



KVS - Kombinerede Ventilations- principper og -strategier for IAQ

ELFORSK projektnummer 351-030

Marts 2023



TEKNOLOGISK
INSTITUT



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

KVS - Kombinerede Ventilationsprincipper og -strategier for IAQ

ELFORSK projektnummer 351-030



Udarbejdet af

Teknologisk Institut
Gregersensvej 1
2630 Taastrup
Energieffektivisering og Ventilation

Marts 2023

Forfattere:

Amalie Gunner, Oliver H. Jakobsen og Lasse S. Trankjær



1. Contents

2. Resume	4
3. Summary	5
4. Formål	6
5. Projektets ide og udvikling	7
5.1. Baggrund for projektet	7
5.2. Projektets udvikling.....	9
6. Kortlægning af indblæsningsarmaturer og arketyper.....	11
6.1. Undersøgelse af relevante arketyper	11
6.2. Specifikation af bygningstypologier og lokaletyper	11
6.3. Analyse af arketyperne.....	15
6.4. Udvælgelsen af indblæsningssystemer.....	18
7. Teststrategi og -metode.....	22
7.1. Laboratorieopstilling og -udstyr.....	22
7.2. Testscenarier	24
7.3. Analyse af testresultaterne	25
7.4. Eksempel på analyse af indblæsningssystem.....	27
8. Værktøj til valg af indblæsningssystem.....	30
8.1. Principper ved værktøj	30
8.2. Værktøjet i praksis.....	30
9. Potentialer for energibesparelser.....	32
10. Konklusion	34
11. Perspektivering.....	35
12. Formidling.....	36
13. Bilag 1	37
14. Bilag 2	40
14.1. Energy savings by optimizing ventilation principles.....	40



2. Resume

Nærværende projekt har haft til formål at udvikle et værktøj til udvælgelse af en relevant og korrekt indblæsningsløsning til den givne ventilationsopgave i kontorbygninger. Dermed bliver det muligt at opnå et godt indeklima, som samtidig øger energieffektiviteten.

Projektets ide bygger på at mange bygninger er udfordret af, at den mekaniske ventilation giver utilstrækkelig ventilation i opholdszonen på trods af høj luftstrøm. Årsagen til denne problemstilling er dels, at der ofte anvendes styringsstrategier og indblæsningsprincipper (indblæsningssystemer) på basis af vane-tænkning, dels isotherm produktokumentation samt at produkter på markedet er simpelt testet og ikke i muligt samspil med andre produkter. Eksempler viser, at brud med vanetænkning og anvendelse af korrekt indblæsningssystem og styringsstrategi med fokus på kombinationskonfigurationer af eksisterende teknologier åbner op for langt bedre løsninger. Det sikrer et godt indeklima med op imod 30% reduceret energiforbrug.

Projektet startede op ved grundigt at undersøge det danske marked for at finde de typiske indblæsningssystemer. Dette afstedkom 12 forskellige indblæsningssystemer. Herudover blev der lavet et studium af byggeskik og lokaletyper. De medførte definitioner af 15 forskellige arketyper.

Grundlaget for udvælgelse af produkter til kombination skulle findes gennem analyse af producenternes datablade. Denne analyse var ikke mulig, da der ikke lå data tilgængelig som kan sammenlignes på tværs af indblæsningssystemerne og derpå analyseres. Grunddata om alle produkterne skulle derfor genereres. Dette var et stort stykke arbejde som afstedkom værdifuld information om de enkelte indblæsningssystemer og hvordan de yder ved forskellige typer af belastning.

Den første testrunde bestod i at få dannet et sammenligningsgrundlag. Alle 12 indblæsningssystemer blev uvildig testet i fuld skala under isotherme forhold, opvarmning og køling ved ens luftstrøm. Anden testrunde skulle stress-teste indblæsningssystemerne for at danne et overblik over, hvor godt de yder som f.eks. VAV-produkter, med intern belastning og ved forskellig loftshøjde. Målingerne blev anvendt til at kortlægge kombinationsmulighederne med de definerede arketyper. Fokus var at få testet alle indblæsningssystemer grundigt igennem, så der blev dannet et fundament til udvikling af et fyldestgørende værktøj.

Der blev i projektet udviklet et værktøj, der kan anvendes i forbindelse med nybyggeri og omfattende renovering af kontorejendomme, hvor et kvalificeret valg om indblæsningssystemet kan gavne i de tidlige projektfaser. Værktøjet præsenterer egnede indblæsningssystemer til den valgte arketype, som kan inspirere brugeren til korrekt valg af indblæsningssystem. Værktøjet er baseret på analyser af måleresultater fra laboratorietest af de 12 indblæsningssystemer.

I projektet konkluderes det, at valget af indblæsningssystem har afgørende betydning for hvilket indeklima der skabes. Ændringer i valget medfører et betydeligt potentiale for at opnå energibesparelser i det enkelte ventilationsprojekt.

Projektet er medfinansieret af ELFORSK programmet med projektnummer 351-030 og er udført af Teknologisk Institut i samarbejde med VELTEK, TEQNIK arbejdsgiverne (FAV) og IDA-konference center.



3. Summary

The project aimed to develop a tool that assists in selecting appropriate air inlet solutions, thus ensuring a satisfactory indoor climate whilst increasing energy efficiency.

The idea behind the project is founded upon the notion that many buildings are challenged by a lack of ventilation in the occupied zone despite high air flows. This problem is partly due to using control strategies and inlet systems based on habitual thinking and partly due to isothermal product documentation with individually tested products. Studies have shown that breaking habits and using a correct inlet system and control strategy, focusing on combined configurations of existing technologies, may conceive better solutions which secure an indoor climate with a reduced energy consumption of up to 30%.

The project commenced by mapping typical inlet systems available in the Danish market; this provided 12 suitable systems. Furthermore, a study was conducted on building typologies and room types which defined 15 different archetypes of relevance.

An analysis of the manufacturer's documentation was meant to define a basis for selecting products suitable for combination. However, this analysis was impossible since the available diffuser documentation could not be compared sufficiently. Therefore, preliminary data for the products had to be established, which resulted in a significant number of tests that provided valuable information on each diffuser, and how they perform under differing loads. The first test round consisted of establishing a basis for comparison. All 12 inlet systems were tested in full scale under isothermal, heated and cooled conditions at similar air flows. The second test round stress tested the diffusers to establish how well they performed, i.e., as VAV-products, with internal loads and at varying ceiling heights. The measurements were used to map the combination possibilities tied to the archetypes. A focus was placed on thoroughly testing all inlet systems so that an adequate tool could be developed on a solid data foundation.

An excel tool was developed as part of the project, which can be used concerning new or renovated office buildings, where a suitable choice of inlet system can benefit early design phases. The tool presents the user with appropriate inlet systems depending on archetype selection which may inspire the user. The program is based on qualitative analysis of laboratory test results from the 12 inlet systems.

In conclusion, the project has shown that the choice of inlet system has an important impact on the achievable indoor climate. Changes to said choice may provide energy savings in a specific ventilation project.

The project is co-financed by ELFORSK with project number 351-030 and was carried out by the Danish Technological Institute in cooperation with VELTEK, TEQNIK Arbejdsgiverne (FAV) and IDA-conference center.



4. Formål

Formålet med projektet er at udvikle retningslinjer og dimensioneringsgrundlag for korrekt valg af indblæsningssystemer og kombinationer heraf samt udvikle tilhørende styringsstrategier i forhold til den givne ventilationsopgave. Dermed bliver det muligt at opnå et godt indeklima, som samtidig øger energi-effektiviteten.

Arbejdsprocesserne omfatter test og dokumentation af komponenter og samlede systemer, analyser samt udvikling af digitale værktøjer.

Som udgangspunkt indsamles og anvendes producenterens *eksisterende* dokumentation og målinger, som analyseres og vurderes ift. kombinationsmuligheder og suppleres med analyser og kombinationstest på, de af producenterne leverede, systemer og komponenter.

De supplerende test gennemføres på Teknologisk Institut i et nyt indeklimalaboratorium, der er designet med hensyn til projektet. I laboratoriet kan loftshøjde og belastning samt strategier og bestykning (armaturer, opvarmningssystem mv.) varieres frit. Laboratoriet kan efterfølgende benyttes af ventilationsbranchen til test og udvikling af ventilationsprincipper og komponenter.

Formål 2.0

I forbindelse med kortlægning af indblæsningsarmaturerne, blev det konstateret at producenterne generelt ikke har tilstrækkelig dokumentation af produkterne samt at sammenligning af dokumentation på tværs af produkterne ikke var muligt til at lave den nødvendige analyse.

Der var derfor brug for at lave en ensartet test og analyse af alle de valgte indblæsningsarmaturer.

Dette ændrede på projektets formål og slutresultat til at indeholde udvikling af retningslinjer og dimensioneringsgrundlag for korrekt valg af indblæsningssystemer i forhold til den givne ventilationsopgave. Dermed bliver det muligt at opnå et godt indeklima, som samtidig øger energieffektiviteten.

Projektet udvikler et værktøj til udvælgelse af en relevant og korrekt indblæsningsløsning.

Der har løbende været korrespondance herom med Elforsk, som har godkendt det ændrede formål samt den ændrede projektbeskrivelse.



5. Projektets ide og udvikling

Dette afsnit skildrer projektets baggrund, ide og udvikling.

5.1. Baggrund for projektet

I Danmark er mange bygninger udfordret af, at den mekaniske ventilation giver utilstrækkelig ventilation i opholdszonen på trods af høj luftstrøm. Årsagen til denne problemstilling er dels, at der ofte anvendes styringsstrategier og indblæsningssystemer på basis af vanetænkning, dels isotherm produkt dokumentation hvor produkter testes enkeltvis og ikke i mulige samspil. Eksempler viser, at brud med vanetænkning og anvendelse af korrekt indblæsningssystem og styringsstrategi med fokus på kombinationskonfigurationer af eksisterende teknologier åbner op for langt bedre løsninger, som sikrer et godt indeklima med op imod 30% reduceret energiforbrug.

Forbedrede indblæsningssystemer kan give store energibesparelser og på samme tid sikre et bedre indeklima i kontorbygninger såvel som skoler, haller, atrier mv. Denne påstand understreges af brancheorganisationerne VELTEK og TEKNIQ samt Teknologisk Institut, som ofte møder udfordringen med både at skabe energieffektiv ventilation og høj indeklimakvalitet med minimal risiko for trækgener.

Teknologisk Institut har udført en række konsultationer, som viser utilstrækkelig luftfordeling til og i opholdszonen på trods af høj luftmængdetilførsel fra det mekaniske ventilationsanlæg. Dette skyldes bl.a. at opblandingsprincippet ikke er tilstrækkeligt til det pågældende bygningsdesign og geometri, herunder loftshøjden, obstruktioner fra møbler, nedhæng fra loft eller lignende. Dertil kommer også, at der i mange bygninger er en meget høj varmebelastning, hvilket ofte har vist sig at influere så kraftigt på luftstrømningerne, at opblandingsmønsteret ændrer sig og forårsager såkaldte kuldebomber, hvor kold indblæsningsluft ophober sig i den øvre del af lokalet, og pludseligt daler mod opholdszonen med høj hastighed, hvilket resulterer i pludselige kraftige trækgener som ofte medvirker til stor utilfredshed hos brugeren.

Eksempler på nogle af de forhold, der bl.a. observeres i bygninger er:

1. At der opstår trækgener i opholdszonen grundet højhastighedsindblæsning i forsøg på at få ventileret hele opholdszonen.
2. At friskluften aldrig kommer ned/hen i opholdszonen.
3. At indblæsningsluften skubber forurenede luft ned i opholdszonen.
4. At friskluftfordelingen rummene imellem i bygningen som helhed er ukorrekt, da uens intern og ekstern belastning samt bygningsorientering ikke er medtaget i styringsstrategien. Dette medfører at opvarmningsanlæg og ventilationsanlæg modarbejder hinanden, da anlæggets opbygning og strategi ikke kan varetage det faktum, at der på den ene side af bygningen kan være et kølebehov og den anden side et opvarmningsbehov.

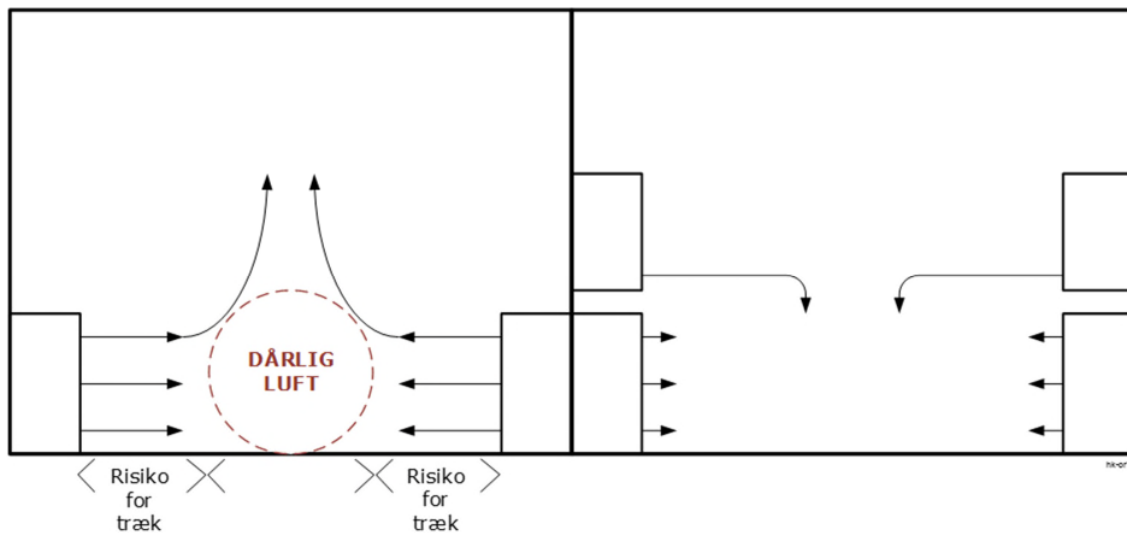
Alt sammen med det resultat, at der ved øget køle-/varmebehov overventileres, for at opnå tilfredsstillende indeklimakvalitet, da der typisk skrues op for ventilationen, for at få den friske og opvarmede/kølede luft ned i opholdszonen. Det medfører dels trækgener i opholdszonen, men forøger også energiforbruget



til opvarmning og køling af overdimensionerede luftmængder, samt forøger transportenergien grundet øget tryktab i kanalsystem.

Dette forhold er af Teknologisk Institut blevet påvist i forbindelse med renoveringsopgaver, hvor den oprindelige projektering medførte, at næsten 50% af opholdszonen ikke blev tilført den ønskede friskluftsmængde.

I to tilfælde var situationen som illustreret i Figur 1, hvor fortrængningsventilation skulle levere friskluft til hele opholdszonen. Tæt på indblæsningszonen optrådte trækproblemer, mens zonen i midten af rummet var underventileret pga. den termiske opdrift fra personer og udstyr.



Figur 1: Illustrerer luftfordelingen i opholdszonen ved fortrængningsventilation til venstre og kombinerede ventilationsløsninger til højre

Ved nytænkning af eksisterende systemer og en kombinationsmulighed, hvor to fortrængningsarmaturer blev om-konfigureret og stillet oven på hinanden og opdelt i et højthastighedsfelt over brugerniveau (øverst) og lavhastighedsfelt (nederst), blev det muligt at tilføre friskluft til det fulde brugsområde, uden træk i nærzonen og tilførsel af friskluft i fjernzonen med et 30% reduceret energiforbrug til følge.

Løsningen i renoveringsopgaven var skræddersyet og ressourcekrævende idet den både krævede simuleringer og praktiske forsøg. Dette viste med tydelighed det store potentiale og behov for at få udviklet et dimensioneringsgrundlag, hvor kombinerede indblæsningssystemer bringes i spil. Dette vil samtidig kræve, at der tilvejebringes data for indblæsningssystemerne under ikke-isoterme forhold.

For at realisere det store potentiale på energi- og indeklimasiden er der behov for et projekt, der samler branchens aktører for både traditionelle og alternative løsninger. De bør bidrage med at levere, undersøge, udvikle og dokumentere kombinationsmulighederne og strategier på tværs af producenter, produkter og principper så korrekte tværgående og uvildige retningslinjer kan udformes til de udførende.



5.2. Projektets udvikling

Projektet blev startet op som et samarbejde mellem Teknologisk Institut, fire partnere og 20 virksomheder repræsenteret under partnerne. De repræsenterer hele branchen i form af aggregat-, filter-, og armaturproducenter, styrings- og indeklimaspecialister samt de udførende. Det er en stor faglig kvalitet for projektet, at hele branchen var repræsenterede, men samtidig en udfordring at sikre, at alle var inkluderet og garantere deres aftryk på slutproduktet samt at deres interesser blev varetaget.

Den oprindelige ide med projektet var, som beskrevet i forrige afsnit, at kombinere indblæsningssystemer på tværs af markedet for at optimere indeklimaet og reducere energiforbruget. Slutproduktet skulle munde ud i et værktøj til valg af optimal indblæsningsløsning.

Til at starte med blev markedet grundigt undersøgt for at finde de typiske indblæsningsløsninger i Danmark. Dette afstedkom 12 forskellige indblæsningssystemer. Ud over indblæsningsløsningerne blev der lavet et studium af bygningstypologi og byggeskik (arketyper). Arkitekturen og bygningens tektonik har i høj grad betydning for hvilket indeklima en bygning i sig selv kan skabe og hvilke installationstekniske muligheder, der er til stede.

Grundlaget for udvælgelse af produkter til kombination skulle findes gennem analyse af producenteres datablade. Denne analyse var ikke mulig, da der ikke ligger data tilgængelig som kan sammenlignes på tværs af indblæsningsprodukterne og derpå analyseres. Grunddata om alle produkterne skulle derfor genereres. Dette blev gjort indenfor projektet og alle udvalgte produkter blev gennemanalyseret. Dette var et stort stykke arbejde som afstedkom værdifuld information om de enkelte indblæsningsarmaturer og hvordan de yder ved forskellige typer af belastning.

Den første testrunde bestod i at få dannet et sammenligningsgrundlag. Alle 12 indblæsningssystemer blev uvildig testet under isoterme forhold, opvarmning, køling og med ens belastning således, at der er et sammenligningsgrundlag til kombination af de forskellige principper. Samlet set blev der lavet 36 indledende fuld skala test.

Løbende med test blev der holdt workshop med producenterne hvor metode og resultater blev diskuteret. Synergi mellem producenter og udveksling af data var begrænset, da de enkelte producenterne var tilbageholdne med at dele ud af erfaringer og ekspertise i forum. Dette blev i stedet gjort enkeltvis med producenterne.

Efter dialog med producenterne blev det besluttet at anden testrunde skulle stress-teste indblæsningssystemerne for at få et overblik over, hvor godt de yder som f.eks. VAV-produkter, med intern belastning og ved forskellige loftshøjder. Kombinationen af indblæsningssystemer og testparametre gav yderligere 96 fuld skala test til at få dannet et sammenligningsgrundlag på tværs af produkterne.

Fokus var at få testet alle indblæsningsarmaturer grundigt igennem, så der blev dannet et fundament til udvikling af et fyldestgørende værktøj.

I løbet af projektet blev det understreget, at det i praksis kan være fordelagtigt at lave kombinationer mellem forskellige indblæsningssystemer. Det var ved analysen af testresultaterne tydeligt, at opblandingen og trækforholdene og dermed anvendelsesmulighederne for det enkelte indblæsningssystem kan forbedres. Forventeligt ved kombination med andre indblæsningssystemer. Udfordringen er, at det vil være en skræddersyet løsning, som kun vil imødekomme den enkelte bygnings behov.



Alternativt bliver det samlede ventilationssystem for avanceret. Det udfordrer hele idegrundlaget med at udvikle generiske kombinationer af forskellige indblæsningssystemer. Derfor blev det vurderet at videreudviklingen, test og analyse af disse kombinationer vil skabe utilstrækkeligt værdi i forhold til den påkrævede indsats. Det er samtidig vigtigt at have for øje, at design og implementering af ventilationssystemer er komplekst og bør dimensioneres af professionelle. Dette for at sikre optimal ydeevne og lavt energiforbrug. Det endelige fokus på kombinationer blev valgt som et produkt mellem indblæsningssystem og arketype.

Det udviklede værktøj danner grundlag med uvildig test af de på markedet typiske indblæsningssystemer. Der kan af værktøjet vurderes fordele og ulemper ved det enkelte indblæsningssystem som derved kan bruges til at vælge kombinationer til fremtidig test.

Værktøjet er udviklet så det efter endt projektperiode kan videreudvikles og udvides med flere variationer af arketyper og indblæsningssystemer. Der har ligeledes været interesse for at undersøge interaktion mellem mekanisk indblæsning og naturlig ventilation nærmere. Det var ikke muligt indenfor projektets rammer at forøge antallet af laboratorietest og inkludere denne komplekse parametervariation. Der er således potentiale for videreudvikling af konceptet og det anbefales at undersøge dette nærmere, da det vurderes at kunne lede til yderligere energibesparelser.



6. Kortlægning af indblæsningsarmaturer og arketyper

I det følgende beskrives bygningstypologier og lokaletyper, der i kombination udgør arketyper for kontorlokaler og møde/konference faciliteter. Arketypernes termiske indeklimate analyseres ved brug af døgnmiddeltemperaturen og udvalgte indblæsningssystemer kortlægges og defineres.

6.1. Undersøgelse af relevante arketyper

Indledningsvis blev der i projektet gennemført en faglitterær undersøgelse, hvor der blev opstillet en række arketyper for kontorlokaler og møde/konference faciliteter¹. Det skulle skabe en base for det videre analytiske arbejde og efterfølgende test af ventilationsprincipperne og kombinationen heraf. En forudsætning er derfor, at arketyperne varierer således, at de som udgangspunkt vil påvirke valget og funktionaliteten af ventilationen forskelligt. Materialet vil efterfølgende i projektet desuden udgøre en del af projekteringen og forberedelse af laboratorietestene og endelig analyse og udvælgelse af den mest hensigtsmæssige ventilationsløsning.

Arketyperne er bestemt ud fra en variation af en lang række parametre, der kan påvirke ventilationens ydeevne og indeklimateets kvalitet. Samtidig skal arketyperne repræsentere byggeskikken og de mest gængse bygningstypologier, hvilket har betydning for hvilke ventilationsløsninger, der kan integreres i eksisterende lokaler ved renoveringer. Parametrene er overordnet beskrevet ud fra kategorierne; bygningstypologi og byggeskik, geometri, anvendelse, belastninger og placering i bygning.

Antallet af arketyper er bestemt således at de repræsenterer den størst mulige variation for kontor- og møde/konference lokaler med hensyntagende til projektets omfang og testmuligheder i laboratoriet. Samlet er der defineret 3 forskellige bygningstypologier og 5 forskellige lokaletyper, der i kombination udgør de 15 forskellige arketyper. Beskrivelser og kendetegn ved arketyperne er beskrevet herunder. Definerede specifikationer er angivet i Tabel 1 og Tabel 2. Der har været fokus på at definere arketyperne så realistisk som muligt, men i beregningsmæssige sammenhænge anvendes kritisk scenarie, hvilket vil sige ved fuld intern belastning, som specifikationerne er angivet efter.

6.2. Specifikation af bygningstypologier og lokaletyper

Bygningstypologi og byggeskik

Arkitekturen og bygningens tektonik har i høj grad betydning for hvilket indeklimate en bygning i sig selv kan skabe, og hvilke installationstekniske muligheder der er til stede. Tre velkendte og forskellige kontorbygningstypologier er defineret:

1. Nutidig: Solitære domicilbygninger som oftest ses i erhvervsparker og mod havnefronter. Typisk voluminøse bygningsværker med atrier fra nyere tid med mange installationsmuligheder, fri for anden bebyggelse og kendetegnet ved facader med store glasarealer. Det medfører en høj grad af solafskærmning med solfilm på glasset og supplerende solafskærmning. Tidsmæssigt opført fra ca. 1980 og frem til i dag. De nyeste er konstrueret under stramme energikrav og

¹ Eksempel på anvendt litteratur: 1) Trel Dahl J. et. Al. (2011), "Energioptimering af kontorbygninger", Statens Byggeforskningsinstitut. 2) "Guide Indeklima og komfort" (2018), Videncenter for Energibesparelser i bygninger. 3) Traberg-Borup S. et. Al. (2005), "Effektiv belysning i kontor- og erhvervsbyggeri", Statens Byggeforskningsinstitut. 4) BAR FOKA/Slots- og Ejendomsstyrelsen (2008), "Arbejds miljø i åbne kontorer".



med større grad af automation. Bærende konstruktion er ofte beton og stål. Grundet bygnings åbenhed og de lette glasfacader betragtes varmeakkumuleringsevnen som medium.

2. **Klassisk:** En klassisk bygning transformeret til kontor anvendelse og oprindeligt opført i perioden fra år 1850 til 1930. Typisk ældre tungt uisolerede bygningsværk i f.eks. karrébebyggelse med minimal plads til installationer, som er radiatoropvarmet og med flere mindre vinduer med begrænset isoleringsevne, der udgør en mindre del af det samlede facadeareal. Solafskærmning er på indvendig side af vinduet i form af gardiner eller lignende løsning, hvorved den har en begrænset effektivitet. Klimaskærmen er tung og har høj varmeakkumuleringsevne, men etageadskillelse og skillevægge er af lettere materialer, hvorved den samlede varmeakkumuleringsevne betragtes som middel let til middel tung.
3. **Modernistisk:** En modernistisk byggestil der kom med industrialiseringen af branchen. Opført i 1960 til 1980 af isolerede sandwichkonstruktioner med vinduespartier, der ikke fylder det samlede facadeareal. Vinduerne er termoruder. Der er typisk monteret styret solafskærmning på facaden. Bygningens varmeakkumuleringsevne betragtes som middel ting. Bygningen har lav loftshøjde, men med plads til de typisk anvendte ventilationsløsninger.

Lokalets anvendelse og geometri

Et lokalets udformning og anvendelse har stor betydning for hvor ventilationskomponenter kan placeres og hvordan luften kan strømme og bevæge sig langs overfladerne. I kontorbygninger har opholdslokaler ofte et specifikt formål, der definerer indretning, brugstid, den reelle opholdszone og generelt de interne belastninger, der påvirker både det termiske og atmosfæriske indeklima betragteligt. Samtidig påvirker de termiske belastninger hvordan luften vil strømme i lokalet og ventilationens evne til at opblande luften. Fem lokaletyper er defineret:

1. **Auditorie:** Stort og åbent rum med højt til loftet. Lokalet kan rumme mange personer, der sidder eller står tæt, ofte uden borde foran sig. Anvendes periodisk ved arrangementer. Gulvet kan være opbygget i niveauer, der giver mulighed for ventilation langs gulvet.
2. **Mødelokale:** Mindre lokale med plads til en mindre gruppe af personer, der sidder forholds-mæssigt tæt omkring et bord. Er placeret centralt i bygningen hvor ingen af væggene udgør en del af facaden. Anvendes sporadisk i ofte en time ad gangen og flere gange om dagen. Loftshøjden er mellem. Ventilationsløsningen skal være kompatibel med behovsstyring.
3. **Storrumskontoret:** Det åbne kontorlandskab, hvor personer og interiør er jævnt fordelt rundt i lokalet. Ofte vil lokalets størrelse betyde, at flere vægsektioner udgør en del af facaden. Relativ lav persontæthed i forhold til arealet. Ved valg af ventilationsløsning skal man være opmærksom på opblandingen og sikre at luften fordeles hensigtsmæssigt i hele opholdszonen, når friskluft nødvendigvis ikke er særlig stort. Loftshøjden er medium. Lokalet belastes jævnt over hele arbejdsdagen.
4. **Bestyrelseslokale:** Lokale med plads til en mindre gruppe af personer. Er større end et traditionelt mødelokale. Mellem loftshøjde og ofte placeret ud imod flere facader af bygningen og har



det størst tilladelige vinduesareal, hvorved ventilationsløsning potentielt skal være god til køling. Lokalet anvendes i mindre omfang end et almindeligt mødelokale.

5. Enkeltmandskontoret: Lille rum på 10-20 m² med almindelig loftshøjde og vindue placeret i én facadevæg. Bruger kan i højere grad påvirke indeklimaet ved brug af naturlig ventilation eftersom der kun skal tages højde for personlige komfortpræferencer. Lokalets størrelse kan også udfordre hvilke indblæsningssystemer, der i praksis egner sig til at blive installeret.

Udover de byggetekniske faktorer er en række gængse belastninger som personantallet, belysning og udstyr afgørende for indeklimaet. Luftens bevægelser og dermed opblandingen skabes ved de trykforskelle, der opstår i luften. Udover den drivkræft ventilatoren tilføjer luften opnås trykforskelle også ved temperaturforskelle. Belastningerne er defineret på baggrund af lokaletyperne og deres anvendelse og angivet i Tabel 1. Hertil er det værd at bemærke, at et aktivitetsniveau på 1,2 met svarer til 143 W/person. Aktivitetsniveauet varierer ikke mellem lokaletyperne, og den samlede personbelastning er udelukkende afhængig af antallet af personer i lokalet. Varmeafgivelsen fra belysning og udstyr varierer ligeledes ikke mellem lokaletyperne bortset fra ved auditoriet, hvor belastningen er lidt lavere, eftersom det vurderes at mængden af it-udstyr er lavere pr. kvadratmeter i betragtning af lokalets størrelse.

Tabel 1: Specifikationer på de 5 forskellige lokaletyper.

	Enhed	Enkeltmandskontor	Storrumskontor	Mødelokale	Bestyrelseslokale	Auditorie
Areal	m ²	10	300	30	40	200
Loftshøjde	m	2,5	3	3	3	6
Facadelængde	m	3	30	0	13	30
Facadeareal	m ²	7,5	90	0	39	180
Persontæthed	Prs/m ²	0,1	0,07	0,5	0,25	1,33
Aktivitetsniveau	Met	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Belysning og udstyr	W/ m ²	12	12	12	12	10
Luftstrøm, Indeklimaklasse I	l/s, pr. m ²	1,5	1,2	5,5	5,5	13,8
Luftstrøm, Indeklimaklasse II	l/s, pr. m ²	1,1	0,8	3,9	3,9	9,7
Luftstrøm, Indeklimaklasse III	l/s, pr. m ²	0,6	0,5	2,2	2,2	5,5
Luftstrøm, Indeklimaklasse IV	l/s, pr. m ²	0,4	0,3	1,4	1,4	3,5
Daglig brugstid	Timer	8	8	4	2	4



Tabel 2: Specifikationer på de 3 forskellige bygningstyper.

	Enhed	Klassisk	Modernistisk	Nutidig
U-værdi, facade	W/m ² K	1,2	0,6	0,3
U-værdi, vindue	W/m ² K	2,9	2,9	0,7
Varmeakkumuleringsevne	W/(C°) pr. m ² gulv	10	13	11
Vinduesareal af facade	m ²	30	50	90
Rudeandel	Prs/m ²	0,6	0,7	0,8
Afskærmningsfaktor ²	-	0,6	0,3	0,15

² Afskærmningsfaktoren er en kombination af vinduets g-værdi og solafskærmning, hvor 0,0 svarer til 100 % afskærmning.



6.3. Analyse af arketyperne

På baggrund af kortlægningen af arketyperne er der lavet en analyse af døgnmiddel- minimum- og maksimumtemperaturer. Den er beregnet for de 15 forskellige arketyper om sommeren (juni) og vinteren (december) ved en indblæsningstemperatur på 20°C og forskellige dimensionerede luftstrømme tilsvarende indeklimaklasserne I til IV angivet i standarden "DS/CEN/TR 16798-2:2019. Se de forskellige døgnmiddeltemperaturer i Tabel 3.

Tabel 3: Døgnmiddel- minimum- og maksimumtemperaturer beregnet for de 15 forskellige arketyper om sommeren og vinteren ved en indblæsningstemperatur på 20°C og forskellige dimensioneret luftstrømme tilsvarende indeklimaklasserne angivet i standarden "DS/CEN/TR 16798-2:2019".

		Døgnmiddeltemperatur	Klassisk					Modernistisk					Nutidig				
			Enkeltmandskontor	Storrumskontor	Mødelokale	Bestyrelseslokale	Auditorie	Enkeltmandskontor	Storrumskontor	Mødelokale	Bestyrelseslokale	Auditorie	Enkeltmandskontor	Storrumskontor	Mødelokale	Bestyrelseslokale	Auditorie
Sommer (juni)	Minimum	Indeklimaklasse I	22,3	24,0	19,3	18,6	18,3	22,7	24,2	17,7	17,9	18,6	24,6	25,0	19,5	19,0	18,5
		Indeklimaklasse II	23,3	25,8	20,5	19,5	19,5	23,7	25,9	18,7	18,7	19,7	26,5	27,6	20,6	20,0	19,8
		Indeklimaklasse III	25,1	28,0	23,0	20,9	21,8	25,5	28,1	20,0	19,8	22,1	30,7	31,3	23,2	22,2	22,5
		Indeklimaklasse IV	26,1	30,3	26,0	22,0	24,1	26,5	30,4	21,9	21,1	24,4	33,6	36,2	26,1	24,1	25,2
	Døgnmiddel	Indeklimaklasse I	25,4	25,3	21,9	21,9	22,2	25,4	25,2	20,8	21,3	22,2	27,7	26,1	21,9	22,3	22,4
		Indeklimaklasse II	26,3	26,9	22,6	22,5	23,0	26,3	26,8	21,3	21,8	23,0	29,6	28,5	22,6	23,0	23,3
		Indeklimaklasse III	28,0	28,9	24,6	23,6	24,9	28,0	28,9	22,0	22,5	24,8	33,6	32,1	24,6	24,8	25,5
		Indeklimaklasse IV	29,0	31,1	27,3	24,5	26,8	28,9	31,1	23,4	23,5	26,8	36,5	36,9	27,3	26,6	28,2
	Maksimum	Indeklimaklasse I	28,6	26,5	24,4	25,5	26,1	28,1	26,3	24,0	24,7	25,8	30,8	27,2	24,2	25,5	26,2
		Indeklimaklasse II	29,4	27,9	24,8	25,5	26,6	28,9	27,7	23,9	24,8	26,3	32,6	29,4	24,6	26,0	26,8
		Indeklimaklasse III	31,0	29,8	26,2	26,3	27,9	30,5	29,7	24,1	25,2	27,6	36,5	32,9	26,1	27,4	28,5
		Indeklimaklasse IV	31,9	31,9	28,5	27,0	29,5	31,4	31,8	24,9	25,9	29,2	39,3	37,5	28,5	29,0	30,8
Vinter (december)	Minimum	Indeklimaklasse I	14,8	19,2	19,3	15,2	16,8	16,5	20,4	17,7	15,3	17,0	19,2	22,3	19,5	16,7	17,3
		Indeklimaklasse II	14,6	19,6	20,5	15,1	17,4	16,6	21,1	18,7	15,3	17,7	19,9	23,8	20,6	17,2	18,2
		Indeklimaklasse III	14,1	19,9	23,0	14,7	18,6	16,8	22,0	20,0	15,3	19,2	21,4	26,0	23,2	18,4	20,4
		Indeklimaklasse IV	13,9	20,3	26,0	14,2	19,7	16,8	22,9	21,9	15,1	20,6	22,3	28,7	26,1	19,6	22,8
	Døgnmiddel	Indeklimaklasse I	18,2	20,6	21,9	18,7	20,8	20,3	21,9	20,8	19,5	21,3	22,6	23,5	21,9	21,4	22,0
		Indeklimaklasse II	17,8	20,7	22,6	18,3	21,1	20,3	22,5	21,3	19,4	21,8	23,2	24,8	22,6	21,8	22,8
		Indeklimaklasse III	17,3	20,9	24,6	17,6	21,8	20,4	23,3	22,0	19,1	22,9	24,6	26,8	24,6	22,9	24,7
		Indeklimaklasse IV	16,9	21,2	27,3	17,0	22,6	20,4	24,1	23,4	18,8	24,2	25,5	29,5	27,3	24,0	26,9
	Maksimum	Indeklimaklasse I	21,5	21,9	24,4	22,2	24,9	24,0	23,4	24,4	23,8	25,6	26,0	24,6	24,2	26,0	26,7
		Indeklimaklasse II	21,1	21,9	24,8	21,5	24,9	24,0	23,9	23,9	23,4	25,9	26,5	25,8	24,6	26,4	27,3
		Indeklimaklasse III	20,4	21,9	26,2	20,5	25,0	24,0	24,5	24,1	22,9	26,7	27,8	27,7	26,1	27,3	28,9
		Indeklimaklasse IV	20,0	22,1	28,5	19,7	25,4	24,0	25,3	24,9	22,4	27,7	28,7	30,2	28,5	28,3	31,0



Døgnmiddeltemperaturen anvendes til at vurdere det termiske indeklime og se hvordan arketyperne differencierer sig fra hinanden. Samtidig vurderes det hvor stort behovet for køling og opvarmning er, hvilket kan blive dækket af ventilationen. Beregningen af døgnmiddeltemperaturen baseres på en række bygningstekniske og anvendelsesorienterede parametre defineret for de 15 forskellige arketyper og vejrrelativerede tabelværdier.

I Tabel 1 og Tabel 2 er specifikationerne på arketyperne listet. Beregningerne er foretaget i programmet bSimFast (udviklet af Christian Drivsholm, Teknologisk Institut)³.

Formlen tager højde for bygningens varmeakkumuleringsevne og at det tager 5-6 dage at opnå termisk balance. Derudover tages der også højde for solafskærmning. Den grundlæggende formel for døgnmiddeltemperaturen er angivet herunder:

$$\theta_i = \frac{H_T \times \theta_u + H_V \times \theta_v + \frac{Q_i + Q_{sol}}{24}}{H_T + H_V}, \text{ hvor}$$

$$\theta_i = \text{Døgnmiddeltemperaturen, rummet, } C^\circ$$

$$H_T = \text{Det specifikke varmetab ved transmission til udeluften, } \frac{W}{C^\circ}$$

$$H_V = \text{Det specifikke varmetab ved ventilation, } \frac{W}{C^\circ}$$

$$\theta_v = \text{døgnmiddeltemperaturen for ventilationluftens indblæsningstemperatur, } C^\circ$$

$$Q_i = \text{Samlede varmeafgivelse over døgnet fra interne varmekilder, } \frac{Wh}{\text{døgn}}$$

$$Q_{sol} = \text{Samlede varmebelastning over døgnet fra solindfald, } Wh/\text{døgn}$$

Udover det termiske indeklime blev det atmosfæriske indeklime analyseret ved at beregne CO₂ koncentrationen i lokalerne. CO₂ koncentrationen varierer ikke afhængig af bygningstypologien, men kun lokale-typen. CO₂ koncentrationen ved den definerede anvendelse af lokalerne er angivet i

Tabel 4.

Fortyndingsligningen anvendes til at beregne forureningskoncentrationen. Ligningen beskriver den forurenede rumlufts fortynding. Fortyndingsligningen⁴ efter uendelig lang tid skrives således:

$$c_\infty = c_e + \frac{q_m}{V}$$

Hvor c_∞ er indeluftens koncentration i mg/m³, c_e er udeluftens koncentration i mg/m³, q_m er den tilførte forurening i mg/h og V er luftstrømmen i m³/h.

Tilføres forureningerne kontinuerligt, vil der med tiden indstille sig en ligevægt mellem tilført og fjernet forurening og ligningen kan reduceres til (forudsat perfekt opblanding):

³ Formel stammer fra SBI-Anvisning 196 Indeklimahåndbogen 2. udgave.

⁴ Formel stammer fra Danvak Varme- og Klimateknik Grundbog 2. udgave



$$c_{op} = \frac{q}{V \cdot n} + c_i$$

Tabel 4: Højeste teoretisk CO₂-koncentration i de forskellige lokaletyper ved defineret personbelastning og luftstrømme tilsvarende indeklimaklasserne angivet i standarden "DS/CEN/TR 16798-2:2019".

CO ₂ Koncentration [ppm]	Enkeltmandskontor	Storrumskontor	Mødelokale	Bestyrelseslokale	Auditorie
Indeklimaklasse I	798	751	935	678	966
Indeklimaklasse II	935	916	1147	783	1197
Indeklimaklasse III	1364	1213	1706	1064	1790
Indeklimaklasse IV	1837	1742	2446	1430	2573

På baggrund af definitionerne af arketyperne og beregninger på det termiske og atmosfæriske indeklima blev de væsentligste behov til ventilationen og kendetegn beskrevet. Metodisk fungerede det samlet som input til den endelige kortlægning af mulige kombinationer af arketyper og indblæsningssystemerne sammen med testresultaterne. Beskrivelserne tog udgangspunkt i de 5 forskellige lokaletyper:

- **Enkeltmandskontor:** Ventilationsprincippet skal kunne give køling og til dels opvarmning. Det ses at døgnmiddeltemperaturen varierer meget (20 grader) fra 16,9 til 36,5 i forhold til bygningstypologien over året. For den klassiske bygningsstil er der et opvarmningsbehov, hvilket, der ikke er ved den modernistiske og nutidige byggestil. Ved nutidig byggestil er der et stort kølebehov om sommeren. Vær opmærksom på risikoen ved træk ved indblæsning af store luftmængder, der kan dække kølebehovet. Der er normal loftshøjde på ca. 2,5 meter, og personen vil opholde sig tæt på armaturet, hvor lufthastighederne vil være højere. Der er et moderat friskluftbehov (max CO₂-koncentration på 1400-1800 ppm) ved indeklimaklasse III og IV. Det friskluftsbehov som den mekaniske ventilation eventuelt ikke kan dække, bør kunne blive dækket af at brugeren selv ved at åbne/lukke et vindue på de fleste tidspunkter af året. I et enkeltmandskontor skal man kun tage hensyn til egne komfortpræferencer. Problematikker omkring brugen af naturlig ventilation og risikoen for træk generelt vægtes mindre ved denne lokaletype.
- **Storrumskontor:** Ventilationsprincippet skal kunne give køling om sommeren og til dels også om vinteren. Varmebehovet er begrænset og er ikke dimensionerende. Døgnmiddeltemperaturen varierer fra ca. 20 - 38 grader over året. Der er et større kølebehov for lokalet bygget efter den nutidige byggestil i forhold til klassisk og modernistisk byggestil. Det skyldes forventeligt det større glasareal. Vær opmærksom på træk ved indblæsning der kan dække kølebehovet. Friskluftbehovet bliver typisk dækket af behovet for køling. Ventilationsprincippet skal imødekomme flere forskellige typer/brugere og det kan være udfordrende at kombinere med naturlig ventilation, eftersom lokalet samtidig er dybt og møbleret. Ventilationsløsningen skal kunne skabe god opblanding, da brugerne vil være placeret spredt. Her skal man tage højde for at loftshøjden er fastsat til 3 meter.



- **Mødelokale:** Ventilationsprincippet skal kunne dække et stort friskluftbehov, når der er personer til stede. Temperaturen er stabil og uafhængig af årstiden. Friskluftbehovet er dimensionerende. Temperaturen i lokalet er i høj grad påvirket af luftstrømmen. Loftshøjden er 3 meter og folk sidder forholdsmeæssigt tæt. Døgnmiddeltemperaturen ligger mellem 20,8 og 27,3 grader hen over året. Indblæsningssystemet skal egne sig særligt godt til isoterme forhold. Naturlig ventilation er ikke en mulighed, da rummet ikke har vinduer til det fri.
- **Bestyrelseslokale:** Ventilationsprincippet skal kunne dække et stort varmebehov om vinteren. Ved indblæsning med varm luft skal der være opmærksomhed omkring opblanding. Om sommeren kan der i de varmeste perioder opstå høje temperaturer, men det er ikke dimensionerende. Friskluftbehovet er begrænset, da der typisk er lav persontæthed. Der er glas i to af facaderne, hvilket kan påvirke valget af indblæsningssystemeft. montering - tænk også eft. potentielt kuldeneafald. Loftshøjden er 3 meter. Der vil være få forstyrrende elementer i lokalet, der vil begrænse luftens bevægelse og forhindre god opblanding.
- **Auditorie:** Ventilationsprincippet skal kunne dække et stort friskluftbehov, når der er personer til stede. Der er 6m højt til loftet og langt ind til midten. Ventilationsprincippet skal kunne fordele luften på et stort volumen - både højde og bredde. Det kan være udfordrende at sikre, at folk placeret centralt får frisk luft. Hav fokus på indblæsningssystemets strømningsmønster samt lufthastighed. Der er ikke et opvarmningsbehov. Der er et lille kølebehov, som typisk vil blive dækket af friskluftbehovet. Temperaturen er generelt ensartet og varierer primært pga. luftstrømmen og ikke eft. bygningstypen.

6.4. Udvalgelsen af indblæsningssystemer

Ventilation af et kontorlokale kan designes og luftskiftet tilvejebringes på et utal af måder. Denne del af projektet havde til formål at udpege og definere et hensigtsmæssigt antal af ventilationsløsninger, der senere skulle kombineres med arketyper og præsenteres i værktøjet.

Som det skrives i bygningsreglementet⁵, har ventilationen primært til formål at sikre, at der er tilfredsstillende luftkvalitet og fugtforhold i en bygning. Udover det komfort- og sundhedsmæssige aspekt er det betydende for beskyttelsen af bygningens konstruktion. Sekundært kan ventilationen anvendes til at temperere luften og bidrage til at skabe et ønsket termisk indeklima. I relation til opholdslokaler i kontorejendomme beskrives det i Bygningsreglementet kun, at dimensionering af ventilationen sker under hensyn til rummets størrelse og anvendelse. Samlet betyder det, at der er valgfrihed med hensyn til design af ventilationsløsningen. Fra friskluftsbehov til endeligt valg af ventilationsløsning, gennemgår man en række trin angivet herunder.

Følgende overvejelser i forbindelse med afgrænsning af projektet og udvælgelse af løsninger til test er blevet gjort:

⁵ <https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/22/Krav>



- 1) Dimensionering af luftstrømme: Indledende bestemmes lokalets behov for friskluft og fastsættes efter den indeklimaklasse, som ønskes at blive opretholdt. Der er ikke fundet argument for, at dimensionering har indflydelse på det videre valg af ventilationsprincip og armatur, da ventilationsløsninger normalt kan skaleres ved alm. komfortbehov.
- 2) Valg af ventilationsprincip: Er kendetegnet ved kombinationen og placering af indblæsning, udsugning, anvendelsen af naturlig ventilation og hvordan luften skal strømme mellem disse punkter. Ved komfortventilation anvendes ventilationsprincippet konventionel og fuldstændig opblanding og alm. fortrængning oftest. Der findes en række mere avancerede ventilationsprincipper, som ofte anvendes i lokaler med stor forurening og ved industri. F.eks. passiv og aktiv termisk fortrængning og stempelfortrængning. Løsninger af denne type er ofte meget installationstunge og anvendes i praksis ikke i kontorejendomme, selvom de vil kunne levere et tilfredsstillende indeklima.

Projektet er afgrænset til kun at omfatte indblæsningssystemer. I kontorejendomme tilvebringes luftsiftet sjældent udelukkende ved anvendelse af udsugning i opholdsrum. Oftere ses det, at ventilationsløsningen er balanceret og består af både indblæsning og udsugning i samme lokale eller bare af et indblæsningssystem. I dette projekt ses der bort fra udsugning og dens indvirkning på strømninger, trykforhold og indeklimaet i rummet. Det skyldes, at indblæsningen i større grad påvirker opblandingen og trækforholdene, eftersom lufthastigheder skabt af indblæsning er betydeligt højere. Derudover kan lufttemperaturen ved indblæsning nemmere temperaturreguleres og systemet kan derved anvendes til køling eller opvarmning af lokalet. Valget af udsugningsløsning ved komfortventilation bør derfor også have en minimal betydning for valget af indblæsningssystem, set fra et ventilationsteknisk perspektiv.

- 3) Valg af armatur: Er jævnført ovenstående begrænset til kun at omfatte armaturer, der på producenternes anvisning egner sig til indblæsning. Udvalget er afgrænset yderligere ved at frasortere særlige typer af systemer:
 - Vandbaserede indblæsningssystemer som f.eks. kølebafler.
 - Decentrale aggregater monteret direkte i lokale med integreret armatur.
 - Nicheprodukter som kun produceres af én fabrikant.
 - Bygningsintegrerede løsninger, der vil være specifik efter den pågældende bygning.

Der findes et utal af indblæsningssystemer, som er egnede til komfortventilation af kontorlokaler. Samtidig findes typerne i mange designvariationer, materialer og størrelser alt efter producenten. I udvælgelsen af indblæsningssystemerne til testene har der været fokus på at udvælge karakteristiske systemer, der adskiller sig fra hinanden og som er repræsentative for markedet af tilgængelige løsninger. Kortlægningen af indblæsningssystemerne har foregået ved systematisk at gennemgå leverandørerne på det danske markeds produktudvalg og kategorisere dem på tværs. Det blev sammenlagt til 12 forskellige kategorier/indblæsningssystemer, der repræsenterer de væsentligste produkter på markedet. Producenterne involveret i projektet leverede deres foretrukne produkt indenfor kategorien og det blev

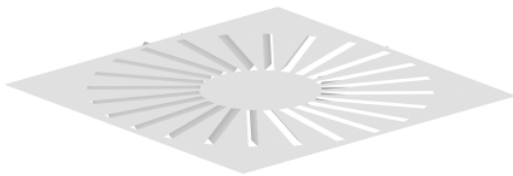


dimensioneret på anvisning af testscenarierne. De udvalgte indblæsningssystemer er listet og illustreret i Tabel 5.

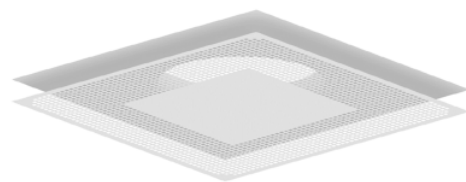
- 4) Antal og placering af armatur: Vil ved normal design og projektering spille en rolle og blive valgt ud fra de installationstekniske muligheder. Det kan have betydning for indblæsningsmønsteret fra det enkelte armatur og derved påvirke det afledte indeklima. Følgende parametervariation negligeres og der måles og analyseres på de enkelte armaturer, selvom lokalerne påkræver brug af flere armaturer for at levere den dimensioneret luftstrøm. Det vurderes at give det mest retvisende billede af indblæsningssystemets egenskaber, hvilket skaber værdi i projektet.

Tabel 5: Illustrationer og navne på de 12 udvalgte indblæsningssystemer.

Rotationsarmatur



Perforeret kvadratisk plade



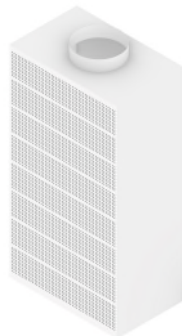
Uperforeret cirkulær plade



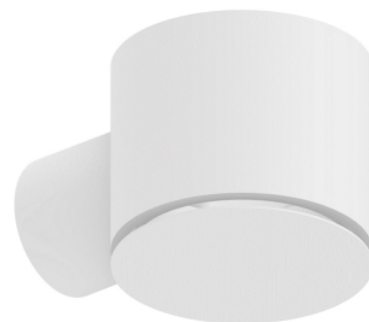
Dyse



Fortrængning



Frithængende cirkulær uperforeret

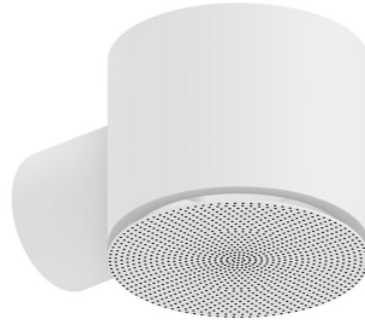




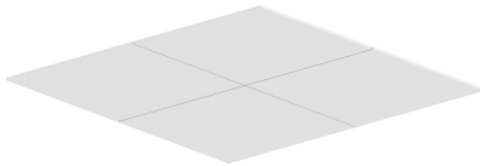
Rundrørsrist



Frithængende cirkulær perforeret



Diffuse loftsplader



Højimpuls poseindblæsning



Lavimpuls poseindblæsning



Gulvrist



Efter kortlægningen og udvælgelse af indblæsningssystemerne blev eksisterende teknisk- og salgsmateriale omkring indblæsningssystemerne indsamlet og gennemgået. Det havde til formål at undersøge de ventilationstekniske egenskaber ved systemerne og forskellene mellem dem. Mængden af detaljeret data var begrænset og materialet generelt af varierende kvalitet. Det blev ikke fundet muligt at gennemføre en ensartet og direkte sammenligning mellem indblæsningssystemerne, som kunne danne fundament for det videre arbejde. Heriblandt udpege værdifulde kombinationer af de forskellige indblæsningssystemerne. På baggrund heraf blev det besluttet i projektgruppen at de første tests skulle supplere det eksisterende produktmateriale og vise de grundlæggende ventilationstekniske egenskaber ved systemerne. Senere i projektet blev det besluttet, at det vil være mere gavnligt og værdifuldt i praksis at undersøge kombinationerne mellem arketyperne og indblæsningssystemerne nærmere. Det var fremfor at undersøge kombinationerne af de enkelte indblæsningssystemer. Det blev samtidig vurderet,



at man i praksis sjældent er villig til yderligere komplicere det installationsmæssigt ved at anvende flere systemer end strengt nødvendigt.

7. Teststrategi og -metode

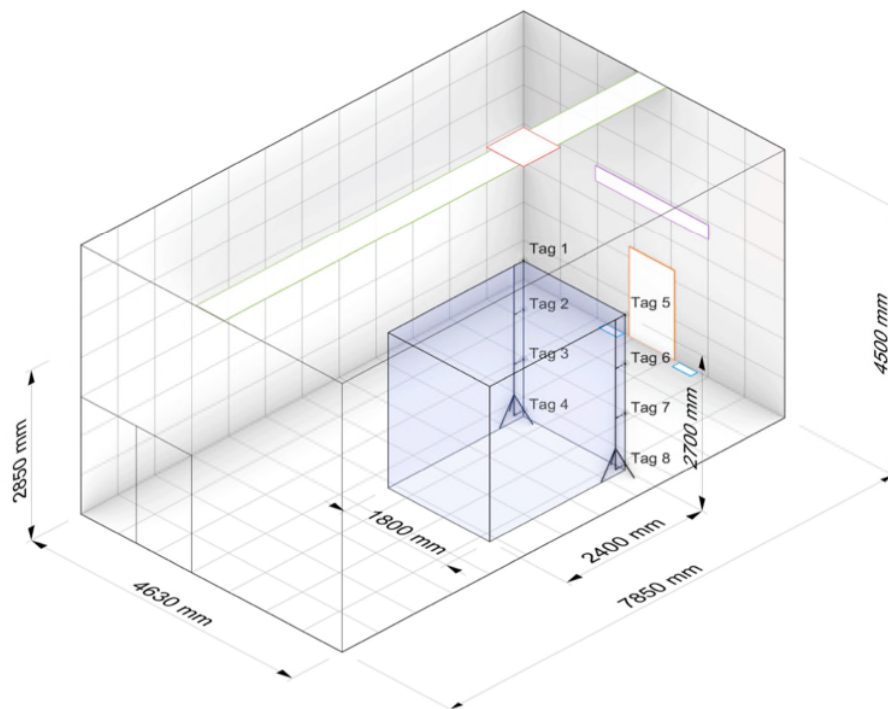
I følgende afsnit er teststrategien for de udvalgte armaturer beskrevet samt metoden til at analysere de enkelte armaturer.

7.1. Laboratorieopstilling og -udstyr

De 12 forskellige indblæsningssystemer blev testet enkeltvis i Indeklimalaboratoriet på Teknologisk Institut. Det enkelte armatur blev monteret efter vejledning fra producenten og luftstrømmen blev reguleret til dimensioneret luftstrøm.

Der blev målt lufthastighed, turbulensintensitet og temperatur med målesystemet ComfortSense 3.5 fra Dantec Dynamics. Målesystemet består af retningsbestemte komfortprober, der blev placeret på to stativer med fire sensorer hver. Den enkelte sensor har en usikkerhed på 0,02 m/s i intervallet 0,2 m/s til 1,0 m/s. I hvert punkt måles hastigheden hvert halve sekund i et tidsinterval på 3 minutter hvorefter gennemsnitsværdien bestemmes.

Målezonen (2,7 x 1,8 x 2,4 m) er i nedenstående figur markeret med blå. Målezonens placering på diagrammet var gældende for samtlige af indblæsningssystemerne monteret i loftet. For armaturerne placeret langs væggen blev målezonen rykket – relevante ændringer fremgår af det projektudviklede digitale værktøj.



Figur 2: Indeklimalab med målezone (blå markering) og to stativer med komfortprober (Tag 1-8).



Stativerne med komfortproberne blev for hver test af det enkelte armatur placeret som vist på Figur 2 og rykket 0,6 meter ned gennem målezonen. Dette resulterede i 5 måleplan for hver test. Målesystemet omfatter en beregningsmodel, der kan interpolere mellem de forskellige målepunkter og generere individuelle konturplot af de forskellige måleparametre indenfor definerede intervaller.

Komfortproberne (noteret Tag 1 til 8) blev monteret på hvert stativ i højderne angivet i Tabel 6:

Tabel 6: Komfortprobernes placering ved samtlige måleplan.

	Stativ 1 og 2
Tag 1 og Tag 5	2,70 m
Tag 2 og Tag 6	1,80 m
Tag 3 og Tag 7	0,95 m
Tag 4 og Tag 8	0,10 m

Stativ 1 blev placeret langs midterlinjen af indeklimalaboratoriet og stativ 2 blev placeret 0,6 meter fra ydervæggen.

Nogle af armaturerne skulle ifølge producenten monteres som frithængte under loft, hvilket resulterede i at de kom ned i målezonen og den øverste komfortprobe på stativ 1 (Tag 1) blev derfor justeret ned til undersiden af armaturet.

Alle armaturer blev monteret efter anvisning af producent. Lofthængte armaturer blev monteret i loftet markeret med rød firkant i Figur 2. Poseindblæsning blev monteret som vist med det grønne rektangel. Gulv indblæsning blev monteret som vist med de to blå rektangler i gulv, indblæsningsrist blev monteret som vist med lilla rektangel og fortrængningsarmatur blev monteret på bagvæggen markeret med orange firkant.

Alle armaturer blev testet ved almindelig loftshøjde på 2,85 m og ved høj loftshøjde på 4,5 m.

Udenfor målezonen blev der placeret en rumtemperaturmåler og en globetemperaturmåler samt en temperaturmåler i kanalen umiddelbart før indblæsningsluften blæses ind i laboratoriet.

I forbindelse med Indeklimalaboratoriet, er der installeret et ventilationsanlæg med trinløs styring af indblæsningsluften samt temperaturstyring. Temperaturen af indblæsningsluften blev reguleret direkte via anlægget. Luftmængden blev grov indreguleret via anlægget og finjusteret ved hjælp af en målebøjning eller traversering. En yderligere kontrol af indblæsningsluften blev foretaget med en TSI Accubalance tragt eller SWEMA-tragt – dog kun for de armaturer der har en størrelse mindre end 60 x 60 cm.



7.2. Testscenarier

De 12 forskellige indblæsningssystemer blev testet af to omgange. I den første omgang blev systemerne testet tre gange ved henholdsvis isotherm indblæsningstemperatur og ved opvarmet og afkølet indblæsningluft i forhold til den operative temperatur. Der blev ikke ændret på andre forsøgsparametre i første forsøgsrunde. Resultaterne blev anvendt til at sammenligne armaturerne direkte op imod hinanden og undersøge hvilke yderligere parametervariationer, der ville være mest værdifulde at inkludere i anden omgang - dette blev gjort ved en workshop med samarbejdsvirksomhederne. Anden omgang omfattede 8 forskellige testscenarier, hvor også luftstrømmen, rumhøjden og varmelastningen varierede. Samlet blev der gennemført 132 forskellige testkombinationer mellem indblæsningssystemerne og testparametre.

Den valgte fremgangsmetode betød at armaturerne blev monteret og demonteret af to omgange. Testene blev gennemført hen over en periode på ca. 10 måneder. Det betød at temperaturforskellene mellem den operative- og lufttemperatur og indblæsningsluften varierede relativt i forhold til hinanden mellem omgangene. Følgende havde en indvirkning på måleresultaterne eftersom f.eks. beregningen af træk bl.a. er afhængig af de faktiske temperaturer og ikke udelukkende temperaturforskellen. Temperaturerne og luftstrømmene målt ved testene er vist i Bilag 1.

Testscenarierne var kombinationer af fire forskellige parametre:

- **Indblæsningstemperatur:** Ved isotherm indblæsning var temperaturen ca. 20-21 grader. Målingerne startede når der var tilfredsstillende termisk balance og indblæsningstemperaturen, lufttemperaturen og den operative temperatur var indenfor 1 grad. Ved køling og opvarmning startede målingerne når indblæsningstemperaturen var 4-8 grader lavere eller højere end den aktuelle operative temperatur. Ved køle- og varmescenarierne ændrede temperaturforskellen sig grundet den køle- eller varmeeffekt, der blev afgivet til rummet.
- **Luftstrøm:** Indblæsningen var dimensioneret efter arealet af laboratoriet til 644 m³/h tilsvarende den bedste indeklimaklasse for konferencelokaler jf. DS/CEN/TR 16798-2:2019 Kategori I⁶ og kan teoretisk være fordelt ud på flere armaturer. Producenterne, der leverede armaturerne, dimensionerede antallet og størrelsen af armaturerne. I praksis blev der kun testet på ét armatur og luftstrømmen korrigeret ift. det dimensionerede antal. Denne forsimpelse var mulig eftersom luftkvaliteten ikke blev målt.

Mellem første og anden testrunde blev det besluttet at teste indblæsningssystemerne ved én ekstra luftstrøm. Udover at forøge det samlede datagrundlag til den videre analyse blev det også muligt at vurdere potentialet for VAV-styring. Luftstrømmen var fordoblet ved de pågældende testscenarier. Det bemærkes, at armaturerne ikke var dimensioneret til den dobbelte luftstrøm, men den blev undersøgt for helhedens skyld eftersom luftstrømmen betragtes som en afgørende parametervariation. Der var ingen udsugning.

⁶ DS/CEN/TR 16798-2:2019: *Energy performance of buildings – Ventilation for buildings – Part 2: Interpretation of the requirements in EN 16798-1 – Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting, and acoustics (Module M1-6)*



- **Rumhøjde:** Normal rumhøjde var 2,85 meter som standard og 4,5 meter ved øget loftshøjde. Nogle af armaturerne var frithængende, hvilket havde betydning for afstanden mellem gulv og starten af luftstrålen.
- **Varmebelastning:** Simuleret ved brug af 4 varmetønder, som hver har et overfladeareal tilsvarende en person. Den samlede effektafgivelse var 400 Watt. Der var ikke nogen varmebelastning, der skulle simulere udstyr. Den tilstedeværende LED-belysning i laboratoriet afgav minimal varmebelastning og havde ikke betydende indvirkning på de termiske luftstrømninger i testrummet.

De 11 forskellige testscenarier er vist i Tabel 7 herunder.

Tabel 7: De forskellige kombinationer af testparametre, der udgjorde de elleve forskellige testscenarier.

Testscenarie	Indblæsningstemperatur	Luftstrøm	Rumhøjde	Varmebelastning
1	Isoterm	Dimensioneret	Normal	Slukket
2	Køling	Dimensioneret	Normal	Slukket
3	Opvarmning	Dimensioneret	Normal	Slukket
4	Isoterm	Dimensioneret	Høj	Slukket
5	Køling	Dimensioneret	Høj	Slukket
6	Isoterm	Dobbelt	Høj	Slukket
7	Køling	Dobbelt	Høj	Slukket
8	Isoterm	Dobbelt	Normal	Slukket
9	Køling	Dobbelt	Normal	Slukket
10	Isoterm	Dimensioneret	Normal	Tændt
11	Køling	Dimensioneret	Normal	Tændt

Målingerne blev foretaget uden personer til stede i laboratoriet og døren til laboratoriet var lukket.

Målingerne og registreringerne af parametrene beskrevet i Tabel 7, udgør sammen med data fra ComfortSense det samlede datagrundlag for den videre analyse af indblæsningssystemerne.

7.3. Analyse af testresultaterne

Hovedformålet med analysen af testresultaterne var at parre indblæsningssystemerne med de forskellige arketyper efter deres behov. Parringen var på baggrund af indblæsningssystemets lufttekniske egenskaber. Følgende var grundlaget for den efterfølgende udvikling af værktøjet.

Analysen var kvalitativ og alle indblæsningssystemerne blev analyseret enkeltvis og derved ikke rangeret op imod hinanden. Hvert indblæsningssystem blev først parret med de bedst egnede arketyper. Det var baseret på arketypernes forskellige behov, som beskrevet i afsnit 6. Hvis nogen af arketyperne efterfølgende kun var blevet parret med mindre end to indblæsningssystemer, blev de udgangspunktet for analysen og modsat parret med de bedst egnede indblæsningssystemer. Dette dannede et samlede løsningsrum, hvor alle indblæsningssystemer og arketyper var blevet kombineret og bragt i anvendelse.



Denne metode tilgodeser producenterens interesser og peger samtidig på mere alternative anvendelsesmuligheder af indblæsningssystemerne. Hver arketype blev parret med 2-4 forskellige indblæsningssystemer. Det medfører desværre også, at det ikke nødvendigvis er de definitivt bedst egnede indblæsningssystemer man bliver præsenteret for.

Metoden er fundet anvendelig eftersom brugerne altid bliver præsenteret for en alternativ løsningsmulighed. Det skal ligeledes inspirere brugerne af værktøjet i de tidlige designfaser og bidrage til at nedbryde vanetænkning. Derudover var det ikke muligt indenfor projektets rammer at opstille en kvantitativ analysemetode, der ville kunne analysere og rangere de 1980 forskellige kombinationer mellem de 12 indblæsningssystemer, 15 arketyper og 11 testscenarier.

Selve den kvalitative analyse foregik ved at gennemse og sammenligne videoerne af 3D-konturplottene fra målingerne genereret af ComfortSense. I analysen blev der fokuseret på parametrene:

- **Lufthastigheden:** Blev anvendt til at undersøge indblæsningssystemets evne til at skabe opblanding i måle- og opholdszonen. Opblandingen er særlig vigtig for luftkvaliteten; god opblanding skabes når der ikke er stillestående og potentielt forurenede luft. Det er afgørende i hvilken grad ventilationen er i stand til at skabe bevægelse i luften og bortlede og fortynde den forurenede luft. Det foregår ved de undersøgte indblæsningssystemer, som er til komfortventilation, ved at frisk luft blæses ind og driver luften sammen med de termiske kræfter. Ved energieffektiv ventilation vil opblanding skulle sikres ved et så lavt luftskifte som muligt.
- **Trækfaktoren:** I bygningsreglementet §425 står der, at det skal sikres ved tilføjelsen eller fjernelse af luft til et rum med stillesiddende aktivitet, at trækfaktoren ikke overstiger 20 % i opholdszonen. Det blev som udgangspunkt anvendt som grænseværdi ved analyse af indblæsningssystemerne, når det skulle vurderes ved hvilke testscenarier princippet kan anvendes. Parameteren beskriver hvor stor en andel af brugerne, der ikke vil opleve termisk komfort. Trækfaktoren beregnes på baggrund af bl.a. lufttemperaturen, som derved ikke blev betragtet isoleret. Forholdsmæssige store lufthastigheder og turbulensintensiteter blev målt, eftersom flere af komfortproberne var placeret relativt tæt på armaturerne. Det medfører en usikkerhed i beregningen af trækfaktoren, men ændrer ikke på resultatet af analysen.
- **Køle- og varmekapacitet:** Indblæsningssystemets evne til at varme- og køle blev vurderet ved at betragte testscenarierne hvor indblæsningstemperaturen var underafkølet eller opvarmet i forhold til den aktuelle operative temperatur. Temperaturforskellene blev sammenholdt med indblæsningssystemernes evne til at skabe tilfredsstillende opblanding og minimere risikoen for træk i opholdszonen. Systemet kan påvirke disse to grundlæggende egenskaber både negativt og positivt i forhold til ved isotherm indblæsning. Ved testene varierede temperaturforskellene, hvilket blev taget i betragtning.

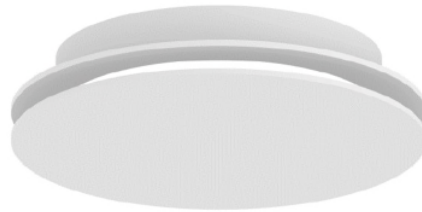


7.4. Eksempel på analyse af indblæsningssystem

Samtlige måle- og analyseresultater fremgår af værktøjet og er ikke præsenteret i nærværende rapport. Datamængden er fundet for stor og den primære data er videomateriale. Analysen af én af de 12 indblæsningssystemer vises her som eksempel på metode og formatet af testmålingerne.

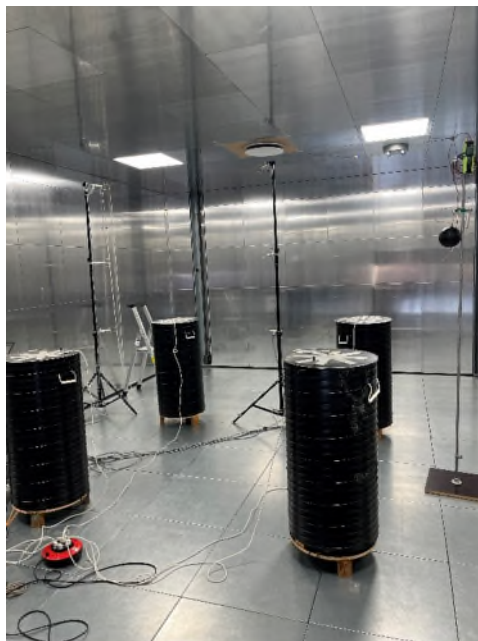
Uperforeret cirkulært armatur

Indblæsningssystemet består af et armatur, som monteres i en trykfordelingsboks, der sikrer at luften fordeler sig og indblæses korrekt cirklen rundt. Armaturet integreres med loftløsningen. Oftest indbygges det i nedhængt loftssystem. Luften blæses derved vertikalt ind under loftet. Selve armaturet er afbilledet på Figur 3.



Figur 3: Illustration af uperforeret cirkulært armatur til indbygning.

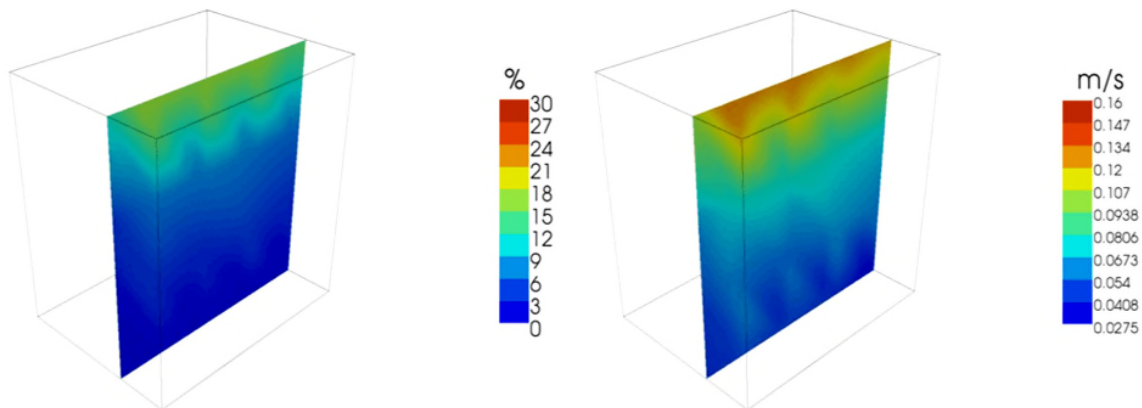
Der blev testet på ét armatur, som ved en luftstrøm på 322 m³/h dækkede halvdelen af rummets dimensionerede behov. Testopstillingen er vist på Figur 4. Ventilationsprincippet er konventionel opblanding.



Figur 4: Test af det uperforeret cirkulært armatur i indeklimalaboratoriet ved testscenarie 10 med intern varmebelastning.

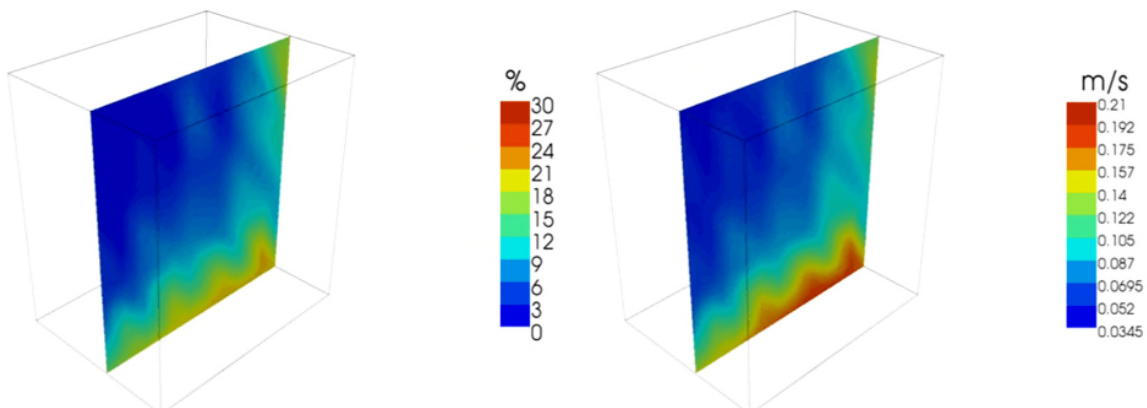


De primære måleresultater fra 3 ud af de 11 testscenarier er vist som eksempel på Figur 5 (testscenarie 3), Figur 6 (testscenarie 5) og Figur 7 (testscenarie 6) for det uperforeret cirkulært armatur. Se Tabel 7 for parametervariationen mellem de forskellige testscenarier. For detaljer vedrørende de tilhørende målte indblæsnings-, luft- og operative temperaturer, samt luftstrømme se Tabel 9 og Tabel 10 i bilaget.



Figur 5: Måleresultater fra test på uperforeret cirkulært armatur vist ved konturplot af trækfaktoren og lufthastigheden. Målinger er fra testscenarie 3, hvor indblæsningsluften var opvarmet i forhold til rumtemperaturen.

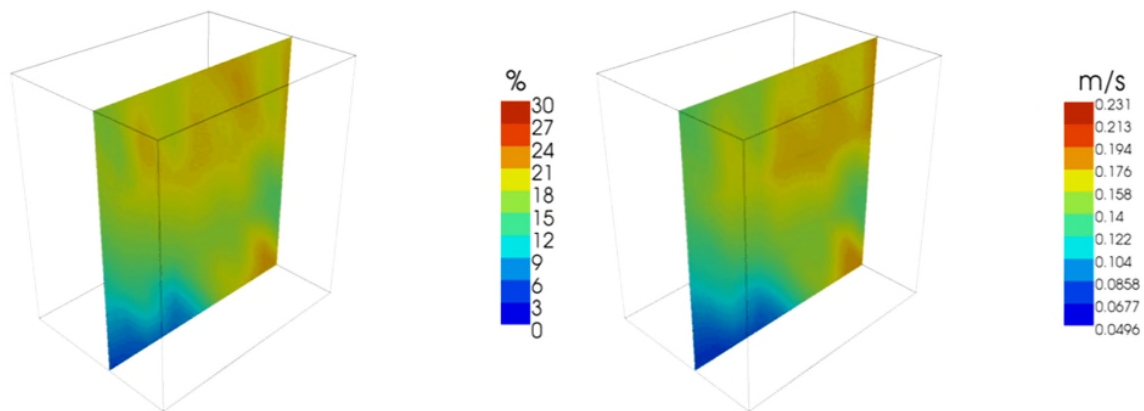
Det ses på Figur 5, at der ikke blev målt uacceptable høje trækfaktorer i målezonen, hvilket er positivt. Indenfor selve opholdszonen er trækfaktoren under 10%, hvilket opfattes som meget lavt i betragtning af, at målingerne var i nærheden af indblæsningsarmaturet. Ved at betragte lufthastigheden på det højere plot ses det, at lufthastighederne i opholdszonen var meget lave. Særligt ved tæt afstand til gulvet. Samtidig var lufthastigheden væsentlig højere øverst i målezonen oppe under loftet. Dette er forventelig eftersom luften udelukkende blev blæst direkte ind under loftet og ikke direkte ned i opholdszonen. Indblæsningsluften var i dette testscenarie opvarmet, hvilket betød at luften primært forblev oppe under loftet. De termiske kræfter og indblæsningshastigheden genererede bevægelse nok i luften, hvilket er nok til at skabe lidt opblanding i rummet. Dermed vurderes det at indblæsningssystemet egner sig til lokaler med et opvarmningsbehov og lav loftshøjde, men man skal sikre sig at luften trænger ned i opholdszonen.



Figur 6: Måleresultater fra test på uperforeret cirkulært armatur vist ved konturplot af trækfaktoren og lufthastigheden. Målinger er fra testscenarie 5, hvor indblæsningsluften var underafkølet i forhold til rumtemperaturen og loftet hævet.



Der skabes helt andre indeklimatiske forhold i opholdszonen, når loftet er hævet og indblæsningsluften er underafkølet, som vist på Figur 6. Her ses det, at der primært er luftbevægelse og der vil blive oplevet træk langs gulvet. Konturplottene indikerer at efter luften blæses ind under loftet, løber den ned langs væggene og hen over gulvet. Her forbliver det meste af luften eftersom den er koldere og derved tungere end den resterende luft. Eftersom luften trænger ned opholdszonen og derefter vil blive opvarmet og stige langsomt op, vil luften blande sig med den resterende luft. Det skaber hensigtsmæssigt opblanding. Lufthastigheden og -temperaturforholdene er forholdsmæssigt gunstige, men der er en mindre risiko for træk ved anklernerne. Indblæsningssystemet egner sig til køling ved lave luftstrømme men ikke ved dobbelt luftstrøm. Det fremgår også af de øvrige måleresultater, som ikke er præsenteret i nærværende rapport.



Figur 7: Måleresultater fra test på uperformeret cirkulært armatur vist ved konturplot af trækfaktoren og lufthastigheden. Målinger er fra testscenarie 6, hvor indblæsningstemperaturen var isotherm, luftstrømmen fordoblet og loftet hævet.

Det sidste eksempel på måleresultater fra testene af det cirkulære uperformerede indblæsningsarmatur fremgår af Figur 7. Her ses det, at der er stor og homogen opblanding af luften i det meste af målezonen. Der forekommer lidt mindre luftbevægelse langs gulvet end det resterende område. Eftersom indblæsningstemperaturen samtidig er isotherm, medfører det kun en minimal risiko for træk. I det ikke viste tilsvarende eksempel, hvor loftshøjde var lav, var der træk i hele opholdszonen. Samlet vurderes det, at indblæsningssystemet egner sig til større luftstrømme i højloftet lokaler ved isotherme forhold.

På baggrund af analyse af samtlige 11 testscenarier og karakteristika og behovene ved arketyperne, er det blevet konkluderet at det uperformerede cirkulære armatur bedst egner sig til brug i kombination med arketyperne afkrydset i Tabel 8.

Tabel 8: De 6 bedst egnede kombinationer mellem de 15 arketyper for uperformerede cirkulære armaturer.

Enkeltmandskontor			Storrumskontor			Mødelokale			Bestyrelseslokale			Auditorie		
Klassisk	Modernistisk	Nutidig	Klassisk	Modernistisk	Nutidig	Klassisk	Modernistisk	Nutidig	Klassisk	Modernistisk	Nutidig	Klassisk	Modernistisk	Nutidig
X	X								X	X		X	X	



8. Værktøj til valg af indblæsningssystem

I det følgende beskrives værktøjet, herunder de bagvedliggende principper, samt hvordan det bør anvendes i praksis af målgruppen.

8.1. Principper ved værktøj

Værktøjet er udarbejdet ved brug af Visual Basic for Applications (VBA) i Excel til Windows-styresystemet. Brugen af Excel som platform gør værktøjet bredt tilgængeligt for målgruppen, der indbefatter rådgivere, arkitekter og øvrige ejendomsudviklere, som arbejder i byggesektoren. Værktøjet kan anvendes i forbindelse med nybyggeri og omfattende renovering af kontorejendomme, hvor et kvalificeret valg om indblæsningssystemet kan gavne den tidlige projekteringsfase. Dermed præsenterer værktøjet egnede indblæsningssystemer baseret på relevante arketyper, som kan inspirere brugeren.

Værktøjet baseres på analyser af måleresultater fra laboratorietest af de 12 indblæsningssystemer, som udgør en repræsentativ del af tilgængelige produkter på det danske marked. Måleresultaterne er gjort tilgængelig som videomateriale af trækfaktoren og lufthastigheden illustreret ved kontourplots.

8.2. Værktøjet i praksis

Det følgende beskriver de primære elementer af værktøjet og er eksemplificeret i Figur 8.

1. Introduktion til værktøj:

- Ved opstart af værktøjet bliver man præsenteret for general information om principperne bag værktøjet og en beskrivelse af projektet hvorved værktøjet er et produkt.
- Man introduceres til forsøgsopstillingen, laboratoriemetodikken og testscenarierne med parameterforudsætninger.

2. Start – Vælg Arketype:

- Efter introduktionen skal brugeren vælge en passende arketype ved at kombinere en lokaltype og bygningstypologi. Brugeren filtrerer mellem 5 lokaletyper, som typisk forekommer i kontorejendomme, og 3 danske bygningstypologier.
- Hver lokaletype og bygningstypologi har tilhørende beskrivelser, samt specifikationer, som benyttes til beregning af arketypens resulterende indeklimategenskaber. Disse kan benyttes til sammenholde egne specifikationer for projekt.

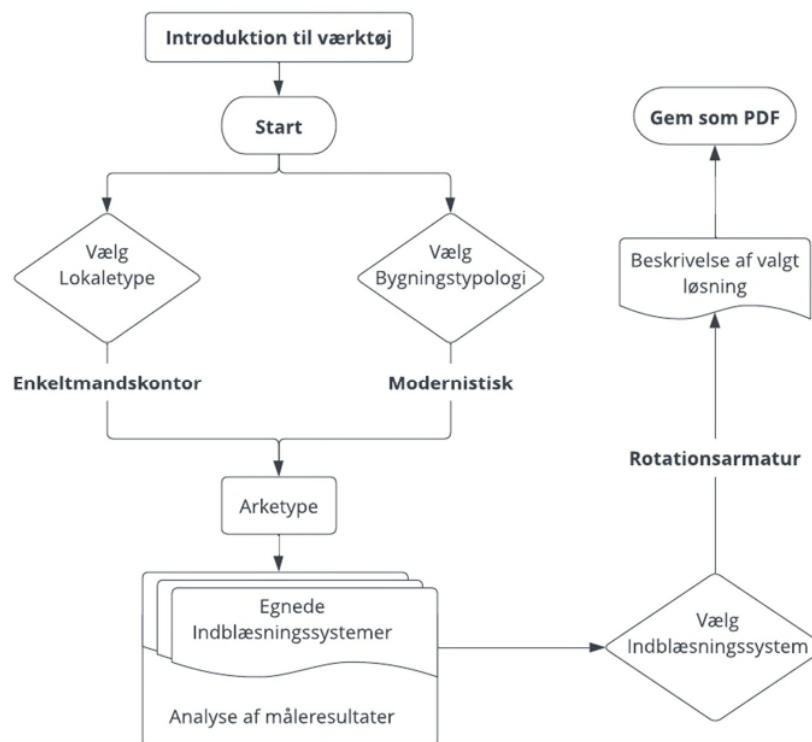
3. Egnede indblæsningssystemer:

- Ved valg af arketype præsenteres brugeren for en række egnede indblæsningssystemer, som repræsenterer løsninger, der kan tilvejebringe et tilfredsstillende indeklimategenskab.
- Brugeren vælger selv det system, som findes bedst egnet i det pågældende projekt ved at vurdere hvert af de udvalgte indblæsningssystemer og deres tilhørende analyse af måleresultater. Ligeledes kan brugeren drage egne konklusioner ved at analysere kontourplots fra videomaterialet.



4. Vælg indblæsningssystem:

- Ved et endeligt systemvalg genereres en beskrivelse af den valgte løsning, der kan gemmes som PDF. Løsningsbeskrivelsen indeholder information om indblæsningssystemet, samt leverandører af ventilationskomponenter præsenteret i værktøjet, der kan benyttes i det videre projektarbejde.



Figur 8: De primære elementer til valg af indblæsningssystem. Arketypen dannes af Enkeltmandskontor for lokaletypen og Modernistisk for bygningstypologien, hvormed Rotationsarmatur er valgt som indblæsningssystem fra løsningsrummet.



9. Potentialet for energibesparelser

En forudsætning for at kunne sammenligne og dokumentere energibesparelser, som konsekvens af det valgte indblæsningssystem, er at løsningerne skaber det samme indeklima i opholdszonen.

Indenfor de kravmæssige rammer i et projekt, er det simpelt at ændre driften af ventilationssystemet, hvis man ønsker at opnå energibesparelser. Denne besparelse er relativ, da brugerne teoretisk ikke får det samme indeklima for det samme energiforbrug. En energimæssig optimering på den enkelte ventilationsløsning kan dog sagtens føre til samtidig optimering af indeklima.

Det er en præmis i projektet, at værktøjet skal hjælpe brugerne med at vælge det mest hensigtsmæssige indblæsningssystem, der kan levere et tilfredsstillende indeklima. Hvis brugerne vælger et andet indblæsningssystem end de udvalgte i værktøjet, er det med en anden garanti for at indeklimaet potentielt vil være tilfredsstillende. Konsekvensen er ofte, at der skal kompenseres for det dårlige indeklima. Det medfører typisk et forøget energiforbrug. Alternativt vil brugerne i mindre grad være tilfredse med indeklimaet.

Resultaterne i dette projekt leder derfor indirekte til energibesparelser, eftersom værktøjet frasorterer mindre egnede indblæsningssystemer, hvilket potentielt minimerer risikoen for dårligt design af det samlede indblæsningssystem.

For at undersøge de faktiske energiforbrug og kortlægge potentielle energibesparelser ved forskellene mellem indblæsningssystemerne, burde forsøgene have været designet omvendt.

Ved de forskellige testscenarier på tværs af indblæsningssystemerne, blev de forskellige forsøgsparametre der ses i Tabel 7 fastholdt. Resultatet af testene var forskellene imellem det skabte indeklima.

Hvis det var det omvendte forsøgsdesign, havde man varieret de ventilationstekniske parametre f.eks. luftstrømmen og temperaturen indtil man potentielt opnåede et specifikt indeklima. Besparelse kunne dermed beregnes på baggrund af forskellene mellem de ventilationstekniske parametre.

Det store potentiale for energibesparelser ligger i at reducere luftstrømmen og temperering af luften til et absolut minimum. Det er derfor vigtigt, at indblæsningsløsningen bliver korrekt dimensioneret således, at der ikke skal bruges unødigt energi på at få luften ned/hen i opholdszonen. Når luftstrømmen øges, vil tryktabet i hele kanalsystemet øges og ventilatorens driftspunkt vil blive ændret, hvilket kan have en negativ effekt på virkningsgraden.

Proportionalitetslovene gælder typisk for komfortventilationssystemer og kan bruges til at give et overblik over potentialet for energibesparelserne. Når luftstrømmen halveres, reduceres tryktabet til en fjerdedel og når luftstrømmen fordobles, øges trykket til det firdobbelte.

Samlet set giver det at effekten reduceres til en ottendedel når luftstrømmen halveres (forudsat at virkningsgraden af ventilatoren er den samme).

Energiforbruget til ventilation er et produkt af følgende væsentlige parametre:

- Luftstrøm: Elforbrug til drift af ventilatorer. En reducere på 50% i luftstrømmen medfører en reduktion i effektoptag på 87,5 % (Sammenhæng jf. proportionalitetslovene: $0,50^3$).
- Temperaturregulering af indblæsningsluft: Indenfor komfort-temperaturområdet kræver det en effekt på 0,22 kW af ændre temperaturen med én grad ved den dimensionerende luftstrøm på



644 m³/h. Energiforbrug relateret varme- og køleflader stammer oftest fra el- eller fjernvarme-baseret kilder.

- Tryktab over armatur: Ventilatoren leverer normalt tryktab til det samlede ventilationssystem, hvoraf tryktabet hen over indblæsningssystemet varierer alt efter produktet. En trykforøgelse på 1 Pa ved dimensioneret luftstrøm på 644 m³/h medfører et forøget effektoptag på 0,179 W.
- Driftstid: Er i projektet defineret ved lokaletyperne og varierer kun relativt mellem indblæsningssystemerne. Samtlige reduktioner i driftstid ved justering af luftstrømme og temperering af luften har en direkte indvirkning af energiforbruget jf. ovenstående beskrivelser. En reduktion på 50% af det samlede tryktab i kanalsystemet medfører en reduktion i effektoptaget på 75 %. (Sammenhæng jf. proportionalitetslovene: 0,50²).
- Virkningsgrad af ventilator og varmegenvinder: Er afgørende for det samlede energiforbrug, men har ingen direkte sammenhæng til valget af indblæsningssystemet.

Foruden designet af ventilationsløsningen og valg af indblæsningssystem, er styring og regulering af parametrene stærkt medvirkende til at skabe en driftsmæssig energioptimering. Dette relaterer sig også til valget af indblæsningssystem og dets reguleringsmuligheder. For at systemet egner sig til f.eks. til VAV-styring er det vigtigt at indblæsningsarmaturerne kan levere et tilfredsstillende indeklima ved varierende luftstrømme og eventuelt varierende temperaturer samt at ventilatorens virkningsgrad er høj i hele arbejdsområdet.

Generelle betragtninger og perspektiver i forbindelse med energibesparelser, relateret valget af ventilationsprincip, er i projektet blevet undersøgt og beskrevet i et studie, se Bilag 2.

Ved udbredelse af værktøjet er potentialet for opnåelse af fremtidige energibesparelser stort. Behovet for at renovere og bygge nye kontorejendomme er konstant. Samtidig er der fokus at udvikle ejendomme i en mere bæredygtig retning, hvor indeklima og energi er nøgleområder. Der fokuseres i projektet på indblæsningsdelen af det samlede ventilationssystem. Det er ofte muligt at udskifte og ændre den del uden at gøre større indgreb i konstruktionen og ændre de øvrige installationer af omfattende karakter. Værktøjet kan dermed ofte komme i anvendelse og skabe et forbedret indeklima og minimere sandsynligheden for et unødigt energiforbrug.



10. Konklusion

I de indledende faser blev markedet for indblæsningssystemer kortlagt og repræsentative produkter for de enkelte kategorier blev udvalgt. Muligheden for at kombinere produkterne blev diskuteret og undersøgt.

På baggrund af møder med de involverede virksomheder viste det sig, at der ikke var tilstrækkeligt grundlag for at opstille og undersøge kombinationer af forskellige indblæsningssystemer. Det blev synliggjort, at det vil skabe mere værdi at undersøge indblæsningssystemerne nærmere enkeltvis og sammenligne deres indeklimategenskaber på tværs af teknologierne. Det blev grundlaget for det videre arbejde.

Der blev opstillet 15 generiske arketyper for lokale- og bygningstyper i kontorejendomme. Det var muligt at analysere deres ventilationsbehov ved beregning af rumtemperatur og den maksimale CO₂-koncentration. I projektet blev der blevet gennemført en betragtelig mængde laboratorietest, hvor 12 forskellige indblæsningssystemer blev testet ved 11 forskellige testscenarier hvor loftshøjden, indblæsningstemperaturen, luftstrømmen og varmebelastningen varierede.

Testopstilling og -scenarier var baseret på arketyperne. Målingerne af de enkelte armaturer er et primært resultat i projektet, som ikke var til stede inden projektet.

Analysen af trækforholdene og opblandingen i opholdszonen blev foretaget. Valget af indblæsningssystem havde som forventet markant betydning for oplevelsen af komfort.

Måleresultaterne blev benyttet til at udvikle slutproduktet i projektet, et digitalt værktøj udviklet til valg af indblæsningssystem. Som output af værktøjet vælger brugeren et indblæsningssystem blandt en række løsningsmuligheder, der kan anvendes som dimensioneringsgrundlag for det videre arbejde. Det er muligt at energieffektivisere ved brug af værktøjet og optimere det termiske og atmosfæriske indeklima for en bestemt mængde energi, hvilket kan lede til energibesparelser. Værktøjet kan komme i anvendelse ved renoveringer og nybyggeri og skabe et forbedret indeklima, hvilket kan minimere sandsynligheden for et unødigt energiforbrug.

Værktøjet er udviklet til, at det efter endt projektperiode kan videreudvikles og udvides med flere variationer af arketyper og indblæsningssystemer.

Der har været interesse for at undersøge interaktion mellem mekanisk indblæsning og naturlig ventilation nærmere. Det var ikke muligt indenfor projektets rammer at forøge antallet af laboratorietest og inkludere denne komplekse parametervariation. Der er således potentiale for videreudvikling af konceptet og det anbefales at undersøge dette nærmere, da det vurderes at kunne lede til yderligere energibesparelser.



11. Perspektivering

Dimensionering af ventilation og luftstrømme i rum bliver ofte baseret på meget enkle antagelser. Dette munder ud i at ventilationen kan være forkert dimensioneret og der opstår træk og indeklimateæssige udfordringer, når bygningerne tages i brug. Dette projekt har undersøgt indblæsningssystemerne i fuld skala og ikke blot ved beregning eller simulering med CFD eller lign. metode. Formålet er at klæde rådgivere ordentlig på til at vælge det bedst egnede indblæsningssystem til det enkelte projekt.

Projektet har udviklet et værktøj til inspiration og valg af indblæsningssystem. Værktøjet henvender sig til fagpersoner, der arbejder med ventilationsteknisk, nærmere bestemt rådgivere, arkitekter og øvrige ejendomsudviklere, der kan gøre brug af værktøjet i den tidlige design fase.

Værktøjet kan anvendes i forbindelse med nybyggeri og omfattende renovering af kontorejendomme, hvor et kvalificeret valg om indblæsningssystemet i de tidlige projektfaser kan gavne i de senere projekteringsfaser.

Værktøjet giver inputs til egnede indblæsningsløsninger baseret på valg af lokaletype og bygningstypologi. Værdien af værktøjet ligger i at brugeren får brudt med vanetænkning og får udvidet horisonten til valg af korrekt og passende indblæsningsløsning.

Værktøjet er baseret på fuldskala test af de enkelte indblæsningssystemer og kan udvides med nye indblæsningssystemer ved at få dem fuldskala testet i indeklimalab på Teknologisk Institut.

Værktøjet vil (af Teknologisk Institut) blive vedligeholdt løbende i forbindelse med at nye indblæsningssystemer eventuelt bliver tilføjet.

Der er i projektet dannet et særdeles stort datagrundlag for de 12 indblæsningssystemer. Dette datagrundlag eksisterede ikke tidligere.

Alle 12 principper er blevet fuldskala testet ved isoterme forhold, med køling, med opvarmning, ved høj luftstrøm, dimensioneret luftstrøm, ved forskellig loftshøjde og med intern varmebelastning. Denne datamængde kan fremadrettet danne grundlag for videreudvikling af værktøjet med eventuel tilføjelse af kombination af de enkelte indblæsningssystemer samt tilføjelse af nye indblæsningssystemer.

Datagrundlaget kan fremadrettet også bruges til at udvikle konkrete styringsstrategier, der kan bidrage til driftsoptimering og lede til yderligere energibesparelser.



12. Formidling

Projektets aktiviteter og resultater vil blive formidlet gennem Indeklimaets Temadag der afholdes årligt på Teknologisk institut.

I løbet af projektperioden er projektet blevet formidlet gennem en Elforsk nyhed i november 2021.

Derudover vil værktøjet blive brugt i forbindelse med kurserne Grundlæggende Ventilationsteknik 1 og Grundlæggende Ventilationsteknik 2, der hver afholdes 2-3 gange årligt på Teknologisk Institut.

Projektets resultater vil blive formidlet til projektdeltagerne via en workshop, hvor værktøjet vil blive præ-senteret og prøvet af i praksis.

Ved projektafslutning vil Teknologisk Instituts sociale medier blive brugt til at eksponere værktøjet og projektet.



13. Bilag 1

Tabel 9: Temperaturer og luftstrømme målt ved de forskellige forsøgsscenarier i første forsøgsrunde.

Indblæsningssystem	Testscenarier	Luftstrøm, dimensioneret, [m³/h]	Luftstrøm, målt [m³/h]	Indblæsningstemperatur, [degC]	Operativ temperatur, [degC]	Luft temperatur, [degC]
Rotationsarmatur	Isoterm	300	325	21	20,7	-
	Køling	300	339	16,0 - 16,5	20-20,5	-
	Opvarmning	300	350	27	21	-
Perforeret kvadratisk plade	Isoterm	322	300	19,4-21,3	21,3	-
	Køling	322	325	14,9 - 14,4	19,5 - 18,6	-
	Opvarmning	322	335	23,1-23,7	19,4-19,8	-
Uperforeret cirkulær	Isoterm	322	300	19,7	20,2	-
	Køling	322	325	16	21,5	20,3
	Opvarmning	322	313	24,3-24,8	19,8-20,1	20,1-20,3
Dysearmatur	Isoterm	300	300	20-20,1	19,8-20	19,9-20
	Opvarmning	300	300	24,9	20,4	20,3
	Køling	300	319	16,0-15,6	19,2-19	20,0-18,6
Fortrængningsarmatur	Isoterm	644	644	19,5-19,5	20,3-19,9	19,8-19,7
	Køling	644	644	14,3 - 13,6	20,2-18,2	19,7-18,2
	Opvarmning	644	644	26,2-26,8	21,7-22,8	21,7-22,8
Frithængende cirkulær uperforeret	Isoterm	322	309	23,1 - 23,0	23,2 - 23,0	23 - 23,0
	køling	322	330	18,6 - 18,8	24,9 - 23,7	24,2 - 23,5
	opvarmning	322	330	28,4 - 28,5	24,8 - 25,5	24,6 - 25,0
Rundrørsrist	Isoterm	644	686	20,2 - 20,3	20,6 - 20,5	20,3 - 20,4
	køling	644	657	14,2 - 13,6	20,8 - 18,6	20 - 18,1
	opvarmning	644	686	23,6 - 25,5	20 - 21,6	19,5 - 21,4
Frithængende cirkulær perforeret	isoterm	322	295	22,1	22,7	22,3
	køling	322	339	17,6 - 16,7	21,9 - 21,2	21,7 - 20,9
	opvarmning	322	339	26,7 - 27,1	22 - 22,9	21,6 - 22,4
Diffuse loftplader	isoterm	128	130	19,8	20,3	20,2
	køling	128	135	15,1	19,6	19,9
	opvarmning	128	134	24,6 - 23,6	20,3-20,4	19,8-21,6
Poseindblæsning - fint perforeret og høj impuls	Isoterm	644	649	19,8	20,4	20,6
	køling	644	638	11,2 - 14,9	19,4 - 18,1	19,6-18,1
	Opvarmning	644	680	25,9 - 27,4	22,8 - 22,6	22,2 - 23,1
Poseindblæsning - fint perforeret	Isoterm	644	640	19,7 - 19,8	20,3 - 20,2	20,1 - 20,0
	Køling	644	640	15,4 - 14,9	20,2 - 17,8	20,3 - 18,1
	Opvarmning	644	653	23,2 - 23,6	19,3 - 20,6	20,1 - 21,1
Gulvrister	Isoterm	322	331	21,1 - 21,2	21,7 - 21,7	21,6 - 21,7
	Køling	322	307	14,6 - 15,0	20,0 - 19,7	19,5 - 19,2
	Opvarmning	322	312	26,4 - 26,4	21,4 - 21,7	21,1 - 21,7



Tabel 10: Temperaturer og luftstrømme målt ved de forskellige forsøgsscenarier i anden forsøgsrunde.

Indblæsningssystem	Testscenarie		Luftstrøm, dimensioneret, [m ³ /h]	Luftstrøm, målt [m ³ /h]	Indblæsningstemperatur, [degC]	Operativ temperatur, [degC]	Lufttemperatur, [degC]
Rotationsarmatur	Øget loftshøjde (Dimensioneret luftstrøm)	isoterm	300	303	20,4-20,4	20,6-20,8	20,5-20,6
		køling	300	295	13,9-13,8	20,0-19,7	20,0-19,5
	Øget loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	600	597	20,3-20,4	20,3-20,6	20,3-20,5
		køling	600	599	12,8-12,9	19,0-18,6	18,8-18,2
	Normal loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	600	599	19,9-19,9	20,4-20,4	20,3-20,3
		køling	600	596	13,0-13,9	19,2-18,3	18,6-17,9
	Varmebelastning (Dim. luftstrøm & normal loftshøjde)	isoterm	300	307	19,8-20,3	20,3-21,0	20,0-20,6
		køling	300	306	15,1-15,4	21,6-20,2	21,1-19,8
Perforeret kvadratisk plade	Øget loftshøjde (Dimensioneret luftstrøm)	isoterm	300	309	20,3-21,1	20,9-21,0	20,7-20,9
		køling	300	304	13,8-13,5	19,9-19,0	20,0-18,9
	Øget loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	600	595	20,6-20,7	20,8-20,9	20,6-20,8
		køling	600	591	12,7-14,7	18,6-18,3	18,1-18,0
	Normal loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	600	600	20,6-20,2	21,0-20,9	20,8-20,8
		køling	600	590	15,8-13,3	21,8-18,8	21,8-18,7
	Varmebelastning (Dim. luftstrøm & normal loftshøjde)	isoterm	300	306	21,0-21,1	21,6-22,1	21,2-21,7
		køling	300	305	14,6-14,8	20,4-20,4	19,8-19,7
Uperforeret cirkulær	Øget loftshøjde (Dimensioneret luftstrøm)	isoterm	300	301	20,5-20,5	20,4-20,5	20,4-20,4
		køling	300	305	14,3--14,6	20,2-19,7	20,3-19,5
	Øget loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	600	603	20,4-20,4	20,4-20,4	20,3-20,4
		køling	600	606	13,3-13,7	19,5-19,0	19,2-18,7
	Normal loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	600	603	20,3-20,3	20,3-20,3	20,2-20,2
		køling	600	605	13,7-13,8	19,9-18,6	19,7-18,2
	Varmebelastning (Dim. luftstrøm & normal loftshøjde)	isoterm	300	305	20,2-20,3	20,7-21,0	20,3-20,6
		køling	300	301	14,2-13,2	20,4-19,6	20,2-19,2
Dysearmatur	Øget loftshøjde (Dimensioneret luftstrøm)	isoterm	300	305	20,6-20,4	20,5-20,4	20,3-20,4
		køling	300	307	14,4-14,8	20,5-19,6	20,4-19,4
	Øget loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	600	605	20,3-20,3	20,3-20,3	20,2-20,3
		køling	600	601	13,0-13,3	19,3-18,6	19,0-18,1
	Normal loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	600	608	20,3-20,3	20,2-20,2	20,0-20,1
		køling	600	603	13,3-13,4	19,4-17,9	19,2-17,5
	Varmebelastning (Dim. luftstrøm & normal loftshøjde)	isoterm	300	303	20,6-20,5	20,9-21,3	20,5-20,9
		køling	300	307	14,8-14,6	21,4-20,5	20,8-19,9
Fortrængningsarmatur	Øget loftshøjde (Dimensioneret luftstrøm)	isoterm	644	637	21,1-21,1	21,4-21,5	21,4-21,4
		køling	644	632	14,6-14,1	20,4-19,2	20,8-19,7
	Øget loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	1288	1277	21,2-21,3	21,3-21,4	21,2-21,2
		køling	1288	1282	14,5-14,6	20,4-18,2	20,6-18,0
	Normal loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	1288	1282	20,9-21,2	20,6-21,2	20,8-21,1
		køling	1288	1282	14,2-14,3	20,1-19,7	20,1-19,9
	Varmebelastning (Dim. luftstrøm & normal loftshøjde)	isoterm	644	643	21,1-21,0	21,4-21,8	21,4-21,6
		køling	644	643	14,7-13,5	20,1-19,5	20,3-19,9
Frithængende cirkulær uperforeret	Øget loftshøjde (Dimensioneret luftstrøm)	isoterm	322	320	20,6-20,5	20,7-20,7	20,7-20,7
		køling	322	325	15,5-15,4	21,3-19,7	21,3-19,7
	Øget loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	644	644	20,4-20,4	20,6-20,6	20,6-20,6
		køling	644	650	14,1-14,0	20,1-18,6	20,2-18,4



	Normal loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	644	643	20,4-20,4	20,6-20,6	20,4-20,5
		køling	644	648	14,2-14,0	20,2-18,3	20,2-17,9
	Varmebelastning (Dim. luftstrøm & normal loftshøjde)	isoterm	322	323	20,6-20,6	21,1-21,6	20,9-21,2
		køling	322	323	15,3-15,5	21,5-20,8	21,3-20,2
Rundrørsrist	Øget loftshøjde (Dimensioneret luftstrøm)	isoterm	644	645	21,1-21,1	20,8-21,0	20,7-21,0
		køling	644	639	13,7-13,6	19,7-19,1	19,8-19,3
	Øget loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	1288	1281	21,2-21,2	21,2-21,2	21,1-21,1
		køling	1288	1288	18,7-17,2	12,7-12,8	18,8-16,8
	Normal loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	1288	1282	21,2-21,2	21,2-21,2	21,2-21,2
		køling	1288	1280	13,6-12,9	19,5-17,5	19,5-17,3
	Varmebelastning (Dim. luftstrøm & normal loftshøjde)	isoterm	644	647	21,0-21,0	20,6-21,4	20,3-21,1
		køling	644	639	13,7-13,8	19,6-19,4	19,4-19,1
Frithængende cirkulær perforeret	Øget loftshøjde (Dimensioneret luftstrøm)	isoterm	322	325	20,7-20,6	20,8-20,8	20,8-20,7
		køling	322	325	15,5-15,4	21,3-19,7	21,3-19,7
	Øget loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	644	644	20,5-20,4	20,7-20,6	20,6-20,6
		køling	644	647	14,2-14,3	20,0-18,7	20,1-18,4
	Normal loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	644	643	20,2-20,4	20,3-20,4	20,2-20,3
		køling	644	648	14,1-14,1	20,1-18,4	20,2-18,1
	Varmebelastning (Dim. luftstrøm & normal loftshøjde)	isoterm	322	320	20,5-20,6	20,4-21,4	20,4-21,1
		køling	322	316	15,4-15,4	21,6-20,9	21,4-20,3
Diffuse loftplader	Øget loftshøjde (Dimensioneret luftstrøm)	isoterm	128	134	20,1-20,0	20,6-20,7	20,5-20,6
		køling	128	128	15,3-14,8	20,3-19,6	20,1-19,5
	Øget loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	256	258	19,7-19,9	20,7-20,6	20,6-20,5
		køling	256	253	14,3-14,7	20,5-19,5	20,3-19,9
	Normal loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	256	261	20,2-20,2	20,6-20,6	20,4-20,5
		køling	256	259	14,3-12,5	20,4-19,2	20,1-18,9
	Varmebelastning (Dim. luftstrøm & normal loftshøjde)	isoterm	128	133	21,4-21,0	21,5-21,8	20,9-21,5
		køling	128	130	14,3-14,1	20,1-20,3	19,8-19,9
Poseindblæsning Fint perforeret og høj impuls	Øget loftshøjde (Dimensioneret luftstrøm)	isoterm	644	649	20,5-20,4	20,5-20,5	20,6-20,6
		køling	644	650	14,0-14,0	19,9-18,3	19,9-18,3
	Øget loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	1288	1293	20,4-20,3	20,4-20,6	20,4-20,5
		køling	1288	1294	13,3-13,9	19,2-17,7	19,3-17,5
	Normal loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	1288	1292	20,3-20,4	20,5-20,4	20,4-20,4
		køling	1288	1288	13,2-13,3	19,3-17,3	19,3-17,1
	Varmebelastning (Dim. luftstrøm & normal loftshøjde)	isoterm	644	656	20,4-20,4	20,5-21,0	20,4-20,7
		køling	644	654	14,1-13,5	20,1-19,0	20,1-18,7
Poseindblæsning Fint perforeret	Øget loftshøjde (Dimensioneret luftstrøm)	isoterm	644	657	20,4-20,4	20,4-20,4	20,4-20,4
		køling	644	651	20,2-19,1	14,4-14,2	20,3-19,0
	Øget loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	1288	1296	20,4-20,4	20,6-20,5	20,4-20,5
		køling	1288	1289	13,3-13,2	19,3-17,6	19,2-17,4
	Normal loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	1288	1291	20,0-20,3	20,2-20,4	20,0-20,3
		køling	1288	1293	13,6-13,8	19,5-17,1	19,5-17,1
	Varmebelastning (Dim. luftstrøm & normal loftshøjde)	isoterm	644	649	20,6-20,5	20,2-21,3	20,4-21,0
		køling	644	647	14,0-14,3	20,0-19,4	19,7-19,0
Gulvrist	Øget loftshøjde (Dimensioneret luftstrøm)	isoterm	322	331	19,8-20,3	20,0-20,3	20,0-20,2
		køling	322	319	14,5-13,0	21,0-19,3	20,9-19,2
	Øget loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	644	642	20,4-20,3	20,6-20,6	20,4-20,5
		køling	644	646	14,6-13,7	20,7-19,5	20,3-19,2
	Normal loftshøjde (Dobbelt luftstrøm)	isoterm	644	644	20,3-20,4	21,0-20,8	20,8-20,6
		køling	644	632	14,7-15,2	19,6-19,7	19,2-19,4
	Varmebelastning (Dim. luftstrøm & normal loftshøjde)	isoterm	322	324	21,3-21,3	21,7-22,0	21,4-21,6
		køling	322	319	14,1-14,4	20,0-20,2	19,6-20,0



14. Bilag 2

Følgende er et studie af energisparepotentialet ved at vælge det korrekte ventilationssystem til det enkelte projekt.

14.1. Energy savings by optimizing ventilation principles.

Ventilation systems play a crucial role in maintaining healthy indoor air quality and energy efficiency in buildings. High ventilation efficiency can be achieved through a combination of natural ventilation and mechanical ventilation. Natural ventilation is the process of supplying and removing air through passive means such as windows, doors, and vents, while mechanical ventilation relies on fans and ducts to control the flow of air.

Combining natural and mechanical ventilation can be especially effective in reducing energy consumption.

For example, natural ventilation can be used during mild weather conditions, while mechanical ventilation can be employed during extreme weather conditions. This can save energy by reducing the need for HVAC systems to always operate at full capacity.

Additionally, combining different ventilation principles, such as exhaust ventilation and supply ventilation, can further improve energy efficiency. Exhaust ventilation works by removing used air from the building, while supply ventilation provides fresh air from outside. By combining these principles, a building can maintain a constant supply of fresh air while minimizing the energy required to heat or cool the incoming air.

Maintaining high ventilation efficiency is crucial for ensuring a healthy and comfortable indoor climate in a room. Ventilation plays a critical role in removing pollutants and contaminants from the air, regulating temperature and humidity levels, and preventing the buildup of harmful substances such as carbon dioxide and mold.

Indoor air quality

One of the primary functions of ventilation is to supply fresh air and remove used air. Without proper ventilation, indoor air can become stagnant and contaminated, leading to a host of health problems such as headaches, fatigue, respiratory issues, and allergies. This is particularly true in areas where people spend a lot of time, such as offices, classrooms, and homes.

In addition to maintaining good indoor air quality, ventilation also plays a crucial role in regulating temperature and humidity levels. Proper ventilation helps to prevent excessive moisture buildup, which can lead to the growth of mold, as well as discomfort for occupants. Ventilation can also help to regulate indoor temperature by bringing in fresh air from outside, which can help to cool or warm a room depending on the outside temperature.

Ventilation systems play a critical role in maintaining a comfortable indoor environment, both in terms of air quality and temperature. Properly designed and implemented ventilation systems can help to achieve a good atmospheric indoor climate, as well as a good thermal indoor climate.

To achieve a good atmospheric indoor climate, it is essential to ensure that the ventilation system delivers clean, fresh air to the room. This can be accomplished by maintaining a proper supply temperature, which



ensures that the air entering the room is neither too hot nor too cold. In general, a supply temperature between 18°C and 22°C is considered ideal for most indoor spaces.

In addition to supply temperature, it is also important to maintain the correct airflow rate to the room. This is typically measured in liter/s pr. m² floor area and is determined by factors such as room size, occupancy, and equipment. A well-designed ventilation system should provide enough airflow to keep the air fresh and comfortable without causing excessive noise or discomfort.

A good thermal indoor climate is equally important, as it helps to ensure occupant comfort and productivity. To achieve a good thermal indoor climate, the ventilation system must be designed to maintain a consistent temperature throughout the room. This is typically accomplished using ductwork and diffusers, which distribute the air evenly and help to prevent hot or cold spots.

Additionally, the ventilation system should be designed to work in conjunction with the building's heating and cooling systems to ensure that the temperature remains within a comfortable range. This may involve the use of sensors and controls to regulate airflow and temperature, as well as insulation and other building features to prevent heat loss or gain.

In summary, achieving a good atmospheric and thermal indoor climate requires a well-designed ventilation system that provides clean, fresh air at the correct temperature and airflow rate. By ensuring proper ventilation, building owners and managers can help to create a comfortable, healthy, and productive indoor environment.

Overall, high ventilation efficiency is crucial for maintaining a healthy and comfortable indoor climate. Proper ventilation helps to remove pollutants and contaminants from the air, regulate temperature and humidity levels, and prevent the buildup of harmful substances. By ensuring high ventilation efficiency, building owners and managers can help to create a safe and healthy environment for occupants. Ventilation systems are essential for maintaining a healthy and comfortable indoor environment. However, when ventilation systems are not properly designed and installed, they can lead to poor ventilation efficiency, which can have negative impacts on indoor climate and energy consumption.

Short circuit

One common problem in poorly designed ventilation systems is a short circuit between supply and exhaust in a room. This occurs when air from the supply and exhaust vents mix, rather than being exchanged properly. When this happens, the result is poor ventilation efficiency, which means that the air in the room is not being properly refreshed or filtered.

Poor ventilation efficiency can have several negative impacts on the indoor climate. The air quality in the room can deteriorate, leading to higher levels of pollutants and contaminants that can cause health problems. In addition, the room can become stuffy and uncomfortable, with a lack of fresh air leading to higher levels of humidity and temperature. This can lead to discomfort, fatigue, and reduced productivity.

Moreover, a short circuit between supply and exhaust in a room can also result in an unfortunate increase in energy consumption. When ventilation systems are not functioning properly, they require more energy to operate, which can result in higher energy bills for the building owner. Additionally, a poorly designed ventilation system can lead to heat loss or gain, which means that the building's heating and cooling systems will have to work harder to maintain a comfortable indoor environment.



In summary, a short circuit between supply and exhaust in a room can result in poor ventilation efficiency, a poor indoor climate, and an unfortunate increase in energy consumption. Proper design and installation of ventilation systems are crucial for maintaining a healthy and comfortable indoor environment, as well as minimizing energy consumption and associated costs. Building owners and managers should ensure that their ventilation systems are functioning properly and effectively to avoid these negative impacts.

Design of the ventilation system and energy consumption

Other factors that can contribute to high ventilation efficiency include proper system design, regular maintenance, and the use of energy-efficient components such as fans and motors. By maximizing the efficiency of ventilation systems, building owners and managers can improve indoor air quality, reduce energy consumption, and save money on utility bills.

Ventilation systems play a critical role in maintaining a comfortable and healthy indoor environment. However, despite their importance, there are several common problems associated with ventilation systems today. Some of the most common problems with ventilation systems include high energy consumption, poor indoor climate, noise problems, draft nuisance, and difficulties in maintenance.

High energy consumption is a significant issue with many ventilation systems today. Poorly designed or maintained ventilation systems can require excessive amounts of energy to operate, resulting in higher energy bills for building owners and managers. This can be especially problematic in larger buildings, where energy consumption can quickly add up to substantial costs.

Poor indoor climate is another common problem associated with ventilation systems. When ventilation systems are not functioning properly, they can lead to a stuffy and uncomfortable indoor environment, with high levels of humidity and pollutants. This can lead to health problems and reduced productivity for occupants, which can have significant impacts on a business or organization's bottom line.

Noise problems and draft nuisance are also common issues with ventilation systems. Poorly designed or installed ventilation systems can be loud and disruptive, leading to discomfort and annoyance for building occupants. In addition, poorly designed ventilation systems can lead to draft nuisance, which can cause discomfort and even health problems in some individuals.

Finally, difficulties in maintenance can also be a significant problem with ventilation systems. Ventilation systems require regular maintenance to operate effectively, and when maintenance is neglected, the systems can quickly deteriorate, leading to poor indoor climate and higher energy consumption. However, many building owners and managers struggle with maintaining their ventilation systems effectively, leading to a cycle of problems and higher costs.

In summary, high-energy consumption, poor indoor climate, noise problems, draft nuisance, and difficulties in maintenance are some of the most common problems associated with ventilation systems today. Building owners and managers should be aware of these issues and work to address them to create a healthy and comfortable indoor environment while minimizing costs. Regular maintenance and attention to system design can help to prevent these problems and ensure effective ventilation for building occupants.



Optimization of the ventilation system

Ventilation systems play a crucial role in ensuring a healthy and comfortable indoor environment. They help to control temperature, humidity, and air quality, which are important factors in promoting occupant well-being and productivity. However, operating ventilation systems can also be a significant energy drain, especially when used in conjunction with mechanical compressor cooling systems.

Fortunately, there are several ways to reduce energy consumption while still maintaining a comfortable indoor environment.

One strategy for saving energy is to take advantage of night cooling. In many regions, the air temperature drops significantly at night, making it possible to use cooler outdoor air to reduce the temperature inside the building. This can be achieved by opening windows or using mechanical ventilation systems to draw in outside air. By pre-cooling the building overnight, it is possible to reduce the workload on the mechanical compressor cooling system during the day, which in turn reduces energy consumption.

Another way to save energy is to use the building's thermal heating capacity more effectively. Most buildings have some degree of thermal mass, which is the ability of a material to store and release heat energy. By properly utilizing the thermal mass of the building, it is possible to reduce the need for mechanical heating and cooling systems. For example, during the day when the sun is shining, the thermal mass of the building can absorb heat and help to maintain a comfortable indoor temperature. At night, when the outside air is cooler, the stored heat can be released to help warm the indoor environment.

By combining these strategies, it is possible to significantly reduce the energy consumption of ventilation and mechanical compressor cooling systems. This can help to lower operating costs and reduce the carbon footprint of buildings. Additionally, many modern ventilation and cooling systems are designed with energy efficiency in mind and utilizing these systems in conjunction with night cooling and thermal heating capacity can further reduce energy consumption. Overall, it is important for building managers and designers to consider these strategies when designing and operating ventilation and cooling systems.

In relation to KVS project

Ventilation systems play a crucial role in ensuring a healthy and comfortable indoor environment in office buildings. Mechanical ventilation systems are typically used to provide a consistent supply of fresh air to the building, while natural ventilation systems rely on the natural movement of air through windows or other openings. Both mechanical and natural ventilation systems have their advantages and disadvantages, and a combination of both systems can provide significant benefits for both indoor climate and energy savings.

A combination of mechanical and natural ventilation can provide better indoor climate control throughout the year. In the summer months, natural ventilation can be used to draw in cool outdoor air, reducing the need for mechanical cooling. During the winter months, mechanical ventilation can provide a consistent supply of warm, filtered air, improving indoor air quality, and reducing the risk of sick building syndrome. By combining these systems, it is possible to reduce energy consumption and improve occupant comfort throughout the year.

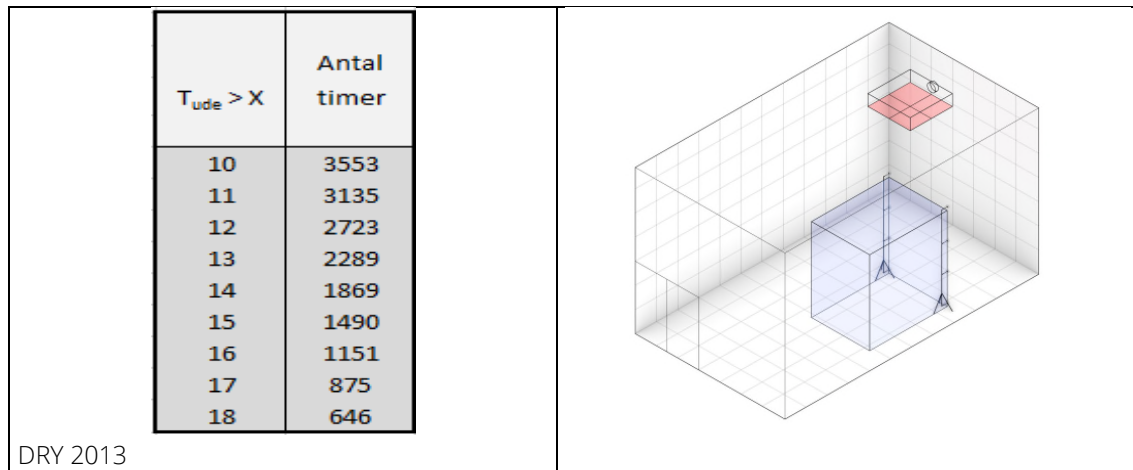


Figure 1: Hours a year with outdoor temperature above X and diffuse inlet in Indoor climate at DTI

For many hours a year, the outside temperature in Denmark is high enough for direct ventilation into the room without the need for conditioning. It can, for example, be established above a diffused ceiling. In this way, the supply fan can be switched off and energy is thereby saved for operating the fan. This naturally requires air grilles in the outer wall which can open/close depending on the outside temperature.

Using a combination of several different ventilation principles can also be an advantage for the indoor climate in office premises. Different ventilation principles, such as mixing ventilation, displacement ventilation, and diffused ventilation in the ceiling, can be used in different areas of the building to provide optimal air flow and temperature control. Mixing ventilation systems use fans to mix supply and return air, providing a consistent temperature throughout the room. Displacement ventilation systems provide fresh air at low velocity at floor level, allowing warm air to rise and exit through high-level vents. Diffused ventilation in the ceiling provides fresh air at a constant low velocity, reducing drafts and providing a comfortable indoor environment.

By using a combination of these different ventilation principles, it is possible to create a customized ventilation system that meets the specific needs of the building and its occupants. This can result in better air quality, improved temperature control, and energy savings. It is important to note that the design and implementation of a ventilation system is complex and should be carried out by qualified professionals to ensure optimal performance and energy efficiency.



The ventilation rates specified in various standards are the ventilation rates required in the occupied zone. To be able to calculate how much air is needed for the supply fittings, account must be taken of how effectively a "pollution" is removed from the room.

$$V_u = \frac{10 \cdot G}{C_i - C_u} \cdot \frac{1}{\varepsilon_v}$$
$$V_u = \frac{G_{CO_2} \cdot 10^6}{C_{i,CO_2} - C_{u,CO_2}} \cdot \frac{1}{\varepsilon_v}$$
$$V_u = \frac{G}{C_i - C_u} \cdot \frac{1}{\varepsilon_v}$$

The three above formula expressions for 'perceived air quality', 'bioeffluents from people' and 'dust pollution' have the same basic appearance. Logically, the concentration is the ratio between the pollution produced and the outdoor air flow. But in all three expressions the ventilation efficiency appears. A small value for the ventilation efficiency is an expression of poor planning of the ventilation system in the room. It requires a greater outdoor air flow to achieve the same quality in the living area. The insidious thing about the situation of poor ventilation efficiency is that it is rarely detected. This is because the sensor (T & CO₂) placed on the wall simply calls for more air until the set point is met (fulfilled).

$$V_u = \frac{V_{opholdszone}}{\varepsilon_v}$$
$$\varepsilon_v = \frac{C_{exhaust} - C_{inlet}}{C_{opholdszone} - C_{inlet}}$$

If the ventilation efficiency is lower than 1, the ventilation flow must be increased accordingly, i.e., if the value is e.g., 0.5, double the air flow through the supply fitting is required. With relatively small air changes, e.g., once an hour or less, air flows from people and any other hot/cold surfaces can be dominant, and an increase in the ventilation air flow can have no influence on the ventilation efficiency.

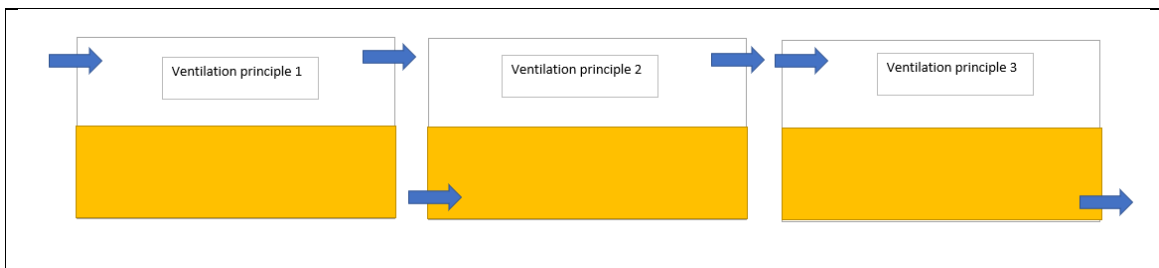


Figure 2: Ventilation principle with inlet and outlet

These three different ventilation principles require different points of attention if poor ventilation efficiency is to be avoided for the room.

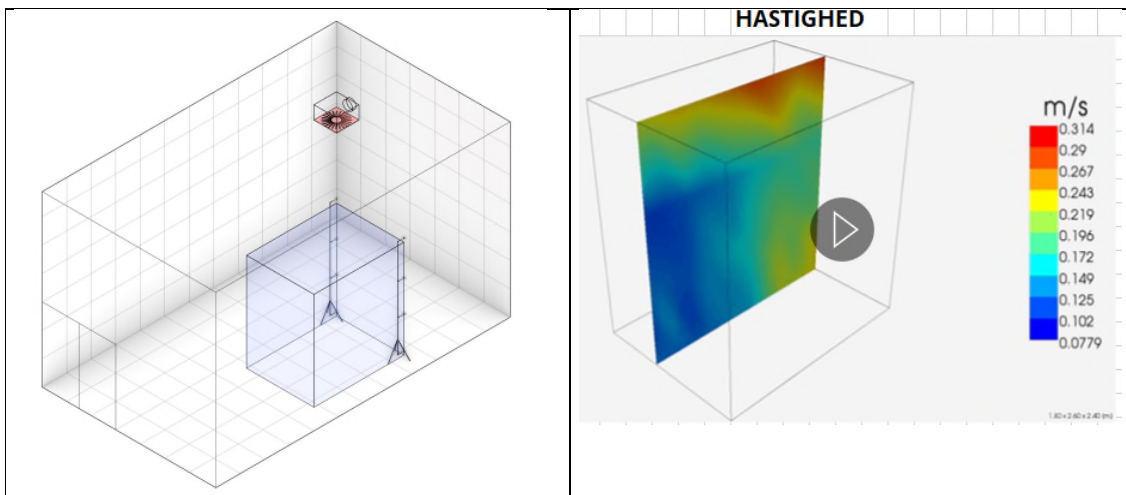
Blowing in above the occupied zone and extracting above the occupied zone in the room requires knowledge of the relationship between supply air velocity and supply temperature, especially when supply with a temperature higher than the room temperature.



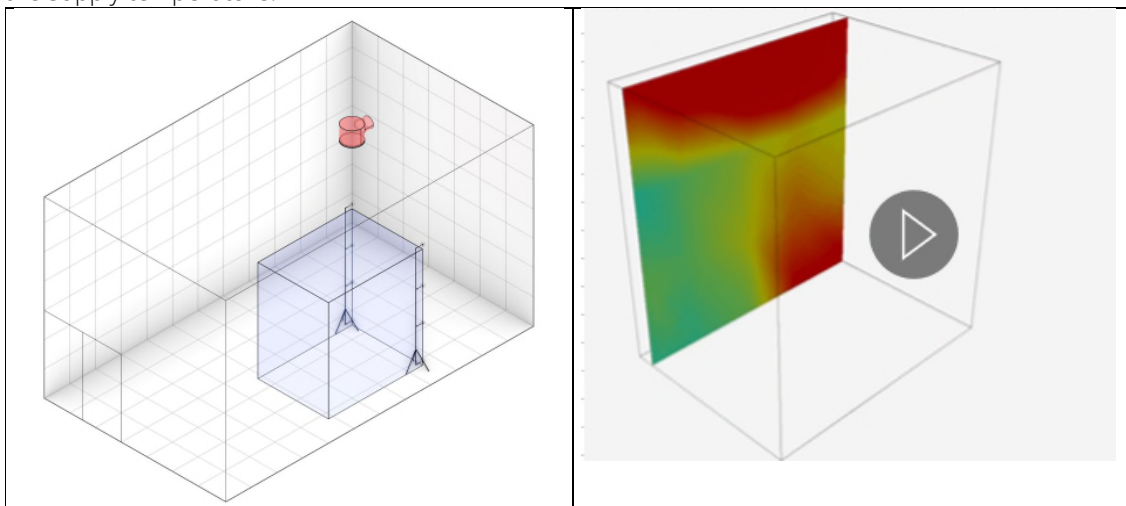
Among other things, it is governed by Archimedes' numbers.

$$Ar = \frac{L \cdot g \cdot |\Delta T_o|}{V_o^2 \cdot T_{oph}}$$
$$L = \sqrt{A_o \cdot h_o}$$

The ratio between ΔT_o and the supply air speed V_o^2 must be within a given range to avoid poor ventilation efficiency or even direct short-circuiting.



The example above shown from the design tool is a ceiling-mounted supply air fitting. Air flow and supply temperature are specified. The color plot shows a relatively large area with very low air velocities (marked with blue color), indicating "dead" zones in the room or areas of low ventilation efficiency. The solution space in this case may be choosing a different supply fitting, adjusting the air flow in combination with the supply temperature.



The second example above from the design tool shows the result if a different supply fixture is selected. Here, slightly higher air speeds are seen in the living area and the ventilation efficiency is increased. The tool designs the ventilation system so that a ventilation high efficiency is generally achieved.



TEKNOLOGISK
INSTITUT