



# Energieffektiv helhedsløsning til sikker laboratorieventilation

August 2016

---



## **Energieffektiv helhedsløsning til sikker laboratorieventilation**

Morten S. Madsen, Erik H. Hansen	Teknologisk Institut
Amalie Gunner, Xu Guan	Teknologisk Institut
Søren Draborg, Christian G. Nicolaisen	Teknologisk Institut
Michael Kudsk	Zystm A/S
Kim Kronby	JS Ventilation A/S
Ole Ernst Wandall-Frostholm	AURA Rådgivning A/S

**ELFORSK 346-051**

## Indholdsfortegnelse

1	Sammenfatning .....	6
2	Baggrund.....	7
3	Målgruppen .....	8
4	Markedsanalyse og retningslinjer for laboratorier .....	8
	4.1 Definition .....	8
	4.2 Kortlægning af markedet for stinkskebe .....	11
	4.2.1 Undervisning- og forskningsinstitutter .....	11
	4.2.2 Medicinal- og levedsmiddelindustrien.....	12
	4.2.3 Sundhedssektoren .....	12
	4.2.4 Potentiale vurdering .....	12
	4.3 Retningslinjer for indretning af laboratorier.....	13
	4.3.1 Bygning.....	14
	4.3.2 Ventilation .....	14
	4.3.3 Laboratoriefaciliteten.....	15
	4.3.4 Sikkerhedsprocedurer.....	15
	4.3.5 Brugeradfærd .....	16
5	Undersøgelse af varmegenvindingsmuligheder.....	17
	5.1 Alternative løsninger til væskekoblede batterier .....	18
	5.1.1 Anlægsopbygning .....	18
	5.1.2 Luftbevægelse mellem kamrene .....	19
	5.1.3 Lækage .....	19
	5.1.4 Kontrol af alarmsystemer.....	20
	5.2 Væskekoblede batterier .....	20
	5.2.1 Styling af væskeflow i mellemkredsen.....	20
	5.2.2 Øget effektivitet ved øget tryktab i mellemkredsen .....	22
	5.2.3 Reduceret glykolindhold i mellemkredsens væske .....	27
	5.3 Ecodesign krav .....	28
	5.3.1 Overordnede krav til UVU og BVU .....	29
	5.3.2 Specifikke minimumskrav til UVU i NRVU .....	29
	5.3.3 Specifikke minimumskrav til BVU i NRVU .....	31
6	Faktorer som påvirker sikkerheden for stinkskebe.....	32
7	Test og udvikling af komponenter til laboratoriet .....	33
	7.1 Forsøg med eksisterende indblæsningsarmaturer .....	33
	7.1.1 Forstyrrelser fra indblæsningsarmaturer .....	34

7.1.2	Opsummering.....	34
7.1.3	Oversigt .....	35
7.2	Udvikling af nyt indblæsningsarmatur .....	36
7.2.1	Forsøg med ét indblæsningsarmatur .....	38
7.2.2	Forsøg med to indblæsningsarmaturer i forlængelse af hinanden .....	38
7.2.3	Forsøg med to indblæsningsarmaturer med en afstand på 600 mm imellem sig .....	39
7.2.4	Opsummering.....	40
7.3	Test af afskærmningsplade.....	40
7.3.1	Forsøg med afskærmningsplade .....	41
7.3.2	Opsummering.....	42
7.3.3	Anbefaling .....	42
7.4	Beregning af den minimale lufthastighed i stinkskabets luge-åbning .....	43
7.4.1	Indblæsningspose placeret 3,2 m fra stinkskabet.....	43
7.4.2	Dysekanaler placeret hhv. 0,75 og 2,2 m fra stinkskabet .....	45
7.4.3	Opsummering.....	47
8	Undersøgelse af bygnings- og menneskeskabte luftforstyrrelser .....	48
8.1	Forstyrrelse fra døre .....	48
8.2	Forbipasserende.....	49
8.2.1	Fuldt åbent stinkskabsluge .....	49
8.2.2	Lukket stinkskabsluge .....	50
8.2.3	Opsummering.....	51
9	Test og udvikling af add-ons til stinkskabe .....	52
9.1	Stinkskabets lugeåbning .....	52
9.1.1	Bordforkanter .....	53
9.1.2	Lugeunderkantens udformning .....	55
9.1.3	Sidevægge og mellemstolper.....	59
9.2	Optimeret lugelukkeordning.....	59
9.2.1	Automatisk lugeluk .....	59
9.2.2	Optisk sensor .....	60
9.2.3	Alarmknap .....	61
9.2.4	Sideforskydende ruder .....	61
9.3	Add-on til optimering af stinkskab .....	63
9.3.1	Sikkerhedsfaktoren som funktion af lufthastighed i lugeåbningen.....	63
9.3.2	Add-on sugearm .....	64
10	Styring af ventilator .....	68

11	Program til optimering af energiforbruget i laboratorier .....	68
11.1	Hovedsiden .....	68
11.2	Stinkskabe, LAF-bænke .....	70
11.3	Ventilator.....	71
11.4	Beregn sikkerhedsfaktor .....	71
12	Guidelines.....	72
13	Eksempler på energioptimering .....	73
13.1	Eksempel 1 .....	73
13.2	Eksempel 2 .....	74
13.3	Eksempel 3 .....	75
14	Fremtidige muligheder.....	75
14.1	Mulige nye tekniske løsninger.....	76
14.1.1	Mulighed 1 .....	76
14.1.2	Mulighed 2 .....	77
14.1.3	Mulighed 3 .....	77
14.1.4	Mulighed 4.....	78
15	Informationsaktiviteter .....	79
15.1	Kurser .....	79
15.2	Møder.....	79
16	Referencer .....	80
17	Bilag .....	81
17.1	Anvendt laboratoriefacilitet .....	81
17.2	Indblæsningsarmaturer placeret i forskellige afstande fra toppen af stinkskabet.....	83
17.2.1	Indblæsningspose placeret 3,2 m fra stinkskabet.....	83
17.2.2	Dyse-kanal placeret 0,75 m fra stinkskabet.....	88
17.2.3	Dysekanaler placeret henholdsvis 0,75 m og 2,2 m fra stinkskabet .....	92
17.2.4	Fortrængningsarmaturer placeret 1,05 m fra stinkskabet.....	98
17.3	Opsætning af preplade.....	102
17.3.1	Indblæsningsarmatur placeret tæt på stinkskab – afskærmning i stilling 1 .....	102
17.3.2	Indblæsningsarmatur placeret tæt på stinkskab – afskærmning i stilling 2 .....	103
17.3.3	Indblæsningsarmatur placeret tæt på stinkskab – afskærmning i stilling 3 .....	104
17.3.4	Indblæsningsarmatur der er placeret langt fra stinkskabet – afskærmning i stilling 1 .....	105

17.3.5	Indblæsningsarmatur der er placeret langt fra stinkskab – afskærmning i stilling 2 .....	106
17.3.6	Indblæsningsarmatur der er placeret langt fra stinkskab – afskærmning i stilling 3 .....	107
17.4	Sugearm til stinkskab.....	108
17.4.1	Eksempel.....	109

## 1 Sammenfatning

Nærværende projekt har haft til formål at bryde med gængs vanetænkning og vise, at høj brugersikkerhed i laboratorier kan opnås med lavt luftskifte og lavt energiforbrug. Projektets resultater dokumenterer, at der ved at gå fra en vurdering af enkeltkomponenterne ved laboratorieventilation til en helhedsvurdering af de komponenter der indgår, kan der opnås samme sikkerhedsniveau med lavere energiforbrug.

For fremadrettet at støtte brugerne af projektets resultater, er der udviklet en række enkle vurderingsværktøjer, der i de fleste tilfælde kan give en indikation af sikkerheden og om hvorvidt det er muligt at reducere luftskiftet. De udviklede værktøjer kan ligeledes anvendes ved indretning af nye laboratorier for at sikre lavest muligt luftskifte og dermed energiforbrug.

I projektet er der udviklet følgende:

- Indretningsværktøj for laboratorier inklusiv retningslinjer til placering af stinkskabe, retningslinjer for stinkskabenes omgivelser, ganglinjer etc. samt retningslinjer til laboratorieventilationen
- Anvisninger på opbygning af stinkskabe med lavt energiforbrug og høj personsikkerhed
- Kravspecifikation og tilhørende værktøj for egenkontrol af opnåelse af korrekt sikkerhedsniveau
- Beregningsværktøj til registrering af energiforbruget i et laboratorium, hvorefter programmet beregner et besparelspotentiale

Der er udført fuldsalamålinger i et forsøgslaboratorium (Testfacilitet for laboratorierum med stinkskabe - TLS) på Teknologisk Institut der fastslår, at energiforbruget kan reduceres betydeligt uden at afgørende sikkerhedsmæssige aspekter påvirkes forudsat, at der sker en sam-tænkning af stinkskab, indblæsning og styring.

Med udgangspunkt i de målinger og analyser der er foretaget i forbindelse med undersøgelserne i TLS forventes det, at meromkostningerne til helhedsløsningerne vil kunne dækkes alene af energibesparelsen. Desuden forventes det, at de nødvendige tiltag ved en helhedsorienterede tilgang vil være let implementerbare.

Det forventes, at de løsninger og værktøjer der er udviklet i projektet, vil blive anvendt i forbindelse med de massive offentlige investeringer i hospitals- og universitetssektorerne, der sker i disse år. Desuden vil løsningerne være interessante for laboratorier, i kemisk industri, i medicinalindustrien og i andre virksomheder, hvor der anvendes stinkskabe i større omfang. Til trods for, at projektet anviser en vej til optimal laboratorieventilation, uden at gå på kompromis med arbejdsmiljøet, samtidig med at energiforbruget reduceres forudses det, at det kan blive en udfordring at reducere lufthastigheden i stinkskabenes lugeåbninger i forhold til det nuværende niveau. Det skyldes, at den nuværende lufthastighed anses for god praksis, og at brugerne af stinkskabe derfor kan føle sig utrygge, hvis lufthastigheden reduceres. For at forsikre brugerne om at sikkerheden ikke kompromitteres, hvis laboratorier energieffektiveres bør der udvikles nye metoder til overvågning og styring af laboratorier. Det kan f.eks.

være udvikling af Apps, hvor brugere kan blive notificeret med forskellige betydningsfulde data i forhold til driften af det enkelte stinkskab.

Projektet er finansieret af ELFORSK programmet med projekt nr. 346-051, og er udført af følgende projektdeltagere i perioden 1. april 2014 til 1. august 2016.

Søren Draborg projektleder	+45 72202028	Teknologisk Institut
Morten Sandholm Madsen	+45 72202755	Teknologisk Institut
Erik H. Hansen	+45 72202524	Teknologisk Institut
Xu Guan	+45 72201336	Teknologisk Institut
Amalie Gunner	+45 72203195	Teknologisk Institut
Michael Kudsk	+45 96666660	Zystm A/S
Kim Kronby	+45 43422010	JS Ventilation A/S
Ole E. Wandall-Frostholm	+45 51176179	Aura Rådgivning A/S

## 2 Baggrund

Et stinkskab har typisk et årligt energiforbrug på 10.000 kWh. Typisk etableres skab og styringsautomatik som enkeltkomponenter uden sammenhæng til det øvrige system, dvs. ventilationsanlæg inklusiv indblæsningssystem. Årsagen til det høje energiforbrug, er dels manglende samtænkning af det samlede system og tradition for anvendelse af høje lufthastigheder i stinkskabenes lugeåbninger, som ikke er fagligt begrundet og/eller krævet af Arbejdstilsynet (AT), og dels manglende lukning af stinkskabet udenfor dets benyttelsestid. De høje lufthastigheder er som regel udelukkende et udtryk for brugernes usikkerhed om stinkskabenes sikkerhedsmæssige korrekte funktion på grund af manglende dokumentation.

Laboratorier med stinkskabe findes i størstedelen af danske virksomheder, der arbejder med kemikalier, fødevarer, sundhed m.v., og hertil kommer landets hospitaler og universiteter. Laboratorierne ventileres typisk som enheder, der indgår i et samlet system uden synergi. Udsugningen foregår foruden i stinkskabe igennem LAF-bænke, sugearme og kemidepoter. Men udsugningen sker dog primært gennem stinkskabe, som udgør over 95% af den udsugede luftmængde. Indblæsningen sker separat gennem loftindblæsning med poser eller faste armaturer. Indblæsningen og udsugningen sker med to separate ventilationsaggregater/ventilatorer som betjener ét eller flere stinkskabe/lokaler, således at den udsugede luft er helt adskilt fra den indblæste luft for at undgå krydskontaminering. Systemerne er til tider uden varmegenvinding, og hvis der er varmegenvinding er det med væskekoblede batterier. Væskekoblede batterier har ofte ringe energieffektivitet.

Det enkelte laboratorium overventileres ofte på grund af unødvendig stor udsugning igennem stinkskabene. Den forøgede luftstrøm giver tillige træk og medfører ofte, at indblæsnings-temperaturen må øges over normalt komfortniveau, hvilket øger energiforbrug yderligere. Årsagen til de store luftmængder og dermed energiforbrug er, at der er tradition for at lufthastigheden gennem stinkskabets lugeåbning skal være 0,5 m/s. Dette er ikke fagligt begrundet og kræves ikke af Arbejdstilsynet. Overventileringen bunder i ønsket om høj sikkerhed for brugerne kombineret med usikkerhed hos rådgiverne. Der har aldrig været foretaget analyser baseret på helhedsmålinger med alle komponenter i et laboratorium, hvor udsugning i form af stinkskabe, indblæsning, rumopbygning og styring er de primære faktorer.



### 3 Målgruppen

Målgruppen for projektet er primært bygningsejere og brugere af laboratorier, rådgivende ingeniører, energirådgivere og energiansvarlige samt ventilationsbranchen.

## 4 Markedsanalyse og retningslinjer for laboratorier

### 4.1 Definition

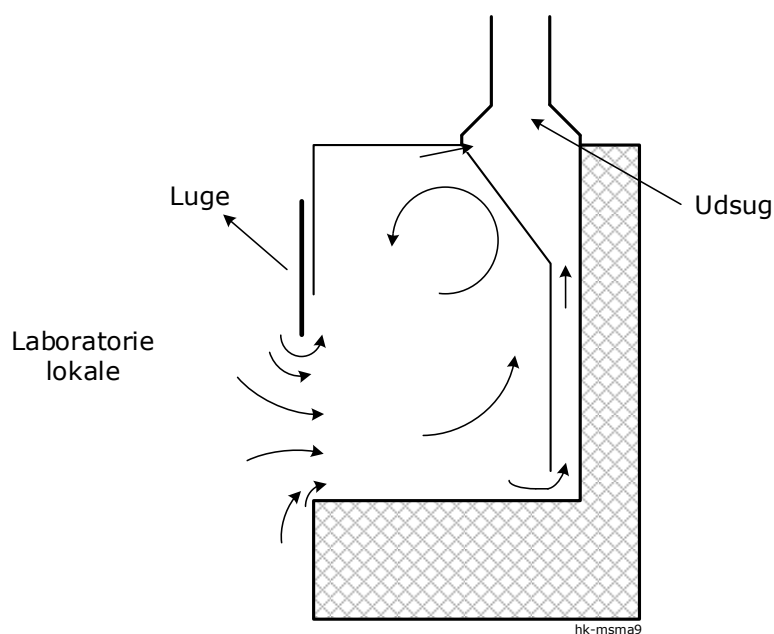
I laboratorier, hvor der arbejdes med kemiske stoffer, reaktioner, mikroorganismer, vira mv. kan der forekomme afgasning eller fordampning. Disse skal holdes adskilt fra laboratoriets personale og fjernes på en sikker måde, hvorfor et stinkskab ofte benyttes.

Ideen med et stinkskab er, at arbejdsprocessen indkapsles således, at brugeren i videst muligt omfang holdes afskærmet fra afdampning/støvdannelse fra processen samtidig med at udsugningsmængden er lav og ventilationseffektiviteten høj. Såfremt selvsamme arbejde eller proces foregik i et åbent, større rum ville det være nødvendigt at øge udsugningsmængden meget betydeligt for at skabe den samme brugersikkerhed. Desuden udsættes brugeren for mere direkte eksponering fra processen. Der findes dog andre typer udsugning som proces- eller punktudsug, som anvendes når der er behov for høj mobilitet i arbejdet.

Et stinkskab kan også anvendes med det formål, at sikre arbejdet eller processen imod påvirkning fra omgivelserne. Udformningen af stinkskabet vil i dette tilfælde være anderledes end et traditionelt stinkskab og denne type stinkskabe betegnes som LAF-bænke (Laminar AirFlow).

Et stinkskab fungerer lidt som en stor sugkasse, hvor udsuget sker bagerst i stinkskabet, hvor luften suges ud igennem et antal åbningspalter, der typisk er placeret i bunden og i toppen af stinkskabet. Der suges i stinkskabet, så luften i det omkringliggende lokale konstant strømmer igennem lugeåbningen i stinkskabet. Derved sikres det, at eventuel afdampning mm. ikke spreder sig til lokalet og brugerne.

Lugeåbningens udformning og åbningsgrad varierer fra producent til producent. Det samme gør sig gældende for airfoilen (den luftledeskinne der er placeret på stinkskabets nedre forkant), hvis formål er at renholde bordpladen nærmest brugeren. Figur 4.1 viser et tværsnit i et stinkskab, hvor luftstrømningerne er illustreret.



Figur 4.1 - Tværsnit af et stinkskab, hvor luftstrømningerne i og omkring stinkskabet er illustreret. Stinkskabet på billedet illustrerer ikke, hvordan et godt stinkskab bør udformes.

Opbygningen af et stinkskab kan variere i forhold til størrelse, udformning, materialevalg m.m. alt efter det aktuelle behov. Der er dog med visse grundlæggende karakteristika, som er generelt gennemgående for alle stinkskabe. Den klassiske opbygning af et stinkskab er faste sider og bagvæg sammen med en bevægelig skråtstillet glaslåge fortil, som kan bevæges op og ned i en ret linje. Figur 4.2 viser et typisk eksempel på et stinkskab.



Figur 4.2 Eksempel på et stinkskab.

Materialerne til et stinkskab varierer ligeledes efter behovet, men overordnet skal stinkskabets overflader være rengøringsvenlige, som f.eks. laminatoverflader. Materialevalget for bordpladen skal desuden overvejes grundigt i forhold til hvilke produkter/kemikalier, der skal håndteres i stinkskabet, således at bordpladen er modstandsdygtig overfor den daglige brug.

Overordnet set skal stinkskabets design og valg af materialer ske på baggrund i overvejelser omkring brandfare, radioaktive stoffer, syre eller andre kemiske stoffer, som kræver særlige hensyn. Overfladerne skal være svagt ledende, så gnister som følge af statisk elektricitet undgås. Til dette findes der også en række standarder og godkendelser, som skal sikre at nødvendige foranstaltninger til stinkskabe er overholdt. For eksempel skal stinkskabe og tilhørende ventilationsanlæg, hvor der arbejdes med brandfarlige medier som f.eks. æter være godkendte efter ATEX regelsættet.

Indretningen af laboratoriet, herunder placering af stinkskabene og arbejdet omkring dem, har stor betydning i forhold til sikkerheden og derved også energiforbruget. Konkret betyder det, at placeringen af gangarealer, døre, vinduer, arbejdsområder osv. skal overvejes nøje ved opbygningen eller indretningen af laboratorier. Det er f.eks. u hensigtsmæssigt at placere et stinkskab tæt ved døre og vinduer, hvor der kan forekomme træk, samt steder hvor der ofte er forbi passerende. Generelt er stinkskabe følsomme for strømningsforstyrrelser, hvilket tilsvarende stiller krav til arbejdsgangen i laboratorierne.

Der findes en række specialprodukter til stinkskabe, hvis formål er at øge brugervenligheden, energieffektiviteten og person-/produktikkerheden i et laboratorium. Nedenfor er listet en række eksempler på disse tilføjelsesprodukter sammen med en kort beskrivelse af funktionen.

- LAF-bænke der tilnærmelsesvist ligner stinkskabe, men hvor formålet er at skabe et sterilt arbejdsområde og beskytte produktet. Der eksisterer forskellige metoder til at holde arbejdsområdet sterilt, som f.eks. UV-lamper og specifik indblæsning som sikrer, at der kun kommer ren luft ind til arbejdsområdet. Dertil er materialevalget også af betydning, da det skal sikres at der ikke kan dannes bakteriesporer i mikrorevner.
- Aftræksskabe der også ligner stinkskabe, men med begrænset luftstrømning. Der må ikke arbejdes med sundhedsskadelige eller brandfarlige stoffer i aftræksskabe på grund af den reducerede luftmængde. Disse skabe er særlig relevante i forbindelse med energieffektivisering, hvis der p.t. anvendes stinkskabe til opbevaring af kemikalier.
- Punktudsug eller sugearme, som benyttes ved mindre opstillinger, hvor arbejdsmediet ikke er meget sundhedsskadeligt/farligt. Disse kan benyttes til energieffektivisering og øget brugervenlighed, da et stinkskab medfører visse begrænsninger i mobilitet.
- Kemikalieskabe som er en mere eller mindre separat enhed til stinkskabe, hvis formål er at kunne opbevare kemikalierne på en sikker måde. Skabene monteres typisk på siden af eller under et stinkskab, og er monteret med separat konstant udsug. Skabene bruges til øget brugervenlighed og energieffektivisering således, at kemikalier ikke optager unødvendig plads i et stinkskab.
- Vejeskabe er specifikt bygget til vejning af arbejdsmedier, så eventuel spredning undgås. Disse benyttes hvor stinkskabe eller lignende produkter vil være upraktiske og u hensigtsmæssige. De kan derfor øge brugervenligheden, sikkerheden og i visse tilfælde

energieffektiviteten. Alternativt kan vejningsopstillinger også foregå omkring punktudsug/sugearme. En problemstilling for dem alle er, at luftstrømningen kan påvirke meget præcise vejninger, hvilket der skal tages højde for.

- Platforme inde i stinkskabet, der sikrer uhindret luftstrømning fra arbejdsområdets bagkantssug.

## **4.2 Kortlægning af markedet for stinkskabe**

I dette kapitel introduceres en række sektorer og brancher, hvor der findes laboratorier med behov for procesudsugning, der foretages med stinkskabe, LAF-bænke m.v.. Det beskrives i hvor stort omfang stinkskabe anvendes i de forskellige sektorer, og desuden vurderes størrelsen af det tilknyttede energibesparelspotentiale.

Undersøgelsen er baseret på erfaringer samt litteratur og deri tilgængelige data. Generelt har der ikke været tradition for systematisk at kortlægge det specifikke energiforbrug for laboratorier i de forskellige sektorer, hvilket betyder at forbrug eller antallet af f.eks. stinkskabe på landsplan ikke kendes præcist. Dog findes der data for forbruget af procesenergi, hvor en primær andel tillægges stinkskabe og ventilation alt efter hvilken sektor der betragtes.

Som allerede nævnt foreligger der ingen egentlige statistikker for antallet af stinkskabe, men som tommelfingerregel er der ca. 10.000 stinkskabe i Danmark fordelt i sektorerne. Tallet understøttes af kilder som industriens branchearbejdsmiljøråd, der i 2010 tilsvarende anslog at der var i omegnen af 10.000 stinkskabe [4]. Det vurderes, at tallet med rimelighed kan benyttes selvom, der umiddelbart ikke forefindes andre kilder.

Laboratorier med stinkskabe og anden procesudsug findes i sektorer, som medicinal- og levnedsmiddelindustrien, undervisning- og forskningssektoren og sundhedssektoren, som omfatter hospitaler, sygehuse mm. Stinkskabe benyttes dog ligeledes i andre brancher, men antallet heri antages at være begrænset i forhold til de allerede nævnte sektorer.

### **4.2.1 Undervisning- og forskningsinstitutter**

Undervisnings- og forskningssektoren består af en bred vifte af institutioner, hvor de fleste laboratorier er på universiteterne. Af andre institutioner kan nævnes professionshøjskolerne for laboranter og gymnasierne skønt sidstnævnte ikke udgør en væsentlig andel.

Universiteterne som udgør den langt største andel beskæftiger både laboranter, forskere og studerende. Det er opgjort, at Københavns Universitet og DTU har henholdsvis omkring 1.450 og 600 stinkskabe [5] og [6]. Hvis disse udgør omkring 2/3 af det samlede antal stinkskabe for universiteterne svarer dette til ca. 3.000 stinkskabe fordelt på samtlige universiteter i Danmark.

Ud over universiteterne bør erhvervs- og professionshøjskolerne, som står for en ikke uvæsentlig andel nævnes, men andelen er dog stadigvæk lille i forhold til universiteterne. Erhvervsakademiuddannelserne omfatter bl.a. laborant- og procesteknologuddannelserne, og professionshøjskolerne tilbyder bl.a. bioanalytikeruddannelsen. Fælles for ovennævnte uddannelser, som gør dem interessante at inddrage i nærværende markedsundersøgelse er, at der på uddannelserne arbejdes meget med laboratorimedicianske undersøgelser og analyser, herunder celleprøver, bio- og kemiteknologiske emner. På baggrund af en undersøgelse af

antal stinkskabe set i forhold til antal studerende på de individuelle uddannelsesretninger, anslås det, at der er omkring 200-300 stinkskabe på erhvervs- og professionshøjskolerne.

De gymnasiale uddannelser udgør ligesom erhvervs –og professionshøjskolerne en mindre andel, men ifølge Undervisningsministeriet [7] er der sammenlagt lidt under 150 institutioner for almene gymnasier, HF og studenterkurser, hvor der er stinkskabe i institutionernes kemi-lokaler. Hvis det antages, at der er 2-3 kemilokaler på hver institution med hvert deres stinkskab udgør dette sammenlagt omkring 300-450 stinkskabe.

#### **4.2.2 Medicinal- og levnedsmiddelindustrien**

Produktionen af medicin m.v. foregår i stor udstrækning med automatiserede processer, hvor der ikke anvendes stinkskabe. Der er derimod installeret et meget stort antal stinkskabe, der anvendes i forbindelse med udvikling af ny medicin, kvalitetskontrol osv.. Medicinalindustrien kan inddeles i tre grupper set i forhold til stinkskabe, som er "produktion af medicin", "udvikling af medicin" samt "andet medicinsk udstyr", hvor sidstnævnte sektor ikke benytter stinkskabe.

På baggrund af en rundspørge blandt de større medicinalvirksomheder vurderes det, at der eksisterer i omegnen af 2.000 stinkskabe i sektoren.

Levnedsmiddelindustrien er en fælles betegnelse for private virksomheder, som forsker i, udvikler, fremstiller og/eller markedsfører fødevarer og levnedsmidler. Det antages, at der i forskning- og udviklingsøjemed anvendes stinkskabe tilsvarende som i medicinalindustrien, og på den baggrund vurderes det, at der findes ca. 300 stinkskabe i denne sektor.

#### **4.2.3 Sundhedssektoren**

Laboratorierne i denne sektor findes generelt på hospitaler og analyseinstitutter, hvor de typisk anvendes i forbindelse med analyser af prøver fra patienter. På baggrund af en rundspørge til de forskellige hospitaler og andre relevante institutioner anslås det, at der anvendes omkring 250 stinkskabe i sundhedssektoren.

#### **4.2.4 Potentiale vurdering**

Med udgangspunkt i ovenstående er der udført en kortlægning af potentialet i at energieffektivisere laboratorier, herunder stinkskabe, med henblik på at vurdere det overordnede perspektiv. Der skal dog gøres opmærksom på at deludledningerne i det ovenstående kan indeholde mangler, hvilket gør at kortlægningen ikke nødvendigvis er fuldstændig fyldestgørende. Yderligere skal det påpeges, at markedsanalysens formål er at give en indikator for, hvor stort markedet er og hvor der kan forventes de største besparelspotentialer.

Et stinkskabs energiforbrug er sammensat af elforbruget, som bruges til drift af ventilationsanlægget, der betjener skabet samt den tilhørende styring, og af varmemeforbruget til opvarmning af den indblæste luft. Ifølge målinger på Københavns Universitet er det samlede el- og varmemeforbrug til et helt åbent stinkskab, som er i drift 24 timer pr. døgn omkring 36.800 kWh om året, svarende til omkring fire almindelige parcelhuses varmemeforbrug [5]. Hvis det antages, at et stinkskab benyttes fuldt åbent i otte timer per døgn, svarer dette til et årligt energiforbrug på 12.300 kWh. Dette stemmer overens med industriens branchearbejdsmiljøråd's vejledning vedrørende stinkskabes forbrug, hvor det angives at et typisk stinkskab har et årligt energiforbrug på omkring 10.000 kWh [4]. Det er dog muligt at reducere energiforbruget ved at foretage justeringer af f.eks. driftstid, lugehøjde mm.

For at kortlægningen af det aktuelle besparelspotentiale bliver så præcis som muligt, er det nødvendigt at overveje i hvilken tidsperiode stinkskabene er blevet etableret, og hvor udbredt varmegenvinding er kombineret med virkningsgraden af denne. Tidspunktet for hvornår et stinkskab er blevet monteret har indflydelse på kravet til elforbruget til lufttransport, som gradvist er blevet strammet i Bygningsreglementet. Varmegenvindingen og dens virkningsgrad er omvendt proportional med varmekonsumet og reducerer i mange tilfælde varmekonsumet til et stinkskab til 50-60% af det aktuelle uden varmegenvinding.

I potentiale vurderingen benyttes de førmentalte 10.000 stinkskabe. Det antages, at lidt mere end halvdelen af stinkskabene er opsat før 2005. Set i forhold til energieffektiviseringspotentialet, er det en meget konservativ antagelse eftersom flere skabe givetvis har været opsat inden da. Desuden er det antaget, at de resterende stinkskabe er opsat ligeligt frem til 2014, hvorfor opdelingen ser ud som angivet i Tabel 4.1.

Antal stinkskabe	Tidspunkt [år]	SFP [J/m <sup>3</sup> ]
6.000	-2005	3.200
2.000	2005-2008	2.500
2.000	2008-2014	2.100

Tabel 4.1 - Antal stinkskabe ift. opførelsetidspunkt og SFP-værdi.

Den angivne SFP værdi (Specific Fan Power, dvs. ventilationsanlæggets elforbrug per transporteret m<sup>3</sup> luft) er opgjort ud fra erfaringer fra undersøgelser af laboratorier udført af Teknologisk Institut. Set i forhold til kravet på en SFP værdi på højst 800 J/m<sup>3</sup> for udsugningsanlæg er elforbruget til ventilationsanlæg for laboratorier langt højere. Hvis det antages, at 1/3 af stinkskabene er udrustet med varmegenvinding uanset stinkskabenes etableringstidspunkt giver det et samlet årligt energiforbrug som vist i Tabel 4.2, idet der er antaget en gennemsnitlig årsvirkningsgrad på 40% for varmegenvindingen og en driftstid på 11 timer på hverdage.

Antal stinkskabe	Tidspunkt [år]	Nuværende energiforbrug [GWh/år]	Fremtidigt energiforbrug [GWh/år]
6.000	-2005	125	75
2.000	2005-2008	51	31
2.000	2008-2014	48	29

Tabel 4.2 - Energiforbrug i forhold til antal stinkskabe og opførelsetidspunkt.

På baggrund af de udførte undersøgelser antages det, at energibesparelspotentialet er ca. 40% af det samlede el- og varmekonsum som vist i tabel 4.2.

### 4.3 Retningslinjer for indretning af laboratorier

Et laboratorium defineres ved at være en kontrolleret facilitet, hvori der udføres videnskabelig forskning, forsøg, test eller målinger. Laboratorier varierer betydeligt i forhold til indretning og udstyr alt efter behov. Variationerne ændrer dog ikke ved at den vigtige funktion for laboratorier er, at skabe et sikkert og kontrolleret arbejdsmiljø, både for personalet og for de arbejdsprocesser der foregår.

Behovet for sikkerhed omkring personalet kommer af, at der kan forekomme sundhedsskadelige og i nogle tilfælde ukendte stoffer i forbindelse med det arbejde der udføres. Det kan

også være nødvendigt at have et kontrolleret arbejdsmiljø af hensyn til de arbejdsprocesser der udføres. Det kan være at det er nødvendigt, at sikre mod kontaminering for at opnå valide forsøgsresultater. Alt dette betyder, at der stilles en række krav til laboratoriets indretning og at der skal foretages grundige overvejelser med hensyn til indretningen inden det etableres eller ombygges. De nedenstående kapitler indeholder derfor en kort redegørelse for tiltag og krav, som kan eller vil være nødvendige ved indretning og drift af laboratorier.

#### **4.3.1 Bygning**

Ved opførelse eller renovering af laboratorier er det nødvendigt, at inddrage hele eller de dele af bygningen der sætter de ydre begrænsninger. I helheden er det nødvendigt at inddrage den øvrige anvendelse, disponering, indretning og logistik for bygningen.

#### **Nybyggeri**

Nybyggeri sætter ikke de store begrænsninger for laboratorier, men det er vigtigt at gøre sig overvejelser omkring fleksibiliteten i laboratorierne. Det betyder konkret, at der skal være mulighed for indretnings- og bygningsmæssige ændringer, som kan være påkrævede senere hen i laboratoriedriften. Da nybyggeri og renovering oftest er forbundet med høje investeringer, vil et grundigt overvejet fleksibelt laboratorium sandsynligvis føre til væsentlige besparelser ved den fremtidige drift, hvor forandringer er påkrævet. I forbindelse med nybyggeri anbefales det, at loftshøjden minimum er 2,7 m. Dette vil give fleksibilitet for de tekniske installationer samtidigt med, at det vil øge brugerkomforten. Dette sikrer mulighed for at udvide/ændre installationerne og tilpasse dem til nye laboratorieindretninger med lavest mulige etableringsomkostninger og korte byggeperioder. Over loftet skal der være plads til fremføring af kanaler til indblæsning- og udsugningsluft samt el.

#### **Renovering**

Ved renovering er det nødvendigt at inddrage bygningens øvrige funktioner, hvilket sætter en begrænsning for mulige renoveringer. Derfor er det vigtigt tidligt i renoveringsprocessen at få belyst bygningens fremadrettede egnethed og funktionalitet som laboratoriebygning. Ved mere dybdegående studier mht. renovering og nybyggeri anbefales Bygningsstyrelsens rapport *Krav og anbefalinger til laboratoriebyggeri - 2013*.

#### **4.3.2 Ventilation**

Ventilationssystemer indgår som et vigtigt aspekt i laboratorier, men ventilationen skal samtidig imødekomme et godt indeklima. Ventilationen er isoleret set den største energianvendelse i laboratorier. Stinkskabe medfører, at der er et stort luftskifte i laboratorier, hvilket påvirker energiforbruget, og til tider ligeledes påvirker indeklimaet f.eks. i form af trækgener. Det bør tilstræbes, at luftskiftet i laboratorielokalet holdes under 20-25 gange i timen.

God sikkerhed og godt indeklima samt bedst mulig energieffektivitet stiller således store krav til ventilationssystemet. Overordnet set er det vigtigt, at vurdere om ventilationen af laboratoriet skal indgå som en del af bygningens ventilation eller om der skal etableres et separat anlæg. Derudover skal krydskontaminering mellem indblæsnings- og afkastluft undgås, hvilket begrænser mulighederne af energieffektiv varmegenvinding.

Centralt placerede ventilationsanlæg som forsyner flere laboratoriefaciliteter kan påvirke den fremadrettede fleksibilitet i forhold til indretning og brug af laboratorielokalene. Derimod kan der være økonomiske incitamenter for at benytte centralt placerede, fælles ventilationsanlæg

både i forbindelse med opførelsen og driften af anlægget. Decentralt placerede ventilationsanlæg som forsyner enkelte stinkskabe eller et enkelt laboratorium, giver en større fleksibilitet i forbindelse med ombygning af laboratorier eller etablering af nye faciliteter.

Ventilationssystemets styring skal i mange tilfælde kunne håndtere en meget præcis regulering af luftmængden i indblæsningen og udsugningen, da der i visse laboratorier er krav om et vist over- eller undertryk. Når der er overtryk sikres det, at der ikke tilføres luftbårne fremmedlegemer til laboratoriet. Tilsvarende sikrer undertryk imod, at der ikke slipper skadelige stoffer ud af laboratoriet.

Derudover bør det nøje overvejes, hvordan selve ventilationsanlægget installeres og styres. Der skal være fokus på valg og placering af armaturer (indblæsning og udsugning). Erfaringsmæssigt begås der ofte fejl ved placeringen af armaturerne, idet der ikke er taget hensyn til laboratoriets indretning. Procesudsug, herunder stinkskabe, fungerer kun optimalt i den udstrækning, at omgivelserne tillader det. Dette betyder, at ved forkert placering af indblæsnings- og udsugningsarmaturerne i et laboratorium, vil sikkerheden i forbindelse med arbejde ved et stinkskab ikke være tilstrækkelig og i værste fald ikke overholde sikkerhedskravene fra Arbejdstilsynet.

#### **4.3.3 Laboratoriefaciliteten**

Det er essentielt, at samspillet mellem laboratorieudstyr, døre, gangarealer, vinduer, lys mm. overvejes. Det er f.eks. hensigtsmæssigt, at have god belysning af rummet i forhold til personalet og sikkerheden. Med god belysning menes der et klart oplyst rum, men samtidig skal kraftige skær og refleksioner undgås, som f.eks. kan forekomme i stinkskabenes glasfronter. Dette vil nemlig virke generende, forringe sikkerheden og kan potentielt øge energiforbruget. Desuden skal placeringen af udstyr som sugebokse, vægte etc. overvejes i forhold til døre, gangarealer m.m.. Det er f.eks. u hensigtsmæssigt at placere stinkskabe og følsomt udstyr ved tæt befærdede gangarealer og døre, idet sikkerheden og arbejdet herved forringes. Generelt skal der være et godt samspil mellem anvendeligheden og sikkerheden.

#### **4.3.4 Sikkerhedsprocedurer**

En række sikkerhedskrav er oftest nødvendige i laboratorier, da der ofte anvendes sundhedsskadelige stoffer i forbindelse med det arbejde der udføres. Desuden kan sikkerhedsforanstaltningerne også handle om produktbeskyttelse, hvis produktet er følsomt overfor fremmedelementer. Kemikalier og stoffer vil være klassificeret og mærket, så brugerne kender eventuelle farlige egenskaber ved det enkelte produkt. Dette skal derfor medtages i sikkerhedsforanstaltningerne, både for at undgå uheld, men også for at kunne reagere korrekt hvis uheldet er ude. Sikkerhedsprocedurerne indgår som en del af den overordnede planlægning af laboratoriets indretning og det er derfor vigtigt, at disse foranstaltninger er specificeret grundigt. Sikkerhedsforanstaltninger omfatter typisk kemikalier, depoter, brandfarlige medier, trykflasker osv., og der vil ofte være en række lovkrav som skal overholdes.

Adgangsforholdene til laboratorier har betydelig indflydelse på sikkerheden i laboratorier. Færden i laboratorier kræver kendskab til god adfærd og diverse sikkerhedsprocedurer, som typisk sker gennem uddannelse og information til medarbejdere og gæster. Det er derfor vigtigt at have en vis kontrol med tilgangen til laboratorier, da forkert adfærd vil reducere sikkerheden og den generelle drift i laboratoriet.



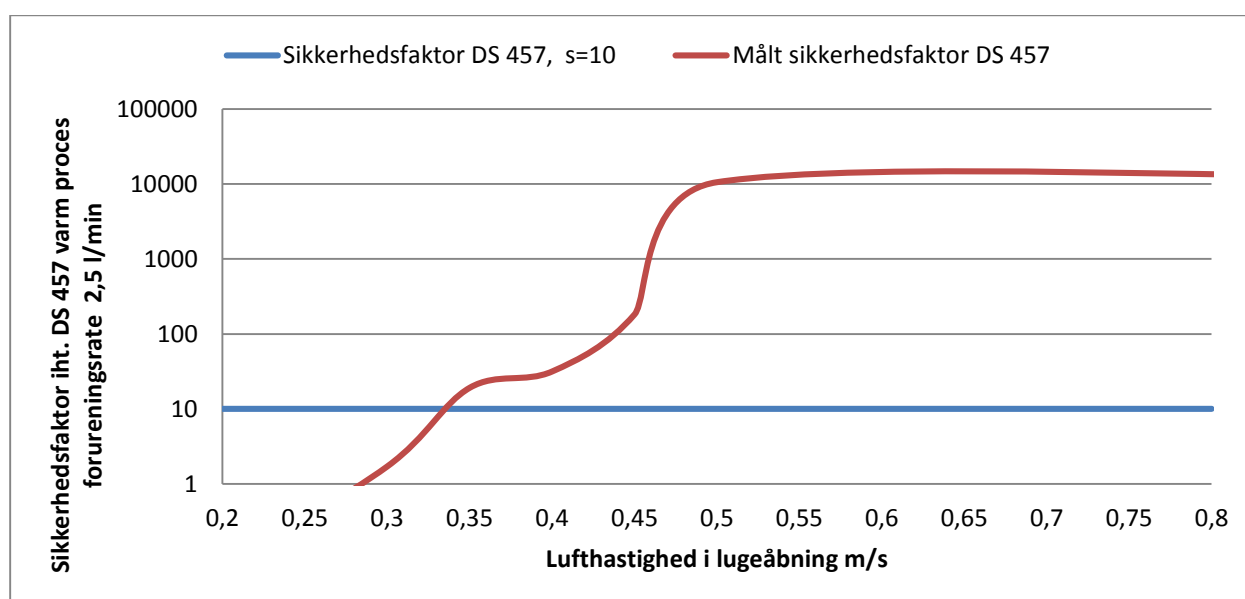
#### 4.3.5 Brugeradfærd

Energiforbruget til stinkske (og LAF-bænke, sugeboxe etc.) er i meget høj grad afhængig af brugeradfærden hos det personale, der benytter laboratoriet. For at holde energiforbruget på et acceptabelt lavt niveau er det vigtigt, at personalet er bevidste om at benytte stinkske-bene korrekt, dvs. f.eks. at:

- åbne lugen så åbningen passer til det arbejde der skal udføres
- lukke lugen når den enkelte arbejdsproces er tilendebragt og ikke først ved arbejdstids ophør
- ikke at forhindre automatisk lugelukning ved at afbryde denne funktion hvis den er installeret, eller ved at anbringe genstande der forhindrer lugelukning.

Udover ovenstående der sikrer, at energiforbruget holdes passende lavt uden at ændre det eksisterende sikkerhedsniveau ved stinkske-driften, er der mulighed for at reducere energiforbruget ved at reducere lufthastigheden i lugeåbningen, - både under brug og ved stilstand.

Figur 4.3 viser sikkerhedsfaktoren for et stinkske med lufthastigheder fra 0,2 m/s i lugeåbningen til 0,8 m/s i lugeåbningen. Figuren er udarbejdet på baggrund af målinger opnået i et idealiseret laboratorium, dvs. at placeringen af stinksket i forhold til indblæsningsarmaturerne, den aktuelle opbygning af lokalet, forbipasserende m.m. er optimal i forhold til at minimere forstyrrelser af skabets funktion. I praksis vil sikkerhedsfaktoren derfor være en smule lavere end vist ved en given lugehastighed. Til gengæld er målingerne der danner baggrund for figuren udført med dysekanaler ophængt under loftet. Det er valgt at anvende disse målinger, da dysekanaler giver de største forstyrrelser af luftbevægelserne foran stinksket sammenlignet med andre typer indblæsning (poser, fortrængningsarmaturer) og dermed en lavere sikkerhedsfaktor end ved f.eks. poseindblæsning.



Figur 4.3 – Målt sikkerhedsfaktor ved indblæsning med dysekanaler.

Af Figur 4.3 ses det, at den i DS457 foreskrevne sikkerhedsfaktor på 10 ikke opnås med en lufthastighed i lugeåbningen på under 0,33 m/s. Dette er dog også en del lavere end en lufthastighed på 0,5 m/s, der normalt tilstræbes ved stinkskabe.

Det ses ligeledes, at sikkerhedsfaktoren øges voldsomt ved at forøge lufthastigheden i lugeåbningen. Sikkerhedsfaktoren er ca. 500 gange højere ved en lufthastighed i lugeåbningen på 0,50 m/s end ved 0,33 m/s.

Der er af gode grunde en vis modvilje hos laboratorieansatte og deres sikkerhedsorganisationer mod at reducere lufthastigheden i lugeåbningen og dermed reducere sikkerhedsfaktoren. En mulighed for at imødegå denne udfordring kunne være at inddele laboratorier efter hvor skadelige stoffer der håndteres. Det kunne f.eks. være:

- Kategori A: laboratorier hvor der håndteres giftige og/eller kræftfremkaldende stoffer
- Kategori B: laboratorier hvor der håndteres andre stoffer

således lufthastigheden i lugeåbningen bibeholdes på 0,5 m/s for kategori A og at den reduceres til 0,35 for kategori B. Alle stinkskabe i samme lokale bør være i samme kategori og det bør være nøje angivet i/ved laboratoriet, så der ikke opstår risiko for brugersikkerheden.

Det er relativt enkelt at ændre lufthastigheden i lugeåbningen, så stinkskabene i et givet laboratorie kan ændre kategori.

## 5 Undersøgelse af varmegenvindingsmuligheder

I nærværende projekt er resultaterne fra andre forskningsprojekter og rådgivningsopgaver vedrørende varmegenvinding fulgt og denne viden er inddraget i dette projekt.

Traditionelt set anvendes der kun varmegenvinding i omkring halvdelen af ventilationsanlæggene som betjener stinkskabe og andet procesudsug, hvilket resulterer i et unødvendigt stort varmeforbrug til opvarmning af erstatningsluften. I de tilfælde, hvor der anvendes eller ønskes anvendt varmegenvinding er det dog uønsket, at indblæsningsluften kontamineres af udsugningsluften, hvorfor varmegenvindingen udføres med væskekoblede batterier (RAC – Round around coils) for fuldstændig adskillelse af luftstrømmene.

Årsagen til den manglende anvendelse af varmegenvinding på området, skal historisk set overordnet findes i det manglende fokus på energieffektivisering, samt den relative lave genvindingsgrad på omkring 30-50% og de relative høje etableringsomkostninger.

Denne historik vil dog i de kommende år ændres på grund af stigende energipriser, men først om fremmest som følge af de nye Ecodesign krav som trådte i kraft i 1/1-2016.

Som følge af Ecodesign regulativet øges kravene til effektiviteten for både væskekoblede og andre varmegenvindingssystemer til ventilationsanlæg betydeligt over den kommende år-række. Dette sker uden at de tilsvarende krav til ventilationsanlæggenes elforbrug reduceres og det dermed er muligt at anvende større varmeoverførende flader. Det betyder, at det er

nødvendigt at forbedre de varmeoverførende egenskaber for de flader, der anvendes til væskekoblede batterier. Alternativt skal der anvendes en anden teknologi, som f.eks. heat-pipes, der sikrer en næsten fuldstændig adskillelse mellem indblæsnings- og udsugningsluften.

Projektet fulgt udarbejdelsen af Ecodesign kravene, deltaget i stakeholder-møder og efterfølgende fulgt industrien tæt i forhold til hvordan industrien tilpasser sig for at imødekomme kravene.

I projektet er der yderligere samarbejdet med ELFORSK projektet "Optimering af væskekoblede batterier" projekt nr. 346009, hvor der ses på mulighederne for at øge effektiviteten af flader til væskekoblede batterier, samt på mulighederne for at øge virkningsgraden af væskekoblede batterier som system. Indtil videre tyder forskningsresultaterne på, at det ikke er muligt at øge effektiviteten af fladerne nævneværdigt gennem ændret fysisk udformning, som f.eks. anden udformning af lameller, rør eller rørrækker. Til gengæld er det muligt at sikre optimal udnyttelse af de væskekoblede batterier gennem bedre styring af væskestrømmen i mellemkredsen. Desuden er der mulighed for at øge hastigheden på væskesiden og derved øge effektiviteten af fladerne og dermed mulighed for at reducere det samlede elforbrug til drift af ventilationsanlæg med væskekoblede batterier. Endelig kan fladeeffektiviteten øges ved at reducere glykolindholdet i væsken til et minimum (beskrives nærmere i det følgende).

Tillige er industrien fulgt løbende i projektperioden, hvor der bl.a. har været fokus på alternative løsninger, hvor projektet har deltaget i udviklingen og test af en alternativ heat-pipe løsning, hvor luftstrømmene stadig adskilles, men det varmeoverførende emne udgøres af heat-pipes, som resulterede i en højere varmegenvindingsgrad.

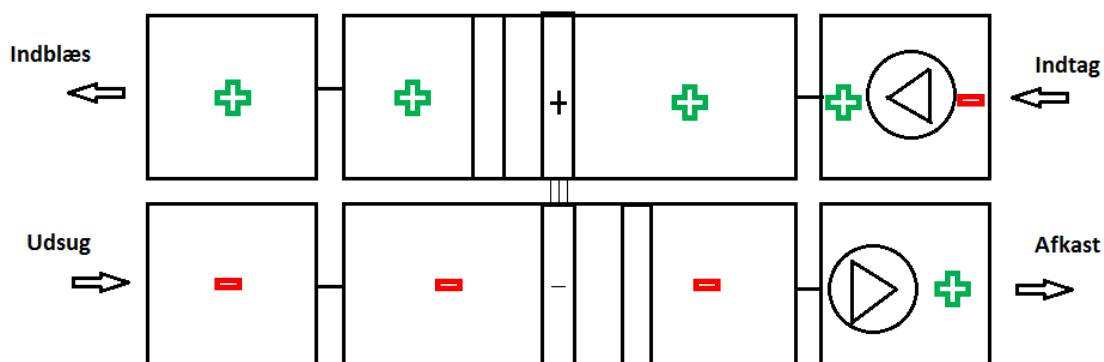
## 5.1 Alternative løsninger til væskekoblede batterier

I projektet er der medtaget erfaringer fra et udviklingsprojekt vedrørende brug af heat-pipes i et traditionelt ventilationsanlæg. Hensigten med udviklingsprojektet var at dokumentere om heat-pipes i praksis er et reelt alternativ til de traditionelle anlæg med væskekoblede batterier. Væskekoblede batterier har som nævnt generelt en ringe varmegenvindingsgrad (omkring 50% for nye anlæg).

Undersøgelsen foretaget for ventilationsanlægget med heat-pipes har primært fokuseret på tætheden eftersom dette er essentielt, hvis en sådant anlæg skal benyttes til laboratorier.

### 5.1.1 Anlægsopbygning

Anlægget er bygget op med et luftmelletrum mellem indblæsnings- og udsugningsdelen, ligeledes ved anlæg med væskekoblede batterier. Figur 5.1 viser opbygningen af anlægget, hvor symboler for henholdsvis over- og undertryk er angivet.

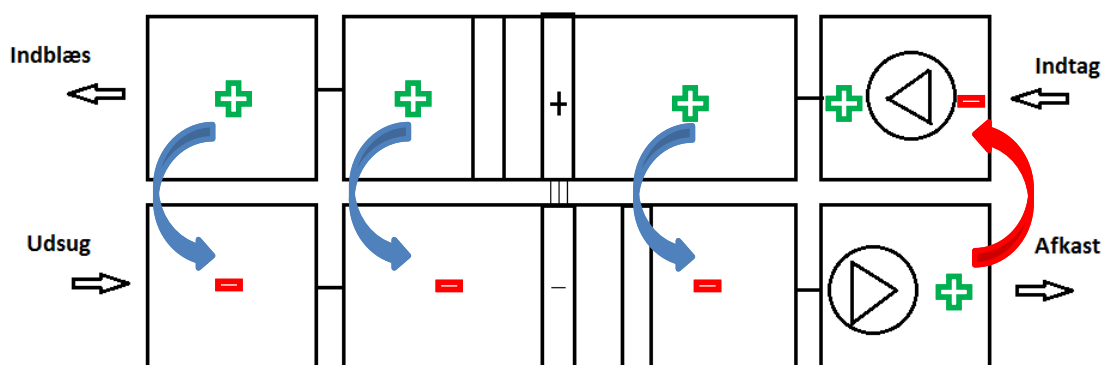


Figur 5.1 – Anlægsopbygning, hvor hhv. over- og undertryk er angivet.

Risikoen for krydskontaminering er begrænset til et absolut minimum ved at indblæsningen og udsugningen er fysisk adskilt. Derudover er det valgt at placere friskluftventilatoren ved indtaget for at skabe overtryk i størstedelen af friskluftkammeret.

### 5.1.2 Luftbevægelse mellem kamrene

På baggrund af opbygningen af anlægget og især placeringen af ventilatorerne er mulige luftbevægelserne mellem kamrene illustreret i Figur 5.2.



Figur 5.2 – Eventuelle luftbevægelser mellem friskluft- og afkastkammer

Som illustreret med Figur 5.2 vil der i størstedelen af anlægget ikke kunne forekomme overførsel af afkastluft til indblæsningen som følge af trykforholdene i anlægget. Umiddelbart vil der kun kunne opstå kontaminering efter afkastventilatoren og før indblæsningsventilatoren.

Der er flere metoder og muligheder til at sikre, at der ikke forekommer kontaminering mellem indblæsningen og udsugningen.

### 5.1.3 Lækage

Den interne lækage i ventilationsanlægget er blevet undersøgt med en lækagetest udført i henhold til EN 308, hvor anlægget udsættes for både over- og undertryk. Resultatet af undersøgelserne har vist, at lækagen i anlægget var omkring 0,15-0,35% ift. EN 308, hvilket anses for at være forsvindende. Hvis afkastluften indeholder særdeles giftige eller kræftfremkaldende stoffer skal der imidlertid stadigvæk foretages andre sikkerhedsforanstaltninger, så risikoen for overførsel forurenede luft fjernes helt.

Dertil bør det nævnes, at teknikrummet kan blive kontamineret, hvis trykket i afkastdelen er højere end det atmosfæriske tryk. Teknikrummet kan eventuelt ventileres således, forurenede luft ventileres væk fra friskluftaggregatet.

Udover at ovenstående skal det selvfølgelig også sikres, at indtags- og afkastshætterne placeres med en tilstrækkelig afstand til hinanden, således den forurenede afkastluft ikke suges ind igen.

#### **5.1.4 Kontrol af alarmsystemer**

Der bør stilles endnu skrappe krav til ventilationsanlæg for laboratorier end for ventilationsanlæg til komfort, - primært fordi de ofte benyttes til fjernelse af giftige og kræftfremkaldende stoffer. Der bør føres kontrol med anlæggene og rummene hvori disse er placeret. Dette gøres med alarmsystemer og visuel kontrol af anlæggene. Følgende ting bør kontrolleres:

- Kontinuert trykmåling i teknikrum
- Kontinuert trykmåling i anlæg og kanalsystem
- Kontinuert ventilatorovervågning
- Regelmæssig inspektion af anlæg og tætninger. Frekvensen af inspektionerne afhænger af stofferne der håndteres
- Regelmæssig lækagemåling med grænseværdikontrol
- Ved filterskift og anden vedligeholdelse af anlæg bør der tages særlige forholdsregler

### **5.2 Væskedelede batterier**

Historisk set har der ikke været den store udvikling på området for væskedelede batterier. Den nye Ecodesign forordning, hvor væskedelede batterier er indeholdt kræver dog midlertidigt, at de traditionelle løsninger og styringsstrategier revurderes og udvikles på ny for at imødekomme de nye og skrappe krav.

I forbindelse med projektet er der som tidligere nævnt medtaget erfaring fra ELFORSK projektet "Optimering af væskedelede batterier" projekt nr. 346009. De overordnede resultater gennemgås i det følgende.

#### **5.2.1 Styring af væskeflow i mellemkredsen**

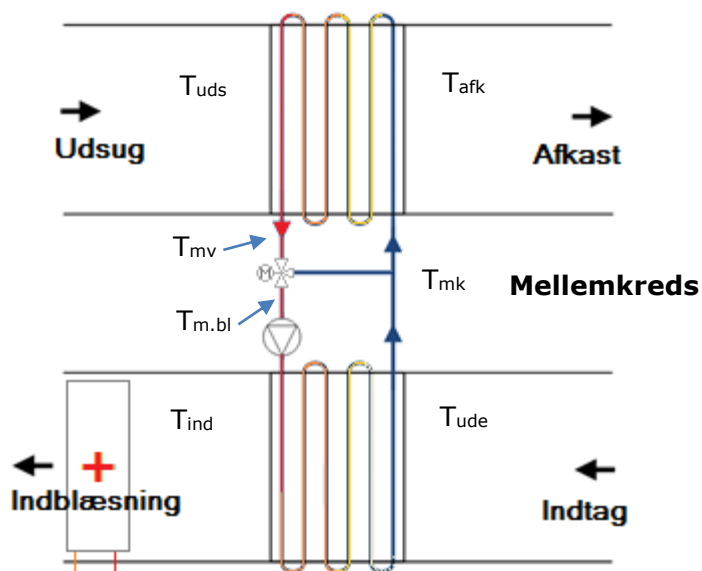
Når varmegenvindingen er i brug i et ventilationsanlæg med væskedelede batterier styres effekten af de varmeoverførende flader ved at regulere væskestrømmen mellem de to flader med enten en trevejsventil eller en frekvensregulerbar pumpe. Reguleringsteknisk kan det forårsage et problem, hvis kapacitetsstrømmen på væskesiden (mellemkredsen) overstiger kapacitetsstrømmen på luftsiden/-erne, fordi reguleringen bliver "fanget" i en driftstilstand på den forkerte side af optimum i tilfælde af varmekald, der overstiger ydeevnen af genvindingssystemet. Den nævnte problemstilling er kun aktuell, hvis totalvirkningsgraden af de væskedelede batterier er over 50%, dvs. at virkningsgraden af hver varmeoverførende flade er over ca. 70%. Dette vil ofte være tilfældet og for nye ventilationsanlæg med væskedelede batterier skal totalvirkningsgraden være 63% i 2016 og 68% i 2018.

Hvis ventilationsanlæggets luftflow er konstante og kapacitetsstrømmen af væskesiden er reguleret ind så den er lig kapacitetsstrømmene på luftsiderne, opstår det førnævnte problem ikke. Men i praksis er luftflowene varierende, idet luftflowene afpasses til behovet på forbrugsstederne, dvs. efter brugen af laboratoriets stinkske etc.. Ved udlægningen af væskedelede kredsen, er der normalt taget udgangspunkt i ventilationsanlæggets dimensioneringstilstand, dvs. maksimal luftmængde. Det medfører, at varmegenvindingens regulering i den del af året, hvor der er behov for maksimal genvinding, ikke nødvendigvis sikrer optimal udnyttelse af genvindingssystemet, idet flowet i væskedelede kredsen kan blive for stort og reguleringen bliver "fanget" i en driftstilstand på den forkerte side af det optimale for genvindingens virkningsgrad.

Det foreslås, at den nuværende reguleringsalgoritme for væskekoblede batterier suppleres med regulering af flowet i mellemkredsen så dette holdes optimalt, når der er behov for størst mulig varmegenvinding. Reguleringen af ydelsen fra væskekoblede batterier reguleres i dag fortrinsvis ved at mellemkredsen er forsynet med en frekvensregulerbar pumpe, således at flowet i mellemkredsen og dermed den overførte varmeeffekt kan reguleres trinløst. Der etableres dog stadig væskekoblede batterier, hvor reguleringen foretages med en trevejsventil som vist nedenstående. Det foreslåede reguleringskoncept er i princippet ens uanset om ydelsen af det væskekoblede batteri reguleres med en frekvensregulerbar pumpe eller med en trevejsventil.

Styringen kan opdeles i tre modes:

1. Pumperegulering, eftervarmefflade er aktiv
2. Regulering ved 3-vejs ventil/pumpe, eftervarmefflade ikke aktiv
3. Overgangen mellem 1 og 2, dødbåndsområde



Figur 5.3 Principdiagram

Formler og udtryk:

- $\Delta T_m = T_{pv} = T_{mv} - T_{mk}$
- $\Delta T_1 = T_{ind} - T_{ude}$
- $\Delta T_2 = T_{uds} - T_{afk}$
- $\Delta T_{set} = (\Delta T_2 + \Delta T_1) / 2$

### Mode 1 Optimering af flow i mellemkreds

I perioder hvor genvindingsfladen ikke alene kan klare opvarmningen af indblæsningsluften til ønsket setpunkt anvendes mode 1.

- Hvis  $T_{set} > T_{pv}$  så skal kapacitetsstrømmen i mellemkredsen reduceres, dvs. cirkulationspumpens omløbstal skal sænkes eller trevejsventilen skal bypass'e en større del af flowet i mellemkredsen
- Hvis  $T_{set} < T_{pv}$  så skal kapacitetsstrømmen øges, dvs. at cirkulationspumpens omløbstal skal øges eller trevejsventilen skal bypass'e en mindre del af flowet i mellemkredsen

- Hvis  $T_{\text{set}} = T_{\text{pv}}$  så skal kapacitetsstrømmen forblive uændret, dvs. cirkulationspumpens omløbstal eller stillingen af trevejsventilen fastholdes

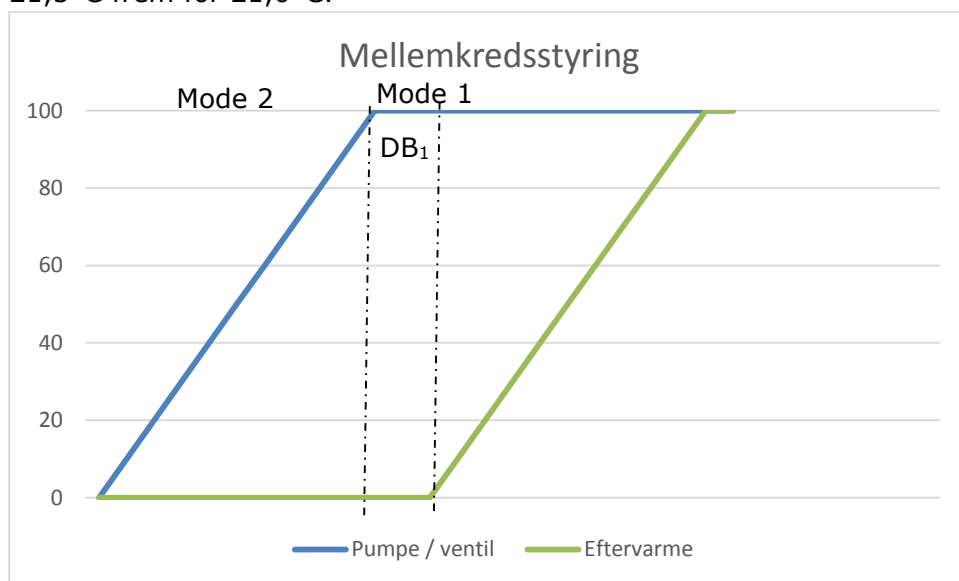
Hvis vekslervarmepladen i det væskekoblede batteri ikke kan opvarme indblæsningsluften til setpunktet vil eftervarmepladen træde ind, se figur 7.1.2. Der anbefales, at have et dødbånd mellem, så ventilen på varmepladen og pumpen ikke vil komme til pendle.

### Mode 2 Pumpe- eller ventilregulering

I de perioder hvor genvindingen er tilstrækkelig til at opvarme indblæsningsluften til den ønskede temperatur anvendes mode 2, der er almindelig fremløbstemperaturregulering, dvs. at flowet i mellemkredsen reguleres med enten en frekvensregulerbar pumpe eller med en trevejsventil, så den ønskede indblæsningstemperatur opnås.

### Mode 3 (DB1)

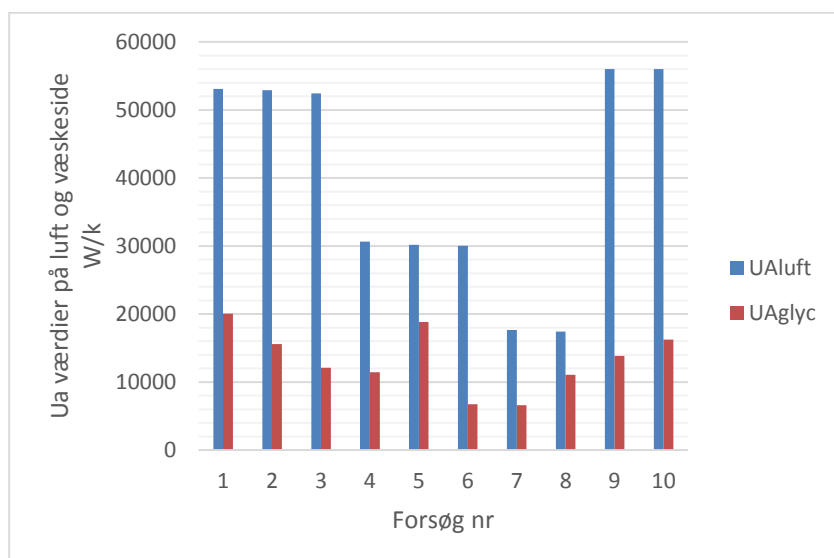
Det er altså  $T_{\text{ind}}$  som er afgørende for om det er mode 1 eller 2 som er aktiv. Der vil være tidspunkter, hvor reguleringen af flowet i mellemkredsen veksler mellem mode 1 og 2. For at undgå at der opstår pendling mellem styringen af det væskekoblede batteri og eftervarmepladen er det nødvendigt at ligge et dødbånd  $DB_1$  ind. Dette kan f.eks. klares ved at lave et setpunkts-interval for indblæsningstemperaturen frem for en eksakt værdi, f.eks. 20,5-21,5°C frem for 21,0°C.



Figur 5.4 Styringskurve

### 5.2.2 Øget effektivitet ved øget tryktab i mellemkredsen

I forbindelse med det førnævnte ELFORSK projekt er der udført målinger af en flade i Teknologisk Institut's EuroVent laboratorium. Der er bl.a. udført målinger der kan anvendes til at beregne fladens varmegangstal (UA'værdi) på både væske- og luftsiden. De beregnede UA værdier er vist i Figur 5..



Figur 5.5 - Varmeovergang på væske og på luftsiden for den testede veksler. Det ses at varmeovergangen på luftsiden er meget bedre end på væskesiden. Søjle 1-8 er baseret på målinger og søjle 9 og 10 er beregnede værdier ud fra en model der er opstillet på baggrund af målingerne.

Det ses, at UA værdien typisk er 3-4 højere på luftsiden end på væskesiden, hvilket skyldes at arealet på luftsiden er langt større end på væskesiden. Gennem de seneste årtier er der sket en væsentlig optimering af fladernes luftsiden (finneudformning, finneafstand) for at minimere tryktab og optimere varmeovergangen. Der er tilsyneladende ikke foretaget den samme optimering på fladernes væskeside. Det er dog velkendt at varmeovergangstallet på væskesiden afhænger betydeligt af væskehastigheden og væskens indhold af glykol, idet både højere hastighed og lavere glykolprocent giver bedre varmeovergang. Som det fremgår af projektet er det muligt at reducere tryktabet på fladens luftsiden med ca. 40% ved fastholdt tryktab på væskesiden, fastholdt facehastighed (lufthastighed gennem fladen) og fastholdt kapacitet på fladen ved at reducere glykolprocenten fra 30% (der er standard) til 21% (der sikrer mod brud af veksleren). Ud over glykolprocenten er det interessant at undersøge mulighederne for at øge effektiviteten ved at øge hastigheden og dermed tryktabet på væskesiden, idet:

- der ved at forøge hastigheden på væskesiden og dermed øge væskesidens UA værdi er muligt at reducere fladens dybde, således at tryktabet på luftsiden reduceres for fastholdt kapacitet og lufthastighed gennem fladen
- pumpen i mellemkredsen har en betydelig kortere årlig driftstid end ventilationsanlæggets blæsere og dermed udgør energiforbruget til pumpen en forholdsvis mindre andel af ventilationsanlæggets samlede energiforbrug end energiforbruget til blæserne, der skal overvinde tryktabet gennem fladerne året rundt
- effektoptaget til pumpen i mellemkredsen er væsentligt lavere end effektoptaget til blæserne som følge af tryktabet over fladernes luftsiden.

Endelig viser beregninger med TT-Coils dimensioneringsprogram, at der kan opnås en radikalt lavere pris og vægt på fladerne ved stigende tryktab på væskesiden ved fastholdt samme facehastighed og kapacitet.

Det er dog således, at et højere tryktab på væskesiden vil medføre behov for en anden pumpe type end der p.t. er i praksis. Normalt anvendes vâdløbere med ét trin, der kan yde et tryk



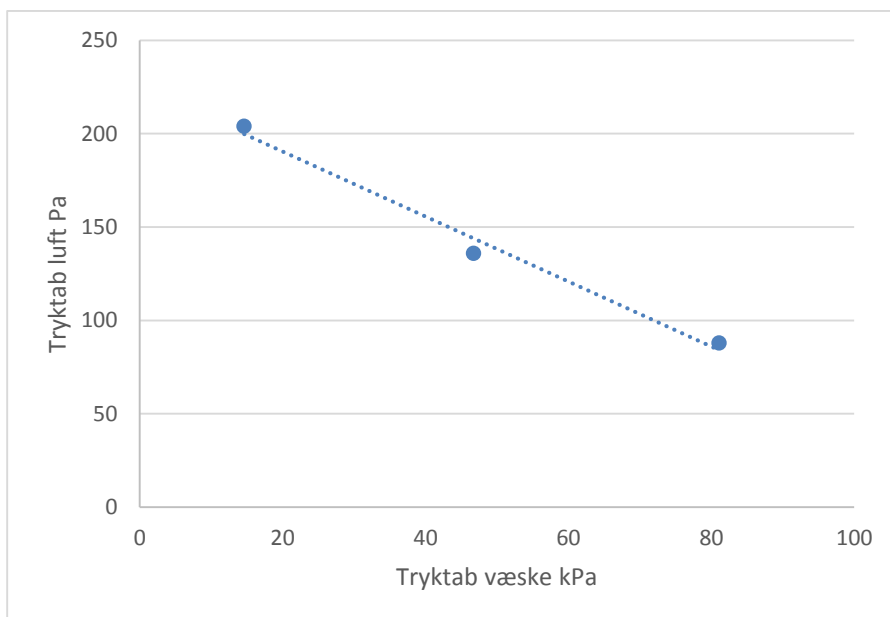
på 40 til 80 kPa, men ved behov for højere pumpetryk vil det være nødvendigt at anvende flertrinspumper. Disse pumper er dyrere, men prisreduktionen på fladerne kan mere end rigeligt dække meromkostningen ved en kraftigere pumpe.

I det følgende er der foretaget beregninger med udgangspunkt i følgende data:

Driftstid pr. dag [timer]	12
Indblæsningstemp. [°C]	17
Luftmængde [m <sup>3</sup> /h]	10.000
Udsugningstemperatur [°C]	22
Effektivitet pr. veksler [-]	0,83
Effektivitet total for genvindingen [-]	0,72
Facehastighed [m/s]	1,6
Varmepris [kr./kWh]	0,4
Elpris [kr./kWh]	0,8

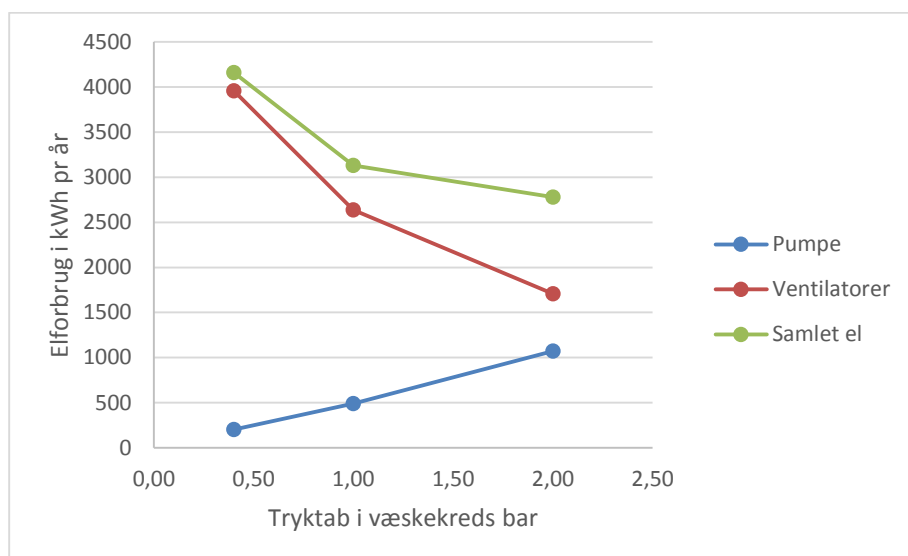
Tabel 5.1 – Eksempel på anlæg

Sammenhængen mellem tryktabet på luftsiden og på væskesiden for en flade med de i Tabel 5.1 givne data, dvs. med fastholdt effektivitet, er vist i Figur 5..



Figur 5.6 - Tryktab på luftsiden som funktion af tryktab på væskesiden – anlægsstørrelse 10.000 m<sup>3</sup>/h.

Sammenhængen mellem det totale elforbrug der kan tilskrives drift af pumpe og tryktabet over fladernes luftsiden som funktion af tryktabet på væskesiden er vist i Figur 5..



Figur 5.7 - Samlet elforbrug for pumpe og blæsere til overvindelse af tryktab over fladernes luftside som funktion af differenstrøkket på væskesiden – anlægsstørrelse 10.000 m<sup>3</sup>/h.

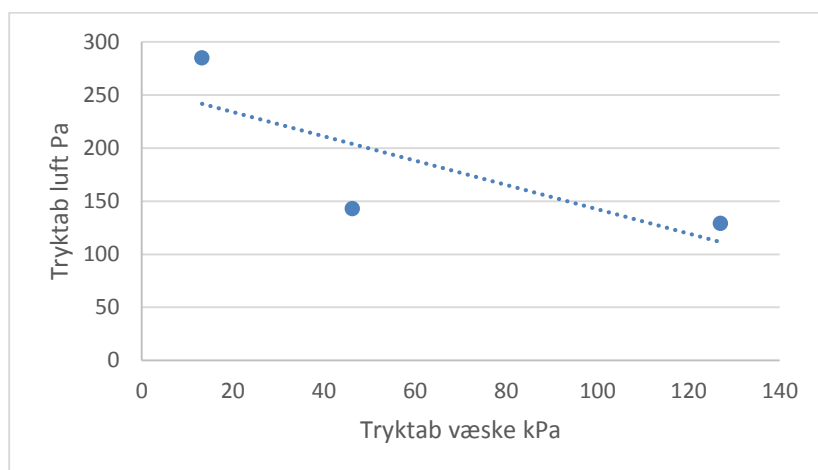
Ved at øge trykdifferensen i væskekrede stiger elforbruget til pumpen samtidig med at elforbruget til blæserne falder pga. det lavere tryktab i luftkrede. Herved falder det samlede elforbrug som illustreret i Figur 5.. Det ses dog at det samlede elforbrug flader ud. Desuden vil det samlede elforbrug stige igen, hvis differenstrøkket på væskesiden øges voldsomt. Elforsbrug er beregnet ud fra referenceårets graddagefordeling. Pumpen stopper, når indblæsningstemperaturen bliver højere end udetemperaturen og der er ikke taget højde for at pumpen kan køre dellast en del af tiden (hvis der er monteret en frekvensreguleret pumpe, hvilket ofte er tilfældet). Derfor er energibesparelsen i Figur 5. vist til den sikre side.

Der er udført en række beregninger for varmeblader beregnet for 3600 m<sup>3</sup>/h for at undersøge om luftmængden har betydning for konklusionerne.

Driftstid pr. dag [timer]	12
Indblæsningstemp. [°C]	17
Luftmængde [m <sup>3</sup> /h]	3.600
Udsugningstemperatur [°C]	22
Effektivitet pr. veksler [-]	0,83
Effektivitet total for genvindingen [-]	0,72
Facehastighed [m/s]	1,6
Varmepris [kr./kWh]	0,4
Elpris [kr./kWh]	0,8

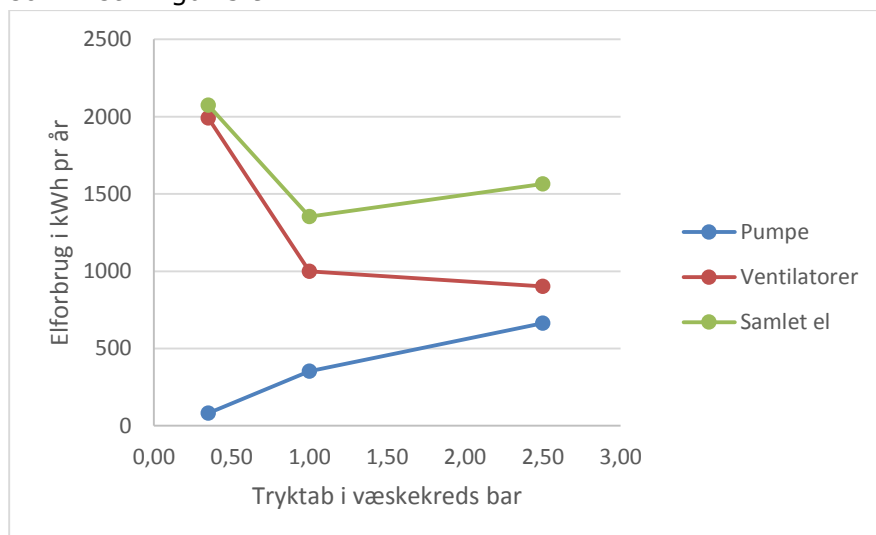
Tabel 5.2 - Eksempel 2 med mindre luftmængde.

Sammenhængen mellem tryktabet på luft- og væskesiden for en flade med de data der er vist i Tabel 5.2 er vist i Figur 5..



Figur 5.8 - Tryktab på luftsiden som funktion af tryktab på væskesiden – anlægsstørrelse 10.000 m<sup>3</sup>/h.

I dette tilfælde er sammenhængen mellem det totale elforbrug og tryktabet i væskekredsen som vist i Figur 5.9.



Figur 5.9 - Samlet elforbrug for pumpe og blæsere til overvindelse af tryktab over fladernes luftsiden som funktion af differenstrykket på væskesiden – anlægsstørrelse 3.600 m<sup>3</sup>/h.

Det ses, at det optimale tryktab på væskesiden i dette tilfælde er omkring 1 bar. Det er derfor muligt at optimere det fremtidige energiforbrug for ventilationsanlæg med væskekoblede batterier ved at foretage et korrekt, bestemt valg af tryktabet i væskekredsen. I forhold til det traditionelle område med differenstræk på væskesiden på 30 til 60 kPa pr. veksler, viser beregningerne, at tryktabet med fordel kan øges. For større ventilationsanlæg bør tryktabet måske være ca. 100 – 120 kPa pr. veksler, og for mindre ventilationsanlæg bør tryktabet på væskesiden være 60 – 100 kPa pr. veksler. Det optimale tryktab på væskesiden skal findes ved en beregning i det enkelte tilfælde. Disse beregninger kan uden videre udføres af en fladeleverandør i det konkrete tilfælde. Konklusionen på beregningerne er, at det er en fordel at øge tryktabet på væskesiden, idet der både opnås en reduktion af det samlede elforbrug og en reduktion i den samlede pris for ventilationsanlægget.

I kapitel 5.2.1 er der beskrevet en model til optimal styring af flowet i mellemkredsen. I den forbindelse skal det nævnes, at hvis det vælges installere et væskekoblet batteri med højt tryktab i væskekredsen og en trevejsventil til regulering ved dellast, er det ikke muligt at give

ventilen en høj trykfaldsandel. Løsningen på dette er at montere en pumpe med proportionalregulering, hvorved omdrejningstallet reduceres ved delast. Det kan let vises at dette formelt ændrer ventilautoriteten på en meget gunstig måde.

Det skal dog bemærkes, at det er mere og mere almindeligt at regulere ydelsen af det væskekoblede batteri ved at anvende en frekvensregulerbar pumpe.

### 5.2.3 Reduceret glykolindhold i mellemkredsens væske

I mange år har det været en tommelfingerregel, at effektiviteten af væskekoblede batterier reduceres med ca. 1% for hver 2% glykolindhold, der er i den cirkulerende væske i mellemkredsen, regnet i forhold til rent vand i mellemkredsen. Derfor anvendes der også i en del tilfælde rent vand i mellemkredsen på nogle ventilationsanlæg. Udfordringen er blot at den eneste fuldstændig fejlsikre metode at frostsikre mellemkredsen og de to varmeplader på, er at anvende en frostsikret væske i mellemkredsen. I praksis anvendes der udelukkende propylenglykol til frostsikring, da etylenglykol blev forbudt for år tilbage, da det er giftigt for omgivelserne. Det er p.t. i de fleste tilfælde normal praksis at tilsætte ca. 30% glykol til væsken i mellemkredsen af hensyn til frostsikring og for at sikre tilstrækkelig korrosionsbeskyttelse. Men da glykol i mellemkredsen reducerer de varmeoverførende egenskaber samt øger pumpearbejdet i mellemkredsen er det interessant at skelne med brudsikring og frostsikring af mellemkredsen, dvs. mellem hvilken glykolprocent der sikrer mod brud på varmeplader, rør etc. og hvilken glykolprocent der sikrer mod isdannelse i mellemkredsens væske.

Når temperaturen falder til under væskens frysepunkt vil en del af vandet i væsken udkrystallisere og frysepunktet for den resterende væske sænkes. Kombinationen af iskrystaller og væske vil være en pumpbar grød, der ikke er egnet under normal drift. Desuden betyder dannelsen af iskrystaller, at volumen af væsken øges mere og denne udvidelse skal kunne optages i mellemkredsens ekspansionssystem.

Nedenstående tabel viser volumenindholdet af propylenglykol for forskellige brud- og frostsikringstemperaturer.

Temperatur [°C]	Brudsikring [%]	Frostsikring [%]
-7	12,6	18,8
-12	20,9	30,4
-18	25,1	37,7
-23	29,3	44,0
-29	31,4	48,2
-34	34,6	52,4
-40	36,6	56,5
-46	36,6	59,7
-51	36,6	62,8

Tabel 5.3 - Brud- og frostsikringstemperaturer ved sikring med propylenglykol.<sup>1</sup>

Det ses, at 30% propylenglykol frostsikrer mellemkredsen til -12 °C, hvilket er den minimale, dimensionerende udetemperatur. Det ses ligeledes, at der opnås brudsikring ned til -12 °C

<sup>1</sup> Kilde: Dow Chemical Company

ved at tilsætte 21% glykol, eller næsten 10% mindre. For at illustrere betydningen af glykolprocenten i mellemkredsen, er der foretaget en beregning med et program fra TT Coil A/S til dimensionering af varmeplader<sup>2</sup>, der viser at for fastholdt kapacitet og faceareal, vil det varmeoverførende areal samt tryktabet på luftsiden være 40% større, hvis glykolprocenten er 30% fremfor 21%. Tryktabet på væskesiden er uændret. Der er således et betydeligt energimæssigt og økonomisk incitament til at se kritisk på indholdet af propylenglykol i mellemkredsen.

### 5.3 Ecodesign krav

I det følgende er der kun medtaget enkelte punkter fra Ecodesign forordningen, som er særlig relevant for væskekoblede batterier og deraf stinkskaftsdriften. Som bilag er der vedlagt en gennemgang af den fulde Ecodesign forordning samt energimærkningsforordning og yderligere information kan findes på: <http://www.ventilationunits.eu>. Ecodesign vedrører alle ventilationsanlæg til "replace utilised air by outdoor air", herunder:

- UVU (uni directional)
  - En-vejs ventilationsaggregater over 30 W
- BVU (bi directional)
  - To-vejs ventilationsaggregater over 30 W pr. luftstrøm

Anlæggene er opdelt i følgende to kategorier:

- RVU (residential ventilation units)
  - Mindre aggregater
  - Maksimalt flow under 250 m<sup>3</sup>/h
  - I mellem 250 og 1.000 m<sup>3</sup>/h er det selvvalgt
- NRVU (Non residential ventilation units)
  - Større aggregater med nominelt flow over 250 m<sup>3</sup>/h
  - I mellem 250-1000 m<sup>3</sup>/h er det selvvalgt, men alle anlæg over 1.000 m<sup>3</sup>/h er NRVU

Ventilationsanlæg, som betjener laboratorier med stinkskafts, vil sandsynligvis altid være en NRVU, hvorfor denne kategori er særligt interessant. Det særlige i Ecodesign kravene er, at der både stilles krav til unittens (eller ventilatorens) transportenergi samt til dennes varmegenvindingseffektivitet.

Der har i Ecodesign forordningens begyndelsesfase hersket tvivl om, hvorvidt renrum og andre lignende laboratorier var underlagt kravene i forordningen. Dette er siden blevet debatteret meget og holdningen er, at generelt al laboratorieventilation er omfattet. Mere om dette kan findes i bilag.

---

<sup>2</sup> ttc Design V5

### 5.3.1 Overordnede krav til UVU og BVU

NRVU minimumskrav	pr. 1/1-16	pr. 1/1-18
<b>BÅDE TOVEJS- OG ENVEJS (BVU OG UVU)</b>		
Flertrinsdrev <sup>*1</sup>	✓	✓
Trinløs regulering <sup>*1</sup>	✓	✓
Visuelt alarmsignal for filter		✓
<b>TOVEJS (BVU)</b>		
Varmevindingssystem med bypass	✓	✓

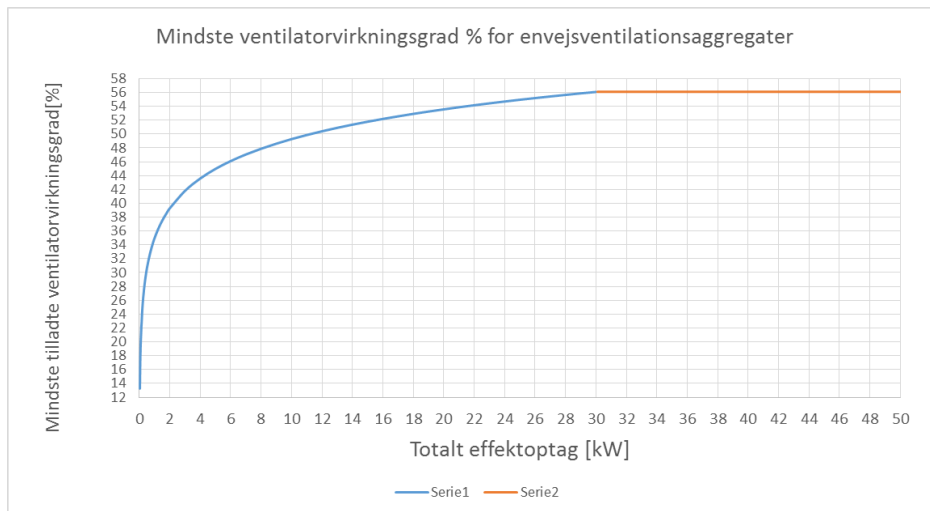
<sup>\*1</sup> Undtagen aggregater til dobbelt anvendelse  
<sup>\*2</sup> Herunder ventilationsaggregater beregnet til at få én kanal tilsluttet på enten tilførsels- eller udsugningssiden

Figur 5.10 - Krav til UVU og BVU.

### 5.3.2 Specifikke minimumskrav til UVU i NRVU

NRVU minimumskrav	pr. 1/1-16	pr. 1/1-18
<b>ENVEJS (UVU)</b>		
Min. ventilator-virkningsgrad ( $\eta_{v,u}$ )	6,2 % * In(P) + 35,0 %, hvis $P \leq 30$ kW og 56,1 %, hvis $P > 30$ kW	6,2 % * In(P) + 42,0 %, hvis $P \leq 30$ kW og 63,1 %, hvis $P > 30$ kW
Max. intern specifik ventilatoreffekt af ventilationskomponenter	Beregnet til anvendelse med filter: 250	Beregnet til anvendelse med filter: 230

Figur 5.11 - Krav til UVU i kategorien NRVU.



Figur 5.12 – Krav til UVU og BVU

## 5.3.3 Specifikke minimumskrav til BVU i NRVU

NRVU minimumskrav	pr. 1/1-16	pr. 1/1-18
<b>TOVEJS (BVU)</b>		
<b>IKKE-VÆSKEKOBLEDE</b>		
Min. temperaturvirkningsgrad	$\eta_{t\_nrvu}$ på 67%	$\eta_{t\_nrvu}$ på 73%
Max. intern specifik ventilatoreffekt af ventilationskomponenter	$1.200 + E - 300 * q_{nom} / 2 - F$ , hvis $q_{nom} < 2 \text{ m}^3/\text{s}$ og $900 + E - 300 * q_{nom} / 2 - F$ , hvis $q_{nom} \leq 2 \text{ m}^3/\text{s}$	$1.100 + E - 300 * q_{nom} / 2 - F$ , hvis $q_{nom} < 2 \text{ m}^3/\text{s}$ og $800 + E - F$ , hvis $q_{nom} \leq 2 \text{ m}^3/\text{s}$
Effektivitetsbonus	$E = (\eta_{t\_nrvu} - 0,67) * 3000^{*1}$	$E = (\eta_{t\_nrvu} - 0,73) * 3000^{*3}$
<b>VÆSKEKOBLEDE</b>		
Min. temperaturvirkningsgrad	$\eta_{t\_nrvu}$ på 63%	$\eta_{t\_nrvu}$ på 68%
Max. intern specifik ventilatoreffekt af ventilationskomponenter	$1.700 + E - 300 * q_{nom} / 2 - F$ , hvis $q_{nom} < 2 \text{ m}^3/\text{s}$ og $1.400 + E - F$ , hvis $q_{nom} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$	$1.600 + E - 300 * q_{nom} / 2 - F$ , hvis $q_{nom} < 2 \text{ m}^3/\text{s}$ og $1.300 + E - F$ , hvis $q_{nom} \leq 2 \text{ m}^3/\text{s}$
Effektivitetsbonus	$E = (\eta_{t\_nrvu} - 0,63) * 3000^{*2}$	$E = (\eta_{t\_nrvu} - 0,68) * 3000^{*4}$

\*1 Forudsætter min. temperaturvirkningsgrad på 67%, ellers er E = 0

\*2 Forudsætter min. temperaturvirkningsgrad på 63%, ellers er E = 0

\*3 Forudsætter min. temperaturvirkningsgrad på 73%, ellers er E = 0

\*4 Forudsætter min. temperaturvirkningsgrad på 68%, ellers er E = 0

Figur 5.3 - Krav til BVU i kategorien NRVU.

Særlig interessant er som tidligere anført kravene til henholdsvis de væskekoblede batteriers effektivitet samt tilhørende interne SFP (SFPint) som sikrer, at elforbruget ikke tilsvarende må stige, hvilket allerede nu har affødt en stor udvikling inden for området, da der tidligere ikke har været et eneste produkt på markedet, der har kunnet klare så høje effektkrav.



## 6 Faktorer som påvirker sikkerheden for stinkskabe

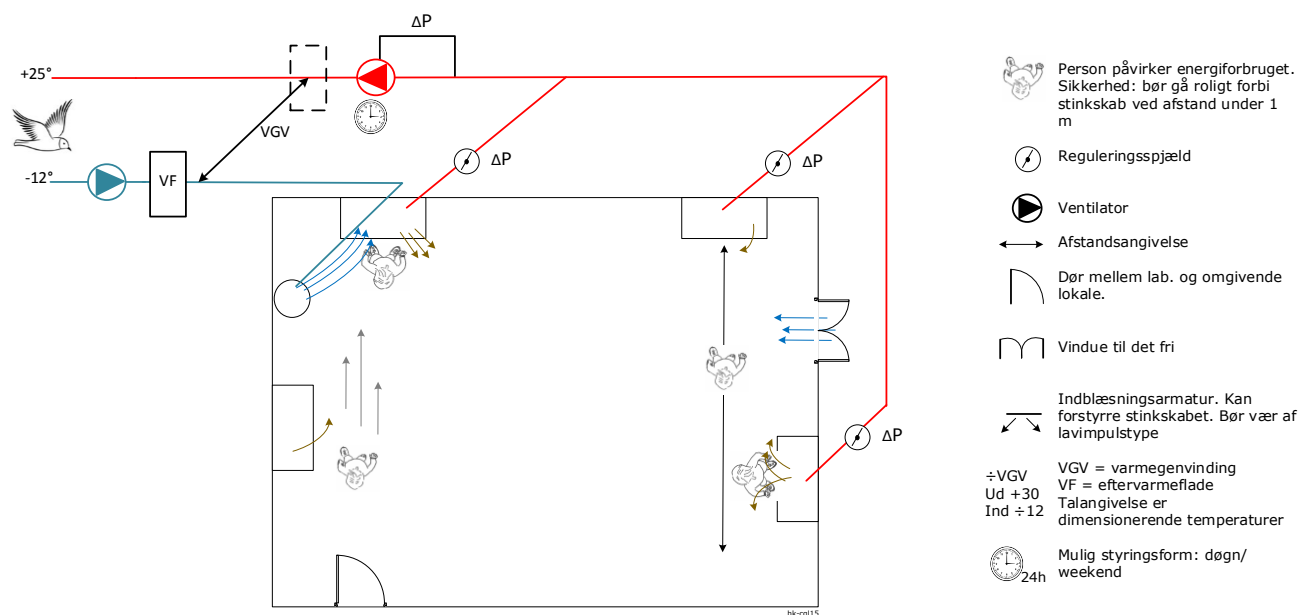
I dette kapitel beskrives kort interaktionen mellem forskellige gængse laboratoriekomponenter, laboratoriet som helhed (indretning) og stinkskabet.

Fokus er på faktorer, som utilsigtet kan skabe luftbevægelser foran stinkskabet, som i værste fald kan forringe sikkerheden ved arbejde i og omkring stinkskabet. Det er derfor essentielt, at indretningen af laboratoriet som helhed nøje overvejes i forhold til brugen og omgivelserne.

Nedenfor er listet hvilke tekniske såvel som menneskelige faktorer der kan skabe turbulensdannelser foran stinkskabet.

- Typen af indblæsningsarmatur
- Placeringen af indblæsningsarmatur
- Døre
- Vinduer
- Den menneskelige faktor
- Antallet af stinkskabe
- Udformningen og indretningen af stinkskabet

Ovenstående liste er sammendraget i nedenstående figur.



Figur 6.1 - Faktorer som kan påvirke sikkerheden ved arbejde ved stinkskab.

Disse faktorer beskrives i de tre efterfølgende kapitler, hvor første kapitel 7 "Test og udvikling af komponenter til laboratoriet" fokuserer på indblæsningen i et laboratorium, og på hvordan det er muligt at ændre eller tilføje komponenter for at afhjælpe eller helt fjerne en forstyrrelse. I kapitel 8 "Undersøgelse af bygnings- og menneskeskabte luftforstyrrelser" undersøges det, hvordan døre, vinduer og brugere påvirker sikkerheden ved stinkskabet. I kapitel 9 "Test og udvikling af add-ons til stinkskabe" beskrives selve stinkskabet og de muligheder der foreligger for at gøre stinkskabet bedre mht. rensningseffektiviteten.

## 7 Test og udvikling af komponenter til laboratoriet

I dette kapitel undersøges og testes komponenter til indblæsning i laboratorier m.m.. Komponenterne er alle selvstændige komponenter, som direkte eller indirekte interagerer med stinks-kabet og andet procesudsug.

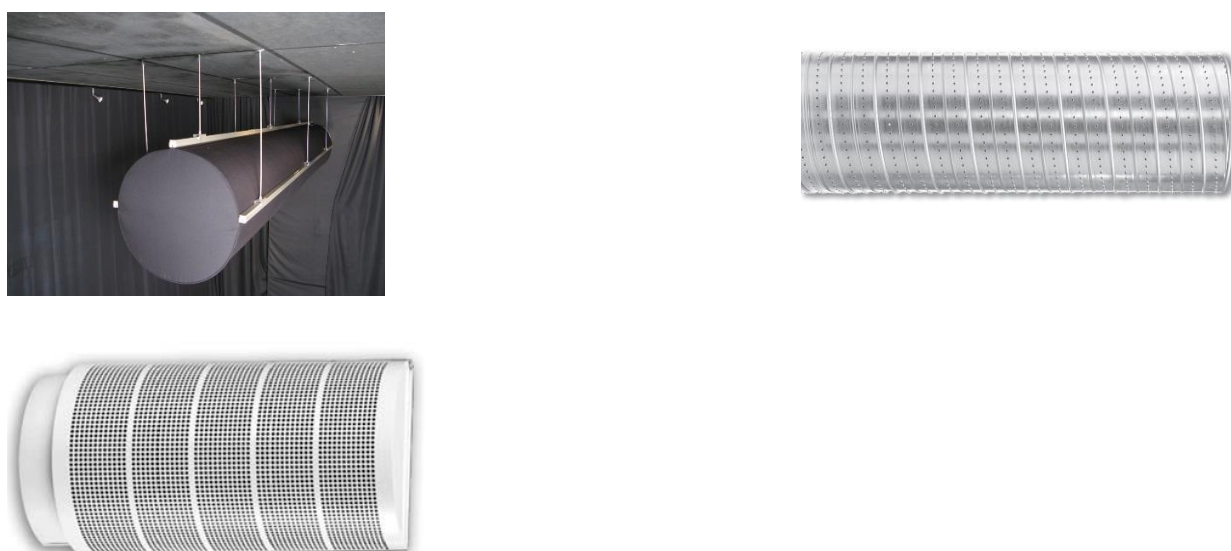
Alle forsøg er udført i et forsøgslaboratorium (TLS) på Teknologisk Institut. Forsøgslaboratoriet er beskrevet i bilagene. Fælles for forsøgene har været at fokus var at reducere energiforbruget og optimere indeklimaet uden at afgørende sikkerhedsmæssige aspekter for brugerne påvirkes.

### 7.1 Forsøg med eksisterende indblæsningsarmaturer

Tidligere studier peger på, at sikkerheden ved stinks-kabet er meget afhængig af omgivelserne i laboratoriet. Det er derfor af betydning, at der foretages en overordnet betragtning af samspillet mellem selve bygningen og laboratoriets tekniske installationer, herunder indblæsningsarmaturer, som typisk placeres i nærhed af stinks-kabene.

Der er derfor foretaget forsøg med forskellige indblæsningstyper og placeringen af disse i forhold til et stinks-kab for at undersøge, hvordan luftstrømningerne uddarter sig med henblik på at kunne vurdere om setup'et er kritisk i forhold til at undgå udslip af skadelige gasser fra stinks-kabet til det omkringliggende laboratorium.

Ved forsøgene var det ønskeligt at fremprovokere luftforstyrrelser omkring stinks-kabet, hvorfor gældende krav til maksimale tilladelige lufthastigheder ikke blev overholdt i alle tilfælde. Den maksimale tilladte lufthastighed i målerummet omkring stinks-kabet er normalt 0,2 m/s. I forbindelse med forsøgene blev lydforholdene fra indblæsningsarmaturerne ligeledes vurderet. Der er undersøgt tre forskellige indblæsningssystemer som alle anvendes i laboratorier: indblæsningspose, perforeret dysekanal og CBA armatur.



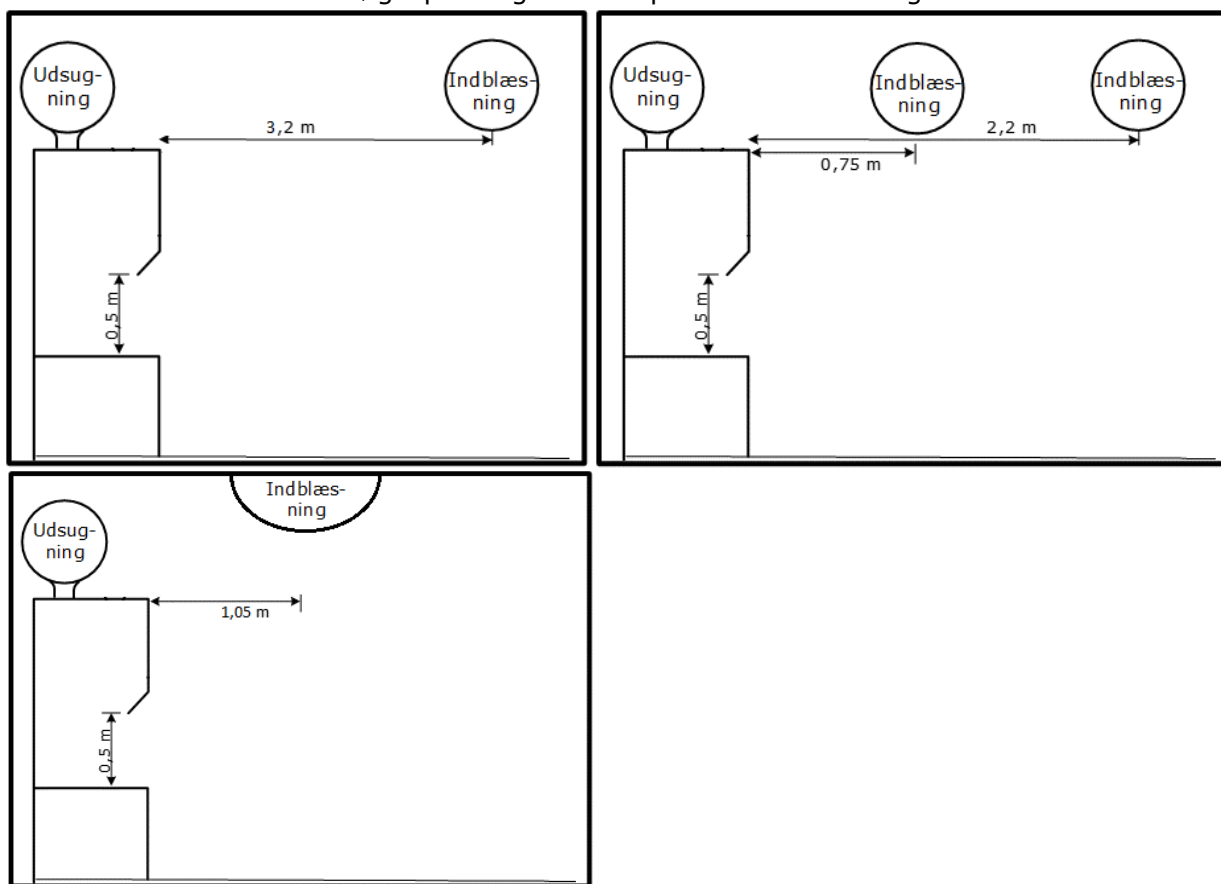
Figur 7.1 - Eksempel på indblæsningspose, perforeret dysekanal og CBA armatur.

### 7.1.1 Forstyrrelser fra indblæsningsarmaturer

Der er foretaget forsøg med alle tre typer indblæsningsarmaturer, hvor lufthastighederne er målt i og omkring stinkskaftet.

Ved alle forsøg er indblæsnings- og udsugningsluftmængderne (lufthastigheden i lugeåbningen) varieret, således ventilationen er balanceret. Almindeligvis opretholdes et mindre undertryk i laboratorier for at reducere spredning af eventuelle udslip til omkringliggende lokaler. Der kan dog forekomme laboratorier, såsom renrum, hvor et overtryk er ønskeligt.

I forsøgene varieres lufthastigheden i lugeåbningen fra 0,2 til 1 m/s. I bilag 17.2 side 83 kan måleresultaterne ses. Forsøgsopstillingerne ses på nedenstående figurer.



Figur 7.2 – Første figur viser måleopstillingen med en indblæsningspose. Anden figur viser måleopstillingen med to perforerede dysekanaler og sidste med et CBA armatur.

### 7.1.2 Opsummering

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 3.060 m<sup>3</sup>/h varierede lufthastigheden ved lugeåbningen mellem ca. 0,015-0,05 m/s i vertikal retning. Foruden målinger foretaget med en indblæsningsluftstrøm på 3.060 m<sup>3</sup>/h, er der tilsvarende foretaget en række målinger, hvor indblæsningsluftstrømmen er reduceret. Dette har resulteret i endnu lavere lufthastigheder omkring stinkskaftet.

Forsøgene foretaget med en dysekanal i ø315 og med 270° perforering på oversiden har vist, at der ved en indblæsningsluftstrøm på 1.530 m<sup>3</sup>/h (svarende til luftstrømmen i det testede stinkskaft ved en lugeåbning på 0,5 m og en lufthastighed i lugen på 0,5 m/s) vil forekomme

hastigheder højere end de ønskede 0,2 m/s. I henhold til Lindab's egen produktbeskrivelse for dysekanalen anvendes armaturet primært til industriventilation. Det vil sige, at det ikke specifikt fremgår, at produktet er specielt udviklet til laboratorier og tager formentlig derfor primært ikke hensyn til komfort for personer der opholder sig under armaturet. Baseret på databladet og Teknologisk Instituts observationer kan armaturet ikke belastes mere end ca. 270 m<sup>3</sup>/h pr. løbende meter.

I målerum med mere end ét stinkskab vurderes det, at der tilsvarende skal opsættes flere rækker dysekanaler for at levere den nødvendige luftstrøm. På baggrund heraf konkluderes det, at dysekanalernes kapacitet er utilstrækkelig i forhold til den plads, der normalt er til rådighed i et laboratorium.

Der er foretaget forsøg med to dysekanaler, og de har i lighed med forsøget med én dysekanal vist, at der opstår kraftige luftforstyrrelser ved og omkring stinkskabet. Ved en indblæsningsluftstrøm på 3.060 m<sup>3</sup>/h varierede lufthastigheden ved lugeåbningen mellem 0,251-0,381 m/s med enkelte undtagelser.

Forsøgene med CBA armaturerne har vist, at der kan forekomme luftforstyrrelser over stinkskabet. 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 luftstrøm på omkring 1.900 m<sup>3</sup>/h pr. armatur med diameter på 900 mm og længde på 2010 mm, hvilket er væsentligt mere end dysekanalerne.

I et laboratorium med stinkskabe styres den udsugede luftmængde ved hjælp af en regulator, som anvender et flowmeter med strømrør placeret på oversiden af stinkskabet og midt i stinkskabet. Det er derfor essentielt at undgå forstyrrelser/for høje hastigheder hen over stinkskabet. For høje hastigheder over stinkskabet kan medføre, at reguleringen ikke fungerer efter hensigten og giver for lav lufthastighed i arbejdsåbningen.

Teoretisk og praktisk kan det give problemer, hvis indblæsningsarmaturet blæser hen over stinkskabet. Specielt ved forsøgene med dysekanalerne som indblæsningsarmaturer, er der registreret forholdsvis høje hastigheder på mellem 0,7-0,9 m/s nær loftet/stinkskabets top. Dette er langt højere hastigheder end der er registreret under forsøgene med indblæsningsposen og CBA armaturet, se eventuelt kapitel 17.2 side 83.

### **7.1.3 Oversigt**

Der er udført forsøg med et 1,7 m bredt stinkskab med 0,5 m lugehøjde. Alle indblæsningsarmaturer har været placeret med længderetningen parallelt med stinkskabsfronten i forskellige afstande fra stinkskabsfronten. Indblæsningsposen var placeret i en afstand af 3,2 m fra stinkskabsfronten. De to dysekanaler var placeret henholdsvis 0,75 m og 2,2 m fra stinkskabsfronten, og fortrængningsarmaturet (CBA) var placeret 0,6 m fra stinkskabsfronten. Alle mål er målt til center af armatur.

Indblæsningsarmaturtype	Træk i retning over stinkskaber kan få regulerings-systemet *) til at give for lav lufthastighed i skabets lugeåbning	Træk under indblæsningsarmatur (komfort relateret)	Støjgenerering af armatur (subjektivt vurderet)	Særlige krav	Kapacitetsgrænse
Indblæsningspose, 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. 2.010 mm	Nej, ikke ved to styk	Gener i forhold til træk under armaturet kan forventes ved ét armatur pr. stinkskab afhængigt af rumhøjde og indblæsningsarmatur. (CBAL armaturet skulle ifølge leverandør være trækmæssigt 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, 2 stk. á 2.500 mm lange, perforerede på de øvre 270°, ingen indblæsning i de nedre 90°	Ja høj forstyrrende, Kræver reflektorplade mellem dyse-kanal og stinkskabe	Ikke generende træk under armatur	Generende støj ved indblæsningsluftstrøm over kapacitetsgrænse		Kapacitet for lav til stinkskabsforsyning. Maks 270 m <sup>3</sup> /h per meter kanal, svarende til 5,66 meter kanal pr. 0,85 m <sup>2</sup> stinkskabsluge ved en lufthastighed på 0,5 m/s i lugen.

Tabel 7.1 - Sammenligning af armaturtype ift. en række udvalgte kardinal punkter.

\*) gælder kun reguleringssystemer af typen 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. Lufthastigheden  $v$  kan være reduceret betydeligt, hvis der er installeret energispareudstyr på stinkskabet, der nedsætter lufthastigheden i lugeåbning, hvis der ikke er personer til stede.

\*\*\*) Kræver forfilter (klasse F7) for at sikre passende lang levetid og lav rengøringsfrekvens. Posen bør ophænges således, at den ikke klapper sammen ved lavest anvendte ydelse.

## 7.2 Udvikling af nyt indblæsningsarmatur

På baggrund af ovenstående resultater, er det valgt at udvikle et nyt indblæsningsarmatur i samarbejde med en af projektparterne, JS Ventilation A/S. Armaturet som bedst kan karakteriseres som et diffust hulindblæsningsarmatur, der kan integreres sammen med JS Ventilation's øvrige produkter.

Indblæsningsarmaturet som er 600x600 mm, og som i øvrigt fås i andre størrelser fremgår af nedenstående figur.



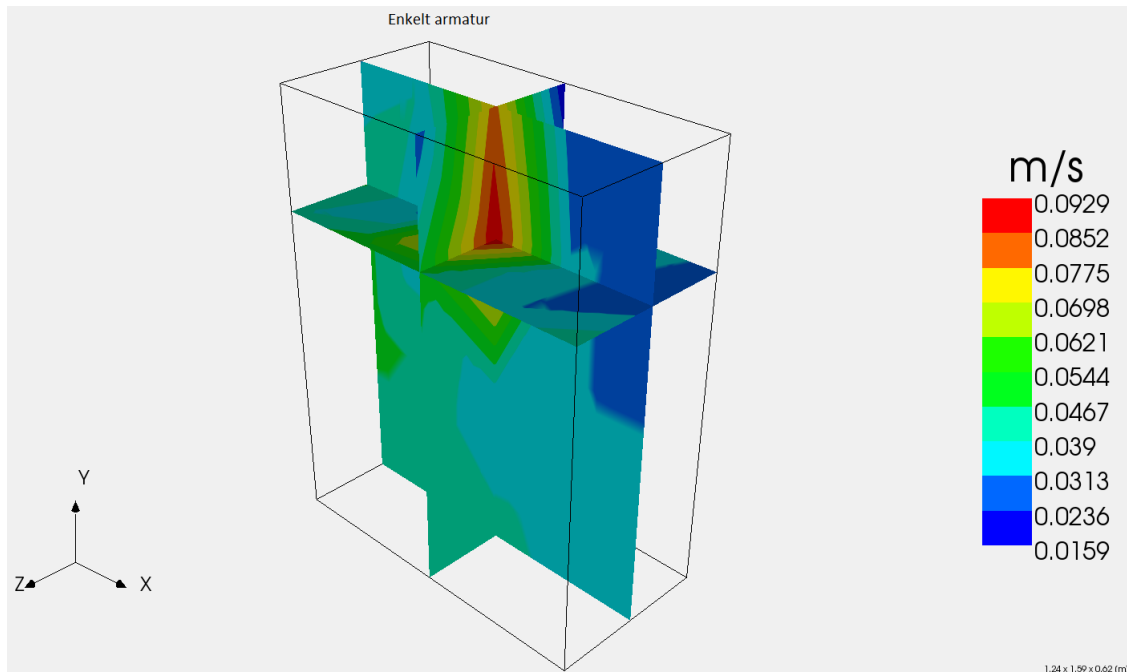
Figur 7.3 - Diffust loftindblæsningsarmatur fra JS ventilation.

Indblæsningsarmaturet er testet i tre forskellige setup's og med forskellige luftmængder for at undersøge armaturets egnethed i forhold til at blive anvendt i laboratorier med stinkskabe og andet procesudsug. Følgende forsøg er udført:

- Et armatur med en luftmængde på 136 m<sup>3</sup>/h
- To armaturer i forlængelse af hinanden med en samlet luftmængde på 275 m<sup>3</sup>/h
- To armaturer placeret med en indbyrdes afstand på 600 mm med en samlet luftmængde på hhv. 280 m<sup>3</sup>/h og 500 m<sup>3</sup>/h.

### 7.2.1 Forsøg med ét indblæsningsarmatur

I forsøgsopstilling 1 med ét indblæsningsarmatur tilføres der en luftmængde på 136 m<sup>3</sup>/h. Indblæsningsluften er isotherm. Der måles i 15 punkter i 4 niveauer.

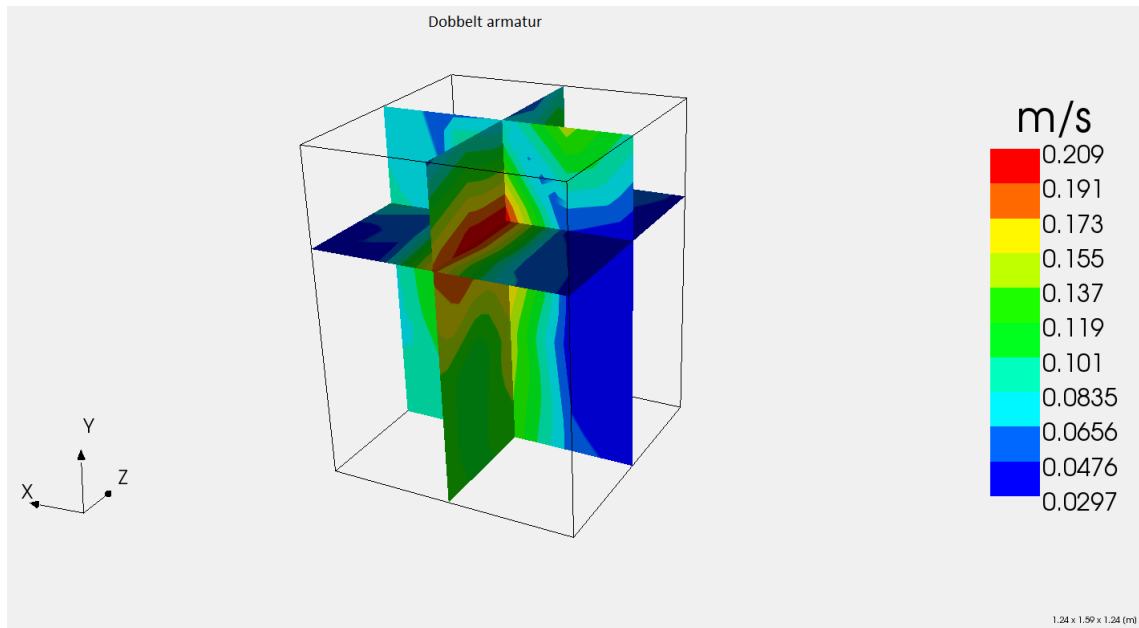


Figur 7.4 - Hastighedsplot, hvor koordinaterne er 1,24m x 1,59m x 0,62m (x, y, z).

Ved en forsøgsopstilling med et enkelt armatur og en luftmængde på 136 m<sup>3</sup>/h, vil der ikke forekomme træk i opholdszonen. Ved en let underafkølet indblæsningsluft vil hastighederne øges en anelse. Det vil være muligt at øge luftmængden yderligere for at sikre, at luften kommer ned i opholdszonen. Dog vil stinkskaft og andet procesudsug formentligt trække friskluften nedad.

### 7.2.2 Forsøg med to indblæsningsarmaturer i forlængelse af hinanden

I forsøgsopstilling 2 med to indblæsningsarmaturer i forlængelse af hinanden tilføres der en luftmængde på 275 m<sup>3</sup>/h. Indblæsningsluften er isotherm. Der måles i 25 punkter i 4 niveauer.

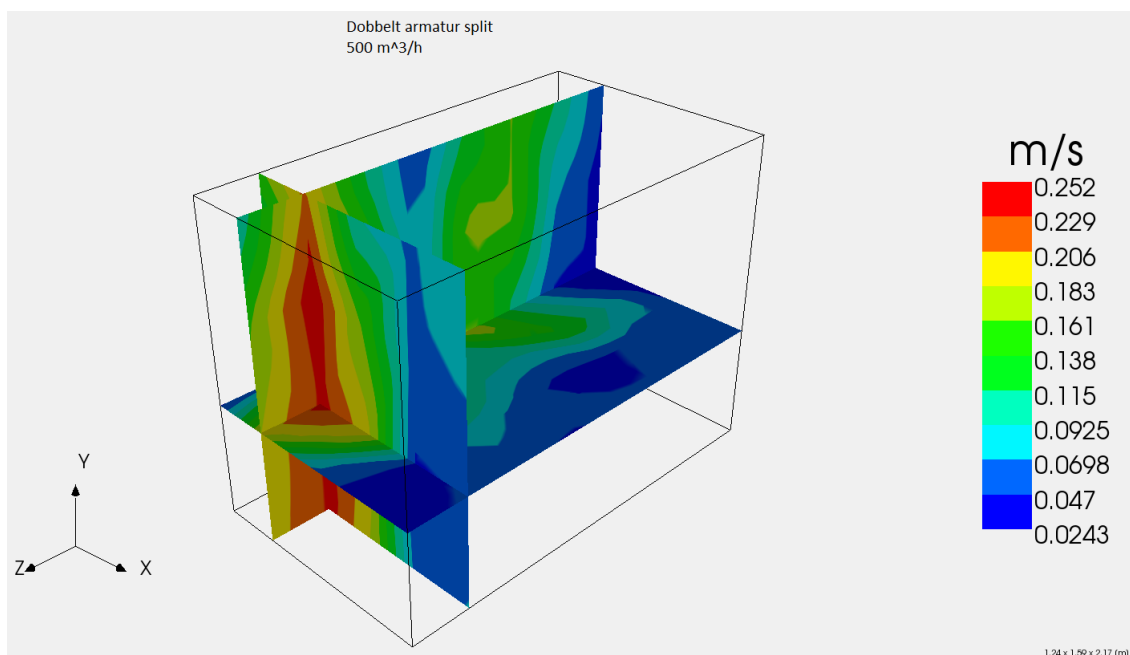


Figur 7.5 – Hastighedsplot, hvor koordinaterne er 1,24m x 1,59m x 2,17 m (x, y, z)

Ved en forsøgsopstilling med to armaturer i forlængelse af hinanden og en luftmængde på 275 m<sup>3</sup>/h, vil der ikke forekomme træk i opholdszonen. Et typisk laboratorium er 2,75 m i højden og opholdszonen starter ved 1,8 m i højden. Ved følgende setup vil der derfor være en lufthastighed i 1,8 m's højde på ca. 0,15 m/s.

### 7.2.3 Forsøg med to indblæsningsarmaturer med en afstand på 600 mm imellem sig

I forsøgsopstilling 3 med to indblæsningsarmaturer, som er placeret med en indbyrdes afstand på 600 mm tilføres der hhv. 280 m<sup>3</sup>/h og 500 m<sup>3</sup>/h luft. Indblæsningsluften er isotherm. Der måles i 40 punkter i 4 niveauer.



Figur 7.6 - Hastighedsplot, hvor koordinaterne er 1,24m x 1,59m x 2,17m (x, y, z).



Ved forsøget med en luftmængde på 280 m<sup>3</sup>/h vil der ikke forekomme træk i opholdszonen. Hastighedsfordelingen minder meget om forrige forsøg. Ved en luftmængde på 500 m<sup>3</sup>/h ser lufthastighedsfordelingen ud som vist ovenfor. Ved antagelse om at rumhøjden er 2,75 m, vil der forekomme lufthastigheder på 0,25 m/s i en 1,2 m højde. Dette er højere end hvad vejledningerne foreskriver. Ved en lettere underafkølet indblæsningsluft og med procesudsug vil lufthastigheder øges lidt.

#### **7.2.4 Opsummering**

Indblæsningsarmaturet er designet til at blive klikket op i et allerede udviklet loft fra JS ventilation. Derved kan det have sine begrænsninger eftersom armaturet på nuværende tidspunkt ikke kan monteres separat.

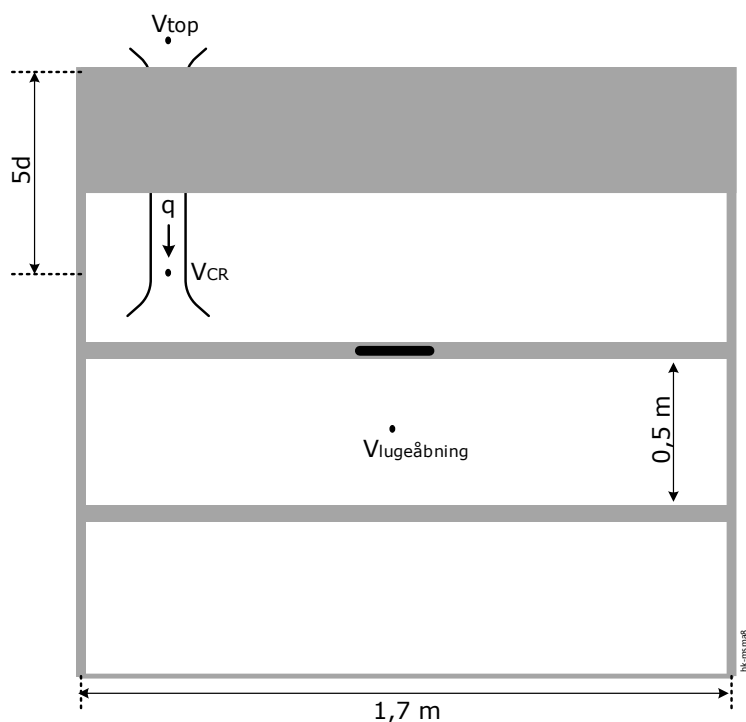
Armaturet fordeler luften meget diffust på grund af den store perforeringsgrad. Denne perforeringsgrad kan ændres. Dette ses som en klar fordel, da det reducerer lufthastighederne samtidigt med, at luftmængden kan bibeholdes. Armaturet har endvidere den fordel, at tryktabet over armaturet er meget lavt, hvorfor armaturet er meget støjsvagt.

På baggrund af målingerne med de testede indblæsningsarmaturer kan det konkluderes, at der skal benyttes ca. 8-11 armaturer til at tilføre luft til et stinkskab, som kræver 1.500 m<sup>3</sup>/h (1,6 m i bredden).

### **7.3 Test af afskærmningsplade**

Jævnfør foregående afsnit ses det, at ikke alle indblæsningsarmaturer er egnet til laboratorier med stinkskabe. Derudover har placeringen af indblæsningsarmaturerne som tidligere beskrevet også en væsentlig indflydelse på om sikkerheden ved et stinkskab forringes. Der er flere muligheder for at udbedre eller fjerne forstyrrelser for indblæsningsarmaturer. Den ene mulighed er at udskifte selve indblæsningsarmaturet til et armatur med lavere impuls eller at øge afstanden til stinkskabet. I visse tilfælde kan nedtagningsarbejdet af det eksisterende armatur og anskaffelsesprisen for et nyt være for stort til at arbejdet bliver udført. En anden mulig hindring er pladsen. Måske der ikke er tilstrækkelig plads til at øge afstanden mellem stinkskab og armatur.

Indblæsningsarmaturer kan påvirke stinkskabsdriften på flere måder. Dels kan en u hensigtsmæssig placering og armaturtype som tidligere beskrevet, medrive luft eller gasser fra stinkskabet til opholdszonen og dels kan selve styringen af stinkskabet påvirkes. Lufthastigheden i lugeåbningen reguleres traditionelt efter et såkaldt flowmeter. Et flowmeter er et målerør som typisk placeres i toppen af stinkskabet, hvilket er illustreret på Figur 7.7. Heri måles lufthastigheden eller forholdet mellem trykkene ovenover stinkskabet og inden i stinkskabet. Dette er først og fremmest relevant for fritstående stinkskabe, som ikke berører nedhængt loft.



Figur 7.7 - Stinkskabet forfra. Flow metret er på figuren placeret i øverste venstre hjørne. Målepunkter til undersøgelse af om flowmetret påvirkes af indblæsningsluften.

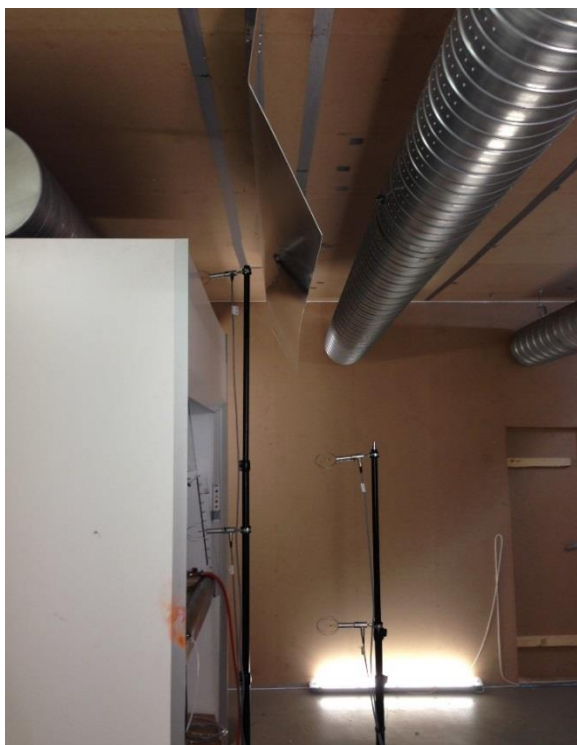
Tidligere undersøgelser viser, at selv hvis retningslinjerne for placering af indblæsningsarmaturerne overholdes, er det ikke sikkert at flowmetret i stinkskabet ikke påvirkes af indblæsningsluften. Såfremt flowmetret påvirkes af indblæsningsluften, vil reguleringsspjældet placeret efter stinkskabet i værste fald drosle ned. Dette bevirker, at lufthastigheden i lugeåbningen daler og sikkerheden for brugeren reduceres.

### 7.3.1 Forsøg med afskærmningsplade

Baseret på tidligere undersøgelser vurderes det, at den maksimale lufthastighed foran stinkskabets lugeåbning ikke må overstige 0,2 m/s ved afbrudt udsug. Lufthastigheden over stinkskabet må ikke overstige 1/3 af den laveste forekommende lufthastighed i lugeåbningen (typisk 0,5 m/s ved fuld åben og 0,3 m/s ved lukket luge). Eksempelvis må  $v_{top}$  ikke overskride 0,1 m/s ved en lufthastighed i lugeåbningen på 0,3 m/s. Hvis lufthastigheden hen over stinkskabet er for høj, registrerer stinkskabets regulator det som om at lufthastigheden gennem lugeåbningen er steget, hvorefter lufthastigheden i lugeåbningen reduceres til fare for personsikkerheden.

Der er udført forsøg med afskærmning af luftstrømmen for at undersøge muligheden for at dæmpe påvirkningen af luftstrømmen fra indblæsningsarmatur. Der er hængt en aluminiumsplade op imellem et stinkskab og et indblæsningsarmatur (perforeret indblæsningskanal).

I forsøget er der anvendt et stinkskab som er 1,7 m bredt, og aluminiumspladen dækker hele bredden af stinkskabet samt 0,6 m til hver side. Der er foretaget forsøg med forskellige udformninger af afskærmningspladen. I forsøgene måles lufthastigheder i opholdszone, 10 cm over stinkskabet. Derudover er det målt om den maksimale lufthastighed foran skabets lugeåbning ved afbrudt udsug er over 0,2 m/s. Forsøgsopstillingen ses i Figur 7.8.



Figur 7.8 - Måleopstilling set fra siden af, hvor der er opsat en afskærmningsplade mellem indblæsningsarmatur og stinkskab.

### 7.3.2 Opsummering

Målingerne har vist at flowmetret i stinkskabet bliver påvirket af luften fra indblæsningsarmaturet. Der blev udført forsøg, hvor indblæsningsarmaturet var placeret 0,75 m og 2,2 m fra stinkskabet. Begge forsøg blev udført med dysekanaler. Forsøgene viste, at der forekommer store forstyrrelse af flowmetret, hvor lufthastigheder op til 0,7 m/s blev målt.

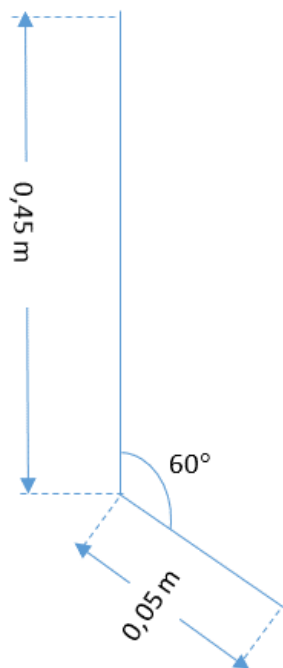
Ved at flytte indblæsningsarmaturet 2,5 m væk fra stinkskabet blev det målt, at når lufthastigheden ind over skabets top ( $v_{top}$ ) er under 1/3 af den lavest forekommende hastighed i lugeåbningen påvirkes flowmetret i stinkskabet ikke. Luftstrømmen har en høj impuls, når der anvendes perforerede indblæsningskanaler. Dette bevirker, at lufthastigheden over stinkskabet er høj selv ved lave indblæsningsmængder. Det anbefales, at anvende indblæsningsarmaturer med lav impuls, som f.eks. poseindblæsning. Hvis dette ikke er muligt anbefales det, at der sættes en afskærmningsplade op mellem stinkskabet og indblæsningsarmaturet.

### 7.3.3 Anbefaling

På baggrund af målingerne anbefales det, at nedenstående kontrol foretages for vurdering af om et flowmeter bliver påvirket.

- Tjek at døre og vinduer ind til stinkskabslaboratoriet er lukkede
- Alle stinkskabe i laboratoriet åbnes til maksimal lugeåbning for at øge indblæsningsluftstrømmen til højeste niveau
- Lufthastigheden (m/s) i lugeåbningen i det pågældende stinkskab måles med en hastighedsmåler
- Lufthastigheden over skabets top ( $v_{top}$ ) måles med en hastighedsmåler
- Lufthastigheden over skabets top må ikke være mere end 1/3 af den lavest forekommende hastighed i lugeåbningen.

Ved udformning af en afskærmningsplade skal det sikres, at der ikke forekommer turbulens i underkanten af pladen, samt at luften fra indblæsningsarmaturet ikke påvirker luften i lugeåbningen. Afskærmningspladen der er anvendt ved forsøgene havde dimensionerne som vist på figur 7.9, og den ydede effektiv beskyttelse mod uønskede luftbevægelser ved stinkskabet.



Figur 7.9 - Dimensioner på afskærmningsplade til afskærmning for indblæsningsluften over flowmeter.

Det er dog vigtigt at påpege, at forskellige indblæsningsarmaturer og laboratorieindretninger eventuelt kræver en anden type udformning af afskærmningspladen.

## 7.4 Beregning af den minimale lufthastighed i stinkskabets lugeåbning

Der er ved måling af de eksisterende armaturer foretaget målinger af lufthastigheden ved og omkring stinkskabet. Dette er gjort 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.

### 7.4.1 Indblæsningspose placeret 3,2 m fra stinkskabet

Ved måling af indblæsningsposen varieres lufthastigheden i stinkskabets lugeåbning fra 0,2 m/s til 1 m/s. Målingerne fremgår af bilag 17.2.1 side 83.

De indledende målinger med en pose som indblæsningsarmatur viste, at der ikke forekommer lufthastigheder over 0,149 m/s, hvilket betyder at poseindblæsning i praksis er forstyrrelsesfri.

Figur 7.10 er udarbejdet på baggrund af forudsætninger beskrevet i nærværende rapport (1 indblæsningspose, 1 stinkskab i forsøgsrummet, osv.). Det er derfor essentielt at vurdere

rumforhold, forstyrrelse mm. 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 (2.000 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% af værdierne ved en normalfordeling ligger under den værdi, der bruges i beregningen af sikkerheden.

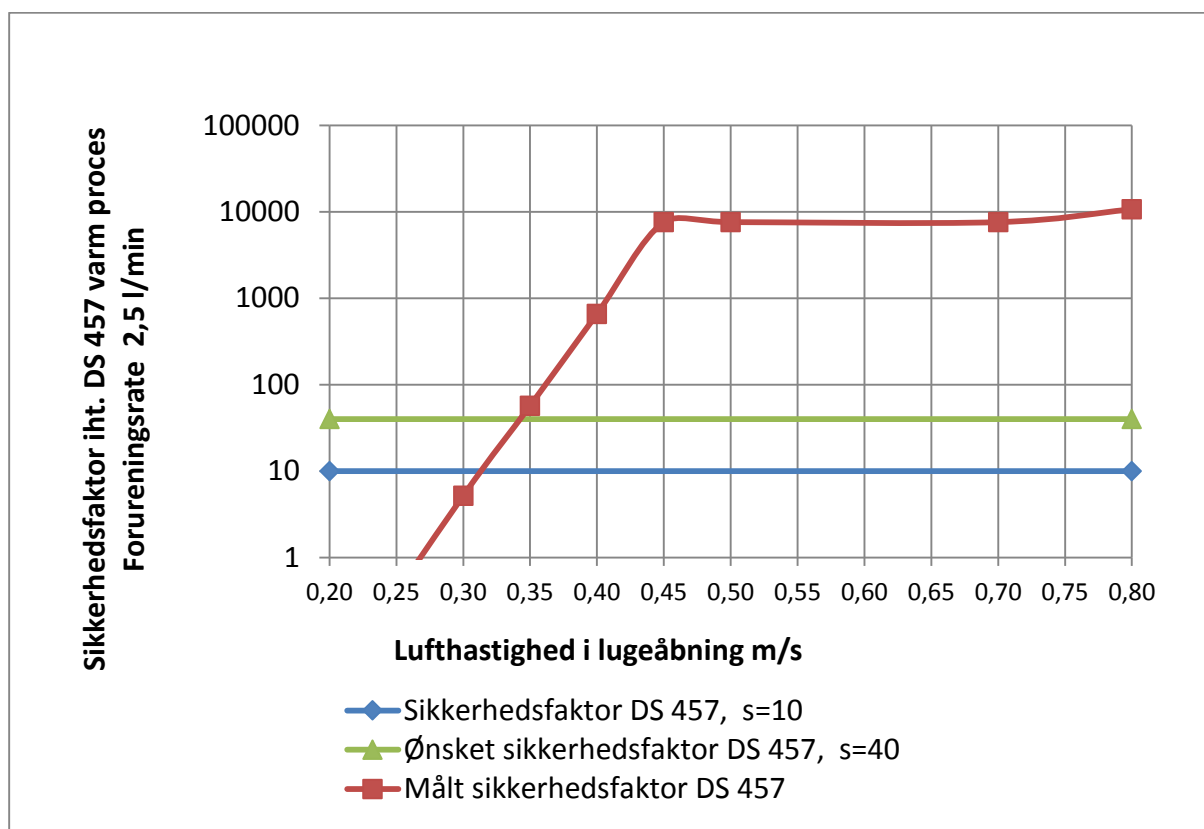
### Målinger og resultater

Luftstrømmen reguleres fra 612 m<sup>3</sup>/h til 3.060 m<sup>3</sup>/h under forsøget således, at der kan opstilles et diagram, hvor sikkerhedsfaktoren vises i forhold til lufthastigheden i lugeåbningen. Figur 7.10 viser sikkerhedsfaktoren for målinger med lufthastigheder fra 0,2 – 1 m/s i lugeåbningen og indblæsning af erstatningsluft via en Ø400 mm pose ved bagvæg.

Lufthastigheder i referencepunkter				
Målested	Lufthastighed i lugeåbning [m/s]			
	0,2	0,3	0,5	1,0
Inde i stinkskab ved målerørets munding [A]	-	-	0,02	0,02
Over stinkskab ved højre hjørne 7 cm over skabets top [B]	-	-	0	0,12
Over stinkskab ved højre hjørne 21 cm over skabets top [C]	-	-	0	0,12
Over stinkskab ved højre hjørne 21 cm under loft [D]	-	-	0	0,12
Over stinkskab ved højre hjørne 7 cm under loft [E]	-	-	0	0,12
20 cm foran stinkskabet midt i stinkskabslugen i vertikal retning, 24 cm til venstre for venstre kant [F]	0,02	0,03	0,05	0,03
20 cm foran stinkskabet midt i stinkskabslugen i vertikal retning, 2/3 til højre for venstre kant [G]	0,02	0,03	0,06	0,02
20 cm foran stinkskabet ved toppen af stinkskabet, 2/3 til højre for venstre kant [I]	0,03	0,02	0,06	0,03

Tabel 7.2 - 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 stinkskabet ved op til 0,3 m/s flow må formodes at være forsvindende små, og er ikke målt efter.

Som tidligere beskrevet er Figur 7.10 udarbejdet på baggrund af målinger opnået i et idealiseret laboratorium, dvs. at ændrede forudsætninger såsom placering af stinkskabet 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.



Figur 7.10 - Sikkerhedsfaktor ved anvendelse af indblæsningspose.

I henhold til DS 457 må det beregnede udslip til åndingszonen ikke overstige grænseværdien divideret med en sikkerhedsfaktor på 10. Denne linje er indtegnet i figuren (blå linje).

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

Af Figur 7.10 frem går det, at med rolig, ikke forstyrrende indblæsning og med idealiserede forudsætninger, kan den ønskede sikkerhed opnås med en lufthastighed i lugeåbningen på 0,35 m/s. Idealiserede forudsætninger vil sige, at der ikke forekommer forstyrrelser fra armaturer, døre, vinduer mm. og at testrummet kun indeholder ét stinkskab. I fald at forudsætningerne ændrer sig, kan sikkerheden forringes. I Tabel 7.3 er resultaterne skemalagt.

Indblæsningspose placeret 3,2 m væk fra stinkskab	
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 7.3 – Sikkerhedsfaktor ift. Lufthastighed i lugeåbning

#### 7.4.2 Dysekanaler placeret hhv. 0,75 og 2,2 m fra stinkskalet

Ved måling af dysekanalerne varierer lufthastigheden i stinkskabets lugeåbning fra 0,2 m/s til 1 m/s. Målingerne fremgår af bilag 17.2.3 side 92.

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

Figur 7.11 er udarbejdet på baggrund af forudsætninger beskrevet i nærværende rapport (2 dysekanaler, 1 stinkskalet i forsøgsrummet, osv.). Det er derfor vigtigt at vurdere de aktuelle rumforhold, forstyrrelser m.m. eftersom den udarbejdede graf kun gør sig gældende for denne én bestemt situation.

### Vurdering af brugersikkerheden ud fra DS 457

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

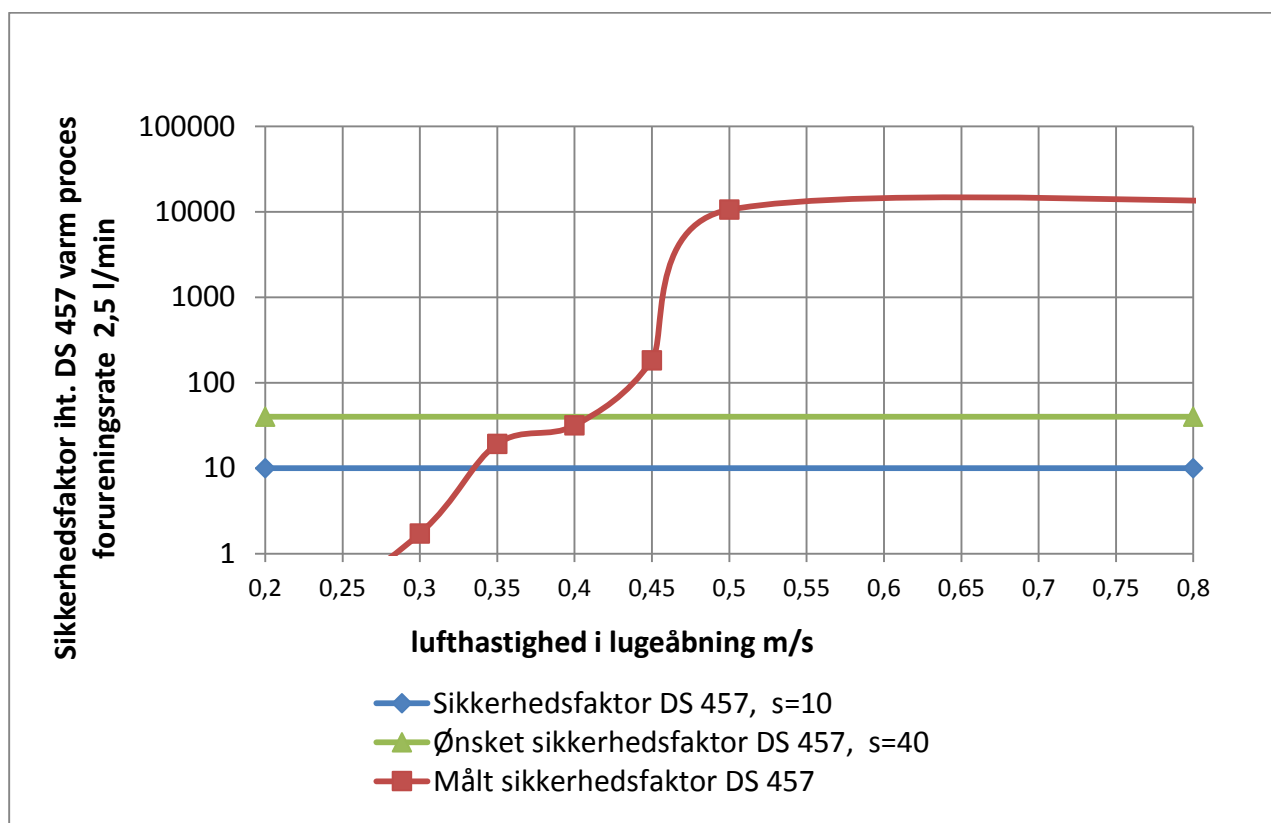
### Målinger og resultater

Luftstrømmen er reguleret fra 612 m<sup>3</sup>/h til 3.060 m<sup>3</sup>/h under forsøget således, at der kan opstilles et diagram, hvor sikkerhedsfaktoren vises i forhold til lufthastigheden i lugeåbningen. Figur 7.11 viser sikkerhedsfaktoren for målinger med lufthastigheder fra 0,2 – 1 m/s i lugeåbningen og indblæsning af erstatningsluft via to dysekanaler Ø315 mm. Resultater markeret med gult er fremkommet ved måling med en dysekanal Ø315 mm.

Lufthastigheder i referencepunkter				
Målested	Lufthastighed i lugeåbning [m/s]			
	0,2	0,3	0,5	1,0
Inde i stinkskalet ved målerørets munding [A]	-	-	0	0,13
Over stinkskalet ved højre hjørne 7 cm over skabets top [B]	-	-	0,16	0,39
Over stinkskalet ved højre hjørne 21 cm over skabets top [C]	-	-	0,21	0,19
Over stinkskalet ved højre hjørne 21 cm under loft [D]	-	-	0,22	0,54
Over stinkskalet ved højre hjørne 7 cm under loft [E]	-	-	0,11	0,69
20 cm foran stinkskalet midt i stinkskaletlugen i vertikal retning, 24 cm til venstre for venstre kant [F]	0,07	0,1	0,11	0,25
20 cm foran stinkskalet midt i stinkskaletlugen i vertikal retning, 2/3 til højre for venstre kant [G]	0,03	0,04	0,07	0,15
20 cm foran stinkskalet ved toppen af stinkskalet, 2/3 til højre for venstre kant [I]	0,11	0,15	0,24	0,35

Tabel 7.4 - 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 stinkskalet ved op til 0,3 m/s flow må formodes at være forsvindende små, og er ikke målt efter.

Som tidligere beskrevet er Figur 7.11 udarbejdet på baggrund af målinger opnået i et idealiseret laboratorium, dvs. at ændrede forudsætninger såsom placering af stinkskalet 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.



Figur 7.11 - Sikkerhedsfaktor for to dysekanaler.

Af Figur 7.11, fremgår det, at med et indblæsningsarmatur der forstyrrer luftbevægelserne foran stinkskaftet kan den ønskede sikkerhed ikke opnås med en lufthastighed på under 0,41 m/s. Det skal bemærkes, at sikkerheden er undersøgt under idealiserede forhold, dvs. at der ikke forekommer forstyrrelser fra døre, vinduer m.m., og at testrummet kun indeholder et stinkskaft. I Tabel 7.5 er resultaterne skema-lagt.

Dysekanaler placeret hhv. 0,75 og 2,2 m væk fra stinkskaftet	
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 7.5 - Sikkerhedsfaktor ift. lufthastighed i lugeåbning.

### 7.4.3 Opsummering

Målingerne for indblæsningsposen anvendes som referencemålinger, dvs. såfremt laboratoriet er designet fornuftigt så stinkskaftet ikke forstyrres af indblæsningsarmaturer, døre, vinduer mm., kan målinger foretaget in-situ sammenholdes med målingerne foretaget i nærværende projekt for indblæsningsposen.

I størstedelen af tiden vil der forekomme fra forstyrrelser, hvorfor det formodes, at målinger foretaget in-situ skal sammenholdes med målingerne foretaget i nærværende projekt for dysekanalerne.



For at sammenligne in-situ målinger med målinger foretaget i dette projekt, skal lufthastigheden måles i ialt 8 punkter, hvorefter disse sammenlignes med tallene i tabel 7.2 og 7.4. I så fald, at lufthastighederne er højere end dem angivet i tabel 7.2, men lavere end dem angivet i tabel 7.4 ligger sikkerhedsfaktoren mellem dem angivet i Figur 7.10 og 7.11.

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

## **8 Undersøgelse af bygnings- og menneskeskabte luftforstyrrelser**

Ved indretning af laboratorier er det vigtigt at have fokus på, at luftforstyrrelser i rummet kan have stor betydning for sikkerheden i og omkring stinksområdet. I dette kapitel undersøges det, hvordan bygningsudformningen og brugere af et laboratorium skaber luftforstyrrelser for et stinksområde og derved reducerer sikkerheden.

For at illustrere vigtigheden i et godt indrettet laboratorium er der i dette kapitel lagt vægt på indretning af laboratorium i forhold til:

- Forstyrrelser fra døre
- Forstyrrelser fra forbipasserende

Af Figur 4.3 side 16 kan det ses, at sikkerheden for laboranten reduceres markant, når lufthastigheden i lugeåbningen nedsættes fra 0,5 m/s til 0,3 m/s. Det ses dog, at det ideelt set er muligt at reducere hastigheden i lugen til 0,35 m/s, og stadig overholde en sikkerhedsfaktor på 10 som krævet.

I forsøgene er der anvendt et poseindblæsningsarmatur for at sikre at der ikke er forstyrrelser fra indblæsningen. Til forsøgene er der anvendt sporgas og røg for at undersøge, hvor stor en del af luften i stinksområdet, der eventuelt udrives fra stinksområdet ved åbning af døre eller forbipasserende.

### **8.1 Forstyrrelse fra døre**

For at undersøge om sikkerheden i stinksområdet bliver påvirket af åbning af døre, er der udført målinger af lufthastigheden i lugeåbningen ved åbning af en dør. Når døren åbnes må lufthastigheden i lugeåbningen ikke blive forstyrret. Dette er undersøgt ved at observere luftstrømmen i lugeåbningen med en røgpind, samt ved at måle lufthastigheden i lugeåbningen før, under og efter åbning af døren.

Ud fra forsøgene anbefales det, at stinksområder ikke placeres under 1 meter fra døre. Hvis hastigheden i lugeåbningen alligevel påvirkes ved åbning af døre, kan dørene eventuelt vendes eller der kan opsættes et vindfang. Dette gør sig især gældende for laboratorier, hvor der opretholdes et undertryk. I laboratorier med overtryk, vil påvirkningerne fra døre være mindre. Det anbefales dog stadigvæk, at afstanden mellem døre og stinksområder ikke er under 1 meter.

## 8.2 Forbipasserende

For at undersøge påvirkningen af sikkerheden i stinkskabet ved forbipasserende personer opstilles følgende scenarier:

Forsøg med lufthastighed i lugen på 0,5 m/s:

- Passage 0,5 m fra stinkskab
- Passage 1 m fra stinkskab
- Passage 1,5 m fra stinkskab

Forsøg med lufthastighed i lugeåbningen på 0,3 m/s:

- Passage 0,5 m fra stinkskab
- Passage 1 m fra stinkskab
- Passage 1,5 m fra stinkskab

Der er tilsat sporgas inden i stinkskabet og samtidig med dette er sporgaskoncentrationen i lugeåbningen målt for at undersøge, hvor stor en mængde sporgas der trækkes ud ad stinkskabet, når en person passerer stinkskabet med en hastighed på 1 m/s (i henhold til DS/EN 14175). 1 m/s svarer til lidt over almindelig ganghastighed. Til forsøget anvendes en mekanisk plade designet til formålet. Opstillingen ses af Figur 8.1.

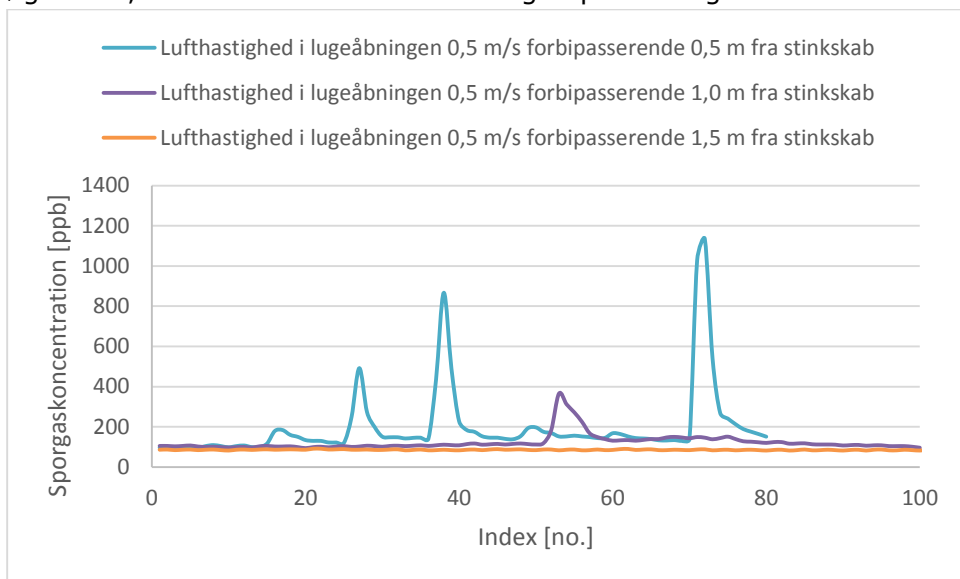


*Figur 8.1 – Forsøgsopstilling med stinkskabet i baggrunden og den mekaniske plade i forgrunden. I forsøgene var den viste sugearm ikke installeret. Lugen var på skift fuldt åben og lukket under forsøget.*

### 8.2.1 Fuldt åbent stinkskabsluge

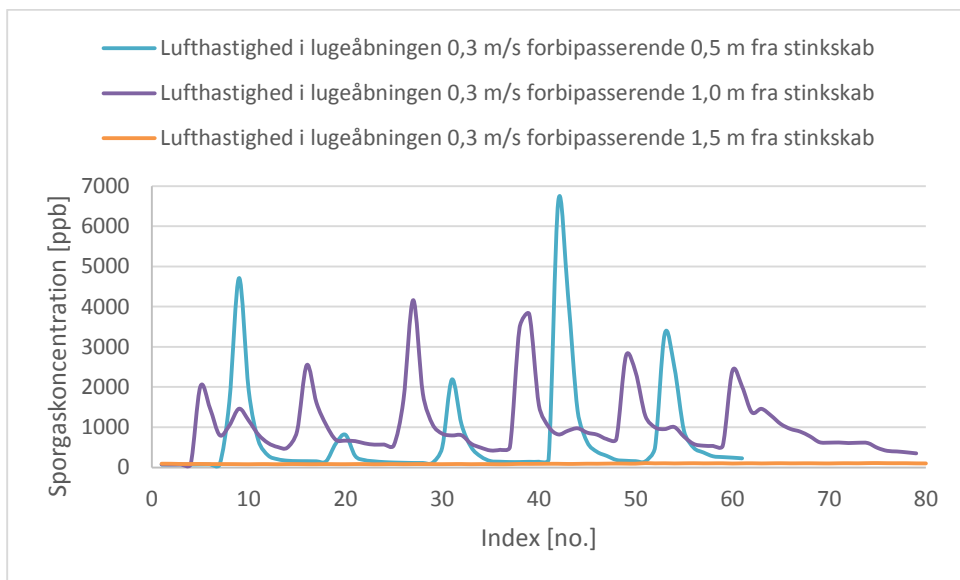
Af Figur 8.2 ses det, at sporgaskoncentrationen i lugeåbningen påvirkes markant (blå kurve), når en person passerer stinkskabet i afstanden 0,5 meter. Ved at flytte ganglinjen til 1 meter

fra stinks-kabet reduceres påvirkningen markant. Når afstanden til den forbi-passerende er øget til 1,5 m fra stinks-kabet er der ingen påvirkning.



Figur 8.2 - Sporgaskoncentration i lugeåbningen ved forbi-passerende person i en afstand på 0,5 m, 1 m og 1,5 m fra stinks-kabet. Lufthastigheden i lugeåbningen er konstant 0,5 m/s.

Af Figur 8.3 ses det, at ved en reduktion af lufthastigheden i lugeåbningen fra 0,5 m/s til 0,3 m/s øges sporgasudslippet signifikant, når en person passerer i en afstand på 0,5 m og 1,0 m. Når afstanden øges til 1,5 m påvirkes sporgasudslippet i lugeåbningen ikke af en forbi-passerende person.

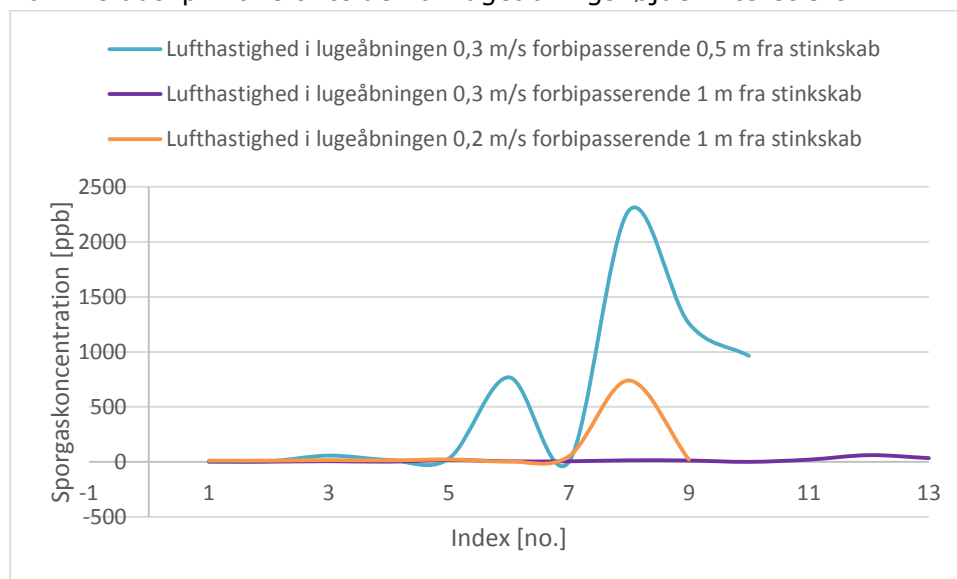


Figur 8.3 - Sporgaskoncentration i lugeåbningen ved forbi-passerende person i en afstand på 0,5 m, 1 m og 1,5 m fra stinks-kabet. Lufthastigheden i lugeåbningen er konstant 0,3 m/s.

### 8.2.2 Lukket stinks-kabsluge

Af Figur 8.4 ses det, at sporgaskoncentrationen i lugeåbningen påvirkes markant (blå kurve), når en person passerer stinks-kabet i en afstand på 0,5 meter. Ved at flytte ganglinjen til 1

meter fra stinkskalet reduceres påvirkningen markant. Ved at reducere lufthastigheden yderligere til 0,2 m/s vil der selv ved en afstand på 1 meter mellem stinkskalet og ganglinje forekomme udslip. I alle tilfælde har lugeåbningshøjden været 5 cm.



Figur 8.4 - Sporgaskoncentration i lugeåbningen ved forbigående person i en afstand på 0,5 m, 1 m og 1,5 m fra stinkskalet. Lufthastigheden i lugeåbningen er konstant 0,2 m/s og 0,3 m/s.

### 8.2.3 Opsummering

Ud fra resultaterne anbefales det, at ved en lufthastighed i lugeåbningen på 0,5 m/s (fuldt åben luge) bør ganglinjerne lægges således, at der minimum er 1 meter til stinkskalets lugeåbning. Hvis der anvendes en reduceret lufthastighed i lugeåbningen på f.eks. 0,3 m/s anbefales det, at ganglinjerne lægges minimum 1,5 meter fra stinkskalet. Ganglinjer kan tegnes op på gulvet med gult, således at brugerne nemt guides til hvor de skal gå. Hvis ganglinjerne udlægges 1 m fra stinkskalet er det formentlig nødvendigt, at en lufthastighed i lugeåbningen på 0,5 m/s opretholdes. Hvis ganglinjer kan flyttes til 1,5 m fra stinkskalet, så kan lufthastigheden reduceres til 0,3 m/s. Derfor bør det af hensyn til laboratoriets fremtidige energiforbrug nøje overvejes, hvorledes laboratoriet indrettes.

Det er dog vigtigt at påpege, at det sandsynligvis ikke er tilstrækkeligt kun at markere ganglinjer på gulvene. De gængse laboratorieindretninger bør måske helt genovervejes.

Ved lukket luge anbefales det, at lufthastigheden ikke reduceres til under 0,3 m/s, når ganglinjer placeres mindre end 1 meter fra stinkskalet. Det vurderes dog, at når et laboratorium ikke er i brug i for eksempel weekender mm. at lugehastigheden med fordel kan reduceres til 0,1 m/s. Der bør dog som minimum opsættes en styring som sørger for, at personer ikke kan åbne dørene til laboratoriet uden at rummet gennemskylls først. Yderligere forsøg omkring dette bør foretages.

## 9 Test og udvikling af add-ons til stinkskabe

Selv i et idealiseret laboratorium, hvor der ikke forekommer forstyrrelser fra diverse komponenter, vil et uhensigtsmæssigt udformet stinkskab forringe sikkerheden gevaldigt. Alle stinkskabe undergår derfor en typegodkendelse. Denne typegodkendelse sker oftest iht. EN/DS 14175. Et større udredningsarbejde foretaget i samarbejde med Københavns Universitet fastslår imidlertid, at man bør være varsom med udelukkende at stole på sikkerhedsfaktorer fremkommet ved brug af EN/DS 14175-3 målemetoden og -opstillingen.<sup>3</sup>

Så selv om et stinkskab er typegodkendt kan det stadigvæk være muligt at optimere udformningen og øge sikkerheden yderligere. Desuden vil udformningsmæssige optimeringer eventuelt kunne reducere energiforbruget samtidigt med at sikkerheden øges.

I dette kapitel undersøges forskellige muligheder for optimering af stinkskabet for dels at øge sikkerheden og dels reducere energiforbruget om muligt.

### 9.1 Stinkskabets lugeåbning

Det er vigtigt, at lugeåbningen er udformet så den sikrer bedst mulig selvrensningsevne, da det påvirker sikkerheden ved arbejdet der udføres i skabet. Lugeåbningen skal ved normalt arbejde i skabet så vidt muligt renblæses af den udefra kommende luftstrøm. Udfordringen er, at ved arbejde i et normalt stinkskab sker luftstrømningen fra lokalet og ind i stinkskabet vinkelret på den udførende persons krop, hvorved der uundgåeligt opstår en læzone mellem kroppen og skabet.

Hvis der trækkes forurenede luft fra stinkskabet helt ud til bordforkanten, vil denne uundgåeligt blive grebet af læzonen nær kroppen og vil derefter stige opad mod indåndingszonen i opdriftsfeltet nær kroppen. Hvorvidt forurenede luft når op til brugerens åndingszone i det aktuelle tilfælde afhænger naturligvis også af forhold som forureningskildens placering, lugeåbningens areal, luftstrøm etc.. Jo dårligere geometrien er, jo mere luft skal udsuges for at skabet kan opfylde de stillede krav. Mængden af småudslip fra skabet til brugerens åndingszone vil være høj og næsten umulig at fjerne, hvis skabets udformning er uhensigtsmæssig. Desuden vil stinkskabet kræve en stor udsugningsluftstrøm for at fungere nogenlunde tilfredsstillende. Skabe med god geometri vil derimod kunne opretholde en høj sikkerhed for brugeren uden, at der sker udslip ved en lavere luftstrøm.

Dårlig geometri kan skabe "døde" punkter. Med dette menes, at der i visse punkter kan opstå cirkulerende luftstrømme, hvor luften har en lang opholdstid. Som følge heraf udskiftes luften i det "døde" punkt ikke med den rene luft fra omgivelserne. I disse "døde" punkter vil koncentrationen af forurenede luft fra stinkskabet kun langsomt reduceres. Værst er det når bordforkantens geometri er udformet således, at der suges luft fra skabets indre ud til bordforkanten mod luftens normale bevægelsesretning.

Af de udførte sporgasmålinger ses det tydeligt, at mængden af udslip til åndingszonen er stærkt afhængig af geometrien af specielt bordforkanten. Der er i det følgende vist eksempler på gode og dårlige løsninger til airfoils, bord- og lugeforkanter iht. de i projektet opmålte.

<sup>3</sup> Sikkerhed ved arbejde i stinkskab – Variation af lufthastighed og forstyrrelser fra omgivelserne og sammenligning af testmetoder efter DS457 og DS/EN 14175, 2. udgave

Det er desuden vigtigt, at åbningshøjden ikke er for stor, når lugen er lukket. Typisk er åbningshøjden mellem 8-12 cm på ældre stinkske. Nyere stinkske har typisk en åbningshøjde ved lukket luge på 5 cm. Ved at reducere åbningshøjden reduceres energiforbruget væsentligt. Det er uddybet i kapitel 13 på side 73. Det er muligt at reducere åbningshøjden ved at ændre lugen på stinkske. Dette kræver dog et større indgreb. Derfor foreslås det, at benytte en "clamp on" løsning ved lugen.

### 9.1.1 Bordforkanter

Bordforkanten er den vigtigste enkeltfaktor for sikkerhed og energiforbrug. Der bør monteres en airfoil på alle bordplader, hvor der er en form for drypkant på bordforkanten der sikrer mod spild ud af skabet.

Ved stinkske hvor der foregår siddende arbejde, bør der altid være monteret en airfoil på bordpladen. Desuden bør brugeren være placeret på en høj laboratoriestol med benene under bordpladen.

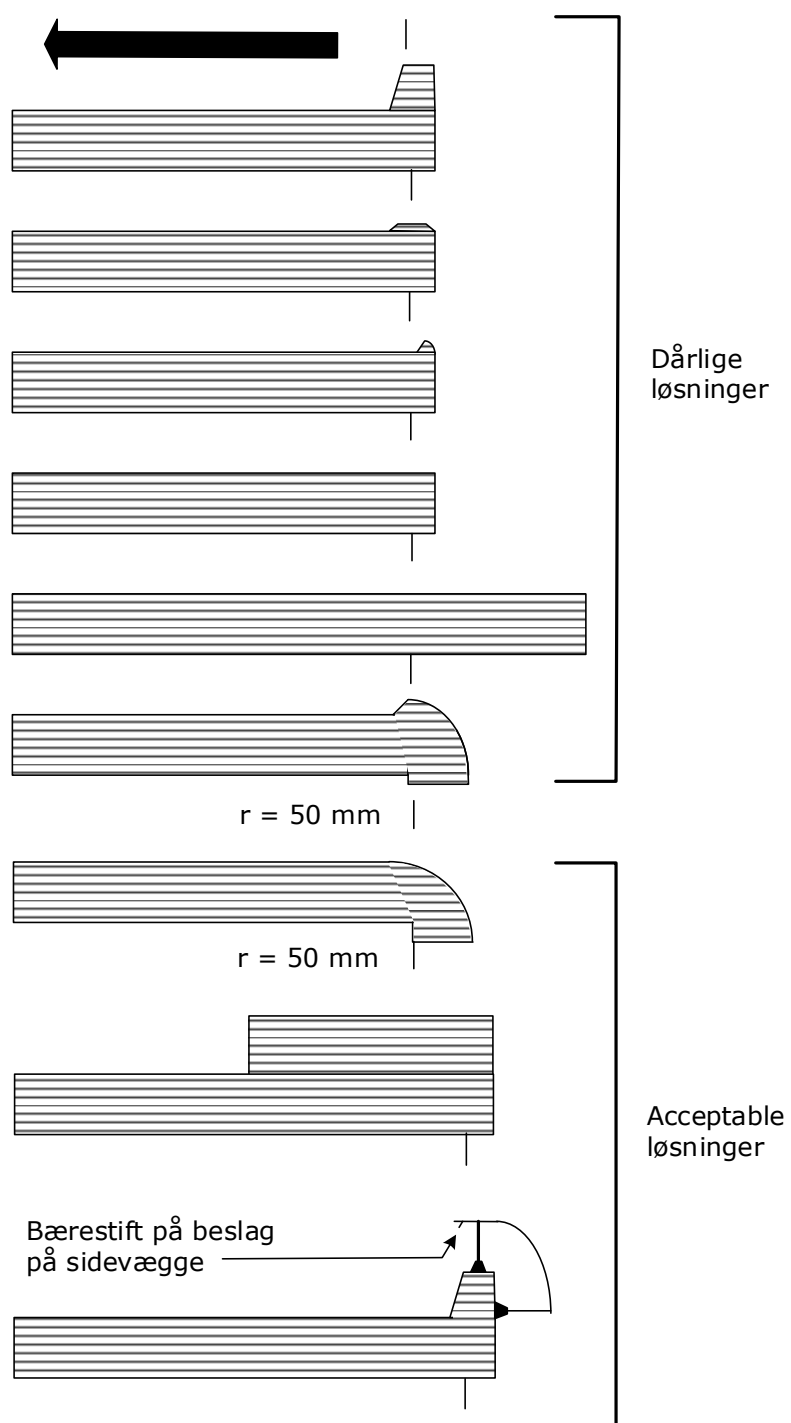
For at illustrere vigtigheden af at vælge den rette bordforkant, er der foretaget supplerende røgforsøg for visuelt at kunne vise forskellene mellem en god og dårlig løsning. I Figur 9.1 ses et par eksempler.



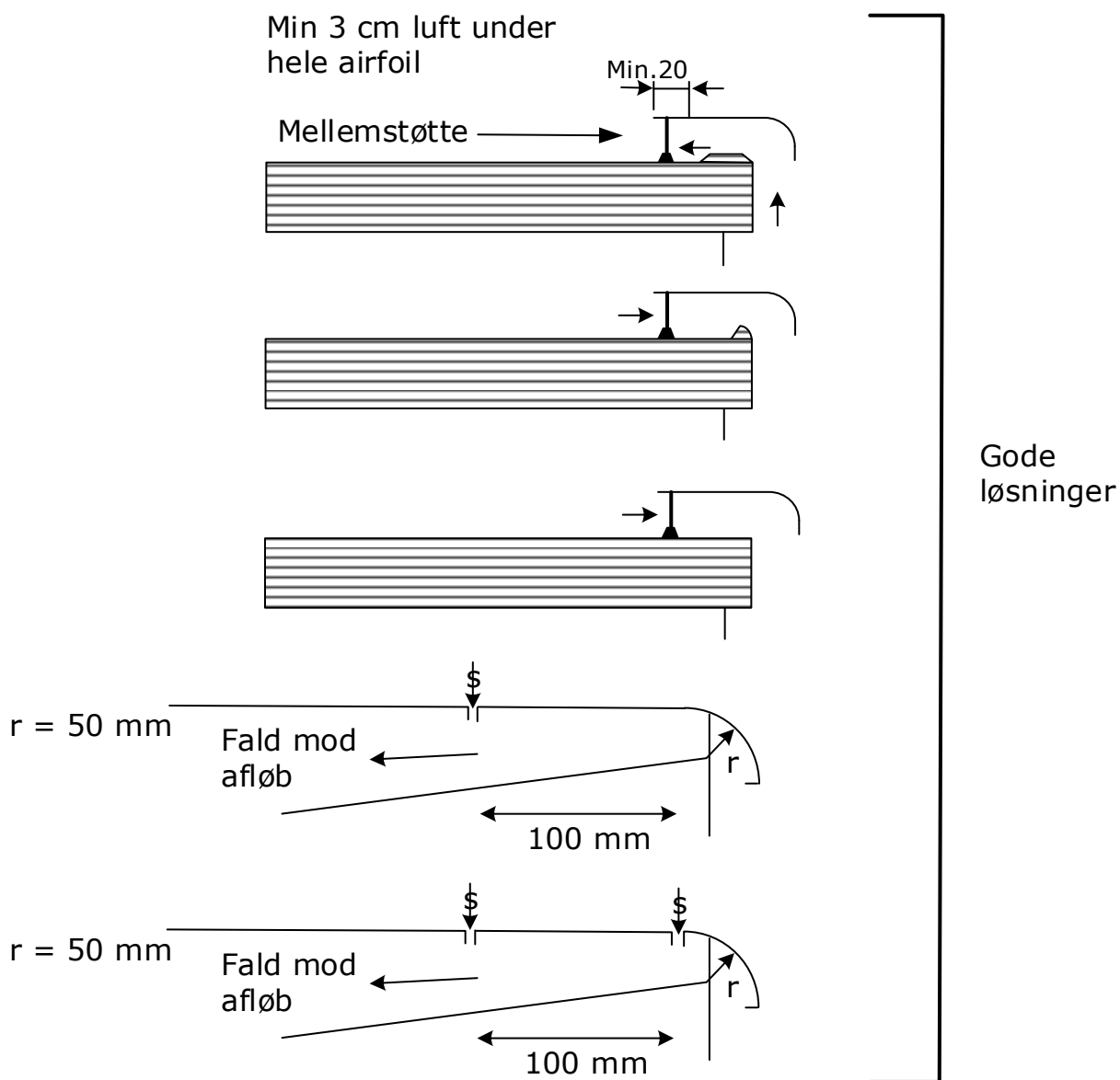
Figur 9.1 - Til venstre ses en løsning af en bordforkant uden en airfoil og til højre en bordforkant med en airfoil.

Som det fremgår af billedet til venstre befinder den tilførte røg sig næsten helt ude ved bordforkanten. Grunden hertil er, at luftstrømninger i lugeåbningen skaber et undertryk nær bordforkanten, hvorefter røg inde fra stinkske suges ud. På billedet til højre ses det, at røgen kun strømmer ind i skabet og ikke ud til bordforkanten ligesom på det andet billede. Dette skyldes airfoilens indvirkning. I fald at en person havde stået foran stinkske under forsøgene ville det have været muligt at se røg, der strømmede op ad personen på det venstre billede.

Der er i det følgende vist eksempler på gode og dårlige løsninger til airfoils og bordforkanter.



Figur 9.2 - Eksempler på dårlige og acceptable bordforkanter ved en lufthastighed på 0,5 m/s i lugeåbningen.

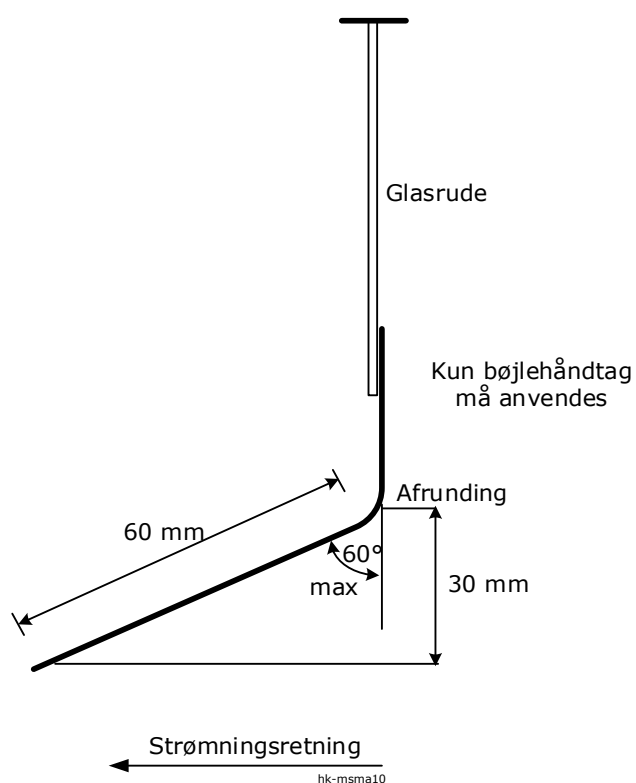


Figur 9.3 - Eksempler på gode løsninger af airfoil ved en lufthastighed på 0,35 m/s i lugeåbningen.

### 9.1.2 Lugeunderkantens udformning

Det er en sikkerheds- og energimæssig fordel at arbejde med en så lille lugeåbning som mulig under hensyntagen til det arbejde, der skal udføres. En del arbejde foregår nødvendigvis sådan, at armene bevæges lige under lugeunderkanten. Folder i ærmerne kan da let rive små forurenede luftmængder med ud ad skabet. Det er derfor vigtigt, at der er en renblæsningszone af en vis størrelse på lugeunderkantens underside, hvorunder der er uforstyrret ren luft. Lugeunderkanten bør ikke i uforstyrret tilstand trække forurenede luft fra skabets indre til og ud nær lugeunderkantens forside. Lugeunderkanten bør derfor eksempelvis ikke have vandret underkant, da forurenede luft vil trækkes ud langs dennes underside. Et simpelt skråtstillet blad med en længde på ca. 60 mm fungerer fuldt tilfredsstillende, se Figur 9.4.

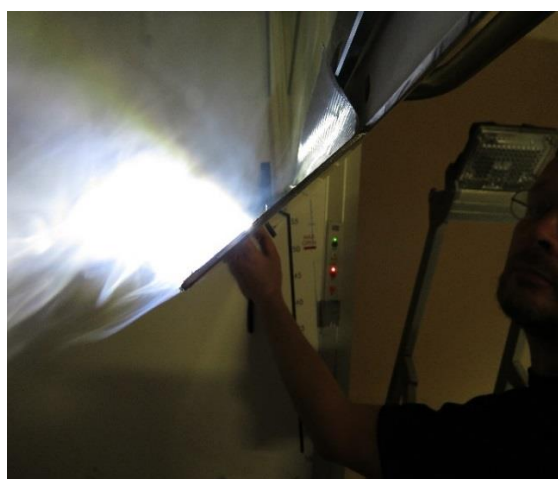




Figur 9.4 - Selvrensende lugeforkant.

Som det fremgår af Figur 9.4 bør det skrånstillede blad monteres med en vinkel på maksimalt 60°.

For at illustrere vigtigheden af at vælge den rette lugeunderkant er der ligeledes foretaget supplerende røgforsøg med forskellige geometrier. Nedenfor ses et par eksempler.



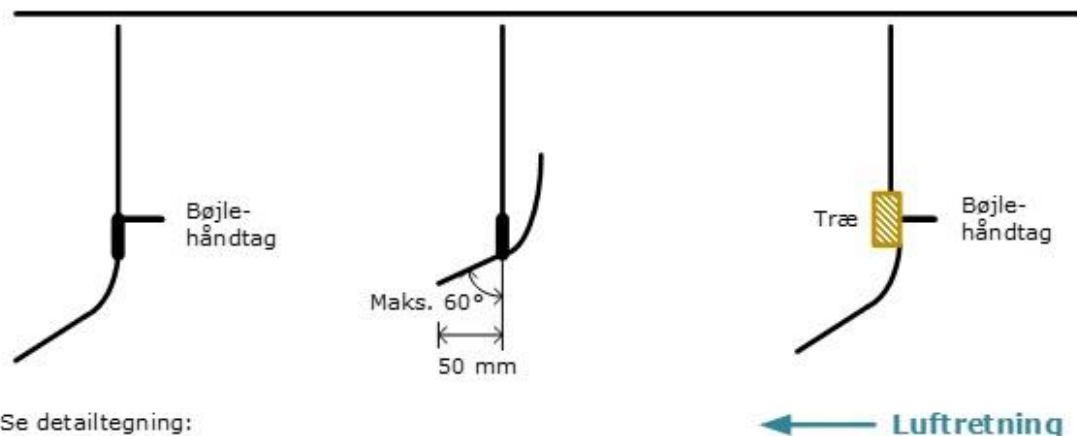
Figur 9.5 - Til venstre ses en løsning af en skrånstillet lugeunderkant og til højre en 90 grader bøjning pegende ud af stinkskeb.



*Figur 9.6 - På billedet ses en løsning af en lugeunderkant som er halvafrundet pegende indad i stinkskalet.*

Det fremgår tydeligt af billedet til venstre på Figur 9.5, at der på grund af geometrien er forholdsvis langt mellem brugerens åndingszone og røgen. Endvidere ses det, at røgen bliver inde i stinkskalet og passerer således ikke lugeunderkanten. Af billedet til højre ses det derimod tydeligt, at røgen befinder sig på den yderste del af lugeunderkanten. Derfor skal der ikke mange forkerte bevægelser til før at røgen strømmer ud i brugerens åndingszone. Af Figur 9.6 som er en indadrettet lugeunderkant med en vinkel på 90 grader ses det ligeledes, at røgen trækkes ud af stinkskalet til brugerens åndingszone.

Bedste løsninger – kan bruges i skabe med 0,35 m/s i lugeåbning

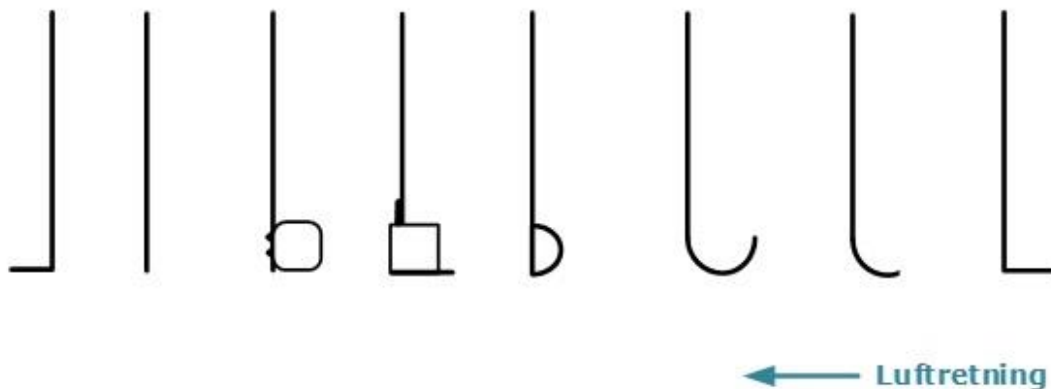


Se detailtegning:

Mindre gode acceptable løsninger - frarådes anvendt ved skabe med under 0,5 m/s i lugeåbning



Dårlige løsninger - frarådes anvendt til stinks skabe hvori der arbejdes



Figur 9.7 - Eksempler på lugeunderkanter.

### **9.1.3 Sidevægge og mellemstolper**

Sidevæggens front skal være aerodynamisk udformet. Dette betyder, at den skal være glat, afrundet og uden fremspring eller kanter.

## **9.2 Optimeret lugelukkeordning**

Der er i det følgende foretaget forsøg med gængse laboratorieprodukter til stinkske. Formålet med forsøgene har været at bestemme, hvad der i praksis er muligt samtidig med at beskrive eventuelle faldgrupper eller blot, hvad man bør være opmærksom på i forbindelse med design af lugen og dennes styring.

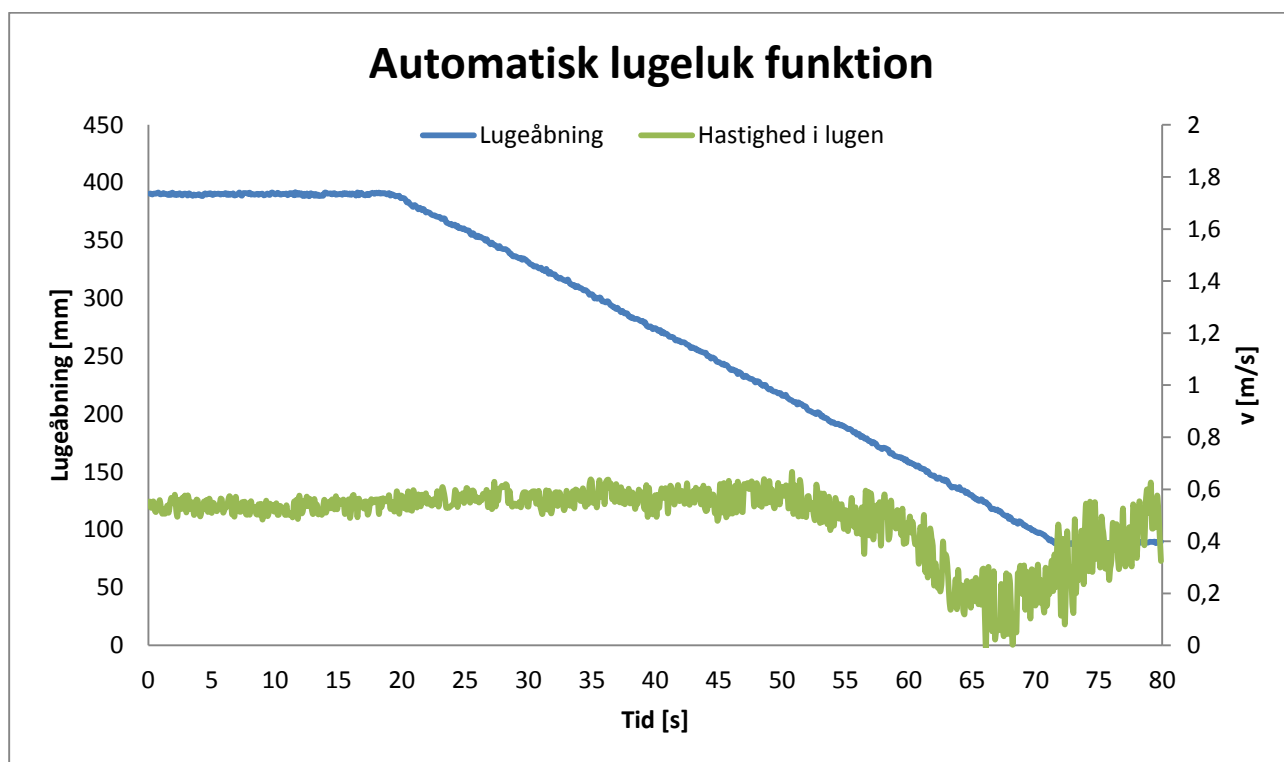
### **9.2.1 Automatisk lugeluk**

For at spare energi i forbindelse med driften af stinkske, kan der monteres automatisk lugeluk funktion. Hvis en bruger glemmer at lukke stinksket ved afsluttet arbejde, lukker lugen automatisk, når den tilhørende bevægelsessensor ikke har været aktiveret i den forudindstillede tidsperiode.

I et givent tilfælde med et 1,7 meter bredt stinkske reduceres den udsugede luftstrøm fra ca. 1.500 m<sup>3</sup>/h til 250 m<sup>3</sup>/h fra fuldt åbent luge til lukket position, såfremt en lufthastighed på 0,5 m/s ønskes opretholdt. Der kan opnås en yderligere besparelse ved at reducere lufthastigheden i lugeåbningen til eksempelvis 0,3 m/s, når lugen er lukket. Derved reduceres luftstrømmen til ca. 150 m<sup>3</sup>/h i det givne tilfælde.

Det er vigtigt, at når lugen lukkes enten manuelt eller automatisk, at den ønskede lufthastighed i lugeåbningen opretholdes. I tilfælde af at dette ikke sker vil der være risiko for at luft fra stinksket kan udrives. Omvendt er det heller ikke ønskværdigt, at lufthastigheden bliver meget højere end den ønskede lufthastighed.

For at vise betydningen af korrekt valg af spjæld, styring og sammenspillet mellem spjæld og stinkske, er der foretaget forsøg med en automatisk lugeluk funktion. Af Figur 9.8 ses det, at lufthastigheden i lugeåbningen er 0,5 m/s, mens lugen lukker. Når lugen er omkring 15 cm over bordpladen, falder lufthastigheden til under 0,5 m/s. Det er dog kun i 10 sekunder og når stinksket ikke er i brug.



Figur 9.8 - Automatisk lugeluk funktion.

Som det fremgår af figuren er der i det aktuelle tilfælde en periode på ca. 10 sekunder, hvor lufthastigheden i lugeåbningen er for lav. Grunden hertil skyldes styringen af regulatoren, som laver et overshoot.

### 9.2.2 Optisk sensor

Det anbefales, at der installeres stinkskabe, LAF-bænke mm. med automatisk lugeluk funktion, da det både reducerer energiforbruget og samtidigt øger brugersikkerheden. Når et stinkskab er udstyret med en automatisk lugeluk funktion, er det dog vigtigt at sikre, at lugen ikke karambolerer med opstillinger eller deslige, når denne lukker. Det kan hænde, at der stikker noget ud af stinkskabets åbning eller at der står noget på bordpladen helt fremme ved lugen, som kan ødelægges af lugens tryk ved automatisk lugeluk.

Der findes flere løsninger til at stoppe lugen automatisk, når denne møder et objekt. For eksempel fås mange stinkskabe med en lugetrykvagt, som måler modstanden i lugen. Det er også muligt at få stinkskabe med optiske sensorer, som registrerer objekter ved afbrydelse af den optiske lysstråle. Løsningerne kan også kombineres.

Fordelen ved den optiske sensor er, at selv ved meget lette opstillinger eller spartler etc. der stikker ud af stinkskabet stopper lugen inden objektet rammes. Dette forudsætter selvfølgelig, at sensorerne er korrekt placeret. I tilfælde af at der benyttes en lugetrykvagt, rammer lugen objektet, hvorefter lugen stopper når den når sin maksimale modstand. Dette er typisk mellem 300-2000 g.

Der er foretaget forsøg af en optisk sensor for at bestemme følsomheden af sensoren, og hvor tit den registrerer et objekt i lugeåbningen. Se dele af måleopstillingen på billederne nedenfor.



Figur 9.9 – Eksempler på vinkel og testobjekter

På baggrund af målingerne vurderes det, at den optiske sensor registrerer alle objekter, såfremt objektet påvirker strålen i sensoren. Placeringen og udformning af lugen og den optiske sensor muliggør, at lugen ved lukning vil kunne ramme objekter uden af den optiske sensor registrerer det pågældende objekt. Det vurderes for det testede fabrikat ikke som en reel mulighed, at udforme stinkskalets luge og den optiske sensor således, at den optiske sensor altid vil bremse lugen under lukning.

Det anbefales, at købere af et luge-luk system inden ordreafgivelse beder om en demonstration, hvor systemet testes med diverse genstande.

### 9.2.3 Alarmknap

En alarmknap er et godt supplement til sikkerheden i et laboratorium med mange stinkskafe. Alarmknappen kan ved kontaminering af et laboratorium anvendes som nødknap. Typisk vil sådan en knap skulle aktiveres manuelt og bør være placeret ved udgangene. Når alarmknappen aktiveres, åbnes lugerne automatisk og lufthastigheden i lugeåbningen skal være konstant mindst 0,5 m/s, hvorefter laboratoriet gennemskylles for at fjerne eventuelle forureninger.

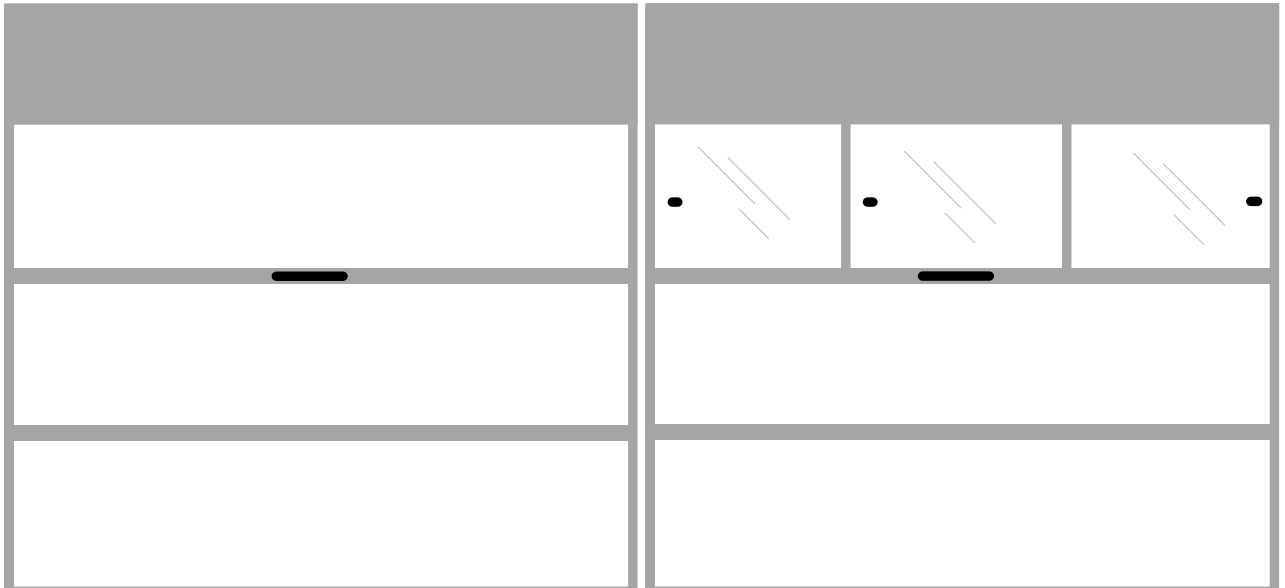
Der er foretaget forsøg med en sådan alarmknap for at bestemme tiden for åbningen af lugen og regulering af spjældet i hovedkanalen. Forsøgene viste, at lugen i det pågældende stinkskafe kunne åbne fra lukket (80 mm) til helt åben (500 mm) på 7 sekunder. Samtidigt blev en lufthastighed på 0,5 m/s opretholdt. Det der afgør hvor hurtigt lugen åbnes og om der kan opretholdes en konstant lufthastighed i lugeåbningen, er opbygningen af lugen, dennes vægt og spjældet i kanalsystemet.

Ovennævnte resultater kan fremadrettet benyttes af rådgivere, projekterende og deslige i forbindelse med udarbejdelse af kravspecifikationer for laboratorier.

### 9.2.4 Sidforskydende ruder

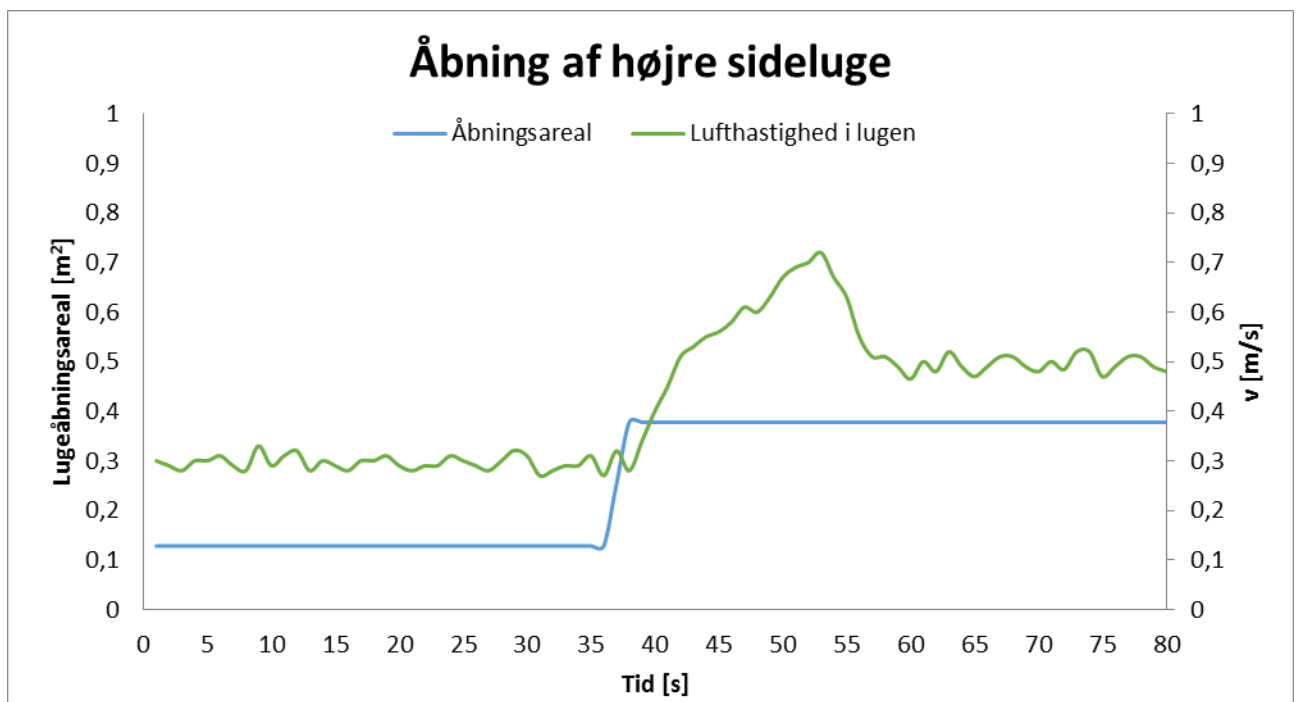
Et andet supplement til at øge fleksibiliteten af stinkskafe, sikkerheden for laboranten og reducere energiforbruget er stinkskafluger med sideforskydende ruder. Et eksempel på dette er vist nedenfor. Det er også muligt at få andre løsninger, som øger sikkerheden og reducerer energiforbruget endnu mere. I mange tilfælde kan det være tilstrækkeligt for en

bruger at åbne én af de sideforskydende ruder. Herved reduceres lugeåbningsarealet mange gange, hvorved energiforbruget reduceres betydeligt.



Figur 9.10 - Til venstre ses et stinkskab med en almindelig luge. Til højre ses et stinkskab med en luge med mulighed for at sideforskyde ruderne.

Der er foretaget forsøg med et stinkskab med sideforskydende ruder. I forsøget, hvor stinkskabet var indstillet med en lufthastighed i lugeåbningen på 0,3 m/s ved lukket luge (80 mm åben), tog det ca. 20 sekunder fra at en af de sideforskydende ruder blev åbnet helt (ca. 0,25 m<sup>2</sup>) til at lufthastigheden i lugeåbningen var 0,5 m/s. Dette ville formentligt ske endnu hurtigere, såfremt lufthastigheden ved lukket luge var 0,5 m/s. Ud af de 20 sekunder var lufthastigheden i ca. 5 sekunder under 0,5 m/s. Resultaterne ses på Figur 9.11.



Figur 9.11 - Lufthastighed i lugeåbningen, når en sideforskydte rude åbnes.

Grunden til at reguleringen sker forholdsvist langsomt er, at det er flowmetret i stinkskabet som regulerer lufthastigheden i lugeåbningen, når de sideforskydende ruder anvendes. Ved åbning af den primære luge reguleres lufthastigheden i lugeåbningen ud fra lugens position og deraf åbningsarealet. Denne form for styring reagerer langt hurtigere end et flowmeter.

Når stinkskabets luge åbnes og arealet i lugeåbningen øges (hurtigt) er det vigtigt, at skabets reguleringsspjæld reagerer hurtigt, således at lufthastigheden i lugeåbningen ikke bliver kritisk lav og sikkerheden for laboranten bringes i fare. Dette sikres ved, at spjældet reagerer hurtigt, når lugen åbnes. Det anbefales derfor, at såfremt et stinkskab er udstyret med sideforskydende ruder, så bør reguleringen for både den primære luge og de sideforskydende ruder ske ved måling af positioner og ikke vha. et flowmeter. Spjældet kan indstilles til at justere efter lugeåbningen.

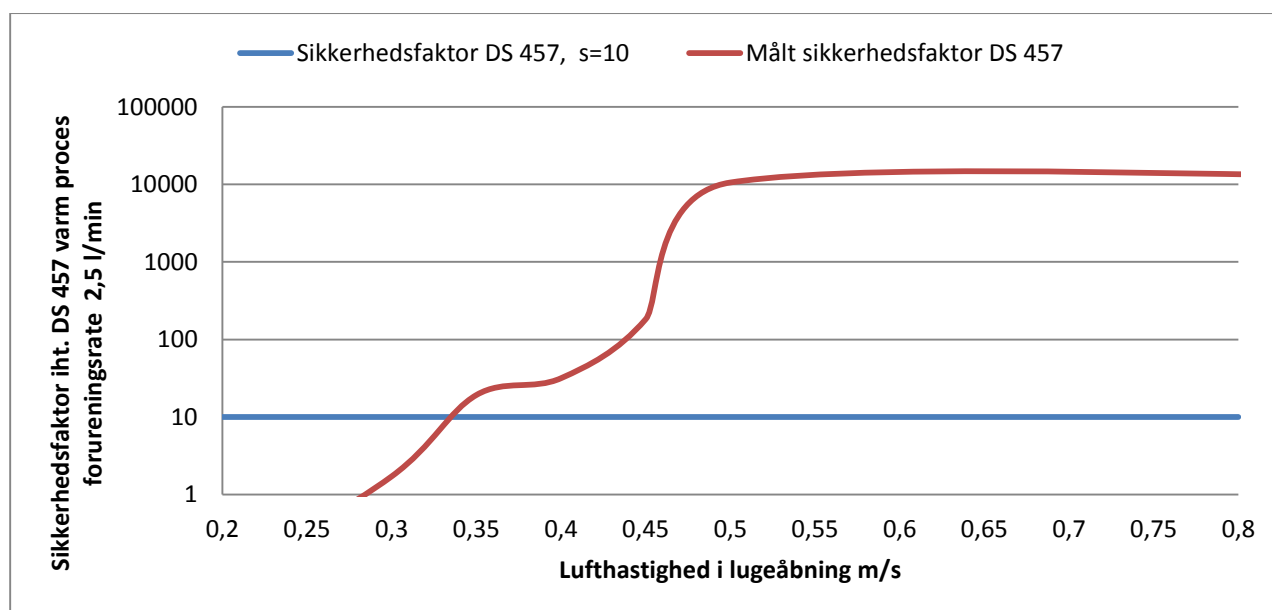
### 9.3 Add-on til optimering af stinkskab

Ved tidligere undersøgelser er det fundet at sikkerhedsfaktoren reduceres markant, når lufthastigheden i lugeåbningen reduceres. Sikkerhedsfaktoren er et udtryk for sikkerhedsniveauet ved arbejde i og omkring stinkskabet.

#### 9.3.1 Sikkerhedsfaktoren som funktion af lufthastighed i lugeåbningen

Der er udført en række forsøg med sikkerhedsfaktorens afhængighed af lufthastigheden i lugeåbningen. Under forsøgene er luftstrømmen gennem lugeåbningen reguleret fra 612 m<sup>3</sup>/h til 3.060 m<sup>3</sup>/h, således der kan opstilles et diagram, hvor sikkerhedsfaktoren vises i forhold til lufthastigheden i lugeåbningen. Det er vigtigt at påpege, at resultaterne kun gør sig gældende for det testede stinkskab.

Figur 9.12 viser sikkerhedsfaktoren for målinger med lufthastigheder fra 0,2 m/s i lugeåbningen (612 m<sup>3</sup>/h) til 0,8 m/s (3.060 m<sup>3</sup>/h) i lugeåbningen. Figuren er udarbejdet på baggrund af målinger opnået i et idealiseret laboratorium, dvs. at hvis placeringen af stinkskabet i forhold til indblæsningsarmaturerne, den aktuelle opbygning af lokalet, forbigående m.m. ikke er optimal vil sikkerhedsfaktoren være lavere end vist.



Figur 9.12 - Målt sikkerhedsfaktor ved indblæsning med dysekanaler.



Af Figur 9.12 fremgår det, at med dysekanaler som indblæsningsarmatur kan den i DS 457 foreskrevne sikkerhedsfaktor på 10 ikke opnås med en lufthastighed i lugeåbningen på under 0,33 m/s.

Resultatet indikerer, at det er muligt at reducere lufthastigheden i lugen fra de traditionelt anvendte 0,5 m/s. Dog skal dette ikke bare gøres uden omtanke. Stinkskabene og laboratoriet som helhed skal nøje gennemtænkes. Desuden viser forsøgene der er beskrevet i kapitel 8.2, at det ikke er muligt at reducere lufthastigheden til 0,35 m/s medmindre der er en afstand på 1,5 meter fra stinkskabet til laboratoriets ganglinjer.

### 9.3.2 Add-on sugearm

Ifølge Bygningsstyrelsen skal minimumsafstanden mellem stinkskabe og andet inventar (andre stinkskabe, borde, opstillinger etc.) være 1,5 m, mens afstanden mellem stinkskabe, borde, opstillinger etc. og laboratoriets vægge skal være mindst 1,1 m.

Det betyder endvidere, at det generelt vil være vanskeligt at lave ganglinjer 1,5 m fra stinkskabe.

Det er derfor undersøgt om der er andre muligheder for at opnå en reduktion af lufthastigheden i lugeåbningen, f.eks. indkapsling af processerne inde i stinkskabet. I den forbindelse er det bl.a. undersøgt om hvorvidt det er en fordel at tilføje en sugearm (punktudsug) inde i stinkskabet. Løsningen er undersøgt med henblik på at øge sikkerheden for laboranten, samtidig med at energiforbruget for stinkskabet eller stinkskabsmiljøer i helhed kan reduceres.

Hensigten er, at kemikalier, som skal håndteres med stor forsigtighed og som kan have høj skadevirkning på laboranten, skal placeres under sugearmen, hvor lufthastigheden er høj i forhold til lufthastigheden i lugeåbningen. For at opnå en højere hastighed i sugearmen end i lugeåbningen er det nødvendigt, at etablere en separat ventilator, der foretager udsugningen gennem sugearmen. Forsøgsopstillingen er vist nedenfor og er kun et eksempel på, hvordan det kan tage sig ud.



Figur 9.13 - Sugearm som er placeret i et stinkskab.

Der er udført tests af den viste sugearm i et Zystm stinkskab i laboratoriet på Teknologisk institut.

Effekten af at montere en sugearm inde i et stinkskab er testet ved at undersøge påvirkningen af lufthastigheden i lugeåbningen ved en forbipasserende person. Derudover er sikkerheden for laboranten undersøgt med sporgasforsøg.

### **Påvirkning af forstyrrelse fra forbipasserende person**

Påvirkningen af stinkskabet fra en forbipasserende person i en afstand på 0,5 m med en hastighed på 1 m/s er undersøgt visuelt. Til at undersøge dette, er der anvendt farvede røgkilder placeret i stinkskabet samt en robot, der passerer stinkskabet med 1 m/s.

Ved en lufthastighed på 0,5 m/s i lugeåbningen, er der ingen forstyrrelser (af røgen) i stinkskabet. Når hastigheden i lugeåbningen reduceres til 0,2 m/s er det observeret, at der trækkes røg ud fra skabet, når robotten passerer.

Derefter er det undersøgt om det er muligt, at reducere lufthastigheden i lugeåbningen til 0,2 m/s, hvis der etableres en sugearm, der er placeres direkte over røgkilden i stinkskabet, med et sug på 100 m<sup>3</sup>/h. Det blev observeret, at røgen i stinkskabet forstyrres af en forbipasserende person, men at der ikke trækkes røg ud af stinkskabet. Når lufthastigheden i lugeåbningen øges til 0,3 m/s og sugearmen suger 100 m<sup>3</sup>/h forstyrres røgen i stinkskabet ikke af den forbipasserende person.

### **Sikkerhed for laboranten**

Fra tidligere studier er det fundet, at i alle situationer med processer med lave eller ukendte grænseværdier skal det ved valg af lufthastigheden i arbejdsåbningen medtages i overvejelserne, at en forøgelse af lufthastigheden fra f.eks. 0,35 m/s til 0,5 m/s øger sikkerhedsfaktoren med ca. 500 gange.

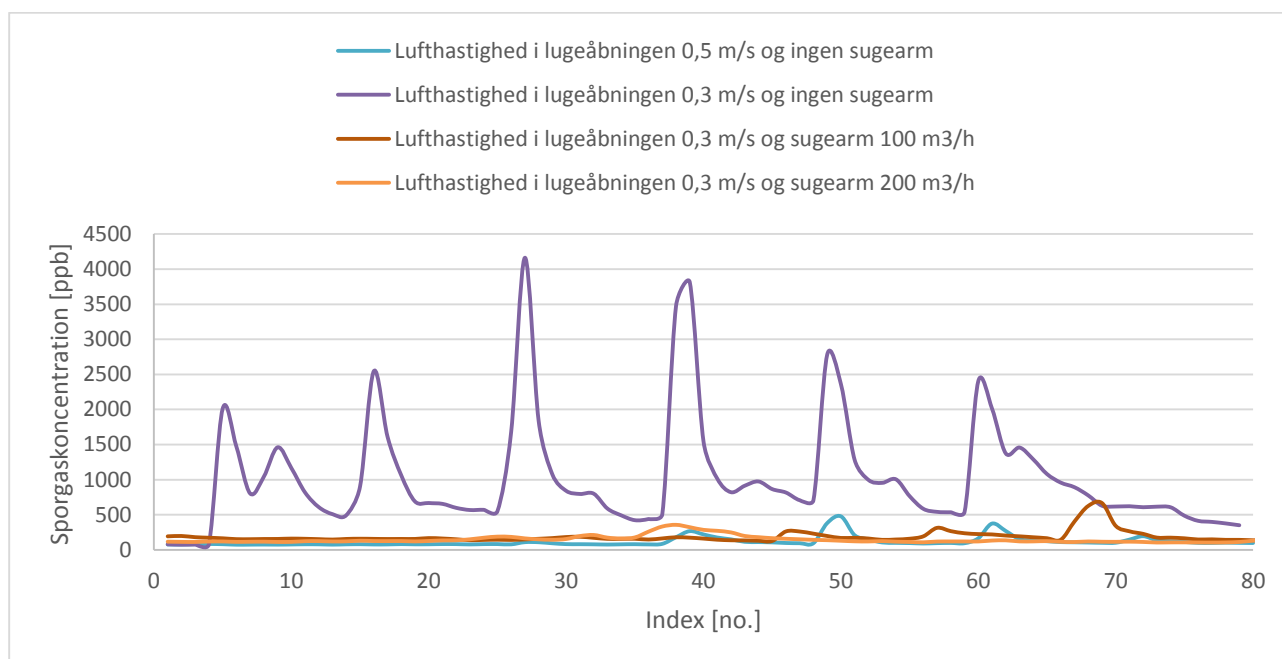
### **Forsøg udført med sporgas**

Der er udført en forsøgsrække med sporgasmålinger i henhold til DS/EN 14175. Den anvendte sporgas var isobutylene, da svovlhexafluorid ikke er tilladt i Danmark.

- 1) Sporgasmåling med lugehastighed på 0,5 m/s
- 2) Sporgasmåling med lugehastighed på 0,3 m/s
- 3) Sporgasmåling med lugehastighed på 0,3 m/s plus sugearm 100 m<sup>3</sup>/h
- 4) Sporgasmåling med lugehastighed på 0,3 m/s plus sugearm 200 m<sup>3</sup>/h

Ved hvert af forsøgene blev det undersøgt, hvor stor en del af sporgassen der tilføres omgivelserne uden for stinkskabet, når luften ved lugeåbningen påvirkes af en forbipasserende person.

Der er målt sporgas i lugeåbningen i 30 punkter samtidig med at en personsimulator passerer frem og tilbage foran stinkskabet 6 gange.



Figur 9.14 - Sporgaskoncentration i lugeåbningen målt i henhold til DS/EN 14175.

Af Figur 9.14 ses det, at sporgaskoncentrationen (forureningen) i lugeåbningen øges, når personsimulatoren passerer stinkskaftet. Sporgaskoncentrationen i lugeåbningen er størst ved en lufthastighed i lugeåbningen på 0,3 m/s.

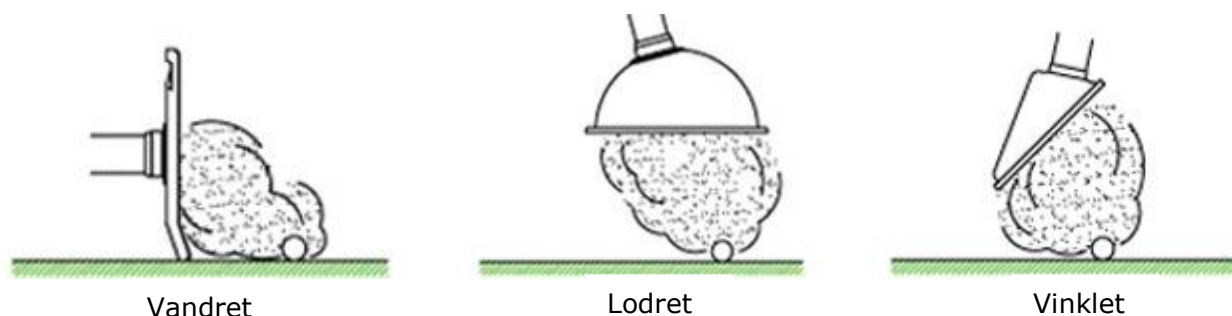
Når lufthastigheden i lugeåbningen øges fra 0,3 m/s til 0,5 m/s reduceres den største koncentration af sporgas i lugeåbningen fra 4.153 ppb til 477 ppb, hvilket næsten er en reduktion med en faktor 9.

Ved at tilføje en sugearm i stinkskaftet med et sug på 100 m<sup>3</sup>/h og en hastighed i lugeåbningen på 0,3 m/s, blev den højeste koncentration af sporgas målt til 667 ppb. Når luftstrømmen i sugearmen blev øget til 200 m<sup>3</sup>/h, blev den højeste koncentration af sporgas målt til 356 ppb.

Når lufthastigheden i stinkskaftets lugeåbning reduceres til 0,3 m/s samtidig med at sugearmen suger 200 m<sup>3</sup>/h reduceres sikkerheden for laboranten ikke, da sugearmen sørger for at der ikke afgives dampe til omgivelserne. Det vil derfor være muligt at reducere afstanden mellem stinkskaftene og ganglinjerne i laboratoriet, hvis stinkskaftene er udrustet med sugearme i skabene. Det er dog vigtigt, at laboranten er opmærksom på, at sugearmen skal placeres hensigtsmæssigt i forhold til forureningskilden.

### Placering af sugearmens skærm

Stinkskaftet suger bagerst i skabet og for at sugearmen fungerer aerodynamisk og sikkerhedsmæssigt optimalt, er det vigtigt at placere emnet hvorfra der skal suges, så sugearmen har størst mulig effekt. Sugearmens skærm kan enten placeres lodret, vandret eller med en vinkling i forhold til luftretningen. Hvilken placering der er mest effektiv afhænger af den enkelte proces. Dette indebærer, at brugeren har kendskab til afdampningsretning og placerer sugearmens skærm herefter. Såfremt der ikke tages hensyn til, hvordan afdampningen fra processen sker kan effekten af sugearmen forringes betydeligt. Eksempler på hvordan skærm bør placeres ift. processen ses nedenfor.



Figur 9.15 - Placering af sugearmens skærm.

Sugeåbningen (hovedet) bør altid placeres så tæt på forureningskilden som muligt, idet afstanden mellem sugearmen og forureningskilden er af stor betydning for effektiviteten af udsugningen, og dermed den nødvendige udsugede volumenstrøm. Hvis en sugeåbning eksempelvis placeres i en afstand, der svarer til halvdelen af sugeåbningens diameter, vil der kunne opnås den samme effektivitet med 1/4 af den volumenstrøm, der skal anvendes ved en placering af sugeåbningen i en afstand fra forureningskilden, som svarer til sugeåbningens diameter.

### Recirkulering af luft fra sugearmen

Det skal undgås, at luften der suges ud med sugearmen returnerer gennem hovedkanalen til stinkskabet.

### Styring af spjæld og ventilatorer

Hvis kanalen fra sugearmen tilsluttes mellem stinkskab og spjæld vil lufthastigheden være konstant.

Hvis kanalen fra sugearmen tilsluttes efter spjældet, der justerer lufthastigheden i lugeåbningen, bliver lufthastigheden i lugeåbningen reelt højere end ønsket, idet spjældstyringen ikke tager højde for luftstrømmen i sugearmen, som vist nedenfor. Sugearmen bør derfor tilsluttes mellem stinkskab og reguleringsspjæld.

	Stinkskab [m <sup>3</sup> /h]	Sugearm [m <sup>3</sup> /h]	Lufthastighed i lugeåbning [m/s]
<b>Før spjæld</b>	718	200	0,30
<b>Efter spjæld</b>	918	200	0,36

Tabel 9.1 - Lufthastighed i forhold til styring af decentral ventilator.

### Energibetragtning

Stinkskabet har ved helt åben luge et åbningsareal på 0,85 m<sup>2</sup>. Hvis lufthastigheden i lugeåbningen reduceres fra 0,5 m/s til 0,3 m/s reduceres luftstrømmen fra 1.530 m<sup>3</sup>/h til 918 m<sup>3</sup>/h. Hvis det antages, at den centrale ventilator (stinkskabets ventilator) har en høj virkningsgrad, så skal den decentrale ventilator (sugearmens ventilator) også have en forholdsvis høj virkningsgrad for at det samlede effektbehov (for både den decentrale og den centrale ventilator) ikke overstiger det oprindelige effektbehov for den centrale ventilator. Der henvises i øvrigt til bilag 17.4.

## 10 Styring af ventilator

I dette kapitel beskrives styringen af stinkskabenes fælles udsugningsventilator. Generelt styres ventilatoren efter et tryk, som måles af et manometer. Det er vigtigt, at placeringen af reguleringspunktet som ventilatoren styrer efter er korrekt. Det vurderes, at der er en generel tendens til at placere reguleringspunktet nær ventilatoren på undertrykssiden. Dette er imidlertid forkert, da ventilatoren da normalt vil køre med en for høj trykdifferens. Det bør tilstræbes at placere reguleringspunktet i det fjerneste forsyningspunkt på den kritiske kanalstrækning. Med kritiske kanalstrækning menes den strækning, hvor tryktabet i kanalsystemet er størst, - altså det dårligst forsynede punkt. Hvis reguleringspunktet vælges korrekt vil det give en markant reduktion i elforbruget til ventilatoren i forhold til hvis reguleringspunktet er umiddelbart ved ventilatoren.

Derudover bør det undersøges, om luftmængden over ventilatoren konstant, og dermed uafhængig af lugeåbningen på stinkskabene. I nogle laboratorier er styringen af luftmængderne (indblæsning og udsugning) konstrueret således, at luftmængderne holdes konstante uanset åbningsgraden af lugerne på stinkskabene. I praksis sker det ved at udsugningsmængden gennem udsugningsarmaturerne for almen udsug øges, når lugerne på stinkskabene lukkes. Dette er naturligvis ikke en energimæssig korrekt løsning og skal derfor undgås. Luftmængderne i laboratoriet og dermed ventilatoren skal være behovstyret og ikke konstante.

## 11 Program til optimering af energiforbruget i laboratorier


I dette kapitel beskrives et beregningsværktøj til registrering af energiforbruget i laboratorier, der er udviklet i nærværende projekt. Projektresultaterne samt erfaringer omkring forskellige emner ligger til grund for værktøjet, som fokuserer på stinkskabe, LAF-bænke og de dertil knyttede ventilatorer, som forsyner procesudsugene. Andet procesudsug såsom punktudsug er ikke medtaget i værktøjet.

Værktøjet kan benyttes til at undersøge energibesparelspotentialet til laboratorieventilation. Dette sker ved at foretage målinger og registreringer af en eksisterende situation, hvorefter værktøjet beregner besparelspotentialet for stinkskabe, LAF-bænke og ventilator. Beregningen sker ud fra en antagelse af, at stinkskabet, ventilatoren mm. optimeres til Best Available Technology på markedet.

### 11.1 Hovedsiden

Hovedsiden af værktøjet ses på Figur 11.1. Overordnet findes der nogle felter markeret med gult. Disse felter er inddata til værktøjet som udfyldes af brugeren. På siden findes knapper markeret ved grå bokse. Ved tryk på disse knapper vises nye sider. På siden findes også en vejledning vist med en rød bog. Heri er det muligt at læse om selve programmet, herunder om indtastning i felter m.m.

På hovedsiden findes beregningsresultaterne som genereres på baggrund af de inddata, som brugeren indtaster under "Stinkskabe, LAF-bænke" og "Ventilator". Det aktuelle energiforbrug (vist ved "før") vises sammen med energiforbruget efter optimering (vist som "efter"). Energiforbruget efter beregnes ud fra en række mulige besparelestiltag, der er prædefineret i værktøjet. Hvilke besparelestiltag der foreslås afhænger af brugerens indtastninger.

<b>Introduktion til brug af energibesparelsesværktøj RELS</b>				
<p>Værktøjet benyttes til at undersøge energibesparelsespotentialer til laboratorieventilation. Ved at foretage målinger og registreringer af en eksisterende situation kan værktøjet beregne besparelsespotentialer for ventilator, stinkskabe, Laf-bænke m.m.</p> <p>For yderligere information om værktøjets brug kan vejledningen læses ved tryk på den røde bog →</p>				
<b>Navn:</b>	Test	<b>Indsæt dags dato</b>	<b>Dato:</b>	01-08-2016
<b>Projektnr.:</b>	1000001			
<b>Investering:</b>	kr. 150.000	<b>Varmepris:</b>	650 [kr./MWh]	<b>NB!</b> Alle priser oplyses ekskl. moms
<b>Tilskudspris:</b>	0,31 [kr./kWh]	<b>Elpris:</b>	1,85 [kr./kWh]	
<b>Energiforbrug</b>				
	<b>Før</b>		<b>Efter</b>	
<b>Stinkskabe, LAF-bænke</b>	22.160 [kWh/år]		13.011 [kWh/år]	
<b>Ventilatorer</b>	8.801 [kWh/år]		3.868 [kWh/år]	
Samlet varmeforbrug	22.160 [kWh/år]		13.011 [kWh/år]	
Samlet elforbrug	8.801 [kWh/år]		3.868 [kWh/år]	
Procentvis reduktion af varmeforbrug			41%	
Procentvis reduktion af elforbrug			56%	
Årlig varmebesparelse			9.149 [kWh/år]	
Årlig elbesparelse			4.933 [kWh/år]	
Årlig økonomisk energibesparelse, ekskl. moms			15.072 [kr./år]	
Salg af energibesparelse, ekskl. moms			4.365 [kr.]	
Tilbagebetalingstid			9,7 [år]	
<b>Besparelsesgrundlag</b>				
<b>Beregn sikkerhedsfaktor</b>				
<b>Kommentarer:</b>				
Skriv kommentar...				
Opbygning af stinkskabe	Indretning af stinkskabslaboratorium	Egenkontrol og test af sikkerhed	Print til PDF	E-mail PDF

Figur 11.1 - Hovedside af værktøjet.

Besparelestiltagene som ligger til grund for beregningen af energiforbruget i efter-situationen vises ved tryk på knappen "Besparelsesgrundlag".

Ved tryk på knappen "Print til PDF" fås en udskrift af samtlige registreringer og energiberegninger. Ved tryk på knappen "E-mail PDF" er det muligt at videresende informationerne til en e-mail adresse.

## 11.2 Stinkskabe, LAF-bænke

Ved tryk på knappen "Stinkskabe, LAF-bænke" vises følgende side vist på Figur 11.2. På siden skal følgende inddata tages ind:

- Antal stinkskabe
- Driftstimer pr. dag
- Antal driftsdage pr. uge

Derudover skal brugeren af værktøjet tage stilling til, hvor tit stinkskabene er fuldt åbne og lukket. Dernæst skal brugeren vælge i en rullemenu, hvorvidt der anvendes varmegenvinding, og om der er automatisk lugeluk styring på stinkskabene og LAF-bænkene samt om der arbejdes med sundhedsfarlige stoffer. Derudover skal brugeren angive afstanden mellem ganglinjer og stinkskabe og om der i fremtiden ønskes installeret sugearm (punktudsug) i stinkskabet.

**Stinkskabe, LAF-bænke**

Antal stinkskabe  stk.

Driftstimer pr. dag  timer pr. dag

Antal dage om ugen  dage pr. uge

Skønnet tid hvor stinkskabene er fuldt åbne  %

Skønnet tid hvor stinkskabene er lukket  %

Er der VGV ved alle stinkskabe  Tryk på celle E22 for at benytte rullemenu

Er der automatisk luge-luk styring på alle stinkskabene  Tryk på celle E23 for at benytte rullemenu

Arbejdes der med sundhedsfarlige stoffer  Tryk på celle E24 for at benytte rullemenu

Gangliniens afstand fra stinkskabe  m Tryk på celle E25 for at benytte rullemenu

Ønskes der i stinkskabet installeret sugearm i fremtiden  Tryk på celle E26 for at benytte rullemenu

Guide til målinger og registreringer til bestemmelse af stinkskabets varmeforbrug - Læs guide ved tryk på billedikonet til højre for teksten →

**Guide**

Aggregat Anlægsnr.	Stinkskabsnr.	Stinkskabsbredde [m]	Fuldt åbent		Lukket i arbejdstiden		Lukket udenfor arbejdstiden	Tryk* [Pa]	VGV	Automatisk luge-luk styring	Sundheds-skadelige stoffer
			Lugeåbning [cm]	Lufthastighed [m/s]	Lugeåbning [cm]	Lufthastighed [m/s]	Lufthastighed [m/s]				
VE01	1	1	50	0,5	12	0,5	0,3	110	Ja	Ja	Ja
VE01	2	1	50	0,5	12	0,5	0,3	110	Ja	Ja	Ja
VE01	3	1	50	0,5	12	0,5	0,3	110	Ja	Ja	Ja
VE02	4	1	50	0,5	12	0,5	0,3	110	Ja	Ja	Ja
VE03	5	1	50	0,5	12	0,5	0,3	110	Ja	Ja	Ja

\*Tryk måles umiddelbart efter stinkskabet og før et evt. spjæld

**Retur til forside**

Figur 11.2 - Registreringsark vedr. stinkskabe, LAF-bænke mm.

Når ovenstående inddata er udfyldt kan brugeren starte med at udfylde data for hvert enkelt stinkskab. Som det fremgår af screendumpet fra værktøjet skal brugeren tage stilling til om der anvendes varmegenvinding, om der er automatisk luge-luk styring og om der arbejdes med sundhedsfarlige stoffer ved hvert enkelt stinkskab eller LAF-bænk. Kolonnerne vil dog på forhånd være udfyldt, når brugeren har indtastet data ovenfor.

Der findes ligeledes en guide i øverste højre hjørne, som forklarer hvad og hvordan siden benyttes.

### 11.3 Ventilator

Ved tryk på knappen "Retur til forside" vises hovedsiden igen, hvor det er muligt at trykke på knappen "Ventilator", hvorefter følgende side vises vist på Figur 11.3.

**Ventilatorer**

Guide til målinger og registreringer til bestemmelse af ventilatorers elforbrug - Læs guide ved at trykke på billedikonet til højre for teksten →

**Driftstimer pr. dag** 24 timer pr. dag  
**Antal dage om ugen** 7 dage pr. uge

**Skønnet tid hvor stinkskabene er fuldt åbne** 50%  
**Skønnet tid hvor stinkskabene er lukkede** 50%

Aggregat Anlægsnr.	Ventilator type	Antal ventilatorer	Trykføler placering	Tryk efter ventilator (Målepunkt 1)	Tryk før ventilator (Målepunkt 2)	Tryk ved fjerneste punkt af kanalstrækning (Målepunkt 3)	Tryk efter stinkskab (Målepunkt 4)
VE01	F-hjul	2	Nær sugeside	75	500	150	110
VE02	B-hjul	2	Fjerneste punkt	25	225	70	40
VE03	B-hjul	2	Fjerneste punkt	75	500	150	110

**Retur til forside**

Figur 11.3 - Registreringsark vedr. ventilator.

Driftstimer og driftsdage er fortrykt og benytter de samme indtastningsværdier fra siden "Stinkskabe, LAF-bænke". Det samme gør sig gældende for tidsforholdet mellem åben og lukket.

På siden skal følgende inddata tages ind:

- Hvilket ventilatortype anvendes (F eller B-hjul)
- Antal ventilatorer
- Er trykføleren placeret nær sugeside af ventilatoren

Dertil skal udfyldes en række værdier for trykket i kanalsystemet.

Der findes ligeledes en guide i øverste højre hjørne, som forklarer hvad og hvordan siden benyttes.

### 11.4 Beregn sikkerhedsfaktor

På hovedsiden findes knappen "Beregn sikkerhedsfaktor". Ved tryk på denne knap tilgås følgende fane vist på Figur 11.4. Denne fane kan anvendes til vurdering af, om sikkerhedsfaktoren er i orden for et givet stinkskab ud fra indtastninger af lufthastighederne i de positioner, der er angivet. Det tages ind i den kolonne, der angiver den aktuelle lufthastighed i lugeåbningen.



## Sikkerhedsfaktor

Guide til målinger og registreringer af sikkerhedsfaktor - Læs guide ved tryk på billedikonet til højre for teksten →



Guide

### Opnåede sikkerhedsfaktorer ved minimum lufthastigheder i lugeåbning

Min lufthastighed i lugeåbning: 0,27 m/s	<b>Sikkerhedsfaktor 1:</b>	<b>Ikke opnået</b>
Min lufthastighed i lugeåbning: 0,33 m/s	<b>Sikkerhedsfaktor 10 (DS457 forslag):</b>	<b>Ikke opnået</b>
Min lufthastighed i lugeåbning: 0,41 m/s	<b>Opnået sikkerhedsfaktor 40 ved:</b>	<b>Opnået</b>
Min lufthastighed i lugeåbning: 0,45 m/s	<b>Opnået sikkerhedsfaktor 100 ved:</b>	<b>Opnået</b>
Min lufthastighed i lugeåbning: 0,50 m/s	<b>Opnået sikkerhedsfaktor &gt;10000 ved:</b>	<b>Opnået</b>

### Lufthastigheder i referencepunkter

Målested	Lufthastighed i lugeåbning [m/s]	
	0,3	0,5
Inde i SSK, ved målerørets munding [A]	-	0
Over SSK, ved højre hjørne 7 cm over skabets top [B]	-	0,1
Over SSK, ved højre hjørne 21 cm over skabets top [C]	-	0,1
Over SSK, ved højre hjørne 21 cm under loft [D]	-	0,1
Over SSK, ved højre hjørne 7 cm under loft [E]	-	0,1
20 cm foran SSK, midt i stinkskabslugen i vertikal retning, 24 cm til venstre for venstre kant [F]	0,8	0,1
20 cm foran SSK, midt i stinkskabslugen i vertikal retning, 2/3 til venstre for venstre kant [G]	0,01	0,07
20 cm foran SSK, ved toppen af stinkskabet, 2/3 til venstre for venstre kant [I]	0,01	0,1

[Retur til forside](#)

Figur 11.4 – Beregn sikkerhedsfaktor.

Brugeren skal udfylde alle de gule felter. Det er vigtigt, at brugeren indtaster alle værdier for den pågældende lufthastighed i lugen, f.eks. ved 0,5 m/s. Såfremt dette ikke gøres angives sikkerhedsfaktoren som ukendt. Ved at indtaste målinger af lufthastigheden i 8 punkter jf. guiden "Egenkontrol/test af sikkerheden for stinkskabe" i denne fane kan værktøjet generere en indikation af, hvilken sikkerhedsfaktor det pågældende stinkskab har.

## 12 Guidelines

I nærværende projekt er der udviklet tre guidelines. De tre guidelines er:

- stinkskabets opbygning
- indretning af et laboratorium med stinkskabe
- egenkontrol af sikkerheden ved et stinkskab.

Formålet med guiden for stinkskabets opbygning er, at give retningslinjer for hvorledes nye stinkskabe bør udformes og hvordan eksisterende stinkskabe kan modificeres således, at energiforbruget minimeres eller reduceres under hensyntagen til sikkerhedskrav, brugerkrav og installationsforhold.

Formålet med indretningsguiden er, at give bygherrer, rådgivere og projekterende et opslagsværk til, hvordan et laboratorium med stinkskabe bør designes. Desuden er de værste faldgrupper er beskrevet.

Formålet med guiden omkring egenkontrol er, at give en overordnet forståelse af, hvilket udstyr der findes på markedet, samt hvordan man måler på et stinkskab. Guiden indeholder desuden tabeller udviklet på baggrund af forsøgene i projektet, som kan anvendes til at sammenholde med de resultater brugeren måler for at vurdere om sikkerheden i et pågældende stinkskab er tilstrækkelig. Det er vigtigt at påpege, at en egenkontrol aldrig må erstatte en typegodkendelse. Det er dog et rigtig god supplement, eftersom typegodkendelsen for stinkskabe foretages i et idealiseret laboratorium, hvorfor det ikke afspejler virkeligheden.

## 13 Eksempler på energioptimering

Med udgangspunkt i projektresultaterne er der udført en række beregninger for at illustrere, hvor meget det er muligt, at reducere energiforbruget til drift af ét stinkskab.

Nedenfor er opstillet tre eksempler, hvor energiforbruget i en før og efter-situation beregnes. Der er anvendt det beregningsværktøj, som er udviklet i projektet.

### 13.1 Eksempel 1

Der tages udgangspunkt i et stinkskab som er i drift 11 timer pr. dag alle ugens dage. Det antages, at stinkskabet er fuldt åbent 30% af tiden på hverdage. Der anvendes ikke varmegenvinding og stinkskabet er ikke udstyret med automatisk lugeluk styring.

Nedenfor ses dataene for stinkskabet.

Aggregat Anlægsnr.	Stinkskabsnr.	Stinkskabsbredde [m]	Fuldt åbent		Lukket i arbejdstiden		Lukket udenfor arbejdstiden
			Lugeåbning [cm]	Lufthastighed [m/s]	Lugeåbning [cm]	Lufthastighed [m/s]	Lufthastighed [m/s]
VE01	1	1,5	50	0,5	10	0,3	0,3

Figur 13.1 – Stinkskabsdata.

Det antages, at udsugningsventilatoren som betjener stinkskabet er i drift i samme tidsrum som stinkskabet. Yderligere data for ventilatoren ses nedenfor.

Aggregat Anlægsnr.	Ventilator type	Antal ventilatorer	Trykføler placering	Tryk efter ventilator (Målepunkt 1)	Tryk før ventilator (Målepunkt 2)	Tryk ved fjerneste punkt af kanalstrækning (Målepunkt 3)	Tryk efter stinkskab (Målepunkt 4)
VE01	B-hjul	1	Nær sugeside	75	300	150	100

Figur 13.2 – Ventilatordata.

Med de viste inddata fås følgende energiforbrug vist som "før energiforbrug".

	<b>Energiforbrug</b>			
	<b>Før</b>		<b>Efter</b>	
<b>Stinkskabe, LAF-bænke</b>	9.028	[kWh/år]	1.740	[kWh/år]
<b>Ventilatorer</b>	399	[kWh/år]	247	[kWh/år]
Samlet varmeforbrug	9.028	[kWh/år]	1.740	[kWh/år]
Samlet elforbrug	399	[kWh/år]	247	[kWh/år]
Procentvis reduktion af varmeforbrug			81%	
Procentvis reduktion af elforbrug			38%	

Figur 13.3 – Energiforbruget i en før og efter-situation.

Som det fremgår af beregningerne, er den mulige årlige procentvise reduktion af varmekonsumet 81%. En stor del af denne reduktion skyldes muligheden for at etablere varmegenvinding. Varmeforbruget reduceres yderligere ved at det antages, at lufthastigheden i lugeåbningen reduceres til 0,1 m/s, når laboratoriet ikke er i brug. Dette nødvendiggør en overordnet styring af det pågældende laboratorie, hvilket er yderligere beskrevet i beregningsværktøjet.

Lufthastigheden i lugeåbningen reduceres til 0,4 m/s i dagtimerne, idet det er antaget at der ikke arbejdes med sundhedsskadelige eller ukendte stoffer. Desuden er det antaget, at der enten etableres en sugearm i stinkskaftet eller at afstandene mellem stinkskaftet og ganglinjerne overholdes som beskrevet i den udviklede guideline. Derudover reduceres lugeåbningshøjden i lukket tilstand til 5 cm. Dette kan gøres ved en "clamp on" løsning ved lugen eller udskiftning af det eksisterende stinkskaft. Til sidst antages det, at stinkskaftet udstyres med en automatisk lugeluk styring som reducerer tiden, hvor stinkskaftet er fuldt åbent. Endelig er det antaget, at trykføleren der styrer udsugningen som udgangspunkt er placeret nær ventilatoren og ikke i det fjerneste punkt, samt at tryktabet over stinkskaftet er 100 Pa og ikke 40 Pa, som er et passende tryktab.

Den årlige reduktion af elforbruget er 38%. Dette skyldes primært, at luftmængden er reduceret i en stor del af tiden.

## 13.2 Eksempel 2

Der tages udgangspunkt i samme driftstimer som i det foregående eksempel. Det antages, at stinkskaftet er fuldt åbent 30% af tiden på hverdage. Der anvendes varmegenvinding og stinkskaftet er udstyret med automatisk lugeluk styring.

Der anvendes samme inddata for stinkskaftet og ventilatoren som i forrige eksempel. Med de pågældende inddata fås energiforbruget som vist på Figur 13.4.

	<u>Energiforbrug</u>			
	<u>Før</u>		<u>Efter</u>	
<b>Stinkskaft, LAF-bænke</b>	3.340	[kWh/år]	2.020	[kWh/år]
<b>Ventilatorer</b>	399	[kWh/år]	171	[kWh/år]
Samlet varmekonsum	3.340	[kWh/år]	2.020	[kWh/år]
Samlet elforbrug	399	[kWh/år]	171	[kWh/år]
Procentvis reduktion af varmekonsum			40%	
Procentvis reduktion af elforbrug			57%	

Figur 13.4 – Energiforbruget i en før og efter-situation.

Som det fremgår vil der selv når der anvendes varmegenvinding være mulighed for en reduktion af varmekonsumet på 40%. Dette skyldes de andre tiltag, som er beskrevet i eksempel 1. Den årlige reduktion af elforbruget er stadigvæk 57%.

### 13.3 Eksempel 3

I dette eksempel antages det, at brugerne ikke ønsker at reducere lufthastigheden i lugeåbningen, - hverken i eller udenfor dagtimerne. Der anvendes de samme driftstimer som i de to foregående eksempler. Det antages, at stinkskaftet er fuldt åbent 30% af tiden på hverdage. Der er taget udgangspunkt i et stinkskaft af ældre dato, hvor der ikke er installeret automatisk lugeluk styring og hvor lugehøjden ved lukket luge er 10 cm, hvilket tidligere var standardåbningen ved lukket luge. Denne højde er siden reduceret til ca. 5 cm.

Nedenfor ses yderligere specifikationer for stinkskaftet.

Aggregat Anlægsnr.	Stinkskaftsnr.	Stinkskaftsbredde [m]	Fuldt åbent		Lukket i arbejdstiden		Lukket udenfor arbejdstiden
			Lugeåbning [cm]	Lufthastighed [m/s]	Lugeåbning [cm]	Lufthastighed [m/s]	Lufthastighed [m/s]
VE01	1	1,5	50	0,5	10	0,3	0,1

Figur 13.5 – Stinkskaftsdata.

Der anvendes de samme inddata for ventilatoren, som i de to andre eksempler. Med de givne inddata fås energiforbruget vist på Figur 13.6.

	<b>Energiforbrug</b>			
	<b>Før</b>		<b>Efter</b>	
<b>Stinkskaft, LAF-bænke</b>	2.832	[kWh/år]	2.020	[kWh/år]
<b>Ventilatorer</b>	343	[kWh/år]	171	[kWh/år]
Samlet varmemeforbrug	2.832	[kWh/år]	2.020	[kWh/år]
Samlet elforbrug	343	[kWh/år]	171	[kWh/år]
Procentvis reduktion af varmemeforbrug				29%
Procentvis reduktion af elforbrug				50%
Årlig varmebesparelse				812 [kWh/år]
Årlig elbesparelse				172 [kWh/år]

Figur 13.6 – Energiforbruget i en før og efter-situation.

Som det fremgår af beregningen, er der fortsat en mulig reduktion af varmemeforbruget på 29%. Den årlige reduktion af elforbruget er faldet til 50%, hvilket primært skyldes at lufthastighederne i lugeåbningen ikke reduceres på noget som helst tidspunkt.

## 14 Fremtidige muligheder

I det følgende er der skitseret en række udviklingsmuligheder for stinkskaft, der måske kan være aktuelle i fremtiden efterhånden som den tekniske udvikling gør dem mulige. Grundlæggende handler de nævnte muligheder om enten at slukke stinkskaftene helt eller at reducere lufthastigheden i lugeåbningen markant, når lugerne er kørt ned. Disse muligheder skal tilvejebringes af nyeste sensor- og computerteknologi på både skabs- og laboratorieniveau. Det vil desuden betyde, at stinkskaftene integreres i et større samlet netværk på CTS niveau.



Figur 14.1 – Stinkskab.

Den nuværende og mest avancerede løsning som er tilgængelig på markedet i dag er lugestyring, hvor lugen automatisk køres ned, når der ikke er aktivitet foran stinkskabet og hermed reduceres luftforbruget i laboratoriet.

Det er en PIR sensor monteret på stinkskabet over lugen, der registrerer om der er aktivitet. Hvis der ikke har været aktivitet i et brugervalgt interval, så kører lugen automatisk ned. Herudover kan der indstilles forskellige tidsparametre for denne styring. Der er også eksempler på timerstyringer, som kan programmeres til at køre lugen ned på bestemte tidspunkter. Fordelen med denne type styring er, at den er simpel og dermed driftssikker og har kort tilbagebetalingstid. Herudover kan den implementeres på skabe uden styring i forvejen. Ulempen er dog den relative store rest af energispild, som styringen efterlader og ikke adresserer. PIR-sensoren registrerer al aktivitet indenfor dens dækningsområde, og derfor vil der til tider være registrering af personer, der blot bevæger sig rundt i lokalet.

Dette gør sig især gældende i laboratorier med smalle ganglinjer. Herved ender stinkskabet ikke i energisparemode. Der er desuden ikke mulighed for at udlæse driftsdata samt tilslutte skabet til ekstern styring (f.eks. bygningens CTS-anlæg) og visualiseringssystemer. Visualiseringssystemer er en glimrende måde, hvorpå der kan præsenteres nøgletal for energiforbrug.

## 14.1 Mulige nye tekniske løsninger

### 14.1.1 Mulighed 1

Det registreres med sensorer om skabet har været inaktivt over en tidsperiode. Længden af denne tidsperiode skal kunne indstilles efter behov. Sensorerne registrerer om lugen har været i bevægelse. Hvis skabet har været inaktivt i den fastsatte periode, så spørges brugeren om skabet må gå i Sleep Mode. Sleep Mode betyder, at lufthastigheden i lugen reduceres eksempelvis fra 0,3 m/s til 0,1 m/s foruden at lugen køres ned.

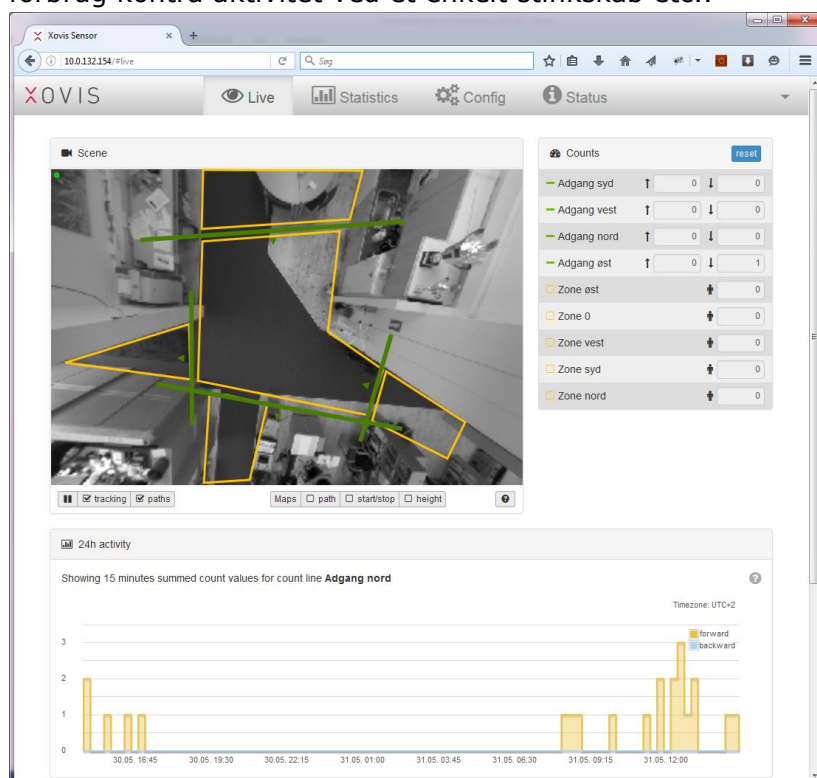
Hvis brugeren ikke svarer vil der ikke ske nogle ændringer i, hvilken tilstand skabet befinder sig i. Men efter endnu en tidsperiode med ingen aktivitet spørger skabet endnu engang om

det kan gå i Sleep mode. Hvis der undervejs i tidsperioden er aktivitet resettes tidsperioden og udsætter dermed spørgsmålet om Sleep mode. Spørgsmål om at skifte til Sleep mode kan ske via display'panel ved indgangen til laboratoriet, via en App på Smartphone eller SMS.

### 14.1.2 Mulighed 2

Laboratoriet kan overvåges af et eller flere 3D kameraer, således at det er muligt at registrere antallet af personer i laboratoriet fordelt på udvalgte zoner, se Figur 14.2. Her er vist et eksempel fra et kontor på, hvordan et areal kan opdeles i 5 gule zoner med 4 grønne tællelinjer. Det registreres online, hvor mange personer der befinder sig i de definerede zoner, samt hvor mange personer der har passeret de grønne linjer og i hvilken retning.

Disse værdier kan tilgås fra et CTS-anlæg, og disse værdier anvendes til at registrere inaktivitet foran skabene, hvorefter brugeren kan spørges, om et givent stinkskab kan gå i Sleep'mode. Desuden kan værdierne for zonerne være grundlaget for udregninger af nøgletal for det enkelte skab, såsom hvor mange timer et givent skab har været i brug, således at der kan tages stilling til om der er overflødige skabe eller om der er et unødvendigt højt energiforbrug kontra aktivitet ved et enkelt stinkskab etc..



Figur 14.2 – Kontor set oppefra.

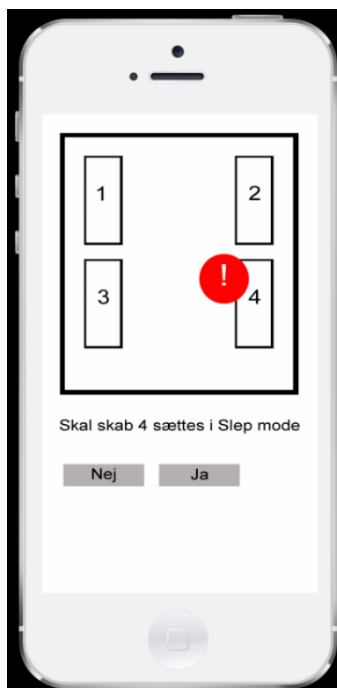
### 14.1.3 Mulighed 3

Dette forslag er en udvidelse af mulighed 2 og kan bruges i kombination hermed. Ved hjælp af en kalenderfunktion kan man indsætte perioder, hvor der ikke spørges om stinkskabene må gå i Sleep'mode. Det sikrer, at en eventuel Sleep'mode periode kan afsluttes før et bestemt tidspunkt, f.eks. lige før at personer møder i laboratoriet. Dermed kan normen om at LAF bænke skal være i drift 30 minutter inden arbejdet påbegyndes for at miljøet inde i LAF bænkene er sterilt opnået. Kalenderfunktionen kunne udmærket være lagt ind i MS Outlook, som vil være oplagt til at håndtere denne opgave. Kalenderen skal kunne tilgås af flere brugere, så der er mulighed for at indpasse over- og weekendarbejde.

#### 14.1.4 Mulighed 4

Denne mulighed benytter Smartphone som betjeningspanel og kan benyttes parallelt med de betjeningspaneler, som er opsat lokalt i laboratoriet/bygningen. I viste eksempel, Figur 14.3, har systemet målt inaktivitet omkring skab nummer 4, hvorefter brugeren bliver spurgt om "Skal skab 4 sættes i Sleep mode", hvor der kan vælges enten ja eller nej.

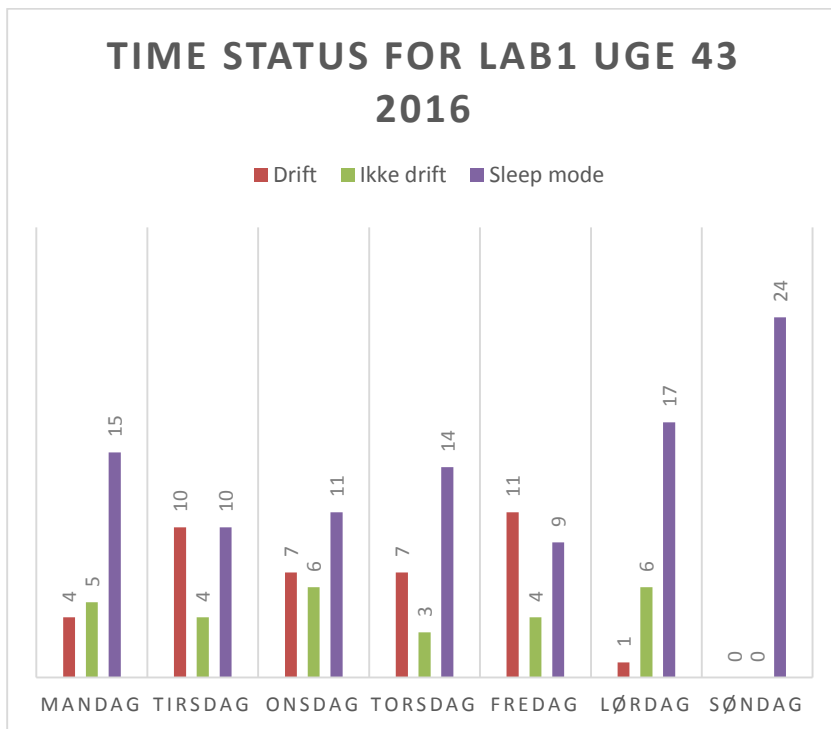
Hvis ikke brugeren tager stilling sker der ikke noget. Man kan yderligere supplere med oplysningen om hvor længe der har været inaktivitet foran det givne skab, og eventuelt i hele laboratoriet. Sleep mode vil afbrydes så snart der er aktivitet igen, og lufthastigheden i lugen øges til normalt niveau. Systemet vil kunne opsamle og gemme driftsdata til præsentation og visualisering, se Figur 14.3.



Figur 14.3 – Eksempel på App til styring af stinkskabe.

Det er muligt at indarbejde komfortfunktioner i app'en, så det giver brugeren mulighed for at fjernstyre starttidspunktet, så laboratoriet bliver gennemskyllet og gjort klar til dagens arbejde. Man kan således starte gennemskyllningen eksempelvis når man kører afsted til arbejdet.

I Figur 14.4 er der vist et eksempel på drift af et stinkskab set over en uge. De opsamlede data kan anvendes til nøgletalsberegninger og periodesammenligninger. Disse nøgletal kan bruges ved omlægning og optimering af arbejds gange i laboratorierne, samt afsløre effekten af ændringerne. Systemet vil kunne registrere antallet af timer, hvor stinkskabet er i drift, men ikke benyttes, og prøve at optimere og formindske denne værdi ved at overføre dem til kategorien "Sleep mode" eller "Drift" timer. Værdierne kan derfor bruges i forbindelse med analyser af udnyttelse af de enkelte laboratorier og skabe, for at undersøge om laboratoriet eventuelt skal udvides eller om der er stinkskabe, der helt eller delvist kan tages ud af drift i kortere eller længere perioder.



Figur 14.4 – Eksempel på drift af stinkskab

Der vil kunne udvikles forholdsvis simple softwareprocedurer til at analysere og kategorisere på opsamlede data og spørgsmål som "er der skabe der kan tages ud af drift eller sammenlægges".

## 15 Informationsaktiviteter

### 15.1 Kurser

Som led i projektet er der udviklet et modul til et eksisterende kursus på Teknologisk Institut "Effektiv Industriventilation", hvor projektets værktøjer, komponenter og resultater indgår.

### 15.2 Møder

Der er afholdt temadag på Teknologisk Institut i september 2016, hvor projektets resultater er præsenteret for branchens interessenter og aktører, såsom hospitaler, universiteter, industrivirksomheder, stinkskaftsproducenter samt ingeniører og rådgivere, der arbejder med ventilation samt indretning af laboratorier.

I maj 2016 blev der holdt et indlæg på en NohrCon konference "Fremtidens laboratorium - byggeri og planlægning" for at udbrede projektets resultater og anbefalinger til, hvorledes laboratorier bør indrettes i fremtiden, for at sikre både sikkerhed for brugerne af stinkskaft og et lavt energiforbrug.



## 16 Referencer

- [1] Procesenergi – analyserapport
- [2] Kortlægning af erhvervslivets energiforbrug
- [3] Byggestyrelsen, [www.Bygst.dk](http://www.Bygst.dk)
- [4] Stinkskabe – Vejledning om arbejde i stinkskabe, marts 2010
- [5] [http://klima.ku.dk/groen\\_campus/detgoervi/elforbrug/laboratorieudstyr/](http://klima.ku.dk/groen_campus/detgoervi/elforbrug/laboratorieudstyr/)
- [6] <http://ing.dk/artikel/stinkskabe-sluger-energi-som-et-dansk-parcelhus-87678>
- [7] Undervisningsministeriet, [www.uvm.dk](http://www.uvm.dk)

## 17 Bilag

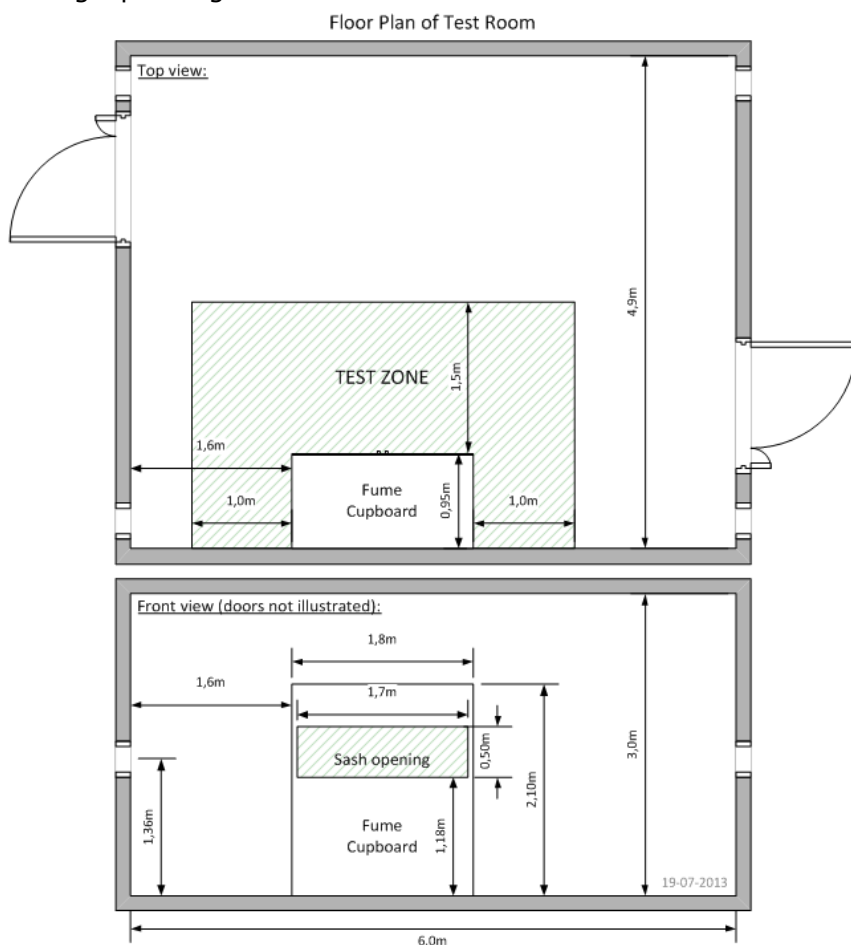
### 17.1 Anvendt laboratoriefacilitet

Forsøgene i dette projekt er alle udført i TLS (Testfacilitet for laboratorierum med stinkskabe) laboratoriet på Teknologisk Institut.

TLS er opbygget til fuldskalaforsøg af ventilation og indeklima i laboratorier. TLS laboratoriet har høj fleksibilitet, så forsøgsopstillingerne kan nemt varieres. Sammenspillet mellem stinkskab, de ventilationstekniske systemer, brugeradfærd og klimaskærm kan eksempelvis undersøges og tilvejebringe ny viden, der endeligt kan udmøntes i nye koncepter, som ligeledes kan afprøves i laboratoriefaciliteten.

TLS er konstrueret med dimensioner og arealer svarende til et almindeligt standardlaboratorium jf. EN/DS 14175 med målene 6 x 4,9 x 3 m. TLS er konstrueret således, at der kan lukkes af til omgivelserne, så der kan opretholdes et over- eller undertryk.

Opbygningen af TLS er vist i Figur 17.1, hvor et stinkskab er indsat for at illustrere en mulig forsøgsopstilling.



Figur 17.1 - Oversigt over TLS med dimensioner og mulig placering af stinkskab, døre og overløbshuller. Indblæsningsarmaturer kan placeres under loft efter ønske.

Der indblæses altid med en større luftstrøm af ren forvarmet udeluft end der udsuges, for at undgå forstyrrelser fra omgivelser i form af forurening og træk. Afkastet er placeret på taget

og luftindtaget er placeret på siden af bygningen, med stor afstand fra afkastet. Alle indendørs aftrækskanaler har undertryk i forhold til lokalet.

Nedenfor er kort beskrevet et udpluk af mulige forsøg, som kan udføres i TLS.

#### **Systemændringer:**

- TLS giver med sin fleksibilitet overordnet mulighed for at ændre ventilations-principper. Der kan f.eks. foretages forsøg med opblandings-, fortrængnings- og stempelventilation, dvs. at de tekniske installationer hurtigt og nemt kan udskiftes og tilpasses nye forsøg
- TLS giver mulighed for let at undersøge den optimale placering af stinkskaft. indblæsningsarmaturets placering, samt undersøge hvilken armaturtype, som er mest velegnet i det respektive forsøg. Både stinkskaft med dertil hørende udsugning og indblæsningsarmaturer kan let manøvreres rundt ift. hinanden og målerummet
- TLS giver tillige mulighed for på baggrund af armaturplaceringen at undersøge, hvilken volumenstrøm og deraf følgende lufthastighed, som egner sig ift. at sikre sikkerheden omkring stinkskaftet samtidigt med at der opnås en energibesparelse.

#### **Indeklimaforhold:**

- Der er mulighed for at undersøge indeklimaforhold. Det kan samtidig undersøges om de nuværende koncepter, der anvendes i praksis lever op til de i stadighed stigende krav vedrørende komfort, arbejdsmiljø og sundhed beskrevet i gældende standarder. Med hensyn til indeklimaet i et laboratorium kan luftbevægelser, temperaturgradienter, fugtniveauer, lydforhold m.v. måles
- Målerummet er ikke designet til egentlige lydmålinger, men er tilstrækkeligt til orienterende lydmålinger af systemer samt til produktudvikling
- Kortlægning af forurening i stinkskaft og øvrige omgivelser med fokus på operatørens åndingszone.

#### **Brugeradfærd**

- Brugeradfærdens påvirkning kan medtages i forsøg for at kortlægge, hvorledes denne faktor har indflydelse på det overordnede samspil mellem stinkskaft og systemer, samt sikkerheden for brugeren. Som en del af undersøgelsen anvendes en personsimulator. Personsimulatoren skal ifølge DS/EN 14175-3:2003 være opbygget af en plade med højde på  $190 \pm 1$  cm, en bredde på  $40 \pm 1$  cm og en tykkelse på  $2 \pm 0,5$  cm. Personsimulatoren skal bevæges med en hastighed på  $1,0 \pm 0,1$  m/s foran stinkskaftet.

## 17.2 Indblæsningsarmaturer placeret i forskellige afstande fra toppen af stinkskabet

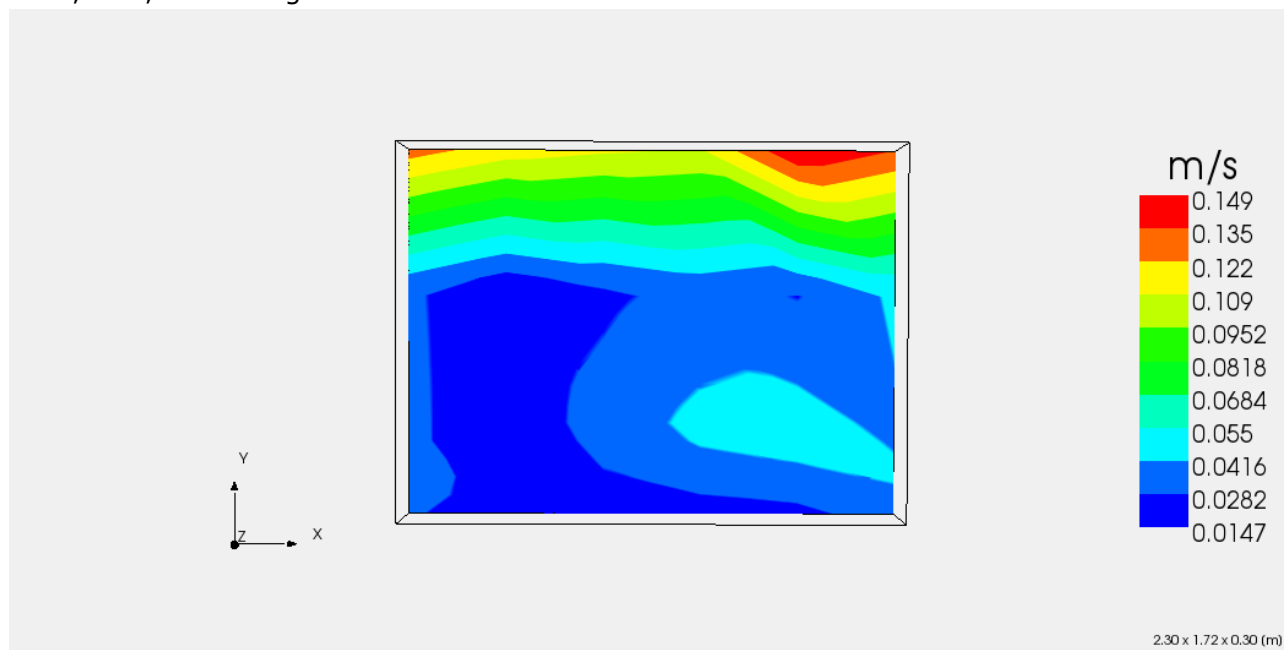
### 17.2.1 Indblæsningspose placeret 3,2 m fra stinkskabet

Der er foretaget i alt fire målinger med en indblæsningspose, hvor lufthastigheden/luftstrømmen er den varierende parameter.

#### Lufthastighed på 1 m/s

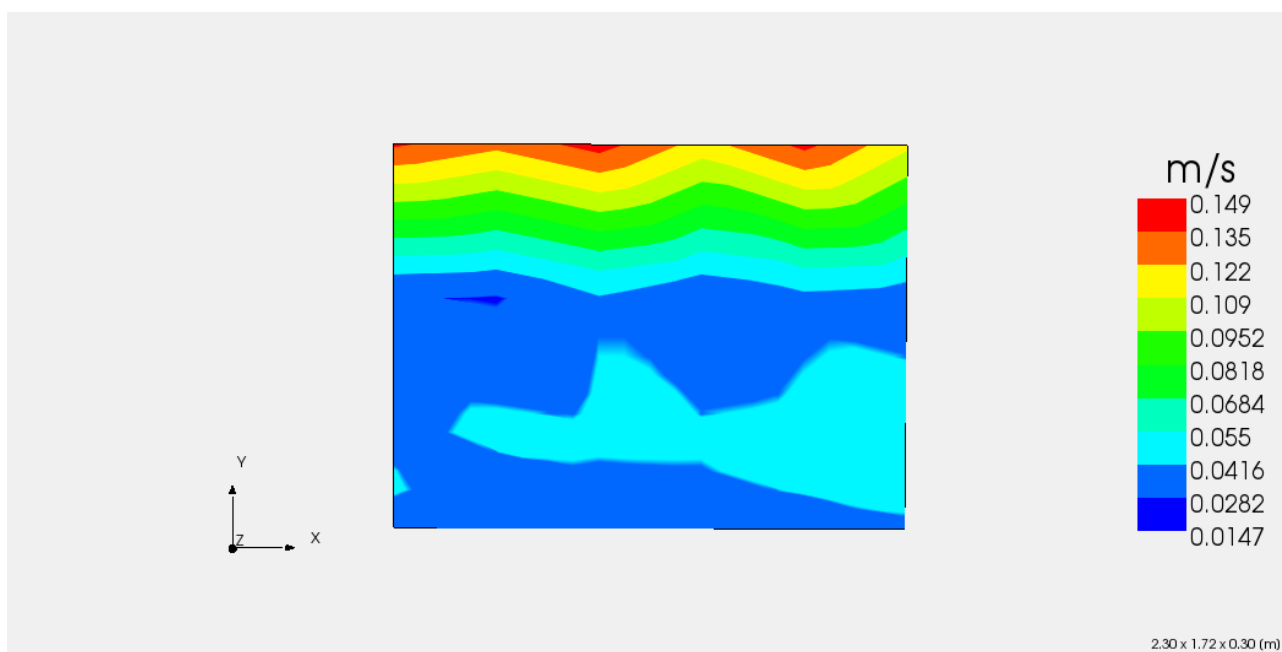
Ved forsøg nr. 1 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 3.060 m<sup>3</sup>/h, som er kontrolleret ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperaturen er løbende logget under målingerne og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Figur 17.2 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 30 cm og i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Figur 17.2 - Hastighedsplot. Måleplan 1 - 30 cm fra stinkskabet.

Figur 17.3 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 60 cm i samme niveauer.



Figur 17.3 - Hastighedsplot. Måleplan 2 - 60 cm fra stinkskaftet.

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

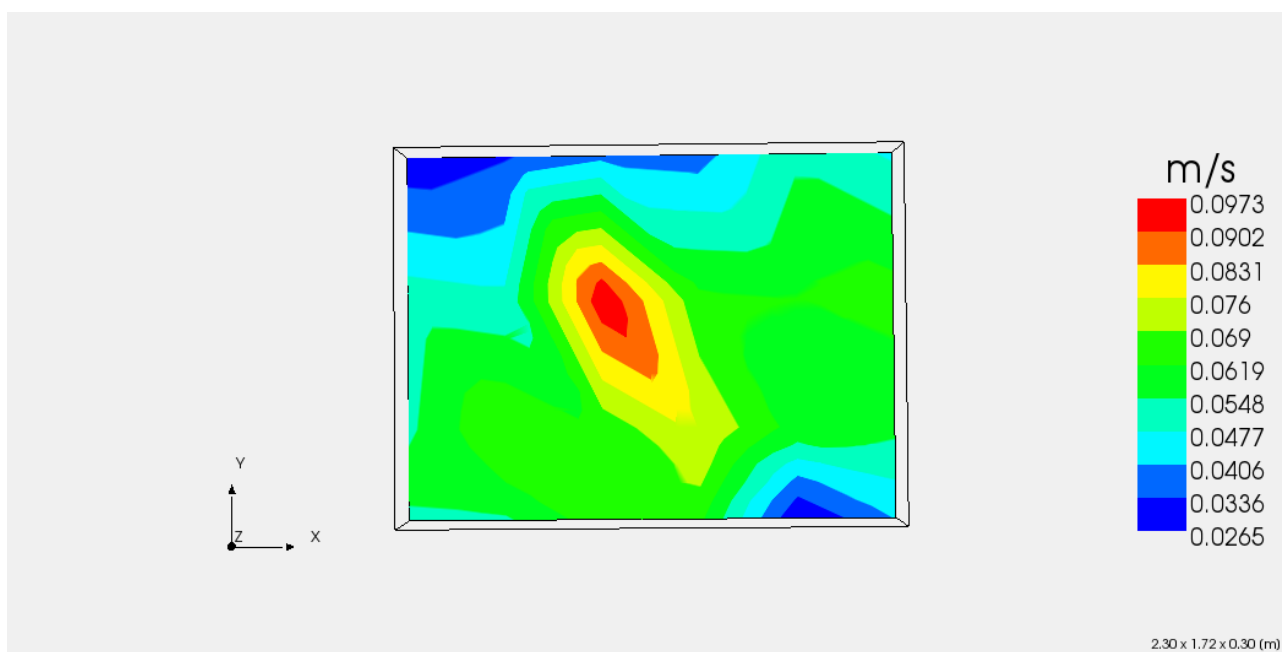
Indblæsning med en pose giver et meget jævnt strømningsbillede uden nogen forstyrrende høj- eller lavhastighedszoner. Ved høje indblæsningshastigheder blev der observeret en let vibration i enkelte dele af posens overflade, men denne har ikke været kraftig nok til at forstyrre rummets øvrige strømningsbillede.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

Samme tendenser er observeret ved de følgende målinger, hvor indblæsningsluftstrømmen er reduceret over fire målinger fra 3.060 m<sup>3</sup>/h til 612 m<sup>3</sup>/h.

### Lufthastighed på 0,5 m/s

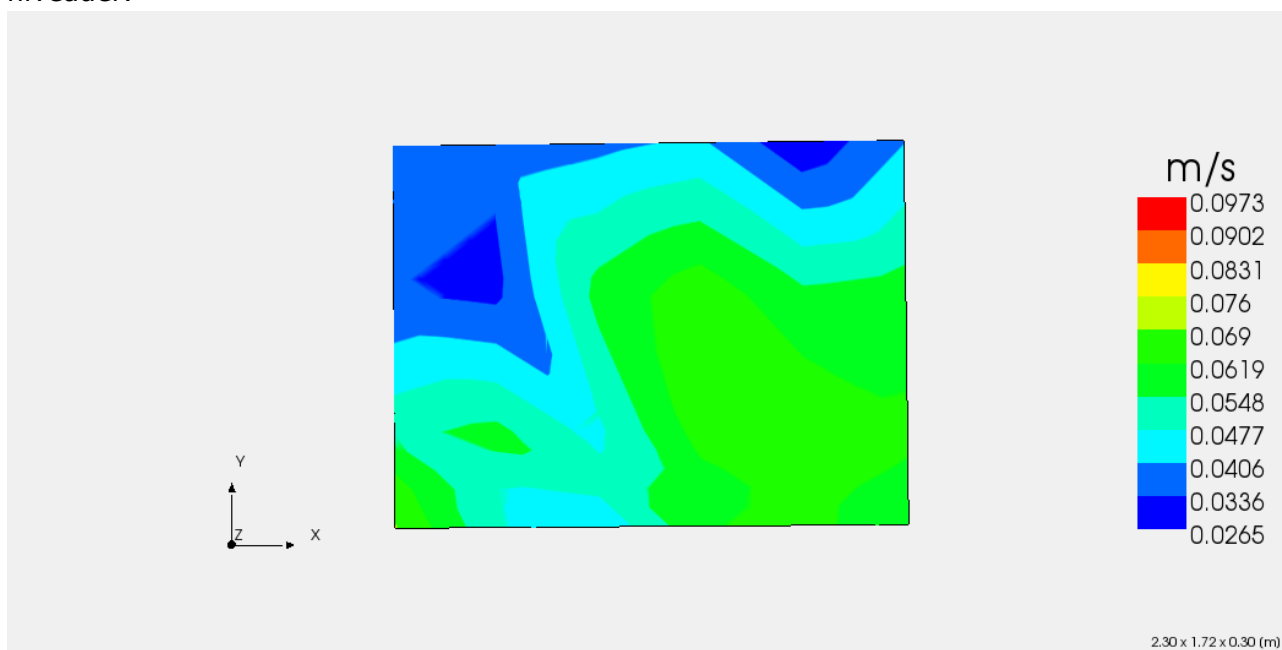
Ved forsøg nr. 2 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 1.530 m<sup>3</sup>/h, som er kontrolleret ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperaturen er løbende logget under målingerne og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Figur 17.4 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 30 cm og i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Figur 17.4 - Hastighedsplot. Måleplan 1 - 30 cm fra stinkskabet.

Figur 17.5 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 60 cm i samme niveauer.



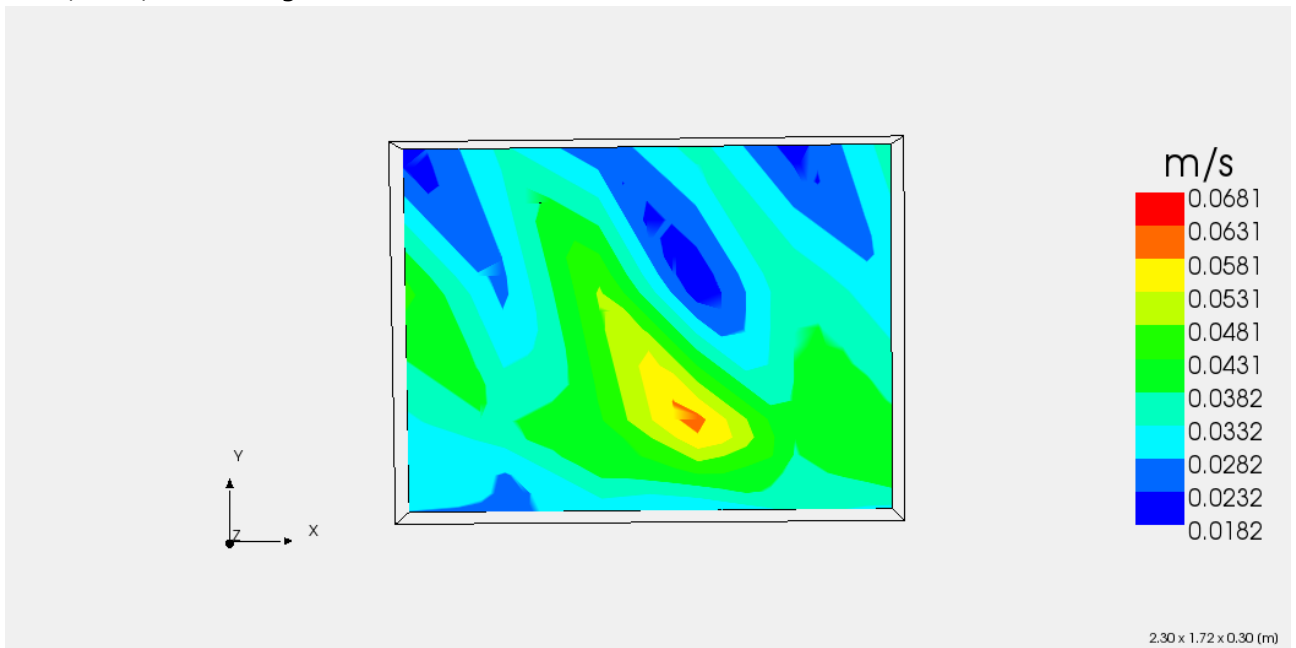
Figur 17.5 - Hastighedsplot. Måleplan 2, 60 cm fra stinkskab.

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

### Lufthastighed på 0,3 m/s

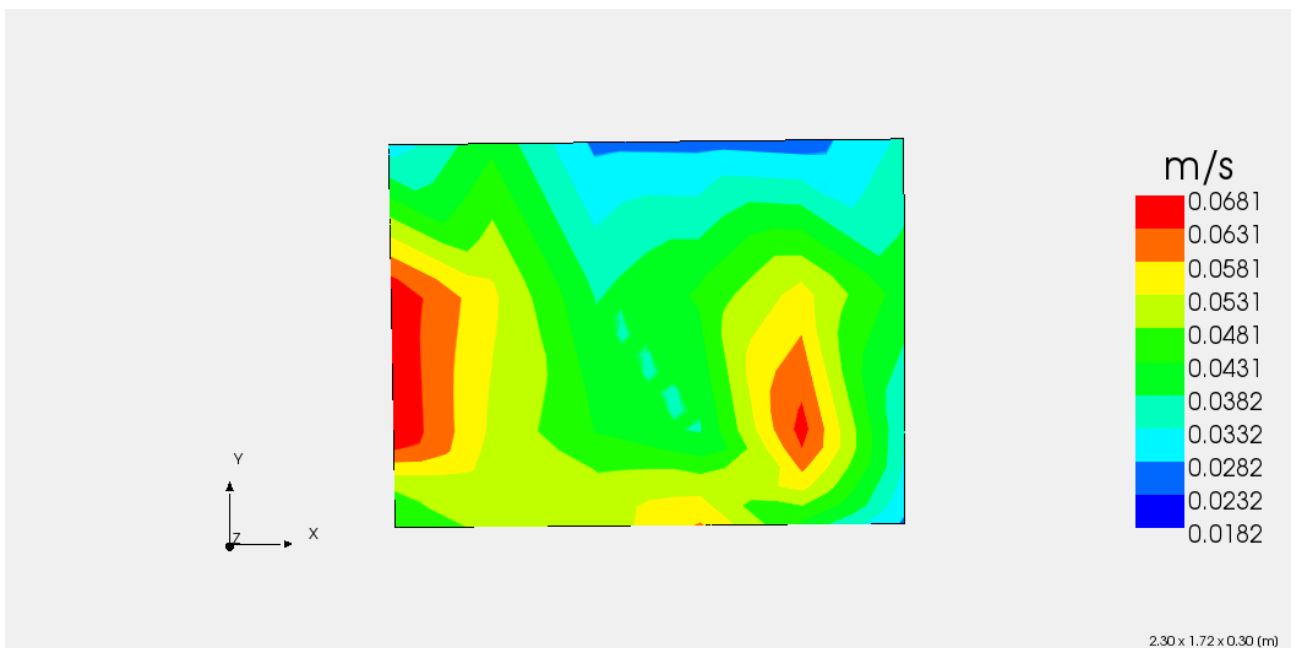
Ved forsøg nr. 3 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 918 m<sup>3</sup>/h, som er kontrolleret ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperaturen er løbende logget under målingerne og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Figur 17.6 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 30 cm og i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Figur 17.6 - Hastighedsplot. Måleplan 1 - 30 cm fra stinkskaftet.

Figur 17.7 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 60 cm i samme niveauer.



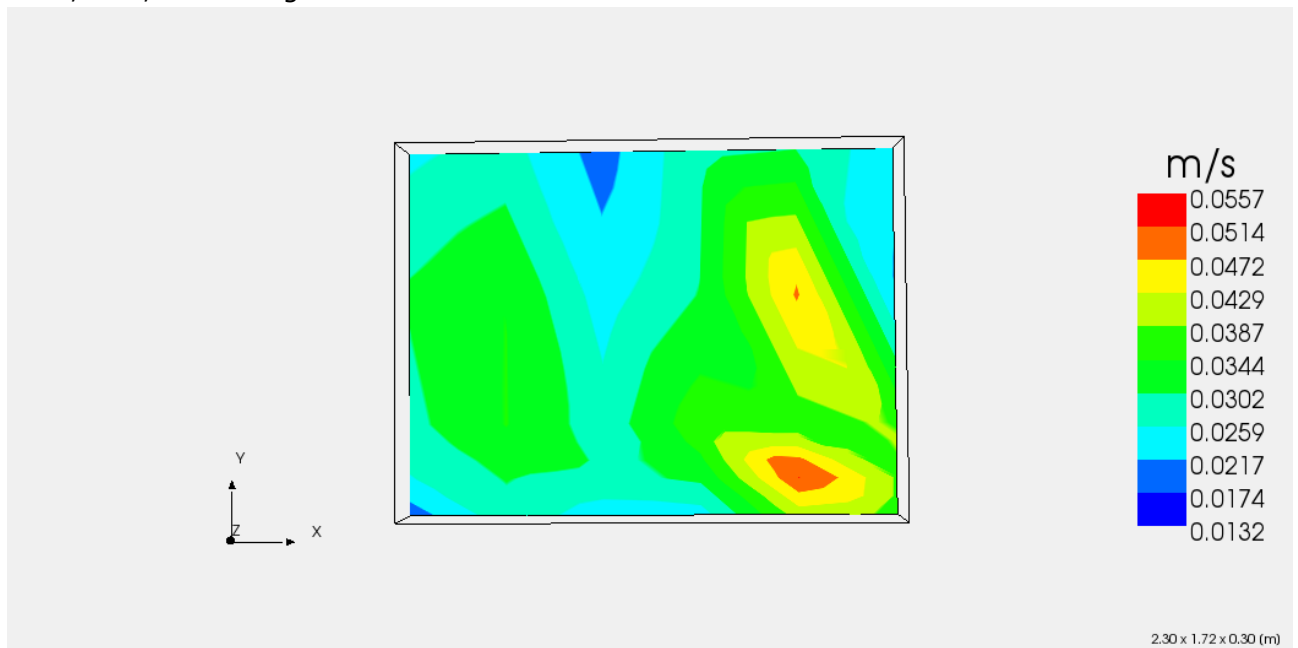
Figur 17.7 - Hastighedsplot. Måleplan 2 - 60 cm fra stinkskaftet.

Umiddelbart varierer hastighederne ikke meget mellem måleplanerne 1 og 2. Dertil fremgår det tydeligt af begge plots, at luftforstyrrelserne fra indblæsningsposen er meget, meget små. Den maksimalt målte hastighed er ved dette forsøg ca. 0,07 m/s.

### Lufthastighed på 0,2 m/s

Ved forsøg nr. 4 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 612 m<sup>3</sup>/h, som er kontrolleret ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperaturen er løbende logget under målingerne og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

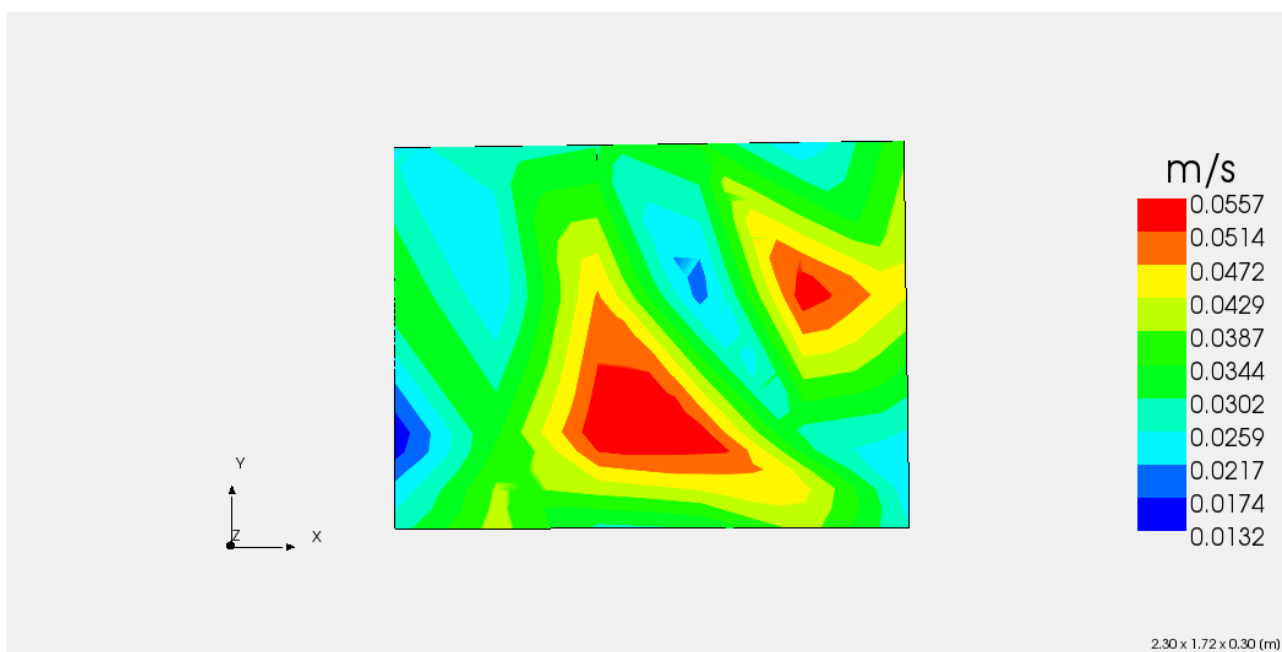
Figur 17.8 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 30 cm og i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Figur 17.8 - Hastighedsplot. Måleplan 1 - 30 cm fra stinkskaftet.

Figur 17.9 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 60 cm i samme niveauer.





Figur 17.9 - Hastighedsplot. Måleplan 2 - 60 cm fra stinkskabet.

Umiddelbart varierer hastighederne ikke meget mellem måleplanerne 1 og 2. Dertil fremgår det tydeligt af begge plots, at luftforstyrrelserne fra indblæsningsposen er meget, meget små. Den maksimalt målte hastighed er ved dette forsøg ca. 0,06 m/s.

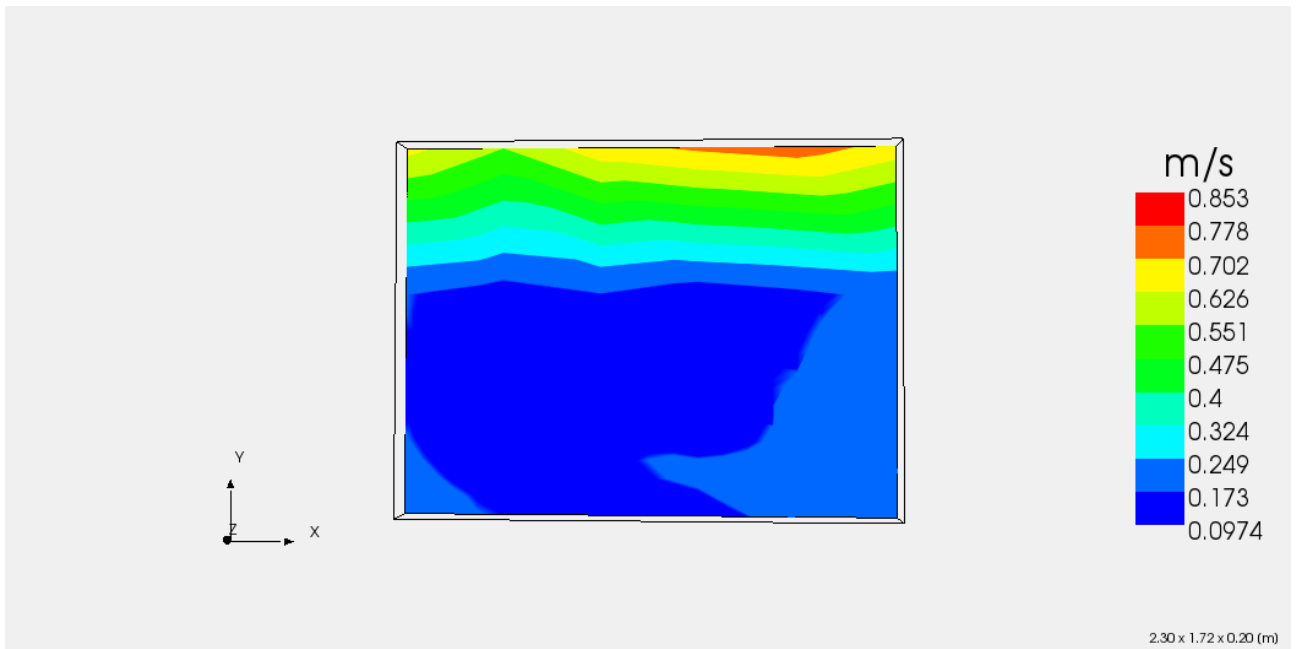
### 17.2.2 Dyse-kanal placeret 0,75 m fra stinkskabet

Der foretages i alt tre målinger med en  $\varnothing 315$  mm dyse-kanal, der er perforeret i de øvre  $270^\circ$ , hvor lufthastigheden/luftstrømmen er den varierende parameter.

#### Lufthastighed på 0,5 m/s

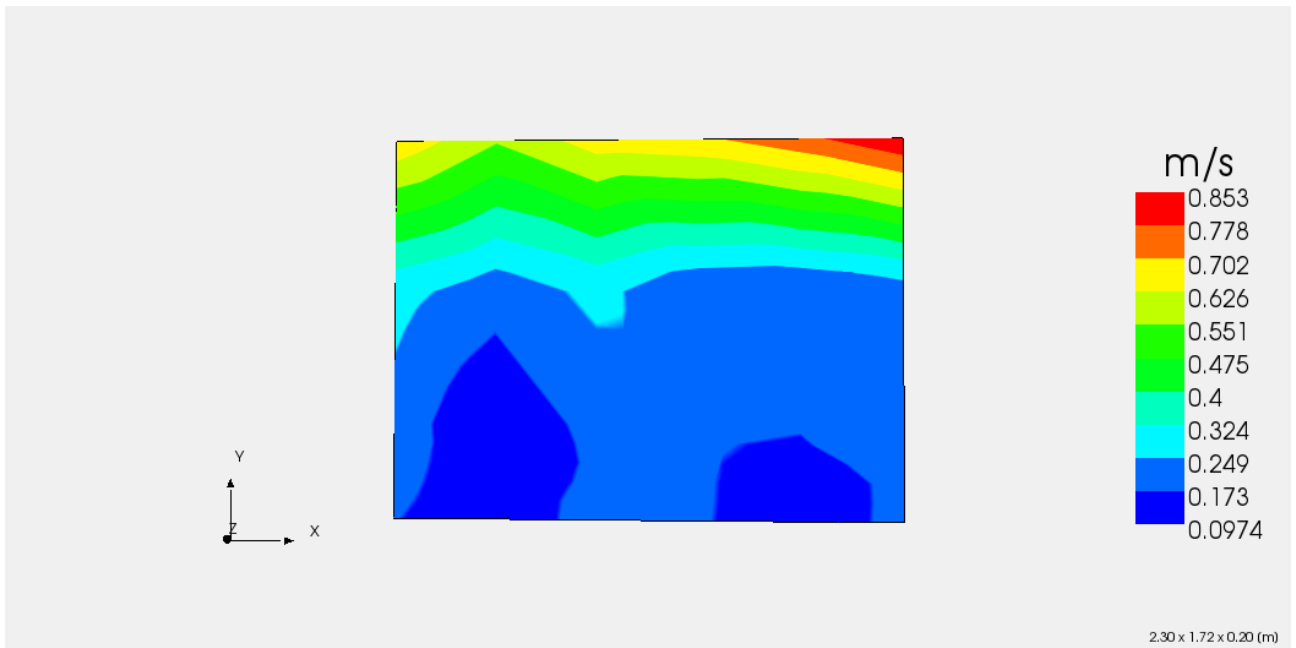
Ved forsøg nr. 1 er ventilationsanlægget indstillet til at levere  $1.530 \text{ m}^3/\text{h}$ , som er kontrolleret ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperaturen er løbende logget under målingerne og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Figur 17.10 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 30 cm og i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Figur 17.10 - Hastighedsplot. Måleplan 1 - 30 cm fra stinkskebnet.

Figur 17.11 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 60 cm i samme niveauer.



Figur 17.11 - Hastighedsplot. Måleplan 2 - 60 cm fra stinkskebnet.

Umiddelbart varierer hastighederne ikke meget mellem måleplanerne 1 og 2. Som forventet er lufthastighederne ved stinkskebnet markant højere, når en dysekanal bruges som armatur end ved indblæsningsposen. 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 er lufthastighederne omkring lugeåbningen generelt mellem 0,173-0,249 m/s.

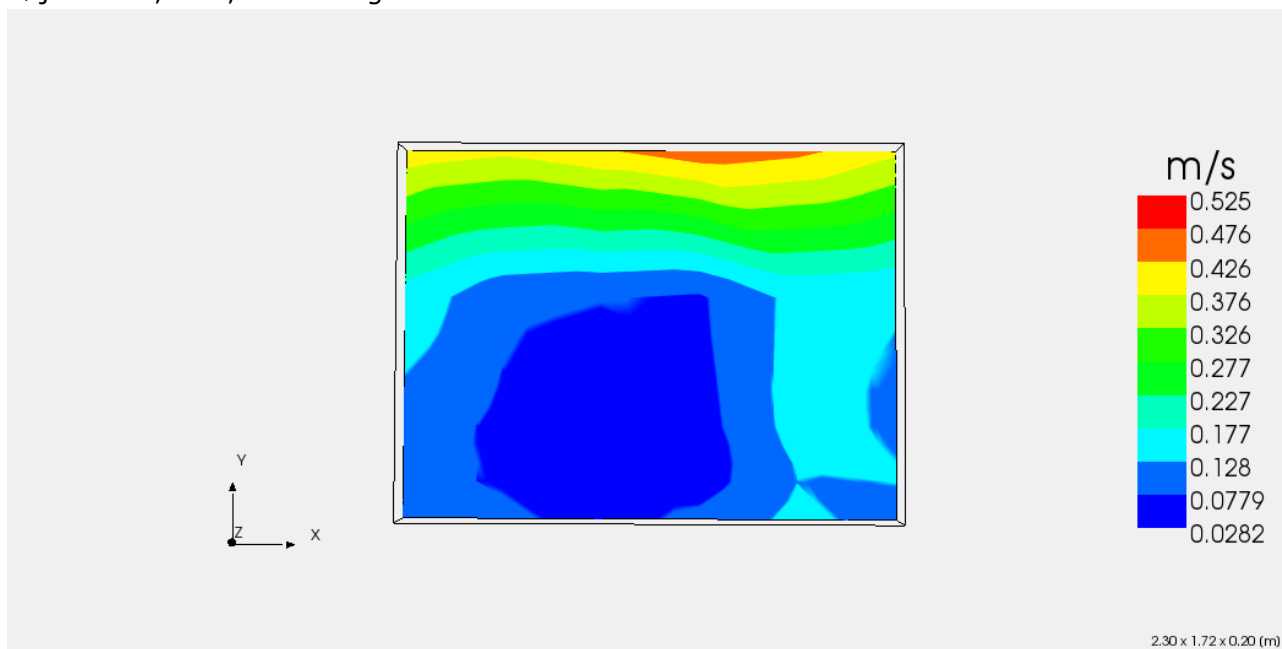
Konklusionen er, at der ved brug af denne armaturtype med den pågældende luftstrøm vil forekomme lufthastigheder, der er større end den i DS EN 14175 maksimal anbefalede hastighed på 0,2 m/s.

For at undersøge om, hvorledes armaturet reagerer ved højere luftstrømme, er der foretaget en række målinger, hvor luftstrømmen gradvist er øget. Det vurderes på baggrund af målingerne, at støjen fra armaturet bliver uønsket højt ved luftstrømme over 270 m<sup>3</sup>/h pr. løbende meter.

### Lufthastighed på 0,3 m/s

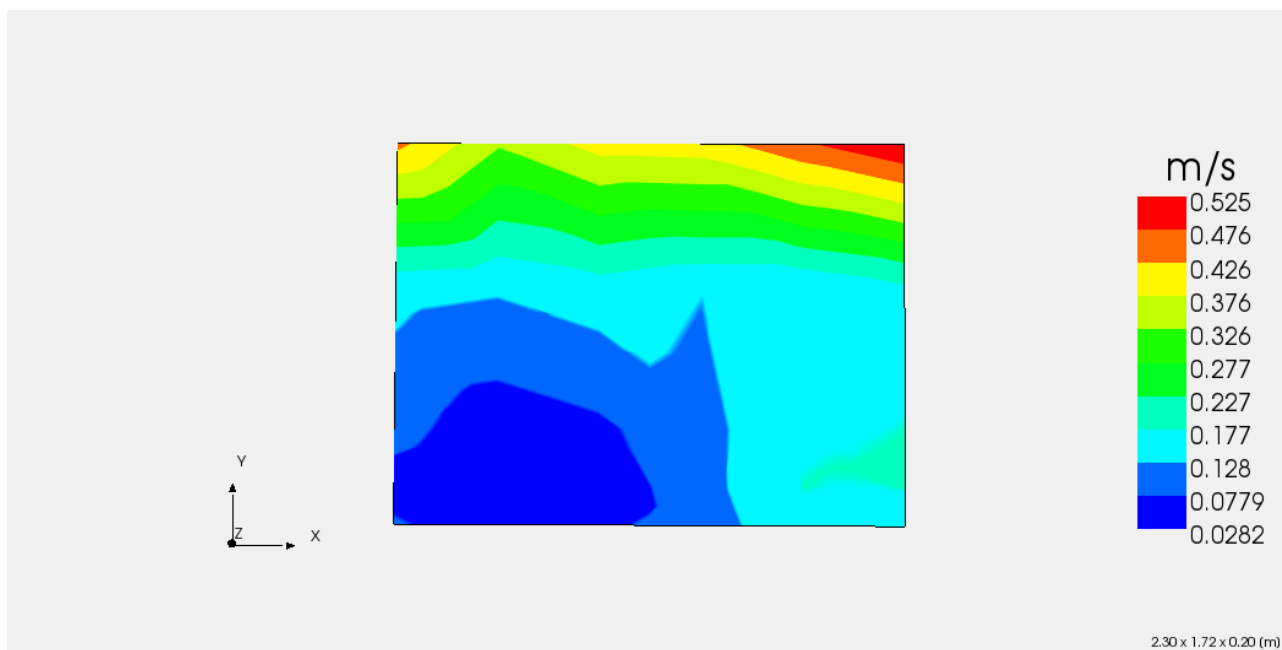
Ved forsøg nr. 2 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 918 m<sup>3</sup>/h, som er kontrolleret ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperaturen er løbende logget under målingerne og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Figur 17.12 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 30 cm og i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Figur 17.12 - Hastighedsplot. Måleplan 1 - 30 cm fra stinkskaftet.

Figur 17.13 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand 60 cm i samme niveauer.

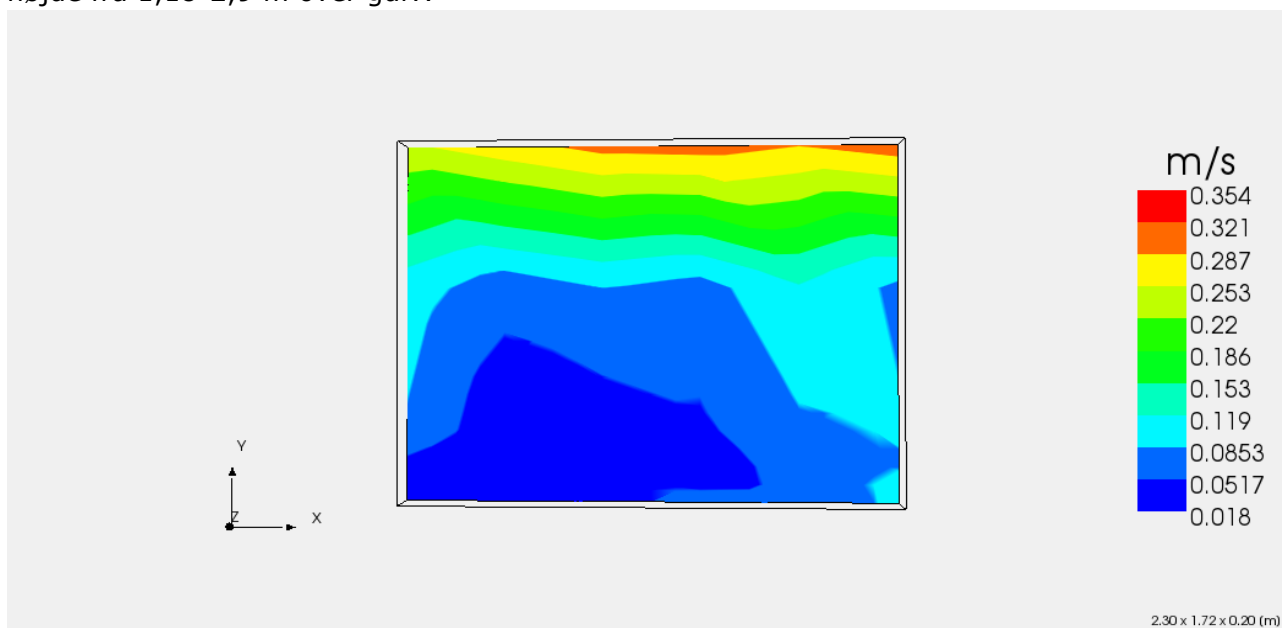


Umiddelbart varierer hastighederne ikke meget mellem måleplanerne 1 og 2. Lufthastighederne ved stinkskaftet er faldet i forhold til det forrige forsøg på grund af den lavere indblæsningsmængde. Den højeste observerede lufthastighed ved lugeåbningen er ca. 0,23 m/s. Generelt er lufthastighederne mellem 0,028-0,18 m/s ved lugeåbningen.

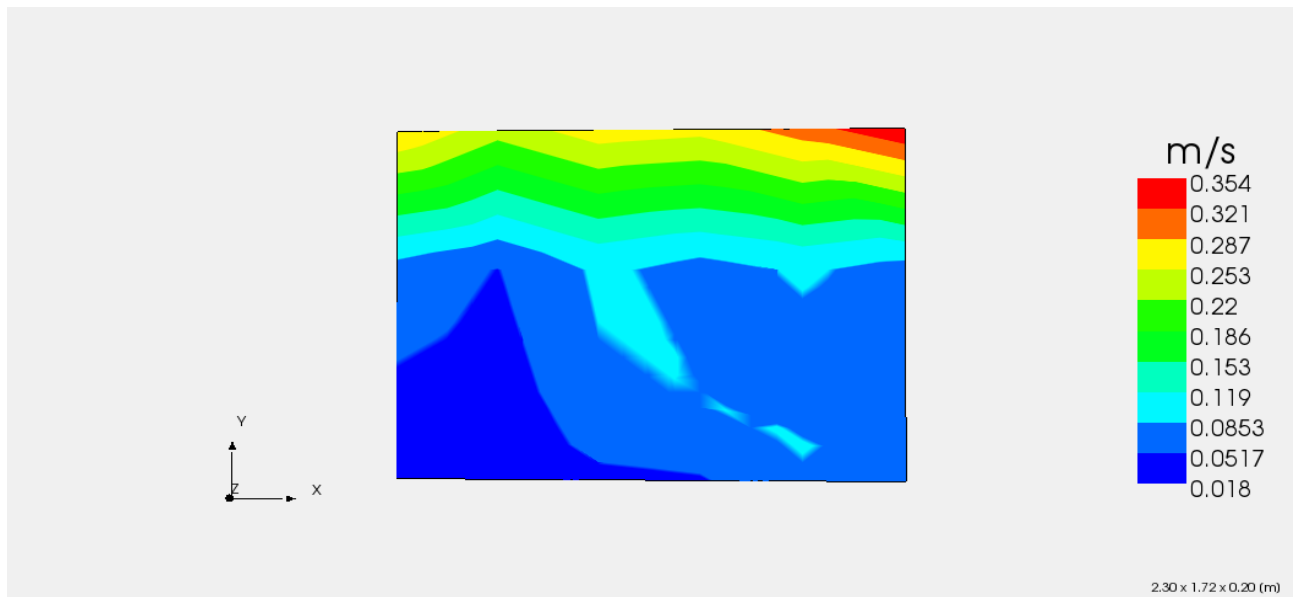
### Lufthastighed på 0,2 m/s

Ved forsøg nr. 3 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 612 m<sup>3</sup>/h, som er kontrolleret ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperaturen er løbende logget under målingerne og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Figur 17.14 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 30 cm og i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Figur 17.15 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 60 cm i samme niveauer.



Figur 17.15 - Plot 2 - Hastighedsplot. Måleplan 2 - 60 cm fra stinkskabet.

Umiddelbart varierer hastighederne ikke meget mellem måleplanerne 1 og 2. Lufthastighederne er faldet i forhold til det forrige forsøg grundet den lavere indblæsningsmængde. Den højeste målte hastighed i opholdszonen og omkring lugeåbningen er ca. 0,12 m/s. Dog er hastighederne omkring lugeåbningen generelt mellem 0,02-0,12 m/s.

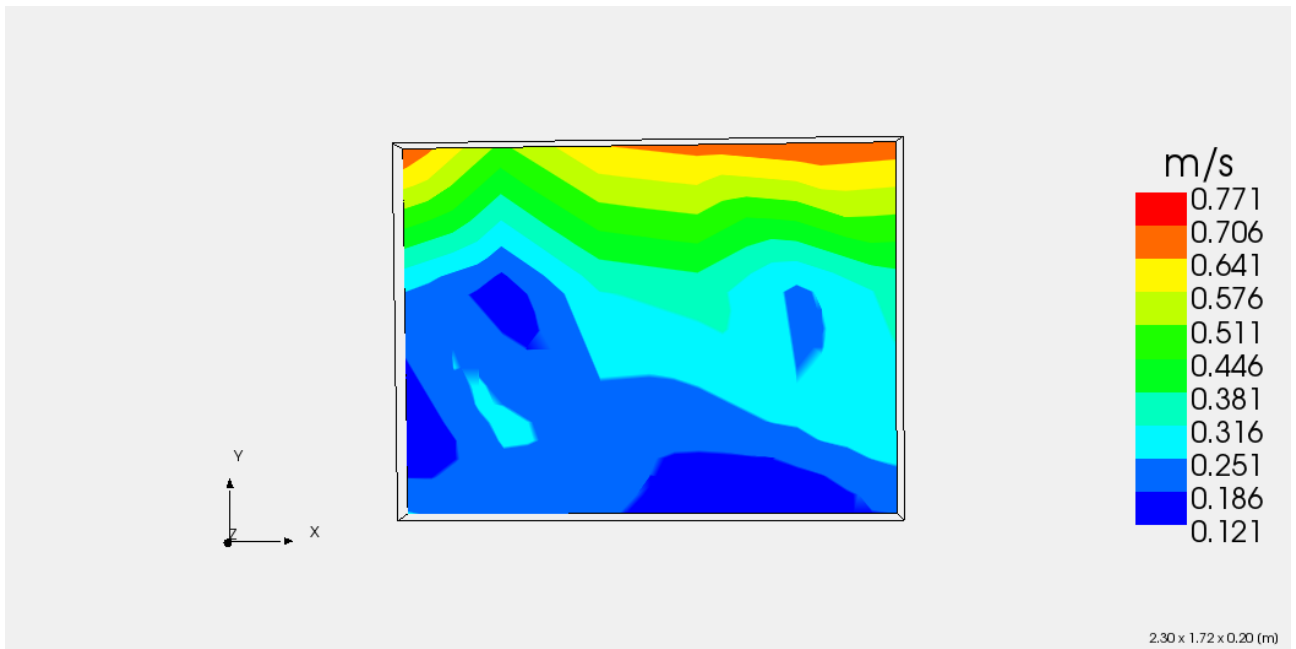
### 17.2.3 Dysekanaler placeret henholdsvis 0,75 m og 2,2 m fra stinkskabet

Der er foretaget i alt fire målinger med to  $\varnothing 315$  mm dysekanaler, der er perforeret i de øverste 270°, hvor lufthastigheden/luftstrømmen er den varierende parameter.

#### Lufthastighed på 1 m/s

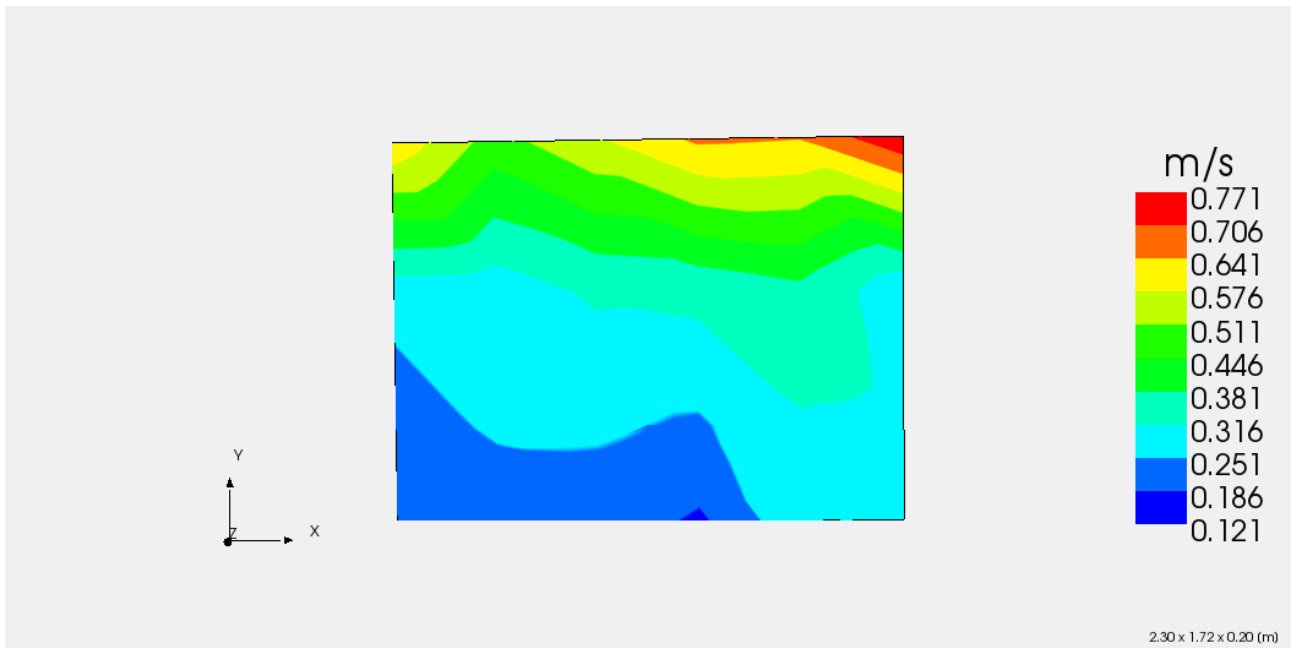
Ved forsøg nr. 1 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 3.060 m<sup>3</sup>/h, som er kontrolleret ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperaturen er løbende logget under målingerne og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Figur 17. viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 30 cm og i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Figur 17.16 - Hastighedsplot. Måleplan 1 - 30 cm fra stinkskabet.

Figur 17.15 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 60 cm i samme niveauer.



Figur 17.15 - Hastighedsplot. Måleplan 2 - 60 cm fra stinkskabet.

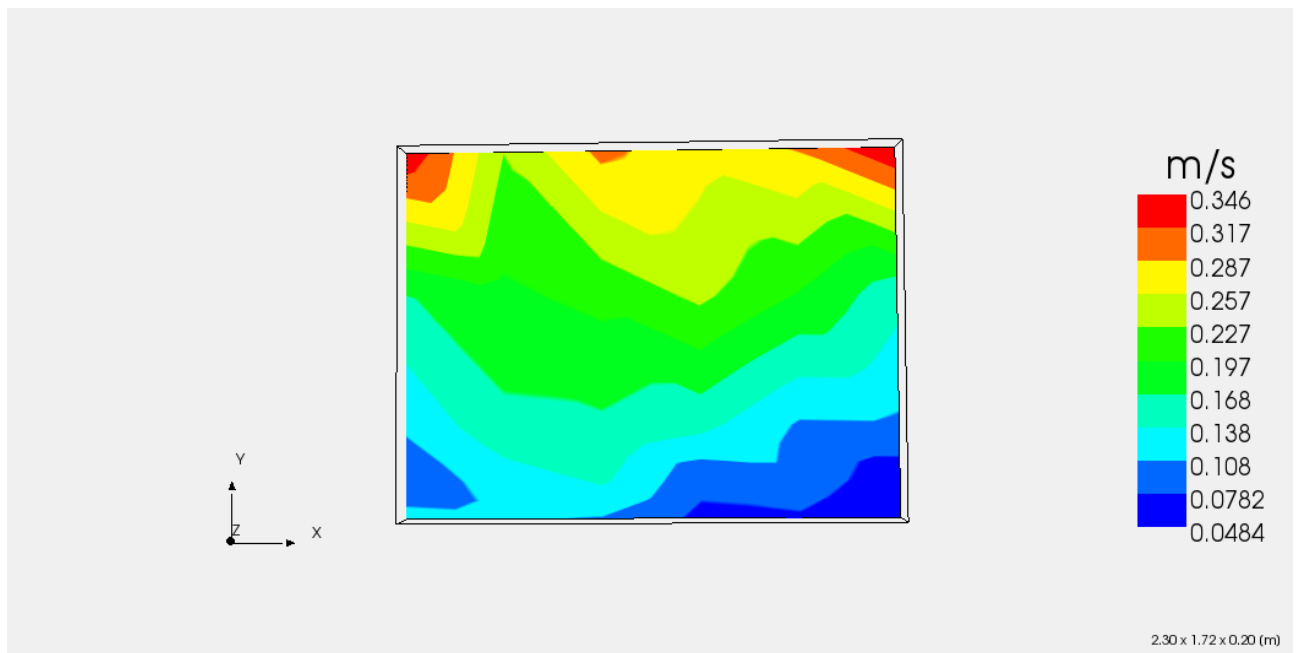
Hastighedsplottene minder som tidligere meget om hinanden. Der forekommer dog visse ulineariteter mellem måleplan 1 og 2, som formentligt skyldes stinkskabets interferens. Selvom der i nærværende forsøg anvendes to dysekanaler med den dobbelte tilførte luftstrøm ( $3.060 \text{ m}^3/\text{h}$ ) i forhold til forsøget med 1 dysekanal ( $1.530 \text{ m}^3/\text{h}$ ), er den maksimale lufthastighed reduceret. Den højest målte lufthastighed forekommer i begge forsøg øverst i 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 én dysekanal placeret tæt på stinkskabet.

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

### Lufthastighed på 0,5 m/s

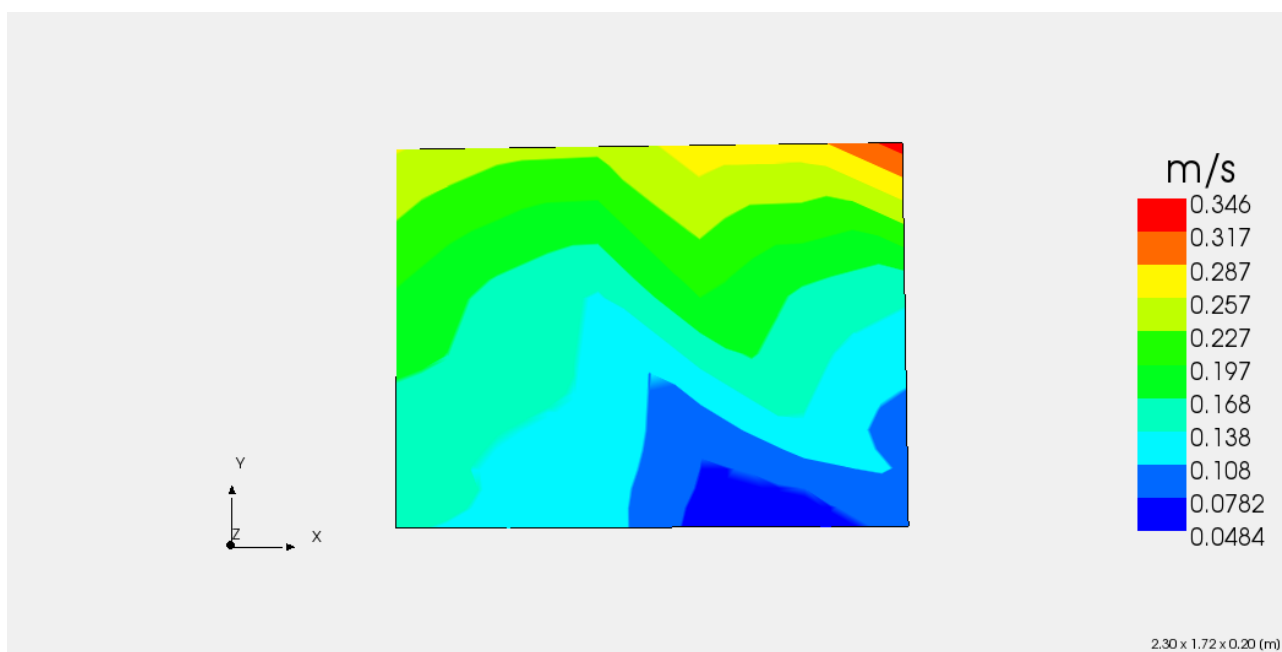
Ved forsøg nr. 2 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 1.530 m<sup>3</sup>/h, hvilket er kontrolleret ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperaturen er løbende logget under målingerne og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Figur 17.16 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 30 cm og i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Figur 17.16 - Hastighedsplot. Måleplan 1 - 30 cm væk fra stinkskaftet.

Figur 17.17 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 60 cm i samme niveauer.



Figur 17.17 - Hastighedsplot. Måleplan 2 - 60 cm fra stinkskaftet.

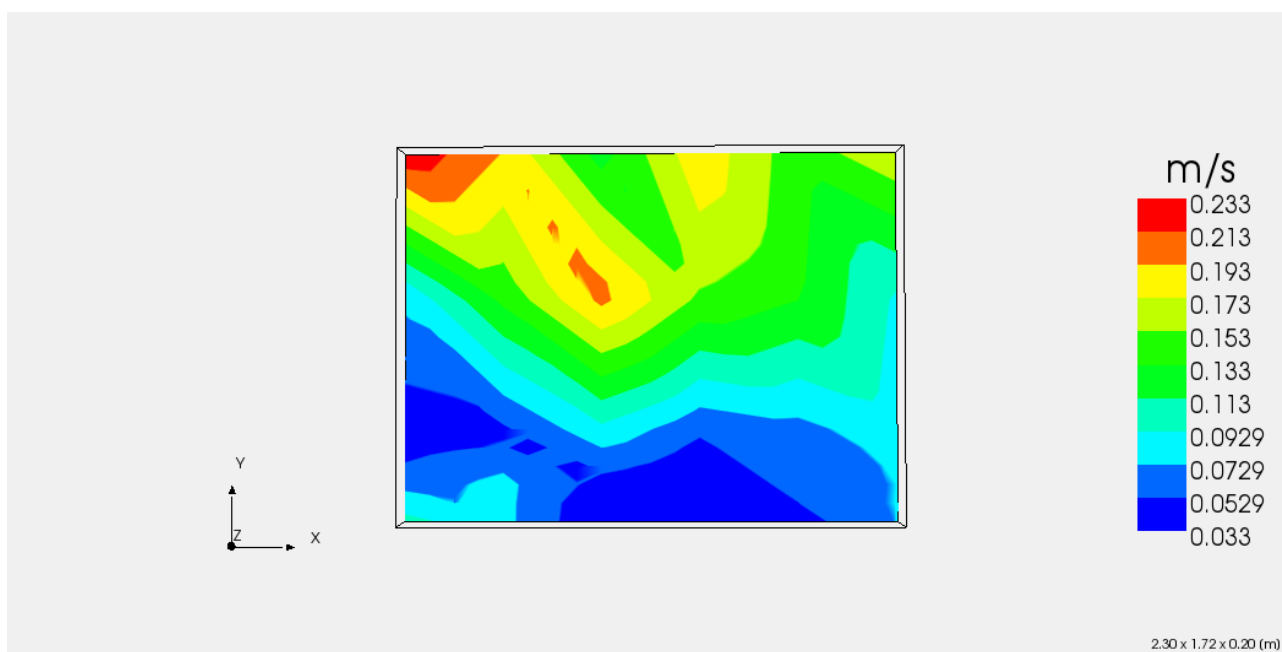
Der forekommer nogle, men stadigvæk ikke signifikante forskelle mellem måleplan 1 og 2. Ved begge måleplaner forekommer hastigheder omkring lugeåbningen, som overstiger kravet om en maksimal hastighed på 0,2 m/s. Dog viser målingerne, at hastighederne generelt er lavere end 0,2 m/s omkring lugeåbningen.

### Lufthastighed på 0,3 m/s

Ved forsøg nr. 3 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 918 m<sup>3</sup>/h friskluft, hvilket er kontrolleret ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperaturen er løbende logget under målingerne og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

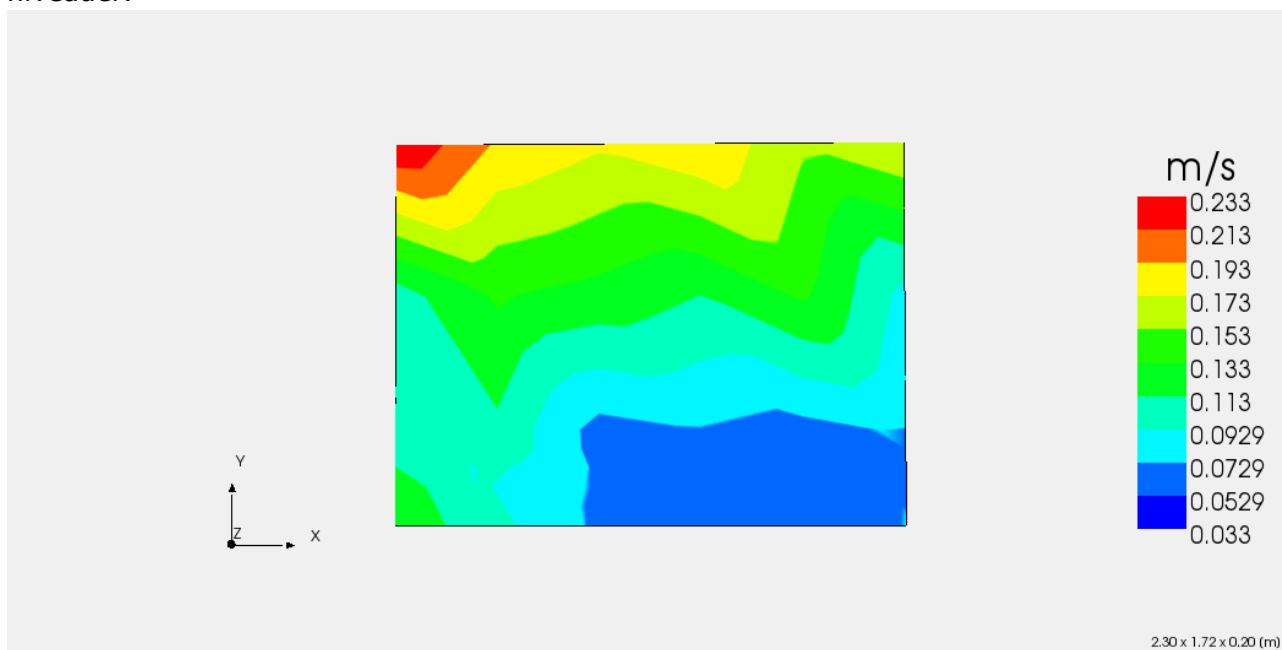
Figur 17.20 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 30 cm og i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.





Figur 17.20 - Hastighedsplot. Måleplan 1 - 30 cm fra stinks-kabet.

Figur 17.18 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 60 cm i samme niveauer.



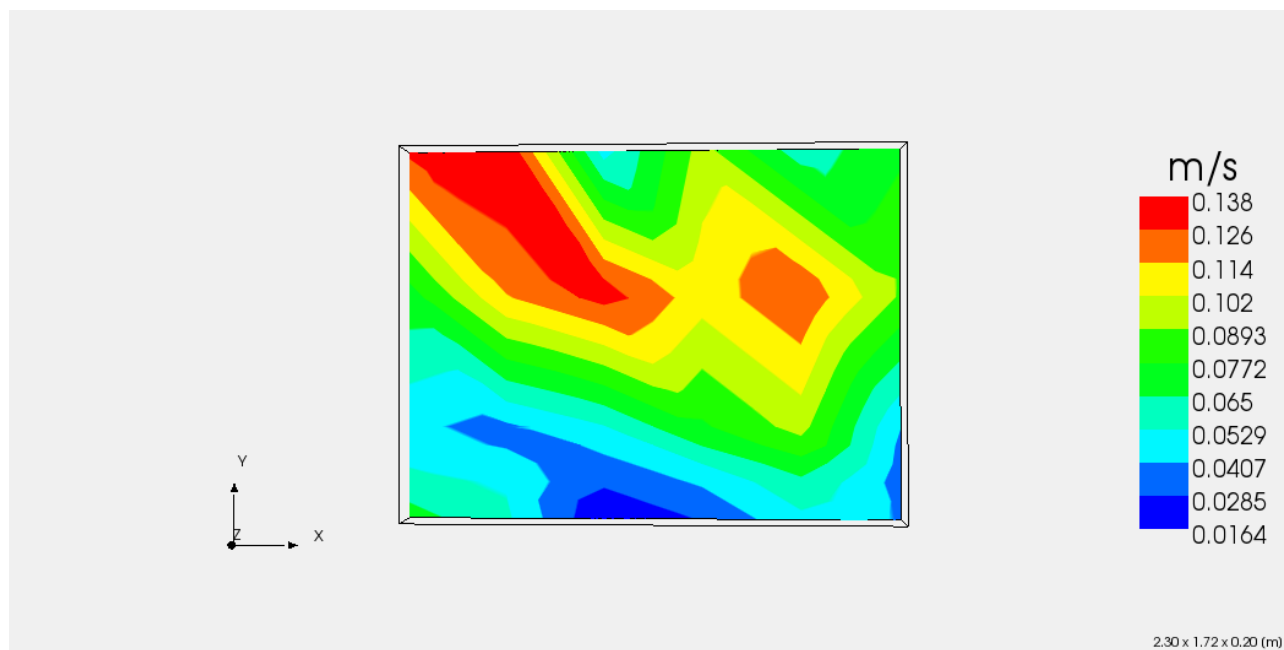
Figur 17.18 - Hastighedsplot. Måleplan 2 - 60 cm fra stinks-kabet.

Der forekommer nogle, men stadigvæk ikke signifikante forskelle mellem måleplan 1 og 2. Med en indblæsningsmængde på 918 m<sup>3</sup>/h igennem de to indblæsningsdyser forekommer der ikke lufthastigheder over det tilladte.

### Lufthastighed på 0,2 m/s

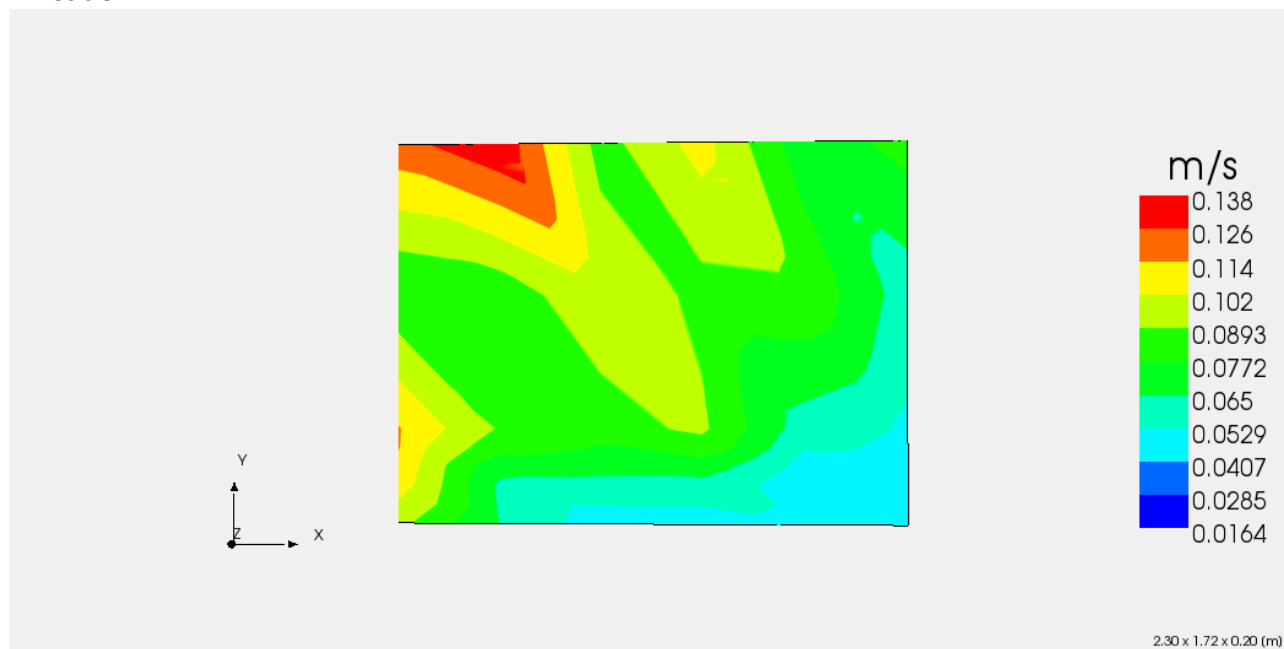
Ved forsøg nr. 4 er ventilationsanlægget indstillet til at levere 612 m<sup>3</sup>/h, hvilket er kontrolleret ved flowmålinger. Rum- og indblæsningstemperaturen er løbende logget under målingerne og kontrolleret for at sikre stabile måleforhold.

Figur 17.19 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 30 cm og i en højde fra 1,18-2,9 m over gulv.



Figur 17.19 - Hastighedsplot. Måleplan 1 - 30 cm fra stinkskebnet.

Figur 17.20 viser hastighedsfordelingen langs lugeåbningen i en afstand på 60 cm i samme niveauer.



Figur 17.20 - Hastighedsplot. Måleplan 2 - 60 cm fra stinkskebnet.

Der forekommer nogle, men stadigvæk ikke signifikante forskelle mellem måleplan 1 og 2. Med en indblæsningsmængde på  $612 \text{ m}^3/\text{h}$  igennem de to indblæsningsdyser forekommer der ikke lufthastigheder over det tilladte.

#### 17.2.4 Fortrængningsarmaturer placeret 1,05 m fra stinkskabet

Det er på baggrund af en visuel gennemgang af fortrængningsarmaturerne samt kendskab til dette produkt valgt at foretage en måling af hastighedsfordelingen på to armaturstørrelser bestående af henholdsvis to Comdif CBA4020 og fire Comdif CBA2510. Derudover er der foretaget målinger af de luftforstyrrelser, der eventuelt forekommer ved stinkskabet.

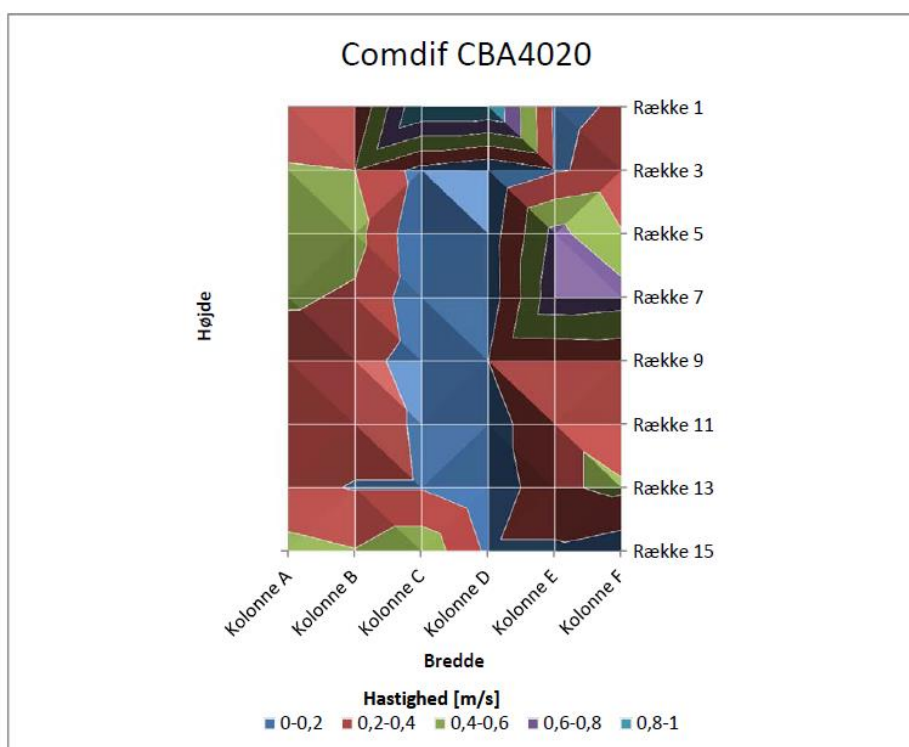
##### Hastighedsfordeling ved Comdif CBA4020

Der er ved forsøget tilsluttet en ekstern ventilator til Comdif CBA4020-armaturet, hvor der er tilført en luftstrøm på ca. 1.500 m<sup>3</sup>/h. Måling af hastighedsfordelingen er foretaget i en afstand på 30-40 cm fra armaturet i luftens retning, svarende til vinkelret på armaturets rektangulære bagplade. Opstillingen ses nedenstående.



Figur 17.21 - Comdif CBA4020 indblæsningsarmatur.

Der foretages i alt 48 hastighedsmålinger jævnt fordelt over armaturets overflade, som er inddelt i en række bånd. Hastighedsfordelingen er vist i Figur 17.22.



Figur 17.22 - Hastighedsfordeling over Comdif CBA4020.

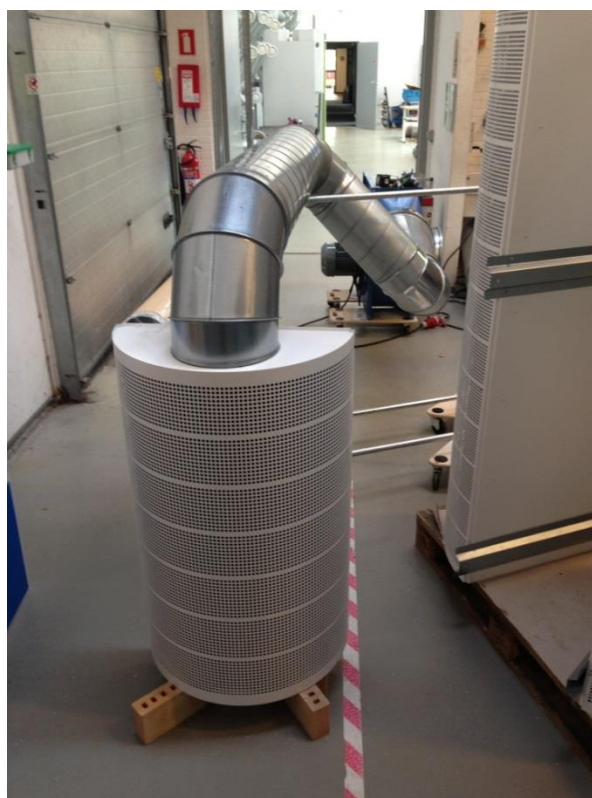
Rækkens nummer angiver i hvilket af de femten bånd af perforeringer der måles ud for, startende fra toppen og ned. Kolonnerne A-F er fordelt over armaturet i bredden.

Som Figur 17.22 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 aktuelle armatur ikke umiddelbart egner sig som indblæsningsarmatur i nærværende forsøg.

Armaturets indblæsningsdyser var regulerbare men fabriksindstillede. Dette gør sig også gældende for Comdif CBA2510 armaturet.

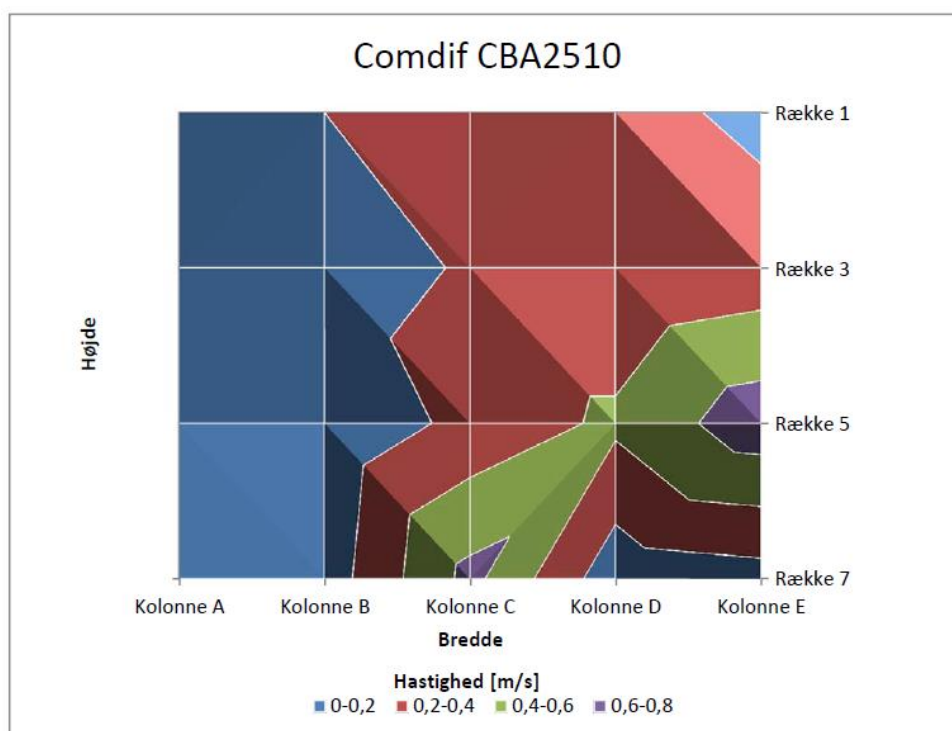
### Hastighedsfordeling ved Comdif CBA2510

Ligesom for Comdif CBA4020 er der ved test af Comdif CBA2510 tilsluttet en ekstern ventilator. Ved forsøget blev der tilført ca. 800 m<sup>3</sup>/h, hvor 900 m<sup>3</sup>/h jf. Lindab er den maksimale luftstrøm. Målingerne 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 17.23



Figur 17.23 - Comdif CBA2510 indblæsningsarmatur.

Der er foretaget i alt 20 hastighedsmålinger jævnt fordelt over armaturets overflade, som er inddelt i en række bånd. Hastighedsfordelingen er vist i følgende Figur 17.24.



Figur 17.24 - 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 over armaturet i bredden.

Ligesom for Comdif CBA4020 armaturet er hastighedsfordelingen for Comdif CBA2510 armaturet skæv. Armaturet vurderes til 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 blev valgt kun at installere og foretage yderligere forsøg med Comdif CBA4020 armaturet opsat i mock-uppen.

### Comdif CBA4020 armatur med fabriksindstillede dyser placeret 1,05 m fra stinkska-bet

De første målinger med Comdif CBA4020 armaturet er foretaget med fabriksindstillet dyser.

Lufthastigheder i referencepunkter				
Målested	Flowhastighed i lugeåbning [m/s]			
	0,2	0,3	0,5	1,0
Over stinkska-bet ved højre hjørne 7 cm under loft [E]	-	-	0,02	0
Over stinkska-bet ved højre hjørne 21 cm under loft [D]	-	-	0	0,01
Over stinkska-bet ved højre hjørne 21 cm over ska-bets top [C]	-	-	0	0,01
Over stinkska-bet ved højre hjørne 7 cm over ska-bets top [B]	-	-	0	0,05
Inde i stinkska-bet ved målerørets munding [A]	-	-	0,02	0,02
Foran stinkska-bet 118 cm over gulv, 24 cm til venstre for venstre kant [MK1]	-	-	0,21	0,2
Foran stinkska-bet 118 cm over gulv, 114 cm til højre for venstre kant [MK2]	-	-	0,05	0,11
Foran stinkska-bet 224 cm over gulv, 114 cm til højre for venstre kant [MK3]	-	-	0,05	0,08

Tabel 17.1 - Måleresultater for et Comdif CBA 4020 fortrængningsarmatur 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 virker så forstyrrende på stinkska-bet, som det var forventet. Dog bør armaturet placeres passende langt fra personer, således at der ikke opstår trækgener, idet lufthastighederne i nedadgående retning var forholdsvis høje.

### Comdif CBA4020 armatur med justerede dyser placeret 1,05 m fra stinkska-bet

Eftersom målingerne af armaturet med fabriksindstillede dyser ikke forårsagede nævneværdige forstyrrelser af stinkska-bet, er det valgt at justere dyserne i armaturet, hvorved stinkska-bet udsættes for en større påvirkning.

Lufthastigheder i referencepunkter				
Målested	Flowhastighed i lugeåbning [m/s]			
	0,2	0,3	0,5	1,0
Over stinkskabet ved højre hjørne 7 cm under loft [E]	-	-	-	0,21
Over stinkskabet ved højre hjørne 21 cm under loft [D]	-	-	-	0,24
Over stinkskabet ved højre hjørne 21 cm over skabets top [C]	-	-	-	0,26
Over stinkskabet ved højre hjørne 7 cm over skabets top [B]	-	-	-	0,22
Inde i stinkskabet ved målerørets munding [A]	-	-	-	0,01
Foran stinkskabet, 118 cm over gulv, 24 cm til venstre for venstre kant [MK1]	-	-	-	0,04
Foran stinkskabet 118 cm over gulv, 114 cm til højre for venstre kant [MK2]	-	-	-	0,02
Foran stinkskabet 224 cm over gulv, 114 cm til højre for venstre kant [MK3]	-	-	-	0,04

Tabel 17.2 - Måleresultater for et Comdif CBA 4020 fortrængningsarmatur 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 lufthastighederne foran stinkskabet er øget efter at dyserne er justeret. Lufthastighederne er dog relativt små sammenlignet med forsøgene, hvor der blev anvendt dysekanaler som indblæsningsarmaturer.

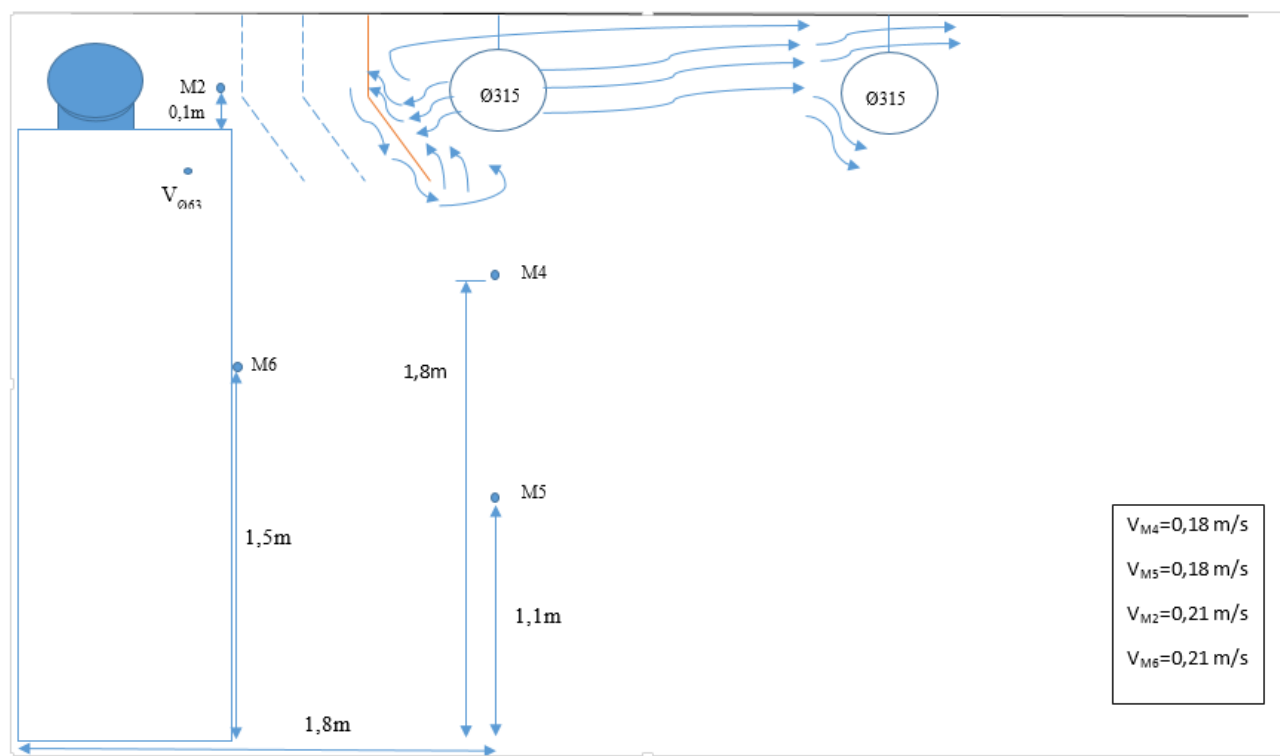
### 17.3 Opsætning af preplade

#### 17.3.1 Indblæsningsarmatur placeret tæt på stinkskab – afskærmning i stilling 1

Forsøget er foretaget med et indblæsningsarmatur placeret ca. 1 meter fra stinkskabet. Der er opsat en afskærmning mellem stinkskabet og indblæsningsarmaturet. Afskærmningen er markeret med orange på Figur 17.25.

Udsugningen er justeret efter at lufthastigheden i stinkskabets lugeåbning er 0,5 m/s og lugen er helt åben. Luftstrømmen fra indblæsningsarmaturet er 100 m<sup>3</sup>/h større end stinkskabets udsugning.

I stinkskabets flowmåler blev lufthastigheden målt til 0,59 m/s, hvilket indikerer at luftstrømmen fra indblæsningsarmaturet påvirker flowmåleren. Lufthastigheden i lugeåbningen vil derfor blive reduceret.



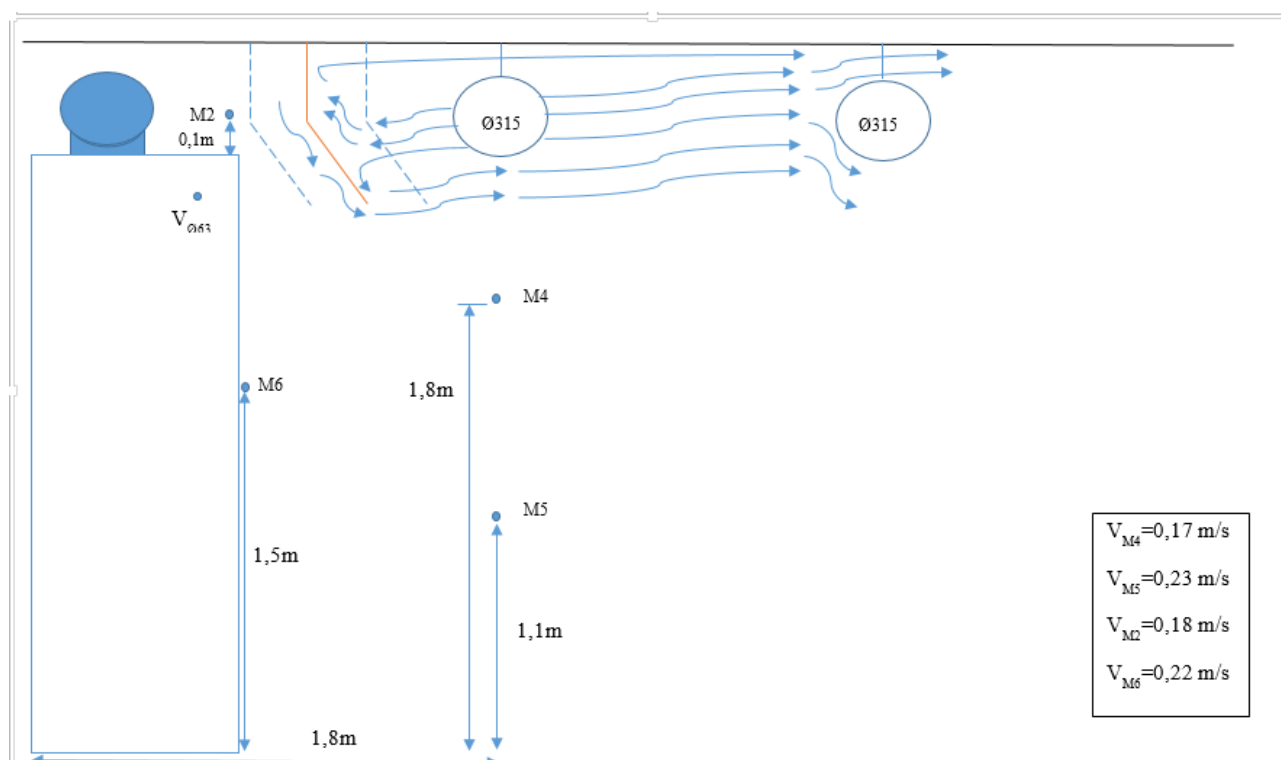
Figur 17.25 - Luftstrøm fra indblæsningsarmatur placeret 1 meter fra stinkskab samt indvirkning på luftstrømmen fra en preplade (markeret med orange).

### 17.3.2 Indblæsningsarmatur placeret tæt på stinkskab – afskærmning i stilling 2

Indblæsningsarmaturet er placeret i samme stilling som ved det forrige forsøg og luftstrømmene er de samme. Afskærmningspladen er rykket nærmere stinkskabet, og er markeret med orange på Figur 17.26. Udsugningen er justeret efter at lufthastigheden i stinkskabets lugeåbning er 0,5 m/s og lugen er helt åben. Luftstrømmen fra indblæsningsarmaturet er 100 m<sup>3</sup>/h større end stinkskabets udsugning.

I flowmåleren målte at der er en lufthastighed i lugeåbningen på 0,61 m/s. Det betyder, at luftstrømningerne ved stinkskabet påvirkede stinkskabets flowmåler.





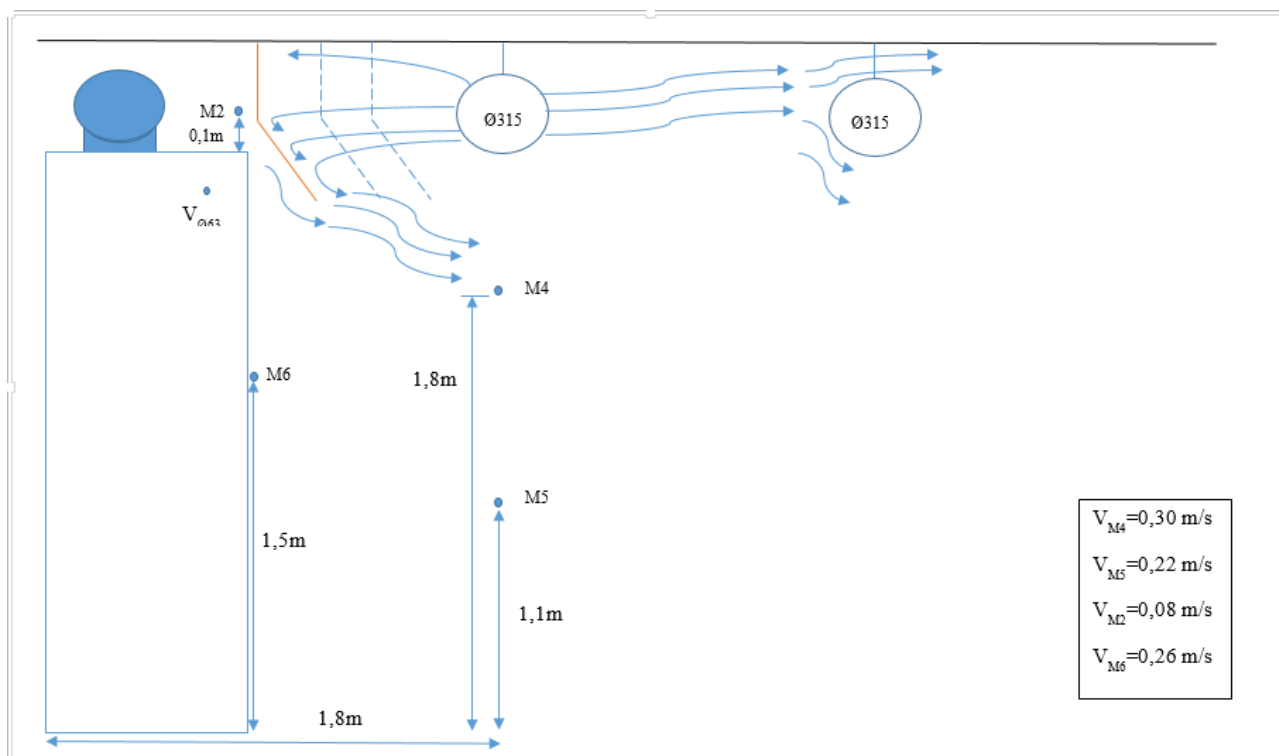
Figur 17.26 - Luftstrøm fra indblæsningsarmatur placeret 1 meter fra stinkskab samt indvirkning på luftstrømmen fra en preplade (markeret med orange).

### 17.3.3 Indblæsningsarmatur placeret tæt på stinkskab – afskærmning i stilling 3

Forsøget er foretaget med et indblæsningsarmatur placeret ca. 1 meter fra stinkskabet. Afskærmningen er placeret tæt på stinkskabet, se orange markering på Figur 17.27.

Udsugningen er justeret efter at lufthastigheden i stinkskabets lugeåbning er 0,5 m/s og lugen er helt åben. Luftstrømmen fra indblæsningsarmaturet er 100 m<sup>3</sup>/h større end stinkskabets udsugning.

Stinkskabets flowmåler målte lufthastigheden i lugeåbningen til 0,50 m/s. Ved at placere afskærmningen helt op ad stinkskabet undgås det, at luftstrømmen fra indblæsningsarmaturet påvirker flowmåleren.

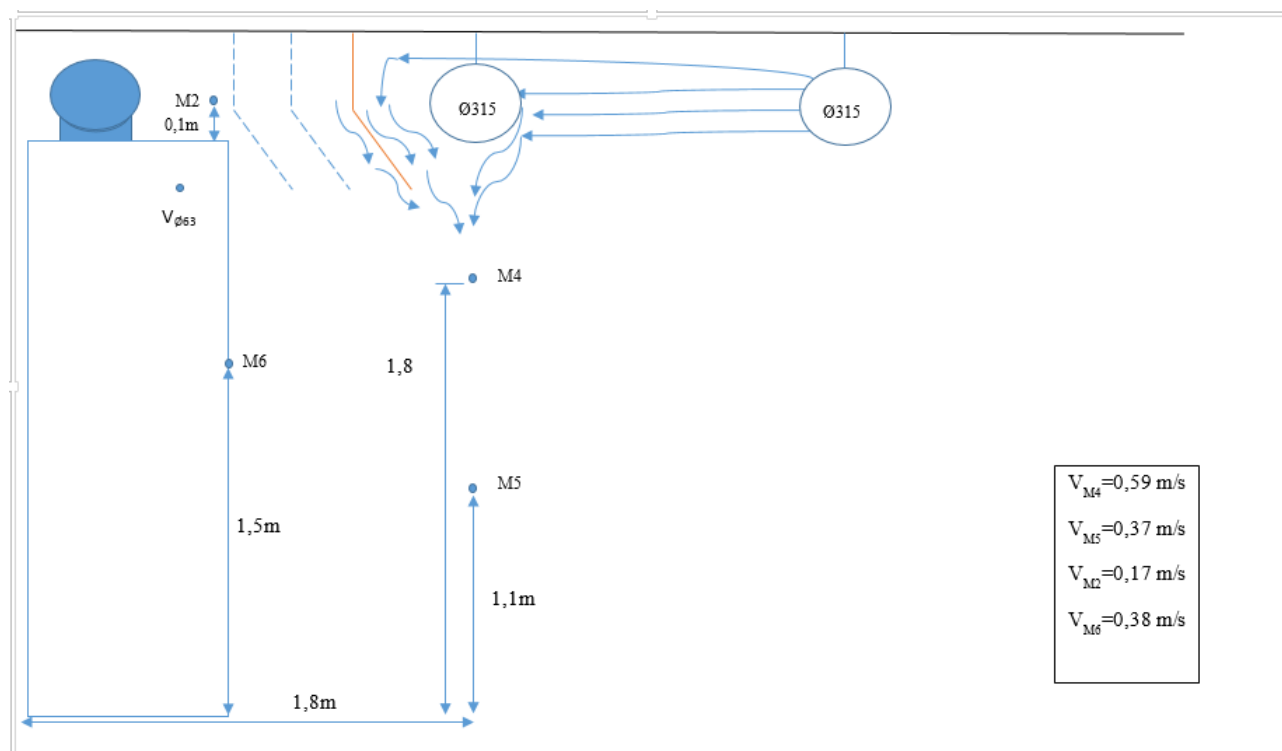


Figur 17.27 - Luftstrøm fra indblæsningsarmatur placeret 1 meter fra stinkskab samt indvirkning på luftstrømmen fra en preplade (markeret med orange).

### 17.3.4 Indblæsningsarmatur der er placeret langt fra stinkskabet – afskærmning i stilling 1

Forsøget er gentaget hvor indblæsningsarmaturet er flyttet ca. 2,5 m væk fra stinkskabet. Afskærmningen er markeret med orange på Figur 17.28. Udsugningen er justeret efter at lufthastigheden i stinkskabets lugeåbning er 0,5 m/s og lugen er helt åben. Luftstrømmen fra indblæsningsarmaturet er 100 m<sup>3</sup>/h større end stinkskabets udsugning.

Stinkskabets flowmåler målte lufthastigheden til 0,57 m/s. Det betyder, at selv når indblæsningsarmaturet flyttes væk fra stinkskabet ses der en påvirkning af flowmåleren.

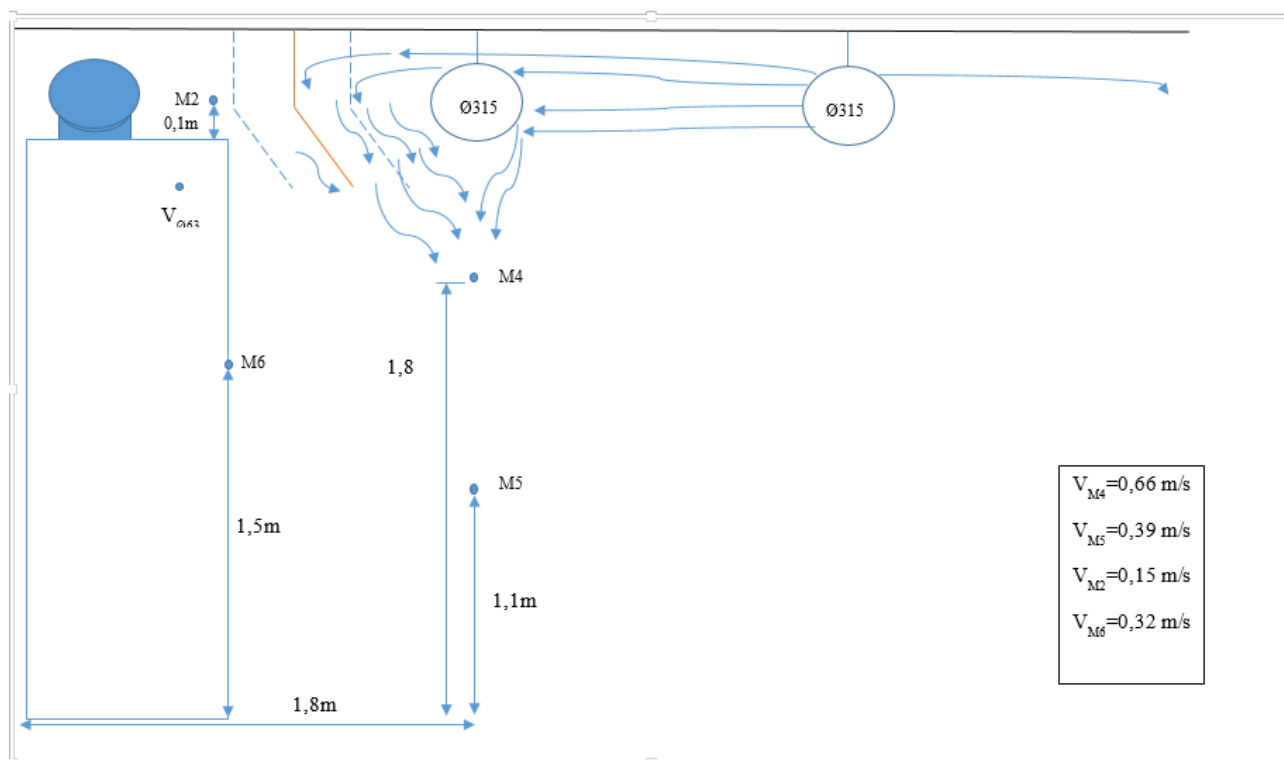


Figur 17.28 - Luftstrøm fra indblæsningsarmatur placeret 2,5 meter fra stinkskaab samt indvirkning på luftstrømmen fra en prelplade (markeret med orange).

### 17.3.5 Indblæsningsarmatur der er placeret langt fra stinkskaab – afskærmning i stilling 2

Indblæsningsarmaturet er placeret i samme stilling som ved det forrige forsøg og luftstrømmene er de samme. Afskærmningspladen er rykket nærmere stinkskaabet, og er markeret med orange på figur Figur 17.29. Udsugningen er justeret efter at lufthastigheden i stinkskaabets lugeåbning er 0,5 m/s og lugen er helt åben. Luftstrømmen fra indblæsningsarmaturet er 100 m<sup>3</sup>/h større end stinkskaabets udsugning.

Stinkskaabets flowmåler målte en lufthastighed på 0,66 m/s i lugeåbningen. Det betyder, at flowmåleren blev påvirket af indblæsningsarmaturets luftstrøm.



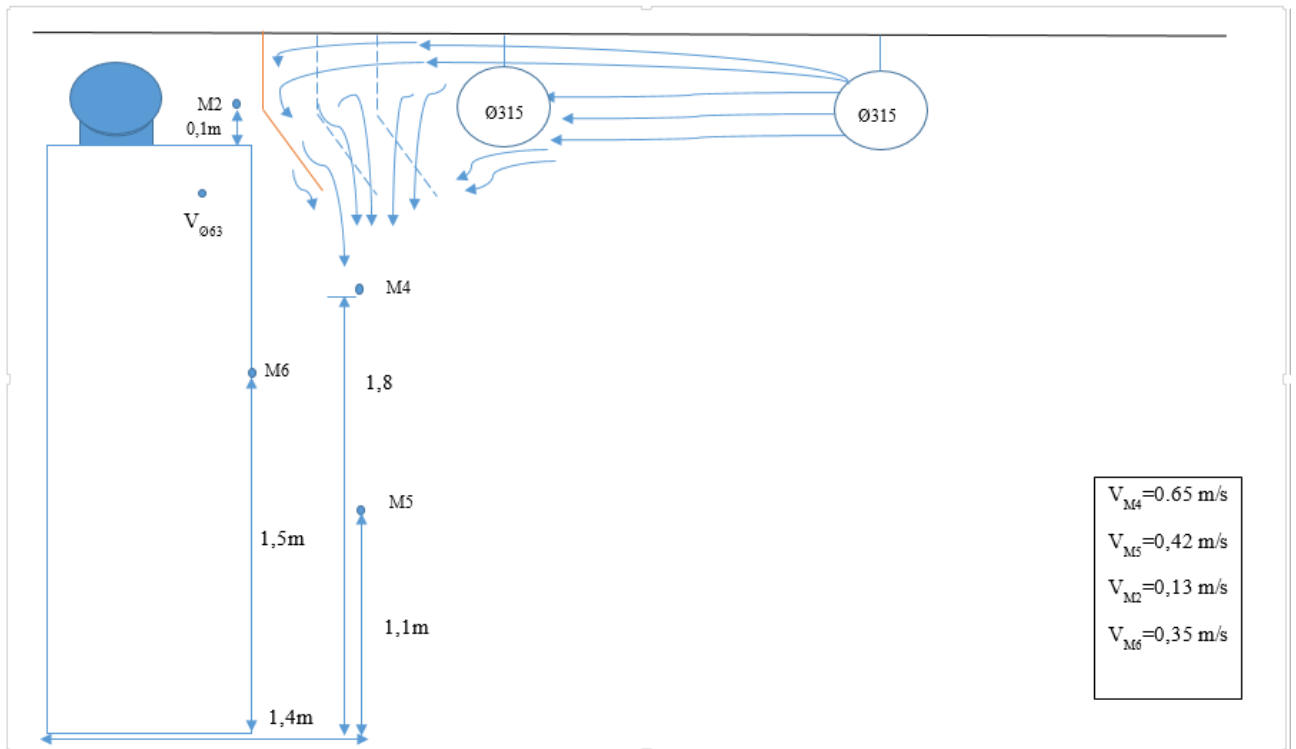
Figur 17.29 - Luftstrøm fra indblæsningsarmatur placeret 2,5 meter fra stinkskab samt indvirkning på luftstrømmen fra en preplade (markeret med orange).

### 17.3.6 Indblæsningsarmatur der er placeret langt fra stinkskab – afskærmning i stilling 3

Forsøget er foretaget med et indblæsningsarmatur placeret ca. 2,5 meter fra stinkskabet. Afskærmningen er placeret tæt på stinkskabet, se orange markering på Figur 17.30.

Udsugningen er justeret efter at lufthastigheden i stinkskabets lugeåbning er 0,5 m/s og lugen er helt åben. Luftstrømmen fra indblæsningsarmaturet er 100 m<sup>3</sup>/h større end stinkskabets udsugning.

I stinkskabets flowmåler målte lufthastigheden i lugeåbningen til 0,57 m/s. Ved at placere afskærmningen helt op ad stinkskabet og indblæsningsarmaturet 2,5 m fra stinkskabet er der kun en lille påvirkning af flowmåleren.



Figur 17.30 - Luftstrøm fra indblæsningsarmatur placeret 2,5 meter fra stinkskab samt indvirkning på luftstrømmen fra en preplade (markeret med orange).

## 17.4 Sugearm til stinkskab

Nedenfor er der et beregningseksempel for anvendelse af en sugearm i et stinkskab. For et almindeligt stinkskab vil ventilatorens effektbehov bestemmes af:

$$w_1 = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta}$$

hvor:

$w_1$ : effektoptag [W]

$Q$ : volumenstrøm [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$\Delta p$ : trykstigning [Pa]

$\eta$ : virkningsgrad [-]

For et stinkskab med en sugearm er der et effektbehov for den decentrale ventilator og en central ventilator:

$$w_2 = \frac{Q_{\text{central}} \cdot \Delta p_{\text{central}}}{\eta_{\text{central}}} + \frac{Q_{\text{decentral}} \cdot \Delta p_{\text{decentral}}}{\eta_{\text{decentral}}}$$

For at stinkskabet med sugearm ikke har et effektbehov, der er større end et almindeligt stinkskab skal den decentrale ventilator have en virkningsgrad, således at det samlede effektbehov ikke overstiger effektbehovet for det almindelige stinkskab.

$$\eta_{\text{decentral}} \geq \frac{\eta_{\text{central}} \cdot Q_{\text{decentral}} \cdot \Delta p_{\text{decentral}} \cdot \eta}{Q \cdot \eta_{\text{central}} \cdot \Delta p - Q_{\text{central}} \cdot \Delta p_{\text{central}} \cdot \eta}$$

**17.4.1 Eksempel**

Almindeligt stinkskab: Det antages, at lufthastigheden i lugeåbningen er 0,5 m/s, hvilket giver 0,425 m<sup>3</sup>/s. Udsugningskanalen antages at være en ø315 med en længde på 10 meter samt at have en 90° bøjning. Dette giver et tryktab i kanalen på ca. 15 Pa. Totalvirkningsgraden for ventilatoren er sat til 60%.

$$w = \frac{Q \cdot p}{\eta} = \frac{0,425 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 15 \text{ Pa}}{0,6} = 10,6 \text{ W}$$

Stinkskab med sugearm: Det antages, at lufthastigheden i lugeåbningen kan reduceres til 0,3 m/s, fordi kemikalierne står under sugearm. Luftmængden er med den reducerede hastighed i lugeåbningen 0,255 m<sup>3</sup>/s. Udsugningskanalen er antaget at være identisk med kanalen til skabet uden sugearm, hvilket medfører at tryktabet nu er på ca. 6 Pa. Totalvirkningsgraden for den centrale ventilator er sat til 60%.

$$w = \frac{Q \cdot p}{\eta} = \frac{0,255 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 6 \text{ Pa}}{0,6} = 2,6 \text{ W}$$

Sugearmen antages at være 2 meter lang med en dimension ø100 og to 90° bøjninger. Med en luftstrøm på 200 m<sup>3</sup>/h i sugearmen vil der være et tryktab på 34 Pa.

Med ovenstående formeludtryk kan det nu beregnes, at sugearmens ventilator skal have en totalvirkningsgrad på mindst 24%, for at det samlede effektbehov ikke overstiger effektbehovet for det almindelige stinkskab.