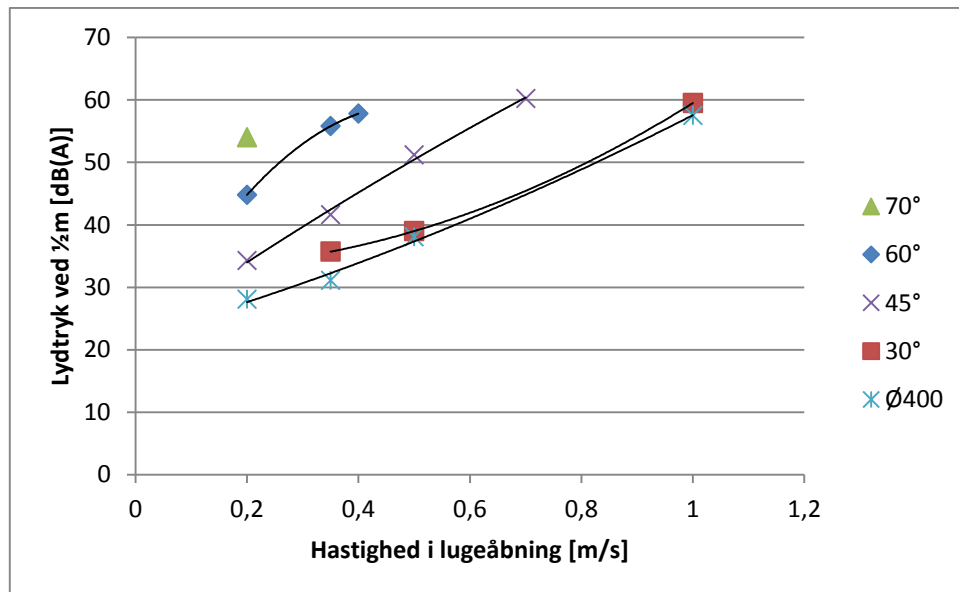


Diagram 17 – Lydtryk ift. lufthastighed i lugeåbning og åbningsgrad af spjæld.

I diagram 18 er lydtrykket afbildet på en anden måde end i de foregående diagrammer.

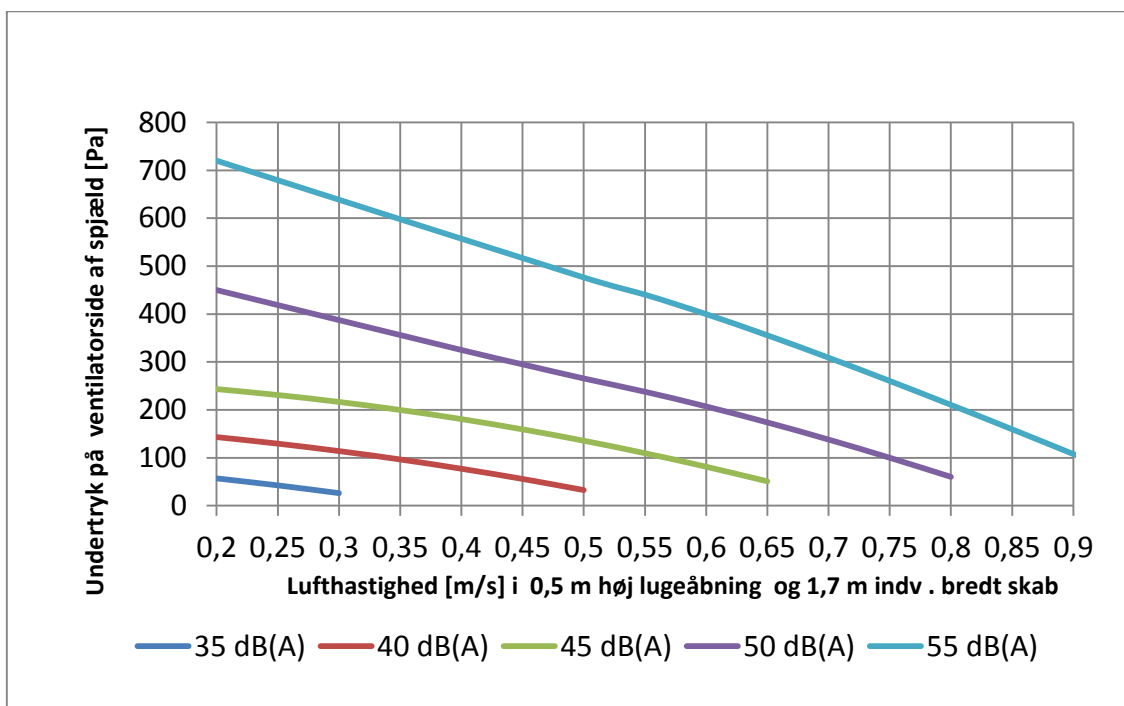


Diagram 18 – Lydtryk ift. lufthastighed i lugeåbning og undertryk på ventilatorside.

I tabel 7 er kravene til støjniveauer fra Bygningsstyrelsen angivet "Krav og anbefalinger til laboratoriebyggeri, september 2013" i kapitel k-2.6.2 "Akustisk indeklimate".



Alle laboratorier skal overholde følgende støjkrav fra tekniske installationer.

- Ved normale driftsforhold, når stinkskabene er i drift med den aftalte samtidighedsfaktor, må støjniveauet i laboratorierne ikke overstige 45 dB(A) i renoveringsprojekter og 42 dB(A) i nybyggeriprojekter
- I hvilesituationer, hvor alle stinkskabslåger er lukkede og kører på minimumdrift, må støjniveauet i laboratorierne ikke over 43 dB(A) i renoveringsprojekter og 40 dB(A) i nybyggeriprojekter.

LAF-bænke og sikkerhedsbænke er generelt undtaget ovenstående krav.

Tabel 7 – Oversigt over acceptable støjniveauer.

Succeskriterium:

Forudsætning for at succeskriterium kan opnås er, at lyddæmpere anvendes mellem stinkskab og reguleringsspjæld.



Del 4 – Konklusion



11 Konklusion

Det anbefales som minimum at have læst sammenfatningen afsnit 2 inden konklusionen læses.

Nærværende projekt indeholder lufthastighedsmålinger, sporgasmålinger og robusthedstest ved anvendelse af tre forskellige armaturer og sammensætninger.

Under de indledende forsøg, hvor luftbevægelserne omkring stinkskaftet var i fokus, blev det konstateret, at armaturtype og placering af denne havde væsentlig indflydelse på hvorledes luften omkring stinkskaftet bevægedes. Indblæsningsposen var som forventet det armatur som medvirkede til de laveste forstyrrelser og disse var negligeable. Lufthastighederne var i alle forsøg med indblæsningsposen mindre end 0,2 m/s. Luftforstyrrelserne var tværtimod høje ved anvendelse af dysekanalerne som indblæsningsarmaturer, hvor hastighederne omkring lugeåbningen befandt sig mellem ca. 0,2-0,38 m/s, hvilket gav en alt andet lige reduceret sikkerhedsfaktor end ved mindre forstyrrende armaturer. Fortrængningsarmaturerne (CBA) med fabriksindstillede dyser gav ved en afstand på 1,05 m (til center af armatur) fra stinkskaftet ingen betydende forstyrrelser af hastighedsfeltet foran stinkskaftslugen og over dette på omkring 0,01-0,2 m/s. Det skal dog nævnes, at armaturet gav en usædvanlig høj lufthastighed lodret fra armaturet, hvilket sandsynligvis vil give anledning til diskomfort. Ved indstilling af dyserne pegende mod stinkskaftet for at fremprovokere forstyrrelser øgedes lufthastighederne over stinkskaftet til omkring 0,2-0,26 m/s, hvilket er uønsket højt imens lufthastigheder ved lugeåbningen stadigvæk er indenfor det acceptable niveau. Teknologisk Institut anbefaler, at fabriksindstillinger fastholdes. Lindab har tilsvarende en C-BAL diffuser i deres produktsortiment, der direkte er udviklet til laboratorier med angiveligt lavere begyndelseshastigheder.

Samme type armaturer og placeringer af disse anvendtes ved sporgasforsøgene på nær fortrængningsarmaturerne. Denne rapport viser, at en sikkerhedsfaktor 40 ikke kan opnås ved en lufthastighed i lugeåbningen på minimum 0,41 m/s med forstyrrende dysekanaler som indblæsningsarmaturer ved idealiserede rumforhold. Med lavt forstyrrende indblæsningsprincipper (indblæsningspose) kan en sikkerhedsfaktor på 40 i henhold til DS 457 opnås med en lufthastighed i lugeåbningen på 0,35 m/s ved idealiserede forhold (ingen luftforstyrrelser, 1 stinkskaft mm). Begge resultater er fremkommet ved forsøg i et idealiseret laboratorium, hvor der kun er placeret et stinkskaft og ikke forekommer forstyrrelser fra døre, vinduer, personer m.m. Dertil er forsøgene foretaget med en grænseværdi på 2 ppm (som chloroform) og en forureningsrate på 2,5 l/min. I tilfælde af ændrede forudsætninger med hensyn til grænseværdi, forureningsrate og forstyrrelser (bygningsforhold m.m.), kan sikkerhedsfaktor 40 muligvis ikke overholdes og der bør foretages nye forsøg af den pågældende situation.

Den modificerede robusthedstest viste at selvom der tilføjes en forbipasserende person med en ganghastighed på 1 m/s til forsøget, vil der ikke være signifikant forskel på gasudslippets størrelse. Dette er dog ikke tilfældet ved tilføjelse af en mekanisk plade jf. EN/DS 14175-3, hvor stinkskaftet belastes markant mere.



På grund af forskelligheder i målemetoder og -opstillinger i standarderne kan resultater fremkommet på baggrund af hhv. DS 457 og EN/DS 14175-3 ikke umiddelbart sammenlignes. Dvs. at der ikke er korrelation mellem den danske og europæiske testmetode. Ved målinger i samme opstillinger er der dog opnået proportionalitet mellem isobuten og svovlhexafluorid. Velvidende at svovlhexafluorid er omfattet af Montreal protokollen om udfasning af CFC gasser siden 01.01.2006 kan isobuten muligvis i fremtiden anvendes som erstatning. Ved udskiftning af gas skal anvendelighed, giftighed, pris og eventuelle brandbarhed vurderes. Mulighed for højt følsomme og hurtige detektorer skal ligeledes undersøges.

Der er af Københavns Universitet ønsket en række målinger for at validere testmetoder og generelt vidensopbygge med henblik på at forbedre sikkerheden, hvor for eksempel effekten af en arbejdende operatør kontra en mekanisk plade er blevet undersøgt. Indflydelse af varierende injektorer og probe antal er ligeledes undersøgt. Målingerne har tydeligt vist, som beskrevet ovenfor, at grundet forskellighederne i målemetoder og -opstillinger bør resultater ikke uden videre sammenlignes mellem standarderne, såfremt at målemetoder og -opstillinger ikke justeres/ gøres mere sammenlignelige. Forsøg med varierende gastilførsel har vist som forventet, at der er proportionalitet mellem gasudslip og gastilførsel. Forsøg har dog vist, at ved anvendelse af den europæiske standard og isobuten opnås et højere gasudslip end ved brug af svovlhexafluorid. Dette er yderligere beskrevet i afsnit 8 side 55.

Resultater opnået ved målemetoderne beskrevet i DS 457 og EN/DS 14175-3 er sammenlignet i nærværende projekt. Disse har vist, at middeldgasudslip ved robusthedstests er markant større end personforstyrrende tests. Dog kan testmetoden beskrevet i DS 457 medføre enkelte højere peak-værdier, som ifølge DS 457 giver det største gasudslip.

På baggrund af ovennævnte og resultaterne beskrevet i nærværende rapport bør man være varsom med udelukkende at stole på sikkerhedsfaktorer fremkommet ved brug af EN/DS 14175-3 målemetoden og -opstillingen. Det bør derimod først og fremmest bestemmes, hvilke output, som er essentielle i den pågældende situation.



Del 5 – Bilag





12 Målebeskrivelse

12.1 Måleudstyr

Følgende udstyr er primært benyttet i forbindelse med hastigheds- og gasmålinger:

- DPM (mikromanometer, differenstrykmåler) – DANAK certifikat nr.: 200-P-21478
 - Usikkerhed: $<0,5$ Pa over 100 og $<0,1$ Pa under 100 Pa.
- Dantec ComfortSense med hastighed og temperaturmålere 54R10.
 - Usikkerhed hastighed: fra 0 til 1 m/s på ± 2 % eller $\pm 0,02$ m/s, fra 1 til 5 m/s på ± 5 %. (under stue temperatur).
 - Usikkerhed af temperatur: fra 0 til 45°C på $\pm 0,5\text{K}$, -20 til 60°C på $\pm 1\text{K}$, 60 til 80°C på $\pm 2\text{K}$. (med hastighed over 0,35 m/s, stråling udelukket.)
- TSI Velocicalc – DANAK certifikat nr.: 200-L-20491
 - Usikkerhed: 0,12 m/s
- ppbRAE (gasmåler)
- Flowmetre (luft og isobuten)

Sekundært måleudstyr:

- Testo håndholdte termometer til vejledende måling
- Ekstern ventilator
- Røgudstyr (røgpinde, røgmaskine)

12.2 Måleforløb

Følgende overordnede målinger er foretaget i forbindelse med testene:

- Måling af hastighedsforstyrrelser i lugeåbning ved stinkskabet uden sug på stinkskabet
- Måling af gasudslip fra stinkskabet med sug på stinkskabet (isobuten)
- Måling af gasudslip fra stinkskabet med sug på stinkskabet (svovlhexafluorid)
- Modificeret robusthedstest
- Standard robusthedstest
- Støjmålinger i stinkskabet

I det følgende beskrives målemetodikken for de enkelte udførte målinger. Nogle mere dybdegående og andre let og overfladisk med billeder.

12.2-1 Måling af hastighedsforstyrrelser i lugeåbning ved stinkskab uden sug på stinkskabet

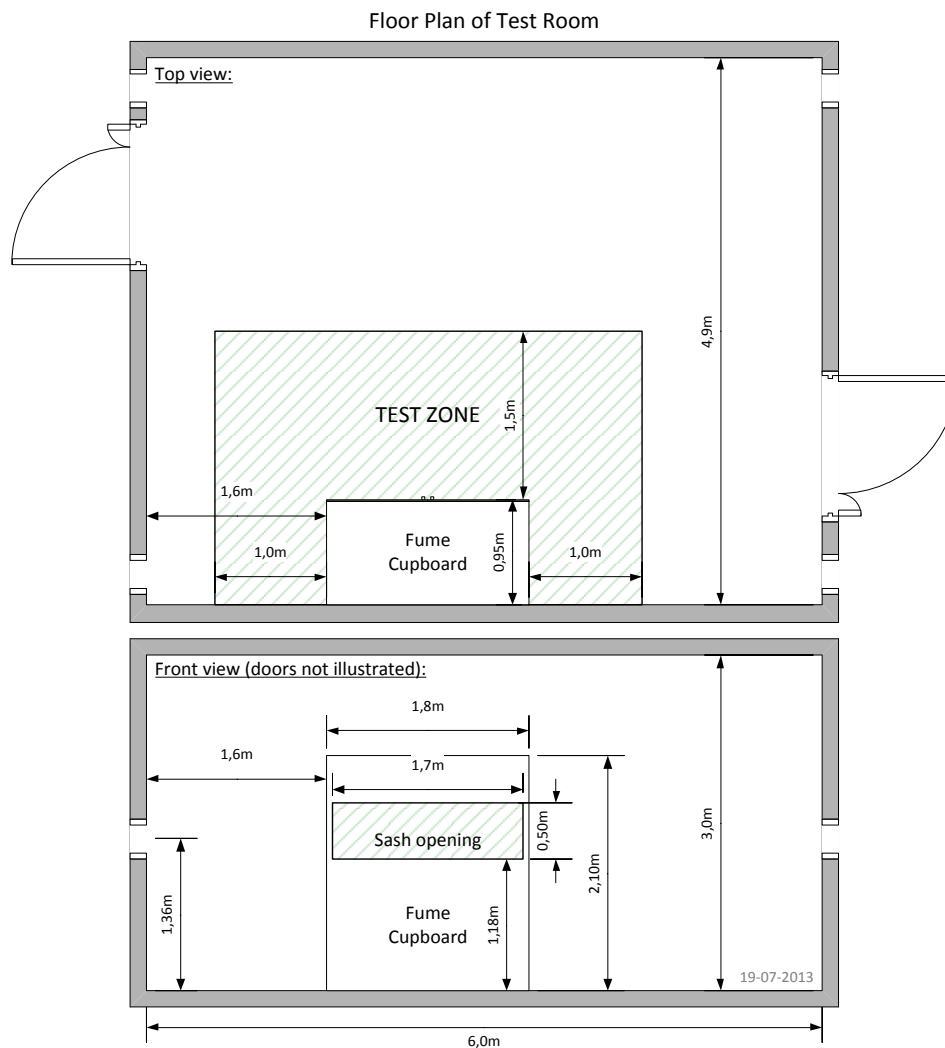
I henhold til aftalen mellem Teknologisk Institut og rekvirenten punkt 3 ønskes hastighedsforstyrrelserne omkring stinkskabet undersøgt ved forskellige målesituationer.

Der er i alt foretaget forsøg med 4 forskellige forsøgsopstillinger, som er angivet som følgende:

- Indblæsningspose placeret 3,2 m fra stinkskab
- Dysekanal placeret med nærmeste kant 0,6 m fra stinkskab (centerlinie 0,75 m fra skab)
- Dysekanaler placeret hhv. 0,75 og 2,2 m fra stinkskab
- Fortrængningsarmaturer (CBA) placeret 1,05 m fra stinkskab

Fælles for forsøgene er, at hastighedsforstyrrelserne i lugeåbningen ved stinkskabet ønskes bestemt på baggrund af indblæsningstype og placering. Der udarbejdes derfor en standard målemetodik for måling af hastigheder i tilknytning til stinkskabsåbningen. I det følgende beskrives den fælles forsøgsopstilling for måling af hastighedsforstyrrelser.

Som beskrevet tidligere er der konstrueret et målerum simulerende et almindeligt laboratorium med hensyn dimensioner, areal m.m. Samtlige målinger eksekveres i dette målerum. Målerummet har målene 6 x 4,9 x 3 m og er konstrueret således, at den kan lukkes af for omgivelserne og opretholde et overtryk i henhold til gældende krav for laboratoriefaciliteter. Eftersom de indledende forsøg er foretaget uden sug i stinkskabet, har det været nødvendigt at indsætte 4 stk. Ø250 rør i ydervæggen simulerende andre stinkskabes udsugning. Derfor er hullerne/Ø250 rør også placeret i samme højde som stinkskabets lugeåbning. Se figur 7.



Figur 7 – Oversigt over målerummet med dimensioner og placering af stinkskab, døre og overstrømshuller.

Udsugningen er monteret direkte til stinkskabets udsugning via to Ø250 kanaler, som er forbundet med en Ø400 kanal, som endvidere er forbundet med en ventilator placeret uden for målerummet. Se figur 8, 9 og 10, hvor opstillingen af udsugningssystemet er vist. Kanalsystemet er sammensat i forhold til gældende krav til måling af luftstrømmen overholdes. Der er indsat en kalibreret målebøjning på udsugningsstrækningen således, at luftstrømmen kan måles, når forsøg med sug på stinkskabet foretages.



Figur 8 – Udsugningskanalen fra stinkskalet, med to overgange Ø250 til Ø400. I forgrunden kan de to øverste prober på hvert målestativ ses, og nederst til højre er et af overstrømhullerne.



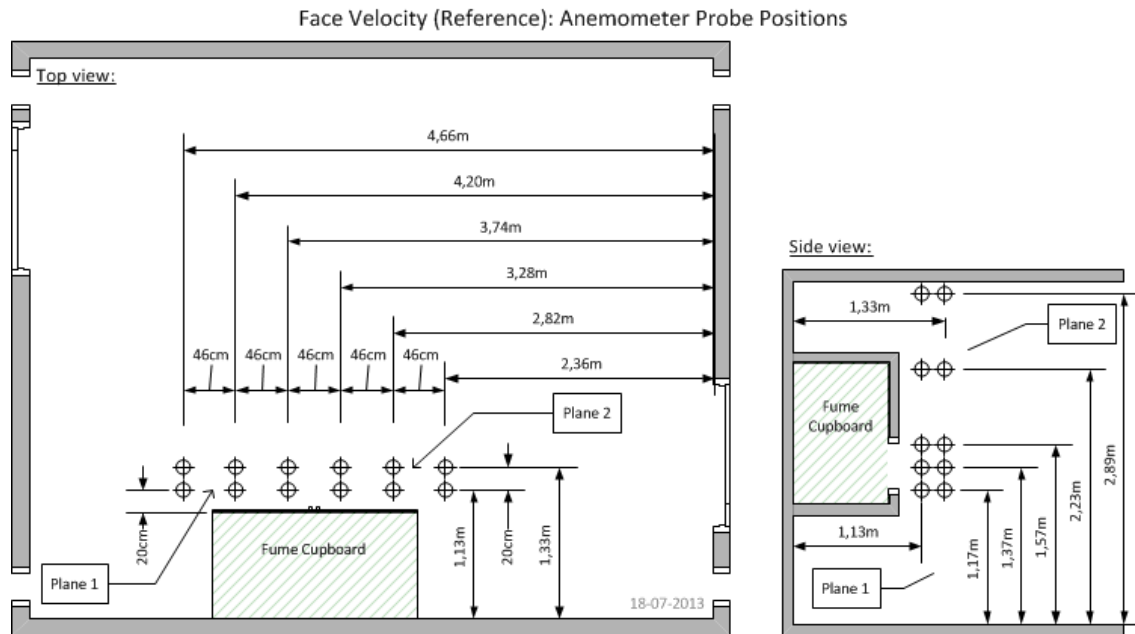
Figur 9 – Bøjning på ydersiden af væggen. Kanalen er holdt oppe af VK6-vægkonsoller.

På figur 10 vil der ved forsøg med sug på stinkskalet blive påsat en flexslange, som endvidere forbindes med en ventilator.



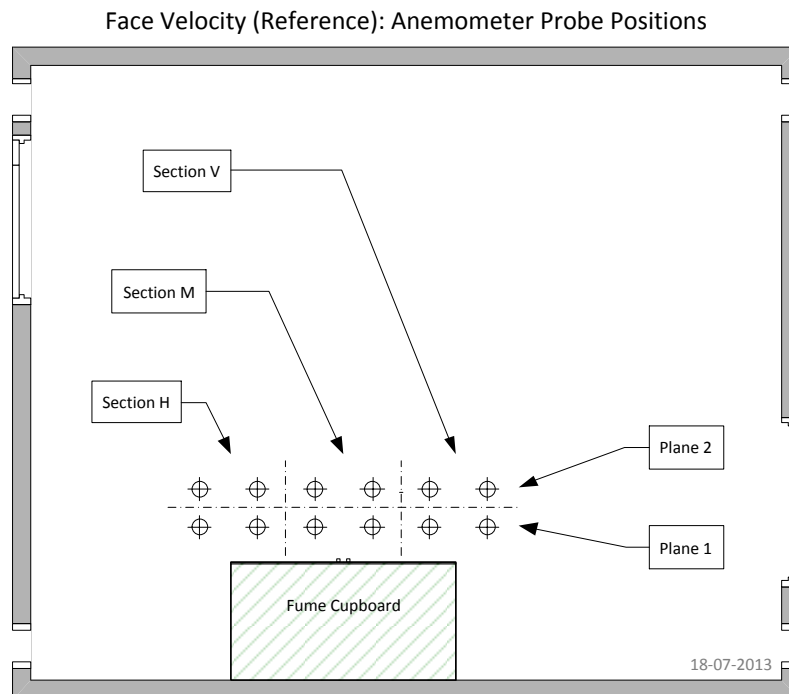
Figur 10 – Målebøjning, lige stykke, bøjning, spjæld, og stativer til understøttelse af kanalerne. Spjældet er her lukket helt af til referencemålingerne, og flexslangen til udsugningen er af samme årsag ikke påsat.

De planlagte positioner for proberne, som anvendes til at måle hastighederne i rummet med gennemgås herunder i detaljer. Der ønskes målt hhv. 30 og 60 cm fra skabets front i de fem højder, som kan ses på figur 11 herunder til højre. Forsøget udføres med to stativer som i alt har monteret 5 følere svarende til de respektive højder angivet i figur 11. Der måles i 6 positioner langs stinkskaftet, se figur 11 til venstre.



Figur 11 – Positionerne for ComfortSense-proberne til referencemålinger #1-4. De relative afstande er givet i centimeter, og de absolutte (som også bruges som koordinater i ComfortSense-softwaren i denne form) i meter. Plan 1 og 2 er markeret.

Disse i alt 60 målepunkter bruges til hver måling; 10 ad gangen (5 i højden og 2 i bredden) i seks omgange vist på figur 12.



Figur 12 – Måleplanens rækkefølge. Der startes i plan 1 i sektion V (eller Plan 1V), køres videre gennem 1M til 1H, og starter så igen fra 2V, over 2M, og ender ved 2H.

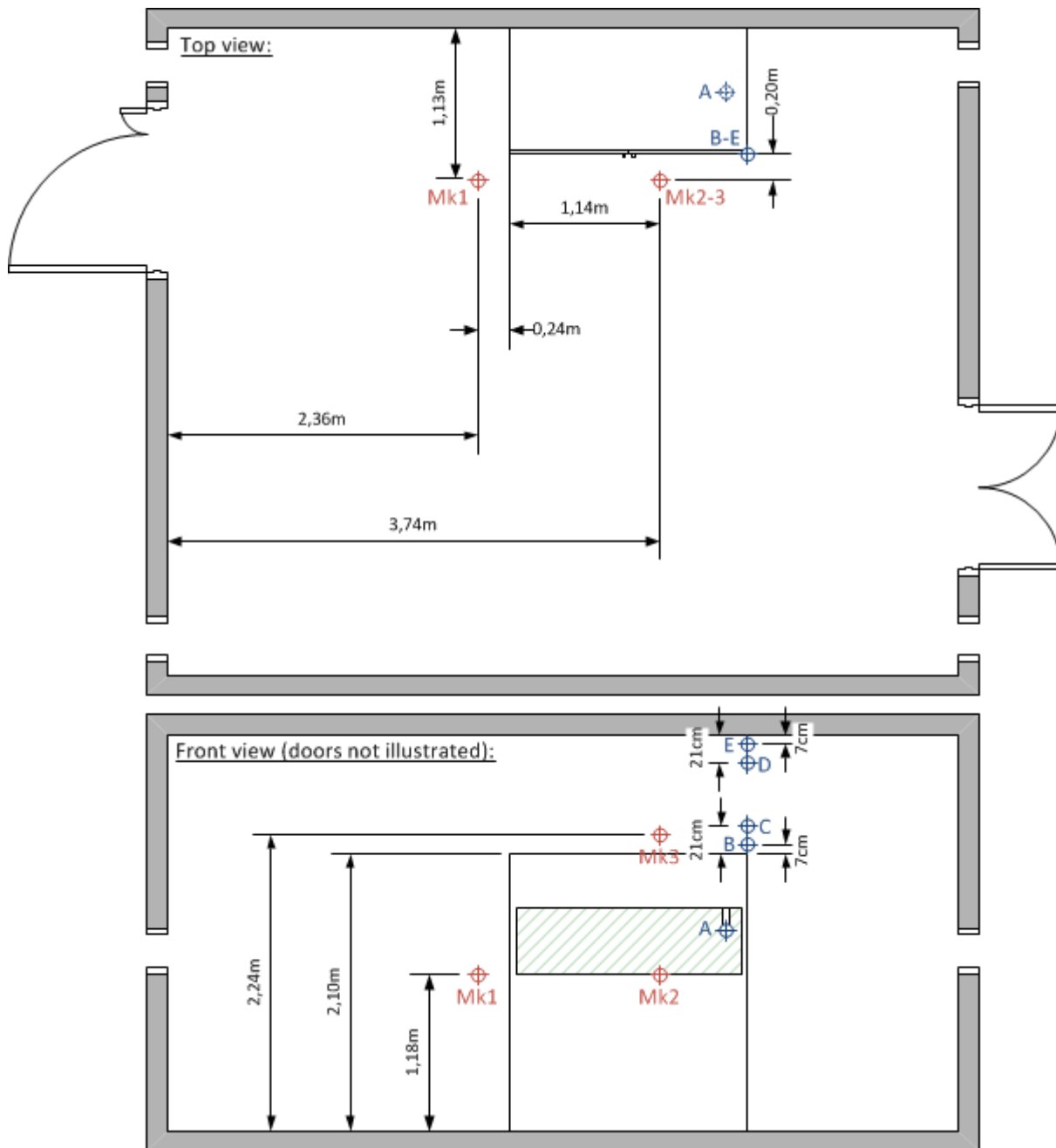
På figur 13 er placering af stinkskalet med dertilhørende udsugningskanal samt forsøgsopstillingen af hastighedsfølerne vist.



Figur 13 – Måleopstilling til referencemåling #1-4 med fem prober på hvert stativ; tre ude for åbningen, én lige under loftet, og én midt imellem den øverste og den ved toppen af lugens åbning.

Udover hastighederne målt foran stinkskalet er der ved hvert forsøg målt hastigheder i en række udvalgte referencepunkter, både ovenover og ved siden af stinkskalet. Dette for, at man kan sammenholde en konkret situation med målinger vist i nærværende rapport. Referencepunkterne er vist i figur 14.

Blå målepunkter angiver målinger foretaget med et TSI-instrument og røde målepunkter angiver målinger foretaget med ComfortSense-proberne.



Figur 14 – Udvalgte referencepunkter ovenover og ved siden af stinkskabet.

Måling af indblæsningsluftstrøm

Luftstrømsmålingerne foretages ved anvendelse af flere metoder for at verificere målingerne.

I de indledende forsøg er der anvendt en elliptisk venturi dyse Ø315 iht. ISO 5801 til at måle luftstrømmen. Metoden er en referencemetode. Til forsøget anvendes et differenstryk mikromanometer (DPM) ved hjælp af hvilket den indsatte målebøjning MBU er kalibreret. Se figur 15 for opstilling.



Figur 15 – Venturi dyse Ø315 med trykmåler forbundet til ekstern ventilator med frekvensomformer.

Luftstrømmen måles efterfølgende udelukkende med MBUén og ikke venturi dysen. Opstillingen og placering af MBUén er vist på figur 16.



Figur 16 – MBU kanalforbundet med ekstern ventilator. Trykket over MBUén måles med et TSI differensstryk-mikromanometer. Til venstre for kanalen ses en DWYER trykmåler, som måler trykdifferensen mellem i målerummet og omgivelserne. Til højre for kanalen ses et af overstrømshullerne, som i dette tilfælde er åbent.

Udover de allerede nævnte målemetoder er der foretaget måling af luftstrømmene ved hjælp af varmetrådsanemometer og pitotrør, hvor traverseringsmetoden er anvendt jf. ISO 5801.



Temperaturen i indblæsningskanalen måles kontinuerligt sammen med det atmosfæriske tryk, således målte tryk kan korrigeres.

Denne indledende beskrivelse gør sig gældende for målingerne foretaget med forskellige armaturer og sammensætninger beskrevet i det følgende.

Indblæsningspose placeret 3,2 m fra stinkskab

Som indledende måling foretages der en referencemåling med en indblæsningspose. Det forventes på forhånd, at dette indblæsningsarmatur ikke nævneværdigt vil medvirke til forstyrrelser af luften ved stinkskabsåbningen.

Der foretages i alt lufthastighedsmålinger ved fire forskellige luftstrømme varierende fra 612-3060 m³/h, som er beregnet på baggrund af en ønsket lugeåbning og lufthastighed over lugen i stinkskabet.

Beregningen er som følgende:

$$q = v \cdot a$$

Hvor arealet a er lugeåbningens areal:

$$a = b \cdot h = 1,70 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} = 0,85 \text{ m}^2$$

I tabel 8 nedenfor er der multipliceret med en faktor 3600 for at omregne q fra m³/s til m³/h:

Måling nr.	Ønsket lufthastighed v [m/s]	Tilsvarende Luftstrøm q [m ³ /h]
#1	1	3060
#2	0,5	1530
#3	0,3	918
#4	0,2	612

Tabel 8 – Ønsket luftstrømberegnet ud fra de ønskede lufthastigheder på baggrund af lugeåbningens areal.

I de kommende målinger indreguleres indblæsningsluftstrømmen på samme vis, som ved referencemålingen. Dog vil der forekomme yderligere målepunkter, som ønskes undersøgt.

Indblæsningsposen som anvendes til forsøget er 4 m lang og har en diameter på Ø315 m.m. Se figur 17 for opstilling.



Figur 17 – Indblæsningspose. Overstrømshullet i væggen kan igen ses i baggrunden. I loftet ved siden af gennemføringen kan loft-termometret ses. Gulvtermometret er ikke synligt, men er monteret direkte under og på samme vis, bare i gulvhøjde.

Referencemålingen udføres uden sug på stinkskaftet, og med spjældet i udsugningskanalen helt lukket. Den luft, der ikke forbruges af stinkskaftet, strømmer ud af overstrømningshullerne til omgivelserne. Overstrømningshullerne er placeret i afstand fra lufthastigheds-måleplanerne, således at de ikke forstyrrer disse.

Målestativerne positioneres i henhold til tidligere beskrevet måleplan. Proberne måler kontinuerligt over en periode på 30 sekunder og måler i perioden lufthastighed, temperatur og luftfugtighed, dog med fokus på lufthastigheden.

Udover målingerne foretaget direkte ved hjælp af ComfortSense-proberne, noteres følgende parametre ved hver måling:

- Omgivende temperatur og luftfugtighed (måles umiddelbart før indsugningen udenfor målerummet)
- Tryk i venturi dyse
- Tryk og temperatur i indblæsningskanalen lige før indblæsningsposen
- Tryk i målerum
- Temperaturer ved gulv og loft inde i målerummet

I referenceforsøget gentages forsøg #1, hvor indblæsningsluftstrømmen er $3060 \text{ m}^3/\text{h}$ svarende til en lufthastighed på 1 m/s . Overstrømshullerne holdes igen åbne for at undgå overtryk.

Fremgangsmåde ved forsøget differentierer sig fra de tidligere udførte målinger, referencemåling #1-4, hvor lufthastigheden er målt i to planer i umiddelbart tilknytning til stinkskalet.

Dysekanal placeret 0,75 m fra stinkskalet

Der foretages et forsøg med 1 Ø 315 mm dysekanal placeret ca. 0,6 m fra stinkskalet, målt vandret fra nærmeste kant. Det forventes på baggrund af armaturtype og placering, at der vil forekomme luftforstyrrelser omkring lugeåbningen i stinkskalet.

Der foretages i alt lufthastighedsmålinger ved tre forskellige luftstrømme varierende fra 612-1530 m³/h, som er beregnet på baggrund af en ønsket lugeåbning og lufthastighed over lugen i stinkskalet. Beregning af ønsket luftstrøm er beskrevet i tidligere forsøg.

I tabel 9 nedenfor er der ganget med en faktor 3600 for at omregne q fra m³/s til m³/h:

Måling nr.	Ønsket lufthastighed v [m/s]	Tilsvarende luftstrøm q [m ³ /h]
#1	0,5	1530
#2	0,3	918
#3	0,2	612

Tabel 9 – Ønsket luftstrøm beregnet ud fra de ønskede lufthastigheder på baggrund af lugeåbningens areal.

Dysekanalen som anvendes til forsøget er 5 m langt og har en diameter på Ø315 m.m. Se figur 18 for opstilling. Dysekanalens øvre 270° er perforeret, således kanalen får en dyse lignende funktion.



Figur 18 – Der installeres i alt 2 hulkanaler, hvoraf den ene tættest placeret stinkskalet benyttes i nærværende forsøg.

Forsøget udføres uden sug på stinkskalet, og med spjældet i udsugningskanalen helt lukket til for at ændre luftstrømningsretningen til overstrømshullerne, som under forsøget er åbne af samme årsag. Målestativerne positioneres i henhold til tidligere beskrevet måleplan. Proberne

måler kontinuerligt over en periode og måler i perioden lufthastighed, temperatur og luftfugtighed, dog med fokus på lufthastigheden.

Udover målingerne foretaget direkte ved hjælp af ComfortSense-proberne, noteres de samme parametre beskrevet i forrige afsnit.

Dysekanaler placeret hhv. 0,75 og 2,2 m fra stinkskab

Der foretages et forsøg med 2 dysekanaler placeret hhv. 0,75 og 2,2 m fra stinkskabet. Det forventes på baggrund af armatur type og placering, at der vil forekomme luftforstyrrelser omkring lugeåbningen i stinkskabet tilsvarende forsøget med 1 dysekanal.

Der foretages i alt lufthastighedsmålinger ved fire forskellige luftstrømme varierende fra 612-3060 m³/h, som er beregnet på baggrund af en ønsket lugeåbning og lufthastighed over lugen i stinkskabet. Beregning af ønsket luftstrøm er beskrevet i tidligere forsøg.

I tabel 10 nedenfor er der multipliceret med en faktor 3600 for at omregne q fra m³/s til m³/h:

Måling nr.	Ønsket lufthastighed v [m/s]	Tilsvarende luftstrøm q [m ³ /h]
#1	1	3060
#2	0,5	1530
#3	0,3	918
#4	0,2	612

Tabel 10 – Ønsket luftstrøm beregnet ud fra de ønskede lufthastigheder på baggrund af lugeåbningens areal.

Dysekanalerne som anvendes til forsøget er 5 m lange og har en diameter på Ø315 m.m. Se figur 18 for opstilling. Dysekanalerne anvendt i forsøget er identiske.

Fortrængningsarmatur (CBA) placeret 1,05 m fra stinkskab

Der er foretaget måling af lufthastigheder ved to forskellige dyseindstillinger i fortrængningsarmaturet.

I tabel 11 nedenfor er der multipliceret med en faktor 3600 for at omregne q fra m³/s til m³/h:

Måling nr.	Ønsket lufthastighed v [m/s]	Tilsvarende luftstrøm q [m ³ /h]
#1	1	3060
#2	0,5	1530

Tabel 11 – Ønsket luftstrøm beregnet ud fra de ønskede lufthastigheder på baggrund af lugeåbningens areal.

Fortrængningsarmaturet som anvendes til forsøget er ca. 2 m langt og har en diameter på ca. 0,9 m. Se figur 19 for opstilling. Der anvendes to stk. af fortrængningsarmaturet for at levere den nødvendige luftmængde.



Figur 19 – Der installeres i alt 2 fortrængningsarmaturer.



Figur 20 – Her ses fortrængningsarmatur med fabriksindstillede dyser.

Forsøget udføres uden sug på stinkskabet, og med spjældet i udsugningskanalen helt lukket til for at ændre luftstrømningsretningen til overstrømshullerne, som under forsøget er åbne af samme årsag. Der måles kun i en række udvalgte reference punkter, hvor hastigheden måles. Antal reference punkter og placering af disse kan ses i figur 14 side 92.

12.2-2 Måling af gasudslip fra stinkskabet med sug på stinkskabet (isobuten)

I henhold til aftalen mellem Teknologisk Institut og rekvirenten punkt 6 ønskes gasudslippet fra stinkskabet til rum undersøgt ved forskellige målesituationer. På baggrund af indledende målinger udvælges "worst case" tilfældene som gentages.

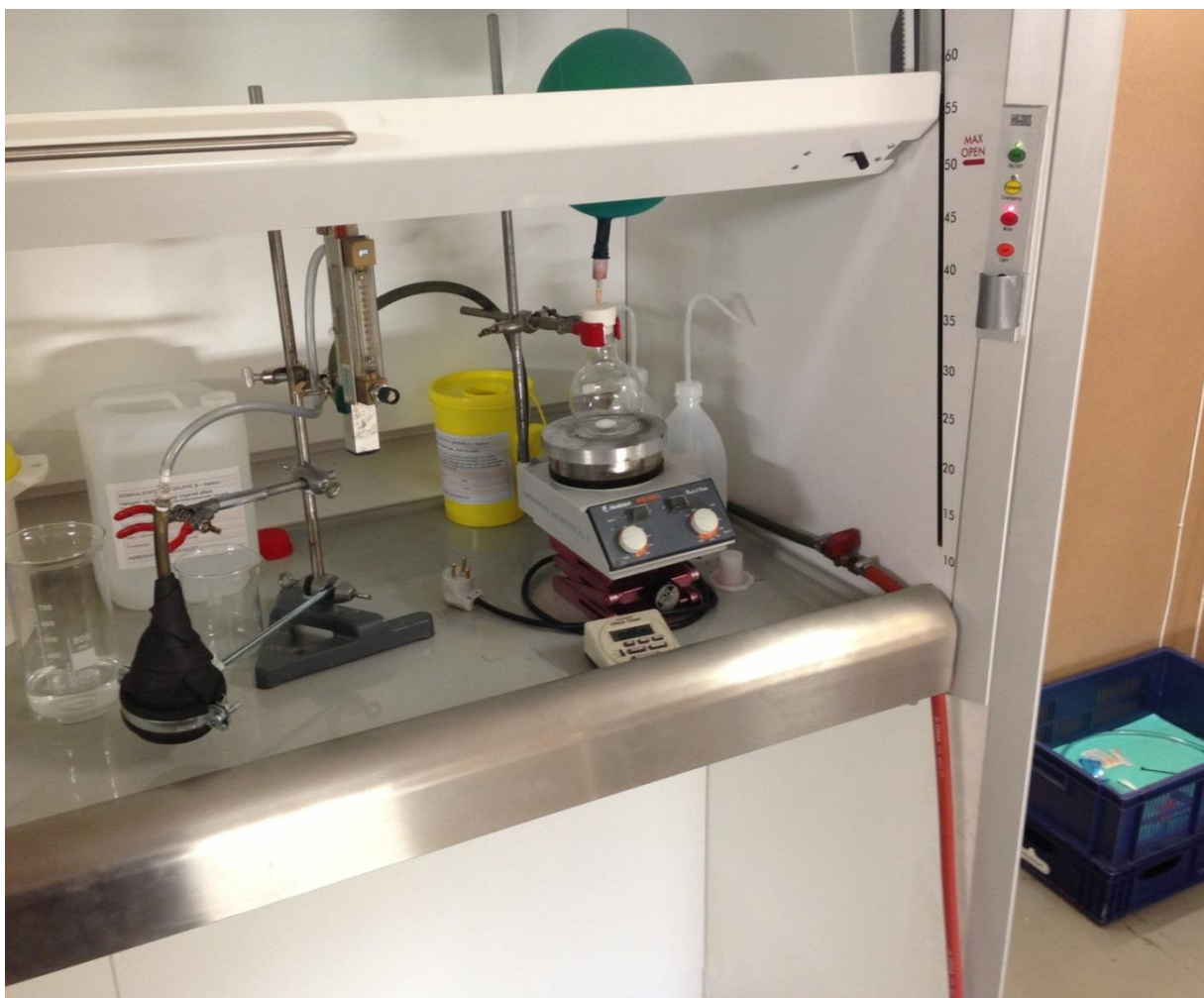
I de tidligere forsøg har der været fokus på luftforstyrrelserne omkring lugeåbningen. I denne forsøgsrække måles sporgasudslippet fra en kilde i stinkskabet til brugerens åndingszone ved lufthastigheder fra 0,2 – 1 m/s i lugeåbningen med forskellige typer indblæsningsarmaturer placeret under loft.

Det forventes, at sporgasudslippet fra stinkskabet navnlig ved lave sug, det vil sige indadgående lav hastighed i stinkskabsåbningen kan påvirkes af indblæsningsarmaturer, der generer høje lufthastigheder i stinkskabsåbningens nærmeste omgivelser. Københavns Universitet har i stinkskabet indsat en række instrumenter og tilbehør, således at de almindelige omstændigheder genskabes, se figur 21.



Figur 21 - Opstilling af udstyr i stinkskabet (før gastilførselsudstyret er sat op). Magnetomrøreren til venstre er som det eneste stykke udstyr i skabet tændt og opvarmet til 250° under forsøget.

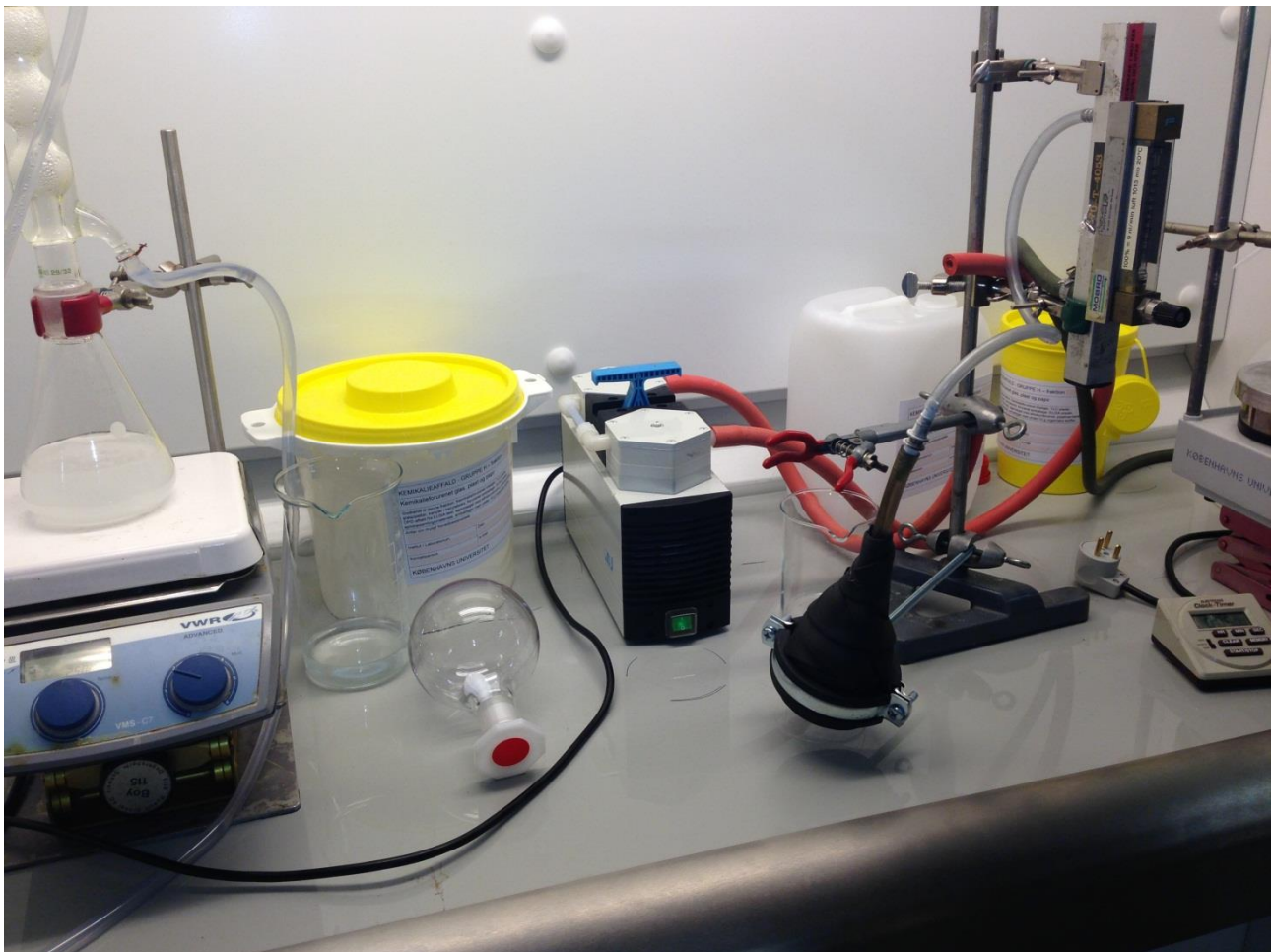
Under forsøgene tilføres en kendt strøm isobutylen-gas (C_4H_8) inde i stinkskabet. Gassen ledes ud i skabet via et kalibreret kugle-flowmeter gennem en Robu-glastragt med sintret glasfilter, hvis åbning er placeret 30 mm over bordpladen. Glasfiltret sørger for, at gassen tilføres ved lav ikke forstyrrende hastighed (<0.05 m/s). En hane er monteret inden flowmetret, så gassen hurtigt kan lukkes mellem målingerne, se figur 22. Eventuelle gasudslip måles med et højfølsomt og hurtigtvirkende instrument af typen ppbRAE. Gassen tilføres på den sikre side lavt (ca. 3 cm) over bordpladen. Begrundelsen herfor er, at udgående strømning lavt over bordpladen fra stinkskabets indre til indre kant af airfoil og en pude af roterende forurenede luft kan forekomme her. Hvis og når denne zone forurenes af gasser fra stinkskabets indre, kan gasser fra denne zone nær brugerens læzone via opdriftsfeltet trænge op i brugerens åndingszone. Derimod giver tilførsel af sporgas i høje positioner, for eksempel midt for lugeåbning (ca. 25 – 30 cm over bordplade) ifølge Teknologisk Instituts erfaringer mindre udslip til brugerens åndingszone, hvorfor forsøg udført på denne måde giver sporgasudslip på den lave (usikre) side.



Figur 22 - Gasudledningsudstyret opstillet i stinkskabet. Tilførselsslagen sender gassen ind nederst til højre i billedet, op igennem den orange stop-hane, gennem den grønne slange til flowmetret, og videre derfra gennem den klare slange og ud gennem tragt.

Der er i alt foretaget forsøg med 3 forskellige forsøgsopstillinger, som er angivet som følgende:

- Indblæsningspose placeret 3,2 m fra stinkskab
 - Forsøget er gentaget med otte udsugningshastigheder (altså ved 0,2; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5; 0,7 og 0,8 m/s)
- Dysekanal placeret 0,75 m fra stinkskab
 - Forsøget er gentaget med ti udsugningshastigheder (altså ved 0,2; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 og 1 m/s)
- Dysekanaler placeret hhv. 0,75 og 2,2 m fra stinkskab
 - Forsøget er gentaget med syv udsugningshastigheder (altså ved 0,2; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5; 1 m/s)
 - Forsøget er desuden udført med fem hastigheder (0,2; 0,3; 0,35; 0,4 og 0,45 m/s), hvor udstyret i stinkskabet er arrangeret anderledes med en aktiv pumpe placeret centralt, se figur 23



Figur 23 - Alternativ opstilling med den aktive pumpe placeret så forstyrrende som muligt i forhold til glastragten.

I alle ovenstående forsøg har der ligeledes været aktivitet i skabet som skulle simulere "raske arbejdsbevægelser" (DS 457 afsnit 6). Dette er udført ved, at en forsøgsperson placeret midt

foran skabet har foretaget kontinuerlige cykliske bevægelser i et raskt tempo med hænder og arme, kombineret med ud- og indadgående kropsbevægelser ca. 5 cm svarende til, at brugeren ikke står helt stille, og som så vidt muligt skulle kunne reproducere. Se figur 24 og 25.



Figur 24: Person placeret centralt foran stinkskaab.



Figur 25: Person placeret centralt foran stinkskab. Vedkommende laver ud- og indgående kropsbevægelser samt "raske" armbevægelser.

De ud- og indadgående kropsbevægelser vinkelret på skabet er ret vigtige, da denne bevægelse kan trække op til 10 l stinkskabsluft ud til brugerens opdriftszone. Den indstrømmende luft i stinkskabsåbningen skal fjerne / fortynde denne luft, inden den når op i brugerens åndingszone.

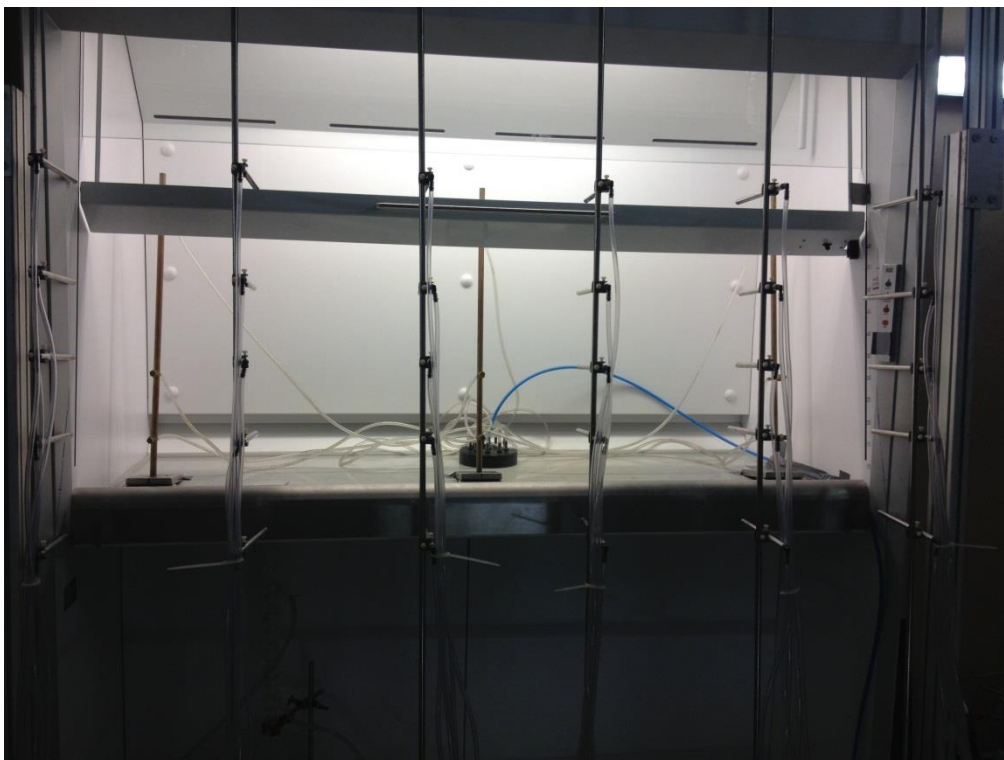
12.2-3 Måling af gasudslip fra stinkskabet med sug på stinkskabet (svovlhexafluorid)

Målinger udført med svovlhexafluorid iht. EN/DS 14175-3 er beskrevet i omtalte standard. Desuden refereres til Del 2 – Gasmålinger i rapporten, hvor de eksekverede målinger kort er beskrevet.

Sammenligning af isobuten og svovlhexafluorid

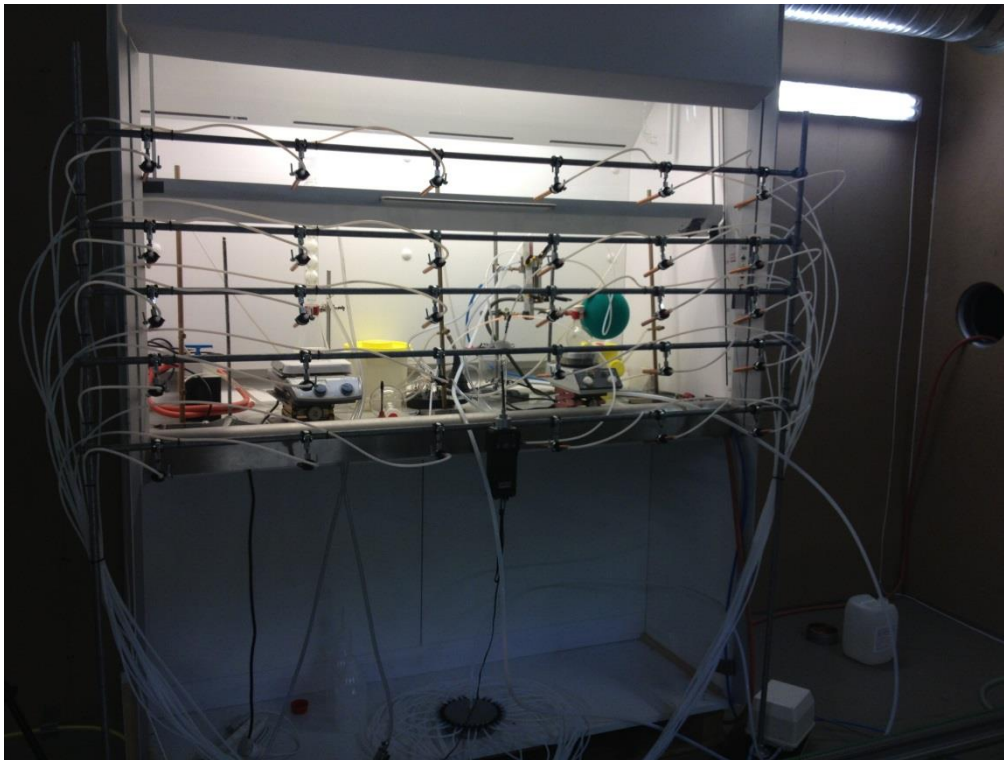


Figur 26 – Måleopstilling iht. EN/DS 14175-3. Måling med isobuten.



Figur 27 – Måleopstilling iht. EN/DS 14175-3. Måling med svovlhexafluorid.

Test med stinkskab med hhv. ingen udstyr og udstyr



Figur 28 – Måleopstilling iht. EN/DS 14175-3. Måling med isobuten og fyldt stinkskab.

12.2-4 Modificeret robusthedstest

Der foretages en modificeret robusthedstest i henhold til opgavebeskrivelsen udarbejdet af Teknologisk Institut og rekvirent. I robusthedstesten tilføjes dog den menneskelige faktor. Under testen vil en person gentagne gange bevæge sig forbi langs stinkskabet. Imens dette pågår måles gasudslippet.

Figur 29 illustrerer forsøgsgangen.

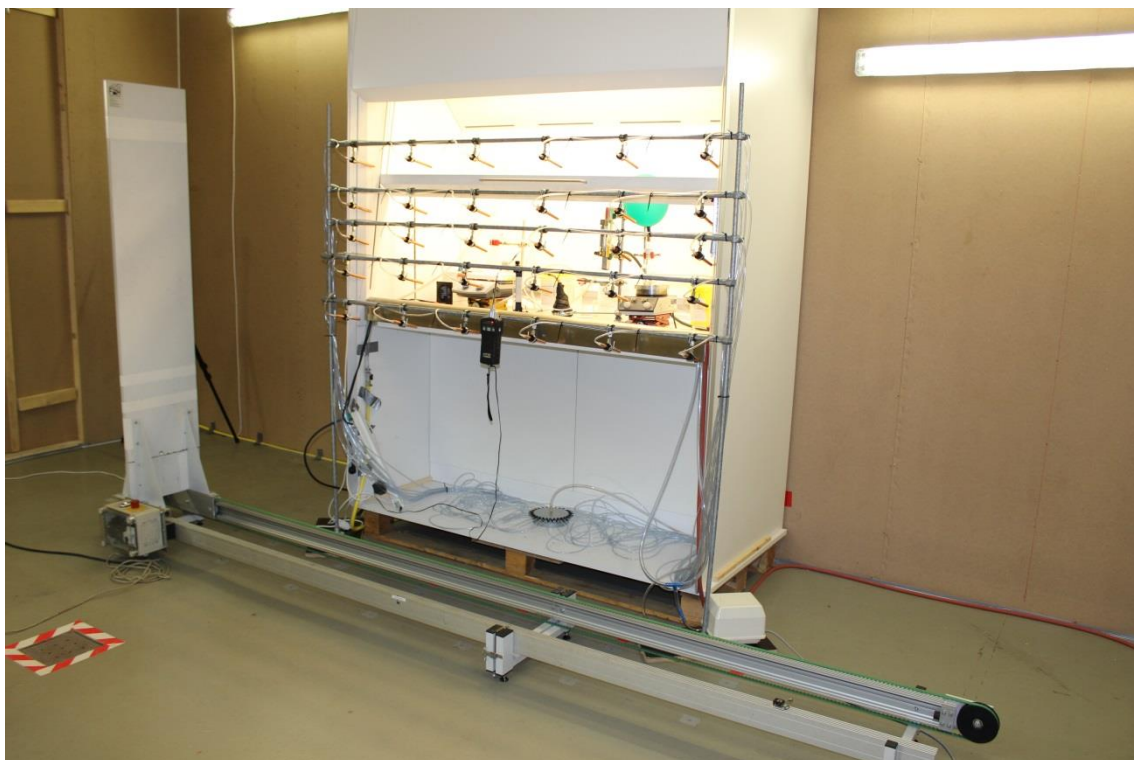


Figur 29: Person placeret centralt foran stinkskab samtidigt med, at der er en forbipasserende person.

12.2-5 Standard robusthedstest

Der foretages en standard robusthedstest iht. EN/DS 14175-3. Den største forskel på denne robusthedstest og den modificerede robusthedstest beskrevet ovenfor er, at den menneskelige faktor er udskiftet med en mekanisk plade. Under testen vil den mekaniske plade passere stinkskaftet i alt 5 gange med en hastighed på 1,0 m/s svarende til almindelig ganghastighed. Imens dette pågår måles gasudslippet.

Figur 30 illustrerer forsøgsgangen.



Figur 30: Mekanisk plade placeret foran stinkskaft.



13 Forklaring af dansk og europæisk testmetode for stinkskabe

DS 457, 2. udgave, marts 1993 og EN/DS 14175, 1. udgave 2003-2006

13.1 Historik

DS 457 er udviklet af Dansk Ingeniørforening. 1. udgave udkommet 1986, erstattet af anden udgave 1993, er formelt udgået og erstattet af den europæiske standard EN/DS 14175, del 1-6 udgivet 2003-2006.

Uanset om skabe er prototype testet efter EN/DS 14175-3 eller ej foretages ifølge det oplyste stadig løbende tester af stinkskabe i Danmark efter DS 457, da denne test er relativ enkel at udføre. Testen er beskrevet nedenfor.

EN/DS 14175 er en sammenskrivning af tidligere europæiske standarder og indeholder på grund af uenighed blandt medlemslandene flere delvis overlappende metoder.

Sammenligning, praktiske og økonomiske forhold DS 457 og EN/DS 14175

DS 457 er enkel og relativ billig og hurtig at udføre (20 minutter per skab). EN/DS 14175 er kostbar og tidskrævende og udføres i specielle testlaboratorier eller på stedet (on site) på det endeligt installerede skab. Testen tager flere dage og kun dele af den udføres i praksis på grund af omkostningerne.

13.2 Metodebeskrivelser DS 457

Afprøvningsmetoden i DS 457 er en sporgasmåling, hvor afdampningen fra det virkelige stof der arbejdes med i stinkskabet erstattes af en kendt sporgasstrøm, hvis eventuelle udslip til brugerens åndingszone måles og registreres kontinuerligt.

Sporgassen tilføres lavt (2 cm) over bordpladen fra en omvendt cirkulær glastragt Ø75 mm, placeret 150 mm inden for skabets airfoil og lige foran brugeren/operatøren. Brugeren udfører iht. DS 457 "raske bevægelser".

Der udføres i praksis roterende håndbevægelser udadgående lavt over bordpladen. Samtidig rokker kroppen ca. 5 cm ud og ind vinkelret på skabets front.

Prøveindtag sker ved brugerens åndingszone 135 cm over gulv.



Fordele ved DS 457, doseringsstedet

Al sporgas tilføres lige foran personen og ikke i 9 punkter fordelt over hele stinkskabets åbning. Dette vil på den sikre side give størst muligt sporgasudslip til brugerens åndingszone og en realistisk værdi for brugerens eksponering for de stoffer, der arbejdes med i skabet.

Fordele ved DS 457, prøveudtagning

Der indsuges i DS 457 ufortyndet måleluft fra ét og kun ét sted ved brugerens åndingszone, hvilket må forventes at give naturligt svingende, men over en 5 minutters periode brugbare middelværdier.

Ulemper ved DS 457

De anvendte bevægelser er ikke helt reproducerbare. Der har ikke været basis for at udvikle en maskine til at skabe standardiserede forstyrrelser.

13.3 Metodebeskrivelser EN/DS 14175-3

EN/DS 14175-3, dosering

Der bruges de fleste steder outer measurement plane EN/DS 14175-3 (afsnit 5.3.4 i standarden)

Kildeflowet opdeles på 9 doseringssteder og giver derfor lokalt en lav koncentration i forhold til, hvis gasflowet var tilført ét sted. Arbejde med stoffer i stinkskabet må formodes at foregå lokalt og ikke fordelt over hele stinkskabet som anvendt i doseringsmetoden EN/DS 14175-3.

EN/DS 14175-3, prøveudtagning

Prøveudtagningen sker med det aktuelle stinkskab fra 30 steder umiddelbart uden for skabet, hvoraf kun de 18 er placeret ud for lugeåbningen, de 12 over og under lugeåbningen. Det må vurderes, at dette prøveudtagningssystem giver en nedfortyndet og reduceret værdi i forhold til hvad en virkelig bruger vil blive udsat for, hvis der ikke netop er tale om en meget voldsom forstyrrelse. Se herunder.

EN/DS 14175-3, forstyrrelser

Ved den såkaldte robusthedstest køres en personhøj plade på tværs af skabet og skaber en voldsom forstyrrelse i strømningsforholdene i skabet der selv ved en lufthastighed på 0,5 m/s ind i skabet river lidt luft ud af skab (visualiseret med orange røg).



Ulemper ved EN/DS 14175-3

Testen anvender i sin nuværende form den meget kostbare og miljøskadelige sporgas SF₆. Der kan stilles spørgsmål ved testens validitet med hensyn til at beskrive skabets sikkerhed.

Fordele ved EN/DS 14175-3

Testen har god reproducerbarhed.



14 Sammenligning mellem tre forskellige indblæsningsformer

Oversigt. Der refereres til et 1.7 m bredt stinkskab med 0,5 m lugehøjde.

Alle indblæsningsarmaturer er placeret med længderetningen parallelt med stinkskabsfronten i forskellige afstande fra stinkskabsfronten. Indblæsningsposen er placeret i en afstand af 3,2 m fra stinkskabsfronten. Dysekanalerne hhv. 0,75 m og 2,2 m. Fortrængningsarmaturet (CBA) 0,6 m fra stinkskabsfronten. Alle mål er målt til center af armatur.

Indblæsnings-armatur type	Træk i retning over stinkskab der kan få reguleringssystemet *) til at give for lav lufthastighed i skabets lugeåbning	Træk under indblæsningsarmatur (komfort relateret)	Støjgenerering af armatur (subjektivt vurderet)	Særlige krav	Kapacitetsgrænse
Indblæsningspose uden huller, Ø400 placeret ved bagvæg	Nej	Ikke generende ved nær isotherm indblæsning	Lydløs	**)	Meget høj kapacitet. Posens gennemstrømmede areal kan evt. dimensioneres så stort, at udstrømningshastigheden bliver 0.15 m/s ved maksimal luftstrøm.
Lindab CBA, med D-formet tværsnit Diameter ca. 900 mm Længde ca. 2010 mm	Nej, ikke ved to styk	Klager over træk kan forventes ved ét armatur pr. stinkskab afhængigt af rumhøjde og indblæsningsarmatur. (CBAL armaturet skulle ifølge leverandør være træk-mæssigt bedre).	Ikke problem		Et armatur vurderes at kunne forsyne et 1,7 m bredt indvendigt stinkskab med luft svarende til 0,5 m/s ved 0,5 m lugehøjde ved nær isotherm indblæsning. Se dog også leverandørdata.
Dysekanal Ø315, 5000 mm lang, perforeret på de øvre 270 grader, ingen indblæsning i de nedre 90 grader	Ja høj forstyrrende, Kræver reflektor plade mellem dysekanal og stinkskabe	Ikke generende træk under armatur	Generende støj ved indblæsnings Luftstrøm over kapacitetsgrænse		Kapacitet for lav til stinkskabsforsyning. Maks 220 m ³ /h per m kanal, svarende til 7 m kanal pr. 0,85 m ² stinkskabsluge ved en lufthastighed på 0,5 m/s i lugen.

Tabel 12 – Sammenligning af armaturtype ift. en række udvalgte kardinal punkter.



*) gælder kun reguleringssystem af type med strømrør mellem stinkskabets top og rum over stinkskab. Ud fra foreløbige fluidmekaniske overvejelser og målinger i strømrøret på skabet uden aktiv regulator må det vurderes, at den højeste lufthastighed v_{top} ind over skabet ikke bør overstige 30 % af den laveste ønskede lufthastighed v, som kan forekomme ind gennem lugeåbningen, herunder hvis v er kunstigt nedsat i forbindelse med, at et energispareudstyr viser, at der ikke er personer til stede.

**) Kræver forfilter (Finfilter) iht. levetid og rengøringsfrekvens. Pose bør ophænges således, at den ikke klapper sammen ved lavest anvendte ydelse.