

Udvidelse af C. la Cour Skolen

7. semester

Diplomingeniør - Afgangsprøjet

Mikkel Steenberg Møller



Den nye del af C. la Cours Skolen. CF Møller Architects (2022)



Udvidelse af C. la Cours Skolen

Ventilationsprojekt

Diplomingeniør afgangsprøjt - 7. semester

Projektets titel

Udvidelse af C. la Cours Skolen

Antal af sider (Hovedrapport):**Afleveringsdato**

11. Januar 2024

Antal af sider (Appendiks):**Projekt periode**

Efterårssemester 2023

Antal af sider (Total): 114**Lavet af:**

Mikkel Steenberg Møller

Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet

Build

Thomas Manns Vej 23

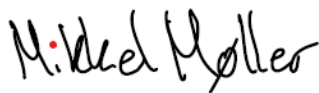
DK-9220 Aalborg Øst

<http://www.build.aau.dk>

Vejleder

Per Kvols Heiselberg

Denne rapport er udarbejdet og underskrevet af:



Mikkel Steenberg Møller



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Forord og læsevejledning

Denne rapport er udarbejdet af Mikkel Steenberg Møller på diplomingeniøruddannelsen i Byggeri & Anlæg, Indeklima og Energi ved Aalborg Universitet. Projektets overordnede tema er Udvidelse af C. la Cours Skolen i Randers, med fokus på ventilation. Projektperioden er forløbet i perioden fra den 13. oktober 2023 til den 11 januar 2024. Der rettes en tak til bygherre og Brix & Kamp A/S for deling af materiale vedr. udvidelsen.

Læsevejledning

Kildehenvisninger sker ved Harvard metoden (forfatter, årstal). Sidste redigering af siden angives som datering. Hvis denne ikke kendes markeres dette med *n.d.*. I tilfælde af samme forfatter og årstal indikerer et bogstav i () hvilken kilde der specifikt menes. Litteraturlisten er sorteret efter rækkefølgen: Navn, titel og til sidst årstal.

Kildens placering angiver hvad kilden dækker over. Her gælder følgende i denne rapport:

- Når kilden er angivet efter en påstand, er kilden til pågældende påstand.
- Når kilden er angivet i slutningen af en sætning, inden for punktum, er kilden til hele den sætning.
- Når kilden er angivet efter punktum, er denne til hele foregående afsnit.

Alle andre referencer angives med numre og evt. sidetal. Figurer angives ved selvstændige tal, og der skrives *Figur* inden figurtallet. Ligeledes angives tabeller hvorinden tabeltallet der skrives *Tabel*. Figurer og tabeller uden kildehenvisning er udarbejdet af projektgruppen.

Formler og symboler bliver løbende præsenteret og redegjort for igennem rapporten.

Synopsis

This report deals with the development of a ventilation system for C. la Cours Schools new extension to their existing buildings in Randers, Denmark. The indoor climate standards are set by ensuring that the building complies with the specific requirements outlined in the Danish building regulations. A draft project has been developed containing an analysis of the different loads of the indoor environment using hand calculations. Three solutions were developed, where the duct layout, pressure loss and material costs were compared. The optimal solution was then used in a more detailed project design. For the detailed project design, the chosen solution was developed in 3D and analysed with the addition program for Revit, MagiCAD, where an amount of parameters were examined to verify whether the various requirements were met.

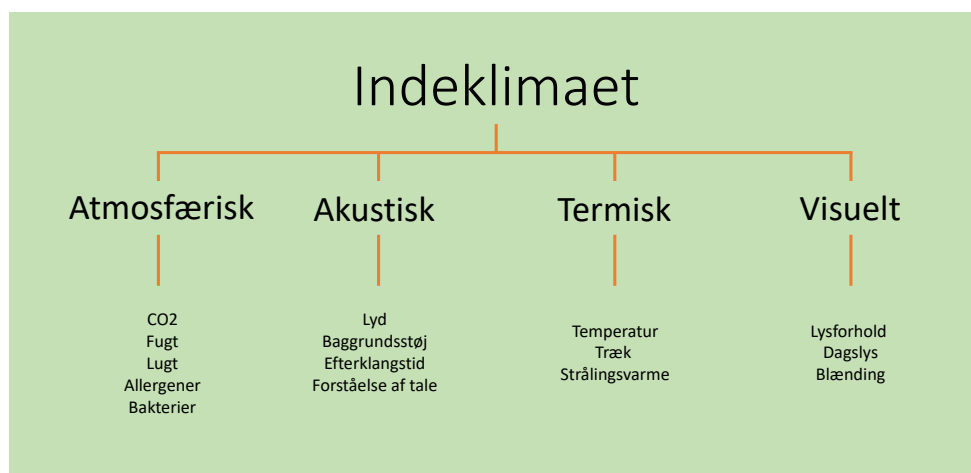
Indholdsfortegnelse

Forord og læsevejledning	
Kapitel 1 Introduktion	1
1.1 Projektbeskrivelse	2
1.1.1 Tilbygningen	3
1.2 Problemstilling	4
1.3 Fremgangsmåde	4
Kapitel 2 Funktionskrav	7
2.1 Arkitekturanalyse	10
2.2 Beregning af dimensionsgivende volumenstrømme	13
Kapitel 3 Skitseprojektering	16
3.1 Ventilationsprincipper, styring og aggregattype	16
3.2 Løsningsforslag	21
3.2.1 Kanalføring	21
3.3 Indblæsnings- og udsugningsarmaturer	25
3.4 Dimensionering af kanaler	26
3.5 Sammenligning af løsningsforslag	27
3.6 Valg af løsningsforslag	30
Kapitel 4 Opsummering af skitseprojekt	31
Kapitel 5 Detailprojektering af ventilationssystemet	32
5.1 Armaturer	33
5.2 Kanaler	39
5.3 Ventilationsaggregat	42
5.3.1 Aggregatets komponenter	42
5.4 Energiforbrug for ventilationsaggregat	54
Kapitel 6 Opsummering af detailprojekt	58
Kapitel 7 Vurdering og konklusion	59
7.1 Konklusion	60

Litteratur	62
Appendiks A Plantegninger	65
A.1 Plantegning af stueplan	65
A.2 Plantegning af 1. sal	66
A.3 Plantegning af 2. sal	67
A.4 Plantegning af 3. sal	68
Appendiks B Løsningsforslag	69
B.1 Løsningsforslag 1, stueplan	69
B.2 Løsningsforslag 1, 1. sal	70
B.3 Løsningsforslag 1, 2. sal	71
B.4 Løsningsforslag 1, 3. sal	72
B.5 Løsningsforslag 2, stueplan	73
B.6 Løsningsforslag 2, 1. sal	74
B.7 Løsningsforslag 1, 2. sal	75
B.8 Løsningsforslag 2, 3. sal	76
B.9 Løsningsforslag 2, tag	77
B.10 Løsningsforslag 3, stueplan	78
B.11 Løsningsforslag 3, 1. sal	79
B.12 Løsningsforslag 3, 2. sal	80
B.13 Løsningsforslag 3, 3. sal	81
Appendiks C	82
C.1 Ventilationsberegning for et givent klasseværelse	82
C.2 Tryktabsberegning	87
C.3 Kastelængde	89
Appendiks D 3D-model	91
Appendiks E Diverse: Tryktabsrapport fra MagiCAD, Isoleringstykkelser	94

Indroduktion 1

Indeklimaet har igennem tiden udviklet sig til at være et væsentligt fokuspunkt, når der skal bygges eller renoveres. Indeklimaet vurderes ud fra følgende parametre: Akustisk, Atmosfærisk, Termisk og Visuelt. Når et gennemsnitlig menneske bruger et sted mellem 80 og 90 % af dagen indendørs er det vigtigt med et behageligt indeklima. Parametrene som nævnt før vurderes enkeltvis på flere underparametre, som kan ses af Figur 1.1: [Hyldgaard et al. \(1997\)](#)



Figur 1.1. Illustration af hvilke indeklimaparametre som vurderes og hvilke underemner, som er relevante.

I nyere undersøgelser af de danske skoler er det konkluderet, at indeklimaet på mere end halvdelen af de danske folkeskoler er problematisk. I flere tilfælde påpeges det, at ventilationen er utilstrækkelig i forhold til gældende regler og anbefalinger. I Danmark bygges kun meget få nye folkeskoler, hvilket også medfører, at det er ekstra relevant med effektive metoder til at imødekomme de ønskede forbedringer via renovering af eksisterende installationer og bygninger. [RealDania \(2017\)](#)

Danske skoleelever bruger igennemsnit knap 11.000 timer i skole igennem de 10 undervisningspligtige år, som er udspecificeret i folkeskoleloven. Det svarer til at danske folkeskoleelever bruger 20% af deres vågne timer i skole per år. Derfor er elevernes trivsel i skolen af større betydning nu end nogensinde før. I rapporten "Indeklima i skoler" som beskriver en undersøgelse af danske folkeskoler beskrives det at især det atmosfæriske indeklima ikke overholdes og at den maksimale værdi for CO₂-koncentrationen overgås i 91 % af de undersøgte 245 klasseværelser. [Teknologisk Institut \(2023\)](#)

DTU har i 2013 sammenkørt viden om ventilationstypen på mere end 230 skoler med elevernes sygefravær og resultater i de nationale test. Elever på skoler med både udsugning og indblæsning viste sig at have lavere sygefravær og signifikant bedre resultater i de nationale test, end skoler med ingen ventilationstyper. [DTU \(2013\)](#)

1.1 Projektbeskrivelse

Projektet "*Udvidelse af C. la Cours Skolen*" omhandler opførelse af en ny skolebygning i sammenhæng med eksisterende bygninger på C. la Cours Skole, beliggende, som vist af figur 1.2 på hjørnet af Jyllandsgade og Sennelsgade i Randers. På adressen Sennelsgade, hvor den nye skolebygning skal placeres, er en tidligere etageboligbebyggelse blevet nedrevet og bortskaffet. Den nye skolebygning skal sammenbygges med eksisterende skolebygning beliggende på Jyllandsgade. Den nye skolebygning skal rumme samlingssal og nye undervisningslokaler. Derudover skal der gennemføres ombygninger af eksisterende lokaler i tilknytning til den nye skolebygning, samt eventuelt renovering af anden bygning placeret på Jyllandsgade. C. la Cours Skole er en privatskole grundlagt i 1876 med beliggenhed i det centrale Randers. Skolen har 410 elever fordelt på 2 spor fra 0. til 10. klasse. Skolen anvender den hvide funkisbygning, opført i 1935, som blev udvidet med søjlegård, fire nye klasselokaler samt festsal i 1998. De eksisterende bygninger rummer ud over klasseværelser også gode faglokaler til data, fysik/kemi, biologi, musik og billedkunst. [C. la Cours Skole \(2023\)](#)

I projektet ønskes det, at der etableres balanceret ventilation i tilbygningen, som integrerer velkendte og bæredygtige løsninger.

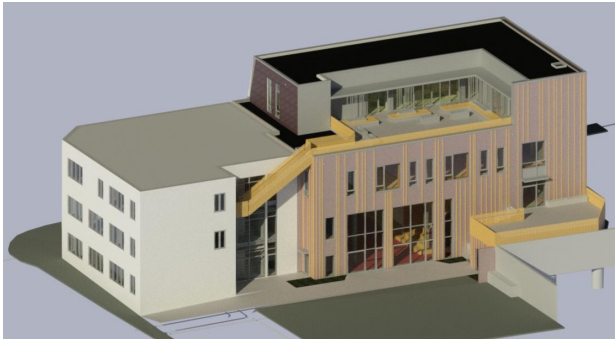


Figur 1.2. Oversigtsbillede af projektllokation. Billedet nederst til venstre viser et billede set ovenfra. Billedet nederst til højre viser et skråfoto, hvor bygningen ses fra vest mod øst. [Skråfotos \(2023\)](#)

1.1.1 Tilbygningen

I dette afsnit vil en detaljeret beskrivelse af bygningen fremgå. Udover dette vil der være to 3D visualiseringer, samt en oversigt over de forskellige planer tilgængelige for reference.

3D-visualiseringerne kan ses af figur 1.3 og 1.4. Oversigten over de forskellige planer kan ses af figur 1.5.



Figur 1.3. 3D-visualisering set fra sydøst.



Figur 1.4. 3D-visualisering af tilbygningen set fra sydvest.

Af figur 1.5 kan oversigten af plantegninger ses. Stueplanen er til venstre og etagerne øges mod højre, 1. sal, 2. sal og 3. sal. Plantegningerne kan findes i fuld format i bilag A



Figur 1.5. Plantegninger for de fire etager. Eksisterende bygning er markeret med rød.

Beskrivelse

Bygningen vil have en stor forsamlingsal med dobbelt etagehøjde og derfor vil strække sig fra stuen op til og med 1. sal. Udover forsamlingsalen i stueplan er der et teknikrum, et rum til el, rackskabe mm, et større depot, 6 almindelige toiletter og et handicapvenligt toilet. Nær trappeopgangen i den nordlige del af bygningen er et rengøringsrum og en skakt, der også kan anvendes som et mindre depot. Fra forsamlingslokalet vil der, mod den sydlige eksisterende bygning, være mulighed for bevægelse mellem den eksisterende og nye bygning.

På 1. salen findes et møderum, et mindre depot mod nord og et større mod syd. Udover de førnævnte lokaler, findes et indskudt dæk, der deler forsamlingsalen op. På det indskudte dæk tiltænker bygherre en gallerigang, med pladser til gruppearbejde eller ophold i frikvartererne.

På 2. salen findes klasseværelset for den ene 6. klasse. Det andet klasseværelse for 6. klasserne er i den eksisterende bygning og dækkes derfor af de tekniske installationer tilkoblet denne bygning. Udover det ene klasseværelse for 6. klasse, er der fire klasseværelser mere, to til 7. klasse og to til 8. klasse. På gangene imellem klasseværelserne etableres fællesarealer med mulighed for gruppearbejde. I den sydlige del af bygningen etableres et handicapvenligt toilet og et mindre grupperum. I mellem 2.- og 3. sal etableres en lift. Bygherre har igennem kommunen fået godkendt løsningen, hvor elevatoren i den eksisterende bygning anvendes som transport mellem stueplan og 2. sal og så må individet bevæge sig af gangene og nordpå til liftten mellem 2.- og 3. sal.

På 3. salen findes to klasseværelser som skal husere 9. klasse. I mellem de to klasseværelser findes et AV / Bibliotek. Udover de førnævnte lokaler findes også 2 toiletter, et mindre depot mod nord og et stort med syd. 3. sal er den øverste etage, hvorfor der etableres en tagterrasse med udsigt mod øst.

Senere i rapporten, vil de enkelte rum beskrives yderligere.

1.2 Problemstilling

Som beskrevet i afsnit 1.1 tager projektet "*Udvidelse af C. la Cours Skole*" udgangspunkt i, at der skal etableres en ny tilbygning til de eksisterende bygninger som i dag huserer C. la Cours Skolen. Tilbygningen udføres med eget ventilationssystem og derfor er formålet med denne rapport, at dimensionere et nyt ventilationssystem. Systemet dimensioneres således, at det kan levere et passende indeklima for de kommende brugere.

1.3 Fremgangsmåde

I det følgende afsnit vil fremgangsmåden for projekteringen af dette projekt blive klarlagt. Udgangspunktet for fremgangsmåden, tages i Danvak Grundbogen's anbefalinger. [Hansen et al. \(2018\)](#). I Danvaks grundbog er projekteringsprocessen opstillet i følgende trin:

- Specifikation
- Valg af system
- Dimensionering
- Analyse
 - Driftsanalyse
 - Energianalyse
 - Økonomisk analyse
- Evaluering
- Optimering

Nedenfor findes en uddybning af de enkelte trin til projektering af ventilationsanlæg.

Uddybning:

Specifikation

Dette trin skal forstås som en fastlæggelse af kravene til anlægget og omstændighederne for disse krav. I denne rapport navngives denne del som "Funktionskrav".

Valg af anlæg

Under dette trin vælges et passende anlæg på baggrund af teori omkring ventilationsformer, anlægstyper og systemløsning. Det valgte system er ikke fastsat under dette trin, men er et udkast og kan derfor ændres løbende. Udkastet er systemets principielle udformning, som skal være fastsat inden den endelige dimensionering og analyse kan laves.

Dimensionering

Under dette trin bestemmes anlæggets hovedkomponenter og de tilhørende ydelser, luftstrømme, tryk mm. i en eller flere dimensioneringstilstande. Under dimensioneringen fastsættes anlæggets fysiske udformning. Processen herfor gennemføres via dimensioneringsparametre, som eksempelvis tryk og hastighed. Disse parametre er ofte erfaringstal eller normtal. Dimensioneringsparametrene er af stor betydning i forhold til den totale økonomi ved anlægget. Derfor er det væsentligt at der efter dimensioneringen foretages en analyse af det enkelte anlæg.

Analyse

Dette trin er en opfølgning på dimensioneringen og er med til at analysere og vurdere om anlægget lever op til kravene, defineret i specifikationen. Under dette trin kan anlægget undersøges ved eks. driftsanalyse, energianalyse og en økonomisk analyse.

En driftanalyse kan laves både som statisk eller dynamisk. I den statiske analyse beregnes systemets driftstilstand i en stationær tilstand, som under dimensioneringstilstanden eller under en dellast. Resultatet af driftanalysen kan afklare hvorvidt anlægget lever op til specifikationens krav til driftstilstanden under den givne belastning. I den dynamiske analyse beregnes anlægget dynamisk dvs. ved simulering. En dynamisk driftsanalyse er nyttig i tilfælde, hvor varmeakkumulering kan have en indflydelse på resultatet.

Formålet for energianalysen er at bestemme anlæggets forventede energiforbrug med varierende belastning over en periode, typisk over et år.

En økonomisk analyse omfatter et overslag på anlægsøkonomien og evtuelle driftsudgifter af systemet.

Evaluering

Under dette trin sammenlignes de ovenstående analyser og der udarbejdes en evaluering på det enkelte anlæg. Resultatet af evalueringen kan til bestemmelse om hvorvidt løsningen er optimal og til sammenligning af andre løsningsforslag.

Optimering

Ved optimeringen bestemmes parametre, som er bedst egnede til udformningen af ventilationsanlægget. Optimeringen er sidste led i projekteringen og omfatter hovedsageligt et løsningsforslag, som analyseres og herefter vurderes hvorvidt om den pågældende løsning er optimal og alternative løsninger ville fungere på tilsvarende vis.

Ovenstående udformning af projekteringsfacen vil fungere fint i praksis, dog for at udforme en rapport over hele ventilationsanlægget udformning, placering mm. er det nødvendigt at have kendskab til bygning, brugsmønstre, belastninger osv. Derfor vil der i denne rapport mellem trinene "Specifikation" og "Valg af system" være en analyse eller nærmere en klarlæggelse af hvordan bygningen er udformet og hvordan de enkelte rum forventes anvendt.

Derfor vil følgende være gældende for projekteringsprocessen i denne rapport.

- Funktionskrav
- Skitseprojektering
- Valg af system
- Projektforslag
- Analyse
 - Driftsanalyse
 - Energianalyse
 - Økonomisk analyse
- Detailprojektering
- Evaluering
- Optimering

Ud fra ovenstående opdeles i 2 hovedfaser, skitseprojekteringen og detailprojekteringen. Disse faser kaldes også for projektforslag og udbudsprojekt ude i erhvervet. I skitseprojekteringen udarbejdes løsningsforslag og disse analyseres, hvorefter der i samarbejde med brugere, bygherre mm. diskuteres, hvilket forslag som passer bedst til projektet. I detailprojekteringen, tages det valgte løsningsforslag med, hvorefter aggregat, indblæs- og udsugningsarmatur mm. dimensioneres.

Funktionskrav 2

I det følgende kapitel vil funktionskravene for ventilationsanlægget klarlægges. Til bestemmelse af kravene, anvendes bygningsreglementet ([Bygningsreglement \(2020\)](#)) og diverse danske standarder, som [Dansk Standard 447 \(2021\)](#), [Dansk Standard 428 \(2021\)](#) og [Dansk Standard 452 \(2020\)](#), som beskriver hhv. Ventilation i bygninger, brandsikring af ventilationsanlæg og termisk isolering af tekniske installationer. Bygningsreglementet har forrang til øvrige standarder og normer.

Bygningsreglementets krav:

Ventilation

I bygningsreglementet nyeste udgave BR18, er det, under krav i afsnit 22, omhandlende Ventilation, beskrevet at: *Bygninger skal ventileres, så der sikres tilfredsstillende luftkvalitet og fugtforhold i forhold til anvendelsen.*

For at tilbygningen har et tilfredsstillende indeklima og ligeledes en god luftkvalitet er det en nødvendighed med ventilation. Funktionskravene beskrevet i det følgende, vil omhandle indeklimabetingelser for indeklimaer i skoler. Dermed beskrives funktionskrav som vil være optimale for et typisk skolemiljø.

I BR18, igen i afsnit 22, under paragraf 447, står kravene vedr. Ventilation af dagsinstitutioner og undervisningsrum.

Stk. 1 beskriver: *"Opholdsrum i daginstitutioner, undervisningsrum i skoler og lignende skal ventileres med et ventilationssystem. Hvis ventilationen foretages med et mekanisk ventilationsanlæg, skal dette omfatte både indblæsning og udsugning samt varmegenvinding, der forvarmer indblæsningsluften. Såfremt et andet ventilationssystem anvendes, skal dette på en tilsvarende måde kunne opfylde bygningsreglementets krav, og tillige skal det sikres, at primærenergibehovet ikke forøges."*

Stk. 2 beskriver: *"I opholdsrum i daginstitutioner og undervisningsrum i skoler og lignende, hvor personer er den væsentligste forureningskilde, skal det sikres, at CO₂-indholdet i indeluften ikke overstiger 1.000 ppm for de dimensionerende forhold."*

Stk. 3 beskriver: *"Hvis der benyttes ventilationssystem med behovsstyret ventilation, kan der afviges fra de angivne luftmængder, når der er et reduceret behov. Ventilationen i brugstiden må ikke være mindre end 0,35 l/spr m²etageareal."*

Energi

For at begrænse energiforbruget til ventilationssystemet er der fastsat specifikke krav i bygningsreglementet. Ifølge BR18 må SEL-værdien (Specifikt elforbrug til lufttransport) for et nyt ventilationsanlæg ikke overstige 1800 J/m^3 for et anlæg med variabel luftydelse. Derudover er der også krav om at ventilationsanlæg, der både har indblæs- og udsugning skal være udstyret med varmegenvinding. [Bygningsreglement \(2020\)](#)

Yderligere krav

Bygherre ønsker, at der ventileres godt i fællesarealer, da det tiltænkes at disse skal anvendes i større omfang som gruppearbejdspladser og generel socialisering. Bygherre ønsker en volumenstrøm på 2 l/s/m^2 i fællesarealer.

Indeklima

Indeklimaet er, som nævnt i kapitel 1, blevet et af de store fokuspunkter, når der bygges nyt eller renoveres. Det er intet nyt, at det almene menneske bruger meget tid indendørs. Det nye er, at der er blevet større fokus på, hvordan indeklimaet påvirker den generelle trivsel for de brugere, som opholder sig i bygningen. For dagsinstitutioner og skoler er det ofte, at elever anvender det samme lokale hele tiden. Dog findes enkelte skoler som har indført såkaldte vandreklasser, hvor eleverne skifter lokale alt efter hvilket fag, de skal undervises i. Når det samme lokale anvendes over længere tid, er påvirkningen af indeklimaet stor, derfor er det vigtigt med ventilation for at holde et godt indeklima. Så helt generelt gælder det for skoler og uddannelsesinstitutioner, at et sundt indeklima er vigtigt. Indeklimaet kan inddeles i 4 under kategorier, disse er også vist af figur 1.1 i kapitel 1, det termiske indeklima, det atmosfæriske indeklima, det visuelle indeklima og det akustiske indeklima. [Hyltdgaard et al. \(1997\)](#)

Kravene til dette projekt beskrives i de følgende afsnit. I dette projekt er det visuelle indeklima ikke beskrevet, da det vurderes at det ikke har relevans.

Termisk indeklima

Det termisk indeklima refererer til de forhold, der påvirker, om en person oplever kulde eller varme, enten generelt for kroppen eller for specifikke dele af kroppen. Disse forhold har en betydelig indflydelse på menneskers komfort og evne til at præstere.

De primære faktorer, der spiller ind, er typisk lufttemperatur, strålingstemperatur og lufthastigheder/træk. Den samlede virkning af disse påvirkninger fra både luft- og strålingstemperaturer udtrykkes gennem operativ temperaturen. Det er denne parameter, der refereres til, i forhold til termisk indeklima i forskellige normer og standarder.

Atmosfærisk indeklima

Det atmosfæriske indeklima, også kendt som luftkvaliteten, er afgørende for at vurdere atmosfærens tilstand indendørs. Luftkvaliteten afhænger af flere faktorer såsom iltindhold, fugtighed, lugtniveauer og tilstedeværelsen af forurenende stoffer fra både mennesker, møbler og byggematerialer. Utilstrækkelig luftcirkulation og manglende fjernelse af forurenende stoffer kan resultere i symptomer som dødsghed og vanskeligheder med at opretholde koncentrationen. Med en sund luftkvalitet øges elevernes komfort og præstationsevne. For at sikre et godt indeklima er det væsentligt at sikre tilstrækkelig luftudskiftning, hvilket involverer fortynding og fjernelse af forurenende stoffer. I bygninger, hvor forureningen primært stammer fra mennesker, kan CO₂-niveauer fungere som en pålidelig indikator for biologiske forureningskilder fra personers åndedræt. [Vorre et al. \(2021\)](#)

Som beskrevet ovenfor kan et dårligt indeklima resultere i ubehag og koncentrationsbesvær. [Bygningsreglement \(2020\)](#) har, som beskrevet længere oppe, fastsat en grænse for CO₂-niveauet, hvor niveauet altså ikke må overstige en koncentration på 1000 ppm. Udover BR18 findes også forskellige indeklimaklasse, som indeklimaet kan dimensioneres efter. Indeklimaklasse II er den klasse som hyppist anvendes. For det atmosfæriske indeklima er kravene til indeklima-klasse II mindre restriktive, da kravet indebærer, at CO₂-niveauet ikke bør overstige udekonzentrationen med mere end 800 ppm. I Danmark ligger det generelle CO₂-niveauet typisk omkring 400 ppm, hvilket resulterer i et maksimalt tilladt CO₂-niveau på 1200 ppm [Dansk Standard 16798 \(2019\)](#).

Akustisk indeklima

I skolemiljøer er det akustiske indeklima afgørende, da det handler om at reducere støjniveauer både inde i lokalerne og fra omgivelserne samtidig med at sikre klar taleforståelse. Den akustiske balance skal finde sted mellem at reducere uønsket støj fra kilder som installationer, trafik eller bevægelse af stole, samtidig med at lyden ikke dæmpes så meget, at det forringer forståelsen af den vigtige information.

Et dårligt akustisk indeklima kan have betydelig indflydelse på elevers koncentration, søvn og stressniveau. Det kan også forøge belastningen på hørelsen og stemmen. Derfor er det essentielt at sikre gode akustiske forhold, der støtter en positiv læringsoplevelse for eleverne og optimale undervisningsvilkår for lærerne.

Der findes branchevejledninger, der opstiller krav, som understøtter et sundt akustisk indeklima i klasseværelser og områder, der anvendes til gruppearbejde. Visse faglokaler, såsom musik- og sløjdllokaler, har særlige akustiske behov, som ikke er fuldt dækket af de generelle retningslinjer i branchevejledningen. [Vorre et al. \(2021\)](#)

Som nævnt ovenfor er det relevant at sikre at støj fra tekniske installationer i dagsinstitutioner eller undervisningslokaler holdes minimalt. [Bygningsreglement \(2020\)](#) stiller kravet, at lydniveauet fra tekniske installationer i undervisningslokaler skal være 30 DB eller derunder. Derudover er det relevant at anlægget

udformes på en måde, så det ikke skaber forstyrrende støj eller overfører lyd fra ét rum til et andet.

2.1 Arkitekturanalyse

I det følgende afsnit laves en arkitekturanalyse. En arkitekturanalyse har til formål at klarlægge bygningens udformning, hvad bygningen bruges til og om der er rum som har en særlig funktion. Før ventilationen til de forskellige rum kan fastlægges, er det nødvendigt at identificere brugsmønstre, belastninger. Da det drejer sig om en skolebygning, antages det, at aktivitetsniveauet er på 1,2 met, da elever typisk er stillesiddende i klasseværelser [Vorre et al. \(2021\)](#). Alle rum har et nedhængt loft, dog med varierende total konstruktions højde. Det betyder at i nogle rum er en højde og andre en anden. Det nedhængte loft giver plads til kanalføring. Desuden er det, i [Vorre et al. \(2021\)](#) specificeret, at en typisk hverdag på skoler foregår fra kl. 8:00 til 15:30 i dagene mandag til fredag. Interne belastninger for enkelte rum vil blive beskrevet under hvert rum.

Klasseværelse

Klasseværelset er det mest anvendte lokale på skolen. Her vil elever og lærere bruge største delen af deres hverdag. På C. la Cours Skole vil der i børnehaveklasserne være maksimalt 20 elever, hvor der efter 7. klasse vil være op til 22 elever. Derudover vil der være 2 lærer til at føre undervisningen. Den totale interne belastning fra elever og lærere er der for på 24 personer. I den nye tilbygning tilføjes 7 nye klasseværelser, det er den sidste del af mellemtrinet og udskolingen, der kommer til at husere i tilbygningen. Klasseværelsets indeklimaet vil blive påvirket af personbelastningen, udstyr, sol og lys.

Samlingssal

Samlingssalen udgør et fælles rum, der binder skolens fællesskab sammen, og det er her, hele skolen samles til morgensang, foredrag og skolefester. Det er et rum, der skal tilbyde tilstrækkelig plads og fremragende akustik for at imødekomme forskellige arrangementer og aktiviteter. For at skabe den nødvendige fleksibilitet skal samlingssalen være indrettet med en scene, der let kan opstilles. Dette kan opnås ved hjælp af mobile scenemoduler, som kan opbevares praktisk under samlingstrappen og nemt bringes i brug efter behov. Samlingssalen skal være godkendt til at rumme op til 400 personer, hvilket sikrer, at den kan fungere som et samlingspunkt for hele skolens fællesskab med tilstrækkelig plads til diverse begivenheder og arrangementer. Brugsmønstret for samlingssalen, forventes at være med 20% belastning i skolens brugstid og 100 % en time hver fredag fra 8.00-9.00.

Mødelokale

På den samme etage som det indskudte dæk ligger mødelokalet, designet til at imødekomme behovene for møder og gruppearbejde. Rummet kan rumme op til 12 personer, og dette antal er valgt i overensstemmelse med kravene i BR18, der anbefaler 6 kubikmeter plads pr. person. Ved at sikre tilstrækkelig plads pr. person tilbyder mødelokalet et passende og behageligt miljø til effektive møder og arbejdsseancer.

Gallerigang / Indskudt dæk

Førstesalen i tilbygningen, udgør et "indskudt"dæk og er en del af samlingssalen på stueplan. Der er et ønske om, at etablere et galleri og et opholdsareal med direkte visuel kontakt til den nederste del af samlingssalen. Galleri- og opholdsområdet bliver et centralt sted, hvor der skal være mulighed for at præsentere udstillinger og hænge kunstværker, samt elevernes egne produktioner op. Udover dette skal området skabe et æstetisk tiltalende miljø, der opfordrer eleverne til at mødes og socialisere i pauserne før, under og efter undervisningen.

Gallerigangen er det område, der ligger tættest på madkundsabslokalet i den eksisterende bygning og indrettes med fokus på mulighederne for måltidsindtagelse i forbindelse med spisepauser. Dette vil skabe et funktionelt og bekvemt område, der giver mulighed for både fritidsaktiviteter og hyggelige spisetider. Da det er et indskudt dæk, antages det at belastningen og dimensioneringen hører til under samlingssalen.

AV/Bøger

Det ønskede område skal indrettes med den hensigt, at imødekomme flere behov: For det første er vil dette rum have bogreoler til at opbevare forskellige bøger. Dette tilgodeser et behov for opbevaring af undervisningsmaterialer, såsom klassesæt og bogkasser. Disse materialer udgør en essentiel del af undervisningen og er nødvendige for at fremme læringen. Derudover vil der være opbevaring en mindre del af AV-udstyr, såsom Computere, projektorer, skærme eller lydudstyr. Disse elementer udgør en vigtig del af undervisningen og kræver en dedikeret opbevaringsplads, der sikrer, at de er nemme at finde og bruge, når der er behov for dem. I dette lokale forventes det, at en hel klasse kan komme på besøg i korte periode til eventuelt at finde de bøger, som skal anvendes i undervisningen eller til fritidslæsning.

Fællesarealer

Fællesarealerne på 2. salen er designet til at imødekomme forskellige formål for eleverne. For det første er disse områder velegnede til gruppearbejde, hvor eleverne kan arbejde selvstændigt eller sammen om forskellige opgaver og projekter. Udover at være gode rammer for gruppearbejde fungerer fællesarealerne som et socialt samlingssted i frikvarterene. Her kan eleverne mødes, interagere og socialisere, hvilket bidrager til at skabe et inkluderende og venligt miljø. Endelig tjener disse områder som almindelige gennemgangsarealer, hvor eleverne frit kan færdes mellem klasseværelser og andre faciliteter.

Toiletter og Forrum

For at imødekomme de nødvendige faciliteter skal der etableres seks toiletter på stueplanen. Disse toiletter vil være tilgængelige for alle besøgende og skolens personale. Derudover etableres et handicapvenligt toilet, som skal placeres i nærheden af indgangen til samlingssalen, for at sikre nem adgang og tilgængelighed for alle. På 2. sal vil der være et handicapvenligt toilet for at sikre, at elever eller lærer med særlige behov har passende faciliteter til rådighed. På 3. sal etableres yderligere to almene toiletter.

Depot / Teknik / EL

Depotet under samlingstrappen tilbyder rigelig depotplads for at opbevare forskelligt udstyr, en mobilscene, møbler og løst inventar mm. Samme depot betjener også galleri- og opholdsområdet og kan rumme plads til udstillingsudstyr eller møblering. Derudover findes der små depoter på de øvrige etager til opbevaringen af diverse. Teknikrummet i stueplan tiltænkes tilstrækkelig plads til at udføre almindelige drifts- og vedligeholdelsesopgaver på de tekniske installationer. Teknikrummet kan anvendes som opbevaring i kortere perioder. Ved siden af teknikrummet i stueplan, er et mindre teknikrum tiltænkt el-artikler såsom rackskab med servere, skolens internet mm. I depoter og teknikrummene er der ingen til kort personbelastning. Depoter og teknikrummet ventileres ud fra basisventilation. El-teknikrum ventileres ud fra en konstant luftmængde på 2 til 3 $\frac{\text{l/s}}{\text{m}^2}$, som er en anbefaling fra [Ole B. Stampe \(2001\)](#)

Rengøring

På stueplanen etableres et mindre rengøringsrum, så samlingssalen og øvrige nærliggende lokaler, kan rengøres nemt uden at skulle hente rengøringsvognen i en af de eksisterende bygninger. Rengøringsrummet udføres med en vask og gulvafløb. Der etableres udsug i rengøringen med min. 10 l/s, lige som for toiletter.

Ventilationsmetode for de enkelte rum

Ud fra ønsker fra bygherre og en vurdering af den interne belastning er det ikke nødvendigt med indblæs- og udsugning i alle lokaler. I tabel 2.1 kan en oversigt over ventilationsmetoden for de enkelte rum ses:

Rum	Ventilationsmetode	Rum	Ventilationsmetode
Stueplan		2. sal	
Samlingssal	Balanceret	Fællesareal, syd	Balanceret
Depot	Udsug	Grupperum	Balanceret
Toiletter	Udsug	HC-toilet	Udsug
Forrum	Indblæs	6. klasse	Balanceret
Teknik	Udsug	8. klasse	Balanceret
EL	Udsug	7. klasse	Balanceret
HC-toilet	Udsug	8. klasse	Balanceret
Skakt / depot	Udsug	7. klasse	Balanceret
Rengøring	Udsug	Fællesareal, nord	Balanceret
		Skakt / depot	Udsug
1. sal		3. sal	
Depot, 1. sal	Udsug	Depot	Udsug
Mødelokale	Balanceret	9. klasse	Balanceret
Skakt / depot	Udsug	AV / Bøger	Balanceret
Depot	Udsug	9. klasse	Balanceret
		Toiletter	Udsug
		Forrum - WC	Indblæs
		Forrum	Indblæs
		Depot	Udsug
		Skakt / depot	Udsug

Tabel 2.1. En tabel med ventilationsmetode for de enkelte rum.

2.2 Beregning af dimensionsgivende volumenstrømme

For at sikre et tilpas indeklime og at kravene til atmosfæriske indeklime overholdes, beregnes dimensionsgivende volumenstrømme i dette afsnit. Det er i dette projekt valgt, at se bort fra termiske indeklime. Den dimensionsgivende volumestrom ind til det enkelte rum bestemmes derfor ud fra følgende betingelser:

- Betingelse 1, Minimumsluft.
- Betingelse 2, Basisventilation.
- Betingelse 3, Personbelastning.
- Betingelse 4, CO₂-koncentration
- Betingelse 5, Bygherrekrav.
- Betingelse 6, Bygningsreglementets krav.
- Betingelse 7, Erstatningsluft

Et eksempel på en beregning af den dimensionsgivende volumenstrøm, se bilag C

Den største værdi ud fra ovenstående betingelser er taget med videre og betragtes som den dimensionsgivende volumenstrøm. De dimensionsgivende volumenstrømme for de enkelte rum, kan ses af tabel 2.2.

Rum	Dimensionsgivende volumenstrømme [m ³ /h]	Luftskifte [h ⁻¹]	Metode
Stueplan			
Samlingssal	13593	6,54	Betingelse 4
Depot	155	1,28	Betingelse 2
Toiletter	36	8,46	Betingelse 6
Forrum	108	6,78	Betingelse 7
Teknik	124	1,00	Betingelse 5
EL	41	3,21	Betingelse 5
HC-toilet	36	3,38	Betingelse 6
Skakt / depot	6	1,00	Betingelse 5
Rengøring	36	4,67	Betingelse 5
1. sal			
Depot, 1. sal	67	1,00	Betingelse 5
Mødelokale	408	5,09	Betingelse 4
Skakt / depot	6	1,00	Betingelse 5
Depot	8	1	Betingelse 5
2. sal			
Fællesareal, syd	706	2,57	Betingelse 5
Grupperum	136	8,27	Betingelse 4
HC-toilet	36	3,38	Betingelse 6
6. klasse	815	5,30	Betingelse 4
8. klasse	815	5,42	Betingelse 4
7. klasse	815	5,42	Betingelse 4
8. klasse	815	5,42	Betingelse 4
7. klasse	815	5,44	Betingelse 4
Fællesareal, syd	323	2,57	Betingelse 5
Skakt / depot	6	1,00	Betingelse 5
3. sal			
Depot	70	1	Betingelse 5
9. klasse	815	5,29	Betingelse 4
AV / Bøger	629	5,42	Betingelse 5
9. klasse	815	5,25	Betingelse 4
Toiletter	36	10,12	Betingelse 6
Forrum	72	5,05	Betingelse 7
Forrum	39	2,57	Betingelse 5
Depot	11	1,00	Betingelse 5
Skakt / depot	6	1,00	Betingelse 5

Tabel 2.2. Tabel med de dimensionsgivende volumenstrømme, luftskifte og fremgangsmetode til de enkelte rum.

I det ovenstående vil den dimensionsgivende volumenstrøm, for ventilationsanlægget, være knap 21.500 m³/h. Denne værdi er ret voldsom, derfor indføres antagelsen om, at samlingslokalet ikke er anvendt samtidig med klasseværelser mm.. Den dimensionsgivende volumenstrøm til samlingslokalet drosles ned til 20% når lokalet ikke er under belastning.

Derudover korrigeres de ovenstående værdier for at give overskud og bedre komfort. Korrigeringen er lavet på baggrund af erfaringer og skøn. Det korrigerede værdier kan ses af 2.3.

Rum	Dimensionsgivende volumenstrømme [m ³ /h]	Luftskifte [h ⁻¹]
Stueplan		
Samlingssal	100% = 14000 / 20% = 2800	100% = 6,74, 20% = 1,34
Depot	160	1,28
Toiletter	36	8,46
Forrum	108	6,78
Teknik	125	1,00
EL	45	3,21
HC-toilet	36	3,38
Skakt / depot	10	1,70
Rengøring	36	4,67
1. sal		
Depot, 1. sal	75	1,00
Mødelokale	450	5,09
Skakt / depot	10	1,70
Depot	10	1,27
2. sal		
Fællesareal, syd	750	2,57
Grupperum	140	8,00
HC-toilet	36	3,38
6. klasse	1000	6,50
8. klasse	1000	6,65
7. klasse	1000	6,64
8. klasse	1000	6,65
7. klasse	1000	6,67
Fællesareal, nord	350	2,78
Skakt / depot	10	1,70
3. sal		
Depot	70	1,07
9. klasse	815	5,29
AV / Bøger	629	5,42
9. klasse	815	5,25
Toiletter	36	10,12
Forrum - WC	72	5,05
Forrum	40	2,61
Depot	15	1,43
Skakt / depot	6	1,70

Tabel 2.3. Tabel med de korrigerede dimensionsgivende volumenstrømme og luftskifte.

Ud fra ovenstående volumenstrømme udarbejdes 3 løsningsforslag. Løsningsforslagene vil senere i afsnit 3.2.1 beskrives yderligere og kan ses i appendiks B.

Skitseprojektering 3

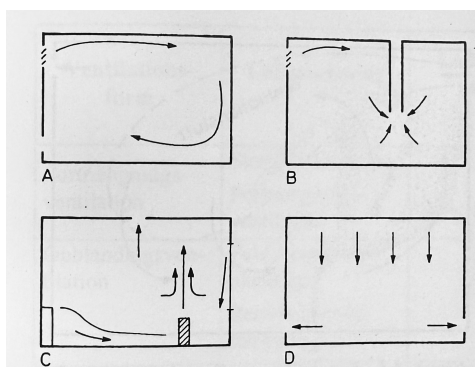
I den indledende projekteringsfase vil der udarbejdes tre separate forslag til ventilationssystemet for at sikre at en optimal løsning vælges. Det mest hensigtsmæssige forslag vil blive valgt og tages videre til den detaljerede projektering. Skitseprojekteringen vil blive udarbejdet ved hjælp af manuelle beregninger og grove estimer. Skitseprojekteringen er afgørende for at vælge den passende ventilationsmetode og anlægstype. Forskellige parametre såsom tryktab, materialforbrug og økonomiske aspekter ved rørinstallationen vil blive sammenlignet på tværs af de forskellige løsningsforslag for ventilationssystemerne.

3.1 Ventilationsprincipper, styring og aggregattype

I de kommende afsnit vil der blive beskrevet ventilationsprincipper og styringsmetoder med det formål at træffe en beslutning om, hvilket ventilationsprincip og hvilken styring af ventilationssystemet der skal anvendes på C. la Cours Skolen. Denne grundlæggende gennemgang muliggør en mere detaljeret fase, hvor valg af specifikke armaturer, deres placering samt den overordnede udformning af ventilationssystemet kan udforskes og planlægges. Det endelige mål er at skabe et effektivt og passende ventilationssystem, der opfylder skolens behov for et sundt og behageligt indeklima.

Ventilationsprincipper

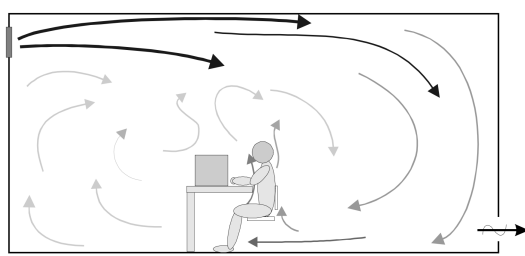
I Danvak's Ventilationsteknik fremhæves fire strømningsformer, også kendt som ventilationsprincipper. Disse omfatter opblandingsventilation, procesventilation, konvektionsstrømning og stempelventilation. En skitse af de fire principper kan ses af figur 3.1. I dette projekt rettes fokus mod de to principper: opblandingsventilation og konvektionsstrømning, som også er kendt som fortrængningsventilation. Nedenfor vil begge principper blive uddybet og forklaret. [Stampe \(2000\)](#)



Figur 3.1. Forskellige strømningsformer. [Stampe \(2000\)](#)

Opblandingsventilation

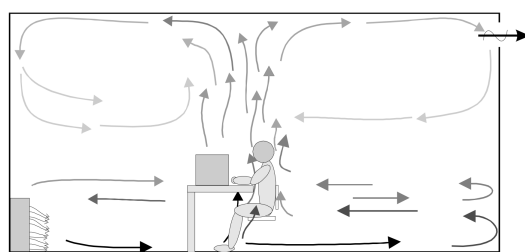
Opblandingsventilation fungerer ved at tilføre luft med høj hastighed over opholdszonen. Den friske luft blandes ind i det eksisterende luftmiljø, hvilket resulterer i en effektiv blanding og fortynding af eventuelle forurenende stoffer, samt en ensartet fordeling af temperatur. Udsugningen er typisk placeret i loftet eller højt i væggen, men kan placeres vilkårligt. En skitse af opblandingsventilation kan ses af figur 3.2.



Figur 3.2. Skitse af opblandingsventilation. [Loomans \(1998\)](#)

Fortrængningsventilation

Fortrængningsventilation er baseret på det termiske opdriftsprincip og implementeres ved at indblæse luft ved gulvniveau. Indblæsningen foregår med lav hastighed og ved en moderat til lav temperatur, hvilket resulterer i, at luften via konvektion stiger op, når den kommer i kontakt med varmere genstande som mennesker og udstyr. Den lave hastighed fjerner risikoen for træk, da indblæsningen sker direkte i opholdszonen. Dog kan temperaturdifferens skabe ubehag. Udsugningen er placeret enten højt i rummet eller i loftet for at fjerne den forurenende og varme luft fra lokalet. En skitse af fortrængningsventilation kan ses af figur 3.3.



Figur 3.3. Skitse af fortrængningsventilation. [Loomans \(1998\)](#)

Styring

I det kommende afsnit beskrives de forskellige styringer for ventilationsanlægget. Styring spiller en vigtig rolle for at sikre tilførslen af den rette mængde luftstrøm i de rum, der kræver ventilation. Nedenfor følger en gennemgang af de to styringsmetoder, nemlig CAV (Constant Air Volume - konstant luftvolumen) og VAV (Variable Air Volume - variabelt luftvolumen).

CAV

Et CAV-anlæg (Constant Air Volume) opretholder en konstant volumenstrøm, som navnet antyder, der er fastsat for det enkelte rum. Fordelene ved denne styring er en konstant ventilatorydelse, nem indregulering, et stort set konstant indblæsningsmønster samt fraværet af automatisk spjældregulering i kanalsystemet. Desuden kan det kombineres med andre varme- eller kølesystemer, hvilket tillader anlægget kun at levere basisventilationen. På den anden side har CAV-anlægget også sine ulemper. Det kan levere mere ventilation end nødvendigt, kræver relativt store aggregater og kanaler, samt tendens til at forbruge mere elektricitet til ventilatordrift. Desuden tillader det ikke individuel temperaturregulering i rummene, medmindre der anvendes zonekøle/varmeblader.

VAV

VAV-anlægget (Variable Air Volume) tilpasser ventilationsanlæggets volumenstrøm individuelt i hvert enkelt rum afhængigt af belastningen i rummet. Dette resulterer i en besparelse af elforbruget under drift, da der undgås unødvendig ventilation. Anlægsfasen kan dog være dyrere, da nogle af komponenterne til VAV-styring er dyrere end dem til CAV.

Fordelene ved et VAV-anlæg er en betydelig reduktion af elforbruget til lufttransport, hvilket gør VAV-anlægget til en af de mest energi- og miljøvenlige anlægstyper. Spjældene kan justeres, så lukningen af ubenyttede rum kan ske fuldstændigt, eller så volumenstrømmen tilpasses efter det aktuelle behov i rummet. Derudover er komponenter og kanaler mindre sammenlignet med tilsvarende CAV-anlæg, da man kan regne med en samtidighedsfaktor på 80% af den maksimale volumenstrøm. Ulemperne ved VAV-anlæg omfatter behovet for kapacitetsregulering af ventilatorerne, typisk gennem frekvensomformere. Desuden kræver anlægget volumenstrømsregulatorer, og der kan opstå støj i forbindelse med disse. Indreguleringen skal udføres af leverandøren, da det kræver avanceret reguleringsudstyr modsat med CAV-anlæg.

Aggregattype

Når behovet for mekanisk ventilation er fastslået, er et ventilationsaggregat nødvendigt. Et sådant aggregat kan implementeres som enten et centralt eller decentralt system. I det kommende afsnit vil der blive præsenteret argumenter for valget af en specifik aggregattype for systemet på C. la Cours Skolen.

Centralt anlæg

Et centralt ventilationssystem består af et enkelt ventilationsaggregat, som er ansvarlig for at forsyne hele bygningen med frisk luft. Dette kan medføre forskelle i størrelsen af selve aggregatet og ventilationskanalerne, alt efter hvilke ventilationsbehov der er i bygningen. En anden fordel ved denne tilgang er, at der kun er ét aggregat, der kræver service og vedligeholdelse.

Decentralt anlæg

Decentrale anlæg omtales ofte i flertal og refererer i de fleste tilfælde til flere mindre ventilationsanlæg. De små anlæg er designet til at betjene mindre områder eller sektioner ved at tilføre frisk luft. Løsningen med decentrale anlæg har både fordele og ulemper, øgede vedligeholdelsesomkostninger, da flere aggregater kræver regelmæssig service. Dog kræver denne metode mindre plads til installationen af mindre ventilationskanaler, ligesom der også vil være mindre tryktab, da kanalerne er mindre, og afstanden til hvert område af bygningen er kortere.

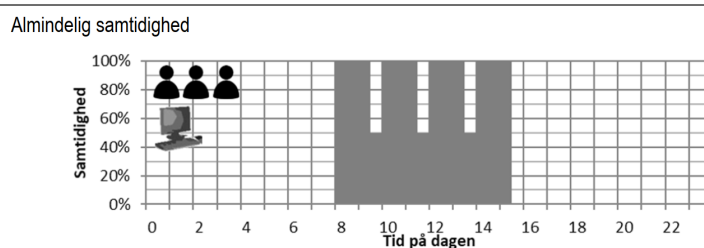
Valg af systemløsning

På baggrund af ovenstående forklaringer af de to forskellige ventilationsprincipper vælges opblandingsventilation som det ventilationsprincip, der passer bedst ind til C. la Cours skolen. Årsagen herfor er, at der er tale om en skole og dermed klasseværelser, hvor fortrængningsventilation vil kunne medføre trækgener og en større vertikal temperaturdifferens end ved opblanding. Derudover sikre opblandingsventilation en konstant fortynding af CO₂-koncentrationen.

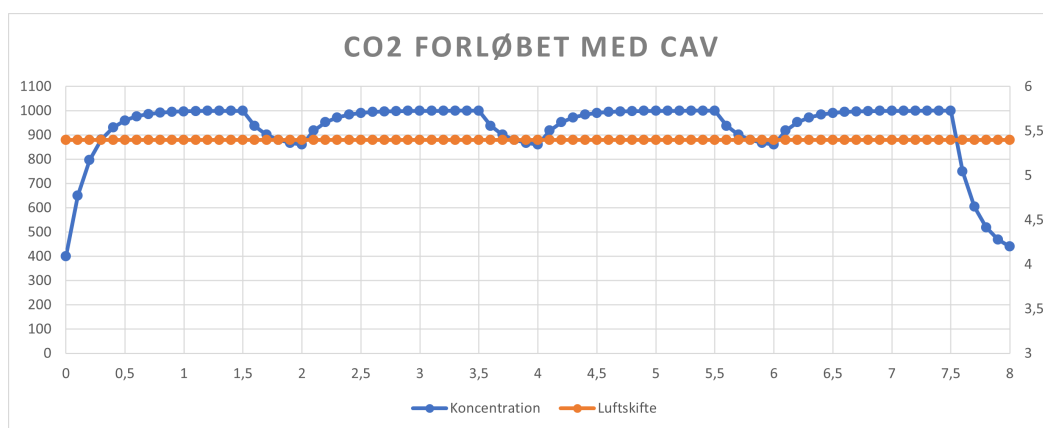
Systemet styres ved brug af VAV-styring i samtlige rum, primært på grund af samlingssalens og klasselokalernes varierende brugsmønstre. Denne tilgang med ujævnt brugsmønster og VAV-styring resulterer, som beskrevet tidligere, i et reduceret energiforbrug. Netop fordi ventilationen kan reguleres efter behov, i stedet for at operere ved maksimal kapacitet hele tiden. Skulle anlægget køre ved maksimal kapacitet i samlingssal, ville det betyde at der konstant indblæses og udsuges 14.000 m³/h.

Når der er tale om klasseværelser, grupperum eller mødelokaler, er der oftest stor variation i de interne belastninger. Derfor vælges der oftest VAV-anlæg til dagsinstitutioner og undervisningsbygninger. For at vise at der er behov for et VAV-anlæg og ikke bare et tidstyrret CAV-anlæg, udvælges et klasseværelse, hvor ventilationsmængden i løbet af en skoledag vil blive sammenlignet for CAV og VAV. Sammenligningen vil blive lavet ud fra CO₂-belastningen, da det er denne belastning, der giver det højeste luftskifte.

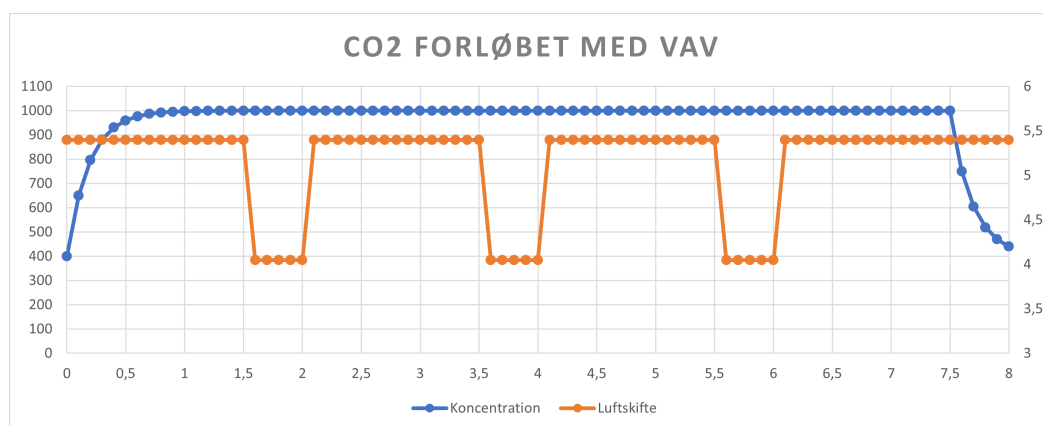
I figur 3.5 og 3.6 kan CO₂-niveauet og luftskiftet ved de to styringsmuligheder henover en almen skoledag ses. Belastningsprofilen for klasseværelset ved almindelig samtidighed er som vist på figur 3.4 og er anvendt til at udarbejde figur 3.5 og 3.6. [Vorre et al. \(2021\)](#)



Figur 3.4. Belastningsprofil for almindelig samtidighed i klasseværelser.



Figur 3.5. Illustration af CO₂-niveau henover en skoledag med CAV-styring.



Figur 3.6. Illustration af CO₂-niveau henover en skoledag med VAV-styring.

Hvis CAV-styring vælges, vil ventilationen blive baseret på den højeste belastning, der svarer til 24 personer. Dette resulterer i 816 m³/h, hvilket i løbet af en arbejdsdag bliver 6528 m³. Ved brug af et VAV-anlæg tages der hensyn til de variable ventilationsbehov i løbet af dagen. På højre side af figur 3.5 og 3.6 kan niveauet af ppm aflæses, hvilket angiver CO₂-belastningen. På figur 3.5 kan det ses at CO₂-niveau i klasseværelset med CAV kommer godt under den maksimale værdi på 1000 ppm når det er konstant indblæsning. I løbet af en hel skoledag, vil der i klasseværelset med CAV blive indblæst 6528 m³. På figur 3.6 kan det ses, at ved VAV-styring reguleres volumenstrømmen ud fra belastningen i rummet. Ligesom ved CAV indblæses 816 m³/h, når der er maksimal belastning, men i frikvarterer og i frokostpausen indblæses i gennemsnit 714 m³/h. Henover en skoledag vil der ved VAV blive leveret en ventilationsmængde på 6222 m³ for det pågældende klasseværelse, hvilket er 4,92% mindre end ved brugen af CAV.

Aggregattypen vælges som et centralt anlæg, hvilket synes mest hensigtsmæssigt ud fra plantegningerne. Hvis decentrale anlæg vælges, ville det kræve placering af flere mindre anlæg, hvilket ville nødvendiggøre yderligere disponering af teknikrum. Dette skyldes det påkrævede krav om, at ventilationsanlæg skal placeres i teknikrum. Ved at anvende flere mindre anlæg ville det potentielt resultere i øgede driftsomkostninger og kræve flere serviceeftersyn, som tidligere nævnt. Derudover er det også noget økonomisk i at vælge et centralt anlæg, da et større anlæg i det fleste tilfælde vil være billigere end at anskaffe 2 mindre anlæg.

3.2 Løsningsforslag

På baggrund af valget om ventilationsprincip, styring og aggregatløsning taget i afsnit 3.1 vil der i følgende afsnit blive beskrevet tre løsningsforslag til ventilationssystemet på tilbygningen til C. la Cours Skolen.

Løsningsforslagene er udarbejdet med henblik på, at placere det centrale ventilationsanlæg forskellige steder. Der er udarbejdet en løsning, hvor anlægget er placeret i teknikrummet på stueplanen. En alternativ løsning indebærer anlæggets placering på taget af bygningen, og endelig en løsning, hvor anlægget er placeret i det store depot på 3. sal.

3.2.1 Kanalføring

I forbindelse med kanalføringer i ventilationssystemet kan der i praksis anvendes både runde og rektangulære kanaler. Runde ventilationskanaler er foretrukne indenfor ventilationssystemer på grund af deres lave omkostninger, enkelhed i installationsprocessen og effektivitet i brug. Sammenlignet med rektangulære kanaler er de billigere at fremstille, nemmere at installere, har en tættere konstruktion, kræver mindre lagerplads og er mere enkle at isolere. Rektangulære ventilationskanaler er mere pladsbesparende og kan tilpasses til at passe ind i mindre områder, hvor kanaler krydses. Deres flade form gør dem velegnede til installation i lofter, vægge eller andre steder, hvor pladsen er begrænset. Disse kanaler bruges når der er specifikke pladskrav og produceres efter den specifikke opgave. [Stampe \(2000\)](#)

I praksis anvendes runde kanaler hovedsageligt, da de, som nævnt ovenfor, er billigere og nemme at fremstille. I tilfælde af trænge føringsveje anvendes rektangulære kanaler, da de kan tilpasses den enkelte installationsopgave. I udarbejdelsen af løsningsforslagene tages der ikke hensyn til om der er plads til at kanalføring. Derudover anvendes der kun runde kanaler for at gøre det nemmere at sammenligne de forskellige forslag.

I udarbejdelsen af løsningsforslagene er det relevant at holde antallet af krydsninger på et minimalt antal, da det kræver en del plads og medfører et større tryktab. I bygningen føres alle kanalerne over nedhængt loft eller i ventilationsskakten. Der er udarbejdet tre løsningsforslag over føringsveje.

I de følgende afsnit er løsningsforslagene beskrevet. Til hvert løsningsforslag findes et oversigtsbillede af kanalføringer. I bilag B kan løsningsforslagene ses i fuld format.

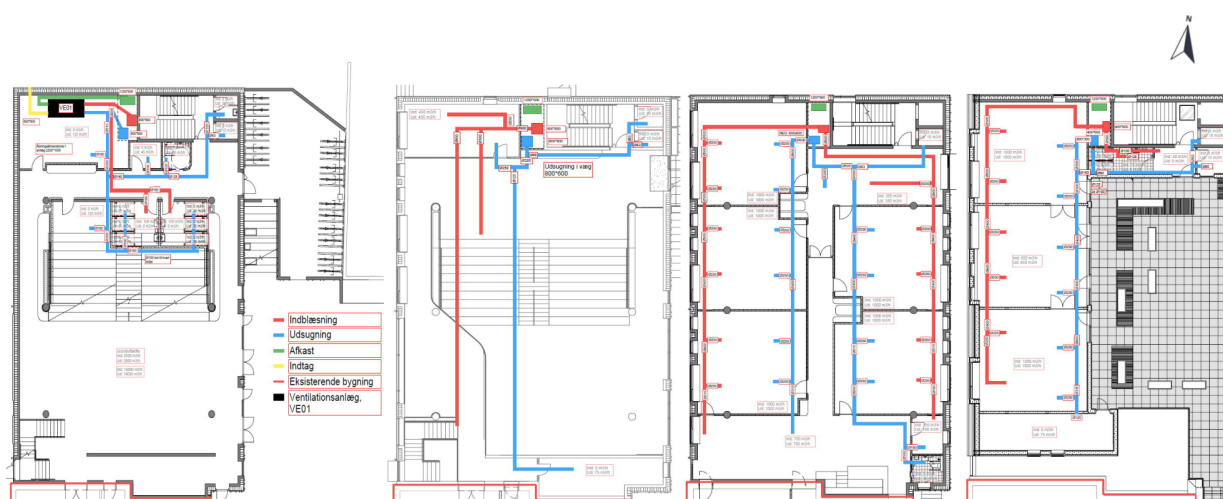
Løsningsforslag 1

Ventilationsaggregatet er placeret i teknikrummet på stueplanen, hvorfra en hovedkanal ledes op gennem bygningen via en ventilationsskakt i den nordlige del. På stueplanen er der flere udsugningskanaler, der betjener teknikrum, EL-teknikrum og toiletter. Derudover er der indblæsning i forrummene til toiletterne. Hovedparten af luftmængden ledes op på 1. salen, hvor der foregår indblæsning og udsugning til samlingssalen. En mindre udsugningskanal fører til depotet mod syd, og en gren mod øst betjener de to mindre depoter.

Tættest på ventilationsskakten ligger mødelokalet, hvor der er både indblæsning og udsugning for en balanceret ventilation. På 2. sal er der to sæt indblæsnings- og udsugningskanaler, én på hver side af bygningen. Kanalerne mod øst betjener to klasseværelser, det nordlige fællesareal, et mindre grupperum og et handicapvenligt toilet. Mod vest betjener kanalerne tre klasseværelser og det sydlige fællesareal. På 3. sal føres en indblæsningsgren langs den vestlige facade og betjener to klasseværelser, rummet til AV-udstyr og bøger. En mindre indblæsningskanal ledes ind over toiletkernen og betjener forrummet til toiletterne og mellemgangen udenfor.

Hovedkanalen tilpasses løbende i størrelse i ventilationsskakten i forhold til den aktuelle volumenstrøm fra de enkelte etager. Indtaget vurderes at kunne føres ud gennem væggen og placeres i jorden med et udeluftindtag ført op fra jorden. Afkastet føres op gennem ventilationsskakten og over taget, hvor luften blæses ud.

Ved at placere anlægget i stueplanen muliggøres nem service og eventuel reparation. Dette sikrer nem adgang med reservedele uden behov for transport op ad trapper. Dog kan denne placering resultere i mindre tilgængelig opbevaringsplads til borde, stole og eventuelle ting til samlingssalen og gallerigangen.



Figur 3.7. Oversigtsbillede af løsningsforslag 1.

Løsningsforslag 2

I dette løsningsforslag er ventilationsaggregatet placeret på taget. Hovedkanaler føres ned gennem tagkonstruktionen og videre ned via den nordlige ventilationsskakt. Derfra ledes både indblæsnings- og udsugningskanaler direkte til rummene på 3. sal, hvor kanalføringen følger beskrivelsen i "Løsningsforslag 1". På 2. sal føres kanaler igen fra ventilationsskakten, men her har der været forsøgt at skabe en bedre balance mellem de to grene. I modsætning til løsningsforslag 1, serviceres fællesarealet mod syd af både udsugningsgrenen mod øst og udsugningsgrenen mod vest. Den vestlige udsugningskanal har en afgrening, der suger den forurenede luft væk fra midtergangen. Den østlige kanal har udsugning i fællesarealet mod syd. Desuden er den vestlige kanalføring for indblæsning i fællesarealet justeret en smule, så der laves to indblæsningsarmaturer.

På stueplanen ledes indblæsningskanalerne til forrummene for de seks toiletter. Udsugningen føres fra etagegennemføringen og videre til toiletterne, teknikrummet og depoterne. I dette løsningsforslag er indtaget placeret på taget, hvilket muliggør nem og hensigtsmæssig tilførsel af frisk luft. Afkastet er ligeledes anbragt på taget. Der tages højde for at undgå forurening af indtagskanalen ved at opretholde en respektfuld afstand på minimum 3 meter fra indtagskanalen. Placeringen på taget medfører et krav fra bygherres side om at det skal sikres, at ventilationsaggregatet er utilgængeligt for uvedkommende og elever.

Ved at installere ventilationsanlægget på taget frigøres pladsen på stueplanen, hvilket forbedrer opbevaringsmulighederne. Når anlægget er placeret på taget, er det vigtigt at tage hensyn til støj og sikre, at det er isoleret til udendørsbrug. Servicering af anlægget er generelt ukompliceret, men reparationer, der kræver udskiftning af større komponenter som f.eks. varmevekslere, kan være mere besværlige, da reservedelene skal løftes op på taget.

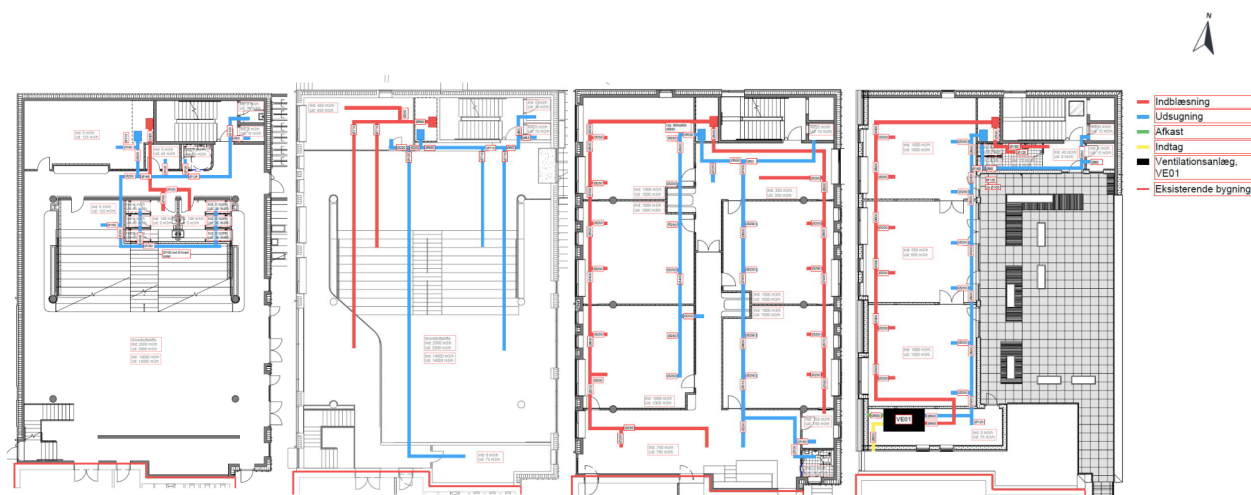


Figur 3.8. Oversigtsbillede af løsningsforslag 2.

Løsningsforslag 3

I dette løsningsforslag er ideen, at ventilationsaggregatet placeres i det rummelige depot på 3. sal, som skal omdannes til et teknikrum i overensstemmelse med kravene i standarden "Brandsikring af ventilationsanlæg", jf. [Dansk Standard 428 \(2021\)](#). Ventilationskanalerne ledes gennem det nedhængte loft i de to klasseværelser, samt i rummet med AV-udstyr og bøger. Disse kanaler vil være relativt store, da de udgør den indledende strækning fra ventilationsaggregatet. Det kan i praksis betyde, at der er behov for ekstra plads over det nedhængte loft. Kanalerne føres til ventilationsskakten, hvorfra de fortsætter ned til de andre etager. Kanalføringen på de individuelle etager er som beskrevet i løsningsforslag 2.

Ved at placere anlægget i depotrummet på tredje salen indendørs, elimineres behovet for yderligere isolering. Denne placering kræver dog, at man går på kompromis med tilgængeligheden af serviceområdet. Det vil stadig være muligt at udskifte filtre og udføre almindelig service, men større reparationer vil være komplicerede.



Figur 3.9. Oversigtsbillede af løsningsforslag 3.

3.3 Indblæsnings- og udsugningsarmaturer

Indblæsnings- og udsugningsarmaturer udgør essentielle komponenter i ventilationssystemer og er med til at opretholde komforten i et rum. Indblæsningsarmaturer er designet til at tilføre frisk luft til indendørsområder ved at distribuere rensset og filtreret luft jævnt og effektivt. Disse armaturer er strategisk placeret for at sikre optimal cirkulation og luftkvalitet i hele bygningen. På den anden side hjælper udsugningsarmaturer med at fjerne forurenset luft fra rummet. Udsugningsarmaturer hjælper også med at fjerne varme, fugt, og uønskede lugte fra bygningen, hvilket skaber en mere behagelig og sund atmosfære for brugerne. Både indblæsnings- og udsugningsarmaturer findes i forskellige former og størrelser for at imødekomme specifikke ventilationssystembehov.

Valget af passende armaturer til et ventilationssystem afhænger af flere faktorer såsom bygningens dimensioner, formål, dimensionsgivende luftmængde, og kastelængde. En velplanlagt og korrekt installeret kombination af indblæsnings- og udsugningsarmaturer er afgørende for at opnå et sundt og behageligt indeklima med god cirkulation og kvalitet.

Til ventilationssystemet på C. la Cours Skolen ønskes det, at indblæsnings- og udsugningsarmaturer udføres i samme stil med de øvrige i de eksisterende bygninger. Derfor vil der i dette projekt blive arbejdet med Lindab PCA-armaturer til både indblæsning og udsugning, hvor det er muligt. I rum hvor PCA-armaturet ikke vil passe ind i forhold til kastelængde mm. her vælges et armatur, som ligner. I rum som eksempelvis toiletter, hvor der kun er behov for udsugning, vil udsugningsventilen "KSU" fra Lindab blive anvendt. I fællesarealer og forrum, hvor der kun er behov for tilførsel af luft, vil indblæsningsventilen "KIR" fra Lindab blive benyttet. Både udsugningsventilen KSU og indblæsningsventilen KIR kan nemt monteres på runde kanaler ved hjælp af VRGL-ventilrammen, som placeres ved enden af en ventilationskanal. Dimensioneringen af armaturer vil blive beskrevet senere i detailprojektet.

3.4 Dimensionering af kanaler

I det følgende afsnit beskrives dimensioneringen af ventilationskanaler.

Ved dimensionering af kanaler til et ventilationssystem, kan følgende fire grundlæggende principper anvendes. Principperne er specificeret i [Stampe \(2000\)](#).

- Konstante luftstrømhastigheder
- Konstant tryktabsgradient
- Faldende luftstrømhastigheder
- Ens statisk tryk ved alle afgreninger

Til dimensionering af kanalerne vælges en kombination af metoden, hvor luftstrømhastigheden falder i kanalerne fra aggregatet og ud til armaturerne og metoden hvor tryktabsgradienten holdes konstant. Valget af denne metode resulterer i en trykgradient, som varierer afhængigt af hastigheden. Trykgradienten bestemmes for de forskellige kanalstrækninger og vil i dette projekt forsøges at holdes på eller under 0,5 Pa/m, da det, rent erfaringsmæssigt, har vist sig at fungere godt på andre projekter.

Baseret på disse valg fastlægges dimensionerne for kanalerne. I overensstemmelse med [Ole B. Stampe \(2001\)](#) følges anbefalingerne for hastigheder, som er som følger:

- Hovedkanal: 6-9 m/s
- Større fordelingskanal: 4-6 m/s
- Mindre fordelingskanal: 2-4 m/s
- Tilslutningskanal: 2-3 m/s

Kanalstørrelserne svinger mellem Ø63 og Ø900. Kanaler med forholdsvis lille diameter er i det fleste tilfælde tilslutningskanaler, hvor de kanaler med store diameter altså svarer til en større fordelingskanal eller hovedkanal. I løsningsforslagene svinger tryktabsgradientet mellem 0,05 Pa/m og 0,53 Pa/m. Hastigheden svinger mellem 0,83 m/s og 6,11 m/s. I enkelte tilfælde kommer hastigheden ned under 1 m/s, hvilket skyldes, at der indblæses eller udsuges med meget lav volumenstrøm.

3.5 Sammenligning af løsningsforslag

På baggrund af de udarbejdede løsningsforslag laves der i det følgende afsnit en sammenligning på deres tryktab, materialeforbrug og totaløkonomi for kanalføring. I skitseprojekteringen afgrænser dette projekt sig til udelukkende at se på tryktabet per løbende meter og ser bort fra tryktabet i bøjninger, overgange til større eller mindre kanalstørrelser, spjæld, armaturer og lyddæmpere. Det samme for er gældende for materialeforbrug og det økonomiske overslag.

Tryktab

I tabel 3.1 kan det totale tryktab for indblæsnings- og udsugningskanalerne for de enkelte løsningsforslag ses.

Tryktab [Pa]			
Løsningsforslag	1	2	3
Indblæsning	51,28	54,41	57,42
Udsugning	74,77	72,10	73,50
Total	126,05	126,51	130,93

Tabel 3.1. Oversigt over det totale tryktab i indblæsnings- og udsugningskanaler i de tre løsningsforslag.

Ud fra tabel 3.1 kan det ses, at tryktabet i de forskelligeløsningsforslag ligger relativt tæt på hinanden. Dog er det løsningsforslag 1 der har det laveste totale tryktab, løsning 3 har det største tryktab og løsning 2 har et tryktab lige mellem de 2. Derudover kan det ses, at det er kanalføringen til udsugning, der har det største tryktab, hvilket giver god mening, da der er flere rum med ren udsugning.

For senere at muliggøre en sammenligning af tryktabet fra skitsen med tryktabet fra detailprojekteringen i MagiCAD, tillægges værdierne i tabel 3.1 25% for at tilgodese tryktabene ved enkeltetab.

Tryktab + 25% [Pa]			
Løsningsforslag	1	2	3
Total	157,56	158,14	163,66

Tabel 3.2. Det totale tryktab i indblæsnings- og udsugningskanaler i de tre løsningsforslag + 25%.

Materialeforbrug og totalomkostninger til kanalføring

I det følgende afsnit kan materialeforbrug og totalomkostningerne ved de enkelte løsningsforslag ses. I tabel 3.3, 3.4 og 3.5 kan den totale længde af hele løsningsforslag og for den enkelte rørdimension, samt prisen for den mængde kanal ses. Priserne for de enkelte rørstørrelser er fundet på Lindab.dk [Lindab](https://www.lindab.dk) (2023). De totale omkostninger ved de enkelte løsningsforslag kan ses af tabel 3.7.

Løsningsforslag 1					
Rørdiameter [mm]	Længde [m]		Pris pr. meter [kr/m]	Pris, total [kr]	
	Indblæsning	Udsugning		Indblæsning	Udsugning
63	0	14,44	109,00 kr.	- kr.	1.574 kr.
80	0	15,92	109,00 kr.	- kr.	1.735 kr.
100	2,88	16,99	129,00 kr.	372 kr.	2.192 kr.
125	1,1	35,3	162,00 kr.	178 kr.	5.719 kr.
160	9,86	9,43	195,00 kr.	1.923 kr.	1.839 kr.
200	8,95	11,56	242,00 kr.	2.166 kr.	2.798 kr.
250	36,98	35,3	302,00 kr.	11.168 kr.	10.661 kr.
315	6,09	12,71	427,00 kr.	2.600 kr.	5.427 kr.
400	26,106	25,84	574,00 kr.	14.985 kr.	14.832 kr.
500	63,34	23,37	713,00 kr.	45.161 kr.	16.663 kr.
630	9,43	1,54	996,00 kr.	9.392 kr.	1.534 kr.
800	3	3	1.277,00 kr.	3.831 kr.	3.831 kr.
900	12,15	11,8	2.321,00 kr.	28.200 kr.	27.388 kr.
Total	179,9	217,2	Total	119.976,40 kr.	96.191,30 kr.

Tabel 3.3. Overslagsberegning af prisen for kanalerne til løsningsforslag 1.

Løsningsforslag 2					
Rørdiameter [mm]	Længde [m]		Pris pr. meter [kr/m]	Pris, total [kr]	
	Indblæsning	Udsugning		Indblæsning	Udsugning
63	0	14,44	109,00 kr.	- kr.	1.574 kr.
80	0	10	109,00 kr.	- kr.	1.090 kr.
100	2,88	16,99	129,00 kr.	372 kr.	2.192 kr.
125	1,1	36,29	162,00 kr.	178 kr.	5.879 kr.
160	9,36	8,77	195,00 kr.	1.825 kr.	1.710 kr.
200	8,5	8,62	242,00 kr.	2.057 kr.	2.086 kr.
250	46,14	38,92	302,00 kr.	13.934 kr.	11.754 kr.
315	8,88	10,06	427,00 kr.	3.792 kr.	4.296 kr.
400	26,106	25,48	574,00 kr.	14.985 kr.	14.626 kr.
500	39,53	26,53	713,00 kr.	28.185 kr.	18.916 kr.
630	9,43	1,54	996,00 kr.	9.392 kr.	1.534 kr.
900	18,42	18,62	2.321,00 kr.	42.753 kr.	43.217 kr.
Total	195,856	239,21	Total	117.472,79 kr.	108.872,57 kr.

Tabel 3.4. Overslagsberegning af prisen for kanalerne til løsningsforslag 2.

Løsningsforslag 3					
Rørdiameter [mm]	Længde [m]		Pris pr. meter [kr/m]	Pris, total [kr]	
	Indblæsning	Udsugning		Indblæsning	Udsugning
63	0	14,44	109,00 kr.	- kr.	1.574 kr.
80	0	10	109,00 kr.	- kr.	1.090 kr.
100	2,88	16,99	129,00 kr.	372 kr.	2.192 kr.
125	1,1	35,78	162,00 kr.	178 kr.	5.796 kr.
160	9,36	8,39	195,00 kr.	1.825 kr.	1.636 kr.
200	8,5	8,62	242,00 kr.	2.057 kr.	2.086 kr.
250	42,66	38,92	302,00 kr.	12.883 kr.	11.754 kr.
315	8,88	6,55	427,00 kr.	3.792 kr.	2.797 kr.
400	15,55	14,83	574,00 kr.	8.926 kr.	8.512 kr.
500	24,14	21,41	713,00 kr.	17.212 kr.	15.265 kr.
630	9,43	1,54	996,00 kr.	9.392 kr.	1.534 kr.
900	48,24	36,44	2.321,00 kr.	111.965 kr.	84.577 kr.
Total	196,25	236,86	Total	168.601,84 kr.	138.813,64 kr.

Tabel 3.5. Overslagsberegning af prisen for kanalerne til løsningsforslag 3.

I tabel 3.6 kan det totale materialeforbrug for indblæsnings- og udsugningskanalerne for de enkelte løsningsforslag ses.

Materialeforbrug [m]			
Løsningsforslag	1	2	3
Indblæsning	159,08	170,346	170,74
Udsugning	217,20	216,26	213,91
Total	376,28	386,61	384,65

Tabel 3.6. Oversigt over materialeforbruget i indblæsnings- og udsugningskanaler i de tre løsningsforslag.

Ud fra tabel 3.6 kan det ses, at løsningsforslag 1 har det laveste totale materialeforbrug, på 376 meter, til kanalføring. Løsningsforslag 2 har det største forbrug på hele 386 meter kanaler og løsning 3 har på næsten det samme med sine 384,5 meter.

I tabel 3.7 kan de totale omkostninger for kanalføring for indblæsnings- og udsugningskanalerne for de enkelte løsningsforslag ses.

Samlet pris [kr]			
Løsningsforslag	1	2	3
Indblæsning	105.138,87	117.472,79	168.601,84
Udsugning	96.191,30	108.872,57	138.813,64
Total	201.330,17	226.345,36	307.415,48

Tabel 3.7. Oversigt over prisen for kanalføring i de tre løsningsforslag.

Ud fra tabel 3.7 kan det ses, at løsningsforslag 1 har den laveste pris, på knap 216.000 kr., til kanalføring. Ud fra tabel 3.3 kan det ses, at den kanal som anvendes mest og dermed også bidrager mest til omkostningerne er Ø500 på indblæsningssiden. Omkostningerne ved denne kanalstørrelse ender alene i ca. 45.000 kr.

Dette svarer næsten til 1/5 af de totale omkostninger af systemet. Løsningsforslag 2 har en pris på knap 297.000 kr og ud fra tabel 3.4 kan det ses, at der anvendes en større mængde af kanaler med store dimensioner. I dette løsningsforslag anvendes 37 meter af kanalstørrelsen Ø900. Denne mængde svarer til godt 86.000 kr. Løsningsforslag 3 er den dyreste løsning, hvor prisen ender i 379.000 kr. for kanalføring. Også her anvendes en større andel af store kanaler. For dette løsningsforslag hvor store kanaler skal føres fra anlæggets placering mod syd og op til ventilationsskakten i nord medfører at der anvendes godt 85 meter af Ø900, hvilket bidrager med en pris på ca. 195.000 kr.

3.6 Valg af løsningsforslag

Baseret på den ovenstående analyse af de forskellige løsningsforslag, er det blevet tydeligt, at i forhold til tryktab har løsningsforslag 1, hvor centralaggregatet er placeret i teknikrummet på stueplanen, det laveste tryktab, mens de to øvrige forslag ellers ligger ret tæt på hinanden. Når det kommer til materialeforbruget, har løsningsforslag 1 det laveste forbrug, idet der er en forskel på små 8 meter i forhold til de to øvrige forslag. Ligeledes har løsningsforslag 1 de laveste materialeomkostninger. Dette skyldes primært den korte afstand til samlingssalen, hvor den største volumenstrøm og dermed de største kanaler er placeret. Hvert forslag har sine fordele og ulemper, men baseret på analysen og de tidligere afsnit er beslutningen faldet på at arbejde videre med løsningsforslag 1 i detaljeringsfasen.

Opsummering af skitseprojekt 4

I skitseprojekteringen er blevet redegjort for forskellige ventilationsprincipper, styringsformer og aggregat-typer, hvorefter et valg om hvilke typer som der skal anvendes til ventilationsanlægget til C. la Cours Skolen. Herefter blev der udarbejdet tre løsningsforslag til placeringen af det centrale ventilationsaggregat. De dimensionsgivende volumenstrømmene blev bestemt i afsnit 2 og beregnet på baggrund af forskellige forhold som basisventilation, CO₂-niveau, bygherres krav og kravene i BR18. Herefter blev der udarbejdet tre forskellige skitser for kanalføring.

De tre skitser tager udgangspunkt i forskellig placering af ventilationsaggregatet. Alle tre forslag inkluderede ventilationskanaler gennem en ventilationsskakt, placeret i den nordlige del af bygningen. Efter fastlæggelsen af kanalføringerne blev ventilationskanalerne dimensioneret efter en kombination af metoden, hvor hastigheden falder gradvist jo længere ud i systemet man kommer og metoden hvor tryktabsgradienten holdes konstant - det er forsøgt at holde tryktabsgradienten på 0,5 Pa/m. For at sammenligne de tre løsningsforslag blev de analyseret med hensyn til tryktab, materialeforbrug og omkostninger til kanalføring.

Efter en grundig vurdering af forskellene inden for de tre nævnte parametre, blev løsningsforslag 1 valgt til detaljeret projektering.

Detailprojektering af ventilationssystemet 5

I detailprojektet vil der blive skabt en 3D-model af det løsningsforslag, som blev valgt under skitseprojektet. 3D-modellen er udvikles ved brug af MagiCAD i Revit. MagiCAD muliggør præcis udarbejdelse af materialelister og fastlæggelse af det dimensionsgivende tryktab. Før disse kan specificeres, anvendes MagiCAD til at dimensionere og finjustere kanalsystemet. Inden kanalsystemet modelleres i 3D, vil kastelængden for de enkelte armaturer blive bestemt og der vil blive valgt et passende armatur til rummet. Det sikres at lydforhold overholdes, i det, der i afsnit 2 blev bestemt at lyd fra tekniske installationer skal holdes under 30 db(A). Når dette er sikret implementeres spjæld, lyddæmpere mm. Ventilationsaggregatet dimensioneres ved brug af SystemairCAD og der anvendes den beregnede dimensionsgivende volumenstrøm fra afsnit 2.2. Når aggregat er fundet og kanalsystem er tegnet færdigt skulle det gerne resultere i et fuldt funktionsdygtigt VAV-anlæg med opblandingsventilation. Slutteligt vil energiforbruget blive undersøgt og sammenlignet med et CAV-anlæg.

I detailprojekteringen er det besluttet, at projektet ikke vil undersøge yderligere kanalføringer, indblæsnings- og udsugningsarmaturer mm. i samlingssalen på grund af dens kompleksitet med det indskudte dæk og store etagehøjde. Ventilationsaggregatet vil dog blive dimensioneret efter at have volumenstrømme til samlingssalen med.

5.1 Armaturer

I dette afsnit vil indblæsnings- og udsugningsarmaturer blive dimensioneret. For at vælge det passende armatur til luftindblæsning i lokalerne er det nødvendigt at bruge de dimensionerende ventilationsmængder og fastlægge kastelængderne. Disse kastelængder, også kendt som $l_{0,2}$, beregnes ved hjælp af en metode baseret på nedre- og øvre værdier. Denne metode sikrer både tilstrækkelig blanding af luften i lokalerne og forhindrer risikoen for træk. Kastelængderne er beregnet under afsnit C.3 i bilag og kan ses af tabel 5.1. I den samme tabel kan de nødvendige volumenstrømme til de individuelle rum ses.

Rum	Nedre	Øvre	Dim. Vol. [m^3/h]	Dim. Vol. pr. armatur [m^3/h]
Mødelokale, 1. sal	1,9	2,4	450	450
Fællesareal S, 2. sal	1,6	2,0	750	375
Grupperum	1,3	1,7	140	140
6. klasse	2,2	2,8	1000	500
8. klasse	2,2	2,8	1000	500
7. klasse	2,2	2,8	1000	500
8. klasse	2,2	2,8	1000	500
7. klasse	2,2	2,8	1000	500
Fællesareal N	2,6	2,0	350	350
9. klasse, 3 sal	2,2	2,8	1000	500
AV / Bøger	2,2	2,8	650	325
9. klasse	2,2	2,8	1000	500

Tabel 5.1. Nedre og øvre værdier for kastelængde, samt dimensionsgivende volumenstrøm for armaturer.

PCA-armaturet er ønsket som indblæsnings- og udsugningsarmatur, da det, som tidligere nævnt, er anvendt i de øvrige bygninger. PCA er et cirkulært armatur med en perforeret bundplade, der kan anvendes til både tilluft og fraluft. Figur 5.1 viser PCA-armaturet.



Figur 5.1. PCA Indblæsnings- og udsugningsarmatur. [Lindab \(2023h\)](#)

PCA-armaturet sammensættes ofte med en trykfordelingsboks enten af typen MB eller CBC/CBE, der begge sikre stabil luftstrøm til og fra armaturet. I det følgende er en kort beskrivelse af de to ovennævnte trykfordelingsbokse.

MB er en trykfordelingsboks, der er designet til både tilluft og fraluft i ventilationssystemer. Trykfordelingsboksens formål er at sikre stabil luftstrøm til armaturer, måle volumenstrøm, regulere luftstrømmen og reducere støjniveauet i kanalsystemet. MB tilbyder forskellige spjældløsninger og har kompakte dimensioner

for nem installation og håndtering. Det specielle ved MB trykfordelingsboksen er, at den har mulighed for spæjldtypen B, som er et unikt lineært konusspjæld, der tillader præcis indregulering med højt tryktab over boksen og minimal generering af støj. Spjældets konstruktion sikrer præcise og pålidelige målinger og kan anvendes både til tilluft og fraluft. [Lindab \(2023f\)](#)

Fordele ved MB-trykfordelingsboks:

- Kompakte dimensioner og nem installation.
- Høj kapacitet med lavt støjniveau.
- Forskellige spjældmuligheder til forskellige systemkonfigurationer.
- Flexibilitet til at tilpasse sig fremtidige systemændringer.

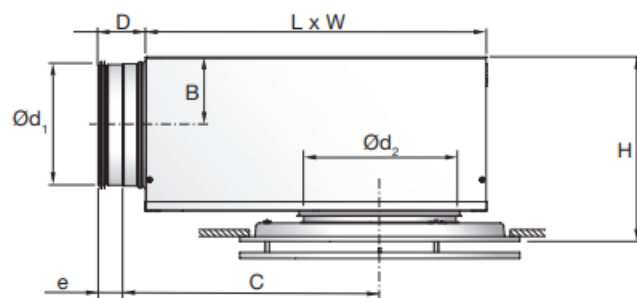
CBC/CBE er en trykfordelingsboks, der ligesom MB er designet til både tilluft (CBC) og fraluft (CBE). Den er lavet til at sikre en stabil luftstrøm til armaturer, muliggøre volumenstrømsmåling, regulering og reduktion af støjniveauet i kanalsystemet. Den tilbydes med 2 forskellige spjældløsninger og har små ydre dimensioner, hvilket gør installationen og håndteringen lettere. Spjældtype C og E er drejespjæld beregnet til henholdsvis tilluft og fraluft. Disse spjæld er ideelle i systemer, hvor der ikke kræves særligt højt indreguleringstryk i trykfordelingsboksen. [Lindab \(2023b\)](#)

Fordele ved CBC/CBE trykfordelingsboks:

- Letvægts design med små ydre dimensioner, der letter installation og håndtering.
- Høj kapacitet og lavt lydniveau for effektiv og støjsvag drift.
- Mulighed for at vælge mellem 2 spjældvarianter, hvilket øger fleksibiliteten og tilpasningen til forskellige anvendelser.

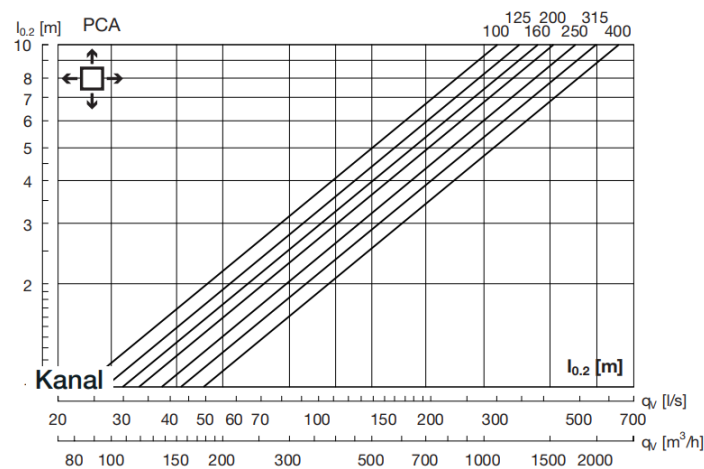
Begge trykfordelingsboks er mulige kandidater, dog er det valgt at sammensætte PCA-armaturet med en MB trykfordelingsboks. MB er som nævnt ovenfor, designet til både tilluft og fraluft og har fordele i forhold spjældkonfigurationen. Konfigurationen med PCA-armatur og MB-trykfordelingsboksen kan ses af figur 5.2

PCA + MB Trykfordelingsboks



Figur 5.2. PCA-armatur med trykfordelingsboks.

Ud fra de dimensionsgivende volumenstrømme kan kastelængde for PCA-armaturet bestemmes. Armaturets tekniske data i forhold til kastelængden er vist af figur 5.3.

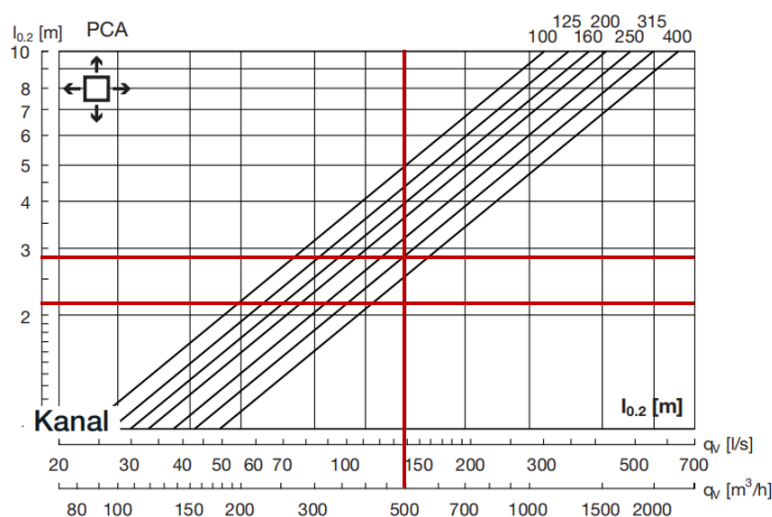


Figur 5.3. Teknisk data i forhold til kastelængde for PCA-armaturet. [Lindab \(2023g\)](#)

Ud fra figur 5.3 bestemmes et passende armatur til de enkelte rum med indblæsning.

Vælges eksemplet med klasseværelset igen, så vil den dimensionsgivende volumenstrøm per armatur være 500 m³/h. Det er under beregningen af kastelængde valgt, at der anvendes 2 armaturer og derfor vil kastelængden jf. tabel 5.1 skulle være mellem 2,2 m og 2,8 m.

For at finde et passende armatur indtegnes linjer på figur 5.3, hvorfra det kan ses hvilken størrelse armaturet skal være. Figur 5.4 viser, at tilslutning med Ø315 og Ø400 begge er mulige dimensioner som armaturet kan tilkobles trykfordelingsboksen med for at kastelængden ligger mellem 2,2 m og 2,8 m.

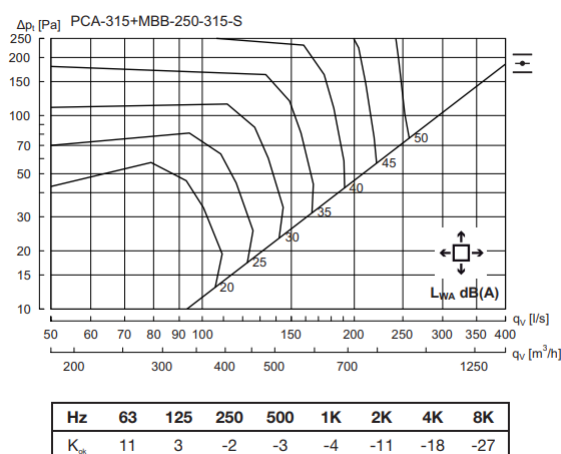


Figur 5.4. Dimensionering af PCA-armatur for klasseværelset. [Lindab \(2023g\)](#)[RED.]

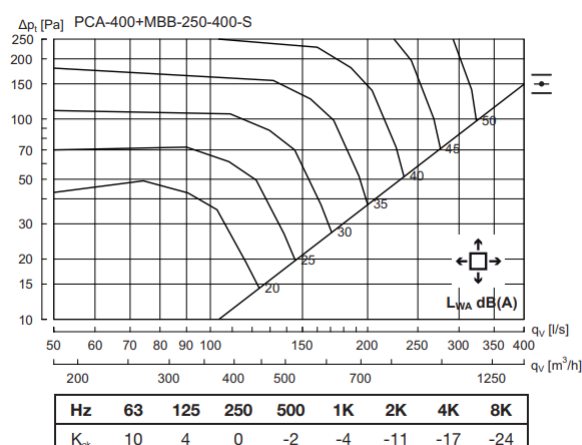
Ovenstående udføres for de resterende rum og, derfra findes ligeledes hvilke tilslutningsstørrelser, der ville være relevante.

Da kastelængden for det enkelte rum nu er bestemt, er det nødvendigt at se på om lydkravet til tekniske installationer overholdes. Kravet for støj fra tekniske installationer er, som beskrevet i kapitel 2, at lydniveauet skal være under 30 dB(A). Der forsættes med udgangspunktet i klasseværelset.

Under dimensioneringen af kanalerne i forbindelse med udarbejdelsen af løsningsforslaget blev det beregnet, at en luftstrøm på 500 m³/h med et tryktab på under 0,5 Pa/m ville resultere i en kanalstørrelse på Ø250. Derfor vil denne størrelse være passende til tilslutningen til trykfordelingsboksen til armaturerne i klasseværelserne. Af figur 5.5 og 5.6 kan diagrammer over lydniveauet for PCA-armaturet med tilslutningsstørrelsen Ø315 og Ø400 ses.

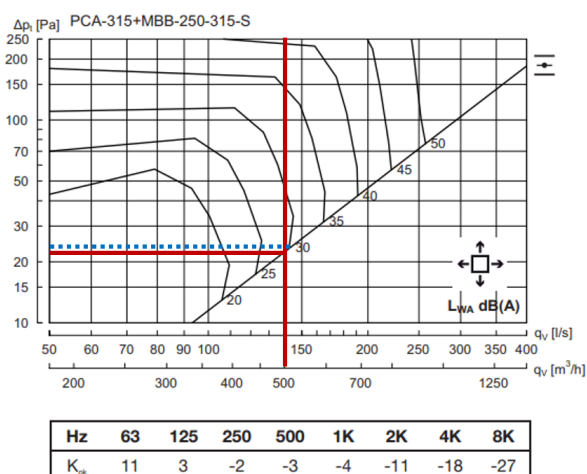


Figur 5.5. Teknisk data i forhold til lydtryksniveau for kanaltilslutning Ø250 og en tilslutningsstørrelse til trykfordelingsboksen på Ø315. [Lindab \(2023g\)](#)

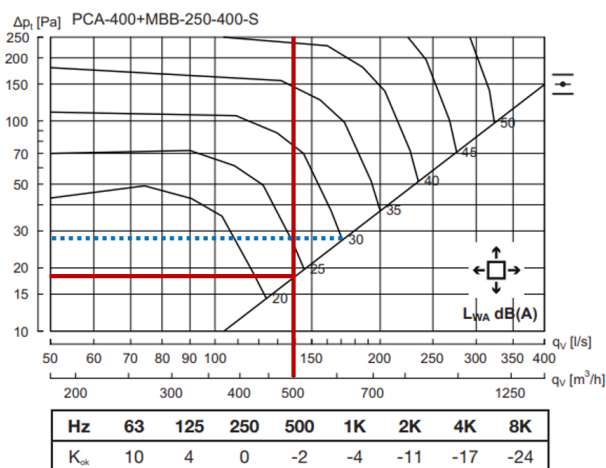


Figur 5.6. Teknisk data i forhold til lydtryksniveau for kanaltilslutning Ø250 og en tilslutningsstørrelse til trykfordelingsboksen på Ø400. [Lindab \(2023g\)](#)

Indtegnes den dimensionsgivende volumenstrøm for et armatur i klasseværelset, kan lydniveauet fra armaturet aflæses af figur 5.7 og 5.8. Den blå linje er grænsen for lydniveauet.



Figur 5.7. Teknisk data i forhold til lydtryksniveau for kanaltilslutning Ø250 og en tilslutningsstørrelse til trykfordelingsboksen på Ø315 med værdier for klasseværelser. [Lindab \(2023g\)](#)[RED.]



Figur 5.8. Teknisk data i forhold til lydtryksniveau for kanaltilslutning Ø250 og en tilslutningsstørrelse til trykfordelingsboksen på Ø400 med værdier for klasseværelser. [Lindab \(2023g\)](#)[RED.]

Af figur 5.7 aflæses lydniveauet til 29 dB(A), mens lydniveauet fra figur 5.8 aflæses til 24 dB(A). Begge værdier overholder kravet for det tilladte lydniveau på maksimalt 30 dB(A). Derfor vil begge løsninger være mulige i forhold til lydniveauet. Dog vil det, med hensyn til kastelængden, være nødvendigt med en Ø400-tilslutning til trykfordelingsboksen. Dette skyldes, at kastelængden aflæst ved Ø315 er 2,9 m, hvilket overskrider den øvre grænse på 2,8 m. Kastelængden aflæst ved Ø315 er 2,5 m, hvilket ligger mellem 2,2 m og 2,8 m.

Overstående er udarbejdet for de øvrige rum med indblæsning. I tabel 5.2 kan armaturer og tilhørende værdier for kastelængder og lydniveauer ses. For at simplificere bestemmelsen af kastelængde og lydniveau er Lindabs "lindqst" anvendt. Lindqst er et hjælpeprogram på Lindabs hjemmeside til hurtigt at konfigurere det korrekte armatur til den anvendelse som ønskes. [Lindab \(2023e\)](#)

Rum	Nedre	Øvre	Armaturets Kastelængde [m]	Armaturets lydniveau [dB(A)]	Armatur
Mødelokale, 1. sal	1,9	2,4	2,3	20	PCA-400+MBB-250-400-s
Fællesareal S, 2. sal	1,6	2,0	2,0	<20	PCA-400+MBB-250-400-s
Grupperum	1,3	1,7	1,3	<20	PCA-160+MBB-160-160-S
6. klasse	2,2	2,8	2,5	24	PCA-400+MBB-250-400-s
8. klasse	2,2	2,8	2,5	24	PCA-400+MBB-250-400-s
7. klasse	2,2	2,8	2,5	24	PCA-400+MBB-250-400-s
8. klasse	2,2	2,8	2,5	24	PCA-400+MBB-250-400-s
7. klasse	2,2	2,8	2,5	24	PCA-400+MBB-250-400-s
Fællesareal N	2,6	2,0	2,3	23	PCA-250+MBB-250-250-s
9. klasse, 3 sal	2,2	2,8	2,5	24	PCA-400+MBB-250-400-s
AV / Bøger	2,2	2,8	2,5	21	PCA-250+MBB-250-250-s
9. klasse	2,2	2,8	2,5	24	PCA-400+MBB-250-400-s

Tabel 5.2. Kastelængde, lydniveau og valgte armaturer for de enkelte rum.

I de rum, vist i tabel 5.2, anvendes samme armatur til udsugning. Til rum, hvor der kun er udsugning, ofte lavere volumenstrømme anvendes udsugningsventilen Lindab KSU. Ventilen kan ses af figur 5.9. Til rum hvor der kun er indblæsning anvendes indblæsningsventilen Lindab KIR, som kan ses af figur 5.10.



Figur 5.9. KSU Ventil som anvendes til fraluft. [Lindab \(2023d\)](#)



Figur 5.10. KIR Ventil som anvendes til Tilluft. [Lindab \(2023c\)](#)

Både KSU og KIR monteres ved hjælp af ventilrammen VRGL. Ventilrammen kan ses af figur 5.11.



Figur 5.11. Ventilramme til montage af ventiler, som passer direkte i Lindab-rør. [Lindab \(2023j\)](#)

I tabel 5.3 er eksempler med rum hvor KSU og KIR anvendes.

Rum	KSU / KIR
Udsugning	
Depoter	KSU
Toiletter	KSU
Rengøring	KSU
Indblæsning	
Forrum v. Toiletter	KIR

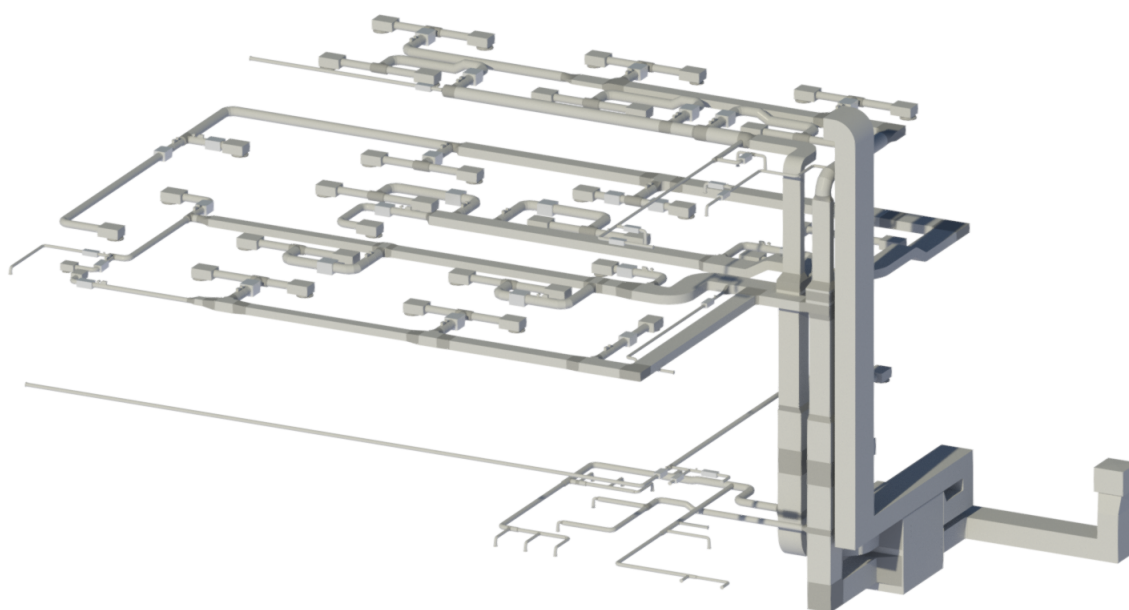
Tabel 5.3. Kastelængde, Lydniveau og valgte armaturer for de enkelte rum.

For et toilet, hvor der udsuges med $36 \text{ m}^3/\text{h}$, vil der ikke være problemer ved lydniveauet, da volumenstrømmen er så lav. Ifølge databladet for KSU-ventilen, vil lydniveauet være langt under 30 dB(A) . I et forrum til toiletterne, hvor der er 3 toiletter, vil der blive indblæst med $108 \text{ m}^3/\text{h}$. Hvis tryktabet skal holdes under $0,5 \text{ Pa/m}$, vil det give en kanalstørrelse på $\text{Ø}160$. Hvis kanalstørrelsen på $\text{Ø}160$ for tilslutningen til KIR-ventilen, vil det med en volumenstrøm på $108 \text{ m}^3/\text{h}$, resultere i et lydniveau langt under 30 dB(A) .

5.2 Kanaler

I dette afsnit vil løsningsforslag 1 blive modelleret i 3D i programmet Revit 2023. MagiCAD bruges, som tidligere nævnt, til at dimensionere kanalstørrelser og til at beregne tryktabet igennem systemet.

Nedenfor kan ventilationssystemet modelleret i 3D ses af figur 5.12. Flere tegninger og illustrationer kan ses under appendiks D.



Figur 5.12. 3D model af ventilationssystemet.

Af figur 5.12 kan det ses, at det har været nødvendigt, at anvende et større antal af rektangulære kanaler, flere steder for at sikre at den rigtige luftmængde kan føres frem. Det er i modellen forsøgt, i størst muligt omfang, at anvende runde kanaler, hvor det er muligt. Af figur 5.12 kan det ses, at hovedkanalerne og enkelte større fordelingskanaler, der er de største og at det er dem, som er blevet til rektangulære kanaler i stedet for runde.

I skitseprojekteringen blev der kun anvendt runde kanaler og her blev et tryktab for løsningsforslag 1 beregnet. Værdierne for tryktabet i løsningsforslag 1 kan ses i tabel 5.4:

Tryktab [Pa]	
Indblæsning	51,3
Udsugning	74,8
Total	126,1

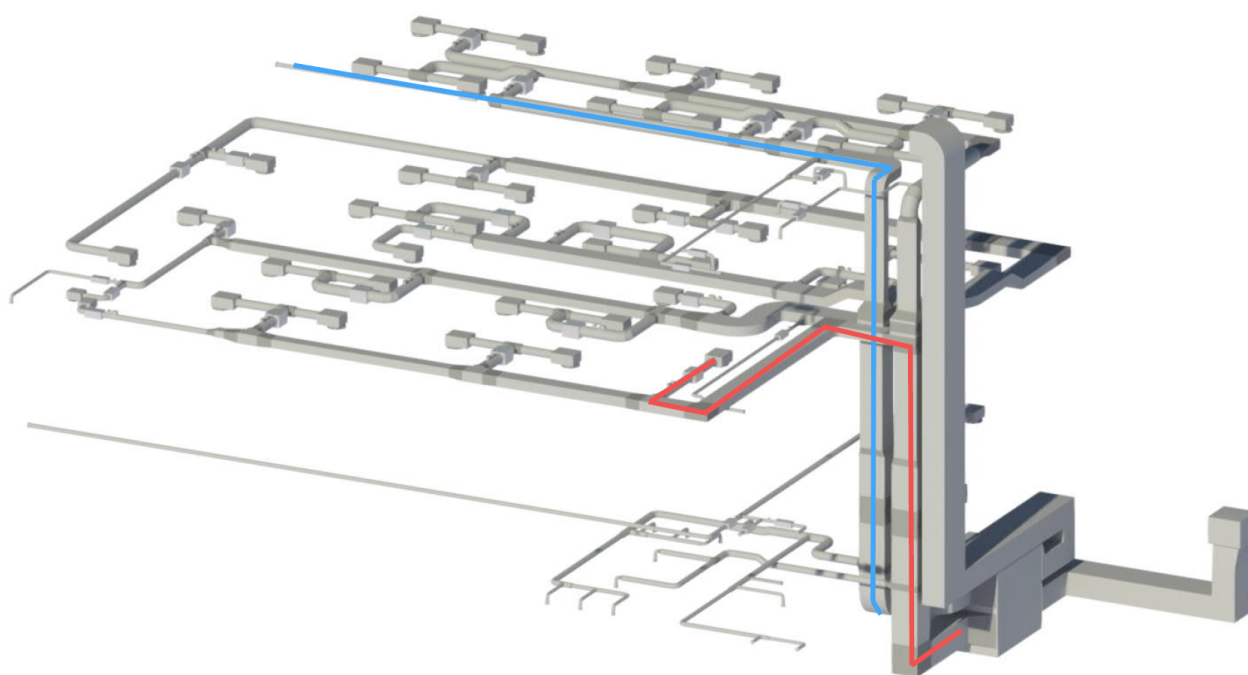
Tabel 5.4. Tryktab for løsningsforslag 1 fra skitseprojektet.

Dertil blev der tillagt 25% for at gøre op for enkelttab, værdierne kan ses af tabel 5.5.

Tryktab [Pa]	
Indblæsning	64,1
Udsugning	93,5
Total	157,6

Tabel 5.5. Tryktab fra skitseprojektet + 25%.

Igennem brugen af MagiCad kan tryktabet og den kritiske strækning findes. I appendiks E kan tryktabsberegningen fra MagiCAD ses. De kritiske strækninger for indblæsning og udsugning er vist på figur 5.13



Figur 5.13. 3D model af ventilationssystemet, hvor de kritiske strækninger er markeret. Rød er indblæsning. Blå er udsugning.

Ud fra tryktabsberegning udført af MagiCAD, er følgende værdier tryktab for hhv. indblæsning og udsugning fundet og de kan ses af tabel 5.6.

Tryktab [Pa]	
Indblæsning	56,8
Udsugning	114,3
Total	171,1

Tabel 5.6. Tryktab fra 3D modellen, udregnet af MagiCAD

Ud fra ovenstående værdier fra skitseprojektet og fra modellen i 3D, kan det ses, at tryktabet i 3D-modellen afviger med 13,5 Pa eller svarende til 8%.

Tryktabsberegning er udskrevet og kan ses i appendiks E

Ud over tryktabet, er det også muligt at få en oversigt over kanalstørrelsen og hvor meget kanal, målt i meter, som er anvendt. Dog er det totalt over hele systemet og ikke defineret ved indblæsning og udsugning. Oversigten kan ses af tabel 5.7. I samme oversigt er prisen for den enkelte kanaltype bestemt. Til bestemmelse af pris på rundekanaler er Lindabs hjemmeside anvendt og til bestemmelse af rektangulære kanaler er Lindabs prisliste katalog anvendt. [Lindab \(2023k\)](#), [Lindab \(2023a\)](#)

Dim [Ø/BxH]	Længde [m]	Pris pr m.	Total
100	40,75	129,00 kr.	5.257,01 kr.
125	37,79	162,00 kr.	6.121,98 kr.
160	28,46	195,00 kr.	5.550,48 kr.
200	13,08	242,00 kr.	3.166,33 kr.
250	56,62	302,00 kr.	17.098,64 kr.
315	42,10	427,00 kr.	17.975,85 kr.
400	7,77	574,00 kr.	4.461,13 kr.
500	4,37	713,00 kr.	3.112,96 kr.
250 x 250	0,84	1.025,00 kr.	865,10 kr.
300 x 200	0,28	1.025,00 kr.	287,00 kr.
300 x 600	3,29	1.482,00 kr.	4.875,78 kr.
400 x 250	11,19	1.191,00 kr.	13.323,72 kr.
500 x 250	43,15	1.305,00 kr.	56.315,97 kr.
500 x 300	10,23	1.363,00 kr.	13.948,94 kr.
600 x 150	1,06	1.296,00 kr.	1.368,58 kr.
600 x 300	30,32	1.482,00 kr.	44.940,17 kr.
600 x 600	1,26	1.850,00 kr.	2.321,75 kr.
700 x 700	6,32	1.966,00 kr.	12.425,12 kr.
800 x 300	13,44	2.036,00 kr.	27.369,95 kr.
800 x 800	10,17	3.105,00 kr.	31.571,64 kr.
1000 x 600	12,62	2.869,00 kr.	36.195,30 kr.
1200 x 600	12,75	3.604,00 kr.	45.932,98 kr.
Total	387,86	Total	354.486,36 kr.

Tabel 5.7. Tabel over kanalstørrelser og totale længde, af de enkelte størrelser, anvendt i 3D modellen.

Den totale pris for kanaler i løsningsforslag 1, fra skitseprojekt, er vist i tabel 3.7 i afsnit 3.5 og medtaget i tabel 5.8, derudover er prisen for kanaler i detailprojektet beregnet i tabel 5.7.

Pris for kanaler	Skitseprojekt	Detailprojekt
Total	201.330,17	354.486,36
Difference	153.156,19	

Tabel 5.8. Den totale pris for kanaler i skitseprojektet og i detailprojektet, samt differencen mellem de to systemer

Som illustreret i tabel 5.8 er der en betydelig forskel i prisen på kanaler, der er beregnet i skitseprojektet sammenlignet med detaljprojektet. Den markante forskel mellem de to er, at der er brugt rektangulære kanaler i detaljprojektet, og ifølge tabel 5.7 udgør de firkantede kanaler en væsentlig stor del af den samlede pris på næsten 355.000 kr. Hvis den samlede længde af systemerne sammenlignes, er der kun en forskel på knap 12,0 meter.

Det kan derfor konkluderes, at der som følge af brugen af flere rektangulære kanaler, vil være en større omkostning ved etablering i forhold til hvis det var muligt at anvende runde kanaler.

5.3 Ventilationsaggregat

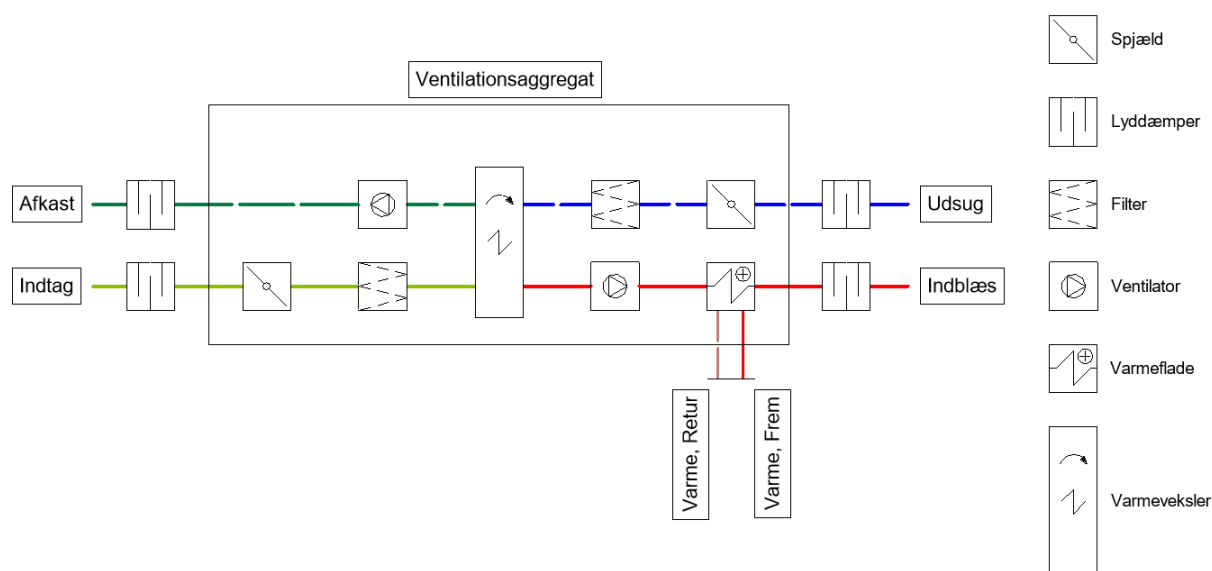
I dette afsnit vil ventilationsaggregatet blive dimensioneret i overensstemmelse med den samlede volumenstrøm, som er angivet i tabel 2.3 i afsnit 2.2. Dimensionerne for ventilationsaggregatet vil blive fastlagt ved brug af SystemAirCAD, som kan integreres med Revit. Dette gør det muligt, at indsætte aggregatet i den 3D-modellering af kanalsystemet. I det følgende vil de forskellige komponenter, der udgør ventilationsaggregatet, blive beskrevet. Udskriften fra SystemairCAD kan findes i appendiks E.

Randbetingelser for ventilationsaggregatet

Det forventes, at ventilationssystemet skal sikre en indblæsningstemperatur på 20°C. Varmefladen i systemet dimensioneres efter at have en temperatur på 60°C ved indløbet og 30°C ved tilbageløbet, idet dette er det temperaturniveau, som fjernvarmeforsyningen opererer med. Ventilationsaggregatet skal have en minimum varmegenvinding på 73% og en maksimal SEL-værdi for rene filtre på 1,8 kJ/m³. Overholdes ovennævnte følger ventilationsaggregatet kravene specificeret i bygningsreglementet. [Bygningsreglement \(2020\)](#)

5.3.1 Aggregatets komponenter

I det følgende afsnit vil aggregatets grundlæggende komponenter beskrives. En skitse af det tiltænkte ventilationsaggregat kan ses af figur 5.14.



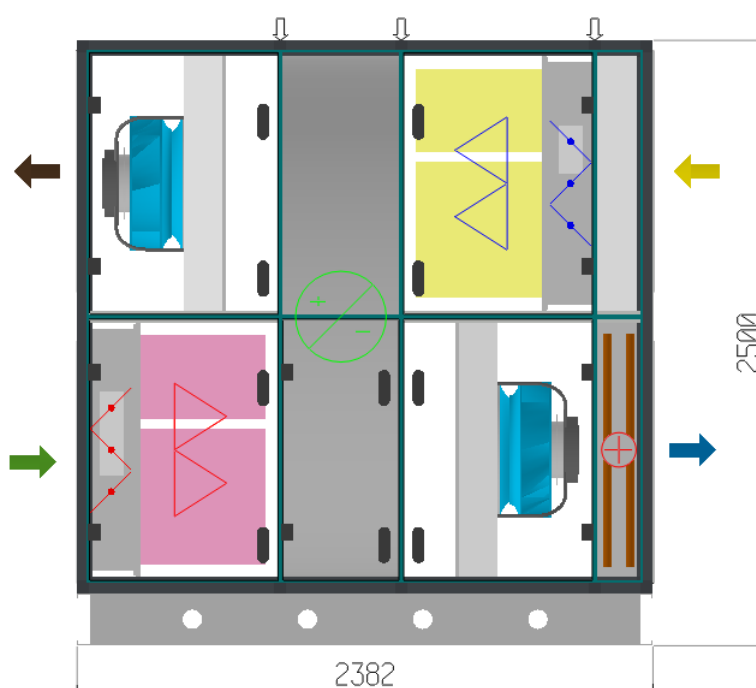
Figur 5.14. Principskitse af ventilationsaggregat.

Udover at figur 5.14 er en skitse for det tænkte aggregat, er de typiske komponenter, som et ventilationsaggregat indeholder også vist.

Komponenterne er vist af figur 5.14, samt listet nedenfor og vil blive kort beskrevet.

- Varmeveksler
- Varme- og køleflader
- Ventilator
- Filter
- Spjæld
- Lyddæmper

Ud fra SystemAirCAD og de dimensionsgivende udeluftstemperaturer, luftfugtighed, tryktab, volumenstrøm, samt kravet i kapitel 2 vælges et Geniox 22-aggregat. Opbygning af aggregatet kan ses på figur 5.15.



Figur 5.15. Opbygning af anlæg fra SystemairCAD

Varmeveksler

Varmevekslere er en af hovedkomponenterne i ventilationsanlæg og muliggør effektiv varmeoverførsel mellem indblæsningsluft og udsugningsluft uden direkte kontakt mellem dem. To almindelige typer varmevekslere, der anvendes i ventilationsanlæg, er roterende varmevekslere og krydsvarmevekslere.

Roterende varmevekslere fungerer ved at have en roterende plade med lameller, der drejer mellem indblæsnings- og udsugningspositioner. Dette tillader opvarmning af den varmere udsugningsluft, hvor varmen overføres til lamellerne. Lamellerne viderefører derefter varmen til indblæsningsluften, hvilket resulterer i en temperaturvirkningsgrad typisk mellem 0,65 og 0,85. Der kan være lækage fra udsugningsluften

til indblæsningsluften på grund af konstruktionen, hvilket kan være en ulempe. Dog er de fleste roterende varmevekslere udstyret med en skyllesektor, der mindsker denne overførsel mellem indblæsningsluften og udsugningsluften.

Krydsvarmevekslere fungerer ved at lade udsugningsluft og frisk udeluft passere forbi hinanden, adskilt af vægge. Dette muliggør varmeoverførsel gennem termisk ledning. Krydsvarmevekslere har typisk en temperaturvirkningsgrad mellem 0,5 og 0,75 afhængigt af eventuel kondensatudskillelse. [Stampe \(2000\)](#)

Der regnes en temperaturvirkningsgrad, som er tilstrækkelig for den ønskede indblæsningstemperatur. Indblæsningsluften i lokalet, ønskes at være 22°C i opvarmningsperiode. Med en udeluftstemperatur på -12°C og en indeluft temperatur på 22°C bruges ligning 5.1 til at regne temperaturvirkningsgraden, $\eta_{t,k}$. [Stampe \(2000\)](#)

$$\eta_{t,k} = \frac{t_{k,ud} - t_{k,ind}}{t_{v,ind} - t_{k,ind}} \quad (5.1)$$

Hvor:

$t_{k,ud}$	Frisk opvarmet udeluft [°C]
$t_{k,ind}$	Frisk kold udeluft [°C]
$t_{v,ind}$	Forurennet varm luft [°C]

Hvis temperaturerne ovenfor indsættes i ligning 5.1 fås en temperaturvirkningsgrad på 0,88. Det er en meget høj temperaturvirkningsgrad og ville ikke være muligt med nogle af de ovennævnte varmevekslere. Det forventes at en lavere udgangstemperatur, $t_{k,ud}$, på 15,3°C er mere realistisk og med denne temperatur vil temperaturvirkningsgrad være på 0,80, hvilket er inden for normalen for roterende varmevekslere. På trods af forventningen om, at indblæsningsluften i rummene stadig vil være 22°C, er der derfor behov for en varmeplade. Efter beregning og optimering igennem systemairCAD er der fundet en roterende varmeveksler med varmegenvinding på 80% i konfigurationen ST - Kondensation (Temperatur) med en effektivitetsklasse B - høj.

Varme- og køleflader

Varme- og køleflader anvendes typisk i klimaanlæg og ventilationssystemer. Disse komponenter bruges til at styre luftens temperatur ved at anvende cirkulerende vand fra en kedel eller fjernvarmeveksler til opvarmning, damp til opvarmning, El til opvarmning eller vand (brine) til luftkøling eller direkte ekspansion af et kølemiddel. Disse komponenter fungerer altså ved at tilføre eller fjerne varme fra luftstrømmen. Varme- og køleflader er, som nævnt ovenfor afgørende elementer i reguleringen af indendørsklimaet ved at muliggøre temperaturstyring af indblæsningsluften, hvilket resulterer i komfortable forhold og en stabil drift.

Hvis der opstår overtemperaturer i bygningen, bliver en køleflade ofte indtænkt for at sænke indblæsningstemperaturen i perioder med meget varmt vejr. Dog vil dette projekt ikke gå i detaljer med køleflader, da det termiske indeklima ikke undersøges.

Under beskrivelsen af varmeveksleren blev det konkluderet, at en varmeplade er nødvendig, derfor vil effekten for sådan en bestemmes herunder. Effekten som varmepladen skal have kan beregnes via ligning 5.2. [Stampe \(2000\)](#)

$$\Phi_i = q_{v,i} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_u - t_i) \quad (5.2)$$

Hvor:

$q_{v,i}$	Flow [m ³ /h]
ρ	Luftens densitet [kg/m ³]
c_p	Varmekapacitet [kJ/kg°C]
t_u	Luftens udgangstemperatur [°C]
t_i	Luftens indgangstemperatur [°C]

Volumenstrøm, temperaturer og relevant data for luften indsættes i formel 5.2 og den nødvendige effekt for varmepladen kan ses af ligning 5.3. Temperaturen efter varmeveksleren hæves med 0,3°C når luften passerer ventilatoren.

$$\Phi_i = 14.000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (22 ^\circ\text{C} - 15,6 ^\circ\text{C}) = 30.02 \text{ kW} \quad (5.3)$$

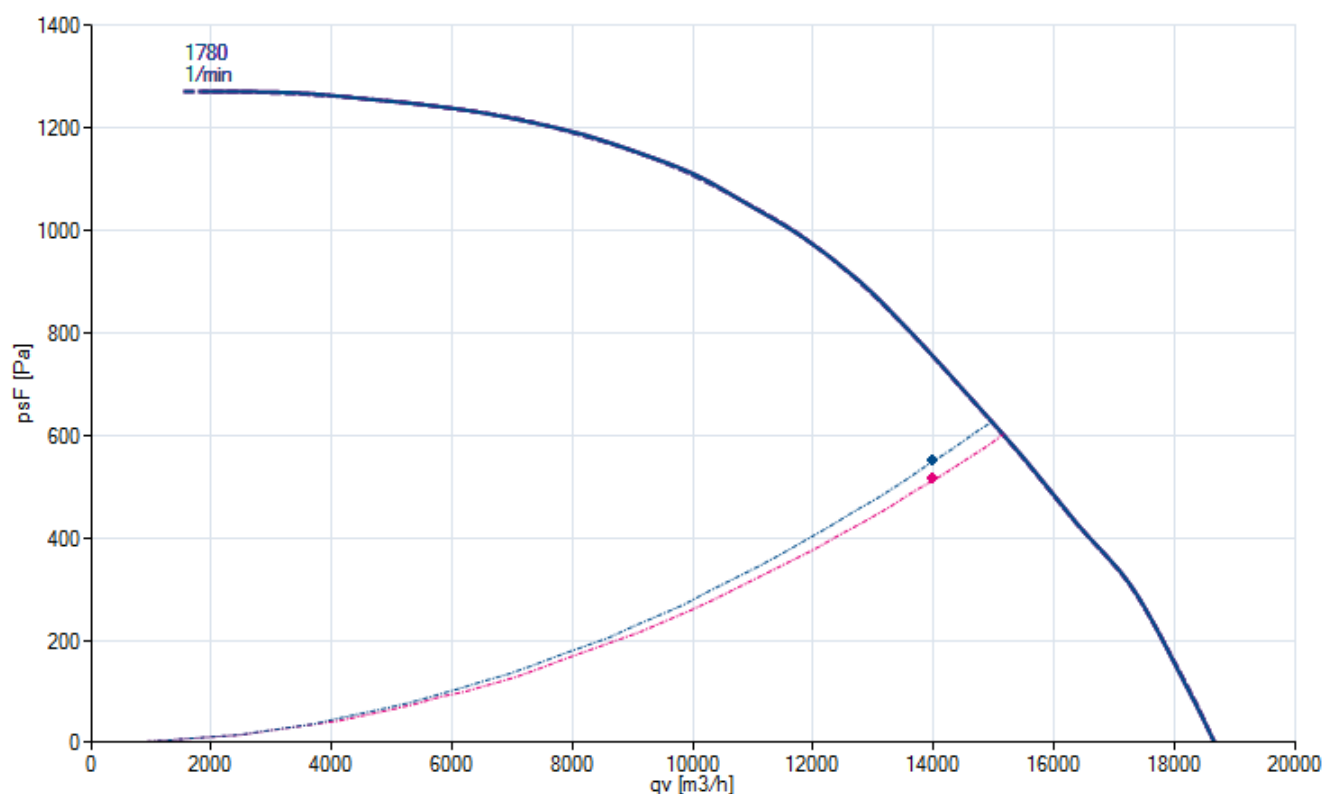
I SystemairCAD er varmepladen også beregnet og her er der beregnet en effekt på 29,8 kW. De 2 værdier er tæt på hinanden og det vurderes, at det er en afrunding der er i skyld i forskellen mellem de to værdier.

Ventilator

Ventilatoren i et ventilationsanlæg er ligesom motoren i en bil, og er derfor en hovedkomponent da enten skubber eller trækker luft ind i og ud af kanalerne. Ved at skabe et trykfald flytter ventilatoren effektivt luften fra et område med højere tryk til et område med lavere tryk, hvilket sikrer, at luften cirkulerer gennem hele ventilationsanlægget.

Ventilatorer findes i forskellige størrelser og konfigurationer for at imødekomme specifikke behov i forskellige bygninger og industrielle miljøer. De kan være centrifugale eller aksiale, afhængigt af deres design og hvordan de håndterer luftstrømmen. Ventilatorer udstyres ofte med hastighedsregulatorer eller frekvensomformere for at justere luftstrømmens hastighed og dermed effektiviteten af ventilationsanlægget.

I følge systemairCAD er der fundet 2 stk. ventilator af fabr. Ziehl Abegg. i ventilatortypen ZABluefin-ECblue i varianten GR56I-ZID.GL.CR. Denne ventilator har en effektivitet på 66% i indblæs og 65% i udsug. Ventilator karakteristikkene kan ses af figur 5.16.



Figur 5.16. Ventilator karakteristisk for indblæsning og udsugningsventilatoren. Rød er indblæsning og Blå er udsugning. Ziehl-Abegg (2023)

Ud fra ventilator karakteristikken kan det ses at udnyttelsen af ventilatoren er tæt på maks. Ifølge dimensioneringsprogrammet "Fan-Select" fra Ziehl-Abegg er der hhv. 92% og 93% udnyttelse på indblæs og udsug.

Filter

Filtre i ventilationsanlæg hjælper med at forbedre indendørs luftkvalitet ved at fjerne partikler, støv, pollen, bakterier og andre forurenende stoffer fra luften. Disse filtre er designet til at fange og holde disse partikler tilbage, hvilket resulterer i renere luft, der sendes videre ind i bygningen og ud til de enkelte rum.

Filtre i ventilationsanlæg er klassificeret efter forskellige standarder som MERV (Minimum Efficiency Reporting Value), ISO (International Organization for Standardization) og andre nationale standarder, hvilket angiver deres evne til at fjerne partikler af forskellige størrelser fra luften. Filtre med højere MERV-værdier eller ISO-klasser har større effektivitet til at fjerne partikler og forbedrer dermed luftkvaliteten.

I følgende standarden 16890 kan filterne klassificeres som vist af figur 5.9

Filtergruppe	Partikelstørrelse [μm]	Klassifikationskriterie
ISO ePM ₁	$0,3 \leq x \leq 1$	Minimums effektivitet $\geq 50\%$
ISO ePM _{2,5}	$0,3 \leq x \leq 2,5$	Minimums effektivitet $\geq 50\%$
ISO ePM ₁₀	$0,3 \leq x \leq 10$	Gennemsnits effektivitet $\geq 50\%$
ISO Grov	$0,3 \leq x \leq 10$	Gennemsnits effektivitet $\leq 50\%$

Tabel 5.9. Partikelstørrelser fra ISO 16890. (Dansk Standard 16890 2022)

Af tabel 5.10 kan de forskellige filter klassifikationer ses.

EN 779	ISO 16890				ASHRAE 52.2
	ISO ePM1	ISO ePM2,5	ISO ePM10	ISO COARSE	
G2	–	–	–	50-60%	MERV 1-4
G3	–	–	–	50-70%	MERV 5
G4	–	–	–	60-80%	MERV 6-8
M5	–	–	50-70%	60-80%	MERV 8-10
M6	–	–	60-80%	60-80%	MERV 9-13
F7	50-65%	65-75%	80-90%	–	MERV 13-14
F8	65-90%	75-95%	90-100%	–	MERV 14-15
F9	80-90%	85-95%	90-100%	–	MERV 16

Tabel 5.10. Konvertering af filterklasser. [Ventas \(2023\)](#)

I den tilbagetrukken standard, DS/EN 779, vil et Gx være et grov-, Mx været et mellemfint- og Fx været et fint-filter. [Dansk Standard 779 \(2012\)](#) For at sikre beskyttelse af ventilatoren og varmeveksleren mod partikler, der kommer igennem udsugningskanalerne, monteres et M5-filter foran ventilatoren. Ved indtag installeres et F7-filter for at beskytte motoren og varmeveksleren samt for at stoppe de lidt finere partikler som pollen og støv i at blive blæst ind i lokalerne. I dimensioneringen af aggregat er der beregnet et tryktab henover F7-filteret på 98 Pa og 62 Pa henover M5-filteret.

Udskiftning af filtrene i ventilationsanlægget på regelmæssig basis er vigtig for at opretholde deres effektivitet og sikre en kontinuerlig ren luftstrøm. Korrekt vedligeholdelse af filtrene bidrager ikke kun til sundere indendørs miljøer, men kan også forlænge levetiden på ventilationsanlægget ved at reducere slid og forbedre systemets samlede ydeevne.

Spjæld

Foran indtags- og udsugningsåbningerne er der placeret et jalousispjæld, der regulerer volumenstrømmen af luft. Spjældet kan også lukke helt, når ventilationsanlægget ikke er i brug for at forhindre, at uønskede partikler eller materialer trænger ind i anlægget. Dette sikrer, at kun det ønskede indhold bevæger sig ind i systemet, hvilket bidrager til dets integritet og effektive drift.

Lyddæmper

I dag udføres stort set al lyddæmpning i ventilationsanlæg ved hjælp af standardlyddæmpere, der har dokumentation om indsætningsdæmpning, egenstøj og tryktab. Disse standardlyddæmpere er opdeles i Absorptionslyddæmpere, Resonanslyddæmpere, Aktive lyddæmpere.

Normalt installeres lyddæmpere både foran og bag ventilationsaggregatet for at reducere støj i kanalsystemet samt den luft, der føres udendørs igen. Disse lyddæmpere placeres også strategisk ude i kanalsystemet for at sikre overholdelse af lydniveauer og forhindre lydoverførsel mellem lokaler igennem ventilationssystemet. Dog vil dette projekt ikke undersøge yderligere aspekter af lyddæmpning.

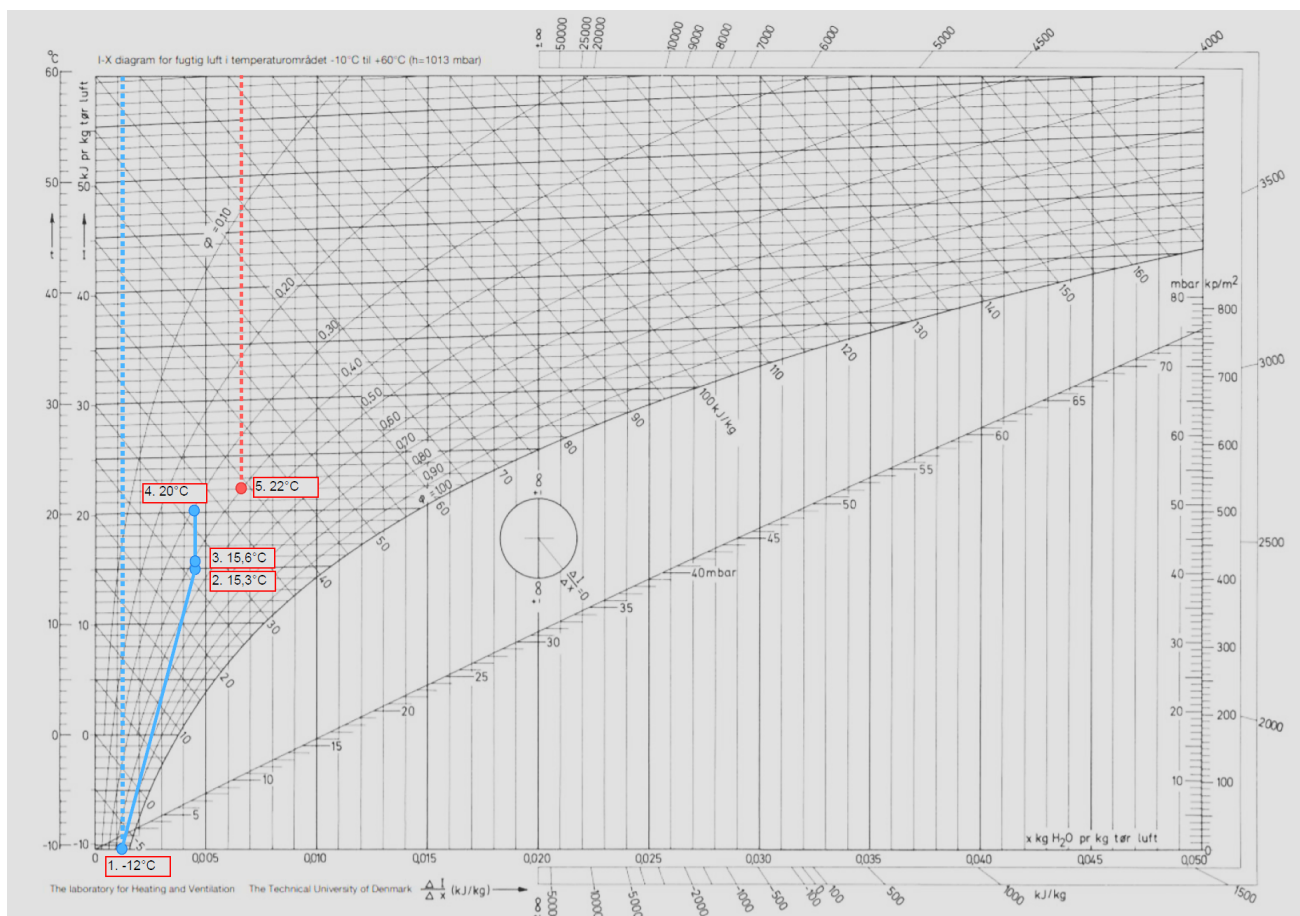
Tilstandsændring henover ventilationsaggregatet

Henover ventilationsaggregatet sker der, som beskrevet i afsnittene omkring varmeveksler og varmekilde, en temperaturændring for indblæsnings- og udsugningsluften. Dette medfører ændringer i den relative luftfugtighed, da kold luft ved samme relative luftfugtighed indeholder mindre vand i forhold til varm luft. I det konfigurerede aggregat er der ingen dedikerede affugtere eller befugtere, men der er en proces med fugtighedsgenvinding i den roterende varmeveksler. Ud fra SystemairCAD fås en fugtvirkningsgrad på 68,1% for varmeveksleren. Under opvarmningsprocessen er der ingen risiko for kondens, men der kan opstå lav relativ luftfugtighed. Under nedkølingsprocessen er der en potentiel risiko for kondens. Dette bliver undersøgt ved at plotte de to forløb på et IX-diagram. Først vil tilfældet med opvarmning af den friske udeluft i vintertilfælde blive undersøgt. Herefter vil tilfældet nedkøling af indeluften i vintertilfælde blive undersøgt. I beregningen af vandindholdet anvendes følgende værdier for luften, som angivet i tabel 5.11.

	Temperatur [°C]	Relativ luftfugtighed [%]
Indeluft	22	40
Udeluft	-12	90

Tabel 5.11. Parametre for tilstandsændring.

På figur 5.17 kan processen ved opvarmningen af udeluften ses.



Figur 5.17. IX-diagram over tilstanden for luften under opvarmningsproces. 1 = Udeluft, 2 = Efter varmeveksler, 3 = Efter motor, 4 = Efter varmekilde, 5 = Indeluft. [Dimensionarea.se](https://dimensionarea.se) (2023)[RED.]

Når den friske udeluft passerer varmeveksleren hæves temperaturen fra -12°C til $15,3^{\circ}\text{C}$. Temperaturen hæves yderligere med $0,3^{\circ}\text{C}$ til $15,6^{\circ}\text{C}$ når luften presses videre af ventilatoren. Varmefluden hæver temperaturen til 20°C , som er den ønskede indblæsningsstemperatur i opvarmningsperioden. Forløbet kan ses af figur 5.17. Indblæsningsluftens vandindhold kan bestemmes ved at isolere $x_{k,ud}$ i formlen for fugtvirkningsgraden.

$$\eta_x = \frac{x_{k,ud} - x_{k,ind}}{x_{v,ind} - x_{k,ind}} \quad (5.4)$$

$$x_{k,ud} = \eta_{x,k}(x_{v,ind} - x_{k,ind}) + x_{k,ind} \quad (5.5)$$

$$x_{k,ud} = 0,681 \left(0,0065 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} - 0,0014 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right) + 0,0014 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} = 0,00487 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \quad (5.6)$$

Hvor:

$x_{k,ud}$	Vandindhold indblæsningsluft [kg/kg]
$x_{k,ind}$	Vandindhold indsugningsluft [kg/kg]
$x_{v,ind}$	Vandindhold udsugningsluft [kg/kg]
$x_{v,ud}$	Vandindhold udblæsningsluft [kg/kg]

Ovenstående beregning af vandindholdet er også indtegnet på IX-diagrammet, figur 5.17, ved punkt 4. Her kan det aflæses at den relative fugtighed i indblæsningsluften er på 28%. Arbejdstilsynet anbefaler mellem 25 og 60 % relativ luftfugtighed indendørs, hvorfor den relative luftfugtighed er i den lave ende. [Arbejdstilsynet \(2023\)](#)

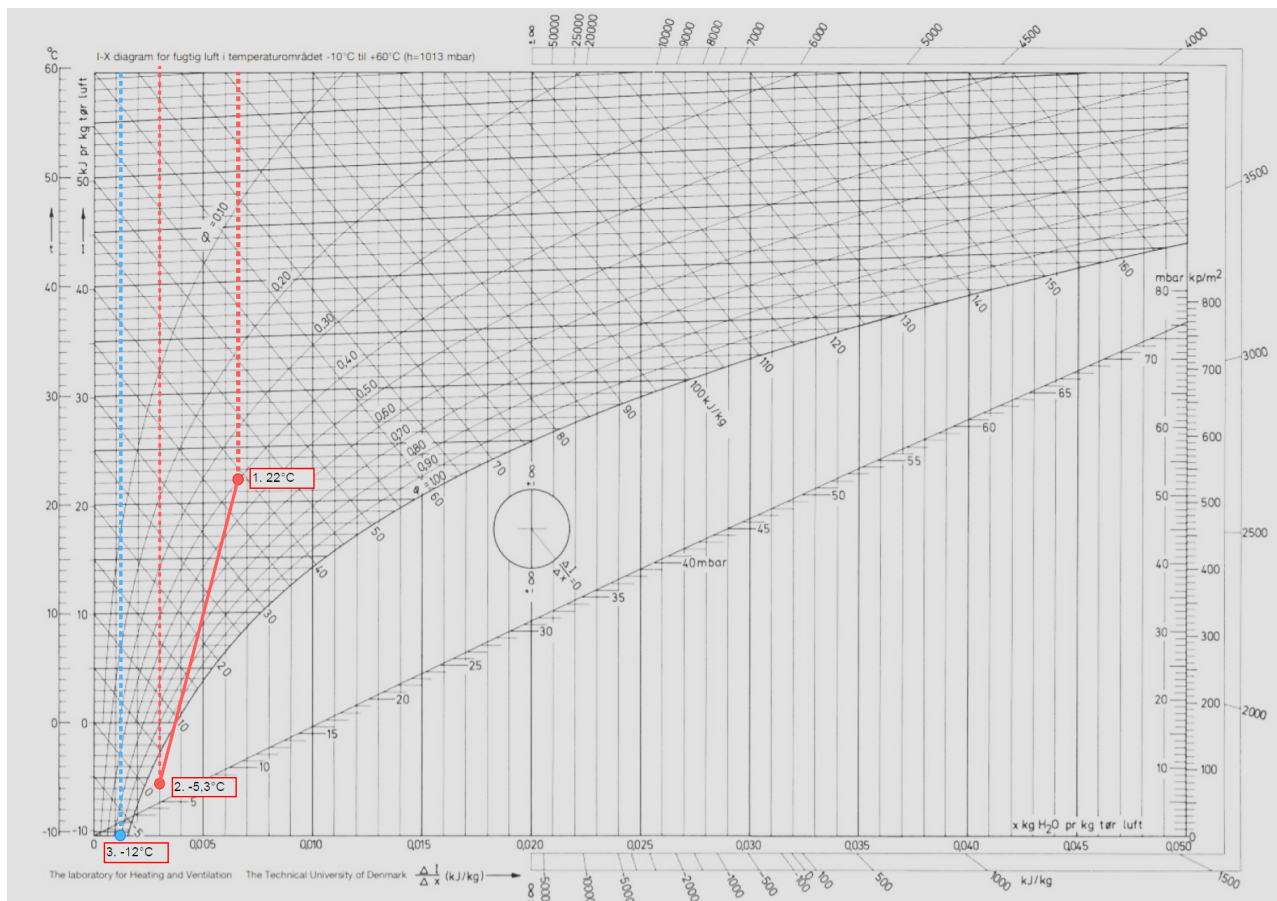
Som nævnt i starten af dette afsnit undersøges også luftentilstand ved nedkøling. Der undersøges for om der kan ske kondensation. Den varme indeluft på 22°C passerer varmeveksleren, hvorfra temperaturen falder til $-5,3^{\circ}\text{C}$. Processen indtegnes og hvis luftfugtigheden stiger til over 100%, vil der opstå kondensation.

$$\eta_x = \frac{x_{k,ud} - x_{k,ind}}{x_{v,ind} - x_{k,ind}} \quad (5.7)$$

$$x_{k,ud} = \eta_{x,k}(x_{v,ind} - x_{k,ind}) + x_{k,ind} \quad (5.8)$$

$$x_{k,ud} = 0,681 \left(0,0065 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} - 0,0014 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right) + 0,0065 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} = 0,0030 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \quad (5.9)$$

På figur 5.18 kan processen af nedkølingen af indeluften ses.



Figur 5.18. IX-diagram over tilstanden for luften under nedkølingsproces. 1 = Indeluft, 2 = Efter varmeveksler, 3 = Udeluft. [Dimensionerea.se](https://dimensionerea.se) (2023)[RED.]

Som det kan ses af figuren kommer luftfugtigheden til at være over 100%, hvorfor det vil ske kondensation. Det vil betyde, at der sker en dannelse af vand under nedkølingsprocessen. I det følgende vil produktionen af vand per. time blive bestemt. [Hylgaard et al. \(1997\)](#)

Følgende data er kendt for luften og volumenstrømmen:

- $x_{v,ind}$ - Vandindhold udsugningsluft [kg/kg] = 0,006978
- $x_{v,ud}$ - Vandindhold udblæsningsluft [kg/kg] = 0,002171
- q_v - Volumenstrømmen gennem anlægget [m³/h] = 14000 m³/h

Ligning 5.10 anvendes til at bestemme den tilførte fugt i kg/h.

$$\sum m_V = m_L \cdot (x_i - x_u) \quad (5.10)$$

Hvor

$\sum m_V$	Summen af tilført fugt [kg/h]
m_L	Massen af luft [kg/h]
x_i	Vandindhold ind [kg/kg]
x_u	Vandindhold ud [kg/kg]

Volumenstrømmen kendes og luftens densitet er på 1,205 kg/m³, ud fra dette kan massen bestemmes

$$m_L = q_v \cdot \rho_L = 14000 \cdot 1,205 = 16870 \text{ kg/h}$$

Herunder kan massen af luften, vandindholdene for udsugning og udblæsning indsættes i formel 5.10.

$$\sum m = 16870 \cdot (0,006978 - 0,002171) = 81,10 \text{ kg/h} \quad (5.11)$$

Ud fra formel 5.11 produceres 81 kg vand i timen. Vands densitet er på 0,997 kg/l, hvorfor produktionen af vand i liter pr. time kan ses af formel 5.3.1

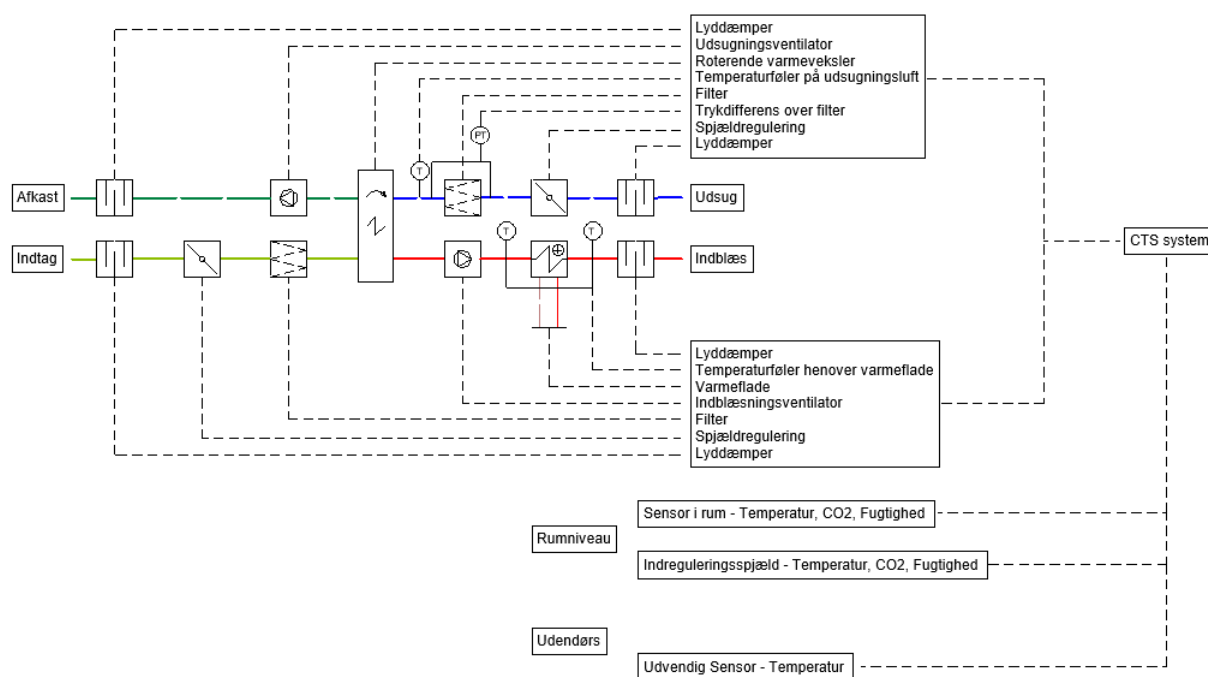
$$m_V = M_V \cdot \rho_V = 81,10 \cdot 0,997 = 80,85 \text{ l/h} \quad (5.12)$$

Ud fra formel 5.3.1 procures 80,85 l/h, hvilket svarer til 1,35 l/min eller 0,022 l/sek. Normalt vil alle ventilationsaggregater installeres med et afløbsrør for at sikre, at hvis der skulle ske kondens kan vandet afledes. I dette tilfælde er det en nødvendighed, ellers ville der opstå et stort problem med ophobende vand i aggregatet eller i området omkring.

Regulering og styring

I det følgende afsnit vil ventilationsaggregatets styring blive beskrevet. Figur 5.19 viser et principdiagram for hvordan styring af anlægget kan foregå.

I praksis er styring ofte et "CTS-system", som nævnt i principdiagrammet. CTS står for Central Teknisk Styring er et system, der bruges til styring og overvågning af tekniske installationer i bygninger, såsom opvarmning, ventilation, aircondition, belysning, sikkerhedssystemer osv.



Figur 5.19. Princip for ventilationsaggregatets styring og regulering.

Systemet vil fungere på følgende måde: Stiger CO_2 -niveauet på rumniveau vil spjældmotoren åbne for spjældet og derved tillade mere luft. Hvis luftmængden ved blot at åbne spjældet ikke er tilstrækkelig, og CO_2 -niveauet stadig stiger, starter ventilatoren. Ventilatoren øger derfor omdrejningerne og accelerer op, så luftmængden er tilstrækkelig for at holde CO_2 -niveauet under 1000 ppm. Hvis temperaturføleren på rumniveau vurderer, at temperaturen skal øges startes den roterende varmeveksler, som accelerer indtil den ønskede indblæsningstemperatur er nået. Kan varmeveksleren ikke holde en stabil indblæsningstemperatur tændes varmepladen, så den forudsatte indblæsningstemperatur opnås. For at sikre at filterne ikke stopper til med partikler og andet skidt, placeres trykfølere før og efter filterne som alarmere, hvis filterne er tilstoppede og derfor ikke fungerer korrekt. For at få den bedste effekt af VAV-anlægget placeres CO_2 -målere og temperaturfølere i alle opholdsrum.

Isolering af kanaler

I bygningsreglementet og i kapitel 2 er det beskrevet at ventilationssystemer skal projekteres og udføres i overensstemmelse med DS/EN 452, samt 447 og 428. I forhold til isolering af kanaler anvendes DS/EN 452, der omhandler "Termisk isolering af tekniske installationer".

I det følgende afsnit vil isolering af indtag og afkast undersøges og der bestemmes en nødvendig tykkelse.

Ventilationskanaler isoleres ofte for at begrænse energitabet eller for at undgå skader og ulemper. Når det omhandler isolering på ventilationskanaler er det ofte til formål for at:

- Begrænse energitabet
- Forhindre udvendig eller indvendig kondensation
- Begrænse overfladetemperaturen
- Begrænse luftens temperaturændring
- Begrænse brandfaren

I DS/EN 452 står det beskrevet at, ventilationskanaler til udeluftsindtag (før evt- varmegenvinding) og afkast i det fri efter varmegenvindingsanlæg isoleres mod kondensation og mod energitab til isoleringsklasse 3. [Dansk Standard 452 \(2020\)](#)

Til bestemmelse af isoleringstykkelser anvendes Rockwools beregningsprogram ROCKTEC. Programmet kan anvendes til termisk isolering af tekniske installationer. Der regnes med en medietemperatur på -12°C på indtagskanalerne, $-5,3^{\circ}\text{C}$ på afkastkanalerne og 20°C som omgivende temperatur. Ydermere anvendes en isoleringsklasse 3 som beskrevet ovenfor. Da det er Rockwools egen udviklede beregner, er det selvfølgelig kun Rockwools egne produkter som de anbefaler i beregningen. [Rockwool \(2023\)](#)

I beregningen for indtag er den nødvendige isoleringstykkelse bestemt til 42,4 mm og for afkast er den bestemt til det samme. Dette er minimumsværdier, hvorfor der rundes op til faktiske størrelser på 50 mm. Selvom isoleringstykkelserne er ens er der dog forskel på overfladetemperaturen af isolering, samt varmetabet i de to scenarier. Overfladetemperaturen for indtag er $12,4^{\circ}\text{C}$ og for afkast er den $13,8^{\circ}\text{C}$. Varmetabet på indtagskanalerne med isolering er $21,1 \text{ W/m}^2$ og for afkastskanalerne $16,7 \text{ W/m}^2$, hvor værdierne, før tilføjelsen af isoleringen var $-143,1 \text{ W/m}^2$ og $106,4 \text{ W/m}^2$

I appendiks E er resultatet for beregningen for indtag vist af side 1 og beregningen for afkast er vist af side 2.

5.4 Energiforbrug for ventilationsaggregat

I dette afsnit bestemmes det totale energiforbrug for ventilationsaggregatet. For at bestemme det samlede energiforbrug bestemmes først energiforbruget for varmefladen, og herefter bestemmes energiforbruget for ventilatorerne. I tabel 5.12 er relevante værdier til beregningen af energiforbruget vist. Den ønskede indblæsningstemperatur er 20°C og temperaturen er, som beskrevet tidligere i afsnit 5.3, 15,6°C efter varmeveksler og ventilatormotor. Volumenstrømmen er 14.000 m³/h eller svarende til 3,88 m³/s.

Variable	
t_{ind}	20°C
t_{rum}	23°C
q_v	3,88 m ³ /s
c_p	1,005 kJ/kg°C
ρ	1,2 kg/m ³

Tabel 5.12. Værdier til beregning af energiforbrug.

Energiforbruget for varmefladen:

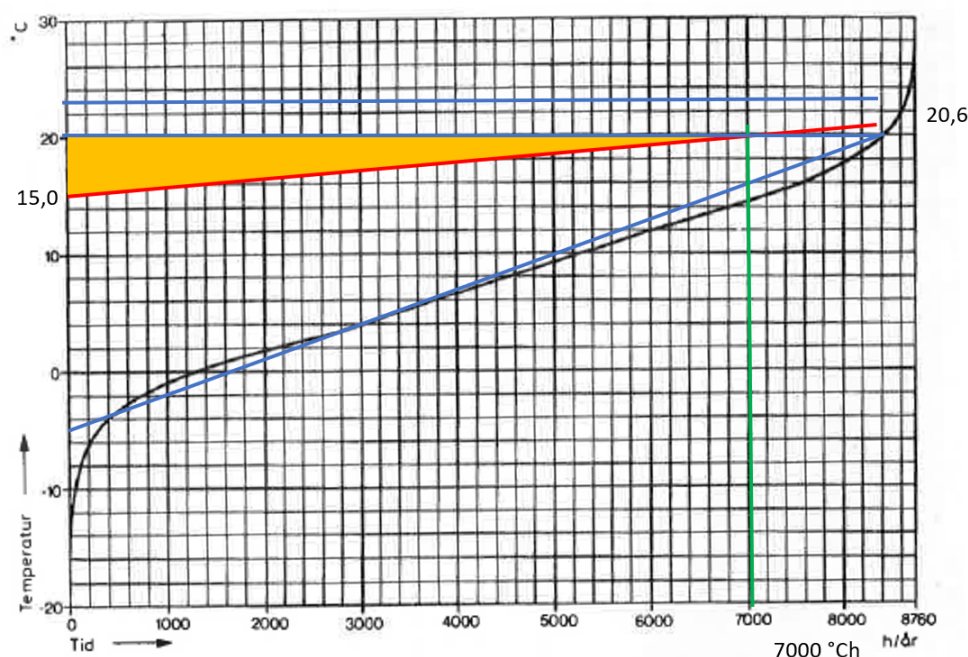
Det årlige energiforbrug, $E_{\text{år}}$, kan bestemmes med formel 5.13. [Stampe \(2000\)](#)

$$E_{\text{år}} = c_p \cdot \rho \cdot A_t \cdot q_v \quad (5.13)$$

Hvor:

c_p	Lufts specifikke varmekapacitet [kJ/kg°C]
ρ	Lufts densitet [kg/m ³]
A_t	Antal gradtimer [°Ch]
q_v	Udeluft volumenstrøm [m ³ /s]

For at bestemme antallet af gradtimer anvendes et varighedsdiagram, som kan ses af figur 5.20, hvor timer med opvarmning fra varmefladen svarer til det skraverede areal.



Figur 5.20. Varighedsdiagram for varmefladen.

For at bestemme punkterne som den røde linje er mellem, anvendes temperaturvirkningsgraden af varmeveksleren, som værdier for temperaturen. jf. [Stampe \(2000\)](#) kan udendørstemperaturen erstattes af en ret linje, som går fra -5°C og skæringspunktet mellem den ønskede sluttemperatur og varighedskurven.

Punkter bestemmes af ligning 5.4 og 5.4.

$$T_1 = -5 + 0,80 \cdot (20 - (-5)) = 15,0 \quad (5.14)$$

$$T_2 = 23 - 0,80 \cdot (20 - 23) = 20,6 \quad (5.15)$$

Antallet gradtimer beregnes i ligning 5.16, hvor antallet af timer varmebladen skal være aktiv aflæses af varighedsdiagrammet på figur 5.20.

$$A_t = 0,5 \cdot (23^{\circ}\text{C} - 15,0^{\circ}\text{C}) \cdot 7.000 \text{ h} = 28.000^{\circ}\text{Ch} \quad (5.16)$$

Af ligning 5.16 kan det konkluderes at der er 28.000°Ch , hvor varmebladen er aktiv.

Det årlige energiforbrug kan nu bestemmes ved hjælp af formel 5.13, og beregningen kan ses i 5.17.

$$E_{\text{år}} = 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot 1,205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 28.000^{\circ}\text{Ch} \cdot 3,89 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 131.867,17 \frac{\text{kWh}}{\text{år}} \quad (5.17)$$

Det faktiske energiforbrug, E , bestemmes af ligning 5.18. Ligningen repræsenterer en korrigeret værdi for energiforbruget og varierer afhængigt af brugstiden.

$$E = E_{\text{år}} \cdot \frac{a}{52\text{uger}} \cdot \frac{b}{7\text{dage}} \cdot \frac{c}{24\text{timer}} \quad (5.18)$$

Hvor:

a	Uger anlæg er i drift pr. år
b	Døgn anlæg er i drift pr. uge
c	Timer anlæg er i drift pr. døgn

I tabel 5.13 kan brugstiden i uger, dage og timer ses. Det beregnede årlige energiforbrug, $E_{\text{år}}$, er også med i tabellen.

Variabel	Størrelse	Enhed
$E_{\text{år}}$	131.867,17	kWh/år
a	43	uger
b	5	dage
c	10	timer

Tabel 5.13. Energiforbrug for varmebladen.

Ud fra værdierne i tabel 5.13 kan det faktiske energiforbrug, E , bestemmes.

$$E = 131.867,17 \frac{\text{kWh}}{\text{år}} \cdot \frac{43}{52\text{uger}} \cdot \frac{5}{7\text{dage}} \cdot \frac{10}{24\text{timer}} = 32.453,57 \text{ kWh} \quad (5.19)$$

Hermed er det faktiske energiforbrug for varmebladen bestemt til at være 32.454 kWh.

Energiforbrug ved ventilatorer:

Ud fra dataene på ventilatoren givet i SystemairCAD, kan energiforbruget beregnes for ventilatorerne i ventilationsaggregatet. I appendiks E i udskriften fra SystemairCAD, kan dataene findes og de er medtaget i tabel 5.14.

Variable	Størrelse	Enhed
P_{ind}	3,49	kW
P_{ud}	3,31	kW

Tabel 5.14. Relevante værdier til beregning af energiforbrug til ventilatorerne

Det antages at ventilatorerne har samme brugstid som varmekladerne, hvorfor værdierne fra tabel 5.13. Derved fås en total drifttid som vist i ligning 5.20.

$$43 \cdot 5 \cdot 10 = 2.150 \text{ timer} \quad (5.20)$$

Derved er der et årligt energiforbrug for ventilatorerne, E_v , som vist i ligningerne 5.21 til 5.23.

$$E_{v_{ind}} = 2.150 \text{ h} \cdot 3,31 \text{ kW} = 7.503,5 \text{ kWh} \quad (5.21)$$

$$E_{v_{ud}} = 2.150 \text{ h} \cdot 3,49 \text{ kW} = 7.116,5 \text{ kWh} \quad (5.22)$$

$$E_{vTOT} = 7.503,5 \text{ kWh} + 7.116,5 \text{ kWh} = 14.620 \text{ kWh} \quad (5.23)$$

Ud fra ligning 5.23 et samlet energiforbrug på 14.620 kWh, for begge ventilatorer i aggregatet. Derudover er der beregnet et totalt energiforbrug for varmekladerne på 32.453,57 kWh.

$$E_{TOT} = 14.620 \text{ kWh} + 32.423,57 \text{ kWh} = 47.073,57 \text{ kWh} \quad (5.24)$$

De to ovenstående værdier giver altså et totalt energiforbrug, som kan ses af ligning 5.24 på 47.073,57 kWh for ventilationsaggregatet.

Driftsomkostninger:

I det følgende afsnit vil de driftsmæssige omkostninger forbundet med driften af ventilationsanlægget undersøges. Det totale energiforbrug er bestemt i forrige afsnit til 14.620 kWh for driften af ventilatorerne og 32.423,57 kWh for driften af varmekladerne, hvilket giver 47.000 kWh, som vist af 5.24. Ventilatorerne drives af en tilførsel af EL og varmekladerne drives af en tilførsel af fjernvarme, hvorfor indkøbsprisen er forskellig for de to.

Prisen for fjernvarme svinger ligger mellem 0,6 kr/kWh og 0,8 kr/kWh jf. [Verdo \(2023\)](#). El prisen varierer mellem 2,0 kr/kWh og 2,5 kr/kWh jf. [Elberegner.dk \(2023\)](#). I nedenstående beregning af driftsomkostningerne ved driften af ventilationsaggregatet anvendes en gennemsnitspris på 0,7 kr/kWh for fjernvarme og 2,25 kr/kWh for el.

Driftsomkostninger for varmekladerne kan ses af ligning 5.25:

$$32.423,57 \text{ kWh} \cdot 0,7 \text{ kr/kWh} = 22.717,50 \text{ kr} \quad (5.25)$$

Driftsomkostninger for ventilatorerne kan ses af ligning 5.26:

$$14.620 \text{ kWh} \cdot 2,25 \text{ kr/kWh} = 32.895,00 \text{ kr} \quad (5.26)$$

De totale omkostninger ved driften af ventilationsaggregatet bestemmes ved at ligge ligning 5.25 og 5.26 sammen og kan ses af følgende ligning 5.27.

$$22.717,50 \text{ kr} + 32.895,00 \text{ kr} = 55.612,50 \text{ kr} \quad (5.27)$$

Ud fra ligning 5.27 vil de totale driftsomkostninger, foruden service og filterskifte være **55.612,5 kr** pr. år.

I det følgende laves samme beregning for et CAV-anlæg. Hvis anlæggets ventilatorer skulle køre med en konstant volumenstrøm vil energiforbruget, henover et år, være på 60.547,2 kWh

Driftsomkostninger for varmeblæsen kan ses af ligning 5.28:

$$32.423,57 \text{ kWh} \cdot 0,7 \text{ kr/kWh} = 22.717,50 \text{ kr} \quad (5.28)$$

Driftsomkostninger for ventilatorerne kan ses af ligning 5.29:

$$60.547,2 \text{ kWh} \cdot 2,25 \text{ kr/kWh} = 136.231,2 \text{ kr} \quad (5.29)$$

De totale omkostninger ved driften af ventilationsaggregatet kan ses af ligning 5.30.

$$22.717,50 \text{ kr} + 136.231,2 \text{ kr} = 158.948,70 \text{ kr} \quad (5.30)$$

Ud fra ligning 5.30 vil de totale driftsomkostninger, foruden service og filterskifte være **158.948,70 kr** pr. år.

I ligning 5.31 kan det totale besparelse ved at vælge et VAV-anlæg ses.

$$158.948,70 \text{ kr} - 55.612,50 \text{ kr} = 103.336,20 \text{ kr} \quad (5.31)$$

Det står klart, at ved at vælge et VAV-anlæg opnås årlige besparelser i driftsomkostningerne på **103.336,20 kr**.

SEL-værdi

Som beskrevet i bygningsreglement og i kapitel 2, omhandlende funktionskrav må ventilationsanlæg med variable luftydelse ikke overstige 1.800 J/m^3 .

I tabel 5.14 er effekten for ventilatorerne vist. Disse anvendes også til beregning af SEL-værdien. Effekten for indblæsning er 3,49 kW og for udsugning er den 3,31 kW. Hvilket giver en total tilført effekt på 6,8 kW. Den totale volumenstrøm er $14.000 \text{ m}^3/\text{s}$ eller $3,89 \text{ m}^3/\text{s}$.

SEL-værdien beregnes som vist af formel 5.32. [Stampe \(2000\)](#)

$$SEL = \frac{\sum P}{q_v} \quad (5.32)$$

Hvor:

$$\sum P \left| \begin{array}{l} \text{Tilført effekt [W] / [J/s]} \\ \text{Volumenstrøm [m}^3/\text{s]} \end{array} \right.$$

Indsættes de kendte værdier for den tilførte effekt og volumenstrøm i ligning 5.32 fås resultatet vist i ligning 5.33.

$$SEL = \frac{6,8 \text{ kW}}{3,89 \text{ m}^3/\text{s}} = 1,7485 \text{ kJ/m}^3 \approx 1.748,5 \text{ J/m}^3 \quad (5.33)$$

Af ovenstående beregninger ses det, at anlægget opfylder funktionskravene beskrevet i kapitel 2 og BR18.

Opsummering af detailprojekt 6

Løsningsforslag 1 blev valgt som det bedste af de 3 løsningsforslag og er taget med videre til dimensionering i detailprojektering. Der er blevet udarbejdet en 3D-model af ventilationssystemet - Plantegninger, sektionviews og 3D-illustrationer af systemet kan ses under appendiks D. 3D-modellen muliggjorde tryktabsberegning af hele systemet. Tryktabet kunne derfor, ligesom i skitseprojektet, bestemmes, dog noget lettere gennem programmet MagiCAD. I tryktabsberegningen er bøjninger, enkeltmodstande mm medtaget modsat udregningen i skitseprojektet, hvor der efter hånberegningen blev lagt 25% til for at kompensere for tabet i enkeltmodstande. Før tryktabet kunne bestemmes, var det nødvendigt at fastlægge de korrekt indblæsnings- og udsugningsarmaturer. For at finde korrekt dimensionerede armaturer blev kastelængde for rum, hvor komfort i opholdszone var relevant, bestemt. Passende armaturer blev herefter fundet ved hjælp af Lindabs program Lindqst. [Lindab \(2023e\)](#)

Efter armaturer og tryktabet i kanalsystemet blev bestemt, blev selve ventilationsaggregatet dimensioneret. Dimensioneringsprocessen af aggregat blev udført med hjælp fra Systemair's program SystemairCAD. Ventilationsaggregatet blev et Geniox 22, da dette efter beregningen i SystemairCAD overholder kravene for ECO-design og energikravet fra BR18. De enkelte komponenter, som anlægget er bestående af, blev beskrevet. Tilstandsændringen af luften blev undersøgt og her kunne det konkluderes, at der under nedkølingen af luften opstår en større mængde kondensation.

Slutteligt blev energiforbruget og driftomkostninger undersøgt og det kan konkluderes at ventilationsaggregatets ventilator og varmeplade tilsammen bruger omkring 47.000 kWh/år. Dette medfører knap 56.000 kr/år i driftsomkostninger foruden filterskifte og service. VAV-anlæggets energiforbrug blev sammenlignet med et tilsvarende anlæg blot som et CAV-anlæg og det kunne konstateres, at ved at vælge et VAV-anlæg ville driftsomkostningerne blive reduceret med omkring 103.000 kr/år.

Vurdering og konklusion 7

I denne rapport er der udarbejdet et ventilationsanlæg med det formål at sikre et behageligt indeklima for eleverne på C. la Cours Skolen. Ventilationsanlægget, som beskrives i afsnit 3.1, er valgt som et VAV-anlæg med opblandingsventilation i klasseværelserne og mødelokalet. Dette valg er begrundet i den svingende interne belastning og ønsket om konstant opblanding af luften for at fortynde eventuelle forurenende stoffer. På baggrund af bygherrens ønske der ikke etableres køling i dette projekt er ventilationsprincippet om opblanding optimalt, idet den varme indeluft blandes med køligere udeluft for at opretholde en behagelig indetemperatur. Det skal dog bemærkes, at der kan opstå udfordringer med at holde temperaturen nede, især når temperaturen udenfor overstiger set-punktet for indblæsningstemperaturen.

I afsnit 5.1 er indblæsningsarmaturerne til klasseværelserne og mødelokalet blevet dimensioneret. Ud fra tabel 5.2 fremgår det, at alle armaturerne overholder det maksimale lydkrav på 30 dB(A). Faktisk er flere af armaturerne langt under dette krav, hvilket indikerer, at de er overdimensionerede i forhold til det akustiske krav fra tekniske installationer. En reduktion i størrelsen af indblæsningsarmaturerne vil ændre på kastelængden, hvilket har været afgørende ved valget af det aktuelle armatur. For at sikre, at værdien for kastelængden lå inden for det beregnede interval, beregnet i C.3 i appendiks C, har det været nødvendigt at vælge armaturer med større tilslutninger til trykfordelingsboksen. Dette var for at mindske kastelængden og sikre, at værdien forblev inden for det definerede interval. Hvis lydforholdene for de enkelte armaturer skulle ligge tættere på kravet, ville dette medføre en øget kastelængde og dermed højere indblæsningshastigheder i opholdszone. Disse højere hastigheder ville resultere i trækgener, hvilket potentielt kunne føre til en stigning i antallet af utilfredse.

Ventilationsaggregatet har en SEL-værdi på 1.748 J/m^3 og overholder således kravet fra bygningsreglementet, som angiver en maksimal værdi på 1.800 J/m^3 . Hvis der vælges et mindre anlæg, vil SEL-værdien stige, og anlægget vil ikke længere overholde grænsen på 1800 J/m^3 . Selvom et mindre anlæg kan være billigere, vil det ikke være funktionelt i denne sammenhæng, da det ikke overholder kravet. På den anden side, hvis der vælges et større anlæg, vil SEL-værdien falde, men anskaffelsesomkostningerne vil stige, da produktionen af et større anlæg er dyrere. Dog vil driftsomkostningerne blive mindre med et større anlæg, da driftsomkostningerne og SEL-værdien er forbundet.

7.1 Konklusion

I dette projekt er der udviklet forslag til ventilationssystemet i udvidelsen af C. La Cours Skole's eksisterende bygninger. I overensstemmelse med bygherrens ønsker samt gældende normer og regler, som er specificeret i bygningsreglementet og relaterede standarder, blev der opstillet funktionelle krav til systemet.

I den indledende fase blev bygningens placering og geometri, fremtidige brugere og deres forventede adfærdsmønstre samt mulige ruter for luftføring undersøgt. Disse analyser resulterede i en detaljeret beskrivelse af de enkelte lokaler samt deres tilhørende anvendelse. Dette arbejde førte også til en klarlæggelse af de nødvendige luftmængder og identifikationen af de rum, hvor det var særligt relevant at sikre en effektiv ventilation

I skitseprojektet blev der redegjort for ventilationsprincipper, styringsform og valg af aggregattype, hvorefter der blev truffet beslutning om, hvilke der bedst passede til dette specifikke projekt. Efter denne vurdering blev der udarbejdet tre forskellige løsningsforslag til kanalføringer, hvor ventilationsaggregatet blev placeret på tre forskellige steder.

Disse tre løsningsforslag blev efterfølgende analyseret og sammenlignet ud fra tre relevante parametre for at identificere det mest hensigtsmæssige. Valget faldt på løsningsforslag 1, som viste sig at have de laveste etableringsomkostninger, samt det laveste tryktab sammenlignet med de øvrige løsningsforslag. Dette løsningsforslag blev derfor taget med til detailprojektet med henblik på dybere dimensionering.

I detailprojektet blev løsningsforslaget modelleret i 3D og analyseret ved hjælp af MagiCAD-software. Indblæsnings- og udsugningsarmaturer blev dimensioneret individuelt og tilpasset det enkelte rum med fokus på at opfylde kravene til akustik, kastelængder og dermed sikre passende indblæsningshastigheder i opholdszonen.

Under analysen og 3D-modelleringen blev det tydeligt, at der ville være ekstra omkostninger forbundet med rørføringen, da frirummet over det nedhængte loft er for smalt til udelukkende at anvende runde kanaler. Dette skyldtes nødvendigheden af, at anvende en større mængde rektangulære ventilationskanaler.

Tryktabet i den 3D-model blev sammenlignet med tryktabet fra skitseprojektet, og det blev konkluderet, at tryktabet i 3D-modellen var størst. Tryktabet fra 3D-modellen blev noteret og anvendt sammen med den beregnede volumenstrøm for at finde et passende ventilationsaggregat.

Til denne proces blev SystemAirs program, SystemAirCAD, benyttet til at finde et aggregat, der opfyldte de specifikke krav i dette projekt. Samtidig blev der redegjort for de typiske komponenter, der findes i ventilationsaggregater i denne sammenhæng.

En analyse af luftens tilstandsændringer som følge af henholdsvis opvarmning og nedkøling via varmegenvinding blev udført. Det blev her tydeligt, at under nedkølingsprocessen af den varme indeluft ville der forekomme kondensation. Endvidere blev der foretaget en vurdering af de driftsmæssige omkostninger ved at sammenligne to forskellige styringsformer, VAV og CAV. Konklusionen var tydelig: Der er betydelige økonomiske besparelsesmuligheder ved at vælge et VAV-anlæg frem for et CAV-anlæg.

Ovenstående rapport fremviser derved hvordan et løsningsforslag til C. la Cours Skolen ventilationssystem kan udføres ud fra et ingeniørmæssig perspektiv.

Litteratur

- Arbejdstilsynet (2023), 'Indeklima',
<https://at.dk/regler/at-vejledninger/indeklima-a-1-2/>. (Tilgået: 19.12.2023).
- Bygningsreglement (2020), 'Bygningsreglementet 2018', <https://bygningsreglementet.dk/>.
(Tilgået: 23.10.2023).
- C. la Cours Skole (2023), 'Skolens hjemmeside',
<https://www.c-lacour.dk/faellesskabet/om-skolen>. (Tilgået: 06.11.2023).
- Dansk Standard 16798 (2019), *Bygningers energieffektivitet - Ventilation i bygninger - del 1*, Dansk Standard.
- Dansk Standard 16890 (2022), *Luftfiltre til generel ventilation – Del 2: Måling af filtereffektivitet og luftstrømsmodstand*, Dansk Standard.
- Dansk Standard 428 (2021), *DS 428: Brandsikring af ventilationsanlæg*, Dansk Standard.
- Dansk Standard 447 (2021), *Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer*, Dansk Standard. DS/EN 2021 FU:2022.
- Dansk Standard 452 (2020), *DS452: Termisk isolering af tekniske installationer*, Dansk Standard.
- Dansk Standard 779 (2012), *DS/EN 779:2012: Partikelluftfiltre til generel ventilation - bestemmelse af filtreringsegenskaber*, Dansk Standard.
- Dimensionerea.se (2023), 'Mollier diagram / ix-diagram',
<https://www.dimensionera.se/fukt/mollier.php>. (Tilgået: 19.12.2023).
- DTU (2013), 'Sammenhæng mellem luftkvalitet i grundskoler og elevers indlæring',
<https://orbit.dtu.dk/en/publications/sammenh%C3%A6ng-mellem-luftkvalitet-i-grundskoler-og-elevers-indl%C3%A6ring>.
(Tilgået: 06.11.2023).
- Elberegner.dk (2023), 'El randers - sammenligning af elpriser i randers',
<https://elberegner.dk/elpriser/el-randers/>. (Tilgået: 21.12.2023).
- Hansen, H., Kjerulf-Jensen, P. & Stampe, O. B. (2018), *Danvak - Grundbog*, Danvak ApS.
- Hyldgaard, C. E., Funch, E. & Steen-Thøde, M. (1997), *Grundlæggende klimateknik og bygningsfysik*, Aalborg Universitet.

Lindab (2023a), 'Kanalsystemer prisliste', https://katalog.lindab.dk/Ventilation/Prislister/Kanalsystemer_prisliste/?page=28. (Tilgået: 19.12.2023).

Lindab (2023b), 'Lindab cbc/cbe trykfordelingsboks',
<https://www.lindab.dk/produkter/ventilation/luftbarne-systemer/trykfordelingsbokse/cbccbe/?sort=popularity&display=16&page=1>. (Tilgået: 18.12.2023).

Lindab (2023c), 'Lindab kir',
<https://www.lindab.dk/produkter/ventilation/luftbarne-systemer/kontrolventiler/tilluft/kir/?sort=popularity&display=16&page=1>.
(Tilgået: 18.12.2023).

Lindab (2023d), 'Lindab ksu',
<https://www.lindab.dk/produkter/ventilation/luftbarne-systemer/kontrolventiler/fraluft/ksu/?sort=popularity&display=16&page=1>.
(Tilgået: 18.12.2023).

Lindab (2023e), 'Lindab lindqst', <https://www.lindqst.com/>. (Tilgået: 18.12.2023).

Lindab (2023f), 'Lindab mb trykfordelingsboks',
<https://www.lindab.dk/produkter/ventilation/luftbarne-systemer/trykfordelingsbokse/mb/?sort=popularity&display=16&page=1>. (Tilgået: 18.12.2023).

Lindab (2023g), 'Lindab pca datablad',
https://www.lindab.dk/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/assets/production/otm3yjaxogqtype4os00ogrlltlkzwytnwfmngi4n2y2ndi0/5250000913386255401/pca_dk.pdf?v=1702769612. (Tilgået: 18.12.2023).

Lindab (2023h), 'Lindab quick selection tool',
<https://www.lindqst.com/Airborne/Selector/default.aspx>.
(Tilgået: 11.12.2023).

Lindab (2023i), 'Lindab shop', <https://www.lindab.dk/produkter/ventilation/kanalsystemer/safe/ror/sr/?sort=popularity&display=16&page=1>.
(Tilgået: 18.12.2023).

Lindab (2023j), 'Lindab vgrl',
<https://www.lindab.dk/produkter/ventilation/luftbarne-systemer/kontrolventiler/ventilramme/vgrl/?sort=popularity&display=16&page=1>.
(Tilgået: 18.12.2023).

Lindab (2023k), 'Lindab.dk', <https://www.lindab.dk/>. (Tilgået: 19.12.2023).

Loomans, M. (1998), 'The measurement and simulation of indoor air flow',
<https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/1362860/9803293.pdf>. (Tilgået: 23.11.2022).

Ole B. Stampe, Henning Hørup Sørensen, F. H. L. o. F. L. L. (2001), 'Ventilations ståbi',
<https://www.polyteknisk.dk/home/Detaljer/9788750060079>. (Tilgået: 28.11.2023).

RealDania (2017), 'Indeklima i skoler', <https://realdania.dk/publikationer/faglige-publikationer/indeklimaiskoler>. (Tilgået: 06.11.2023).

Rockwool (2023), 'Rocktec - beregner', <https://rw-rocktec.inforce.dk/Scandinavian/Index/Danmark/indexdk.aspx>. (Tilgået: 21.12.2023).

Skråfotos (2023), 'Skråfotos',
https://skraafoto.dataforsyningen.dk/?orientation=map¢er=562672.34%2C6258278.93%2C17.7&item2=2023_82_16_2_0003_00003899. (Tilgået: 09.11.2023).

Stampe, O. B. (2000), *Danvak - Ventilationsteknik*, Danvak ApS.

Teknologisk Institut (2023), 'Folkeskolen lider af dårligt indeklima', <https://www.teknologisk.dk/ydelser/folkeskolen-lider-af-daarligt-indeklima/38697>. (Tilgået: 06.11.2023).

Ventas (2023), 'Konvertering af filterklasser',
<https://ventas.dk/videnscenter/filter-standard/>. (Tilgået: 19.12.2023).

Verdo (2023), 'Fjernvarme priser og vilkår, randers',
<https://www.verdo.com/dk/privat/fjernvarme/priserogvilkaar/randers>. (Tilgået: 21.12.2023).

Vorre, M. H., Noyé, P., Maagaard, S. E., Johannsen, K. B., Østergaard, T., Sørensen, M. K. & Andersen, M. D. A. (2021), *Branchevejledning for indeklima i skoler*, Teknologisk Institut.

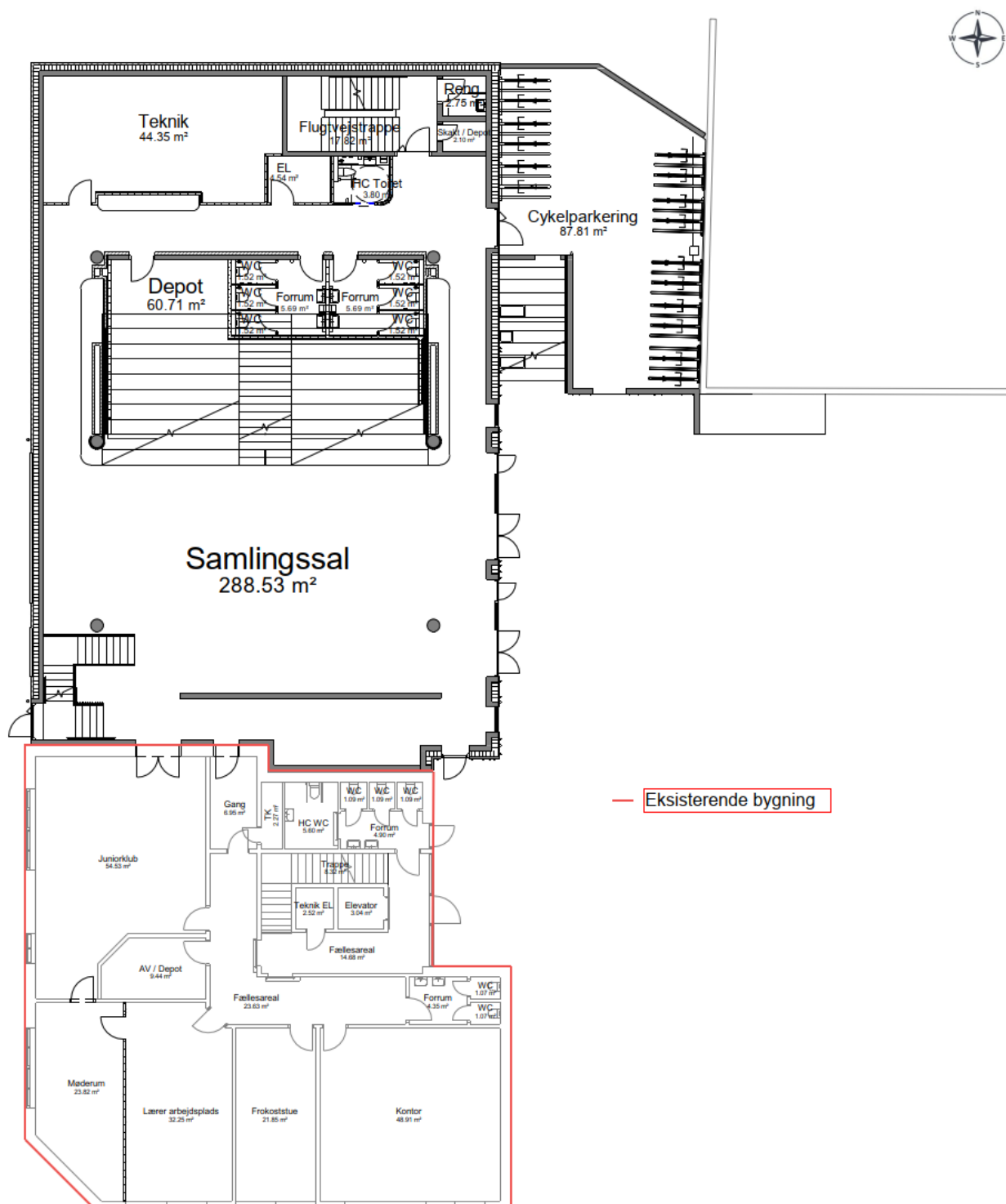
Ziehl-Abegg (2023), 'Fanselect', <https://www.fanselect.net/#>. (Tilgået: 19.12.2023).

Øland (2023), 'Øland ventilations drejeskive', <https://oelandonline.dk/drejeskive/>. (Tilgået: 08.12.2023).

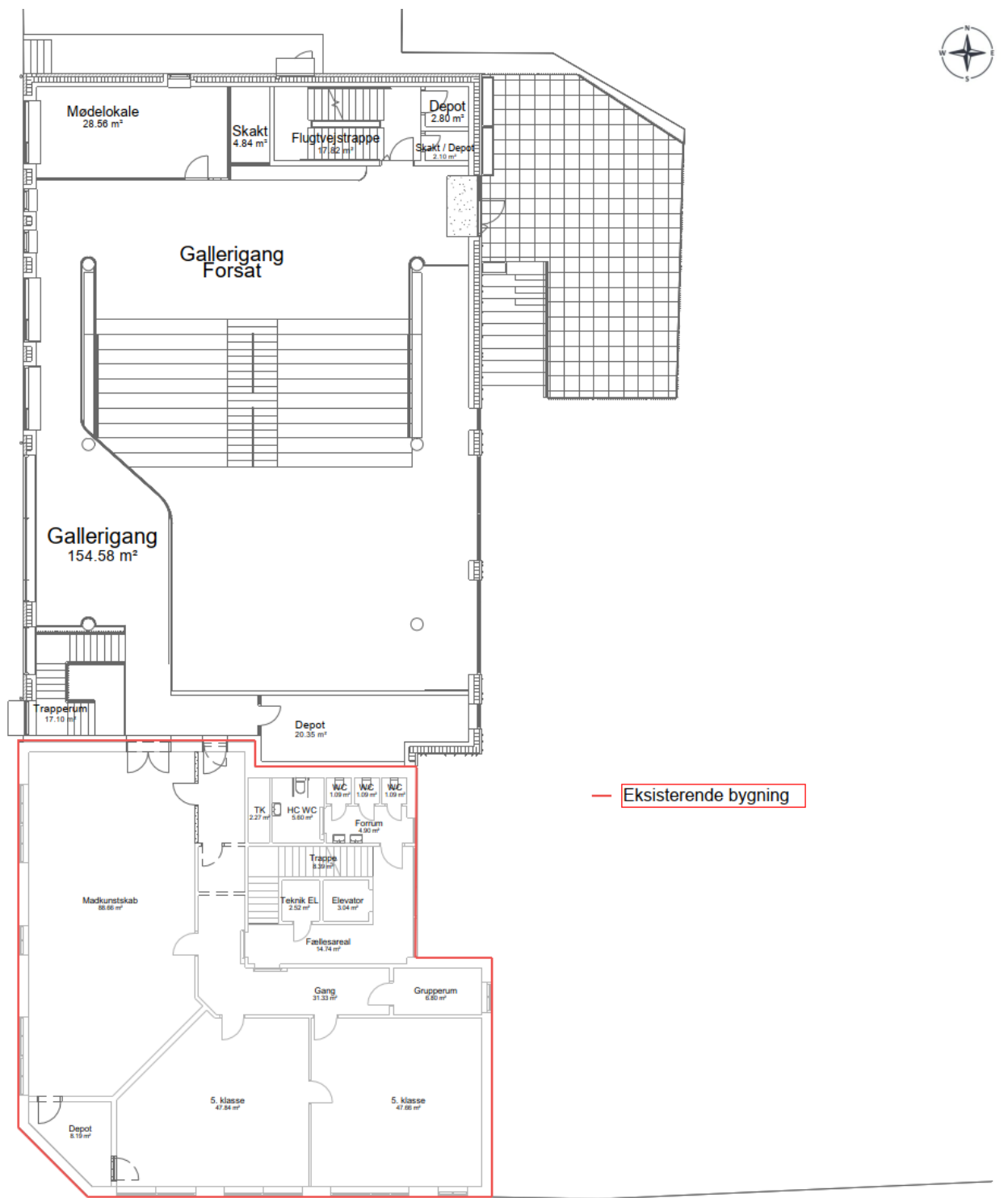
A

Herunder findes plantegningerne for bygningen, hvori ventilationssystemet skal installeres.

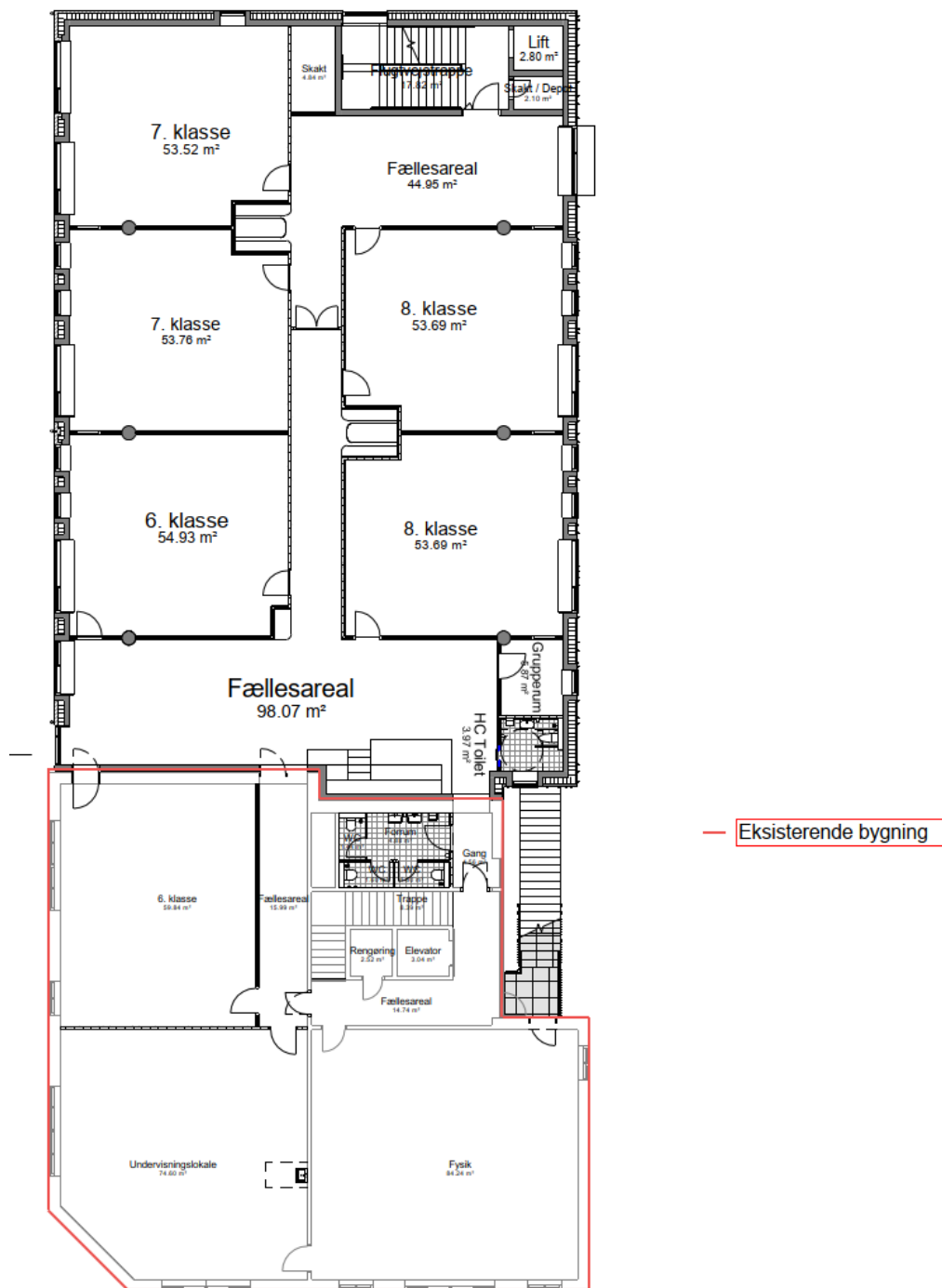
A.1 Plantegning af stueplan



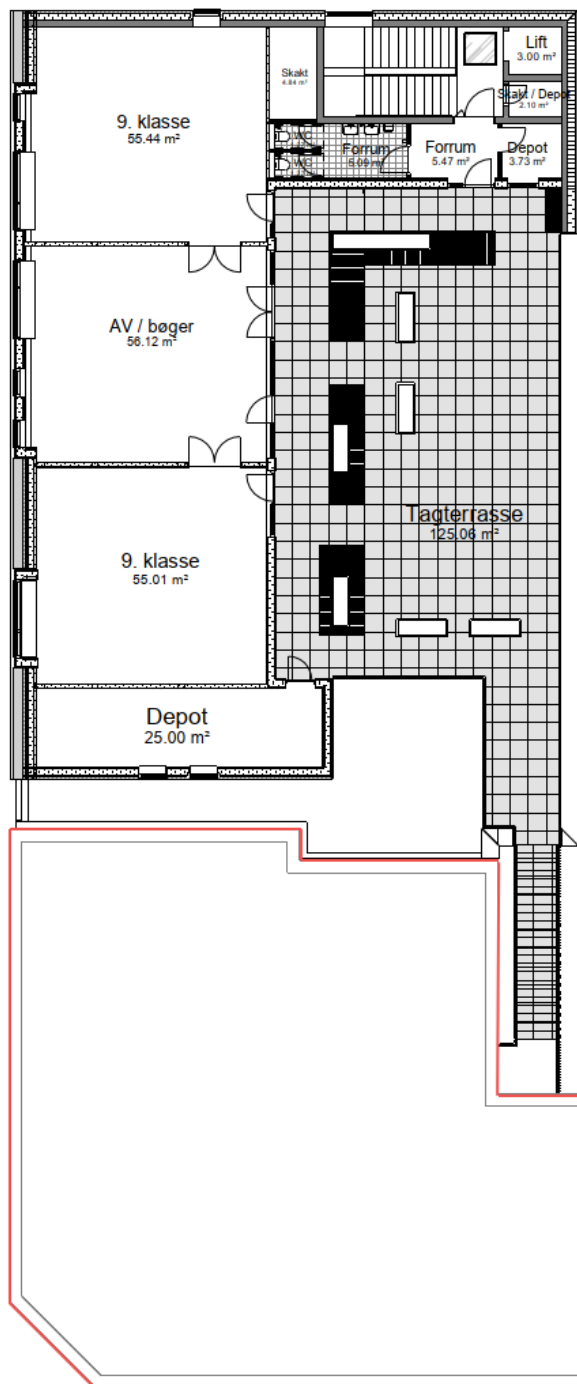
A.2 Plantegning af 1. sal



A.3 Plantegning af 2. sal



A.4 Plantegning af 3. sal

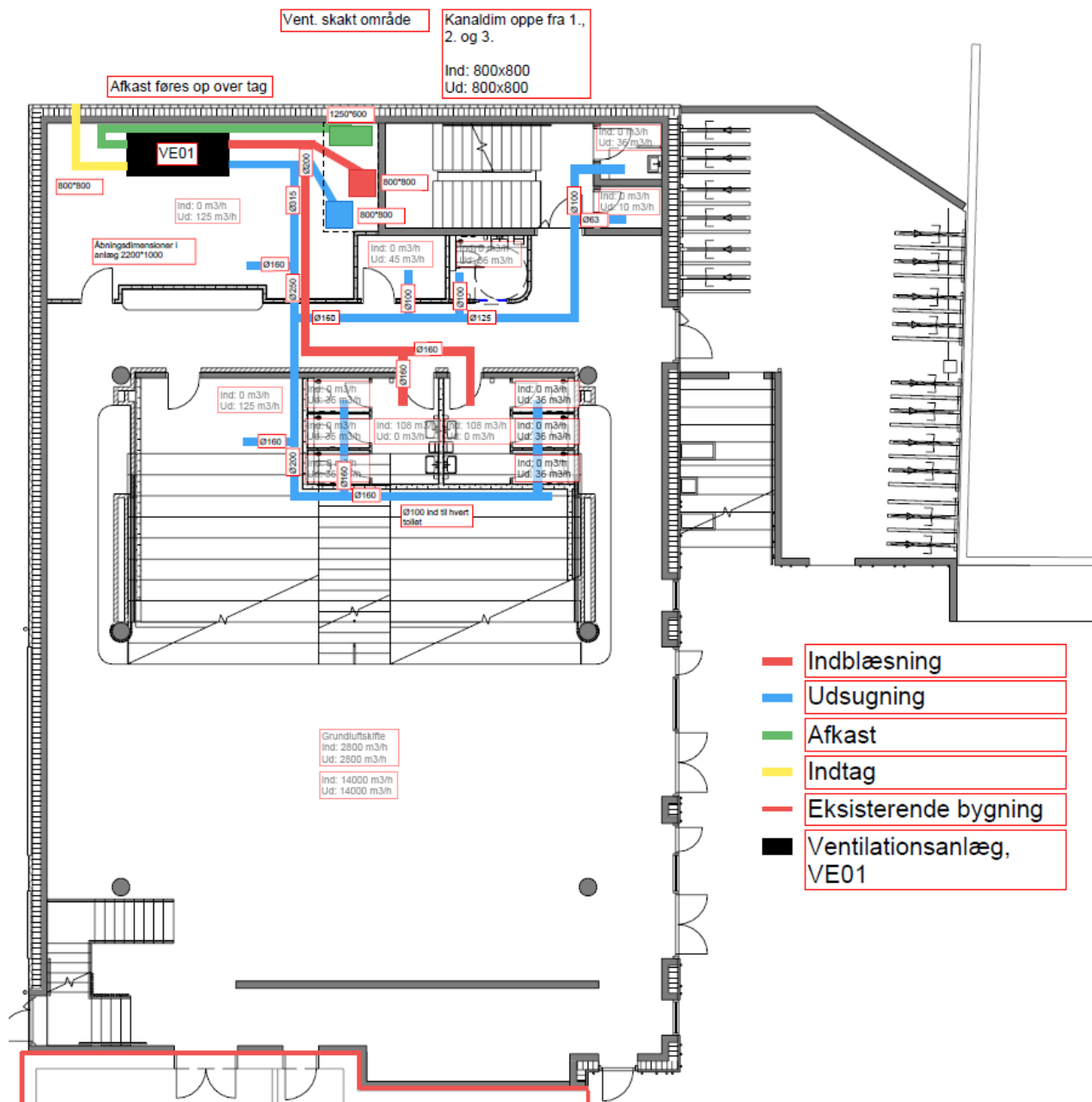


— Eksisterende bygning

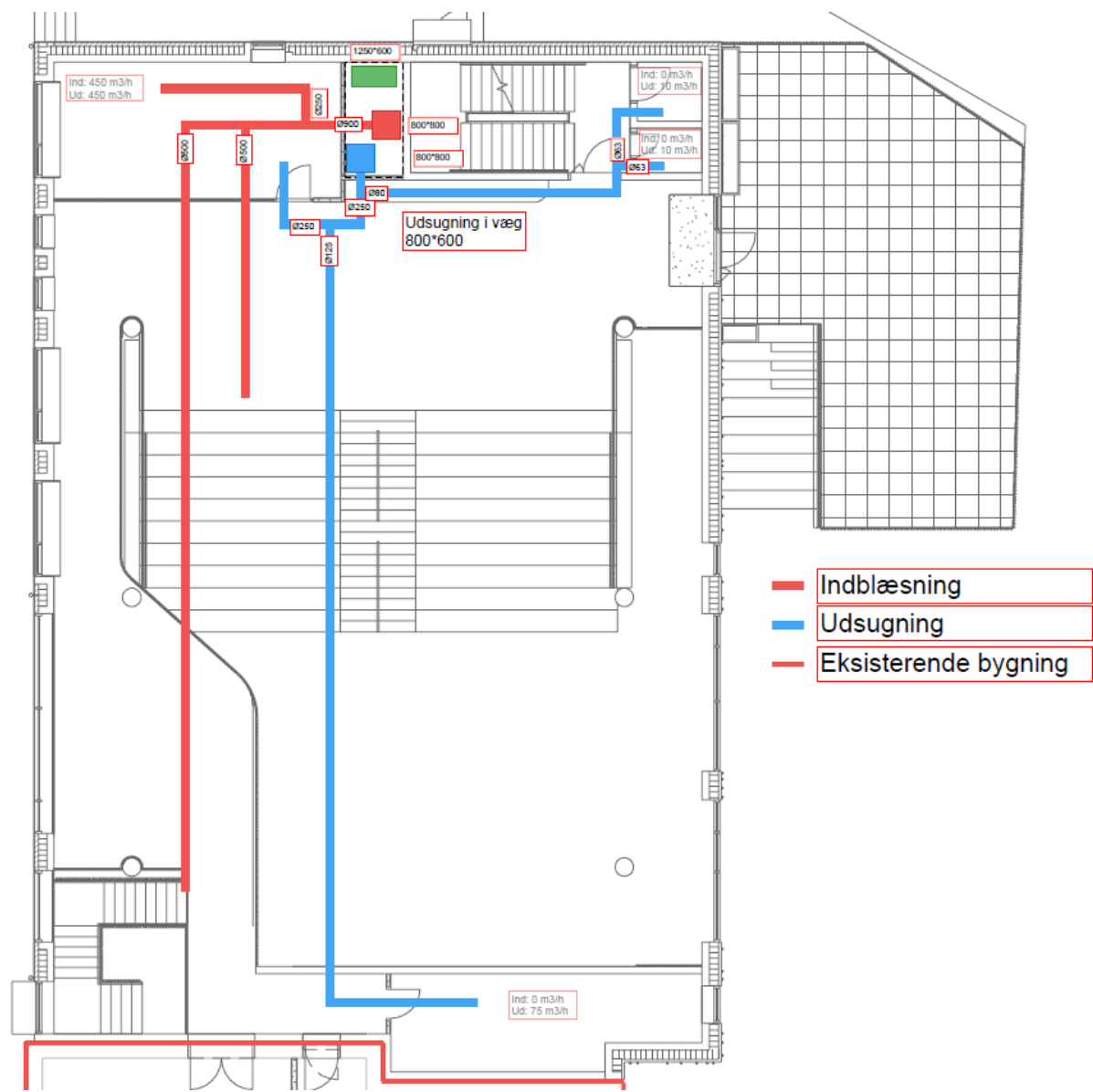
Løsningsforslag

Herunder findes figurer, som viser føringsvejene til de enkelte løsningsforslag.

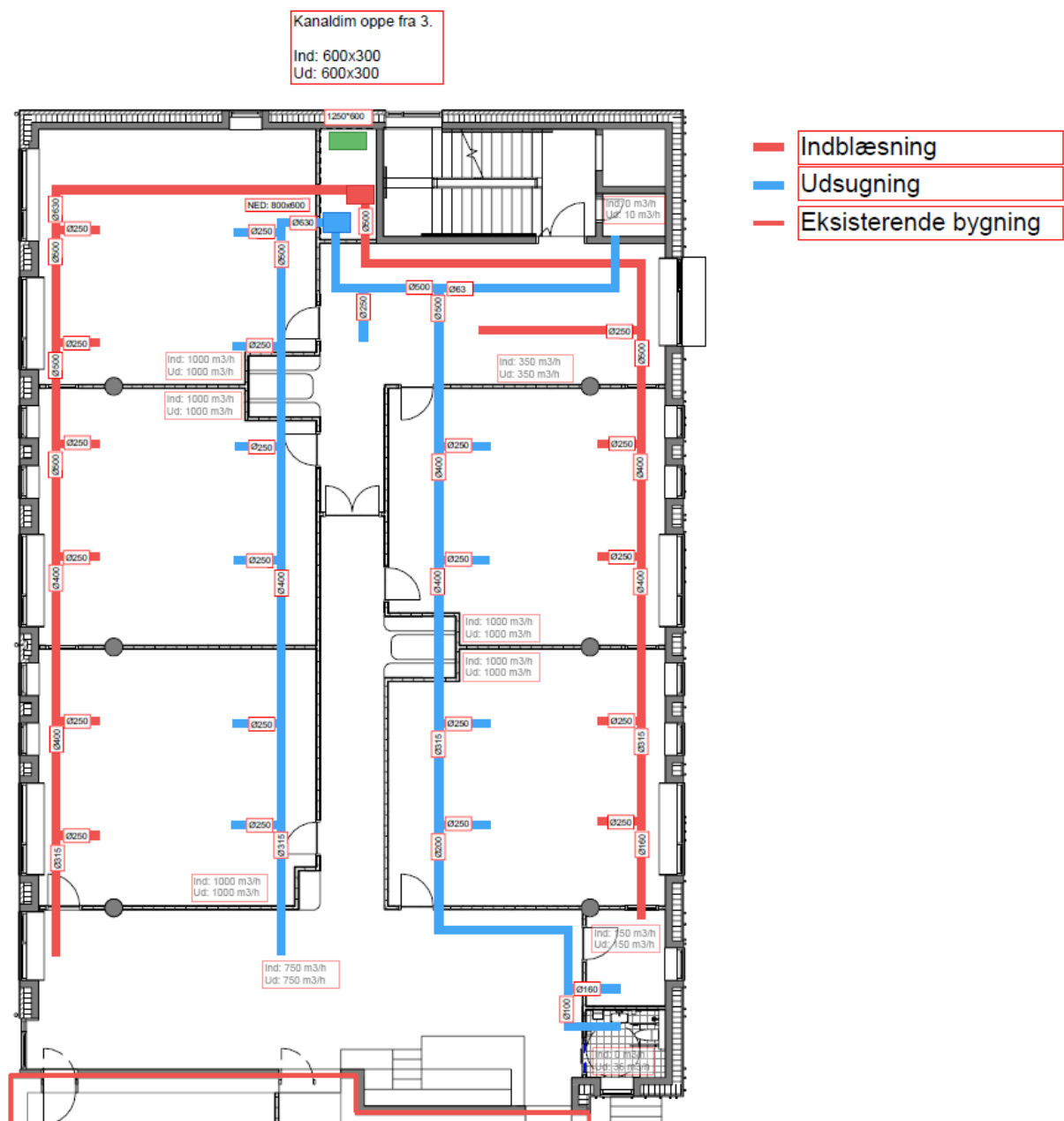
B.1 Løsningsforslag 1, stueplan



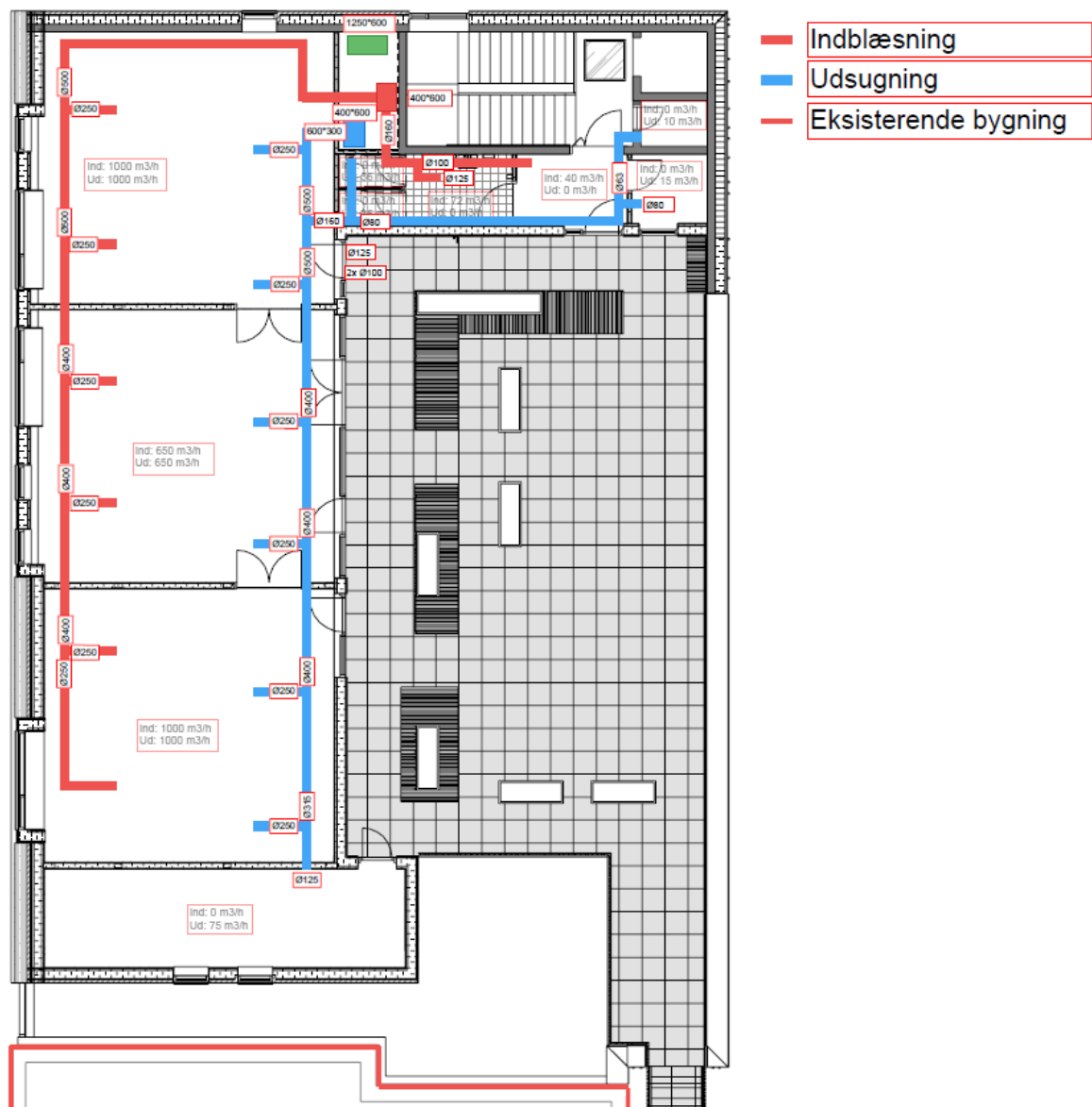
B.2 Løsningsforslag 1, 1. sal



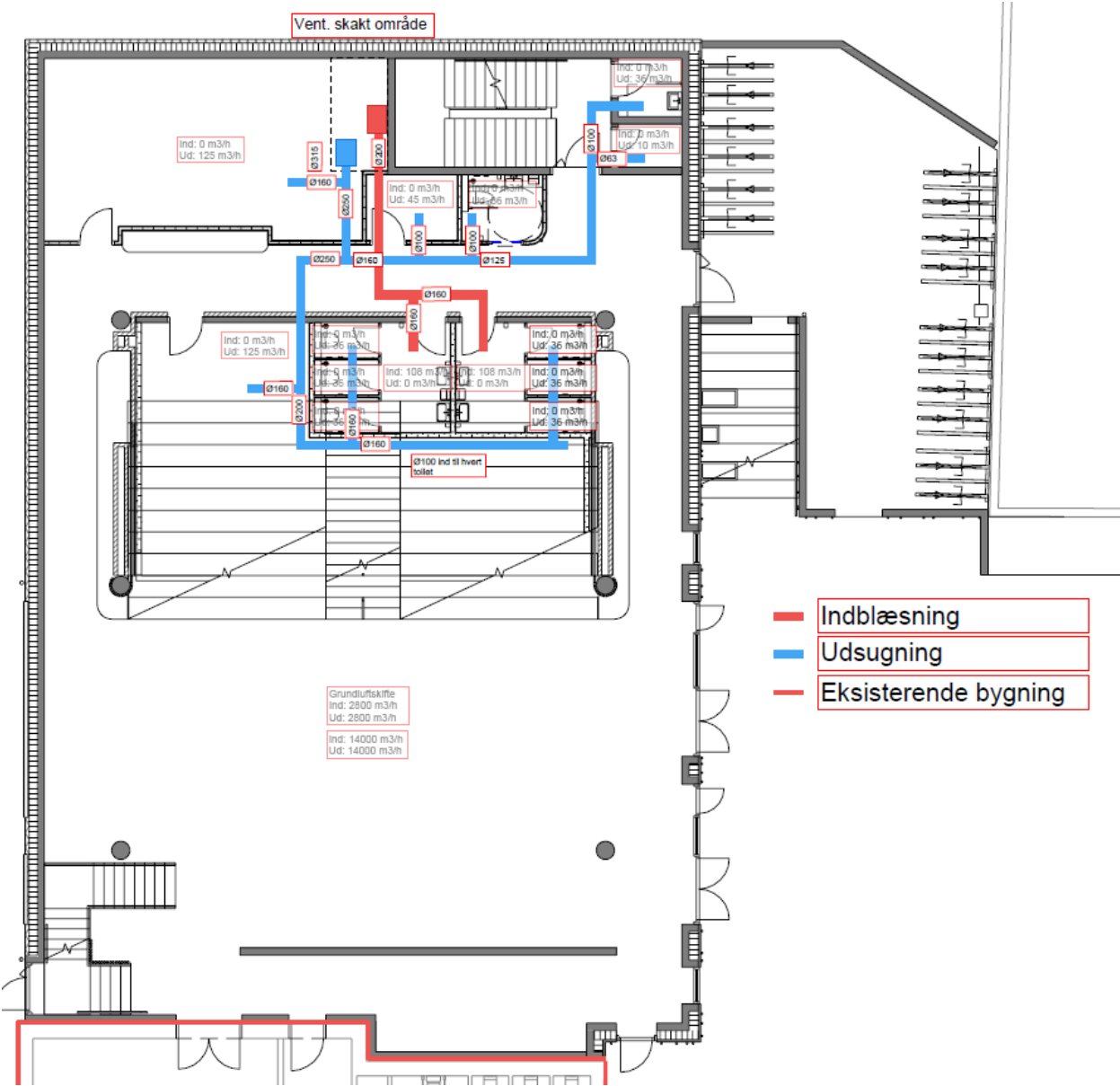
B.3 Løsningsforslag 1, 2. sal



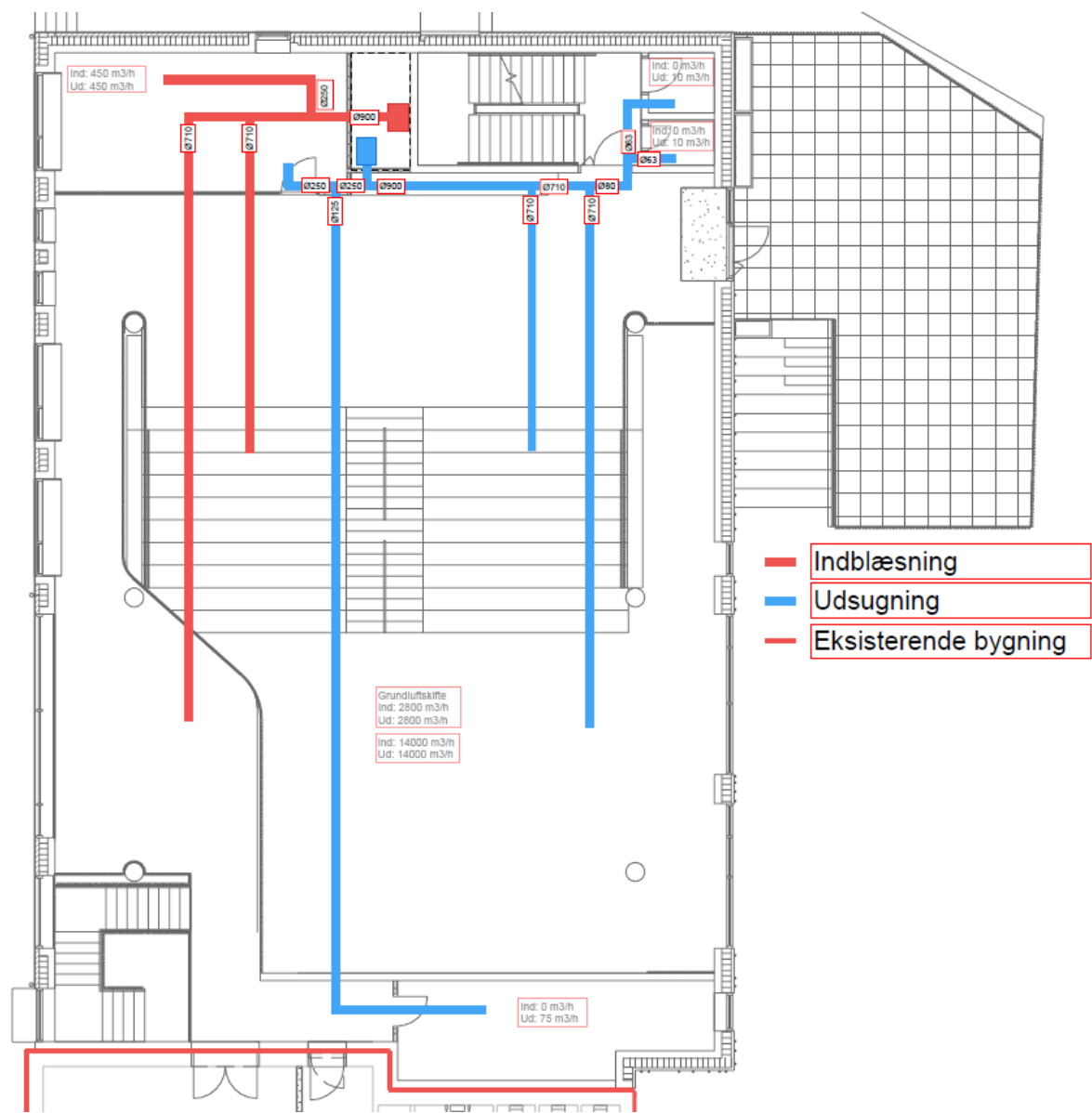
B.4 Løsningsforslag 1, 3. sal



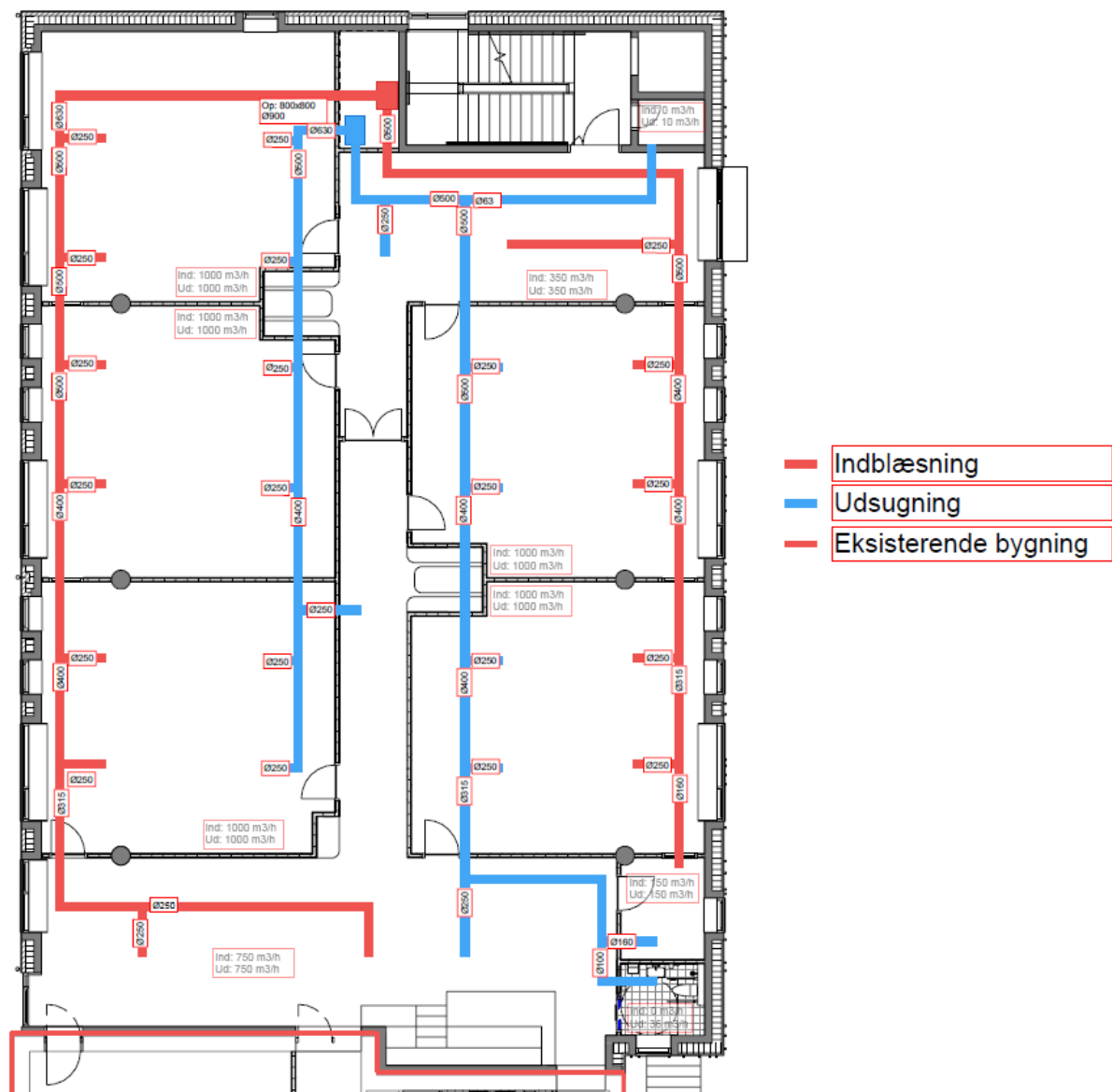
B.5 Løsningsforslag 2, stueplan



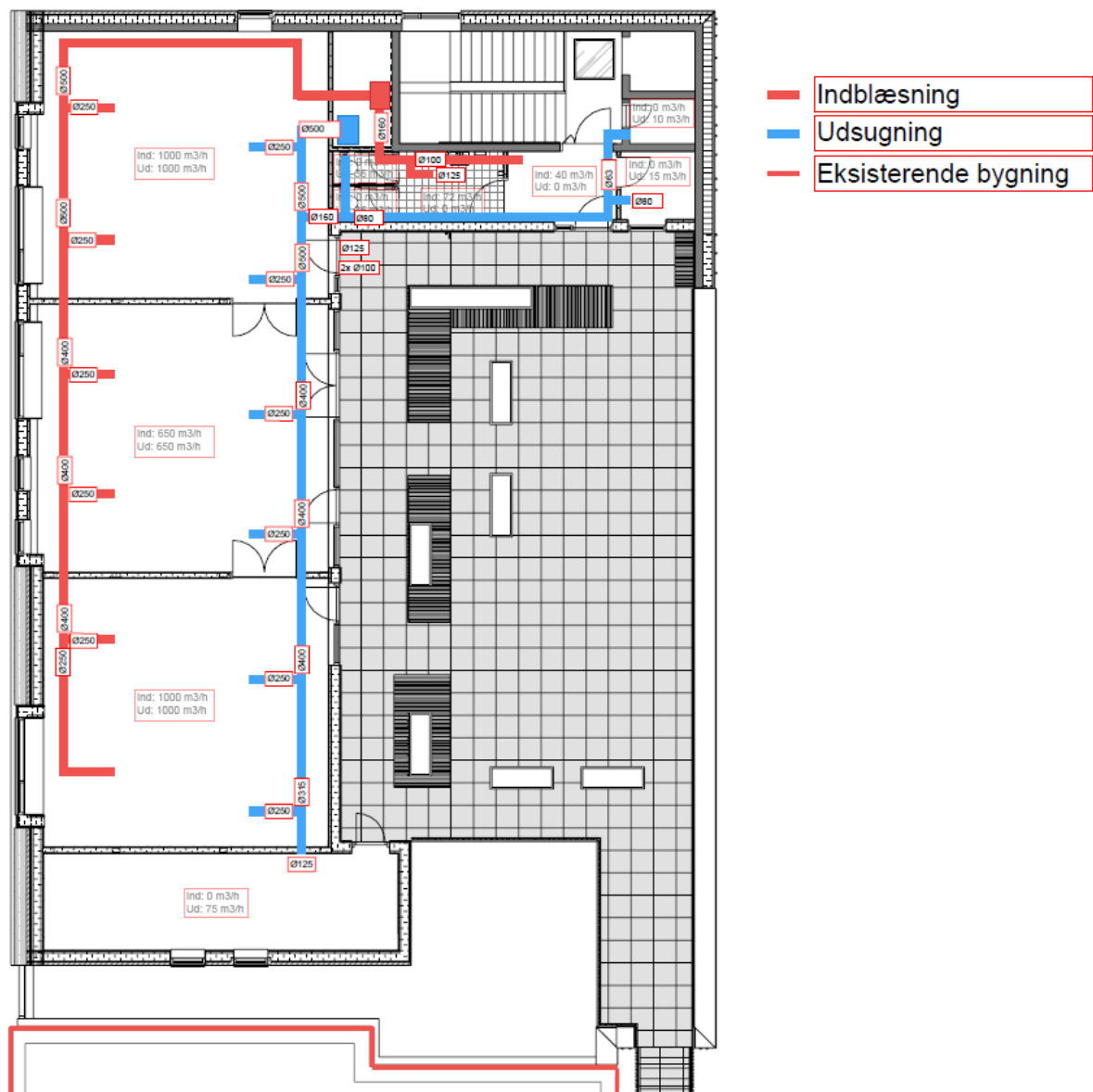
B.6 Løsningsforslag 2, 1. sal



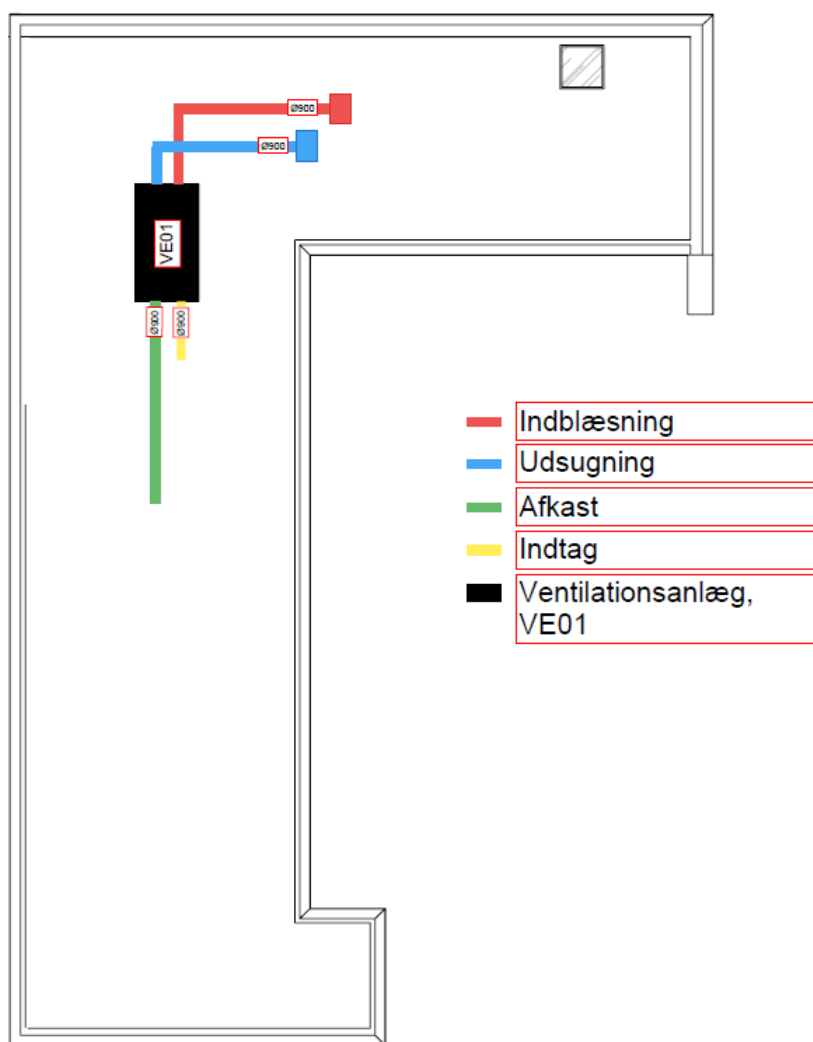
B.7 Løsningsforslag 1, 2. sal

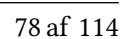


B.8 Løsningsforslag 2, 3. sal

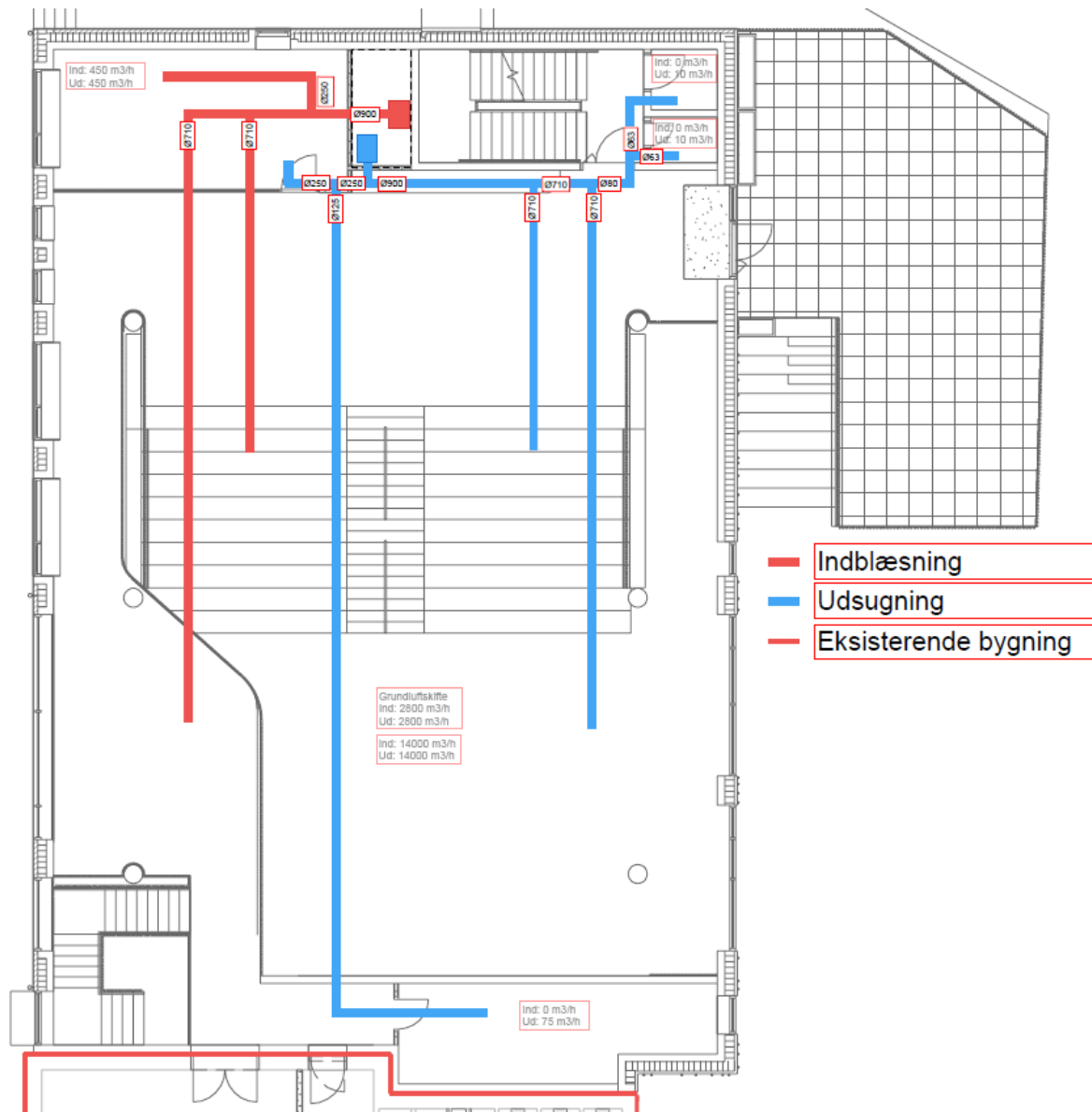


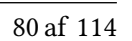
B.9 Løsningsforslag 2, tag

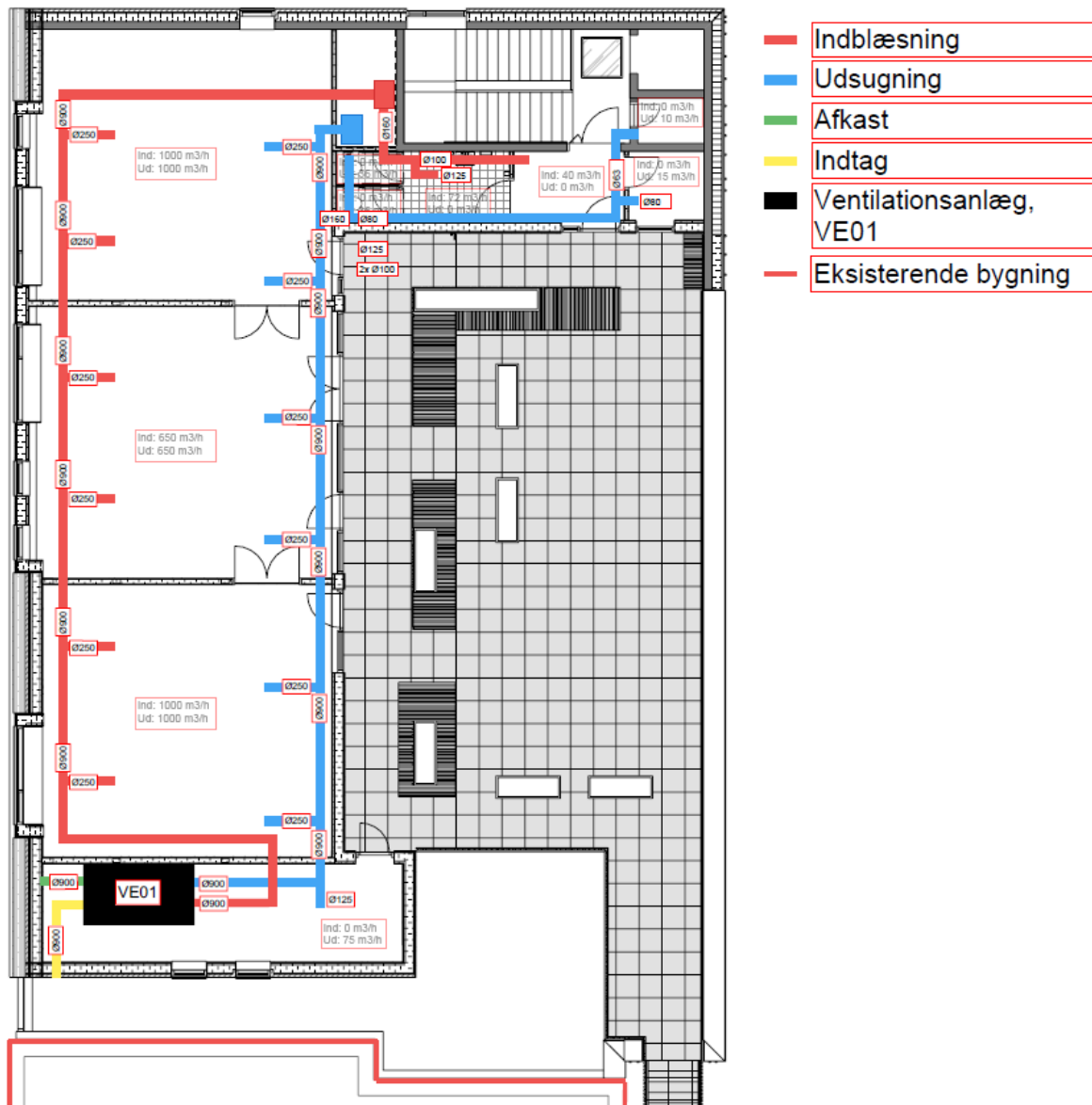




B.11 Løsningsforslag 3, 1. sal







Herunder findes beregninger, som har medvirket til dimensionering af ventilationssystemet.

C.1 Ventilationsberegning for et givent klasseværelse

I dette afsnit vil der beregnes eksempel for luftskiftet i klasseværelse ud fra forskellige parametre.

Klasseværelset har følgende dimensioneringsparametre:

- Personer = 24
- Areal = 54 m²
- Rumhøjde = 2,8 m
- Volumen = 151,2 m³

Herunder udarbejdes luftsskiftet ved forskellige dimensioneringsprocesser.

Mindste volumen tilført jf. BR18

I dette afsnit beregnes den mindste værdi for volumenstrømmen på baggrund af gulvarealet. Volumenstrømmen bestemmes ud fra ligning C.1. [Bygningsreglement \(2020\)](#)

$$q_v = 0,35 \frac{1}{s \cdot m^2} \cdot A \cdot 3,6 \quad (C.1)$$

Hvor:

A | Areal [m²]

$$q_v = 0,35 \frac{1}{s \cdot m^2} \cdot A \cdot 3,6 = 190,51 m^3/h \quad (C.2)$$

Hermed er den mindste volumenstrøm for lokale N115 bestemt til 190,5 m³ i timen. Med denne volumenstrøm fås et luftskifte på 0,46 gange i timen.

Basisventilation

Den dimensionsgivende volumenstrøm kan jf. [Stampe \(2000\)](#) bestemmes ud fra ligning C.3.

$$q_v = 3,5 \cdot N + 0,7 \cdot A \geq 7 \cdot N \quad (C.3)$$

Hvor:

N | Personer [-]
 A | Areal [m²]

$$q_v = 3,5 \cdot 24 + 0,7 \cdot 54 = 121,81/s \geq 7 \cdot N = 1681/s \quad (C.4)$$

$$121,81/s = 438,5 m^3/h \geq 1681/s = 604,8 m^3/h \quad (C.5)$$

Hermed er volumenstrømmen ved basisventilation for lokale N115 bestemt til 604,8 m³ i timen. Med denne volumenstrøm fås et luftskifte på 4 gange i timen.

CO₂-koncentration

I dette afsnit beregnes den nødvendige tilførsel af udeluft for at holde CO₂-koncentrationen under en bestemt værdi ved en produktion af CO₂.

Til at starte med bestemmes, q_{v,CO_2} , som er den mængde CO₂ personerne forurener rummet med.

$$q_{v,CO_2} = 17 \cdot M \quad (C.6)$$

Hvor:

M | Metabolske rate [met]

$$q_{v,CO_2} = 17 \cdot 1,2 = 20,4 \cdot \frac{1}{h} \text{pr.person} \quad (C.7)$$

Ud fra ovenstående CO₂ udledning er det muligt, at bestemme hvor stort et luftskifte, der skal være for at sikre at CO₂-koncentration holdes under 1000 ppm. Ligning C.8, også kendt som fortyndingsligningen, kan luftskiftet, n , bestemmes.

$$c = \frac{q}{n \cdot V_R} \cdot (1 - e^{-n\tau}) + (c_0 - c_i) \cdot e^{-n\tau} + c_i \quad (C.8)$$

Hvor:

c	CO ₂ -koncentration i rummet [m ³ /m ³]
q	Mængde frigivet CO ₂ [m ³ /h]
V_R	Rumvolumen [m ³]
τ	Tid [h]
c_0	Begyndelseskonzentration [m ³ /m ³]
c_i	Konzentration i indblæsning [m ³ /m ³]

Den tilladelige CO₂ koncentration i rummet er defineret i kapitel 2 og bestemt af BR18 til 1000 ppm. Begyndelseskonzentration og indblæsningskoncentrationen kan jf. BR18 sættes til 400 ppm.

I følgende beregning antages steady-state, hvilket medfører at tiden sættes til at gå mod uendelig og derved kan leddet markeret med fed, fjernes i ligning C.9. Det nødvendige luftskifte kan derved bestemmes ud fra Ligning C.10.

$$1.000\text{ppm} = \frac{20,4 \frac{1}{s} \cdot \text{person} \cdot 24\text{personer}}{n \cdot 151,2\text{m}^3} \cdot (1 - e^{-n\infty}) + (400\text{ppm} - 400\text{ppm}) \cdot e^{-n\infty} + 400\text{ppm} \quad (C.9)$$

$$1.000\text{ppm} = \frac{20,4 \frac{1}{s} \cdot \text{person} \cdot 24\text{personer}}{n \cdot 151,2\text{m}^3} + 400\text{ppm} \quad (C.10)$$

$$n = 5,40\text{h}^{-1} \sim 816,5\text{m}^3/\text{h} \quad (C.11)$$

Hermed er luftskiftet for CO₂ bestemt til 5,40 gange i timen eller svarende til 810 m³/h.

En hurtigere måde at bestemme volumenstrømmen er ved, at isolere den nødvendige luftmængde i fortyndingsligningen

$$q_v = \frac{(17 \cdot M)/1000}{1000\text{ppm} - 400\text{ppm}} \quad (\text{C.12})$$

Hvor:

M | Metabolske rate [met]

På denne måde bestemmes den nødvendige volumenstrøm per person, uden at tage hensyn til lokalets størrelse eller luftskifte. Det afhænger kun af produktionen af CO_2 i lokalet. Formlen tager derfor hensyn til antallet af personer og deres aktivitetsniveau.

Indsættes et aktivitetsniveau på 1,2, svarende til stillesiddende, vil det give en nødvendig luftmængde som vist af ligning C.13

$$q_v = \frac{(17 \cdot 1,2)/1000}{1000\text{ppm} - 400\text{ppm}} \sim 34\text{m}^3/\text{h} \quad (\text{C.13})$$

Herefter ganges den nødvendige volumenstrøm op med antallet af personer og så have den totale nødvendige volumenstrøm for lokalet.

Tages værdierne fra eksemplet med klasseværelset vil det give som vist i formel C.14

$$q_v = 34\text{m}^3/\text{h} \cdot 24 \sim 816\text{m}^3/\text{h} \quad (\text{C.14})$$

Sammenlignes de to værdier, er det klart at begge har samme værdier og derfor må fremgangsmåder er mulige.

Personer

I dette afsnit bestemme luftskiftet og dermed volumenstrømmen krævet som følge af personbelastningen. Til bestemmelse af dette anvendes følgende ligning, se ligning C.15.

$$q_v = 7 \frac{1}{\text{s} \cdot \text{person}} \cdot N \cdot 3,6 \quad (\text{C.15})$$

Hvor:

N | Antallet af personer [N]
 V | Rumvolumen [m^3]

Indsætte antallet af personer i formel C.15 fås følgende:

$$q_v = 7 \frac{1}{s \cdot \text{person}} \cdot 24 \cdot 3,6 \sim 604,8 \quad (\text{C.16})$$

Divideres volumenstrømmen bestemt af ligning C.16 med rumvolumen fås luftskiftet.

$$n = \frac{604,8}{151,2 \text{ m}^3} = 4,0 \text{ h}^{-1} \quad (\text{C.17})$$

I forhold til personbelastningen og anbefalede lufttilførsel fås et luftskiftet på 4 gange i timen eller svarende til en volumenstrøm på $604,8 \text{ m}^3/\text{h}$.

Øvrige krav I dette afsnit bestemmes volumenstrømmen for rum, hvor Bygherre eller BR18 har et specifikt krav til volumenstrøm eller luftskift.

I dette projekt har bygherre følgende krav:

Rum	Luftskifte	Styring
Undervisningslokaler	Min. 4/h	VAV
Samlingssal	Min. 2/h	VAV
Toiletter	10 l/sek. pr. toilet	PIR
Fællesarealer / Gruppearbejde	Min. 2 l/sek. pr m^2	VAV
Depot	1/h	CAV
Rengøringsrum	10 l/sek.	CAV

Tabel C.1. Bygherrekrav - Lokale, luftskifte og styring.

For undervisningslokaler og samlingssalen opfyldes kravene i tabel C.1, når dimensioneringen baseres på CO₂. Ligning C.11 resulterer i et beregnet luftskifte på $5,4 \text{ h}^{-1}$ for undervisningslokalerne og en tilsvarende beregning resulterer i et luftskifte på $6,53 \text{ h}^{-1}$ for samlingssalen. Fællesarealerne på 2. sal skal opfylde bygherrens ønske om minimum 2 l/sek. per m^2 , hvilket svarer til en luftmængde på $323 \text{ m}^3/\text{h}$ for det nordlige fællesareal. For toiletter uden bruser skal der minimum udsuges med 10 l/s, hvilket giver en luftmængde på $36 \text{ m}^3/\text{h}$. I depotrummet afhænger luftmængden af rummets volumen; bygherren ønsker et luftskifte på 1 gang i timen, således at et depotrum med en volumen på 70 m^3 resulterer i en volumenstrøm på $70 \text{ m}^3/\text{h}$. I rengøringsrum kræver bygherren 10 l/s, hvilket giver en tilsvarende luftmængde på $36 \text{ m}^3/\text{h}$, ligesom det er tilfældet på toiletterne.

Resultater for beregning af luftmængder i alle rum er vist i tabel C.2. Den største og dermed den dimensionsgivende værdi er taget med i hovedrapporten og kan ses af tabel 2.2.

Rum	Gulvareal	Basisvent 1	Basisvent 2	CO2	Person	BH krav	BR18
Samlingssal	363,55	5767,10	10080	13593,60	10080	4154,83	-
Depot	77,75	155,51	-	-	-	121,72	-
V. Toilet 1	1,92	3,83	-	-	-	36	36
V. Toilet 2	1,92	3,83	-	-	-	36	36
V. Toilet 3	1,92	3,83	-	-	-	36	36
V. Forum	7,17	14,34	-	-	-	108	108
H. Toilet 1	1,92	3,83	-	-	-	36	36
H. Toilet 2	1,92	3,83	-	-	-	36	36
H. Toilet 3	1,92	3,83	-	-	-	36	36
H. Forum	7,17	14,34	-	-	-	108	108
Teknik	55,88	111,76	-	-	-	124,18	-
EL	5,72	11,44	-	-	-	12,71	40,86
HC Toilet	4,70	9,58	-	-	-	36	36
Skakt / Depot	2,65	5,29	-	-	-	5,88	-
Rengøring	3,47	6,93	-	-	-	36	-
Depot	25,64	51,28	-	-	-	67,2	-
Mødelokale	35,99	223,17	302,4	407,80	302,4	-	-
Skakt / Depot	2,65	5,30	-	-	-	5,88	-
Depot	3,528	7,056	-	-	-	7,84	-
Fællesareal S	123,57	247,13	-	-	-	706,1	-
Grupperum	7,40	65,1924	100,8	135,94	100,8	-	-
HC Toilet	5,00	10,0044	-	-	-	36	36
6. klasse	69,22	440,82	604,8	815,61	604,8	615,21	501,21
8. klasse	67,65	437,70	604,8	815,61	604,8	601,32	499,64
7. klasse	67,74	437,87	604,8	815,61	604,8	602,11	499,73
8. klasse	67,65	437,70	604,8	815,61	604,8	601,32	499,64
7. klasse	67,43	437,27	604,8	815,61	604,8	599,42	499,43
Fællesareal N	56,637	113,274	-	-	-	323,64	-
Skakt/depot	2,646	5,292	-	-	-	5,88	-
Depot	31,5	63	-	-	-	70	-
9. klasse	69,31	441,03	604,80	815,62	604,80	616,11	501,31
AV / Bøger	70,71	141,42	-	-	-	628,54	505,08
9. klasse	69,85	442,11	604,81	815,61	604,81	620,93	501,85
WC 1	1,60	3,20	-	-	-	36	36
WC 2	1,60	3,20	-	-	-	36	36
Forrum - Toilet	6,41	12,83	-	-	-	72	72
Forrum	6,89	13,78	-	-	-	39,38	-
Depot	4,70	9,40	-	-	-	10,44	-
Skakt/depot	2,65	5,22	-	-	-	5,88	-

Tabel C.2. Volumenstrømme for alle rum.

C.2 Tryktabsberegning

I dette afsnit gennemgås et eksempel på beregning af tryk i de enkelte rørstrækninger.

Tryktabet beregnes for to forhold: friktion i lige rør og gennem enkeltmodstande, hvilket resulterer i særskilte tryktab. I skitseprojektet er fokuset kun på tryktabet i lige kanaler, hvorfor enkelttab ikke medtages i beregningerne. Det samlede tryktab kan beregnes ved hjælp af en formel C.18.

$$\Delta p = \Delta p_l + \Delta p_e = R \cdot L + \sum \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (\text{C.18})$$

Hvor:

Δp_l	Friktionstab [Pa]
Δp_e	Enkelttab [Pa]
R	Tryktabsgradient [Pa/m]
L	Længde [m]
ζ	Modstandskoefficient [-]
ρ	Massefylde [kg/m ³]
v	Hastighed [m/s]

Da der ikke kigges på enkeltmodstande udgår det sidste led i ligning C.18. Derfor fås ligning C.19, hvor kun tryktabsgradienten og længden af kanalstykket indgår :

$$\Delta p_l = R \cdot L \quad (\text{C.19})$$

Tryktabsgradienten er fastlagt ud fra et nomogram for luft ved 25°C og kanaler lavet af galvaniseret jernplade. Dette nomogram kan findes bagerst i [Stampe \(2000\)](#). En simpel måde at bestemme både hastighed og tryktabsgradient er ved, at anvende Øland's ventilations drejeskive. [Øland \(2023\)](#). Længde af kanalstykket er indtil der er et skifte i volumenstrømmen.

For både indblæsningskanalsystemet og udsugningskanalsystemet er der for alle tre løsningsforslag beregnet det totale tryktab. De totale værdier kan ses i tabel C.3.

Tryktab [Pa]			
Løsningsforslag	1	2	3
Indblæsning	51,28	54,41	57,42
Udsugning	74,77	72,10	73,50
Total	126,05	126,51	130,93

Tabel C.3. Oversigt over det totale tryktab i indblæsnings- og udsugningskanaler i de tre løsningsforslag.

Et uddrag fra tryktabsberegningen i indblæsningskanalsystemet i løsningsforslag 1 er vist af tabel C.4. Øvrig beregninger findes i et excelark, som kan fremsendes hvis nødvendigt.

Tryktabsberegning							
Hvor	Strækning	Luftmængde [m ³ /h]	Rør dim. [mm]	Hastighed [m/s]	Rør tab [Pa/m]	Længde [m]	Tryktab [Pa]
3. sal							
Gren mod vest							
9. klasse	Indblæs	500	250	2,83	0,44	4,98	2,21
9. klasse	Indblæs	500	250	2,83	0,44	1,50	0,67
9. klasse	fordeling	1000	400	2,21	0,16	3,63	0,57
AV / Bøger	Indblæs	325	250	1,84	0,20	1,50	0,30
AV / Bøger	fordeling	1325	400	2,93	0,26	3,26	0,86
AV / Bøger	Indblæs	325	250	1,84	0,20	1,5	0,30
AV / Bøger	fordeling	1650	400	3,65	0,40	3,66	1,45
9. klasse	Indblæs	500	250	2,83	0,44	1,50	0,67
9. klasse	fordeling	2150	500	3,04	0,22	3,54	0,76
9. klasse	Indblæs	500	250	2,83	0,44	1,50	0,67
9. klasse	fordeling	2650	500	3,75	0,32	11,85	3,77
Gren mod øst							
Forrum	Indblæs	40	100	1,41	0,41	2,88	1,17
Forrum WC	Indblæs	72	125	1,63	0,39	1,1	0,43
Ind i skakt	fordeling	112	160	1,55	0,26	2,24	0,59
2. sal							
Gren mod vest							
Fællesareal	Indblæs	750	315	2,67	0,30	3,27	0,98
6. klasse	Indblæs	500	250	2,83	0,44	1,50	0,67
6. klasse	fordeling	1250	400	2,76	0,24	3,21	0,76
6. klasse	Indblæs	500	250	2,83	0,44	1,5	0,67
6. klasse	fordeling	1750	400	3,87	0,44	4,57	2,02
7. klasse	Indblæs	500	250	2,83	0,44	1,50	0,67
7. klasse	fordeling	2250	500	3,18	0,23	3,19	0,75
7. klasse	Indblæs	500	250	2,83	0,44	1,50	0,67
7. klasse	fordeling	2750	500	3,89	0,34	2,83	0,96
7. klasse	Indblæs	500	250	2,83	0,44	1,50	0,67
7. klasse	fordeling	3250	500	4,60	0,47	3,19	1,48
7. klasse	Indblæs	500	250	2,83	0,44	1,50	0,67
7. klasse	fordeling	3750	630	3,34	0,19	9,43	1,82
Gren mod øst							
Grupperum	Indblæs	150	160	2,07	0,44	2,62	1,16
8. klasse	Indblæs	500	250	2,83	0,44	1,50	0,67
8. klasse	fordeling	650	315	2,32	0,23	2,82	0,65
8. klasse	Indblæs	500	250	2,83	0,44	1,5	0,67
8. klasse	fordeling	1150	400	2,54	0,20	4,6	0,94
8. klasse	Indblæs	500	250	2,83	0,44	1,50	0,67
8. klasse	fordeling	1650	400	3,65	0,40	3,17	1,26
8. klasse	Indblæs	500	250	2,83	0,44	1,50	0,67
8. klasse	fordeling	2150	500	3,04	0,22	3,19	0,69
Fællesareal	Indblæs	350	250	1,98	0,23	4,6	1,07
Fællesareal	fordeling	2500	500	3,54	0,29	11,74	3,35
...	...	...	...	...	...	...	...
Total						159,08	51,28

Tabel C.4. Tryktabsberegning for indblæsningskanaler på 3.sal i løsningsforslag 1.

C.3 Kastelængde

For at vælge et passende armatur til at tilføre luft i rummene er det nødvendigt, at bruge de specifikke ventilationsmængder og fastlægge kastelængderne. Kastelængder, betegnes som $l_{0,2}$, er bestemt ud fra en metode baseret på nedre og øvre værdier, som både sikrer tilstrækkelig blanding af luften i det enkelte rum og forhindrer risikoen for træk. Kastelængder bestemmes ud fra formel C.20 og C.21. (Stampe 2000)

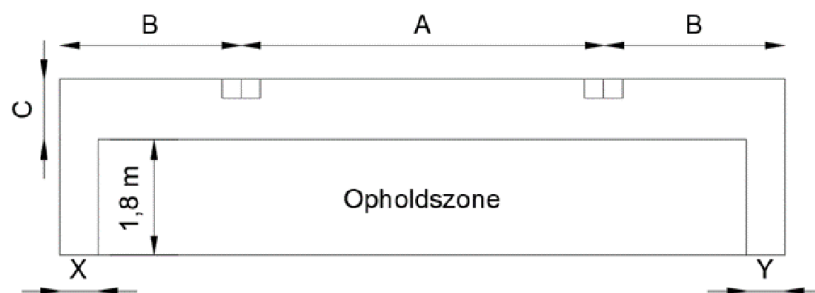
I tilfælde af et rum med kun et armatur, hvor luftstrålerne rammer en væg, er formel C.20 gældende:

$$0,75 \cdot (B + C) \text{ helst } \leq l_{0,2} \text{ altid } \leq B + C \quad (\text{C.20})$$

I tilfælde af et rum med to eller flere armaturer, hvor luftstrålerne er rettet mod hinanden, er formel C.21 gældende:

$$0,75 \cdot \left(\frac{A}{2} + C \right) \text{ helst } \leq l_{0,2} \text{ altid } \leq \frac{A}{2} + C \quad (\text{C.21})$$

Beregningerne baserer sig på en opdeling af rummet, som er tydeligt illustreret på figur C.1.



Figur C.1. Relevante størrelser anvendt til at fastlægge kastelængder. Stampe (2000)

Beregning af kastelængde for armaturer

I dette afsnit beregnes kastelængden for et passende armatur til et af klasseværelserne.

Klasseværelset har følgende dimensioneringsparametre:

- Bredde = 7,76 m
- Længde = 7,18 m
- Højde = 2,8 m

Ud fra dataene for rummet kan kastelængderne fastlægges. Eftersom der i afsnit 2.2 blev fastlagt en dimensionsgivende volumenstrøm på $1000 \text{ m}^3/\text{h}$, vil brugen af kun én armatur være utilstrækkelig for at undgå trækgener, da et armatur vil medføre en høj indblæsningshastighed. Derfor fordeles luftmængden over to armaturer, hvilket betyder, at formel C.21 gælder for klasseværelset.

Først bestemmes A, B og C for rummet på langs og på tværs:

På langs:

- A = 3,59 m
- B = 1,795 m
- C = 1 m

På tværs:

- A = 3,88 m
- B = 1,94 m
- C = 1 m

Indsættes værdierne i formelen fås:

$$0,75 \cdot \left(\frac{3,59}{2} + 1 \right) \leq l_{0,2} \leq \frac{3,59}{2} + 1 \quad (\text{C.22})$$

$$0,75 \cdot \left(\frac{3,88}{2} + 1 \right) \leq l_{0,2} \leq \frac{3,88}{2} + 1 \quad (\text{C.23})$$

$$2,10 \text{ helst} \leq l_{0,2} \text{ altid} \leq 2,80 \quad (\text{C.24})$$

$$2,21 \text{ helst} \leq l_{0,2} \text{ altid} \leq 2,94 \quad (\text{C.25})$$

Kastelængden bestemmes ved at vælge den største af de minimale værdier og den mindste af de maksimale værdier, enten i længderetningen eller på tværs af rummet.

Derfor vil en kastelængde for armaturene til dette klasseværelse være lig:

$$2,21 \text{ helst} \leq l_{0,2} \text{ altid} \leq 2,80 \quad (\text{C.26})$$

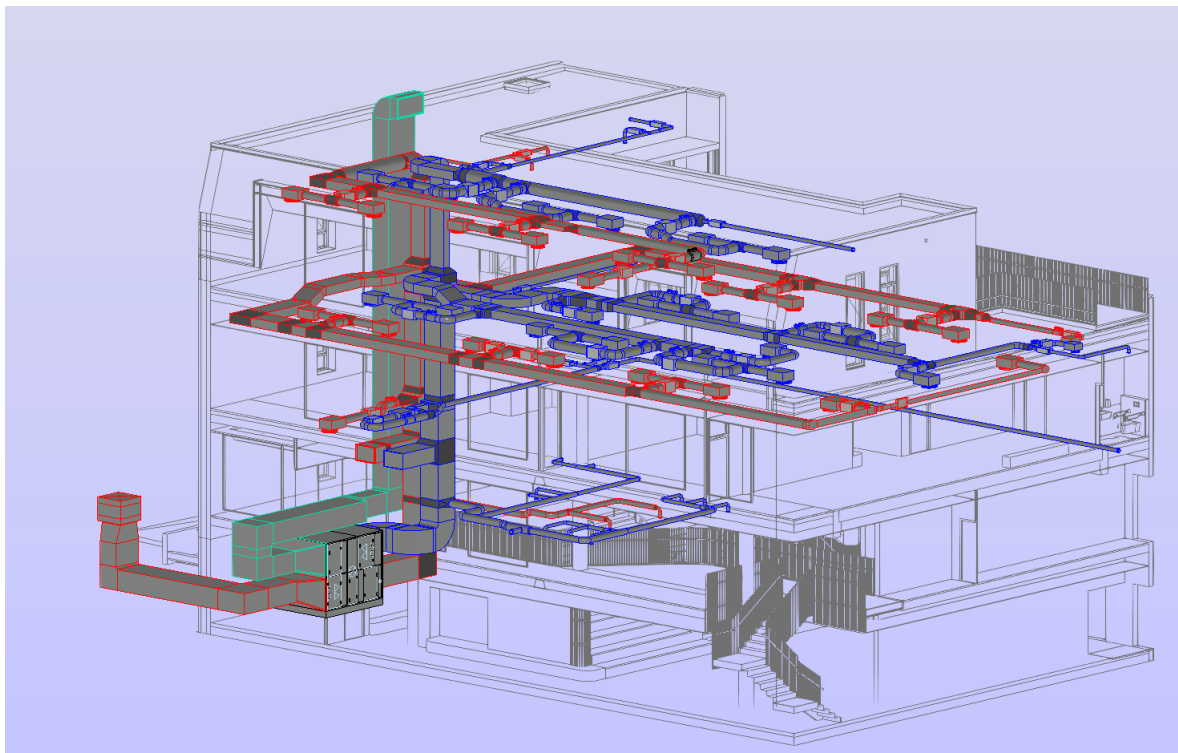
I tabel C.5 kan kastelængderne for øvrige rum, hvor opblanding i opholdszonen er nødvendigt, ses. Til lokaler, hvor der sker indblæsning med uden længerevarende ophold, vil det tilstræbes at indblæsningshastigheden holdes under 0,2 m/s. Der regnes ikke kastelængde for udsugningsarmaturer.

Rum	Nedre	Øvre
Mødelokale, 1. sal	1,9	2,4
Fællesareal S, 2. sal	1,6	2,0
Grupperum	1,3	1,7
6. klasse	2,2	2,8
8. klasse	2,2	2,8
7. klasse	2,2	2,8
8. klasse	2,2	2,8
7. klasse	2,2	2,8
Fællesareal N	2,6	2,0
9. klasse, 3 sal	2,2	2,8
AV / Bøger	2,2	2,8
9. klasse	2,2	2,8

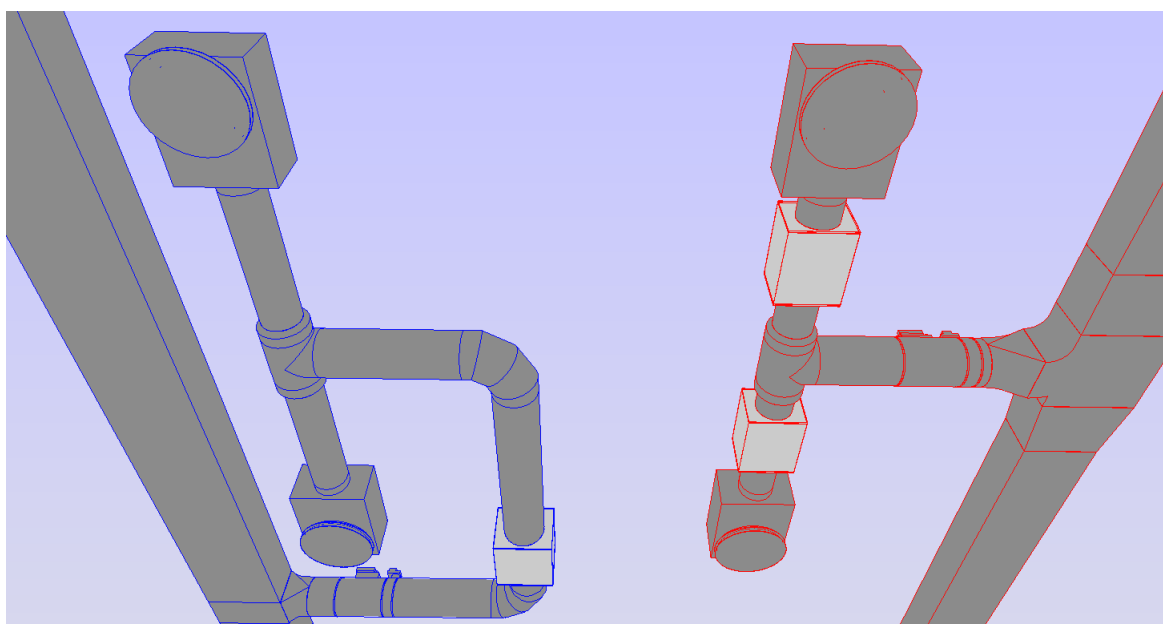
Tabel C.5. Nedre og øvre værdier for kastelængde.

3D-model D

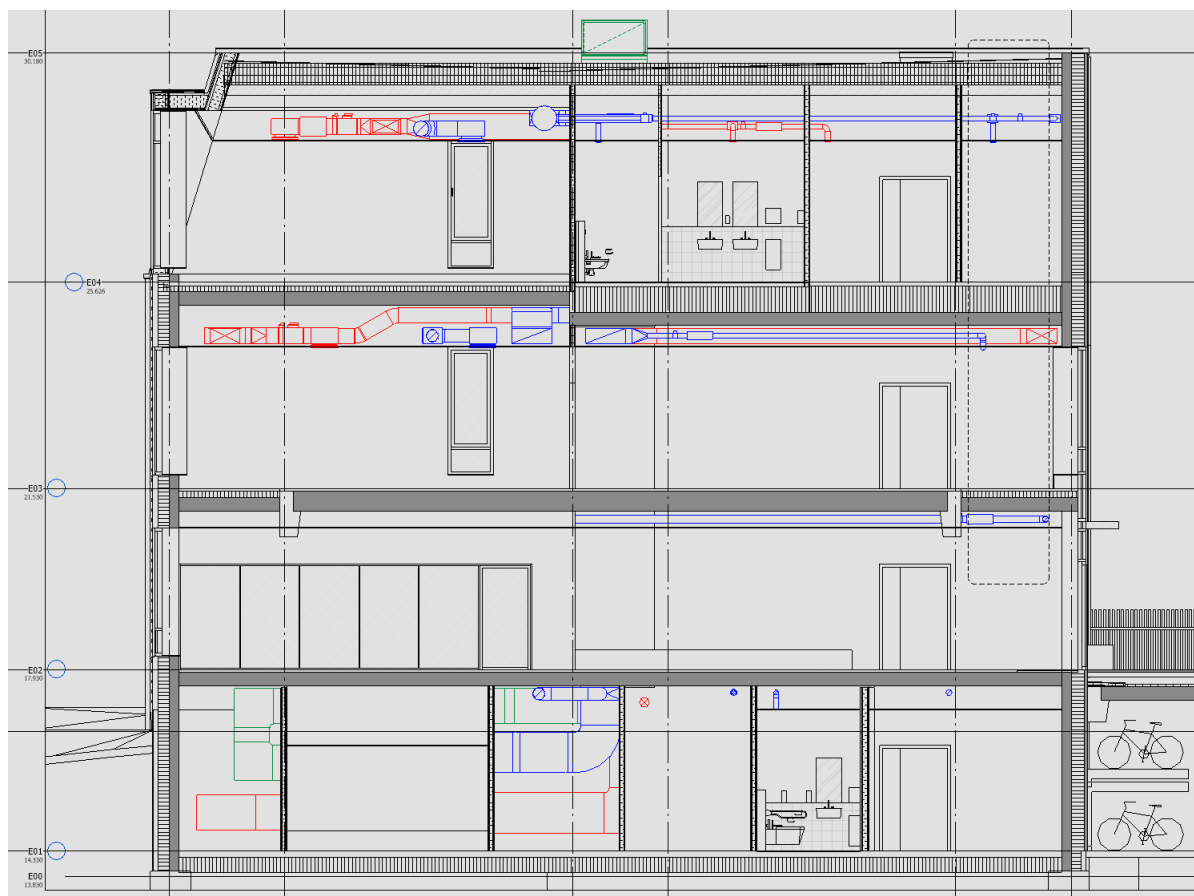
Herunder findes forskellige figurer, der viser 3D-modellen af ventilationssystemet.



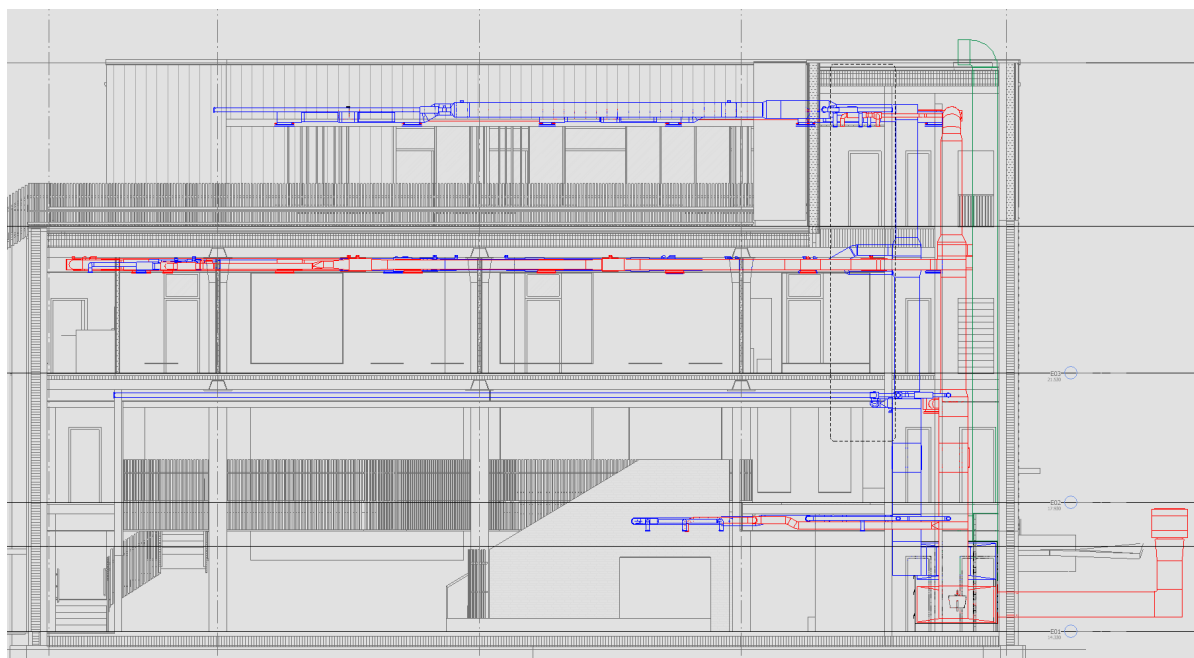
Figur D.1. 3D illustration af hele ventilationssystemet, tegnet i Revit.



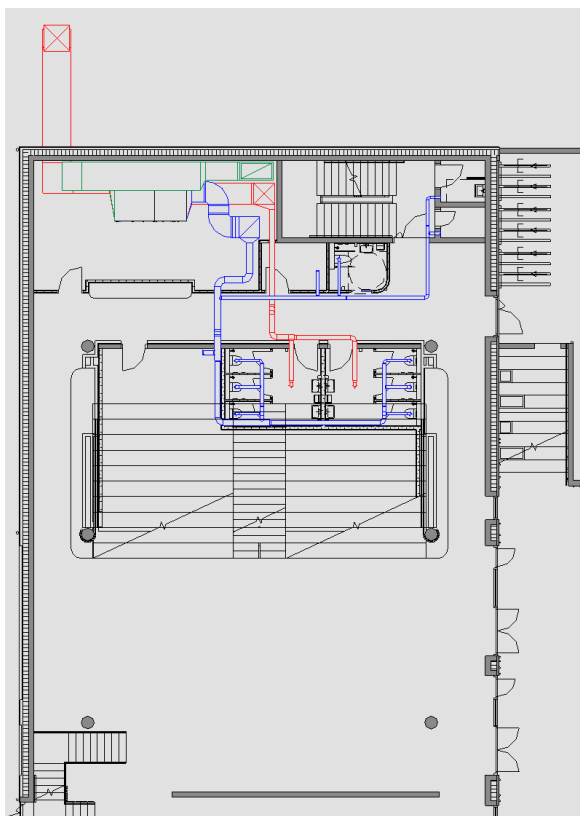
Figur D.2. 3D illustration af ventilationssystemet i et klasseværelse.



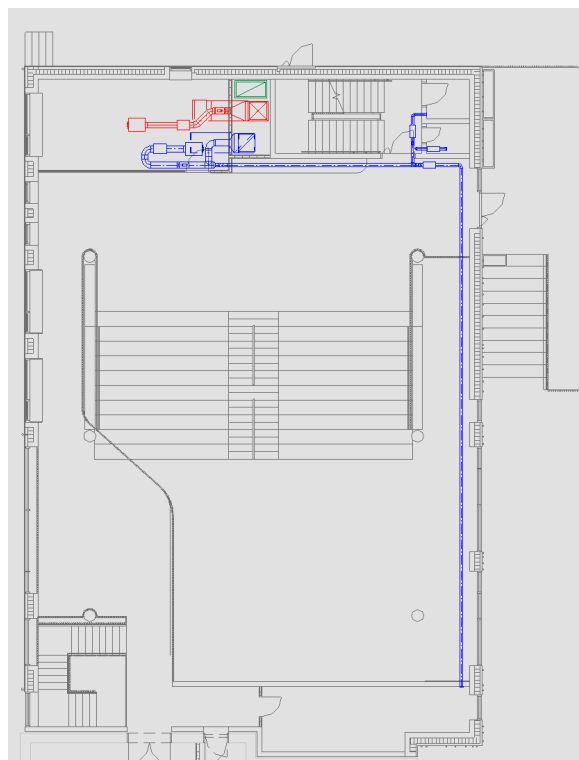
Figur D.3. Sektions view af ventilationssystemet.



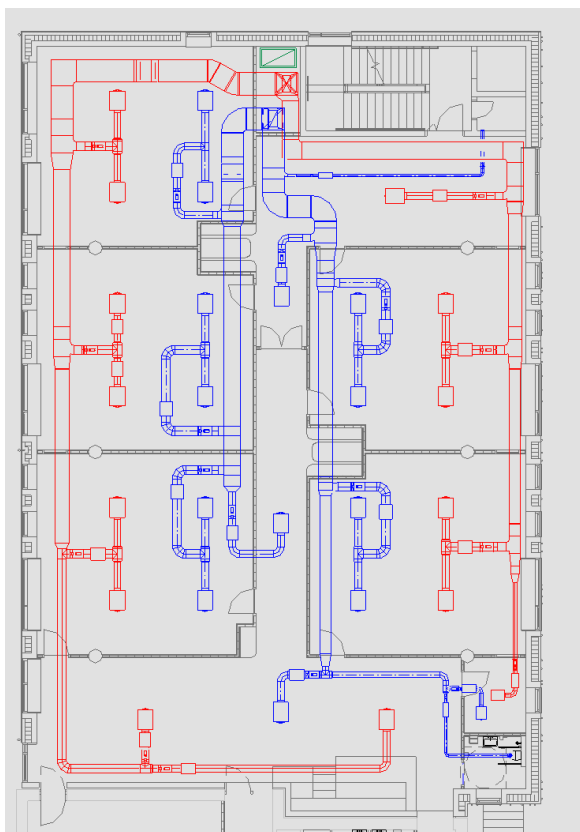
Figur D.4. Sektions view af ventilationssystemet.



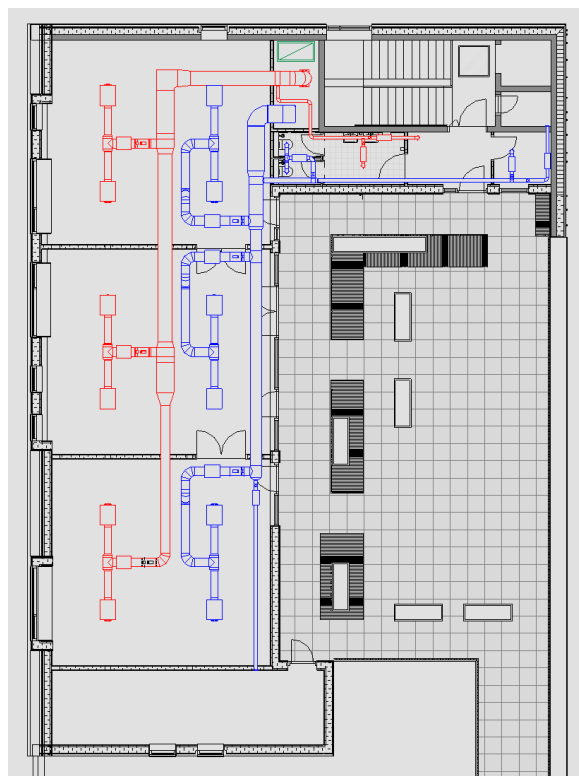
Figur D.5. Plantegning af det modellerede ventilationssystem i stueplan.



Figur D.6. Plantegning af det modellerede ventilationssystem på 1. sal.



Figur D.7. Plantegning af det modellerede ventilationssystem på 2. sal.



Figur D.8. Plantegning af det modellerede ventilationssystem på 3. sal.

Diverse: Tryktabsrapport fra MagiCAD,

Isoleringstykkelser E

I de følgende sider vil følgende være vist:

- Tryktabsrapport fra MagiCAD
- Dimensioneringsrapport fra SystemairCAD
- Udskrift fra Rocktec - isoleringstykkelse Indtag
- Udskrift fra Rocktec - isoleringstykkelse Afkast

Duct Pressure Loss Report

Project Name	C. la Cour Skole, Tilbygning
Project Issue Date	11.01.2024
Project Status	Afgangsprojekt - MIM
Client Name	
Project Address	
Project Number	7444
Organization Name	
Organization Description	
Building Name	
Author	
IfcSite GUID	
IfcBuilding GUID	
IfcProject GUID	
CQDuctCenterLineOn	
CQUpdateDoorTypeCount	
CQUpdateDoorSwingCount	
CQEmptyDepartmentCode	
CQMarkGridSettingsW	
CQUpdateSwingDirW	
CQUpdateMarkW	
CQUpdateWindowTypeCount	
CQUpdateWindowSwingCount	
CQUpdateToRoomFromRoomW	
CQEmptyDepartmentCodeW	
CQPileNumberConfig	
magiParamsCreated	2024.0
IfcDescription	
Basis_ Adresse	
Basis_ E-mail	
Basis_ Tlf	
Basis_ WWW	
CQSheetManagerSettings	1 BK_Skala BK_Halvskala
Foreløbig dato	
MC Version Saved	2024.0
MC Dataset	C:\ProgramData\MagiCAD-RS\2024_r2023\Datasets\DEN\DEN-MCREV-2024_b_r2023.mrv
MC Version Created	
MC Company Logo	
Run Time	20-12-2023 10:38:21

Mechanical Exhaust Air

System Information	
System Classification	Exhaust Air
System Type	Exhaust Air
System Name	Mechanical Exhaust Air
Abbreviation	

Total Pressure Loss Calculations by Sections										
Section	Element	Flow	Size	Velocity	Velocity Pressure	Length	Loss Coefficient	Friction	Total Pressure Loss	Section Pressure Loss
1	Fittings	14000 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
	Equipment	14000 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
2	Duct	14000 m³/h	1000 x 600	6,5 m/s	-	5993	-	0,54 Pa/m	3,3 Pa	65,9 Pa
	Fittings	14000 m³/h	-	6,5 m/s	25,3 Pa	-	2,48	-	62,6 Pa	
3	Duct	14000 m³/h	600 x 600	10,8 m/s	-	1255	-	1,88 Pa/m	2,4 Pa	61,3 Pa
	Fittings	14000 m³/h	-	10,8 m/s	70,2 Pa	-	0,84	-	58,9 Pa	
4	Duct	14000 m³/h	1200 x 600	5,4 m/s	-	12745	-	0,36 Pa/m	4,5 Pa	23,2 Pa
	Fittings	14000 m³/h	-	5,4 m/s	17,5 Pa	-	1,066667	-	18,7 Pa	
	Air Terminal	14000 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
Critical Path : 1-2-3-4 ; Total Pressure Loss : 150,4 Pa										

Detail Information of Straight Segment by Sections									
Section	Element ID	Flow	Size	Velocity	Velocity Pressure	Length	Pressure Loss	Total Pressure Loss	
2	5752592	14000 m³/h	1000 x 600	6,5 m/s	25,3 Pa	1107	0,6 Pa	3,3 Pa	
	5752697	14000 m³/h	1000 x 600	6,5 m/s	25,3 Pa	291	0,2 Pa		
	5752717	14000 m³/h	1000 x 600	6,5 m/s	25,3 Pa	4595	2,5 Pa		
3	5753338	14000 m³/h	600 x 600	10,8 m/s	70,2 Pa	1255	2,4 Pa	2,4 Pa	
4	5753331	14000 m³/h	1200 x 600	5,4 m/s	17,5 Pa	12424	4,4 Pa	4,5 Pa	
	5755987	14000 m³/h	1200 x 600	5,4 m/s	17,5 Pa	321	0,1 Pa		

Mechanical Return Air

System Information	
System Classification	Return Air
System Type	Return Air
System Name	Mechanical Return Air
Abbreviation	

Total Pressure Loss Calculations by Sections										
Section	Element	Flow	Size	Velocity	Velocity Pressure	Length	Loss Coefficient	Friction	Total Pressure Loss	Section Pressure Loss
1	Duct	36 m³/h	100	1,3 m/s	-	1540	-	0,33 Pa/m	0,5 Pa	-97477,6 Pa
	Fittings	36 m³/h	-	1,3 m/s	1,0 Pa	-	-99999	-	-97478,1 Pa	
	Air Terminal	36 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
2	Duct	112 m³/h	160	1,5 m/s	-	840	-	0,26 Pa/m	0,2 Pa	0,2 Pa
	Fittings	112 m³/h	-	1,5 m/s	1,4 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
3	Duct	152 m³/h	160	2,1 m/s	-	3724	-	0,45 Pa/m	1,7 Pa	1,7 Pa
	Fittings	152 m³/h	-	2,1 m/s	2,7 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
4	Duct	528 m³/h	250	3,0 m/s	-	2370	-	0,49 Pa/m	1,2 Pa	-1073592,4 Pa
	Fittings	528 m³/h	-	3,0 m/s	5,4 Pa	-	-199998	-	-1073593,5 Pa	
5	Fittings	528 m³/h	-	0,0 m/s	0,3 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
6	Duct	14120 m³/h	800 x 800	6,1 m/s	-	1355	-	0,45 Pa/m	0,6 Pa	78,5 Pa
	Fittings	14120 m³/h	-	6,1 m/s	22,6 Pa	-	3,45	-	77,9 Pa	
7	Fittings	14120 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
	Equipment	14120 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
8	Duct	40 m³/h	100	1,4 m/s	-	944	-	0,40 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	40 m³/h	-	1,4 m/s	1,2 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	40 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
9	Duct	40 m³/h	100	1,4 m/s	-	411	-	0,40 Pa/m	0,2 Pa	0,2 Pa
	Fittings	40 m³/h	-	1,4 m/s	1,2 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	40 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
10	Duct	76 m³/h	125	1,7 m/s	-	5387	-	0,43 Pa/m	2,3 Pa	-177944,1 Pa
	Fittings	76 m³/h	-	1,7 m/s	1,8 Pa	-	-99999	-	-177946,4 Pa	
11	Duct	76 m³/h	160	1,0 m/s	-	270	-	0,13 Pa/m	0,0 Pa	0,0 Pa
	Fittings	76 m³/h	-	1,0 m/s	0,7 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
12	Duct	36 m³/h	100	1,3 m/s	-	1393	-	0,33 Pa/m	0,5 Pa	-97477,6 Pa
	Fittings	36 m³/h	-	1,3 m/s	1,0 Pa	-	-99999	-	-97478,1 Pa	
	Air Terminal	36 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
13	Duct	36 m³/h	125	0,8 m/s	-	270	-	0,11 Pa/m	0,0 Pa	0,0 Pa
	Fittings	36 m³/h	-	0,8 m/s	0,4 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
14	Duct	36 m³/h	100	1,3 m/s	-	951	-	0,33 Pa/m	0,3 Pa	-194955,9 Pa
	Fittings	36 m³/h	-	1,3 m/s	1,0 Pa	-	-199998	-	-194956,2 Pa	
	Air Terminal	36 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
15	Duct	36 m³/h	125	0,8 m/s	-	903	-	0,11 Pa/m	0,1 Pa	0,1 Pa
	Fittings	36 m³/h	-	0,8 m/s	0,4 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
16	Duct	72 m³/h	125	1,6 m/s	-	725	-	0,39 Pa/m	0,3 Pa	0,3 Pa
	Fittings	72 m³/h	-	1,6 m/s	1,6 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
17	Duct	72 m³/h	160	1,0 m/s	-	205	-	0,12 Pa/m	0,0 Pa	0,0 Pa
	Fittings	72 m³/h	-	1,0 m/s	0,6 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
18	Duct	108 m³/h	160	1,5 m/s	-	4368	-	0,24 Pa/m	1,1 Pa	-133864,7 Pa
	Fittings	108 m³/h	-	1,5 m/s	1,3 Pa	-	-99999	-	-133865,8 Pa	
19	Duct	108 m³/h	200	1,0 m/s	-	309	-	0,08 Pa/m	0,0 Pa	0,0 Pa
	Fittings	108 m³/h	-	1,0 m/s	0,5 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
20	Duct	216 m³/h	200	1,9 m/s	-	3679	-	0,29 Pa/m	1,1 Pa	-219324,7 Pa
	Fittings	216 m³/h	-	1,9 m/s	2,2 Pa	-	-99999	-	-219325,7 Pa	
21	Duct	216 m³/h	250	1,2 m/s	-	309	-	0,10 Pa/m	0,0 Pa	0,0 Pa
	Fittings	216 m³/h	-	1,2 m/s	0,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
22	Duct	376 m³/h	250	2,1 m/s	-	2002	-	0,26 Pa/m	0,5 Pa	0,5 Pa
	Fittings	376 m³/h	-	2,1 m/s	2,7 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
23	Duct	36 m³/h	100	1,3 m/s	-	973	-	0,33 Pa/m	0,3 Pa	-97477,8 Pa
	Fittings	36 m³/h	-	1,3 m/s	1,0 Pa	-	-99999	-	-97478,1 Pa	
	Air Terminal	36 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
24	Duct	36 m³/h	100	1,3 m/s	-	956	-	0,33 Pa/m	0,3 Pa	-97477,8 Pa
	Fittings	36 m³/h	-	1,3 m/s	1,0 Pa	-	-99999	-	-97478,1 Pa	
	Air Terminal	36 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
25	Duct	36 m³/h	100	1,3 m/s	-	951	-	0,33 Pa/m	0,3 Pa	-194955,9 Pa
	Fittings	36 m³/h	-	1,3 m/s	1,0 Pa	-	-199998	-	-194956,2 Pa	
	Air Terminal	36 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
26	Duct	36 m³/h	125	0,8 m/s	-	903	-	0,11 Pa/m	0,1 Pa	0,1 Pa
	Fittings	36 m³/h	-	0,8 m/s	0,4 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
27	Duct	72 m³/h	125	1,6 m/s	-	725	-	0,39 Pa/m	0,3 Pa	0,3 Pa
	Fittings	72 m³/h	-	1,6 m/s	1,6 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
28	Duct	72 m³/h	160	1,0 m/s	-	205	-	0,12 Pa/m	0,0 Pa	0,0 Pa
	Fittings	72 m³/h	-	1,0 m/s	0,6 Pa	-	0	-	0,0 Pa	

29	Duct	108 m³/h	160	1,5 m/s	-	162	-	0,24 Pa/m	0,0 Pa	
	Fittings	108 m³/h	-	1,5 m/s	1,3 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
30	Duct	36 m³/h	100	1,3 m/s	-	973	-	0,33 Pa/m	0,3 Pa	
	Fittings	36 m³/h	-	1,3 m/s	1,0 Pa	-	-99999	-	-97478,1 Pa	-97477,8 Pa
	Air Terminal	36 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
31	Duct	36 m³/h	100	1,3 m/s	-	956	-	0,33 Pa/m	0,3 Pa	
	Fittings	36 m³/h	-	1,3 m/s	1,0 Pa	-	-99999	-	-97478,1 Pa	-97477,8 Pa
	Air Terminal	36 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
32	Duct	160 m³/h	160	2,2 m/s	-	418	-	0,50 Pa/m	0,2 Pa	
	Fittings	160 m³/h	-	2,2 m/s	2,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,2 Pa
	Air Terminal	160 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
33	Duct	10 m³/h	100	0,4 m/s	-	694	-	0,04 Pa/m	0,0 Pa	
	Fittings	10 m³/h	-	0,4 m/s	0,1 Pa	-	0,43	-	0,0 Pa	0,1 Pa
	Air Terminal	10 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
34	Duct	20 m³/h	100	0,7 m/s	-	565	-	0,12 Pa/m	0,1 Pa	
	Fittings	20 m³/h	-	0,7 m/s	0,3 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,1 Pa
35	Duct	95 m³/h	160	1,3 m/s	-	7794	-	0,19 Pa/m	1,5 Pa	
	Fittings	95 m³/h	-	1,3 m/s	1,0 Pa	-	-199998	-	-207156,9 Pa	-207155,4 Pa
36	Fittings	95 m³/h	-	0,0 m/s	0,2 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
37	Fittings	545 m³/h	-	0,0 m/s	5,7 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
38	Duct	545 m³/h	250 x 250	2,4 m/s	-	844	-	0,33 Pa/m	0,3 Pa	
	Fittings	545 m³/h	-	2,4 m/s	3,5 Pa	-	1,15	-	4,1 Pa	4,3 Pa
39	Fittings	545 m³/h	-	0,0 m/s	0,3 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
40	Duct	9148 m³/h	800 x 800	4,0 m/s	-	965	-	0,20 Pa/m	0,2 Pa	
	Fittings	9148 m³/h	-	4,0 m/s	9,5 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,2 Pa
41	Duct	13592 m³/h	800 x 800	5,9 m/s	-	1196	-	0,42 Pa/m	0,5 Pa	
	Fittings	13592 m³/h	-	5,9 m/s	20,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,5 Pa
42	Duct	10 m³/h	100	0,4 m/s	-	1159	-	0,04 Pa/m	0,0 Pa	
	Fittings	10 m³/h	-	0,4 m/s	0,1 Pa	-	-99998,57	-	-7521,4 Pa	-7521,4 Pa
	Air Terminal	10 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
43	Duct	75 m³/h	125	1,7 m/s	-	22213	-	0,42 Pa/m	9,3 Pa	
	Fittings	75 m³/h	-	1,7 m/s	1,7 Pa	-	-99998,57	-	-173293,7 Pa	-173284,3 Pa
	Air Terminal	75 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
44	Fittings	75 m³/h	-	0,0 m/s	0,6 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
45	Duct	450 m³/h	250	2,5 m/s	-	2700	-	0,37 Pa/m	1,0 Pa	
	Fittings	450 m³/h	-	2,5 m/s	3,9 Pa	-	-199997,57	-	-779823,2 Pa	-779822,2 Pa
	Air Terminal	450 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
46	Duct	36 m³/h	100	1,3 m/s	-	3717	-	0,33 Pa/m	1,2 Pa	
	Fittings	36 m³/h	-	1,3 m/s	1,0 Pa	-	-199997,57	-	-194955,8 Pa	-194954,6 Pa
	Air Terminal	36 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
47	Fittings	36 m³/h	-	0,0 m/s	0,1 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
48	Duct	176 m³/h	200	1,6 m/s	-	4048	-	0,20 Pa/m	0,8 Pa	
	Fittings	176 m³/h	-	1,6 m/s	1,5 Pa	-	-99999	-	-145615,5 Pa	-145614,6 Pa
49	Fittings	176 m³/h	-	0,0 m/s	0,6 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
50	Duct	551 m³/h	250	3,1 m/s	-	141	-	0,53 Pa/m	0,1 Pa	
	Fittings	551 m³/h	-	3,1 m/s	5,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,1 Pa
51	Duct	551 m³/h	400 x 250	1,5 m/s	-	5652	-	0,11 Pa/m	0,6 Pa	
	Fittings	551 m³/h	-	1,5 m/s	1,4 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,6 Pa
52	Fittings	551 m³/h	-	0,0 m/s	0,6 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
53	Fittings	1551 m³/h	-	0,0 m/s	4,5 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
54	Duct	1551 m³/h	500 x 250	3,4 m/s	-	6623	-	0,45 Pa/m	3,0 Pa	
	Fittings	1551 m³/h	-	3,4 m/s	7,1 Pa	-	0	-	0,0 Pa	3,0 Pa
55	Fittings	1551 m³/h	-	0,0 m/s	3,1 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
56	Fittings	2551 m³/h	-	0,0 m/s	8,5 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
57	Duct	2551 m³/h	600 x 300	3,9 m/s	-	465	-	0,46 Pa/m	0,2 Pa	
	Fittings	2551 m³/h	-	3,9 m/s	9,3 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,2 Pa
58	Fittings	2551 m³/h	-	0,0 m/s	5,2 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
59	Duct	2901 m³/h	800 x 300	3,4 m/s	-	1517	-	0,31 Pa/m	0,5 Pa	
	Fittings	2901 m³/h	-	3,4 m/s	6,8 Pa	-	2,48	-	16,8 Pa	17,3 Pa
60	Duct	2911 m³/h	800 x 300	3,4 m/s	-	1358	-	0,31 Pa/m	0,4 Pa	
	Fittings	2911 m³/h	-	3,4 m/s	6,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,4 Pa
61	Fittings	8603 m³/h	-	0,0 m/s	8,4 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
62	Duct	8603 m³/h	700 x 700	4,9 m/s	-	3187	-	0,35 Pa/m	1,1 Pa	
	Fittings	8603 m³/h	-	4,9 m/s	14,3 Pa	-	0	-	0,0 Pa	1,1 Pa
63	Fittings	8603 m³/h	-	0,0 m/s	14,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
64	Duct	140 m³/h	160	1,9 m/s	-	528	-	0,39 Pa/m	0,2 Pa	
	Fittings	140 m³/h	-	1,9 m/s	2,2 Pa	-	-99998,57	-	-224945,0 Pa	-224944,8 Pa
	Air Terminal	140 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
65	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	945	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,4 Pa
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
66	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
67	Duct	1000 m³/h	315	3,6 m/s	-	3034	-	0,51 Pa/m	1,6 Pa	
	Fittings	1000 m³/h	-	3,6 m/s	7,6 Pa	-	-199997,57	-	-1527878,9 Pa	-1527877,3 Pa
68	Fittings	1000 m³/h	-	0,0 m/s	5,2 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa

69	Duct	1375 m³/h	600 x 300	2,1 m/s	-	1058	-	0,15 Pa/m	0,2 Pa	0,2 Pa
	Fittings	1375 m³/h	-	2,1 m/s	2,7 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
70	Duct	2375 m³/h	600 x 300	3,7 m/s	-	7161	-	0,40 Pa/m	2,9 Pa	2,9 Pa
	Fittings	2375 m³/h	-	3,7 m/s	8,1 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
71	Fittings	2375 m³/h	-	0,0 m/s	4,5 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
72	Duct	2875 m³/h	800 x 300	3,3 m/s	-	3078	-	0,30 Pa/m	0,9 Pa	9,2 Pa
	Fittings	2875 m³/h	-	3,3 m/s	6,7 Pa	-	1,24	-	8,3 Pa	
73	Duct	5692 m³/h	800 x 800	2,5 m/s	-	96	-	0,08 Pa/m	0,0 Pa	0,0 Pa
	Fittings	5692 m³/h	-	2,5 m/s	3,7 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
74	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	945	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
75	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
76	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	945	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
77	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
78	Duct	1000 m³/h	315	3,6 m/s	-	3734	-	0,51 Pa/m	1,9 Pa	-1527877,0 Pa
	Fittings	1000 m³/h	-	3,6 m/s	7,6 Pa	-	-199997,57	-	-1527878,9 Pa	
79	Fittings	1000 m³/h	-	0,0 m/s	5,2 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
80	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	945	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
81	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
82	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	1066	-	0,44 Pa/m	0,5 Pa	12,6 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	2,52	-	12,1 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
83	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	2586	-	0,44 Pa/m	1,1 Pa	-962743,5 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	-199997,57	-	-962744,6 Pa	
84	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	2,1 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
85	Duct	0 m³/h	250	0,0 m/s	-	1066	-	0,00 Pa/m	0,0 Pa	0,0 Pa
	Fittings	0 m³/h	-	0,0 m/s	0,0 Pa	-	2,52	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	0 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
86	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	953	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
87	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
88	Duct	1000 m³/h	315	3,6 m/s	-	2619	-	0,51 Pa/m	1,3 Pa	-1527877,5 Pa
	Fittings	1000 m³/h	-	3,6 m/s	7,6 Pa	-	-199997,57	-	-1527878,9 Pa	
89	Fittings	1000 m³/h	-	0,0 m/s	7,5 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
90	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	953	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
91	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
92	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	953	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
93	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
94	Duct	1000 m³/h	315	3,6 m/s	-	2669	-	0,51 Pa/m	1,4 Pa	-1527877,5 Pa
	Fittings	1000 m³/h	-	3,6 m/s	7,6 Pa	-	-199997,57	-	-1527878,9 Pa	
95	Fittings	1000 m³/h	-	0,0 m/s	7,5 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
96	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	953	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
97	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
98	Duct	10 m³/h	100	0,4 m/s	-	7471	-	0,04 Pa/m	0,3 Pa	-7521,2 Pa
	Fittings	10 m³/h	-	0,4 m/s	0,1 Pa	-	-99998,57	-	-7521,4 Pa	
	Air Terminal	10 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
99	Fittings	10 m³/h	-	0,0 m/s	0,0 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
100	Duct	375 m³/h	250	2,1 m/s	-	872	-	0,26 Pa/m	0,2 Pa	-270771,1 Pa
	Fittings	375 m³/h	-	2,1 m/s	2,7 Pa	-	-99998,57	-	-270771,3 Pa	
	Air Terminal	375 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
101	Duct	375 m³/h	250	2,1 m/s	-	2631	-	0,26 Pa/m	0,7 Pa	-541543,2 Pa
	Fittings	375 m³/h	-	2,1 m/s	2,7 Pa	-	-199997,57	-	-541543,9 Pa	
	Air Terminal	375 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
102	Duct	375 m³/h	600 x 300	0,6 m/s	-	398	-	0,01 Pa/m	0,0 Pa	0,0 Pa
	Fittings	375 m³/h	-	0,6 m/s	0,2 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
103	Duct	350 m³/h	250	2,0 m/s	-	917	-	0,23 Pa/m	0,2 Pa	-235871,7 Pa
	Fittings	350 m³/h	-	2,0 m/s	2,4 Pa	-	-99998,57	-	-235871,9 Pa	
	Air Terminal	350 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
104	Fittings	350 m³/h	-	0,0 m/s	1,0 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
105	Duct	36 m³/h	100	1,3 m/s	-	579	-	0,33 Pa/m	0,2 Pa	-97477,9 Pa
	Fittings	36 m³/h	-	1,3 m/s	1,0 Pa	-	-99999	-	-97478,1 Pa	
	Air Terminal	36 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
106	Fittings	36 m³/h	-	0,0 m/s	0,4 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa

107	Duct	72 m³/h	125	1,6 m/s	-	666	-	0,39 Pa/m	0,3 Pa	-159707,2 Pa
	Fittings	72 m³/h	-	1,6 m/s	1,6 Pa	-	-99998,57	-	-159707,4 Pa	
108	Duct	97 m³/h	160	1,3 m/s	-	1638	-	0,20 Pa/m	0,3 Pa	0,3 Pa
	Fittings	97 m³/h	-	1,3 m/s	1,1 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
109	Fittings	2817 m³/h	-	0,0 m/s	9,5 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
110	Duct	2817 m³/h	300 x 600	4,3 m/s	-	5357	-	0,55 Pa/m	3,0 Pa	29,2 Pa
	Fittings	2817 m³/h	-	4,3 m/s	11,4 Pa	-	2,306667	-	26,2 Pa	
111	Fittings	2817 m³/h	-	0,0 m/s	1,6 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
112	Duct	36 m³/h	100	1,3 m/s	-	579	-	0,33 Pa/m	0,2 Pa	-97477,9 Pa
	Fittings	36 m³/h	-	1,3 m/s	1,0 Pa	-	-99999	-	-97478,1 Pa	
	Air Terminal	36 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
113	Fittings	36 m³/h	-	0,0 m/s	0,4 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
114	Duct	10 m³/h	100	0,4 m/s	-	2256	-	0,04 Pa/m	0,1 Pa	-7521,3 Pa
	Fittings	10 m³/h	-	0,4 m/s	0,1 Pa	-	-99998,57	-	-7521,4 Pa	
	Air Terminal	10 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
115	Duct	25 m³/h	100	0,9 m/s	-	6686	-	0,18 Pa/m	1,2 Pa	1,2 Pa
	Fittings	25 m³/h	-	0,9 m/s	0,5 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
116	Fittings	25 m³/h	-	0,0 m/s	0,1 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
117	Duct	15 m³/h	100	0,5 m/s	-	607	-	0,07 Pa/m	0,0 Pa	-16923,2 Pa
	Fittings	15 m³/h	-	0,5 m/s	0,2 Pa	-	-99998,57	-	-16923,2 Pa	
	Air Terminal	15 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
118	Duct	70 m³/h	125	1,6 m/s	-	5998	-	0,37 Pa/m	2,2 Pa	2,9 Pa
	Fittings	70 m³/h	-	1,6 m/s	1,5 Pa	-	0,43	-	0,6 Pa	
	Air Terminal	70 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
119	Fittings	70 m³/h	-	0,0 m/s	0,0 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
120	Duct	1070 m³/h	400	2,4 m/s	-	7040	-	0,18 Pa/m	1,3 Pa	1,3 Pa
	Fittings	1070 m³/h	-	2,4 m/s	3,4 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
121	Duct	1720 m³/h	400	3,8 m/s	-	732	-	0,43 Pa/m	0,3 Pa	0,3 Pa
	Fittings	1720 m³/h	-	3,8 m/s	8,7 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
122	Fittings	1720 m³/h	-	0,0 m/s	3,6 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
123	Duct	2720 m³/h	500	3,8 m/s	-	1070	-	0,33 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	2720 m³/h	-	3,8 m/s	8,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
124	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	935	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
125	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
126	Duct	1000 m³/h	315	3,6 m/s	-	3669	-	0,51 Pa/m	1,9 Pa	-3055759,1 Pa
	Fittings	1000 m³/h	-	3,6 m/s	7,6 Pa	-	-399995,57	-	-3055761,0 Pa	
127	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	935	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
128	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
129	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	955	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
130	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
131	Duct	1000 m³/h	315	3,6 m/s	-	3147	-	0,51 Pa/m	1,6 Pa	-3055759,4 Pa
	Fittings	1000 m³/h	-	3,6 m/s	7,6 Pa	-	-399995,57	-	-3055761,0 Pa	
132	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	955	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
133	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
134	Duct	325 m³/h	250	1,8 m/s	-	920	-	0,20 Pa/m	0,2 Pa	0,2 Pa
	Fittings	325 m³/h	-	1,8 m/s	2,0 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	325 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
135	Fittings	325 m³/h	-	0,0 m/s	0,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
136	Duct	650 m³/h	315	2,3 m/s	-	3809	-	0,23 Pa/m	0,9 Pa	-1291058,2 Pa
	Fittings	650 m³/h	-	2,3 m/s	3,2 Pa	-	-399995,57	-	-1291059,1 Pa	
137	Duct	325 m³/h	250	1,8 m/s	-	920	-	0,20 Pa/m	0,2 Pa	0,2 Pa
	Fittings	325 m³/h	-	1,8 m/s	2,0 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	325 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
138	Fittings	325 m³/h	-	0,0 m/s	0,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
139	Duct	4444 m³/h	825 x 525	2,9 m/s	-	1563	-	0,14 Pa/m	0,2 Pa	0,2 Pa
	Fittings	4444 m³/h	-	2,9 m/s	4,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	4444 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
140	Fittings	4444 m³/h	-	0,0 m/s	2,2 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa

Mechanical Supply Air										
System Information										
System Classification			Supply Air							
System Type			Supply Air							
System Name			Mechanical Supply Air							
Abbreviation										

Total Pressure Loss Calculations by Sections										
Section	Element	Flow	Size	Velocity	Velocity Pressure	Length	Loss Coefficient	Friction	Total Pressure Loss	Section Pressure Loss
1	Duct	108 m³/h	100	3,8 m/s	-	202	-	2,44 Pa/m	0,5 Pa	-877302,5 Pa
	Fittings	108 m³/h	-	3,8 m/s	8,8 Pa	-	-99999	-	-877303,0 Pa	
	Air Terminal	108 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
2	Duct	108 m³/h	160	1,5 m/s	-	1546	-	0,24 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	108 m³/h	-	1,5 m/s	1,3 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
3	Duct	216 m³/h	200	1,9 m/s	-	5048	-	0,29 Pa/m	1,4 Pa	-657975,8 Pa
	Fittings	216 m³/h	-	1,9 m/s	2,2 Pa	-	-299997	-	-657977,2 Pa	
4	Fittings	216 m³/h	-	0,0 m/s	0,1 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
5	Duct	14000 m³/h	800 x 800	6,1 m/s	-	3895	-	0,44 Pa/m	1,7 Pa	27,3 Pa
	Fittings	14000 m³/h	-	6,1 m/s	22,2 Pa	-	1,15	-	25,5 Pa	
6	Fittings	14000 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
	Equipment	14000 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
7	Duct	108 m³/h	100	3,8 m/s	-	202	-	2,44 Pa/m	0,5 Pa	-877302,5 Pa
	Fittings	108 m³/h	-	3,8 m/s	8,8 Pa	-	-99999	-	-877303,0 Pa	
	Air Terminal	108 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
8	Duct	108 m³/h	160	1,5 m/s	-	3611	-	0,24 Pa/m	0,9 Pa	-133864,9 Pa
	Fittings	108 m³/h	-	1,5 m/s	1,3 Pa	-	-99999	-	-133865,8 Pa	
9	Fittings	108 m³/h	-	0,0 m/s	0,5 Pa	-	-99999	-	-54831,4 Pa	-54831,4 Pa
10	Duct	450 m³/h	250	2,5 m/s	-	2212	-	0,37 Pa/m	0,8 Pa	-779822,4 Pa
	Fittings	450 m³/h	-	2,5 m/s	3,9 Pa	-	-199997,57	-	-779823,2 Pa	
	Air Terminal	450 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
11	Fittings	450 m³/h	-	0,0 m/s	0,2 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
12	Duct	9340 m³/h	800 x 800	4,1 m/s	-	745	-	0,21 Pa/m	0,2 Pa	0,2 Pa
	Fittings	9340 m³/h	-	4,1 m/s	9,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
13	Duct	13784 m³/h	800 x 800	6,0 m/s	-	1396	-	0,43 Pa/m	0,6 Pa	0,6 Pa
	Fittings	13784 m³/h	-	6,0 m/s	21,5 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
14	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	925	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
15	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	-99999	-	-190985,3 Pa	-190985,3 Pa
16	Duct	1000 m³/h	315	3,6 m/s	-	475	-	0,51 Pa/m	0,2 Pa	1,7 Pa
	Fittings	1000 m³/h	-	3,6 m/s	7,6 Pa	-	0,19	-	1,5 Pa	
17	Fittings	1000 m³/h	-	0,0 m/s	4,7 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
18	Fittings	3750 m³/h	-	0,0 m/s	10,3 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
19	Duct	3750 m³/h	800 x 300	4,3 m/s	-	7490	-	0,49 Pa/m	3,7 Pa	17,7 Pa
	Fittings	3750 m³/h	-	4,3 m/s	11,3 Pa	-	1,24	-	14,0 Pa	
20	Duct	6400 m³/h	800 x 800	2,8 m/s	-	97	-	0,10 Pa/m	0,0 Pa	0,0 Pa
	Fittings	6400 m³/h	-	2,8 m/s	4,6 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
21	Fittings	8890 m³/h	-	0,0 m/s	11,7 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
22	Duct	8890 m³/h	700 x 700	5,0 m/s	-	3134	-	0,37 Pa/m	1,2 Pa	1,2 Pa
	Fittings	8890 m³/h	-	5,0 m/s	15,3 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
23	Fittings	8890 m³/h	-	0,0 m/s	9,0 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
24	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	925	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
25	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	-99999	-	-190985,3 Pa	-190985,3 Pa

69	Duct	750 m³/h	315	2,7 m/s	-	9674	-	0,30 Pa/m	2,9 Pa	-859430,8 Pa
	Fittings	750 m³/h	-	2,7 m/s	4,3 Pa	-	-199998	-	-859433,7 Pa	
70	Duct	375 m³/h	250	2,1 m/s	-	8207	-	0,26 Pa/m	2,2 Pa	-270769,2 Pa
	Fittings	375 m³/h	-	2,1 m/s	2,7 Pa	-	-99998,57	-	-270771,3 Pa	
	Air Terminal	375 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
71	Fittings	375 m³/h	-	0,0 m/s	1,1 Pa	-	-99999	-	-107429,2 Pa	-107429,2 Pa
72	Duct	0 m³/h	100	0,0 m/s	-	424	-	0,00 Pa/m	0,0 Pa	0,0 Pa
	Fittings	0 m³/h	-	0,0 m/s	0,0 Pa	-	-99998,57	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	0 m³/h	-	-	0,0	-	-	-	0,0 Pa	
73	Duct	0 m³/h	100	0,0 m/s	-	4196	-	0,00 Pa/m	0,0 Pa	0,0 Pa
	Fittings	0 m³/h	-	0,0 m/s	0,0 Pa	-	-299997	-	0,0 Pa	
74	Duct	2650 m³/h	500	3,7 m/s	-	343	-	0,32 Pa/m	0,1 Pa	-845111,0 Pa
	Fittings	2650 m³/h	-	3,7 m/s	8,5 Pa	-	-99999	-	-845111,1 Pa	
75	Duct	2650 m³/h	600 x 300	4,1 m/s	-	2630	-	0,49 Pa/m	1,3 Pa	1,3 Pa
	Fittings	2650 m³/h	-	4,1 m/s	10,1 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
76	Duct	2650 m³/h	800 x 800	1,2 m/s	-	73	-	0,02 Pa/m	0,0 Pa	0,0 Pa
	Fittings	2650 m³/h	-	1,2 m/s	0,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
77	Duct	0 m³/h	100	0,0 m/s	-	1367	-	0,00 Pa/m	0,0 Pa	0,0 Pa
	Fittings	0 m³/h	-	0,0 m/s	0,0 Pa	-	-99998,57	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	0 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
78	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	955	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
79	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	-99999	-	-190985,3 Pa	-190985,3 Pa
80	Duct	1000 m³/h	315	3,6 m/s	-	316	-	0,51 Pa/m	0,2 Pa	3,4 Pa
	Fittings	1000 m³/h	-	3,6 m/s	7,6 Pa	-	0,43	-	3,3 Pa	
81	Fittings	1000 m³/h	-	0,0 m/s	4,7 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
82	Fittings	2650 m³/h	-	0,0 m/s	9,1 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
83	Duct	2650 m³/h	600 x 300	4,1 m/s	-	1484	-	0,49 Pa/m	0,7 Pa	13,2 Pa
	Fittings	2650 m³/h	-	4,1 m/s	10,1 Pa	-	1,24	-	12,5 Pa	
84	Duct	2650 m³/h	500	3,7 m/s	-	2953	-	0,32 Pa/m	0,9 Pa	2,0 Pa
	Fittings	2650 m³/h	-	3,7 m/s	8,5 Pa	-	0,13	-	1,1 Pa	
85	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	955	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
86	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	-99999	-	-190985,3 Pa	-190985,3 Pa
87	Duct	325 m³/h	250	1,8 m/s	-	920	-	0,20 Pa/m	0,2 Pa	0,2 Pa
	Fittings	325 m³/h	-	1,8 m/s	2,0 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	325 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
88	Fittings	325 m³/h	-	0,0 m/s	0,8 Pa	-	-99999	-	-80691,3 Pa	-80691,3 Pa
89	Duct	650 m³/h	315	2,3 m/s	-	316	-	0,23 Pa/m	0,1 Pa	1,5 Pa
	Fittings	650 m³/h	-	2,3 m/s	3,2 Pa	-	0,43	-	1,4 Pa	
90	Fittings	650 m³/h	-	0,0 m/s	2,0 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
91	Fittings	1650 m³/h	-	0,0 m/s	3,5 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
92	Duct	1650 m³/h	500 x 250	3,7 m/s	-	6531	-	0,50 Pa/m	3,3 Pa	3,3 Pa
	Fittings	1650 m³/h	-	3,7 m/s	8,1 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
93	Fittings	1650 m³/h	-	0,0 m/s	3,5 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
94	Duct	325 m³/h	250	1,8 m/s	-	920	-	0,20 Pa/m	0,2 Pa	0,2 Pa
	Fittings	325 m³/h	-	1,8 m/s	2,0 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	325 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
95	Fittings	325 m³/h	-	0,0 m/s	0,8 Pa	-	-99999	-	-80691,3 Pa	-80691,3 Pa
96	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	935	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
97	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	-99999	-	-190985,3 Pa	-190985,3 Pa
98	Duct	1000 m³/h	315	3,6 m/s	-	6138	-	0,51 Pa/m	3,1 Pa	-763936,1 Pa
	Fittings	1000 m³/h	-	3,6 m/s	7,6 Pa	-	-99998,76	-	-763939,2 Pa	
99	Duct	1000 m³/h	600 x 150	3,1 m/s	-	1056	-	0,55 Pa/m	0,6 Pa	0,6 Pa
	Fittings	1000 m³/h	-	3,1 m/s	5,7 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
100	Fittings	1000 m³/h	-	0,0 m/s	1,3 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
101	Duct	500 m³/h	250	2,8 m/s	-	935	-	0,44 Pa/m	0,4 Pa	0,4 Pa
	Fittings	500 m³/h	-	2,8 m/s	4,8 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	500 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
102	Fittings	500 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	-99999	-	-190985,3 Pa	-190985,3 Pa
103	Duct	4444 m³/h	825 x 525	2,9 m/s	-	492	-	0,14 Pa/m	0,1 Pa	0,1 Pa
	Fittings	4444 m³/h	-	2,9 m/s	4,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	
	Air Terminal	4444 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
104	Duct	4444 m³/h	825 x 525	2,9 m/s	-	1498	-	0,14 Pa/m	0,1 Pa	0,1 Pa
	Fittings	4444 m³/h	-	2,9 m/s	2,2 Pa	-	0	-	0,0 Pa	

Mechanical Supply/Intake Air

System Information	
System Classification	Supply Air
System Type	Supply Air
System Name	Mechanical Supply/Intake Air
Abbreviation	

Total Pressure Loss Calculations by Sections										
Section	Element	Flow	Size	Velocity	Velocity Pressure	Length	Loss Coefficient	Friction	Total Pressure Loss	Section Pressure Loss
1	Fittings	14000 m³/h	-	0,0 m/s	1,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
	Equipment	14000 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
2	Duct	14000 m³/h	1000 x 600	6,5 m/s	-	6623	-	0,54 Pa/m	3,6 Pa	34,9 Pa
	Fittings	14000 m³/h	-	6,5 m/s	25,3 Pa	-	1,24	-	31,3 Pa	
3	Fittings	14000 m³/h	-	0,0 m/s	37,9 Pa	-	0	-	0,0 Pa	0,0 Pa
	Air Terminal	14000 m³/h	-	-	-	-	-	-	0,0 Pa	
Critical Path : 3-2-1 ; Total Pressure Loss : 34,9 Pa										

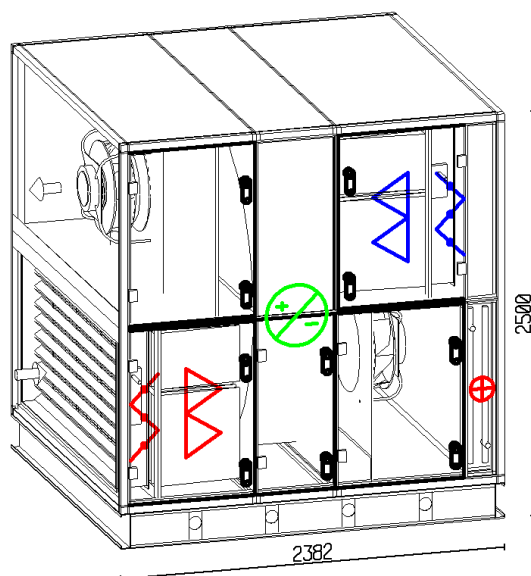
Detail Information of Straight Segment by Sections								
Section	Element ID	Flow	Size	Velocity	Velocity Pressure	Length	Pressure Loss	Total Pressure Loss
2	5752414	14000 m³/h	1000 x 600	6,5 m/s	25,3 Pa	1434	0,8 Pa	3,6 Pa
	5752482	14000 m³/h	1000 x 600	6,5 m/s	25,3 Pa	4404	2,4 Pa	
	5761795	14000 m³/h	1000 x 600	6,5 m/s	25,3 Pa	786	0,4 Pa	

Fitting and Accessory Loss Coefficient Summary by Sections						
Section	Element ID	Loss Method	ASHRAE Table	Loss Coefficient	Pressure Loss	Total Pressure Loss
1	5768662	Coefficient from ASHRAE Table	SR4-2	0	0,0 Pa	0,0 Pa
2	5752493	Coefficient from ASHRAE Table	SR3-1	1,24	31,3 Pa	31,3 Pa
	5761806	Coefficient from ASHRAE Table	SR3-1	0	0,0 Pa	
	5767567	Coefficient from ASHRAE Table	SR4-2	0	0,0 Pa	
	5768662	Coefficient from ASHRAE Table	SR4-2	0	0,0 Pa	
3	5767567	Coefficient from ASHRAE Table	SR4-2	0	0,0 Pa	0,0 Pa

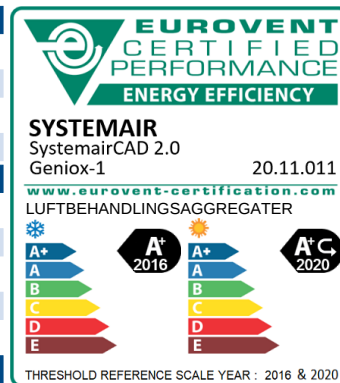
Beskrivelse: Geniox 22

Aggregatbredde / Vægt: 2282 mm / 1502 kg

Levering: 3 sektioner; Montering på byggeplads, 218 mm konsol



Aggregat			
Aggregatfarve Isolering Hygiejne	ZincMagnesium 60 mm mineral uld / Massefylde 60 kg/m3 Standard		
Automatik	Uden automatiksystem		
Strømforsyning Aggregat	L1 + L2 + L3 + N + PE (3x400V) 50 Hz / 17.8 A		
Omgivelser Tilluft	64 dB(A) 84 dB(A)		
Tilluft Luft-/ventilator data	Luftdensitet 1.205 kg/m³		
Luftydelse Fronthastighed Ext. Δp	14000 m³/h 1.72 m/s 241 Pa		
Tilluft, Vinter Sommer	22.0°C / RH 30% 25.3°C / RH 59%		
Filter Stadier	F7 - ePM1 60 %		
Ventilator Spænding Strøm, mærket o/min	4.60 kW 3x400 V 7.40 A 1652 o/min		
Varme, vand Væske	29.8 kW ; 15.6/22.0°C Væske 60/30°C ; 5.4 kPa ; 0.25 l/s ; Ø 1 1/4" / 1 1/4"		
Fraluft Luft-/ventilator data	Luftdensitet 1.205 kg/m³		
Luftydelse Fronthastighed Ext. Δp	14000 m³/h 1.72 m/s 256 Pa		
Filter Stadier	M5 - ePM10 60 %		
Ventilator Spænding Strøm, mærket o/min	4.60 kW 3x400 V 7.40 A 1631 o/min		
Energi	Dimensionering	Gennemsnit	Ventilatorer [8760 timer]
Varmegenvinding EN308 (Tør)	80.3 % 80.3 %	80.3 % 80.3 %	
SFPv *)	1.63 kW/(m³/s)	1.63 kW/(m³/s)	55420 kWh
SFPe *)	1.75 kW/(m³/s)	1.75 kW/(m³/s)	59617 kWh
Ecodesign godkendt (2018)	Ja		
Stedet, hvor aggregatet er placeret	Aarhus, Denmark		
	(t _{dry} - bulb 26.1 °C, t _{dew} - point 12.6 °C, t _{dry} - bulbW -6.8 °C)		
*) Værdier inkluderer hastighedsregulering; SFPv = ren - og SFPe = dimonsioneret filtertryktab			

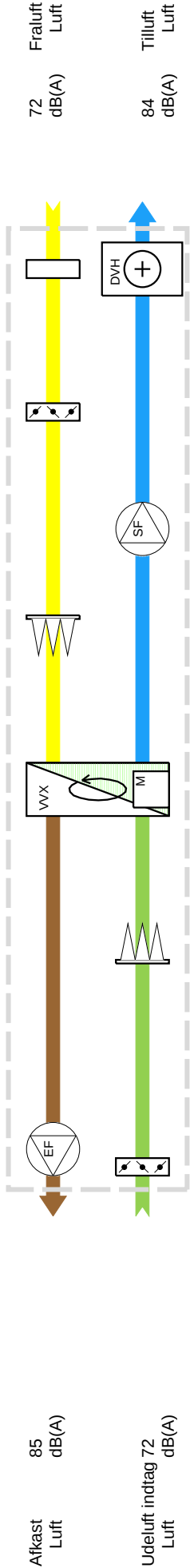


Vinter

Temperatur efter [°C]	-5.0	-5.0	-5.3	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Fugtighed efter [%]	97	97	99	40	40	40	40	40
Tryktab [pa]	128	51	141	62	2	2	128	
Tryk efter funktion [pa]	-	128	-335	-194	-132	-130	-128	
		Effektivitet 65.3% (Totalt tryktab)		M5 - ePM10 60 % Filter				

Sommer

Temperatur efter [°C]	27.3	27.3	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
Fugtighed efter [%]	39	39	40	60	60	60	60	60



Vinter

Temperatur efter [°C]	-12.0	-12.0	-12.0	15.3	15.6	22.0	22.0	22.0
Fugtighed efter [%]	90	90	90	45	44	30	30	30
Tryktab [pa]	111	2	98	141	51	18	130	
Tryk efter funktion [pa]	-111	-113	-210	-351	148	130	-	
			F7 - ePM1 60 % Filter	80.3/80.3% Wet/dry	Effektivitet 66.1% (Totalt tryktab)	29.80 kW		

Sommer

Temperatur efter [°C]	25.0	25.0	25.0	25.0	25.3	25.3	25.3	25.3
Fugtighed efter [%]	60	60	60	60	59	59	59	59

Commissioning data

	Tilluft	Fraluft	Enhed
Tryktab, rene filtre	49	31	Pa
Optaget effekt for ventilatorer - rene filtre	3.04	2.97	kW

Alternative arbejds punkter

	Dim.										Gennemsnit
Luftydelse, Tilluft, m³/h	14000										14000
Luftydelse, Fraluft, m³/h	14000										14000
Eksternt tryktab, Tilluft	241										
Eksternt tryktab, Fraluft	256										
SFPv, kW/(m³/s)	1.63										1.63
SFPe, kW/(m³/s)	1.75										1.75
Virkningsgrad, Varmegenvinding (våd), %	80.3										80.3
Virkningsgrad, Varmegenvinding (tør), %	80.3										80.3
Varmebatteri, Ydelse, kW	29.8										29.8
Væskemængde, l/s	0.25										0.25
Tryktab, væske, kPa	5.4										5.4
Lyddata dB(A)											
Tilluft	84										
Udeluft indtag	72										
Afkast	85										
Fraluft	72										
Omgivelser	64										
Drifttimer	8760										
Drifttimer for året	8760										

Ecodesign

	2018	Værdi	Eco grænse
Aggregattype (ikke-bolig - tovejs)	Godkendt		
Ventilator med hastighedsregulering	Godkendt		
Varmegenvinding	Godkendt		
Termisk effektivitet for genvinding	Godkendt	80	73
Filterovervågning	Godkendt		
SFP intern i W/(m³/s)	Godkendt	595	1019
Totalt resultat	Godkendt		

		Tilluft	Fraluft	
Fabrikant	Systemair			
Model	Geniox 22			
Type	NRVU;BVU			
Motor typen		EC Bluefin	EC Bluefin	Installeret
Genvindingstypen	Roterende varmeveksler			
Termisk effektivitet for genvinding (tør)	80			%
Ikke-bolig aggregat - luftydelsen		3.89	3.89	m³/s
Tilført effekt ved rene filtre og hastighedsregulering		3.08	3.10	kW
SFP intern i W/(m³/s) 2018	595	309	285	W/(m³/s)
Fronthastighed		1.72	1.72	m/s
Nominelt eksternt tryk		241.00	256.00	Pa
Internt tryktab i funktionerne		189.60	172.23	Pa
Samlet statisk tryk ved rene filtre		430.60	428.23	Pa
Samlet ventilatoreffektivitet ved statisk tryk inkl. motor- og hastighedsstyring		61.33	60.35	%
Maksimal ekstern lækage @ ± 400 Pa	Lækage er mindre end 13.7 l/s -> Lækagemængde er mindre end 0.4 %			
Maksimal intern lækage (EATR, ?p = 250 Pa)	Lækage er mindre end 3%			
Energiklasse for filtre		B	B	
Beskrivelse af synlig filteralarm	Skal installeres med styresystem			
Internet adresse med info om skrotning	techdoc.systemair.dk			

Lydtryksniveau	Tilluft	Udeluft indtag	Afkast	Fraluft	Omgivelser
Total	84 dB(A)	72 dB(A)	85 dB(A)	72 dB(A)	64 dB(A)

Ecodesign er beregnet for et reference aggregat med ePM1 60% (F7) filter i tilluft og ePM10 60% (M5) filter i fraluft.

Teknisk specifikation

Aggregat

Lydtryksniveau	Frekvensbånd [Hz]	63 [dB]	125 [dB]	250 [dB]	500 [dB]	1K [dB]	2K [dB]	4K [dB]	8K [dB]	Total [dB(A)]
Tilluft		81	85	82	83	78	73	68	67	84
Udeluft indtag		77	82	75	71	62	56	48	50	72
Afkast		82	86	83	84	80	76	72	74	85
Fraluft		76	82	75	71	62	55	48	50	72
Omgivelser		75	75	61	60	57	51	45	36	64

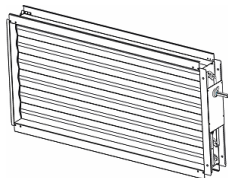
Sektion

Paneler	Stålplader behandlet med ZM310, korrosionsklasse C5	
Ramme profiler	Stålprofiler behandlet med Z225 malet, korrosionsklasse C4	
Indvendige profiler	Stålprofiler behandlet med ZM310, korrosionsklasse C5	
Hjørner	PA6 fiberforstærket	
Isolering	60 mm mineral uld / Massefylde 60 kg/m3	
Korrosionsbeskyttelse	Klasse C4 i henhold til EN ISO 12944-2:2018	
Drift tryk	0 - 2000 Pa (Geniox10 - Geniox31)	
Drift temperaturer	-40/+40 °C (Standard)	
	-40/+60 °C (Specielt design)	
Klassifikationer	EN 1886, 2. udgave 2008	
Mekanisk styrke	Klasse D1(M)*	
Tæthed, aggregathus	-400 Pa: Klasse L1(M)*	
	+700 Pa: Klasse L1(M)*	
Tæthed, filter by-pass	-400 Pa: Klasse G1-F9	
	+400 Pa: Klasse G1-F9	
Termisk transmission gennem aggregathus	Klasse T2(M)*	
Termisk bro faktor:	Klasse TB2(M)*	
Akustisk isolation gennem aggregathus	Oktavbånd Hz	Isolering dB
	63	10
	125	17
	250	24
	500	27
	1000	28
	2000	28
	4000	32
	8000	40

* (M) = Classification according to EN1886 Modelbox test

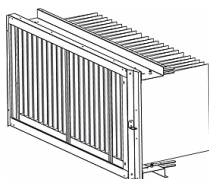
Tilluftaggregat består af

Spjæld



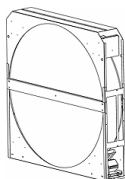
Tryktab	2	Pa
Spjældblade	Standard	
Påkrævet aktuatoremoment	20	Nm
Antal aksler	1	
Antal spjæld	1	Stk.

Filter



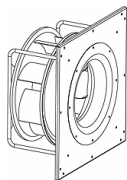
Tryktab, dimensionerende	98	Pa
Tryktab, start/Tryktab, slut	49/147	Pa
Lufthastighed, frontareal	1.92	m/s
Lufthastighed, Filterareal	0.11	m/s
Filterklasse	F7 - ePM1 60 %	
Filterstørrelse	6x[592x490x25] + 2x[287x490x25]	
Filterlængde	520	mm
Filter beskrivelse	Camfil Hi-Flo II XLT	

Roterende varmeveksler



	Tilluft	Fraluft	
Luftmængde	14000	14000	m³/h
Tryktab	141	141	Pa
Lufttemperatur, før/efter	-12.0/15.3	22.0/-5.3	°C
Relativ luftfugtighed, før/efter	90/45	40/99	%
Effekt	171.70		kW
Temperatur virkningsgrad	80.3		%
Effektivitet - tør - ifølge EN 308 ved 14000 m³/h	80.3		%
Fugtvirkningsgrad	68.1		%
Energi klasse for varmegenvinding (EN13053)		H1	
Varmeveksler	ST - Kondensation (Temperatur)		
Effektivitet (bølgehøjde)		B - Høj	
Rotor diameter		Ø2040	
Beskrivelse	ST1-SL-WV-2040-SM-WO-DU-0		
Hastighedsregulator: Varmerveksler	Variabel drift		
EI-data	1x230V, 145W, 0.6Amp		
Sikkerhedsafskærmning	1		Stk.
Renblæsningssektor	1		Stk.

Ventilator, Kammer

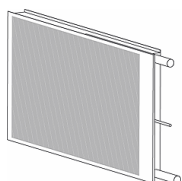


Luftmængde	14000	m³/h
Eksternt tryktab	241	Pa
Tryktab	51	Pa
Statisk tryk (Beregnet ved våd tilstand)	550	Pa
Totaltryk	592	Pa
Omdrejningstal	1652	o/min
Maximum omdrejningstal	1780	o/min
Total virkningsgrad ved statisk tryk, inklusiv motor og motorstyring	61.3	%
Total virkningsgrad ved totalt tryk, inklusiv motor og motorstyringen	66.1	%
K-faktor (p=1,2 kg/m³)	355	
Ventilator type - Lille - Impeller ZAmid	GR56I-ZID.GL.CR	
ErP effektivitet n(stat,A)	75.7	%
ErP effektivitetsklasse N(actual)/ N(target)	79.3 / 62	
ErP-overensstemmelse	Ja	
Direkte drift		

Motor

Motor type	EC motor	
Motor type-Normstr.	ZID.GL.CR	
Termosikring	Built-in	
Mærkeeffekt	4.60	kW
Omdrejninger (Nominel)	1780	o/min
Strøm, Amp.	7.40	A
Spænding	3x400	V
El-forbrug omfatter også ventilatormotorernes hastighedsregulering	3.49	kW
SFPv ved rene filtre, inklusiv ventilatorstyring	0.82	kW/(m³/s)
Vinter: Temperatur før / efter	15.3 / 15.6	°C
Sommer: Temperatur før / efter	25.0 / 25.3	°C
Vinter: Luftfugtighed før / efter	45 / 44	%
Sommer: Luftfugtighed før / efter	60 / 59	%
Monteringsboks for EC motor kabler (Installationen er udført i henhold til 60204-1)	1	Stk.

Varmebatteri, Væske

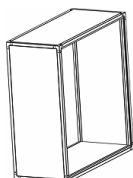


Luftmængde	14000	m³/h
Tryktab	18	Pa
Lufttemperatur ind/ud	15.6/22.0	°C
Relativ luftfugtighed, før/efter	44/30	%
Effekt	29.80	kW
Fronthastighed	2.08	m/s
Medie	Vand	
Væsketemperatur ind/ud	60.0/30.0	°C
Væskemængde	0.25	l/s
Tryktab, væske	5.4	kPa
Væskehastighed	0.21	m/s
Batterivolumen	17.5	l
Tilslutningsside	Inspektionsside	
Tilslutning ind/ud	1 1/4" / 1 1/4"	
Rørmateriale	Cu	
Lamelmateriale	Al	
Lameltykkelse	0.11	mm
Lamelafstand	2.5	mm
Rørrækker	2	

Batteritype	GXH-22-W-4-2-11-930-2015-2.5-CU-AI11-H-1 1/4	
Udtag for frostvagt	1	Stk.

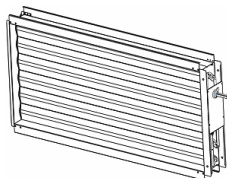
Fraluftaggregat består af

Tomdel



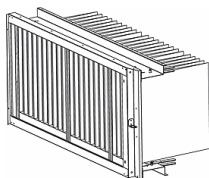
Tryktab	2	Pa
Længde	200	mm

Spjæld



Tryktab	2	Pa
Spjældblade	Standard	
Påkrævet aktuatoremoment	20	Nm
Antal aksler	1	
Antal spjæld	1	Stk.

Filter

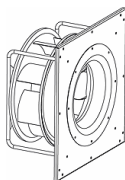


Tryktab, dimensionerende	62	Pa
Tryktab, start/Tryktab, slut	31/93	Pa
Lufthastighed, frontareal	1.92	m/s
Lufthastighed, Filterareal	0.11	m/s
Filterklasse	M5 - ePM10 60 %	
Filterstørrelse	6x[592x490x25] + 2x[287x490x25]	
Filterlængde	520	mm
Filter beskrivelse	Camfil Hi-Flo II XLT	

Roterende varmeveksler

Data vises på tilluft.

Ventilator, Kammer



Luftmængde	14000	m³/h
Eksternt tryktab	256	Pa
Tryktab	51	Pa
Statisk tryk (Beregnet ved våd tilstand)	514	Pa
Totaltryk	556	Pa
Omdrejningstal	1631	o/min
Maximum omdrejningstal	1780	o/min
Total virkningsgrad ved statisk tryk, inklusiv motor og motorstyring	60.3	%
Total virkningsgrad ved totalt tryk, inklusiv motor og motorstyringen	65.3	%
K-faktor (p=1,2 kg/m³)	355	
Ventilator type - Lille - Impeller ZAmid	GR56I-ZID.GL.CR	
ErP effektivitet n(stat,A)	75.7	%

ErP effektivitetsklasse N(actual)/ N(target)	79.3 / 62	
ErP-overensstemmelse	Ja	
Direkte drift		
Motor		
Motor type	EC motor	
Motor type-Normstr.	ZID.GL.CR	
Termosikring	Built-in	
Mærkeeffekt	4.60	kW
Omdrejninger (Nominel)	1780	o/min
Strøm, Amp.	7.40	A
Spænding	3x400	V
El-forbrug omfatter også ventilatormotorernes hastighedsregulering	3.31	kW
SFPv ved rene filtre, inklusiv ventilatorstyring	0.80	kW/(m³/s)
Vinter: Temperatur før / efter	-5.3 / -5.0	°C
Sommer: Temperatur før / efter	27.0 / 27.3	°C
Vinter: Luftfugtighed før / efter	99 / 97	%
Sommer: Luftfugtighed før / efter	40 / 39	%
Monteringsboks for EC motor kabler (Installationen er udført i henhold til 60204-1)	1	Stk.
Volumeter	1	Stk.
Manometre er monteret fra fabrik.		

Andre komponenter

Fødder eller konsol		
Fødder eller konsol	Konsol	
Konsolhøjde	218	mm
Korrosionsbeskyttelse	Galvaniseret ZM310	

Kanaltilslutninger		
Produkt	Dimensioner (Bredde x højde)	
Udeluft indtag	2200x1000 mm	
Tilluft	2200x1000 mm	
Fraluft	2200x1000 mm	
Afkast	2200x1000 mm	

Afsnit om forsendelse

Unit sections	Dimensioner (Bredde x højde x længde), inklusiv emballage	Vægt, inklusiv emballage	Aggregatets vægt
Sektion 1	2382 x 2402 x 921 mm	444 kg	431 kg
Sektion 2	2382 x 2402 x 580 mm	425 kg	417 kg
Sektion 3	2382 x 2402 x 1121 mm	545 kg	529 kg
Sektion 4	650 x 600 x 2200 mm	136 kg	126 kg

Konsoller leveres løst med og skal samles på pladsen før aggregat-sektioner placeres på dem.

Beregning: 1. Beregning efter klasse

Dato: 21-12-2023

Projekt:

Beregnet af:

Beregningsgrundlag:	Plan flade:	
	Placering:	Indendørs
	Retning:	Vandret
	Rockwool produkt:	TECLIT Lamella Mat
	Isoleringsklasse:	3
	Anlæg:	Ventilationsanlæg
	Installation:	Tilluftskanaler med luft temp. under 15 °C
	Bæringer:	Isolerede
	Medie temperatur:	-12 °C
	Omgivende temperatur:	20 °C
	Emissionstal isoleret:	0,13 Aluminium, oxyderet
	Emissionstal uisoleret:	0,13 Aluminium, oxyderet
Resultater:	U-værdi:	0,66 W/m²K
	Isoleringstykkelse:	42,4 mm
	Overflade temperatur:	12,4 °C
	Varmetab:	-21,1 W/m²
	Varmetab uisoleret:	-143,1 W/m²
Standardprodukt:	Isoleringstykkelse:	50 mm
	Overflade temperatur:	13,2 °C
	Varmetab:	-18,5 W/m²

Beregning: 1. Beregning efter klasse

Dato: 21-12-2023

Projekt:

Beregnet af:

Beregningsgrundlag:	Plan flade:	
	Placering:	Indendørs
	Retning:	Vandret
	Rockwool produkt:	TECLIT Lamella Mat
	Isoleringsklasse:	3
	Anlæg:	Ventilationsanlæg
	Installation:	Kanaler til indtag og afkast til det fri efter varmegenvinding
	Bæringer:	Isolerede
	Medie temperatur:	-5,3 °C
	Omgivende temperatur:	20 °C
	Emissionstal isoleret:	0,13 Aluminium, oxyderet
	Emissionstal uisoleret:	0,13 Aluminium, oxyderet
Resultater:	U-værdi:	0,66 W/m²K
	Isoleringstykkelse:	42,4 mm
	Overflade temperatur:	13,8 °C
	Varmetab:	-16,7 W/m²
	Varmetab uisoleret:	-106,4 W/m²
Standardprodukt:	Isoleringstykkelse:	50 mm
	Overflade temperatur:	14,5 °C
	Varmetab:	-14,6 W/m²