



OsloMet – storbyuniversitetet

Institutt for Bygg- og energiteknikk – Energi og miljø i bygg

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo

Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

OPPGAVE NR.

13

TILGJENGELIGHET

Åpen

Telefon: 67 23 50 00

www.oslomet.no

MASTEROPPGAVE

MASTEROPPGAVENS TITTEL Utvikling av CFD-modell for spesialrom i sykehus og laboratorievirksomhet med beskyttelsesventilasjon og menneskelige bevegelser.	DATO 21.05.2018
	ANTALL SIDER / ANTALL VEDLEGG 112/10
FORFATTER Azada Ayarmal	VEILEDER Ole Melhus Arnab Chaudhuri

UTFØRT I SAMMARBEID MED Erichsen & Horgen	KONTAKTPERSON Azada Ayarmal
---	---------------------------------------

SAMMENDRAG Luftmønstret i et spesialrom i sykehus og laboratorievirksomhet spiller en viktig rolle for komfort og sikkerhet av brukere, prøver og omgivelser. En CFD-modell er en forenkling av virkeligheten. For å se på luftmønstret i rommet er det viktig å se på alle luftbevegelser i rommet. Mennesker skaper turbulentbevegelser når spesialrommet er i bruk. I forbindelse med denne oppgaven ble det utarbeidet en CFD-modell i simuleringsprogrammet STAR CCM+ av ventilasjonsprinsipp av en obduksjonssal som brukes til forskning og undervisning. Oppgaven studerte hva som skal til for å bygge en modell som gjenspeiler reelle forhold. Det ble utført tre simuleringer, hvorav to av dem er med bevegelser som skapes av brukere i rommet når rommet er i bruk og en med uten bevegelser. Alle simuleringene er utført med transiente beregninger. Resultater fra første og andre simuleringen viser klart og tydelig at solid (faste legemer) bevegelser påvirker fluidstrømningsmønstret. Mennesker i bevegelser skaper turbulentbevegelser i obduksjonsrommet når rommet er i bruk og er med å forstyrre obduksjonsbordet. Resultater viser også at konsentrasjon av formaldehyd blir ført ut av obduksjonsbordet og videre til romlufta på grunn av forstyrrelser som skapes i avtrekkshette og nedtrekksbenken. I siste simuleringen ble det modellert ingen solid bevegelser. Resultater fra simuleringen viser derfor at det ettersom det ikke er solid bevegelser i romlufta blir ikke strømningsforholdene påvirket. På grunn av ingen forstyrrelser blir konsentrasjon av formaldehyd trukket av i avtrekkshetta og i nedtrekksbenken. Generelt kan det konkluderes med at denne type CFD-simuleringer kan gi verdifull informasjon for prosjektering av spesialrom og laboratorierom. Denne modellen gir et mer riktigere bilde av når slike rom faktisk er i bruk og påvirker strømningsforholdene. Det kan også konkluderes med at simuleringer i STAR-CCM+ er meget tids og resurskrevende, spesielt med komplekse geometrier og problemer.
--

3 STIKKORD
CFD
Spesialventilasjon
Overset Mesh

Prosjektbeskrivelse

Tittel: Utvikling av CFD-modell for spesialrom i sykehus og laboratorievirksomhet med beskyttelsesventilasjon og menneskelige bevegelser.

Oppgaven skrives i samarbeid med Erichsen & Horgen. Hovedveileder er Ole Melhus (OsloMet-Storbyuniversitet), og biveileder er Arnab Chaudhuri (OsloMet-Storbyuniversitet). Eksterne veiledere er Anette Bonsted (Erichsen & Horgen) og Guro Urdahl (Erichsen & Horgen).

Luftmønstret i et spesialrom i sykehus og laboratorievirksomhet spiller en viktig rolle for komfort og sikkerhet av brukere, prøver og omgivelser. En CFD-modell (Computational Fluid Dynamics) er en forenkling av virkeligheten. For å se på luftmønstret i rommet er det viktig å se på alle luftbevegelser i rommet. Mennesker skaper turbulente bevegelser når spesialrommet er i bruk.

Krav til personsikkerhet ved arbeid med helsefarlige stoffer, medfører behov for beskyttelsesventilasjon. Med beskyttelsesventilasjon menes, spesielle ventilasjonsinstallasjoner som skal gi personbeskyttelse eller/og produktbeskyttelse ved arbeidsoperasjoner med skadelige luftbårne stoffer. Et eksempel er ventilerte obduksjonsbord ved sykehus og utdanningsinstitusjoner innen helse.

I forbindelse med denne oppgaven skal det utarbeides en CFD-modell i simuleringsprogrammet STAR CCM⁺ av ventilasjonsprinsipp av en obduksjonssal som brukes til undervisning og forskning.

En CFD-modell er en forenkling av virkeligheten. Derfor vil oppgaven studere hva som skal til for å bygge en modell som gjenspeiler reelle forhold, eksempelvis med mennesker som beveger seg i rommet rundt spesialavtrekket og skaper turbulens luftbevegelser.

Forord

Å skrive en masteroppgave er en langvarig prosess. Alle de lesinga, skrivinga, simuleringa, slettinga og omskrivinga som ligger til grunn, reflekterer jo ikke i denne endelig versjonen av oppgaven. Men sånn skal det være, en oppgave skal ikke vise alle sidespor og blindveier underveis.

Høsten 2017 var jeg student i faget Bygningsfysikk på OsloMet-storbyuniversitet hvor Ida Bryn, partner og avdelingsleder i Erichsen & Horgen og professor II ved OsloMet-storbyuniversitet, var hovedforeleser. Av Ida ble klassen presentert problemstillinger som kunne vært interessant til masteroppgaven. CFD-modellering og prosjektering av sykehus og spesialrom var noe jeg har hatt store interesser for gjennom mine studieperioder ved OsloMet-storbyuniversitet. Derfor ble valget av problemstilling til min masteroppgave enkelt da jeg så CFD-modellering for spesialrom og laboratorierom blant problemstillingene som ble presentert.

Det rettes en stor takk til Erichsen & Horgen for samarbeid og hjelp til min masteroppgave. Jeg er veldig takknemlig for å ha fått muligheten til å samarbeide med dere.

Mange personer har hjulpet meg med større eller mindre deler av oppgaven. Først og fremst rettes en stor takk til hovedveileder Ole Melhus, førsteamanuensis ved OsloMet-storbyuniversitet, som har gitt råd og hjulpet meg hele veien. En stor takk rettes også til biveileder Arnab Chaudhuri, førsteamanuensis ved OsloMet-storbyuniversitet, for veiledning og hjelp til gjennomføring av oppgaven. Eksterne veiledere Anette Bonsted, dr. ingeniør i Erichsen og Horgen, og Guro Urdahl, Ingeniør i Erichsen & Horgen, for veiledning underveis og strukturering av oppgaven mot slutten. Saiph Neumann, sivilingeniør i Erichsen & Horgen, for hjelp til CFD-modellering. Jeg er veldig takknemlig for at han hjalp meg med modelleringen underveis med problemer som oppstå. Til slutt vil jeg takke mine venner og familie for all støtte og motivasjon de har gitt meg.

Azada Ayarmal
Oslo, 21. mai 2018

Sammendrag

Luftmønstret i et spesialrom i sykehus og laboratorievirksomhet spiller en viktig rolle for komfort og sikkerhet av brukere, prøver og omgivelser. En CFD-modell er en forenkling av virkeligheten. For å se på luftmønstret i rommet er det viktig å se på alle luftbevegelser i rommet. Mennesker skaper turbulentbevegelser når spesialrommet er i bruk. I forbindelse med denne oppgaven ble det utarbeidet en CFD-modell i simuleringsprogrammet STAR CCM⁺ av ventilasjonsprinsipp av en obduksjonssal som brukes til undervisning og forskning. Oppgaven studerte hva som skal til for å bygge en modell som gjenspeiler reelle forhold.

Det ble utført tre simuleringer, hvor alle simuleringene er utført med transiente beregninger. Første simuleringen tar for seg alle bevegelser som blir utført av brukere når obduksjonssalen er i bruk. I denne simuleringen er det modellert to stillestående personer rundt obduksjonsbordet, håndbevegelser over nedtrekksbenken og en forbipasserende person med armbevegelser. Denne simuleringen ble utført for å se på påvirkning av forbipasserende og hånd/armbevegelser over nedtrekksbenken for avtrekkshette og nedtrekksbenken. I tillegg ble det sett på spredning av formaldehyd konsentrasjonen i romlufta. På grunn av nettverkskapasitet og bruk av *Morphing* funksjonen ble simuleringen stanset etter få iterasjoner. For å studere spredning av formaldehyd i romlufta og luftbevegelser for et litt lengre tidsperiode ble den andre simuleringen modellert. Denne simuleringen ble modellert lignende første simuleringen men uten armbevegelser for den forbipasserende personen. Siste simuleringen ble modellert uten menneskelige bevegelser. Denne simuleringen ble modellert for å studere forskjellen på med og uten bevegelser som skapes av brukere i obduksjonssalen når salen er i bruk og for å studere spredning av formaldehyd konsentrasjonen i begge av tilfellene.

Resultater fra første og andre simuleringen viser klart og tydelig at solid (faste legemer) bevegelser påvirker fluidstrømningsmønstret. Mennesker i bevegelser skaper turbulentbevegelser i obduksjonsrommet når rommet er i bruk og er med å forstyrre avtrekkshette og nedtrekksbenken. Resultater viser også at konsentrasjon av formaldehyd blir ført ut av obduksjonsbordet og videre til romlufta på grunn av forstyrrelser som skapes i avtrekkshette og nedtrekksbenken av forbipasserende personen og hånd/armbevegelser over nedtrekksbenken.

I siste simuleringen ble det modellert ingen solid bevegelser. Resultater fra simuleringen viser derfor at det ettersom det ikke er solid bevegelser i romlufta blir ikke strømningsforholdene påvirket. På grunn av ingen forstyrrelser blir konsentrasjon av formaldehyd trekket av i avtrekkshetta og i nedtrekksbenken.

Når det angår å simulere solid bevegelser i fluidet ved hjelp av overset mesh metodikken kan det konkluderes med at dette er en krevende prosess i startfasen. Men dette gir den reelle strømningsbilde av når rommet faktisk er i bruk i tillegg til at den påvirker stort sett gass konsentrasjoner og partikkelspredninger i romlufta. Overset mesh er et viktig hjelpemiddel når en skal simulere faste legemer som beveger seg i forhold til hverandre.

Generelt kan det konkluderes med at denne type CFD-simuleringer kan gi verdifull informasjon for prosjektering av spesialrom og laboratorierom. Denne modellen gir et mer riktigere bilde av når slike rom faktisk er i bruk og påvirker strømningsforholdene.

Enkle problemer i CFD-simuleringer krever ikke så mye fra brukere, men ved mer kompliserte beregninger er det kunnskap hos brukere og tilgjengelig datakraft som avgjør hvor gode og nøyaktige resultatene blir. Det kan også konkluderes med at simuleringer i STAR-CCM⁺ er meget tids og resurskrevende, spesielt med komplekse geometrier og problemer.

Nomenklatur

Notasjon	Forklaring	Enhet	Notasjon	Forklaring	Enhet
V	Volum	m^3	\dot{Q}	Varmestrøm	J/s
A	Areal	m^2	Q	Varmeenergi	J
L_c	Karakteristiske lengde	m	\dot{V}	Volumstrøm	m^3/s
C_p	Varmekapasitet	$\frac{J}{kg K}$	\dot{E}	Varmestrøm	W
ρ	Tetthet	kg/m^3	E	Energi	J
T	Temperatur	K	\dot{m}	Massestrøm	kg/s
T_∞	Omgivelses temperatur	K	H	Entalpi	J/kg
T_s	Flate temperatur	K	P	Trykk	Pa
T_i	Initial temperatur	K	g	Gravitasjons-akselerasjon	m/s^2
m	Masse	kg	x, y, z	Avstand, høyde, lengde	m
v	Hastighet	m/s	β	Termisk ekspansjon	K^{-1}
t	Tid	s	φ	Transport-størrelse	-
k	Termisk konduktivitet	$\frac{W}{m K}$	Γ	Diffusjons-koeffisient	m^2/s
h	Termisk konvektivitet	$\frac{W}{m^2 K}$	$\tilde{\tau}$	Viskøs spenning	Pa
a	Termisk diffusivitet	m^2/s	\vec{v}	Hastighetsvektor i y-retning	m/s
τ	Fourier mesh tall	-	\vec{u}	Hastighetsvektor i x-retning	m/s
ν	Kinematisk viskositet	m^2/s	$\vec{\omega}$	Hastighetsvektor i z-retningen	m/s
C	Konsentrasjon av et stoff	$\mu mol m^3$	D	Diffusjons-koeffisienten	m^2/s
CFD	Computational fluid dynamics	-	\vec{V}	Fluidhastighet	m/s
Re	Reynolds tall	-	μ	Dynamisk viskositet	$Pa \cdot s$
Gr	Grahams tall	-	M	Molar masse	Mol
Nu	Nusselts tall	-	n	Antall mol	-
Bi	Biots tall	-	R	Universell gasskonstant	$\frac{J}{Mol K}$
Ra	Rayleighs tall	-	$\vec{\nabla}$	Deloperator	-

INNHALDSFORTEGNELSE

FORORD	3
SAMMENDRAG	5
NOMENKLATUR	7
1. INTRODUKSJON	10
1.1 BAKGRUNN	10
1.2 MÅL	10
1.4 FORUTSETNINGER OG BEGRENSNINGER	11
1.5 OBDUKSJONSSAL OG OBDUKSJONSBENK	11
1.6 TIDLIGERE FORSKNING OG STUDIER	12
2. TEORI	14
2.1 BESKYTTELSESVENTILASJON	14
2.1.1 FORSKRIFTER, HELSEMESSIGE KRITERIER	14
2.1.2 AVTREKKSINSTALLASJONERS EFFEKT OG BEGRENSNINGER	15
2.1.3 AVTREKKSINSTALLASJONER	16
2.2 FORMALDEHYD	21
2.3 FYSISKE PRINSIPPER	22
2.3.1 STRØMNING	22
2.3.2 VARMETRANSPORT	23
2.3.3 ENERGIBALANSE	24
2.3.4 IDEELL GASSLOV	25
2.3.5 FLUIDDYNAMIKK	25
2.4 MASSETRANSPORT	27
2.4.1 DIFFUSJON	28
2.4.2 FICKS FØRSTE LOV	28
2.5 NUMERISKE BEREGNINGSMETODE	32
2.5.1 FINITE VOLUME METHOD	33
2.6 CFD-BEREGNING	33
2.7 STAR-CCM+	34
2.7.1 STASJONÆR OG TRANSIENTE BEREKNINGER	34
2.7.2 BEREGNINGSTID OG NØYAKTIGHET	34
2.8 INTRODUKSJON AV OVERSET MESH	35
2.8.1 OVERSET TOPOLOGI	36
2.8.2 OVERSET MESH METODEN	37
2.9 STREAMLINE	39

3 METODE	41
3.1 GEOMETRI	41
3.2 GEOMETRI PARTS OG REGIONS	43
3.3 GRENSEBETINGELSER	45
3.3.1 ROMMETS EGENSKAPER.....	47
3.3.2 BEVEGELIG HÅND OVER NEDTREKKSSENKEN	48
3.3.3 GÅENDE PERSON MED ARMBEVEGELSER.....	48
3.3.4 GÅENDE PERSON UTEN ARMBEVEGELSER.....	49
3.4 INTERFACE (GRENSESNIITT).....	49
3.5 NETTVERK MESH.....	50
3.6 FYSIKALSK MODELL	53
4 RESULTATER	55
4.1 SIMULERING 1	55
4.1.1 FLUIDBEVEGELSER	56
4.1.2 MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD	60
4.2 SIMULERING 2	61
4.2.1 FLUIDBEVEGELSER	61
4.2.2 MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD	73
4.3 SIMULERING 3	79
4.3.1 FLUIDBEVEGELSER	79
4.3.2 MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD	92
5 DISKUSJON	98
5.1 PROGRAMMET STAR CCM ⁺ OG CFD-BEREGNINGER	98
5.2 SAMMENDRAG AV RESULTATER.....	98
5.3 SAMMENLIGNING AV SIMULERING 2 OG SIMULERING 3.....	100
5.4 VURDERING AV MODELLEN	104
5.5 VIDERE ARBEID.....	105
6 KONKLUSJON	106
REFERANSER	107
FIGURER	109
TABELLER	111
VEDLEGG	112

1. Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Krav til personsikkerhet ved arbeid med helsefarlige stoffer, har medført et økt behov av beskyttelsesventilasjon. Med beskyttelsesventilasjon menes, spesielle ventilasjonsinstallasjoner som primært skal gi personbeskyttelse/produktbeskyttelse eller miljøbeskyttelse ved arbeidsoperasjoner med skadelige luftbårne stoffer. Beskyttelsen kan bli tilfredsstilt med ulike typer av avtrekksinstallasjoner. Luftmønstret i et spesialrom spiller en viktig rolle for komfort og sikkerhet av brukere, prøver og omgivelser.

En CFD-modell er en forenkling av virkeligheten. For å se på luftmønstret i rommet er det viktig å se på alle luftbevegelser i rommet. Mennesker skaper turbulentbevegelser når spesialrommet er i bruk.

1.2 Mål

Hovedmålet med denne oppgaven er å oppnå mer kunnskap om beskyttelsesventilasjon samt utvikle en CFD-modell som gjenspeiler reelle forhold i et spesialrom. Modellen som er valgt for å simulere i denne oppgaven er en obduksjonssal med en tilluftskanal og en obduksjonsbord som består av avtrekkshette og nedtrekksbenk. Det skal i tillegg modelleres håndbevegelser over nedtrekksbenken samt tre personer i rommet, hvor en av disse er i bevegelse og to av dem er stillestående. For gjennomføring av oppgaven ble det satt fire delmål:

- Simulere bevegelser av solid (faste legemer) i fluid.
- Hvilken effekt mennesker som beveger seg har på strømningsmønsteret.
- Beregne konsentrasjon av formaldehyd i lufta.
- Vurdere om CFD er egnet for simuleringer av ventilasjonsmønster i spesialrom og laboratorierom.

1.4 Forutsetninger og begrensninger

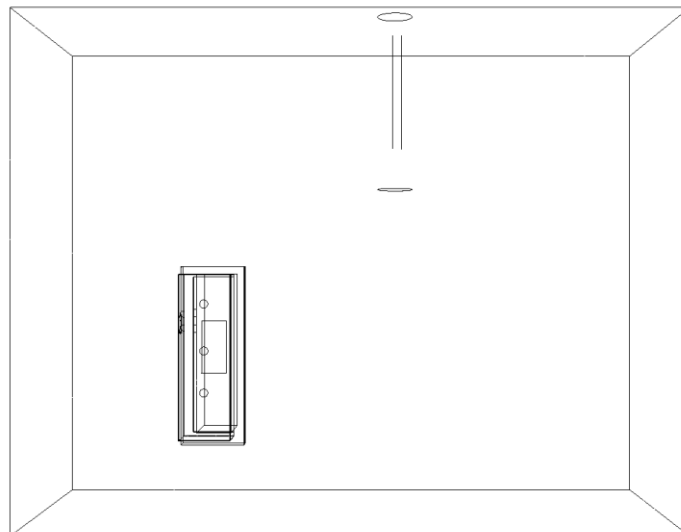
Simuleringene i STAR CCM⁺ begrenses av nettverkets oppdeling av nøyaktighet. Korrekte formuleringer av grensebetingelser er viktig for et korrekt resultat da disse påvirker strømningsbildet. Ulike teknikker for å beregne på turbulente strømninger gir approksimasjoner som avhenger sterkt av empiriske konstanter (Neumann, Simensen, & Madaas , 2016).

Tiden til rådighet og tilgjengelig datakapasitet begrenset muligheten til å beregne nøyaktige simuleringer med mange iterasjoner og en lengre tidsperiode.

Simuleringene har tatt i utgangspunktet i en obduksjonssal med et areal på 45 m² og en takhøyde på 2.7 m. I obduksjonssal er det noen komponenter og utstyr som ikke er tatt med i simuleringen på grunn av beregningskapasiteten. Det er blant annet lysarmaturer, sprinkler, søyler, avtrekksbenk, diverse skap, hyller, dører, flere nedtrekksbenk og avtrekkshetter. Utforming av nedtrekksbenken er blitt forenklet i simuleringen for å muliggjøre å beregne simuleringer.

1.5 Obduksjonssal og obduksjonsbenk

En obduksjon er en medisinsk prosedyre som består i å undersøke et lik for å finne dødsårsaken og i noen tilfeller for å klarlegge sykdomsforløpet (Norsk Helseinformatikk, 2016). I denne oppgaven er det valgt en obduksjonssal med en obduksjonsbenk som benyttes til forskning og undervisning.



Figur 1 viser disseksjonsrommet ovenfra.

Salen er på 45 m² og har en takhøyde på 2.7 meter. I simuleringen er det kun tatt hensyn til en obduksjonsbenk. I virkeligheten er det ofte flere av slike benker i samme obduksjonssal. Se figur 1 for modellen som er simulert.

Det er blitt tatt i utgangspunktet at obduksjonssalen har en luftmengde på 1000 m³/h på både tilluftskanalen og obduksjonsbenken. Obduksjonsbordet trekker 200 m³/h i avtrekkshetta og 800 m³/h i spalte på nedtrekksbenken.

1.6 Tidligere forskning og studier

Det er blitt utført flere studier av luftstrømninger i lignende spesialrom ved hjelp av CFD analyser. Flere av studier beskriver ulike ventilasjonsløsninger for slike rom og hvor mye valg av ventilasjonsløsninger har å si for partikkelspredninger i rommet. Flere av studier beskrives av Sasan Sadrizadeh.

I en av studiet fra Sadrizadeh ses det på ulike luftspredningsmekanismer og betydning av ventilasjon i operasjonssaler ved hjelp av CFD-analyser for at mengden av bakteriebærende partikkel i romluften kan reduseres samtidig som termisk komfort og luftkvalitet forbedres (Sadrizadeh, Design of Hospital Operating Room Ventilation using Computational Fluid Dynamics, 2016). Resultat fra studiet viser at laminær luftstrømning kan være en god løsning for å redusere partikkelspredningen.

I en annen studiet fra Sadrizadeh studeres posisjonsstillingen av kirurgen og dens betydning av partikkelspredning i operasjonssalen ved hjelp av CFD-analyser (Sadrizadeh, Afshari, Karimipannah, Håkansson, & Nielsen, 2016). I dette studiet er det ikke blitt beregnet kirurgens bevegelser men kun tatt hensyn til to stillingsposisjoner av kirurgen.

I en annen studiet som er utført av Sasan Sadrizadeh og Sture Holmberg blir det presentert en numerisk analyse for termisk komfort i et operasjonsrom (Sadrizadeh, Thermal comfort of the surgical staff in an operating theatre: a numerical study on laminar and mixing ventilation systems, 2016). CFD ble benyttet til å studere lustrømning, varmeoverføring og termisk komfort. Turbulent luftstrømning blir sammenlignet med laminær luftstrømning. Resultatene fra studiet viser at turbulent luftstrømning kan forbedre den termiske komforten.

I studiet utført av Alsved sammenlignes tre type ventilasjonssystemer for luftspredninger i et operasjonsrom for å evaluere bakteriespredninger, energiforbruk og komfort i rommet ved hjelp av målinger og CFD-analyser (Alsved, et al., 2017). Studiet sammenligner vertikal laminære luftstrømninger (LAF), turbulent mikset luftstrømninger (TMA) og temperaturkontroll luftstrømninger (T_cAF) og konkluderer med at LAF og T_cAF fjerner bakterier mer effektivt fra luften enn TMA.

Et annet eksempel er studie som er utført av Rafat Al-Waked (Al-Waked, 2010) og M. G. L. C Loomans (Loomans, Houdt, Lemaire, & Hensen, 2008) som i sin forskning viser effekt av forskjellige ventilasjon strategier i et operasjonsrom ved hjelp av CFD-analyser.

I alle disse studiene har det ikke blitt tatt hensyn til når rommene faktisk er i bruk av brukere. Når slike rom er i bruk vil brukere skape turbulente bevegelser i luftstrømningen. Luftstrømningens uordnede bevegelser resulterer i økt friksjon mot en grenseflate og bidrar sterkt til transport av energi og forurensninger. Turbulente bevegelser er av spesiell interesse fordi den har betydning for partikkelspredning i romlufta.

I denne oppgaven vil det bli tatt hensyn til når et spesialrom er i bruk og at brukere skaper turbulente bevegelser i rommet. Dette gjøres ved å modellere obduksjonsrommet med bevegelser som skapes i romlufta ved hjelp av CFD-simuleringsprogrammet STAR CCM⁺ og ved hjelp av funksjonen *Overset Mesh* som finnes i programmet.

For solide (faste) bevegelige legemer i CFD-beregninger er det blitt utført flere studier, blant annet studier som er utført av J.-L. Choi (Choi & Edwards, 2011). Choi viser i en av sine studier hvordan en bevegelig/gående person tar med luftforurensninger fra et forurenset rom til et annet rom som er uforurenset.

Et annet eksempel er studier som er utført av Giovanni Forasassi (Forasassi, 2016) hvor han har analysert trykket av et bevegelig tog gjennom en tett tunnel ved hjelp av CFD-beregningsprogrammet STAR CCM⁺. I sin studie viser Forasassi overset mesh metoden og hvordan en kan bygge opp en slikt bevegelig modell i STAR CCM⁺.

2. Teori

2.1 Beskyttelsesventilasjon

Skjerpede krav (fra Arbeidstilsynet og bedriftshelsetjeneste) til bruk av utstyr for å sikre personsikkerheten ved arbeid med helsefarlige stoffer, har medført en økning i behovet for spesielle lufttekniske installasjoner (beskyttelsesventilasjon).

Med beskyttelsesventilasjon menes spesielle ventilasjonsinstallasjoner som skal gi personbeskyttelse, produktbeskyttelse og/eller miljøbeskyttelse ved arbeidsoperasjoner hvor det avgis skadelige stoffer.

2.1.1 Forskrifter, helsemessige kriterier

Lover og forskrifter som omhandler ventilasjonsforhold og arbeidsatmosfæren er følgende:

- Plan og bygningsloven
- Arbeidsmiljøloven m/tilhørende forskrifter og veiledninger
- Statens Helsetilsyn” Anbefalte faglige normer for inneklima”

Plan og bygningsloven

I tekniske forskrifter av 2017§13-1 generelle krav til ventilasjon pkt. 1c kreves at” Bygningen skal ha ventilasjon som sikrer tilfredsstillende luftkvalitet ved at inneluften ikke inneholder forurensning i konsentrasjoner som kan gi helseskade eller irritasjon.”

Tilfredsstillende luftkvalitet er en forutsetning for å unngå negative helseeffekter og oppnå trivsel og velvære for de som oppholder seg i bygningen. Forskriften stiller derfor krav og tilstrekkelig ventilasjon for å sikre tilfredsstillende luftkvalitet.

Arbeidsmiljøloven

I” Lov om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mv” stilles det strenge krav til arbeidsmiljøet. Det nevnes spesielt at:” Det skal særlig sørges for at det i arbeidsmiljøet unngås forurensninger i form av støv, gasser etc.”

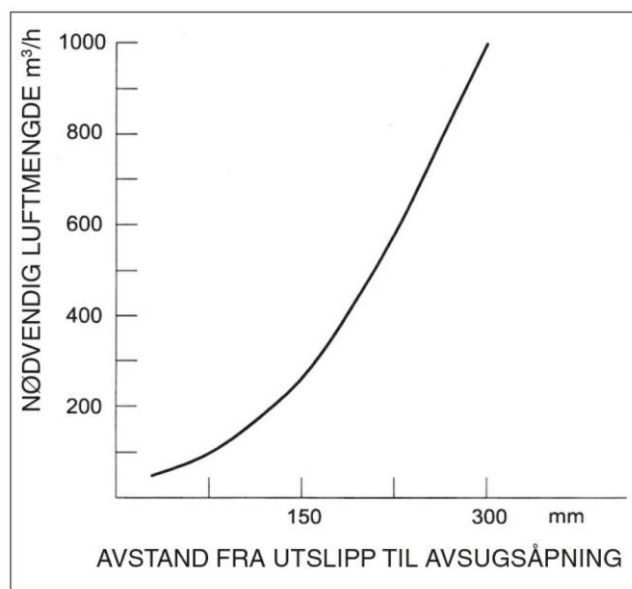
Arbeidstilsynet har utgitt flere veiledninger som beskriver krav til bruk av beskyttelsesventilasjon for bestemt arbeidsoperasjoner. En av de viktigste veiledningene i denne forbindelse er Arbeidstilsynets best.nr. AT-0361” Administrative normer for forurensninger i arbeidsatmosfære”. Her angis normalt høyeste akseptable gjennomsnittskonsentrasjon av en luftforurensning over en 8-timers periode.

Normene er satt ut fra teknisk, økonomisk og medisinske vurderinger. Selv om normene overholdes er man derfor ikke sikret at helsemessige skader og ubehag ikke kan oppstå. I veiledning AT 0444” Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen” slås det fast at forurensningen så langt som mulig må fjernes ved kilden. Dersom dette ikke er mulig, skal det gis et tillegg til allmennventilasjon som skal dimensjoneres iht. spesifiserte krav til forurensningskonsentrasjonen (Åkedalen, 2000)

2.1.2 Avtrekksinstallasjoners effekt og begrensninger

Beskyttelsesventilasjonens hovedprinsipp er å angripe forurensningen ved kilden. Det beste resultatet oppnås der mest mulig av forurensningsprosessen kan kapsles helt inn. Avtrekksbehovet (luftmengden) blir da tilsvarende redusert.

Der prosessen ikke kan bygges helt inn pga. arbeidsmetoder og funksjon, må det da etableres avtrekksinstallasjoner som er mest mulig effektive. Avsug har dårlig dybdevirkning og riktig utforming i forhold til utslippsstedet er avgjørende for å oppnå et godt resultat. Effekten av avsug bestemmes av sugeåpningens utforming og innløpshastighet. Gripehastigheten ca. 1 diameter fra innløpsåpningen er redusert til ca. 10% av innløpshastigheten. Dette betyr at effektiviteten på et avsug reduseres dramatisk dersom avstanden til kilden øker.



Figur 2 viser sammenhengen mellom avstand fra utslippssted og nødvendig luftmengde (Åkedalen, 2000)

Figur 2 viser sammenhengen mellom avstand fra utslippssted og nødvendig luftmengde for å oppnå samme effekt.

2.1.3 Avtrekksinstallasjoner

For forurensninger med store helserisiko vil det kreve bedre utstyr som gir større beskyttelsesgrad enn forurensninger som bare gir ubehag. De mest benyttede/aktuelle avtrekksinstallasjoner er:

- Punktavsug
- Avtrekkshette
- Ventilert skap
- Avtrekkskap
- Avtrekksbenk
- Nedtrekksbenk
- Sikkerhetsbenker

Punktavsug

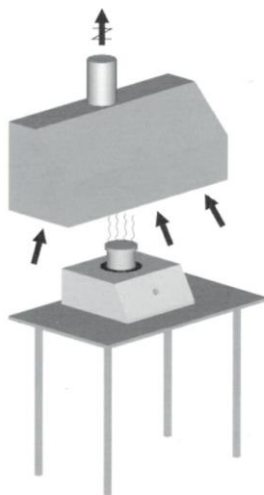
Denne type avtrekksinstallasjon benyttes på punktkilder med begrenset utstrekning og mindre utslipp av emisjoner. Avsugets føres ut via en kanalåpning, munnstykke eller kåpe. Punktavsug har dårlig dybdevirkning slik riktig utforming i forholdet til utslippsstedet er avgjørende for å oppnå et godt resultat. Avtrekksinstallasjonen er ikke primært beregnet for kontinuerlig avsug. Den er fleksibel løsning som er justerbar innenfor et gitt område. Effekten i punktavsug begrenses av avsugets diameter og installasjonsbevegelighet og rekkevidde. Gripehastigheten, ca. en diameter fra innløpsåpningen er redusert til 10% av innløpshastigheten. Dette betyr at effektiviteten på et avsug reduseres dramatisk dersom avstanden til kilden øker (Åkedalen, 2000). Se figur 3 for punktavtrekk.



Figur 3 viser punktavtrekk (Åkedalen, 2000)

Avtrekkshette

Denne type avtrekksinstallasjon er ofte fast fiksert avtrekksinstallasjon som plasseres over utstyr som har behov for avtrekk. Avtrekkshette gir både god personbeskyttelse og har god innfangningsevne ved riktig geometrisk utforming og riktig luftmengde. Den er best egnet ved luftbårne forurensninger kombinert med varmeutvikling. Avtrekkshette har ofte store dimensjoner med tilhørende store luftmengder ved for stor avstand mellom utslippskilden og avtrekkshette. Det er svært liten gripehastighet i avtrekkshette. Avtrekkshette er følsom over eksterne påvirkninger (personbevegelser, lufttilførsel etc) og benyttes mest i forbindelse med avtrekk fra åpne væskeflater (Åkedalen, 2000). Se figur 4 for avtrekkshetta.



Figur 4 viser avtrekkshetta (Åkedalen, 2000)

Ventilert skap

Ventilert skap er skap med integrert avtrekkskanal/avtrekksåpninger som fordeler jevnt avtrekk over hele høyden. Denne type avtrekksinstallasjon benyttes ofte for lagring av kjemikalier (Åkedalen, 2000).

Avtrekksskap

I avtrekksskap foregår arbeidet inne i et innbygget volum (skap) og fronten har en bevegelig frontluke. Avtrekksinstallasjonen gir beskyttelse mot eksponering fra utslipp inne i skapet og kan oppnås ved en stabil og konstant luftstrøm (lufthastighet) forbi operatøren gjennom frontlukeåpningen.

Avtrekkssystemet krever aerodynamisk utforming og kontrollerte lufthastigheter. Den benyttes til kjemikalier og gasser som er lettere enn luft, samt for varmeutviklende prosesser (Åkedalen, 2000).

Avtrekkbenk

Avtrekkbenk er arbeidsbenk med avsug gjennom en perforert benkeplate. Avtrekksluftmengden styres direkte ned på arbeidsbenken.

I motsetning til avtrekksskapet går bare en liten del av luftmengden forbi operatøren. Dette medfører mindre risiko for undertrykkssone mellom operatør og avtrekkssystem, med tilhørende risiko for utslipp av forurenset luft.

Avtrekkbenk gir meget god personbeskyttelse ved isoterme og svake overtempererte arbeidsoperasjoner og krever mindre luftmengde (Åkedalen, 2000). Se figur 5 for avtrekkbenk.



Figur 5 viser avtrekkbenk (Åkedalen, 2000)

Nedtrekksbenk

Nedtrekksbenk er benk med avsug gjennom en spalte eller perforert benkeplate og nedadrettet avtrekk inn via spalte eller perforeringer i plate. Se figur 6 under for nedtrekksbenk.



Figur 6 viser nedtrekksbenk (Erichsen & Horgen, 2018)

Sikkerhetsbenk

Sikkerhetsbenker deles i 3 ulike klasser:

- Klasse I- benk
- Klasse II- benk
- Klasse III- benk

Klasse I- benk

Er en prinsipielt oppbygd som et konvensjonelt avtrekksskap med HEPA-filter (høyeffektivt filter) på avtrekkssiden. HEPA-filteret på avtrekksluften benyttes for å filtrere stoffer som ikke kan slippes ut i et eventuelt generelt ventilasjonsanlegg, eller som ikke kan slippes til atmosfæren.

Klasse II- benk

Er sikkerhetsbenk med delvis resirkulering av luft internt. Laminært luftstrømme i kabinettet gjennom HEPA-filter, samt HEPA-filter på avtrekksluften. Benken benyttes primært ved preparat/produktbeskyttelse og gir personbeskyttelse ved luftstrøm inn gjennom skapet via frontluken.

Klasse III- benk

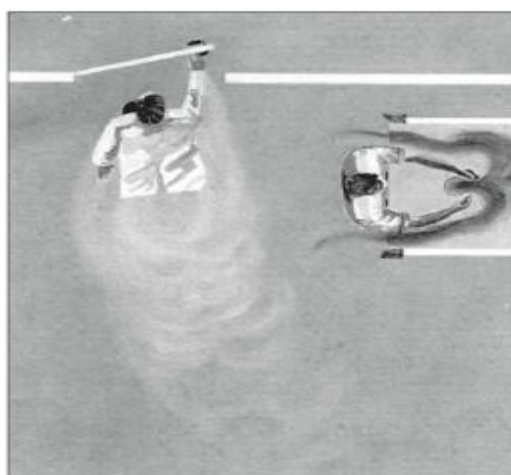
Sikkerhetsbenken er tett avtrekksenhet hvor både ut- og inn luft HEPA-filtreres. Den benyttes høyeste grad til preparat- og personbeskyttelse og til arbeid med svært smittefarlige/giftige stoffer (Åkedalen, 2000).

Faktorer som påvirker avtrekksinstallasjonens effektivitet

I tillegg til avtrekksinstallasjonenes konstruksjon og geometri, er det en rekke tilleggsfaktorer som har vesentlig betydning for effektiviteten av et avtrekk:

Plassering i rommet: Eksterne påvirkninger på strømningsforholdene av luften i rommet bør unngås i nærheten av avtrekksinnstallasjonen. Arbeidsprosesser som krever beskyttelsesventilasjon bør planlegges og plasseres i lokalet slik at strømningsforholdene er mest mulig stabile. Plassering inn mot gangsoner, dører og vinduer bør unngås.

Figur 7 under viser en forbi passering av et avtrekkskap som påvirker strømningsforholdene i og ved skapet.



Figur 7 viser forbi passering av et avtrekkskap (Åkedalen, 2000)

Tilluftsarrangement: Tilluftsventiler bør ikke plasseres slik de påvirker avtrekksinstallasjonene.

Brukeren: Det er viktig at det ikke plasseres for mye utstyr på arbeidsplassen som påvirker og reduserer effektiviteten på avtrekksinstallasjonen. En god regel er derfor at man kun har det man trenger for denne aktuelle arbeidsoperasjonen i skapet.

2.2 Formaldehyd

Formaldehyd er en fargeløs gass med stikkende lukt. Den er enklest oppbygde aldehyd og har en kjemisk formel CH_2O . Gassen er giftig og kan fremkalle lett allergier. Formaldehyd brukes som et meget virksomt desinfeksjons- og konserveringsmiddel dels i form av ca. 40% løsning (formalin) og dels i form av paraformaldehyd, som overføres i gassform ved bruken.

Ved eksponering av formaldehyd i luft reagerer de fleste mennesker med irritasjon av øyeslimhinner og slimhinnene i de øvre luftveier. Irritasjonseffekten øker med økende luftkonsentrasjon. Enkelte mennesker som allerede er formaldehyd-allergikere, får allergiske reaksjoner og eventuelt astma allerede ved meget lave luftkonsentrasjoner eller ved hudkontakt. Det kan heller ikke utelukkes at formaldehyd øker risikoen for kreft i nesebihulene (Spillum, 2009). Se vedlegg 2 for formaldehyd sikkerhetsdatablad.

Formaldehyd har høyere molekylvekt og er tyngre enn lufta. Formaldehyd har en molekylvekt på 30.0265 kg/kmol og luft har en molekylvekt på 28.9664 kg/kmol.

I "forskrift om tiltaksverdier og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet" er det satt grenseverdier for formaldehyd konsentrasjonen i arbeidsatmosfæren på 0.5 ppm og 0.6 mg/m³.

I forskriften er det angitt at formaldehyd er av gruppe A og K kjemikalier. Gruppe A kjemikalier betraktes som at de fremkaller allergi eller annen overfølsomhet i øynene eller luftveier, eller som betraktes som at de fremkaller allergi ved hudkontakt. Gruppe K kjemikalier betraktes som kreftfremkommende.

2.3 Fysiske prinsipper

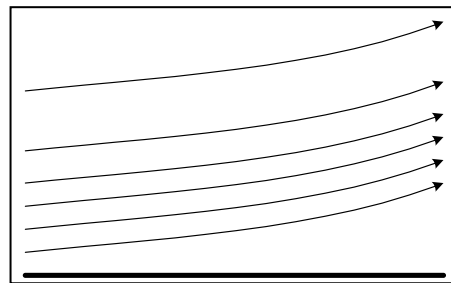
2.3.1 Strømning

Viskositet

Viskositet er et mål for hvor tyktflytende eller tyntflytende en fluid er. Det er et fluids indre friksjon eller seighet. Det er også friksjon mellom to lag i en fluidstrøm. Viskøse kreftene har mest å si i nærheten av faste overflater, og at effekten av viskøse kreftene stiger med overflatens friksjon. (Cengel & Cimbala, Fluid Mechanics, 3rd edition, 2014).

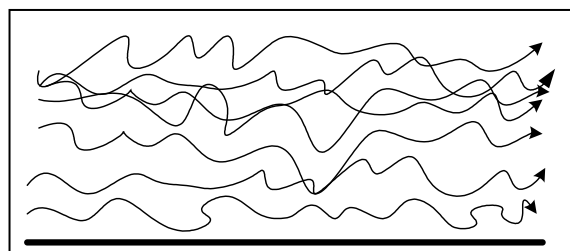
Laminær og turbulent strømning

Laminær strømning kjennetegnes av at strømningen har jevn og glatte partikkelbaner, som om den var delt inn lagvis. Se figur 8 for laminær strømning.



Figur 8 viser laminær strømning (Laminær og turbulent strømning, 2003)

Turbulens er betegnelsen på uordnet bevegelser i gasser og væsker. I en turbulent strømning er fluidpartiklenes baner tilfeldige og uforutsigbare, de er ikke jevne og glatte som ved laminær strømning (Laminær og turbulent strømning, 2003). Se figur 9 for turbulent strømning.



Figur 9 viser turbulent strømning (Laminær og turbulent strømning, 2003)

Om strømmingen er laminær eller turbulent har hovedsakelig sammenheng med hastigheten til strømmingen, viskositet til fluidet og friksjonen mellom overflaten den strømmer over.

Jo raskere hastighet i strømmingen, og jo lavere viskositet og friksjon, jo større sannsynlighet for at strømmingen er turbulent. Om strømmingen er laminær eller turbulent kan bestemmes ut fra Reynolds tallet. Høye Reynoldstall gir turbulent strømming (Cengel & Cimbala, Classification of fluid flows, 2014).

Kompressibel strømming

Klassifisering av strømmingen er avhengig av hvor mye tettheten til fluidet varierer i forholdet til strømmingen. Ingen strømming er helt inkompressible, men en kan anta inkompressibel strømming om variasjonen i tettheten er neglisjerbar. Dette kan for eksempel gjelde for væsker. Gasser derimot vil ofte være meget kompressible, siden tettheten varierer relativt mye med trykk og temperatur (Cengel & Cimbala, Classification of fluid flows, 2014).

Naturlig og tvungen strømming

Naturlig strømming oppstår når fluidbevegelsen kommer av naturlige årsaker. Det kan for eksempel være på grunn av tetthetsforskjeller i et fluid, som kan oppstå ved temperaturforskjeller i fluidet. Tvungen strømming er strømming skapt av for eksempel en vifte eller pumpe som "tvinger" fluidet til å strømme i en retning (Cengel & Cimbala, Classification of fluid flows, 2014).

2.3.2 Varmetransport

Konduksjon

Konduktiv varmetransport er overføring av bevegelsesenergi mellom molekyler. Varmeledningsevnen til et material beskrives som termisk konduktivitet k med enheten [W/mK]. Dette kan beskrives ved Fouriers lov i likning 2.1:

$$Q_{kond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad [W] \quad (2.1)$$

Varmefluksen sier hvor mye varme Q som strømmer gjennom en flate A per tidsenhet.

For stasjonære forhold med konstant temperatur beregnes varmetransporten ved hjelp av likning (2.1). For transiente forhold der temperaturen varierer over tid kan enten Lumped system analysis eller numerisk beregning benyttes (Cengel & Ghajar, Conduction, 2015)

Lumped system analysis er en forenklet metode for å regne transient for materialer med høy konduktivitet. Temperaturen i legemet ved en gitt tid kan utledes fra likning (2.2) og kan benyttes dersom Biot-tallet i likning (2.4) nærmer seg null. Da antas det at det er en uniform temperaturfordeling i legemet (Cengel & Ghajar, 2015)

$$\frac{T(t)-T_{\infty}}{T_i-T_{\infty}} = e^{-bt} \quad (2.2)$$

$$b = \frac{hA_s}{\rho V c_p} \quad [s^{-1}] \quad (2.3)$$

$$Bi = \frac{hL_c}{k} \quad (2.4)$$

Konveksjon

Konvektiv varmetransport er overføring av varmeenergi ved massetransport av enten en væske eller en gass, og kan skje på to måter: naturlig konveksjon, tvungen konveksjon eller en kombinasjon av begge. Varmeoverføring beskrives ved Newtons kjølelov som vises i likning (2.5). Det konvektive varmeovergangstallet, h , beskriver overflategeometrien til legemet, fluidets bevegelser, hastighet og egenskaper og har enheten $[W/m^2K]$ (Cengel & Ghajar, Convection, 2015)

$$Q_{konv} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad [W] \quad (2.5)$$

2.3.3 Energibalanse

Termodynamikkens første lov, også kjent som prinsippet om energibevaring, forteller at” [...] *energy can neither be created or destroyed during a process; it can only change forms.*” (Cengel & Ghajar, The first law of thermodynamics, 2015).

Dette kan formuleres matematisk i likning (2.6):

$$\dot{E}_{system,inn} - \dot{E}_{system,ut} = \frac{\partial E}{\partial t} \quad [W] \quad (2.6)$$

Likningen (2.6) kan for varmeoverføring omformuleres til likning (2.7), der endringen i systemets energi tilsvarer energitilførsel inn i systemet minus energitap ut fra systemet og eventuell generert varme:

$$Q_{inne} - Q_{ut} + E_{generert} = \Delta E_{system} \quad [J] \quad (2.7)$$

2.3.4 Ideell gasslov

En gass kan anses som ideell dersom partiklene er identiske og ikke har interaksjon med andre partikler. En ideell gass finnes ikke i virkeligheten. Det er likevel flere gasser som oppfører seg tilnærmet ideelt, eksempelvis luft. Ideell gasslov kan uttrykkes i likning (2.8) (Lysebo, 2016).

$$PV = nRT \quad [1] \quad (2.8)$$

2.3.5 Fluiddynamikk

Fluidets bevegelse har stor påvirkning på masse- og varmetransporten. Dette kan beskrives ved hjelp av lov om massebevaring, Bernoullis lov og energibalanse.

Bernoullis lov beskriver sammenhengen mellom kinetisk og potensiell energi og strømningsenergi, se likning (2.9).

$$\frac{dP}{\rho} + \frac{1}{2}d(V^2) + gz = 0 \quad (2.9)$$

Strømningens karakteristikk beskrives av Reynolds tallet. For strømninger over en flat plate karakteriseres den som turbulent dersom $Re \geq 5 * 10^5$.

Turbulens påvirker strømnings- og temperaturfeltet ved at energimengde overføres mellom fluidpartiklene og øker friksjonskraften. Det påvirker den dynamiske viskositeten og konduktiviteten til fluidet.

Kontinuitetslikningen

Kontinuitetslikningen bygger på Newtons bevegelseslover og loven om konservering av masse. Kontinuitetslikningen uttrykkes ved likning (2.10).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \rho \vec{V} = 0 \quad (2.10)$$

Der deloperatoren $\vec{\nabla}$ uttrykker at det gjelder tre dimensjoner og kan skrives:

$$\vec{\nabla} = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$$

Den partielleriverte $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ sier hvor mye tettheten forandrer seg med tiden i et gitt punkt, mens gradienten $\vec{\nabla} \rho$ sier hvordan tettheten forandrer seg i rommet ved et gitt tidspunkt.

Bevegelseslikningen

Bevegelseslikningen beskriver hastighetskomponentene i x, y og z retning, hvor de viskøse spenningene blir oppgitt ved $\tilde{\tau}$. Bevegelseslikningen blir også omtalt som momentumlikningen. Det kan uttrykkes i x-, y- og z-retning, se likning (2.11a)-(2.11c).

$$\rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \left(\frac{\partial \tilde{\tau}_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{\tau}_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{\tau}_{zx}}{\partial z} \right) + \rho g_x \quad (2.11a)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \left(\frac{\partial \tilde{\tau}_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{\tau}_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{\tau}_{zy}}{\partial z} \right) + \rho g_y \quad (2.11b)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \left(\frac{\partial \tilde{\tau}_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{\tau}_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{\tau}_{zz}}{\partial z} \right) + \rho g_z \quad (2.11c)$$

Navier-Stokes likningen

Navier-Stokes-likningene baseres på Newtons andre lov, også kalt impulsloven, som beskriver sammenhengen mellom endring i en partikkels bevegelsesmengde og resultantkraften. Likningen benyttes på hvert fluidvolum i tre dimensjoner. Den består av fire ledd, der de to første leddene beskriver akselerasjonen mens de to siste beskriver kreftene som virker på elementet. Akselerasjonen utledes fra kontinuitetsprinsippet og Bernoullis lov som beskriver at når fluidstrømningsraten øker minker trykket, mens kreftene som virker på fludelementet er trykkrefter som virker mot overflaten, skjærspenninger og normalspenninger (Olsen, 2016).

Likning (2.12) viser Navier-stokes på vektorform. Denne likningen gjelder for inkompressibel strømning og konstant viskositet.

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\vec{\nabla}P + \rho \vec{g} + \mu \nabla^2 \vec{V} \quad (2.12)$$

Transport likningen

Ved beregning av fluiddynamiske problemer er kontinuitetslikningen, Navier-Stokes likningen og energilikningen viktige differensiallikninger i forbindelse med den matematiske beskrivelse av problemet. Disse likningene gjelder i alle punkter i strømningsfeltet og kan gis en felles form, kalt den generelle transportlikningen (Rian, 2003), se likning (2.14).

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \phi) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho \vec{u} \phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v \phi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho \omega \phi) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma_x \frac{\partial \phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma_y \frac{\partial \phi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\Gamma_z \frac{\partial \phi}{\partial z}\right) + S_\phi \quad (2.14)$$

Likning (2.14) er en generell, partiell differensiallikning som beskriver transport av masse, bevegelsesmengde og energi for et tre dimensjonalt, transiente og fluiddynamiske problemer.

Venstre siden av likningen representerer det transiente leddet som tar for seg endring av en generell transportstørrelse, ϕ , i fluidet med hensyn på tid og den tredimensjonale konvektive leddet. Høyere siden av likningen representerer diffusjonsleddet. Kildeleddet S_ϕ benyttes for å beskrive effekter som ikke blir ivare tatt av de øvrige leddene. Det kan være for eksempel indre varmegenerering, trykk- og massekrefter. Et felles likningsoppsett gjør at en og samme likningsløser kan brukes for alle transportlikningene i et numerisk simuleringsprogram (Rian, 2003).

2.4 Massetransport

Massetransport skjer ved diffusjon som tilsvarende konduksjon og konveksjon som også kalt adveksjon. Det er mange likheter mellom varme og massetransport. Varme overføres ved konduksjon, konveksjon og stråling. Det som driver varmetransport er temperaturdifferansen, mens det som driver massetransporten er konsentrasjonsforskjeller. Det kreves to regioner med ulike kjemiske sammensetninger for at massetransport skal skje. Massetransport kan ses på som kjemiske molekyler som beveger seg fra et sted med høy konsentrasjon, til et sted med lavere konsentrasjon.

2.4.1 Diffusjon

Massetransport ved diffusjon oppstår i stasjonære medium hvor den eneste fluidbevegelsen skyldes molekylbevegelse fra høyre til lavere konsentrasjon. Et eksempel på diffusjon kan være diffusjonsprosess av to forskjellige adskilte gasser av ulike konsentrasjon som ikke er utsatt for ytre strømninger. Om skillet mellom gassene fjernes vil gassene bevege seg mot hverandre til en likevekt er oppnådd og konsentrasjonen av de to stoffene er jevnt fordelt. Når likevekt oppstår vil diffusjonen avta.

2.4.2 Ficks første lov

Ficks første lov gir et mål på diffusjonsfluksen fra et område med høy konsentrasjon av et molekylært stoff til et område med lav konsentrasjon av stoffet. Fluks er mengden av stoff som passerer per areal- og tidsenhet, og er proporsjonal med den negative verdien til konsentrasjonsgradienten. Det skjer en netto diffusjon til området med lavest konsentrasjon. Måleenheten for fluks (J) vinkelrett på transportlikningen kan for eksempel være mikromol per areal- og tidsenhet ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (UiO, Instituss for biovitenskap, 2011). Flukslikningen i endimensjonal form er:

$$J = -D \frac{\partial c}{\partial x} \quad (2.15)$$

D: Diffusjonskoeffisienten, en proporsjonalitetskonstant med målenhet lengde²/tid [m^2/s]

c: Konsentrasjonen [$\mu\text{mol m}^{-3}$]

x: Posisjon [m]

Diffusjonskoeffisienten avhenger av temperatur, viskositeten til mediet hvor diffusjonen skjer, matriks som diffusjonen skjer gjennom, samt størrelsen og ladningen til molekylet.

Konsentrasjonen kan variere med både tid og sted. Derfor bruker vi de partiellderiverte likningen. Hvis vi har diffusjon i rommet med tre dimensjoner må vi bruke gradientoperatoren.

$$J = -D \nabla c \quad (2.16)$$

med gradientoperatur i xyz-rommet

$$\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right) \quad (2.17)$$

Fick's lov som benyttes til å beregne diffusiv transport av stoff A i en binær blanding med stoff B er vist i formel (2.18).

$$\dot{m}_{diff} = -D_{AB}A \frac{dc_A}{dx} \quad (2.18)$$

D_{AB} : Diffusjonskoeffisienten for stoff A i stoff B [m^2/s]

C_A : Konsentrasjonen av stoffene i blandingen ved gjeldende punkt

A: Areal av overflaten massen går gjennom

$\frac{dc_A}{dx}$: Konsentrasjonsgradienten

x: Tykkelsen konsentrasjonen skal gjennom

Konsentrasjonen til stoffene i et massetransportproblem kan uttrykkes på flere måter. Konsentrasjonene kan bli uttrykket ved både tetthet, massefraksjon, molarkonsentrasjon og mol fraksjon. Dette betyr at Fick's lov kan uttrykkes på flere måter. Den vanligste måten å uttrykke konsentrasjonsgradienten er på grunnlag av masse- eller molfraksjon (Cengel & Ghajar, Fick's Law of diffusion: Stationary Medium Consisting of Two Species, 2015). Se formel (2.19) som viser Fick's lov på grunnlag av massefraksjonen og formel (2.20) som viser Fick's lov på grunnlag av molfraksjonen nedenfor.

$$\dot{m}_{diff} = -\rho D_{AB}A \frac{d(\frac{\rho_A}{\rho})}{dx} \quad (2.19)$$

$\frac{\rho_A}{\rho}$ er massefraksjonen ($m_{i,A}$)

$$\dot{N}_{diff,A} = -CD_{AB}A \frac{d(\frac{C_A}{c})}{dx} \quad (2.20)$$

$\frac{C_A}{c}$ er molfraksjonen

I beregningsprogrammet STAR CCM⁺ løses massetransportlikningen med hensyn på massefraksjonen. Massebalansen eller kontinuitetslikningen for en komponent i for endimensjonalt problem beskrives ved hjelp av formel (2.21).

$$\delta m_{i,inn} - \delta m_{i,ut} + \delta m_{i,produsert} = dm_i \quad (2.21)$$

$$m_i = f(x, y, z, t)$$

$\delta m_{i,inn}$ = Massen av i inn i et fluidelement

$\delta m_{i,ut}$ = Massen av i ut av et fluidelement

$\delta m_{i,produsert}$ = Massen av i produsert i et fluidelement

For massefraksjonen av en komponent i kan formel (2.21) skrives som formell (2.22).

$$\sum \dot{m}_{i,inn} = \sum \dot{m}_{i,ut} + \dot{m}_{i,produisert} = \frac{\partial m_i}{\partial t} \quad [\text{kg/s}] \quad (2.22)$$

$\dot{m}_{i,inn}$ = Massefraksjon av stoff i , inn i et fluidelement.

$\dot{m}_{i,ut}$ = Massefraksjon av stoff i , ut av et fluidelement.

$\dot{m}_{i,produisert}$ = Kjemisk reaksjon av stoff i , produsert i et fluidelement.

$\frac{\partial m_i}{\partial t}$ = Endring av stoff i , over tid.

For endimensjonalt problem vil formelen (2.22) være lik formelen (2.23). Se også figur 10.

$$\begin{aligned} \dot{m}_{i,x} - \dot{m}_{i,x+dx} + \dot{m}_i^{prod} dx &= \frac{\partial m_i}{\partial t} \\ \dot{m}_{i,x} - \left(\dot{m}_{i,x} + \frac{\partial(\rho_i u_i)}{\partial x} dx \right) + \dot{m}_i^{prod} dx &= \frac{\partial \rho_i}{\partial t} dx \\ - \frac{\partial(\rho_i u_i)}{\partial x} + \dot{m}_i^{prod} &= \frac{\partial \rho_i}{\partial t} \end{aligned} \quad (2.23)$$

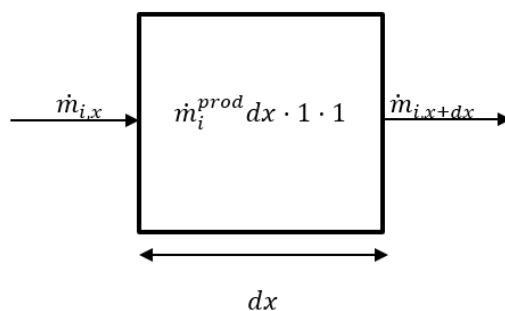
ρ_i = Tetthet til komponenten i .

u_i = Hastigheten til komponenten i .

\dot{m}_i^{prod} = Volumetrisk produksjonsrate for komponent i . Skyldes kjemisk reaksjon, positiv eller negativt.

Reaktant: Forbrukes ($\dot{m}_i^{prod} < 0$)

Produkt: Dannes ($\dot{m}_i^{prod} > 0$)



Figur 10 viser massetransport for endimensjonalt problem

For tredimensjonalt problem kan formelen (2.23) skrives som formel (2.24). Her sløyfes også \dot{m}_i^{prod} , siden det er ingen netto masse som dannes her.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_i) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_i u_i) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho_i v_i) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho_i \omega_i) = 0 \quad (2.24)$$

u_i , v_i og ω_i er hastighetskomponenter for bevegelsen i retningene x, y og z for komponent i .

Summen av alle komponenter blir som i formell (2.25).

$$\frac{\partial}{\partial t}\sum(\rho_i) + \frac{\partial}{\partial x}\sum(\rho_i u_i) + \frac{\partial}{\partial y}\sum(\rho_i v_i) + \frac{\partial}{\partial z}\sum(\rho_i \omega_i) = 0 \quad (2.25)$$

For blandings hastighet kan formuleres ved massemidlet hastigheten, se formel (2.26).

$$u = \frac{1}{\rho}\sum \rho_i u_i \quad v = \frac{1}{\rho}\sum \rho_i v_i \quad \omega = \frac{1}{\rho}\sum \rho_i \omega_i \quad (2.26)$$

Kontinuitetslikningen for blandingen uttrykkes ved formel (2.27).

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho \omega) = 0 \quad (2.27)$$

Diffusjonshastighet er gjennomsnittshastighet for en gruppe molekyler ved en lokasjon, som beveger seg på grunn av konsentrasjonsforskjeller og kan defineres ved formell (2.28).

$$u_{i,diff} = u_i - u \quad [\text{m/s}] \quad (2.28)$$

u_i = Gjennomsnittshastigheten til stoff i

u = Blandingens massemidlede hastighet

Massefluksen som følge av diffusjon uttrykkes ved formel (2.29)

$$\begin{aligned} j_{x,i} &= \rho_i(u_i - u) \\ j_{y,i} &= \rho_i(v_i - v) \\ j_{z,i} &= \rho_i(\omega_i - \omega) \end{aligned} \quad (2.29)$$

I formel (2.24) representerer u_i , v_i og ω_i et problem. I praksis er det lettere å beregne bare bulkehastigheten u, v og ω . Formel (2.24) blir da til formel (2.30).

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_i) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_i u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho_i v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho_i \omega) = \frac{\partial}{\partial x}(j_{x,i}) + \frac{\partial}{\partial y}(j_{y,i}) + \frac{\partial}{\partial z}(j_{z,i}) \quad (2.30)$$

I formel (2.30) er leddene til venstre advektive fordi $(\rho_i u)$, $(\rho_i v)$ og $(\rho_i \omega)$ tilsvarer advektiv fluks. Mens leddene til høyre siden som inneholder j_i tilsvarer diffusiv fluks.

Fick's lov på grunnlag av massefraksjon kan skrives som to alternativer som er vist i formel (2.31).

$$\begin{aligned} j_{x,i} &= \rho_i(u_i - u) = -\rho D_{ij} \frac{\partial m_{f,i}}{\partial x} \\ j_{y,i} &= \rho_i(v_i - v) = -\rho D_{ij} \frac{\partial m_{f,i}}{\partial y} \\ j_{z,i} &= \rho_i(\omega_i - \omega) = -\rho D_{ij} \frac{\partial m_{f,i}}{\partial z} \end{aligned} \quad (2.31)$$

Ettersom $\frac{\rho_i}{\rho}$ er massefraksjonen ($m_{f,i}$) kan vi skrive $\rho_i = \rho \cdot m_{f,i}$.

Massetransportlikningen i formel (2.32) fremkommer da av formel (2.30) og (2.31).

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot m_{f,i}) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u \cdot m_{f,i}) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v \cdot m_{f,i}) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho \omega \cdot m_{f,i}) = \\ \frac{\partial}{\partial x}(\rho D_{ij} \frac{\partial m_{f,i}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho D_{ij} \frac{\partial m_{f,i}}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho D_{ij} \frac{\partial m_{f,i}}{\partial z}) \end{aligned} \quad (2.32)$$

Massetransportlikningen som er vist i formel (2.32) er veldig lik generelle transportlikningen som er vist i formel (2.14).

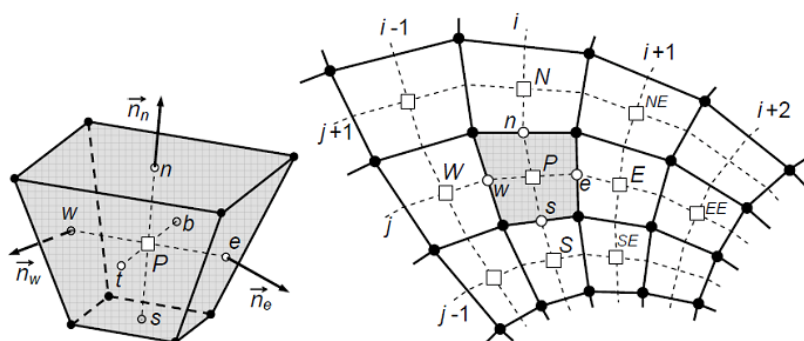
2.5 Numeriske beregningsmetode

Numeriske beregningsmetoder baseres på en serie iterasjoner av et sett med algebraiske likninger som utledes fra differensiallikninger. Det gir nøyaktige løsninger for kompliserte geometrier og grensebetingelser (Cengel & Ghajar, Numerical Methods, 2015).

2.5.1 Finite volume method

Finite Volume Method (FVM) er mye brukt i numeriske strømningsberegninger og blir benyttet i STAR-CCM⁺. Denne metoden diskretiserer partielle differensial likninger, slik at man ender opp med et sett algebraiske likninger. Ved å bruke *Finite Volume Method* deler man opp geometrien i et fast antall kontrollvolumer. Deretter anvendes likningene på hvert av disse kontrollvolumene (Festø, Årdal, & Grønberg, 2013).

I figur 11 vises hvordan et kontrollvolum kan se ut og et nettverk av noder. Denne metoden kan anvendes på alle typer likninger.



Figur 11 illustrerer hvordan Finite volume method kan se ut som (Developers Club geek daily blog, 2014)

2.6 CFD-beregning

Computational Fluid Dynamics (CFD) er en fellesbetegnelse for kraftige beregnings- og analyseverktøy for simulering av gass- og væsketransport (fluider). CFD gjør det mulig å studere 3D løsninger slik at design og prosjektering kan verifiseres og optimaliseres (Rian, 2003).

Gode CFD-programmer skal kunne simulere situasjoner som ofte kan være meget komplekse, slik at simuleringene blir så realistiske som mulig for å gjenskape en virkelig situasjon. Et CFD-program benytter avansert matematiske modeller og likninger som løses numerisk. For å ta i bruk et slikt program kreves derfor datakyndig personell med kompetanse og forståelse av den numeriske fysikken som ligger til grunn for et slikt program.

Ettersom datamaskinene har de siste årene utviklet seg og blitt kraftigere og bedre, har simuleringprogrammet i takt med denne utviklingen blitt i stand til å prosessere vanskelige og mer komplekse problemer enn tidligere (Versteeg & Malalasekera, 1995)

2.7 STAR-CCM+

STAR-CCM⁺ er et CFD-modelleringsprogram som er produsert av CD-adapco. Programmet baserer sine beregninger på numeriske algoritmer. Man kan via CAD-verktøyet definere avanserte fysiske modeller. Det finnes også muligheter for å tilpasse oppdelingen av geometrien (CD-Adapco, 2018)

STAR-CCM⁺ benytter seg av *Finite volume method* og Navier-Stokes-likningene for å utføre beregningene numerisk.

For å gjøre simuleringer i STAR CCM⁺ er man avhengig av relativ stor datakraft for å få gjennomført beregningene. Jo flere parametere man ønsker å gjøre beregninger på desto større blir behovet for datakraft og prosessorytelse.

2.7.1 Stasjonær og transiente beregninger

I en stasjonær beregning varierer ikke den transporterte størrelsen (φ) med tiden. Stasjonære beregningen er derfor ofte mindre komplekse og enklere å beregne. Ved transiente beregninger vil den transporterte størrelsen (φ) variere med både tid og posisjon.

2.7.2 Beregningstid og nøyaktighet

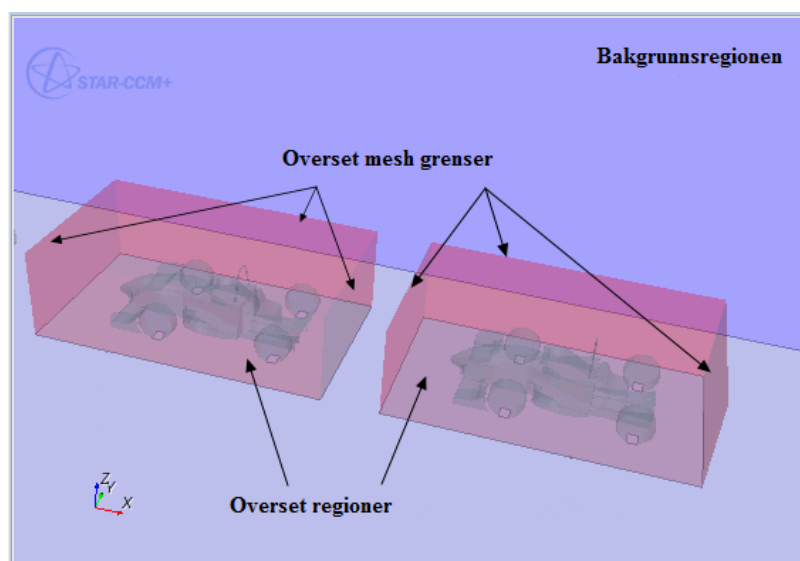
I beregningen vil det fremkomme en eller flere algebraiske likninger per kontrollvolum. Hvor mange likninger som fremkommer per kontrollvolum er avhengig av hvor mange forskjellige variabler i form av transporterte størrelser (φ) som er med i problemet. Dette vil si at jo flere transporterte variabler problemet består av, desto flere likninger fremkomme for hvert kontrollvolum. Desto flere kontrollvolumer geometrien er delt opp i, desto flere likninger må løses.

Kompleksiteten av en beregningsmodell vil gå utover beregningstiden og minne av datamaskinen. Beregningstiden og minnet som kreves av datamaskinen er avhengig av antall likninger som må løses. Antall likninger som skal løses er koblet direkte til kompleksiteten av problemet (Neumann, Simensen, & Madaiaas, 2016)

2.8 Introduksjon av Overset mesh

Overset mesh er en teknikk som lar beregningsprogrammet STAR CCM⁺ å simulere bevegelig objekter. Den brukes til å diskritisere et beregningsområde med flere forskjellige masker som overlapper hverandre på en vilkårlig måte. Teknikken er mest nyttig i problemer som omhandler flere bevegelige legemer.

I modeller der det blir brukt overset mesh, må man ha en bakgrunnsregion som dekker hele bevegelige legemer. Se figur 12 for overset og bakgrunnsregionen.



Figur 12 viser Overset og bakgrunnsregionen (CD-Adapco, 2018)

I overset mesh blir celler delt i

- Aktive celler
- Inaktive celler
- Akseptorceller

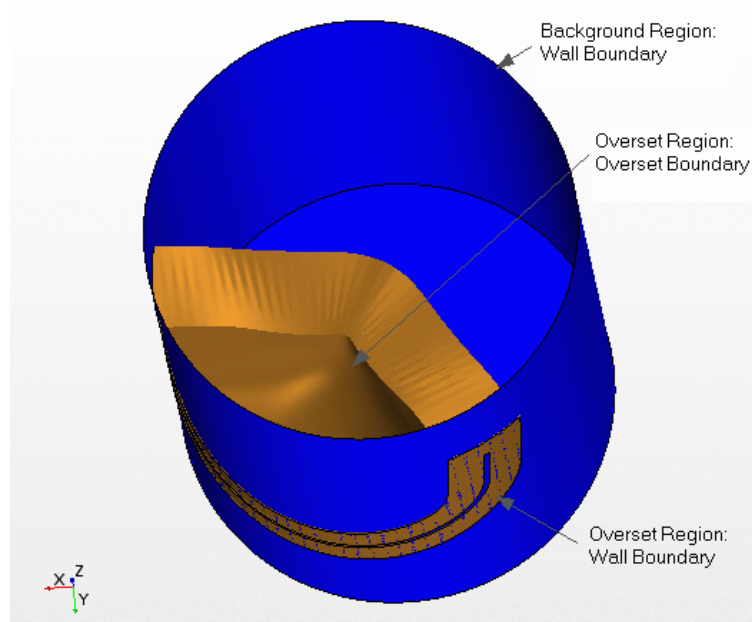
I aktive celler løses diskretiserte styringsligningen. Innenfor inaktive celler er det ingen likninger som blir løst, men disse cellene kan bli aktive hvis overgangsområdene beveger seg.

Akseptorceller separerer aktive og inaktive celler i bakgrunnsregionen og er festet til overset grensen i overset regionen, se figur 12 for overset og bakgrunnsregionen. Akseptorceller brukes til å koble løsninger på de to overlappende nettene.

2.8.1 Overset topologi

Overset topologi beskriver hvordan regionene for en oversett simulering er relatert til hverandre. Oversett topologi bestemmer hvilken region som er bakgrunnsregionen og hvilken region som er oversett regionen.

Denne informasjonen er avgjørende for "hole-cutting" prosessen. I mange situasjoner kan algoritmen registrere denne regionens relasjon automatisk. Figur 13 viser et eksempel av oversett topologien. Her er sylinderen bakgrunnsregionen (blå) hvor grensene i bakgrunnsregionen er vegg eller Wall grense. Oversett regionen (bronse) består av buet indre oversett grense og vegg grense som er festet med vegg grensen til bakgrunnsregionen.



Figur 13 viser eksempel av oversett topologien (CD-Adapco, 2018)

2.8.2 Overset mesh metoden

For å opprettholde tilkobling mellom bakgrunn og overset regionen, foregår det to trinns prosesser.

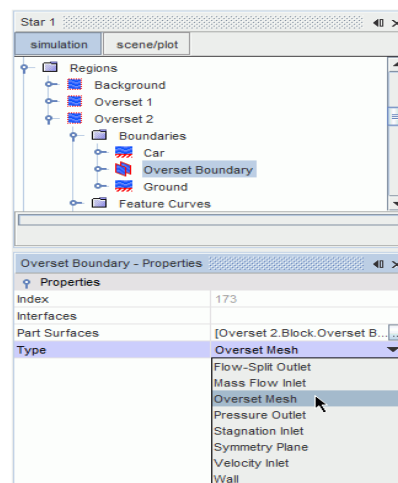
1. *Hole-cutting*, som bestemmer hvilke celler som er aktive, inaktive eller akseptorceller.
2. *Donor Search*, som sikrer at donorceller blir funnet for hver akseptorcelle.

Sette opp Overset mesh

Overset Mesh kan opprettes ved hjelp av "*Overset Mesh boundary*" som er den ytre grensen til overset regionen. Denne grensen skal være koblet med bakgrunnsregionen.

Slik setter man opp overset mesh grensen:

- Markerer den angitte overset mesh grensen under "*Boundaries*" noden i overset regionen.
- Under "*Properties window*" angir man *Type* til overset mesh, se figur 14 under for metoden.



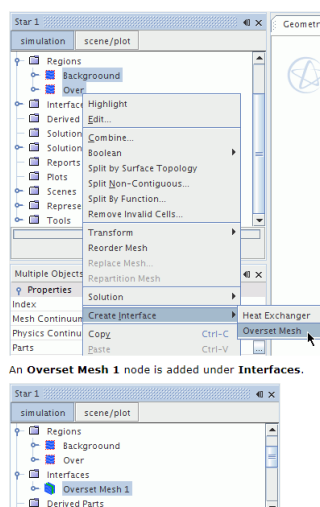
Figur 14 viser Overset Mesh grensen (CD-Adapco, 2018)

Kobling av grensene

Overset Mesh Interface brukes til å koble sammen overset regionen med bakgrunnsregionen. Hvis man vil definere overset regioner som overlapper hverandre, oppretter man *Overset Mesh Interface* mellom hvert overlappende overset regioner.

Slik oppretter man *Interface* (grensesnitt) mellom overset regionen og bakgrunnsregionen:

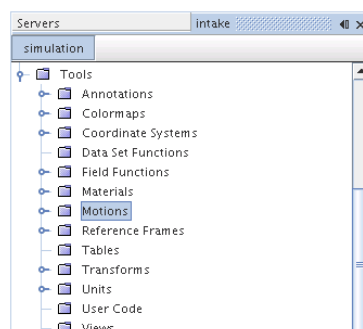
- Markerer bakgrunnsregionen og overset regionen, deretter høyre klikker man på de valgte regionene og velger *Create Interface > Overset Mesh* se figur 15 under for metoden.



Figur 15 viser kobling av regionene (CD-Adapco, 2018)

Motion (bevegelse)

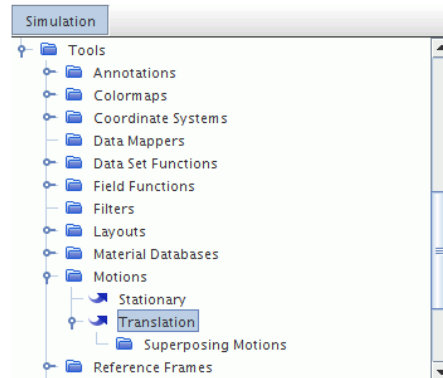
I STAR CCM⁺ kan *Motion* defineres ved hjelp av *Motion* noden. Disse nodene finnes under *Tools* noden, se figur 16.



Figur 16 viser Motion noden (CD-Adapco, 2018)

Translation motion

Translation motion brukes til å bevege mesh-hjørner av en region med en angitt hastighet og finnes under motion noden. Se figur 17 under.



Figur 17 viser Translation noden (CD-Adapco, 2018)

Morphing motion

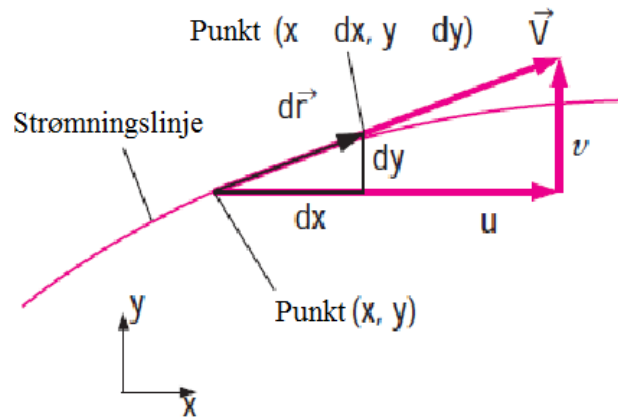
Morphing motion i STAR CCM⁺ omfordeler mesh hjørner som svar på bevegelse av kontrollpunkter. Den bruker kontrollpunkter og deres tilhørende forskyvninger for å generere et interpoleringsfelt i hele regionen som deretter kan brukes til å forskyve de faktiske hjørnene av grensen (CD-Adapco, 2018).

2.9 Streamline

Streamline er strømningslinje som er tangenten til lokal hastighets vektor. Den benyttes for å definere strømningsretningen i en fluidbevegelse (Cengel & Cimbala, Fundamentals og Flow Visualization, 2006)

For to-dimensjonal strømning i en xy -plan der lengden $d\vec{r} = (dx, dy)$ langs med en strømningslinje er overalt tangenten til lokal momentan hastighetsvektor lik formel (2.33), se også figur 18 under.

$$\vec{V} = (u, v) \quad [\text{m/s}] \quad (2.33)$$



Figur 18 viser strømningslinjen (Cengel & Cimbala, Fundamentals og Flow Visualization, 2006).

Likningen for strømningslinjen for to-dimensjonal kan skrives ved formel (2.34) under:

$$d\vec{r} \times \vec{V} = 0 \quad (2.34)$$

Likningen for strømningslinjen for tre-dimensjonal kan skrives ved formel (2.35) under:

$$\begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ dx & dy & dz \\ u & v & \omega \end{vmatrix} = 0 \quad (2.35)$$

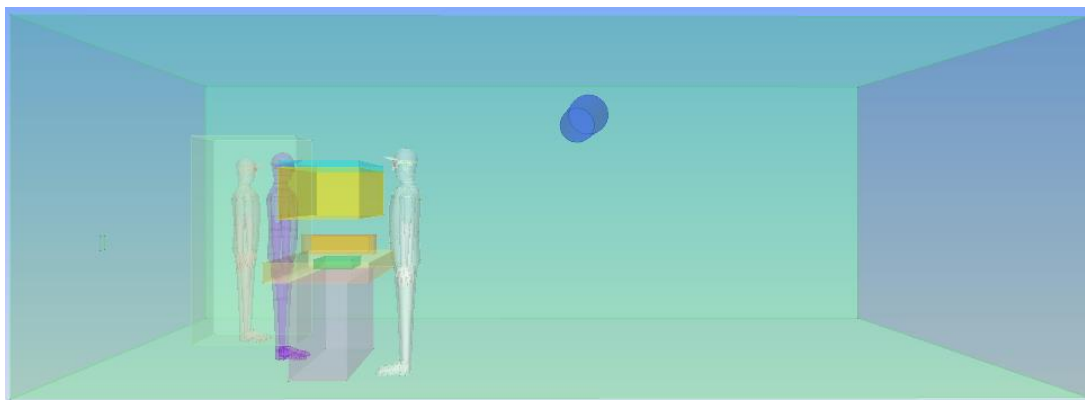
$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{\omega}$$

3 Metode

Når en skal modellere eller beregne en CFD-modell er det viktig å ha oversikt på situasjonen som skal simuleres. Det er viktig å vite hvilke fysiske egenskaper, type medium og geometri som skal benyttes. Disse faktorene gir en innsikt i hvor komplisert beregningen blir. I denne oppgaven velges det å se på luftstrømninger, solid bevegelser i fluidet og massetransport av formaldehyd i obduksjonssalen. I dette kapitlet beskrives metodikken for modelleringen. Det er modellert tre simuleringer med tre forskjellige situasjoner i denne oppgaven. I første simuleringen (simulering 1) er det modellert obduksjonsrommet med obduksjonsbordet, tilluftskanal og tre personer hvor to av dem er stillestående og en av dem er gående med armbevegelser samt håndbevegelser over nedtrekksbenken. I andre simuleringen (simulering 2) er det modellert obduksjonsrommet med obduksjonsbord, tilluftskanal, tre personer, hvor to av dem er stillestående og en av dem er gående uten armbevegelser og håndbevegelser over benken. I siste simuleringen (simulering 3) er det modellert ingen bevegelser og med lenger tidsperiode for å sammenligne resultatene fra andre simuleringen (simulering 2).

3.1 Geometri

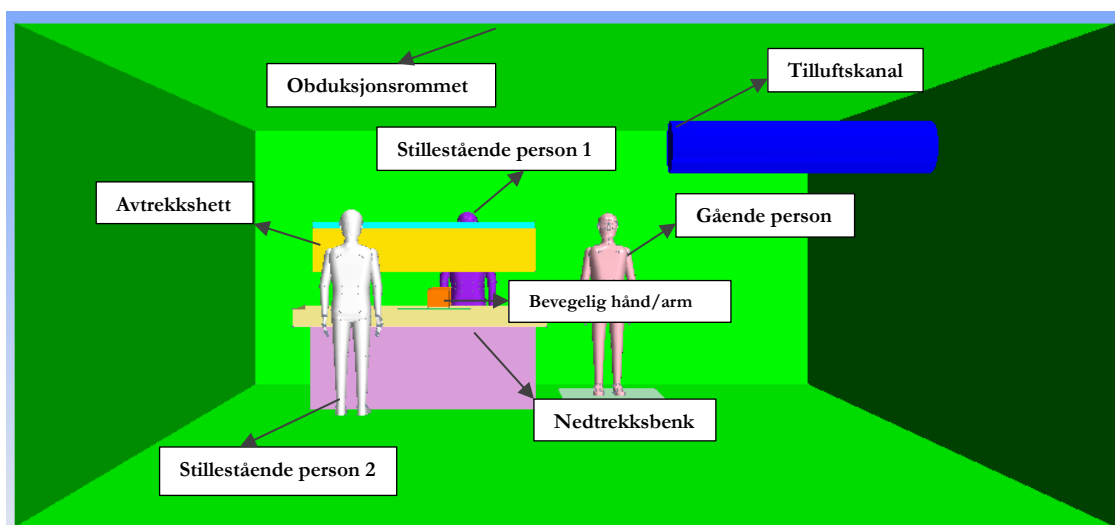
Geometrien i STAR-CCM⁺ kan tegnes ved hjelp av 3D-CAD som er et CAD-verktøy implementert i programmet. Det er også mulig å importere geometrier fra andre programmer, som eksempelvis Revit. I denne simuleringen ble alle geometrier konstruert i ønsket plan med funksjonen *Sketch*, og deretter ekstrudert med *Extrude* for å få et volum, omtalt som *Body*.



Figur 19 viser rommets geometri.

Det ble først laget en *Sketch* av obduksjonsrommet før det ble tegnet en *Sketch* for tilluftskanalen og for *Body*'en (legemen som inneholder formaldehyd) inne i rommets geometri.

Obduksjonsbenken (nedtrekksbenken og avtrekkshetta) ble tegnet først i egen 3D-CAD og deretter ble den eksportert ved hjelp av funksjonen *Export* og importert inne i rommets geometri ved hjelp av *Import*. Se figur 19 for rommets geometri og figur 20 for geometrien til obduksjonsbenken. Se tabell 1 for størrelsen på alle geometrier.



Figur 20 viser geometrien til stående personer og obduksjonsbenken.

Geometrien for modellen som brukes som personer i rommet ble også importert på samme måte som obduksjonsbenken fra en annen CAD-modell. Se figur 20 over.

For inndata for alle geometrier se tabell 1. "Rommets geometri" representerer obduksjonssalen. "Obduksjonsbenkens geometri" representerer avtrekkshetta og nedtrekksbenken i rommet. "Avtrekkshette- 1,2 og 3" representerer avtrekksnalen i hetta. "Avtrekk bord" representerer avtrekket på benken. "Stående person" representerer to stående personer rundt bordet og "gående person" representerer personen som beveger seg forbi bordet med armbevegelser i simulering 1 og uten armbevegelser i simulering 2. "Hånd" representerer bevegelig hånd over benken. "Tilluftskanal" representerer lav impuls posekanal (tilluftskanal) i rommet.

"Body" representerer modellen som er blitt benyttet for å beregne på konsentrasjonen av formaldehyd i rommet. "Overset boks til gående person" og "Overset boks til hånd" er overset mesh for bevegelig hånd og gående person med armbevegelser.

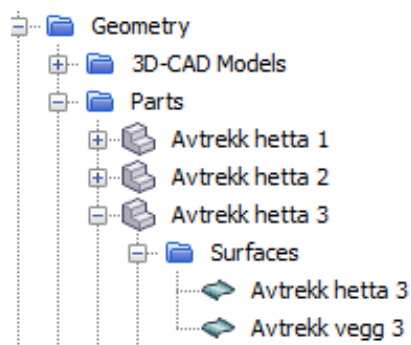
Tabell 1 viser inndata på alle geometrier i simuleringen

Geometri	Høyde/Lengde	Areal	Radius
	[m]	[m ²]	[m]
Rommet	2.7	45	–
Obduksjonsbordet	–	–	–
Avtrekk hetta 1	–	–	0.05
Avtrekk hetta 2	–	–	0.05
Avtrekk hetta 3	–	–	0.05
Avtrekk bordet	0.05	0.252	–
Stående person	1.90	–	–
Gående person	1.90	–	–
Overset boks til gående person	2.0	1	–
Tilluftskanal	2.0	2.51	0.2
Body	0.08	0.0792	–
Hånd over benken	0.5	0.0144	–
Overset boks til hånd	0.62	0.0304	–

3.2 Geometri Parts og Regions

Geometry Part representerer en eller flere deler av geometrien (CD-Adapco, 2018). Figur 21 viser en *Geometry Part* som består av alle deler som er med i simuleringen.

En node opprettes for hver del under *Parts* i delmenyen. Dette er nødvendig for å overføre geometrien og delene fra 3D-CAD til beregningsverktøyet.

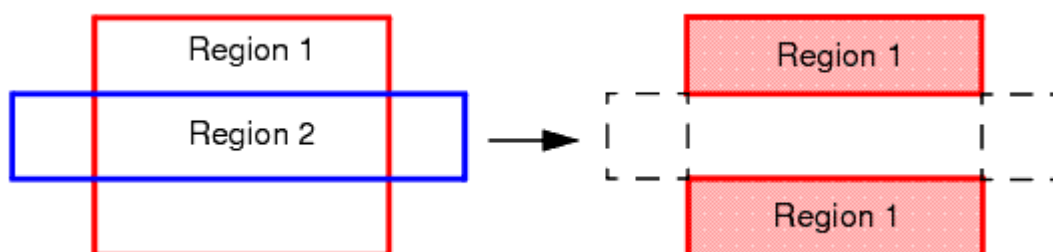


Figur 21 viser Geometry Parts.

Det vil være nødvendig å kombinere flere objekter under *Parts* som hører sammen. Man kan kombinere *Parts* ved å markere ønsket *Parts* og deretter ved hjelp av funksjonen *Combine* kombinere *Parts* sammen. I simuleringen ble *Combine* funksjonen benyttet for å kombinere alle *Parts* som hører sammen.

Under *Parts* kan en også splitte overflater ved hjelp av *Split by patch* funksjonen. Ved hjelp av *Split by patch* ble alle grenser splittet og navngitt.

Under *Parts* ved hjelp av funksjonen *Boolean Subtract* kan en fjerne volumet til et legeme for å minske kompleksiteten til beregningen.

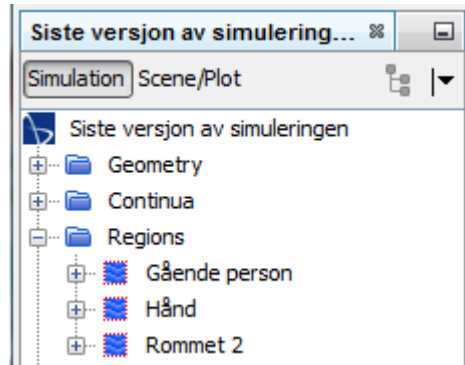


Figur 22 viser Subtract metoden.

Subtract ble benyttet for å fjerne indre volumet for legemer som ikke var med i beregningen. Se figur 22 for Subtract metoden.

Når det er opprettet *Parts* overføres disse til *Regions* ved hjelp av funksjonen *Assign Parts to Regions*. Det kan tildeles en grensebetingelse for hver *Region* eller en *Region* for alle. *Regions* er todimensjonale områder som er fullstendig omgitt av grenser. Det er mulighet for å oppgi ulike grensebetingelser for de forskjellige delene i simuleringen.

I simulering 1 og 2 ble det opprettet en region for bevegelig hånd, en for gående person og en for rommet med obduksjonsbord, tilluftskanal og to stående person modeller. Se figur 23 for regioner i simulering 1 og 2. For simulering 3 ble det opprettet en region med kun rommet.



Figur 23 viser regioner i simuleringen 1 og 2.

3.3 Grensebetingelser

Etter at jobben med å opprette regioner er fullført, kan det nå opprettes grenser innenfor disse regionene. En grense kan være en eller flere objekter som kobles til en grensebetingelse.

Under grensebetingelser kan en velge type grense. Her vil for eksempel tilluft være *Mass flow inlet* eller vegg kan være *Wall*.

Når type grensen er valgt kan en spesifisere fysikken til grensen. Dette kan gjøres under *Physics Conditions*. Se tabell 2 som beskriver grensebetingelser.

Tabell 2 beskriver grensebetingelser som er benyttet i simuleringen

Grense	Bruksområde
Mass flow inlet	Brukes for kompressible interne strømninger der massestrømmen er kjent.
Wall	Brukes ved ugjennomtrengelig grenser for ikke-viskøse strømninger og viskøse strømninger med heftbetingelse. Den kan også brukes til faste materialgrenser der temperatur eller varmefluks er angitt.
Pressure Outlet	Brukes til kompressible og interne strømninger.
Overset Mesh	Brukes for bevegelige legemer. Se avsnitt 2.7.2.

Mass flow inlet lar det å spesifisere massestrømningshastigheten eller massefluksen fra overflaten. Massestrømningshastigheten representerer total masse per tid [kg/s] for hele overflaten og er definert ved formel (3.0) under:

$$\dot{m} = \rho \cdot a \cdot v \quad [\text{kg/s}] \quad (3.0)$$

\dot{m} = massestrømningshastigheten for hele innløpet [kg/s]

v = strømningshastigheten på overflaten [kg/s]

ρ = tettheten av strømmingen [kg/m³]

Det er også mulig å benytte *Mass flow inlet* i avtrekk ved å sette minus tegn foran massestrømningshastigheten, men for dette tilfelle passer *Pressure Outlet* bedre her på grunn av massefraksjonen.

Pressure Outlet grense er en strømningsutløpsgrense hvor trykket er spesifisert. Denne grensen gir en rekke alternativer for å begrense trykket på utstrømningsgrensen. Hvis en ønsker å spesifisere massestrømningshastigheten kan det velges *Target mass flow* som justerer automatisk en korreksjon til den angitte trykkgrenseverdien. Ved hver iterasjon er verdien av trykket ved grensen gitt med den angitte trykkverdien pluss en justering, se formel (3.1) (CD-Adapco, 2018).

$$p_f = p_{\text{spesifisert}} + \delta_p \quad (3.1)$$

Trykk korreksjonen av $\Delta p = (p_f)^{n+1} - (p_f)^n$ beregnes ved formel (3.2) under:

$$\Delta p = \frac{\omega |\dot{m}^n| (\dot{m}^n - \dot{m}_{\text{ønsket}})}{(\rho_{\text{gjennomsnitt}}^n \cdot A^2)} \quad (3.2)$$

\dot{m}^n = massestrømningshastigheten [kg/s]

$\rho_{\text{gjennomsnitt}}^n$ = er gjennomsnittlig tettheten [kg/m³]

$\dot{m}_{\text{ønsket}}$ = er ønsket massestrømningshastigheten [kg/s]

A = total grense areal [m²]

ω = under relasjonsfaktoren

Kombinerer formel (3.1) og (3.2) for å regne på den nye justerte trykket og får formel (3.3) under:

$$\delta_p^{n+1} = \frac{\omega |\dot{m}^n| (\dot{m}^n - \dot{m}_{\text{ønsket}})}{(\rho_{\text{gjennomsnitt}}^n \cdot A^2)} + \delta_p^n \quad (3.3)$$

Mens justeringen blir brukt ved hver iterasjon, beregnes en ny trykkjusteringsverdi i henhold til en spesifisert frekvens.

3.3.1 Rommets egenskaper

I denne beregningen er romlufta fylt med luft, noe som er meget kompressibelt fluid. Strømning i obduksjonsrommet kan ses på som intern strømning, siden strømmingene i rommet er avgrenset av tak og vegger. Grensene i rommets vegger, gulv og tak er satt til *Wall* som vil si at det vil være ingen overføring av strømminger gjennom rommet. Luftstrømning kommer i rommet gjennom en tilluftskanal som har *Mass flow inlet* som grense og har en massestrømningshastighet på 0.333 kg/s som tilsvarer 1000 m³/h. Avtrekk på nedtrekksbenken og i hetta har *Pressure Outlet* som grense og trekker også en luftmengde på 1000 m³/h fordelt på 200 m³/h i avtrekkshetta og 800 m³/h på nedtrekksbenken. For body utløp (grensen hvor det kommer massefraksjonen av formaldehyd fra) er det satt *Mass flow inlet* som grense og har en luftmengde på 0.00014 kg/s som tilsvarer 0.42 m³/h. Massefraksjonen for formaldehyd er satt til 1.0 som vil si 100% fra body utløpet. Dette betyr at hele grensen har en massefraksjon på 100% av CH₂O og 0% luft. Se tabell 3 under for grensebetingelser for rommet.

Tabell 3 viser grensebetingelser for rommet.

Grense	Type	Massefraksjon		Luftmengde [kg/s]
		Luft [%]	CH ₂ O [%]	
Avtrekk bord	Pressure Outlet	100	–	-0.26
Avtrekk hetta 1	Pressure Outlet	100	–	-0.0222
Avtrekk hetta 2	Pressure Outlet	100	–	-0.0222
Avtrekk hetta 3	Pressure Outlet	100	–	-0.0222
Body	Wall	–	–	–
Body utløp	Mass Flow Inlet	–	100	0.00014
Bord	Wall	–	–	–
Hetta	Wall	–	–	–
Person stående 1	Wall	–	–	–
Person stående 2	Wall	–	–	–
Plate	Wall	–	–	–
Tilluft	Mass Flow Inlet	100	–	0.3333
Tilluft vegg	Wall	–	–	–

3.3.2 Bevegelig hånd over nedtrekksbenken

Det ble satt type grensebetingelse for bevegelig hånd (arm) over nedtrekksbenken. Hånd ble definert som *Wall* mens overset boksen til hånd definert som overset mesh. Bevegelses spesifikasjon for regionen ble definert som Translation med en hastighet i y-retningen. Se tabell 4 for grensebetingelser i regionen. For å definere håndbevegelsen ble formell (3.4) under brukt, hvor A er amplituden, ω er frekvensen og t er tiden.

$$Y = A \sin(2\pi\omega t) \text{ [m/s]} \quad (3.4)$$

For bevegelig hånd over benken ble det brukt at $A=0.2e-02$ og $\omega= 1/5e-03$.

Tabell 4 viser grenbetingelser for bevegelig hånd

Grense	Type	Bevegelse spesifikasjon
Hånd	Wall	Translation
Overset boks hånd	Overset Mesh	Translation

3.3.3 Gående person med armbevegelser

For gående person med armbevegelser ble følgende grensebetingelser satt, se tabell 5. For regionen under *Physics Values* er det definert bevegelse spesifikasjonen for *Morphing*. Hele legeme er definert å ha en hastighet på 0.5 m/s i x-retningen. Armen som er i bevegelse er definert som *Wall* og fått *Morphing* og *Translation* som bevegelse spesifikasjon. Se tabell 5 for grensebetingelser.

For å definere armbevegelser ble formel (3.4) over brukt. Hvor A ble definert $2e-02$ og ω er definert $1/5e-03$.

Tabell 5 viser grensebetingelser for gående person

Grense	Type	Bevegelse spesifikasjon	Morpher spesifikasjon
Arm 1	Wall	Morphing, Translation	Displacement
Arm 2	Wall	–	Floating
Overkropp	Wall	–	Floating
Ben	Wall	–	Floating
Hode	Wall	–	Floating
Overset boks	Overset Mesh	Translation	Displacement
Boks gulv	Wall	Translation	Floating

3.3.4 Gående person uten armbevegelser

For gående personen uten armbevegelser ble følgende grensebetingelser satt, se tabell 6. For regionen under *Physics Values* er det definert bevegelse spesifikasjonen for *Translation*. Hele legeme er definert å ha en hastighet på 0.5 m/s i x-retningen. Se tabell 6 for grensebetingelser.

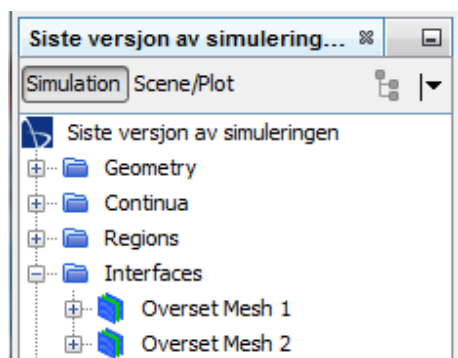
Tabell 6 viser grensebetingelser for gående person uten armbevegelser

Grense	Type
Arm 1	Wall
Arm 2	Wall
Overkropp	Wall
Ben	Wall
Hode	Wall
Overset boks	Overset Mesh
Boks gulv	Wall

3.4 Interface (grensesnitt)

Interface, også kaldt kontaktflater brukes for å koble *Regions* i en beregning. Masse, moment, energi eller hvilken som helst annen mengde i simuleringen kan ikke passeres fra region til en annen med mindre en kontaktflate er definert.

Det ble opprettet *Overset Mesh Interface* mellom bevegelige hånd og rommet og mellom gående person og rommet. Se figur 24 under.

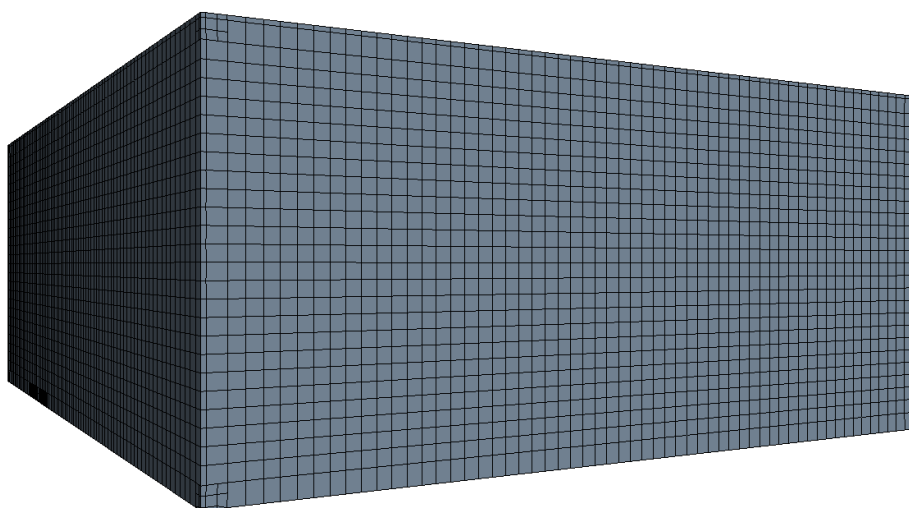


Figur 24 viser Overset Mesh Interface.

Overset Mesh Interface brukes til å koble sammen overset regionen med bakgrunnsregionen. Hvis man vil definere overset regioner som overlapper hverandre, oppretter man *Overset Mesh Interface* mellom hvert overlappende overset regioner.

3.5 Nettverk mesh

Simuleringsprogrammet STAR CCM⁺ baserer de matematiske beregningene i simuleringer på kontrollvolum metoden. Denne metoden krever at geometrien deles opp i et passende antall små kontrollvolum eller celler. Ved hjelp av *Mesh* funksjonen kan en dele opp geometrien i ett nettverk bestående av små celler.



Figur 25 viser mesh geometrien.

Å dele geometrien inn i et nettverk kan gjøres på to måter; med *Surface mesh* og *Volume mesh*. *Surface mesh* konstrueres ofte før *Volume mesh*, slik at nettverket blir nøyaktig.

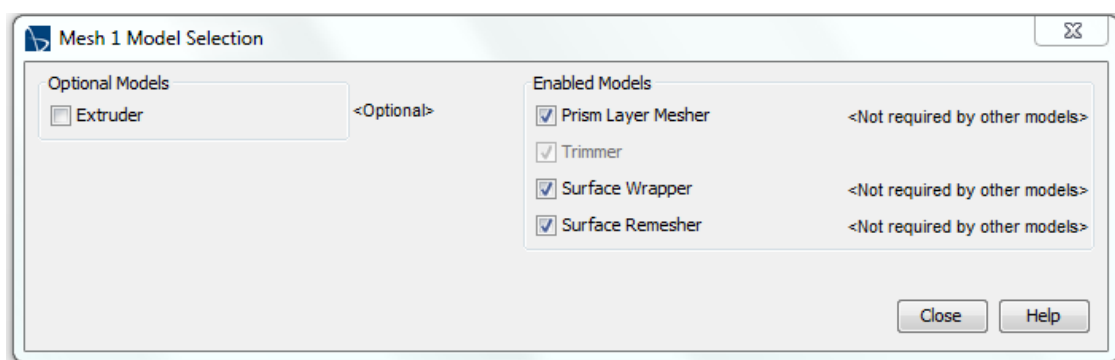
For å forbedre den generelle kvaliteten på eksisterende flate og optimalisere den for *Volume mesh* modellen, kan *Surface remesher* brukes. *Surface wrapper* reparerer geometrier, både importerte CAD-modeller og geometrier som er lagt i programmets egen tegneverktøy. Dette gjør verktøyet ved å lukke alle huller og reparere ujevnheter.

Trimmer celle mesher gir en robust og effektiv metode for å produsere høy kvalitet rutenett for både enkle og komplekse geometrier.

Prism Layer mesher legger til rette for et mer finmasket nettverk ved overflatenes vegger. Ved hjelp av *Prism Layer Mesher* kan en studere hva som skjer ved grensene. Det opprettes grensesjikt med tettere nettverk. Det er mulig å justere grensesjiktet under *Continua-Mesh-Refrance Values*.

Hvis en vil ha et finmasket nettverk på deler av grensen og grovmasket nettverk på resten av grensen for å minske antall celler og likninger som skal løses og kompleksiteten av beregningen kan funksjonen *Volumetric Control* under *Mesh* benyttes.

Det er blitt benyttet fire nettverksmodeller i simuleringen, se figur 26 under som viser alle fire nettverksmodellene. Se figur 25 over for mesh geometrien.



Figur 26 viser nettverksmodellen.

Hvis en benytter Overset mesh i beregningen er det viktig at både bakgrunnsregion og overset regionen har et finmasket nettverk. Dette gjelder også for hvis en skal simulere tilluft eller avtrekk. For av og til vil geometrien til ventilasjonsinstallasjoner være veldig komplisert og ved finmasket nettverk kan en få et mer riktigere resultat enn med en grovere nettverk.

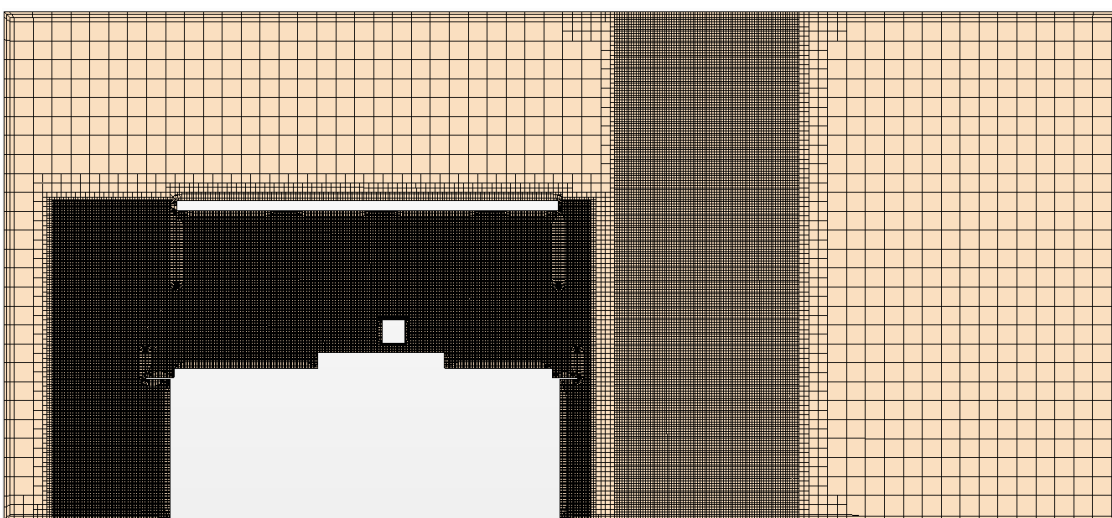
På grunn av rommets størrelse er det valgt et grovmasket rektangulært nettverk i deler av rommet for å redusere beregningstiden. Resten av rommet hvor det blir beregnet for obduksjonsbordet og gående person er det valgt et finmasket nettverk. Med flere målepunkter kan en få nøyaktigere resultat.

Se tabell 7 under som viser alle verdier som er benyttet for nettverksmodellen i simuleringen.

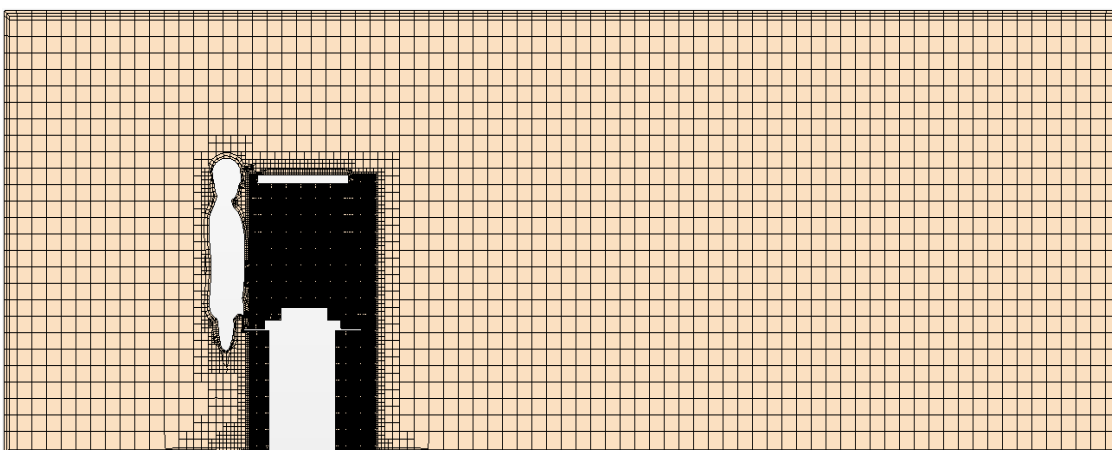
Tabell 7 viser verdier for nettverksmodellen

Modell	Base Size(BS)	Absolutt størrelse av BS	Absolutt størrelse
	[m]	[%]	[m]
Rommet, grovmasket	0.100	100	0.100
Gående person og deler av rommet, finmasket	0.100	20	0.020
Obduksjonsbordet	0.100	10	0.010
Hånd	0.100	10	0.010

Fra figur 27 og 28 kan man se at indre volumet for obduksjonsbenken er fjernet for å minske kompleksiteten for beregningen. Det vil da ikke bli utført beregninger på deler av rommet hvor indre volumet er fjernet.



Figur 27 viser mesh og indre volumet i romlufta.



Figur 28 viser mesh og indre volumet i romlufta.

3.6 Fysikalsk modell

Fysikalsk modell definerer hva slags type medium beregningen skal jobbe med. Under *Continua* kan en oppgi fysiske egenskaper i fysikalsk modellen. Hver region trenger en fysikalsk modell. Flere regioner kan ha samme fysikkmodellen så lenge disse regionene er like fysikalsk sett. Den fysikalske modellen inneholder alle modellnodene i simuleringen. Det ble opprettet en fysikalsk modell for simuleringen hvor den ble benyttet av alle regioner i beregningen. Se tabell 8 som viser fysikkmodellen for romlufta.

Tabell 8 viser fysikkmodellen for simuleringen

Luft i rommet	Modell
Rom	Three Dimensional
Tidsavhengighet	Implicit Unsteady
Material	Multi-Component Gass (luft og CH ₂ O)
Strømning	Segregated Flow
Turbulensmodell	K-epsilon
Tilstandslikning	Ideal Gas
Energi	Segregated Fluid Enthalpy
Kjemisk reaksjon	Non-reacting

I fysikalsk modellen må en velge hva slags material regionen består av. I denne oppgaven er det kun valgt luft som skal beregnes. Luftvolumet i modellen er definert som multikomponent gassblanding. Den multikomponent gassblandingen av luften i denne oppgaven er definert som en blanding av to komponenter, altså luft og formaldehyd CH₂O.

En annen ting som også må velges i fysikken er tidsmodellen. Disse modellene bruker forskjellige fremgangsmåter for å beregne den generelle transport størrelsen (φ) og likningene vil diskretiseres annerledes ved de forskjellige tidsmodellene. Som tidsmodell i denne oppgaven er det valgt *Implicit unsteady*, siden det skal beregnes transiente beregninger. Overset mesh teknikken kan kun benyttes ved transiente beregninger.

I *Implicit Unsteady* for hvert fysiske tidssteg beregnes det et visst antall indre iterasjoner for å konvergere løsningen innen tidskrittet. Ved bruk av denne modellen må en angi størrelsen på det fysiske tidssteget og totaltiden simuleringen går over. Det må også angis et antall indre iterasjoner per tidskrit.

I denne oppgaven er det valgt å ha 10 indre iterasjoner per tidskritt. Dette er fordi å få en nøyaktigere resultat av beregningen siden størrelsen på det fysiske tidssteget og totaltiden simuleringen går over er bare noen få sekunder.

Ligningssystemene løses trinnvis med *Segregated Flow*-funksjonen. Den gir en likning for hver hastighetskomponent og en for trykk. I tillegg til *Segregated Flow* ble det valgt *Segregated fluid isothermal* som benyttes hovedsakelig for beregninger hvor temperaturvariasjonene er så små at de kan neglisjeres, på den måten blir det ikke nødvendig å løse energilikningen og dermed blir beregningstiden spart.

Non-reacting system ble valgt som inneholder en fluidblanding med flere komponenter der disse ikke reagerer kjemisk med hverandre (CD-Adapco, 2018).

I denne oppgaven er det benyttet turbulent viskøse fremgangsmåte, siden strømming i rommet er turbulent. *K-epsilon* modellen er en av de mest vanlig turbulensmodellen, men ved store trykkgradienter gir den ikke tilfredsstillende resultater (CD-Adapco, 2018). Det er en tolikningsmodell, som betyr at det benyttes to ekstra transportlikninger for å representere de turbulente strømmingsegenskapene.

I modellen ble det ikke valgt *Gravity*. Dette er på grunn av at det er lite tetthetsforskjeller i romlufta mellom luft og formaldehyd. Det er heller ikke tatt hensyn til temperaturer i romlufta.

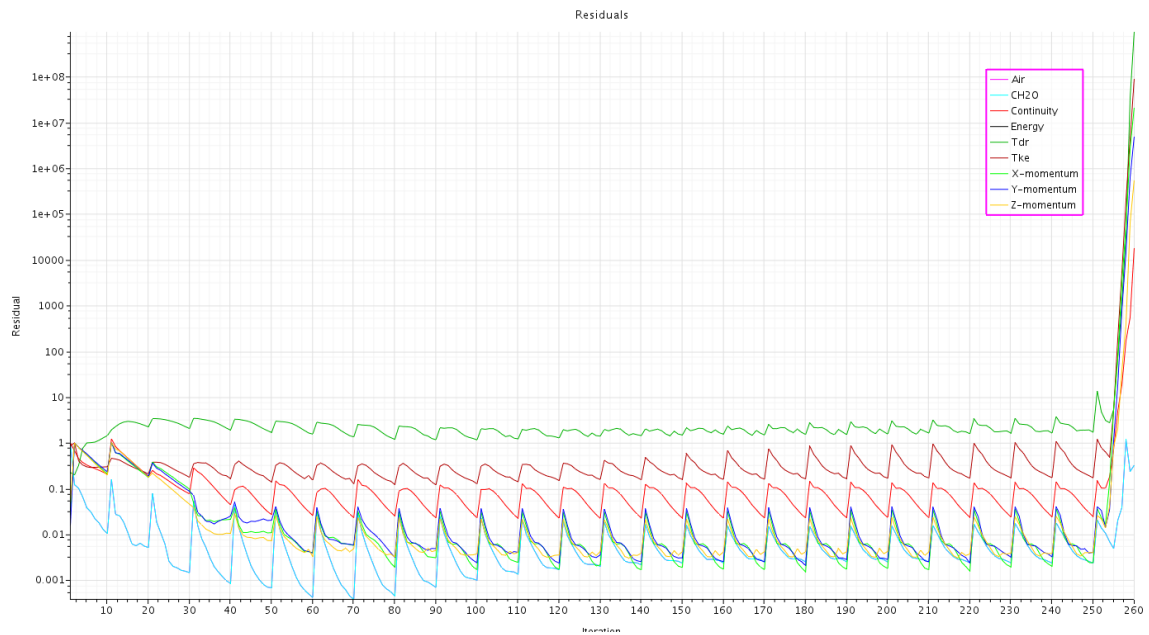
4 Resultater

I denne oppgaven ble det utført tre simuleringer. Første simuleringen (simulering 1) tar for seg alle bevegelser som blir utført av brukere når obduksjonssalen er i bruk. I denne simuleringen er det modellert to stillestående personer rundt obduksjonsbordet, håndbevegelser over nedtrekksbenken og en forbipasserende person med armbevegelser. Denne simuleringen ble utført for å se på påvirkning av forbipasserende og håndbevegelser over nedtrekksbenken. I tillegg ble denne simuleringen utført for å se spredninger av formaldehyd konsentrasjoner i romlufta på grunn av mennesker i bevegelser. På grunn av nettverkskapasitet og bruk av *Morphing* funksjonen ble simuleringen stanset etter få iterasjoner. For å studere luftstrømninger og spredning av formaldehyd i romlufta med litt lengre tidsperiode ble den andre simuleringen (simulering 2) modellert. Denne simuleringen ble modellert lignende første simuleringen men uten armbevegelser for den forbipasserende personen. Siste simuleringen (simulering 3) ble modellert uten bevegelser fra brukere for å sammenligne resultater med andre simuleringen (simulering 2).

Resultater av alle simuleringer blir presentert i dette kapitlet. Alle resultater sammenlignes ved ulike tidsiterasjoner og situasjoner.

4.1 Simulering 1

Første simuleringen ble utført over 260 iterasjoner med et tidssteg på 0.1 sekunder og 10 indre iterasjoner som tilsvarer en totaltid på ca. 2.6 sekunder. Se figur 29 for residualer for simuleringen 1. Når simuleringen er utført kan man se på residualene for å få innblikk i hvor godt løsningen konvergerer eller divergerer. Residualene viser forskjellen mellom den siste og den nest siste iterasjonen. Den forteller hvor godt simuleringen har konvergert til en akseptabel tilnærming av virkeligheten. Det kan være vanskelig å sette en grense for hva som er konvergens, men om residualene synker og flater ut, er dette et meget godt tegn. Om residualene ikke synker, men tvert imot stiger kan dette være tegn på divergens. Grunnet divergens kan skyldes lav overflatekvalitet på geometrien, dårlig nettverkskvalitet, urimelige initialbetingelser, feil grensebetingelser og fysikalskmodeller. Ved transiente simuleringer vil residualbildet ofte fremstå som taggete og ujevnt. Dette er normalt ved transiente beregninger og skyldes at det skjer indre konvergensprosesser.

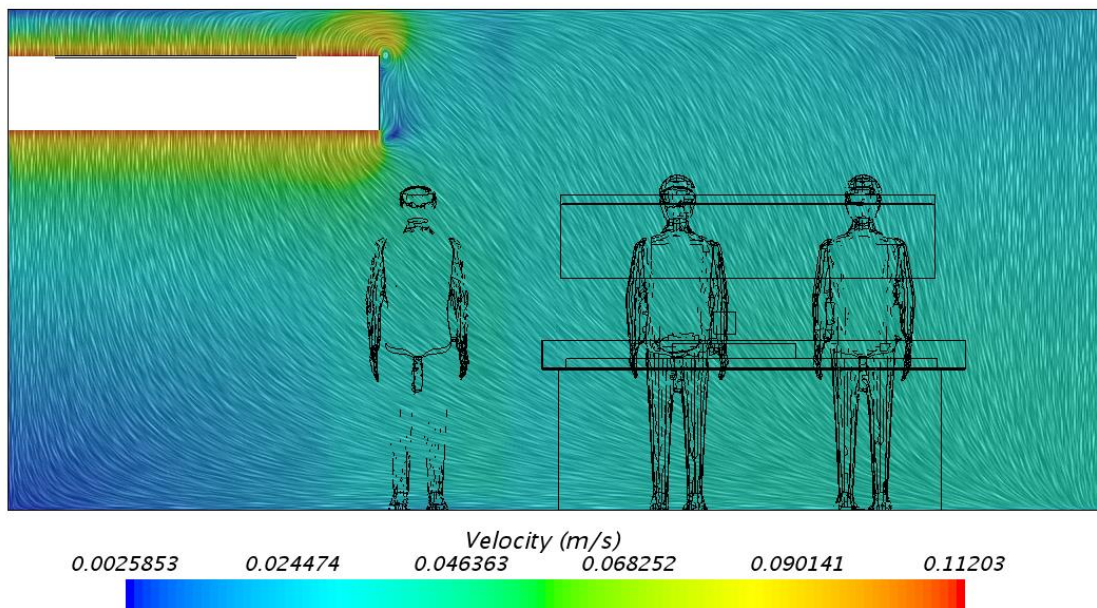


Figur 29 viser residualer for simulering 1.

Når en beregner transiente simuleringer så vil nøyaktigheten ved et tidspunkt avhenge av hvor mange iterasjoner som er utført ved gjeldende tidspunkt. Dette vil igjen avhenge av antall indre iterasjoner. Fra residualene i figur 29 kan man konkludere med at modellen er på vei til å konvergere. Ved å beregne med flere indre iterasjoner og lavere relaksasjonsfaktor kunne en fått bedre konvergens i denne simuleringen. På grunn av datakapasitet og tidsrådighet ble det kun beregnet med 10 indre iterasjoner. Ved å ha simulert med litt høyere indre iterasjoner ville ikke det påvirket resultatene så mye i dette tilfelle.

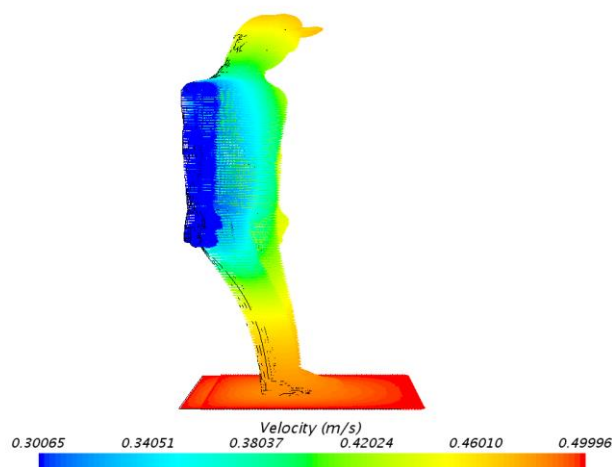
4.1.1 Fluidbevegelser

Figur 30 viser resultat av fluidbevegelsen i romlufta etter 1.6 sekunder. Fra figuren kan man lese at gjennomsnittlighthastigheten til tilluftskanalen er 0.11 m/s. Dette stemmer med resultat fra hastighetsberegninger av tilluftskanalen, se vedlegg 1 for hastighetsberegninger.



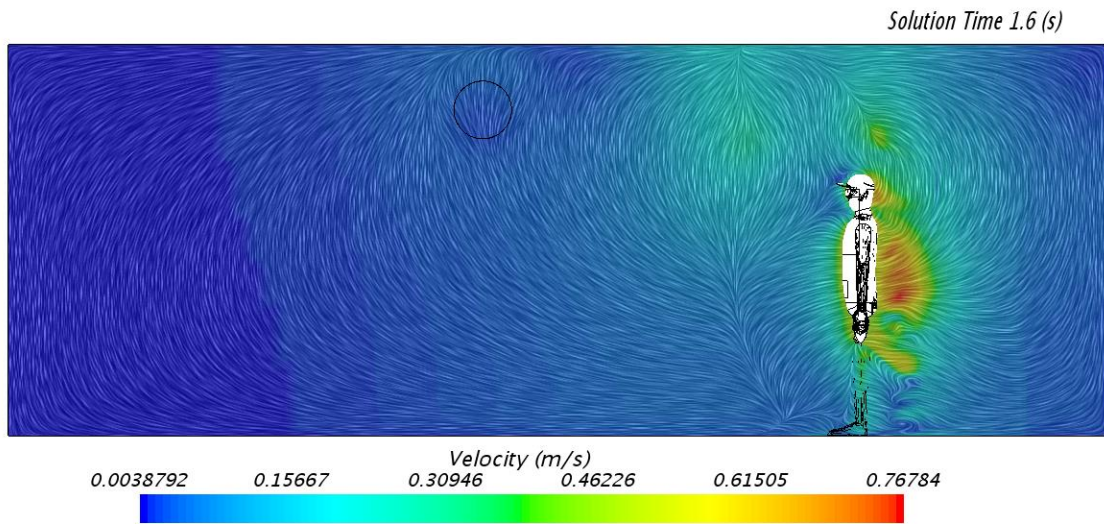
Figur 30 viser resultat av hastighetsprofiler i romlufta etter 1.6 sekunder.

Figur 31 viser bevegelig personen med armbevegelser. Fra figuren kan man se at formen til gående personen er forandret etter hvert som beregningene er utført. Dette skyldes høy frekvens av armbevegelser som fører til at legmen kolliderer med overset boksen. Med lavere frekvens i formell (3.4) kunne en beregnet simuleringen litt lengre. Det er også grunnen til at simuleringen stanser etter 260 iterasjoner. Problemet ble oppdaget etter hvert og på grunn av tidsrådighet var det ikke muligheter å utføre beregningen på nytt og beregne simuleringen litt lengre.



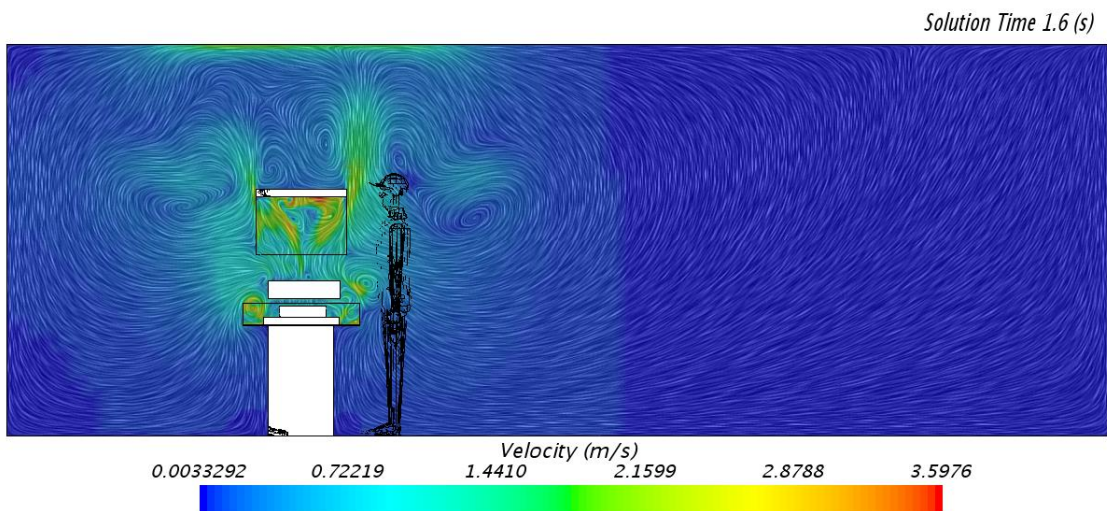
Figur 31 viser bevegelig person med armbevegelser.

Figur 32 viser turbulensen som skapes på grunn av gående person med armbevegelser.



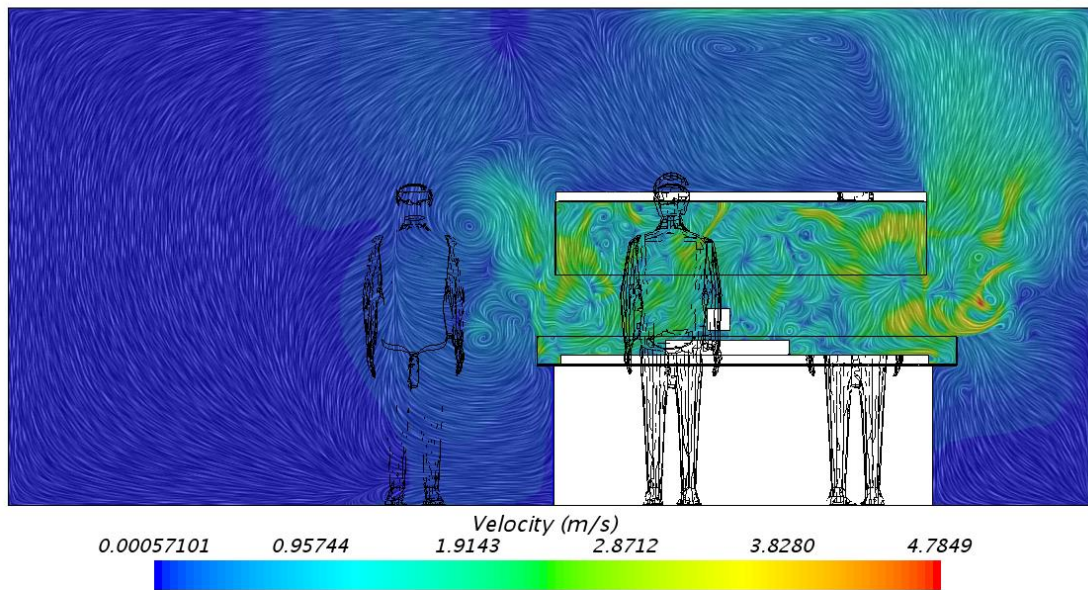
Figur 32 viser gående person med armbevegelser.

Figur 33 og 34 viser luftbevegelser rundt obduksjonsbordet. Fra figurene kan man se at beregningen viser riktige resultater. I virkeligheten vil også strømmingen se slik ut for det som faktisk skjer rundt en avtrekkshette og en .



Figur 33 viser luftbevegelser rundt bordet.

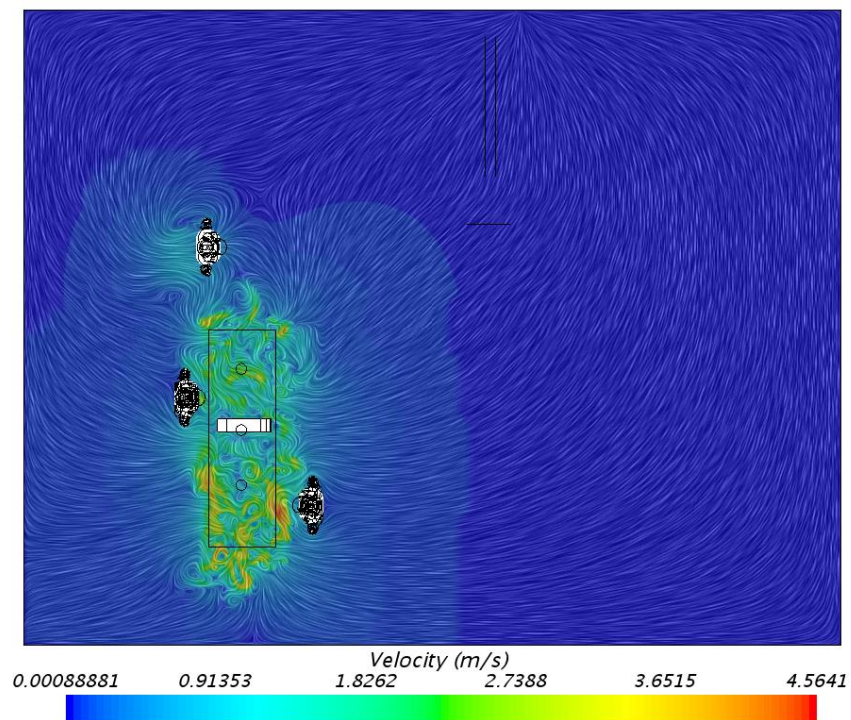
Solution Time 1.6 (s)



Figur 34 viser luftbevegelser rundt bordet.

Figur 35 viser turbulentbevegelser som skapes av gående person i romlufta. Figuren viser også av turbulentbevegelser som skapes påvirker avtrekkshetta og nedtrekksbenken. Fra figuren kan man også se turbulentbevegelser som skapes på grunn av håndbevegelser over nedtrekksbenken.

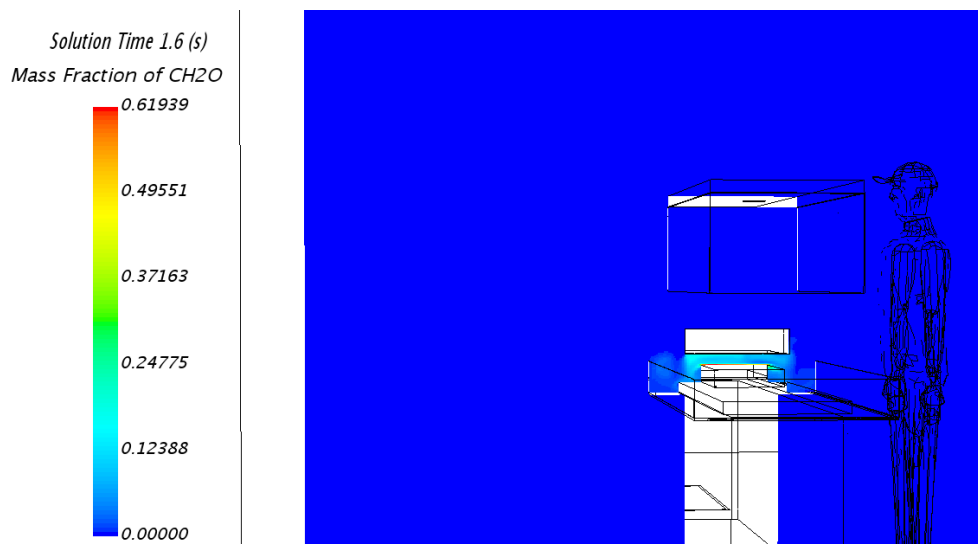
Solution Time 1.6 (s)



Figur 35 viser turbulentbevegelser som skapes i romlufta.

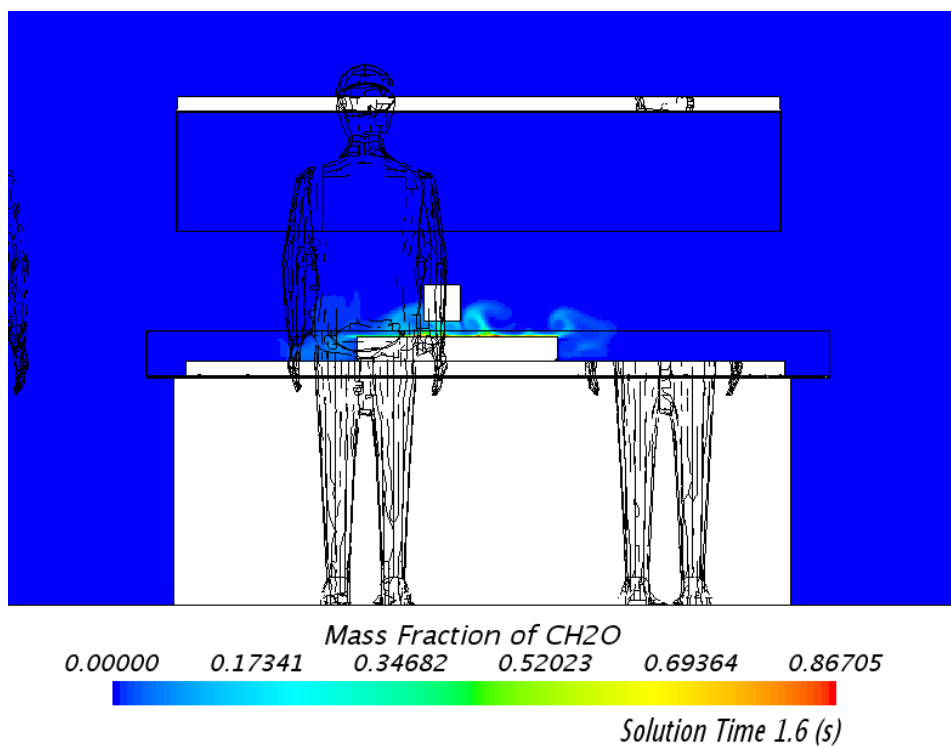
4.1.2 Massefraksjon av formaldehyd

Figur 36 og 37 viser konsentrasjon av formaldehyd i romlufta. Resultatene viser at formaldehyd gassen er tyngre enn luft og faller nedover. Dette stemmer med virkeligheten siden molekylmassen til formaldehyd er 30.0265 kg/kmol mens for luft er 28.9664 kg/kmol.



Figur 36 viser massefraksjon av formaldehyd i romlufta.

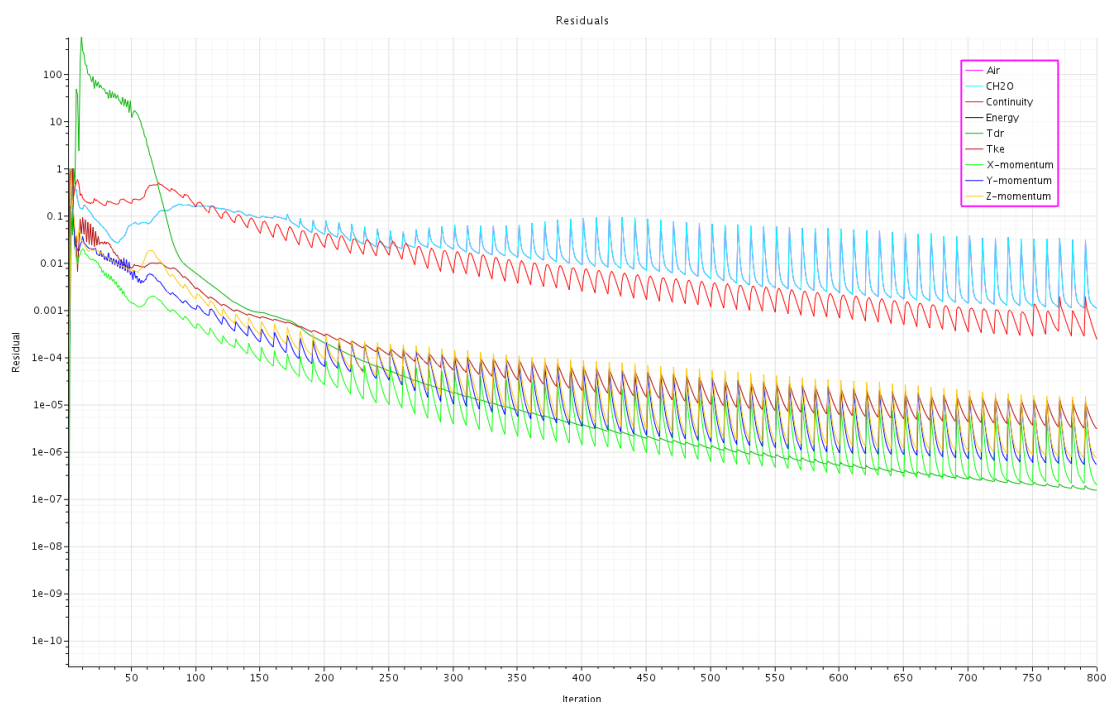
Figur 37 viser at håndbevegelser over benken påvirker spredning av formaldehydet konsentrasjonen.



Figur 37 viser massefraksjon av formaldehyd i romlufta.

4.2 Simulering 2

Simulering 2 ble utført over 800 iterasjoner og med et tidssteg på 0.1 sekunder og 10 indre iterasjoner som tilsvarer ca. 8 sekunder i totaltiden. Se figur 38 for residualer for simuleringen. Denne simuleringen ble utført fordi første simuleringen ikke klarte å beregne flere enn 260 iterasjoner.



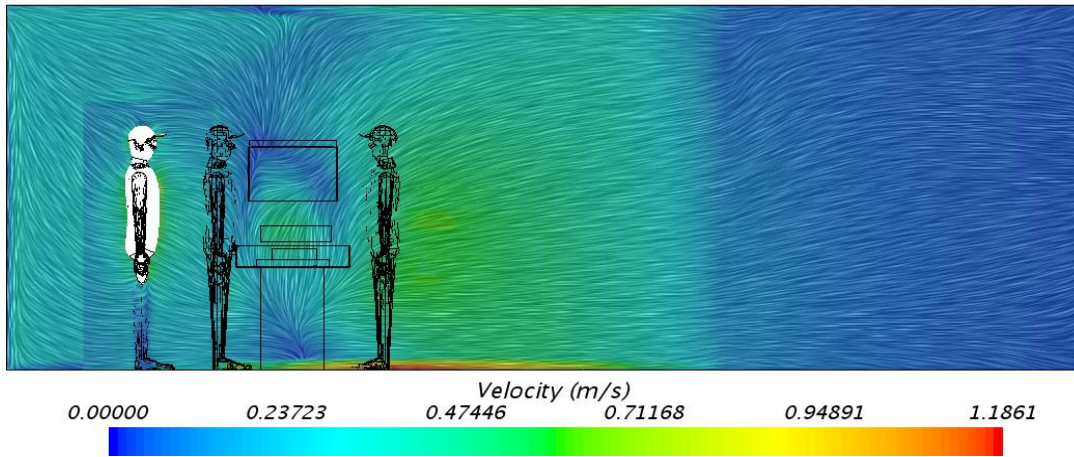
Figur 38 viser residualer for simulering 2.

Resultatet fra residualene i figur 38 viser at grafen synker og flater ut. Dette kan da konkluderes med at beregningen konvergerer.

4.2.1 Fluidbevegelser

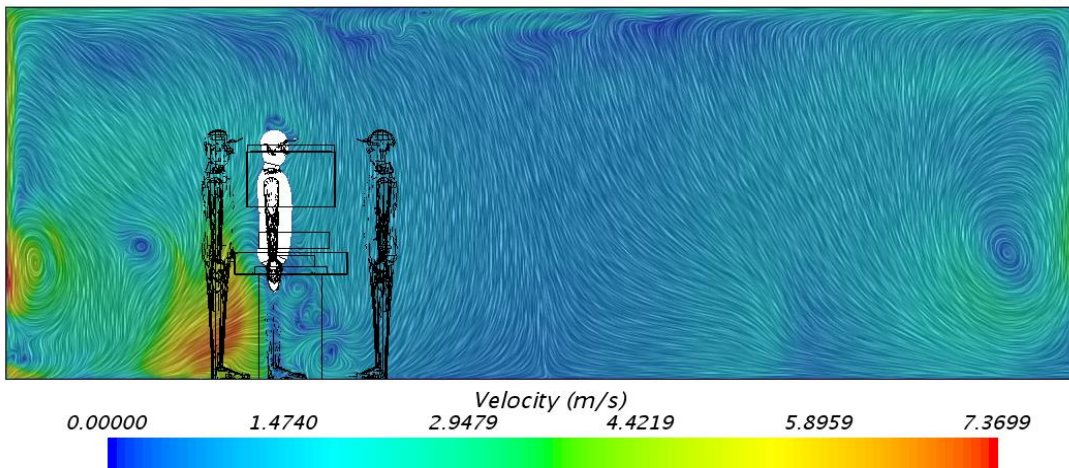
Figur 39, 40, 41 og 42 viser resultater av luftbevegelser i romlufta etter henholdsvis 0.1, 2, 5 og 8 sekunder. Figurene viser klart og tydelig at person bevegelser skaper turbulentbevegelser ettersom den beveger seg framover. Figur 43, 44, 45 og 46 viser tydelig at gående personen og bevegelig hånd over nedtrekksbenken forstyrer luftstrømningen, avtrekkshetta og nedtrekksbenken som fører til at avtrekket ikke klarer å trekke nok av den modellerte formaldehyd konsentrasjonen. I dette tilfelle vil også strømningsforholdet ikke være stabil.

Solution Time 0.1 (s)



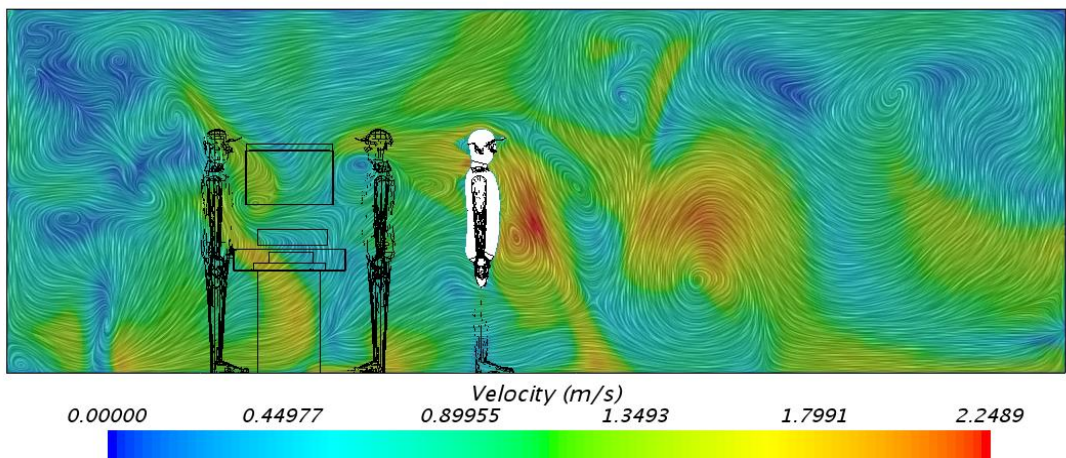
Figur 39 viser romlufta etter 0.1 sekunder.

Solution Time 2 (s)

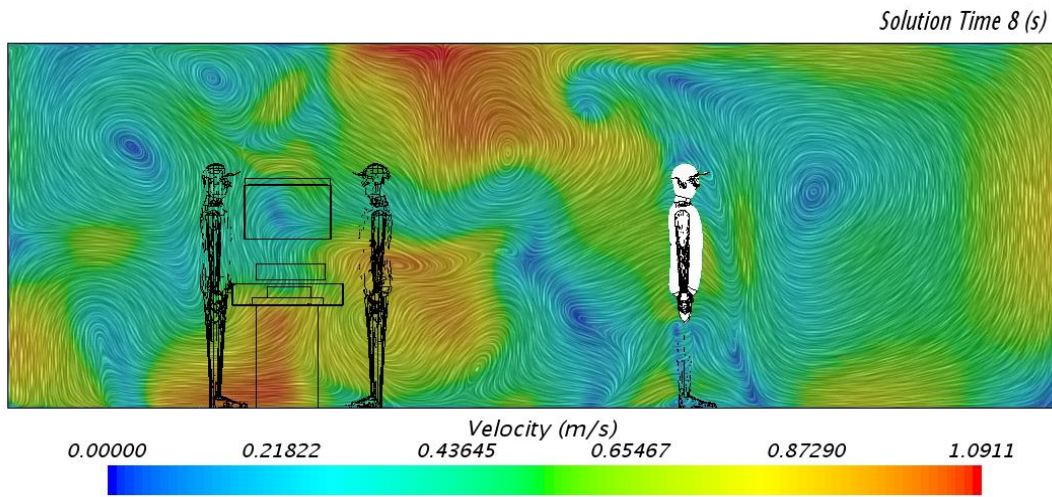


Figur 40 viser romlufta etter 2 sekunder.

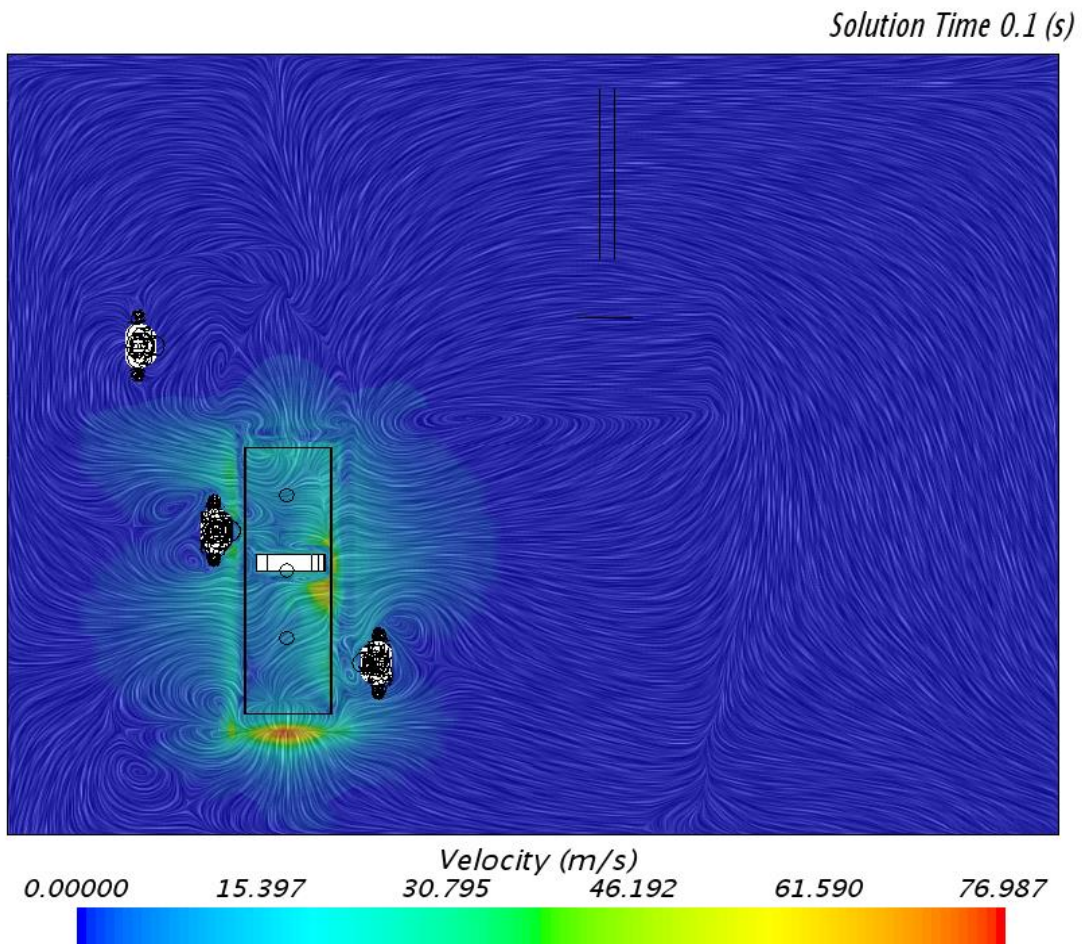
Solution Time 5 (s)



Figur 41 viser romlufta etter 5 sekunder.

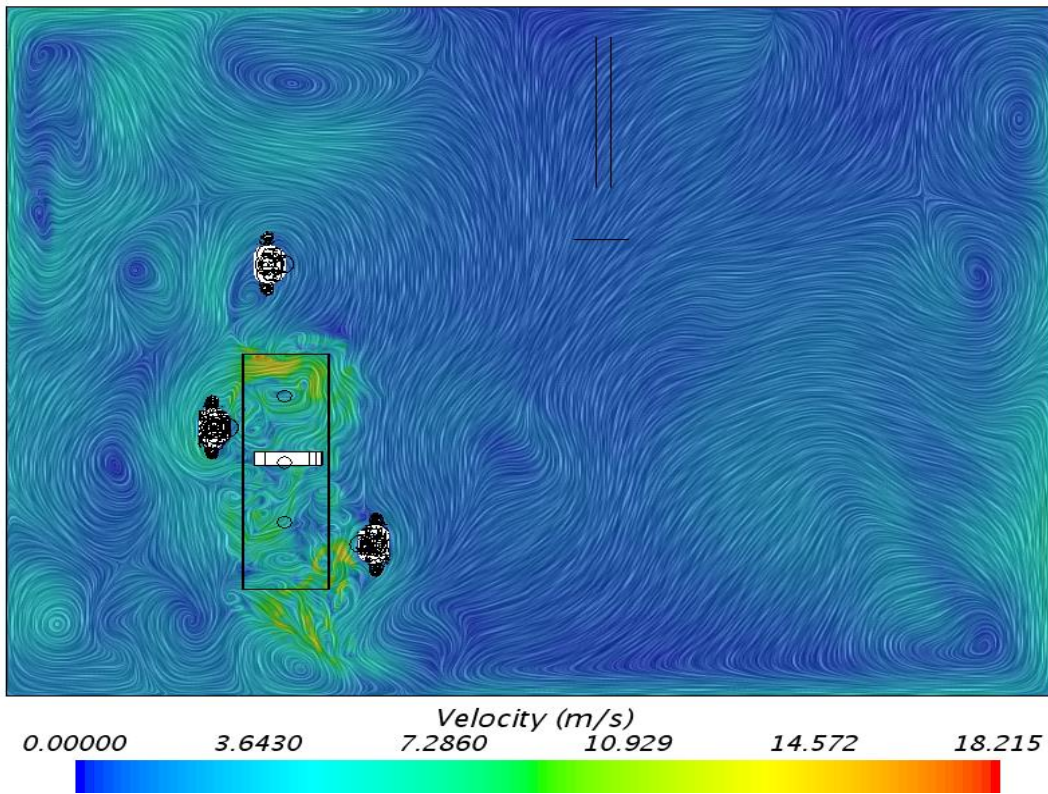


Figur 42 viser romlufta etter 8 sekunder.



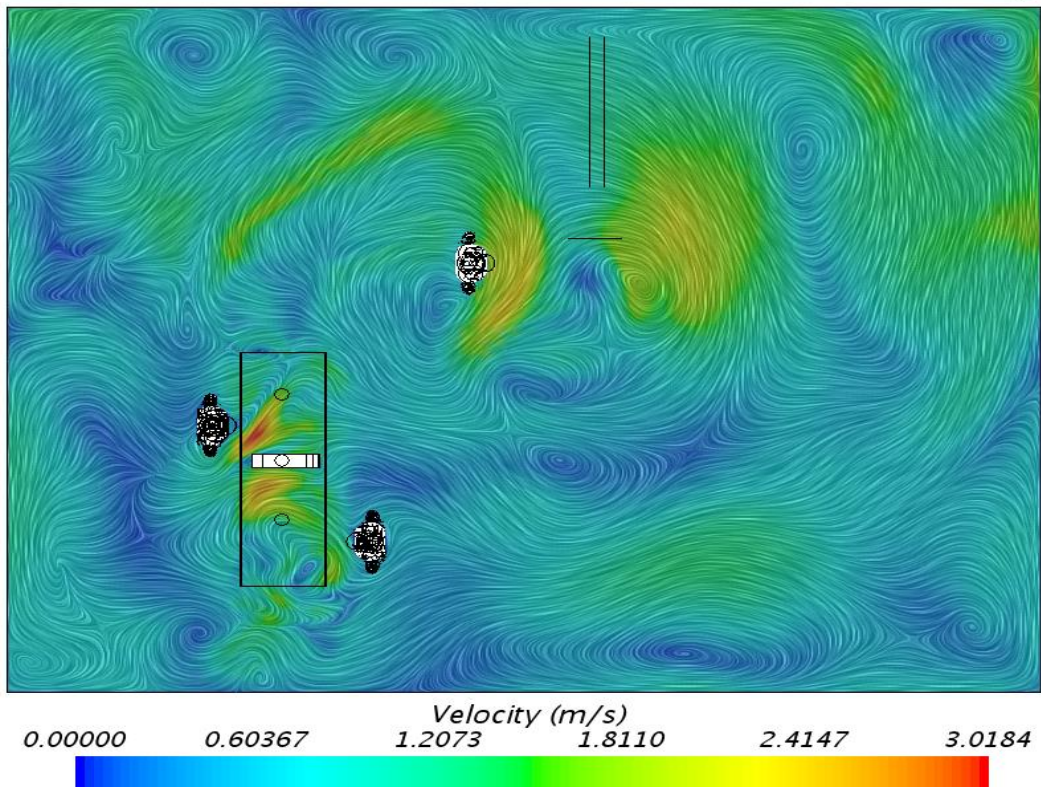
Figur 43 viser turbulensbevegelser som skapes etter 0.1 sekunder.

Solution Time 2 (s)



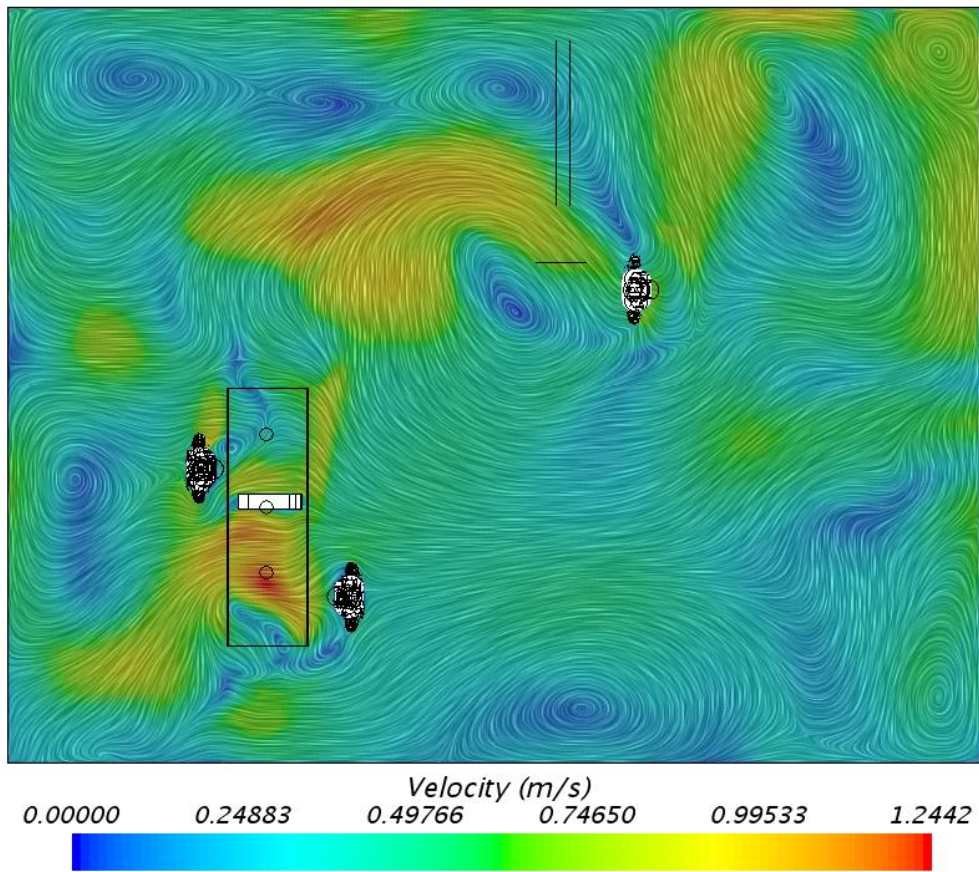
Figur 44 viser turbulensbevegelser som skapes etter 2 sekunder.

Solution Time 5 (s)



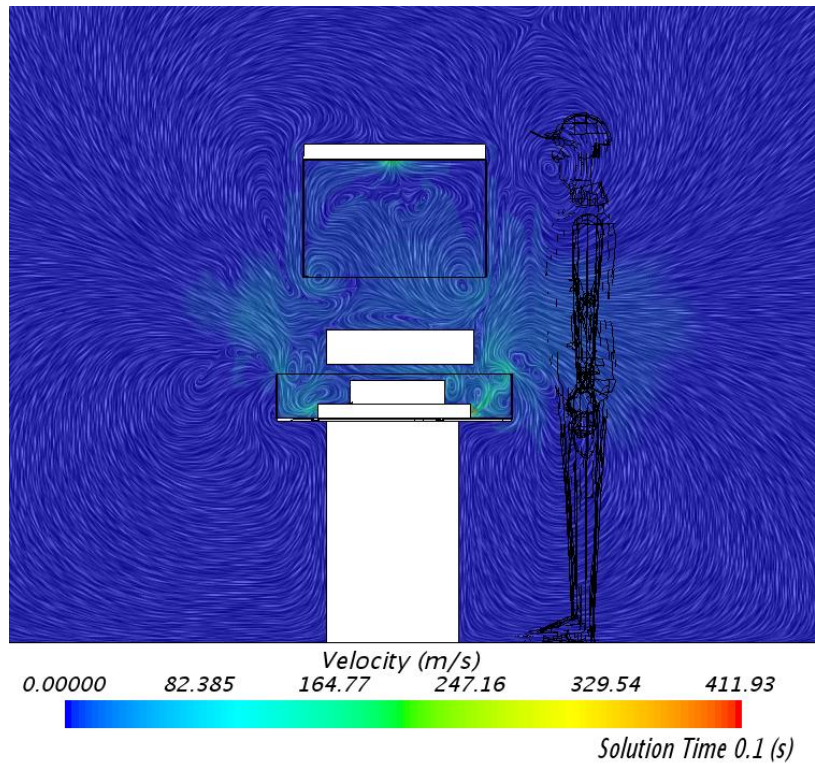
Figur 45 viser turbulensbevegelser som skapes etter 5 sekunder.

Solution Time 8 (s)

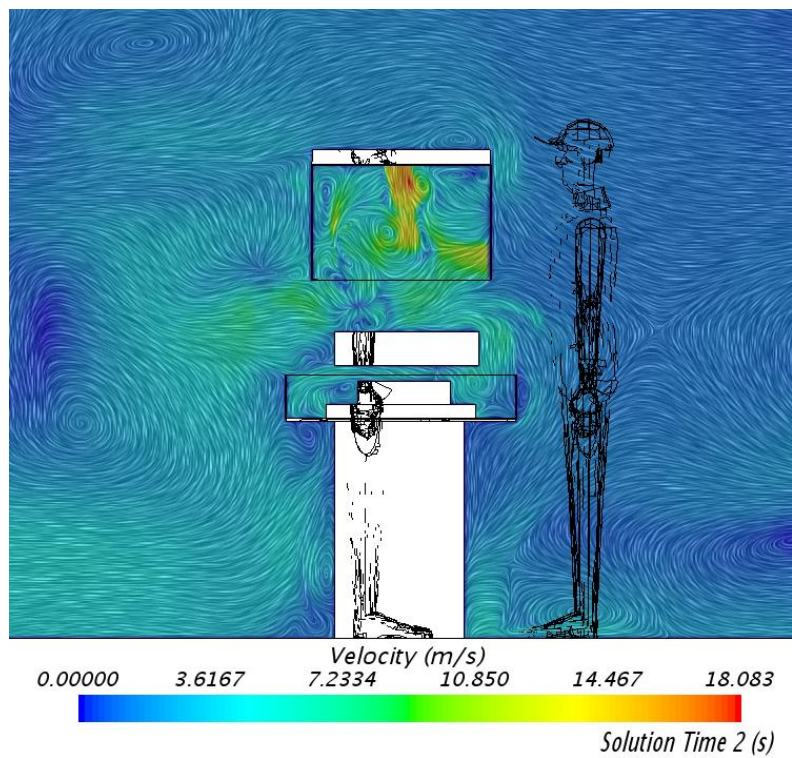


Figur 46 viser turbulensbevegelser som skapes etter 8 sekunder.

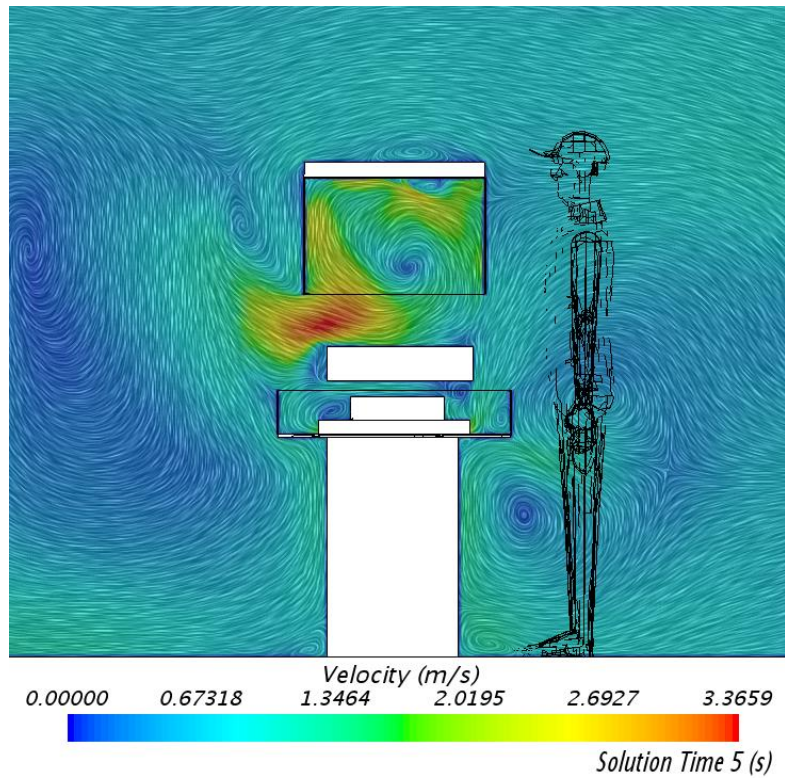
Figur 47, 48, 49 og 50 viser strømningsforholdene rundt obduksjonsbenken. Figurene viser klart at bevegelig hånden over benken påvirker strømningsbildet her.



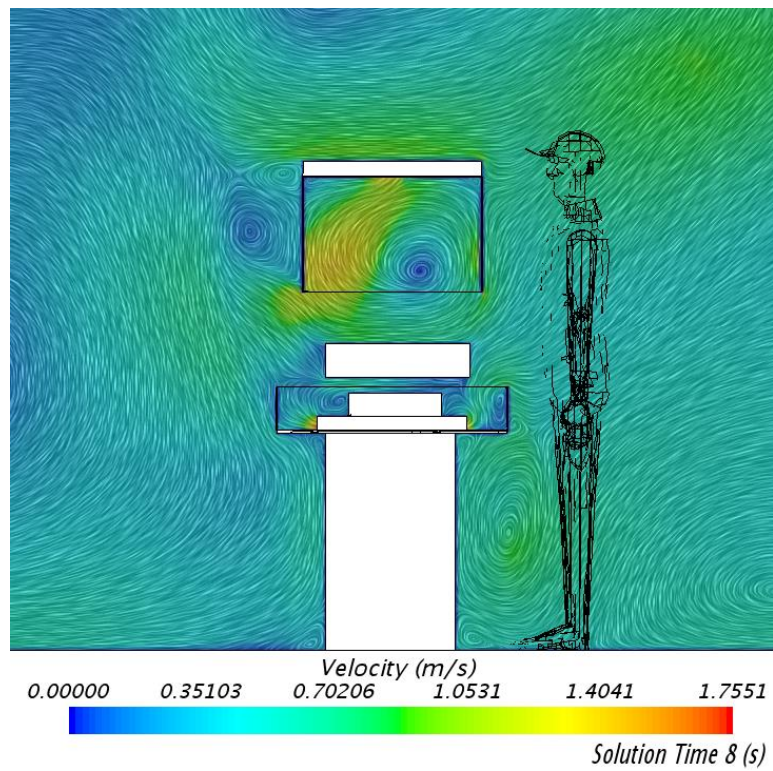
Figur 47 viser strømningsbildet rundt obduksjonsbenken etter 0.1 sekunder.



Figur 48 viser strømningsbildet rundt obduksjonsbenken etter 2 sekunder.



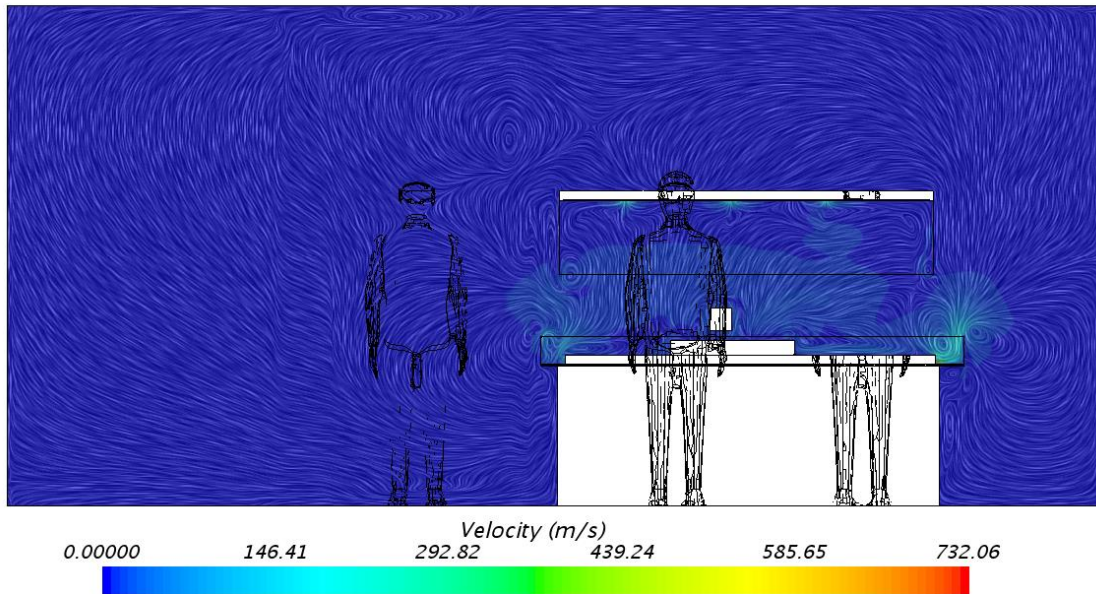
Figur 49 viser strømningsbildet rundt obduksjonsbenken etter 5 sekunder.



Figur 50 viser strømningsbildet rundt obduksjonsbenken etter 8 sekunder.

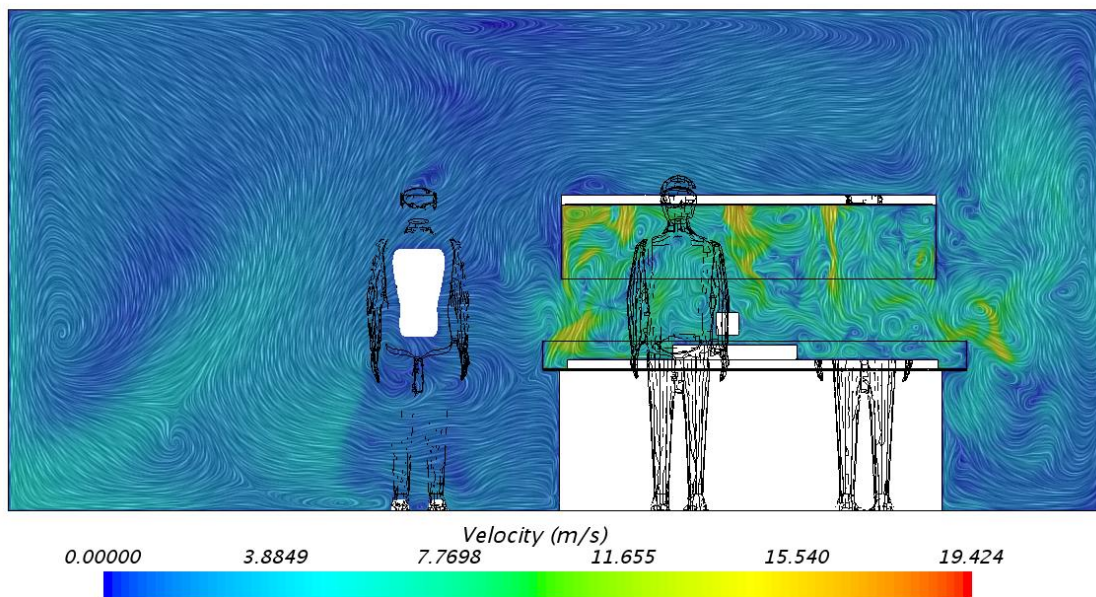
Figur 51, 52, 53 og 54 viser turbulentbevegelser som skapes over benken på grunn av bevegelser på grunn av bevegelig hånden. Resultater fra simuleringen viser at bevegelser forstyrrer avtrekket i hetta.

Solution Time 0.1 (s)



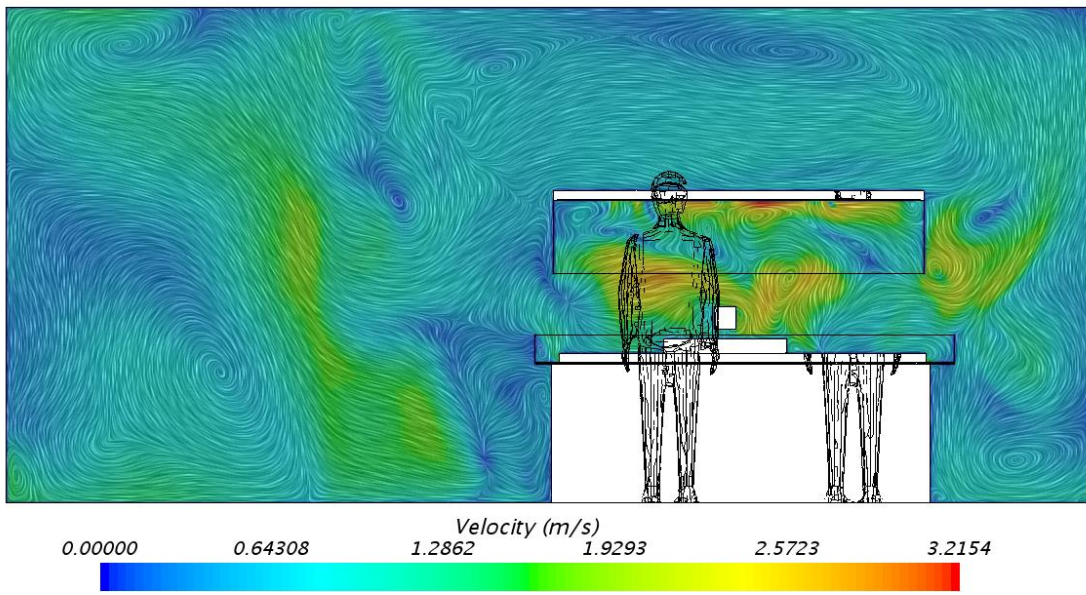
Figur 51 viser turbulensbevegelser som skapes over benken på grunn av bevegelser etter 0.1 sekunder.

Solution Time 2 (s)



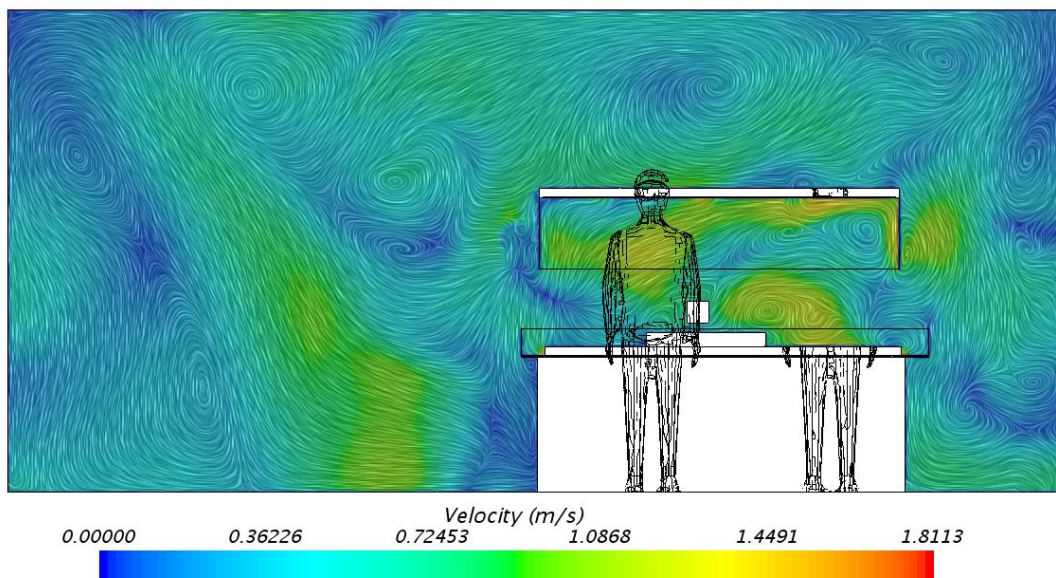
Figur 52 viser turbulensbevegelser som skapes over benken på grunn av bevegelser etter 2 sekunder.

Solution Time 5 (s)



Figur 53 viser turbulensbevegelser som skapes over benken på grunn av bevegelser etter 5 sekunder.

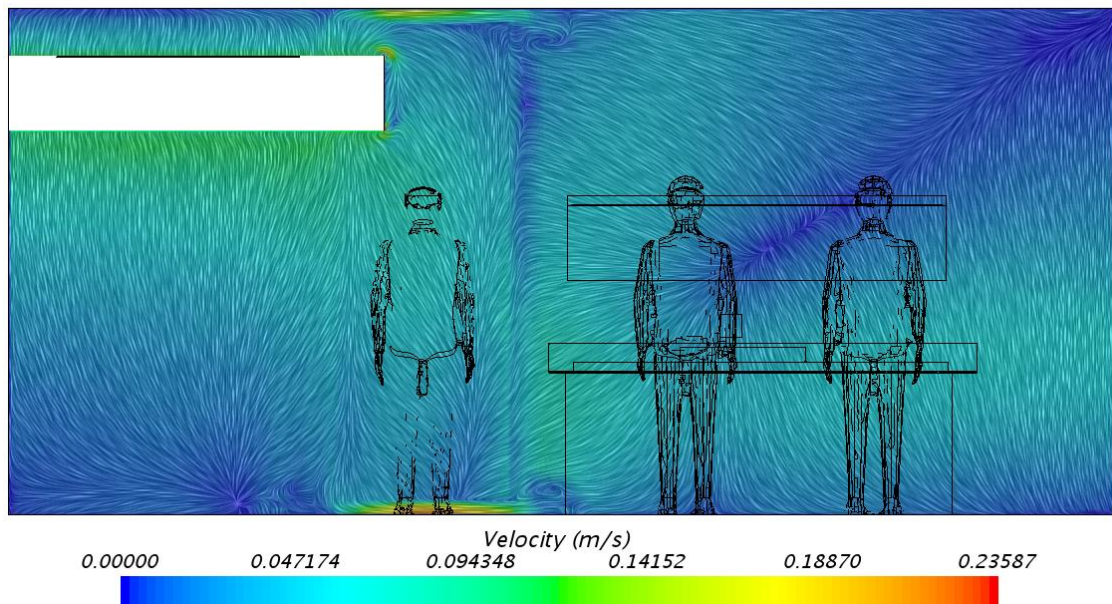
Solution Time 8 (s)



Figur 54 viser turbulensbevegelser som skapes over benken på grunn av bevegelser etter 8 sekunder.

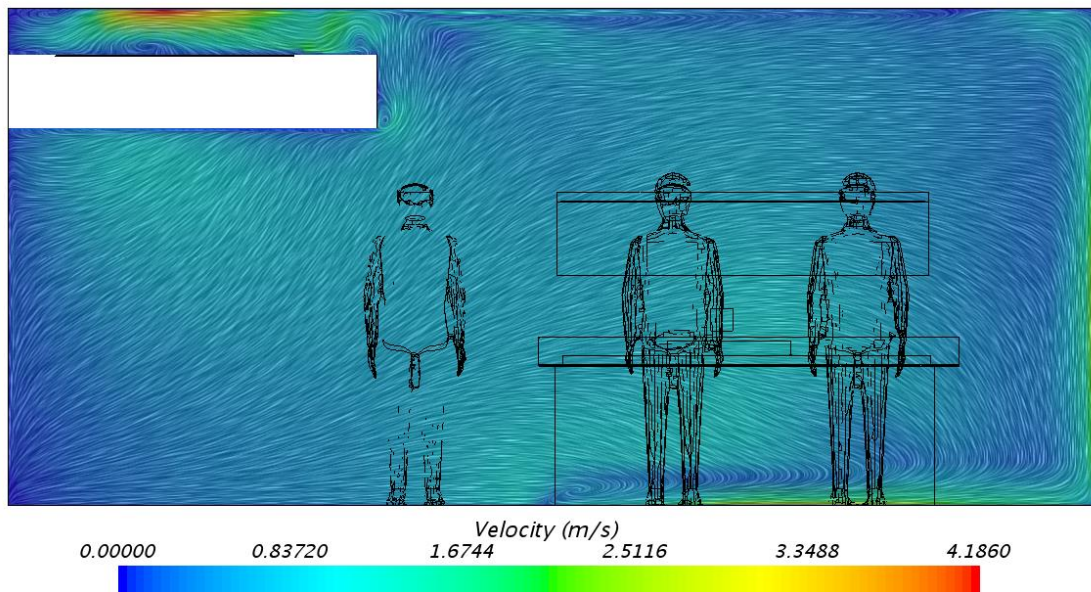
Figur 55, 56, 57 og 58 viser strømningsbildet rundt tilluftskanalen og i romlufta.

Solution Time 0.1 (s)



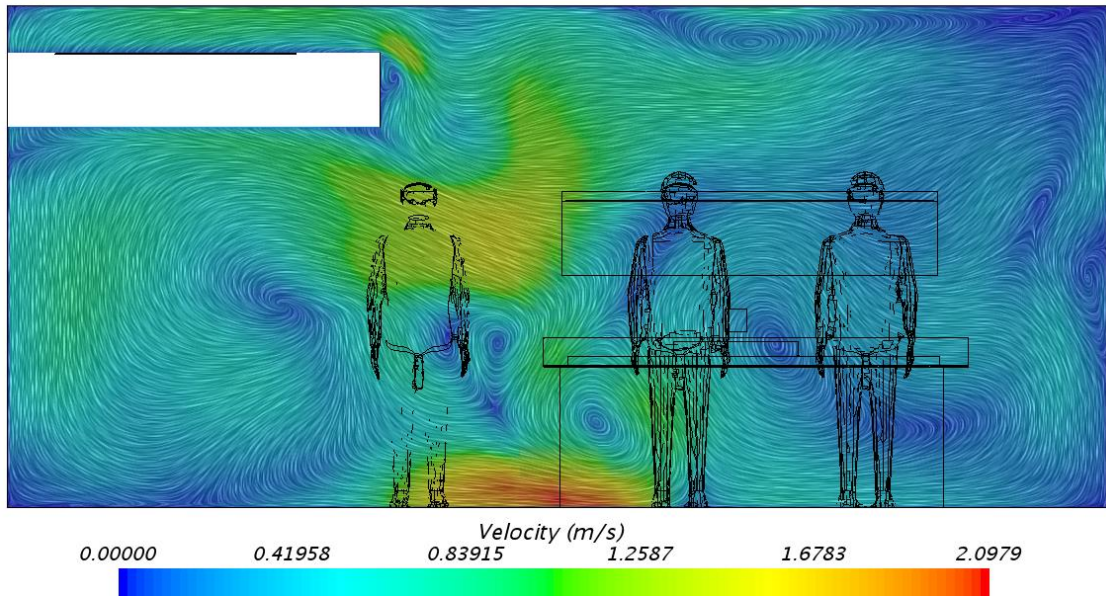
Figur 55 viser strømningsbildet rundt tilluftskanalen etter 0.1 sekunder.

Solution Time 2 (s)



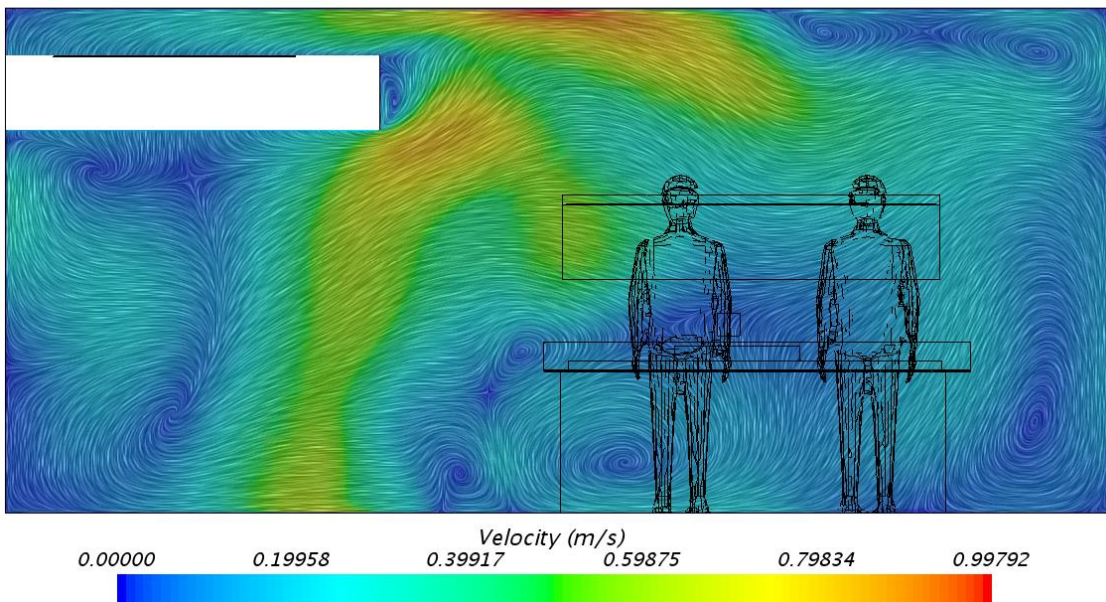
Figur 56 viser strømningsbildet rundt tilluftskanalen etter 2 sekunder.

Solution Time 5 (s)



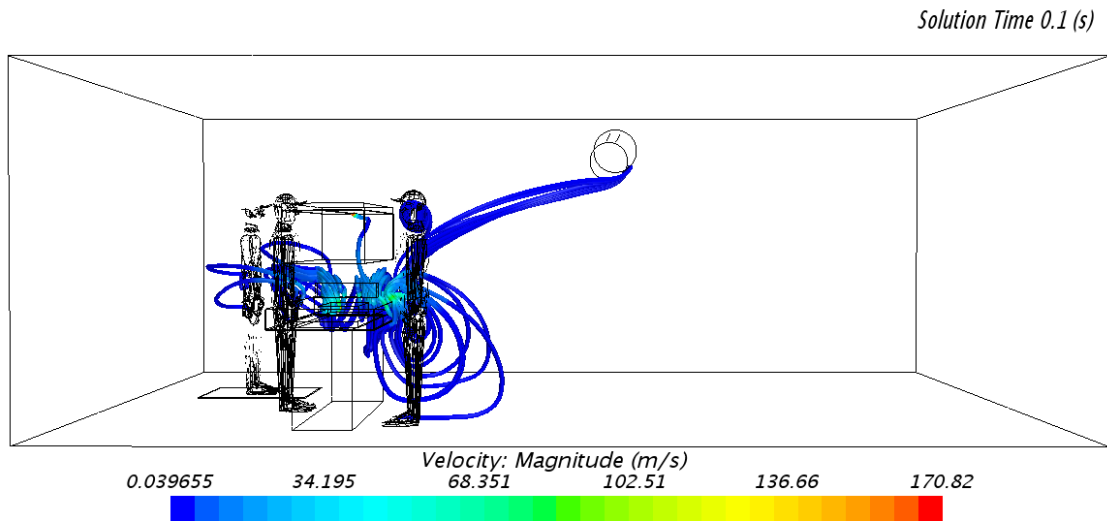
Figur 57 viser strømningsbildet rundt tilluftskanalen etter 5 sekunder.

Solution Time 8 (s)

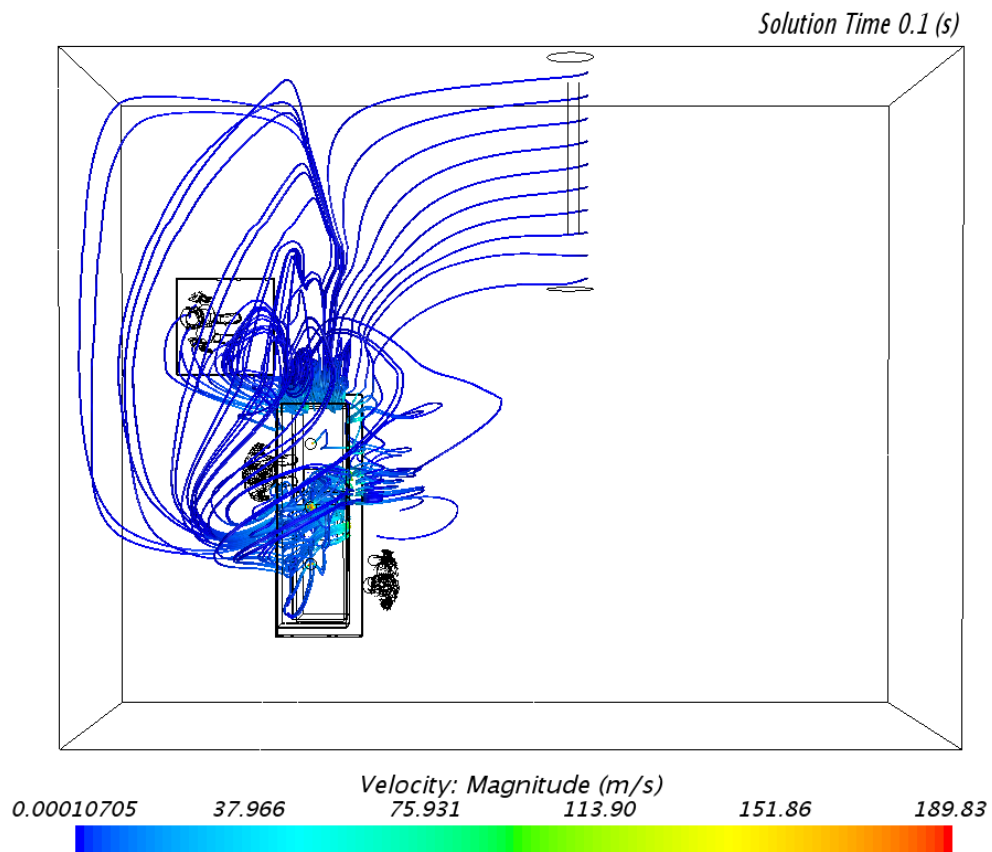


Figur 58 viser strømningsbildet rundt tilluftskanalen etter 8 sekunder.

Figur 59 og 60 viser streamline over rommet og fra siden av lufta som kommer fra tilluftskanalen og trekkes videre i avtrekket på bordet.



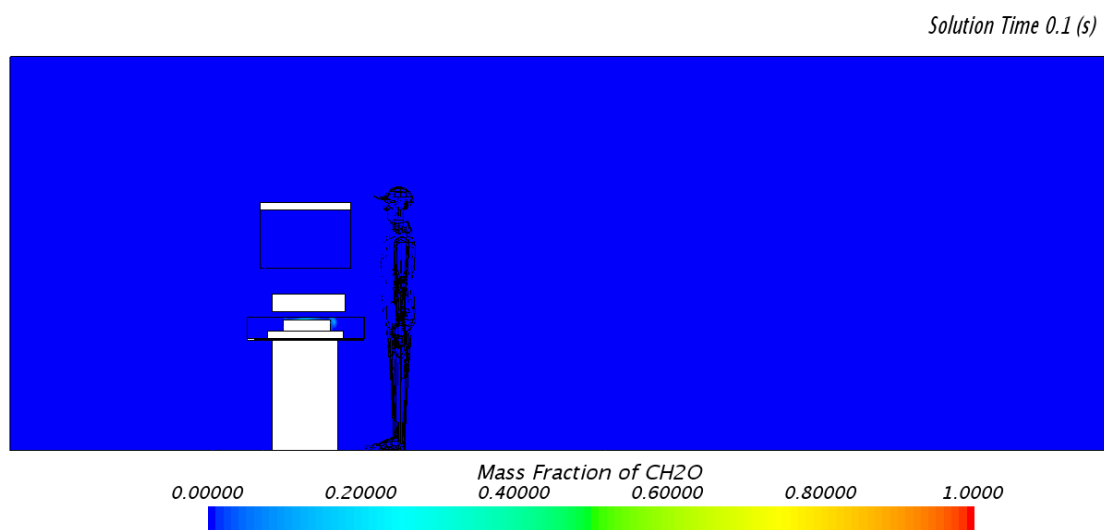
Figur 59 viser streamline av tilluftskanal fra siden i rommet etter 0.1 sekunder.



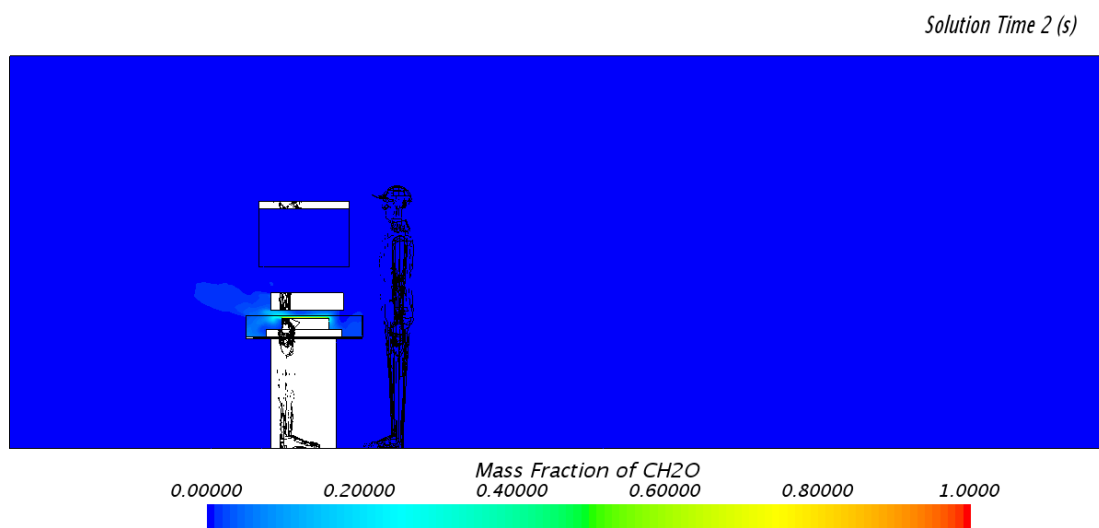
Figur 60 viser streamline av tilluftskanal over rommet etter 0.1 sekunder.

4.2.2 Massefraksjon av formaldehyd

Figur 61, 62, 63 og 64 viser massefraksjon av formaldehyd etter henholdsvis 0.1, 2, 5 og 8 sekunder. Fra simuleringresultatene vises det klart at avtrekkshetta og nedtrekksbenken forstyres av bevegelser og klarer dermed ikke trekke inn formaldehyd konsentrasjonen gjennom avtrekket. Dette fører til at formaldehyd konsentrasjonen føres ut av obduksjonsbenken.

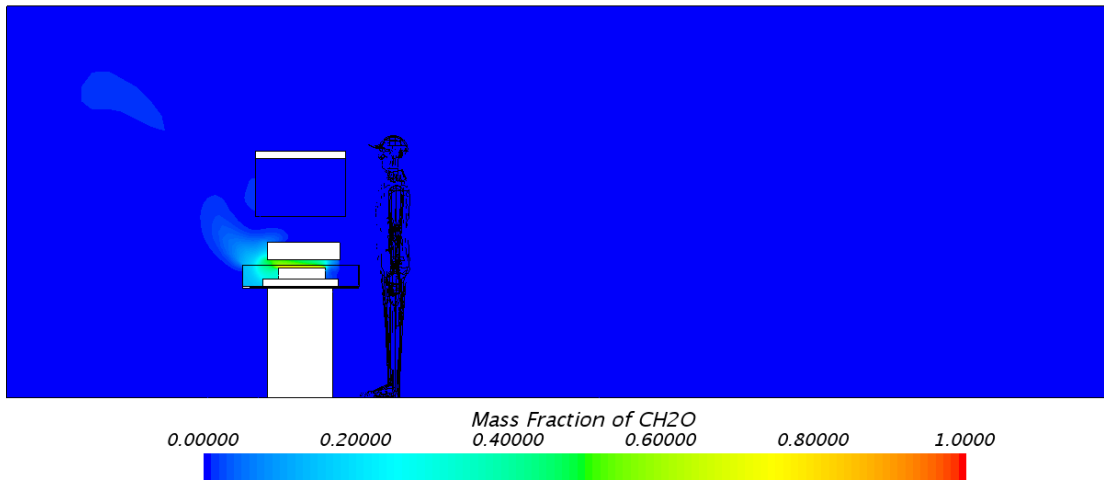


Figur 61 viser massefraksjon av formaldehyd etter 0.1 sekunder.



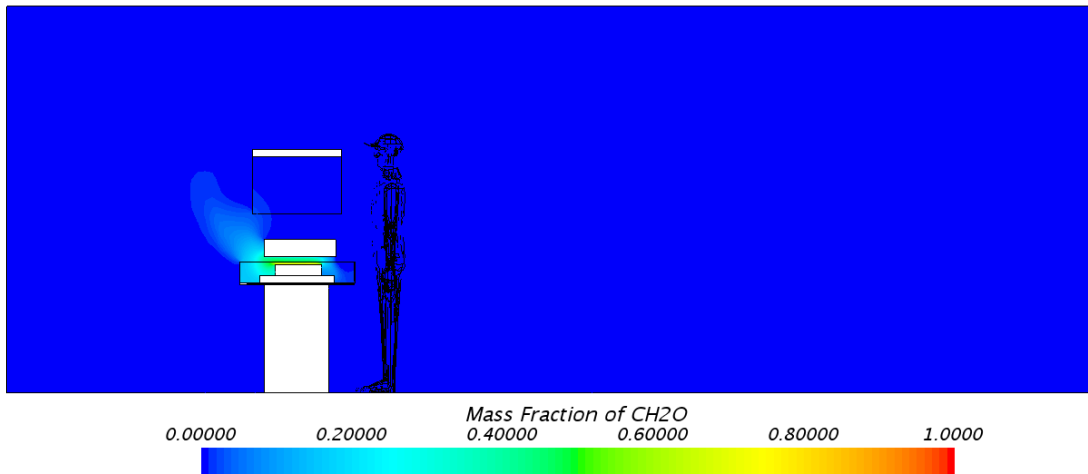
Figur 62 viser massefraksjon av formaldehyd etter 2 sekunder.

Solution Time 5 (s)



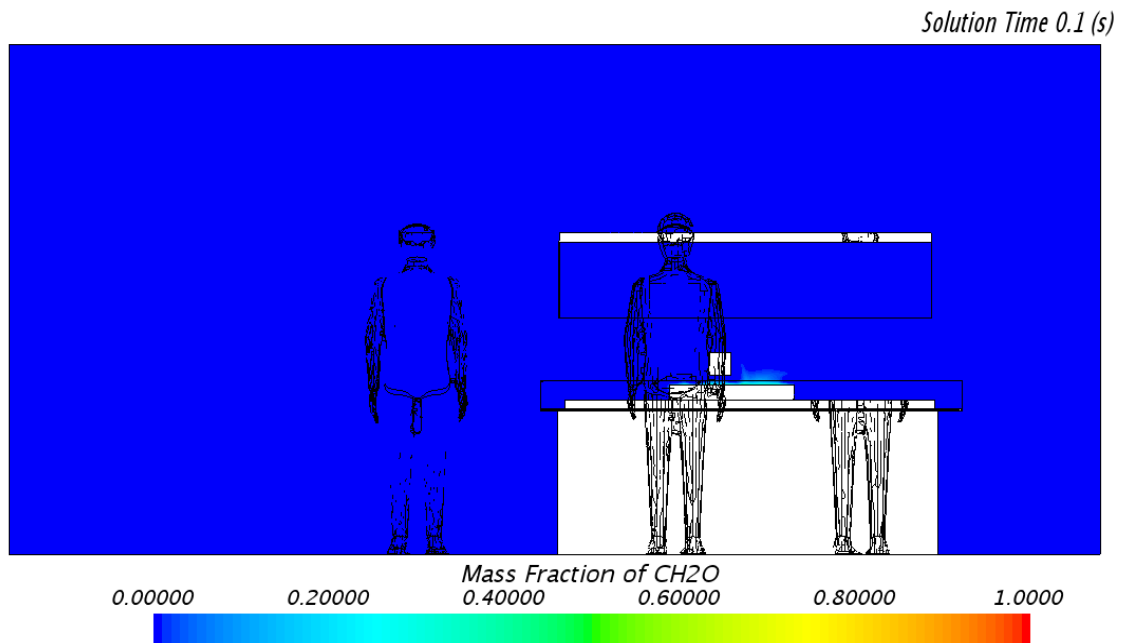
Figur 63 viser massefraksjon av formaldehyd etter 5 sekunder.

Solution Time 8 (s)

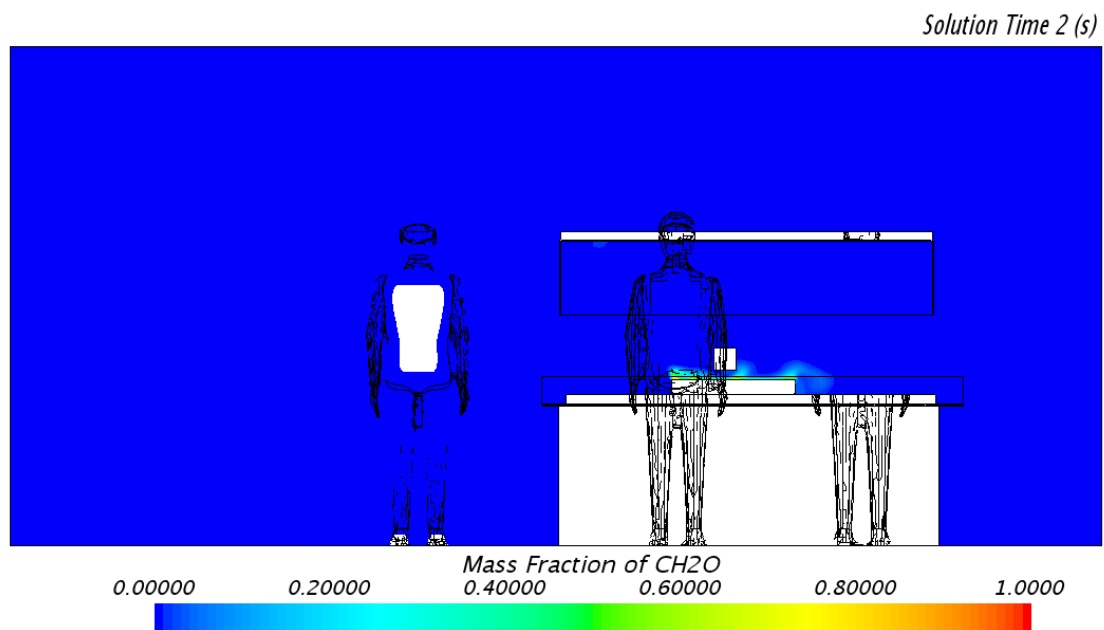


Figur 64 viser massefraksjon av formaldehyd etter 8 sekunder.

Figur 65, 66, 67 og 68 viser klart at bevegelser over nedtrekksbenken fører til at konsentrasjon av formaldehyd føres ut av benken.

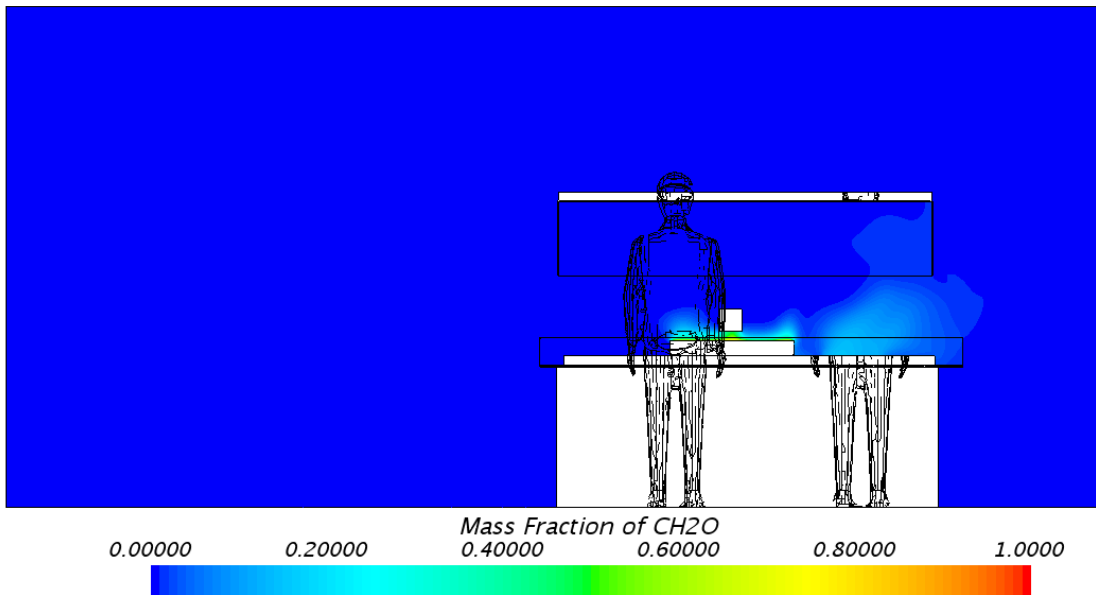


Figur 65 viser håndbevegelser og massefraksjon av formaldehyd over benken etter 0.1 sekunder.



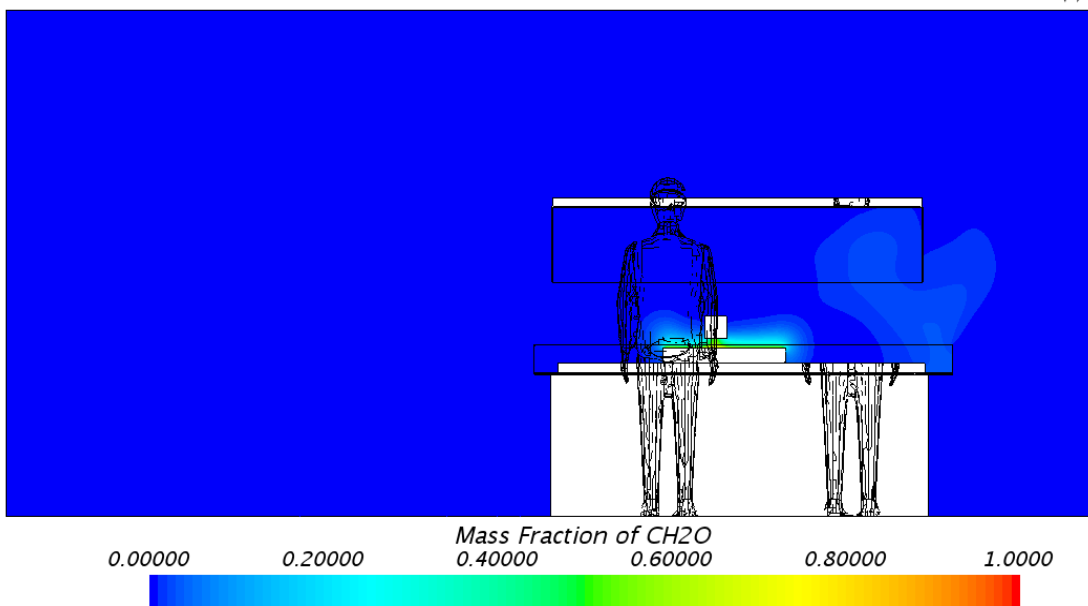
Figur 66 viser håndbevegelser og massefraksjon av formaldehyd over benken etter 2 sekunder

Solution Time 5 (s)



Figur 67 viser håndbevegelser og massefraksjon av formaldehyd over benken etter 5 sekunder

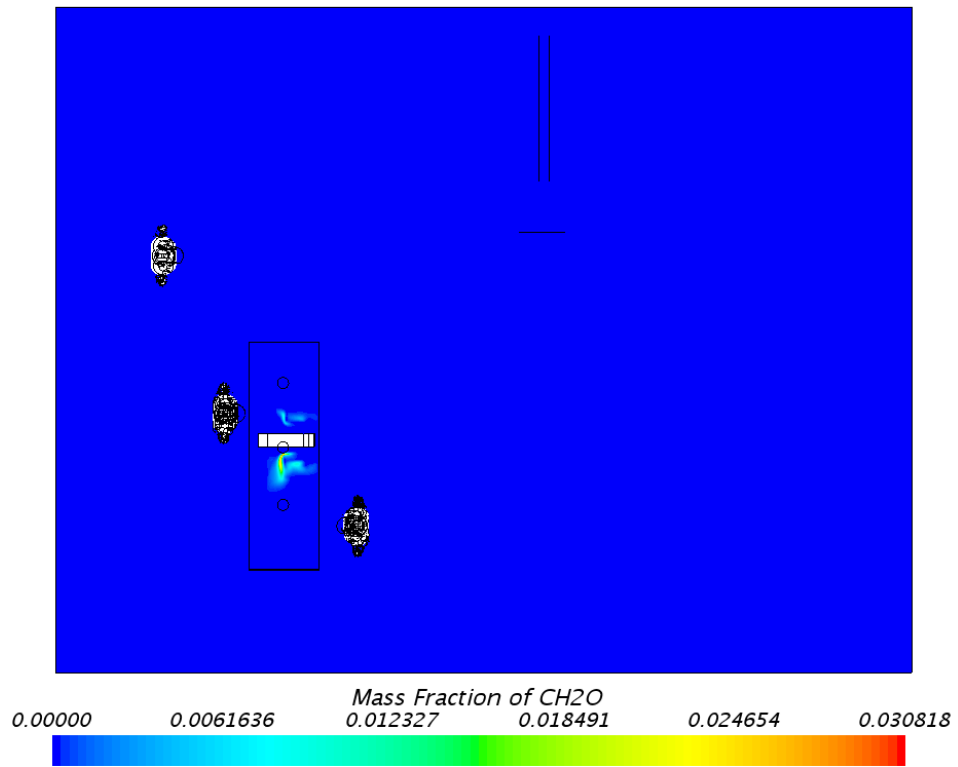
Solution Time 8 (s)



Figur 68 viser håndbevegelser og massefraksjon av formaldehyd over benken etter 8 sekunder

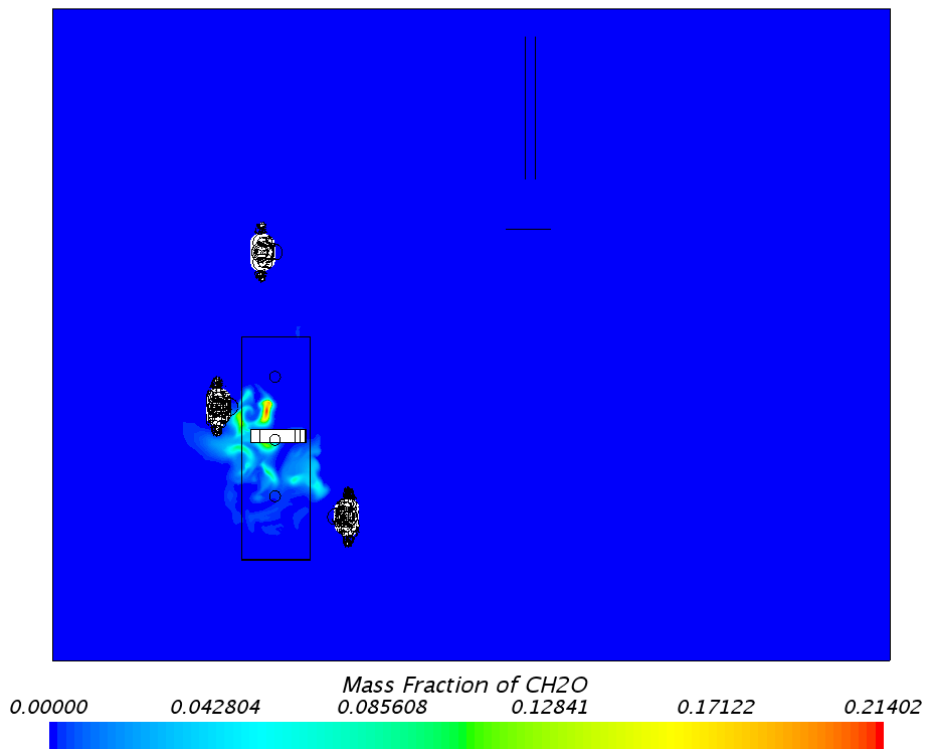
Figur 69, 70, 71 og 72 viser massefraksjon av formaldehyd over rommet. Fra figurene kan en se at forbi passering forstyrr avtrekket i hetta og drar med seg formaldehyd konsentrasjon.

Solution Time 0.1 (s)



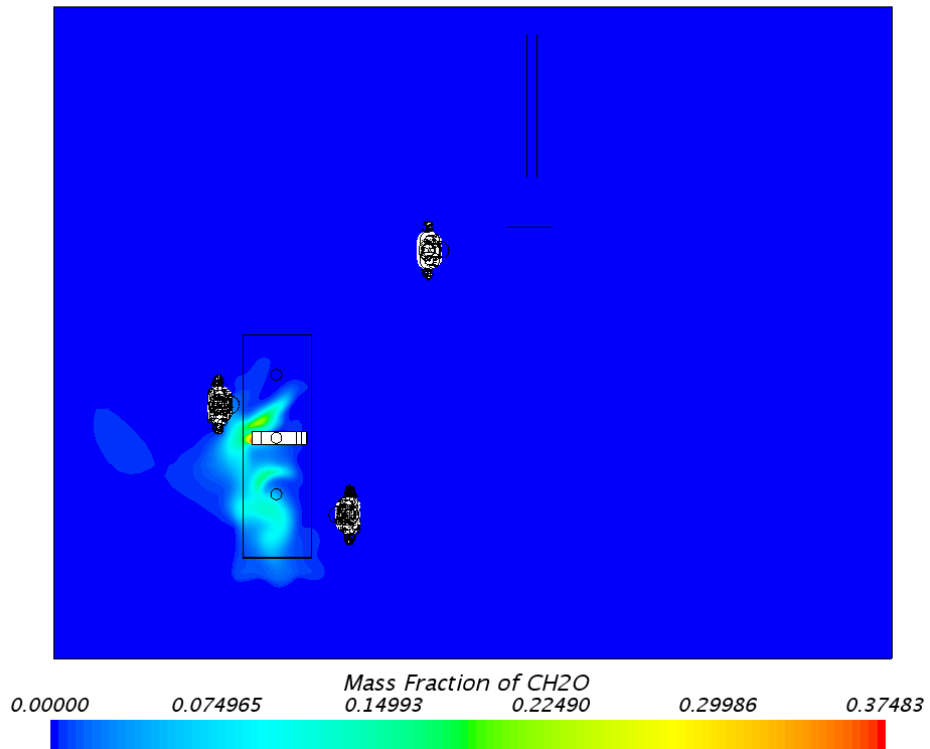
Figur 69 viser massefraksjon av formaldehyd over rommet etter 0.1 sekunder.

Solution Time 2 (s)



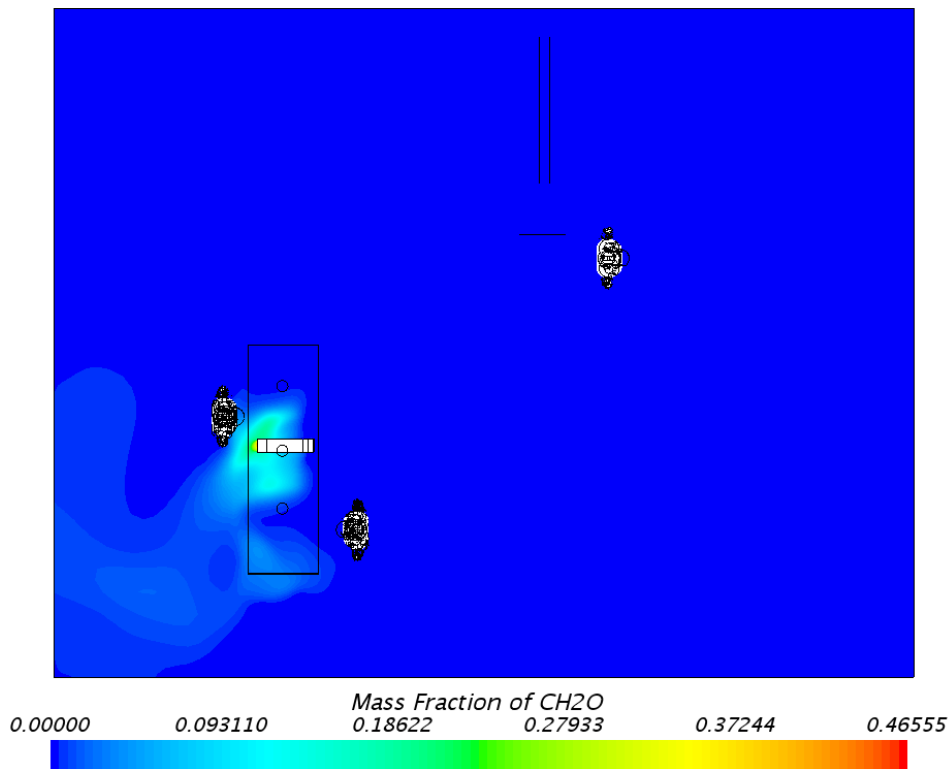
Figur 70 viser massefraksjon av formaldehyd over rommet etter 2 sekunder.

Solution Time 5 (s)



Figur 71 viser massefraksjon av formaldehyd over rommet etter 5 sekunder.

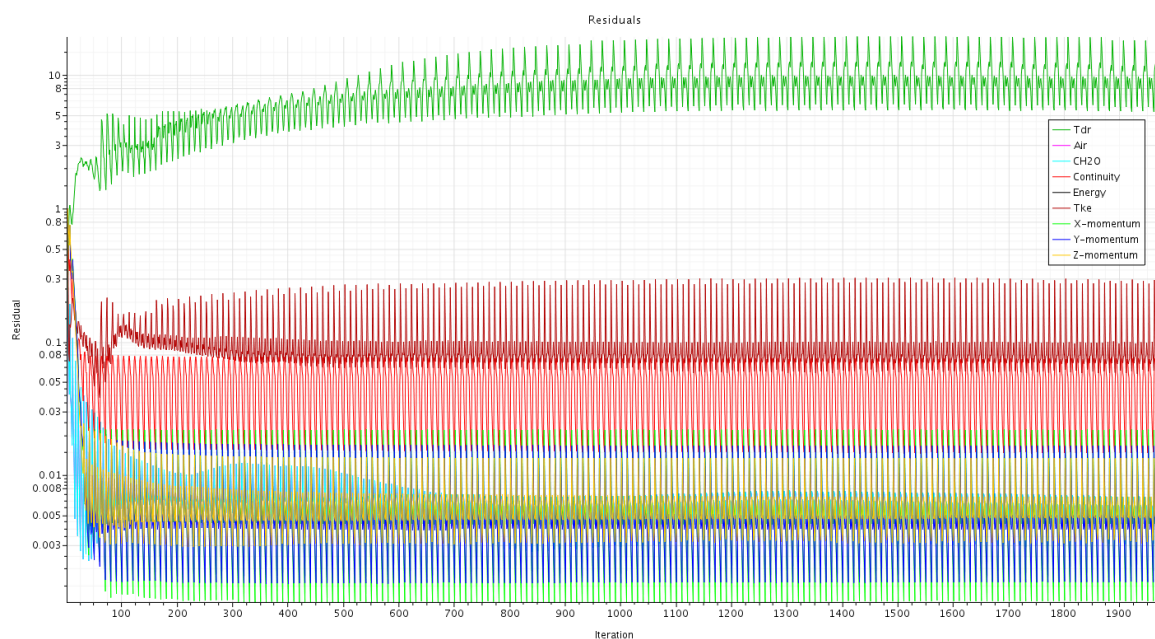
Solution Time 8 (s)



Figur 72 viser massefraksjon av formaldehyd over rommet etter 8 sekunder.

4.3 Simulering 3

Simulering 3 ble utført over 1900 iterasjoner og med et tidssteg på 0.1 sekunder og 5 indre iterasjoner som tilsvarer ca. 39 sekunder i totaltiden. Se figur 73 for residualer for simuleringen. Denne simuleringen ble utført for å sammenligne resultater fra denne simuleringen med simulering 2.



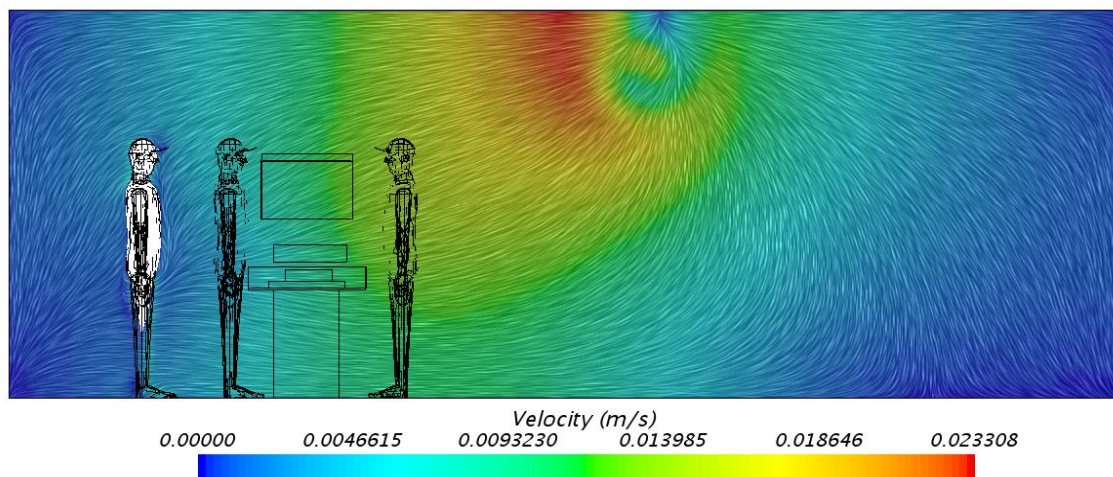
Figur 73 viser residualer for simulering 3.

Figur 73 viser at residualene flater ut og konvergerer. Fra figuren ser man at residualen for turbulensmodellen (Tdr) stiger. Med flere indre iterasjoner og ved å minske relaksasjonsfaktoren kunne man fått en bedre konvergens. På grunn av tidsrådighet ble simuleringen utført med et forsøk og 5 indre iterasjoner.

4.3.1 Fluidbevegelser

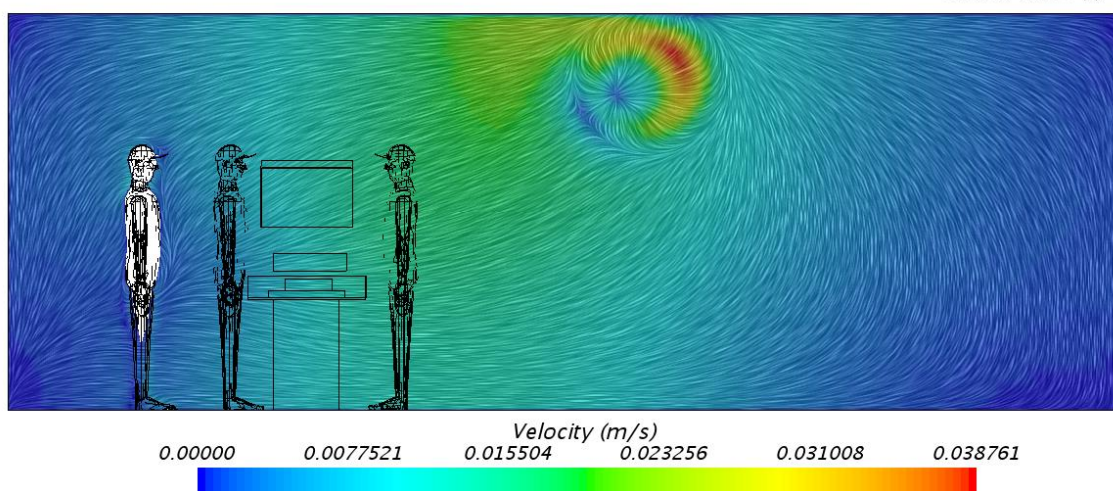
Figur 74, 75, 76 og 77 viser resultater fra fluidbevegelser etter henholdsvis 0.1, 5, 8 og 39 sekunder. Etersom det ikke er noen personer i bevegelser i rommet blir ikke strømningsforholdene påvirket her. Her vil det kun være luftbevegelser på grunn av tvungen strømminger gjennom tilluftskanal og obduksjonsbordet.

Solution Time 0.1 (s)



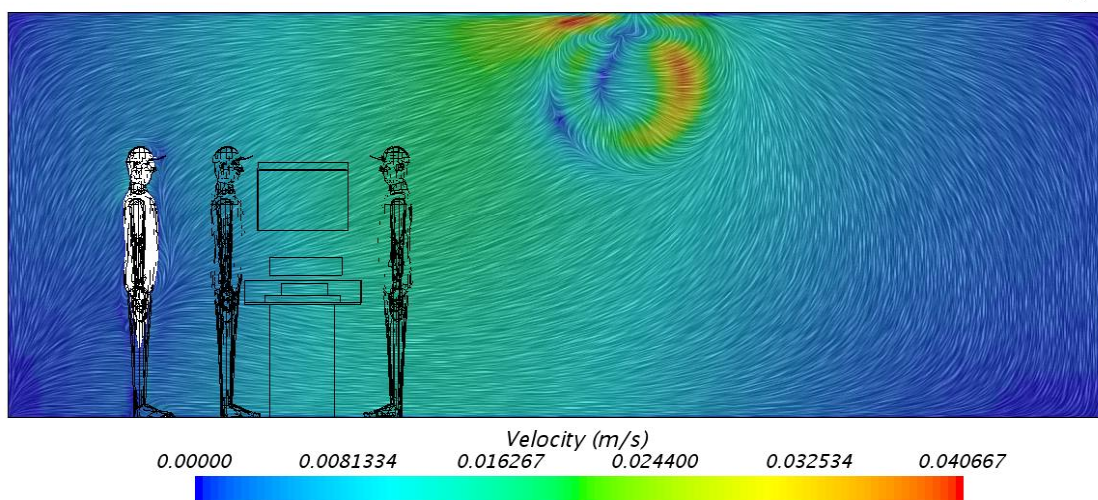
Figur 74 viser romlufta etter 0.1 sekunder.

Solution Time 5 (s)



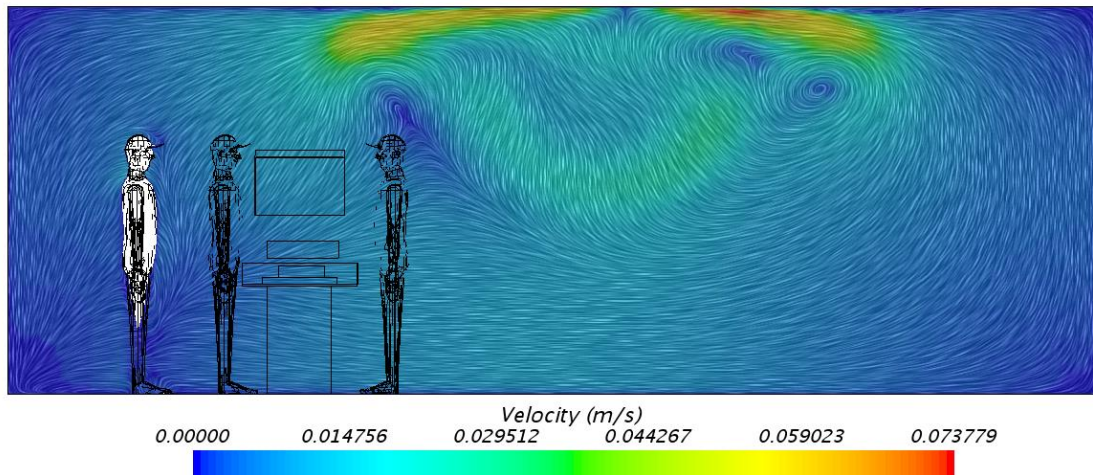
Figur 75 viser romlufta etter 5 sekunder.

Solution Time 8 (s)



Figur 76 viser romlufta etter 8 sekunder.

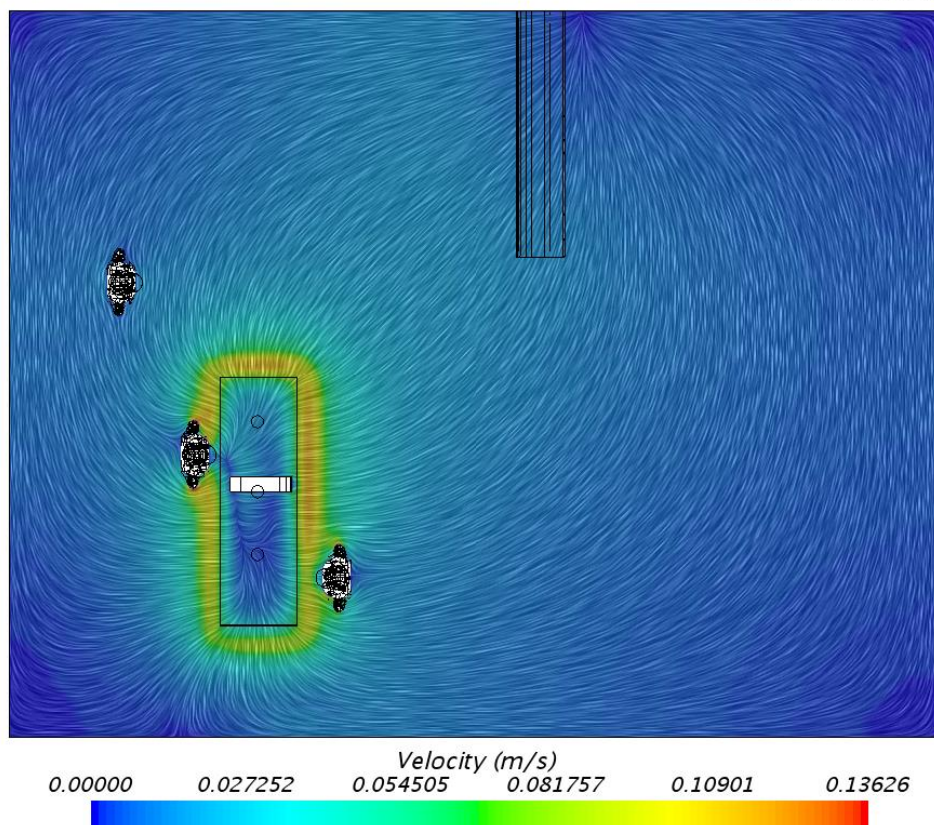
Solution Time 39 (s)



Figur 77 viser romlufta etter 39.6 sekunder.

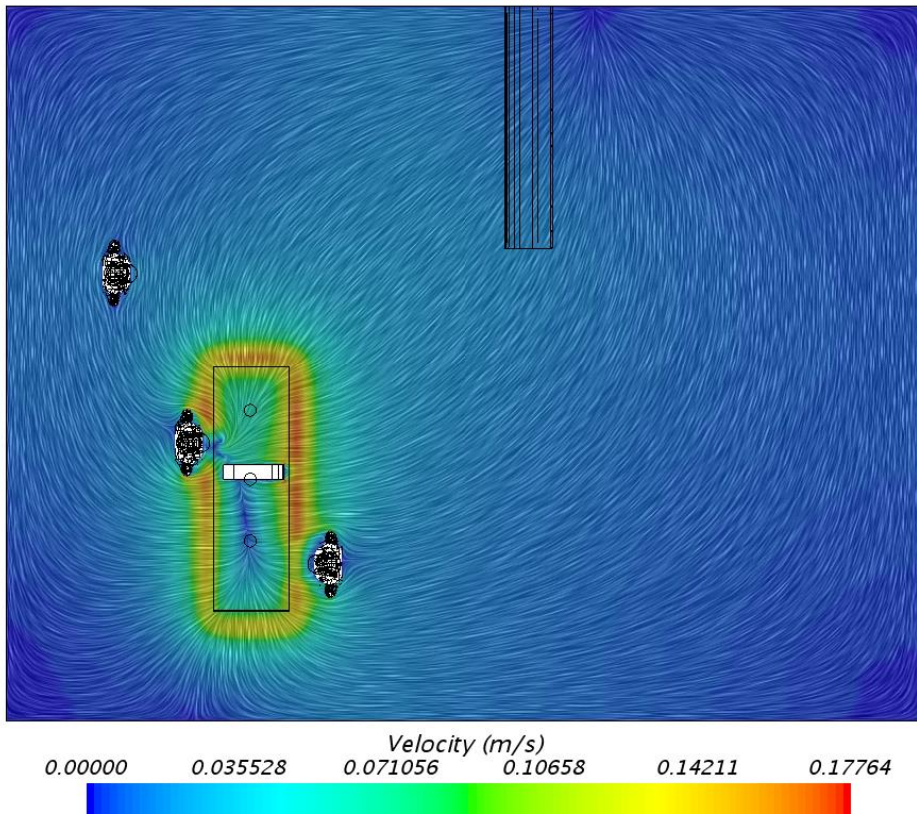
Figur 78, 79, 80 og 81 viser luftstrømninger over rommet. Her kan man se at strømningsforholdet ikke blir påvirket ettersom det ikke er noen mennesker bevegelser i rommet.

Solution Time 0.1 (s)



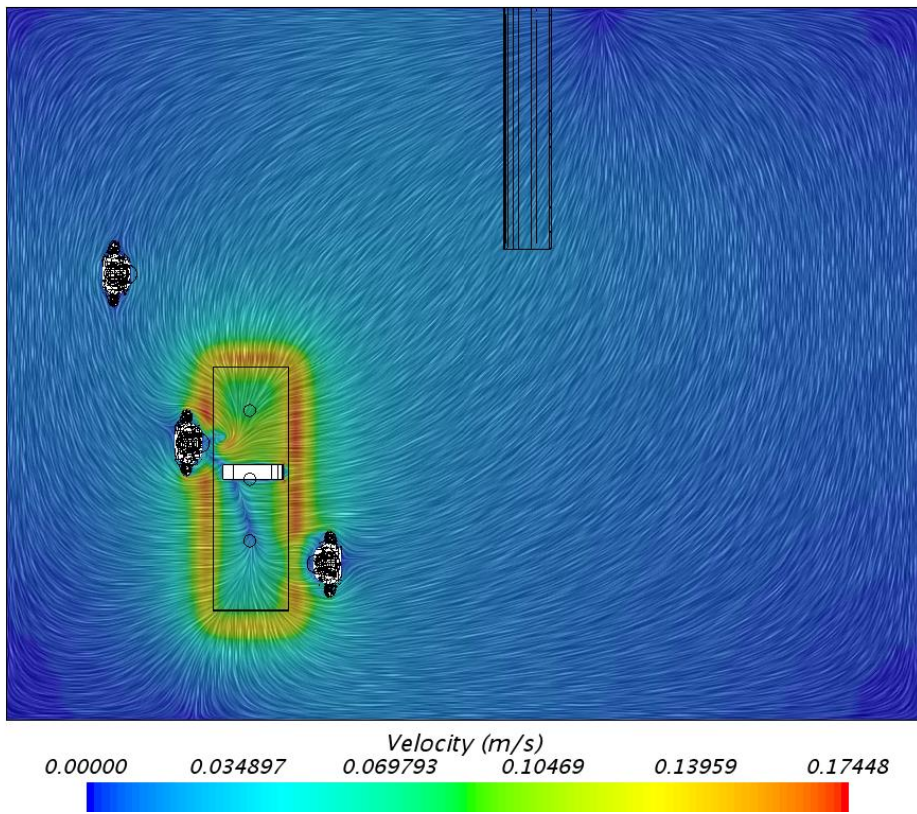
Figur 78 viser luftstrømninger over rommet etter 0.1 sekunder.

Solution Time 5 (s)



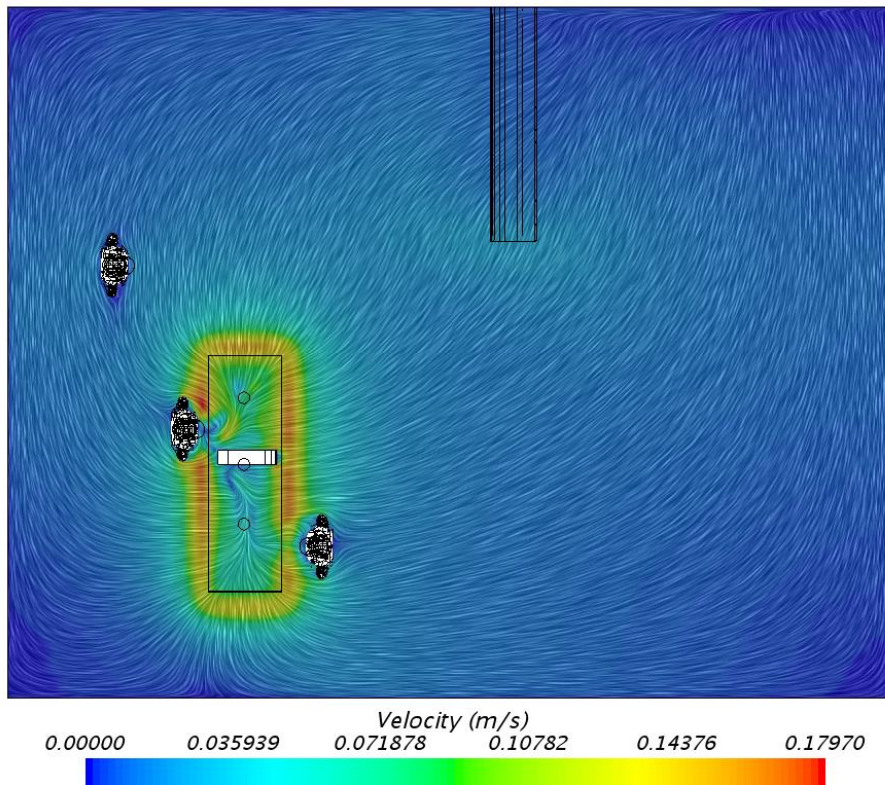
Figur 79 viser luftstrømninger over rommet etter 5 sekunder.

Solution Time 8 (s)



Figur 80 viser luftstrømninger over rommet etter 8 sekunder.

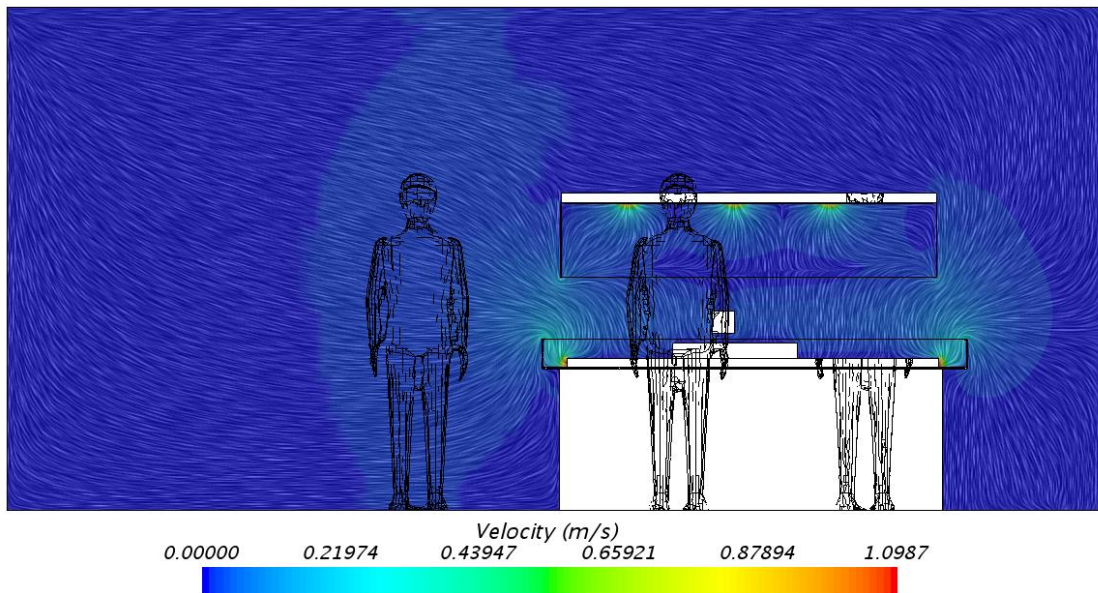
Solution Time 39 (s)



Figur 81 viser luftstrømninger over rommet etter 39.6 sekunder.

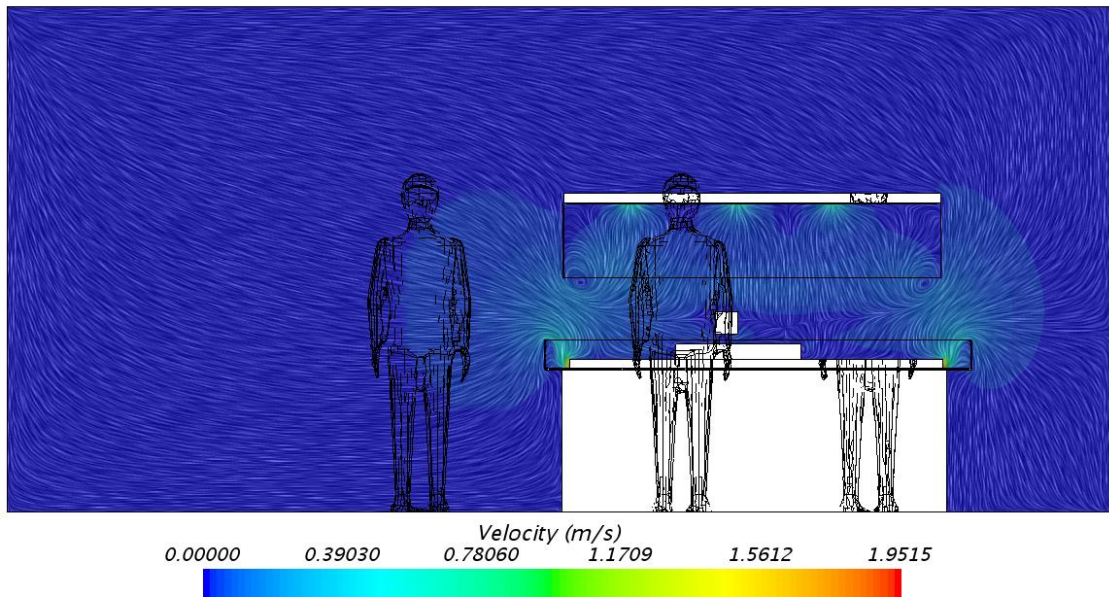
Figur 82, 83, 84 og 85 viser strømningsforholdet rundt obduksjonsbenken.

Solution Time 0.1 (s)



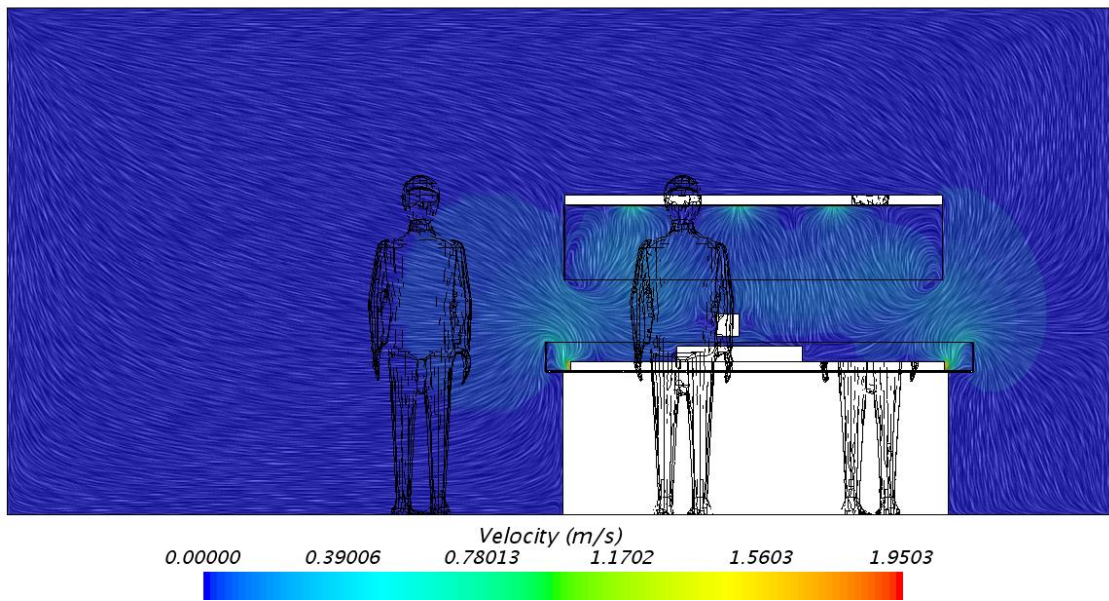
Figur 82 viser strømningsforholdet rundt obduksjonsbenken etter 0.1 sekunder.

Solution Time 5 (s)



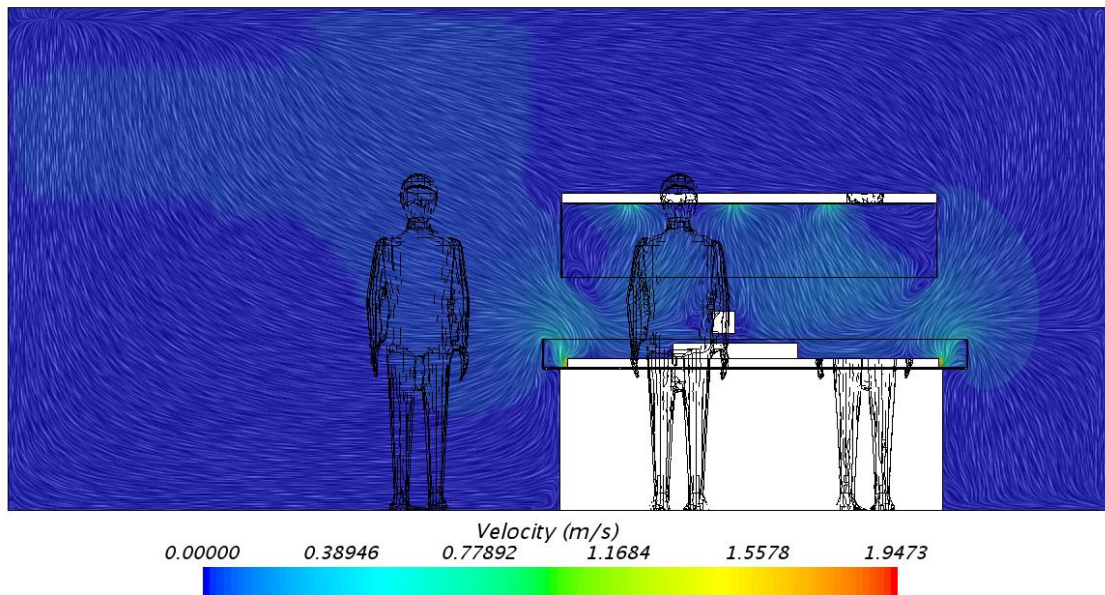
Figur 83 viser strømningsforholdet rundt obduksjonsbenken etter 5 sekunder.

Solution Time 8 (s)



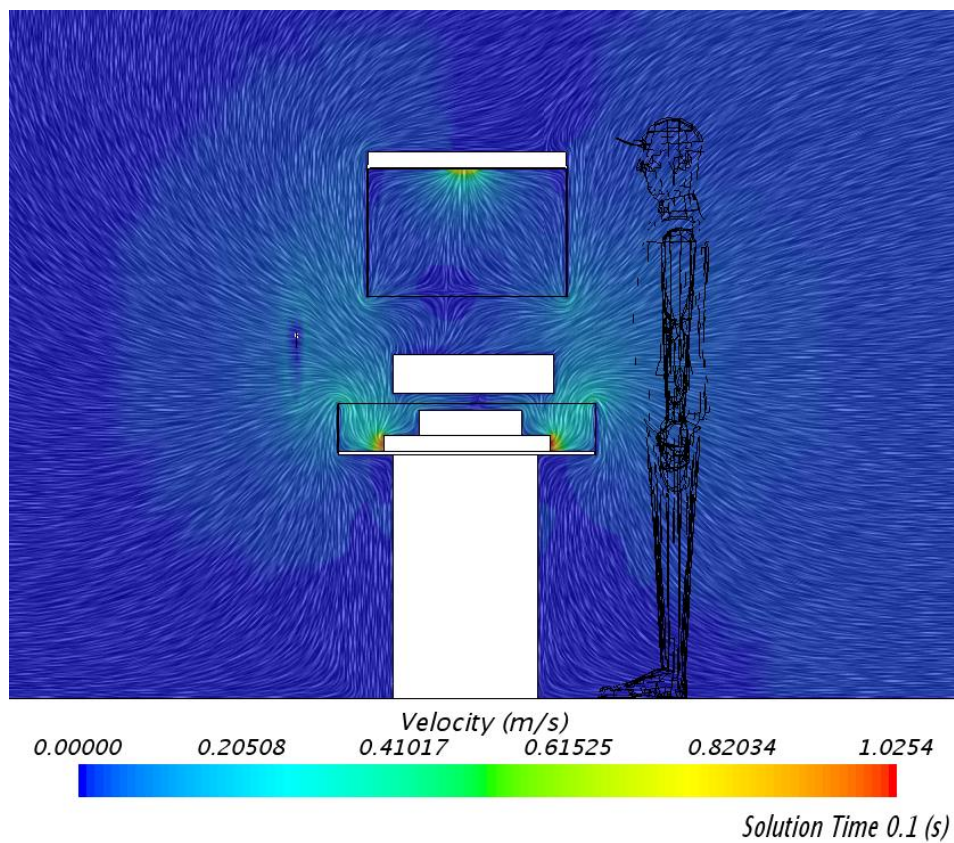
Figur 84 viser strømningsforholdet rundt obduksjonsbenken etter 8 sekunder.

Solution Time 39 (s)

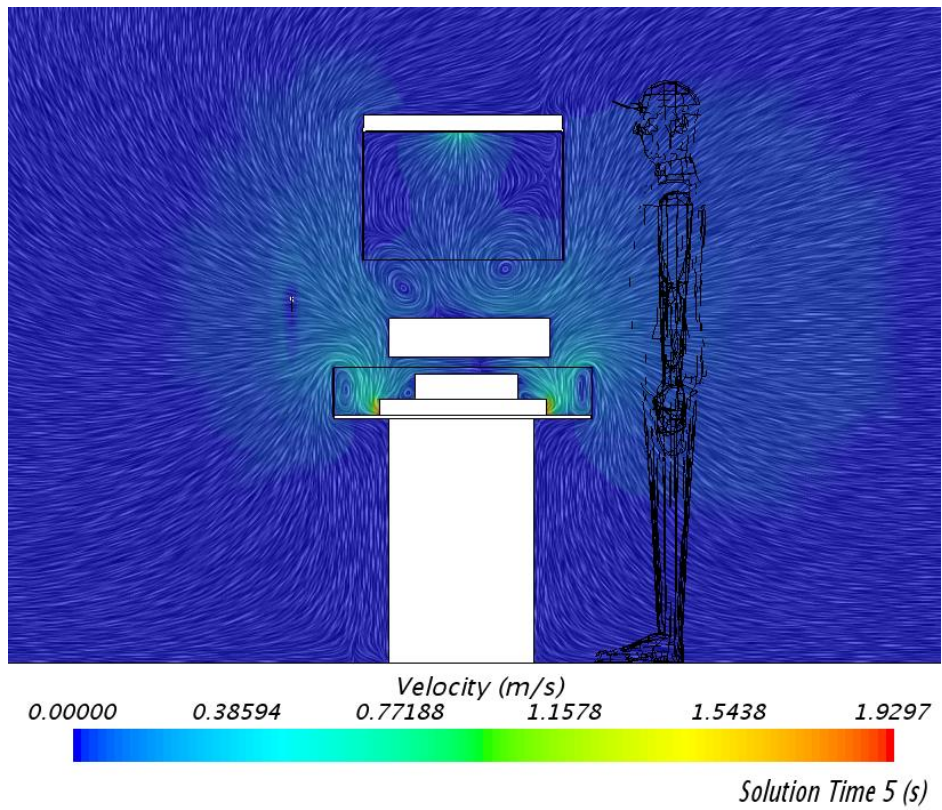


Figur 85 viser strømningsforholdet rundt obduksjonsbenken etter 39.5 sekunder.

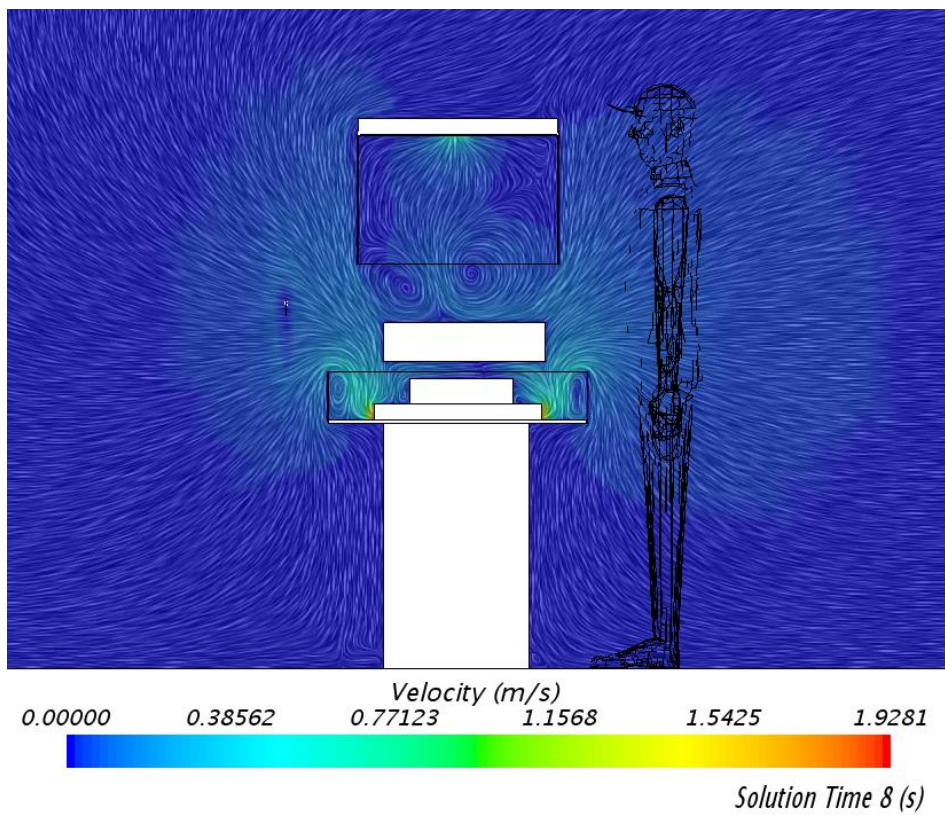
Figur 86, 87, 88, og 89 viser strømningsforholdet rundt obduksjonsbenken fra siden.



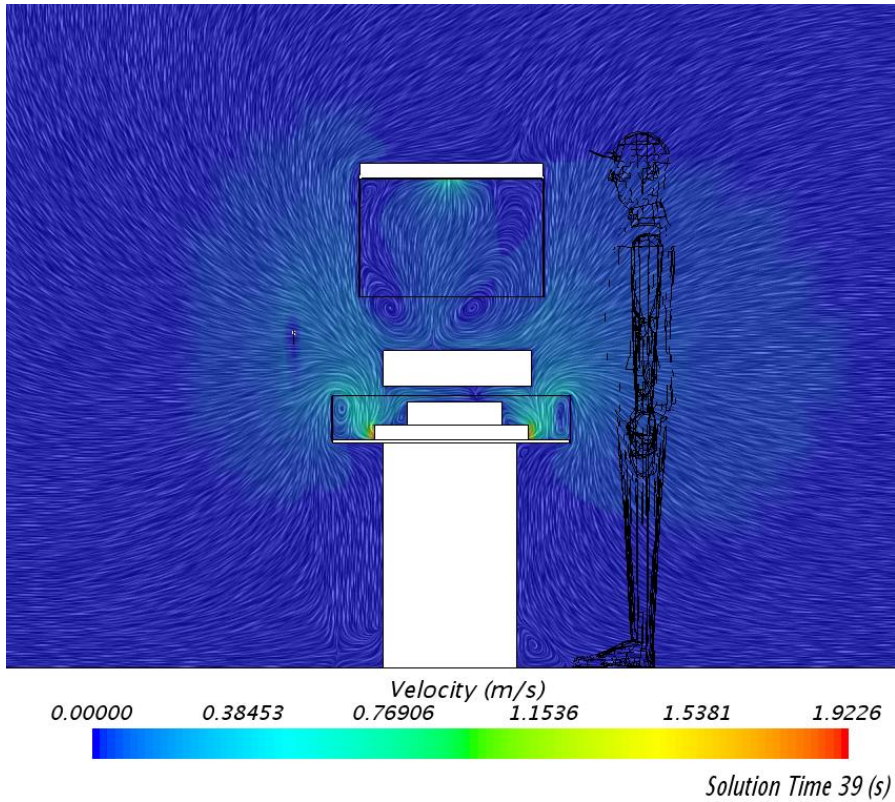
Figur 86 viser strømningsforholdet rundt obduksjonsbenken fra siden etter 0.1 sekunder.



Figur 87 viser strømningsforholdet rundt obduksjonsbenken fra siden etter 5 sekunder.

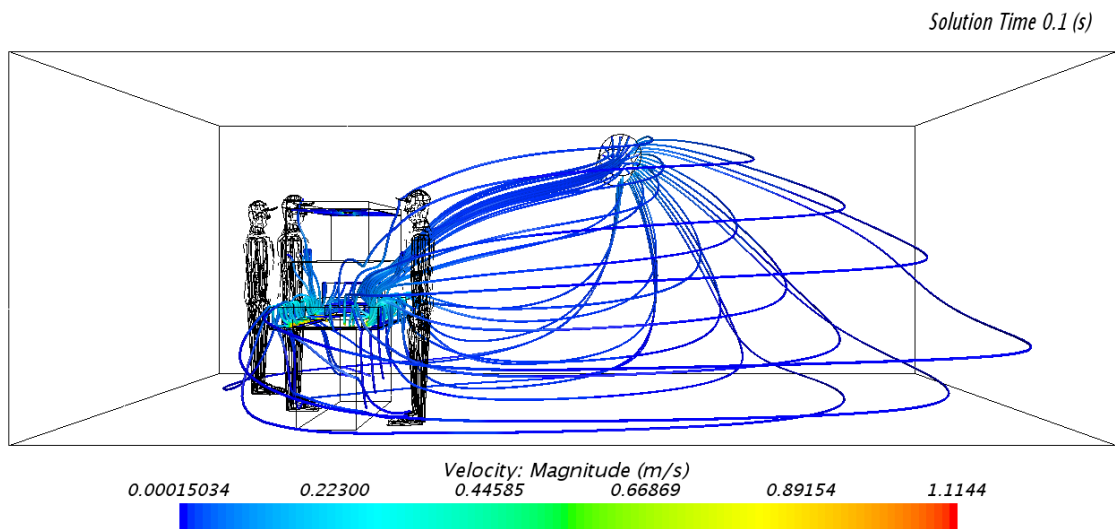


Figur 88 viser strømningsforholdet rundt obduksjonsbenken fra siden etter 8 sekunder.



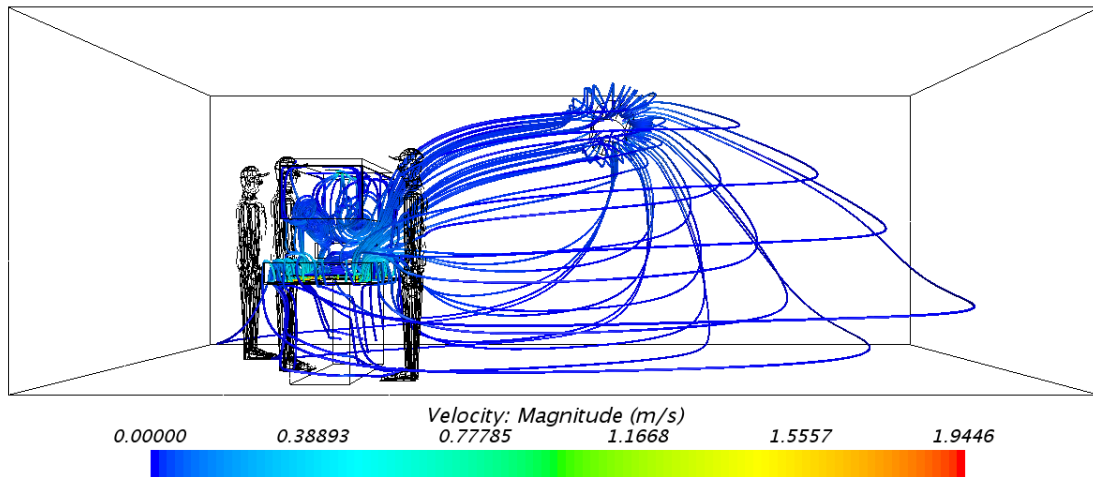
Figur 89 viser strømningsforholdet rundt obduksjonsbenken fra siden etter 39.5 sekunder.

Figur 90, 91, 92 og 93 viser streamline i rommet fra siden.



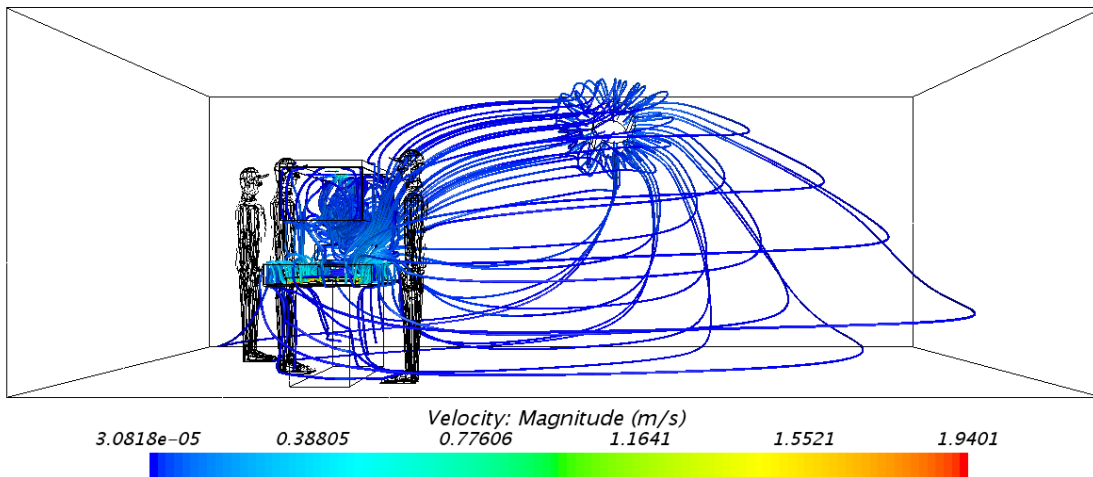
Figur 90 viser streamline i rommet fra siden etter 0.1 sekunder.

Solution Time 5 (s)



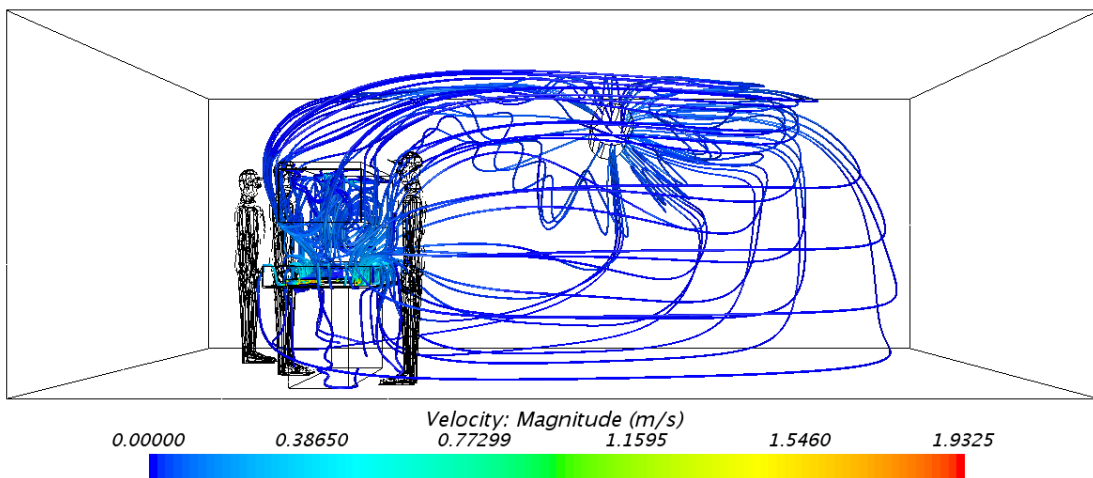
Figur 91 viser streamline i rommet fra siden etter 5 sekunder.

Solution Time 8 (s)



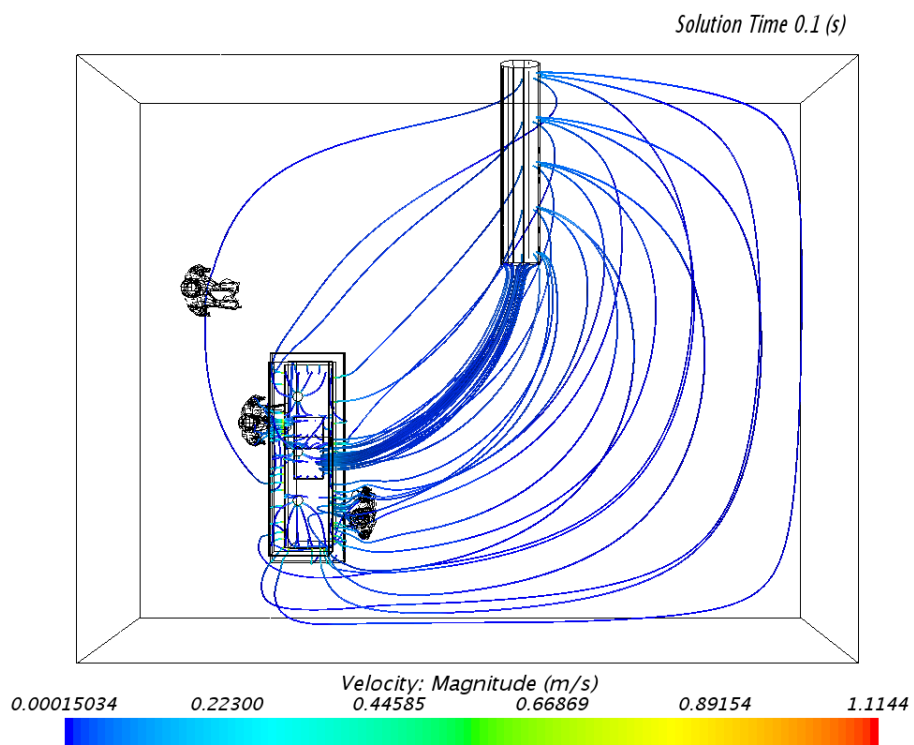
Figur 92 viser streamline i rommet fra siden etter 8 sekunder.

Solution Time 39 (s)

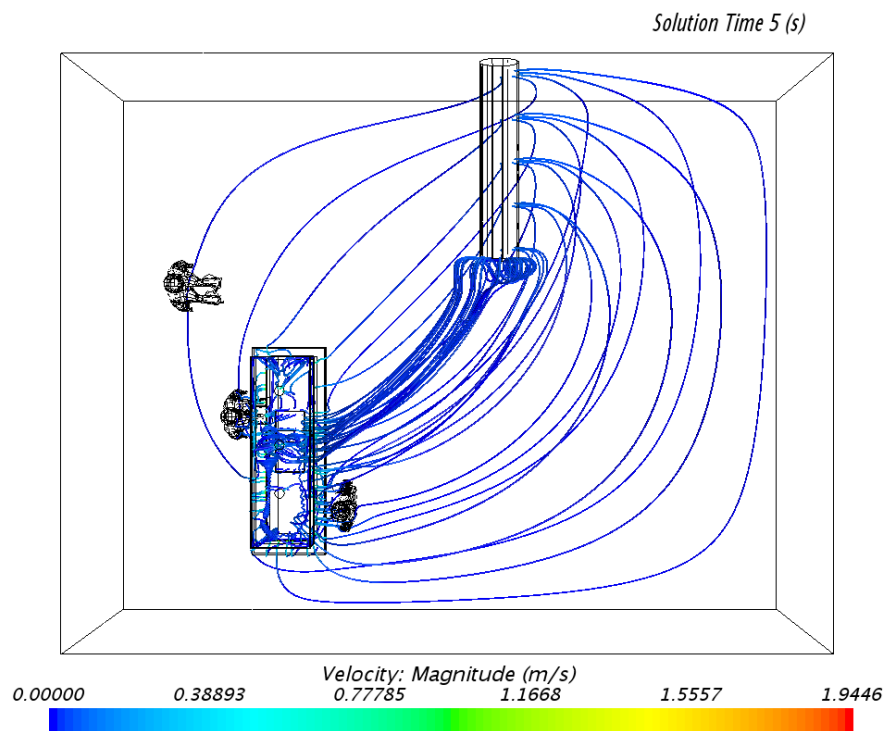


Figur 93 viser streamline i rommet fra siden etter 39,6 sekunder.

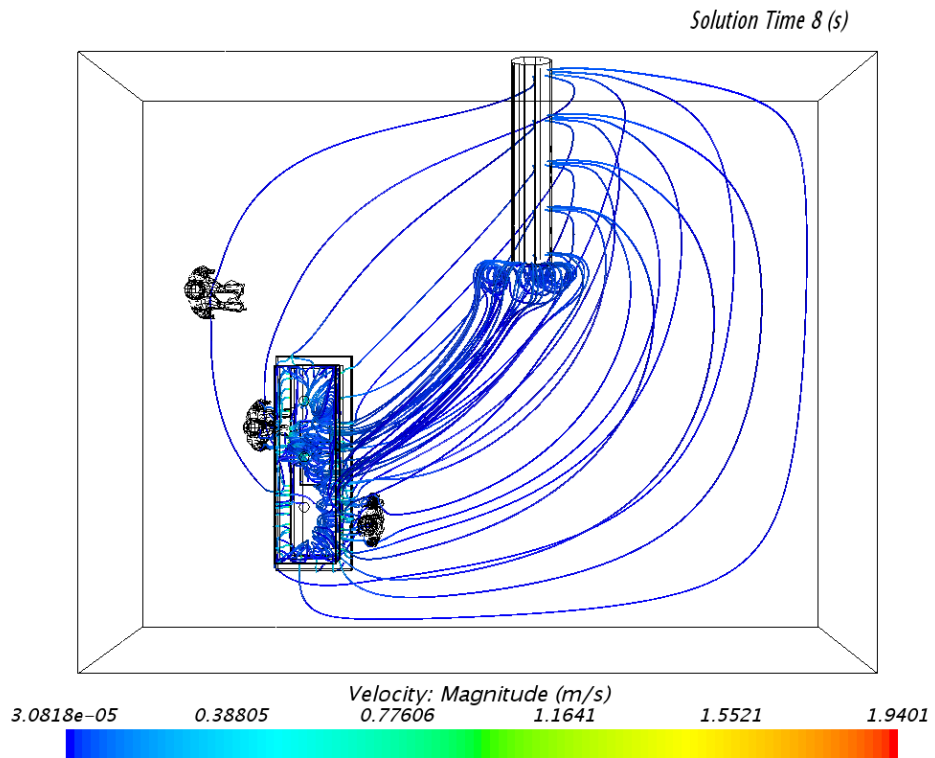
Figur 94, 95, 96 og 97 viser streamline over rommet. Dette kan være nyttig verktøy hvis man skal prosjektere plassering av ventilasjon i slike rom for å se på strømningsforholdene.



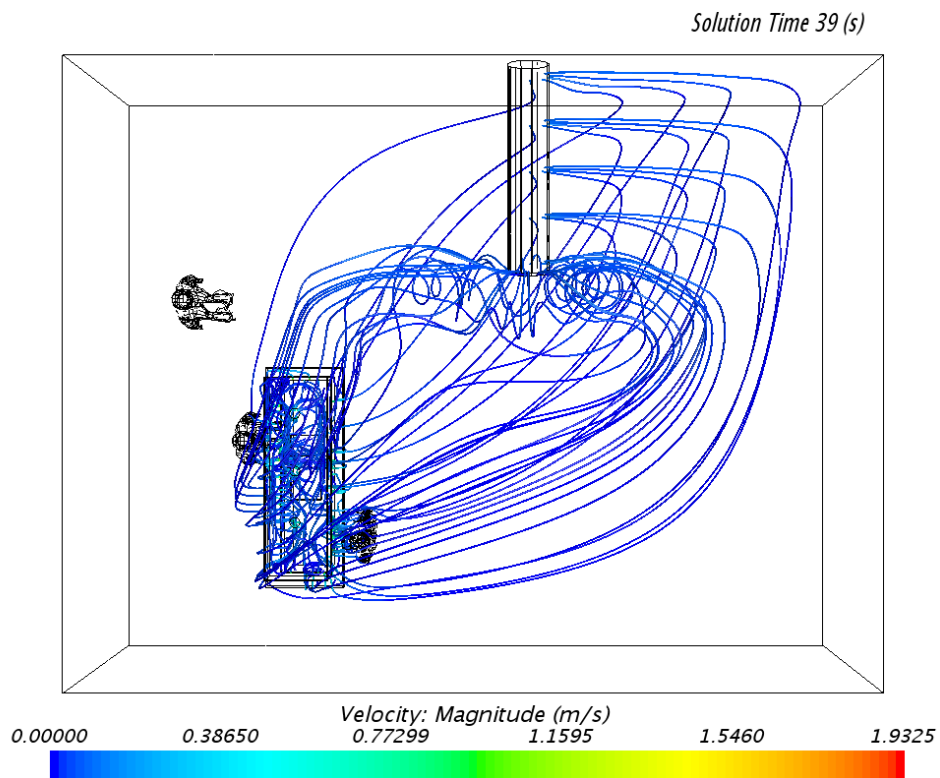
Figur 94 viser streamline over rommet etter 0.1 sekunder.



Figur 95 viser streamline i rommet fra siden etter 5 sekunder.

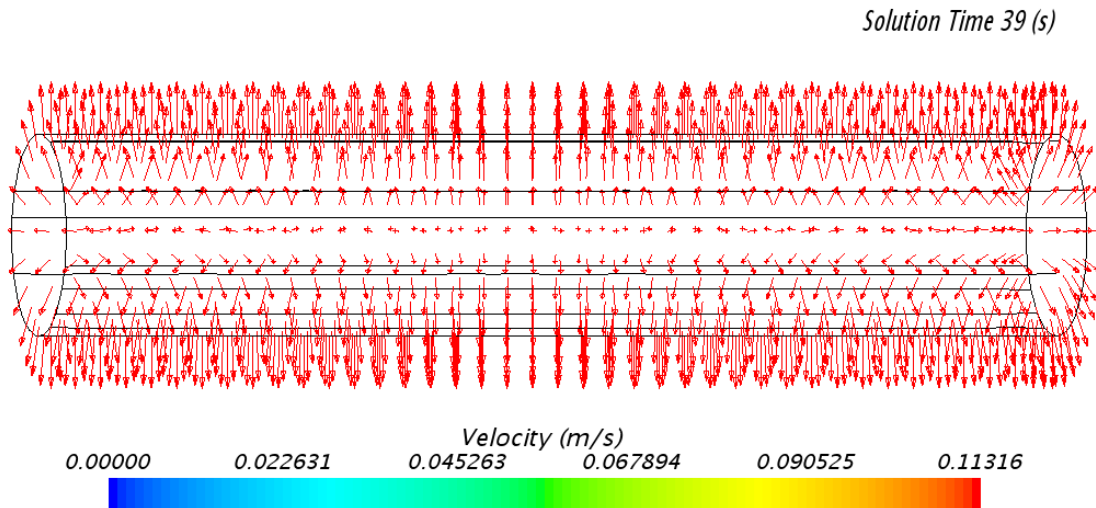


Figur 96 viser streamline i rommet fra siden etter 8 sekunder.



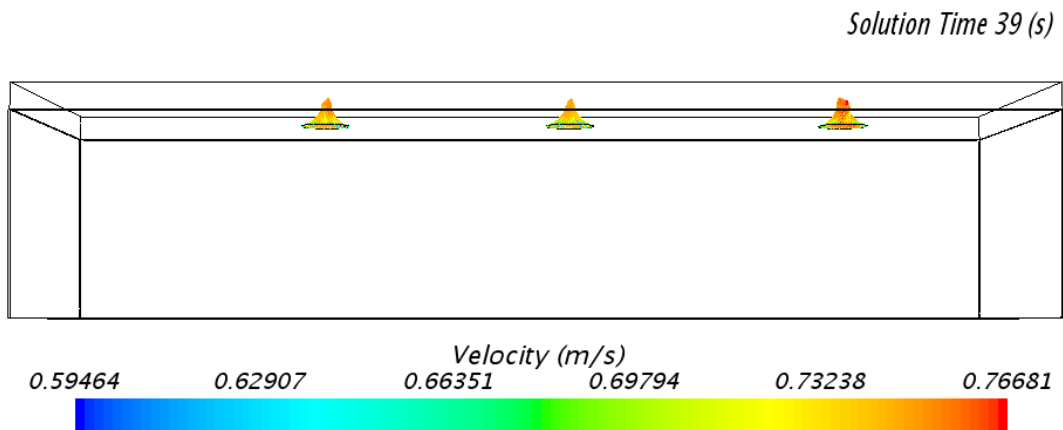
Figur 97 viser streamline i rommet fra siden etter 39.6 sekunder.

Figur 98 viser tilluftskanalen som er modellert i simuleringen. Figuren viser at modellen stemmer med virkelig tilluftskanal og at hastigheten stemmer med det som er beregnet i vedlegg 1.

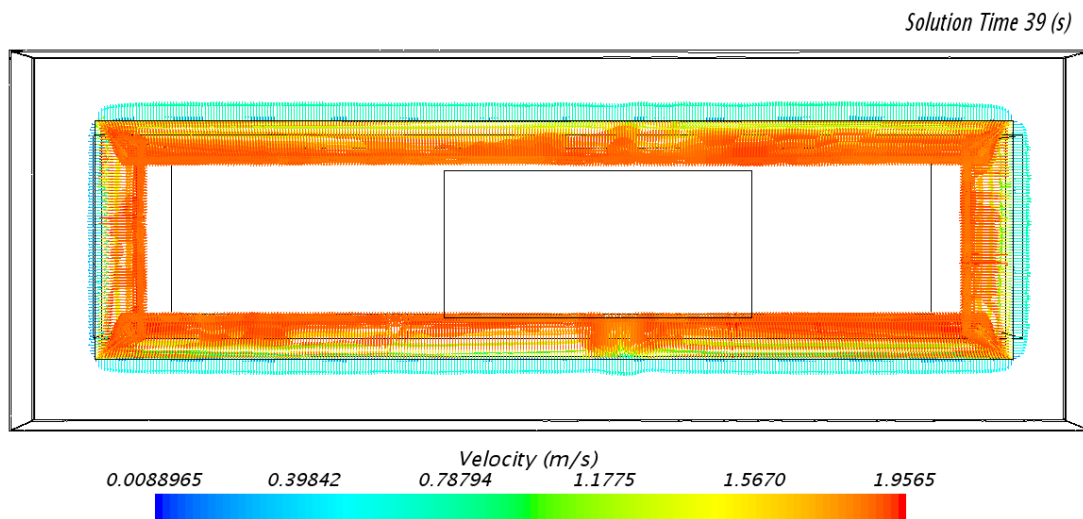


Figur 98 viser tilluftskanalen.

Figur 99 og 100 viser avtrekkshetta og i nedtrekksbenken som er simulert i beregningsprogrammet. Fra figurene kan man se at strømningsretningen i avtrekkshetta og nedtrekksbenken er riktig modellert.



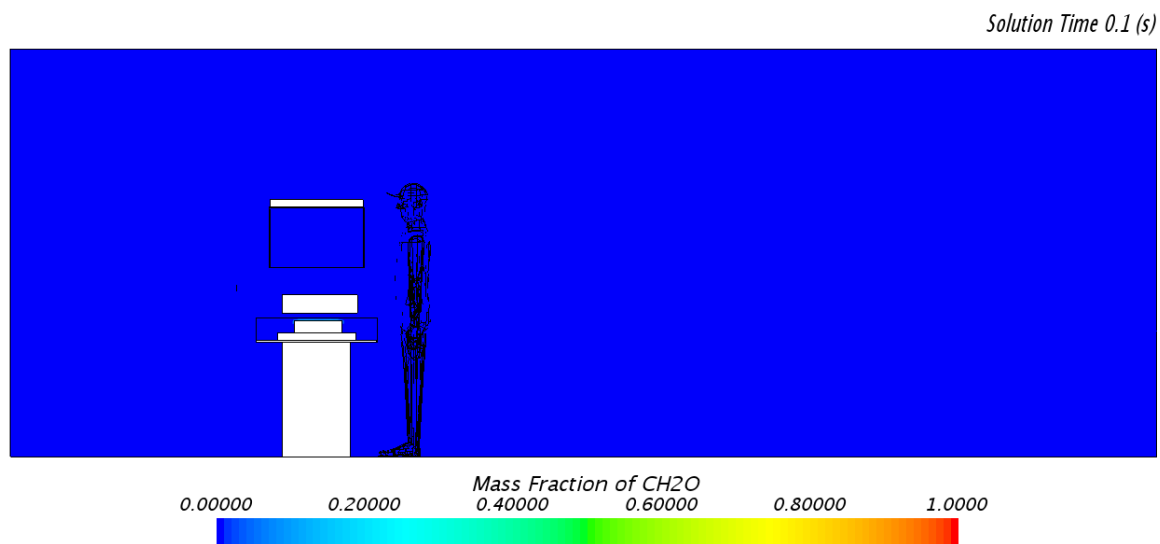
Figur 99 viser avtrekkshetta.



Figur 100 viser nedtrekksbenken.

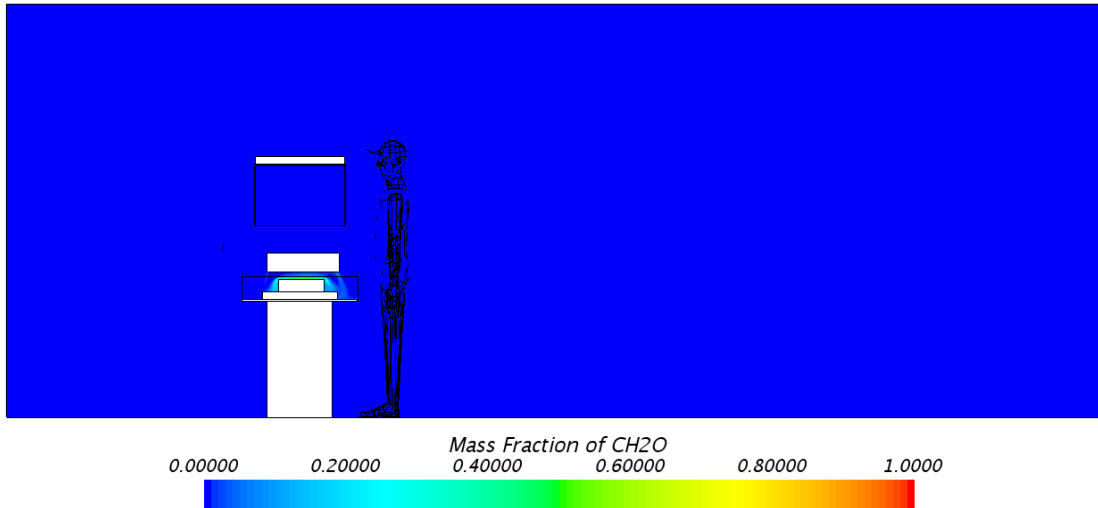
4.3.2 Massefraksjon av formaldehyd

Figur 101, 102, 103 og 104 viser massefraksjon av formaldehyd henholdsvis etter 0.1, 5, 8 og 39.6 sekunder. Fra resultater kan man se at konsentrasjon av formaldehyd ikke blir ført ut fra obduksjonsbordet til romlufta og at avtrekksheitta og nedtrekksbenken klarer å trekke alt.



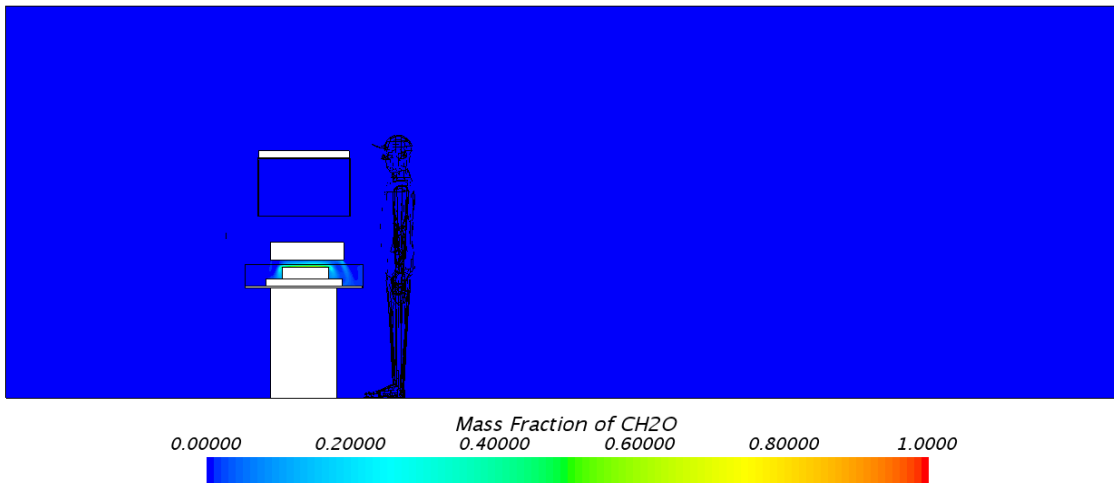
Figur 101 viser massefraksjon av formaldehyd etter 0.1 sekunder.

Solution Time 5 (s)



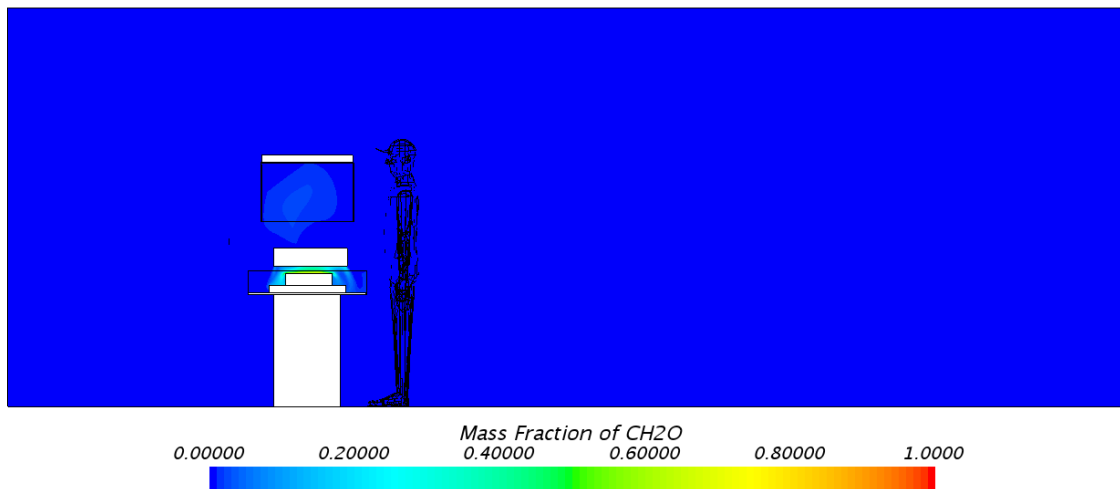
Figur 102 viser massefraksjon av formaldehyd etter 5 sekunder.

Solution Time 8 (s)



Figur 103 viser massefraksjon av formaldehyd etter 8 sekunder.

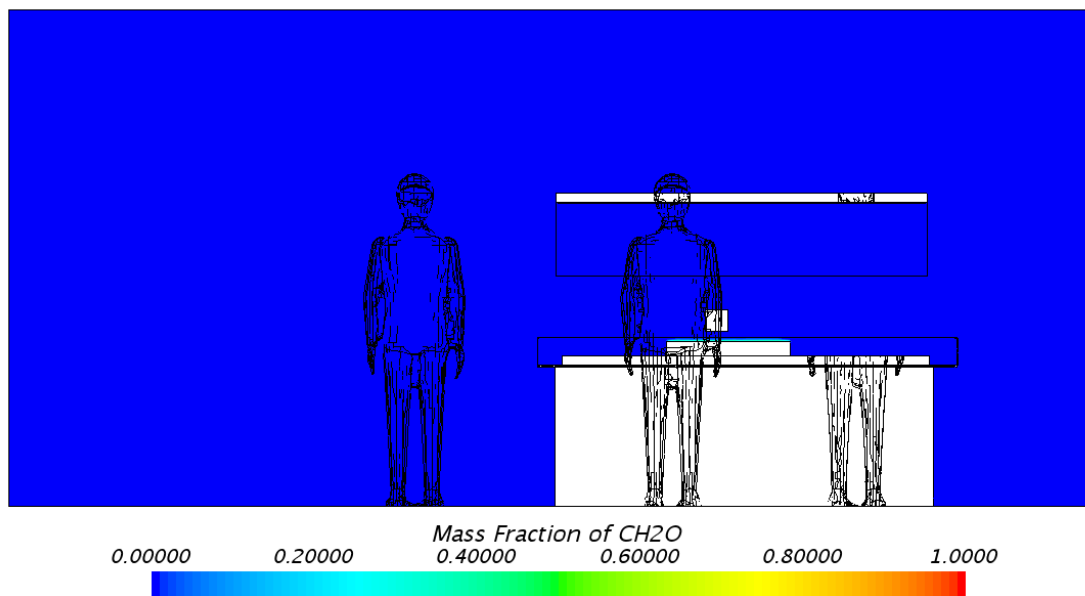
Solution Time 39 (s)



Figur 104 viser massefraksjon av formaldehyd etter 39.5 sekunder.

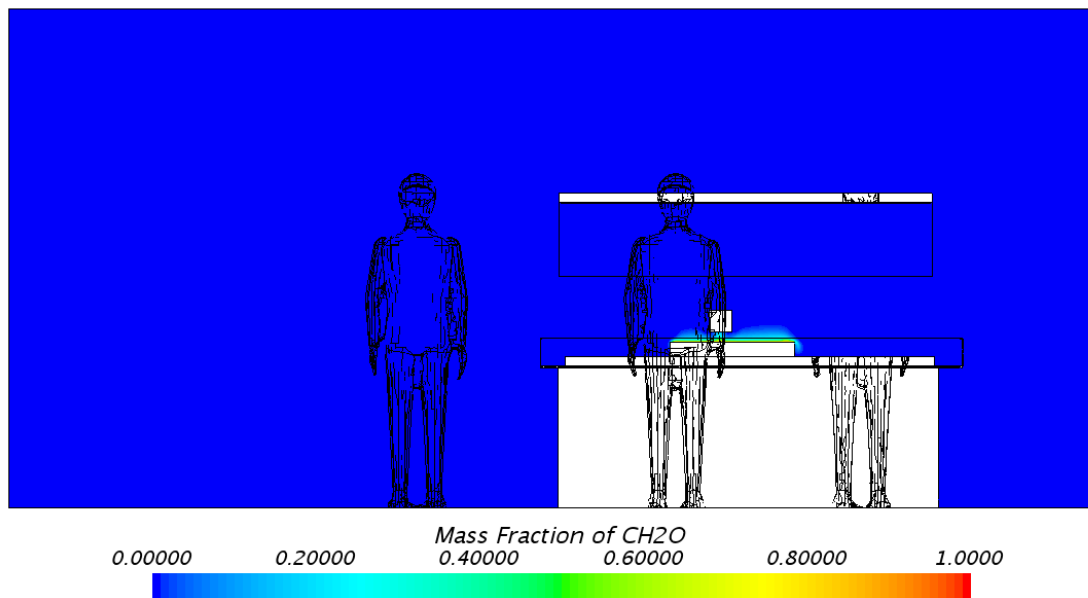
Figur 105, 106, 107 og 108 viser massefraksjon av formaldehyd. Fra figurene kan man se at avtrekkshetta og nedtrekksbenken klarer å trekke alt av formaldehyd konsentrasjonen og hindrer at den blir ført ut fra benken.

Solution Time 0.1 (s)



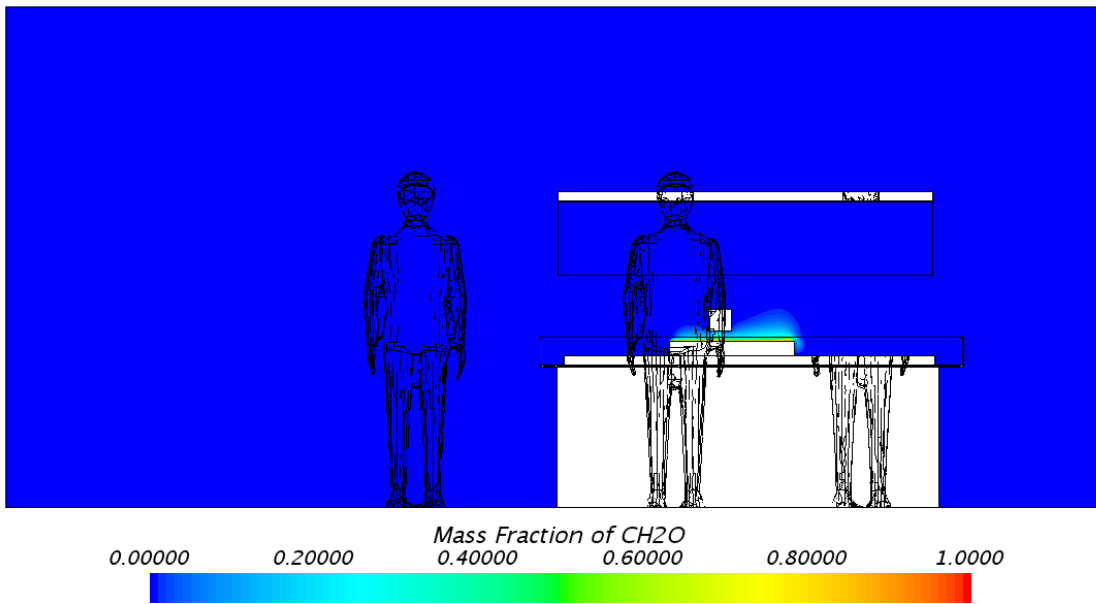
Figur 105 viser massefraksjon av formaldehyd etter 0.1 sekunder.

Solution Time 5 (s)



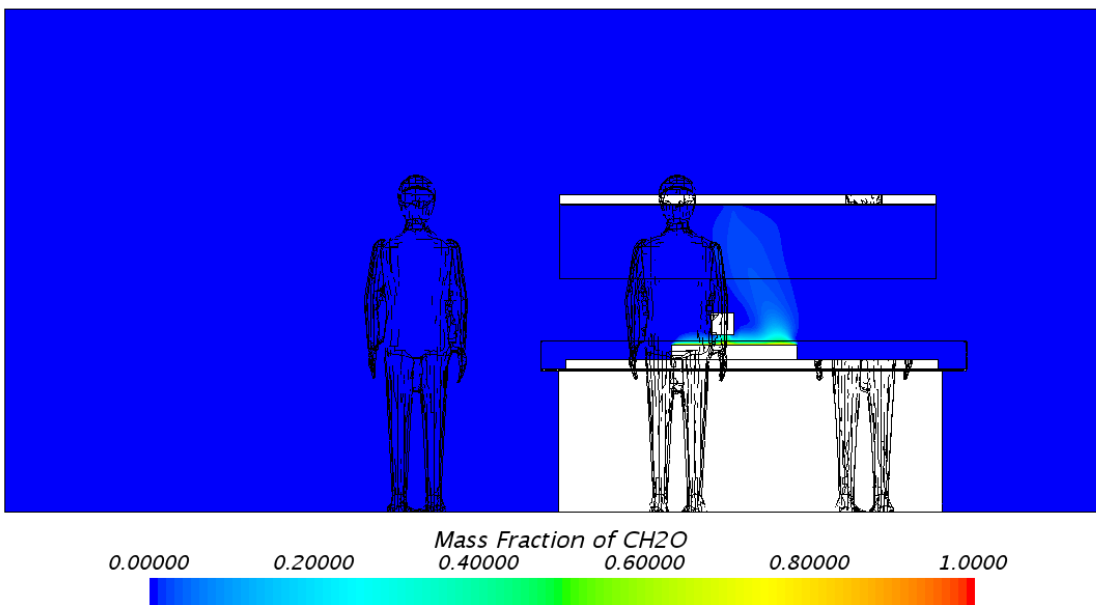
Figur 106 viser massefraksjon av formaldehyd etter 5 sekunder.

Solution Time 8 (s)



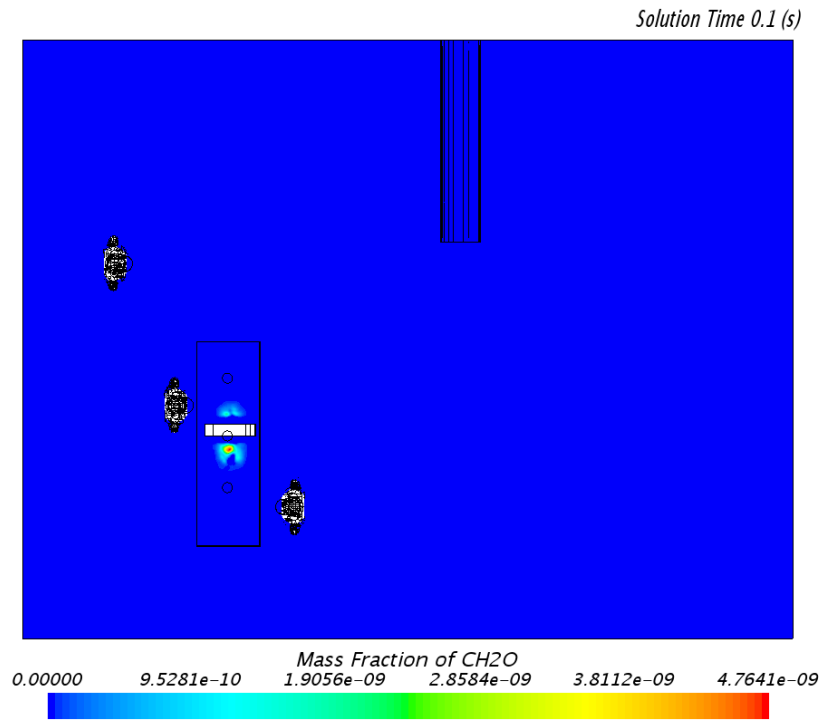
Figur 107 viser massefraksjon av formaldehyd etter 8 sekunder.

Solution Time 39 (s)

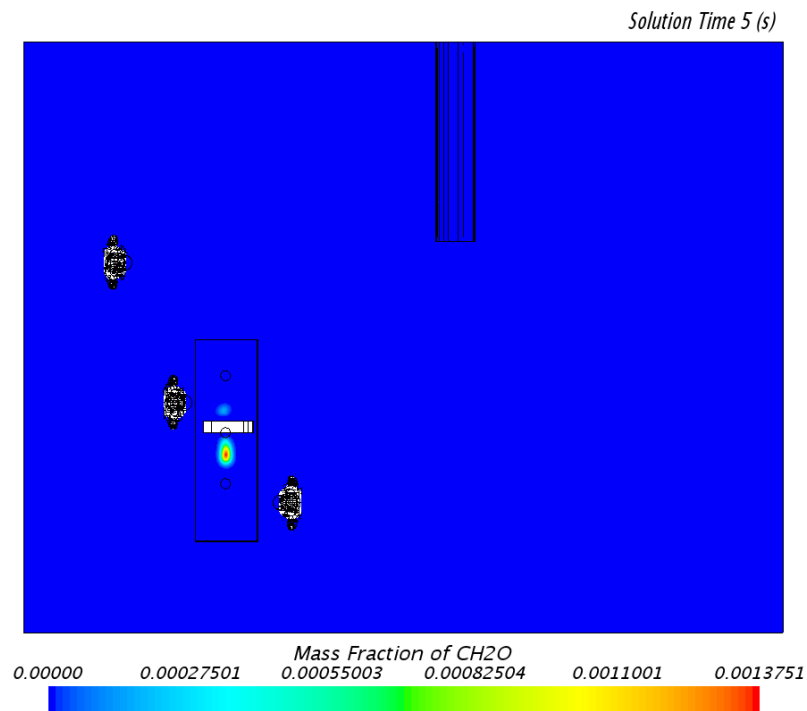


Figur 108 viser massefraksjon av formaldehyd etter 39,5 sekunder.

Figur 109, 110, 111 og 112 viser massefraksjon av formaldehyd over rommet. Fra figuren kan man se at ettersom alle personer i rommet står i ro, blir ikke avtrekket i hetta og nedtrekksbenken forstyrt. Dermed fungerer avtrekket som den skal og klarer å trekke alt av formaldehyd konsentrasjonen.

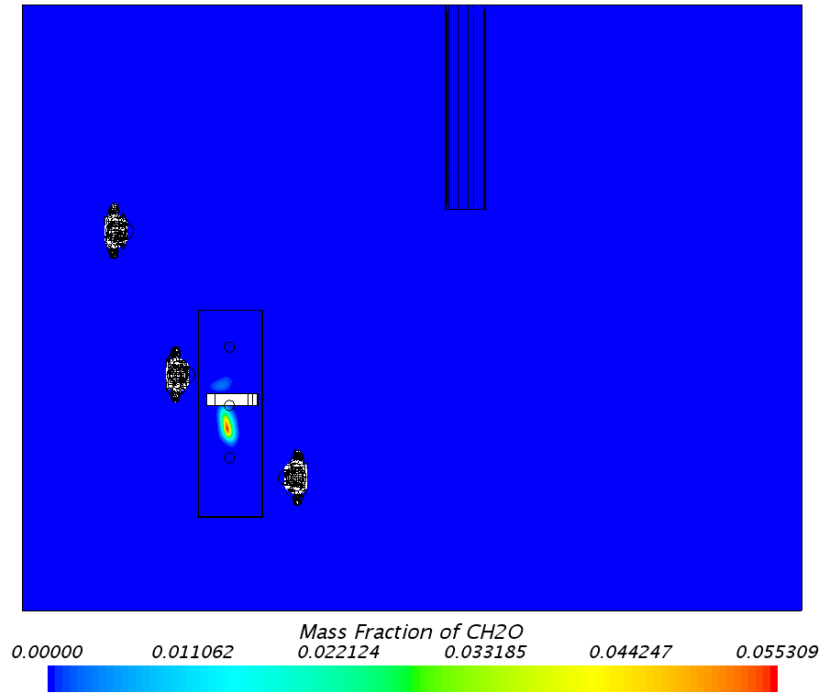


Figur 109 viser massefraksjon av formaldehyd over rommet etter 0.1 sekunder.



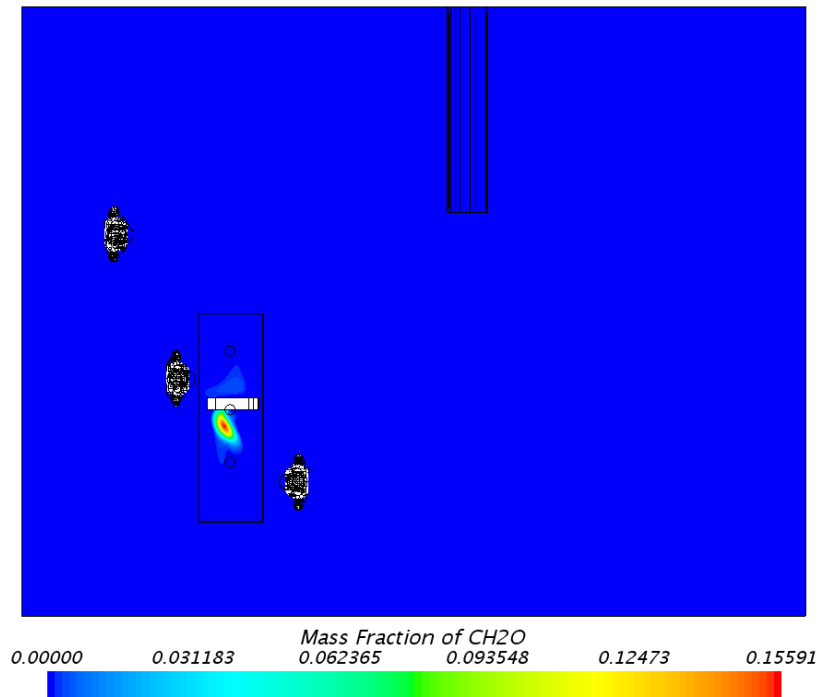
Figur 110 viser massefraksjon av formaldehyd over rommet etter 5 sekunder.

Solution Time 8 (s)



Figur 111 viser massefraksjon av formaldehyd over rommet etter 8 sekunder.

Solution Time 39 (s)



Figur 112 viser massefraksjon av formaldehyd over rommet etter 39.5 sekunder.

5 Diskusjon

5.1 Programmet STAR CCM⁺ og CFD-beregninger

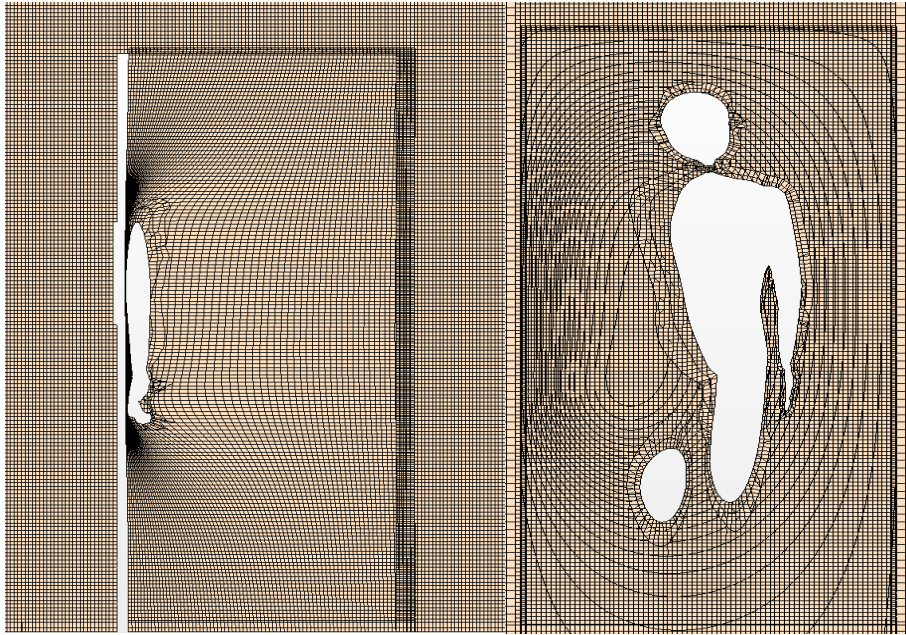
CFD-programmer kan løse situasjoner som ofte kan være meget komplekse, slik at løsningen blir så realistiske som mulig for å gjenskape en virkelig situasjon. STAR CCM⁺ er et meget avansert CFD-verktøy med uendelig mange simuleringsmuligheter. Programmet gjør det mulig å simulere alt fra meget enkle problemstillinger til store komplekse problemstillinger.

Enkle problemer krever ikke så mye fra brukere, men ved mer kompliserte beregninger er det kunnskap hos brukere og tilgjengelig datakraft som avgjør hvor gode og nøyaktige resultatene blir.

Simuleringene i STAR CCM⁺ begrenses av nettverkets oppdeling av nøyaktighet. Korrekte formuleringer av grensebetingelser er viktig for et korrekt resultat da disse påvirker strømningsbildet. Tiden til rådighet og tilgjengelig datakapasitet begrenset muligheten til å beregne nøyaktige simuleringer med mange iterasjoner og med lengre tidsperiode.

5.2 Sammendrag av resultater

Det ble simulert tre simuleringer, simulering 1, simulering 2 og simulering 3. I simulering 1 ble det modellert obduksjonssal med obduksjonsbenk og tre personer, hvor to av dem var stille stående og en av dem var gående med armbevegelser. I tillegg ble det også modellert bevegelig hånd eller arm over nedtrekksbenken. Simulering 1 ble stanset etter få iterasjoner på grunn av problemer med overset mesh. Figur 113 viser mesh volumet av gående personen med armbevegelser og overset mesh boksen. Det vises klart i figuren at bevegelig armen kolliderer med overset boksen. Dette kan være grunnen til at simuleringen stanser etter få iterasjoner. Problemet ble oppdaget etter hvert og simuleringen ble derfor ikke fullført på grunn av tidskapasiteten. Ved å endre på frekvensen i formel (3.4) som er benyttet for å definere armbevegelsen kan en løse problemet og kan beregne simuleringen lengre.



Figur 113 viser mesh volum av gående personen med armbevegelser og overset boksen foran og fra siden.

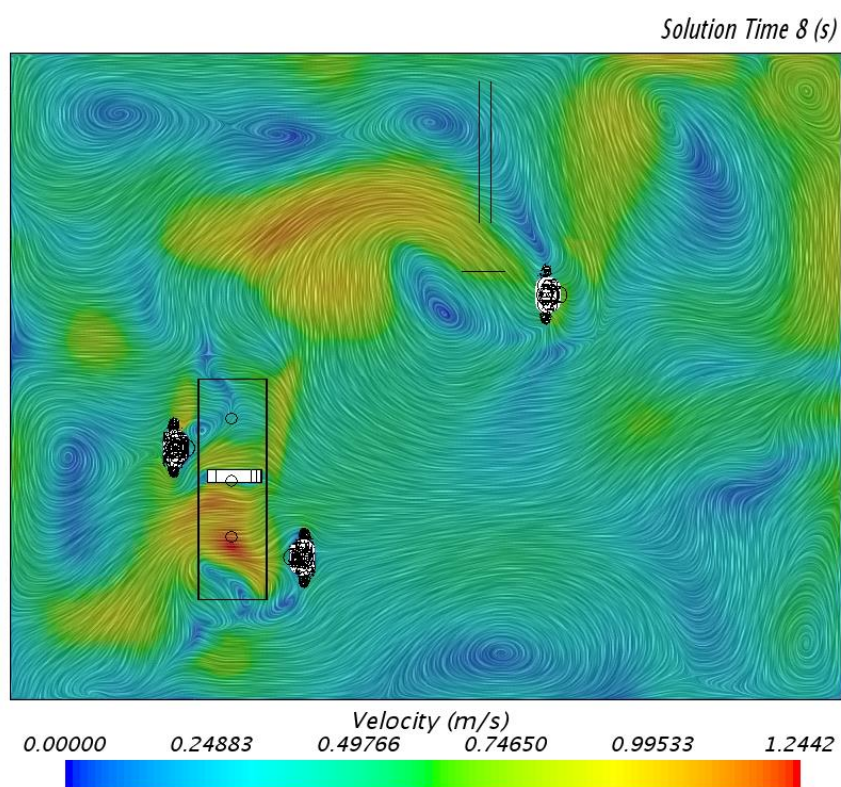
Det er viktig å overvåke deforming av mesh ved hjelp av mesh scener som viser ulike plan for å unngå situasjonen som er vist i figur 113.

Resultater fra simulering 2 viser at solid (faste legemer) bevegelser påvirker fluidstrømningsmønsteret. Mennesker i bevegelser skaper turbulente bevegelser i obduksjonsrommet når rommet er i bruk og er med å forstyrre obduksjonsbordet. Fra resultater i simulering 2 kan man se at konsentrasjon av formaldehyd blir ført ut av obduksjonsbordet og videre til romlufta på grunn av forstyrrelser som skapes i avtrekkshetta og nedtrekksbenken av forbi passering til gående personen og bevegelig hånden over nedtrekksbenken.

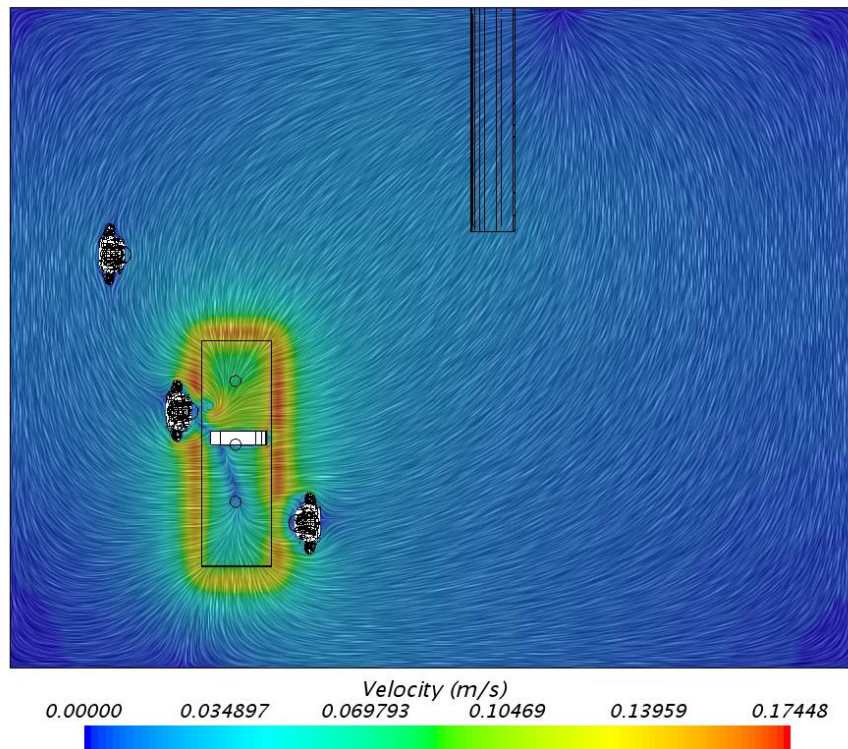
I simulering 3 ble det modellert ingen solide bevegelser. Resultater fra simuleringen viser derfor at det ettersom det ikke er solide bevegelser i romlufta blir ikke strømningsforholdene påvirket. På grunn av ingen forstyrrelser blir konsentrasjon av formaldehyd trukket av i avtrekkshetta og i nedtrekksbenken.

5.3 Sammenligning av simulering 2 og simulering 3

Fluidbevegelser: Resultater fra simulering 2 og simulering 3 viser svært store forskjeller. Det er høyere fluidhastigheter i simulering 2 i forhold til simulering 3. Solid bevegelsen i fluidet skaper turbulensbevegelser i simulering 2 mens luftbevegelser fra tilluftskanalen og nedtrekksbenken skaper bevegelser i fluidet i simulering 3. Det vises klart og tydelig i resultater fra simulering 2 at forbi passering og håndbevegelser over nedtrekksbenken påvirker strømningsforholdet og forstyrrer avtrekkshetta og nedtrekksbenken, se figur 114 for simulering 3 og figur 115 for simulering 2. Med dette kan det konkluderes med at solid bevegelser i fluid er en viktig faktor å ta hensyn til når en skal simulere fluidbevegelser, spesielt spredninger av forurensinger i romlufta.



Figur 114 viser fluidbevegelser i simulering 2 etter 8 sekunder.

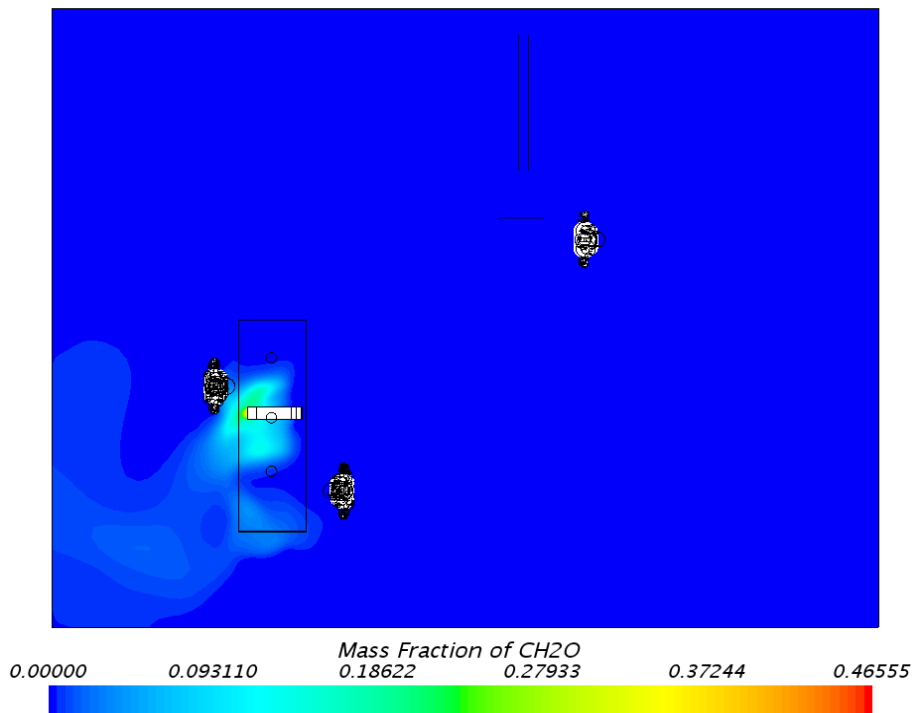


Figur 115 viser fluidbevegelser i simulering 3 etter 8 sekunder.

Massefraksjon av formaldehyd: Fra resultatet i simulering 2 kan man se at konsentrasjonen av formaldehyd blir ført ut fra obduksjonsbenken. Dette er på grunn av håndbevegelser over benken og turbulentbevegelser som skapes på grunn av forbi passeringen av personen som forstyrer avtrekkshetta og nedtrekksbenken. Resultater fra simulering 3 viser at avtrekkshetta og nedtrekksbenken klarer å trekke ut alt av formaldehyd konsentrasjonen slik at den ikke blir ført ut fra bordet og til romlufta. Dette resulterer til at person bevegelser i romlufta påvirker spredninger av formaldehyd konsentrasjonen. I figur 116 (simulering 2) og figur 117 (simulering 3) kan man se store forskjeller i formaldehyd konsentrasjoner i romlufta.

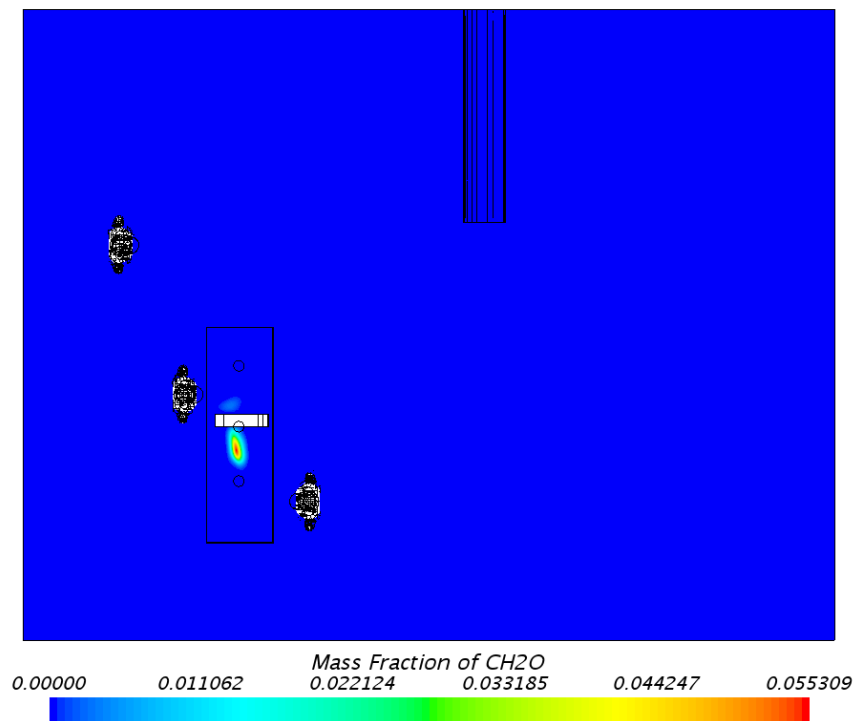
Fra figur 116 ser man tydelig at forbi passering drar med seg formaldehyd konsentrasjonen til romlufta mens i figur 117 ser man at siden ikke er person bevegelser blir ikke obduksjonsbenken forstyrt og dermed klarer den å trekke ut alt av formaldehyd konsentrasjonen.

Solution Time 8 (s)



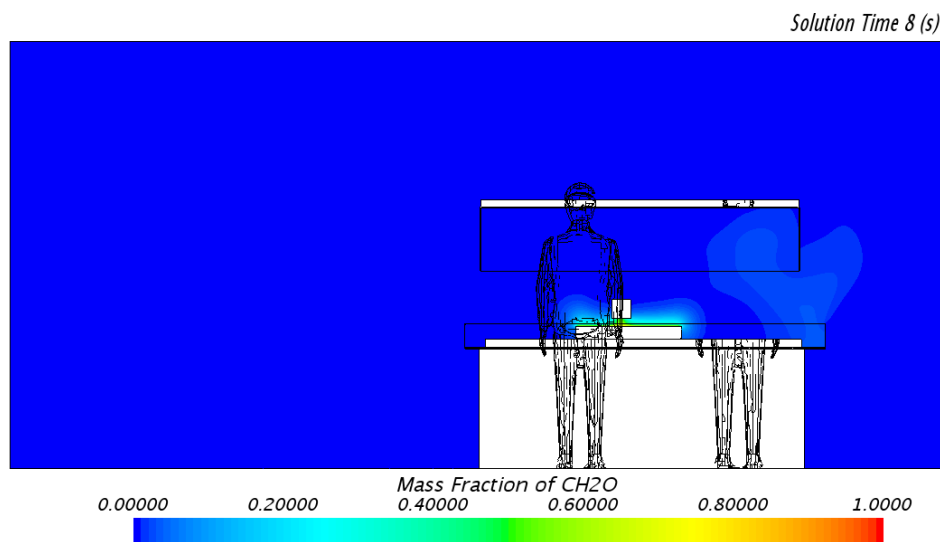
Figur 116 viser massefraksjon av formaldehyd i simulering 2.

Solution Time 8 (s)

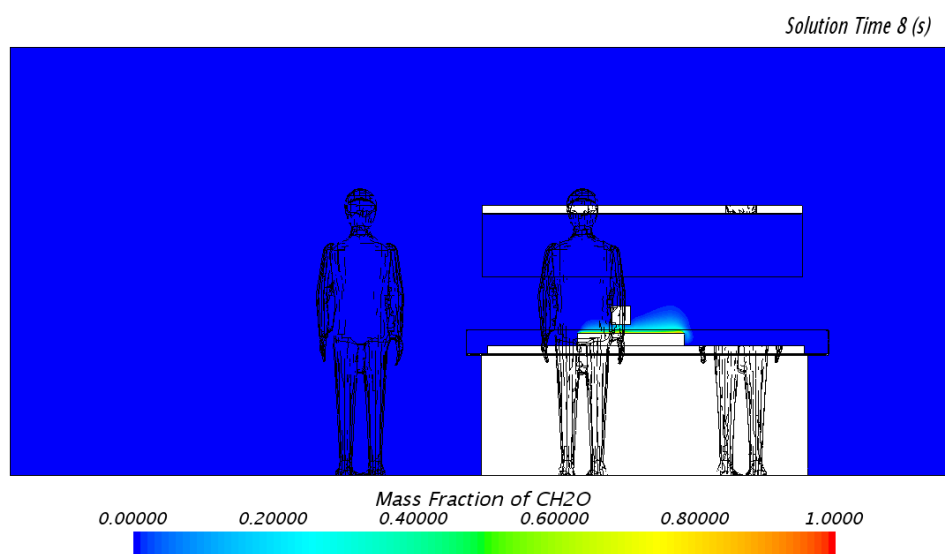


Figur 117 viser massefraksjon av formaldehyd fra simulering 3.

Figur 118 fra simulering 2 og figur 119 fra simulering 3 viser resultater av formaldehyd konsentrasjonen. Det vises veldig klart at håndbevegelser over nedtrekksbenken forstyrrer avtrekkshetta og nedtrekksbenken og fører formaldehyd konsentrasjonen ut i romlufta. Fra figur 119 i simulering 3 kan man se at avtrekkshetta og nedtrekksbenken klarer å trekke av alt av formaldehyd konsentrasjonen i avtrekkshetta og nedtrekksbenken.



Figur 118 viser massefraksjon av formaldehyd i simulering 2.



Figur 119 viser massefraksjon av formaldehyd i simulering 3.

Adjektivtransport av formaldehyddampen dominerer i forholdet til diffusjon av dampen. Dette viser at ventilasjonen i rommet fungerer som den skal.

5.4 Vurdering av modellen

Det er blitt tatt flere forenklinger i modellen for å muliggjøre å beregne simuleringene. Det er blitt modellert en obduksjonsbord og en tilluftskanal. I virkeligheten vil det være flere obduksjonsboder og tilluftskanaler. Det vil også være andre komponenter i rommet, blant annet dører og åpningsfrekvensen til dører som kan påvirke strømningsforholdet, lysarmaturer, sprinkler, søyler, avtrekksbenk, diverse skap og hyller.

Geometrien til obduksjonsbordet er forenklet for å minske kompleksiteten til modellen. I virkeligheten vil det være avtrekkskanaler som føres ut fra avtrekkskshetta til taket. I tillegg så vil også nedtrekksbenken ha en mer komplisert geometri enn det som er tegnet i modellen. Geometrien til nedtrekksbenken er forenklet for å muliggjøre å kjøre simuleringen. Med kompliserte geometrier var det ikke mulig å få beregnet simuleringen.

I områder hvor det er tilluft eller avtrekk er det veldig viktig å ha et finmasket nettverk for å få et riktig resultat. I modellen er det valgt finmasket nettverksområder steder hvor obduksjonsbenken står og steder hvor gående personen passerer forbi, mens i andre områder i rommet er det blitt benyttet en grovere nettverk for å minske kompleksiteten og antall likninger som løses.

Hvis en skal benytte seg av overset mesh metodikken er det også veldig viktig å ha et finmasket nettverk på grunn av overlapping av mesh volumer.

Geometrien til hånd/arm over benken er modellert rektangulært. Resultatene kunne gitt et annet strømningsbilde hvis en hadde modellert håndbevegelsen til en av de stille stående personene ved å ha benyttet seg av morphing metoden, slik at kun armen/hånden kunne beveget seg over nedtrekksbenken og resten kroppen hadde vært stille stående.

Indre volumet på alle legemer er fjernet for å minske kompleksiteten i modellen. Det vil heller ikke være nødvendig å regne på komponenters indre volum i denne modellen.

I fysikalskmodellen ble det ikke valgt *Gravity*. Dette er på grunn av at det er lite tetthetsforskjeller i romlufta mellom luft og formaldehyd som gjør at det ikke vil være nødvendig med *Gravity* i modellen. Det er heller ikke tatt hensyn til temperaturer i romlufta. Det som driver massetransporten her er tvungen konveksjon.

Å finne riktig metoden for overset mesh i simuleringen er krevende og en langvarig prosess. Men dette gir et bedre strømningsbilde på hva som faktisk skjer når rommet er i bruk.

Det er ikke funnet referanser på forskning som er utført innenfor bevegelser i CFD-simuleringer for denne type spesialrom. Kunnskapen denne forskningen gir vil både kunne gi mer kunnskap om hvordan solid bevegelser påvirker strømningsforholdet i fluidet, og gi økt forståelse av bevegelser i CFD-simuleringer.

Generelt kan slike modeller gi verdifull informasjon for prosjektering av spesialrom og laboratorierom. Modellen gir et mer riktigere bilde av strømningsforholdene og massetransport av gasser når rommet faktisk er i bruk. Med noen justeringer så kan denne modellen absolutt benyttes til hjelpeverktøy når en skal prosjektere ventilasjonssystemer i spesialrom, se neste kapittel for videre arbeid.

5.5 Videre arbeid

Til å starte med skulle denne oppgaven sammenligne CFD-simuleringen med reelle målinger for å verifisere modellen. På grunn av mangel på tilgang til obduksjonssalen og noen komplikasjoner ble det ikke tatt noen målinger. I stedet ble det simulert to simuleringer, med og uten bevegelser, for å sammenligne resultatene med hverandre. Videre arbeid for denne oppgaven kan være å simulere en mer realistisk modell, ved for eksempel modellere gående personen med riktige ben og armbevegelser samt håndbevegelser over obduksjonsbenken. I tillegg kan en ta målinger for å verifisere modellen. Det kunne også vært interessant å simulere kun forbi passering av gående personen for å se på effekten til den på avtrekket. Det kunne også vært interessant å ta hensyn til temperaturer i rommet i modellen.

For beregning av konsentrasjon av formaldehyd ble det benyttet en valgt massestrøm på $1.4E-4$ kg/s. I videre studier kan dette studeres nærmere på og velges riktige massestrømningshastigheter i modellen.

I denne oppgaven er det kun tatt hensyn til hvordan overset mesh metoden kan benyttes for å løse slike typer problemer. Det kunne vært interessant å studere litt nærmere på overset mesh og fordype seg litt mer om metodikken og mulighetene man har ved å benytte seg av denne funksjonen.

6 Konklusjon

Resultatene som foreligger i denne rapporten er tre simuleringer som er utført i STAR CCM⁺. Hvorav to av dem er med person bevegelser og håndbevegelser over nedtrekksbenken og en uten person og håndbevegelser. Alle simuleringene er utført med transiente beregninger. Det er foretatt vurdering av både luftbevegelser og formaldehyd konsentrasjoner. Disse vurderingene er et forsøk for å se hvilken påvirkning solid bevegelser har i fluidet og massetransport av gasser. Dette viste seg store forskjeller på resultater i simuleringene.

Når det angår å simulere solid bevegelser i fluidet ved hjelp av overset mesh metodikken kan det konkluderes med at dette er en krevende prosess i startfasen. Men dette gir det reelle strømningsbilde og påvirker stort sett spredning av gass konsentrasjoner og i romlufta. Overset mesh er et viktig hjelpemiddel når en skal simulere faste legemer som beveger seg i forhold til hverandre.

Generelt kan det konkluderes med at denne type CFD-simuleringer gir verdifull informasjon for prosjektering av spesialrom og laboratorierom. Denne modellen gir et mer riktigere bilde av når slike rom faktisk er i bruk og påvirker strømningsforholdene.

Enkle problemer i CFD-simuleringer krever ikke så mye fra brukere, men ved mer kompliserte beregninger er det kunnskap hos brukere og tilgjengelig datakraft som avgjør hvor gode og nøyaktige resultatene blir. Det kan også konkluderes med at simuleringer i STAR-CCM⁺ er meget tids og resurskrevende, spesielt med komplekse geometrier og problemer.

Referanser

- Alsved, M., Civilis, A., Ekolind, P., Tammelin, A., Erichsen Andersson, A., Jakobsson, J., . . . Löndahl, J. (2017, Oktober 17). Temperature-controlled airflow ventilation in operating rooms compared with laminar airflow and turbulent mixed airflow. *Journal of Hospital Infection* .
- Al-Waked, R. (2010). *Effect of ventilation strategies of infection control inside operating theatres*. Salalah: Dhofar University.
- CD-Adapco. (2018). *STAR CCM+*. Hentet fra User Guide.
- Cengel , Y. A., & Ghajar , A. J. (2015). The first law of thermodynamics . I *Heat and mass transfer, Fundamental and applications 5th Edition in SI Units* (ss. 11-17). New York : McGraw-Hill Education.
- Cengel , Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). Convection. I *Heat and mass transfer, Fundamentals and applications 5th Edition in SI Units* (ss. 25-27). New York: McGraw-Hill Education.
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). Fundamentals og Flow Visualization. I *Fluid Mechanics, Fundamentals and applications* (s. 129). New York: McGraw-Hill.
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2014). Classification of fluid flows. I *Fluid Mechanics, 3rd edition* (ss. 10-11). Boston: McGraw-Hill.
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2014). Fluid Mechanics, 3rd edition. I *Classification of Fluid Flows* (s. 10). Boston: McGraw-Hill.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2014). I *Fluid mechanics: fundamentals and application 3rd ed. in SI units. ed*. Boston: McGraw-Hill.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). Conduction. I *Heat and Mass Transfer, Fundamentals and applications 5th edition in SI Units* (s. 17). New York: McGraw-Hill Education.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). Fick's Law of diffusion: Stationary Medium Consisting of Two Species. I *Heat and mass transfer, Fundamentals and applications 5th Edition in SI Units* (ss. 839-842). New York: McGraw-Hill Education .
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). Lumped system analysis, transient conduction . I *Heat and mass transfer, Fundamentals and applications 5th ed. in SI Units* (ss. 237-243). New York: McGraw-Hill Education.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). Numerical Methods. I *Heat and mass transfer, Fundamentals and applications 5th editions in SI Units* (ss. 306-308). New York : McGraw- Hill Education.
- Choi, J.-I., & Edwards, J. (2011). *Large-eddy simulation of human-induced contaminant transport in room compartments*. North Carolina: North Carolina State University.
- Developers Club geek daily blog. (2014). Hentet fra OpenFOAM in practice: <http://developers-club.com/posts/215391/>
- Erichsen & Horgen. (2018). MEDIS Medical Technology GmbH.

- Festø, H. M., Årdal, J. S., & Grønborg, F. W. (2013). *Bruk av STAR CCM+ og simulering av luftstrømninger med og uten luftgardin i Østbanehallen*. Oslo.
- Forasassi, G. (2016). *CFD analysis of pressure waves and loads on non-tight trains passing tunnel*. Stockholm : KTH.
- Laminær og turbulent strømning*. (2003, April 08). Hentet fra home.hib.no/ansatte/jjo/ftp/hydrodynamikk/Notater/turbulens.doc
- Loomans , M., Houdt, V. W., Lemaire , A., & Hensen, J. (2008). *Performance assessment of an operating theatre design using CFD simulation and tracer gas measurements*. Eindhoven: Eindhoven University of Technology.
- Lysebo, M. (2016). *Forelesningsnotater i termodynamikk for ingeniørstudenter* . Oslo.
- Neumann, S., Simensen, J., & Madaas , M. (2016). *Numerisk simuleringer av inn klimaet i plusshuset Oslosolar ved bruk av STAR-CCM+ og IDA ICE*. Oslo.
- Norsk Helseinformatikk. (2016, 02 10). *NHO*. Hentet fra Rettigheter og helsetjeneste : <https://nhi.no/rettigheter-og-helsetjeneste/helsetjenesten/obduksjon/>
- Olsen, N. R. (2016). *Kompendium del 2 og 4 TVM4116 Hydromekanikk*. Trondheim: NTNU.
- Rian, K. E. (2003). *Forelesningskompendium i numerisk varme- og strømningsteknikk*. Trondheim .
- Sadrizadeh, S. (2016). *Design of Hospital Operating Room Ventilation using Computational Fluid Dynamics*. Stockholm: KTH .
- Sadrizadeh, S. (2016). *Thermal comfort of the surgical staff in an operating theatre: a numerical study on laminar and mixing ventilation systems*. Stockholm : KTH.
- Sadrizadeh, S., Afshari, A., Karimipannah, T., Håkansson, U., & Nielsen, P. V. (2016). *Numerical simulation of the impact of surgeon posture on airborne particle distribution in a turbulent mixing operating theatre*. Stockholm: KTH.
- Spillum, B. J. (2009, Februar 14). *Formaldehyd- helsevirkninger*. Hentet fra Store Norske Leksikon: https://snl.no/formaldehyd-_helsevirkninger
- UiO, Instituss for biovitenskap . (2011, Februar 4). *Universitet i Oslo* . Hentet fra Det matematisk- og naturvitenskaplige fakultet : <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/d/diffusjon.html>
- Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (1995). What is CFD. I *Computational Fluid Dynamics, The Finite Volume Method* (ss. 1-8). New York .
- Åkedalen, S. R. (2000). *Ventøk- Beskyttelsesventilasjon*. Oslo: Skarland Press.

Figurer

FIGUR 1 VISER DISSEKSJONSROMMET OVENFRA.....	11
FIGUR 2 VISER SAMMENHENGEN MELLOM AVSTAND FRA UTSLIPPSSTED OG NØDVENDIG LUFTMENGDE (ÅKEDALEN, 2000).....	15
FIGUR 3 VISER PUNKTAVTREKK (ÅKEDALEN, 2000).....	16
FIGUR 4 VISER AVTREKKSSETTA (ÅKEDALEN, 2000).....	17
FIGUR 5 VISER AVTREKKSSENK (ÅKEDALEN, 2000).....	18
FIGUR 6 VISER NEDTREKKSSENK (ERICHSEN & HORGES, 2018).....	19
FIGUR 7 VISER FORBI PASSERING AV ET AVTREKKSSEK (ÅKEDALEN, 2000).....	20
FIGUR 8 VISER LAMINÆR STRØMNING (LAMINÆR OG TURBULENT STRØMNING, 2003).....	22
FIGUR 9 VISER TURBULENT STRØMNING (LAMINÆR OG TURBULENT STRØMNING, 2003).....	22
FIGUR 10 VISER MASSETRANSPORT FOR ENDIMENSJONALT PROBLEM.....	30
FIGUR 11 ILLUSTRERER HVORDAN FINITE VOLUME METHOD KAN SE UT SOM (DEVELOPERS CLUB GEEK DAILY BLOG, 2014).....	33
FIGUR 12 VISER OVERSET OG BAKGRUNNSREGIONEN (CD-ADAPCO, 2018).....	35
FIGUR 13 VISER EKSEMPEL AV OVERSET TOPOLOGIEN (CD-ADAPCO, 2018).....	36
FIGUR 14 VISER OVERSET MESH GRENSEN (CD-ADAPCO, 2018).....	37
FIGUR 15 VISER KOBLING AV REGIONENE (CD-ADAPCO, 2018).....	38
FIGUR 16 VISER MOTION NODEN (CD-ADAPCO, 2018).....	38
FIGUR 17 VISER TRANSLATION NODEN (CD-ADAPCO, 2018).....	39
FIGUR 18 VISER STRØMNINGSLINJEN (CENGL & CIMBALA, FUNDAMENTALS OG FLOW VISUALIZATION, 2006).....	40
FIGUR 19 VISER ROMMETS GEOMETRI.....	41
FIGUR 20 VISER GEOMETRIEN TIL STÅENDE PERSONER OG OBDUKSJONSSENKEN.....	42
FIGUR 21 VISER GEOMETRY PARTS.....	43
FIGUR 22 VISER SUBTRACT METODEN.....	44
FIGUR 23 VISER REGIONER I SIMULERINGEN 1 OG 2.....	45
FIGUR 24 VISER OVERSET MESH INTERFACE.....	49
FIGUR 25 VISER MESH GEOMETRIEN.....	50
FIGUR 26 VISER NETTVERKSMODELLEN.....	51
FIGUR 27 VISER MESH OG INDRE VOLUMET I ROMLUFTA.....	52
FIGUR 28 VISER MESH OG INDRE VOLUMET I ROMLUFTA.....	52
FIGUR 29 VISER RESIDUALER FOR SIMULERING 1.....	56
FIGUR 30 VISER RESULTAT AV HASTIGHETSProfiler I ROMLUFTA ETTER 1.6 SEKUNDER.....	57
FIGUR 31 VISER BEVEGELIG PERSON MED ARMBEVEGELSER.....	57
FIGUR 32 VISER GÅENDE PERSON MED ARMBEVEGELSER.....	58
FIGUR 33 VISER LUFTBEVEGELSER RUNDT BORDET.....	58
FIGUR 34 VISER LUFTBEVEGELSER RUNDT BORDET.....	59
FIGUR 35 VISER TURBULENTBEVEGELSER SOM SKAPES I ROMLUFTA.....	59
FIGUR 36 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD I ROMLUFTA.....	60
FIGUR 37 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD I ROMLUFTA.....	60
FIGUR 38 VISER RESIDUALER FOR SIMULERING 2.....	61
FIGUR 39 VISER ROMLUFTA ETTER 0.1 SEKUNDER.....	62
FIGUR 40 VISER ROMLUFTA ETTER 2 SEKUNDER.....	62
FIGUR 41 VISER ROMLUFTA ETTER 5 SEKUNDER.....	62
FIGUR 42 VISER ROMLUFTA ETTER 8 SEKUNDER.....	63
FIGUR 43 VISER TURBULENSBEVEGELSER SOM SKAPES ETTER 0.1 SEKUNDER.....	63

FIGUR 44 VISER TURBULENSBEVEGELSER SOM SKAPES ETTER 2 SEKUNDER.	64
FIGUR 45 VISER TURBULENSBEVEGELSER SOM SKAPES ETTER 5 SEKUNDER.	64
FIGUR 46 VISER TURBULENSBEVEGELSER SOM SKAPES ETTER 8 SEKUNDER.	65
FIGUR 47 VISER STRØMNINGSBILDET RUNDT OBDUKSJONS BENKEN ETTER 0.1 SEKUNDER.	66
FIGUR 48 VISER STRØMNINGSBILDET RUNDT OBDUKSJONS BENKEN ETTER 2 SEKUNDER.	66
FIGUR 49 VISER STRØMNINGSBILDET RUNDT OBDUKSJONS BENKEN ETTER 5 SEKUNDER.	67
FIGUR 50 VISER STRØMNINGSBILDET RUNDT OBDUKSJONS BENKEN ETTER 8 SEKUNDER.	67
FIGUR 51 VISER TURBULENSBEVEGELSER SOM SKAPES OVER BENKEN PÅ GRUNN AV BEVEGELSER ETTER 0.1 SEKUNDER.	68
FIGUR 52 VISER TURBULENSBEVEGELSER SOM SKAPES OVER BENKEN PÅ GRUNN AV BEVEGELSER ETTER 2 SEKUNDER.	68
FIGUR 53 VISER TURBULENSBEVEGELSER SOM SKAPES OVER BENKEN PÅ GRUNN AV BEVEGELSER ETTER 5 SEKUNDER.	69
FIGUR 54 VISER TURBULENSBEVEGELSER SOM SKAPES OVER BENKEN PÅ GRUNN AV BEVEGELSER ETTER 8 SEKUNDER.	69
FIGUR 55 VISER STRØMNINGSBILDET RUNDT TILLUFTSKANALEN ETTER 0.1 SEKUNDER.	70
FIGUR 56 VISER STRØMNINGSBILDET RUNDT TILLUFTSKANALEN ETTER 2 SEKUNDER.	70
FIGUR 57 VISER STRØMNINGSBILDET RUNDT TILLUFTSKANALEN ETTER 5 SEKUNDER.	71
FIGUR 58 VISER STRØMNINGSBILDET RUNDT TILLUFTSKANALEN ETTER 8 SEKUNDER.	71
FIGUR 59 VISER STREAMLINE AV TILLUFTSKANAL FRA SIDEN I ROMMET ETTER 0.1 SEKUNDER.	72
FIGUR 60 VISER STREAMLINE AV TILLUFTSKANAL OVER ROMMET ETTER 0.1 SEKUNDER.	72
FIGUR 61 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD ETTER 0.1 SEKUNDER.	73
FIGUR 62 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD ETTER 2 SEKUNDER.	73
FIGUR 63 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD ETTER 5 SEKUNDER.	74
FIGUR 64 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD ETTER 8 SEKUNDER.	74
FIGUR 65 VISER HÅNDBEVEGELSER OG MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD OVER BENKEN ETTER 0.1 SEKUNDER.	75
FIGUR 66 VISER HÅNDBEVEGELSER OG MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD OVER BENKEN ETTER 2 SEKUNDER.	75
FIGUR 67 VISER HÅNDBEVEGELSER OG MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD OVER BENKEN ETTER 5 SEKUNDER.	76
FIGUR 68 VISER HÅNDBEVEGELSER OG MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD OVER BENKEN ETTER 8 SEKUNDER.	76
FIGUR 69 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD OVER ROMMET ETTER 0.1 SEKUNDER.	77
FIGUR 70 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD OVER ROMMET ETTER 2 SEKUNDER.	77
FIGUR 71 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD OVER ROMMET ETTER 5 SEKUNDER.	78
FIGUR 72 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD OVER ROMMET ETTER 8 SEKUNDER.	78
FIGUR 73 VISER RESIDUALER FOR SIMULERING 3.	79
FIGUR 74 VISER ROMLUFTA ETTER 0.1 SEKUNDER.	80
FIGUR 75 VISER ROMLUFTA ETTER 5 SEKUNDER.	80
FIGUR 76 VISER ROMLUFTA ETTER 8 SEKUNDER.	80
FIGUR 77 VISER ROMLUFTA ETTER 39.6 SEKUNDER.	81
FIGUR 78 VISER LUFTSTRØMNINGER OVER ROMMET ETTER 0.1 SEKUNDER.	81
FIGUR 79 VISER LUFTSTRØMNINGER OVER ROMMET ETTER 5 SEKUNDER.	82
FIGUR 80 VISER LUFTSTRØMNINGER OVER ROMMET ETTER 8 SEKUNDER.	82
FIGUR 81 VISER LUFTSTRØMNINGER OVER ROMMET ETTER 39.6 SEKUNDER.	83
FIGUR 82 VISER STRØMNINGSFORHOLDET RUNDT OBDUKSJONS BENKEN ETTER 0.1 SEKUNDER.	83
FIGUR 83 VISER STRØMNINGSFORHOLDET RUNDT OBDUKSJONS BENKEN ETTER 5 SEKUNDER.	84
FIGUR 84 VISER STRØMNINGSFORHOLDET RUNDT OBDUKSJONS BENKEN ETTER 8 SEKUNDER.	84
FIGUR 85 VISER STRØMNINGSFORHOLDET RUNDT OBDUKSJONS BENKEN ETTER 39.5 SEKUNDER.	85
FIGUR 86 VISER STRØMNINGSFORHOLDET RUNDT OBDUKSJONS BENKEN FRA SIDEN ETTER 0.1 SEKUNDER.	85

FIGUR 87 VISER STRØMNINGSFORHOLDET RUNDT OBDUKSJONSBEHÅNEN FRA SIDEN ETTER 5 SEKUNDER.	86
FIGUR 88 VISER STRØMNINGSFORHOLDET RUNDT OBDUKSJONSBEHÅNEN FRA SIDEN ETTER 8 SEKUNDER.	86
FIGUR 89 VISER STRØMNINGSFORHOLDET RUNDT OBDUKSJONSBEHÅNEN FRA SIDEN ETTER 39.5 SEKUNDER.	87
FIGUR 90 VISER STREAMLINE I ROMMET FRA SIDEN ETTER 0.1 SEKUNDER.	87
FIGUR 91 VISER STREAMLINE I ROMMET FRA SIDEN ETTER 5 SEKUNDER.	88
FIGUR 92 VISER STREAMLINE I ROMMET FRA SIDEN ETTER 8 SEKUNDER.	88
FIGUR 93 VISER STREAMLINE I ROMMET FRA SIDEN ETTER 39,6 SEKUNDER.	88
FIGUR 94 VISER STREAMLINE OVER ROMMET ETTER 0.1 SEKUNDER.	89
FIGUR 95 VISER STREAMLINE I ROMMET FRA SIDEN ETTER 5 SEKUNDER.	89
FIGUR 96 VISER STREAMLINE I ROMMET FRA SIDEN ETTER 8 SEKUNDER.	90
FIGUR 97 VISER STREAMLINE I ROMMET FRA SIDEN ETTER 39.6 SEKUNDER.	90
FIGUR 98 VISER TILLUFTSKANALEN.	91
FIGUR 99 VISER AVTREKKSHETTA.	91
FIGUR 100 VISER NEDTREKKSBEHÅNEN.	92
FIGUR 101 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD ETTER 0.1 SEKUNDER.	92
FIGUR 102 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD ETTER 5 SEKUNDER.	93
FIGUR 103 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD ETTER 8 SEKUNDER.	93
FIGUR 104 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD ETTER 39.5 SEKUNDER.	93
FIGUR 105 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD ETTER 0.1 SEKUNDER.	94
FIGUR 106 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD ETTER 5 SEKUNDER.	94
FIGUR 107 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD ETTER 8 SEKUNDER.	95
FIGUR 108 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD ETTER 39.5 SEKUNDER.	95
FIGUR 109 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD OVER ROMMET ETTER 0.1 SEKUNDER.	96
FIGUR 110 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD OVER ROMMET ETTER 5 SEKUNDER.	96
FIGUR 111 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD OVER ROMMET ETTER 8 SEKUNDER.	97
FIGUR 112 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD OVER ROMMET ETTER 39.5 SEKUNDER.	97
FIGUR 113 VISER MESH VOLUM AV GÅENDE PERSONEN MED ARMBEVEGELSER OG OVERSET BOKSEN FORAN OG FRA SIDEN.	99
FIGUR 114 VISER FLUIDBEVEGELSER I SIMULERING 2 ETTER 8 SEKUNDER.	100
FIGUR 115 VISER FLUIDBEVEGELSER I SIMULERING 3 ETTER 8 SEKUNDER.	101
FIGUR 116 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD I SIMULERING 2.	102
FIGUR 117 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD FRA SIMULERING 3.	102
FIGUR 118 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD I SIMULERING 2.	103
FIGUR 119 VISER MASSEFRAKSJON AV FORMALDEHYD I SIMULERING 3.	103

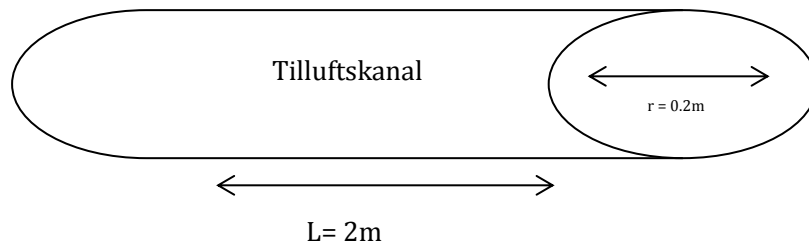
Tabeller

TABELL 1 VISER INNDATA PÅ ALLE GEOMETRIER I SIMULERINGEN.	43
TABELL 2 BESKRIVER GRENSEBETINGELSER SOM ER BENYTTET I SIMULERINGEN.	45
TABELL 3 VISER GRENSEBETINGELSER FOR ROMMET.	47
TABELL 4 VISER GRENSEBETINGELSER FOR BEVEGELIG HÅND.	48
TABELL 5 VISER GRENSEBETINGELSER FOR GÅENDE PERSON.	48
TABELL 6 VISER GRENSEBETINGELSER FOR GÅENDE PERSON UTEN ARMBEVEGELSER.	49
TABELL 7 VISER VERDIER FOR NETTVERKSMODELLEN.	52
TABELL 8 VISER FYSIKKMODELLEN FOR SIMULERINGEN.	53

Vedlegg

VEDLEGG 1 BEREGNING AV GJENNOMSNIITTLIGHASTIGHET.....	113
VEDLEGG 2 FORMALDEHYD SIKKERHETS DATABLAD.....	114

Vedlegg 1 Beregning av gjennomsnittlighet



Luftmengde:

$$q = 1000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0.277 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} 1000 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{0.277 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Areal tilluftskanal:

$$A = 2\pi r \cdot L = 2 \cdot 0.2\text{m} \cdot \pi \cdot 2\text{m} = \mathbf{2.51 \text{ m}^2}$$

Gjennomsnittlighet:

$$v = \frac{q \text{ m}^3/\text{s}}{A \text{ m}^2} = \frac{0.277 \text{ m}^3/\text{s}}{2.15 \text{ m}^2} = \mathbf{0.11 \text{ m/s}}$$

Vedlegg 2 Formaldehyd sikkerhetsdatablad

Formalin E 35%

Side 1 av 9

SIKKERHETSDATABLAD Formalin E 35%

Seksjon 1: Identifikasjon av stoffet / blandingen og av selskapet / foretaket

Utgitt dato 22.03.2008

Revisjonsdato 10.02.2011

1.1. Produktidentifikasjon

Kjemikaliets navn Formalin E 35%

Kjemisk navn Formaldehyd ca. 35%, Metanol ca.15%

1.2. Relevant identifiserte bruksområder for stoffet eller blandingen og bruk det frarådes mot

Kjemikaliets bruksområde HARPIKSFREMSTILLING, KONSERVERING, DESINFISERING

1.3. Nærmere opplysninger om leverandøren av sikkerhetsdatabladet

Etterfølgende bruker

Firmanavn Hjelle Kjemi AS

Postadresse C Sundtsg 65

Postnr. 5004

Poststed BERGEN

Land NORGE

Telefon 55231300

Telefaks 55560210

E-post fpost@hjelle-kjemi.no

Hjemmeside <http://www.hjellekjemi.no>

1.4. Nødtelefon

Nødtelefon Giftinformasjonen:22591300

Seksjon 2: Fareidentifikasjon

2.1. Klassifisering av stoff eller blanding

Klassifisering i henhold til CLP (EC) Carc. 2

No 1272/2008 [CLP/GHS] Acute tox. 3

2.2. Etiketinformasjon

Farepiktogrammer (CLP)



Sammensetning på merkeetiketten Formaldehyd ...%:34 - 36 %, Metanol:14 - 16 %

Signalord Fare

Faresetninger H351 Mistenkes for å kunne forårsake kreft.

Sikkerhetssetninger P301 + P310 VED SVELGING: Kontakt umiddelbart et GIFTINFORMASJONSSENTER eller lege.

P303 + P361 + P353 VED HUDKONTAKT (eller håret): Tilsøtte klær må fjernes straks; Skyll/dusj huden med vann.

P305 + P351 + P338 VED KONTAKT MED ØYNENE: Skyll forsiktig med vann i flere minutter; Fjern eventuelle kontaktlinser dersom dette enkelt lar seg gjøre; Fortsett skyllingen.

Dette Sikkerhetsdatablad er utarbeidet i Eco Publisher (EcoOnline)

Revisjonsdato 10.02.2011

P310 Kontakt umiddelbart et GIFTINFORMASJONSSENTER eller lege.
 P361 Tilsølte klær må fjernes straks.
 P405 Oppbevares innelåst.
 P501 Innhold/holder leveres til godkjent mottakssted for farlig avfall.

2.3 Andre farer

Farebeskrivelse Giftig ved innånding, hudkontakt, og svelgning. Giftig: fare for alvorlig varig helseskade ved innånding, hudkontakt og svelgning. Mulig fare for kreft (K3). Etsende. Fare for allergi ved hudkontakt. Høye konsentrasjoner kan utløse astmaanfall hos sensitive personer.

Seksjon 3: Sammensetning / opplysning om innholdstoffer

3.2. Blandinger

Komponentnavn	Identifikasjon	Klassifisering	Innhold
Formaldehyd ...%	CAS-nr.: 50-00-0 EC-nr.: 200-001-8 Indeksnr.: 605-001-00-5 Synonymer: Formaldehyd	Kreft 3; R40 T; R23/24/25 C; R34 R43 Carc. 2; H351 Acute tox. 3; H331 Acute tox. 3; H311 Acute tox. 3; H301 Skin Corr. 1B; H314 Skin Sens. 1; H317 Note: B; D, A; K	34 - 36 %
Metanol	CAS-nr.: 67-56-1 EC-nr.: 200-859-6 Indeksnr.: 603-001-00-X Synonymer: Metanol	F; R11 T; R23/24/25, R39/23/24/25 Flam. Liq. 2; H225 Acute tox. 3; H331 Acute tox. 3; H311 Acute tox. 3; H301 STOT SE 1; H370	14 - 16 %
Vann	CAS-nr.: 7732-18-5 EC-nr.: 231-791-2		48 - 52 %

Seksjon 4: Førstehjelpstiltak

4.1. Beskrivelse av førstehjelpstiltak

Innånding	Frisk luft, hvis mulig, gi tilførsel av oksygen. Vær oppmerksom på at tilstanden kan forverre seg, ved tegn på iritasjon i luftveiene med hoste eller pustevansker, holdes den skadede i halvt sittende stilling. Kontakt lege/sykehus/AMK-sentral for videre behandling eller transport til sykehus. Personer som er eksponert for høye konsentrasjoner bør innlegges på sykehus for observasjon over natten.
Hudkontakt	Tilsølt tøy fjernes og huden skylles med rikelige mengder vann, deretter såpe og vann til alle rester av kjemikaliet er fjernet. Ved tegn på skade/irritasjon av huden kontaktes lege/sykehus/AMK-sentral. Selv ved mindre etseskader er det påkrevet å sørge for videre behandling. Etseskader på huden behandles som brannskader.
Øyekontakt	Skyl med vann i 15 min. mens øyelokket løftes, deretter transport til lege/sykehus. Skylling under transport.
Svelgning	Dersom vedkommende er våken, gi vann eller annen drikke for å skylle munnen og fortynne svelget kjemikalie. Om mulig også aktivt kull (kullsuspensjon). FREMKALL IKKE BREKNING. Dersom brekninger inntreffer hold hodet lavt slik at ikke luftveiene blokkeres og for å hindre at kjemikaliet

kommer i lungene (aspireres). Kontakt øyeblikkelig lege/sykehus/AMK-sentral for videre behandling eller transport til sykehus. Ta direkte kontakt med Giftinformasjonssentralen for råd om eventuell annen behandling på stedet.

4.2. Viktigste symptomer og effekter, både akutt og forsinket

Informasjon til helsepersonell Symptomatisk behandling

4.3. Informasjon om umiddelbar legehjelp og spesiell behandling som eventuelt er nødvendig

Medisinsk overvåking av forsinkede effekter	Fare for varige skader dersom førstehjelp ikke settes i gang omgående. Legebehandling nødvendig.
Annen informasjon	Ved uhell og overeksponering kan kjemikaliet forårsake: Forgiftning ved svelging og innånding. Etseskader ved væske/damp i øynene og på huden. Akutt iritasjon i øynene og luftveiene ved innånding av gass/damp. Pustebevisvær etter en viss latenstid. Fare for lungeødem. Symptomer ved væske/damp i øynene er smerter, tåreflod og nedsatt syn. Symptomer ved produkt på hud og slimhinner er sårdannelse eller iritasjon, misfarging og smerter. Symptomer ved innånding av damp er hoste og pustebevisvær. Symptomer ved forgiftning er nedsatt bevissthet, kvalme, brekninger, magesmerter, pustevisværs etc. Generelle råd om førstehjelp: Flytt straks den skadede fra eksponeringskilden. Sørg for ro, varme og frisk luft. Hold den skadede under observasjon. Kontakt sykehus, lege, AMK-sentral (tlf.113) eller giftinformasjonssentralen (tlf.22591300) for særskilt råd. Vis til HMS-datablad for kjemikaliet. Ved bevisstløshet løses tetsittende klær. Sørg for frie luftveier. Ved åndedrettsstans ; start hjerte/lungeredning.

Seksjon 5: Tiltak ved brannslukning

5.1. Brannslukningsmidler

Passende brannslukningsmidler	Vann. Pulver. Alkoholresistent skum.
Uegnete brannslukningsmidler	Rettet vannstråle.

5.2. Spesielle farer som stoffet eller blandingen kan medføre

Brann- og eksplosjonsfarer	Formalin er brennbar. Løsningen avgir formaldehyd som kan danne eksplosiv blanding med luft. Ved brann eller oppvarming vil det oppstå en trykkøkning, og beholderen kan revne, med risiko for etterfølgende eksplosjon. Fjern alt uautorisert personell omgående. Ved brann kan det utvikles Karbonoksider
----------------------------	---

5.3. Anvisninger for brannmannskaper

Personlig verneutstyr	Brannpersonell som utsettes for forbrenningsgasser/spaltingsprodukter anbefales å bruke åndedrettsvern. Unngå hudkontakt/innånding av støv/damp. Benytt nødvendig verneutstyr. (Se dessuten seksjon 8).
Brannslukningsmetoder	Brannslukkere skal benytte egnet verneutstyr og selvforsynt åndedrettsvern (SCBA) med full ansiktsmaske, som benyttes i modus for positivt trykk.
Annen informasjon	Flytt beholdere fra brannstedet hvis det er mulig uten risiko. Flammeutsatte beholdere kjøles med vann inntil alle brannsteder er slukket.

Seksjon 6: Tiltak ved utilsiktet utslipp

6.1. Personlige forholdsregler, verneutstyr og nødprosedyrer

Generelle tiltak	Bruk personlig verneutstyr som angitt i pkt. 8. Slå av alle tennkilder. Røyking forbudt. Sørg for god ventilasjon.
Sikkerhetstiltak for å beskytte personell	Personer som håndterer store spillmengder skal ha på seg fullt verneutstyr, inkludert egnet åndedrettsvern.

6.2. Sikkerhetstiltak for å beskytte ytre miljø

Sikkerhetstiltak for å beskytte ytre miljø Begrens spredning. Sørg for avsperrig av forurenset område. Utslipp til kloakk, vassdrag eller grunn er ikke tillatt. Produktet er løselig i vann

6.3. Metoder for opprydding og rengjøring

Metoder for opprydding og rengjøring Stopp lekkasjen hvis det er mulig uten risiko. Sperr av området for uvedkommende. Væsken må forhindres fra å komme ned i kloakker, kjellere og arbeidsgroper. Området bør skumlegges for å hindre fordampning. (Alkoholresistent skum) Dampen kan danne eksplosiv og irriterende luftblanding, eventuell gassky bør spyles ned med vann. Samle opp søl med ikke brennbart absorberende materiale og øverfør det til en tett beholder for oppsamling av brannfarlig avfall. Personell må bruke verneutstyr. Ved større utslipp varsles Statens Forurensningstilsyn eller nærmeste politimyndighet

6.4. Referanse til andre seksjoner

Andre anvisninger Se avsnitt 13 for viderebehandling av avfall.

Seksjon 7: Håndtering og lagring

7.1. Forholdsregler for sikker håndtering

Håndtering Unngå innånding av damp samt kontakt med hud og øyne. Unngå håndtering som kan føre til dampdannelse. Unngå innånding av damper. Åndedrettsvern skal benyttes. Unngå røyking, åpen ild, gnister og sveising på grunn av brannfaren. Øyedusj og nøddusj skal finnes på arbeidsplassen

7.2. Betingelser for sikker oppbevaring, inklusiv eventuelle uforenligheter

Oppbevaring Lagres i lukket emballasje. Holdes vekk fra små barn. Lagres i temperert og ventilert rom. Bruk beholdere av syrefast stål eller plast. Kan skille ut formaldehyd hvis den utsettes for temperaturer under anbefalt område. Begrenset lagringstid

Spesielle egenskaper og farer En må unngå både kortvarig og langvarig eksponering for høye konsentrasjoner. Bruk avtrekk, god ventilasjon. Gassmaske med filter B eller friskluftmaske ved arbeidsoperasjoner som kan medføre fare for innånding av høye konsentrasjoner.

7.3 Spesifikk bruk

Seksjon 8: Eksponeringskontroll / personlig verneutstyr

8.1. Kontrollparametere

Annen informasjon om grenseverdier Vask straks hud som er blitt våt eller tilsølt. Ta straks av alle klærne som er blitt våte eller tilsølt. Vask hender og ansikt ved slutten av hvert skift og før spising, røyking og bruk av toalettet.

Tiltaks- og grenseverdier

Komponentnavn	Identifikasjon	Verdi	Nom år
Formaldehyd ...%	CAS-nr.: 50-00-0	8 t.: 0,5 ppm	2009
	EC-nr.: 200-001-8	8 t.: 0,6 mg/m ³	
	Indeksnr.: 605-001-00-5	15 min.: 1	
	Synonymer: Formaldehyd	15 min.: 1,2 mg/m ³	
Metanol	CAS-nr.: 67-56-1	8 t.: 100 ppm	2009
	EC-nr.: 200-659-6	8 t.: 130 mg/m ³	
	Indeksnr.: 603-001-00-X		
	Synonymer: Metanol		

8.2 Begrensning av eksponering på arbeidsplassen

Åndedrettsvern

Åndedrettsvern Gassmaske med kombinasjonsfilter, brunt gassfilter A (organiske stoffer) og

	grått gassfilter B (sure gasser) eller friskluftmaske ved arbeidsoperasjoner som kan medføre fare for innånding av høye konsentrasjoner
--	---

Håndvern

Håndvern	Arbeidshansker av f.eks. butylgummi, nitrilgummi, vitongummi . Ved valg av verneutstyr må brukeren forsikre seg om at utsyret er av tilfredstillende kvalitet og i henhold til relevante standarder. Hansketypen må være av motstandsdyktig materiale og man bør søke råd hos hanske leverandøren.
----------	---

Øye- / ansiktsvern

Øyevern	Vernebriller og/eller ansiktsskjerm.
---------	--------------------------------------

Hudvern

Annet hudvern enn håndvern	Bruk verneklær for beskyttelse mot enhver kontakt med stoffet.
----------------------------	--

Annen informasjon

Annen informasjon	Vask straks hud som er blitt våt eller tilsølt. Ta straks av alle klærne som er blitt våte eller tilsølt. Vask hender og ansikt ved slutten av hvert skift og før spising, røyking og bruk av toalettet. Utslipp fra ventilasjon eller prosessanlegg bør kontrolleres for å sikre at de er i samsvar med kravene i gjeldende miljølovgivning.
-------------------	---

Seksjon 9: Fysiske og kjemiske egenskaper

9.1. Informasjon om grunnleggende fysiske og kjemiske egenskaper

Tilstandsform	Væske . Vannklar eller svakt blakket
Farge	Fargeløs
Lukt	Irriterende ,skarp
Luktgrense	Verdi: 0,5 ppm
pH (handelsvare)	Verdi: 2,8-4
Kokepunkt / kokepunktintervall	Verdi: 95-100 °C
Flammepunkt	Verdi: 56-64 °C
Kommentarer, Eksplosjonsgrense	Eksplosjonsområde: 7 Vol % - 73 Vol %
Kommentarer, Damptrykk	0,52 kPa (3,89 mm Hg ved 25°C
Damptetthet	Verdi: 1,04
Relativ tetthet	Verdi: 1,07 g/cm ³ ved 25°C
Løselighet i vann	Fullt blandbart med vann
Kommentarer, Selvantennelighet	Tenn temperatur ca.430 °C

9.2 Annen informasjon

Luktgrense	0,5 ppm
------------	---------

Andre fysiske og kjemiske egenskaper

Kommentarer	Molmasse 30,03
-------------	----------------

Seksjon 10: Stabilitet og reaktivitet

10.1. Reaktivitet

10.2. Kjemisk stabilitet

Stabilitet	Formalin polymeriseres lett og reagerer med bl.a.fenol under varmeutvikling.Varen er som regel stabilisert med metanol. Produktet er stabilt ved de angitte håndterings- og oppbevaringsbetingelser.
------------	--

10.3. Risiko for farlige reaksjoner

Risiko for farlige reaksjoner	Bland ikke produktet med andre kjemikalier uten først å kontakte leverandøren.
-------------------------------	--

10.4. Forhold som skal unngås

Forhold som skal unngås	Unngå sterk varme.
-------------------------	--------------------

10.5. Materialer som skal unngås

10.6 Farlige spaltningsprodukter

Farlige spaltningsprodukter Ved brann eller høy temperatur dannes;Carbonmonoksyd,Carbondioksyd, Formaldehyd.

Annen informasjon

Annen informasjon Ved oppvarming avgis brennbare damper som kan danne eksplosiv blanding med luft og kan selvtenne ved kontakt med oksyderende stoffer. Formalin har svake syreegenskaper og angriper visse metaller f.eks.aluminium, stål og kopper. Formalin polymeriseres lett og reagerer med bl.a.fenol under varmeutvikling.
Unngå alkalier, sterke syrer og varme.

Seksjon 11: Toksikologisk informasjon

11.1 Informasjon om toksikologiske effekter

Toksikologisk informasjon

Andre toksikologiske data LD50 Oral (Oral rotte)
Formaldehyd: 800 mg/kg

Toksikologiske data fra komponenter

Potensielle akutte effekter

Innånding Dampene kan gi alvorlig iritasjon av luftveier eller lunger. Høye konsentrasjoner kan gi lungeødem. Akutt iritasjon i øynene ved innånding av gass/damp. Gass eller damp er helseskadelig ved høye konsentrasjoner eller langvarig påvirkning.

Hudkontakt Etsende og fare for utvikling av allergisk eksem. Kan gi kontakt allergi. Gjentatt hudkontakt kan gi oppsprukket og misfarget hud.

Øyekontakt Etsende. Damp eller sprut kan gi alvorlige øyeskader, nedsatt syn eller synstap. Kan medføre fullstendig tap av synet..

Svelging Giftig ved svelging. Kan gi alvorlig indre skade. Tas opp i mage-tarmsystemet. Brytes ned til maursyre. Kan forårsake etseskader i munn og svelg. Svelging kan forårsake bevisstløshet, blindhet , evtnt. død.

Forsinket / Repeterende

Allergi Fare for allergisk eksem.Personer som er disponert for allergi, bør utvise forsiktighet ved hudkontakt på grunn av fare for utvikling av eksem. Irritasjonseksem vil også disponere for allergi og bør derfor forebygges.

Kroniske effekter Fare for kroniske effekter. Unngå gjentatt eksponering.

Kreftfremkallende, mutagene og reproduksjonstoksiske

Kreft Formaldehyd er klassifisert som kreftfremkallende i klasse K3. Formaldehyd har vist seg å være kreftfremkallende ved dyreforsøk, idet høye konsentrasjoner over lang tid har gitt nesekreft. Omfattende undersøkelser har ikke med sikkerhet vist øket kreftrisiko hos mennesker.

Reproduksjonsskader Ingen spesielle opplysninger.

Symptomer på eksponering

Annen informasjon Mistenkt kreftfremkallende stoff for mennesker. Kan fremkalle allergi. Gjentatt, sterk eksponering over lang tid kan gi skader av varig karakter.

Seksjon 12: Miljøopplysninger

12.1. Toksisitet

Akvatisk, kommentarer Formaldehyd: LC50 1,41 mg/l (96t) (fisk), (Mortality)
EC50: 5,8 mg/l (dafnier). 48timer (Intoxication)
Metanol: LC50 100 mg/l (96t) (fisk), (Mortality)
EC50: >10000 mg/l (dafnier). 48timer (Intoxication)

Ikke klassifisert som miljøskadelig i henhold til gjeldende regelverk.
Formaldehyd i høye konsentrasjoner er giftig for levende organismer. Gir lokalt lav pH ved utslipp til vann.

Toksikologiske data fra komponenter

12.2. Persistens og nedbrytbarhet

Persistens og nedbrytbarhet Formaldehyd: Lett nedbrytbar. BOF5/KOF:0,68. I luft nedbrytes formaldehyd raskt til karbondioksyd ved hjelp av foto-oksydasjon. Halveringstid. Noen få timer.
Metanol: Lett nedbrytbar.

12.3. Bioakkumulasjonspotensial

Bioakkumulasjonspotensial Ingen bioakkumulering er forventet.

12.4. Mobilitet i jord

Mobilitet Lett løselig i vann.

12.5. Resultater av PBT og vPvB vurdering

12.6. Andre skadevirkninger

Andre skadevirkninger / annen informasjon Marine pollutant: Nei.
Log Pow: Formaldehyd: 0,35

Seksjon 13: Fjerning av avfall

13.1. Metoder for avfallsbehandling

Egnede metoder til fjerning av kjemikaliet Spill og rester i små mengder kan tillates tilført avløpssystemet sammen med rikelige mengder vann. Større mengder må leveres til godkjent behandlingsanlegg eller mottaksstasjon for spesialavfall med opplysninger om avfallets mengder, egenskaper og færemomenter. Utstyr kan vaskes med vann og vanlig vaskemiddel. Hold mennesker og dyr unna det forurensede området. Tett til rennesteiner, avløp mm. Dem opp for spredning med f.eks. sand eller jord. Deretter foretas opprensning som beskrevet ovenfor. Formalindamper kan dempes med vann i spredt stråle. Tom ikke rengjort emballasje behandles på samme måte som produktet.

Annen informasjon Avfallsnummer: 7042.
Avfallsgruppe er avhengig av bransje og bruksområde.
Avtal avfallsdisponering med kommuneing./miljøsjef/KLIF. Se avfallsforskriften av 01.06.04.
Farlig avfall: Ja.

Seksjon 14: Transportinformasjon

14.1. UN-nummer

ADR 1198

IMDG 1198

14.2. UN varenavn

ADR Formaldehydløsning, Brannfarlig

IMDG FORMALDEHYDE SOLUTION, FLAMMABLE.

14.3. Transport fareklasse

ADR 3(8)

Farenr. 80

IMDG 3

14.4. Emballasjegruppe

ADR III

IMDG III

14.5. Miljøfarer

Marin forurensning Nei

14.6. Spesielle forholdsregler for bruker

EmS F-E,S-C

14.7. Transport i bulk i henhold til vedlegg II til MARPOL 73/78 og IBC-koden**Seksjon 15: Opplysninger om lover og forskrifter****Faresymbol**

R-setninger	R23/24/25 Giftig ved innånding, hudkontakt og svelging. R39/23/24/25 Giftig: fare for alvorlig varig helseskade ved innånding, hudkontakt og svelging. R40 Mulig fare for kreft R34 Etsende. R43 Kan gi allergi ved hudkontakt.
S-setninger	S26 Får man stoffet i øynene; skylt straks grundig med store mengder vann og kontakt lege. S36/37/39 Bruk egnede verneklær, vernehansker og vernebriller/ansiktsskjerm. S45 Ved uhell eller illebefinnende er omgående legebehandling nødvendig; vis etiketten om mulig. S51 Må bare anvendes på godt ventilerte steder.

15.1. Forskrift / regelverk om stoff eller blanding i forhold til sikkerhet, helse og miljø

Referanser (Lover/Forskrifter)	Administrative normer (2007/2008). Stofflisten (2005) Produktforskriften. OBS listen. Produsent/importør. Forskrift om klassifisering, merking m.v. av farlige kjemikalier (2003). Forskrift om farlig avfall (2004). ADR/RID-vegtransport av farlig gods (2011). I henhold til forordning: ECNo 1272/2008 (CLP).
Kommentarer	Opplysningene støtter seg til dagens kjennskaper og erfaringer. Sikkerhetsdatabladet beskriver produkter med henblikk på sikkerhetskrav.

15.2. Vurdering av kjemikaliesikkerhet**Seksjon 16: Andre opplysninger**

Leverandørens anmerkninger	Databladet er laget etter vår nåværende kunnskap, norsk regelverk og produsentens opplysninger. Forhold som dukker opp som skyldes manglende opplysninger til oss, er utenfor vår kontroll og må svares for av produsenten. Da brukerens arbeidsforhold ligger utenfor vår kontroll, vil det være brukerens ansvar at de nødvendige forholdsregler blir tatt. Det er den enkelte mottakers plikt å sørge for at informasjon gitt i dette HMS-datablad blir lest og forstått av alle som bruker, behandler, avhender eller på noen måte kommer i kontakt med produktet. Dette produktet skal bare brukes til det formål det er beregnet for og i henhold til spesifiserte instruksjoner. Opplysningene gjelder kun for det materialet som er angitt her, og gjelder ikke i forbindelse med bruk av noe annet materiale eller i noen form for bearbeidelse. Opplysningene skal ikke anses som en garanti eller kvalitetsspesifikasjon.
Liste over relevante R-setninger (i seksjon 2 og 3).	R11 Meget brannfarlig. R23/24/25 Giftig ved innånding, hudkontakt og svelging. R34 Etsende. R39/23/24/25 Giftig: fare for alvorlig varig helseskade ved innånding, hudkontakt og svelging. R40 Mulig fare for kreft R43 Kan gi allergi ved hudkontakt.
Liste over relevante H-setninger (i	H225 Meget brannfarlig væske og damp.

seksjon 2 og 3).	H301 Giftig ved svelging. H311 Giftig ved hudkontakt. H314 Gir alvorlige etseskader på hud og øyne. H317 Kan utløse en allergisk hudreaksjon. H331 Giftig ved innånding. H351 Mistenkes for å kunne forårsake kreft H370 Forårsaker organskader
Utfyllende opplysninger	Administrative normer (2007/2008). Stofflisten (2005) Produktforskriften. OBS listen. Produsent/importør. Forskrift om klassifisering, merking m.v. av farlige kjemikalier (2003). Forskrift om farlig avfall (2004). ADR/RID-vegtransport av farlig gods (2011). I henhold til forordning: ECNo 1272/2008 (CLP). Informasjon og datablad fra produsent har hatt stor betydning for klassifisering.
Ansvarlig for Sikkerhetsdatablad	Hjelle Kjemi AS