



OsloMet – storbyuniversitetet

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

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo

GRUPPE NR. 20

TILGJENGELIGHET

Telefon: 67 23 50 00

www.oslomet.no

MASTEROPPGAVE

MASTEROPPGAVENS TITTEL Ventilasjonsteknisk løsning for forsknings- og undervisningslaboratorier for organisk kjemi	DATO 23.05.2018
	ANTALL SIDER / ANTALL VEDLEGG 125 / 10
FORFATTER Simen Goplen	VEILEDER Ida Bryn, Anette Bonsted og Guro Urdahl
UTFØRT I SAMMARBEID MED Erichsen & Horgen	KONTAKTPERSON Simen Goplen

<p>SAMMENDRAG</p> <p>Ved DTU i Danmark har man designet forsknings- og undervisningslaboratorier for organisk kjemi med en høyere takhøyde, for å kunne introdusere maksimale luftmengder. I Norge setter man normalt begrensninger på luftmengdene, for å få introdusert tilførselsluft uten at det oppstår trekk i laboratoriet og at luftstrømmen inn i avtrekksskapet ikke forstyrres.</p> <p>Målet med oppgaven er å anbefale hvilken ventilasjonsteknisk løsning som er den mest egnede for både forsknings- og undervisningslaboratorier.</p> <p>Resultatene viser at ved å benytte tekstilkanaler kan man tilføre maksimale luftmengder i laboratorier med "normal høyde" uten at det oppstår for høye lufthastigheter ved avtrekksskapene. Dette er et viktig funn, som viser at det ikke er nødvendig med en høyere takhøyde, som er tilfelle ved DTU.</p> <p>Den beste ventilasjonstekniske løsningen for forsknings- og undervisningslaboratoriet er derfor å benytte tekstilkanaler. Laboratoriene kan bygges uten økt romhøyde, som er forutsatt ved Nytt Livsvitenskapsbygg. Avtrekksskapene kan ha en lufthastighet gjennom lukeåpningen på 0,50 m/s og 100 % samtidighet.</p>

3 STIKKORD
Beskyttelsesventilasjon
CFD – Computational Fluid Dynamics
LCC - Livssykluskostnader

Prosjektbeskrivelse

Tittel: Ventilasjonsteknisk løsning for forsknings- og undervisningslaboratorier for organisk kjemi.

Oppgaven skrives i samarbeid med Erichsen og Horgen. Hovedveileder er Ida Bryn (OsloMet, Erichsen & Horgen), og eksterne veiledere er Anette Bonsted og Guro Urdahl (Erichsen & Horgen).

I Norge og Danmark ser man ulik design av laboratorier med høy tetthet av avtrekksskap. Ved DTU i Danmark har man designet forsknings- og undervisningslaboratoriene for organisk kjemi med høyere takhøyde for å introdusere maksimal luftmengde. I Norge setter man normalt begrensinger på samtidig bruk av avtrekksskapene i forskningslaboratorier. For undervisningslaboratorier må man forutsette 100 % samtidig bruk av avtrekksskapene. Det kan være utfordrende å få tilført store nok luftmengder i rom med "normal høyde", uten at det går utover komforten eller at luftstrømmen inn i avtrekksskapene forstyrres.

Problemstilling: Hva er den beste ventilasjonstekniske løsningen for forsknings- og undervisningslaboratorier for organisk kjemi?

Forskningsspørsmål:

- Er det en bedre løsning å bygge rom med høyere romhøyde for å introdusere nok luft?
- Hva gjør en slik løsning med lufthastigheten i rommet, og trekkfølelsen for de som jobber i lokalene?
- Kan man tilføre luft med maksimale luftmengder i rom med "normal" høyde uten at det går ut over personkomfort og luftbevegelsene inn lukeåpningen til avtrekksskapene for spesialavtrekk?
- Hva er gode løsninger for tilluftsarrangement for å få introdusert nok luft, og mest mulig stabil luftstrømning inn lukeåpningen til avtrekksskapet ved de ulike romløsningene?
- Hva er gode løsninger for regulering i laboratorier med høy tetthet av avtrekksskap?

Forord

Masteroppgaven MAEN5900 er det siste arbeidet ved masterstudiet i Energi og miljø i bygg ved OsloMet-storbyuniversitetet. Oppgaven er en individuell og selvstendig rapport som er utført i vårsemesteret 2018. Det har vært en lang og intensiv, men også svært interessant og lærerik periode.

Gjennom mine 5 år som VVS-ingeniør har jeg opparbeidet meg god kunnskap innenfor VVS-faget. VVS-bransjen er en bransje i stadig utvikling, og man må hele tiden tilegne seg ny kunnskap for å ligge i front. Jeg har jobbet i seksjon for Helse- og laboratoriebygg hos Erichsen & Horgen, og har derfor jobbet en del med beskyttelsesventilasjon. Derfor var det naturlig for meg å skrive en oppgave rundt temaet, da jeg synes dette er et meget interessant fagfelt.

Prosjektbeskrivelsen ble utarbeidet høsten 2017 av mine veiledere Anette Bonsted og Guro Urdahl, som gjorde det mulig for meg å finne litteratur rundt temaet på forhånd, samt å gjøre en rekke forutsetninger på et tidlig tidspunkt.

Da jeg skal jobbe videre med Nytt Livsvitenskapsbygg for UiO i detaljprosjekt hos Erichsen og Horgen, er denne masteroppgaven utrolig nyttig å ta med seg videre for prosjektering av Livsvitenskapsbygget.

Jeg ønsker å rette en stor takk til følgende personer:

Hovedveileder Ida Bryn for god oppfølging og synspunkter ved milepælsmøter.

Biveiledere Anette Bonsted og Guro Urdahl for god oppfølging og for å være gode diskusjonspartnere gjennom hele masteroppgaveperioden.

Ole Melhus ved HiOA for en svært god innføring i CFD-programmet Star CCM+.

Min kollega Saiph Neumann og medstudent Azada Ayarmal for god hjelp med CFD-programmet Star CCM+ underveis i prosjektet.

Min samboer og familie for god støtte gjennom en utfordrende periode.

Simen Goplen

Oslo, 23. mai 2018

Sammendrag

Nytt Livsvitenskapsbygg for UiO skal bli Norges største forskningsbygg, og skal blant annet inneholde ca. 1700 m² med forsknings- og undervisningslaboratorier for organisk kjemi. Ved DTU i Danmark har man designet forsknings- og undervisningslaboratorier for organisk kjemi med en høyere takhøyde, for å kunne introdusere maksimale luftmengder. I Norge setter man normalt begrensninger på luftmengdene, for å få introdusert tilførselsluft uten at det oppstår trekk i laboratoriet og at luftstrømmen inn i avtrekksskapet ikke forstyrres.

Målet med oppgaven er å anbefale hvilken ventilasjonsteknisk løsning som er den mest egnede for både forsknings- og undervisningslaboratorier. I oppgaven er det utført romstudier for to ulike konseptløsninger. Konsept 1 er forsknings- og undervisningslaboratoriet som er designet i forprosjektet til Nytt Livsvitenskapsbygg. Konsept 2 er forsknings- og undervisningslaboratoriet ved DTU. For hver romstudie er det sett på luftmengder, samtidighet, ulike ventilasjonstekniske løsninger og reguleringsprinsipp. CFD-simuleringer er utført for å vise hastighetsprofil i hvert laboratorium. I tillegg er en LCC-analyse utført for hver ventilasjonsteknisk løsning.

For konsept 1 ble laboratoriene vurdert med en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på både 0,36 og 0,50 m/s. To tilluftsenheter ble vurdert i konsept 1, som var DRI tilluftsventil for fortrenningsventilasjon og tekstilkanaler. For konsept 2 ble laboratoriene vurdert med en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,50 m/s. Tilluftsenheten som ble vurdert i konsept 2 var kjent fra tidligere befarings, og var perforerte dysekanaler.

Resultatene viser at DRI tilluftsventil og dysekanaler gir for store lufthastigheter ved avtrekksskapene med maksimale luftmengder. Ved å benytte tekstilkanaler kan man tilføre maksimale luftmengder i laboratorier med "normal høyde" uten at det oppstår for høye lufthastigheter ved avtrekksskapene. Dette er et viktig funn, som viser at det ikke er nødvendig med en høyere takhøyde, som er tilfelle ved DTU.

Den beste ventilasjonstekniske løsningen for forsknings- og undervisningslaboratoriet er derfor å benytte tekstilkanaler. Avtrekksskapene kan ha en lufthastighet gjennom lukeåpningen på 0,50 m/s og 100 % samtidighet. Laboratoriene kan bygges uten økt romhøyde, som er forutsatt ved nytt Livsvitenskapsbygg. De anbefalte ventilasjonstekniske løsningene som er anbefalt er modellert i Revit, og kan benyttes videre i detaljprosjekt for nytt Livsvitenskapsbygg.

Abstract

The new Life Science building for UiO will be Norway's largest research building, and will include approx. 1700 m² with research- and teaching laboratories for organic chemistry. At DTU in Denmark, research- and teaching laboratories for organic chemistry have been designed with a higher ceiling to introduce maximum airflows. In Norway, restrictions on airflows are usually imposed, to introduce supply air without the occurrence of drafts in the laboratory and that the airflow into the fume hood is not disturbed.

The aim of the task is to recommend which ventilation solution is most suitable for both research- and teaching laboratories. In the assignment there are room studies for two different conceptual solutions. Concept 1 is the research- and teaching laboratory designed in the pre-project of the New Life Science Building. Concept 2 is the research- and teaching laboratory at DTU. For each room study, airflow, diversity, different supply air systems and control types are considered. CFD simulations are performed to show velocity profile in each laboratory. In addition, an LCC analysis is performed for each ventilation solution.

For concept 1, the laboratories were evaluated with an air velocity into the sash opening at the fume hoods of 0.36 and 0.50 m/s. Two different supply air units were evaluated in concept 1, which was the DRI supply unit for displacement ventilation and textile ducts. For concept 2, the laboratories had an air velocity into the sash opening at the fume hoods of 0.50 m/s. The supply air unit evaluated in concept 2 was known from previous inspection at DTU, and was perforated duct diffusers.

The results show that the DRI supply unit and perforated duct diffuser provide too high air velocities near the fume hoods with maximum air volumes. By using textile ducts, maximum air volumes can be supplied to laboratories with "normal height" without too high air velocities near the fume hoods. This is an important finding, which shows that it is not necessary with a higher ceiling height, as is the case at DTU.

The best ventilation solution for the research- and teaching laboratory is therefore to use textile ducts. The fume hoods can have an air velocity into the sash opening of 0.50 m/s and a diversity of 100%. The laboratories can be built without increased room height, as provided in the new Life Science building. The recommended ventilation solutions are modeled in Revit, and can be used in the detail project for the new Life Science building.

Innholdsfortegnelse

Forord	ii
Sammendrag	iii
Abstract	iv
Figurer	viii
Tabeller.....	xii
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Mål.....	2
1.3 Originalitet og nytteverdi.....	2
1.4 Oppgavens oppbygning	3
2 Beskyttelsesventilasjon	4
2.1 Introduksjon.....	4
2.2 Lover og forskrifter	4
2.3 Avtrekksskap	5
2.4 Ventilerte skap for lagring	8
2.5 Tilluftsenheter i laboratorier	9
2.6 Faktorer som kan påvirke avtrekksskapets funksjon.....	15
2.7 Regulerings tekniske løsninger.....	20
2.8 Luftmengdebehov	23
2.9 Samtidighet.....	24
2.10 Utslipp fra avtrekksskap	25
3 CFD – Computational Fluid Dynamics	26
4 LCC – Livssyklus kostnader	27
5 Benyttede programmer.....	30
6 Tidligere forskning.....	31
7 Metode	34
7.1 Litteratur	34
7.2 Valg av konseptløsninger	35
7.3 Teoretiske beregninger	37
7.4 Modellering i Revit.....	43
7.5 CFD – simulering.	44
7.6 Valg av ventilasjonstekniske løsninger for videre analyse.....	49
7.7 Valg av romregulering.....	49

7.8	LCC - analyse	50
8	Forutsetninger	53
8.1	Forskningslaboratorier.....	53
8.2	Undervisningslaboratorier	57
8.3	Valg av tillufts enhet.....	61
8.4	Valg av avtrekksskap.....	62
8.5	Valg av reguleringsteknisk løsning	62
8.6	CFD – simulering	63
8.7	LCC	66
9	Resultat	68
9.1	Luftmengdeberegning.....	68
9.1.1	Forskningslaboratoriet.....	68
9.1.2	Undervisningslaboratoriet	72
9.2	Samtidighetsbetraktning	75
9.2.1	Forskningslaboratoriet konsept 1, alternativ 2.	75
9.2.2	Forskningslaboratoriet konsept 1, alternativ 3.	76
9.3	Størrelse på tilluftsarrangement.....	77
9.3.1	Konsept 1.....	77
9.3.2	Konsept 2.....	83
9.4	CFD – simulering	85
9.4.1	Konsept 1.....	85
9.4.2	Konsept 2.....	93
9.4.3	Hastighetsprofil med underkjølt tilluft.....	97
9.5	Ventilasjonstekniske løsninger for videre analyse.	99
9.6	Romregulering	100
9.7	Livssyklus kostnader (LCC).....	105
10	Diskusjon.....	108
10.1	Luftmengdeberegning.....	108
10.2	Samtidighetsbetraktning.	109
10.3	Størrelse på tilluftsarrangement.....	110
10.4	CFD-simulering.....	113
10.5	Ventilasjonsteknisk løsning for videre analyse.	116
10.6	Romregulering	117

10.7	LCC	119
10.8	Oppsummering av de ulike ventilasjonstekniske løsningene	121
11	Konklusjon	125
12	Referanser.....	126
	Vedlegg	128

Figurer

Figur 1 Nytt Livsvitenskapsbygg ("Nytt Livsvitenskapbygg," 2017).....	1
Figur 2 Kjemibygget 211 ved DTU ("Bygning 211 - Kemilaboratorier," 2016).....	1
Figur 3 Avtrekksskapets geometri basert på illustrasjon fra "Energieffektiv helhedsløsning til sikker laboratorieventilasjon", side 9 (Madsen, 2016).....	6
Figur 4 Avtrekksskapets lukeutforming. Til venstre med alminnelig vertikal luke, til høyre med tre horisontale luker. Basert på illustrasjon fra "Energieffektiv helhedsløsning til sikker laboratorieventilasjon", side 62 (Madsen, 2016).....	7
Figur 5 Avtrekksskap benyttet for rotavaporer i undervisningslaboratorium ved DTU. Bilde fra studietur ved DTU (Døhl, 2016).....	8
Figur 6 Konsept for ventilasjon i laboratorium ("Laboratory Design Handbook," 2014c).	9
Figur 7 Prinsipp ved fortrenningsventilasjon med tilluftsenshet ved tak	10
Figur 8 Luftfordelingsprinsipp for lavimpuls tekstilkanal ved tak ved ulik ΔT (Gustavsen, 2004).....	12
Figur 9 Eksempel på dysekanal (Uv, 2005)	14
Figur 10 Ulike utforminger på avtrekksskapets bordforkant. Basert på illustrasjon fra "Energieffektiv helhedsløsning til sikker laboratorieventilasjon", side 54 (Madsen, 2016)....	15
Figur 11 Oversikt over ulike situasjoner for plassering av avtrekksskap (Norsk Standard, 2003a).....	16
Figur 12 Eksempel på hva som kan skje i avtrekksskapet ved for høy tilførselshastighet (Åkredalen, 2000).....	17
Figur 13 Eksempel på menneskelige forstyrrelser som kan påvirke avtrekksskapets sikkerhet (Åkredalen, 2000).....	19
Figur 14 Eksempel på regulering med summasjonsprinsippet (Åkredalen, 2016)	21
Figur 15 Eksempel på regulering med måleprinsippet (Åkredalen, 2016)	22
Figur 16 Kalkulasjon av NVT og $\dot{A}K$ når analyseperioden er lik levetiden (Standard, 2013)	29
Figur 17 Romløsning forskningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanaler ved tak, avtrekksskapenes lukeåpninger og utløpene mot forrommet, modellert opp i Star CCM+	45
Figur 18 Mesh modell av undervisningslaboratoriet konsept 2 med perforert dysekanal modellert opp i Star CCM+	47
Figur 19 Forutsatt forskningslaboratorium for konsept 1	53
Figur 20 Forutsatt forskningslaboratorium for konsept 2	55
Figur 21 Forutsatt undervisningslaboratorium i konsept 1	57

Figur 22 Forutsatt undervisningslaboratorium i konsept 2	59
Figur 23 Forutsetning for oppbygning av dysekanaler for konsept 2	62
Figur 24 Modellert ventilasjonsteknisk løsning for forskningslaboratoriet i konsept 1 med DRI tilluftsventil. Til venstre: Alternativ 1, 3 og 4. Til høyre: Alternativ 2.....	77
Figur 25 Modellert ventilasjonsteknisk løsning for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med DRI tilluftsventil	78
Figur 26 Modellert ventilasjonsteknisk løsning for forskningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanaler	80
Figur 27 Modellert ventilasjonsteknisk løsning for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanaler	80
Figur 28 Teoretisk beregnet hastighetsprofil for ulike soner i forskningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanaler ved alternativ 3.....	82
Figur 29 Teoretisk beregnet hastighetsprofil for ulike soner i undervisningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanaler ved alternativ 2	82
Figur 30 Modellert ventilasjonsteknisk løsning for forskningslaboratoriet i konsept 2 med dysekanal.....	83
Figur 31 Modellert ventilasjonsteknisk løsning for undervisningslaboratoriet i konsept 2 med dysekanaler.....	84
Figur 32 Hastighetsprofil med DRI 315 tilluftsventil for forskningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 1)	85
Figur 33 Hastighetsprofil med DRI 315 tilluftsventil for forskningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 68 % samtidighet (alternativ 2)	86
Figur 34 Hastighetsprofil med DRI 315 tilluftsventil for forskningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 72 % samtidighet (alternativ 3)	86
Figur 35 Hastighetsprofil med DRI 315 tilluftsventil for forskningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 4)	87
Figur 36 Hastighetsprofil langs x-aksen med DRI 315 tilluftsventil for undervisningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 1)	88

Figur 37 Hastighetsprofil langs y-aksen med DRI 315 tilluftsventil for undervisningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 1)	88
Figur 38 Hastighetsprofil langs x-aksen med DRI 315 tilluftsventil for undervisningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 2)	89
Figur 39 Hastighetsprofil langs y-aksen med DRI 315 tilluftsventil for undervisningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 2)	89
Figur 40 Hastighetsprofil med perforert tekstilkanal for forskningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 1)	90
Figur 41 Hastighetsprofil med perforert tekstilkanal for forskningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 72 % samtidighet (alternativ 3)	90
Figur 42 Hastighetsprofil med perforert tekstilkanal for forskningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 4)	91
Figur 43 Hastighetsprofil med perforert tekstilkanal for undervisningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 1)	92
Figur 44 Hastighetsprofil med perforert tekstilkanal for undervisningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 2)	92
Figur 45 Strømningsprofil ved kanalflaten med perforert dysekanal med 360 o spredningsmønster for forskningslaboratoriet i konsept 2	93
Figur 46 Hastighetsprofil med perforert dysekanal for forskningslaboratoriet konsept 2	93
Figur 47 Hastighetsprofil med perforert dysekanal for forskningslaboratoriet konsept 2, som illustrerer hvor lufthastigheten ligger på 0,20 m/s.	94
Figur 48 Hastighetsprofil ved kanalflaten med perforert dysekanal med 360 o spredningsmønster for undervisningslaboratoriet i konsept 2.....	95
Figur 49 Hastighetsprofil ved kanalflaten med perforert dysekanal med 180 o spredningsmønster for undervisningslaboratoriet i konsept 2.....	95
Figur 50 Hastighetsprofil med perforert dysekanal for forskningslaboratoriet konsept 2	96

Figur 51 Hastighetsprofil med perforert dysekanal for undervisningslaboratoriet konsept 2, som illustrerer hvor lufthastigheten ligger på 0,20 m/s.....	96
Figur 52 Hastighetsprofil med perforert dysekanal for forskningslaboratoriet konsept 2 med $\Delta T = 3 \text{ }^\circ\text{C}$	97
Figur 53 Hastighetsprofil med perforert dysekanal for undervisningslaboratoriet konsept 2 med $\Delta T = 3 \text{ }^\circ\text{C}$	98
Figur 54 Levetidskostnader for forskningslaboratoriene	107
Figur 55 Levetidskostnader for undervisningslaboratoriene.....	107
Figur 56 Trykkfalls -og lydnivå for DRI 315 tilluftsventil ved valgte luftmengder	110
Figur 57 Forslag til endret plassering av tilluftsventiler for ventilasjonsteknisk løsning 2, konsept 1	122

Tabeller

Tabell 1 Fordeler og ulemper ved å benytte lavimpuls tilluftsventil for fortreningsventilasjon som tillufts-enhet	11
Tabell 2 Fordeler og ulemper ved å benytte lavimpuls tekstilkanaler	13
Tabell 3 Fordeler og ulemper ved å benytte lavimpuls tekstilkanaler	14
Tabell 4 Anbefalte minimumsavstander fra avtrekksskap til andre hindringer (Norsk Standard, 2003a).....	16
Tabell 5 Fordeler og ulemper ved å benytte summasjonsprinsippet	21
Tabell 6 Fordeler og ulemper ved å benytte måleprinsippet	22
Tabell 7 Oversikt over smitterisikogrupper.....	25
Tabell 8 Alternative løsninger for avtrekksskapene i forsknings- og undervisningslaboratoriet i konsept 1.	35
Tabell 9 Forutsetninger for forskningslaboratoriet konsept 1	54
Tabell 10 Forutsetninger for forskningslaboratoriet konsept 2	56
Tabell 11 Forutsetninger for undervisningslaboratoriet konsept 1	58
Tabell 12 Forutsetninger for forskningslaboratoriet konsept 2	60
Tabell 13 Forutsetninger for tillufts-enhet konsept 1	61
Tabell 14 Tillufts-enhet konsept 2.....	61
Tabell 15 Oversikt over forutsatte sonereguleringsprinsipper for de ulike konseptløsningene.....	62
Tabell 16 Inndata mesh modell for CFD simulering.....	63
Tabell 17 Inndata fysikk modell for CFD simulering	63
Tabell 18 Inndata for region tilluft og avtrekk	64
Tabell 19 Inndata for region tilluft, avtrekk og fysikkmodell ved underkjølt tilluft.....	64
Tabell 20 Høyder på simuleringsområde for de enkelte konseptløsningene.....	65
Tabell 21 Forutsatte kostnader ved økt romhøyde	66
Tabell 22 Forutsetninger for å beregne årlig kostnad for viftedrift for forsknings -og undervisningslaboratoriene for begge konsepter.....	66
Tabell 23 Forutsetninger for å beregne årlig driftskostnad for laboratoriene	67
Tabell 24 Forutsetninger for beregning av vedlikeholdskostnader	67
Tabell 25 Beregnede luftmengder for avtrekksskap 1200 bredde konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,36 m/s	68
Tabell 26 Beregnede luftmengder for avtrekksskap 1200 bredde konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,50 m/s	68

Tabell 27 Konstante luftmengder for avtrekksskap for rotavaporer og kjemikalieskap konsept 1	69
Tabell 28 Beregnet total luftmengde for forskningslaboratoriet for konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s og 100 % samtidighet (alternativ 1)	69
Tabell 29 Beregnet total luftmengde for forskningslaboratoriet for konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s og spesifikk luftmengde på 50 m ³ /h m ² (alternativ 2)	69
Tabell 30 Beregnet total luftmengde for forskningslaboratoriet konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s, og samtidighet på 72 % (alternativ 3) og 100 % (alternativ 4).....	70
Tabell 31 Beregnede luftmengder for avtrekksskap 1500 bredde konsept 2 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s	71
Tabell 32 Konstante luftmengder for avtrekksskap for rotavaporer og kjemikalieskap konsept 2	71
Tabell 33 Beregnet total luftmengde for forskningslaboratoriet konsept 2 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s og 100 % samtidighet	71
Tabell 34 Beregnede luftmengder for avtrekksskap 1500 bredde konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s	72
Tabell 35 Beregnede luftmengder for avtrekksskap 1500 bredde konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s	72
Tabell 36 Beregnet total luftmengde for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s og 100 % samtidighet (alternativ 1)	72
Tabell 37 Beregnet total luftmengde for undervisningslaboratoriet for konsept med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s og 100 % samtidighet (alternativ 2)	73
Tabell 38 Beregnede luftmengder for avtrekksskap 1500 bredde konsept 2 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s	74
Tabell 39 Konstante luftmengder for avtrekksskap for rotavaporer og kjemikalieskap konsept 2	74
Tabell 40 Beregnet total luftmengde for undervisningslaboratoriet konsept 2 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s og 100 % samtidighet	74
Tabell 41 Beregnet tilgjengelig samtidighet for forskningslaboratoriet alternativ 2	75

Tabell 42 Oversikt over ulike kombinasjoner ved 68 % samtidighet og en lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning 0,36 m/s for forskningslaboratoriet konsept 1	75
Tabell 43 Beregnet tilgjengelig samtidighet for forskningslaboratoriet alternativ 3	76
Tabell 44 Oversikt over ulike kombinasjoner ved 72 % samtidighet og en lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s for forskningslaboratoriet konsept 1	76
Tabell 45 Forslag til størrelse på DRI tilluftsventiler i forskningslaboratoriet i konsept 1	77
Tabell 46 Forslag til størrelse på DRI tilluftsventiler i undervisningslaboratoriet i konsept 1	78
Tabell 47 Forslag til størrelse på tekstilkanaler i forsknings -og undervisningslaboratoriet i konsept 1	79
Tabell 48 Beregnet hastighetsprofil for tekstilkanalene ved de ulike alternativene i konsept 1	81
Tabell 49 Forslag til størrelse på dysekanaler i forsknings -og undervisningslaboratoriet i konsept 2	83
Tabell 50 Oversikt over valgte ventilasjonstekniske løsninger for videre analyse	99
Tabell 51 Oversikt over reguleringsspjeld for forskningslaboratoriet i konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 1	100
Tabell 52 Oversikt over reguleringsspjeld for forskningslaboratoriet i konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 2	101
Tabell 53 Oversikt over reguleringsspjeld for forskningslaboratoriet i konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 3	102
Tabell 54 Oversikt over reguleringsspjeld for forskningslaboratoriet i konsept 2 med ventilasjonsteknisk løsning 1	103
Tabell 55 Oversikt over reguleringsspjeld for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 1	103
Tabell 56 Oversikt over reguleringsspjeld for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 2	104
Tabell 57 Oversikt over reguleringsspjeld for undervisningslaboratoriet i konsept 2 med ventilasjonsteknisk løsning 1	104
Tabell 58 Oversikt over livssyklus kostnader for to laboratorier ved de ulike ventilasjonstekniske løsningene	105
Tabell 59 Oversikt over levetidskostnader og årskostnad (ÅK) for to laboratorier ved de ulike ventilasjonstekniske løsningene	106

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Nytt Livsvitenskapsbygg for UiO skal bli Norges største forskningsbygg, og vil inneholde et bredt spekter av ulike laboratorievirksomheter og kontorlokaler fordelt på ca. 66 700 m². Bygget inneholder ca. 1 700 m² med forsknings- og undervisningslaboratorier for organisk kjemi. Slike laboratoriefunksjoner har ofte en høy tetthet av avtrekksskap på et relativt lite gulvareal, og ventilasjonsteknisk løsning er ofte kompliserte å prosjektere på grunn av liten plass for ventilasjonsteknisk utstyr. På grunn av krav til byggets totalhøyde ligger avstand mellom dekker på 3.75 meter. Figur 1 viser hvordan Nytt Livsvitenskapsbygg skal bli.



Figur 1 Nytt Livsvitenskapsbygg ("Nytt Livsvitenskapbygg," 2017)

Ved Danmarks Tekniske Universitet (DTU) ble Kjemibygget 211 ferdigstilt i 2015. Det inneholder forsknings- og undervisningslaboratorier for organisk kjemi. Ved å ha et helt eget bygg for denne typen laboratorievirksomhet har danskene valgt å ha en høyere avstand mellom dekker, for å kunne sikre en god gjennomstrømning av tilførselsluft i laboratoriene. Figur 2 viser Kjemibygget 211 ved DTU.



Figur 2 Kjemibygget 211 ved DTU ("Bygning 211 - Kemilaboratorier," 2016)

1.2 Mål

Gjennom å se på ulike ventilasjonstekniske løsninger for både forsknings- og undervisningslaboratorier er målet med oppgaven å anbefale hvilken ventilasjonsteknisk løsning som er den mest egnede for hver laboratoriefunksjon. Dette vil basere seg på romstudier av to ulike romløsningskonsepter for både forsknings- og undervisningslaboratoriet. Forskningslaboratorium konsept 1 er forskningslaboratorium for organisk kjemi designet i forprosjektet for Nytt Livsvitenskapsbygg. Forskningslaboratorium konsept 2 er forskningslaboratorium for organisk kjemi ved DTU. Undervisningslaboratorium konsept 1 er undervisningslaboratorium for organisk kjemi designet i forprosjektet for Nytt Livsvitenskapsbygg. Undervisningslaboratorium konsept 2 er undervisningslaboratorium for organisk kjemi ved DTU.

Laboratoriene i konsept 1 er basert på arkitektmodell fra Revit for Nytt Livsvitenskapsbygg. Laboratoriene i konsept 2 er basert på plantegninger og bilder av DTU Kjemibygget 211.

Det skal ses på luftmengder, samtidighet, ventilasjonstekniske installasjoner og reguleringsprinsipp. CFD-simuleringer skal benyttes til å vise hastighetsprofil for de ulike ventilasjonstekniske løsningene, og vil ligge til grunn for valg av ventilasjonsteknisk løsning. En LCC-vurdering av de ulike løsningene vil også være med på å danne grunnlaget for valg av den mest egnede ventilasjonstekniske løsningen for forsknings- og undervisningslaboratoriet.

1.3 Originalitet og nytteverdi

Temaet er svært dagsaktuelt. Nytt Livsvitenskapsbygg skal starte detaljprosjekt våren 2018, og her vil det komme en stor andel av forsknings- og undervisningslaboratorier for organisk kjemi. I prosjektets skisse- og forprosjekt ble ikke ventilasjonsteknisk løsning helt løst for disse laboratoriearealene. Da jeg har prosjektert opp alle løsningene i Revit, har oppgaven en stor nytteverdi, fordi den beste ventilasjonstekniske løsningen kan benyttes i detaljprosjektet for Nytt Livsvitenskapsbygg. Det finnes ikke tidligere publisert litteratur som omhandler hvordan en bør prosjektere ventilasjonsteknisk løsning i laboratorier med høy tetthet av avtrekksskap. Masteroppgavens tema er dermed originalt og nyskapende.

1.4 Oppgavens oppbygning

Innledningsvis gis det en teoretisk innføring i oppgavens hovedtemaer som er beskyttelsesventilasjon, CFD og LCC. I kapittel 2 gis en grunnleggende innføring i hva beskyttelsesventilasjon er, hvilke lover og standarder som gjelder og hvilke ventilasjonstekniske installasjoner som normalt benyttes ved beskyttelsesventilasjon. I tillegg beskrives hvilke faktorer som kan skape forstyrrelser i et laboratorium, hvilke reguleringstekniske løsninger som egner seg og behovet for samtidighet og luftmengder i laboratorier.

I kapittel 3 og 4 gis det en kort teoretisk innføring i CFD-simulering og LCC-analyse, og kapittel 5 gir en kort beskrivelse av hvilke programmer som er benyttet i oppgaven.

Kapittel 6 gir en oppsummering av tidligere forskning som omhandler hovedtemaene beskyttelsesventilasjon, CFD og LCC, som er av interesse for oppgaven.

Kapittel 7 beskriver hvilke metoder som er benyttet for å løse oppgaven. Den beskriver i detalj hva som ble gjort og hvorfor.

Kapittel 8 gir en oversikt over alle forutsetningene som er lagt til grunn for å løse oppgaven. Forutsetningene er vist både ved hjelp av tabeller og figurer.

I kapittel 9 fremvises alle resultatene i oppgaven ved hjelp av underkapitler som beskriver hver resultatdel. Resultatene går i kronologisk rekkefølge som betyr at hvert underkapittel viser resultater som har vært avhengig av det forrige underkapitlet. Det første resultatet går på luftmengdeberegninger for alle laboratorieløsningene, etterfulgt av resultat av samtidighetsbetrakninger. Deretter kommer resultat av størrelse på de ulike tilluftsenehetene, som igjen danner grunnlaget for resultatene i CFD-simuleringene. Resultatene danner grunnlaget for å velge ventilasjonstekniske løsninger for videre analyse, som omhandler reguleringstekniske løsninger og LCC-analyse.

I kapittel 10 diskuteres alle resultatene i oppgaven. Her vil alle underkapitlene fra resultatdelen diskuteres. Til slutt vil det komme en kort oppsummering for de ulike ventilasjonstekniske løsningene.

I kapittel 11 konkluderes den beste ventilasjonstekniske løsningen for hver laboratoriefunksjon. Forskningsspørsmålene fra prosjektbeskrivelsen oppsummeres og det gis forslag for eventuelt videre arbeid som bør gjøres.

2 Beskyttelsesventilasjon

2.1 Introduksjon

I rom med forurensende prosesser som utgjør en helserisiko for personer benytter man beskyttelsesventilasjon. Dette er en form for ventilering, der man benytter spesielle lufttekniske installasjoner som skal beskytte mennesker under ulike arbeidssituasjoner hvor det kan avgis skadelige stoffer luftbårent. Ved slike lufttekniske installasjoner er det som oftest avtrekksinstallasjoner en snakker om. Det finnes mange ulike avtrekksinstallasjoner som benyttes ved beskyttelsesventilasjon. Dette kan være punktavsug, avtrekkshette, ventilerte skap, avtrekksskap, avtrekksbenker og sikkerhetsbenker (Åkredalen, 2000). Denne oppgaven tar for seg forsknings- og undervisningslaboratorier for organisk kjemi. Ventilasjonstekniske installasjoner som normalt benyttes i denne type laboratorier er avtrekksskap og kjemikalieskap.

2.2 Lover og forskrifter

Det er noen aktuelle lover og forskrifter som omhandler ventilasjonsforhold, arbeidsforhold og atmosfæreforhold ved beskyttelsesventilasjon. Følgende utdrag fra aktuelle lover og forskrifter kan trekkes ut:

- TEK 17 § 13-3. Ventilasjon i byggverk for publikum og arbeidsbygning (Byggteknisk Forskrift, 2017) sier i tredje ledd at *"Rom med forurensende aktiviteter og prosesser skal ha tilstrekkelig avtrekk til at det opprettholdes tilfredsstillende luftkvalitet."*
- Arbeidsmiljøloven § 4-5. Særlig om kjemisk og biologisk helsefare (Arbeidsmiljøloven, 2017) sier at *"Ved håndtering av kjemikalier eller biologisk materiale skal arbeidsmiljøet være tilrettelagt slik at arbeidstaker er sikret mot ulykker, helseskader og særlig ubehag."*
- Arbeidsplassforskriften § 7-1 (Arbeidsplassforskriften, 2017a) sier at *"Arbeidlokaler...hvor arbeidet eller prosesser kan medføre forurensing av luften, skal ha mekanisk ventilasjon og prosesstilpasset avsug slik at konsentrasjonen av kjemikalier i arbeidsatmosfæren holdes på et fullt forsvarlig nivå, med hensyn til helse og eksplosjonsfare."*
- Forskrift om tiltaks- og grenseverdier oppgir grenseverdier for fysiske, kjemiske og biologiske forurensninger i arbeidsmiljøet (Forskrift om tiltaks- og grenseverdier, 2013a).

2.3 Avtrekksskap

Formål

Avtrekksskapet har som formål å hindre at farlige stoffer i skapet ikke sprer seg inne fra skapet og ut i rommet. Slik kan operatør av avtrekksskapet arbeide uten å bli eksponert for kjemikalier i skapet. Avtrekksskapet er utstyrt med en bevegelig frontluke som kan heves og senkes. For å oppnå ønsket funksjon er det viktig med mest mulig stabil og konstant luftstrømning inn gjennom lukeåpningen, uavhengig av høyden på frontluken. I laboratorier for organisk kjemi foregår aktivitetene i hovedsak i avtrekksskapene.

Fordelene med et avtrekksskap er at det gir god personbeskyttelse, og avtrekksskapets lukeåpning vil også beskytte mot sprut fra farlige kjemikalier. Ulemper ved avtrekksskap er at de er ofte svært følsomme for eksterne påvirkninger. De er dårlig egnet til oppbevaring og de er svært avtrekkstunge, noe som gjør at de krever høye luftmengder, som igjen er kostnads- og energikrevende (Åkredalen, 2000).

Funksjon

Avtrekksskapet fungerer ved at luft trekkes inn gjennom lukeåpningen og opp gjennom en avtrekkskanal som er fast tilknyttet avtrekksskapet. Frontluken kan heves og senkes, og luftmengden som trekkes av vil dermed påvirkes. Laveste lukehøyde ligger normalt på 10 cm, og da trekkes man av minimum luftmengde, V_{\min} . Når avtrekksskapet er i bruk kan luken heves til 50 cm, og da vil maksimal luftmengde trekkes av skapet, V_{\max} . Det er denne luftmengden som legger grunnlaget for total avtrekksluftmengde per avtrekksskap. Under normal bruk står gjerne lukeåpningen med en redusert høyde.

Et avtrekksskap kan både fungere som CAV og VAV, etter hva som er kravet. Ved et avtrekksskap som baserer seg på CAV, vil det være en konstant avtrekksmengde uavhengig av lukeåpning. Avtrekksskap med VAV baserer seg på modulerende luftmengderegulering, hvor avtrekksskapet varierer fra min/maks luftmengde, avhengig av frontlukens åpningsgrad ("Laboratory Design Handbook," 2014a).

Standarder

For avtrekksskap er det en felles europeisk standard som heter NS EN 14175. Avtrekksskap som velges bør leveres med relevant dokumentasjon og testresultater fra NS EN 14175.

Standarden er oppdelt i seks deler:

- NS EN 14175-1: Terminologi (Norsk Standard, 2003b)
- NS EN 14175-2: Krav til sikkerhet og ytelse (Norsk Standard, 2003c)
- NS EN 14175-3: Metoder for typeprøving (Norsk Standard, 2004a)
- NS EN 14175-4: Prøvmingsmetoder på stedet (Norsk Standard, 2004b)
- NS EN 14175-5: Anbefalinger for installasjon (Norsk Standard, 2006a)
- NS EN 14175-6: Variabelt luftvolum og avtrekk (Norsk Standard, 2006b)

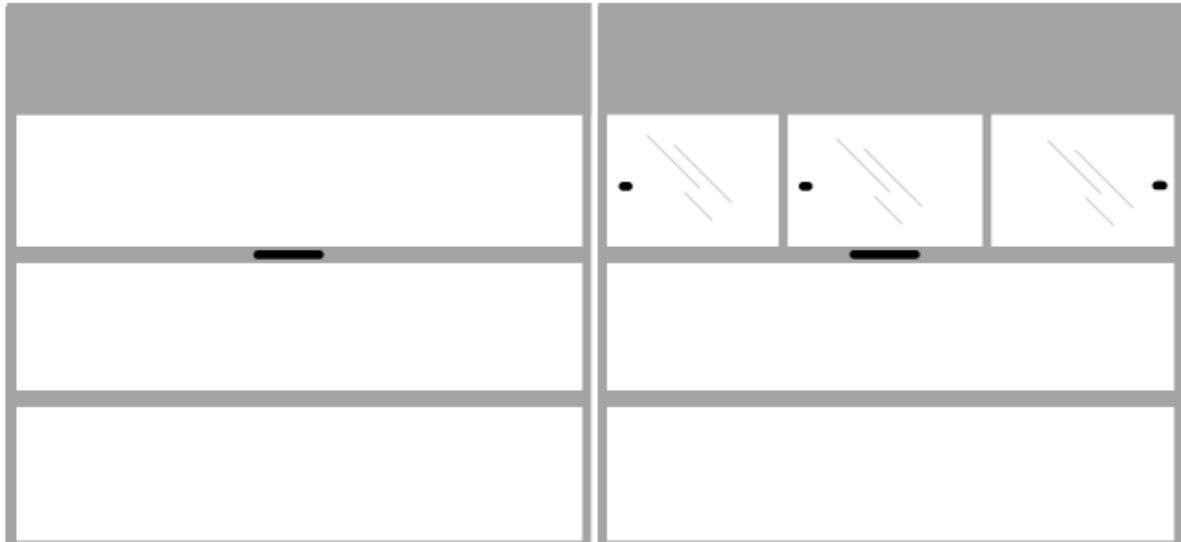
Geometri

Et avtrekksskap kan variere både i størrelse, utforming og materialvalg etter hva som er behovet i laboratoriet. Men alle avtrekksskap har ofte en grunnleggende karakteristikk som er gjennomgående. Figur 3 viser den grunnleggende karakteristikken for et avtrekksskap.



Figur 3 Avtrekksskaps geometri basert på illustrasjon fra "Energieffektiv helhedsløsning til sikker laboratorieventilasjon", side 9 (Madsen, 2016)

Luken på avtrekksskapet kan også utformes forskjellig. Det bør alltid være en luke som kan heves/senkes vertikalt. Denne luken kan også inndeles i mindre horisontale luker, som kan skyves til siden. Figur 4 viser avtrekksskap med alminnelig luke og avtrekksskap med horisontale luker.



Figur 4 Avtrekksskapets lukeutforming. Til venstre med alminnelig vertikal luke, til høyre med tre horisontale luker. Basert på illustrasjon fra "Energieffektiv helhedsløsning til sikker laboratorieventilasjon", side 62 (Madsen, 2016)

Avtrekksskapets lukeåpning defineres ofte med en maksimal lukeåpning. NS-EN 14175-2 anbefaler en maksimal lukeåpning på 50cm (Norsk Standard, 2003c).

2.4 Ventilerte skap for lagring

I laboratorier er det et behov for lagring av kjemikalier, eksplosive stoffer, giftige væsker og diverse laboratorieutstyr som f.eks. rotavaporer. En rotavapor benyttes i kjemiske laboratorier for effektiv fjerning av løsemidler fra prøver ved fordampning.

Kjemikalier kan med fordel plasseres i egne kjemikalieskap med integrert avtrekkskanal. Ved oppbevaring av eksplosive- og brannfarlige stoffer må kjemikalieskapene være brannsikre.

Rotavaporer og annet laborarieteknisk utstyr som avgir potensielt farlige stoffer under bruk kan plasseres i egne avtrekksskap beregnet for lagring. For ventilerte kjemikalieskap og avtrekksskap for lagring kan det være en god løsning å trekke av en fast avtrekksluftmengde.

Fordeler med å benytte ventilerte skap for lagring er:

- Sikkerhetsmessig god løsning for oppbevaring
- Unngå å oppbevare utstyr i de vanlige avtrekksskapene, noe som kan påvirke sikkerheten
- Lavere luftmengder enn for avtrekksskap for normal bruk

Figur 5 viser eksempel på et avtrekksskap som er benyttet for rotavaporer i et undervisningslaboratorium ved DTU.



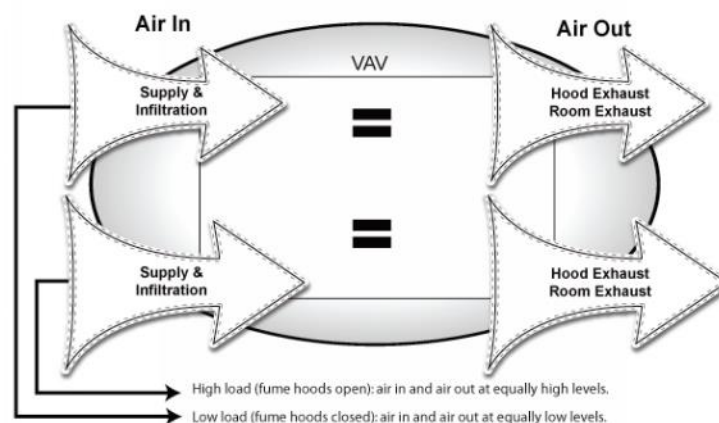
Figur 5 Avtrekksskap benyttet for rotavaporer i undervisningslaboratorium ved DTU. Bilde fra studietur ved DTU (Døhl, 2016).

2.5 Tilluftsenheter i laboratorier

Laboratorier må som regel få tilført en stor mengde med tilluft på et relativt lite areal for å balansere avtrekksluftmengden. I dette kapittelet vil det snakkes om tilluftsenshetens rolle i et laboratorium, og det vil nevnes ulike tilluftsenheter som kan egne seg i laboratorier.

Funksjon

Det må tilføres en lik mengde luft som det trekkes av i et laboratorium. Tilluftsenshetene utgjør normalt hele tilførselsmengden, men det er også vanlig å tilføre litt mindre enn avtrekksluftmengden som følge av at et rom gjerne vil få tilført en liten mengde luft gjennom infiltrasjoner. Figur 6 viser prinsipp for balansert ventilasjon i et laboratorium.



Figur 6 Konsept for ventilasjon i laboratorium ("Laboratory Design Handbook," 2014c).

Laboratorier med høy tetthet av avtrekksskap, som undervisningslaboratorier, vil kreve en stor tilluftsmengde for å dekke avtrekksluftmengden. Hvis ikke det tilføres en lik luftmengde som det trekkes av for, kan det oppstå negative trykkforhold i rommet. Dette kan føre til at farlige stoffer strømmer ut i rommet fra avtrekksskapet, fordi lufthastigheten inn i lukeåpningen blir for lav. Det kan også føre til at lufta "stjeles" fra nabolaboratorier.

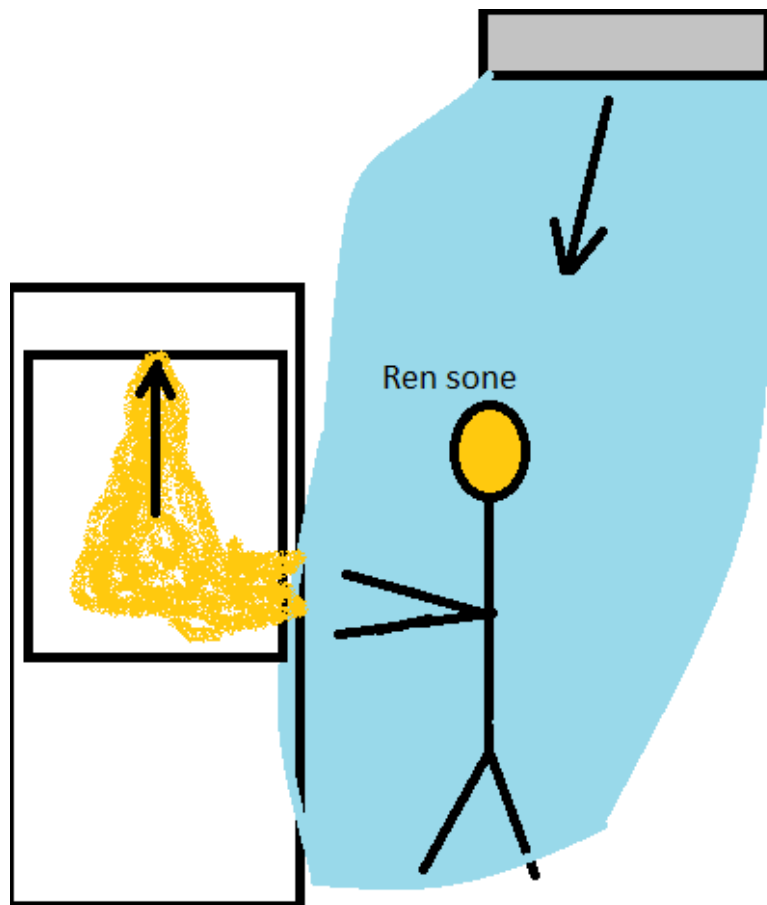
Tilluftsluften kan benyttes til kjøling ved laboratorier med mye varmekilder, og tilføres da ofte med underkjølt luft. Dette kan skape dårlig komfort for de som jobber i rommet, da underkjølt luft kombinert med store luftmengder ofte kan skape trekk.

Et laboratorium er ofte spekket med tekniske installasjoner oppe ved tak. Det er derfor viktig å velge tilluftsenheter som ikke tar alt for mye plass oppe ved tak. Tilluftsenshetene kan både installeres i himling eller som åpen montasje.

Lavimpuls tilluftsventil for fortrenningsventilasjon.

Fortrenningsventilasjon, også i noen tilfeller kalt diffus lufttilførsel, er et ventilasjonsprinsipp som kan egne seg godt i laboratorier. Tilluftsventilene tilfører luften til sonen med lavimpuls enten isotermt eller med litt underkjølt luft, og fortrenger den urene luften i sonen ved hjelp av tyngdekrefter. Ved for lav undertemperatur på tilluften kan lufthastigheten øke ned mot oppholdssonen, slik at man benytter gjerne en maksimal undertemperatur på tilluften på 3 °C ift. romluften (Johansen, 2002).

Ved fortrenningsventilasjon er ofte tilluftsenheten plassert ved gulv og avtrekksenheten plassert oppe ved tak. På denne måten vil lufta stige opp og blande seg med den forurensede luften ved tak. I et laboratorium blir prinsippet det samme, men tilluft- og avtrekksenhetene er plassert motsatt. Avtrekksskapene vil trekke tilførselsluften nedover mot skapet, slik at luften blander seg med den forurensede luften utenfor skapet, som igjen trekkes inn i avtrekksskapet. På denne måten skapes det en friskluftssone i pustehøyde, noe som gjør at mulige forurensninger fra avtrekksskapet fjernes. Figur 7 viser prinsipp for fortrenningsventilasjon hvor tilluftsenheten er plassert ved tak.



Figur 7 Prinsipp ved fortrenningsventilasjon med tilluftsenheter ved tak

Det finnes ulike tilluftsventiler beregnet for fortrenningsventilasjon. Prinsippene på de fleste er stort sett like, men den store forskjellen går på ventilens nærsone, dvs den sone hvor lufthastigheten har sunket til 0,20 m/s. En snakker gjerne om tre ulike luftfordelingsventiler når det kommer til nærsonen. Dette er ventiler med stillbar nærsone, ventiler med forhåndsbestemt nærsone og ventiler med fast nærsone (Johansen, 2002).

Tabell 1 gir en oversikt over fordeler og ulemper ved å benytte lavimpuls tilluftsventil for fortrenningsventilasjon som tilluftsenshet.

Tabell 1 Fordeler og ulemper ved å benytte lavimpuls tilluftsventil for fortrenningsventilasjon som tilluftsenshet

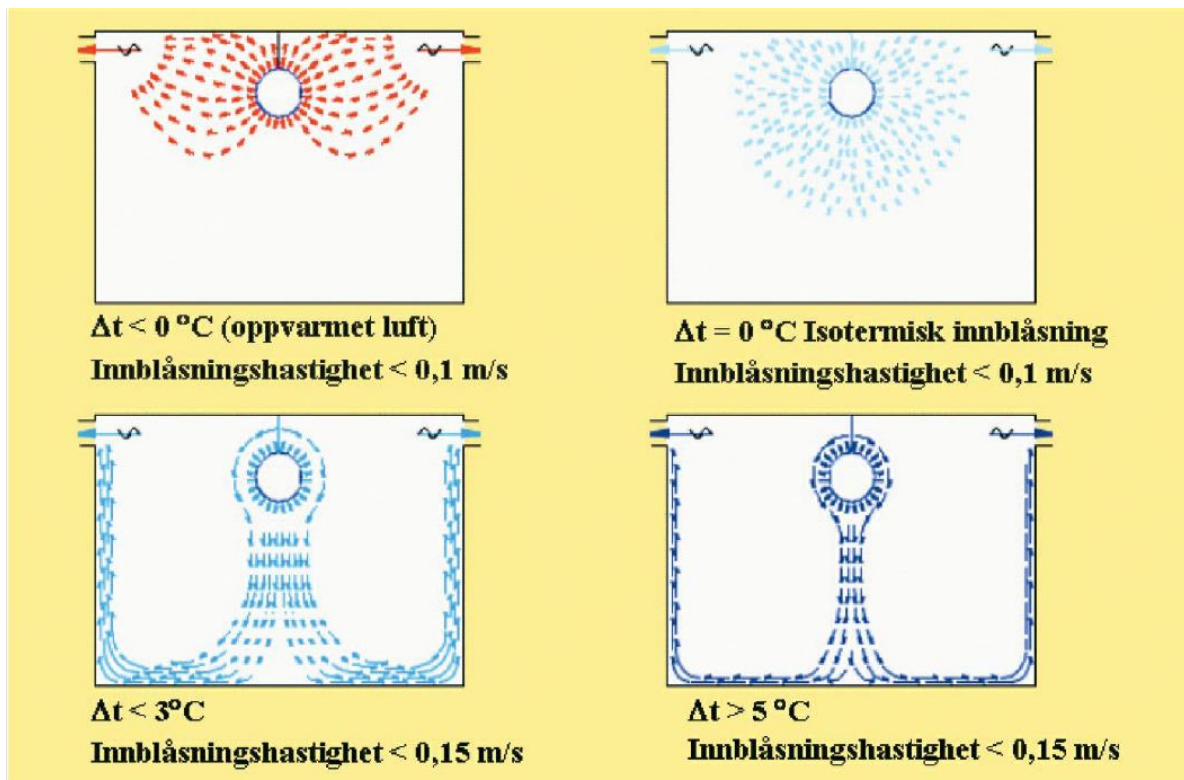
Fordeler	Ulemper
Høy ventilasjonseffektivitet	Kan oppstå trekk
Mindre effektbehov ved mekanisk kjøling	Høye hastigheter i ventilens nærsone
Oppholdssonen får lave hastigheter	Inventar og teknisk utstyr kan påvirke luftstrømningene
Kjøling av lokaler med stor takhøyde	
Kan justere nærsonen	
Skaper ren sone utenfor avtrekksskap	

Poseventilasjon – tekstilkanaler.

Tilluftskanaler i tekstil er en alternativ måte å tilføre luft til en sone ved at man tilfører luften gjennom tekstil i stedet for tradisjonelle ventiler av metall. Ved tekstilventilasjon presses tilførselsluften gjennom tekstiloverflaten ved lave lufthastigheter. Luftmengden som skal presses ut er avhengig av statisk trykk og tekstilets permeabilitet (Gustavsen, 2004).

Det finnes ulike typer tekstilkanaler, men i denne oppgaven vil det kun vurderes sirkulær tekstilkanal.

En lavimpuls sirkulær tekstilkanal er en sirkulær kanal hvor all luften presses ut gjennom hele kanalens overflateareal, unntatt ved kanalens endelukk. På grunn av det store overflatearealet som lufta kan gå ut av, kan man tilføre store luftmengder med ofte lave utløpshastigheter, vanligvis i intervallet 0,05-0,30 m/s. Jo større ΔT mellom tilluft- og romtemperatur, jo raskere faller luften ned mot oppholdssonen. Tekstilkanaler kan derfor være svært gunstig ved høye luftmengder og lav ΔT . Figur 8 viser luftfordelingsprinsipp for lavimpuls tekstilkanal ved ulike ΔT .



Figur 8 Luftfordelingsprinsipp for lavimpuls tekstilkanal ved tak ved ulike ΔT (Gustavsen, 2004)

Tekstilkanaler egner seg godt i soner som krever høye luftmengder, hyppige luftskifter og gjerne i kombinasjon med strenge krav til lufthastigheter, noe som er beskrivende for laboratorier.

Tabell 2 gir en oversikt over fordeler og ulemper ved å benytte tekstilkanaler som tillufts-enhet.

Tabell 2 Fordeler og ulemper ved å benytte lavimpuls tekstilkanaler

Fordeler	Ulemper
Jevn luftfordeling	Ingen standardprodukter, lang leveringstid
Kan tilføre mye luft	Ved endringer må tillufts-enheter skiftes ut
Trekkfri luftfordeling	Behov for dobbel sett med tekstilkanaler
Enkel og tidsbesparende montasje	Behov for rengjøring regelmessig
Lavt støynivå	Høyere driftskostnad
Lavere investeringskostnad	Krever strengt regime for godt vedlikehold

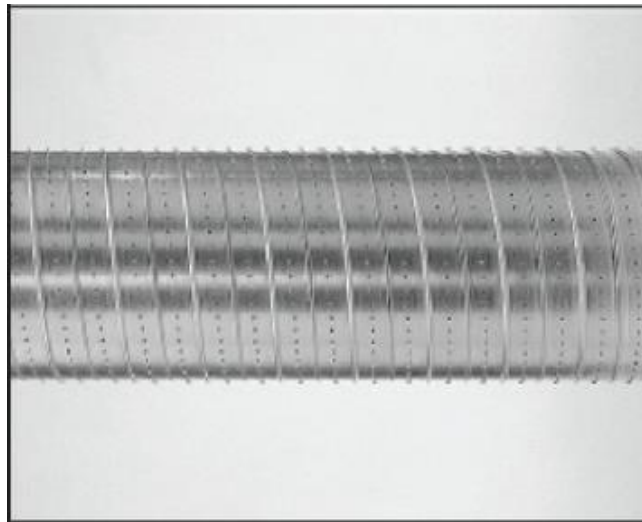
Erfaring med tekstilventilasjon er at de over tid går tett, og må derfor vaskes. Det kreves da at man må alltid ha to sett med poser og skifte disse ca. hver 6 mnd. Ved dårlig vedlikehold kan man risikere at tekstilkanalen tilfører mindre luftmengder som igjen påvirker trykkforholdene i laboratoriene og funksjonen til avtrekksinstallasjonene. Det er derfor svært viktig at driftspersonell har gode rutiner for regelmessig vask av posekanalene.

Dysekanaler.

Dysekanaler er en annen form for tillufts enhet som også kan benyttes i laboratorier. En slik tillufts enhet fungerer ved at lufta tilføres rommet fra et eller flere stålrør gjennom perforeringer eller dyser på stålrørets overflate. Lufta tilføres gjerne med en høy utløpshastighet, men fordi dysekanalen ofte har hundrevis av små dyseutløp blandes ofte tilførselsluften seg svært godt med romluften (Uv, 2005).

Det kan være problematisk med for høye lufthastigheter i oppholdssonen ved bruk av dysekanaler. Derfor egner dysekanaler seg best til å fordele luft i lokaler med stor takhøyde.

Dysekanaler er ofte rimeligere enn et konvensjonelt ventilasjonssystem med tilluftsventiler. Figur 9 viser et eksempel på en dysekanal med utgående dyser.



Figur 9 Eksempel på dysekanal (Uv, 2005)

Tabell 3 gir en oversikt over fordeler og ulemper ved å benytte dysekanaler som tillufts enhet.

Tabell 3 Fordeler og ulemper ved å benytte lavimpuls tekstilkanaler

Fordeler	Ulemper
Jevn luftfordeling	Krever god avstand fra vegg for å unngå trekk
Har høy induksjon	Vanskelig å rengjøre. Bør støvsuges
Krever minimalt vedlikehold	Krever god takhøyde
Enkel og tidsbesparende montasje	Dysekanaler generer ofte mer støy

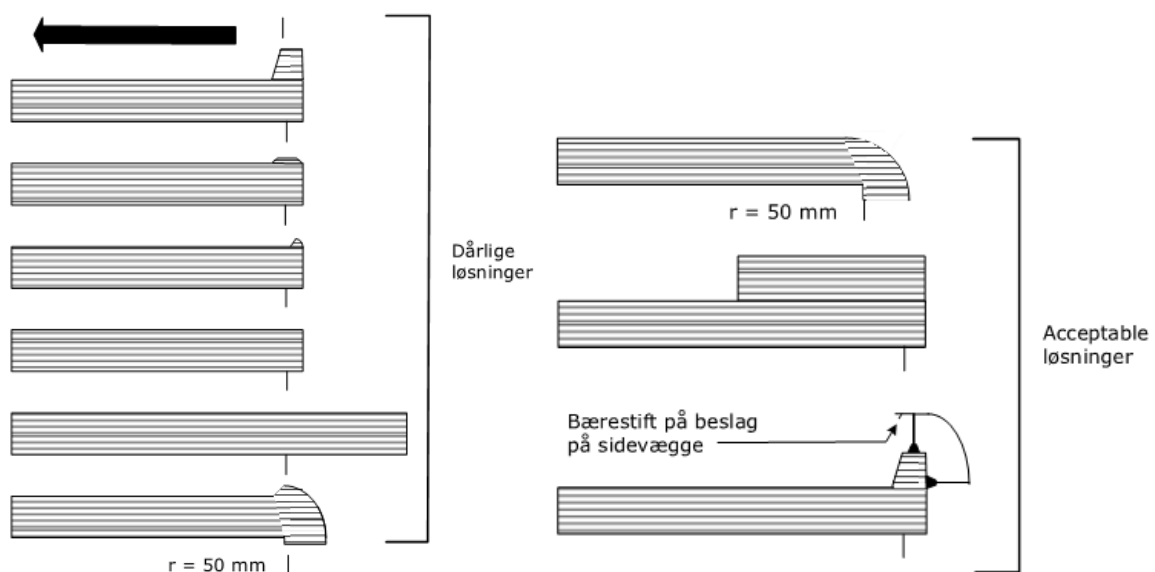
2.6 Faktorer som kan påvirke avtrekksskapets funksjon

I et laboratorium i full drift er det en rekke faktorer som er med på å påvirke funksjonen til et avtrekksskap, og dermed laboratoriets sikkerhet. Disse faktorene er avtrekksskapets geometri og plassering, lufthastigheten gjennom lukeåpningen til avtrekksskapet, tilførselshastighet fra tilluftsenheter, brukerfunksjon og menneskelige faktorer.

Avtrekksskapets geometri

Et avtrekksskap bør utformes riktig og ha en god plassering i laboratoriet for å kunne fungere mest mulig effektivt.

Det bør blant stilles krav til hvordan bordforkanten på avtrekksskapet skal utformes. For å opprettholde en så stabil luftstrømning som mulig gjennom hele lukeåpningen, finnes det ulike utforminger av bordforkanten. Figur 10 viser eksempler på hvilke utforminger som er dårlige og hvilke som er akseptable.



Figur 10 Ulike utforminger på avtrekksskapets bordforkant. Basert på illustrasjon fra "Energieffektiv helhedsløsning til sikker laboratorieventilasjon", side 54 (Madsen, 2016)

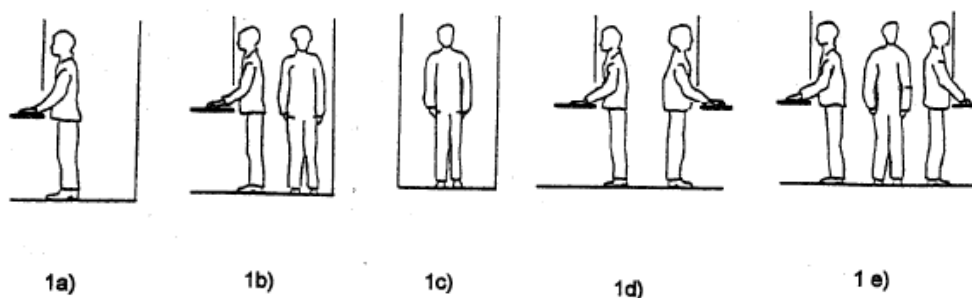
Avtrekksskapets plassering

NS EN 14056 *Laboratorieinnredning – Anbefalinger for utforming og montering* (Norsk Standard, 2003a) er en europeisk standard som gir veiledning om gunstig plassering av avtrekksskap, for at avtrekksskapet skal oppnå god funksjon. Tabell 4 gir en oversikt over hvilke minimumsavstander som et avtrekksskap bør stå i forhold til andre hindringer.

Tabell 4 Anbefalte minimumsavstander fra avtrekksskap til andre hindringer (Norsk Standard, 2003a)

Situasjon		Nødvendig avstand [mm]
1a)	Avstand fra avtrekksskap til bakvegg	1000
1b)	Avstand fra avtrekksskap til gangsone	1000
1c)	Avstand fra avtrekksskap til utstyr på sidene	900
1d)	Avstand fra avtrekksskap som står mot hverandre uten gangsone midten	1400
1e)	Avstand fra avtrekksskap som står mot hverandre med gangsone midten	1450

Figur 11 viser enkle skisser over de ulike situasjonene.

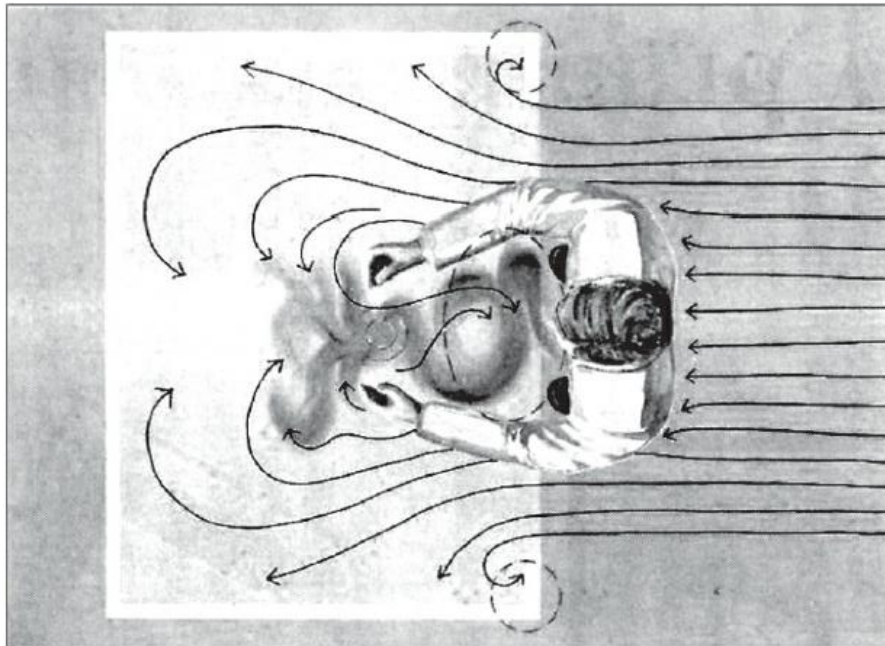


Figur 11 Oversikt over ulike situasjoner for plassering av avtrekksskap (Norsk Standard, 2003a)

Lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning

Avtrekksskapet må ha tilgang til en tilstrekkelig luftmengde. Den sikreste måten vil være å trekke av luft med en konstant lufthastighet gjennom lukeåpningen. I ventilasjonsbransjen diskuteres det hvilke konstante lufthastigheter gjennom lukeåpningen som er tilstrekkelige for å forhindre forurensning ut av skapet.

Tidligere har det vært en tommelfingerregel å benytte en konstant lufthastighet på 0,50 m/s inn gjennom lukeåpningen, noe som vanligvis er tilstrekkelig (Arbeidstilsynets publikasjoner best.nr 449, 2003a). En del designere hevder at lufthastigheter gjennom lukeåpningen på 0,40 m/s og enda lavere kan være trygt for operatøren av avtrekksskapet. Lufthastigheter over 0,75 m/s gjennom lukeåpningen kan skape turbulens i lukeåpningen, noe som kan påvirke avtrekksskapets funksjon (Albern, 1988). Det kan også oppstå en "bakvirvel" inne i avtrekksskapet, som kan føre til økt utslipp ut av lukeåpningen. Figur 12 gir et eksempel på dette.



Figur 12 Eksempel på hva som kan skje i avtrekksskapet ved for høy tilførselshastighet (Åkredalen, 2000)

Den amerikanske boken "Guidelines for laboratory Design" anbefaler en gjennomsnittlig lufthastighet gjennom lukeåpningen på minimum (0,40 m/s) ved arbeid med kjemiske, biologiske og radioaktive stoffer (DiBerardinis, 2013).

Tilførselshastighet

Tilluftsventiler bør ikke plasseres rett i nærheten av avtrekksinstallasjonen. Dette kan skape trekk for den som arbeider foran avtrekksskapet ved høye luftmengder. I tillegg kan det oppstå forstyrrelser foran avtrekksskapet. Lufttilførselen i rommet bør skje på en slik måte at avtrekksinstallasjonene påvirkes minst mulig. Det anbefales derfor ofte å benytte lav impuls lufttilførsel i lokaler med avtrekksinstallasjoner (Åkredalen, 2000).

I ventilasjonshåndboken Ventøk anbefales det at tilførselshastigheten fra tilluftsarrangementet ligger på ca. 50 – 75 % av lufthastigheten gjennom lukeåpningen (Åkredalen, 2000).

Det anbefales at tilluftsarrangementet designes og lokaliseres slik at lufthastigheten i oppholdssonen ikke overstiger 0,25 m/s. Det er ingen fasit på hvilket tilluftsarrangement som bør benyttes, og hvert laboratorium bør analyseres hver for seg (DiBerardinis, 2013).

Tilførselshastigheten må i tillegg være så lav at det ikke kan oppstå trekk i oppholdssonen. Det anbefales normalt at kravet til maksimal lufthastighet i oppholdssonen, som er 1,8 meter over gulv, ikke overstiger 0,20 m/s i sommerhalvåret, og 0,15 m/s i vinterhalvåret (Ødegård, 2004).

Brukerfunksjon

Det er også svært viktig å benytte avtrekksskapet på en mest mulig riktig måte. Dette innebærer at de som arbeider i avtrekksskapet har gjennomgått hvordan avtrekksskapet skal brukes. Dette går mye på å holde orden i avtrekksskapet. Ved lagring av mye utstyr i skapet vil avtrekksskapets funksjon påvirkes negativt. Under en arbeidsoperasjon bør kun det nødvendige utstyret benyttes i avtrekksskapet, og deretter lagres i egne skap som beskrevet i kapittel 2.4. Brukeren må være bevisst på frontlukens maksimale høyde og håndtering om frontluken er over maksimum operativ åpning.

Gode rutiner og instruksjoner som gjelder brukerfunksjon av avtrekksskap er derfor svært viktig. I Ventøkbladet 2.7 – *Beskyttelsesventilasjon* (Åkredalen, 2000) skrives det at: "*Manglende opplæring og informasjon av brukerne om riktig bruk og kontroll av avtrekksinstallasjoner er en av de hyppigste årsakene til at denne type installasjoner ikke fungerer tilfredsstillende*".

Den menneskelige faktor

Personene som arbeider i laboratoriet kan være med på å skape uheldige forstyrrelser som vil påvirke avtrekksskapets funksjon. Dette går mest på gangbevegelse i rommet og raske armbevegelser til den som arbeider foran avtrekksskapet. Avtrekksskapet bør derfor plasseres i god avstand fra arealer med høy gangtrafikk, for å redusere luftturbulensen som kan oppstå ved trafikk foran avtrekksskapet. Raske bevegelser rett foran avtrekksskapet vil påvirke luftstrømmen som trekkes inn i avtrekksskapet, som kan medføre at farlige stoffer inne i avtrekksskapet slippes ut i rommet. Derfor bør luftstrømmen mot avtrekksskapet være mest mulig stabil. Figur 13 viser et eksempel på hva som kan skje ved gangbevegelse i nærheten av avtrekksskap og hurtige armbevegelser foran avtrekksskapet.



Figur 13 Eksempel på menneskelige forstyrrelser som kan påvirke avtrekksskapets sikkerhet (Åkredalen, 2000)

2.7 Reguleringsstekniske løsninger

Laboratorieventilasjon kjennetegnes ved at det ofte er behov for behovstyring av luftmengdene til avtrekksskapene, noe som medfører at det stilles ekstra krav til styring og regulering av luftmengden i laboratoriet. Reguleringsystemet for laboratorieventilasjon omfatter flere reguleringsystem og nivåer, som er sentralanlegget (aggregater), laboratoriesonen og ned til regulering av de enkelte avtrekksinstallasjonene i sonen. Oppgaven vil ta for seg regulerings teknisk løsning på sonenivå og for avtrekksinstallasjonene.

Regulering av avtrekksinstallasjoner

Den enkleste formen for å regulere luftmengden i et avtrekksskap er 2 trinns regulering, hvor det ene trinnet er ved V_{\min} når avtrekksskapet ikke er i bruk, og det andre er ved V_{\max} når avtrekksskapet er i bruk.

I dag er det vanligste å regulere luftmengden kontinuerlig avhengig av høyden på lukeåpningen til avtrekksskapet. En slik regulering gjøres med et VAV-spjeld som er montert i avtrekkskanalen som trekker luft ut av avtrekksskapet. Luftmengden som trekkes av kan reguleres etter en bestemt konstant lufthastighet gjennom lukeåpningen med en hastighetsmåler, eller med en posisjongiver på lukemekanismen på avtrekksskapet. Det er svært viktig ved en kontinuerlig regulering av luftmengden, at reguleringen skjer svært hurtig, for å hindre at det kan oppstå utslipp fra avtrekksskapet. En responstid på 1-3 sekunder er å foretrekke (Åkredalen, 2016).

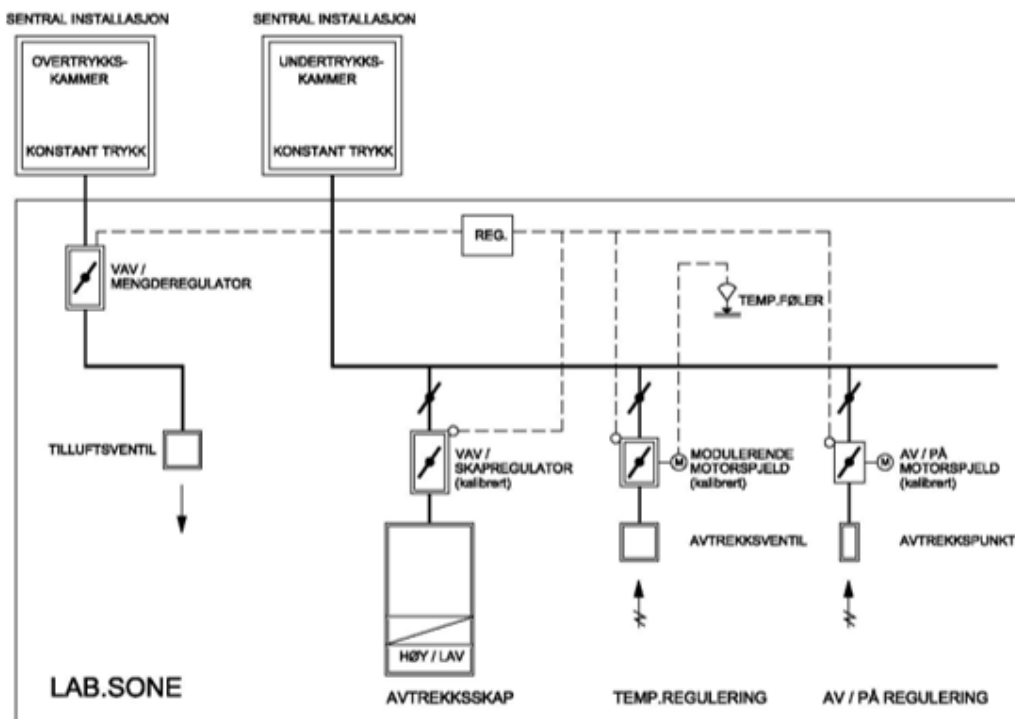
Ved avtrekkspunkter med konstant avtrekksluftmengde, som avtrekksskap for rotavaporer og kjemikalieskap, kan man med fordel benytte et CAV-spjeld med 2-trinn (av/på).

Soneregulering

I laboratoriesonen må tilluft- og avtrekksluftmengden reguleres sammen. Dette er den viktigste reguleringen i et laboratoriereguleringsystem, fordi man må ha kontroll på luftmengdene og trykkforholdet i laboratoriet. Det vil videre gjennomgå to ulike reguleringsprinsipp for å soneregulere et laboratorium på. Begge prinsippene har som hovedoppgave å holde korrekt luftmengdebalanse og trykk i laboratoriesonen. De to reguleringsprinsippene er summasjonsprinsipp og måleprinsipp.

Summasjonsprinsipp.

Summasjonsprinsipp baserer seg på å summere opp luftmengdeverdiene fra alle avtrekksinstallasjonene i sonen. Total avtrekksluftmengde fra summasjonen benyttes som input på regulatoren til soneregulering på tilluften, som regulerer tilluftsmengden med én eller flere VAV-spjeld, slik at ønsket luftmengdebilanse opprettholdes. Summasjonsprinsippet forutsetter at man har forhåndskalibrert CAV/VAV-spjeldene med faste luftmengder på hvert avtrekkspunkt som skal kommunisere til den sentrale reguleringsenheten. Et summasjonssystem kan ha en større variasjon i totale luftmengder, og egner seg derfor godt i laboratorier med mange avtrekksenheter (Åkredalen, 2016). Figur 14 viser hvordan summasjonsprinsippet fungerer.



Figur 14 Eksempel på regulering med summasjonsprinsippet (Åkredalen, 2016)

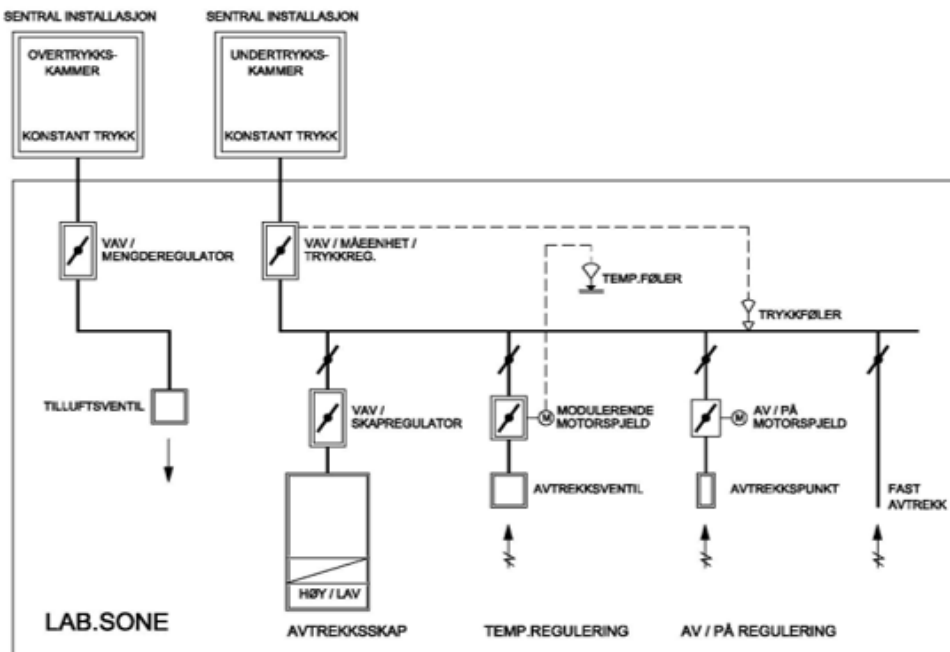
Tabell 5 gir en oversikt over fordeler og ulemper ved å benytte summasjonsprinsippet.

Tabell 5 Fordeler og ulemper ved å benytte summasjonsprinsippet

Fordeler	Ulemper
Trenger ikke felles hovedkanal	Mindre fleksibel ved endringer
Raskere respons enn måleprinsippet	Leverandøravhengig
Kan betjene flere avtrekkspunkter	Utstyr må være trykkuavhengig

Måleprinsipp.

Måleprinsippet har mye av de samme funksjonene som summasjonsprinsippet, men det er noen forskjeller. Ved måleprinsippet plasseres sonespjeld på hovedkanalene for avtrekk som har to funksjoner. Den ene ved at en trykkføler i avtrekkskanalen etter VAV-spjeldet skal holde et konstant trykk i kanalen ved å regulere VAV-spjeldet. Det andre er at en måleblende i VAV-spjeldet måler faktisk avtrekksluftmengde i laboratoriesonen. Målesignalet overføres til VAV-spjeldene på tilluften, som regulerer tilluften slik at det er balanse i rommet, eller til ønsket differanse mellom tilluft og avtrekk. Måleprinsippet er bra fordi man holder et konstant trykk i avtrekkskanalene, og dermed kan senere bytte ut avtrekksinstallasjoner uten ny innregulering, programmering eller balansering av luftmengden (Åkredalen, 2016). Figur 15 viser hvordan måleprinsippet fungerer.



Figur 15 Eksempel på regulering med måleprinsippet (Åkredalen, 2016)

Tabell 6 gir en oversikt over fordeler og ulemper ved å benytte summasjonsprinsippet.

Tabell 6 Fordeler og ulemper ved å benytte måleprinsippet

Fordeler	Ulemper
Fleksibel ved endringer	Problem ved separate spesialavtrekk
Bedre reguleringsnøyaktighet	Noe lengre responstid
God til å regulere trykkforhold	Lavere kapasitet på luftmengder per sone

2.8 Luftmengdebehov

Luftmengden til et laboratorium beregnes ved å summere alle avtrekksinstallasjonene i laboratoriet ("Laboratory Design Handbook," 2014b). For å vurdere denne luftmengden ser man også ofte på antall luftvekslinger i timen (h^{-1}) eller laboratoriets spesifikke luftmengde ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$).

Luftvekslinger

Luftvekslingstallet er en faktor som beskriver hvor mye luft som er tilført rommet i forhold til rommets volum. Luftvekslingstallet er avhengig av hvor bra tilførselsluften blander seg med romluften. Dette avhenger mye av hvordan avtrekks- og tilluftssystemet er designet, og hvis rommet har en høy grad av kortslutning, vil luftvekslingstallet gi et feil inntrykk av luftkvaliteten i rommet (Ingebrigtsen, 2016a).

Eldre retningslinjer for laboratoriedesign anbefalte gjerne et luftvekslingstall på 10-15 h^{-1} for å opprettholde god sikkerhet i laboratoriet. Men det er ofte ikke luftvekslingstallet som er den kritiske påvirkningsfaktoren for å opprettholde høy sikkerhet i laboratoriet. De kritiske faktorene, er som tidligere beskrevet, avtrekksskapets geometri og plassering, samt tilluftsløsning og brukerstyring (DiBerardinis, 2013).

Spesifikk luftmengde

Spesifikk luftmengde er en verdi som sier noe om rommets luftmengde per kvadratmeter gulvareal, og er også et tall som kan benyttes for å vurdere luftmengden til et laboratorium. Det finnes få krav på spesifikk luftmengde. Den tyske standarden DIN 1946-7 (DIN 1946-7, 2009) anbefaler en spesifikk luftmengde på minimum 25 ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$). Erfaringsmessig bør man ikke tilføre mer enn 50 ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$) for å unngå trekk og at det blir plass til tilluftsarrangementet (Urdahl, 2017).

2.9 Samtidighet

Samtidighet på avtrekksskap i et laboratorium fungerer på lik linje som vanlig ventilasjonsdesign. Det betyr å designe ventilasjonssystemet for en lavere kapasitet enn det som er rommets maksimale beregnede kapasitet med alle avtrekksskapene. En samtidighet på 70 % i et laboratorium med 10 avtrekksskap, kan benytte 7/10 avtrekksskap ved full lukeåpning (DiBerardinis, 2013).

Design av laboratorier med samtidighet på avtrekksskap må gjøres svært nøyaktig og krever god planlegging, da det vil påvirke samtidig bruk av avtrekksskapene og lukeåpningen for alle avtrekksskapene i rommet. Laboratorier med et ekstremt høyt bruksmønster, slik som undervisningslaboratorier, bør ha 100 % samtidighet på avtrekksskapene (DiBerardinis, 2013).

Følgende må evalueres ved vurdering av samtidighet for avtrekksskap i et laboratorium:

- Avtrekksskapenes bruksmønster
- Brukstil
- Antall avtrekksskap og personer
- Brukerstyring
- Styring for å holde minimum avtrekksluftmengde på hvert avtrekksskap
- Styring av avtrekksskapet
- Akseptable minimums og maksimums luftmengder for laboratoriet
- Vurdere fremtidige endringer

Ved design av et laboratorium med samtidighet på avtrekksskapene er det noen forhold som må ligge til grunn (DiBerardinis, 2013):

- Akseptere at alle avtrekksskapene benyttes samtidig, men med lavere lukeåpning.
- Det må være utarbeidet en treningsplan for laboratoriebrukerne, slik at de blir klar over hvilke begrensninger det gjør å ha samtidighet på avtrekksskapene.
- Det må være et alarmsystem som varsler når systemet opererer ved maksimal kapasitet, eksempelvis via lokalt kontrollpanel i laboratoriet.
- Begrensninger mtp fleksibilitet av laboratoriet må identifiseres.

2.10 Utslipp fra avtrekksskap

I laboratorier for organisk kjemi vil det jobbes med stoffer som kan utgjøre en helserisiko for de som jobber ved avtrekksskapene. Det er svært viktig at brukerne av laboratoriet er klar over helserisikoen og har gode rutiner. Følgende risikoer kan oppstå ved arbeid i et avtrekksskap (Arbeidstilsynets publikasjoner best.nr 449, 2003b):

- Sprut fra stoffer som kan føres ned i svelg
- Innånding av farlige luftpartikler fra stoffer
- Stikke seg på utstyr i avtrekksskapet med smittemateriale

Det er viktig å finne ut hvilke stoffer det normalt arbeides med i laboratoriet. Arbeidstilsynets veiledninger 361 og 444 bør benyttes ved vurdering av laboratorienes sikkerhetsrisiko (Arbeidstilsynets publikasjoner best.nr 361, 2003; Arbeidstilsynets publikasjoner best.nr 444, 1991). Ved design av ventilasjonsteknisk løsning som omhandler avtrekksskap må det kartlegges hvilken smitterisikogruppe stoffene det arbeides med ligger i.

Smitterisikogrupperne deles normalt inn i fire grupper. Tabell 7 gir en oversikt over de ulike gruppene.

Tabell 7 Oversikt over smitterisikogrupper

Gruppe	Konsekvenser
Risikogruppe 1	Forårsaker vanligvis ikke noen helserisiko
Risikogruppe 2	Kan forårsake infeksjonssykdom. Ikke fare for spredning ut av rommet.
Risikogruppe 3	Kan forårsake alvorlig infeksjonssykdom
Risikogruppe 4	Kan forårsake alvorlig infeksjonssykdom. Fare for spredning ut av rommet

Et laboratorium tilhører normalt minimum risikogruppe 2. Ved risikogruppe 3 og 4 må laboratoriets ventilasjonstekniske utsyr designes for meget god sikkerhet i laboratoriet, for å unngå at avtrekksskapene ikke slipper ut farlige stoffer (Arbeidsplassforskriften, 2017b). For kartlegging av hvilken smitterisikogruppe ulike stoffer ligger i, kan forskriften *Forskrift for tiltaks- og grenseverdier, vedlegg 2* benyttes (Forskrift om tiltaks- og grenseverdier, 2013b).

I Norge er det enda ikke fastsatt noen spesifikke krav eller grenseverdier for maksimalt utslipp fra et avtrekksskap. Men ved å velge et avtrekksskap som er testet i hht. NS EN 14175-3 og 6 (Norsk Standard, 2004a, 2006b), eller den skandinaviske testmetoden Nordtest (NT VVS 095, 1993), så vil avtrekksskapet høyst sannsynlig ha god sikkerhet.

3 CFD – Computational Fluid Dynamics

CFD eller Computational Fluid Dynamics er et datasimuleringsverktøy som kan simulere ulike strømningsforhold inne i et kontrollvolum. CFD-teknologien involverer å numerisk løse likningssett for bevaring av moment, energi og masse ved å modellere opp et rutenett, i CFD-verden kalt mesh, og gi rutenettet og geometrien fysiske egenskaper.

CFD-simuleringer kan gjøre det mulig se på soner hvor det ikke lar seg gjøre å utføre eksperimentelle målinger, og det kan også være fint for å sammenligne med en reell sone. En CFD-simulering kan gi informasjon om strømningsforhold i tusenvis av små kontrollvolum i sonen.

CFD simulering er per i dag lite benyttet for design av laboratorier. Dette kan skyldes at det er kompliserte rom, og det kreves meget god erfaring i CFD-simulering. Men i teorien kan alle bygningstyper simuleres, noe som kan gjøre at eksperimentelle målinger reduseres (DiBerardinis, 2013).

For å kunne utføre gode CFD-simuleringer kreves visse forutsetninger:

- Ha nok tid til å bygge opp modellen.
- Bestemme hvor kompleks modellen skal være.
- God forståelse av laboratorier, ventilasjon og CFD.
- Forstå mulige feilmeldinger under simulering.
- Gjøre forenklinger i modell eller ha god regnekapasitet for datamaskin.

CFD-simuleringer er ikke endelig kvalitetssikret som verktøy for simulering av scenarier med relativt lave lufthastigheter og uten sterke konveksjonsstrømmer.

4 LCC – Livssyklus kostnader

LCC står for Life Cycle Costs, oversatt til norsk, Livssyklus kostnader, men betegnelsen livsløpskostnader kan også brukes. LCC er et verktøy som brukes generelt ved økonomivurdering av alle typer anskaffelser i offentlig forvaltning. Metoden kan benyttes både for hele bygget eller for enkelte bygningsdeler eller anlegg.

Viktige kostnadsposter som benyttes i en LCC-vurdering er investeringskostnader, driftskostnader og vedlikeholdskostnader. Restkostnaden til bygget kan også medtas, og dermed kan man gjerne si at livssyklus kostnader omfatter alle byggets kostnader fra byggets "fødsel" til "død" (Polak, 2004).

Følgene handlinger bør gjøres ved LCC-metoden

- Utarbeide konseptløsninger
- Identifisere alle relevante kostnader for de ulike konseptløsningene
- Identifisere konsekvenser av kostnader ved de ulike konseptløsningene
- Legge frem alle kostnadstall for å beregne LCC

Den norske standarden NS 3454 *Livssyklus kostnader for byggverk – Prinsipper og struktur* (Standard, 2013) gir beregningsformler for LCC. Standarden nevner hovedpostene som er nødvendig å ha klart for seg for å utføre LCC-analyse.

- Prosjektkostnader (investeringskostnader)
- Livssyklus kostnader som er lik summen av prosjektkostnader og alle årlige kostnader i byggets levetid.
- Levetidskostnader som er nåverdi av livssyklus kostnader
- Årskostnader som er annuitet av levetidskostnaden

Nåverdi må beregnes av livssyklus kostnadene for å finne levetidskostnadene til beregningssonen. For å beregne nåverdi av kostnader i analyseperioden benyttes formel 1.

$$NV_T = \sum_{t=0}^T K_t * \frac{(1+r)^{n-1}}{r(1+r)^n} = \sum_{t=0}^T K_t * d_t [Kr] \quad (\text{Formel 1})$$

Der:

- NV_T er nåverdi av kostnader i analyseperioden (levetidskostnader)
- K_t er kostnad i et gitt år
- r er kalkulasjonsrente
- n er et gitt år
- d_t er diskonteringsfaktor for et gitt år t
- T er analyseperiode

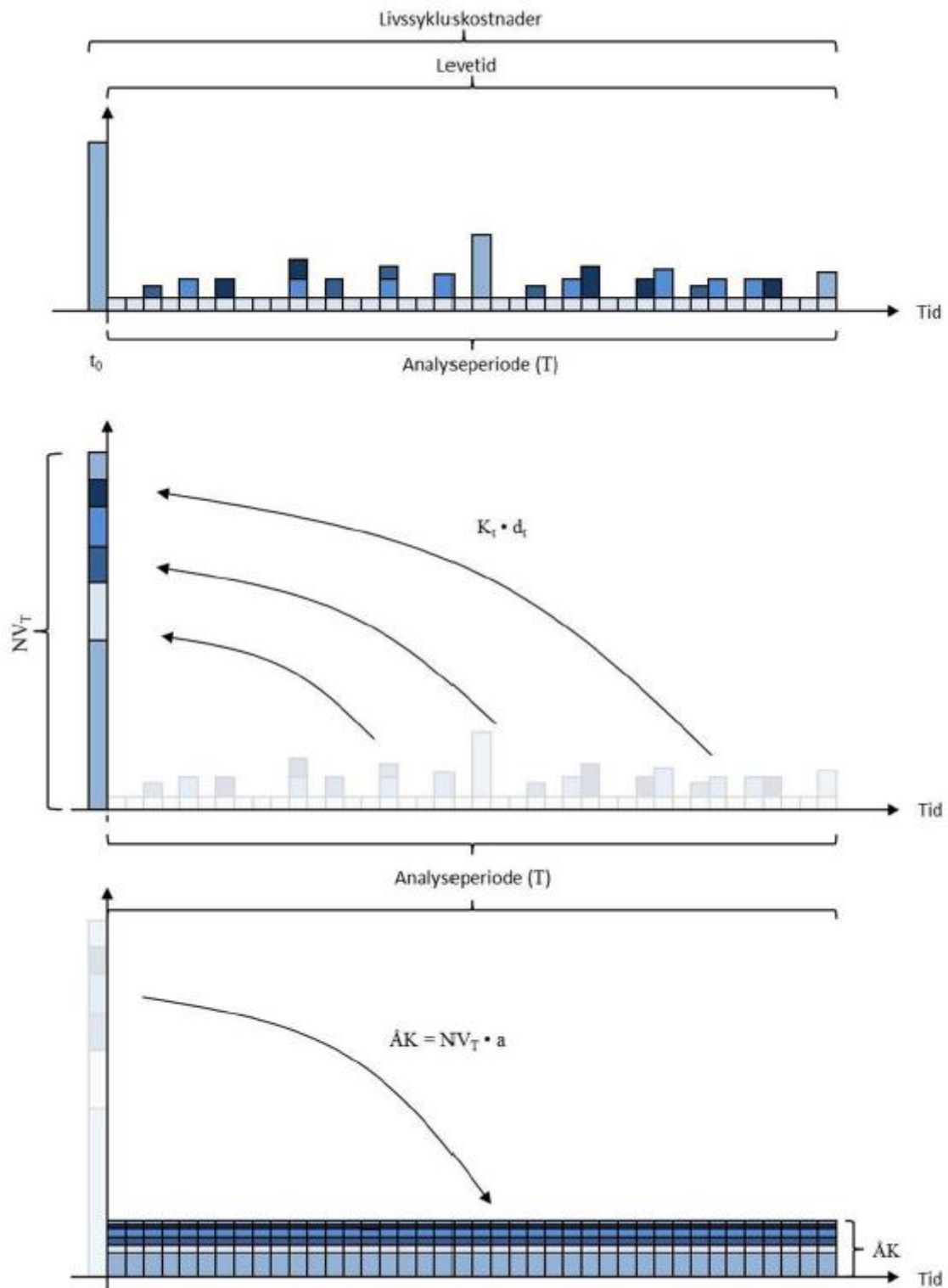
For å beregne årskostnad ($\text{\AA}K$) må annuitet beregnes av NV_t for hele analyseperioden. Det er viktig å ikke forveksle årskostnad med årlige kostnader. De årlige kostnadene er løpende kostnader og kan variere fra år til år, mens årskostnaden er en fast kostnad hvert år. Formel 1 benyttes for beregning av årskostnad.

$$\text{\AA}K = NV_T * \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} = NV_T * a [Kr] \quad (\text{Formel 2})$$

Der:

- $\text{\AA}K$ er fast årskostnad
- NV_T er nåverdi av kostnader i analyseperioden (levetidskostnader)
- r er kalkulasjonsrente
- n er analyseperiode
- a er annuitetsfaktor

Figur 16 gir en oversikt over kalkulasjonsmetodikken i en LCC-analyse.



Figur 16 Kalkulasjon av NV_T og ÅK når analyseperioden er lik levetiden (Standard, 2013)

5 Benyttede programmer

Revit

Revit er en programvare designet av Autodesk som inkluderer funksjoner for arkitektdesign, VVS, elektro, byggeteknikk og konstruksjon. I denne oppgaven har programmet blitt brukt til å modellere opp laboratorier med ulike ventilasjonstekniske løsninger. Revit er også benyttet til å ta ut mengder av ventilasjonsteknisk utstyr.

Star CCM+

I denne oppgaven er CFD programmet Star CCM+ benyttet for CFD-simuleringene. Star CCM+ er et program utviklet av CD-adapco, og er designet for å kunne levere nøyaktige og effektive simuleringer. For å kunne utføre effektive simuleringer er man avhengig av relativt stor prosessytelse og datakraft. Jo flere parameter som skal simuleres, jo mer datakraft trenger man.

6 Tidligere forskning

Av tidligere forskning er det forskning rundt luftskifter i laboratorium, lufthastigheter gjennom avtrekksskapets lukeåpning og type tilluftsenheter som er gjennomgått. I dette kapittelet kommer en kort oppsummering av ulike forskningsartikler og rapporter som omhandler temaene.

"Laboratory air quality and room ventilation rates: An update." (Klein, 2010).

Forskningen omhandler empirisk testing av luftkvaliteten for laboratorier ved arbeid med organiske kjemiske prosesser i avtrekksskap. Her ble det sett på varierende luftvekslingstall, og hvordan det påvirket luftkvaliteten i laboratoriet.

Resultatene viste at antall lekkede luftpartikler ut fra avtrekksskapet var omvendt proporsjonalt med antall luftvekslinger og signifikant påvirket av strømningsmønsteret til tilluftslufta. Det ble simulert med luftvekslingstall på mellom 6-16 h⁻¹.

Artikkelen konkluderer med at luftskifter over 12 h⁻¹ normalt ikke er nødvendig, mens med et luftskifte på under 8 h⁻¹ kan det oppstå problemer. Lavere luftskifter kan egne seg ved arbeid med lav-forurensede stoffer og når laboratoriet ikke er i bruk. Et nøkkelfunn var at tilluftsenheter med optimal plassering, antall og geometri ville sikre god funksjon til avtrekksskapet.

"Containment Testing for Occupied and Unoccupied Laboratory Chemical Hoods" (Greenley, 1999).

Denne amerikanske forskningsartikkelen har tatt for seg avtrekksskapets effektivitet til å holde på farlige utslipp ved ulike lufthastigheter i lukeåpningen. Forskningen viser at det er utrolig viktig med tilstrekkelig lufthastighet inn i avtrekksskapets lukeåpning, for å hindre utslipp av farlige stoffer i laboratoriet. Men artikkelen skriver også at en høyere lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning ikke nødvendigvis sikrer en høyere sikkerhet i laboratoriet.

"Containment testing of installed laboratory fume hoods" (Rydock, 2000).

Forskningen baserer seg på testing av 54 avtrekksskap ved tre ulike laboratorier i Norge. Testingen ble utført i hht Nordtest VVS 095, og foregikk ved at det ble målt sporgass i et punkt foran ansiktet på en dukke som var plassert foran avtrekksskapet, hvor lukeåpningen var på 30 cm. Resultatene viste at det med lave lufthastigheter gjennom avtrekksskapets lukeåpning ($< 0,30$ m/s) var stor sannsynlighet for at avtrekksskapet ikke ville holde godt på sporgassens utslipp. lufthastigheter gjennom avtrekksskapets lukeåpning på $0,30 - 0,49$ m/s viste varierende resultater, mens avtrekksskapene med høye lufthastigheter gjennom avtrekksskapets lukeåpning ($\geq 0,50$ m/s) holdt særlig godt på utslippene.

"Energieffektiv helhedsløsning til sikker laboratorieventilation." (Madsen, 2016).

En dansk forskningsgruppe har forsket på om man kan oppnå høy brukersikkerhet i laboratorier med lavt luftskifte og lavt energibruk. Det skrives at avtrekksskap medfører et stort luftskifte i laboratorier som følge av stor avtrekksluftmengde. I rapporten anbefales det å ikke ligge høyere enn $20-25$ h⁻¹, dette for at det ikke skal oppstå trekk.

Det ble utført målinger i et testlaboratorium med ulike lukehastigheter, for å sjekke hvordan sikkerheten til avtrekksskapet forandret seg. En lukehastighet på $\leq 0,33$ m/s ville ikke gi god nok sikkerhet for avtrekksskapet. En lukehastighet på $0,50$ m/s vil gi en sikkerhetsfaktor som er 500 ganger høyere enn ved $0,33$ m/s. Rapporten presiserer at forstyrrelser som armaturer, dører, vinduer, antall avtrekksskap og tilluftsarrangementets plassering og geometri, er faktorer som kan påvirke avtrekksskapets sikkerhet.

Forskningen er klar over at det i bransjen normalt benyttes en lukehastighet på $0,50$ m/s, og at brukerne av laboratoriet kan føle seg utrygge, om lufthastigheten i lukeåpningen reduseres. For at brukerne skal føle seg trygge, bør det utvikles gode metoder for overvåkning og styring av laboratoriet. Rapporten foreslår også at man kan inndele laboratorier etter hvor skadelige stoffer som håndteres i avtrekksskapet, og benytte ulike lufthastigheter inn lukeåpningen ved de valgte laboratoriekategoriene.

I forskningsprosjektet ble det testet ut tre ulike tilluftsenheter i testlaboratoriet. Dette var tekstilkanal, tilluftsventil for fortreningsventilasjon og dysekanal. I forsøket var det ønskelig å ha en maksimal lufthastighet ved avtrekksskapet på 0,20 m/s. Forsøksresultatene viste at tilførsel med tekstilkanal ga de minste forstyrrelsene av luftens bevegelse ved og omkring avtrekksskapet. For tilluftsventilen basert på fortreningsventilasjon viste forsøksresultatene at det var mulighet for forstyrrelser rundt avtrekksskapet. Dysekanalene ga store forstyrrelser rundt avtrekksskapet, og lufthastigheten lå høyt over 0,20 m/s. Dysekanalene var derfor den minst egnede tilluftsenheter i testlaboratoriet, og for at dysekanalen ikke skulle skape luftforstyrrelser kunne man belaste den med maksimalt 270 m³/h/m.

Det ble også undersøkt hvor stor påvirkning gange fra forbipasserende hadde på avtrekksskapet. Resultatene viste at gangsoner måtte plasseres minst 1 meter fra avtrekksskapet ved en lukehastighet på 0,50 m/s, og minst 1,5 meter ved en lukehastighet på 0,30 m/s, for at lufthastigheten inn på avtrekksskapet ikke skulle forstyrres.

CFD-simulering og LCC-analyse av laboratorier

Det finnes lite tidligere forskning som omhandler CFD-simuleringer av laboratorier. Det er kun utført CFD-simulering av enkle laboratorier med kun ett avtrekksskap. Simuleringene går mest på forurensninger fra avtrekksskap. Det er ikke funnet forskningsartikler som omhandler LCC-analyse av laboratorier.

7 Metode

Dette kapittelet beskriver hvilke metoder som ble benyttet til å gjennomføre oppgaven. Den beskriver hva som ble gjort, og hvordan det ble gjort, og skal gi leseren et innblikk i hvordan oppgaven ble løst.

7.1 Litteratur

Høsten 2017, og i starten av dette semesteret ble det gjennomført litteratursøk etter relevant litteratur, som skulle legge grunnlaget for de teoretiske kapitlene og for kapittelet som omhandlet tidligere forskning.

For de teoretiske kapitlene ble det søkt etter relevant stoff fra lærebøker, lover og standarder, forskrifter, fagnotater, rapporter og fagblader.

En rekke tidligere forskningsartikler ble lest for å finne relevant informasjon om tidligere forskning, som omhandlet temaene beskyttelsesventilasjon, CFD og LCC i laboratorier. Forskningsartiklene ble innhentet fra søkemotorer som Science Direct og Google Scholar. Følgende søkeord ble benyttet for å finne relevante forskningsartikler:

- *Ventilation performance in laboratories*
- *Ventilation rates in laboratories*
- *Performance of laboratory fume hoods*
- *Laboratory air quality*
- *Containment testing of laboratory fume hoods*
- *Chemical fume hoods*
- *Air changes in laboratories*
- *Ventilation strategy in laboratories*
- *Makeup air in laboratories*
- *Supply air units in laboratories*
- *Air velocities in sash opening of fume hoods*
- *Luftskifter i laboratorier*
- *Tilluftsenheter I laboratorier*
- *CFD simulations of laboratories*
- *LCC analysis of laboratories*

7.2 Valg av konseptløsninger

Det ble valgt å se på to ulike romkonseptløsninger for forsknings- og undervisningslaboratoriet. Konsept 1 tilsvarte forsknings- og undervisningslaboratoriet for Nytt Livsvitenskapsbygg, som ble forutsatt i forprosjektet. Konsept 2 tilsvarte forsknings- og undervisningslaboratoriet i Kjemi bygg 211 ved DTU i Danmark. Konsept 1 baserte seg på arkitektmodell for nytt Livsvitenskapsbygg modellert i Revit fra forprosjektet. Konsept 2 baserte seg på plantegninger og bilder fra DTU, se vedlegg 1.

For konsept 1 ble det forutsatt en rekke ulike alternative løsninger for avtrekksskapene som omhandlet lufthastigheten inn gjennom avtrekksskapets lukeåpning og avtrekksskapenes samtidighet. For forskningslaboratoriet ble det sett på fire ulike alternative løsninger. For undervisningslaboratoriet ble det sett på to ulike alternative løsninger. Tabell 8 viser de alternative løsningene for avtrekksskapene i laboratoriene i konsept 1.

Tabell 8 Alternative løsninger for avtrekksskapene i forsknings- og undervisningslaboratoriet i konsept 1.

Type		Verdi	Enhet
Forskningslaboratorium konsept 1			
Alternativ 1	Lufthastighet i lukeåpning (v_L)	0,36	[m/s]
	Samtidighet på avtrekksskap	100	[%]
Alternativ 2	Lufthastighet i lukeåpning (v_L)	0,36	[m/s]
	Spesifikk luftmengde	50	[m ³ /h m ²]
Alternativ 3	Lufthastighet i lukeåpning (v_L)	0,50	[m/s]
	Samtidighet på avtrekksskap	72	[%]
Alternativ 4	Lufthastighet i lukeåpning (v_L)	0,50	[m/s]
	Samtidighet på avtrekksskap	100	[%]
Undervisningslaboratorium konsept 1			
Alternativ 1	Lufthastighet i lukeåpning (v_L)	0,36	[m/s]
	Samtidighet på avtrekksskap	100	[%]
Alternativ 2	Lufthastighet i lukeåpning (v_L)	0,50	[m/s]
	Samtidighet på avtrekksskap	100	[%]

For forskningslaboratoriet ved alternativ 2 ble det valgt en lufthastighet i avtrekksskapenes lukeåpning kombinert med en spesifikk luftmengde for hele laboratoriet, som senere ga grunnlaget for avtrekksskapenes maksimale samtidighet. For alternativ 3 ble det valgt å se på en lavere samtidighet av avtrekksskapene, med en lufthastighet i avtrekksskapenes lukeåpning på 0,50 m/s. Samtidigheten på 72 % i alternativ 3 tilsvarte den samme luftmengden man fikk ved alternativ 1.

For konsept 2 ble det kun sett på en alternativ løsning for avtrekksskapene for både forsknings- og undervisningslaboratoriet. Det ble antatt at danskene benyttet en lufthastighet i avtrekksskapets lukeåpning på 0,50 m/s og 100 % samtidighet.

For begge konseptene var alle avtrekksinstallasjonene i rommet kjent. Det ble målt en innvendig bredde for avtrekksskapene som lå til grunn for luftmengdeberegningene. Romhøyden for konsept 2 var ikke kjent. Det ble derfor antatt en romhøyde som baserte seg på bildet av laboratoriene. Det ble i tillegg forutsatt at det var rom for hovedføringer over himlingen ved konsept 2, og den totale høyden fra overkant gulv til underkant dekke ved konsept 2 ble forutsatt til å være det dobbelte av konsept 1.

For alle romkonseptene ble det forutsatt at lufthastigheten ikke skulle overstige 0,20 m/s i oppholdssonen, som tilsvarte en høyde på 1,8 meter over gulv. Det ble vurdert og også velge en enda lavere lufthastighet, men det ble antatt at en lufthastighet på 0,20 m/s eller lavere ville gjøre at det ikke oppsto trekk i oppholdssonen.

7.3 Teoretiske beregninger

Luftmengdeberegning

For beregning av luftmengder måtte alle avtrekksluftmengder i laboratoriene beregnes.

Avtrekksskapene ble først beregnet for alle romløsningene, og maksimal og minimal avtrekksluftmengde for hvert skap ble da beregnet ved hjelp av formel 3 og 4.

$$\dot{V}_{\text{maks}} = v * h_{\text{maks}} * b \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (\text{Formel 3})$$

\dot{V}_{maks}	maksimal avtrekksluftmengde [m^3/h]
v	konstant lufthastighet i frontlukeåpning [m/s]
h_{maks}	maksimal lukeåpning [m]
b	lukebredde (innvendige mål) [m]

$$\dot{V}_{\text{min}} = v * h_{\text{min}} * b \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (\text{Formel 4})$$

\dot{V}_{min}	minimal avtrekksluftmengde [m^3/h]
v	konstant lufthastighet i frontlukeåpning [m/s]
h_{min}	minimal lukeåpning [m]
b	lukebredde (innvendige mål) [m]

Alle avtrekksinstallasjonene med konstante luftmengder som avtrekksskap for rotavaporer og kjemikalieskap måtte også beregnes. Avtrekksskapet for rotavaporer ble beregnet med en fast luftmengde som tilsvarte en konstant lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning når luken var helt nede, som tilsvarte en høyde på 10 cm. For kjemikalieskapene ble det forutsatt en fast luftmengde på $100 \text{ m}^3/\text{h}$. Da luftmengdene til alle avtrekksinstallasjonene var beregnet hver for seg, ble alt summert sammen til total avtrekksluftmengde for alle romløsningene. For hver romløsning ble også spesifikk luftmengde og antall luftskifter beregnet ved hjelp av formel 5 og 6.

$$\dot{V}_{\text{spes}} = \frac{\dot{V}}{A} \quad [(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2] \quad (\text{Formel 5})$$

\dot{V}_{spes}	spesifikk luftmengde [$(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2$]
\dot{V}	luftmengde [m^3/h]
A	rommets gulvareal [m^2]

$$n = \frac{\dot{V}}{V} \quad [\text{h}^{-1}] \quad (\text{Formel 6})$$

n	luftvekslingstallet [h ⁻¹]
\dot{V}	luftmengde [m ³ /h]
V	romvolum [m ³]

Samtidighetsbetrakning

For forskningslaboratoriet ble det gjort en samtidighetsbetrakning for konsept 1, da dette var det eneste rommet som ble forutsatt som hensiktsmessig og nødvendig å vurdere samtidigheten. For undervisningslaboratoriet og for begge laboratoriene ved konsept 2 ble det forutsatt at samtidigheten skulle være 100 %.

For vurdering av samtidighet i laboratoriet var det avtrekksskapene med varierende bruk som ble vurdert. Avtrekksskapene for rotavaporer og kjemikalieskap hadde konstante avtrekksluftmengder og var dermed ikke nødvendig å betrakte. For beregning av samtidighet ble avtrekksluftmengden for de konstante avtrekkspunktene skilt ut. Deretter ble den resterende luftmengden som var tilgjengelig for laboratoriet basert på enten spesifikk luftmengde eller valgt luftmengde dividert på maksimal luftmengde til avtrekksskapene, se formel 7.

$$S = \frac{V_t}{V_m} * 100 \quad [\%] \quad (\text{Formel 7})$$

S	samtidighet [%]
\dot{V}_t	tilgjengelig luftmengde for avtrekksskapet [m ³ /h]
\dot{V}_m	maksimal luftmengde for avtrekksskapet [m ³ /h]

På grunnlag av beregnet samtidighet kunne man deretter se på ulike kombinasjoner på frontlukens høyde til avtrekksskapene.

Størrelse på tilluftsenheter

Da total luftmengde var beregnet for alle konseptløsningene kunne man ta ut størrelse på de ulike tilluftsenheter. For konsept 1 ble det sett på to ulike tilluftsenheter. For begge typene i konsept 1 ble det sett på hva hver tilluftsenhet taklet av luftmengder, som la grunnlaget for hvor mange like tilluftsenheter som skulle plasseres i laboratoriesonen for de ulike alternativene.

For tilluftsenhet - type 1 som var DRI tilluftsventil for lavimpuls/diffus innblåsning ble det forutsatt en egendefinert perforeringsgrad på tilluftsflaten, da leverandøren av tilluftsenheten ikke oppga perforeringsgrad. Den forutsatte perforeringsgraden gjorde det mulig å beregne en teoretisk lufthastighet ut av ventilen. Lufthastigheten ble beregnet vha. formel 8, ved å ta tilluftsarealet til ventilen og multiplisere med perforeringsgraden. Deretter dividerte man beregnet lysåpningsareal på ventilens valgte luftmengde, og på den måten ble teoretisk lufthastighet beregnet.

$$v_{\text{ventil}} = \frac{V_m}{A_{\text{ventil}} \cdot PG} = \frac{V_m}{A_{\text{lys\aa}pning}} \quad [\text{m/s}] \quad (\text{Formel 8})$$

v_{ventil}	Teoretisk lufthastighet fra ventil [m/s]
\dot{V}_m	maksimal luftmengde for tilluftsventilen [m ³ /h]
A_{ventil}	ventilens areal [m ²]
PG	ventilens perforeringsgrad [%]
$A_{\text{lys\aa}pning}$	ventilens lysåpningsareal [m ²]

For tilluftsenhet - type 2 som var tekstilkanal var beregningen litt mer omfattende. Først beregnet man hvor mange meter tekstilkanal som en måtte ha vha. formel 9, ved en definert luftmengde per meter tekstilkanal.

$$L_{\text{tekstilkanal}} = \frac{V_m}{V_s} \quad [\text{m}] \quad (\text{Formel 9})$$

$L_{\text{tekstilkanal}}$	lengde tekstilkanal [m]
\dot{V}_m	sonens maksimale luftmengde [m ³ /h]
\dot{V}_s	spesifikk luftmengde per meter tekstilkanal [m ³ /h m]

Lengden på tekstilkanalen som ble beregnet ble oppjustert, eller nedjustert til hva som var tilgjengelig plass i laboratoriesonen.

Deretter ble innløpshastigheten inn i tekstilkanalen beregnet, for å se om lufthastigheten lå innenfor optimalt lufthastighetsområde. Innløpshastigheten ble beregnet med formel 10.

$$v_{\text{innløp}} = \frac{V_m}{\frac{3600 \text{ s/h}}{\pi r^2}} \quad [\text{m/s}] \quad (\text{Formel 10})$$

$v_{\text{innløp}}$	innløpshastighet [m/s]
\dot{V}_m	kanalens maksimale luftmengde [m ³ /h]
r	tekstilkanalens radius [m]

Da kanalens innløpshastighet var beregnet, og man kontrollerte at den lå innenfor optimalt lufthastighetsområde etter figur 2 i vedlegg 3, kunne man gå videre for å finne kanalens dynamiske trykk (P_{dyn}). Verdien ble avlest fra figur 4 i vedlegg 3 ved hjelp kanalens beregnede innløpshastighet.

Videre måtte tekstilkanalens egnede permeabilitet finnes. Dette ble utført ved å først beregne tekstilkanalens tilluftsareal, som var kanalens overflateareal unntatt innløpets- og endelokkets overflateareal. Overflatearealet ble beregnet med formel 11.

$$A_{\text{overflate}} = L_{\text{kanal}} * r * \pi \quad [\text{m}^2] \quad (\text{Formel 11})$$

$A_{\text{overflate}}$	tekstilkanalens overflateareal [m ²]
$L_{\text{tekstilkanal}}$	valgt lengde på tekstilkanal [m]
r	tekstilkanalens radius [m]

Deretter ble tekstilkanalens spesifikke luftmengde per m² stoff beregnet med formel 12.

$$\dot{V}_s = \frac{V_m}{A_{\text{overflate}}} \quad [(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2] \quad (\text{Formel 12})$$

\dot{V}_s	tekstilkanalens spesifikke luftmengde [(m ³ /h)/m ²]
\dot{V}_m	kanalens maksimale luftmengde [m ³ /h]
$A_{\text{overflate}}$	tekstilkanalens overflateareal [m ²]

Den spesifikke luftmengden per m² tekstil ble videre beregnet til å finne statisk trykk i tekstilkanalen. For enkelthetens skyld ble det for alle konseptene med tekstilkanal forutsatt et maksimalt trykktap i tekstilkanalen på 100 Pa. Det tilgjengelige statiske trykket i kanalen ble beregnet med formel 13.

$$P_{\text{statisk}} = P_{\text{tot}} - P_{\text{dyn}} \quad [\text{Pa}] \quad (\text{Formel 13})$$

P_{statisk} statisk trykk [Pa]

P_{tot} forutsatt maksimalt trykktap i tekstilkanalen [Pa]

P_{dyn} dynamisk trykk [Pa]

Da tilgjengelig statisk trykk var beregnet, kunne man avlese hvilken permeabilitet på stoffet som passet best ved tilgjengelig statisk trykk fra figur 3 i vedlegg 3.

Til slutt kunne man beregne utløpshastigheten gjennom tekstilet fra tekstilkanalenes overflateareal med formel 14.

$$v_{\text{utløp}} = \frac{\frac{V_m}{3600 \text{ s/h}}}{A_{\text{overflate}}} \quad [\text{m/s}] \quad (\text{Formel 14})$$

$v_{\text{utløp}}$ tekstilkanalens utløpshastighet [m/s]

\dot{V}_m kanalens maksimale luftmengde [m³/h]

$A_{\text{overflate}}$ tekstilkanalens overflateareal [m²]

Den beregnede lufthastigheten kunne videre benyttes til å vise teoretisk karakteristisk hastighetsprofil i ulike soner av rommet. Dette ble beregnet ved å multiplisere tekstilkanalens utløpshastighet med en lufthastighetsfaktor. Lufthastighetsfaktoren hadde ulike verdier for ulike definerte soneområder. Figur 1 i vedlegg 3 ble benyttet til å regne lufthastigheten i de ulike soneområdene, samt soneområdets høyde plassering i rommet. Den teoretisk beregnede hastighetsprofilen som ble beregnet fra figur 1 i vedlegg 3 var ved underkjølt tilluft. Det ble forsøkt å kontakte tekstilkanalleverandørene, men de var usikre på hvor underkjølt tilluften var på figuren. Lufthastighetsfaktoren som ble benyttet var den laveste verdien for de ulike soneområdene for romkategori 1, se tabell 1 i vedlegg 3.

Det ble valgt å ikke vurdere tekstilkanaler i forskningslaboratoriet ved alternativ 2 i konsept 1, da det ikke ville være et behov for tekstilkanaler ved så lave luftmengder.

Tilluftsenheten for konsept 2 ble valgt til å være perforert dysekanal, da det var sannsynlig ut fra bilder av laboratoriene ved DTU, at det var installert dysekanaler. Størrelsen på tilluftsenhetene ble dermed modellert opp kun utfra bildene, slik at lengdene på dysekanalene var kun forutsatte lengder. I og med at perforerte dysekanaler inneholder hundrevis av små dyseutløp måtte det gjøres forenklinger for beregning av denne typen tillufts enhet. Hver linje med små dyseutløp ble satt sammen til et større dyseutløp på hver linje.

Deretter ble det forutsatt en perforeringsgrad per linje med dyseutløp som skulle tilsvare alle de små dyseutløpene.

Det ble forutsatt at det gikk en like stor luftmengde ut av alle dyseutløpene på dysekanalen. Dermed kunne man forholdsvis enkelt beregne en teoretisk lufthastighet ut av hvert dyseutløp. Først måtte overflatearealet av hvert dyseutløp beregnes med formel 15.

$$A_{\text{overflate}} = L_{\text{dyseutløp}} * 2\pi r \quad [\text{m}^2] \quad (\text{Formel 15})$$

$A_{\text{overflate}}$ dyseutløpets overflateareal $[\text{m}^2]$
 $L_{\text{dyseutløp}}$ definert bredde på hvert dyseutløp $[\text{m}]$
 r dysekanalens radius $[\text{m}]$

For dysekanalene som hadde 180° spredningsmønster ble overflatearealet til dyseutløpet halvparten av verdien beregnet i formel 15. Videre ble teoretisk utløpshastighet fra dysene beregnet med formel 16.

$$v_{\text{utløp}} = \frac{\frac{V_m}{3600 \text{ s/h}}}{A_{\text{lysåpning}}} = \frac{\frac{V_m}{3600 \text{ s/h}}}{A_{\text{overflate}} * PG} \quad [\text{m/s}] \quad (\text{Formel 16})$$

$v_{\text{utløp}}$ dyseutløpets utløpshastighet $[\text{m/s}]$
 \dot{V}_m dyseutløpets maksimale luftmengde $[\text{m}^3/\text{h}]$
 $A_{\text{overflate}}$ dyseutløpets overflateareal $[\text{m}^2]$
 PG dyseutløpets perforeringsgrad $[\%]$

7.4 Modellering i Revit.

Basert på de ulike romløsningene i konsept 1 og 2, ble hvert laboratorium modellert opp i Revit. Her ble gulvet med riktig areal først modellert, med tilhørende vegger og tak. Deretter ble alle avtrekksskap og kjemikalieskap, samt alt av inventar modellert opp i laboratoriene. Avtrekksskapene og kjemikalieskapene var ekte produkter, som ble importert fra arkitektmodellen for nytt Livsvitenskapsbygg.

Da luftmengdene og type tilluftsenheter for hver alternativ løsning var kjent, kunne man modellere opp det VVS-tekniske utstyret i rommet. Alle hovedkanaler og grenkanaler ble modellert opp. Tilluftsenheter og reguleringstekniske installasjoner ble hentet fra en database inne i Revit, så man hadde riktige produkter.

Da alt var modellert ferdig hadde man 3D-modeller av alle de ulike ventilasjonstekniske løsningene.

7.5 CFD – simulering.

Ved hjelp av CFD-simuleringer var det ønskelig å se på hastighetsprofilen i laboratoriene med de ulike alternative løsningene. Romløsningene ble modellert opp med høyt detaljeringsnivå i Revit. Men for å utføre CFD-simuleringene, ble modellen forenklet i Star CCM+. En svært detaljert modell ville komplisere simuleringen, og øke sannsynligheten for feilmeldinger under simulering.

Det ble valgt å kun modellere opp tilluftsenheter og avtrekksskap i hvert laboratorium. For forskningslaboratoriene ble også et laboratorieskap i midten av rommet modellert opp, da dette ble sett på som en vesentlig hindring for luftstrømningen. Tekniske installasjoner som kabelbroer, lysarmaturer, hovedkanaler for ventilasjon og rør for gass og sanitær ble ikke modellert opp i rommet. Varmetilskudd fra personer og utstyr ble heller ikke medtatt ved simulering.

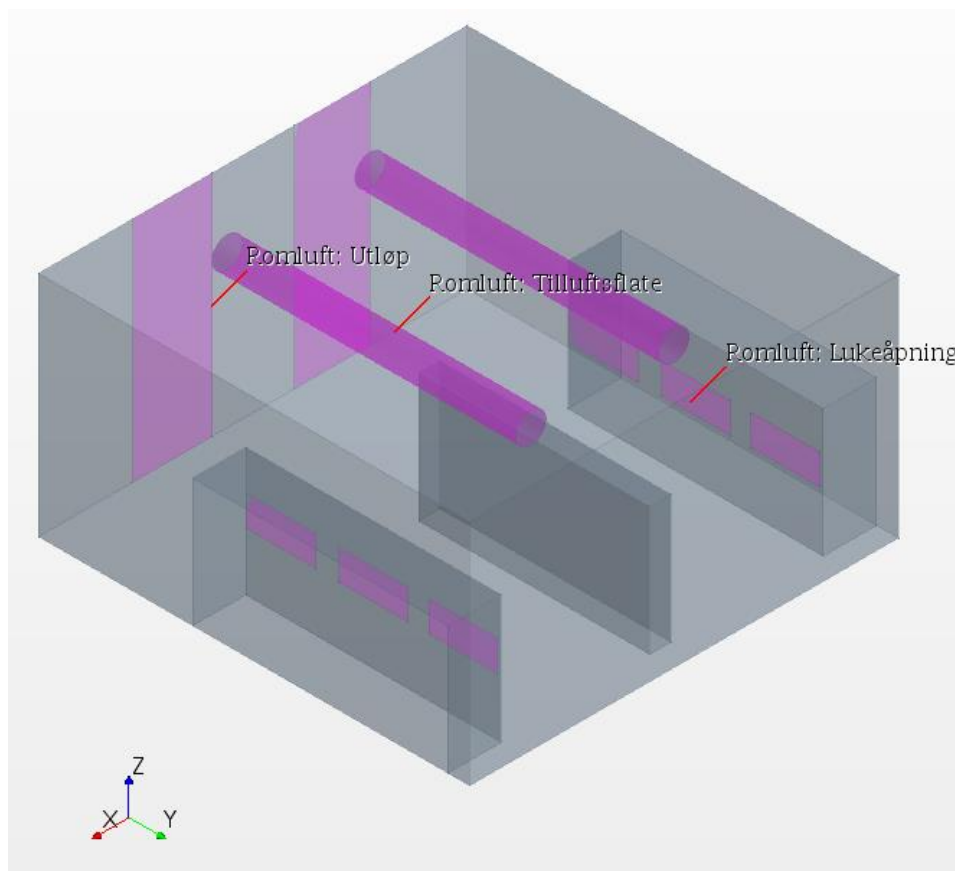
Geometri

Det første som ble gjort i Star CCM+ var å modellere opp sonen for de enkelte romløsningene. Dette ble gjort ved å høyreklikke på 3D-CAD Models under *geometry* og velge *new*. En gulvflate ble deretter laget med funksjonen *sketch*, og en måtte deretter definere lengden og bredden på gulvflaten. Ved å høyreklikke på den opprettede gulvflaten kunne man deretter definere romhøyden ved å velge *extrude* og sette inn definert romhøyde. Da sonen var modellert måtte tilluftsenheter og avtrekksskapene modelleres. Dette ble gjort med samme metode som for sonen, og man kunne modellere opp valgt tillufts enhet og avtrekksinstallasjon, som ble egne *bodies*. Da dette var utført måtte romluften defineres i sonen. Dette ble gjort ved å høyreklikke på *bodien* som definerte hele sonen å velge *extract external volume*. Dette gjorde at en ny *body* ble opprettet, som definerte romvolumet uten geometrien som besto av tillufts enheter og avtrekksskap.

Geometri parts

Romvolumobjektet ble deretter valgt til å bli en egen *geometrypart*, som videre ble splittet opp til flere objektflater ved hjelp av funksjonen *split by patch*. På den måten kunne man definere de ulike objekteneflatene i sonen. Vegger, tak og gulv ble definert som romflater. Tilluftsventilene av typen DRI ble definert som tilluftsflate i taket. Tilluftsenehetene som tekstilkanaler og perforerte dysekanaler måtte defineres litt annerledes enn DRI tilluftsventilene. Her var kanalene modellert som sirkulære rør, slik at kanalene ble splittet opp i mindre deler, og kanalens utløp ble definert som tilluftsflater og resten av kanalene ble definert som kanalflater.

Avtrekksskapene ble modellert opp som bokser, og lukeåpningene ble markert i boksene som skulle tilsvare avtrekksskapene. For forskningslaben ved konsept 1, ble ikke hele laboratoriet simulert. Det ble valgt å ikke medta forrommet som inneholdt avtrekksskapene for rotavaporer. I stedet ble inngangen inn til forrommet definert som et utløp, hvor luften strømmet naturlig ut. Figur 17 viser modellert romløsning for forskningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanaler ved tak, avtrekksskapenes lukeåpninger og utløpene mot forrommet.



Figur 17 Romløsning forskningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanaler ved tak, avtrekksskapenes lukeåpninger og utløpene mot forrommet, modellert opp i Star CCM+

Regioner og grensebetingelser

Romluften ble definert som en egen region ved å høyreklikke på romluft å velge *assign parts to regions*. Alle kombinerte *geometry parts* ble automatisk gjort til egne grenser (*boundaries*). Man kunne da definere grensebetingelser for de ulike grensene. Tilluftsflatene ble definert som *velocity inlet*, og man kunne da sette inn en egendefinert lufthastighet på tilluftsflatene. Det var de teoretiske lufthastighetene som var beregnet som ble satt inn. For avtrekksskapene ble lukeåpningene definert som *velocity inlet*, og man kunne sette inn en egendefinert lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning. Hastigheten måtte defineres med negativt fortegn, for at programmet skulle forstå at luften skulle gå inn i lukeåpningen. For simuleringene av løsningene som hadde en redusert samtidighet, ble det valgt å senke lukeåpningene til avtrekksskapene. På denne måten ble alle avtrekksskapene simulert med en redusert lukeåpning med konstante lufthastigheter gjennom avtrekksskapets lukeåpning. Inngangen til forrommet i forskningslaboratoriet i konsept 1 ble definert som *pressure outlet*, som gjorde at luften strømmet naturlig inn til forromet.

Mesh- og fysikkmodell

Da grensebetingelsene var definert for de ulike grensene, kunne man gå i gang med å definere mesh- og fysikkmodell for sonene.

Meshmodellen måtte defineres for å velge simuleringens kontrollvolum. Dette ble gjort ved at romluften ble delt opp i små kontrollvolumer, ved hjelp av *mesh*-funksjonen i programmet.

Romløsningene med perforerte dysekanaler inneholdt mange flere objekter på tilluftsobjektet enn for tilluftsventilene og tekstilkanalene. Derfor var det hensiktsmessig å lage en mer finvasket *mesh* rundt tilluftsenheten, for at simuleringen skulle fungere. Dette ble gjort ved å definere et eget volum rundt dysekanalene og velge en lavere *base size* i dette volumet.

Resten av romluften ble definert med en høyere *base size*, som kortet ned simuleringstiden.

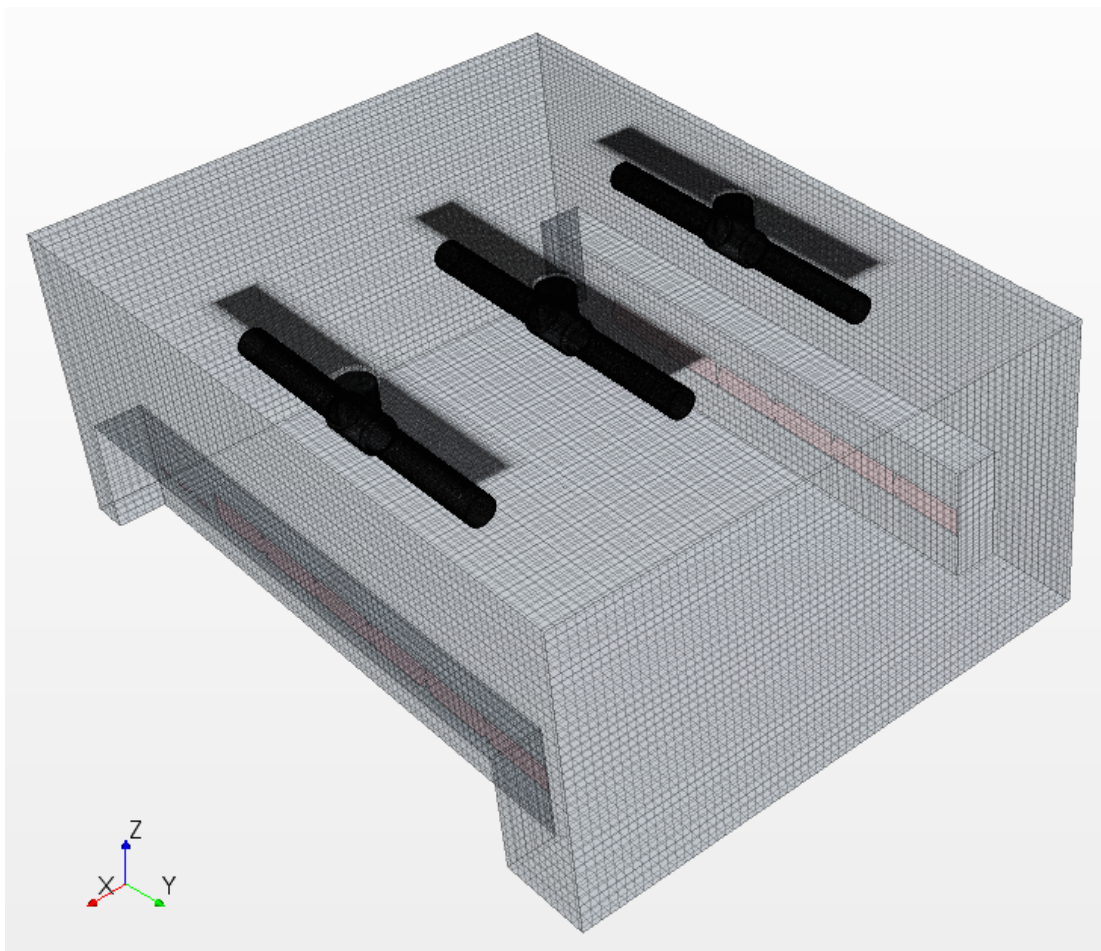
Før meshingen var det nødvendig å optimalisere modellen for å få et så nøyaktig nettverk som mulig i modellen. Dette var overflatenettverk for overflatene mot romluften, og volumnettverk for romluften. For overflatenettverket ble *surface wrapper* benyttet for å reparere geometrien. *Surface remesher* ble benyttet til å jevne ut overflater som kunne være ujevne. For volumnettverket ble *prism layer mesher* benyttet for å få et mer finvasket nettverk der det var nødvendig. *Trimmer* ble brukt til å genere volumnettverket. *Extruder mesh* ble også benyttet for få best mulig innløps- og utløpsgrenser. Den gjorde også at simuleringen tok kortere tid.

Fysikkmodellen skulle definere hva slags type medium beregningen skulle jobbe med. For konsept 1 ble det kun simulert med isoterm strømning. Derfor ble fysikken til romluften definert som *Segregated Fluid Isothermal*, som gjorde at tilførselsluften og romluften var den samme. For konsept 2 ble det både simulert for isoterm- og underkjølt tilluft. For simuleringen med underkjølt tilluft ble fysikken til romluften definert som *Segregated Fluid Enthalpy*, som gjorde at man kunne definere ulike temperaturer for tilførselsluft og romluft.

Da mesh- og fysikkmodellen var definert, var man klar til å meshe opp romsonen før simuleringen. Meshingen ble utført i tre steg:

- 1) Initialize meshing
- 2) Generate surface mesh
- 3) Generate volume mesh

Figur 18 viser mesh modellen av undervisningslaboratoriet konsept 2 med perforerte dysekanaler, som var den mest detaljrike simuleringsmodellen.



Figur 18 Mesh modell av undervisningslaboratoriet konsept 2 med perforert dysekanal modellert opp i Star CCM+

Da mesh modellen var ferdig kunne man gå i gang med selve CFD-simuleringen.

Simuleringen ble utført i to steg:

- 1) Initialize solution
- 2) Run solution

Da simuleringene var utført kunne man lage vektorscener for å visualisere resultatene. Det ble valgt å vise en vektorscene for hver ventilasjonsteknisk løsning, som viste hastighetsprofil fra tilluftsenehetene og til et avtrekksskap.

7.6 Valg av ventilasjonstekniske løsninger for videre analyse

Konsept 1 bestod av en rekke ulike alternative løsninger for begge tilluftsenehetene for både forsknings- og undervisningslaboratoriet, som ble vurdert gjennom CFD-simuleringene. Det ble valgt å kutte ned til én type tilluftsenehet per alternativ løsning, som skulle analyseres videre i en LCC-vurdering. For den videre analysen ble det foreslått hvilke av de forutsatte tilluftsenehetene som passet best til de ulike alternative løsningene.

Det ble valgt å benytte DRI tilluftsventilen i de alternative løsningene som hadde reduserte luftmengder i konsept 1 for både forsknings- og undervisningslaboratoriet. Tilluftsventilen hadde ikke kapasitet til alternativene med maksimale luftmengder. Tekstilkanalene hadde kapasitet til alle de alternative løsningene i konsept 1 for både forsknings- og undervisningslaboratoriet. Derfor ble tekstilkanalene valgt i alternativene med maksimale luftmengder.

For konsept 2 var det kun én alternativ løsning og én type tilluftsenehet for både forsknings- og undervisningslaboratoriet, som dermed ble valgt i videre analyse.

7.7 Valg av romregulering

For romregulering av de valgte ventilasjonstekniske løsningene ble det forutsatt å benytte enten måleprinsippet eller summasjonsprinsippet som reguleringsprinsipp. Det ble valgt å benytte måleprinsippet for forskningslaboratoriet i begge konsepter. Dette ble valgt fordi det var ønskelig med stor grad av fleksibilitet mtp. endringer og ombygging i forskningslaboratoriet. For undervisningslaboratoriet ble det valgt å benytte summasjonsprinsippet for begge konsepter. Dette ble valgt fordi summasjonsprinsippet ble sett på som en god løsning i laboratorier med stor tetthet av avtrekksinstallasjoner.

På bakgrunn av de valgte reguleringstekniske løsningene, ble det valgt ut romreguleringsutstyr som passet inn i de ulike løsningene. Her ble det valgt ut ulike reguleringsspjeld på bakgrunn av hvilke minimums- og maksimums luftmengder som spjeldene håndterte. Forskjellen på summasjonsprinsippet og måleprinsippet var at måleprinsippet var avhengig av sonespjeld på avtrekkets hovedkanaler.

7.8 LCC - analyse

Mengdeuttak.

For LCC – analysen måtte først alle ventilasjonstekniske installasjoner tas ut, for å beregne installasjonskostnadene for hver ventilasjonsteknisk løsning. Dette ble gjort ved å ta mengdeuttak på alt som var modellert ut i Revit, for de ulike ventilasjonstekniske løsningene. I Revit kunne man kjøre mengdeuttak ved hjelp funksjonen *Material Take Off*. For å kunne stole på mengdeuttaket var det svært viktig at man hadde modellert opp alt av ventilasjonsteknisk utstyr som skulle medtas i kostnadsestimatet.

Kostnadsestimat.

Da man hadde kontroll på alt av ventilasjonsteknisk utstyr som var i de ulike laboratoriene, kunne man gå i gang med å estimere kostnader for de ulike ventilasjonstekniske løsningene for laboratoriene. Det ble forutsatt at kostnadene var for to laboratorier, slik at alle kostnadene ble multiplisert med to. Kostnadene ble hentet fra ulike prislister og fra romfunksjonsprogrammet dRofus, som inneholdt kostnader for avtrekksskap og kjemikalieskap. Vedlegg 7 viser oversikt over de ulike prislister som er benyttet for kostnadsestimater. Den totale kostnaden for alt ventilasjonsteknisk utstyr ble satt som laboratorienes investeringskostnad.

Det ble valgt å beregne en ekstra byggekostnad for konsept 2 med økt romhøyde. Dette ble gjort ved å anta at den økte romhøyden ville "stjele" gulvareal fra andre romfunksjoner, som kunne ha blitt plassert i "2.etg". Dermed ble det valgt å estimere en ekstra kostnad for det ekstra gulvarealet, som ble antatt å være likt som forutsatt gulvareal for konsept 2. Kostnaden var en estimert verdi hentet fra kostnadsestimater utført i forprosjektet for Nytt Livsvitenskapsbygg. Kostnaden for bygget var oppgitt i kr/m², og var også medregnet kostnader for bygget utvendig. Derfor ble det valgt å nedjustere kostnaden litt. I tillegg ble det valgt å estimere byggekostnaden for økt veggareal. Det ble antatt at romhøyden fra gulv til dekke var det dobbelte i konsept 2. Arealet til alle veggene ved de ulike laboratorieløsningene i hvert konsept ble målt, og ekstra veggareal ble dermed funnet for konsept 2. Det ble deretter beregnet kostnader for det ekstra veggarealet. Dette omhandlet byggekostnader og diverse annet arbeid som maling av vegger, stillasje for montasje ved dobbel høyde og tilkomst.

Neste steg var å finne laboratorienes driftskostnader. Her var det to driftskostnader som det ble valgt å beregne. Dette var årlige energikostnader for viftedrift og årlige driftskostnader for tilsyn og løpende vedlikehold.

For å kunne beregne årlige energikostnader for viftedrift, måtte ulike inndata verdier forutsettes. Det ble antatt et totalt trykkfall for ventilasjonssystemet med den høyeste luftmengden for både forsknings- og undervisningslaboratoriene. Det totale trykkfallet ble deretter justert ned med proporsjonalloven for laboratorieløsningene med lavere luftmengder (Ingebrigtsen, 2016b). Driftstid på ventilasjonsanlegget måtte også velges. Her ble det antatt ulik driftstid hvor anlegget gikk på full drift, redusert drift og minimal drift.

Redusert drift tilsvarte at avtrekksskapene på grunn av regulering hadde en lukeåpning på 30 cm, som ble antatt som normal arbeidshøyde. Minimal drift tilsvarte at anlegget ikke var i drift, som betød at lukeåpningen på avtrekksskapet var "lukket", og hadde en lukehøyde på 10 cm. Maksimal drift tilsvarte at lukeåpningen gikk på full drift og med en lukeåpning på 50 cm.

Viftesystemets totale virkningsgrad var lik ved de ulike alternative løsningene for forskningslaboratoriene og for undervisningslaboratoriene, da det ble forutsatt at ventilasjonsaggregatet skulle være like stort ved de ulike alternative løsningene for hhv forsknings- og undervisningslaboratoriene. Det ble også forutsatt at ikke viftesystemets virkningsgrad endret seg ved lavere luftmengder.

Da driftstider og viftesystemets virkningsgrad var definert ble årlig energibruk til viftedrift ved ulike driftstider beregnet med formel 17.

$$E = \frac{\left(\frac{\frac{V}{3600 \frac{s}{h}} * \Delta p}{\eta} \right) * DT}{1000} \quad [\text{kWh/år}] \quad (\text{Formel 17})$$

E	årlig energiforbruk ved ulike driftstider [kWh/år]
\dot{V}	luftmengde ved gitt driftspunkt [m^3/h]
Δp	trykkfall i anlegget ved gitt driftspunkt [Pa]
η	viftesystemets virkningsgrad [%]
DT	driftstid ved gitt driftspunkt [t/år]

Da energibruk til vifte ved de ulike driftstidene var beregnet, ble totalt årlig energibruk for tillufts- og avtrekksvifta beregnet med formel 18.

$$E_{\text{tot}} = (E_{\text{min}} + E_{\text{red}} + E_{\text{maks}}) * 2 \quad [\text{kWh}/\text{år}] \quad (\text{Formel 18})$$

E_{tot}	totalt årlig energibruk for vifter [kWh/år]
E_{min}	Energibruk vifte ved minimums driftspunkt [kWh/år]
E_{red}	Energibruk vifte ved redusert driftspunkt [kWh/år]
E_{maks}	Energibruk vifte ved maksimalt driftspunkt [kWh/år]

Den årlige kostnaden for viftedrift ble deretter beregnet med formel 19.

$$K_V = E_{\text{tot}} * EP \quad [\text{kr}/\text{år}] \quad (\text{Formel 19})$$

K_V	årlig kostnad for viftedrift [kr/år]
E_{tot}	totalt årlig energibruk for vifter [kWh/år]
EP	Forutsatt energipris [kr/kWh]

Årlige driftskostnader for tilsyn og løpende vedlikehold ble estimert veldig forenklet. For avtrekksskapet ble det forutsatt at årlige driftskostnader tilsvarte en viss prosentandel av avtrekksskapets investeringskostnad. For årlige drifts- og løpende vedlikeholdskostnader ble det antatt en kostnad per m^3/h luftmengde.

Videre ble utskiftningskostnadene i byggets levetid estimert. Her ble det forutsatt en total levetid for laboratoriene, samt levetid for det ventilasjonstekniske utstyret. Dermed ble de faste årlige kostnadene summert med utskiftningskostnadene i hele byggets levetid.

Da investeringskostnadene, driftskostnadene og utskiftningskostnadene var estimert for de ulike ventilasjonstekniske løsningene, hadde man oversikt over byggets livssykluskostnader.

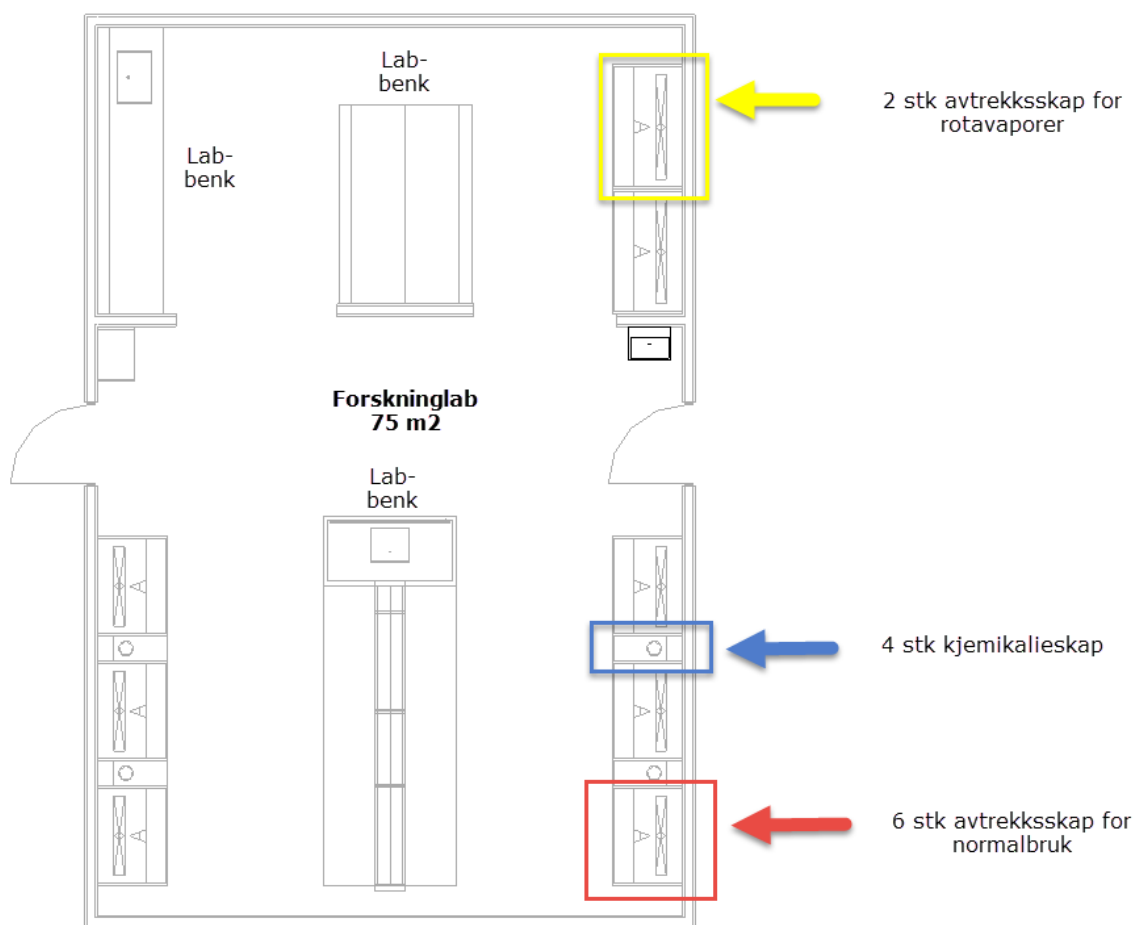
Videre ble nåverdien av livssykluskostnadene i byggets levetid beregnet med formel 1 i kapittel 4, for å finne levetidskostnadene. Videre ble årskostnadene funnet ved å beregne annuitet av levetidskostnadene med formel 2 i kapittel 4.

8 Forutsetninger

I dette kapittelet vil alle forutsetninger som ligger til grunn for beregninger og simuleringer i oppgaven oppgis. For både forsknings- og undervisningslaboratoriet er det forutsett to ulike romløsninger, kalt konsept 1 og 2. Konsept 1 er eksempler på prosjektert forsknings- og undervisningslaboratorium fra forprosjekt ved Nytt Livsvitenskapsbygg, mens Konsept 2 tilsvarer forsknings- og undervisningslaboratorium ved DTU i Danmark.

8.1 Forskningslaboratorier.

Figur 19 viser romutformingen som er forutsatt for forskningslaboratoriet i konsept 1.



Figur 19 Forutsatt forskningslaboratorium for konsept 1

Tabell 9 viser forutsetningene som ligger til grunn for forskningslaboratoriet i konsept 1.

Tabell 9 Forutsetninger for forskningslaboratoriet konsept 1

Type		Verdi	Enhet
Areal		75	[m ²]
Antall personer		6	
Avtrekksskap for normal bruk ¹	Bredde	1200 (1130) ⁴	[mm]
	Antall	6	
Avtrekksskap for rotavaporer ²	Bredde	1500 (1430) ⁴	[mm]
	Antall	2	
Antall kjemikalieskap ³		4	
Romhøyde (OK gulv til UK dekke)		3750	[mm]
Høyde til UK tilluftsarrangement		3000	[mm]
Maks lufthastighet i oppholdssonen (1,8 m over gulv)		≤ 0,20	[m/s]
Isoterm lufttilførsel	Tilluftstemperatur	22	[°C]
Alternativ 1	Lufthastighet i lukeåpning (v _L)	0,36	[m/s]
	Samtidighet på avtrekksskap	100	[%]
Alternativ 2	Lufthastighet i lukeåpning (v _L)	0,36	[m/s]
	Spesifikk luftmengde	50	[m ³ /h m ²]
Alternativ 3	Lufthastighet i lukeåpning (v _L)	0,50	[m/s]
	Samtidighet på avtrekksskap	72 ⁵	[%]
Alternativ 4	Lufthastighet i lukeåpning (v _L)	0,50	[m/s]
	Samtidighet på avtrekksskap	100	[%]

¹ Avtrekksskap med maksimal avtrekksluftmengde ved maksimal lukeåpning

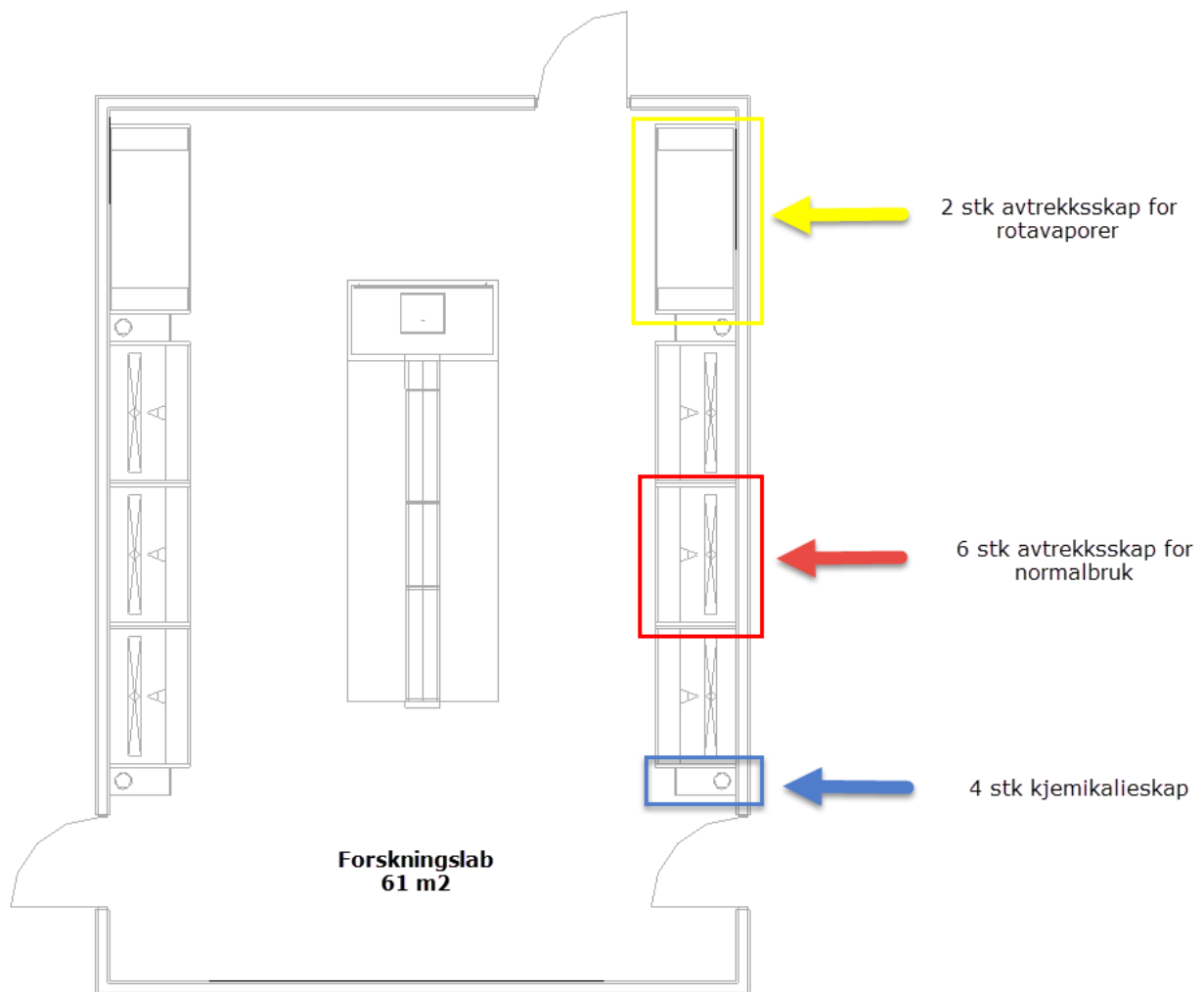
² Avtrekksskap med minimums avtrekksluftmengde uavhengig av lukeåpning

³ Ventilerte kjemikalieskap for lagring av kjemikalier med konstant avtrekksluftmengde på 100 m³/h.

⁴ Den oppgitte bredden som står i parentes tilsvarer lukeåpningens bredde, og benyttes for å beregne avtrekksluftmengden til skapet.

⁵ Samtidighet på 72 % ved en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,50 m/s, tilsvarer en samtidighet på 100 % ved en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,36 m/s.

Figur 20 viser romutformingen som er forutsatt for forskningslaboratoriet i konsept 2.



Figur 20 Forutsatt forskningslaboratorium for konsept 2

Tabell 10 viser forutsetningene som ligger til grunn for forskningslaboratoriet i konsept 2.

Tabell 10 Forutsetninger for forskningslaboratoriet konsept 2

Type			Verdi	Enhet
Areal			61	[m ²]
Antall personer			6	
Avtrekksskap for normal bruk ¹	Bredde		1500 (1430) ⁴	[mm]
	Antall		6	
Avtrekksskap for rotavaporer ²	Bredde		2000 (1930) ⁴	[mm]
	Antall		2	
Antall kjemikalieskap ³			4	
Romhøyde (OK gulv til UK himling)			5500	[mm]
Romhøyde (OK gulv til UK dekke)			7500	[mm]
Høyde til UK tilluftsarrangement			4750	[mm]
Lufthastighet i lukeåpning (v _L)			0,50	[m/s]
Samtidighet på avtrekksskap			100	%
Maks lufthastighet i oppholdssonen (1,8 m over gulv)			≤ 0,20	[m/s]
1	Isoterm lufttilførsel	Tilluftstemperatur	22	[°C]
2	Underkjølt lufttilførsel	Tilluftstemperatur	19	[°C]

¹ Avtrekksskap med maksimal avtrekksluftmengde ved maksimal lukeåpning

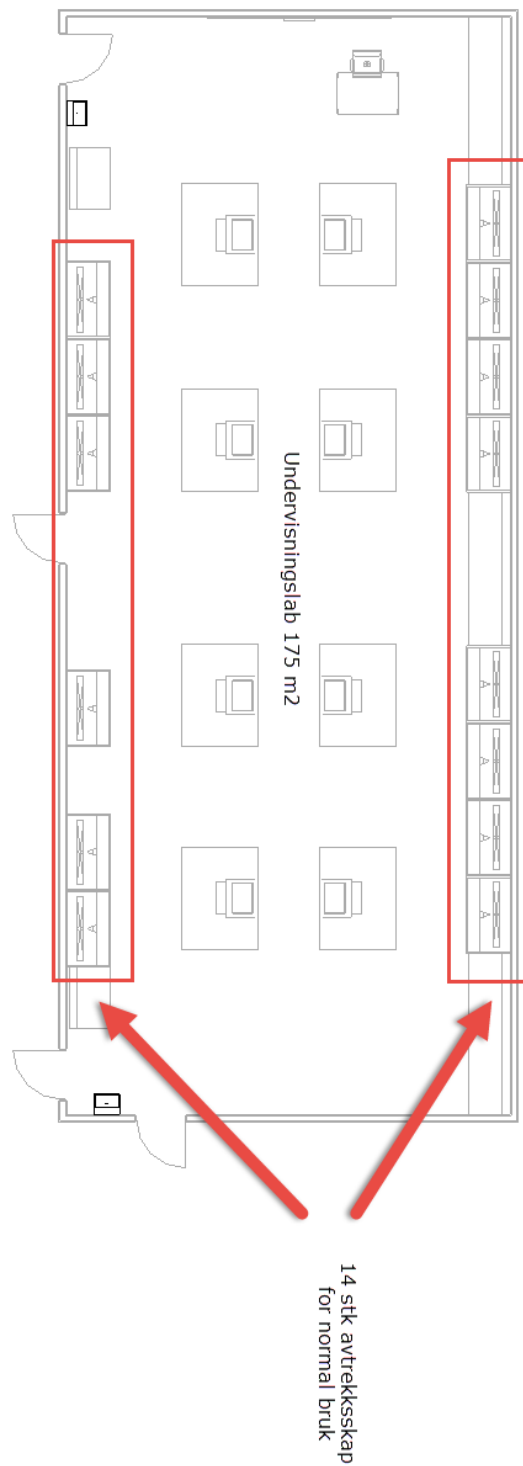
² Avtrekksskap med minimums avtrekksluftmengde uavhengig av lukeåpning

³ Ventilerte kjemikalieskap for lagring av kjemikalier med konstant avtrekksluftmengde på 100 m³/h.

⁴ Den oppgitte bredden som står i parentes tilsvarer lukeåpningens bredde, og benyttes for å beregne avtrekksluftmengden til skapet.

8.2 Undervisningslaboratorier

Figur 21 viser romutformingen som er forutsatt for undervisningslaboratoriet i konsept 1. For konsept 1 forutsettes det at to undervisningslaboratorier skal ha felles støtterom for lagring av kjemikalier og rotavaporer, og at støtterommet dermed ikke inngår i betraktningen av undervisningslaboratoriet.



Figur 21 Forutsatt undervisningslaboratorium i konsept 1

Tabell 11 viser forutsetningene som ligger til grunn for undervisningslaboratoriet i konsept 1.

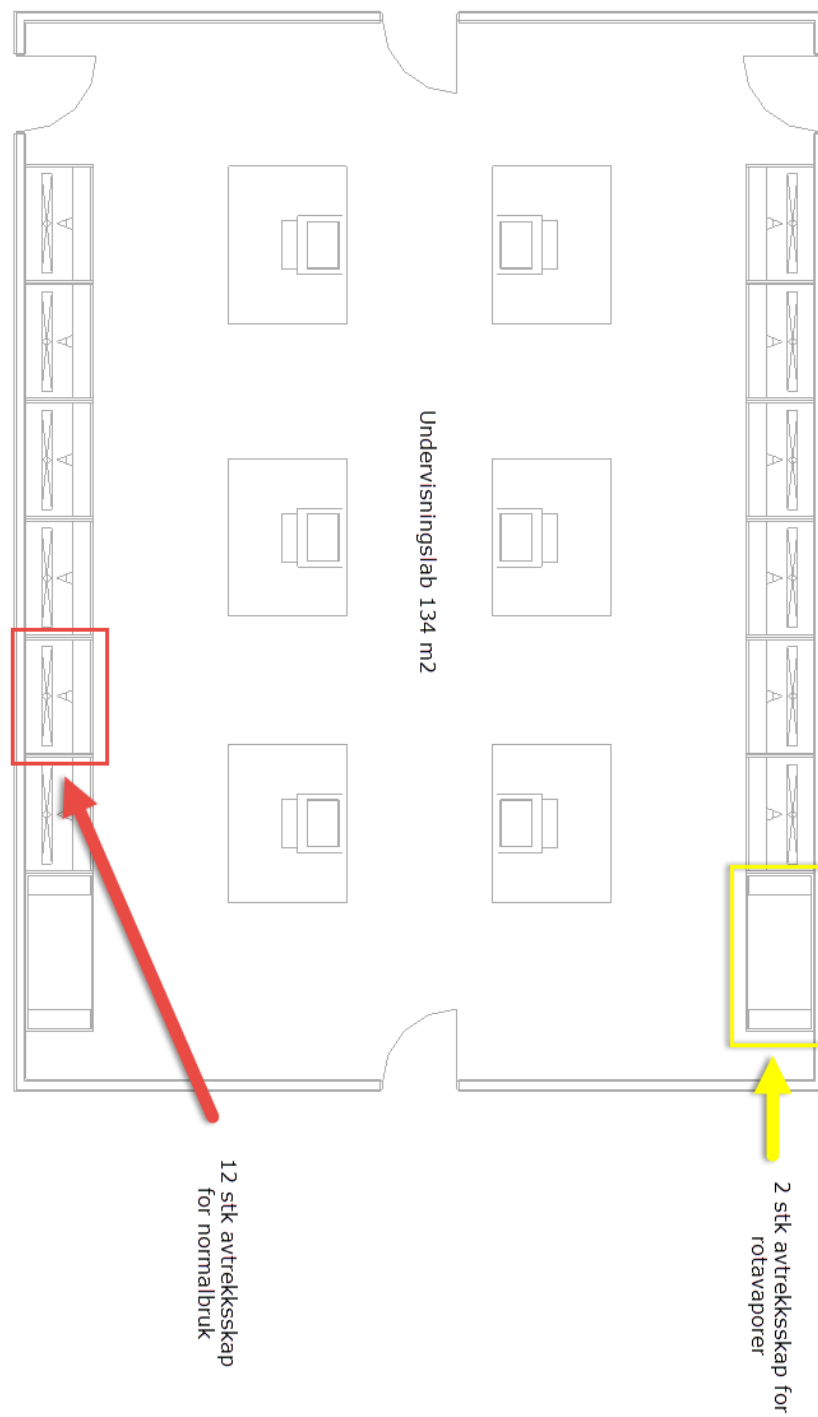
Tabell 11 Forutsetninger for undervisningslaboratoriet konsept 1

Type		Verdi	Enhet
Areal		185	[m ²]
Antall personer		25	
Avtrekksskap for normal bruk	Bredde	1500 (1430) ²	[mm]
	Antall	14 ¹	
Romhøyde (OK gulv til UK dekke)		3750	[mm]
Høyde til UK tilluftsarrangement		3000	[mm]
Maks lufthastighet i oppholdssonen (1,8 m over gulv)		≤ 0,20	[m/s]
Isoterm lufttilførsel	Tilluftstemperatur	22	[°C]
Alternativ 1	Lufthastighet i lukeåpning (v_L)	0,36	[m/s]
	Samtidighet på avtrekksskap	100	[%]
Alternativ 2	Lufthastighet i lukeåpning (v_L)	0,50	[m/s]
	Samtidighet på avtrekksskap	100	[%]

¹ Avtrekksskap med maksimal avtrekksluftmengde ved maksimal lukeåpning

² Den oppgitte bredden som står i parentes tilsvarer lukeåpningens bredde, og benyttes for å beregne avtrekksluftmengden til skapet.

Figur 22 viser romutformingen som er forutsatt for undervisningslaboratoriet i konsept 2.



Figur 22 Forutsatt undervisningslaboratorium i konsept 2

Avtrekksskap for rotavaporer er plassert i undervisningslaboratoriet i konsept 2. Det forutsettes at kjemikalieskap er plassert i egne støtterom, og inngår ikke i beregningen.

Tabell 12 viser forutsetningene som ligger til grunn for undervisningslaboratoriet i konsept 2.

Tabell 12 Forutsetninger for forskningslaboratoriet konsept 2

Type			Verdi	Enhet
Areal			134	[m ²]
Antall personer			24	
Avtrekksskap for normal bruk	Bredde		1500 (1430) ³	[mm]
	Antall		12 ¹	
Avtrekksskap for rotavaporer	Bredde		2000 (1930) ³	[mm]
	Antall		2 ²	
Romhøyde (OK gulv til UK himling)			5500	[mm]
Romhøyde (OK gulv til UK dekke)			7500	[mm]
Høyde til UK tilluftsarrangement			4750	[mm]
Lufthastighet i lukeåpning (v _L)			0,50	[m/s]
Samtidighet på avtrekksskap			100	%
Maks lufthastighet i oppholdssonen (1,8 m over gulv)			≤ 0,20	[m/s]
1	Isoterm lufttilførsel	Tilluftstemperatur	22	[°C]
2	Underkjølt lufttilførsel	Tilluftstemperatur	19	[°C]

¹ Avtrekksskap med maksimal avtrekksluftmengde ved maksimal lukeåpning

² Avtrekksskap med minimums avtrekksluftmengde uavhengig av lukeåpning

³ Den oppgitte bredden som står i parentes tilsvarer lukeåpningens bredde, og benyttes for å beregne avtrekksluftmengden til skapet.

8.3 Valg av tillufts enhet

For konsept 1 forutsettes det to ulike tillufts enheter, som skal betraktes. Tabell 13 viser de to tillufts enhetene som er forutsatt i konsept 1.

Tabell 13 Forutsetninger for tillufts enhet konsept 1

Type		Perforeringsgrad [%]
Type 1	Swegon DRI fortrengningsventil	40 ¹
Type 2	Tekstilkanal	100

¹ Antatt verdi.

Det forutsettes at tillufts enhetene plasseres i en så gunstig posisjon som er mulig i rommet for konsept 1. Dette vil avhenge av hvor stor tillufts enhetene blir beregnet for hver romløsning, og at det er plass til reguleringsspjeld på kanalene. Det forutsettes at hele avtrekksluftmengden i laboratoriene skal dekket med tilluft, og at infiltrasjon ikke hensynstas.

For konsept 2 forutsettes det at tillufts enheten er perforerte dysekanaler som det fremkommer på bilde av laboratoriene. Plasseringen av dysekanalene vil bli plassert så nøyaktig som mulig, slik de fremkommer på bildene i vedlegg 1.

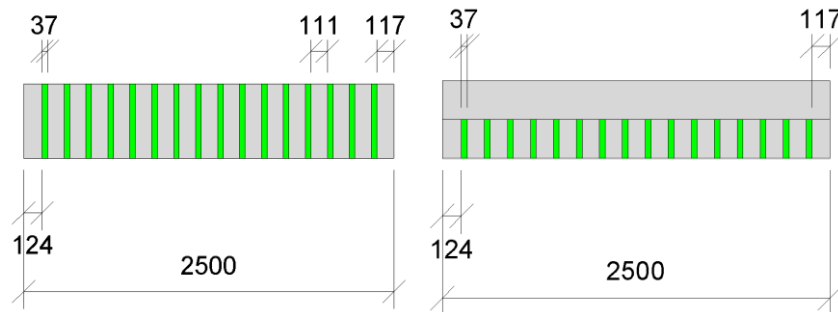
Tabell 14 viser forutsetningene for tillufts enhetene for konsept 2.

Tabell 14 Tillufts enhet konsept 2

Type	Type	Kanal- diameter [mm]	Antall kanaler [stk]	Lengde perforert kanal [m]	Sprednings- mønster [°]	Perforerings- grad utløp [%]
Forskningslab. Konsept 2						
Tilluft	Dysekanal	Ø500	2	2,5	360	15 ¹
Undervisningslab. Konsept 2						
Tilluft	Dysekanal	Ø500	2	2,5	360	15 ¹
Tilluft	Dysekanal	Ø500	4	2,5	180	15 ¹

¹ Antatt verdi

Det forutsettes at hver dysekanal består av 16 utløpsområder. Hvert utløpsområde består av mange små dyseutløp. Det forutsettes at de små dyseutløpene utgjør 15 % av hvert utløpsområde. Figur 23 viser hvordan dysekanalene er tenkt oppbygget med hhv 360° og 180° spredningsmønster.



Figur 23 Forutsetning for oppbygning av dysekanaler for konsept 2

8.4 Valg av avtrekksskap

Det forutsettes at avtrekkskapenes plassering og størrelse er slik de fremkommer på figurene som viser romutformingen, uavhengig om det kan være ugunstig plassering i hht. krav. Det forutsettes at alle avtrekksskap har alminnelig vertikal lukeåpning. Avtrekksskapene for normal bruk forutsettes med modulerende luftmengderegulering, med konstant lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning.

8.5 Valg av reguleringsteknisk løsning

Tabell 15 viser en oversikt over hvilke sonereguleringsprinsipper som forutsettes for de ulike konseptløsningene.

Tabell 15 Oversikt over forutsatte sonereguleringsprinsipper for de ulike konseptløsningene

Variant	Soneregulering
Forskningslab	
Konsept 1	Måleprinsipp
Konsept 2	Måleprinsipp
Undervisningslab	
Konsept 1	Summasjonsprinsipp
Konsept 2	Summasjonsprinsipp

8.6 CFD – simulering

Tabell 16 og 17 viser hvilke forutsetninger som ligger til grunn for mesh- og fysikk modellen i Star CCM+ for å utføre CFD-simuleringene.

Tabell 16 Inndata mesh modell for CFD simulering

Mesh modell	Verdi	Enhet
Models		
Prism Layer Mesher		
Surface Remesher		
Surface Wrapper		
Trimmer		
Extruder		
Reference Values		
Konsept 1		
Base Size	15,0	[cm]
Konsept 2		
Base Size romvolum	15,0	[cm]
Base Size rundt perforerte kanaler	1,5	[cm]
Automatic Surface Repair		
Maximum Cell Size	100	[%]

Tabell 17 Inndata fysikk modell for CFD simulering

Fysikk modell	Verdi	
Models	Isoterm	Underkjølt tilluft
Space	Three Dimensional	
Time	Implicit Unsteady	
Material	Gas	
Flow	Segregated Flow	
Equation of State	Ideal Gas	
Energy	Segregated Fluid Isothermal	Segregated Fluid Enthalpy
Optional models		Gravity
Viscous Regime	Laminar	

Tabell 18 viser hvilken type tilluft -og avtrekksprinsipp som er definert for region betingelsen.

Tabell 18 Inndata for region tilluft og avtrekk

Region	Verdi	Enhet
Tilluft		
Velocity Inlet	Velocity magnitude	[m/s]
Utløp (forrom)		
Pressure Outlet	0	[Pa]
Avtrekk (hele rommet)		
Velocity Inlet	Velocity magnitude	[m/s]

Tabell 19 viser hvilken inndata som er definert i regionene for tilluft og avtrekk og fysikkmodellen ved simulering av underkjølt tilluft.

Tabell 19 Inndata for region tilluft, avtrekk og fysikkmodell ved underkjølt tilluft

Region	Type	Verdi	Enhet
Fysikkmodell			
Initial conditions	Statisk temperatur	295 ¹	[K]
Tilluft			
Physics value	Statisk temperatur	292 ²	[K]
Avtrekk			
Pressure Outlet	Statisk temperatur	292 ²	[K]

¹Romluft = 22 °C

²Tilluft = 19 °C

Tabell 20 viser forutsatte høyder på simuleringsområdet for de enkelte konseptløsningene

Tabell 20 Høyder på simuleringsområde for de enkelte konseptløsningene

Variant	Høyde bunn [mm]	Høyde topp [mm]
Konsept 1		
Forskningslab		
Tilluftsenhet alternativ 1	0	3000
Tilluftsenhet alternativ 2	0	3750
Undervisningslab		
Tilluftsenhet alternativ 1	0	3000
Tilluftsenhet alternativ 2	0	3750
Konsept 2		
Forskningslab	0	5500
Undervisningslab	0	5500

I vedlegg 5 vises de ulike romløsningene som er modellert opp i Star CCM+ for CFD-simuleringene.

8.7 LCC

Tabell 21 viser forutsatte kostnader ved økt romhøyde ved konsept 2. Kostnadene er hentet fra tabeller i vedlegg 7.

Tabell 21 Forutsatte kostnader ved økt romhøyde

Type	Økt kostnad [kr/m ²]
Ekstra gulvareal	15 000
Vegger	2 992
Diverse + maling av vegger	514

Tabell 22 viser hvilke forutsetninger som ligger til grunn for å beregne årlig driftskostnader for ventilasjonsvifter for forsknings -og undervisningslaboratoriet.

Tabell 22 Forutsetninger for å beregne årlig kostnad for viftedrift for forsknings -og undervisningslaboratoriene for begge konsepter

Type	Verdi	Enhet
Driftstid med maksimal lukeåpning	520 ¹	[t]
Driftstid med redusert lukeåpning pga regulering	1820 ²	[t]
Driftstid med minimum lukeåpning	6420	[t]
Antall laboratorier som betjenes av ett aggregat	2	-
Forutsatt totalt trykkfall i ventilasjonssystemet ved størst luftmengde	600	[Pa]
Viftesystemets virkningsgrad	55	[%]
Energi pris	0,85	[kr/kWh]

¹ Tilsvare 2 t/dag, 5 dager i uken

² Tilsvare 7 t/dag, 5 dager i uken

For beregning av årlig driftskostnad på det ventilasjonstekniske utstyret for de ulike konseptløsningene, er det forutsatt å benytte verdiene som vises i tabell 23.

Tabell 23 Forutsetninger for å beregne årlig driftskostnad for laboratoriene

Type	Verdi	Enhet
Driftskostnader/år avtrekksskap. Andel av investeringskostnad.	5,0	[%]
Tilsyn og løpende vedlikeholdskostnader/år for kanaler og utstyr (Polak, 2004)	1,6	[kr/(m ³ /h)]
Kostnader for vask av tekstilkanaler (Gustavsen, 2004)	62,5	[kr/kg]
Vekt tekstilkanal (Gustavsen, 2004)	350,0	[g/m ²]
Vaskeintervall tekstilkanaler	2,0	[vask/år]

Det forutsettes at ventilasjonstekniske installasjoner kun beregnes på romnivå. For kostnadsestimat forutsettes det at totalkostnadene for de ulike konseptene er for to laboratorier. Kostnader for ventilasjonsteknisk utstyr baserer seg på mengdeuttak fra Revit, og baserer seg på de modellerte rommene fra Revit.

For ventilasjonskanaler er det antatt en kostnad i kr/m kanal. Alle prisene er inkludert mva på 25 %. Reguleringspjeld med dimensjon ø630 er forutsatt med lik kostnad som for ø400 pjeld, da priser for ø630 pjeld beregnet for laboratorier ikke er funnet. Se vedlegg 8 over total kostnadsoversikt for de enkelte romløsningene.

For beregning av vedlikeholdskostnader og for videre beregning av levetid- og årskostnad i byggets levetid, er det forutsatt å benytte verdiene i tabell 24.

Tabell 24 Forutsetninger for beregning av vedlikeholdskostnader

Type	Verdi	Enhet
Levetid avtrekksskap	20	[år]
Levetid kjemikalieskap	30	[år]
Levetid kanalanlegg	15	[år]
Levetid regulering avtrekksskap	15	[år]
Byggets levetid	60	[år]
Kalkulasjonsrente (for beregning av nåverdi)	4	[%]

9 Resultat

9.1 Luftmengdeberegning

I dette kapitlet fremkommer luftmengdeberegninger for de ulike alternative løsningene i konsept 1 og 2. Konsept 1 er forsknings- og undervisningslaboratoriet for Nytt Livsvitenskapsbygg. Konsept 2 er forsknings- og undervisningslaboratoriet for DTU.

9.1.1 Forskningslaboratoriet

Konsept 1.

Tabell 25 viser beregnet luftmengde for avtrekksskap med bredde på 1200mm, med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s.

Tabell 25 Beregnede luftmengder for avtrekksskap 1200 bredde konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s

Tilstand	Lukehøyde [cm]	Luftmengde [m ³ /h]	
Lukket	10	V _{min}	146
Åpen	50	V _{maks}	732

*Bredden på lukeåpning er 1130 mm, som legger grunnlaget for luftmengden.

Tabell 26 viser beregnet luftmengde for avtrekksskap med bredde på 1200mm, med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s.

Tabell 26 Beregnede luftmengder for avtrekksskap 1200 bredde konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s

Tilstand	Lukehøyde [cm]	Luftmengde [m ³ /h]	
Lukket	10	V _{min}	203
Åpen	50	V _{maks}	1017

*Bredden på lukeåpning er 1130 mm, som legger grunnlaget for luftmengden.

Tabell 27 viser beregnede luftmengder for avtrekksinstallasjoner med konstante luftmengder for forskningslaboratoriet i konsept 1.

Tabell 27 Konstante luftmengder for avtrekkskap for rotavaporer og kjemikalieskap konsept 1

Type skap	Luftmengde [m ³ /h]		
		v _{luke} = 0,36 m/s	v _{luke} = 0,50 m/s
2 stk Avtrekkskap for rotavaporer	V _{konstant}	370	515
4 stk Kjemikalieskap	V _{konstant}	400	400
Totalt	V_{totalt}	770	915

Tabell 28 viser beregnet total minimum- og maksimum luftmengde for forskningslaboratoriet for konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s og 100 % samtidighet.

Tabell 28 Beregnet total luftmengde for forskningslaboratoriet for konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s og 100 % samtidighet (alternativ 1)

Tilstand	Luftmengde [m ³ /h]	Luftmengde [m ³ /h m ²]	Ant. luftskifter [h ⁻¹]
Ikke i drift	1649	22,0	5,9
I full drift	5163	68,8	18,4

Tabell 29 viser beregnet total minimum- og maksimum luftmengde for forskningslaboratoriet for konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s og en spesifikk luftmengde på 50 m³/h m².

Tabell 29 Beregnet total luftmengde for forskningslaboratoriet for konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s og spesifikk luftmengde på 50 m³/h m² (alternativ 2)

Tilstand	Luftmengde [m ³ /h]	Luftmengde [m ³ /h m ²]	Ant. luftskifter [h ⁻¹]
Ikke i drift	1649	22,0	5,9
I full drift	3750	50,0	13,3

Tabell 30 viser beregnet total minimum- og maksimum luftmengde for forskningslaboratoriet for konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s, og samtidigheter på 72 og 100 %.

Tabell 30 Beregnet total luftmengde for forskningslaboratoriet konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s, og samtidighet på 72 % (alternativ 3) og 100 % (alternativ 4)

Tilstand	Luftmengde [m³/h]	Luftmengde [m³/h m²]	Ant. luftskifter [h⁻¹]
Ikke i drift	2135	28,4	7,6
(full drift) 72 % samtidighet	5308	70,8	18,9
(full drift) 100 % samtidighet	7017	93,6	24,9

Konsept 2.

Tabell 31 viser beregnet total minimum- og maksimum luftmengde for avtrekksskap med bredde på 1500mm, med lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,50 m/s.

Tabell 31 Beregnede luftmengder for avtrekksskap 1500 bredde konsept 2 med lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,50 m/s

Tilstand	Lukehøyde [cm]	Luftmengde [m ³ /h]	
Lukket	10	V _{min}	257
Åpen	50	V _{maks}	1287

*Bredden på lukeåpning er 1430 mm, som legger grunnlaget for luftmengden.

Tabell 32 viser beregnede luftmengder for avtrekksinstallasjoner med konstante luftmengder for forskningslaboratoriet i konsept 2.

Tabell 32 Konstante luftmengder for avtrekksskap for rotavaporer og kjemikalieskap konsept 2

Type skap	Luftmengde [m ³ /h]	
2 stk Avtrekksskap for rotavaporer	V _{konstant}	695
4 stk Kjemikalieskap	V _{konstant}	400
Totalt	V_{totalt}	1095

Tabell 33 viser beregnet total minimum- og maksimum luftmengde for forskningslaboratoriet i konsept 2 med lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning 0,50 m/s og samtidighet på 100 %.

Tabell 33 Beregnet total luftmengde for forskningslaboratoriet konsept 2 med lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,50 m/s og 100 % samtidighet

Tilstand	Luftmengde [m ³ /h]	Luftmengde [m ³ /h m ²]	Ant. luftskifter [h ⁻¹]
Ikke i drift	2640	43,3	7,8
I full drift	8817	144,5	26,3

9.1.2 Undervisningslaboratoriet

Konsept 1.

Tabell 34 viser beregnet luftmengde for avtrekksskap med bredde på 1500mm, med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s.

Tabell 34 Beregnede luftmengder for avtrekksskap 1500 bredde konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s

Tilstand	Lukehøyde [cm]	Luftmengde [m ³ /h]	
Lukket	10	V _{min}	185
Åpen	50	V _{maks}	927

*Bredden på lukeåpning er 1430 mm, som legger grunnlaget for luftmengden.

Tabell 35 viser beregnet luftmengde for avtrekksskap med bredde på 1500mm, med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s.

Tabell 35 Beregnede luftmengder for avtrekksskap 1500 bredde konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s

Tilstand	Lukehøyde [cm]	Luftmengde [m ³ /h]	
Lukket	10	V _{min}	257
Åpen	50	V _{maks}	1287

*Bredden på lukeåpning er 1430 mm, som legger grunnlaget for luftmengden.

Tabell 36 viser beregnet total minimum- og maksimum luftmengde for undervisningslaboratoriet i konsept 1, med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s og samtidighet på 100 %.

Tabell 36 Beregnet total luftmengde for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s og 100 % samtidighet (alternativ 1)

Tilstand	Luftmengde [m ³ /h]	Luftmengde [m ³ /h m ²]	Ant. luftskifter [h ⁻¹]
Ikke i drift	2590	14,0	3,9
I full drift	12973	70,1	19,7

Tabell 37 viser beregnet total minimum- og maksimum luftmengde for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s og samtidighet på 100 %.

Tabell 37 Beregnet total luftmengde for undervisningslaboratoriet for konsept med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s og 100 % samtidighet (alternativ 2)

Tilstand	Luftmengde [m³/h]	Luftmengde [m³/h m²]	Ant. luftskifter [h⁻¹]
Ikke i drift	3604	20,6	5,5
(full drift) 100 % samtidighet	18018	102,9	27,4

Konsept 2.

Tabell 38 viser beregnet luftmengde for avtrekksskap med bredde på 1500mm, med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s.

Tabell 38 Beregnede luftmengder for avtrekksskap 1500 bredde konsept 2 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s

Tilstand	Lukehøyde [cm]	Luftmengde [m ³ /h]	
Lukket	10	V _{min}	257
Åpen	50	V _{maks}	1287

*Bredden på lukeåpning er 1430 mm, som legger grunnlaget for luftmengden.

Tabell 39 viser beregnede luftmengder for avtrekksinstallasjoner med konstante luftmengder for undervisningslaboratoriet i konsept 2.

Tabell 39 Konstante luftmengder for avtrekksskap for rotavaporer og kjemikalieskap konsept 2

Type skap	Luftmengde [m ³ /h]	
2 stk Avtrekksskap for rotavaporer	V _{konstant}	695
Totalt	V_{totalt}	695

Tabell 40 viser beregnet total minimum- og maksimum luftmengde for undervisningslaboratoriet i konsept 2 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s og samtidighet på 100 %.

Tabell 40 Beregnet total luftmengde for undervisningslaboratoriet konsept 2 med lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s og 100 % samtidighet

Tilstand	Luftmengde [m ³ /h]	Luftmengde [m ³ /h m ²]	Ant. luftskifter [h ⁻¹]
Ikke i drift	3784	28,2	5,1
I full drift	16139	120,4	21,9

9.2 Samtidighetsbetrakning

Det er gjort samtidighetsbetraktninger for avtrekksskapene i forskningslaboratoriet i konsept 1. Betraktningene går på hva som er maks samtidig bruk av avtrekksskapene med varierende luftmengder, for alternativ 2 og 3 for forskningslaboratoriet i konsept 1.

9.2.1 Forskningslaboratoriet konsept 1, alternativ 2.

Tabell 41 viser beregnet tilgjengelig samtidighet for avtrekksskapene med varierende luftmengder for alternativ 2, som er med en spesifikk luftmengde i laboratoriet på 50 (m³/h)/m² og med lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,36 m/s.

Tabell 41 Beregnet tilgjengelig samtidighet for forskningslaboratoriet alternativ 2

Type beregning	Verdi	Enhet
Basert på 50 m ³ /h m ²	3750	[m ³ /h]
Antall luftskifter	16,7	[h ⁻¹]
Konstant avtrekk	770	[m ³ /h]
Resterende luft tilgjengelig for avtrekksskapene	2980	[m ³ /h]
Basert på antall avtrekksskap	4392	[m ³ /h]
Tilgjengelig samtidighet	68	[%]

I tabell 42 vises ulike kombinasjoner av lukeposisjonen som avtrekksskapene kan stå i ved 68 % samtidighet. Avtrekksskapet går fra helt lukket (10cm), til helt åpen (50cm).

Tabell 42 Oversikt over ulike kombinasjoner ved 68 % samtidighet og en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning 0,36 m/s for forskningslaboratoriet konsept 1

Samtidighet	Lukeposisjon					
	Skap 1	Skap 2	Skap 3	Skap 4	Skap 5	Skap 6
68 %	50	50	50	33	10	10
	50	50	30	30	30	10
	50	35	35	35	35	10
	50	30	30	30	30	30
	34	34	34	34	34	34

Når alle avtrekksskapene er i bruk, tillates det en maksimal lukeåpning på 34 cm for å holde en samtidighet på 68 %.

9.2.2 Forskningslaboratoriet konsept 1, alternativ 3.

Tabell 43 viser beregnet tilgjengelig samtidighet for avtrekksskapene med varierende luftmengder for alternativ 3, som er med en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,50 m/s.

Tabell 43 Beregnet tilgjengelig samtidighet for forskningslaboratoriet alternativ 3

Type beregning	Verdi	Enhet
Basert på avtrekksskap likt som alternativ 1 + konstant avtrekksluftmengde	5308	[m ³ /h]
Antall luftskifter	18,9	[h ⁻¹]
Konstant avtrekk	915	[m ³ /h]
Resterende luft tilgjengelig for avtrekksskapene	4393	[m ³ /h]
Basert på antall avtrekksskap	6102	[m ³ /h]
Tilgjengelig samtidighet	72	[%]

I tabell 44 vises ulike kombinasjoner av lukeposisjonen som avtrekksskapene kan stå i ved 72 % samtidighet. Avtrekksskapet går fra helt lukket (10cm), til helt åpen (50cm).

Tabell 44 Oversikt over ulike kombinasjoner ved 72 % samtidighet og en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,50 m/s for forskningslaboratoriet konsept 1

Samtidighet	Lukeposisjon					
	Skap 1	Skap 2	Skap 3	Skap 4	Skap 5	Skap 6
72 %	50	50	50	45	10	10
	50	50	50	30	30	10
	50	50	34	34	34	10
	50	33	33	33	33	33
	36	36	36	36	36	36

Når alle avtrekksskapene er i bruk, tillates det en maksimal lukeåpning på 36 cm for å holde en samtidighet på 72 %.

9.3 Størrelse på tilluftsarrangement

9.3.1 Konsept 1

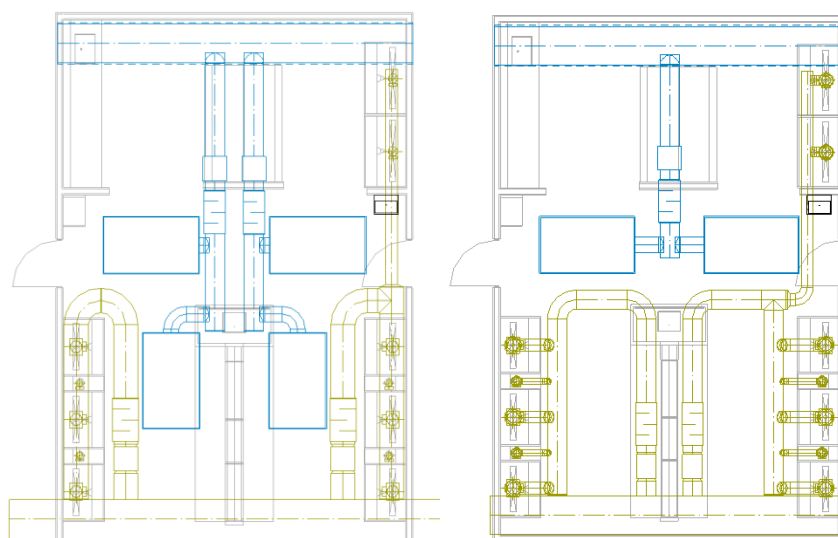
Type 1 – DRI tilluftsventil for fortrenningsventilasjon

Tabell 45 viser forslag til størrelse med DRI tilluftsventiler for forskningslaboratoriet i konsept 1 for de ulike alternativene. Se vedlegg 2 for informasjon om DRI tilluftsventil.

Tabell 45 Forslag til størrelse på DRI tilluftsventiler i forskningslaboratoriet i konsept 1

Type	Alt.	Tillufts-enhet	Størrelse LxB [m]	Antall	Lufthastighet ventil [m/s]	Luftmengde [m ³ /h]
					V _{maks}	V _{maks}
Forskningslab. Konsept 1						
Tilluft – 100 % [0,36 m/s lukehastighet]	1	DRI 315	1,99x1,19	4	0,378	1291
Tilluft – 68 % [0,36 m/s lukehastighet]	2	DRI 315	1,99x1,19	2	0,549	1875
Tilluft – 72 % [0,50 m/s lukehastighet]	3	DRI 315	1,99x1,19	4	0,389	1327
Tilluft – 100 % [0,50 m/s lukehastighet]	4	DRI 315	1,99x1,19	4	0,514	1754

Figur 24 viser modellert ventilasjonsteknisk løsning for forskningslaboratoriet i konsept 1 med DRI tilluftsventil.



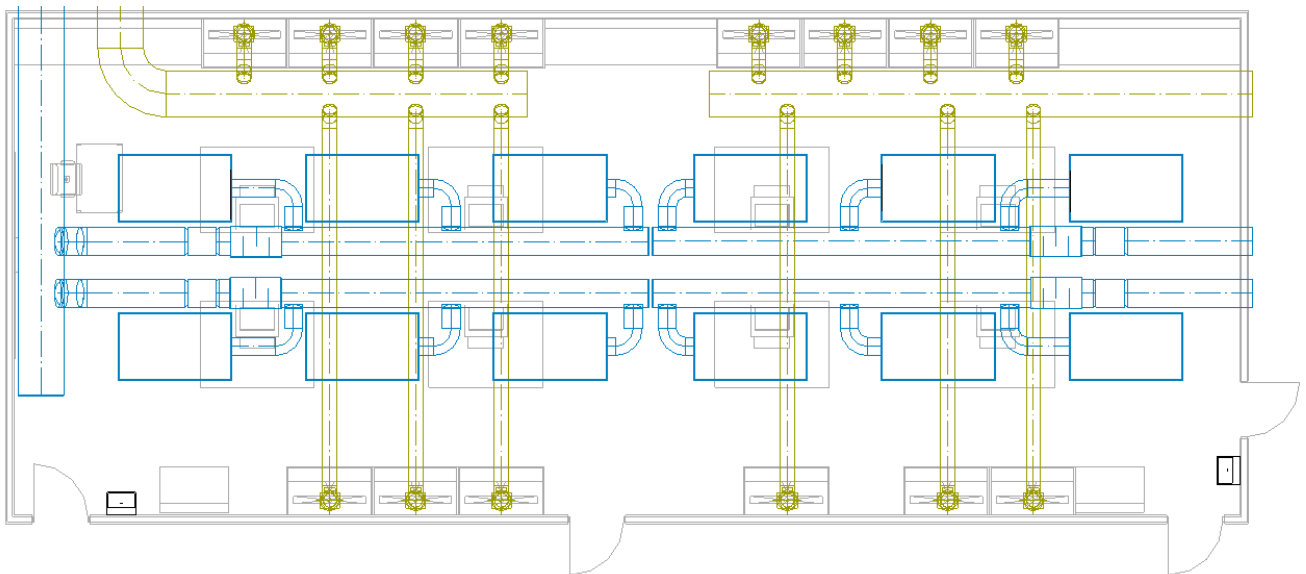
Figur 24 Modellert ventilasjonsteknisk løsning for forskningslaboratoriet i konsept 1 med DRI tilluftsventil. Til venstre: Alternativ 1, 3 og 4. Til høyre: Alternativ 2

Tabell 46 viser forslag til størrelse med DRI tilluftsventiler for undervisningslaboratoriet i konsept 1 for de ulike alternativene.

Tabell 46 Forslag til størrelse på DRI tilluftsventiler i undervisningslaboratoriet i konsept 1

Type	Alt.	Tilluftsenhet	Størrelse LxB [m]	Antall	Lufthastighet ventil [m/s]	Luftmengde [m ³ /h]
					V _{maks}	V _{maks}
Undervisningslab. Konsept 1						
Tilluft – 100 % [0,36 m/s lukehastighet]	1	DRI 315	1,99x1,19	12	0,317	1081
Tilluft – 100 % [0,50 m/s lukehastighet]	2	DRI 315	1,99x1,19	12	0,440	1502

Figur 25 viser modellert ventilasjonsteknisk løsning for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med DRI tilluftsventil.



Figur 25 Modellert ventilasjonsteknisk løsning for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med DRI tilluftsventil

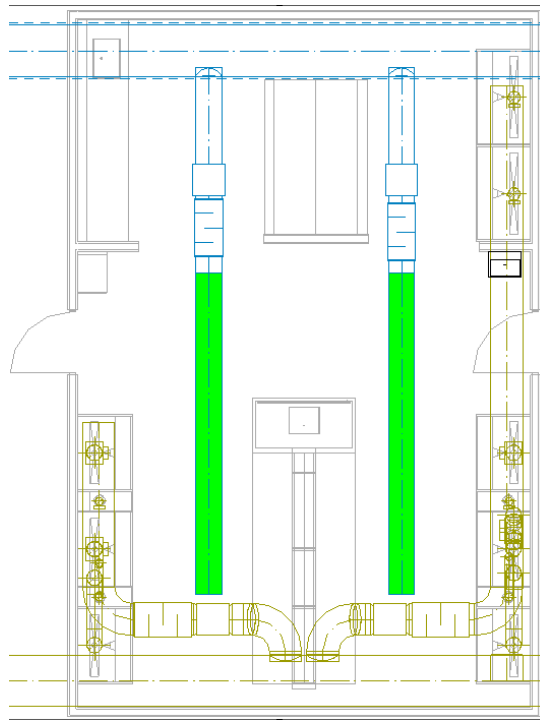
Type 2 - Tekstilkanal

Tabell 47 viser forslag til størrelse med tekstilkanaler for forskningslaboratoriet i konsept 1 for de ulike alternativene. Se vedlegg 3 for informasjon om tekstilventilen og vedlegg 4 for fullstendig beregning av de ulike alternativene.

Tabell 47 Forslag til størrelse på tekstilkanaler i forsknings -og undervisningslaboratoriet i konsept 1

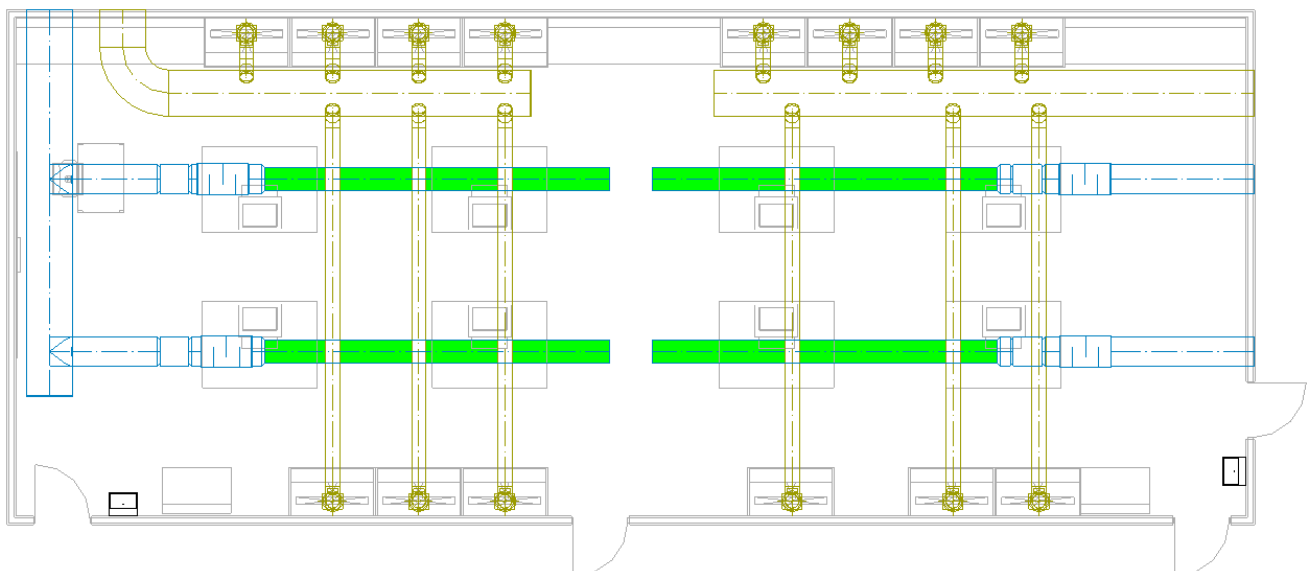
Type	Alt.	Tillufts-enhet	Lengde [m]	Antall	Innløpshastighet i kanal [m/s]	Luftmengde [m ³ /h]
					V_{maks}	V_{maks}
Forskningslab. Konsept 1						
Tilluft – 100 % [0,36 m/s lukehastighet]	1	Tekstilkanal ø400	5,0	2	5,7	2581
Tilluft – 72 % [0,50 m/s lukehastighet]	3	Tekstilkanal ø400	5,0	2	5,9	2654
Tilluft – 100 % [0,50 m/s lukehastighet]	4	Tekstilkanal ø400	5,0	2	7,7	3509
Undervisningslab. Konsept 1						
Tilluft – 100 % [0,36 m/s lukehastighet]	1	Tekstilkanal ø400	6,0	4	7,2	3243
Tilluft – 100 % [0,50 m/s lukehastighet]	2	Tekstilkanal ø500	6,0	4	6,4	4505

Figur 26 viser modellert ventilasjonsteknisk løsning for forskningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanaler.



Figur 26 Modellert ventilasjonsteknisk løsning for forskningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanaler

Figur 27 viser modellert ventilasjonsteknisk løsning for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanaler.



Figur 27 Modellert ventilasjonsteknisk løsning for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanaler

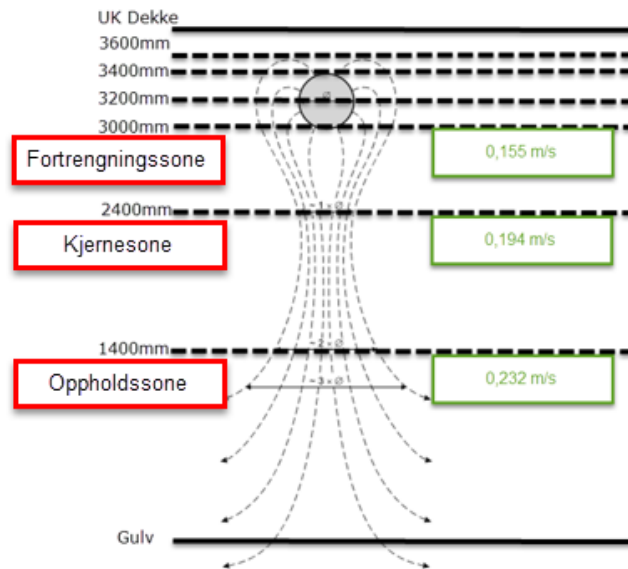
Tabell 48 viser teoretisk beregnet hastighetsprofil for tekstilkanaler i forsknings -og undervisningslaboratoriet ved de ulike alternativene i konsept 1. Leverandør av tekstilkanalene opplyser at teoretisk hastighetsprofil gjelder for underkjølt tilluft, men det er ikke opplyst hvor underkjølt tilluften er.

Tabell 48 Beregnet hastighetsprofil for tekstilkanalene ved de ulike alternativene i konsept 1

Område:	Alt.	Utløpshastighet [m/s]	Fortrengningssone [m/s]	Kjernesone [m/s]	Oppholdssone [m/s]
Forskningslab					
Tilluft – 100 % [0,36 m/s lukehastighet]	1	0,114	0,114	0,142	0,171
Tilluft – 72 % [0,50 m/s lukehastighet]	3	0,117	0,117	0,146	0,175
Tilluft – 100 % [0,50 m/s lukehastighet]	4	0,155	0,155	0,194	0,232
Undervisningslab					
Tilluft – 100 % [0,36 m/s lukehastighet]	1	0,119	0,119	0,149	0,178
Tilluft – 100 % [0,50 m/s lukehastighet]	2	0,133	0,133	0,166	0,199

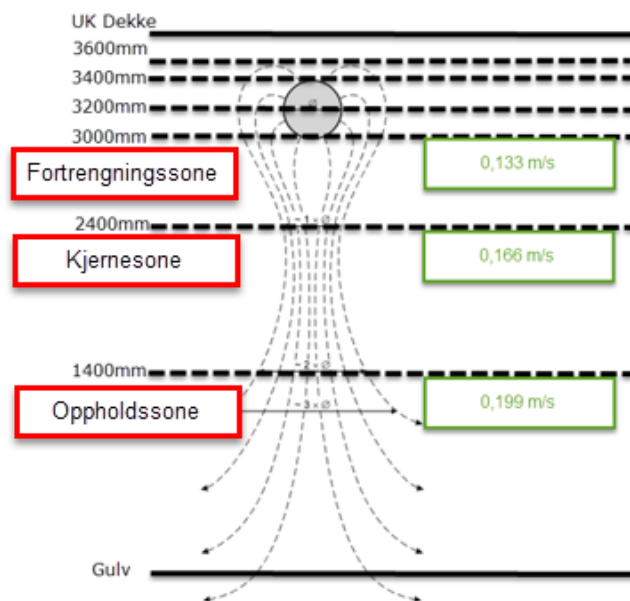
*Teoretiske lufthastigheter fra graf i produktets datablad. Se vedlegg 3.

Figur 28 viser teoretisk beregnet hastighetsprofil for ulike soner i forskningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanaler ved alternativ 4, med en lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s og samtidighet på 100 %.



Figur 28 Teoretisk beregnet hastighetsprofil for ulike soner i forskningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanaler ved alternativ 3

Figur 29 viser teoretisk beregnet hastighetsprofil for ulike soner i undervisningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanaler ved alternativ 2, med en lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s og samtidighet på 100 %.



Figur 29 Teoretisk beregnet hastighetsprofil for ulike soner i undervisningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanaler ved alternativ 2

9.3.2 Konsept 2

Tabell 49 viser forslag til størrelse med dysekanaler for forsknings- og undervisningslaboratoriet i konsept 2.

Tabell 49 Forslag til størrelse på dysekanaler i forsknings -og undervisningslaboratoriet i konsept 2

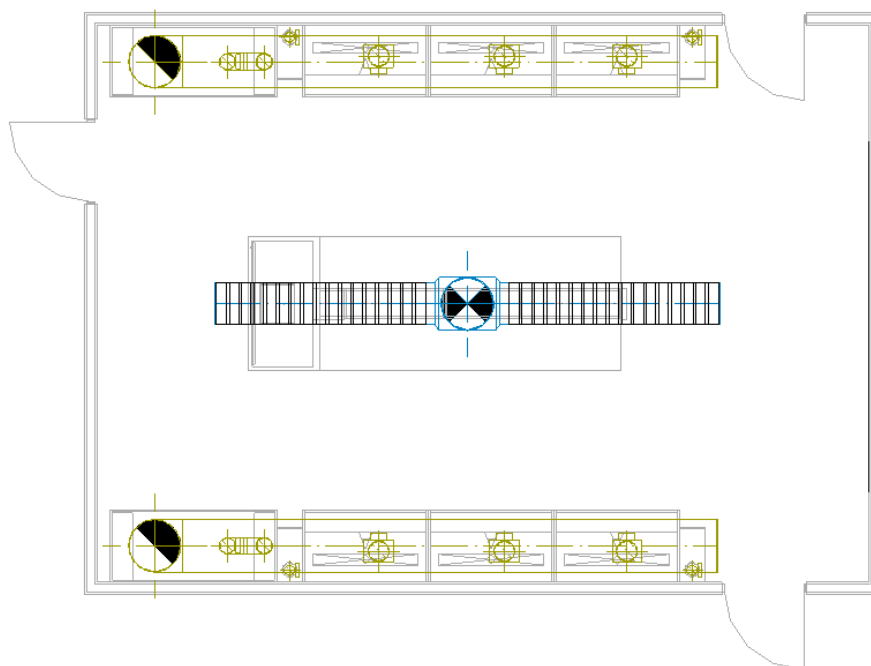
Type	Tillufts-enhet	Antall kanaler [stk]	Luftmengde [m ³ /h/kanal]	Luftmengde per utløp [m ³ /h]	Areal utløp [m ²]	Utløps-hastighet [m ²]
Forskningslab. Konsept 2						
Tilluft	DKW	2	4409	275,6 ¹	0,0090 ²	8,50
Undervisningslab. Konsept 2						
Tilluft	DKW	2	4034	252,1 ¹	0,0090 ²	7,78
Tilluft	DKW	4	2017	126,1 ¹	0,0045 ³	7,78

¹ Hver kanal har 16 utløp

² 360 ° spredningsmønster

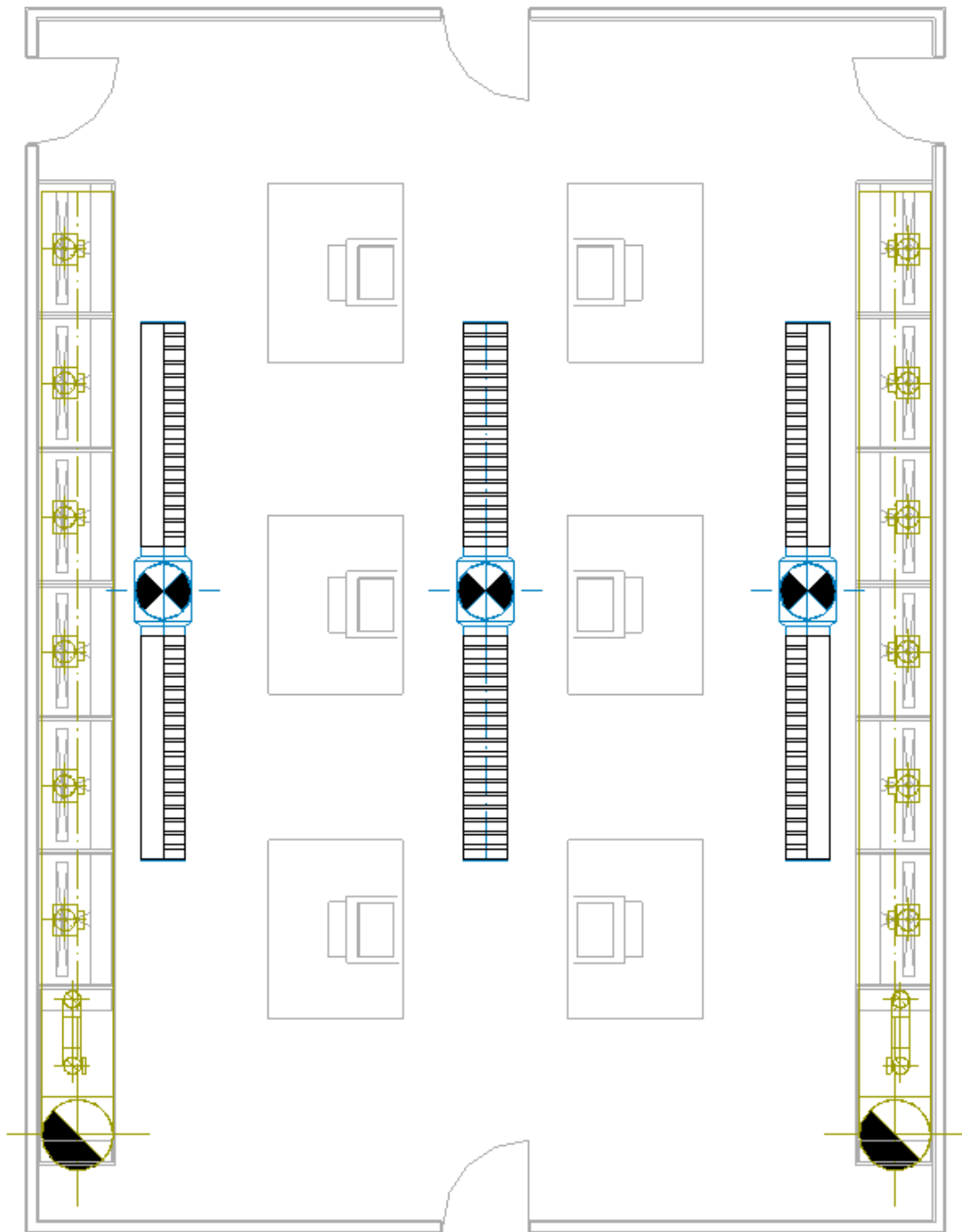
³ 180 ° spredningsmønster

Figur 30 viser modellert ventilasjonsteknisk løsning for forskningslaboratoriet i konsept 2 med dysekanal.



Figur 30 Modellert ventilasjonsteknisk løsning for forskningslaboratoriet i konsept 2 med dysekanal

Figur 31 viser modellert ventilasjonsteknisk løsning for undervisningslaboratoriet i konsept 2 med dysekanaler.



Figur 31 Modellert ventilasjonsteknisk løsning for undervisningslaboratoriet i konsept 2 med dysekanaler

Se vedlegg 1 for bilder av laboratoriene ved DTU.

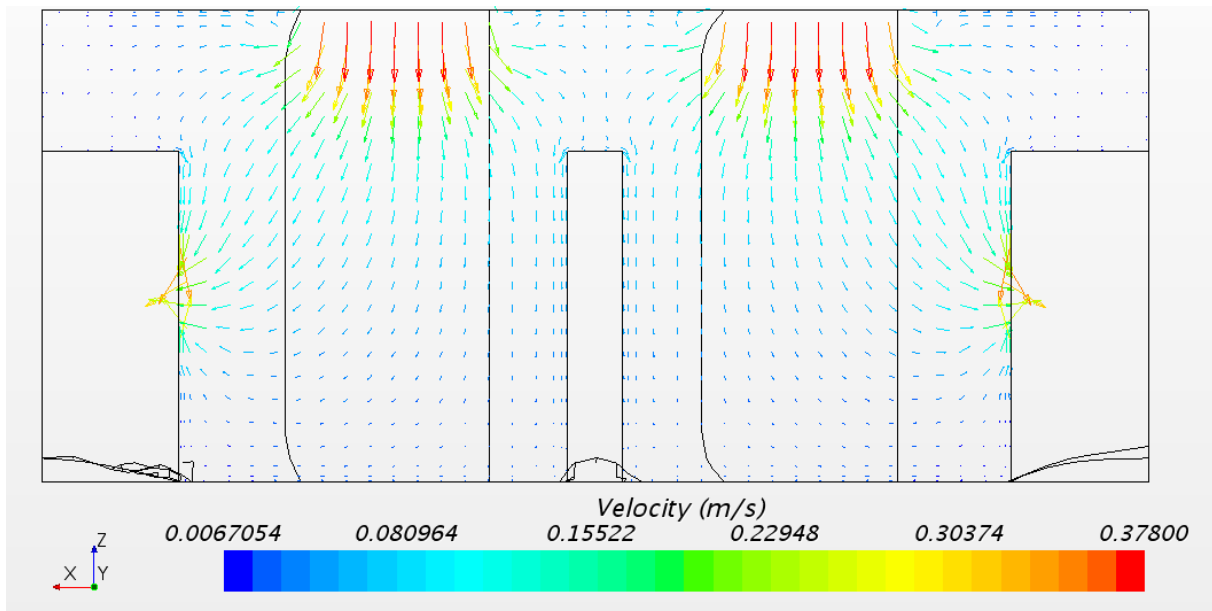
9.4 CFD – simulering

I dette kapittelet vises resultatet av alle CFD-simuleringene for begge konsepter. Det er valgt å illustrere hastighetsprofilen i de ulike romløsningene med vektorscener som viser hastighetene i snitt.

9.4.1 Konsept 1

Tilluft type 1 – Forskningslaboratoriet

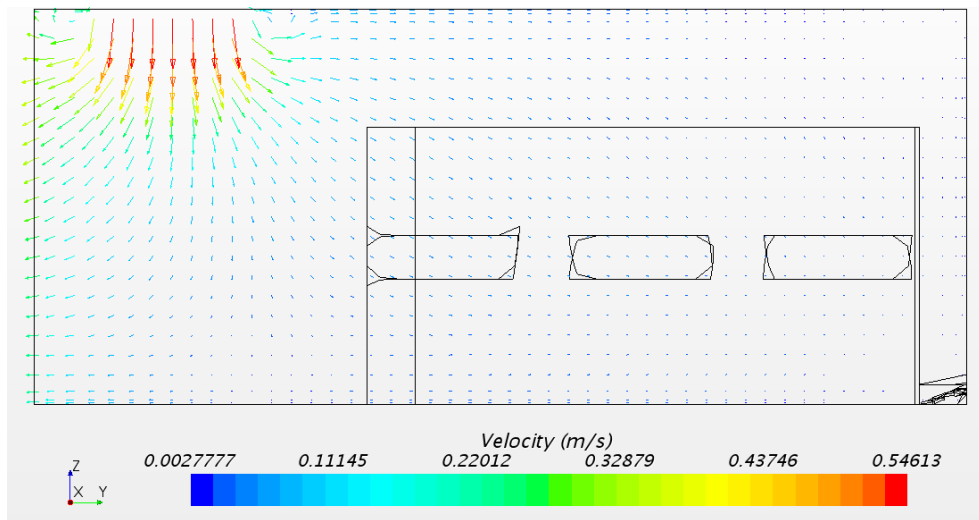
Figur 32 viser hastighetsprofil med DRI 315 tilluftsventil for forskningslaboratoriet konsept 1, med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 1).



Figur 32 Hastighetsprofil med DRI 315 tilluftsventil for forskningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 1)

De grønne vektorlinjene tilsvarer lufthastigheter $\geq 0,20$ m/s, og grønnfargen blir lysere jo høyere lufthastigheten blir. De blå vektorlinjene tilsvarer lufthastigheter $\leq 0,20$ m/s, og blir mørkere jo lavere lufthastigheten blir.

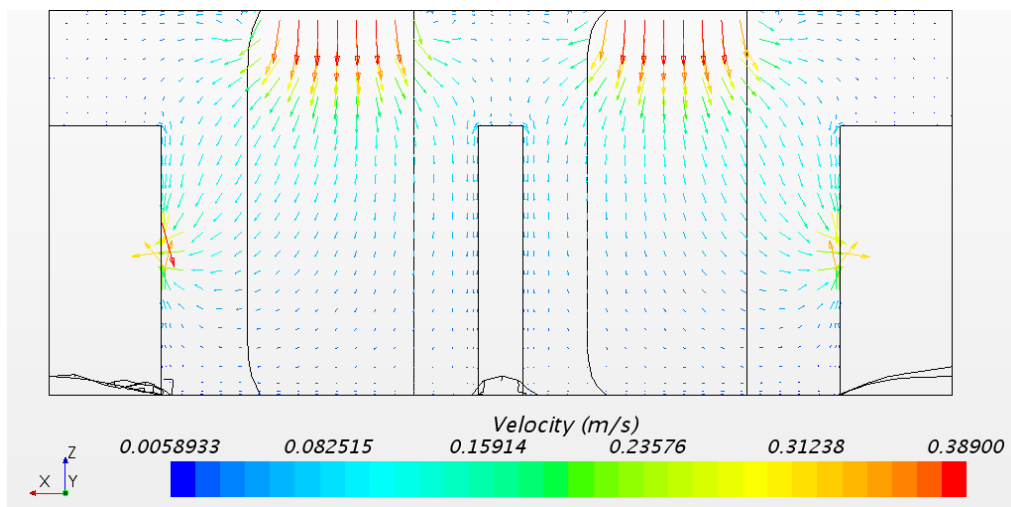
Figur 33 viser hastighetsprofil med DRI 315 tilluftsventil for forskningslaboratoriet konsept 1, med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 68 % samtidighet (alternativ 2).



Figur 33 Hastighetsprofil med DRI 315 tilluftsventil for forskningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 68 % samtidighet (alternativ 2)

De grønne vektorlinjene tilsvarer lufthastigheter $\geq 0,25$ m/s, og grønnfargen blir lysere jo høyere lufthastigheten blir. De blå vektorlinjene tilsvarer lufthastigheter $\leq 0,25$ m/s, og blir mørkere jo lavere lufthastigheten blir.

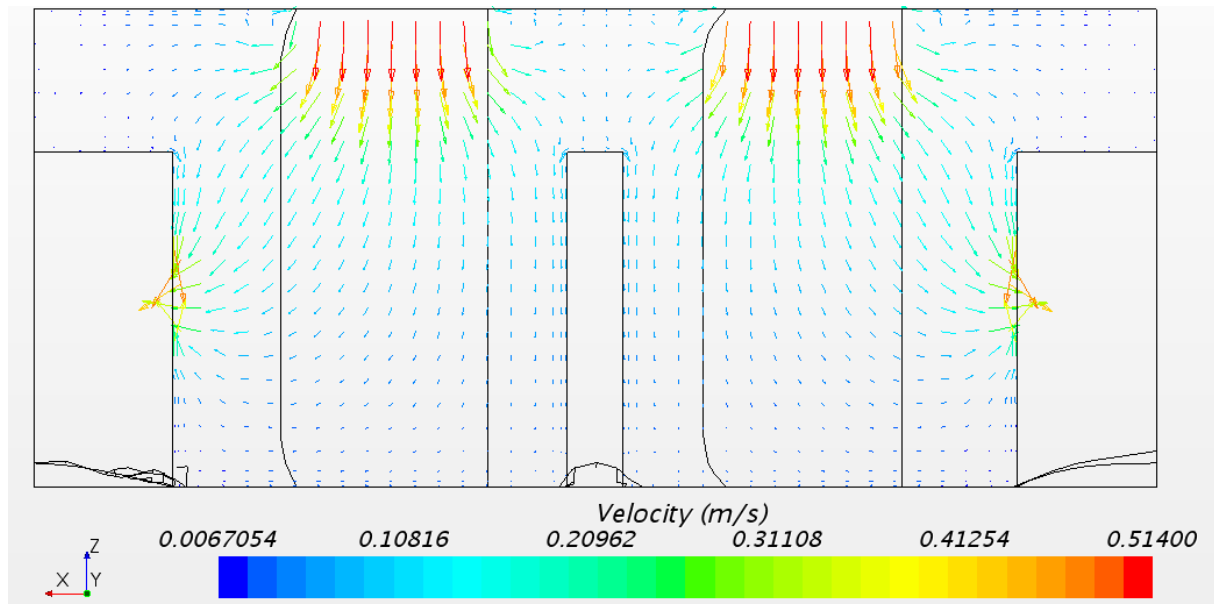
Figur 34 viser hastighetsprofil med DRI 315 tilluftsventil for forskningslaboratoriet konsept 1, med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 72 % samtidighet (alternativ 3).



Figur 34 Hastighetsprofil med DRI 315 tilluftsventil for forskningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 72 % samtidighet (alternativ 3)

De grønne vektorlinjene tilsvarer lufthastigheter $\geq 0,20$ m/s, og grønnfargen blir lysere jo høyere lufthastigheten blir. De blå vektorlinjene tilsvarer lufthastigheter $\leq 0,20$ m/s, og blir mørkere jo lavere lufthastigheten blir.

Figur 35 viser hastighetsprofil med DRI 315 tilluftsventil for forskningslaboratoriet konsept 1, med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 4).

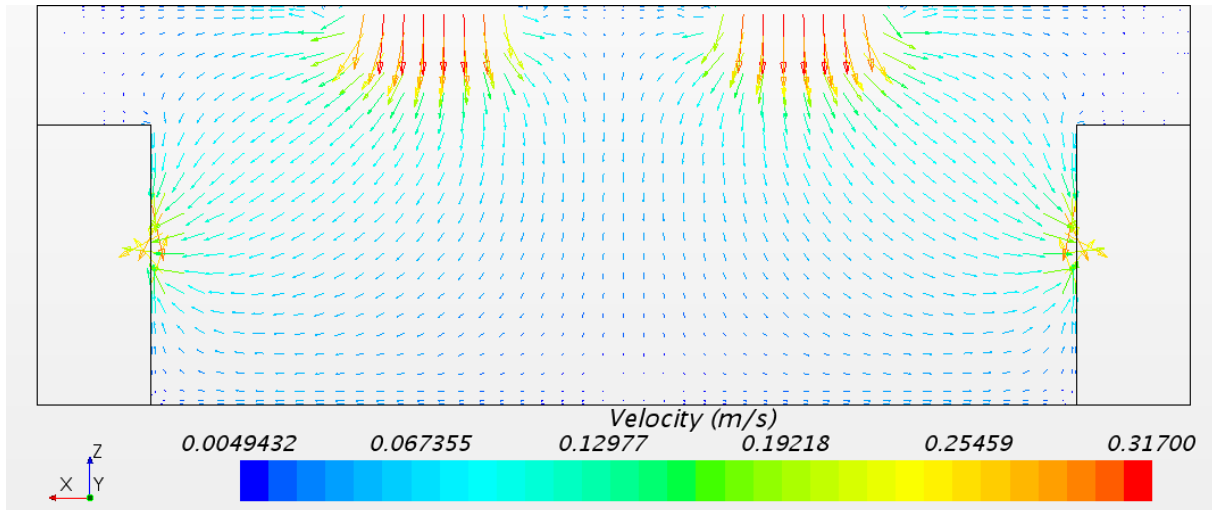


Figur 35 Hastighetsprofil med DRI 315 tilluftsventil for forskningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 4)

De grønne vektorlinjene tilsvarer lufthastigheter $\geq 0,25$ m/s, og grønnfargen blir lysere jo høyere lufthastigheten blir. De blå vektorlinjene tilsvarer lufthastigheter $\leq 0,25$ m/s, og blir mørkere jo lavere lufthastigheten blir.

Tilluft type 1 - Undervisningslaboratoriet

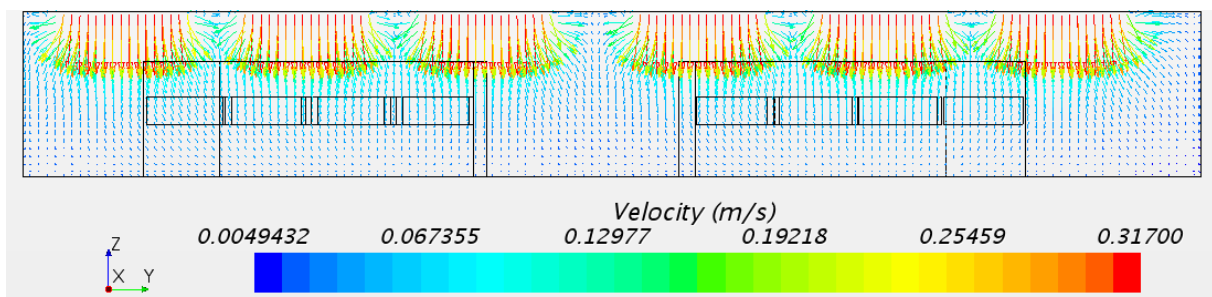
Figur 36 viser hastighetsprofil langs x-aksen med DRI 315 tilluftsventil for undervisningslaboratoriet konsept 1, med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 1).



Figur 36 Hastighetsprofil langs x-aksen med DRI 315 tilluftsventil for undervisningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 1)

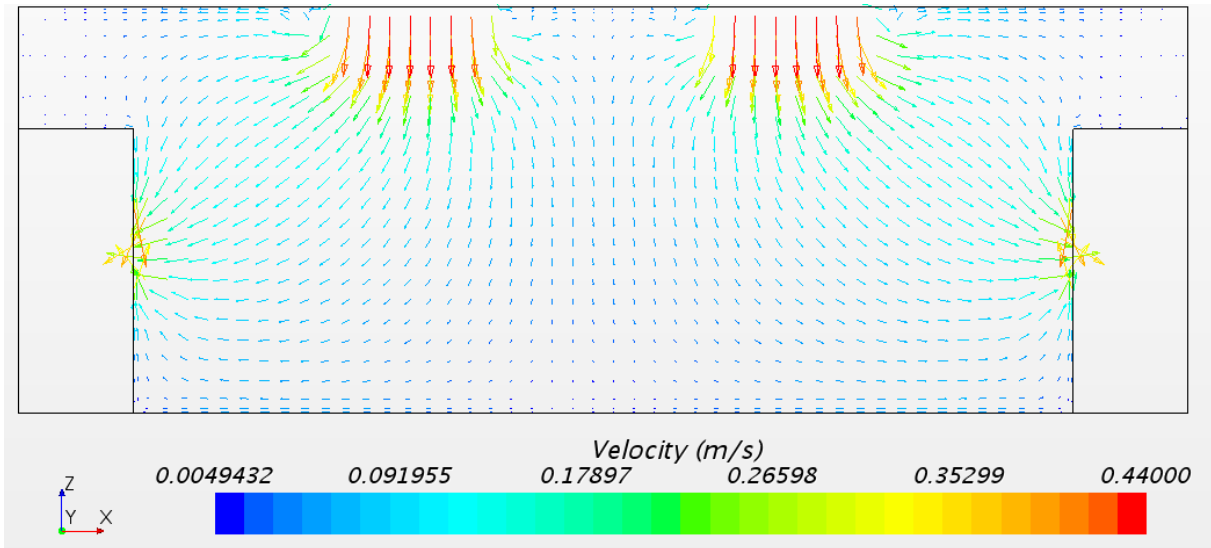
De grønne vektorlinjene tilsvarer lufthastigheter $\geq 0,15$ m/s, og grønnfargen blir lysere jo høyere lufthastigheten blir. De blå vektorlinjene tilsvarer lufthastigheter $\leq 0,15$ m/s, og blir mørkere jo lavere lufthastigheten blir.

Figur 37 viser hastighetsprofil langs y-aksen med DRI 315 tilluftsventil for undervisningslaboratoriet konsept 1, med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 1).



Figur 37 Hastighetsprofil langs y-aksen med DRI 315 tilluftsventil for undervisningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 1)

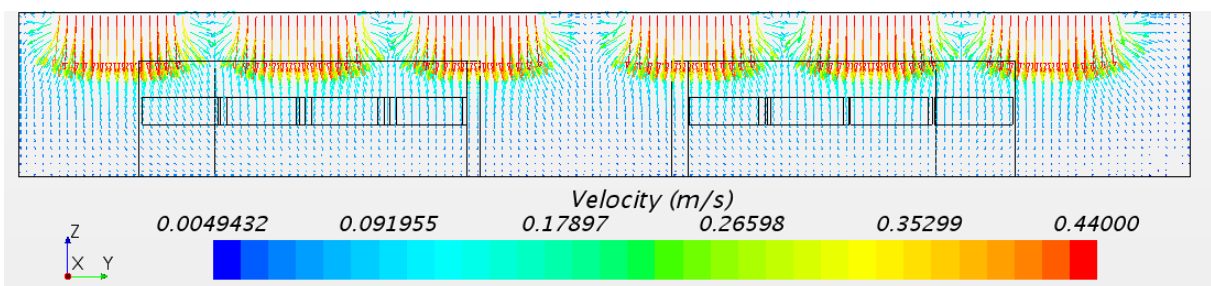
Figur 38 viser hastighetsprofil langs x-aksen med DRI 315 tilluftsventil for undervisningslaboratoriet konsept 1, med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 2).



Figur 38 Hastighetsprofil langs x-aksen med DRI 315 tilluftsventil for undervisningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 2)

De grønne vektorlinjene tilsvarer lufthastigheter $\geq 0,25$ m/s, og grønnfargen blir lysere jo høyere lufthastigheten blir. De blå vektorlinjene tilsvarer lufthastigheter $\leq 0,25$ m/s, og blir mørkere jo lavere lufthastigheten blir.

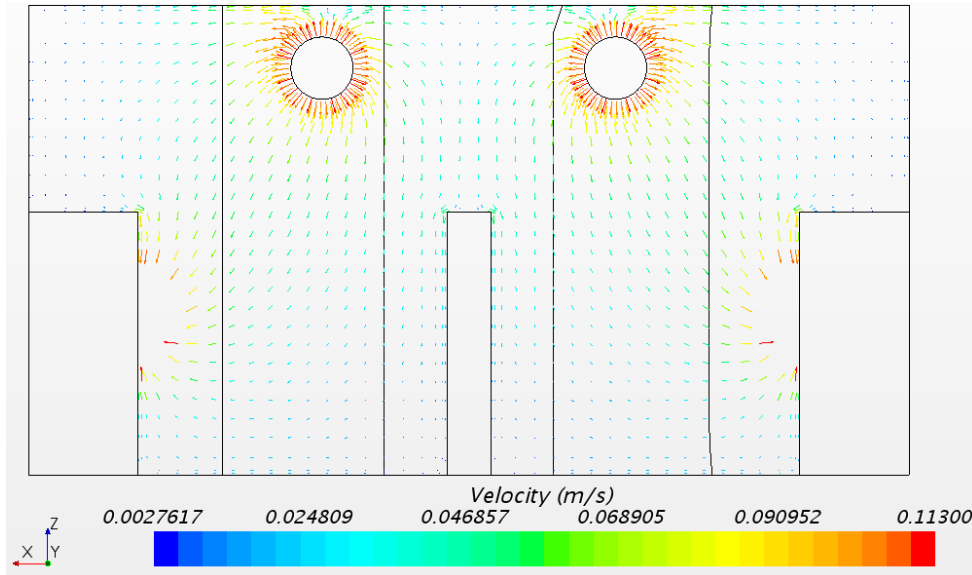
Figur 39 viser hastighetsprofil langs y-aksen med DRI 315 tilluftsventil for undervisningslaboratoriet konsept 1, med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 2).



Figur 39 Hastighetsprofil langs y-aksen med DRI 315 tilluftsventil for undervisningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 2)

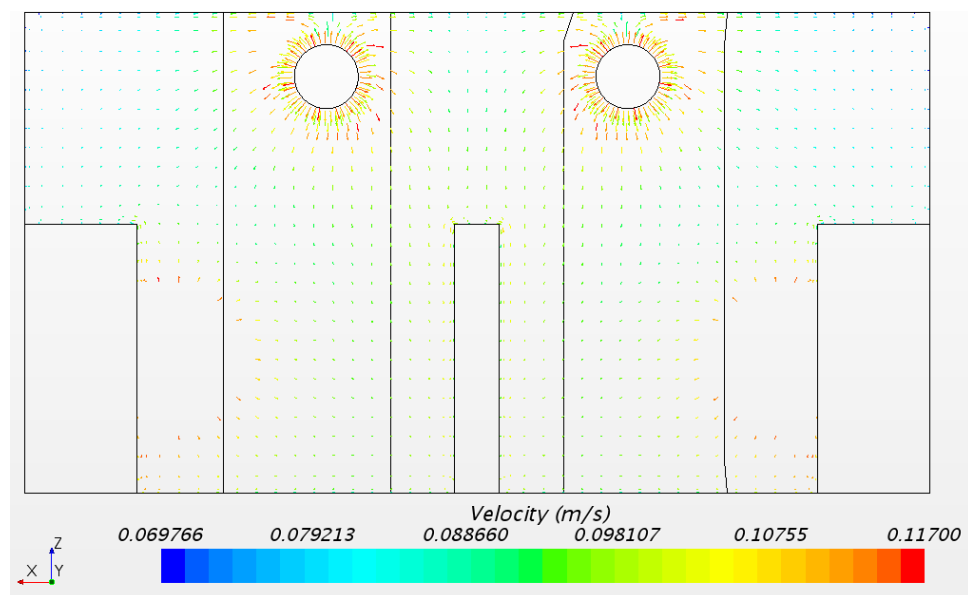
Tilluft type 2 - Forskningslaboratoriet

Figur 40 viser hastighetsprofil med perforert tekstilkanal for forskningslaboratoriet konsept 1, med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 1).



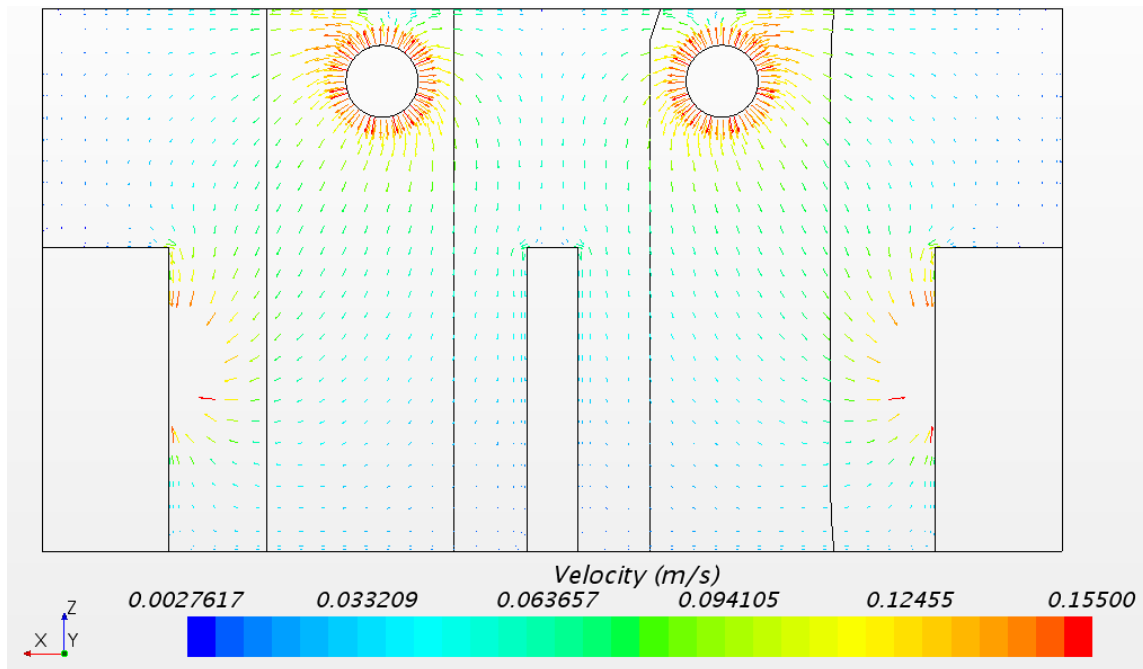
Figur 40 Hastighetsprofil med perforert tekstilkanal for forskningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 1)

Figur 41 viser hastighetsprofil med perforert tekstilkanal for forskningslaboratoriet konsept 1, med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 72 % samtidighet (alternativ 3).



Figur 41 Hastighetsprofil med perforert tekstilkanal for forskningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 72 % samtidighet (alternativ 3)

Figur 42 viser hastighetsprofil med perforert tekstilkanal for forskningslaboratoriet konsept 1, med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 4).

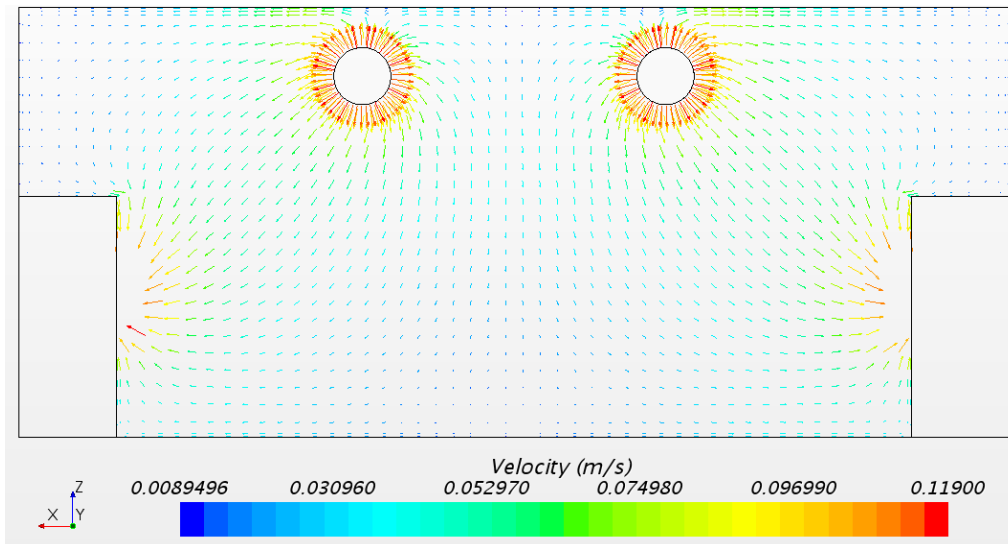


Figur 42 Hastighetsprofil med perforert tekstilkanal for forskningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 4)

For alle simuleringene med tekstilkanaler er lufthastigheten høyest ved tekstilkanalenes utløp, og avtar gradvis ned mot oppholdssonen.

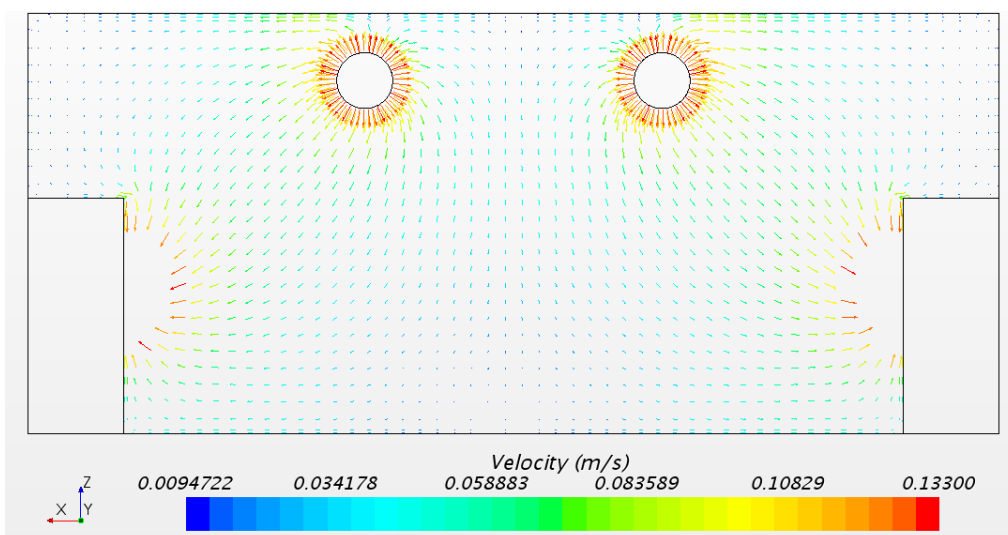
Tilluft type 2 – Undervisningslaboratoriet

Figur 43 viser hastighetsprofil med perforert tekstilkanal for undervisningslaboratoriet konsept 1, med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 1).



Figur 43 Hastighetsprofil med perforert tekstilkanal for undervisningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 1)

Figur 44 viser hastighetsprofil med perforert tekstilkanal for undervisningslaboratoriet konsept 1, med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 2).



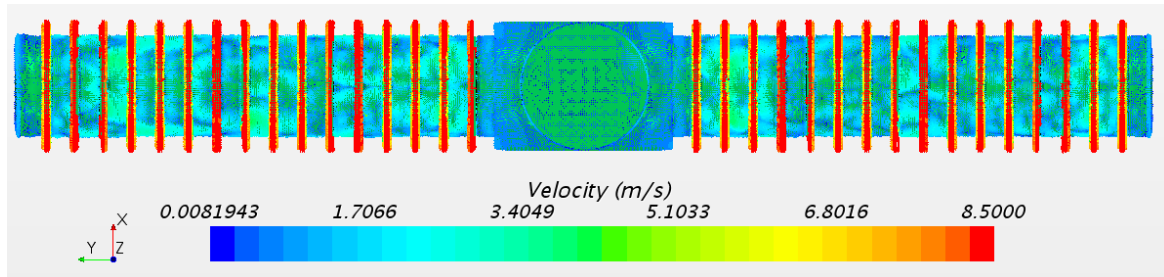
Figur 44 Hastighetsprofil med perforert tekstilkanal for undervisningslaboratoriet konsept 1 med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s ved 100 % samtidighet (alternativ 2)

For alle simuleringene med tekstilkanaler er lufthastigheten høyest ved tekstilkanalenes utløp, og avtar gradvis ned mot oppholdssonen.

9.4.2 Konsept 2

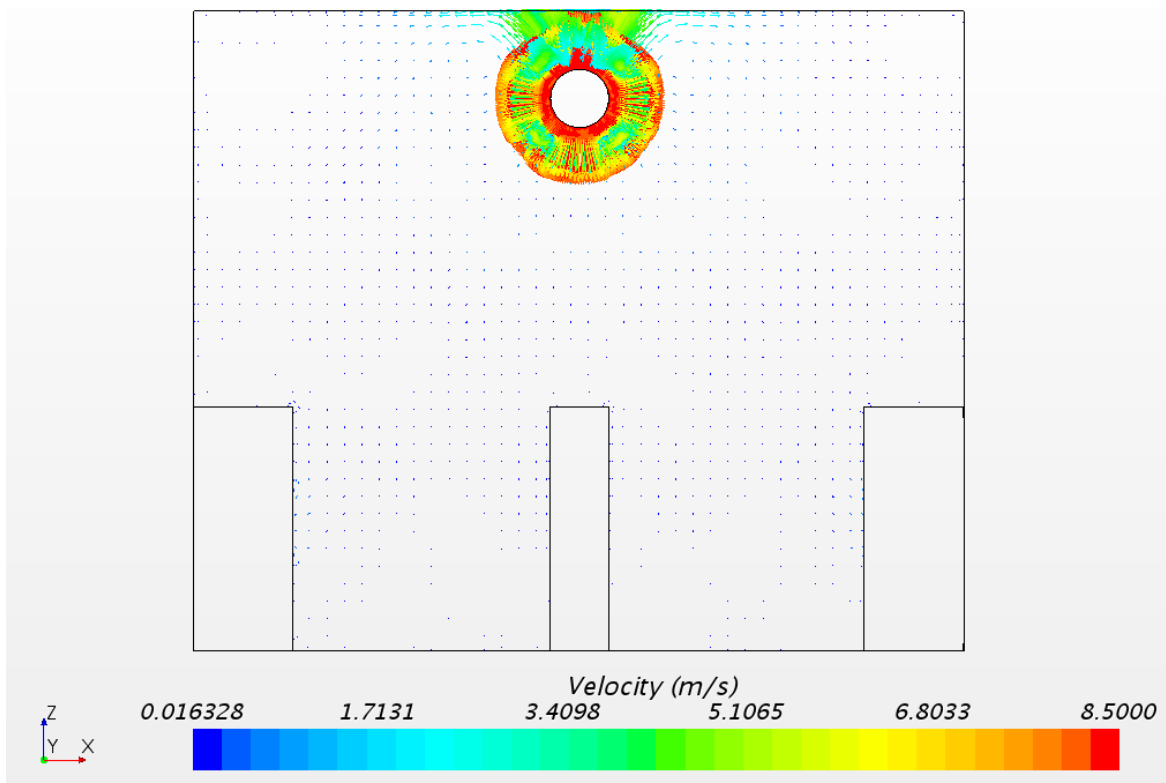
Forskningslaboratoriet.

Figur 45 viser hastighetsprofilen ved kanalflaten med perforert dysekanal, med 360 ° spredningsmønster for forskningslaboratoriet i konsept 2.



Figur 45 Strømningsprofil ved kanalflaten med perforert dysekanal med 360 ° spredningsmønster for forskningslaboratoriet i konsept 2

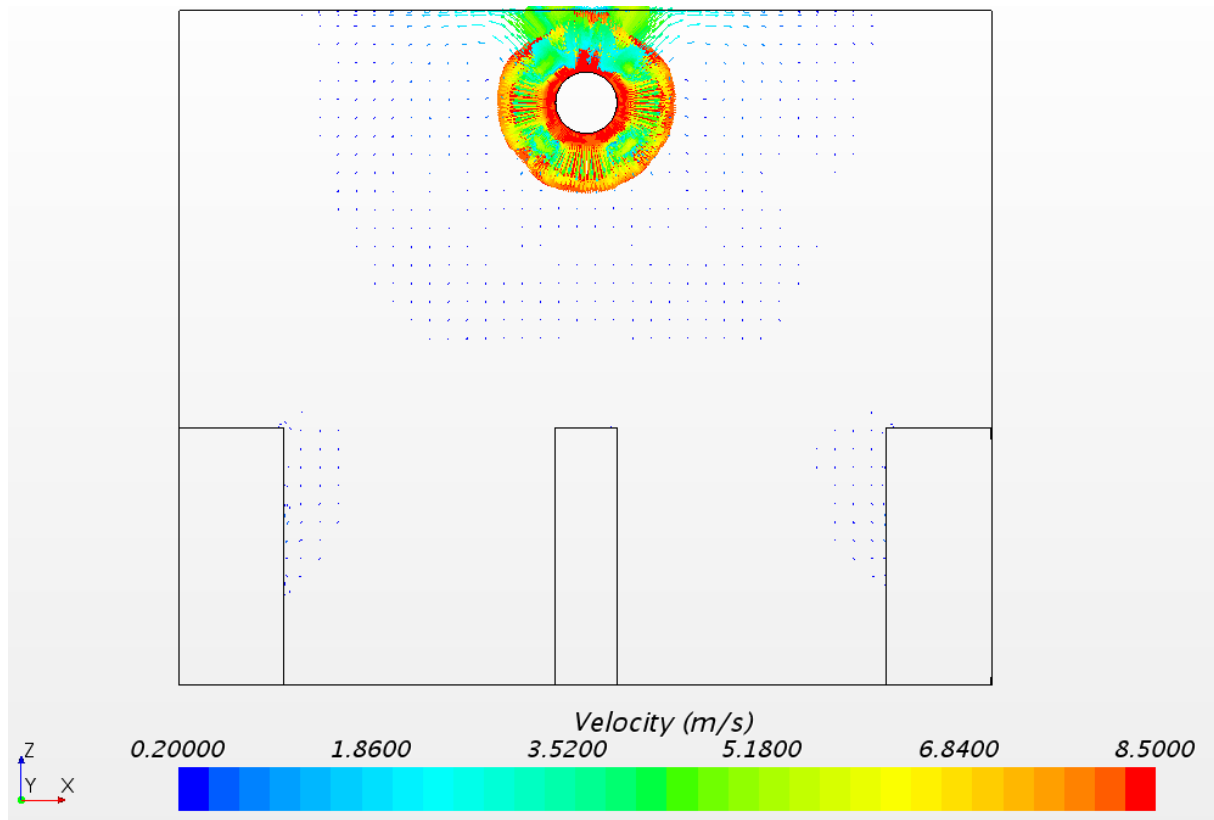
Figur 46 viser hastighetsprofil med perforert dysekanal for forskningslaboratoriet konsept 2. Snittet er tatt i et vilkårlig dyseutløp. Utløpshastigheten ut av hvert dyseutløp er likt.



Figur 46 Hastighetsprofil med perforert dysekanal for forskningslaboratoriet konsept 2

Lufthastigheten er $\leq 1,7$ m/s i en avstand på ca. 50 cm fra dysekanalen, og avtar gradvis ned mot oppholdssonen.

Figur 47 viser hastighetsprofil med perforert dysekanal for forskningslaboratoriet konsept 2, som illustrerer hvor lufthastigheten ligger over 0,20 m/s.

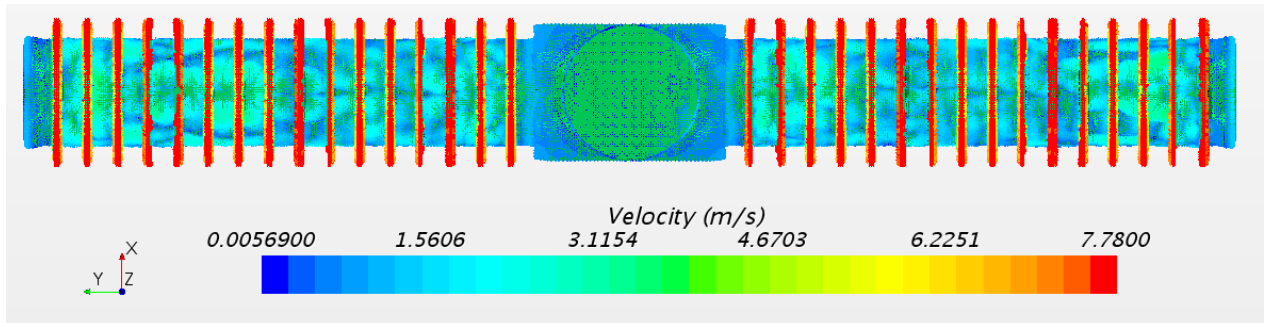


Figur 47 Hastighetsprofil med perforert dysekanal for forskningslaboratoriet konsept 2, som illustrerer hvor lufthastigheten ligger på 0,20 m/s.

De blå vektorlinjene har en lufthastighet $\geq 0,20$ m/s. Der hvor det ikke er noen vektorlinjer, er lufthastigheten $< 0,20$ m/s.

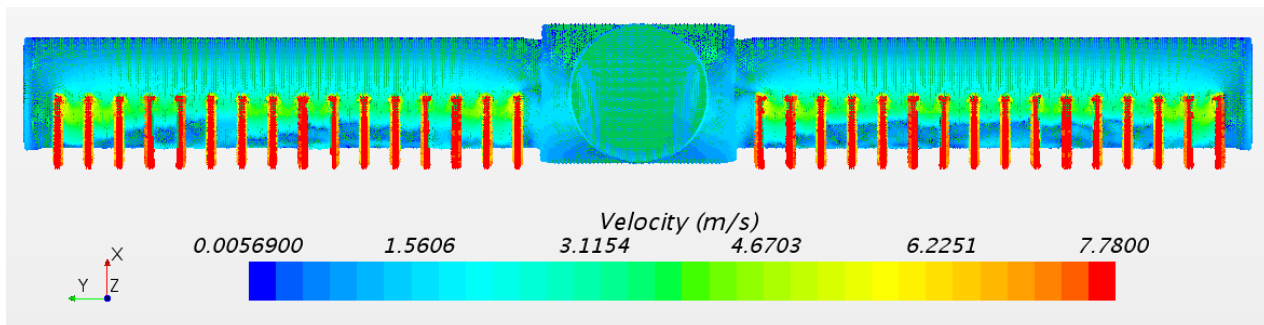
Undervisningslaboratoriet.

Figur 48 viser hastighetsprofilen ved kanalflaten med perforert dysekanal med 360° spredningsmønster for undervisningslaboratoriet i konsept 2.



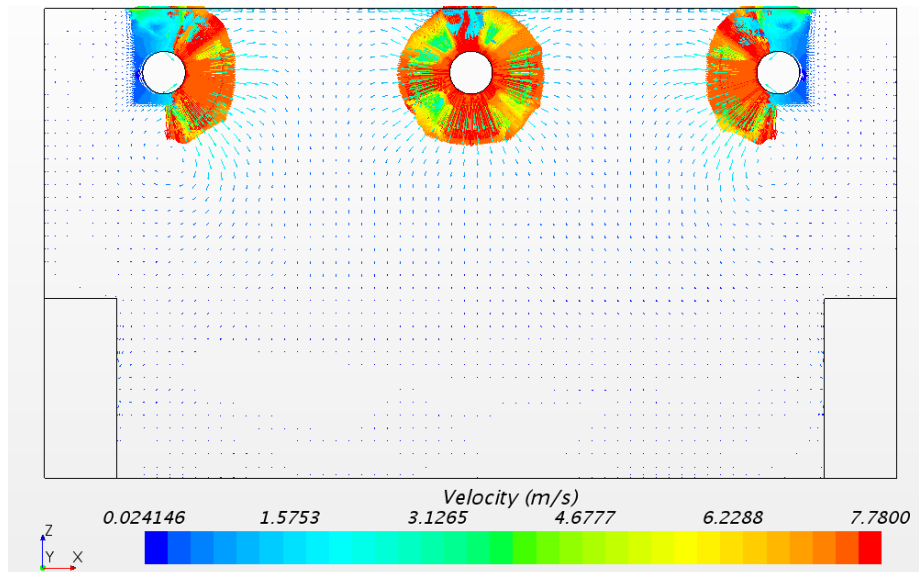
Figur 48 Hastighetsprofil ved kanalflaten med perforert dysekanal med 360° spredningsmønster for undervisningslaboratoriet i konsept 2

Figur 49 viser hastighetsprofil ved kanalflaten med perforert dysekanal med 180° spredningsmønster for undervisningslaboratoriet i konsept 2.



Figur 49 Hastighetsprofil ved kanalflaten med perforert dysekanal med 180° spredningsmønster for undervisningslaboratoriet i konsept 2

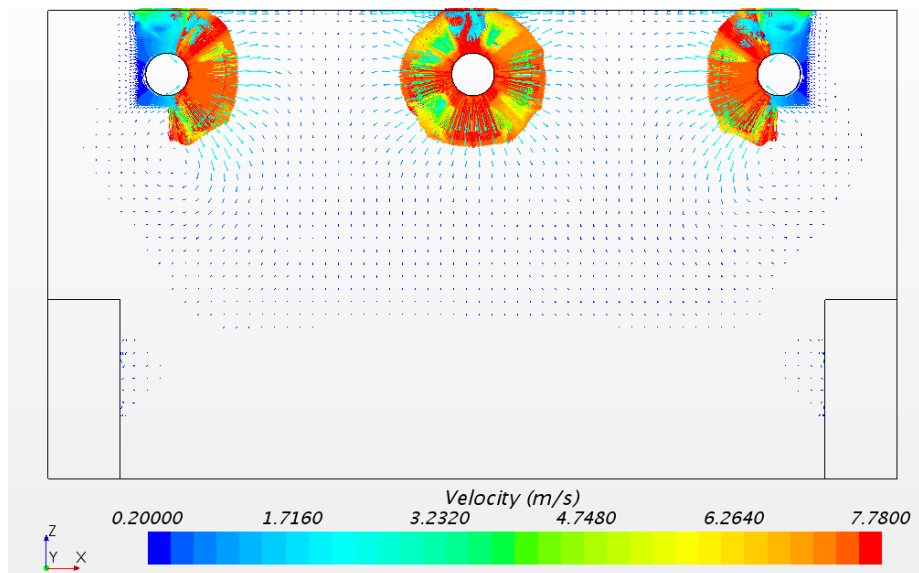
Figur 50 viser hastighetsprofil med perforert dysekanal for undervisningslaboratoriet konsept 2. Snittet er tatt i et vilkårlig dyseutløp. Utløpshastigheten ut av hvert dyseutløp er likt.



Figur 50 Hastighetsprofil med perforert dysekanal for forskningslaboratoriet konsept 2

Lufthastigheten er $\leq 2,5$ m/s i en avstand på ca. 50 cm fra dysekanalen, og avtar gradvis ned mot oppholdssonen.

Figur 51 viser hastighetsprofil med perforert dysekanal for undervisningslaboratoriet konsept 2, som illustrerer hvor lufthastigheten ligger på 0,20 m/s.



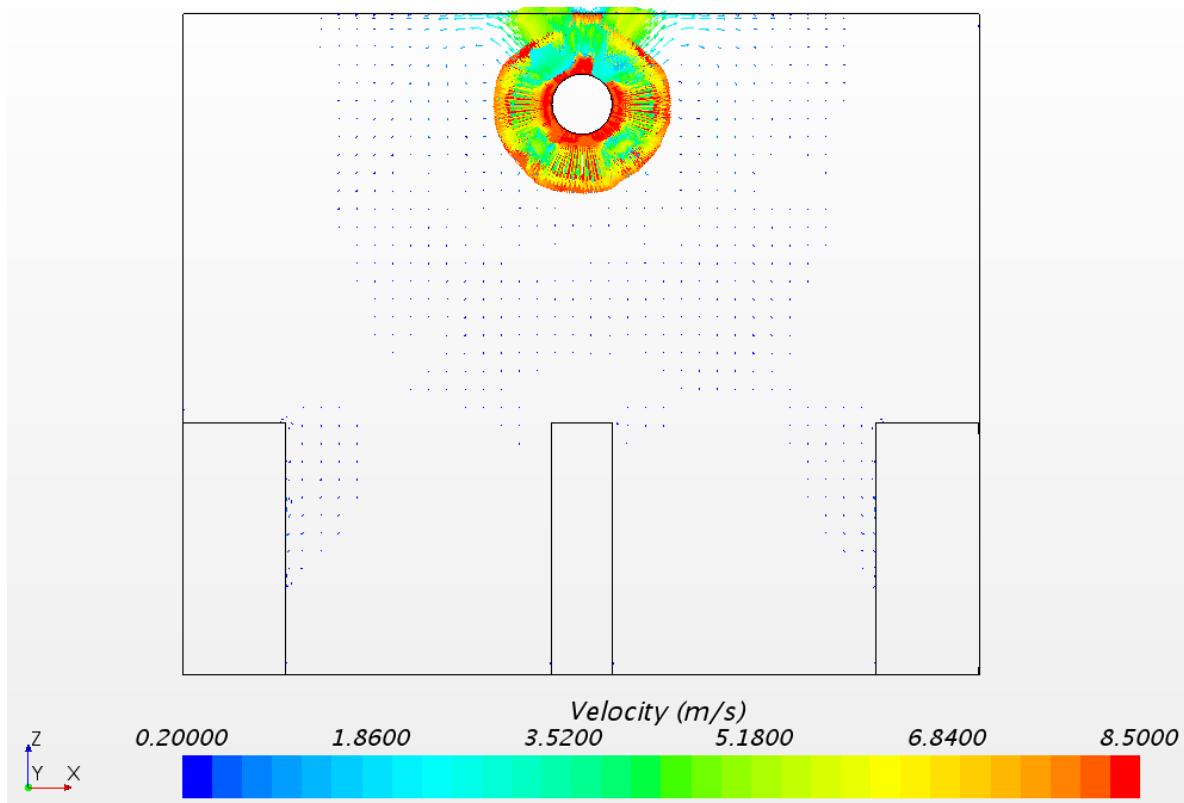
Figur 51 Hastighetsprofil med perforert dysekanal for undervisningslaboratoriet konsept 2, som illustrerer hvor lufthastigheten ligger på 0,20 m/s.

De blå vektorlinjene har en lufthastighet $\geq 0,20$ m/s. Der hvor det ikke er noen vektorlinjer, er lufthastigheten $< 0,20$ m/s.

9.4.3 Hastighetsprofil med underkjølt tilluft

I dette kapitlet vises resultatet av CFD-simulering med underkjølt tilluftstemperatur og $\Delta T = 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ for forsknings- og undervisningslaboratoriet ved konsept 2.

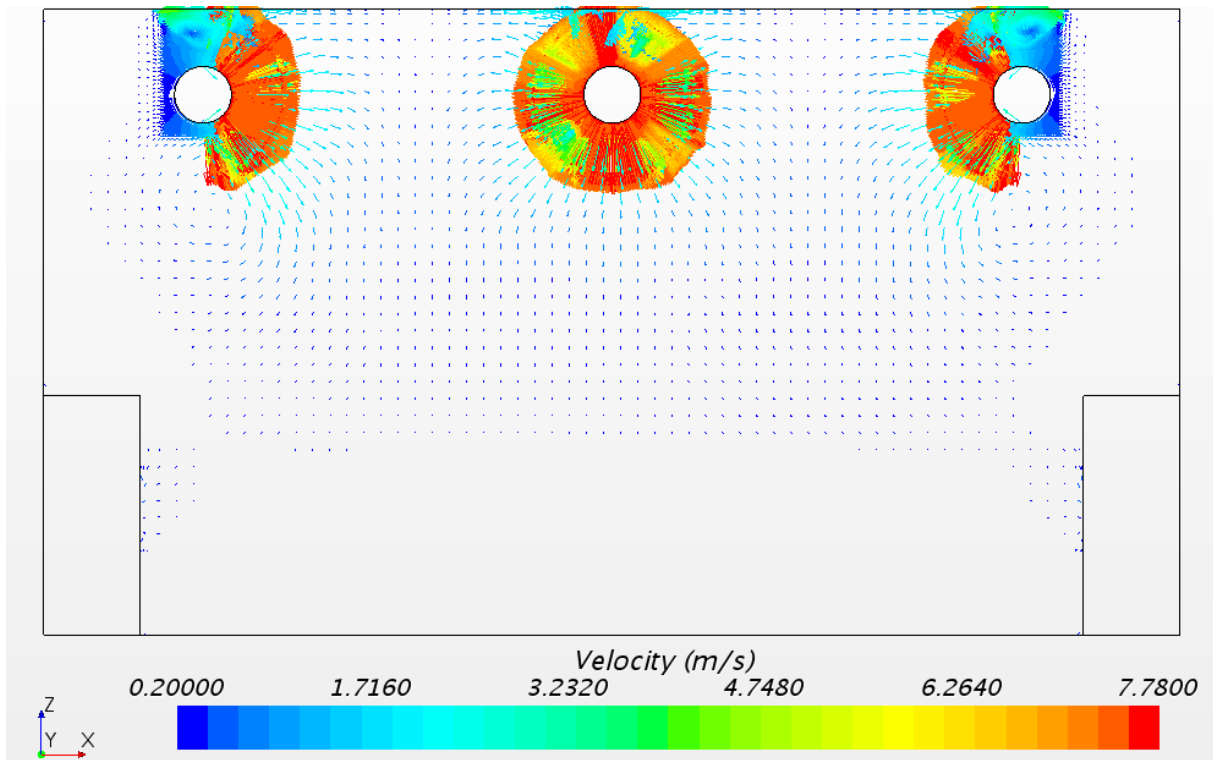
Figur 52 viser hastighetsprofil med perforert dysekanal for forskningslaboratoriet konsept 2 med $\Delta T = 3\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figur 52 Hastighetsprofil med perforert dysekanal for forskningslaboratoriet konsept 2 med $\Delta T = 3\text{ }^{\circ}\text{C}$

De blå vektorlinjene har en lufthastighet $\geq 0,20\text{ m/s}$. Der hvor det ikke er noen vektorlinjer, er lufthastigheten $< 0,20\text{ m/s}$.

Figur 53 viser hastighetsprofil med perforert dysekanal for undervisningslaboratoriet konsept 2 med $\Delta T = 3 \text{ }^\circ\text{C}$.



Figur 53 Hastighetsprofil med perforert dysekanal for undervisningslaboratoriet konsept 2 med $\Delta T = 3 \text{ }^\circ\text{C}$

De blå vektorlinjene har en lufthastighet $\geq 0,20 \text{ m/s}$. Der hvor det ikke er noen vektorlinjer, er lufthastigheten $< 0,20 \text{ m/s}$.

9.5 Ventilasjonstekniske løsninger for videre analyse.

For videre analyse av ulike ventilasjonstekniske løsninger, er det valgt gå å videre med følgende ventilasjonstekniske løsninger for konsept 1 og konsept 2. Konsept 1 er forsknings- og undervisningslaboratoriet for Nytt Livsvitenskapsbygg. Konsept 2 er forsknings- og undervisningslaboratoriet for DTU. Tabell 50 gir en oversikt over de valgte ventilasjonstekniske løsningene som skal analyseres videre i forhold til romregulering og kostnader.

Tabell 50 Oversikt over valgte ventilasjonstekniske løsninger for videre analyse

Ventilasjonsteknisk løsning	Lufthastighet gjennom lukeåpning [v _L]	Samtidighet [%]	Tilluftsenhet
Forskningslab. Konsept 1 (Nytt Livsvitenskapsbygg)			
Løsning 1	0,36	68	DRI tilluftsventil
Løsning 2	0,50	72	DRI tilluftsventil
Løsning 3	0,50	100	Tekstilkanal
Forskningslab. Konsept 2 (DTU)			
Løsning 1	0,50	100	Dysekanal
Undervisningslab. Konsept 1 (Nytt Livsvitenskapsbygg)			
Løsning 1	0,36	100	DRI tilluftsventil
Løsning 2	0,50	100	Tekstilkanal
Undervisningslab. Konsept 2 (DTU)			
Løsning 1	0,50	100	Dysekanal

Se vedlegg 10 for 3D-view av de ulike ventilasjonstekniske løsningene.

9.6 Romregulering

Det er valgt å benytte måleprinsippet som reguleringsprinsipp for forskningslaboratoriet i begge konsepter. For undervisningslaboratoriet er summasjonsprinsippet valgt som reguleringsprinsipp for begge konsepter.

Tabell 51 gir oversikt over reguleringsspjeld for forskningslaboratoriet i konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 1.

Tabell 51 Oversikt over reguleringsspjeld for forskningslaboratoriet i konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 1

Romregulering	Antall	Type	Info	Luftmengder [m ³ /h]	
				V _{min}	V _{maks}
Avtrekksskap					
Avtrekksskap bredde 1200mm	6	VAV enhet (ø250)	VAV/skapregulator v _L = 0,36 m/s	146	732
Konstant avtrekksluft					
Avtrekksskap Bredde 1500mm	2	CAV enhet (ø200)	AV/PÅ motorspjeld v _L = 0,36 m/s	185	185
Kjemikalieskap	4	CAV enhet (ø125)	AV/PÅ motorspjeld	100	100
Sonespjeld avtrekk					
Avtrekk 1	1	VAV enhet (ø315)	VAV/måleenhet	638	2396
Avtrekk 2	1	VAV enhet (ø315)	VAV/måleenhet	1008	2766
Rommets tilluft					
Tilluft 1	1	VAV enhet (ø400)	VAV/mengderegulator	1646	3750

Tabell 52 gir oversikt over reguleringspjeld for forskningslaboratoriet i konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 2.

Tabell 52 Oversikt over reguleringspjeld for forskningslaboratoriet i konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 2

Romregulering	Antall	Type	Info	Luftmengder	
				V_{\min}	V_{\max}
				V_{\min}	V_{\max}
Avtrekksskap					
Avtrekksskap bredde 1200mm	6	VAV enhet (ø250)	VAV/skapregulator $v_L = 0,50$ m/s	203	1017
Konstant avtrekksluft					
Avtrekksskap Bredde 1500mm	2	CAV enhet (ø200)	AV/PÅ motorspjeld $v_L = 0,50$ m/s	258	258
Kjemikalieskap	4	CAV enhet (ø125)	AV/PÅ motorspjeld	100	100
Sonespjeld avtrekk					
Avtrekk 1	1	VAV enhet (ø400)	VAV/måleenhet	809	3251
Avtrekk 2	1	VAV enhet (ø400)	VAV/måleenhet	1325	3767
Rommets tilluft					
Tilluft 1	2	VAV enhet (ø400)	VAV/mengderegulator	1067	2655

Tabell 53 gir oversikt over reguleringspjeld for forskningslaboratoriet i konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 3.

Tabell 53 Oversikt over reguleringspjeld for forskningslaboratoriet i konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 3

Romregulering	Antall	Type	Info	Luftmengder	
				V_{\min}	V_{\max}
				V_{\min}	V_{\max}
Avtrekksskap					
Avtrekksskap bredde 1200mm	6	VAV enhet (ø250)	VAV/skapregulator $v_L = 0,50$ m/s	203	1017
Konstant avtrekksluft					
Avtrekksskap Bredde 1500mm	2	CAV enhet (ø200)	AV/PÅ motorspjeld $v_L = 0,50$ m/s	258	258
Kjemikalieskap	4	CAV enhet (ø125)	AV/PÅ motorspjeld	100	100
Sonespjeld avtrekk					
Avtrekk 1	1	VAV enhet (ø400)	VAV/måleenhet	809	3251
Avtrekk 2	1	VAV enhet (ø400)	VAV/måleenhet	1325	3767
Rommets tilluft					
Tilluft 1	2	VAV enhet (ø400)	VAV/mengderegulator	1067	3509

Tabell 54 gir oversikt over reguleringspjeld for forskningslaboratoriet i konsept 2 med ventilasjonsteknisk løsning 1.

Tabell 54 Oversikt over reguleringspjeld for forskningslaboratoriet i konsept 2 med ventilasjonsteknisk løsning 1

Romregulering	Antall	Type	Info	Luftmengder [m ³ /h]	
				V _{min}	V _{maks}
Avtrekksskap					
Avtrekksskap bredde 1500mm	6	VAV enhet (ø250)	VAV/skapregulator v _L = 0,50 m/s	257	1287
Konstant avtrekksluft					
Avtrekksskap Bredde 2000mm	2	CAV enhet (ø200)	AV/PÅ motorspjeld v _L = 0,50 m/s	347	347
Kjemikalieskap	4	CAV enhet (ø125)	AV/PÅ motorspjeld	100	100
Sonespjeld avtrekk					
Avtrekk	2	VAV enhet (ø400)	VAV/måleenhet	1218	4308
Rommets tilluft					
Tilluft	1	VAV enhet (ø630)	VAV/mengderegulator	2636	8817

Tabell 55 gir oversikt over reguleringspjeld for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 1.

Tabell 55 Oversikt over reguleringspjeld for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 1

Romregulering	Antall	Type	Info	Luftmengder [m ³ /h]	
				V _{min}	V _{maks}
Avtrekksskap					
Avtrekksskap bredde 1500mm	14	VAV enhet (ø250)	VAV/skapregulator v _L = 0,36 m/s	185	927
Rommets tilluft					
Tilluft	4	VAV enhet (ø400)	VAV/mengderegulator	648	3243

Tabell 56 gir oversikt over reguleringspjeld for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 2.

Tabell 56 Oversikt over reguleringspjeld for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 2

Romregulering	Antall	Type	Info	Luftmengder [m ³ /h]	
				V _{min}	V _{maks}
Avtrekksskap					
Avtrekksskap bredde 1500mm	14	VAV enhet (ø250)	VAV/skapregulator v _L = 0,50 m/s	257	1287
Rommets tilluft					
Tilluft	4	VAV enhet (ø400)	VAV/mengderegulator	899	4505

Tabell 57 gir oversikt over reguleringspjeld for undervisningslaboratoriet i konsept 2 med ventilasjonsteknisk løsning 1.

Tabell 57 Oversikt over reguleringspjeld for undervisningslaboratoriet i konsept 2 med ventilasjonsteknisk løsning 1

Romregulering	Antall	Type	Info	Luftmengder [m ³ /h]	
				V _{min}	V _{maks}
Avtrekksskap					
Avtrekksskap bredde 1500mm	12	VAV enhet (ø250)	VAV/skapregulator v _L = 0,36 m/s	257	1287
Konstant avtrekkluft					
Avtrekksskap Bredde 1800mm	2	CAV enhet (ø200)	AV/PÅ motorspjeld v _L = 0,50 m/s	347	347
Rommets tilluft					
Tilluft 1	1	VAV enhet (ø630)	VAV/mengderegulator	1889	8069
Tilluft 2	2	VAV enhet (ø400)	VAV/mengderegulator	944	4034

9.7 Livssyklus kostnader (LCC).

Tabell 58 gir oversikt over beregnede livssyklus kostnader for to laboratorier ved de ulike ventilasjonstekniske løsningene.

Tabell 58 Oversikt over livssyklus kostnader for to laboratorier ved de ulike ventilasjonstekniske løsningene

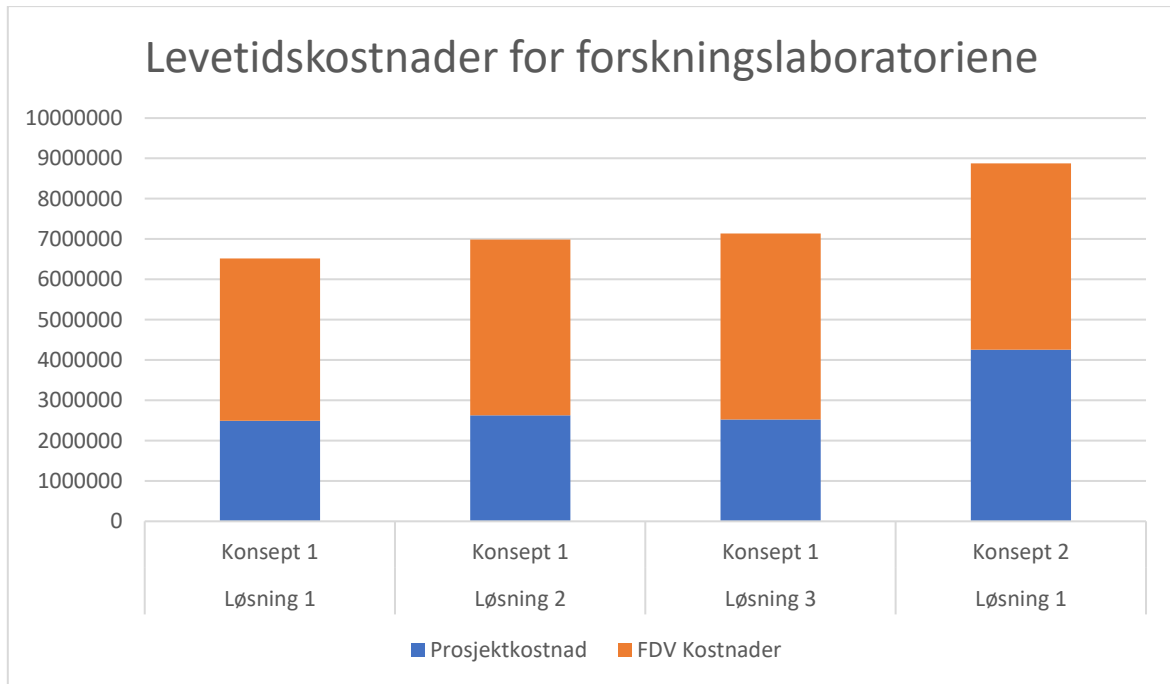
Ventilasjonsteknisk løsning	Type kostnad	Kostnad [NOK]
Forskningslab. Konsept 1		
Løsning 1	Investeringskostnader	2 497 485
	Årlige faste driftskostnader	89 354
	Vedlikeholdskostnader (60 år)	5 916 465
	Livssyklus kostnader (60 år)	13 775 183
Løsning 2	Investeringskostnader	2 627 984
	Årlige faste driftskostnader	98 577
	Vedlikeholdskostnader (60 år)	6 286 502
	Livssyklus kostnader (60 år)	14 829 106
Løsning 3	Investeringskostnader	2 526 308
	Årlige faste driftskostnader	106 465
	Vedlikeholdskostnader (60 år)	6 489 073
	Livssyklus kostnader (60 år)	15 403 282
Forskningslab. Konsept 2		
Løsning 1	Investeringskostnader	4 253 353
	Årlige faste driftskostnader	117 126
	Vedlikeholdskostnader (60 år)	5 829 495
	Livssyklus kostnader (60 år)	17 110 410
Undervisningslab. Konsept 1		
Løsning 1	Investeringskostnader	4 748 194
	Årlige faste driftskostnader	181 283
	Vedlikeholdskostnader (60 år)	11 724 583
	Livssyklus kostnader (60 år)	27 349 756
Løsning 2	Investeringskostnader	4 548 339
	Årlige faste driftskostnader	213 041
	Vedlikeholdskostnader (60 år)	11 125 018
	Livssyklus kostnader (60 år)	28 455 816
Undervisningslab. Konsept 2		
Løsning 1	Investeringskostnader	7 011 882
	Årlige faste driftskostnader	200 947
	Vedlikeholdskostnader (60 år)	10 294 408
	Livssyklus kostnader (60 år)	29 363 112

Tabell 59 gir oversikt over beregnede levetidskostnader og årskostnad (ÅK) for to laboratorier ved de ulike ventilasjonstekniske løsningene.

Tabell 59 Oversikt over levetidskostnader og årskostnad (ÅK) for to laboratorier ved de ulike ventilasjonstekniske løsningene

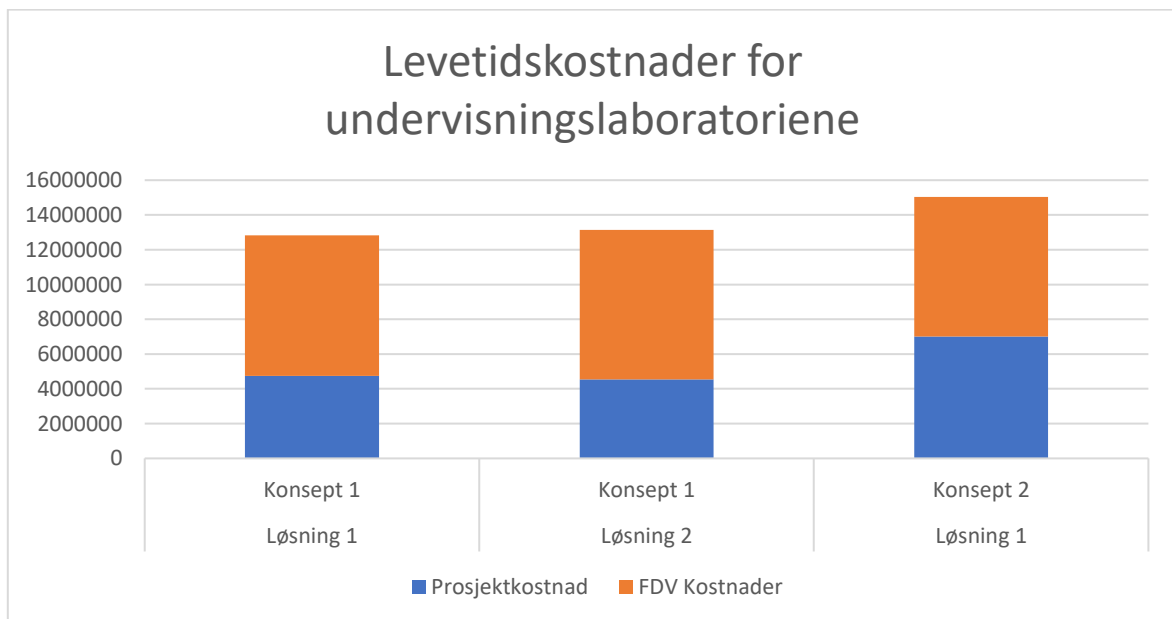
Ventilasjonsteknisk løsning	Levetidskostnader [NOK]	Årskostnader (ÅK) [NOK]
Forskningslab. Konsept 1		
Løsning 1	6 520 985	288 240
Løsning 2	6 987 779	308 873
Løsning 3	7 134 430	315 355
Forskningslab. Konsept 2		
Løsning 1	8 875 158	392 298
Undervisningslab. Konsept 1		
Løsning 1	12 830 126	567 115
Løsning 2	13 141 941	580 898
Undervisningslab. Konsept 2		
Løsning 1	15 045 377	665 033

Figur 54 viser grafisk fremstilling av levetidskostnadene for forskningslaboratoriene ved de ulike ventilasjonstekniske løsningene.



Figur 54 Levetidskostnader for forskningslaboratoriene

Figur 55 viser grafisk fremstilling av levetidskostnadene for undervisningslaboratoriene ved de ulike ventilasjonstekniske løsningene.



Figur 55 Levetidskostnader for undervisningslaboratoriene

Se vedlegg 8 og 9 for fullstendig oversikt over beregning av kostnader og LCC.

10 Diskusjon

10.1 Luftmengdeberegning.

Luftmengdeberegningene viser hvor mye luft avtrekksskapene trekker av både ved lukket og åpen tilstand. Maksimal avtrekksluftmengde for et avtrekksskap med bredde på 1200mm ligger på 732 og 1017 m³/h med en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på hhv 0,36 og 0,50 m/s. Maksimal avtrekksluftmengde for et avtrekksskap med bredde på 1500mm ligger på 927 og 1287 m³/h med en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på hhv 0,36 og 0,50 m/s. Ved alle luftmengdene kan ø250 avtrekkskanal benyttes, noe alle laboratoriene har. Det er målt en innvendig bredde som er 70mm smalere en utvendig bredde. Den innvendige bredden kan variere litt mellom enkelte leverandører. Men allikevel vil ikke dette ha særlig stor påvirkning på den beregnede avtrekksluftmengden for hvert avtrekksskap.

For avtrekksskapene som er tenkt å benyttes til rotavaporer vil lufta trekkes av med konstant luftmengde uavhengig av lukeåpning. Ved denne metoden vil lufthastigheten gjennom avtrekksskapets lukeåpning synke ved åpning av frontluken, noe som kan ha uheldige konsekvenser om eventuelle farlige stoffer avgis fra avtrekksskapet. Kjemikalieskapene for lagring av kjemikalier trekker også av konstant luftmengde, som er satt til 100 m³/h. Det er viktig å sjekke med leverandører av aktuelt kjemikalieskap om luftmengden er tilstrekkelig.

For forskningslaboratoriet ved konsept 1 ligger luftvekslingstallet mellom 13,3 – 24,9 h⁻¹. Dette ligger over anbefalt minimumsnivå for luftvekslingstall i laboratorier. Tidligere forskning viste at det ikke var nødvendig med luftskifter over 12 h⁻¹ (Klein, 2010)

Undervisningslaboratoriet ved konsept 1 har et luftvekslingstall på 19,7 og 27,4 h⁻¹ ved 100 % samtidighet med en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på hhv 0,36 og 0,50 m/s. Dette er tall som også ligger godt over anbefalte minimumsverdier.

Undervisningslaboratoriet i konsept 1 vil ikke klare å komme seg lavere enn 19,7 h⁻¹, med mindre man har en lavere lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning enn 0,36 m/s, noe som ikke er å anbefale. Tidligere forskning viste at lufthastigheter inn avtrekksskapets lukeåpning på mellom 0,30 – 0,49 m/s kunne påvirke avtrekksskapets funksjon (Rydock, 2000).

For konsept 2 ligger luftvekslingstallet på $26,3 \text{ h}^{-1}$ for forskningslaboratoriet og $21,9 \text{ h}^{-1}$ for undervisningslaboratoriet. Tidligere forskning viste at danskene opererer av erfaring med et luftvekslingstall på mellom $20\text{-}25 \text{ h}^{-1}$ (Madsen, 2016)

Det stilles usikkerhet til de beregnede verdiene, da eksakte romhøyder fra Kjemibygget 211 i DTU ikke er kjent. Det er også uvisst om lufthastigheten gjennom avtrekksskapets lukeåpning er på $0,50 \text{ m/s}$, slik at beregningene er noe usikre. Men det antas, med den gode romhøyden i laboratoriene ved DTU, at sannsynligheten er stor for at de benytter en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på $0,50 \text{ m/s}$ med 100 % samtidighet på avtrekksskapene.

10.2 Samtidigheitsbetraktning.

For forskningslaboratoriet ved konsept 1 er det utført en samtidigheitsbetraktning, som viser hvilke ulike kombinasjoner lukehøyden kan stå i på avtrekksskapene. Ved å basere forskningslaboratoriet med en spesifikk luftmengde på $50 \text{ m}^3/\text{h m}^2$, vil man oppnå en maksimal samtidighet på 68 % med en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på $0,36 \text{ m/s}$. Med denne løsningen kan tre avtrekksskap være i full drift, men samtidig må to avtrekksskap være helt lukket, mens det siste avtrekksskapet kan stå med lukehøyde på 33 cm. Når alle avtrekksskapene er i bruk, tillates det en maksimal lukeåpning på 34 cm, som er en tilfredsstillende lukehøyde ved normalt arbeid foran et avtrekksskap.

Ved å velge en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på $0,50 \text{ m/s}$ er det sett på å benytte en samtidighet på avtrekksskapene på 72 %. Det tilsvarer en spesifikk luftmengde på $70,8 (\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2$. Med denne løsningen kan tre avtrekksskap være i full drift, men samtidig må to avtrekksskap være helt lukket, mens det siste avtrekksskapet kan stå med lukehøyde på 45 cm, som betyr nesten helt åpent. Når alle avtrekksskapene er i bruk, tillates det en maksimal lukeåpning på 36 cm, noe som er en tilfredsstillende lukehøyde ved normalt arbeid foran et avtrekksskap.

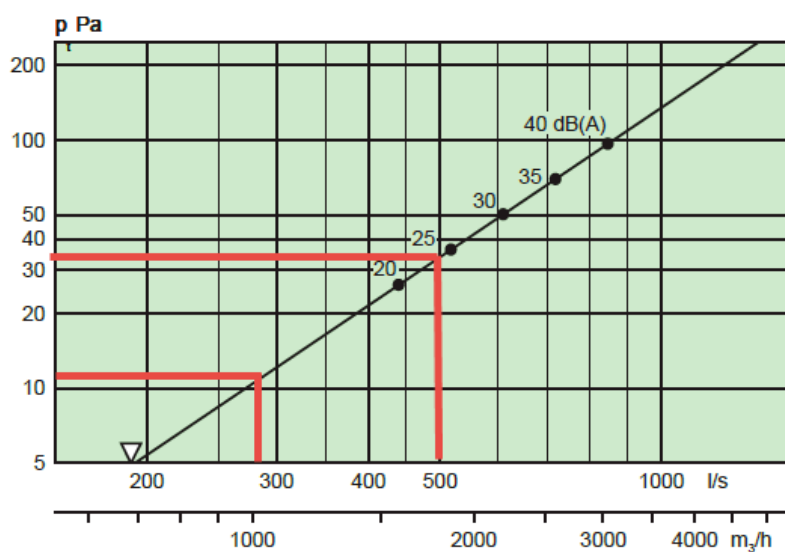
10.3 Størrelse på tilluftsarrangement.

Tilluftsенhet type 1 konsept 1 – DRI

For tilluftsенhet type 1 som er DRI tilluftsventil for fortrenningsventilasjon er det i forskningslaboratoriet valgt å benytte to like tilluftsventiler for alternativ 2, og fire like tilluftsventiler for alternativ 1 og 3. Den maksimale luftmengden per tilluftsventil ligger i området 1291-1875 m³/h. I undervisningslaboratoriet er det valgt å benytte tolv like DRI 315 tilluftsventiler for begge alternativene. Den maksimale luftmengden per tilluftsventil ligger i området 1081-1502 m³/h. Databladet i vedlegg 2 viser at tilluftsventilene vil takle alle de valgte luftmengdene.

De teoretisk beregnede utløpshastighetene fra tilluftsventilene ligger i området 0,317 – 0,549 m/s. Det knyttes usikkerhet til beregningene, da perforeringsgraden er en forutsatt verdi. Ved en lavere perforeringsgrad ville utløpshastigheten ha økt, som følge av mindre lysåpning. Lufthastighetene som er beregnet er også teoretiske og beskriver hastigheten ut av den perforerte frontplaten. DRI tilluftsventilen inneholder også små dyser bak den perforerte frontplaten hvor også luften vil blandes før den tilføres rommet gjennom frontplaten ved lavimpuls.

Ved de valgte luftmengdene vil trykkfallet og lydeffektsnivået per ventil ligge innenfor tilfredsstillende verdier. Figur 56 viser hvilke trykkfalls og lydeffektsnivåer tilluftsventilene vil ligge innenfor i forsknings- og undervisningslaboratoriet.



Figur 56 Trykkfalls -og lydnivå for DRI 315 tilluftsventil ved valgte luftmengder

Tillufts-enhet type 2 konsept 1 – Tekstilkanal

For tillufts-enhet type 2 som er tekstilkkanaler er det for forskningslaboratoriet valgt å plassere to $\varnothing 400$ tekstilkkanaler med en lengde på 5 meter per tekstilkanal. Den maksimale luftmengden ligger i området $2581 - 3509 \text{ m}^3/\text{h}$. Maksimal anbefalt luftmengde for $\varnothing 400$ tekstilkanal ligger på $3600 \text{ m}^3/\text{h}$, slik at alle luftmengdene ligger under anbefalt maksimal luftmengde.

Innløpshastigheten inn på tekstilkkanalen ligger i området $5,7-7,7 \text{ m/s}$, og ligger dermed innenfor anbefalt hastighetsnivå, som er på $5-8 \text{ m/s}$, og kan avleses fra figur 2 i vedlegg 3.

For undervisningslaboratoriet er det valgt å plassere fire $\varnothing 400$ tekstilkkanaler for variant 1, med en maksimal luftmengde på $3243 \text{ m}^3/\text{h}$ per tekstilkanal, med utløpshastighet på $7,2 \text{ m/s}$. For variant 2 er det valgt fire $\varnothing 500$ tekstilkkanaler med en maksimal luftmengde på $4505 \text{ m}^3/\text{h}$ per kanal, og en innløpshastighet på $6,4 \text{ m/s}$. Innløpshastighetene ligger også for undervisningslaboratoriet innenfor anbefalt hastighetsnivå for begge varianter. Tekstilkkanaler med dimensjon $\varnothing 500$ har en maksimal anbefalt luftmengde på $5600 \text{ m}^3/\text{h}$, slik at for variant 2 ligger luftmengden godt under maksimalt luftmengdenivå.

Teoretisk beregnet utløpshastighet ligger på mellom $0,114 - 0,155 \text{ m/s}$ for de enkelte variantene. Beregnet teoretisk hastighetsprofil viser at lufthastigheten øker ned mot oppholdssonen. Den teoretiske lufthastigheten i oppholdssonen ligger under forutsatt krav på maksimum $0,20 \text{ m/s}$. Men lufthastigheten øker litt mer nedover mot gulv, og for forskningslaboratoriet ender lufthastigheten på $0,232 \text{ m/s}$ nede ved gulv. Det stilles usikkerheter rundt de teoretiske lufthastighetene for tekstilkkanalene. Det er usikkert ved hvilken tilluftstemperatur hastighetsprofilen tar utgangspunkt i, men informasjon fra leverandør sier at luften er underkjølt, men ikke hvor mye.

Tillufts-enhet konsept 2 – Dysekanal

Tillufts-enheten for konsept 2 er perforerte dysekanaler. Fra bilder av kjemibygget ved DTU, fremkommer det som svært sannsynlig at det er installert dysekanaler i både forsknings- og undervisningslaboratoriet. Dysekanalene ligner mye på typen DKW, slik at det er denne som er forutsatt. Det stilles usikkerhet til både plassering og geometri til dysekanalene som er modellert opp, og som er benyttet ved beregning og simuleringer, da den baserer seg på bilder av laboratoriene.

For forskningslaboratoriet er det plassert en tilførselskanal i midten av rommet som består av to $\varnothing 500$ dysekanaler med lengde på 2,5 meter hver som er koblet på tilførselskanalen.

Dysekanalene har 360° spredningsmønster og hver dysekanal består av 16 like dyseutløp. Dyseutløpene er forenklet ved at det er forutsatt en perforeringsgrad som skal tilsvare alle de små dyseutløpene. Hvert dyseutløp tilfører $275 \text{ m}^3/\text{h}$ og har en utløpshastighet på $8,5 \text{ m/s}$.

For undervisningslaboratoriet er det plassert en tre tilførselskanaler i rommet som alle består av to $\varnothing 500$ dysekanaler med lengde på 2,5 meter hver som er koblet på tilførselskanalen. Det ene kanalstrekket er plassert i midten av rommet, mens de to andre er plassert på hver sin side av rommet rett ved siden av hovedkanalen for avtrekket. Dysekanalene i midten av rommet har 360° spredningsmønster, og dysekanalene på hver side har 180° spredningsmønster, hvor spredningen skjer inn mot midten av rommet. Hver dysekanal består også her av 16 like dyseutløp. Hvert dyseutløp på det midtre kanalstrekket tilfører $252 \text{ m}^3/\text{h}$, mens hvert dyseutløp på dysekanalene på hver side tilfører $126 \text{ m}^3/\text{h}$, som er halvparten pga 180° spredningsmønster. Utløpshastigheten er lik ut av alle dyseutløpene og ligger på $7,78 \text{ m/s}$.

Det er en stor luftmengde som tilføres begge laboratoriene gjennom dysekanalene. Fra tidligere forskning anbefales det ikke å tilføre mer enn $270 \text{ m}^3/\text{h}$ per meter dysekanal, men forskningen baserte seg på at dysekanalen var plassert i høyde på 2,7 m over gulv, slik at forutsetningene er annerledes når dysekanalene er plassert i en høyde på 4,75 m som er tilfelle for konsept 2. Fra DKW dyseventilens datablad er det oppgitt at for en $\varnothing 500$ dysekanal med lengde på 2 meter vil lydtrykknivå ligge på 35 dB(A) ved en luftmengde på $3125 \text{ m}^3/\text{h}$. Dysekanalene i forskningslaboratoriet har den høyeste luftmengden per dysekanal, og er på $4409 \text{ m}^3/\text{h}$. Sannsynligvis vil trykkfallet og lydtrykknivået i laboratoriene for konsept 2 ligge mye høyere med dysekanalene, enn det vil gjøre med tillufts-enhetene i konsept 1.

10.4 CFD-simulering.

Tillufts-enhet type 1 konsept 1 – DRI

For forskningslaboratoriet vil det ved alternativ 1 sannsynligvis ikke oppstå trekk eller for høye lufthastigheter som kan forstyrre avtrekksskapet under ideelle forhold. Lufthastigheten ligger under 0,20 m/s i oppholdssonen.

For alternativ 2 ligger lufthastigheten på maksimalt 0,30 m/s i en høyde på 1,8 m.

Tilluftsventilene for alternativ 2 i forskningslaboratoriet er plassert i et område som sannsynligvis kun skal benyttes som gangsoner. Lufthastigheten synker betraktelig i området mot avtrekksskapene, og ligger langt under 0,20 m/s. På grunn av tilluftsventilenes gunstige plassering som er i god avstand fra avtrekksskap og arbeidsplasser, kan det sannsynligvis tillattes en høyere lufthastighet ut av tilluftsventilene her uten at det går utover avtrekksskapenes sikkerhet og personers komfort.

For alternativ 3 med 72 % samtidighet er lufthastigheten under 0,20 m/s i oppholdssonen.

Lufthastigheten vil gjøre at det ikke vil oppstå trekk eller skape forstyrrelser på avtrekksskapet under ideelle forhold.

For alternativ 4 med 100 % samtidighet er lufthastigheten over 0,20 m/s i oppholdssonen. To av tilluftsventilene er plassert like ved avtrekksskapene og rett over arbeidsplasser. Dermed vil lufthastigheten sannsynligvis skape trekk og kan også skape forstyrrelser for avtrekksskapene som vil påvirke sikkerheten i laboratoriet.

For undervisningslaboratoriet ved alternativ 1 er lufthastigheten under 0,20 m/s i oppholdssonen. Lufthastigheten vil gjøre at det ikke vil oppstå trekk eller skape forstyrrelser på avtrekksskapet under ideelle forhold.

Ved alternativ 2 er lufthastigheten over 0,20 m/s i oppholdssonen. Luften trekkes naturligvis mot avtrekksskapene, slik at det vil sannsynligvis ikke oppstå trekk over laboratoriebankene midt i rommet. Men det er sannsynlig at lufthastigheten vil skape trekk og mulige forstyrrelser foran avtrekksskapene.

Tilluftsenhet type 2 konsept 1 – Tekstilkanal

CFD-simuleringene viser at lufthastigheten ligger under 0,20 m/s i oppholdssonen ved alle de alternative løsningene for både forsknings -og undervisningslaboratoriet i konsept 1. Det er dermed ingen risiko for trekk i oppholdssonen, og avtrekksskapets funksjon vil dermed ikke påvirkes. Tidligere forskning viste også at tekstilkanaler ga de minste forstyrrelsene av luftbevegelsene ved og omkring avtrekksskapet (Madsen, 2016). CFD-simuleringene med tekstilkanaler gir trolig det mest realistiske hastighetsbildet av de ulike tilluftsenhetene. Dette kommer av at luften tilføres ut av hele kanalens overflateareal. Det er dermed lettere å simulere en slik løsning i Star CCM+.

Tilluftsenhet konsept 2 – Dysekanal

CFD-simuleringen i konsept 2 med dysekanaler er en mer komplisert simulering, da det er mange flere dyseutløp som skal simuleres samtidig. For forskningslaboratoriet blandes luften relativt raskt utenfor dysekanalene. Luften faller ned mot oppholdssonen, men med lavere lufthastigheter, og i oppholdssonen er lufthastigheten lavere enn 0,20 m/s. Siden det er isoterm strømming antas det at lufthastigheten synker enda mer ned mot gulvet, og at det ikke vil oppleves trekk i rommet. Lufthastigheten ligger over 0,20 m/s foran avtrekksskapet, slik at det kan være noe muligheter for trekk og forstyrrelser rett foran avtrekksskapet

For undervisningslaboratoriet er strømningsbildet ganske likt som for forskningslaboratoriet. Dysekanalene som er plassert på siden blander seg med luften fra de midtre dysekanalene, og luften faller nedover rolig nedover mot oppholdssonen. Lufthastigheten i oppholdssonen er under 0,20 m/s, og det er derfor ikke fare for trekk, unntatt rett foran avtrekksskapet, der lufthastigheten er noe høyere enn 0,20 m/s.

Det er et mer finvasket rutenett rundt dysekanalene, enn det er for resten av laboratoriet. Dermed blir hastighetsvektorene større og mer forenklet utenfor det finvaskede rutenettet. Den høye lufthastigheten fra dysekanalene synker svært raskt i grensen mellom rutenettene som er finvasket og mindre finvasket. Om hele laboratoriet hadde hatt et mer finvasket rutenett, ville sannsynligvis hastighetsprofilen vært jevnere nedover mot oppholdssonen.

Strømningsprofil med underkjølt tilluft

Det er også valgt å simulere laboratoriene ved konsept 2 også med underkjølt tilluft med $\Delta T = 3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Simuleringene viser at luften faller raskere og med en høyere lufthastighet med dysekanalene ved underkjølt tilluftstemperatur. For forskningslaboratoriet viser CFD-simuleringen at lufthastigheten er over 0,20 m/s i en høyde på 1,8 m over gulv og foran avtrekksskapene. Lufthastigheten avtar noe over laboratoriebenkene midt i rommet ved simuleringene, noe det stilles usikkerhet til. Ved tilføring av underkjølt tilluft ville sannsynligvis strømmingen falt noe mer ned mot laboratoriebenkene, og deretter trukket seg mot avtrekksskapene. Luftstrømmen oppfører seg ganske likt som i simuleringene ved isotherm strømming, bare at lufthastighetene er noe høyere ned mot oppholdssonen. Det stilles derfor usikkerheter på om simuleringene med underkjølt tilluft er realistiske.

For undervisningslaboratoriet er strømningsbildet tilsvarende, men lufthastigheten er under 0,20 m/s i oppholdssonen hvor laboratoriebenkene er plassert. Luften drar seg naturligvis mot avtrekksskapene, og lufthastigheten er høyere enn 0,20 m/s utenfor avtrekksskapene. Dermed er det sannsynlig at lufthastigheten ved avtrekksskapet kan skape forstyrrelser foran avtrekksskapet. Tidligere forskning viste også at dysekanaler gir de største forstyrrelsene ved avtrekksskap (Madsen, 2016).

Begrensninger

Det stilles usikkerhet rundt CFD-simuleringene. Det er valgt å se på forenklete modeller for de ulike laboratorieløsningene. For CFD-simuleringene inngår ikke VVS-komponenter som hovedkanaler og rør. Det er heller ikke med inventar og elektrokomponenter som lysarmatur og kabelbroer. Varmetilskudd fra personer og utstyr ble heller ikke medtatt ved simulering. Dette er faktorer som sannsynligvis er med å påvirke lufthastighetene i rommet.

Størst usikkerhet stilles det til simuleringene med DRI tilluftsventil og dysekanalene. Dette kommer av at det er svært vanskelig å modellere opp en nøyaktig geometri til slike typer tilluftsenheter, da de inneholder tusenvis av dyseutløp, noe som ville vært svært komplisert å modellere opp i Star CCM+.

CFD-Simuleringene som viser spredningsbildet fra tekstilkanalene gir trolig en mer realistisk hastighetsprofil i laboratoriene, enn med de to andre tilluftsenehetene. Tilførselsluften går ut av hele tekstilkanalens flate, og det er dermed enklere å simulere en slik løsning.

10.5 Ventilasjonsteknisk løsning for videre analyse.

For konsept 1 er det valgt å ta med begge de to ulike tilluftsenehetene for videre analyse. DRI tilluftsventilen vil ikke være mulig å benytte ved en lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s og en samtidighet på 100 %. Tilluftseneheten forkastes derfor for alternativet med maksimale luftmengder for begge laboratoriefunksjonene i konsept 1. På bakgrunn av dette velges DRI tilluftsventil for de alternative løsningene ved konsept 1 som har en lavere samtidighet på avtrekkskapene for forskningslaboratoriet, og med en lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s ved 100 % samtidighet for undervisningslaboratoriet.

Tekstilkanalene takler luftmengdene som kreves med en lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s og 100 % samtidighet. Tekstilkanalen velges dermed for løsningene med konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s og 100 % samtidighet for både forsknings- og undervisningslaboratoriet.

For konsept 2 er det forutsatt kun løsning med dysekanaler for begge laboratoriefunksjonene, så denne løsningen velges også for videre analyse.

10.6 Romregulering

Summasjonsprinsippet er valgt for de alternative løsningene i undervisningslaboratoriene i begge konsepter. Summasjonsprinsippet egner seg gjerne der hvor avtrekksinstallasjonene ikke forventes at må endres, og passer også i laboratorier med mange avtrekksinstallasjoner. For undervisningslaboratoriene i konsept 1 er det sannsynlig at det ikke vil skje store ombygginger, da det er forutsatt at avtrekksskapene skal ha 100 % samtidighet.

Summasjonsprinsippet kan være derfor være en god reguleringsteknisk løsning. Ved konsept 2 er det forutsatt at lufthastigheten gjennom avtrekksskapets lukeåpning er på 0,50 m/s og at avtrekksskapene har en samtidighet på 100 %. Sannsynligheten er dermed stor for at det ikke vil være behov for å endre på løsningene da laboratoriet med valgt lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning vil opprettholde god sikkerhet.

Måleprinsippet er valgt for forskningslaboratoriene i begge konsepter på bakgrunn av et ønske om stor fleksibilitet på ventilasjonssystemet. Da man har et eller flere sonespjeld på hovedkanalene for avtrekket ved måleprinsippet, kan luftmengden endres uten at man må gjøre store endringer i reguleringssystemet. Om det er ønskelig ved en senere anledning å f.eks. senke den konstante lufthastigheten gjennom avtrekksskapets lukeåpning fra 0,50 m/s til 0,36 m/s, kan man skifte reguleringsspjeld til de enkelte avtrekksskapene, men allikevel beholde sonespjeldet på hovedkanalene.

Romreguleringsutstyret i hver romløsning er valgt på grunnlag av hva de enkelte reguleringsenhetene takler i luftmengder. Ved alle de ulike ventilasjonstekniske løsningene ligger luftmengdene innenfor området som spjeldene takler reguleringsteknisk.

For forskningslaboratoriet ved konsept 1 blir det reguleringstekniske utstyret identisk ved ventilasjonsteknisk løsning 2 og 3. Dette kommer av at selv om løsning 3 er med 72 % samtidighet, så må kanalnettet for avtrekk dimensjoneres for full kapasitet, da en ikke vet hvilke avtrekksskap som går på full kapasitet og hvilke som ikke er i bruk. For ventilasjonsteknisk løsning 1 er sonespjeldene på avtrekkskanalene neddimensjonert til $\varnothing 315$. Det trengs bare ett reguleringsspjeld for tilluftssystemet, mot to reguleringsspjeld ved løsning 2 og 3.

For løsning 1 med en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,36 m/s, vil avtrekksskapenes reguleringsspjeld strupes mer enn for løsning 2 og 3, fordi den maksimale luftmengden er mindre ved løsning 1. Dermed vil det oppstå et høyere trykktap over spjeldene ved løsning 1, noe som betyr at lydtryknivået øker mer enn ved løsning 2 og 3.

Dermed er det større sannsynlighet for at det vil være et behov for å ha lydfeller på avtrekkskanalen fra hvert avtrekksskap ved ventilasjonsteknisk løsning 1.

For forskningslaboratoriet i konsept 2 er det valgt å benytte seg av et reguleringsspjeld med dimensjon $\varnothing 630$ på tilluftskanalen. Forskningslaboratoriet ved konsept 2 har en maksimal luftmengde på $8817 \text{ m}^3/\text{h}$, og et $\varnothing 630$ spjeld vil takle denne luftmengden. De to avtrekkskanalene har et sonespjeld hver med dimensjon $\varnothing 400$ og en luftmengde på $4308 \text{ m}^3/\text{h}$. Spjeldene vil takle de beregnede luftmengdene.

For undervisningslaboratoriet ved konsept 1 er det reguleringstekniske utstyret identisk ved begge løsninger. Forskjellen er at ved løsning 1, som har en lufthastighet gjennom avtrekkskapenes lukeåpning på $0,36 \text{ m/s}$, så vil reguleringsspjeldene strupes mer, noe som gir økt trykkfall og lydtryknivå. Begge løsningene har lydfeller på avtrekkskanalene fra avtrekkskapet, slik at det vil sannsynligvis ikke bli et problem med støy uansett. Tilluftsystemet består av fire $\varnothing 400$ spjeld, og har maksimale luftmengder på $3243 \text{ m}^3/\text{h}$ og $4504 \text{ m}^3/\text{h}$ for hhv ventilasjonsteknisk løsning 1 og 2. Luftmengdene ligger innenfor luftmengdeområdet som spjelddimensjonene kan regulere.

For undervisningslaboratoriet ved konsept 2 består tilluftsystemet av to $\varnothing 400$ spjeld med en maksimal luftmengde på $4034 \text{ m}^3/\text{h}$, og ett $\varnothing 630$ spjeld med en maksimal luftmengde på $8068 \text{ m}^3/\text{h}$. Luftmengdene ligger innenfor luftmengdeområdet som spjelddimensjonene kan regulere.

10.7 LCC

Investeringskostnader

For forskningslaboratoriet er investeringskostnaden dyrest ved konsept 2, som følge av økte kostnader for økt romhøyde. For undervisningslaboratoriet er investeringskostnaden også her dyrest ved konsept 2.

Investeringskostnader for avtrekksskap, reguleringsspjeld, lukeregulering, lydfeller og tilluftsenheter anses som forholdsvis korrekte verdier. Kostnader som gjelder kanalstrekk er litt mer usikre, da alle kanalbend er medtatt som lengde kanaler, og er estimert med en kostnad per kanalmeter. Kostnader for montering og oppheng av kanalstrekk er heller ikke medtatt i kostnadsberegningen, da det er forutsatt at kostnadene er de samme ved alle romløsningene. I virkeligheten vil det trolig være visse kostnadsforskjeller som gjelder montering av de ulike ventilasjonstekniske løsningene. For konsept 2 vil det også sannsynligvis bli økte kostnader for montering og oppheng som følge av den økte romhøyden.

Det er usikkerheter rundt de ekstra kostnadene ved økt romhøyde for konsept 2. Det er blant annet ikke medtatt ekstra kostnader for høyere vinduer. Sannsynligvis vil man også trenge ekstra bæring av etasjeskillere, noe som ville ha økt kostnadene. Det er også vanlig å ha tilhørende kontorarealer i nærheten av laboratorievirksomhet, slik at en ekstra romhøyde ville også påvirket disse romfunksjonene.

Dermed er det sannsynlig at den økte byggekostnaden ved konsept 2 vil ligge enda høyere enn estimert kostnad. Kostnadsestimatet baserer seg også kun på to laboratorier, slik at ved en fullstendig kostnadsvurdering burde hele bygget vurderes.

Driftskostnader

For konsept 1 er driftskostnadene mindre med DRI tilluftsventiler enn med tekstilkanaler. Dette kommer av at det blir en økt kostnad for vedlikehold av tekstilkanalene i form av vasking. De årlige driftskostnadene for vedlikehold blir høyere i konsept 2 enn i konsept 1 på grunn av høyere luftmengder.

Estimering av årlige driftskostnader er forenklet ved at det er antatt en årlig driftskostnad for vedlikehold av ventilasjonssystemet per m^3/h luft. Det stilles usikkerhet rundt dette, da det ikke er sikkert om de årlige driftskostnadene for vedlikehold øker med høyere luftmengder.

De årlige energikostnadene for ventilasjonsaggregatets vifter synker ved lavere luftmengder, noe som er realistisk. For de to ulike laboratorieløsningene er det forutsatt at alle variantene vil ha det samme ventilasjonsaggregatet. Det stilles noe usikkerhet rundt dette, da sannsynligheten er stor for at det vil være forskjellige aggregater i laboratoriene ved nytt Livsvitenskapsbygg og ved DTU. Dermed er det også sannsynlig at trykkfallet i anlegget er noe annerledes, og at viftenes virkningsgrad er forskjellig. Dette vil føre til at energiforbruket til viftene endrer seg, som igjen påvirker energikostnadene.

Utskiftningskostnader

Vedlikeholdskostnadene i byggets levetid er lavest for konsept 2, og høyest for løsningen med tekstilkanaler for konsept 1. Dette kommer av at kanalanlegget er mindre i laboratoriene i konsept 2.

For utskiftningskostnadene er det estimert en levetid på det ventilasjonstekniske utstyret, og dermed når utstyret må skiftes ut. Dermed øker kostnaden akkurat det året hvor utskiftningen skjer. Laboratoriene har dermed økte kostnader i år 15, 20, 30, 40 og 45, som følge av utskiftningskostnadene. Se figur 1 og 2 i vedlegg 9. For kanalanlegget er levetiden forutsatt ganske konservativt med kun 15 år. Dette er gjort da det antas at kanalanlegget i et laboratorium utsettes for mer slitasje enn f.eks. i et kontorbygg. Men normalt vil et kanalanlegg ha en levetid på opp mot 30 år. Alle levetidene er basert på gjennomsnittlige verdier, og ulike anlegg kan avvike fra dette gjennomsnittet.

Livssyklus-levetids- og årskostnader

For forskningslaboratoriet er livssyklus-kostnadene lavest med ventilasjonsteknisk løsning 1 for konsept 1, og høyest med den ventilasjonstekniske løsningen i konsept 2.

For undervisningslaboratoriet er livssyklus-kostnadene lavest for ventilasjonsteknisk løsning 1 i konsept 1, og høyest med den ventilasjonstekniske løsningen i konsept 2.

Levetidskostnaden og den faste årskostnaden er lavest for forsknings- og undervisningslaboratoriet med ventilasjonsteknisk løsning 1 i konsept 1. Konsept 2 har den høyeste levetidskostnaden, og dermed den høyeste årskostnaden for begge laboratoritypene

10.8 Oppsummering av de ulike ventilasjonstekniske løsningene

Forskningslaboratoriet konsept 1, ventilasjonsteknisk løsning 1.

Ved å velge denne løsningen vil avtrekksskapene ha en konstant lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,36 m/s. Avtrekksskapene kan ha en maksimal samtidighet på 68 % som tilsvarer en arbeidshøyde på 33 cm når alle avtrekksskapene er i full drift. Man vil spare en god del energi i løpet av året med denne løsningen, og levetidskostnadene ved denne løsningen er også billigst. Det vil heller ikke være noen risiko for at de som arbeider i laboratoriet vil oppleve trekk. Ved denne løsningen er det også plass til lydfeller i laboratoriet.

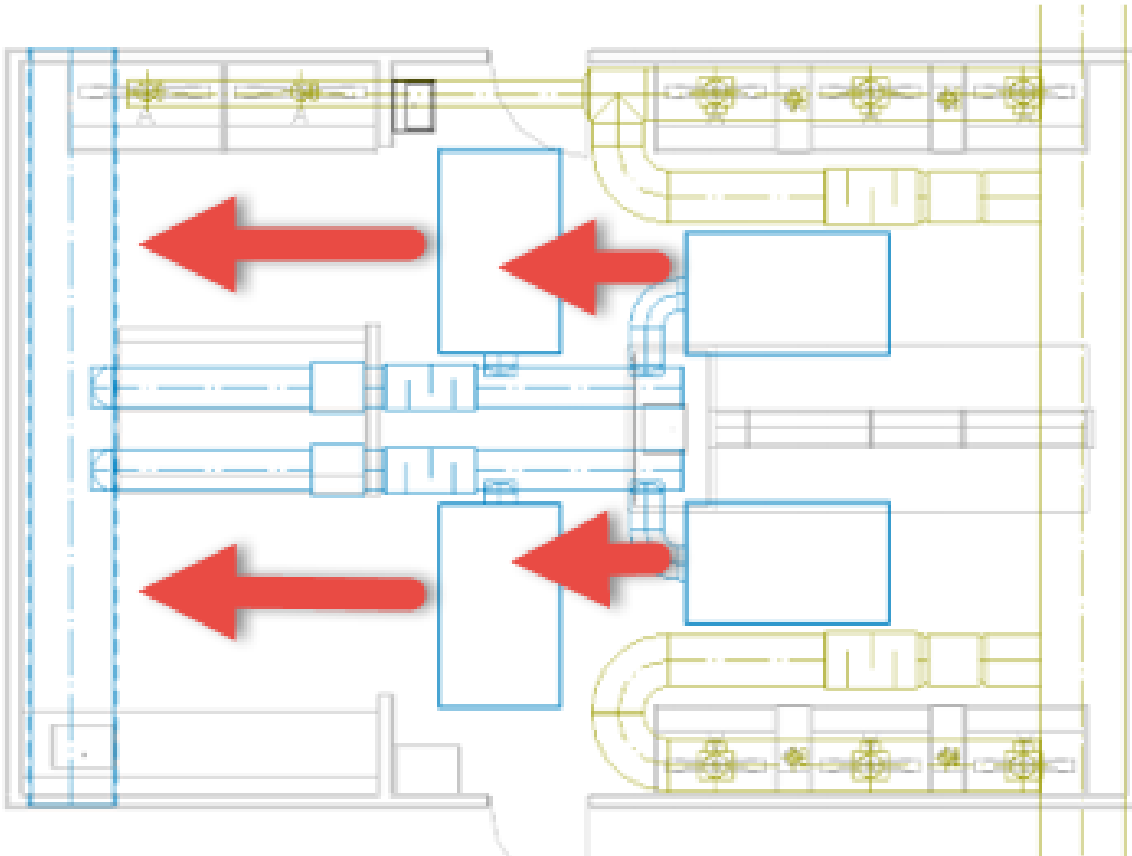
Det er usikkert om en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,36 m/s vil opprettholde sikkerheten i laboratoriet. Normalt jobbes det med farligere stoffer i et forskningslaboratorium enn i et undervisningslaboratorium. Da noen av avtrekksskapene er plassert for nær dører og det er risiko for at personer vil gå forbi avtrekksskapene, kan det oppstå forstyrrelser som kan skape risiko for farlige utslipp med en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,36 m/s. Ventilasjonsteknisk løsning 1 i konsept 1 ses på som en noe usikker løsning, når det gjelder sikkerhet i laboratoriet. Løsningen kan vurderes om det settes begrensninger på kapasitet til ventilasjonsaggregater, kanalnett og energiforbruk.

Forskningslaboratoriet konsept 1, ventilasjonsteknisk løsning 2.

Ved å velge denne løsningen vil avtrekksskapene ha en konstant lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,50 m/s. Avtrekksskapene kan ha en maksimal samtidighet på 72 % som tilsvarer en arbeidshøyde på 34 cm når alle avtrekksskapene er i full drift. Man sparer også energi i løpet av året med denne løsningen. Levetidskostnadene er dyrere, men man oppnår en høyere sikkerhet i laboratoriet med denne løsningen. Det kan oppstå forstyrrelser ved avtrekksskapene som er nærmest dørene, men med en lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,50 m/s, er risikoen mindre for farlige utslipp fra avtrekksskapene.

Ved denne løsningen vil man også ha en større grad av fleksibilitet. Hvis man senere gjør målinger på avtrekksskapenes sikkerhet, og det viser seg at man kan gå ned til en lavere lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning, vil dette da være mulig. Ved å gå ned til en konstant lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,36 m/s, kan man øke samtidigheten på avtrekksskapene til 100 %, noe som gjør at de som arbeider i avtrekksskapet ikke trenger å tenke på samtidig bruk av avtrekksskapene.

Med en lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s vil lydtryknivået økes som følge av mer struping på reguleringspjeldene fra hvert avtrekkskap. Dermed kan det være nødvendig å ha lydfeller på avtrekkskanalene. Er det ønskelig med lydfeller på avtrekkskanalene fra hvert avtrekkskap, kan det være mulig å flytte tilluftsventilene lenger oppover, som vist i figur 57. Dette bør kvalitetssikres ved modellering.



Figur 57 Forslag til endret plassering av tilluftsventiler for ventilasjonsteknisk løsning 2, konsept 1

Ventilasjonsteknisk løsning 2 bør vurderes om det settes begrensninger på kapasitet til ventilasjonsaggregater, kanalnett og energiforbruk, og samtidig ønsker svært god sikkerhet i laboratoriet.

Forskningslaboratoriet konsept 1, ventilasjonsteknisk løsning 3.

Ved å velge denne løsningen vil avtrekksskapene ha en konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s og en samtidighet på 100 %. Dette er den mest energikrevende og dyreste løsningen i konsept 1. Man vil ikke oppleve trekk ved å benytte tekstilkanaler, og man kan jobbe i hvert avtrekksskap ved full samtidighet. Løsningen sikrer også svært god sikkerhet i laboratoriet, samtidig som at man kan tilføre maksimal luftmengde.

Ulempen med å benytte seg av tekstilkanaler er at det kreves svært god oppfølging av tekstilkanalene. Tekstilkanalene vil over tid gå tett hvis de ikke rengjøres, noe som igjen vil påvirke trykkforholdene i laboratoriet. Tekstilkanalene må tas ned og sendes til vaskeri, gjerne to ganger i halvåret. Et ekstra sett med tekstilkanaler må lagres i bygget og monteres når det første settet sendes til vask. Det kreves derfor svært god oppfølging av driftspersonell, noe man bør forvente i et nytt laboratoriebygg. Vedlikeholdsrutinene bør derfor legges inn i driftsdatabasen for bygget. Driftsdatabasen bør også ha alarm som melder fra ved tett tekstilkanal, og når det er tid for skift av tekstilkanal.

Om det ikke settes begrensninger på kapasitet til ventilasjonsaggregater, kanalnett og energiforbruk, og samtidig ønsker svært god sikkerhet i laboratoriet, virker ventilasjonsteknisk løsning 3 i konsept 1 som den beste.

Undervisningslaboratoriet konsept 1.

Forskjellen på de to løsningene for undervisningslaboratoriet ved konsept 1 er at løsning 1 benytter DRI tilluftsventiler og har en konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,36 m/s, mens løsning 2 benytter tekstilkanaler og har en konstant lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s. Løsning 1 er dermed den mest energibesparende løsningen, og er også en billigere løsning i byggets levetid.

Gangsonene går mellom laboratoriebenkene i god avstand fra avtrekksskapene, slik at avtrekksskapene vil trolig ikke bli særlig forstyrret fra personer som går rundt i laboratoriet. I et undervisningslaboratorium vil det trolig jobbes med mindre farlige stoffer enn ved et forskningslaboratorium. Det kan derfor være mer hensiktsmessig med en lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s i et forskningslaboratorium enn i et undervisningslaboratorium. Men ved å benytte en lufthastighet gjennom avtrekkskapets lukeåpning på 0,50 m/s, vil man uansett ha høyere sikkerhet i laboratoriet.

Om det ikke settes begrensninger på kapasitet til ventilasjonsaggregater, kanalnett og energiforbruk, og samtidig ønsker svært god sikkerhet i laboratoriet, virker ventilasjonsteknisk løsning 2 i konsept 1 som den beste.

Forsknings- og undervisningslaboratoriet konsept 2.

Ved å velge de ventilasjonstekniske løsningene i konsept 2 vil avtrekksskapene ha en konstant lufthastighet gjennom avtrekksskapets lukeåpning på 0,50 m/s og en samtidighet på 100 %, som gjør at laboratoriene har et høyt energiforbruk. Men den økte romhøyden er hovedproblemet ved konsept 2. Det vil være mer kostbart, og ved nytt Livsvitenskapsbygg må man dermed øke etasjehøyder om man velger å gå for denne løsningen. Forsknings- og undervisningslaboratoriene for organisk kjemi består av ca. 1700 m² i nytt Livsvitenskapsbygg. Dette betyr at den økte romhøyden vil "stjele" gulvareal fra andre romfunksjoner, som dermed må plasseres andre steder i bygget. Som følge av dette kan bygningskroppen bli høyere lokalt. Dette gjør at taket kan få ulike høydeforskjeller, som igjen påvirker siktlinjer for nærliggende bygg. Ved DTU er forsknings- og undervisningslaboratoriene plassert i et helt eget bygg, slik at de vil ikke påvirke andre romfunksjoner. Nytt Livsvitenskapsbygg inneholder mange flere romfunksjoner, som vil påvirkes av økt romhøyde.

Det vil også være økt risiko for trekk utenfor avtrekksskapene ved konsept 2, særlig med underkjølt tilluft. Sikkerheten i laboratoriene ved konsept 2 vil være svært høy. Konsept 2 har også høyere levetidskostnader. Går man for en løsning med økt romhøyde i nytt Livsvitenskapsbygg, vil løsningene for konsept 2 være den dyreste løsningen.

11 Konklusjon

For valg av den beste ventilasjonstekniske løsningen for forsknings- og undervisningslaboratoriet er følgende lagt til grunn:

- Ha best mulig sikkerhet i laboratoriet
- Det er kapasitet på aggregatnivå og kanalnett
- Driftspersonell må ha meget gode rutiner for vedlikehold av ventilasjonsanlegget
- Ikke tenke på energibruk
- Ingen risiko for trekk i oppholdssonen

For forskningslaboratoriet velges konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 3. Det vil si tilluft via tekstilkanaler. Avtrekksskapene har en lufthastighet inn lukeåpningen på 0,50 m/s og 100 % samtidighet.

For undervisningslaboratoriet velges konsept 1 med ventilasjonsteknisk løsning 2. Det vil si tilluft via tekstilkanaler. Avtrekksskapene har en lufthastighet inn lukeåpningen på 0,50 m/s og 100 % samtidighet.

Oppsummering av forskningsspørsmål:

- Det er ikke nødvendig å bygge laboratorier med høyere romhøyde for å introdusere nok luft. Løsningen vil være dyrere. Ved å velge en løsning med økt romhøyde i nytt Livsvitenskapsbygg vil det gå utover andre romfunksjoner.
- En løsning med høyere takhøyde vil øke faren for trekk ved avtrekksskapene for spesialavtrekk.
- Med tekstilkanaler kan man tilføre luft med maksimale luftmengder i rom med "normal" høyde.
- Tekstilkanaler er en god løsning for å få introdusert nok luft, og mest mulig stabil luftstrømning gjennom lukeåpningen til avtrekksskapet ved de ulike romløsningene. Ulempene med tekstilkanaler er at de krever regelmessig rengjøring, 2 ganger/år, og det betyr at man er avhengig av gode driftsrutiner.
- Måleprinsippet er en god reguleringsteknisk løsning som gjør at laboratoriet får god fleksibilitet. Summasjonsprinsippet egner seg godt i laboratorier med høy tetthet av avtrekksskap

For videre arbeid bør Revit-modellene for de anbefalte ventilasjonstekniske løsningene benyttes i detaljprosjektet for Nytt Livsvitenskapsbygg.

12 Referanser

- Albern, W. F., Darling, F., Farmer, L. R. (1988). Laboratory fume hood operation. *Ashrae Journal*.
- Arbeidsmiljøloven. (2017). *Kapittel 4. Krav til Arbeidsmiljøet*. In § 4-5. *Særlig om kjemisk og biologisk helsefare*. Retrieved from <http://arbeidsmiljøloven.com/article/%C2%A7-4-5-saerlig-om-kjemisk-og-biologisk-helsefare/>
- Arbeidsplassforskriften. (2017a). § 7-1. *Ventilasjon og Prosessavsug*. Retrieved from <https://www.arbeidstilsynet.no/regelverk/forskrifter/arbeidsplassforskriften/7/7-1/>.
- Arbeidsplassforskriften. (2017b). § 8-4. *Inneslutningstiltak i laboratorier og isolasjonsenheter*. In. Retrieved from <https://www.arbeidstilsynet.no/regelverk/forskrifter/arbeidsplassforskriften/8/8-4/>
- Arbeidstilsynets publikasjoner best.nr 361. (2003) Administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære. In.
- Arbeidstilsynets publikasjoner best.nr 444. (1991) Veiledning om: Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen. In.
- Arbeidstilsynets publikasjoner best.nr 449. (2003a) Laboratoriet - Sikkerhet og arbeidsmiljø. In, (pp. 20).
- Arbeidstilsynets publikasjoner best.nr 449. (2003b) Laboratoriet - Sikkerhet og arbeidsmiljø. In, (pp. 22).
- Byggteknisk Forskrift. (2017). § 13-3. *Ventilasjon i byggverk for publikum og arbeidsbygning*. Retrieved from <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/13/i/13-3/>.
- Bygning 211 - Kemilaboratorier. (2016). Retrieved from http://www.dtu.dk/om-dtu/profil/campusudvikling/Byggeri_afsluttet/Bygning-211
- Bygning 211, DTU Kemi. (2016). Retrieved from <http://zystem.com/referencer/bygning-211-dtu-kemi/>
- DiBerardinis, L. J., Baum, J. S., First, M. W., Gatwood, G. T., Seth, A. K. (2013). *Guidelines For Laboratory Design* (4 ed.): John Wiley & Sons.
- DIN 1946-7. (2009). *Ventilation and air conditioning - Part 7: ventilation systems in laboratories*.
- Døhl, J. (2016). *Temagruppe Læringsmiljø - Studietur*. Danmarks Tekniske Universitet (DTU).
- EuroAir. (2014). *Prisliste 2013/14* [Brosjyre]: Quiller Klimaprodukter.
- EuroAir. (Årstill ikke kjent). *Teknisk Katalog* [Brosjyre]: Quiller Klimaprodukter.
- Forskrift om tiltaks- og grenseverdier. (2013a). *Vedlegg 2: Liste over klassifiserte biologiske faktorer (smittesikogrupper) m.v av 01 Januar 2013*. Retrieved from <https://www.arbeidstilsynet.no/regelverk/forskrifter/forskrift-om-tiltaks--og-grenseverdier/>.
- Forskrift om tiltaks- og grenseverdier. (2013b). *Vedlegg 2: Liste over klassifiserte biologiske faktorer (smittesikogrupper) m.v av 01 Januar 2013*. In. Retrieved from <https://www.arbeidstilsynet.no/regelverk/forskrifter/forskrift-om-tiltaks--og-grenseverdier/8/2/>
- Greenley, P. L., DiBerardinis, L. J., Lorch, F. A. (1999). Containment Testing for Occupied and Unoccupied Laboratory Chemical Hoods. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Louis_Diberardinis/publication/238674546_Containment_Testing_for_Occupied_and_Unoccupied_Laboratory_Chemical_Hoods/links/546c8ab20cf2c4819f21b210/Containment-Testing-for-Occupied-and-Unoccupied-Laboratory-Chemical-Hoods.pdf
- Gustavsen, J. E. (2004). *6.12 Poseventilasjon - tekstilkanaler*. Retrieved from
- Ingebrigtsen, S. (2016a). *Ventilasjonsteknikk - Del 1*. Oslo: Skarland Press.
- Ingebrigtsen, S. (2016b). *Ventilasjonsteknikk - Del 2*: Skarland press.
- Johansen, B. S. (2002). *6.5 Høytsittende lavimpuls tilluftsenheter*. Retrieved from
- Klein, R. C., King, C., Kosior, A. (2010). Laboratory air quality and room ventilation rates: An update. Side 23-26.
- Laboratory Design Handbook. (2014a). side 18-22. Retrieved from http://www.tsi.com/uploadedFiles/Site_Root/Products/Literature/Handbooks/2980330C-LabControlsHandbook.pdf

- Laboratory Design Handbook. (2014b). side 3. Retrieved from http://www.tsi.com/uploadedFiles/Site_Root/Products/Literature/Handbooks/2980330C-LabControlsHandbook.pdf
- Laboratory Design Handbook. (2014c). side 8. Retrieved from http://www.tsi.com/uploadedFiles/Site_Root/Products/Literature/Handbooks/2980330C-LabControlsHandbook.pdf
- Madsen, M. S., Hansen, E. H., Gunner, A., Guan, X., Draborg, S., Nicolaisen, C. G., ...Christensen, B. R. (2016). *Energieffektiv helhedsløsning til sikker laboratorieventilation* (ELFORSK Ed. 346-051 ed.): Teknologisk Institut.
- Norsk Standard. (2003a). NS-EN 14056 Laboratorieinnredning. Anbefalinger for utforming og montering. In (pp. Side 11-12): Standard Norge.
- Norsk Standard. (2003b). NS-EN 14175-1 Avtrekk Del 1: Terminologi. In: Standard Norge.
- Norsk Standard. (2003c). NS-EN 14175-2 Avtrekk Del 2: Krav til sikkerhet og ytelse. In: Standard Norge.
- Norsk Standard. (2004a). NS-EN 14175-3 Avtrekk Del 3: Metoder for typeprøving. In: Standard Norge.
- Norsk Standard. (2004b). NS-EN 14175-4 Avtrekk Del 4: Prøvmingsmetoder på stedet. In: Standard Norge.
- Norsk Standard. (2006a). NS-EN 14175-5 Avtrekk Del 5: Anbefalinger for installasjon og vedlikehold. In: Standard Norge.
- Norsk Standard. (2006b). NS-EN 14175-6 Avtrekk Del 6: Variabelt luftvolum og avtrekk. In: Standard Norge.
- NT VVS 095. (1993). Nordtest Method. Laboratory Fume Hoods. Performance. In: Nordtest.
- Nytt Livsvitenskapbygg. (2017). Retrieved from <http://www.uio.no/forskning/satsinger/livsvitenskap/om/bygg/>
- Polak, K. (2004). *1.13 LCC - Livsløpskostnader*. In Ventilasjonshåndbok Ventøk, S. press (Ed.).
- Rydock, J. P. (2000). Containment testing of installed laboratory fume hoods. Side 925-930.
- Standard, N. (2013). NS 3454:2013. Livssykluskostnader for byggverk – Prinsipper og klassifisering. In: Standard Norge.
- Swegon. (2016). *DRI - Varizon. Plant låghastighetsdon med omstøllbar spredningsbild* [Brosjyre]: Swegon.
- Swegon. (2018). *Prisliste - Sirkulære kanaler og detaljer* [Brosjyre]: Swegon.
- Trox Auranor. (2015). *VAV-enheter type TVLK* [Brosjyre].
- Trox Auranor. (2017a). *CAV-regulator RN* [Brosjyre].
- Trox Auranor. (2017b). *Leo. VAV-regulator* [Brosjyre].
- Trox Auranor. (2017c). *Spesialventilasjon skolebygg* [Vedlegg].
- Trox Auranor. (2017d). *Prisliste 2017* [Brosjyre].
- Trox Teknik. (2017). *VAV terminal units. Type TVR* [Brosjyre].
- UiO - Livsvitenskapsbygget. Tekniske løsninger - Kemi*. (2014). Paper presented at the Oplæg til Workshop 1.
- Urdahl, G. (2017). *Romstudie Kategori 2*. Retrieved from
- Uv, O. A. (2005). *6.11 Dysekanaler - tilluftsenhet*. Retrieved from
- Ødegård, H. (2004). *6.4 Praktiske råd vedrørende luftbevegelse i rom ved komfortventilasjon*. In Ventilasjonshåndbok Ventøk, S. press (Ed.). Retrieved from <http://www.kompetansebiblioteket.no/Home/Pages/NoAccessToArticle.aspx?item={925441E2-F453-433F-972D-3257B5647293}>
- Åkredalen, R. M. (2000). *2.7 Beskyttelsesventilasjon*. In Ventilasjonshåndbok Ventøk, S. press (Ed.).
- Åkredalen, R. M. (2016). *Reguleringssystemer for laboratorieventilasjon*. Retrieved from

Vedlegg

- Vedlegg 1. DTU Kjemi bygg 211.**
- Vedlegg 2. Datablad DRI tilluftsventil**
- Vedlegg 3. Utdrag Teknisk katalog. EuroAir Tekstilkanal**
- Vedlegg 4. Teoretisk beregning tekstilposeventilasjon**
- Vedlegg 5. Romløsninger i Star CCM+ for simulering**
- Vedlegg 6. Romreguleringsutstyr**
- Vedlegg 7. Priser for ventilasjonsteknisk utstyr**
- Vedlegg 8. Kostnadsestimat**
- Vedlegg 9. LCC-beregning**
- Vedlegg 10. Ventilasjonstekniske løsninger modellert i Revit**

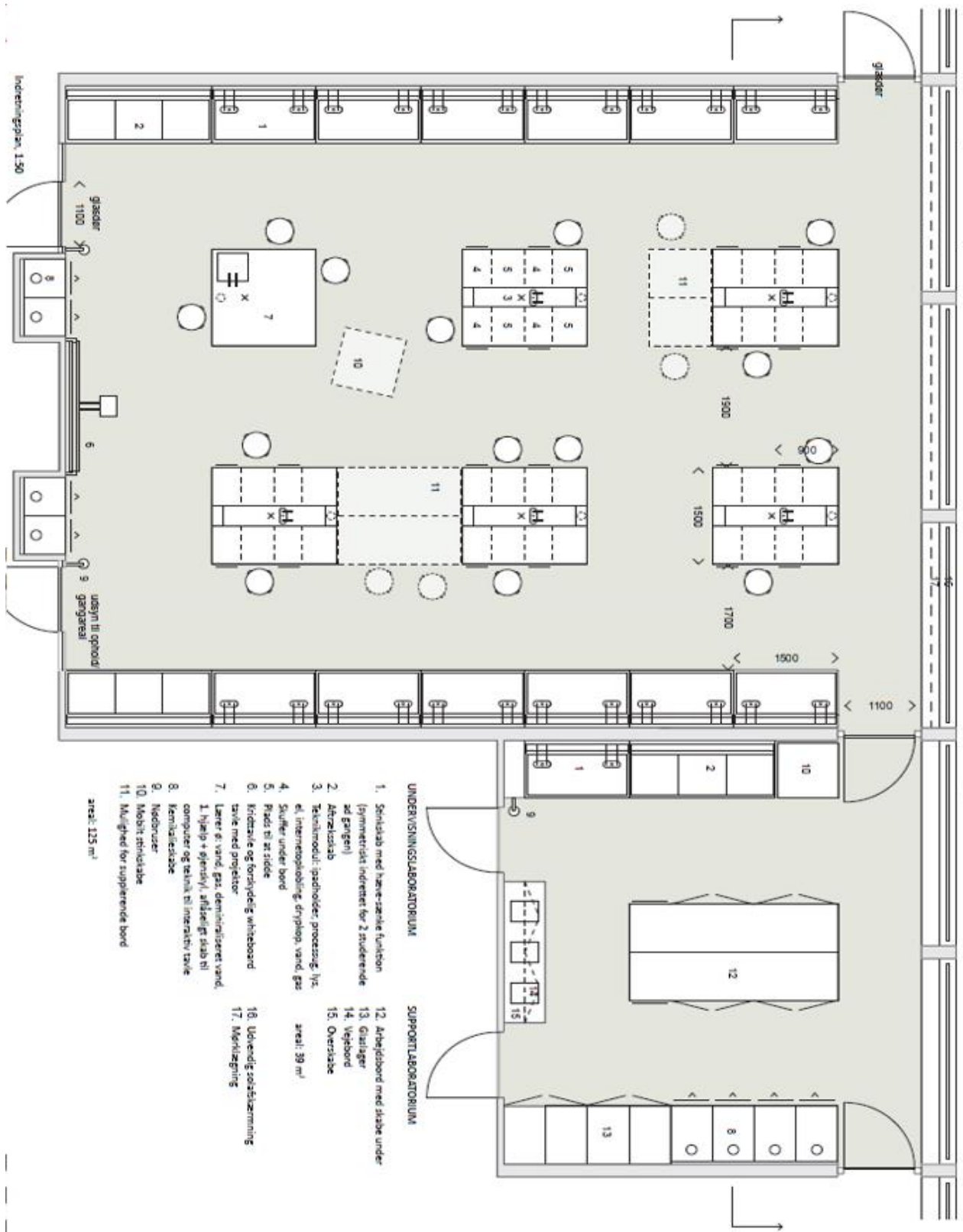
Vedlegg 1. DTU Kjemii bygg 211



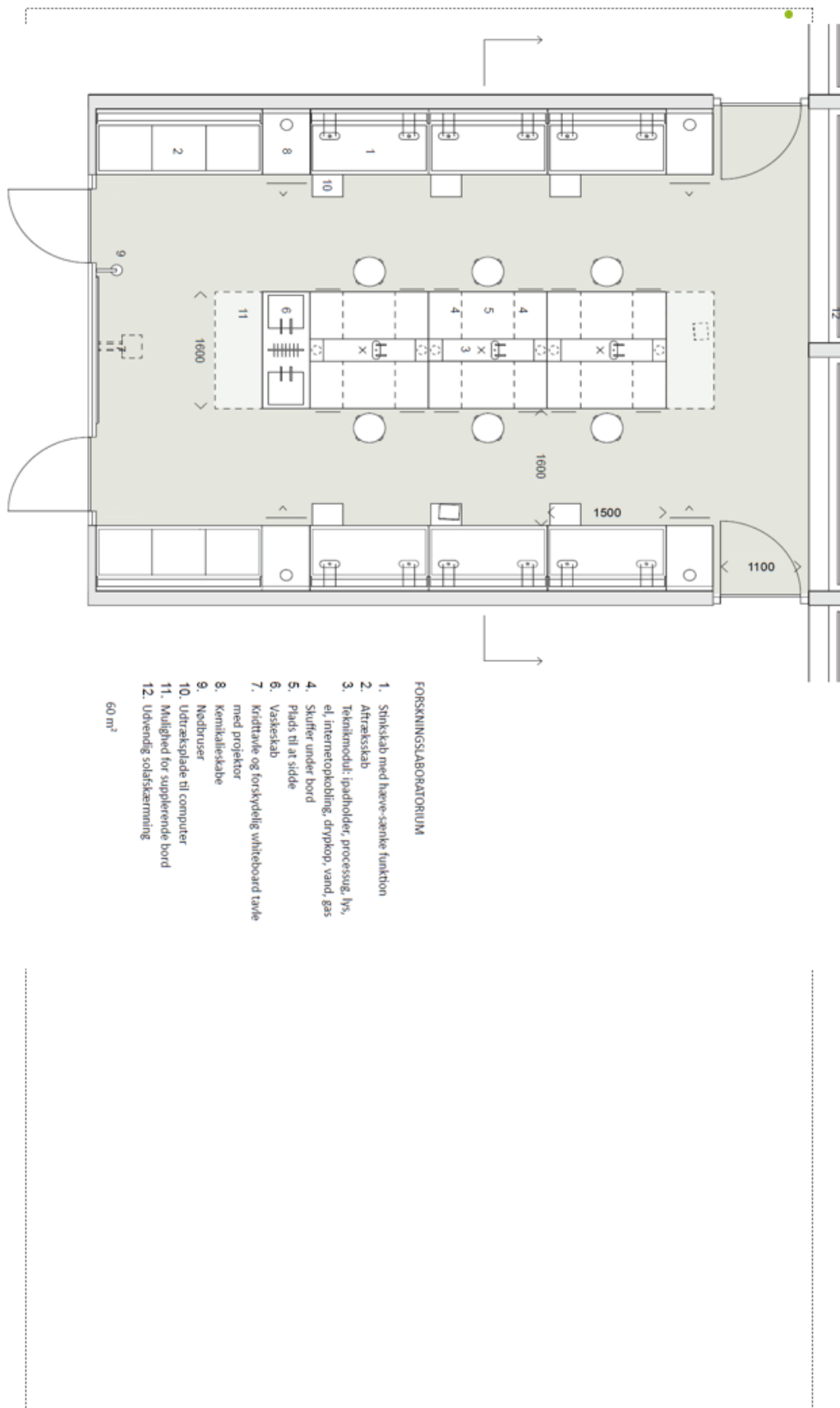
Figur 1 – Undervisningslaboratoriet ved DTU ("Bygning 211 - Kemilaboratorier," 2016)



Figur 2 – Forskningslaboratoriet ved DTU ("Bygning 211, DTU Kemi," 2016)



Figur 3 – Eksempel på undervisningslaboratorium ved DTU (UiO - Livsvitenskapsbygget. Tekniske løsninger - Kemi, 2014)



Figur 4 – Eksempel på forskningslaboratorium ved DTU (*UiO - Livsvitenskabsbygget. Tekniske løsninger - Kemi, 2014*)

Vedlegg 2. Datablad DRI tilluftsventil (Swegon, 2016)



SNABBFAKTA

- Omställbar spridningsbild och närzon
- Passar alla typer av lokaler
- Rensbart
- Mätuttag
- Mycket lätt att fälla in i vägg
- Inga synliga skruvar
- Finns i alternativa färger

DRI	LUFTFLÖDE - LJUDNIVÅ					
	25 dB(A)		30 dB(A)		35 dB(A)	
Storlek	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h
200	220	792	265	954	315	1134
250	340	1224	400	1440	480	1728
315	515	1854	610	2196	720	2592
400	790	2844	930	3348	1100	3960
200-600	610	2196	725	2610	860	3096
250-800	840	3024	980	3528	1150	4140

Ljudnivå gäller vid 150 m² ekvivalent ljudabsorptionsarea och 2 m från donet.
 Alla värden gäller vid raksträcka utan störning på anslutande kanal.

Teknisk beskrivning

Utförande

DRI är ett komplett plant rektangulärt låghastighetsdon för placering på golv, vägg eller i tak. Stommen består av ett ryggstycke med sido-, topp- och bottenplåtar, samt en luftfördelningsplåt som är utrustad med ett antal vridbara fördelningsplattor i plast (polypropen-PP). Topplåten har en cirkulär inloppsmuff för storlek 200 t o m 400. Storlek 200-600 resp 250-800 har rektangulär anslutningsstos.

Fördelningsplåten har en inspektionslucka för åtkomlighet av kanalsystemet. På donets framsida sitter en eller flera perforerade frontplåtar monterade.

Storlek 200 och 250 är utrustade med en frontplåt. Denna kan demonteras utan verktyg. Storlek 315, 400, 200-600 och 250-800 är utrustade med två frontplåtar. Dessa är skruvade mot donstommen. Skruvfästningen är dold bakom en demonterbar list av aluminium.

Vitlackerade vinkelister för infästning alternativt infällning av donet medföljer.

Material och ytbehandling

Luftdonet är utfört i förzinkad stålplåt samt aluminiumprofiler och är utvändigt lackerat i vår vita standardfärg, RAL 9003/NC S 0500-N. Donet går även att få i alternativa standardfärger; Matt grå RAL 7037, vit aluminium RAL 9006, beck svart RAL 9005, grå aluminium RAL 9007 samt vit RAL 9010.

Anpassning

Förutom standardstorlekarna kan don med specialmått, extra förstärkt utförande etc levereras. Kontakta närmaste säljkontor för information.

Projektering

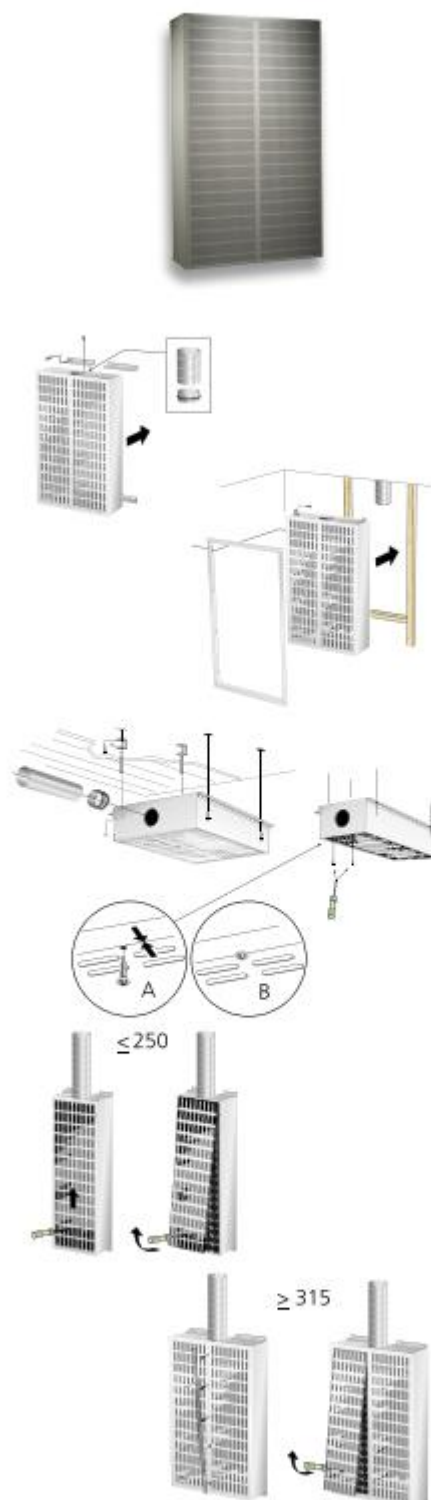
Med hjälp av de vridbara luftriktarna bakom frontplåten är det möjligt att ändra på närzonens utbredning utan att luftflöde, tryckfall och ljudnivå ändras. Denna flexibilitet förenklar eventuella framtida förändringar i rumsmöblering etc.

Observera att dimensioneringsdiagrammen anger data vid 150 m² ekvivalent absorptionsarea. Detta gör att inloppshastigheterna i donet blir relativt höga. Extra hänsyn måste tas till hur man kanalsluter donen utan att få extra ljudtillskott. Se figur 3.

Montering

Donet skruvas fast mot vägg med hjälp av vinkelister. Vid takmontage används pendlar eller montageband för att fixera donet mot byggnadsstommen. Vid infällt montage används vinkelisterna som en ram runt donet för att täcka håltagningen.

Vid takmontage skall frontplåten säkras med skruv. Gäller endast storlekarna 200 och 250.



Figur 1. Montering.

Injustering

För don med storlek ≤ 250 är mätuttag placerat på kanten av donets front (ta ut plastplugg), för don med storlek ≥ 315 är mätslang placerad bakom dekorlist. K-faktor finns på donets produktmärkning samt också i gällande injusteringsanvisning som finns på www.swegon.com.

För att justera luftflödet rekommenderas att använda mät- och injusteringsspjäll. Detta skall placeras minst 3-4 kanaldiametrar före donets inlopp.

Skötsel

Luftdonet rengörs vid behov med ljummet vatten och diskmedel alternativt dammsugare och borstmunstycke. Kanalsystemet nås genom att frontplåten samt fördelningsplåtens inspektionslucka demonteras.

Miljö

Byggvarudeklaration finns på www.swegon.com.

Dimensionering

- Ljudnivå dB(A) gäller för rum med 150 m² ekvivalent ljudabsorptionsarea och mätt 2 m från donet samt vid raksträcka utan störning på anslutande kanal.
- Rekommenderad max undertemperatur 6 K.
- För beräkning av luftstrålens utbredning, lufthastigheter i vistelsezonen, eller ljudnivåer i rum med andra dimensioner hänvisas till våra beräkningsprogram som finns på www.swegon.com.

Ljuddata

DRI

Ljudeffektnivå L_w (dB) (150 m² Sabine)

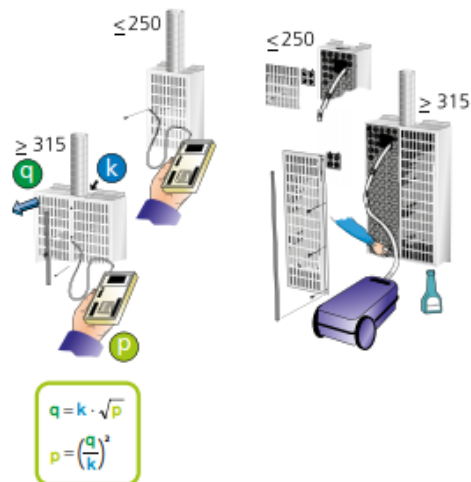
Tabell K_{OK}

Storlek DRI	Mittfrekvens (oktavband) Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
200	14	18	17	14	11	5	-2	-10
250	15	19	18	14	10	4	-2	-6
315	18	18	16	14	12	6	0	-8
400	17	19	18	15	10	4	-3	-7
200-600	17	18	18	15	10	4	-6	-11
250-800	17	19	19	15	9	1	-11	-11
Tol. ±	2	2	2	2	2	2	2	2

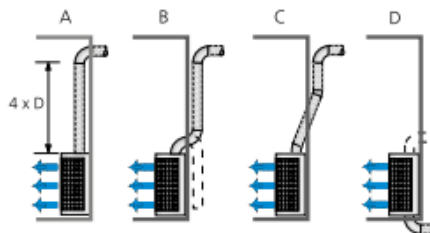
Ljuddämpning ΔL (dB) (150 m² Sabine)

Tabell ΔL

Storlek DRI	Mittfrekvens (oktavband) Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
200	17	12	6	2	2	3	5	4
250	15	10	5	2	2	3	4	5
315	14	9	4	1	0	1	2	2
400	13	6	4	1	1	1	1	1
200-600	10	4	1	0	0	0	0	0
250-800	9	3	1	0	0	0	0	0
Tol. ±	2	2	2	2	2	2	2	2



Figur 2. Injustering. Skötsel.



Figur 3. Exempel på hur olika anslutningar till don påverkar ljudalstringen, se tabell.

Tabell 1 – Kanalanslutningar

Ljudpåverkan (dB) vid olika kanalanslutningar och olika lufthastigheter i anslutande kanal.

v (m/s)	Kanalanslutningar (dB)			
	A	B	C	D
4 - 5	+2	+6	+3	+3
6 - 8	+4	+10	+6	+6

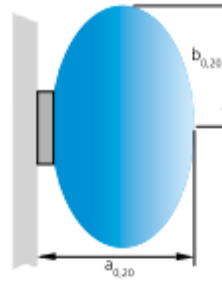
DRI

Dimensioneringsdiagram

DRI

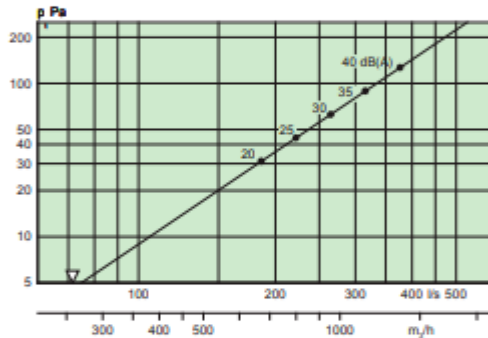
Luftflöde – Tryckfall – Ljudnivå – Närzon

- Diagrammen anger data för ljudnivå med 150 m² ekvivalent rumsabsorptionsarea och 2 m från donet samt vid raksträcka utan störning på anslutande kanal. Se figur 3 för ljudtillskott vid alternativa kanalanslutningar.
- Vid 10 m² ekvivalent rumsabsorptionsarea och 2 m från donet ökar ljudnivån med ca 10 dB(A).
- Närzon avser don monterat mot vägg, 100 mm från golv. Närzonsavståndet gäller isovelgränsen 0,2 m/s vid $\Delta t = 3 \text{ K}$.
- Diagrammen skall ej användas för injustering.
- ∇ = Min flöde för att erhålla tillräckligt injusteringstryck.
- dB(C) värdet ligger normalt 6-9 dB högre än dB(A) värdet.
- För $\Delta t = 6 \text{ K}$ ökas måtten $a_{0,20}$ och $b_{0,28}$ med ca 20%.

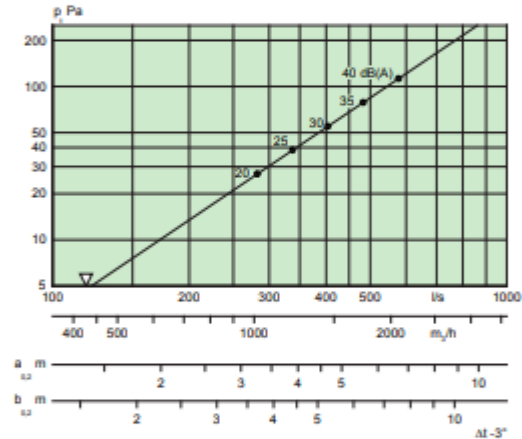


Figur 4. Närzon.

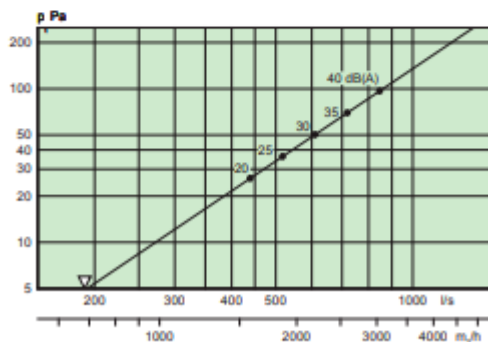
DRI 200 (150 m² Sabine)



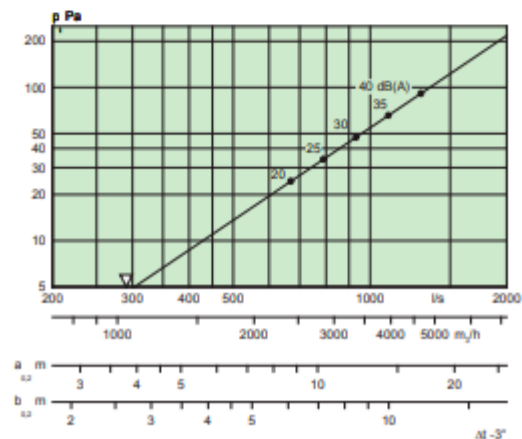
DRI 250 (150 m² Sabine)



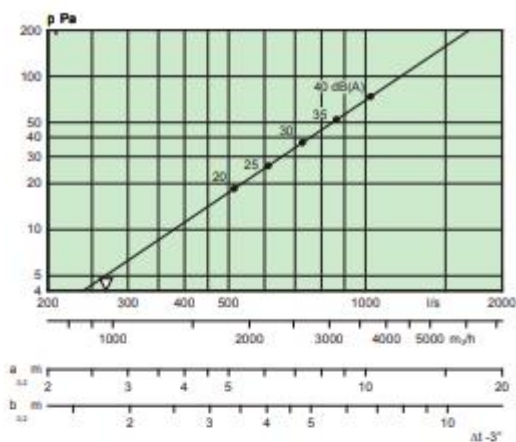
DRI 315 (150 m² Sabine)



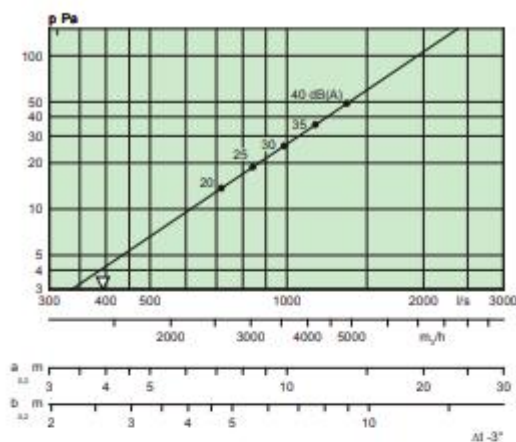
DRI 400 (150 m² Sabine)



DRI 200-600 (150 m² Sabine)



DRI 250-800 (150 m² Sabine)

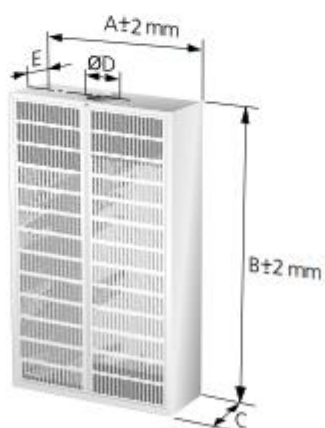


Mått och vikt

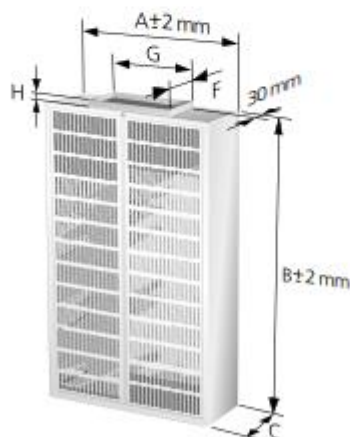
DRI

Storlek	Mått (mm)							Vikt (kg)
	A	B	C	ØD	E	F x G	H	
200	590	1190	300	200	115	-	0	23
250	590	1990	350	250	140	-	0	41
315	1190	1990	415	315	173	-	0	78
400	1190	1990	500	400	215	-	0	81
200-600	1190	1990	300	-	-	200 x 600	55	73
250-800	1190	1990	350	-	-	250 x 800	75	75

DRI med cirkulär kanalslutning har inåtgående muffanslutning.



Figur 5. DRI 200 – 400.



Figur 6. DRI 200-600, 250-800.

DRI

Specifikation

Produkt

Rektangulärt låghastighetsdon med cirkulär anslutning DRI f -aaa

Version:

Storlek: 200, 250, 315, 400

Rektangulärt låghastighetsdon med rektangulär anslutning DRI f -aaa -bbb

Version:

Storlek: 200-600, 250-800

Beskrivningstext

Exempel på beskrivningstext enligt VVS AMA.

TD XX

Swegons rektangulära låghastighetsdon VARIZON® typ DRI, med följande funktioner:

- Omställbar spridningsbild och närzon
- Utbytbara frontsektioner
- Igensättningsfri
- Fast mätuttag
- Rensbart
- Täcklistor för infällt montage
- Pulverlackerad vit, RAL 9003/NCS S 0500-N

Storlek: DRIf aaa - bbb xx st

Vedlegg 3. Utdrag Teknisk katalog. EuroAir Tekstilkanal (EuroAir, Årstall ikke kjent)

Tabell 1 - Romkategorier

Rum katagorier

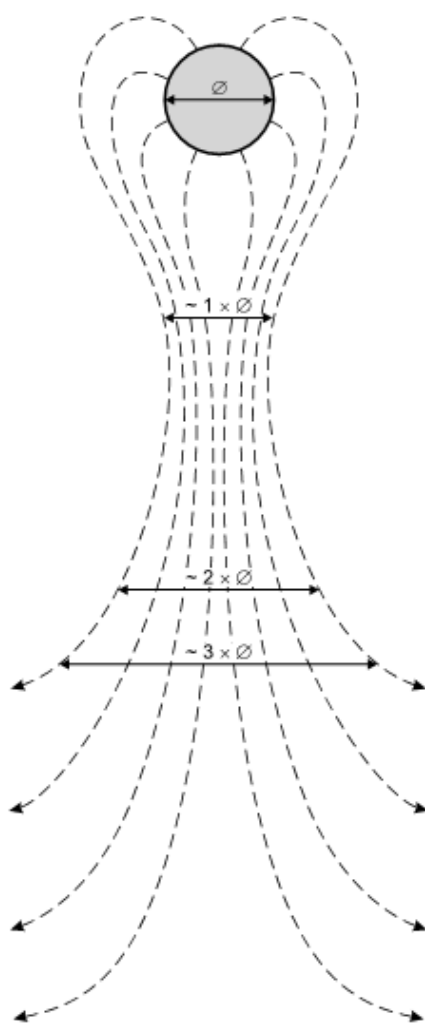
	Rum kategori 1	Rum kategori 2	Rum kategori 3
Aktivitetsniveau i opholdszonen	Stationær. Stående eller siddende	Ikke stationær, Let til middel aktivitet	Ikke stationær, Middel til højt aktivitetsniveau
Anbefalet maksimal lufthastighed i opholdszonen [m/s]	< 0,15	< 0,2	> 0,2
Anbefalet maksimal køleydelse [Watt / lbm kanal] [Watt / m ² gulvareal] (Sensibel køleydelse)	250 - 350 150	500 - 750 250	> 750 > 250
ΔT max [K]	< 3	3 - 8	> 8
Afgangshastighed, ved posens periferi [m/s]	< 0,1	< 0,15	> 0,15
Maksimal luftmængde [m ³ / h / lbm kanal]	300	800	> 800
Påklædning / isolans [clo]	Alm. indendørs beklædning: skjorte, bukser, sokker, sko (0,7)	Alm. arbejdstøj: Kedeldragt eller overalls, bluse, kraftige sokker (1,0)	Kraftigt arbejdstøj: Termokedeldragt, kraftige sokker, hovedbeklædning (ca. 1,8)

Dimensionering, skema 1

Det karakteristiske strømingsbillede

Illustrationen nedenfor viser det typiske strømingsbillede under en Euro Air kanal. Både hastighed i opholdszonen, samt det generelle strømingsbillede påvirkes af den valgte rumkategori, dvs. indirekte af $\Delta t_{\text{indblæsning}}$ samt køleydelse pr. lbm kanal.

$$v_s = v_{\text{OA}} \times F \quad [\text{m/s}]$$



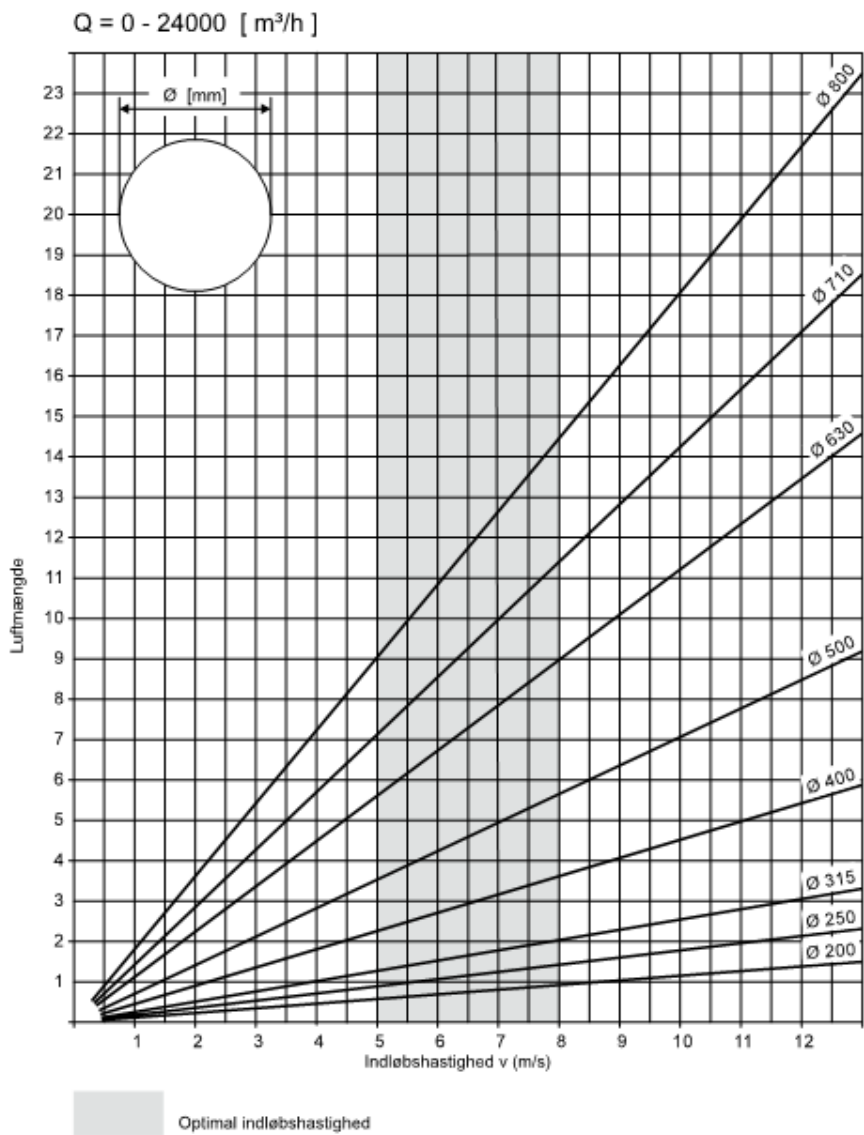
v_s = Lufthastighed i opholdszonen
 v_{OA} = Hastighed ud af tekstil
 F = Lufthastighedsfaktor

Afstand	Zone	Lufthastighedsfaktor F		
		Rum kategori		
		I	II	III
~ 0,5 × Ø	Fortrængningsområde	1 to 1,25	1 to 1,5	1 to 2
1 × Ø				
~ 1,5 × Ø				
~ 2,5 × Ø	Kerneområde	1,25 to 1,5	1,5 to 2,5	2 to 4
~ 4 × Ø	Opholdszone	1,5 to 2	2,5 to 3	>4

Figur 1 – Karakteristisk Strømingsprofil tekstilkanal.

Dimensionering, skema 4

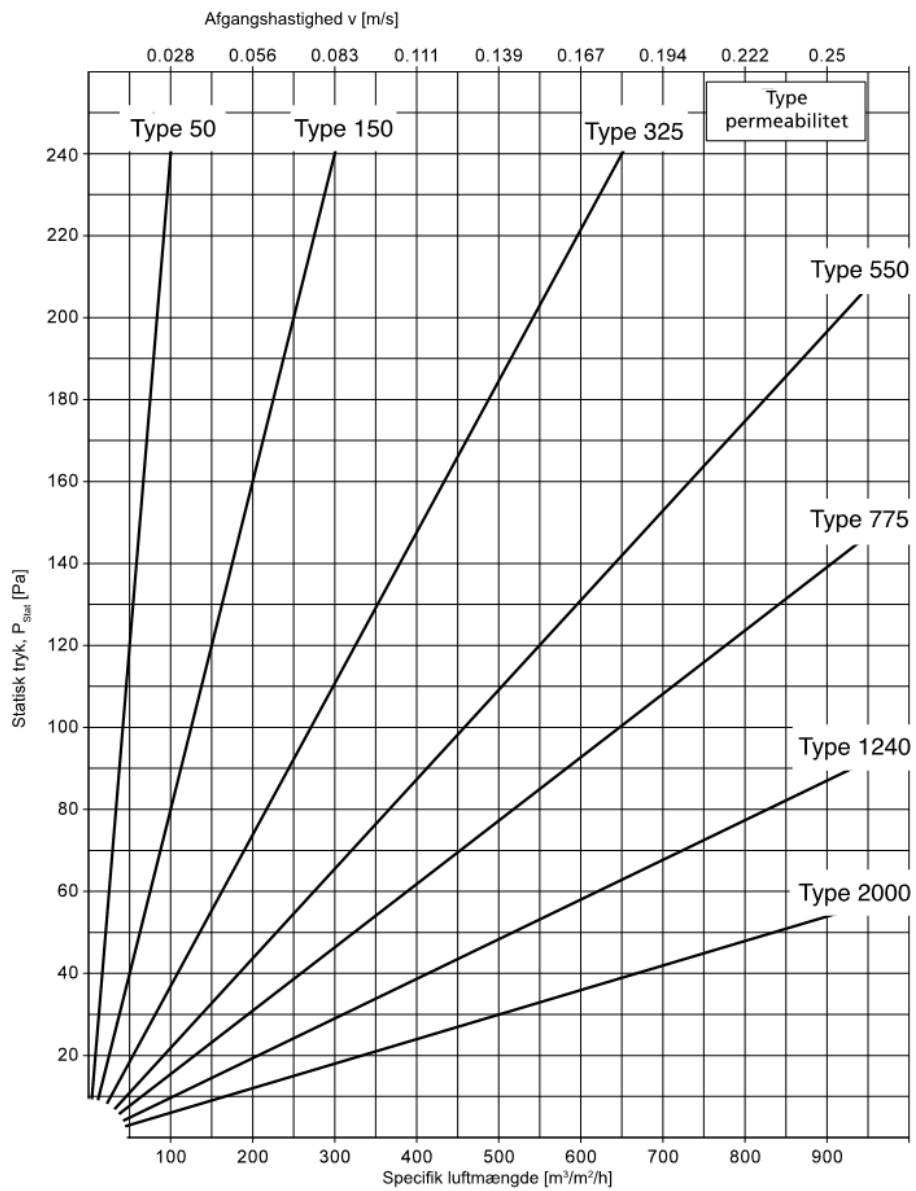
Valg af diameter, rund kanal



Figur 2 – Valg av diameter.

Dimensionering, skema 6

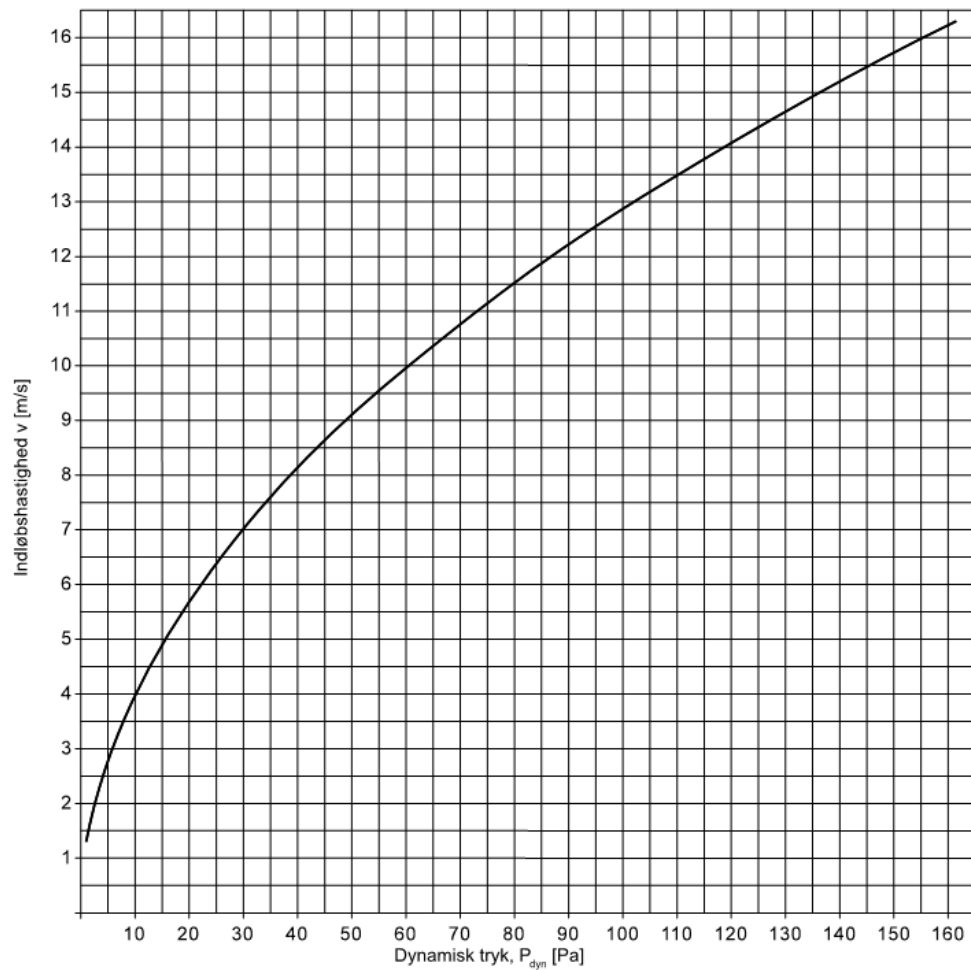
Valg af permeabilitet



Figur 3 – Valg av permeabilitet.

Dimensionering, skema 7

Dynamisk tryk, som funktion af indløbshastighed



Figur 4 – Avlesning av dynamisk trykk som funksjon av kanalhastighet.

Vedlegg 4. Teoretisk beregning tekstilposeventilasjon

Forskningslab konsept 1 (100 % samtidighet): 0,36 m/s

$$\frac{2581 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{\frac{550 \text{m}^3}{\text{hm}}} = 4,7 \text{ m} \Rightarrow 5 \text{ m}$$

Ø400 kanal:

$$\frac{\left(\frac{2581 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}\right)}{\pi(0,2^2)} = 5,7 \text{ m/s (innenfor optimalt område i fht figur 2, vedlegg x)}$$

Fra figur 4, vedlegg x: $P_{\text{dyn}} = 18 \text{ Pa}$

Finne kanalens egnede permeabilitet:

$$A_{\text{overflate}} = 5 \times 0,400 \times 3,14 = \mathbf{6,28 \text{ m}^2}$$

Spesifikk luftmengde per m^2 stoff:

$$= 2581 \text{ m}^3/\text{h} / 6,28 \text{ m}^2 = \mathbf{411 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2}$$

100 Pa til rådighet – 18 pa = 82 Pa statisk trykk

Fra figur 3, vedlegg x: Type 775 = 64 Pa statisk trykk

Samlet trykktap = 18 + 64 pa = 82 Pa

Utløpshastighet:

$$\frac{\left(\frac{2581 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}\right)}{6,28 \text{m}^2} = \mathbf{0,124 \text{ m/s}}$$

Hastigheter:

Fortrengningsområde: 0,114 x 1,00 = 0,114 m/s

Kjerneområde: 0,114 x 1,25 = 0,142 m/s

Oppholdssone: 0,114 x 1,50 = 0,171 m/s

Forskningslab konsept 1 (100 % samtidighet): 0,5 m/s

$$\frac{3509 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{\frac{550 \text{m}^3}{\text{hm}}} = 6,38 \text{ m} \Rightarrow 5,0 \text{ m}$$

Ø500 kanal:

$$\frac{\left(\frac{3509 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}\right)}{\pi(0,20^2)} = 7,76 \text{ m/s} \text{ (innenfor optimalt område i fht figur 2, vedlegg x)}$$

Fra figur 4, vedlegg x: $P_{\text{dyn}} = 37 \text{ Pa}$

Finne kanalens egnede permeabilitet:

$$A_{\text{overflate}} = 5,0 \times 0,400 \times 3,14 = \mathbf{6,28 \text{ m}^2}$$

Spesifikk luftmengde per m^2 stoff:

$$= 3509 \text{ m}^3/\text{h} / 6,28 \text{ m}^2 = \mathbf{558 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2}$$

100 Pa til rådighet – 37 pa = 63 Pa statisk trykk

Fra figur 3, vedlegg x: Type 1240 = 54 Pa statisk trykk

Samlet trykktap = 37 + 54 pa = 91 Pa

Utløpshastighet:

$$\frac{\left(\frac{3509 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}\right)}{6,28 \text{m}^2} = \mathbf{0,155 \text{ m/s}}$$

Hastigheter:

Fortrengningsområde: $0,155 \times 1,00 = 0,155 \text{ m/s}$

Kjerneområde: $0,155 \times 1,25 = 0,194 \text{ m/s}$

Oppholdssone: $0,155 \times 1,50 = 0,232 \text{ m/s}$

Forskningslab konsept 1 (72 % samtidighet): 0,50 m/s

$$\frac{2654 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{\frac{550 \text{m}^3}{\text{hm}}} = 4,82 \text{ m} \Rightarrow 5 \text{ m}$$

Ø400 kanal:

$$\frac{\left(\frac{2654 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}\right)}{\pi(0,2^2)} = \mathbf{5,9 \text{ m/s}}$$
 (innenfor optimalt område i fht figur 2, vedlegg x)

Fra figur 4, vedlegg x: $P_{\text{dyn}} = 18 \text{ Pa}$

Finne kanalens egnede permeabilitet:

$$A_{\text{overflate}} = 5,0\text{m} \times 0,400\text{m} \times 3,14 = \mathbf{6,28 \text{ m}^2}$$

Spesifikk luftmengde per m^2 stoff:

$$= 2654 \text{ m}^3/\text{h} / 6,28 \text{ m}^2 = \mathbf{422 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2}$$

100 Pa til rådighet – 23 pa = 77 Pa statisk trykk

Fra figur 3, vedlegg x: Type 775 = 64 Pa statisk trykk

Samlet trykktap = 23 + 64 pa = 87 Pa

Utløpshastighet:

$$\frac{\left(\frac{2654 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}\right)}{6,28 \text{m}^2} = \mathbf{0,117 \text{ m/s}}$$

Hastigheter:

Fortrengningsområde: 0,117 x 1,00 = 0,117 m/s

Kjerneområde: 0,117 x 1,25 = 0,146 m/s

Oppholdssone: 0,117 x 1,50 = 0,175 m/s

Undervisnings lab konsept 1 (100 % samtidighet): 0,36 m/s

$$\frac{3243 \frac{m^3}{h}}{\frac{550 m^3}{hm}} = 5,89 \text{ m} \Rightarrow 6 \text{ m}$$

Ø400 kanal:

$$\frac{\left(\frac{3243 \frac{m^3}{h}}{3600 \frac{s}{h}}\right)}{\pi(0,2^2)} = 7,2 \text{ m/s (innenfor optimalt område i fht figur 2, vedlegg x)}$$

Fra figur 4, vedlegg x: $P_{\text{dyn}} = 35 \text{ Pa}$

Finne kanalens egnede permeabilitet:

$$A_{\text{overflate}} = 6,0 \text{ m} \times 0,400 \text{ m} \times 3,14 = 7,53 \text{ m}^2$$

Spesifikk luftmengde per m^2 stoff:

$$= 3243 \text{ m}^3/\text{h} / 7,53 \text{ m}^2 = 430 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$$

100 Pa til rådighet – 33 pa = 67 Pa statisk trykk

Fra figur 3, vedlegg x: Type 775 = 67 Pa statisk trykk

Samlet trykktap = 33 + 67 pa = 100 Pa

Utløpshastighet:

$$\frac{\left(\frac{3243 \frac{m^3}{h}}{3600 \frac{s}{h}}\right)}{7,53 \text{ m}^2} = 0,119 \text{ m/s}$$

Hastigheter:

Fortrengningsområde: $0,119 \times 1,00 = 0,119 \text{ m/s}$

Kjerneområde: $0,119 \times 1,25 = 0,149 \text{ m/s}$

Oppholdssone: $0,119 \times 1,50 = 0,178 \text{ m/s}$

Undervisnings lab konsept 1 (100 % samtidighet): 0,50 m/s

$$\frac{4505 \frac{m^3}{h}}{\frac{550m^3}{hm}} = 8,2 \text{ m} \Rightarrow 6,0 \text{ m}$$

Ø500 kanal:

$$\frac{\left(\frac{4505 \frac{m^3}{h}}{3600 \frac{s}{h}}\right)}{\pi(0,25^2)} = 6,4 \text{ m/s (innenfor optimalt område i fht figur 2, vedlegg x)}$$

Fra figur 4, vedlegg x: $P_{\text{dyn}} = 28 \text{ Pa}$

Finne kanalens egnede permeabilitet:

$$A_{\text{overflate}} = 6,0\text{m} \times 0,500\text{m} \times 3,14 = 9,42 \text{ m}^2$$

Spesifikk luftmengde per m^2 stoff:

$$= 4505 \text{ m}^3/\text{h} / 9,42 \text{ m}^2 = 478 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$$

100 Pa til rådighet – 28 pa = 72 Pa statisk trykk

Fra figur 3, vedlegg x: Type 775 = 73 Pa statisk trykk

Samlet trykktap = 28 + 73 pa = 101 Pa

Utløpshastighet:

$$\frac{\left(\frac{4505 \frac{m^3}{h}}{3600 \frac{s}{h}}\right)}{9,42 \text{ m}^2} = 0,133 \text{ m/s}$$

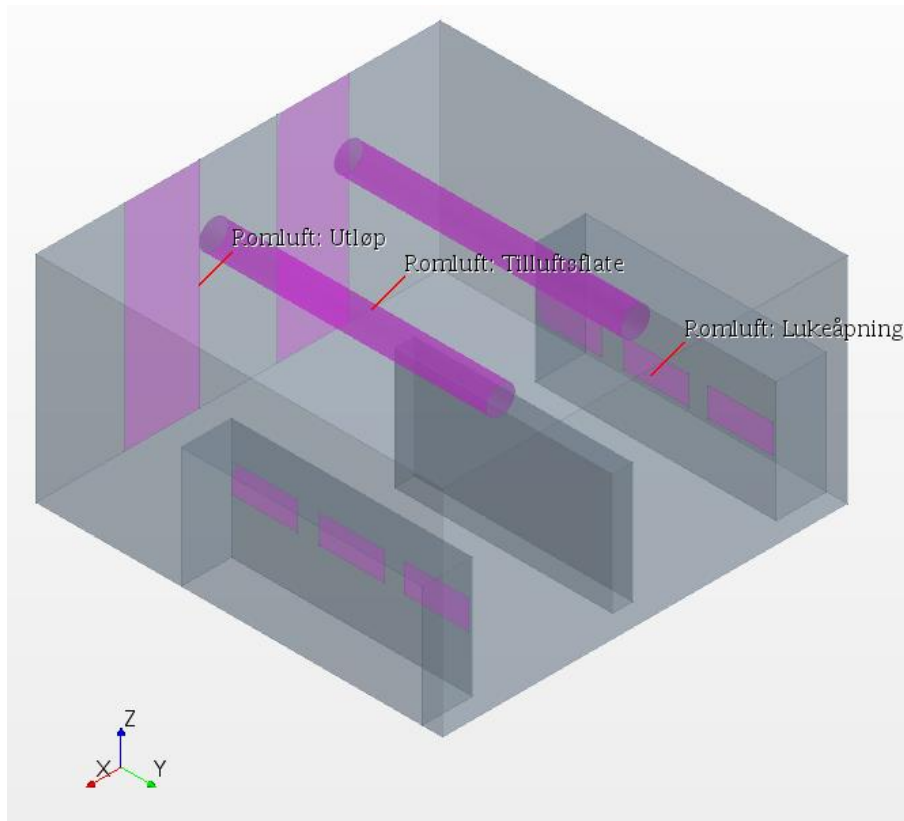
Hastigheter:

Fortrengningsområde: $0,133 \times 1,00 = 0,133 \text{ m/s}$

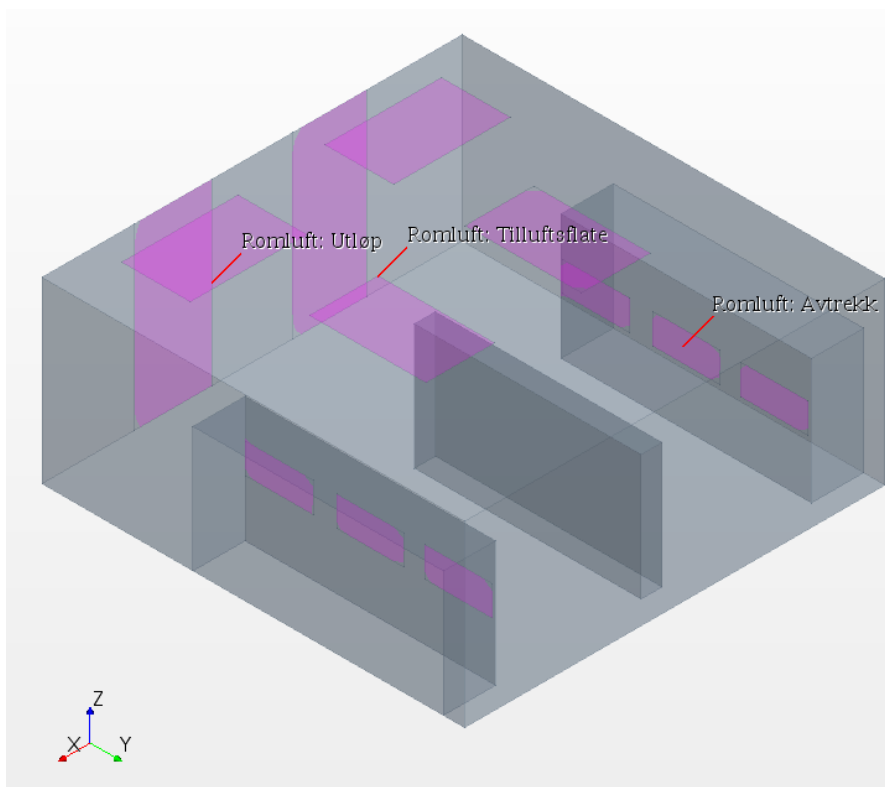
Kjerneområde: $0,133 \times 1,25 = 0,166 \text{ m/s}$

Oppholdssone: $0,133 \times 1,50 = 0,199 \text{ m/s}$

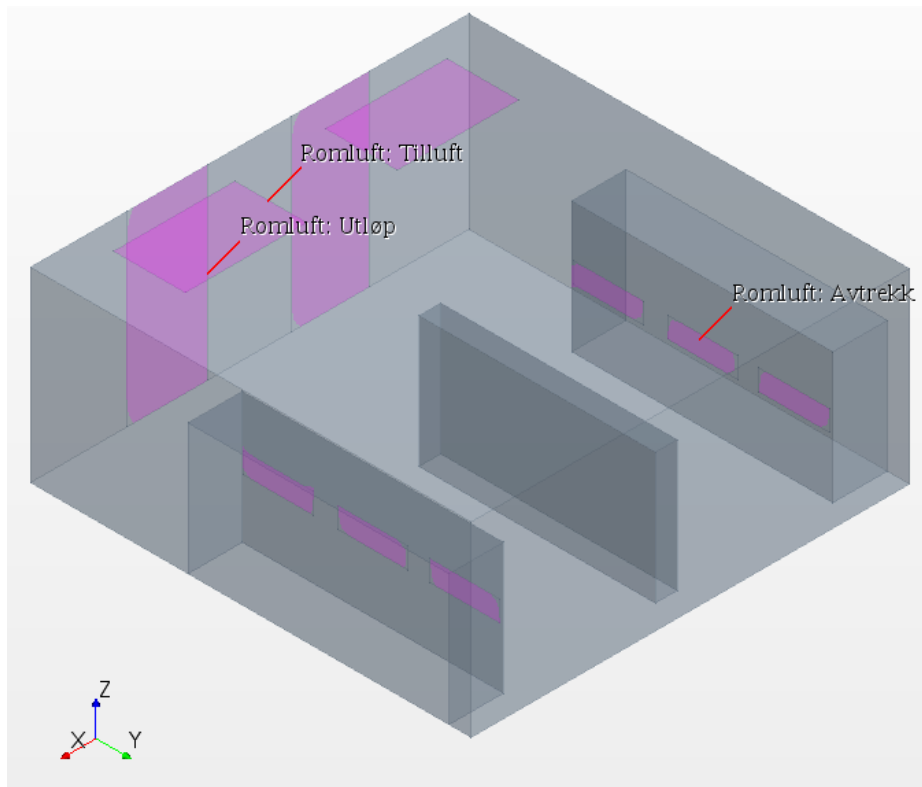
Vedlegg 5. Romløsninger i Star CCM+ for simulering



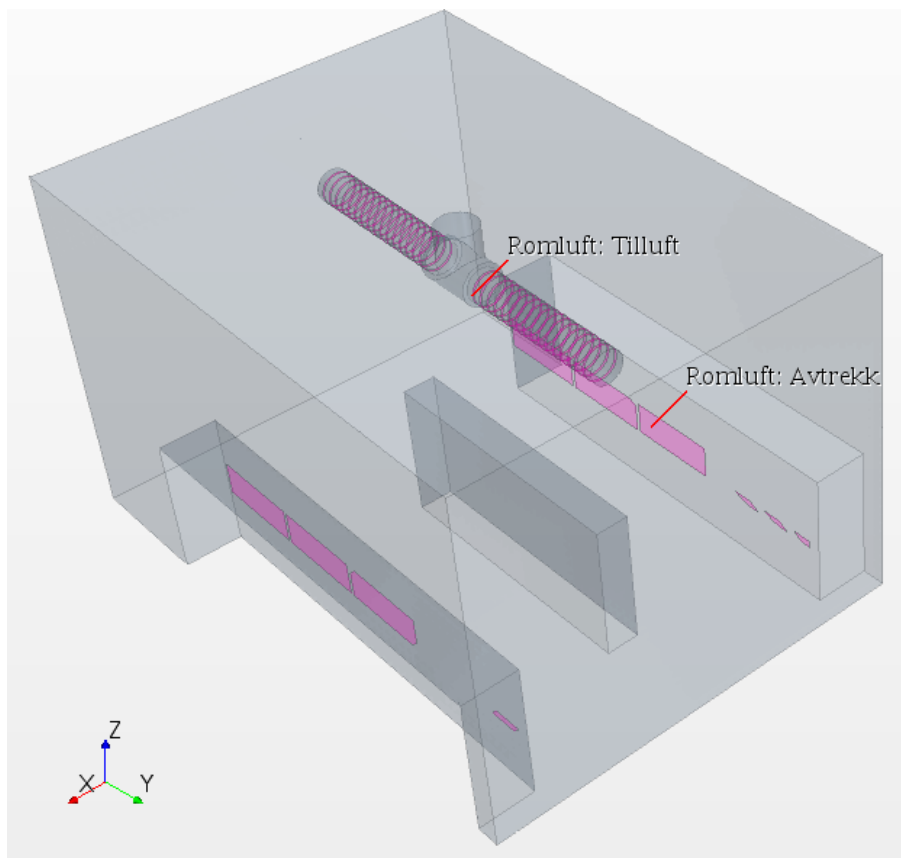
Figur 1 – Romløsning forskningslab konsept 1 med tekstilkanaler i Star CCM+.



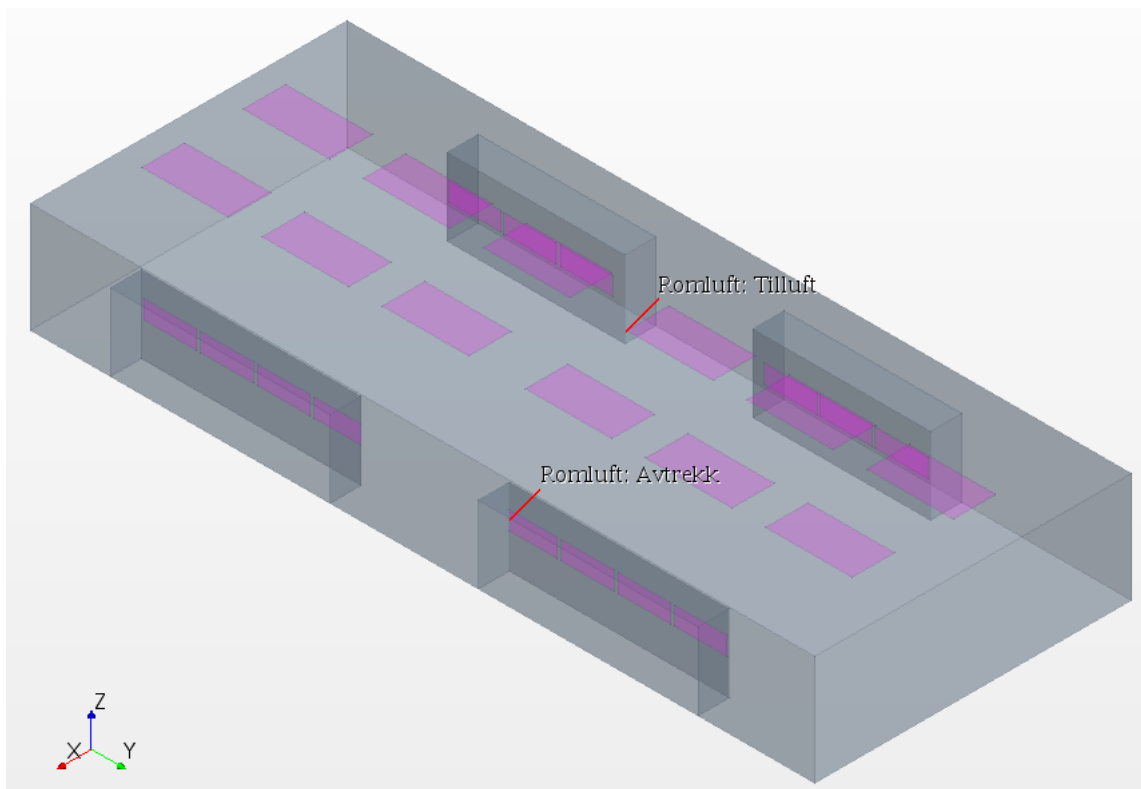
Figur 2 – Romløsning forskningslab konsept 1 med fire DRI tilluftsventiler i Star CCM+.



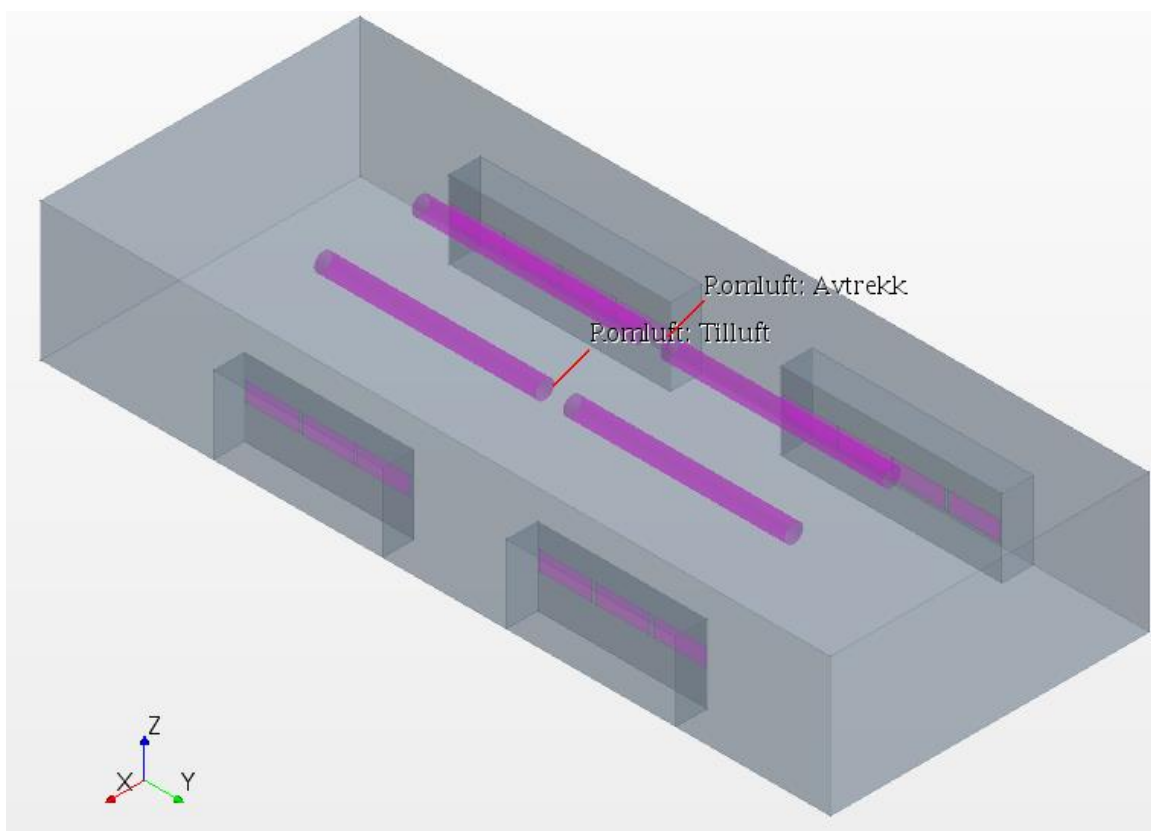
Figur 2 – Romløsning forskningslab konsept 1 med to DRI tilluftsventiler i Star CCM+.



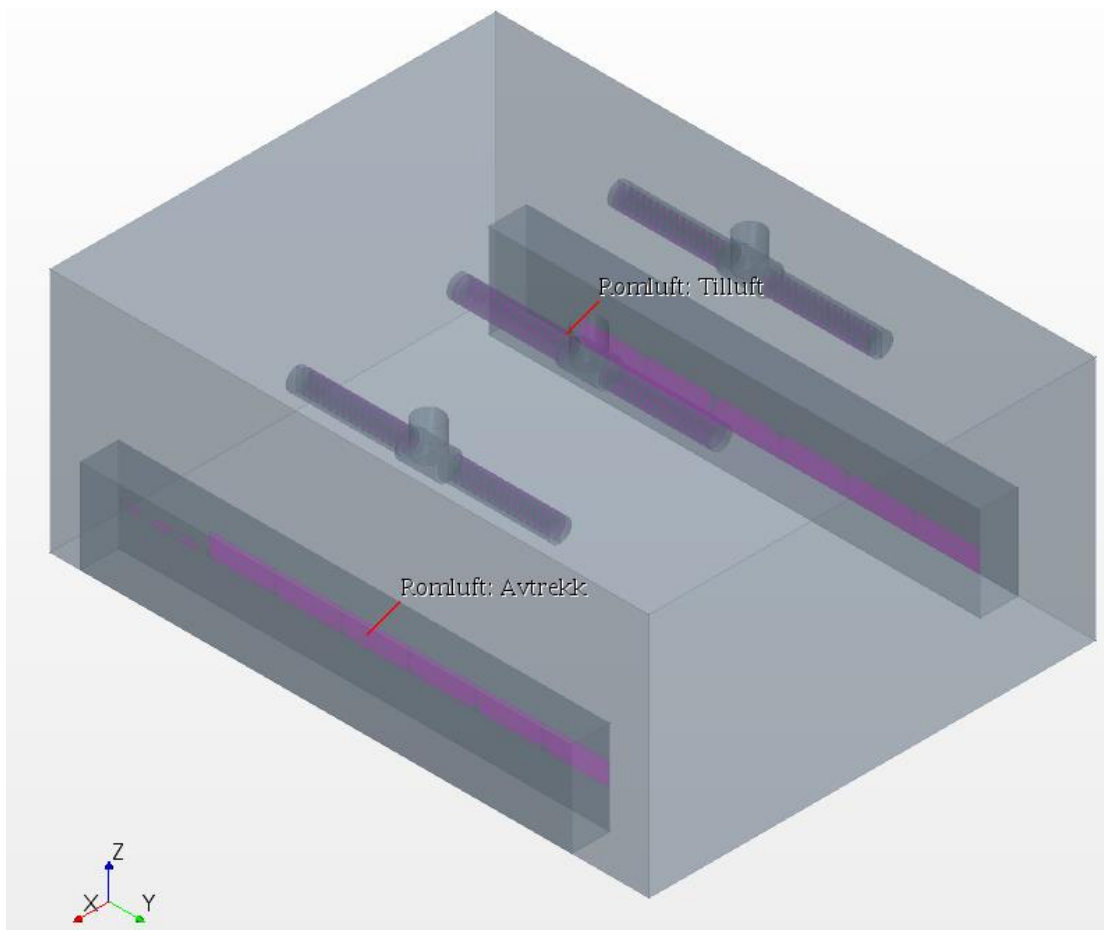
Figur 4 – Romløsning forskningslab konsept 2 med perforert dysekanal i Star CCM+.



Figur 5 – Romløsning undervisningslab konsept 1 med DRI tilluftsventiler i Star CCM+.



Figur 6 – Romløsning undervisningslab konsept 1 med tekstilkanaler i Star CCM+.



Figur 7 – Romløsning undervisningslab konsept 2 med perforert dysekanal i Star CCM+.

Vedlegg 6. Romreguleringsutstyr

VAV-enhet Type TVLK benyttet for avtrekkskap (Trox Auranor, 2015)

1



Enkel rengjøring av sensorer



Variant med måledyse og rund anslutning



Variant med målebaffel



For alle oppstrømsforhold



Testet i henhold til VDI 6022

VAV-enheter Type TVLK



Optimalisert for bruk i laboratorier og på avtrekkskap

Runde VAV-enheter av plast for aggressiv avtrekksluft i laboratorier og produksjonsanlegg

- Kapsling og spjeldblad av flammesikkert polypropylen
- Kompakt konstruksjon, bare 400 mm lang
- Høy reguleringsnøyaktighet selv ved ugunstige oppstrømsforhold
- Kombinasjon med hurtiggående aktuatorer (luftstyringssystemer)
- Måling av luftmengde med målebaffel eller måledyse
- Uttrekbare sensorer for enkel rengjøring
- Luftlekkasje stengt spjeld i henhold til EN 1751, klasse 4
- Luftlekkasje kapsling i henhold til EN 1751, klasse C

Tilleggsdeler og tilbehør

- Med flens i begge ender
- Sekundær lydtemper i plast type CAK for reduksjon av luft regenerert støy

Tekniske data

Nominelle størrelser	250 mm
Luftmengdeområde	30–515 l/s eller 108–1854 m ³ /h
Reguleringsområde luftmengde	Ca. 15–100 % av nominell luftmengde
Minimum differansetrykk	5–130 Pa
Maksimum differansetrykk	1000 Pa
Driftstemperatur	10–50 °C

VAV terminal units Type TVR



Universal controller



Compact controller



Easy controller



Tested to VDI 6022



For the most diverse applications regarding standard volume flow rate ranges

Circular VAV terminal units for standard applications regarding the supply air or extract air control in variable air volume systems

- Suitable for the control of volume flow rate, room pressure or duct pressure
- Electronic control components for different applications (Easy, Compact, Universal, and LABCONTROL)
- High control accuracy even with upstream bend ($R = 1D$)
- Suitable for airflow velocities up to 13 m/s
- Closed blade air leakage to EN 1751, up to class 4
- Casing air leakage to EN 1751, class C

Optional equipment and accessories

- Acoustic cladding for the reduction of case-radiated noise
- Secondary silencer Type CA, CS or CF for the reduction of air-regenerated noise
- Hot water heat exchanger Type WL and electric air heater Type EL for reheating the airflow

Nominal sizes	100 – 400 mm
Volume flow rate range	10 – 1680 l/s or 36 – 6048 m ³ /h
Volume flow rate control range (unit with dynamic differential pressure measurement)	Approx. 10 to 100 % of the nominal volume flow rate
Minimum differential pressure	5 – 90 Pa
Maximum differential pressure	1000 Pa
Operating temperature	10 – 50 °C

Volume flow rate ranges

The minimum differential pressure of VAV terminal units is an important factor in designing the ductwork and in rating the fan including speed control.

Sufficient duct pressure must be ensured for all operating conditions and for all control units. The measurement points for fan speed control must be selected accordingly.

The volume flow rates given for VAV terminal units

depend on the nominal size and on the control component (attachment) that is installed. The table gives the minimum and maximum values for a VAV terminal unit. Some control components may only have a limited volume flow rate range.

This applies in particular to control components with a static differential pressure transducer. For volume flow rate ranges for all control components refer to our Easy Product Finder design programme.

TVR, Volume flow rate ranges and minimum differential pressures

Nominal size	V		Δp _{st min}				ΔV ± %
	①	②	③	④			
	l/s	m ³ /h	Pa	Pa	Pa	Pa	
100	10	36	5	5	5	5	15
	40	144	15	15	20	20	8
	65	234	35	40	45	50	7
	95	342	70	85	95	105	5
125	15	54	5	5	5	5	15
	60	216	15	20	20	20	7
	105	378	45	50	55	60	6
	150	540	90	100	110	115	5
160	25	90	5	5	5	5	15
	100	360	15	15	15	15	8
	175	630	35	40	45	45	7
	250	900	70	80	85	95	5
200	40	144	5	5	5	5	15
	160	576	15	15	15	15	7
	280	1008	35	35	40	40	5
	405	1458	65	70	75	80	5
250	60	216	5	5	5	5	15
	250	900	10	10	10	15	7
	430	1548	25	25	30	35	5
	615	2214	45	50	55	65	5
315	100	360	5	5	5	5	15
	410	1476	5	10	10	10	7
	720	2592	15	20	20	20	6
	1030	3708	30	35	40	40	5
400	170	612	5	5	5	5	15
	670	2412	5	5	5	5	7
	1175	4230	15	15	15	15	6
	1680	6048	25	30	30	35	5

① TVR

② TVR with secondary silencer CS/CF, insulation thickness 50 mm, length 500 mm

③ TVR with secondary silencer CS/CF, insulation thickness 50 mm, length 1000 mm

④ TVR with secondary silencer CS/CF, insulation thickness 50 mm, length 1500 mm

CAV-enhet Type RN benyttet for avtrekkspunkter med konstante luftmengder (Trox Auranor, 2017a)

CAV-regulatorer RN



For nøyaktig regulering av konstante luftmengder

Sirkulære selvdrivne CAV-regulatorer, for regulering av tilluft eller avtrekk i konstant luftmengdesystemer

- Luftmengde kan stilles ved hjelp av en utvendig skala, uten bruk av verktøy
- Høy reguleringsnøyaktighet
- Ingen testmålinger nødvendig for igangkjøring
- Egner seg for lufthastigheter opp til 12 m / s
- Alle montasjeretninger; vedlikeholdsfrie
- Luftlekkasje i sarg iht. EN 1751, klasse C

Tilleggsutstyr og tilbehør

- Lydisolasjon for reduksjon av flankestøy
- Sekundær lydtemper type CA, CS eller CF for reduksjon av luftgenerert støy
- Varmtvanns varmeveksler type WL og elektrisk ettervarmer type EL for ettervarming av luftstrømmen
- Aktuator for veksling mellom settpunktverdiene



Aktuator for veksling mellom settpunktverdiene



Testet i henhold til VDI 6022

Nominell størrelse	80 – 400 mm
Luftmengde	11 – 1400 l/s eller 40 – 5040 m ³ /h
Reguleringsområde for luftmengde	Ca. 25 til 100 % av nominell luftmengde
Skala nøyaktighet	± 4 %
Minimum differansetrykk	50 Pa (nominell størrelse 80: 100 Pa)
Maksimalt differansetrykk	1000 Pa
Driftstemperatur	10 – 50 °C

Luftmengdeområde

Minimum differansetrykk på CAV-regulatorene er en viktig faktor i dimensjonering av kanalnettet og i beregning av viften med hastighetsregulering.

Tilstrekkelig kanaltrykk må sikres for alle driftsforhold og for alle reguleringsenheter. Målepunkter for regulering av viftehastighet må velges deretter.

RN, Luftmengdeområder og minimum differansetrykk

Nominell størrelse	①		②	③	④			ΔV ± %
	V		Pa	Pa	Δp _{at min}			
	l/s	m ³ /h			Pa	Pa	Pa	
80	11	40	100	105	105	105	20	
	20	72	100	105	105	105	15	
	40	144	100	110	115	120	10	
	45	162	100	110	120	125	8	
	22	79	50	55	55	55	10	
100	40	144	50	55	55	60	8	
	70	252	50	60	65	70	6	
	90	324	50	60	70	80	5	
	35	126	50	55	55	55	10	
125	60	216	50	55	55	55	8	
	115	414	50	60	65	70	6	
	140	504	50	60	70	80	5	
160	60	216	50	55	55	55	10	
	105	378	50	55	55	55	8	
	190	684	50	55	60	60	6	
	240	864	50	55	65	70	5	
200	90	324	50	55	55	55	10	
	160	576	50	55	55	55	8	
	300	1080	50	55	60	65	6	
	360	1296	50	55	60	65	5	
	145	522	50	55	55	55	10	
250	255	918	50	55	55	55	8	
	470	1692	50	55	60	60	6	
	580	2088	50	55	60	65	5	
	230	828	50	55	55	55	10	
315	400	1440	50	55	55	55	8	
	750	2700	50	55	60	60	6	
	920	3312	50	55	60	65	5	
400	350	1260	50	55	55	55	10	
	610	2196	50	55	55	55	8	
	1130	4068	50	55	55	55	6	
	1400	5040	50	55	55	60	5	

① RN

② RN med sekundær lydempner CS/CF, isolasjonstykkelse 50 mm, lengde 500 mm

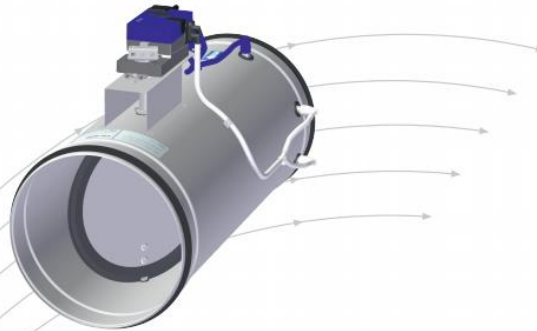
③ RN med sekundær lydempner CS/CF, isolasjonstykkelse 50 mm, lengde 1000 mm

④ RN med sekundær lydempner CS/CF, isolasjonstykkelse 50 mm, lengde 1500 mm

VAV-enhet Type LEO benyttet for sonespjeld med konsept 2 (Trox Auranor, 2017b)

Leo

VAV-regulator



- Ny regulator med større måleområde
- Støysvak
- Trykkuavhengig
- Kort byggelengde
- Høy målenøyaktighet
- Kan monteres direkte i bend
- Fleksibelt lydempervalg
- Eget serviceverktøy, PC-Tool og ZTH fra Belimo.

TROX[®] TECHNIK

Auranor

TROX Auranor Norge AS

Postboks 100
2712 Brandbu

Telefon +47 61 31 35 00

Telefaks+47 61 31 35 10

e-post: firmapost@auranor.no

www.trox.no

HURTIGVALG

Leo	[m ³ /h]	
Dim.	Maks [V _{nom}]	Min
100	170	17
125	265	26
160	434	43
200	700	70
250	1060	106
315	1750	175
400	3619	361
500	5655	565
630	8973	897

Vedlegg 7. Priser for ventilasjonsteknisk utstyr

Tabell 1 – Priser på TVR reguleringspjeld, TVLK-reguleringspjeld og RN CAV-spjeld (Trox Auranor, 2017c)

Produkt	Antall	Brutto
TVR/200/D2/ELAB/RS/TR/LAB VAV-spjeld, komplett m/regulator og trafo. Vmin 360 m3/h Vmaks 800m3/h	1	21332
TVR/160/D2/ELAB/RE/TR/LAB VAV-spjeld, komplett m/regulator og trafo. Vmin 100 m3/h Vmaks 360m3/h	1	21289
RN/160/D2/ CAV-spjeld mekanisk	1	990
DRS/160/TM/54 Stenge-spjeld, komplett m/ av-på motor (24V)	1	1002
DRS/250/TM/54 Stenge-spjeld, komplett m/ av-på motor (24V)	1	1109
TVR/400/D2/ELAB/RS/TR/LAB VAV-spjeld, komplett m/regulator og trafo. Vmin 800 m3/h Vmaks 5000m3/h	1	22025
TVRK/400/ELAB/FH-VS/TR/0-740-4750 m3/h VAV-spjeld for avtrekkskap, komplett m/regulator, trafo og hastighetsføler.	1	35719
BE-SEG-02 Kontrollpanel for avtrekkskap	1	6078
VMR/315/D2/ELAB/EC-E0/TR/LAB Måleblende, komplett m/regulator og trafo.	1	16789
RN/125/D2/ CAV-spjeld mekanisk	1	990
DRS/250/TM/54 Stenge-spjeld, komplett m/ av-på motor (24V)	3	1109
TAM/T/LAB-RMF Romkontroller, komplett med trafo	1	9686
TVR/400/D2/ELAB/RS/TR/LAB VAV-spjeld, komplett m/regulator og trafo. Vmin 1600 m3/h Vmaks 4620m3/h	1	22025
TVR/250/D2/ELAB/RE/TR/LAB VAV-spjeld, komplett m/regulator og trafo. Vmin 270 m3/h Vmaks 1200m3/h	1	21462
VMR/400/D2/ELAB/EC-E0/TR/LAB Måleblende, komplett m/regulator og trafo.	1	18347
TVLK/250-D10/ELAB/FH-VS/T/198-850 m3/h VAV-spjeld for avtrekkskap, komplett m/regulator, trafo og hastighetsføler.	2	27393
BE-SEG-02 Kontrollpanel for avtrekkskap	2	6078
TAM/T/LAB-RMF Romkontroller, komplett med trafo	1	9686

Tabell 2 – Priser på DKW dysekanal og DRI-tilluftsventil (Trox Auranor, 2017d)

Dim.	Dysekanal		Blindrør
	Aktiv L=2m	Aktiv L=4m	Per meter
160	2428	4345	870
200	2919	5221	1044
250	3232	5780	1158
315	3882	6945	1392
400	4874	8718	1683
500	6090	10895	2181

Str	DRIF Ventil
200	5 580
250	8 380
315	11 980
400	13 350
200-600	10 140
250-800	12 670

Tabell 3 – Priser på LEV-lydfelle (Trox Auranor, 2017d)

Dim.	Leo		LEV-K		LEV-L		RN	VFC
	ikke mantlet LMV/NMV-D3-MP	Leo-D mantlet LMV/NMV-D3-MP	Type 1-4 L = 500	Type 1-4 L = 1000	Pris	Pris		
100	2221	2802	366	466				955
125	2263	2907	380	514				1018
160	2313	3001	419	538				1018
200	2364	3094	478	614				1114
250	2496	3310	573	731				1210
315	2673	3581	754	1165	1494			
400	3022	4161	1001	1314	1992			
500	3375	4645		1647				
630	3693	5085		2029				

Tabell 4 – Priser på LKR-lydfelle (Trox Auranor, 2017d)

Dim.	LKR					LEV	
	L = 300	L = 600	L = 900	L = 1200	L = 1500	K L = 500	L L = 1000
80	266	280	0	0		366	466
100	229	249	302	367		380	514
125	241	324	357	403		419	538
160	255	352	381	424		478	614
200	319	361	415	481		573	731
250	356	456	503	572		754	1165
315	407	633	756	914		1001	1314
400		906	1119	1244			1647
500		1092	1430	1587			2029
630			1787	1985			
800			2260	2513			
1000					3861		
1250					5215		

Tabell 5 – Priser på sirkulære kanaler (Swegon, 2018)

NOM DIAM	CK Rør 3,0 m	CK Rør 2,4 m	CK Rør 1,5 m	HV Bend - 90° presset Bygd f.o.m Ø400	HV Bend - 45° presset	HV Bend - 30° presset	HV Bend - 15° presset	HV Bend - 60° bygd	HVS Stillbart bend 0-30°
63	144			113	100	80			
80	162			100	93	93	156	181	
100	179	148	140	102	93	93	156	185	345
125	214	195	165	124	104	104	164	192	363
160	286	237	195	162	128	128	205	248	410
200	400	333	268	215	163	163	224	286	478
250	519	423		331	261	245	245	339	550
315	640	535		430	303	283	283	410	685
400	1 050	875		575	484	411	411	580	925
500	1 320	1 100		735	580	539	540	740	
630	1 670	1 390		1 270	910	875	880	1 270	
800	2 350	1 960		2 990	2 240	1 830	1 830	2 990	
1000	3 340	2 780		5 340	3 660	2 650	2 650	5 340	
1250	3 950	3 290		8 840	5 130	3 330	3 330	8 840	

Tabell 6 – Priser på tekstilkanaler. For 2018 priser forutsettes 10 % økning av prisene i tabellen (EuroAir, 2014)



Runde kanaler		Ø 200	Ø 250	Ø 315	Ø 400	Ø 500	Ø 630	Ø 710
Minimum anbefalt luftmengde	m ³ /t	450	700	1100	2200	3600	5600	7200
Maksimum anbefalt luftmengde	m ³ /t	900	1400	2200	3600	5800	9000	11500
Minimum statisk trykk i kanal	Pa	50	50	50	60	60	60	60
Startkostnad.	Pr. ordre kr.	900	900	900	900	900	900	900
Lavimpuls kanal rund								
Tekstilkanal hvitfarge	Pris pr. m. kr.	400	480	570	640	750	1 240	1 380
Tekstilkanal m/standard farger	Pris pr. m. kr.	460	550	650	710	850	1 370	1 520
Spaltekanal rund								
Tekstilkanal hvitfarge	Pris pr. m. kr.	620	700	780	840	950	1 240	1 560
Tekstilkanal m/standard farger	Pris pr. m. kr.	700	800	880	970	1 060	1 620	1 770
Injekt kanal rund								
Injekt kanal	Pris pr. m. kr.	580	670	810	850	1 000	1 480	1 630
Oppheng for tekstilkanal type rund								
Wireoppheng	Pris pr. m. kr.	47	47	48	48	48	48	94
Wingrail	Pris pr. m. kr.	310	310	310	310	310	310	310
Flexrail	Pris pr. m. kr.	310	310	310	310	310	310	310
Tillegg for påstikk	Pr. påstikk kr.	1030	1050	1080	1090	1100	1260	1370
Tillegg for innvendige ringer	Pris pr. m. kr.	160	180	200	210	220	280	320

Priseksempel

En ønsker å installere 2 stk. tekstilkanaler av lavimpuls type i hvit utførelse. Den ene kanalen skal tilføre 1.500 m³/t med friskluft, skal ha påmontert påstikk og lengden på kanalen er 8 lm. Den andre kanalen skal tilføre 1000 m³/t og lengden er 10 lm. Tekstilkanalene skal henge 1 m under tak og en ønsker å benytte aluminiumsprofiler på grunn av utsende og raskt montasjetid. Ut fra luftmengde blir kanaldimensjonen Ø315 og Ø 250.

Leveranse	Antall	Enhetspris	Sum kr.
Startkostnad	1	900	900
Lavimpuls kanal Ø250 farge hvit	8	480	3 840
Oppheng for Ø250 kanal Flexrail	8	310	2 480
Lavimpuls kanal Ø315 m/standardfarge	10	550	5 500
Oppheng for Ø315 kanal Flexrail	10	290	2 900
Tillegg for påstikk på Ø315 kanalen	1	1080	1 080
Samlet sum for leveransen			16 700

NB! Ved flere enn 4 tekstilposer - be om pristilbud!

02.02.002 Lab, kat 2

◀ Forrige Neste ▶ Vislogg Skriv ut ▼

Romkjerner RFP Bilder Dokumenter Utstyr i rom Elektro VVS

02.02.002 - Lab: Unik

Inn...	Artikkelnr	Navn	Antall	Ekstist...	Prioritet	Budsjettpris	Ansvar	Budsjef...	BIP	Eier Navn	Status	Komme...
	524.02.004	PC til laboratoriebruk, vaskbart ta...	1	0	0	10 000	RU	BRU l...	Nei	Farmako...		
	390.02.006	Laboratorievaskemaskin, under b...	1	0	0	75 000	RU	BRU l...	Ja	Farmako...		
	315.01.002	Håndvask w500xd400	1	0	0	0	RIV-...	BYG	Ja			
	271.37.001	Avlastningsbenk	1	0	0	0	ARK	BYG	Ja			
	271.31.001	Lab ramme w3740xd370xh2170	1	0	0	0	ARK	BYG	Ja			
	271.30.001	Lab endebenk m vask w1600xd850	1	0	0	0	ARK	BYG	Ja			
	271.28.002	Avtrekkskap w1500xd850xh2100	2	0	0	90 000	ARK	BRU l...	Ja			
	271.28.001	Avtrekkskap w1200xd850xh2100	6	0	0	90 000	ARK	BRU l...	Ja			
	271.25.003	Lab Overskap w1200xd360xh607,5	2	0	0	0	ARK	BYG	Ja			
	271.25.002	Lab Overskap w900xd360xh607,5	1	0	0	0	ARK	BYG	Ja			
	271.20.003	Kjemikalisjesskap w300xd650xh2100	4	0	0	8 500	ARK	BRU l...	Ja			
	271.12.001	Lab skuff w400xd600	6	0	0	0	ARK	BYG	Ja			
	271.01.005	Lab benk w2400xd800	1	0	0	0	ARK	BYG	Nei			
	271.01.004	Lab benk w3600xd800	2	0	0	0	ARK	BYG	Ja			
	105.04.011	Skap for droger og herbarieakse...	1	0	0	30 000	ARK	BRU l...	Nei	Farmako...		
	105.04.001	Kjemikalisjesskap, ventilt,w1200xd...	1	0	0	35 000	ARK	BRU l...	Ja	Farmako...		
	075.02.022	Kjøleskap laboratorium med avsu...	2	0	0	34 200	RU	BRU l...	Ja	Farmako...		
	075.02.008	Fryseskap, laboratorium, -25 gr C...	1	0	0	12 500	RU	BRU l...	Ja	Farmako...		
	023.07.021	Veiebord	1	0	0	21 100	RU	BRU l...	Nei	Farmako...		
	023.07.003	Vekt, presisjon 200 g (0,1 mg)	1	0	0	65 000	RU	BRU l...	Nei	Farmako...		
	023.05.117	Rotavapor, enkel	4	0	0	28 000	RU	BRU l...	Nei	Farmako...		
	023.05.110	Pipette, flerkanals	1	0	0	16 500	RU	BRU l...	Nei	Farmako...		

Lagre

Lukk

Tabell 7 – Priser på avtrekksskap og kjemikalisjesskap fra dRofus.

Tabell 8 – Priser på kontinuerlig regulering av avtrekksskapets lukeåpning (internt excelark).

Forutsetninger LCC									
Type	Lufthastighet [m/s]	Total investering	Drift NOK/år 5-5% av inv.	Utskiftings-kostnad	Bruktid	Levetid	Total Energi [kWh/år lm]	[kWh/år lm]	[kr/år lm]
Konvensjonelt avtrekksskap	0.5	55000	2750	55000	60	20	7761	0	0
Konvensjonelt avtrekksskap	0.36	55000	2750	55000	60	20	6442	1319	923
Lavere luftmengder	0.15	90000	4500	90000	60	20	4491	3270	2289
Lavere luftmengder med forhøyd luftmengde	0.36	90000	4500	90000	60	20	6507	1254	878
Kontinuerlig regulering	0.5	15000	750	15000	60	15		773	541
Lukelukker	0.5	21100	1055	21100	60	15		1932	1352
Kontinuerlig reg+ lukelukker	0.5	36100	1805	36100	60	15		2705	1893
Kontinuerlig reg.	0.36	22000	1100	22000	60	15		556	389
Kontinuerlig reg. + lukelukker	0.36	43100	2155	43100	60	15		1947	1363
Kontinuerlig reg. -korrosjonsbestandig	0.36	22500	1125	22500	60	15		556	389
Kontinuerlig reg + lukelukker - korrosjonsbestandig	0.36	54150	2707.5	54150	60	15		1947	1363

Tabell 9 – Kostnader for ekstra gulvareal. Benyttet i beregning for økt romhøyde i konsept 2. Forutsettes en kostnad på 15000 kr/m² (internt excelark).

Prosjektdata	Ansvar		0 - Tomt	kr/m2	1 - Hovedbygg	kr/m2	2 - Parkerings-	kr/m2
			m/tilhørende	BTA	m/tilhørende	BTA	kjeller	m/tilhørende
			utendørs		utendørs		utendørs	
Bygningsareal	ARK	BYA	15 280		15 280		1 617	
Brutto areal	ARK	BTA	66 578		66 578		4 871	
Bruttoareal kjeller (inkl i BTA)	ARK	BTK	13 041		13 041		4 851	
Yttervegg under mark	ARK	YUM	11 579		11 579		1 602	
Yttervegg over mark	ARK	YOM	28 742		28 742		54	
Yttervegg/m2 Bruttoareal	ARK	N1	0,61		0,61		0,34	
Innervegger	ARK	INV	64 700		64 700		540	
Innervegger/m2 Bruttoareal	ARK	N2	0,97		0,97		0,11	
Utendørs	LARK	UMA	24 350		24 350		-	
Prisdato: April 2015								
Hovedsammendrag			Sum	kr/m2	Sum	kr/m2	Sum	kr/m2
Felleskostnader			79 889 125	1 200	427 382 524	6 419	18 764 785	3 852
Bygning			469 936 031	7 058	1 128 640 393	16 952	84 385 770	17 324
VVS			-	-	349 529 164	5 250	2 660 000	546

Tabell 10 – Kostnader for vegger. Benyttet i beregning for økt veggareal i konsept 2. Forutsettes en økning på 10 % av verdiene i tabellen (internt excelark).

2	Bygning		Sum	kr/m2	Sum	kr/m2
20	Bygning, generelt	RIB	-	-	-	-
21	Grunn, fundamenter	RIB	404 469 377	6 075	169 156 200	2 541
22	Bæresystemer	ARK+RIB	-	-	57 269 948	860
23	Yttervegger	ARK+RIB	13 185 983	198	191 983 757	2 884
24	Innervegger	ARK+RIB	-	-	181 078 200	2 720
25	Dekker	ARK+RIB	9 559 214	144	252 880 334	3 798
26	Yttertak	ARK+RIB	-	-	76 211 901	1 145
27	Fast inventar	ARK	-	-	75 121 949	1 128
28	Trapper, balkonger mm.	ARK+RIB	-	-	17 949 071	270
29	Diverse, maling	ARK	-	-	31 069 551	467
29.9	Uspesifisert - Bygning	ARK+RIB	42 721 457	642	75 919 482	1 140

Vedlegg 8. Kostnadsestimat

Tabell 1 – Investeringskostnader Konsept 1 – Forskningslaboratoriet løsning 1.

Konsept 1 - Forskning løsning 1					
Investeringskostnader					
Type	Info	Ant	Pris stk [kr]	Inkl. mva	Totalt [kr]
Avtrekksskap		1200	6	90000	540000
Regulering avtrekksskap			6	22000	132000
Avtrekksskap rotavapor		1500	2	90000	180000
Kjemikalieskap		300	4	8500	34000
VAV spjeld	TVLK/ø250		6	27393	34241
VAV spjeld	TVR/ø315		2	22025	27531
VAV spjeld	TVR/ø400		1	22025	27531
CAV spjeld	RN P1/ø200		2	990	1238
CAV spjeld	RN P1/ø125		4	990	1238
Lydfelle	LEV-K 125		4	380	475
Lydfelle	LEV-K 200		2	478	598
Lydfelle	LEV-K 250		6	573	716
Lydfelle	LKR-400-900		3	1119	1399
Sirkulær kanal	ø800		15	817	1021
Sirkulær kanal	ø400		17	365	456
Sirkulær kanal	ø315		1	223	279
Sirkulær kanal	ø250		8	176	220
Sirkulær kanal	ø200		1	179	223
Sirkulær kanal	ø125		4	83	103
DRI		315	2	11980	14975
Sum:					1248743
				2 lab	2497485
Driftskostnader					
Type	Info		Mengde	Totalt [kr]	
Avtrekksskap	5 % av total kostnader		2 lab	72000	
Tilsyn og løpende vedlikehold	1,6	kr/m3/h	7500	12000	
Sum:				84000	
Utskiftningskostnad					
Levetid	Totalt	Totalt	2 lab		
Avtrekksskap	20	720000	1440000	1440000	
Kjemikalieskap	30	34000	34000	68000	
Spjeld	15	295466	886399	590933	
Regulering avtrekksskap	15	132000	396000	264000	
kanalanlegg	15	67276	201829	134553	
Sum:		1248743	2958228		
	2 lab	2497485	5916456		

Tabell 2 – Investeringskostnader Konsept 1 – Forskningslaboratoriet løsning 2.

Konsept 1 - Forskning løsning 2					
Investeringskostnader					
Type	Info	Ant	Pris stk [kr]	Inkl. mva	Totalt [kr]
Avtrekksskap	1200	6		90000	540000
Regulering avtrekksskap		6		22000	132000
Avtrekksskap rotavapor	1500	2		90000	180000
Kjemikalieskap	300	4		8500	34000
VAV spjeld	TVLK/ø250	6	27393	34241	205448
VAV spjeld	TVR/ø400	4	22025	27531	110125
CAV spjeld	RN P1/ø200	2	990	1238	2475
CAV spjeld	RN P1/ø125	4	990	1238	4950
Lydfelle	LKR-400-900	2	1119	1399	2798
Lydfelle	LKR-500-900	2	1430	1788	3575
Sirkulær kanal	ø800	17	817	1021	17354
Sirkulær kanal	ø500	19	458	573	10885
Sirkulær kanal	ø400	12	365	456	5469
Sirkulær kanal	ø315	7	223	279	1951
Sirkulær kanal	ø250	10	176	220	2203
Sirkulær kanal	ø200	2	179	223	447
Sirkulær kanal	ø125	4	83	103	413
DRI	315	4	11980	14975	59900
Sum:					1313992
				2 lab	2627984
Driftskostnader					
Type	Info		Mengde		Totalt [kr]
Avtrekksskap	5 % av totalt kostnader		2 lab		72000
Tilsyn og løpende vedlikehold	1,6 kr/m ³ /h		10620		16992
Sum:					88992
Utskiftningskostnad					
Levetid	Totalt	Totalt		2 lab	
Avtrekksskap	20	720000	1440000		1440000
Kjemikalieskap	30	34000	34000		68000
Spjeld	15	322998	968993		645995
Regulering avtrekksskap	15	132000	396000		264000
kanalanlegg	15	101419	304258		202839
Sum:		1310417	3143251		
	2 lab	2620834	6286502		

Tabell 3 – Investeringskostnader Konsept 1 – Forskningslaboratoriet løsning 3.

Konsept 1 - Forskning løsning 3					
Investeringskostnader					
Type	Info	Ant	Pris stk [kr]	Inkl. mva	Totalt [kr]
Avtrekksskap	1200	6		90000	540000
Regulering avtrekksskap		6		22000	132000
Avtrekksskap rotavapor	1500	2		90000	180000
Kjemikalieskap	300	4		8500	34000
VAV spjeld	TVLK/ø250	6	27393	34241	205448
VAV spjeld	TVR/ø400	4	22025	27531	110125
CAV spjeld	RN P1/ø200	2	990	1238	2475
CAV spjeld	RN P1/ø125	4	990	1238	4950
Lydfelle	LKR-400-900	2	1119	1399	2798
Lydfelle	LKR-500-900	2	1430	1788	3575
Sirkulær kanal	ø800	15	817	1021	15313
Sirkulær kanal	ø500	11	458	573	6302
Sirkulær kanal	ø400	4	365	456	1823
Sirkulær kanal	ø250	4	176	220	881
Sirkulær kanal	ø200	2	179	223	447
Sirkulær kanal	ø125	4	83	103	413
Tekstilkanal	ø400	20	781	976	22605 2 sett
Sum:					1263154
				2 lab	2526308
vekt tekstilkanal	ø400	10	350 g/m2		
			13,0624 m2		
			4,57184 kg		
Driftskostnader					
Type	Info		Mengde		Totalt [kr]
Avtrekksskap	5 % av total kostnader		2 lab		72000
Tilsyn og løpende vedlikehold	1,6 kr/m3/h		14036		22457,6
Vask av tekstilkanaler	62,5 kr/kg		9,14368		1142,96 2 vask i året
Sum:					95601
Utskiftningskostnad	Levetid	Totalt	Totalt		2 lab
Avtrekksskap	20	720000	1440000		1440000
Kjemikalieskap	30	34000	34000		68000
Spjeld	15	322998	968993		645995
Regulering avtrekksskap	15	216600	649800		433200
kanalanlegg	15	50581	151744		101163
Sum:		1344179	3244536		
	2 lab	2688358	6489073		

Tabell 5 – Investeringskostnader Konsept 1 – Undervisningslaboratoriet løsning 2.

Konsept 1 - Undervisning løsning 2						
Investeringskostnader						
Type	Info	Ant	Pris stk [kr]	Inkl. mva	Totalt [kr]	
Avtrekksskap	1500	14		90000	1260000	
Regulering avtrekksskap		14		22000	308000	
VAV spjeld	TVLK/ø250	14	27393	34241	479378	
VAV spjeld	TVR/ø400	4	22025	27531	110125	
CAV spjeld	RN P1/ø200	2	990	1238	2475	
CAV spjeld	RN P1/ø125	4	990	1238	4950	
Lydfelle	LEV-K 250	14	573	716	10028	
Lydfelle	LKR-500-900	4	1430	1788	7150	
Kanal	ø800	24	817	1021	24500	
Kanal	ø500	14	458	573	8021	
Kanal	ø250	44	176	220	9694	
Tekstilkanal	ø500	40	935	1169	49850	2 sett
Sum:					2274170	
				2 lab	4548339	
vekt tekstilkanal	ø400	20	350 g/m2			
			32,185 m2			
			11,26475 kg			
Driftskostnader						
Type	Info		Mengde	Totalt [kr]		
Avtrekksskap	5 % av totalkostnader		2 lab	126000		
Tilsyn og løpende vedlikehol	1,6	kr/m3/h	36040	57664		
Vask av tekstilkanaler	62,5	kr/kg	22,5295	2816	2 vask i året	
Sum:				186480		
Utskiftningskostnad	Levetid	Totalt	Totalt	2 lab		
Avtrekksskap	20	1260000	2520000	2520000		
Spjeld	15	596928	1790783	1193855		
Regulering avtrekksskap	15	308000	924000	616000		
kanalanlegg	15	109242	327726	218484		
Sum:		2274170	5562509			
	2 lab	4548339	11125018			

Tabell 6 – Investeringskostnader Konsept 2 – Forskningslaboratoriet løsning 1.

Konsept 2 - Forskning løsning 1					
Investeringskostnader					
Type	Info	Ant	Pris stk [kr]	Inkl. mva	Totalt [kr]
Avtrekksskap		1500	6	90000	540000
Regulering avtrekksskap			6	22000	132000
Avtrekksskap rotavapor		2000	2	90000	180000
Kjemikalieskap			4	8500	34000
VAV spjeld	TVLK/ø250		6	27393	34241
VAV spjeld	ø630		1	22025	27531
VAV spjeld	TVR/ø400		2	22025	27531
CAV spjeld	RN P1/ø200		2	990	1238
CAV spjeld	RN P1/ø125		4	990	4950
Lydfelle	LEV-K 125		4	380	475
Lydfelle	LEV-K 200		2	478	598
Lydfelle	LEV-K 250		6	573	716
Lydfelle	LKR-630-1200		1	1985	2481
Sirkulær kanal	ø630		19	579	724
Sirkulær kanal	ø500		1	458	573
Sirkulær kanal	ø250		10	176	220
Sirkulær kanal	ø200		3	179	223
Sirkulær kanal	ø125		8	83	103
DKW	ø500		5	3045	3806
Sum:					1229299
				2 lab	2458598
Driftskostnader					
Type	Info		Mengde	Totalt [kr]	
Avtrekksskap	5 % av totalkostnader		2 lab	72000	
Tilsyn og løpende vedlikehold		1,6 kr/m3/h		17634	28214,4
Sum:					100214
Utskiftningskostnad					
Levetid	Totalt	Totalt	2 lab		
Avtrekksskap	20	720000	1440000	1440000	
Kjemikalieskap	30	34000	34000	68000	
Spjeld	15	295466	886399	590933	
reg + lukelukker	15	132000	396000	264000	
kanalanlegg	15	52783	158349	105566	
Sum:		1234249	2914748		
	2 lab	2468498,33	5829495		

Tabell 7 – Investeringskostnader Konsept 2 – Undervisningslaboratoriet løsning 1.

Konsept 2 - Undervisning løsning 1					
Investeringskostnader					
Type	Info	Ant	Pris stk [kr]	Inkl. mva	Totalt [kr]
Avtrekksskap	1500	12		90000	1080000
Regulering avtrekksskap		12		22000	264000
Avtrekksskap rotavapor	2000	2		90000	180000
VAV spjeld	TVLK/ø250	12	27393	34241	410895
VAV spjeld	TVR/ø400	2	22025	27531	55063
VAV spjeld	ø630	1	22025	27531	27531
CAV spjeld	RN P1/ø200	2	990	1238	2475
CAV spjeld	RN P1/ø125	4	990	1238	4950
Lydfelle	LEV-K 200	2	478	598	1195
Lydfelle	LEV-K 250	12	573	716	8595
Lydfelle	LKR-630-1200	3	1985	2481	7444
Kanal	ø800	26	817	1021	26542
Sirkulær kanal	ø630	5	579	724	3620
Sirkulær kanal	ø500	1	458	573	573
Sirkulær kanal	ø250	18	176	220	3966
Sirkulær kanal	ø200	4	179	223	893
DKW	ø500	15	3045	3806	57994
Sum:					2135735
				2 lab	4271469
Driftskostnader					
Type	Info		Mengde	Totalt [kr]	
Avtrekksskap	5 % av total kostnader		2 lab	126000	
Tilsyn og løpende vedlikehold	1,6 kr/m3/h		32276	51642	
Sum:				177642	
Utskiftningskostnad					
Utskiftningskostnad	Levetid	Totalt	Totalt	2 lab	
Avtrekksskap	20	1260000	2520000	2520000	
Spjeld	15	500914	1502741	1001828	
reg + lukelukker	15	264000	792000	528000	
kanalanlegg	15	110821	332463	221642	
Sum:		2135735	5147204		
	2 lab	4271469	10294408		

Tabell 8 – Ekstra investeringskostnader for økt romhøyde for konsept 2.

	Vegg								
	bredde	lengde	Høyde	Totalt veggareal	2 lab				
Undervisning									
Konsept 1	8,65	21,4	3,75	225,375	451	m2			
Konsept 2	9,99	13,4	7,5	350,85	702	m2			
Ekstra veggareal					251	m2			
Undervisning konsept 2	areal	Kostnad							
Ekstra gulvareal	61	915000	15000	kr/m2					
Ekstra kostnad vegger		750842,4	2992	kr/m2					
Ekstra kostnad div + maling		128913	513,7	kr/m2					
Total ekstra kostnad		1794755							
Forskning									
Konsept 1	7,07	10,7	3,75	133	267	m2			
Konsept 2	6,63	9,2	7,5	237	475	m2			
Ekstra veggareal					208	m2			
Forskning konsept 2		Kostnad							
Ekstra gulvareal	134	2010000	15000	kr/m2					
Ekstra kostnad vegger		623383,2	2992	kr/m2					
Ekstra kostnad div + maling		107029	513,7	kr/m2					
Total ekstra kostnad		2740413							

Vedlegg 9. LCC-beregning

Tabell 1 – Livssyklus kostnader.

	Forskningslaboratoriet				Undervisningslaboratoriet			
	Konsept 1	Konsept 1	Konsept 1	Konsept 2	Konsept 1	Konsept 2	Konsept 2	
	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 3	Løsning 1	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 1	
start Inv kostnad	2497485	2627984	2526308	4253353	4748194	4548339	7011882	
årlig Drift vifte	5354	9585	10864	16912	13773	26561	23305	
årlig Drift lab	84000	88992	95601	100214	167510	186480	177642	
60 år vedlikehold	5916465	6286502	6489073	5829495	11724583	11125018	10294408	
	Forskningslaboratoriet				Undervisningslaboratoriet			
	Konsept 1	Konsept 1	Konsept 1	Konsept 2	Konsept 1	Konsept 2	Konsept 2	
	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 3	Løsning 1	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 1	
Prosjekt kostnad	2497485	2627984	2526308	4253353	4748194	4548339	7011882	
År 1	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 2	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 3	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 4	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 5	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 6	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 7	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 8	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 9	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 10	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 11	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 12	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 13	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 14	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 15	1078840	1211411	1286823	1077625	2409477	2241380	1952417	
År 16	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 17	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 18	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 19	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 20	1529354	1538577	1546465	1557126	2701283	2733041	2720947	
År 21	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 22	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 23	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 24	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 25	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 26	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 27	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 28	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 29	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 30	1146840	1279411	1354823	1145625	2409477	2241380	1952417	
År 31	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 32	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 33	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 34	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 35	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 36	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 37	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 38	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 39	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 40	1529354	1538577	1546465	1557126	2701283	2733041	2720947	
År 41	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 42	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 43	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 44	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 45	1078840	1211411	1286823	1077625	2409477	2241380	1952417	
År 46	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 47	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 48	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 49	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 50	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 51	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 52	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 53	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 54	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 55	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 56	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 57	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 58	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 59	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
År 60	89354	98577	106465	117126	181283	213041	200947	
Livssyklus kostnader	13775183	14829106	15403282	17110410	27349756	28455816	29363112	

Tabell 2 – Levetidskostnader og årskostnader.

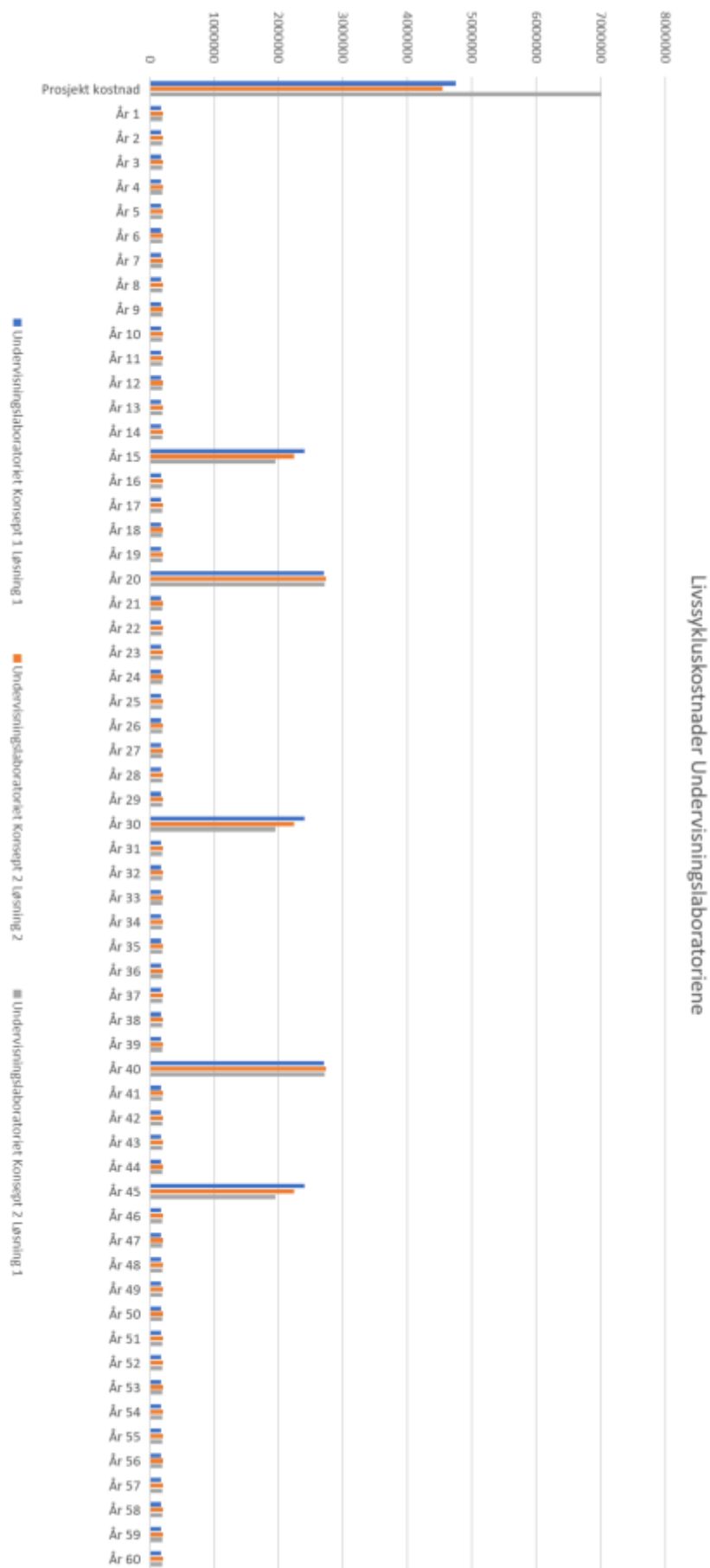
	Forskningslaboratoriet				Undervisningslaboratoriet			
	Konsept 1	Konsept 1	Konsept 1	Konsept 2	Konsept 1	Konsept 1	Konsept 2	
	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 3	Løsning 1	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 1	
2 start Inv kostnad	2497485	2627984	2526308	4253353	4748194	4548339	7011882	
6 årlig Drift vifte	5354	9585	10864	16912	13773	26561	23305	
7 årlig Drift lab	84000	88992	95601	100214	167510	186480	177642	
8 60 år vedlikehold	5916465	6286502	6489073	5829495	11724583	11125018	10294408	
10	Forskningslaboratoriet				Undervisningslaboratoriet			
11	Konsept 1	Konsept 1	Konsept 1	Konsept 2	Konsept 1	Konsept 2	Konsept 2	
12	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 3	Løsning 1	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 1	
13 Prosjekt kostnad	2497485	2627984	2526308	4253353	4748194	4548339	7011882	
14 1	85917	94786	102370	112621	174311	204847	193218	
15 2	82613	91140	98433	108290	167606	196968	185787	
16 3	79435	87635	94647	104125	161160	189393	178641	
17 4	76380	84264	91007	100120	154961	182108	171770	
18 5	73442	81023	87506	96269	149001	175104	165164	
19 6	70618	77907	84141	92566	143271	168369	158811	
20 7	67902	74910	80905	89006	137760	161894	152703	
21 8	65290	72029	77793	85583	132462	155667	146830	
22 9	62779	69259	74801	82291	127367	149680	141183	
23 10	60364	66595	71924	79126	122468	143923	135753	
24 11	58043	64034	69158	76083	117758	138387	130531	
25 12	55810	61571	66498	73157	113229	133065	125511	
26 13	53664	59203	63940	70343	108874	127947	120684	
27 14	51600	56926	61481	67637	104686	123026	116042	
28 15	599042	672654	714527	598367	1337897	1244559	1084108	
29 16	47707	52631	56843	62535	96788	113744	107287	
30 17	45872	50607	54656	60129	93066	109370	103161	
31 18	44108	48660	52554	57817	89486	105163	99193	
32 19	42411	46789	50533	55593	86045	101118	95378	
33 20	697977	702186	705786	710652	1232830	1247324	1241805	
34 21	39212	43259	46720	51399	79553	93490	88182	
35 22	37703	41595	44923	49422	76493	89894	84791	
36 23	36253	39995	43196	47521	73551	86436	81529	
37 24	34859	38457	41534	45693	70722	83112	78394	
38 25	33518	36978	39937	43936	68002	79915	75379	
39 26	32229	35556	38401	42246	65387	76842	72479	
40 27	30989	34188	36924	40621	62872	73886	69692	
41 28	29798	32873	35504	39059	60454	71044	67011	
42 29	28651	31609	34138	37557	58129	68312	64434	
43 30	353592	394466	417717	353218	742887	691059	601967	
44 31	26490	29224	31563	34723	53743	63158	59573	
45 32	25471	28100	30349	33388	51676	60729	57282	
46 33	24491	27019	29181	32104	49689	58393	55078	
47 34	23549	25980	28059	30869	47778	56147	52960	
48 35	22644	24981	26980	29682	45940	53988	50923	
49 36	21773	24020	25942	28540	44173	51911	48964	
50 37	20935	23096	24944	27442	42474	49915	47081	
51 38	20130	22208	23985	26387	40840	47995	45270	
52 39	19356	21354	23063	25372	39270	46149	43529	
53 40	318548	320469	322112	324332	562648	569262	566743	
54 41	17896	19743	21323	23458	36307	42667	40245	
55 42	17207	18983	20502	22556	34911	41026	38697	
56 43	16546	18253	19714	21688	33568	39448	37209	
57 44	15909	17551	18956	20854	32277	37931	35778	
58 45	184696	207392	220302	184488	412499	383721	334251	
59 46	14709	16227	17526	19281	29842	35070	33079	
60 47	14143	15603	16852	18539	28694	33721	31806	
61 48	13599	15003	16203	17826	27590	32424	30583	
62 49	13076	14426	15580	17140	26529	31177	29407	
63 50	12573	13871	14981	16481	25509	29978	28276	
64 51	12090	13338	14405	15847	24528	28825	27188	
65 52	11625	12825	13851	15238	23584	27716	26143	
66 53	11178	12331	13318	14652	22677	26650	25137	
67 54	10748	11857	12806	14088	21805	25625	24170	
68 55	10334	11401	12313	13546	20966	24639	23241	
69 56	9937	10962	11840	13025	20160	23692	22347	
70 57	9555	10541	11384	12524	19385	22780	21487	
71 58	9187	10135	10946	12043	18639	21904	20661	
72 59	8834	9746	10525	11579	17922	21062	19866	
73 60	8494	9371	10121	11134	17233	20252	19102	
74								
75 Levetidskostnader	6520985	6987779	7134430	8875158	12830126	13141941	15045377	
76 Årskostnader (ÅK)	288240	308873	315355	392298	567115	580898	665033	

kalkulasjonsrente		annuitetsfaktor
0,04		0,04420185
60 år		

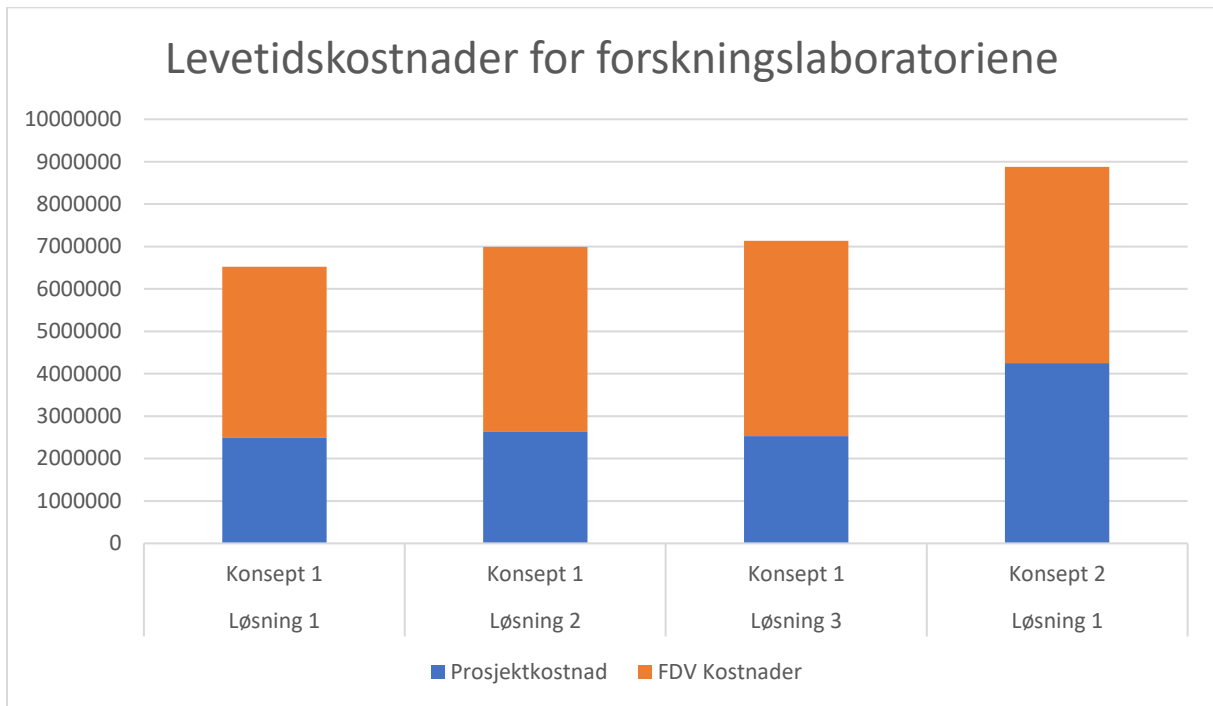
	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 3	Løsning 1
	Konsept 1	Konsept 1	Konsept 1	Konsept 2
Prosjekt kostnad	2497485	2627984	2526308	4253353
FDV Kostnader	4023500	4359795	4608122	4621805
	Løsning 1	Løsning 2	Løsning 1	
	Konsept 1	Konsept 1	Konsept 2	
Prosjekt kostnad	4748194	4548339	7011882	
FDV Kostnader	8081932	8593602	8033495	



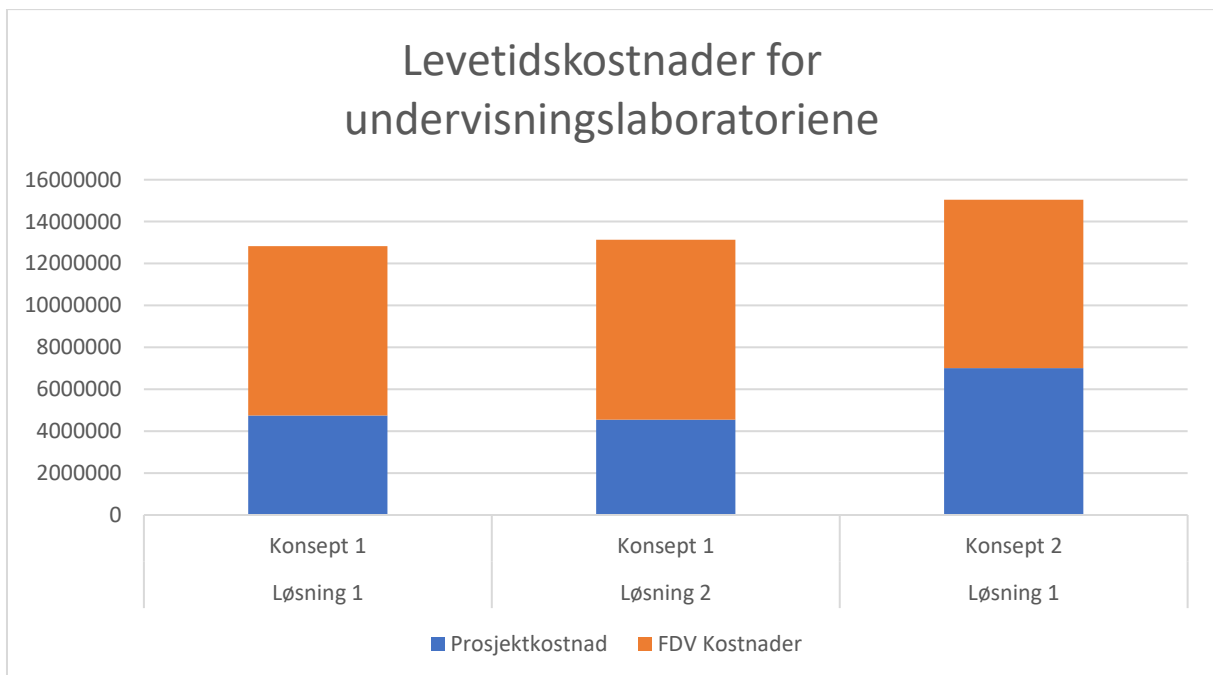
Figur 1 – Livssyklus kostnader for forskningslaboratoriene.



Figur 2 – Livssyklus kostnader for undervisningslaboratoriene.

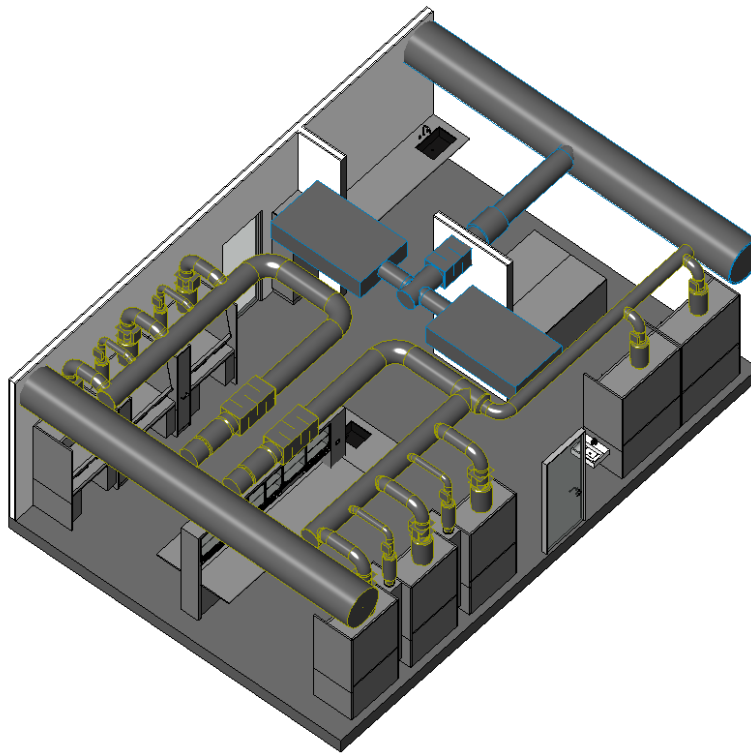


Figur 3 – Levetidskostnader for forskningslaboratoriene.

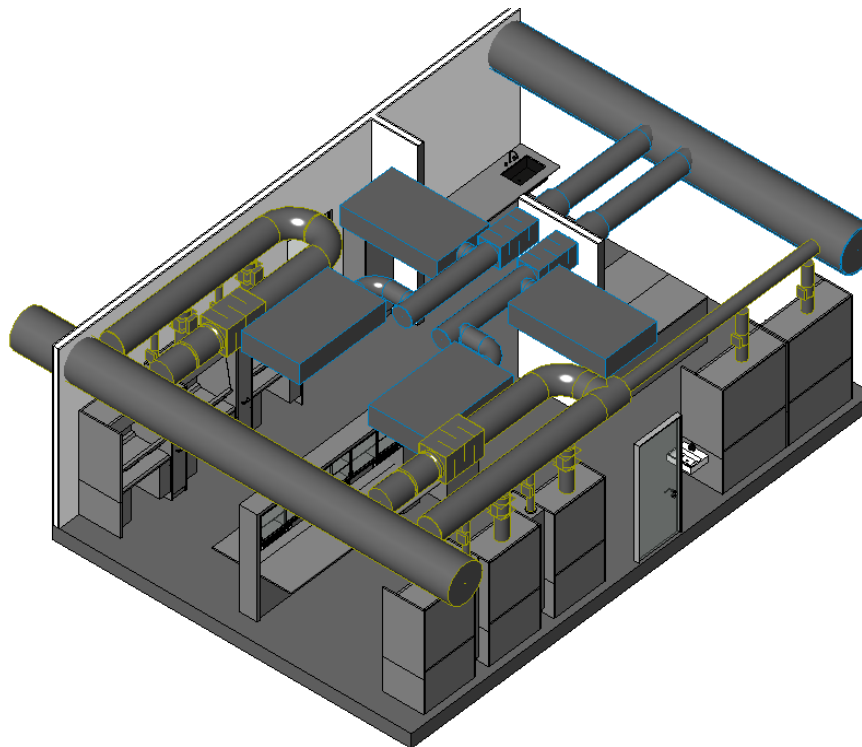


Figur 4 – Levetidskostnader for undervisningslaboratoriene.

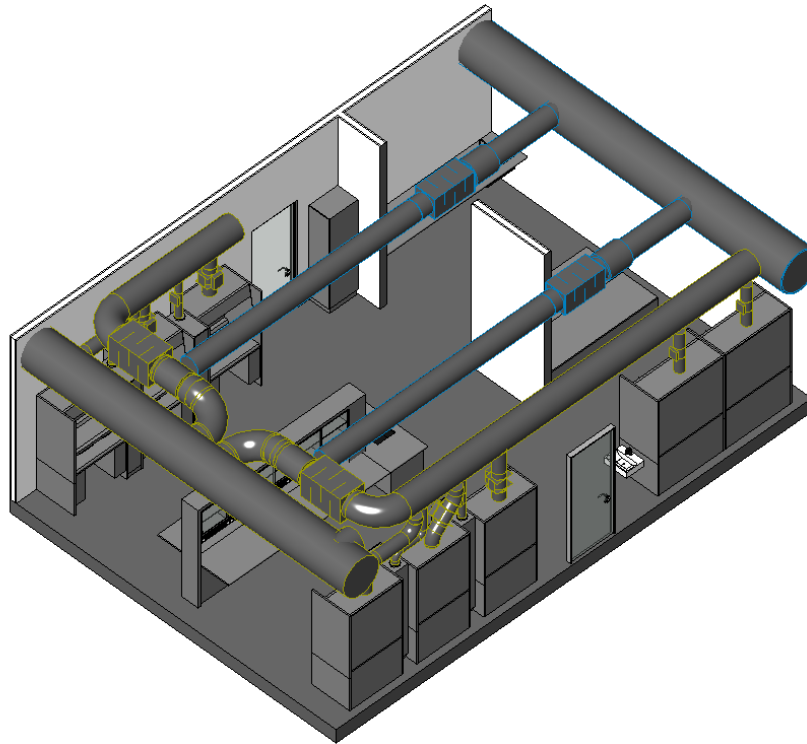
Vedlegg 10. Ventilasjonstekniske løsninger modellert i Revit



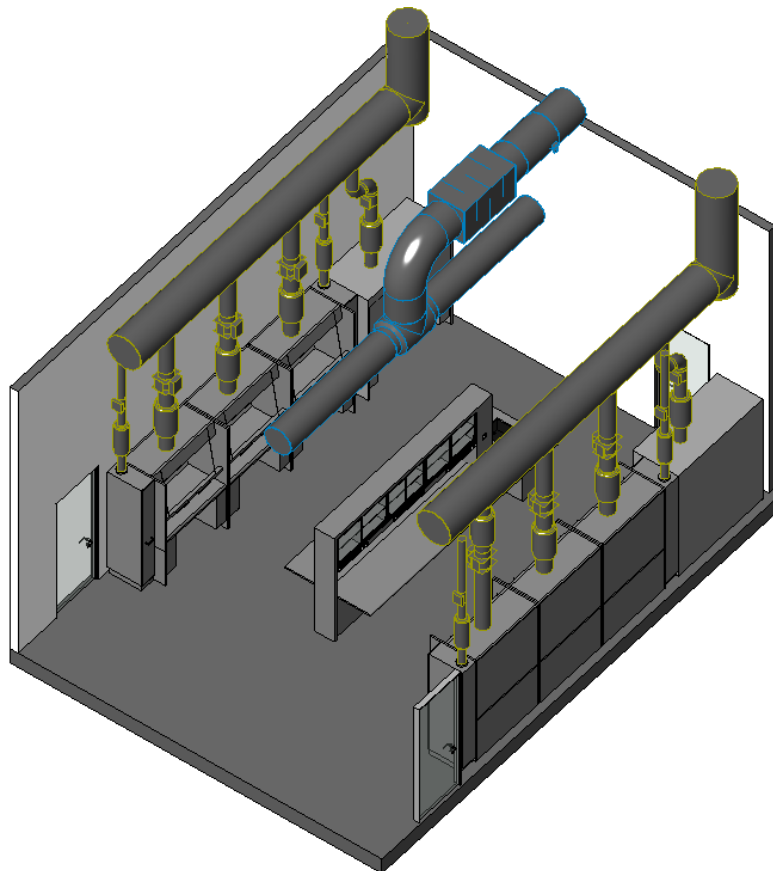
Figur 1 Ventilasjonsteknisk løsning 1 for forskningslaboratoriet i konsept 1 med DRI Tilluftsventiler.



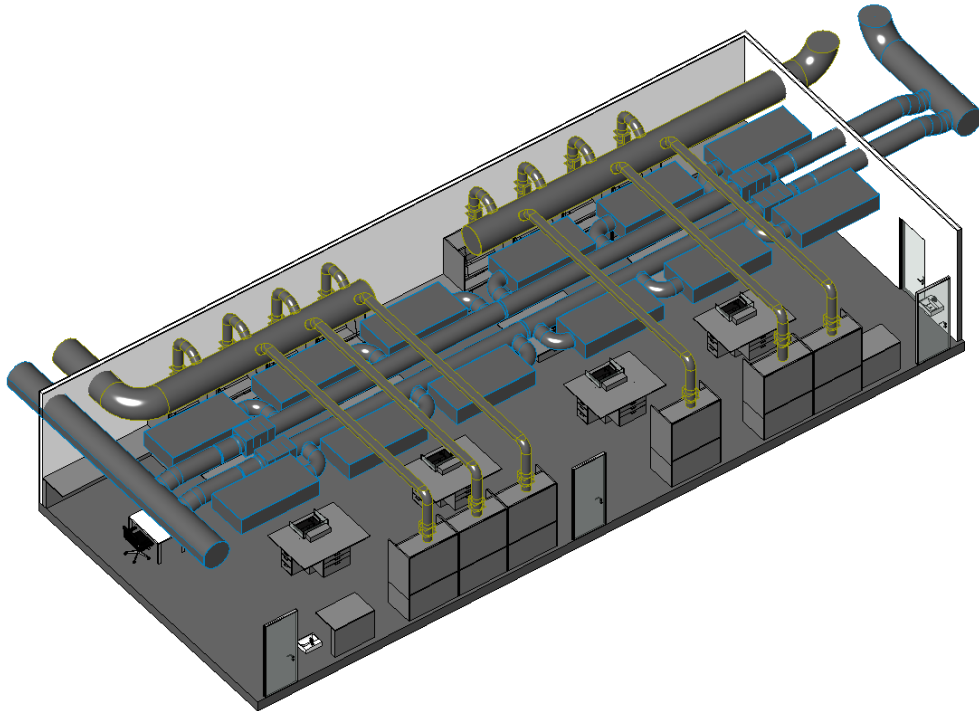
Figur 2 Ventilasjonsteknisk løsning 2 for forskningslaboratoriet i konsept 1 med DRI Tilluftsventiler



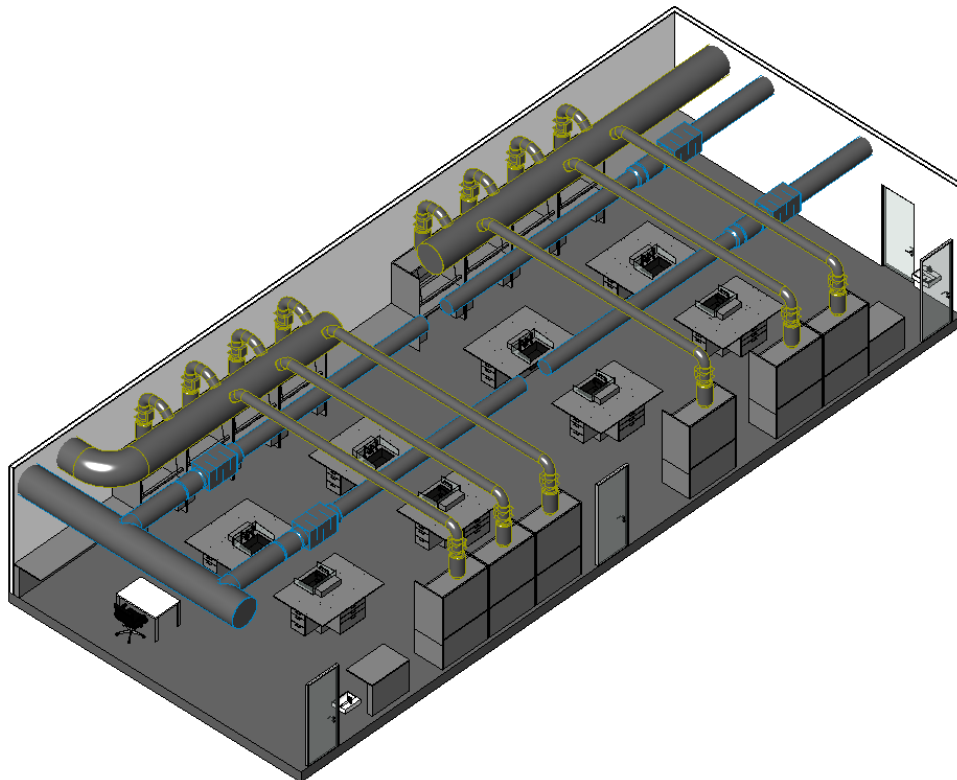
Figur 3 Ventilasjonsteknisk løsning 3 for forskningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanal



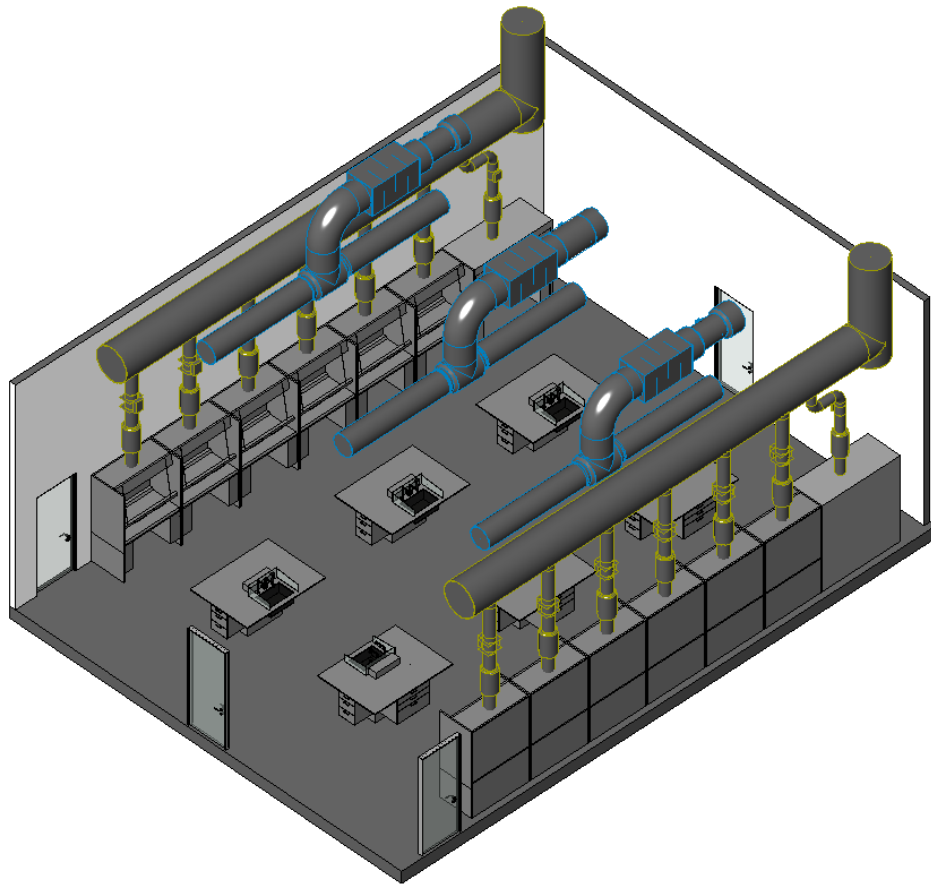
Figur 4 Ventilasjonsteknisk løsning for forskningslaboratoriet i konsept 2 med dysekanal



Figur 5 Ventilasjonsteknisk løsning 1 for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med DRI Tilluftsventiler



Figur 6 Ventilasjonsteknisk løsning 2 for undervisningslaboratoriet i konsept 1 med tekstilkanaler



Figur 7 Ventilasjonsteknisk løsning for undervisningslaboratoriet i konsept 2 med dysekanaler