

Energi og indeklima for bygning 343F-DTU



Eksamensprojekt efteråret 2001

D971082

Mads Jacobsen

D971193

Jacob Nielsen

BYG•DTU

Danmarks Tekniske Universitet

Forord

Dette afgangsprøjsjekt er udarbejdet i efteråret 2001 ved BYG•DTU på Danmarks Tekniske Universitet.

Afgangsprøjsjektet består af en hovedrapport, samt BSim modeller af bygningen vedlagt på CD-ROM.

Rapporten omhandler følgende:

BYGNINGSKONCEPT FOR DTUs UDVIDELSER

DTU's bygningskompleks skal i de kommende år udvides med et antal forbindelsesbygninger.

Med udgangspunkt i tegningsmaterialet og de forventede indvendige belastninger for den planlagte DTU-bygning 343F, der skal forbinde 2 eksisterende bygninger, opstilles og vurderes muligheder for et koncept, der kan danne udgangspunkt for de kommende udvidelser.

Dette koncept baseres på en vurdering af valg af konstruktioner, materialer og ventilationsform til opnåelse af:

- Lavt energiforbrug
- Godt indeklima
- Lave vedligeholdelsesomkostninger

Følgende elementer indgår i besvarelsen:

- Valg af Klimaskærmskonstruktioner med beskedne kuldebroer
- Beregning og vurdering af energiforhold for dobbelt glasfacade
- Naturlig ventilation
- Indeklimavurdering: materialeemissioner, temperatur, lysforhold m.m.
- Simulering af model ved hjælp af BSim2000,

Vejleder:

B. Howald Petersen

Lyngby, januar 2002

Jacob Nielsen - 971193

Mads Jacobsen - 971082

Indholdsfortegnelse

Forord	1
Indholdsfortegnelse	2
Indledning	4
Beskrivelse af bygninger	6
<i>Eksisterende bygninger, 343 og 344</i>	6
<i>Ny forbindelsesbygning, 343F</i>	7
Opbygning af konstruktioner	10
<i>Indvendige konstruktioner</i>	10
Etageadskillelser	10
Skillevægge	11
Skakt	12
<i>Klimaskærm</i>	13
Varmeisolering	13
Tag	17
Facader	18
Terrændæk	19
Etageadskillelse over det fri	20
Kælderydervægge.	20
Indeklima og sundhed	21
<i>Krav til indeklima</i>	22
<i>Termisk indeklima</i>	23
Grundbegreber til beskrivelse af termisk indeklima	23
<i>Retningslinjer for termisk komfort</i>	26
<i>Luftkvalitet</i>	28
Tobaksrøg	29
Forurening fra materialer	30
Fugt	31
Radon	32
<i>Lysforhold</i>	32
<i>Lydforhold</i>	33
Det forventede indeklima	35

<i>Forventet termisk indeklima</i>	35
<i>Forventet luftkvalitet</i>	36
<i>Sensoriske forurening</i>	36
<i>Kemisk forurening</i>	37
Ventilations systemet	38
<i>Mekanisk ventilation</i>	38
<i>Naturlig ventilation</i>	39
<i>Valg af ventilations princip</i>	39
<i>Naturlig ventilation</i>	40
Princip for distribution af ventilations luften	42
<i>Dimensionering af naturlig ventilation</i>	43
Termisk belastning	44
Sensorisk belastning	46
<i>Energibalancen</i>	48
Drivtryk	48
Enkelttab	49
Friktionstab	50
Den dobbelte glasfacades energiforhold	53
Den konstruktive model	53
Den matematiske model	54
Simulering i BSim2000	57
<i>Om BSim2000</i>	57
<i>Opbygning af model</i>	58
Opbygning af geometrisk model	59
Konstruktioner	63
Belastninger	64
Systemer	64
Tidsplaner	65
<i>Simuleringer</i>	72
Model 1	73
Model 2	78
Model 3	79
Model 4	79
Konklusion	81
Litteraturliste	85
Tegnings- & bilagsliste	88

Indledning

I starten 1970'erne oplevede Danmark følgerne af den verdensomspændende oliekrise. Dette medførte en øget fokusering på energiforbruget til opvarmning og ventilation af Danmarks bygnings masse. Målet var at reducere den samlede mængde energi brugt til at drive bygningen. Dette skete gennem nye byggemetoder, der indbefattede at nybyggeri i årene efter oliekrisen blev søgt udført så energiforbruget blev reduceret. Reduceringen af energiforbruget skete gennem øgede isoleringstykkelser samt færre og mindre vinduer, ydermere blev bygningerne tætnet bedre.

Energikrisen satte i første omgang en stopper for det traditionelle byggeri, fra 1970'erne der især var kendetegnet ved store vinduespartier. Efterfølgende satte det skub i udviklingen af nye metoder til reducere af energiforbrug. Samt en øget udnyttelse af vedvarende energi. Danmark har især profileret sig på området inden for vedvarende energier, hvor især vindmøller er en stor eksportvare.

Forsøget på at reducere energiforbruget, har blandt andet ført til udviklingen af lavenergiruder. Der i dag har en isolerende virkning der er ca. 3 gange bedre end en traditionel tolags termorude. Set i forhold til de øvrige konstruktioner i en bygning er isolerings evnen dog stadig væsentligt lavere. Inden for de øvrige konstruktioner er isoleringsevnen også blevet forbedret, dette er dog primært sket ved øgede isoleringstykkelser. I den senere tid er opmærksomheden dog blevet skærpet på kuldebroer i konstruktionerne, da disse får en større betydning når den øvrige konstruktion forbedres. Dette afspejler sig i de ny krav der stilles til konstruktionerne og størrelsen af kuldebroerne, disse krav er blevet indført siden Bygningsreglement 95 udkom, og skal derfor findes i tillægsblade hertil.

Efterhånden som konstruktionerne og ruderne er blevet forbedret, er det igen blevet mere og mere almindeligt, at der anvendes glas i større udstrækning. Det ses dog stadig mest i større byggerier, som kontorer og virksomheder. Dette skyldes primært den trend der er blandt arkitekterne om at skabe miljøer indendørs, hvor man har fornemmelsen af at være tæt på "naturen". Det øgede brug af glas i byggeriet gør at selvom rudernes isoleringsevne er forbedret så vil stadig medføre et højere varmetab. Noget af varmetabet reduceres dog at den øgede solvarme der bliver tilført lokalerne.

I takt med den øgede fokusering på energiforbruget i byggeriet, er opmærksomheden stigende på de problemer det kan medføre, at reducere energiforbruget tankeløst. I takt med at bygningerne bliver bedre isoleret, bliver de også tættere. Dette medfører at indeklimaet forringes, hvis man ikke huskes at modvirke ophobningen af dårlig indeluft ved at øge ventilationen.

Derfor interessen for at finde løsninger til byggeriet, der også medfører et godt indeklima. Det dårlige indeklima kan også skyldes en lang række andre faktorer, bl.a. ved indførelse af materialer der afgiver skadelige eller ubehagelige dampe. Samt manglede rengøring af lokaler og ventilationsanlæg. Indeklimaet afhænger som sagt af en lang række faktorer, hvor af det kan være svært at vurdere indflydelsen, og dermed konkludere hvorfor der er en stigende mængde allergikere.

Enkelte faktorer kan dog måles og vurderes rimeligt præcist. Og der er derfor opstillet krav til disse faktorer.

I forbindelse med nyopførelsen af en forbindelsesbygning mellem de eksisterende bygninger 343 og 344 på DTU skal der findes en løsning på bygningens primære funktionskrav; et godt indeklima. Med kendskab til DTU's i forvejen mindre gode indeklima skal vores projekt finde lavenergi løsninger til opnåelse af et langt bedre indeklima i DTU's nye bygninger, løsninger der samtidigt har lave omkostninger til vedligeholdelse.

Vi vil primært undersøge en løsning med naturlig ventilation samt valg af klimaskærm og solafskærmninger der hhv. udnytter og afskærmer for solenergien, således at behovet for opvarmning og køling minimeres, ligeledes skal klimaskærmen udformes så sollyset kan udnyttes og behovet for kunstig belysning minimeres.

Vi vil desuden undersøge muligheden for at udnytte bygningens masse til at udjævne temperaturændringer.

Beskrivelse af bygninger

Eksisterende bygninger, 343 og 344



Figur 1: kort over DTU

De eksisterende DTU-bygninger 343 og 344 er placeret i 3. Kvadrant og rummer faciliteter for COM-centret, COM-centeret beskæftiger sig med forskning og uddannelse indenfor telekommunikation og optiske teknologier.

Bygningerne der er i 3 etager samt kælder er opført i gule mursten og med fladt tag som de fleste bygninger på DTU's område. De gule facader brydes af sorte vinduesbånd i bygningernes fulde længde, vinduerne er som på resten af DTU traditionelle trævinduer, det vides ikke om

vinduerne er monteret med alm. termoruder eller energiruder. Solafskærmningen foregår med manuelt betjente persienser, persienserne er udvendigt monterede aluminiumspersienser.

Gavlene er helt uden vinduer og fremstår derfor som store gule flader, hvorimellem der på nuværende tidspunkt er en åben mellemgang i stueetagen i bygningernes vestlige ende, denne mellemgang skal erstattes af den nye forbindelsesbygning. På det resterende område mellem bygningerne er der græsplæne samt enkelte træer og buske.

Bygningerne er orienteret øst-vest i længderetningen, det vil sige at facaderne vender mod hhv. nord og syd, således at solbelastningen på de to facader er meget forskellig

Bygningernes orientering (vinkel i forhold til nord) og deres omfang er omtrent:

Længde	: 57,60 m
Bredde	: 10,00 m
Højde	: 11,39 m (kotehøjde over færdigt gulv i stueetage)
Indbyrdes afstand	: 22,50 m
DTU's Nord-sydakse	: 18° (ift. Nord, positiv med uret)
Orientering	: 108° (ift. Nord, positiv med uret)

Ny forbindelsesbygning, 343F

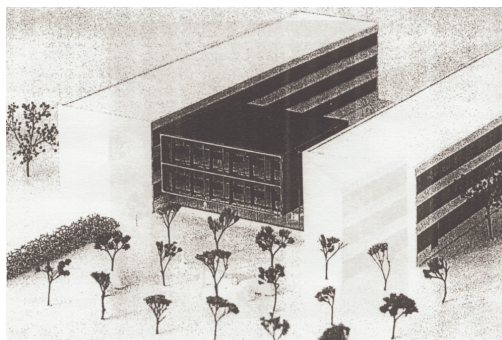
Forbindelsesbygning 343F er en ny bygning der tænkes opført på DTU mellem de eksisterende bygninger 343 og 344, konceptet for forbindelsesbygningen tænkes at kunne danne grundlag for ligende forbindelsesbygninger, der indenfor en kort årrække skal opføres på DTU's område som del af en igangværende fortætning af DTU's bygningsmasse. Af andre bygninger der indgår i fortætningen er bygningen af et kollegium i DTU's syd-vestlige hjørne, samt opførelsen af nye faciliteter med bl.a. studenterarbejdspladser i DTU' nord-østlige hjørne, grundet sammenlægningen af civil- og diplombygningens retninger der når faciliteterne er opført skal samles på ét sted.

Den nye bygning er tegnet af Erik Møllers Tegnestue A/S, med Birch og Krogboe som rådgivende ingeniør.

Bygningen skal indeholde faciliteter for COM-centeret, der i forvejen benytter de eksisterende bygninger.

Den nye bygning skal bl.a. virke som nyt indgangsparti vendende mod Ørstedsplads i stedet for den eksisterende forbindelsesgang. Bygningen kommer som følge heraf til at indeholde reception og mødelokaler i stueetagen samt en udstillingsvæg hvor COM-centerets aktiviteter kan fremvises ved hjælp af bl.a. informationsskærme, den resterende del af bygningen skal indeholde bibliotek, studenterarbejdspladser og kontorer på de øvre etager.

Arkitektonisk hovedgreb¹



Figur 2: model af bygningen udført af arkitekten

etagens inventar kommer til at fremstå som fritstående møbler på det hævede plateau. Stueetagens gulvbelægning udføres med størst mulig slægtskab med pladsens chausséstensbelægning. Det nye vindfang forbindes med den eksisterende trappe i havens østende mod Avenuen, med stiforbindelse.

Den nye bygnings facade fremstår i mørk farve, og udgøres af en karaktergivende stålkonstruktion med udfyldningsfelter af glas og stålplade. Herved spændes den nye forbindelsesbygning op mod langhusenes særlige gule gavle. Samspillet med dette motiv og langhusenes facadefacade karakter i gule mursten og mørke vinduesbånd, vil styrke helheden.

Den nye bygning kommer til at fremstå som et volumen, ophængt mellem de eksisterende bygninger, og med en stueetage og to lodrette overgangszoner der formidler overgangen til de eksisterende bygningsfacader og haverum. Herved opleves særligt stueetagen som en del af rumforløbet mellem Ørsted Plads, haverummet og Avenuen. Etagens funktioner: reception, møderum og udstilling er alle udadvendte og kræver en høj grad af tilgængelighed.

Overgangen mellem stueetagen og de tilhørende uderum udføres med størst mulig grad af transparens, således

¹ Uddrag af /23 side 5/

Vores forslag til et koncept for den nye bygning tager udgangspunkt i arkitektens tanker, samt tegningsmateriale over bygningens indretning og dimensioner /tegning 1-4/.

Vi søger at finde løsninger, der gennem valg af materialer og styringer af ventilation og lys sikrer et lavt energiforbrug og et godt indeklima. Desuden søges løsninger der kræver et minimum af vedligeholdelse. Valget af konstruktionsløsninger beskrives nærmere i et senere kapitel.

Da bygningen etableres mellem eksisterende bygninger, kommer den nye forbindelsesbygning ikke til at indeholde trapper og toiletfaciliteter. Der etableres derfor døre på alle etager mod begge de eksisterende bygninger, for at undgå støj mm.. Fra trapperummet etableres der skydedøre mod den sydlige bygning, mod den nordlige bygning etableres almindelige dobbeltdøre med dørpumpe. Selvom der ikke skal etableres toiletfaciliteter, skal der dog etableres et mindre tekøkken på 1. sal. Samt en mindre vask i receptionen til brug ved kaffebrygning, en mulighed for lignende faciliteter bør også etableres på 2. sal. Det forudsætter selvfølgelig at de eksisterende forhold, også er tilstrækkelige til at kunne betjene den nye bygning

Afhængig af behovene kan der evt. også opstilles drikkevandskølere (type der tilsluttes brugsvand og afløb) på alle etager, disse kan evt. bruges i stedet for separat vask.

Bygningens længderetning er orienteret vinkelret på de eksisterende bygninger (nord-syd), dette betyder at bygningen ikke får sol fra syd, samt at de eksisterende bygninger vil skygge for en del af solen, især når solen står lavt i vinterhalvåret.

Bygningen kommer til at indeholde meget store glaspartier det er derfor vigtigt at mindske energitabet i de kolde måneder samt kunne holde en del af den direkte solindstråling ude.

Dette er især vigtigt da vi påtænker at ventilere bygningen med naturlig ventilation uden mulighed for køling. Derfor er emner som solafskærmende foranstaltninger og bygningens mulighed for at udjævne temperatursvingninger vha. den termiskemasse² vigtige for det termiske indeklima, disse forhold undersøges i kapitlet om simulering i Bsim2000.

Uden at komme nærmere ind på bygnings statiske konstruktion, så tænkes denne fra rådgivers side at blive opført som et rammesystem af stålbjælker og –søjler, med et afstivende dæk af betonelementer. Der regnes fra rådgivers side med at der ikke overføres tværkræfter til de eksisterende bygninger.

² Termiskemasse er materialers evne til at indeholde varme ift. massen af materialet

Bygningens størrelse og arealer /bilag 1/

Samlet størrelse:

Længde : 22,50, m
Bredde : 14,00 m
Højde : 11,39 m (kotehøjde over færdigt gulv i stueetage)

Midterbygning

Kælder : 18,3 x 10,00
Stue : 18,3 x 8,70
1. & 2. sal : 18,3 x 14,00

Etagearealer

Kælder : 225 m²
Stue : 186 m²
1. & 2. sal : 296 m²
Total : 1003 m²

Mellembygninger

Kælder : 2,095 x 10,00
Stue nord : 2,095 x 8,70
Stue syd : 2,40 x 3,65 (vindfang)
1. & 2. sal : 2,095 x 9,65

Vinduesarealer

Kælder : 0,0 m²
Stue : 148,5 m²
1. & 2. sal : 131,4 m²
Total : 411,3 m²

Vinduerne i bygningen udgør 41 % af etagearealet og overholder derved ikke kravet om maksimalt 22 % vinduer ifølge Bygningsreglementet.

Opbygning af konstruktioner

Valget af konstruktioner er vigtig, hvad enten det drejer sig om indvendige eller udvendige konstruktioner, så skal der findes en løsning der egner sig til den belastning konstruktionen tænkes at kunne komme ud for. F.eks. skal der ved valget af konstruktionerne tages et vist hensyn til at der i dette tilfælde er tale om en bygning hvor der dagligt vil være stor trafik. Under dette forhold skal det også vurderes om der kan forekomme hærværk.

Indvendige konstruktioner

Indvendige konstruktioner omfatter alle dele af bygningens konstruktioner der ikke er i kontakt med udeklimaet, dette indbefatter skille- og skaktvægge samt etageadskillelser.

Etageadskillelser

Etageadskillelserne mellem stueetagen og 1.etage samt mellem 1.etage og 2.etage opbygges af hulbetonelementer, hvorpå der opbygges et hævet gulv, hvorunder installationer kan føres. Det hævede gulv opbygges af træ- eller stålrammer der hviler på betondækket, øverst udlægges, afhængig af afsluttende gulvbelægning, 22 mm. gulvspånplade eller krydsfiner. Som gulvbelægning anvendes linoleum. I kontorer kan der evt. anvendes gulvtæppe. Hvis der ønskes et mere eksklusivt udseende kan der selvfølgelig udlægges et trægulv. Undersiden af betondækket skal, for at udnytte den termiske masse bedst muligt, være eksponeret på så store områder som muligt, indflydelsen af den termiske masse undersøges nærmere i kapitlet om simulering i Bsim2000.

For mindske støjniveauet og regulere akustikken kan mindre områder beklædes med akustikregulerende plader, andre muligheder for at regulere akustikken er f.eks. at anvende akustik regulerende bafler, disse kan nedhænges fra loftet, over borde og i ganglinier. For at akustikreguleringen ikke skal spolere det arkitektoniske udtryk, skal der vælges løsninger der falder naturligt ind i omgivelserne. Dette kan indbefatte at lydregulerende foranstaltninger indbygges i inventaret f.eks. med akustikregulerende plader ovenpå reoler eller bafler integreret i f.eks. belysningsarmaturer. For at dæmpe lydtransmission mellem etagerne skal rammerne monteres med beslag der mindsker lydtransmission. Desuden bør der udlægges akustikregulerende plader under gulvet, for at undgå at gulvet virker som et

resonanskammer, der kan muligvis anvendes almindelig mineraluld, nærmere krav til lydniveauet beskrives i kapitlet om indeklima.

I stueetagen opbygges etageadskillelsen anderledes end de øvrige, gulvet hæves ikke, men for at dækket efter arkitektens ønske skal fremstå som en fortsættelse af den udvendige chausséstensbelægning, beklædes betondækket med fliser af mørk granit eller skiffer som der er anvendt i andre af DTU's bygninger. Dækket opbygges ved at der på betondækket udlægges trykfast isolering for at mindske lydtransmissionen mellem kælderen og stueetagen, på isoleringen udstøbes et betonlag, fliserne udlægges i mørtel på betonlaget.

Installationer til stuen føres i kælderen, eller oppefra gennem etageadskillelsen mod 1. etage.

Skillevægge

Der er i bygningen kun skillevægge i stueetagen samt på 2. etage. For at bibeholde en høj grad af transparens udføres skillevæggene i bygningens længderetning i hærdet jernfrit glas fra gulv til loft. For at glasset forbliver synligt påføres et silketryk på den nederste halvdel af glasset. Dette gøres for at undgå personskader.

I stueetagen fungerer skillevæggen i bygningens længderetning samtidig som udstillingsvæg for COM-centerets aktiviteter samt tavlevæg ind mod mødelokaler, her isættes derfor blot et glasbånd øverst i skillevæggene. Ved enderne af udstillingsvæggen etableres glasskillevægge, med glassdøre.

For at mindske lydtransmissionen skal dørene tættes, og glasset der anvendes bør have en tykkelse på f.eks. 8 mm, da lydreduktionen afhænger af tykkelsen (afhængig af hvilken tykkelse der anvendes vil der være et frekvensområde med dårligere lydreduktion). Størst lydreduktion opnås dog med flere lag glas.

På 2. etage udføres skillevæggene af betonelementer i tværretningen således at deres termiske masse kan udnyttes til at udjævne temperaturændringer, indflydelsen af den termiske masse undersøges nærmere i kapitlet om simulering i Bsim2000. Hvis den termiske masse ikke har nogen væsentlig betydning, anbefaler vi at der i stedet benyttes skillevægge opført i stål og gips, da disse giver en højere grad af fleksibilitet i lokaleudnyttelsen.

Skakt

I bygningen er der kun én skakt der skal benyttes til installationer. Heldigvis er bygningen ikke særligt installations tung, der skal kun etableres et mindre afløb fra køkkenvask samt brugsvand hertil. Derudover er der el-, telefon- og edbkabler, disse installationer vil maksimalt fylde $\frac{1}{4}$ af pladsen i skakten, det antages at skakten ikke skal indeholde fordelingsbokse eller andet udstyr. Da bygningen skal benyttes af COM-centeret der beskæftiger sig med kommunikation kunne det også tænkes at f.eks. edb-netværket bliver trådløst.

Skakten er 1500 mm. i diameter vi kan således benytte noget af pladsen til at etablere aftræk til den naturlige ventilation vi ønsker at anvende i bygningen. Vi antager at man kan udnytte hele pladsen i skakten, og evt. inspektion og at vedligeholdelse af installationer udføres gennem lemme eller ved at afmontere skaktens sider. Skakten antages at være opført af stållægter m. gips eller lignende, således at skakten først opbygges efter montering af installationer, i stedet for gips kan skakten opbygges af plader i moduler således af disse kan monteres enkeltvis.

Rundt om skakten monteres der højskabe samt plads til printere og kaffemaskiner.

I stueetagen og på 1.sal er en del af skakten omgivet af hhv. reception og tekøkken.

Ventilationsriste til aftrækskanalerne monteres øverst i skakten i hele dens omkreds.

Desuden etableres der mekanisk udsugning fra tekøkkenet, i form af en emhætte, samt evt. lokal udsugning ved printere/kopimaskiner ved skakten, her skal det dog søges at anvende maskiner med lavest mulig emission og varmeafgivelse.

For at mindske støjen fra installationer, isoleres skakten indvendigt med f.eks. 50 mm, mineraluld.

Klimaskærm

Klimaskærmen er de bygningskonstruktioner der adskiller indeklimaet fra udeklimaet, dvs. ydervægge, tag og lignende, der er derfor en række krav klimaskærmen skal opfylde for at virke optimalt, bl.a. regn- og vindtæthed samt varmeisolering.

Der bør i videst muligt omfang benyttes konstruktivbeskyttelse, det vil sige at konstruktionen udformes så især regnvand ledes hurtigt væk og der ikke er steder hvor fugt kan ophobes.

En effektiv beskyttelse kan opnås ved stort tagudhæng og stor hældning på taget, dette er dog ikke muligt med den udformning der er valgt til den nye bygning (og eksisterende bygninger på DTU).

Krav og regler

Bygningen som helhed samt delkonstruktioner opbygges så de mindst lever op til kravene i Bygningsreglement 95. Klimaskærmskonstruktioner er primært omhandlet af kapitel 7 og 8. Kapitel 7 omhandler fugtisolering og her er det generelle krav at konstruktionerne udføres så vand- og fugtpåvirkning ikke medfører fugtskader og fugtgener. Kapitel 8 omhandler varmeisolering og her er det generelle krav at bygningen skal varmeisoleres så unødvendigt energiforbrug undgås, samt at der opnås tilfredsstillende sundhedsmæssige forhold. For de enkelte bygningsdele benyttes relevante krav for fugt- og varmeisolering.

Varmeisolering

U-værdier

Bygningsdelenes U-værdi beregnes efter DS-418 /5/ i henhold til Bygningsreglement 95 /2/. U-værdien kan for en række konstruktioner findes i publikationen "U-værdier 2000" udgivet af Dansk forening af fabrikanten af varmeisoleringsmaterialer.

U-værdi er et udtryk for en bygningsdels varmeisoleringsevne pr. grads temperaturforskel mellem inde og ude, en lav U-værdi er udtryk for en god isoleringsevne. U-værdien omtales også som Transmissionskoefficienten og har enheden $W/m^2 K$.

For homogene lag bestemmes U-værdien ved formlen:

$$\frac{1}{U} = R_i + R_u + \sum R_m + \sum R_v + \sum R_l$$

Hvor R er isolansen for de forskellige lag i konstruktionen og har enheden $\text{m}^2 \text{ K/W}$, R_i og R_u er overgangsisolanser, R_m er isolans for materialeg, R_v og R_l er isolanser for hhv. ventilerede og uventilerede luftlag.

Isolansen er enten en kendt størrelse for f.eks. overgangsisolanser mellem luften og konstruktionen eller den beregnes på baggrund af materialets tykkelse og varmeledningsevne

$$R_m = \frac{s}{\lambda_p}$$

s er tykkelsen i meter, λ_p er den praktiske varmeledningsevne for materialet i W/m K , den praktiske varmeisoleringsevne kan for gængse materialer findes i DS-418, for produkter der er kontrolleret af Varmeisoleringskontrollen (VIK), kan λ_p findes i produktoversigten fra VIK eller oplyses af producenten af materialet.

U-værdiberegningerne for konstruktionerne i vores bygning er udført på bilag /2/.

Af U-værdierne beregnes transmissionstabet gennem konstruktionerne ved

$$\Phi_t = U \cdot A \cdot (\Theta_i - \Theta_u)$$

A er arealet af konstruktionen, Θ er den dimensionerende temperatur for hhv. inde og ude, for kældergulve og -vægge i mere end to meters dybde, bruges den dimensionerende jordtemperatur Θ_j i stedet for Θ_u .

Under normale forhold er de dimensionerende temperaturer:

$$\Theta_i = 20^\circ\text{C}$$

$$\Theta_u = -12^\circ\text{C}$$

$$\Theta_j = 10^\circ\text{C}$$

Kuldebroer

Kuldebroer er områder i klimaskærmen hvor varmestrømmen er større end for den omliggende konstruktion, dette kan f.eks. være i vinduesfalske.

Kuldebroer kan aldrig undgås helt men deres betydning kan reduceres væsentligt ved at vælge en hensigtsmæssig udformning af klimaskærmskonstruktionen.

Facaderne bliver båret på stålsøjler og -bjælker, i stueetagen har man fra arkitektens side valgt at søjlerne skal stå udenfor klimaskærmen, søjlerne gennembryder derfor dækket op til 1. etage udenfor. Disse søjler vil derfor kunne udgøre en kuldebro, denne kuldebro kan mindskes ved at isolere søjlerne og derpå beklæde søjlerne med en kappe af rustfritstål, således at søjlerne er beskyttet mod mekaniske påvirkninger og søjlerne vil også fremstå mere

solide end blot et H-profil. Alternativt kan søjlen pudses. Ved at isolere søjlerne formindskes temperaturudvidelsen desuden en smule, den fjernes dog ikke helt.

Ved vinduer og døre er der to kuldebroer der har betydning, vinduesfalsen kan udgøre en kuldebro og vindues ramme/karm og eventuelle sprosser kan også udgøre en kuldebro. I vinduesfalsen gælder det om ikke at formindske isoleringstykkelsen, vinduerne skal derfor monteres med beslag fastgjort til den indvendige konstruktion. Isoleringen kan herved føres tæt til vinduer og døre, indvendigt monteres en tilsætning af f.eks MDF-plade. For ramme/karm og eventuelle sprosser gælder det om at vælge løsninger med så lille kuldebrosvirkning som muligt, kuldebroen skyldes dels karmen i sig selv samt afstandsstykket mellem glassene. Det optimale er derfor at der er så få sprosser som muligt, samt at ramme/karm er opbygget så gennemgående metalprofiler og lignende undgås.

Desuden skal der anvendes afstandsprofiler, mellem glaslagene, med en lille varmeisoleringsevne. F.eks. ved at udføre profilet i plast eller rustfrit stål.

Kuldebroers indflydelse på bygningens samlede varmetab indgår på forskellig vis, for den enkelte konstruktion kan der indgå kuldebroer i form af stolper, udmuringer eller lignende, afhængig af kuldebroens art beregnes den ændrede U-værdi på forskellig vis. Hvis der er tale om en konstruktion med inhomogene materialelag beregnes der en middelværdi for varmeledningsevnen af det inhomogene lag. For andre konstruktioner med kuldebroer tillægges et linie eller punkttab for de enkelte kuldebroer.

Udover kuldebroernes indflydelse på varmeisoleringsevnen af de enkelte konstruktioner, tillægges der til det samlede transmissionstab for bygningen et transmissionstab for samlinger omkring vinduer og døre samt tab gennem ydervægsgfundamenter ved terrændæk.

Transmissionstab for disse kuldebroer beregnes som $\Phi_i = \Psi \cdot l \cdot (\Theta_i - \Theta_u)$

Ψ er linietalet i W/m K, l er længden af kuldebroen, Θ er den dimensionerende inde og ude temperatur.

Andet

For at der opnås den beregnede isoleringsevne er det vigtigt at isoleringsarbejdet udføres korrekt. Det vil sige at isoleringen slutter helt tæt mod tilstødende konstruktioner og at isoleringsfejl i øvrigt kun forekommer i ubetydeligt omfang.

Derudover er det vigtigt at konstruktionerne udføres vindtætte, da utætheder vil forøge varmetabet betragteligt.

Konstruktionerne skal udføres så isoleringsmaterialet holdes tørt, således at isoleringsevnen ikke forringes. Med mindre isoleringsmaterialet er specielt egnet til et fugtigt miljø som f.eks. i jord.

Varmetabs- og energiramme

Da bygningen har meget store glasarealer og der ifølge bygningsreglementet kun må være 22% vinduer i forhold til etagearealet, skal bygningen udføres således at enten varmetabs- eller energirammen overholdes.

Ved at benytte varmetabsrammen kan U-værdier og vinduesarealer ændres, så længe bygningens samlede varmetab, med aktuelle u-værdier og arealer, ikke bliver højere end svarende til at kravene til U-værdier og vinduesarealer i bygningsreglementet (kap. 8.2) netop overholdes, dog skal de enkelte bygningsdele isoleres således at kravene til mindste varmeisoleringsevne (kap. 8.5) overholdes.

Af bilag /3/ fås at varmetabsrammen for vores bygning er på 24,9 kW.

Ved at benytte energirammen kan U-værdier og vinduesarealer frit vælges så længe kravende til mindste varmeisolering overholdes. I energirammen medregnes bygningens samlede energiforbrug til opvarmning og ventilation, der kan således tages hensyn til bygningens "gratisvarme" fra bl.a. personer og solindfald.

Energirammen for andre bygninger end boliger:

$$110 + \frac{5000}{A_{byg}} + \frac{140}{e} \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ pr. år} \leq 280 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ pr. år}$$

A_{byg} er det bebyggede areal

e er etagearealet udtrykt ved $e = \frac{\text{Det opvarmede etageareal}}{\text{Det bebyggede areal}}$

Af bilag /3/ fås en energiramme for vores bygning på 168 MJ/m² pr. år

Eftervisningen af energirammen kan ske på grundlag af beregningsmetoderne anvist i SBI-anvisning 184 /17/, Da vi vil undersøge bygningens energiforhold vha. BSim2000, sker eftervisningen efter de indbyggede beregningsmetoder i BSim2000, Beregningerne i BSim2000 behandles i et senere kapitel.

Tag

Taget ønskes fra arkitektens side at være et såkaldt fladt tag, det vil sige et tag med en hældning ned til 1:40. En så lav taghældning stiller høje krav til udførelsen af taget, samt valg af materialer. De høje krav skyldes især den store vandbelastning taget udsættes for, både i form af regn og sne. Det gælder derfor om at få ledt vandet væk hurtigst muligt. Af andre belastninger kan bl.a. være færdsel på taget, både under udførelsen samt ved senere inspektion af tag eller eventuelle installationer på taget

Vi har, for at opfylde disse krav, valgt at udføre taget af tagkassetter. Tagkassetterne er opbygget af (indefra) 15 mm. krydsfiner, hygrodiode³, 200 mm. isolering/bjælkespær, 15 mm. krydsfiner beklædt med 2 lag tagpap.

For at forbedre isoleringsevnen yderligere udlægges der 100 mm. isolering på betondækket under taget. For at undgå at dampspærren kommer til at ligge på den kolde side (punkt i isoleringslaget hvor temperaturen kan komme under dugpunktet for indeluften), bør dampspærren ikke ligge mere end $\frac{1}{3}$ og højst $\frac{1}{2}$ inde i konstruktionen. Evt. kan fugtforholdene i konstruktionen undersøges ved beregninger, med f.eks.

fugtsimuleringsprogrammet MATCH fra Bygge- og Miljøteknik A/S.

Ved at vælge denne løsning frem for den traditionelle med hård kileskåret isolering opnås der en række fordele: Isoleringsmaterialet er billigere (prisen afhænger af vægten), hurtigere montering, selvudtørrende, billigere/lettere at reparere ved skader på taget, mindre risiko for skader da taget er hårdt, mulighed for installationer i loftrummet.

Tagkassetterne placeres ovenpå de bærende stålprofiler, således at en eventuel kuldebro herfra undgås, kassetterne placeres med hældning mod tagmidte, således at taget er højest på midten. Regnvand fra taget ledes bort i skjulte nedløbsbrønde, monteret bag alu-panelerne i facaden. Om muligt bør regnvandet ledes til en faskine således at belastningen på kloaksystemet formindskes, en faskine burde kunne etableres på pladsen foran bygningen eller bagved mellem de eksisterende bygninger.

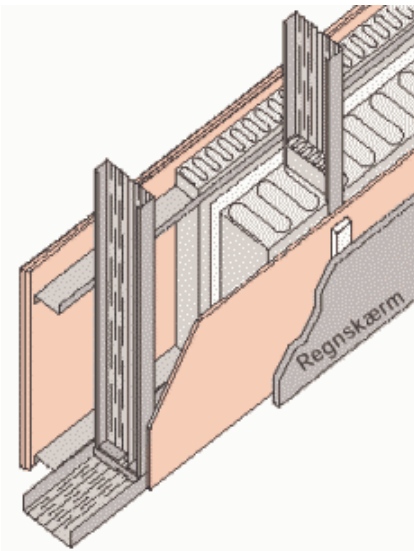
U-værdikrav	: 0,20	ca. 180-200 mm. Isolering
Beregnet U-værdi	: 0,175	bilag /2/

³ Hygrodioden er en filtdug med striber af plastfolie, denne opbygning sikrer at damp ikke kan trænge igennem men at evt. fugt på overfladen suges igennem filteren og fordamper på den anden side. Hygrodioden er især anvendelig til tagkassetter, således at fugt i konstruktionen kan undslippe.

Facader

Facaderne er den del der om noget tegner bygningen udadtil, derfor skal deres fremtræden ligge så tæt på arkitektens ide som muligt, hvilket for denne bygning vil sige store glaspartier samt mørke plader, således at bygningen fremstår transparent med en massiv kasse ophængt mellem de eksisterende bygninger.

Facaderne ophænges på den bærende konstruktion dvs. stålsøjler/bjælker samt etagedæk.



Figur 3: Principskitse (Danogips)

Gavlene mod de eksisterende bygningen udføres af 100 mm. betonelementer inderst, hvorpå der yderst monteres slidsede stålprofiler (F.eks. Gyproc THERMOⁿomic), ved at anvende slidsede stålprofiler mindskes kuldebroernes indflydelse væsentligt i facaden

Mellem stålprofilerene isoleres der med 150 mm., for at sikre tilstrækkelig vindtæthed monteres der vindgips under beklædningen af mørke aluminiumsplader.

Aluminiumsbeklædningen sikrer lav vægt samt lang holdbarhed og minimal vedligeholdelse. Ved skader kan enkelte plader hurtigt udskiftes.

Inderst afsluttes med en malerbehandling af

betonelementerne, det skal derfor sikres at elementernes overflade er jævn og egnet til malerbehandling. En alternativ men også dyrere løsning vil være at indfarve betonen på indersiden.

Glasfacaderne ophænges på stålkonstruktionen, glasfladerne tænkes fra arkitektens side at gå fra gulv til loft for at bygningen skal fremstå transparent i tværretningen.

Glasfacaderne opbygges som en såkaldt dobbelt facade dvs. en lavenergirude inderst og et enkelt lag glas yderst, glassene monteres med en afstand på 300 mm.. Mellem de to lag indsættes en solafskærmning, solafskærmningen består af persiennet der styres efter solindfaldet. Yderligere forsynes facaden med ventilationsåbninger ud til det fri således at varmen mellem lagene kan ventileres bort i en sommersituation. I en vintersituation lukkes ventilationsåbningerne således af mellemrummet nedsætter varmetabet. Dette har yderligere den fordel at kuldeneindfaldet fra den inderste rude minimeres da ruden kommer til at stå ”indenfor” samt at persiennet er beskyttet mod vind og regn således at levetiden og

vedligeholdelsesintervallet øges. Funktionen af den dobbelte facade er nærmere beskrevet i et senere kapitel.

En af ulemperne ved en dobbelte facade er at det ikke umiddelbart er muligt at åbne et vindue til det fri. Dette har vi søgt imødegået ved at der etableres en form for franske altaner, hvor det er muligt at åbne dele af facaden, disse dele er adskilt fra den egentlige dobbelte facade. De dobbelte facader etableres ikke i stueetagen og mellemgangen mellem den nye og de eksisterende bygninger, her benyttes energiruder med f.eks. jernfrit glas således at der opnås størst mulig transparens mod terræn og de eksisterende bygninger, således at midterbygningen synes at svæve mellem de eksisterende bygninger.

Ventilationsriste til ventilation af facaden samt friskluftindtag til fornyelse af luften indendørs monteres udfor etageadskillelsene, for at skjule ventilationsåbningerne mest muligt benyttes riste i samme farve som aluminiumsfacaderne.

U-værdikrav $< 100 \text{ kg/m}^2$	: 0,20	ca. 200 mm. isolering
U-værdikrav $> 100 \text{ kg/m}^2$	: 0,30	ca. 125 mm. isolering
Beregnet U-værdi	: 0,288	$> 100 \text{ kg/m}^2$ bilag /2/
U-værdikrav vinduer	: 1,80	
Vinduer i stueetage	: 1,10	

Terrændæk

Terrændækket i kælderen skal beskytte mod indtrængende fugt samt radon⁴. Alt efter grundvandsstanden i området skal konstruktioner under terræn sikres på forskellig vis, i denne bygnings tilfælde antager vi at grundvandsstanden ikke ligger i en kritisk højde under terrændækket. Med denne antagelse skal terrændækket blot sikres med et kapilarbrydende lag på min. 150 mm. af f.eks. letklinker, samt et omfangsdræn. For at sikre mod radon er et kapilarbrydende lag samt isolering og betondæk ikke umiddelbart nok da et normalt betondæk ikke er tæt nok til at forhindre indtrængende radon, grundet revner langs f.eks. ydervægge. Radonindtrængen skyldes forskelle mellem trykket i jordlagene under terrændækket og trykket indendørs, hvor der oftest vil være lavest tryk inde. Radon vil derfor trænge ind gennem utætheder i terrændækket. Det vil ofte være nok at indlægge en plastmembran i terrændækket blot det sikres at denne slutter tæt til gennembrydende konstruktioner som yder- og skillevægge. For yderligere sikring kan det kapilære lag tilsluttes omfangsdrænet hvorved trykforskellen mindskes, ved store koncentrationer af radon kan det være nødvendigt at træffe

yderligere foranstaltninger, f.eks. ved mekanisk at ventilere det kapilarbrydende lag, således at trykket sænkes yderligere.

U-værdikrav	: 0,20	ca. 100-125 mm. Isolering
Beregnet U-værdi	: 0,162	bilag /2/

Etageadskillelse over det fri

Etageadskillelse over det fri omfatter de dele af 1. sal der hænger ud over stueetagen, disse dele beklædes med samme type plader som facaderne således at indtrykket af en svævende kasse forstærkes. Udformningen af konstruktionen minder derfor i høj grad om løsningen for facaderne dvs. at der under dækket ophænges slidsede stålprofiler der beklædes med aluminiumsplader, over betondækket følger dækket beskrivelsen af etageadskillelser (se tidligere afsnit om etageadskillelser). For at forhindre vand i at løbe langs undersiden af pladerne skal der udføres en drypnæse langs hele kanten.

U-værdikrav	: 0,20	ca. 200 mm. Isolering
Beregnet U-værdi	: 0,177	bilag /2/

Kælderydervægge.

Kælderydervæggene udføres i beton der støbes på stedet eller udføres af elementer, kældervæggen beklædes yderst med 100 mm. trykfast isolering. Denne løsning sikrer at kældervæggen holdes varm og derved mere tør.

For at modvirke indtrængen af jordfugt, beskyttes kældervæggen med fugtisolering i form af profilerede plastplader hvormed fugt udefra forhindres i at trænge ind i kælderen samtidigt med at eventuel fugt indefra kan undslippe. Desuden etableres et omfangsdræn til bortdræning af grundvand og overfladevand, afslutningsvis afsluttes med opfyldning af et egnet drænmateriale f.eks. grus.

Indvendigt kan betonvæggen stå ubehandlet eller males direkte.

U-værdikrav	: 0,30	ca. 125 mm. Isolering
Beregnet U-værdi	: 0,286	< 2 meter under terræn bilag /2/
Beregnet U-værdi	: 0,220	> 2 meter under terræn bilag /2/

⁴ Radon er en radioaktiv luftart, dannet af det faste stof radium. Oplysninger om radon er hentet fra /25/

Indeklima og sundhed

Interesse for indeklimaets indflydelse på menneskers sundhed og velvære er ikke noget nyt. Dog er der i større grad op gennem 1980 og 1990'erne blevet fokuseret på de sundhedsproblemer som indeklimaet i mange bygninger giver. Dermed er der opstået en større interesse for at forbedre luftkvaliteten inden døre, hvor en stor del af jordens befolkning antageligvis tilbringer ca. 90% af deres tid.

Især har der været fokus på kvaliteten af indeklimaet i private og offentlige kontormiljøer da man påviste at grupper af medarbejdere i nogle bygninger udviste tegn på utilpashed og sygdom. Mange mennesker der dagligt arbejder i kontorbygninger med dårligt indeklima bliver udsat for både kort- og langvarige påvirkninger som kan have en negativ effekt på deres koncentrations evne og i nogle tilfælde have en sundhedsskadelig virkning. De typiske og hyppigste observeret af disse negative påvirkninger er utilpasset temperatur, træk, støj og dårlig belysning. De fleste af disse påvirkninger vil give nedsat arbejdes evne hos den udsatte. Den anden type påvirkninger er forurening af indeluften i form af kemiske afgasninger fra materialer, støv, bakterier, husstøvmider og skimmelsvamp. Nogle eller flere af disse kan efter kortere eller længere tids påvirkning medvirke til sygdomme som allergisk snue, astma og andre luftvejslidelser samt mindre luftvejsinfektioner som forkølelse. Den sidste type af påvirkninger er de langvarige forureninger fra tobaksrøg og radon som kan give forhøjet risiko for lungekræft, tobaksrøg kan yderligere give øget risiko for udvikling af astma og hjerte-karsygdomme.

De fleste og mest almindelige symptomer på påvirkninger fra dårligt indeklima er nedsat koncentrationsevne, træthed, hovedpine, svimmelhed og generel utilpashed men også symptomer som irritation af øjne, næse og svælg samt hudirritation kan forekomme. Når disse symptomer observeres gennem længere tid hos et større antal personer der opholder sig i samme bygning kaldes dette under et for indeklimasyge, eller for det mere kendte internationale udtryk sick building syndrome forkortes med SBS. (Indklimaproblemer, 1995 /20/)

Der er lavet undersøgelser som påpeger at hvis disse SBS symptomer optræder hos de enkelte medarbejdere kan det have en relativ stor negativ effekt på arbejdsevnen (P Wargocki. et al.,1999 /15/)og dermed i sidste ende på de økonomiske forhold. Undersøgelse antyder at en

betragtelig del af de ansatte der arbejder i kontorbygninger ofte føler sig generet af en eller flere påvirkninger der skyldes dårligt termisk indeklima eller føler sig påvirket af SBS symptomer.(Indeklimahåndbogen, 2000 /19/) Disse problemer ser ikke ud til blot at være udbredt i skandinaviske og nordeuropæiske lande, vi har nogenlunde de samme byggetraditioner, men problemerne synes generelt set at være udbredt i verden som helhed. Dette forhold er en af de incitamenter der har været med til at sætte fokus på at forbedre indeklimaet i både eksisterende og nyopførte kontorbygninger.

Krav til indeklima

For at opnå et acceptabelt indeklima skal der som udgangspunkt være termiske komfort og god luftkvalitet, således at man undgår helbredsmæssige problemer og hygiejniske forhold der reducere personernes arbejde - og koncentrationsevne.

Et mere præcist formuleret krav til indeklimaet kan findes i de anerkendte standarder inden for området.

De retningslinjer som vi vil benytte til at til at fastlægge rammerne for indeklimaet i den planlagte kontorbygning 343 F, findes i følgende publikationer:

DS 474	- Norm for specifikation af termisk indeklima /6/
ISO 7730	- Moderate thermal enviroments-../7/
CEN Rapport CR1752	- Europæisk rapport om indeklima /3/
Indeklimahåndbogen	- SBI-Anvisning 196 /19/

De områder af indeklimaet som vil blive betragtet og redegjort for i denne rapport vil være

Lys og lyd forhold

Luftkvalitet

Termisk indeklima

Det indeklima der sigtes imod er et som opfylder de gældende krav for et kontor miljø.

Det grundlæggende arbejdsmiljø antages dermed med at være præget af fortrinsvis stillesiddende(stående) arbejde. En vigtig faktor til opnåelse af et acceptabelt indeklima er at sørge for at minimere påvirkningen fra specielt stærke forureningskilder derfor er det antaget

at der generelt i alle rum er ryge forbud. Specielle ryge zoner kan muligvis oprettes hvis den fornødne ventilation kan etableres.

Termisk indeklima

De bestemmende faktorer for det termiske indeklima er de samlede påvirkninger fra lufttemperatur, strålingstemperatur, lufthastigheder, turbulensintensiteten og luftfugtigheden samt fluktuationen af disse faktorer. Kravene til et acceptabelt termisk indeklima er bestemt af personernes aktivitet, beklædning og deres fysiologiske behov. Acceptabiliteten af det termiske indeklima kan med relativ stor sandsynlighed fastlægges da man kender den statistiske sammenhæng mellem de termiske faktorer og tilfredsheden med indeklimaet. Det er derfor nødvendigt at kende de grundlæggende parametre aktivitet og beklædning, de individuelle behov er ikke altid til at opfylde, men kan man designe et termisk indeklima hvor mindre end 10%-20% vil være utilfredse antages dette for at være acceptabelt.

(Indeklimahåndbogen, 2000 /19/)

Da det som nævnt grundlæggende vil være stillesiddende arbejde som vil blive udført i alle lokaler antages det at hver persons aktivitetsniveau og beklædning vil kunne beskrives ud fra en standardperson⁵ med

Aktivitetsniveau:	$M=1,2 \text{ met} = 0,70 \text{ W/m}^2 \cdot 1,75\text{m}^2 = 120 \text{ w}$
Beklædning:	
Sommer	$I_{cl} = 0,8 \text{ clo}$
Vinter	$I_{cl} = 1,0 \text{ clo}$

Herefter kan man ud fra de retningsgivende standarder på området finde et design kriterium for et acceptabelt termisk indeklima.

Grundbegreber til beskrivelse af termisk indeklima

Termisk komfort defineres som en tilstand hvor mennesket er tilfreds med de termiske omgivelser.

Termisk neutralitet defineres som når personer føler at deres krop er termisk neutral som helhed uden hverken at ønske koldere eller varmere omgivelser.

⁵ En voksen person med overflade areal på ca. $1,75\text{m}^2$

Når en person er i termisk komfort er der balance mellem varmeproduktion og varmetab dvs. personen er i termisk neutralitet med omgivelserne. Termisk neutralitet er imidlertid ikke altid ensbetydende med termisk komfort, da personen kan være udsat for lokale påvirkninger der resultere i diskomfort. (DS474, /6/)

Diskomfort kan optræde som en uønsket afkøling eller opvarmning af en given kropsdel ved for eksempel træk, en for stor vertikal temperatur gradient eller en for høj strålingstemperaturasymmetri. Diskomfort kan også skyldes et for høj metabolisk niveau kombineret med en høj beklædnings isolans.(EN ISO 7730 , 1994 /3/)

I standarderne defineres nogle grundbegreber for termisk indeklima

PMV- indekset

PMV der er en forkortelse af Predicted Mean Vote, angiver den forventede middelvotering af en stor gruppe menneskers termiske oplevelse af indeklimaet, udfra følgende 7 punkts skala:

- +3 Hedt
- +2 Varmt
- +1 Let varmt
- 0 Neutralt
- 1 Let køligt
- 2 Køligt
- 3 Koldt

PMV indekset kan bestemmes udfra forskellige kombinationer af aktivets niveau, beklædning, luft temperatur middelstrålingstemperatur, lufthastighed og luftfugtighed. PMV indekset er baseret på kroppens varmebalance, som kan udtrykkes ved komfortligningen

PPD - indekset.

PPD -indekset som er en forkortelse af Predicted Percentage of Dissatisfied, giver en kvantitativ forudsigelse af antallet af personer, der vil være utilfredse med de termiske omgivelser. PPD indekset forudsiger den procentdel af en stor gruppe mennesker som forventes at opfatte omgivelserne som termisk utilfredsstillende dvs. votere, hedt(+3), varmt(+2), køligt(-2) eller koldt(-3), på 7 punktskalaen.

Når PMV -indekset er fundet kan PPD bestemmes udfra følgende formel:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)}$$

Træk niveauet

Træk er en lokal uønsket afkøling af kroppen grundet luftbevægelser. Træk niveauet, DR (Draft Rating), kan udtrykkes som den procentvise andel af personer der føler sig chikaneriet af træk.

Træk niveauet DR, kan bestemmes ud fra følgende ligning:

$$DR = (34 - t_a) \cdot (v - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot v \cdot TU + 3,14)$$

t_a	er den lokale lufttemperatur [°C]
v	er den lokale middel lufthastighed [m/s]
TU	er den lokale turbulens intensitet [%]

Hvor turbulens intensiteten er givet ved

$$TU = \frac{SD}{v} \cdot 100$$

v	er middel lufthastigheden.
SD	er standard afvigelsen af lufthastigheden. (EN ISO 7730, 1994 /3/)

Operativ temperatur

Den operative temperatur benyttes ofte som parameter for det termiske komfortniveau i opholdszonen⁶.

Den er defineret som den ensartede temperatur af luft og omgivende flader, der ville medføre samme varmeafgivelse fra mennesket som de faktiske (uensartede) omgivelser. Den operative temperatur kan med god tilnærmelse regnes som middelværdien af luft- og middelstrålingstemperaturen når lufthastigheden er under 0,2 m/s og forskellen i middelstrålingstemperaturen er mindre end 4 K (Danvak Grundbog, 1997 /24/)

⁶ Opholdszonen er defineret ved det område af rummet som det forventes at personerne vil opholde sig i.

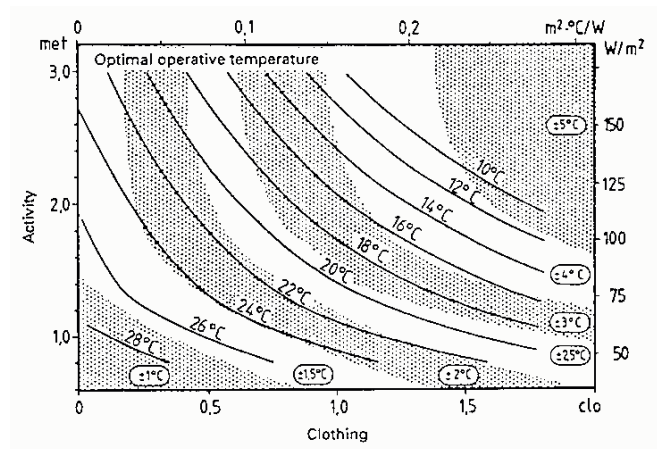
Retningslinjer for termisk komfort

ISO 7730 og DS 474 angiver nogle retningslinjer for termisk komfort i indeklimaet. Det betragtes som acceptabelt når PPD værdien er lavere end 10 %. Udfra disse retningslinjer kan den optimale operative temperatur bestemmes ved at benytte figur 4. Det angives at træk er den mest almindelige grund til lokal diskomfort, og for at holde træk niveauet DR under 15%, anbefales det at den lokale middel lufthastighed holdes lavere end angivet i figur 5

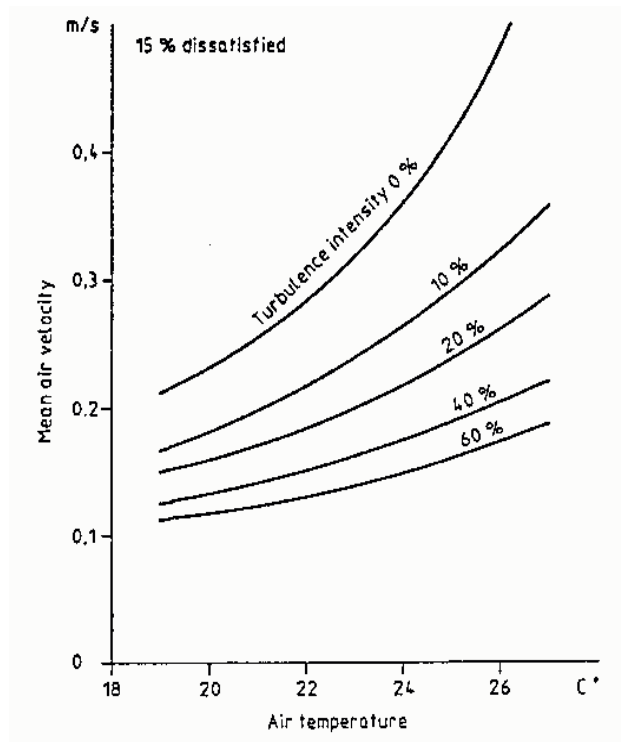
For en given sommer tilstand, med et aktivitets niveau på 1,2 met og en beklædning på 0,8 clo anbefales det at: Intervallet for den optimale operative temperatur i opholdszonen, findes ud fra figur 1, med den forudsætning at mindre end 10 % af personerne forventes at blive utilfredse med det termiske indeklima. I tid bør ændringshastigheden for den operative temperatur ikke overskride 2°C/h

- Den optimale operative temperatur $t_{op} = 23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Den vertikale temperatur differens mellem 0,1 m og 1,1 m over gulv skal være mindre end 3°C .
- Middel lufthastigheden bør være mindre end angivet i figur 5
- Den relative luftfugtighed skal ligge mellem 30% og 70 %.

Følges disse retningslinjer anslås det at mere end 80 % af personerne i lokalet vil finde de termiske forhold acceptable. (DS474, /6/ og EN ISO7730, /3/)



Figur 4: Optimal operative temperatur, som funktion af aktivitet og beklædning



Figur 5: Sammenhæng mellem middellufthastighed, turbulensintensitet og lufttemperatur

CEN Rapport CR1752

CEN rapporten angiver retningslinjer for design af indeklima i forbindelse med ventilation.

Rapporten inddeler indeklimakvaliteten i tre niveauer A,B og C, som svarer henholdsvis til et højt, middel og moderat- forventnings niveau.

Vi har valgt følgende uddrag af rapporten som retningslinjer for design kriterier for kvaliteten af det termiske indeklima.

Med henblik på det termiske indeklima gælder der følgende kriterier. PD (percentage of dissatisfied), procentdel som er utilfredse.

Kategori	Kroppens termiske tilstand som helhed.		Lokal diskomfort			
	PPD	PMV	PD på grund af Træk, DR	PD på grund af forskel i luft - temperatur	PD på grund af varme eller kolde gulve	PD på grund af strålings-asymmetri
	%		%	%	%	%
A	< 6	$-0,2 < PMV < 0,2$	<15	< 3	< 10	< 5
B	< 10	$-0,5 < PMV < 0,5$	<20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	$-0,7 < PMV < 0,7$	<25	<10	<15	<10

Tabel 1 - Termisk indeklima opdelt efter kategori (CEN prENV 1752, 1998 /3/)

For høje forskelle i den vertikale temperaturgradient mellem gulv og hovedhøjde, kan have en negativ effekt på den termiske komfort.

Den vertikale temperatur differens angives mellem 0,1m og 1,1 m over gulv, da disse repræsenterer højderne ved ankel og nakke for en siddende standard person.

Kategori	Forskel i lufttemperatur [°C]
A	< 2
B	< 3
C	< 4

Tabel 2 - Tilladelig vertikal temperaturgradient. (CEN prENV 1752, 1998/3/)

Luftkvalitet

Personernes oplevelse af luftkvaliteten er på forhånd umulig at kende, men man kan designe ud fra et ønsket maksimalt forurenings niveau og dermed bedømme luftkvaliteten.

Kvaliteten afhænger blandt andet af de lugte som eksempel mennesker, 'snavs' eller byggematerialer afgiver samt påvirkningen fra disse i form af tørhed og slimhindeirritation. (Indeklimahåndbogen, 2001 /19/)

Luftkvalitet som den opleves af mennesker kan ikke måles, men må bedømmes af et panel af test personer. Et sådant panel vil ofte dømme luftkvaliteten dårligere end de personer som dagligt befinder sig i bygningen, i det mennesker adaptere sig til deres miljø. Tilvænnningen gælder især for forurening fra mennesker og i mindre grad fra tobaksrøg, dog er der ingen eller næsten ingen tilvænnningen til forurening fra materialer. (Indeklimaproblemer, 1995 /20/)

Det generelle krav til den oplevede luftkvalitet bedømt af en ikke tilvænnet person er i CEN 1752 inddelt efter tre kategorier

Indeluftkvalitets kategori	Utilfredse (PD) (%)	Oplevet luftkvalitet (decipol)	Nødvendig udeluftstrøm (l/s·olf)
A	15	1,0	10
B	20	1,4	7
C	30	2,5	4

Tabel 3 - Tre kategorier af luftkvalitet indendøre. (CEN prENV 1752, 1998/X/)

Forurening fra mennesker

Det er som oftest de lugtformige og ikke de irritative virkninger fra de emitteret forureninger der afgøre ventilationsbehovet. En væsentlig kilde til de lugtformige forureninger er menneskelige bioeffluenter der afgives i mængder der er proportionale med den metaboliske aktivitet. Der fundet en sammenhæng mellem disse kropslugte og den oplevede luftkvalitet, som afhænger af om personerne der bedømmer kvaliteten er adapteret eller ikke adapteret til forholdene. (Indeklimahåndbogen , 2000 /19/)

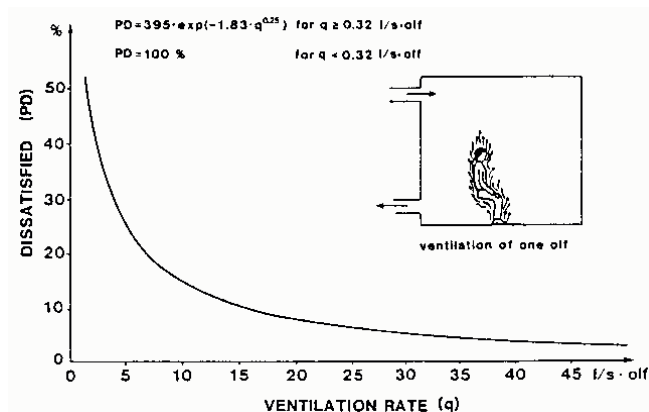
En standard person med en hygiejne svarende til 0,7 bad per dag med en aktivitet på 1,0-1,2 met og er i termisk ligevægt med omgivelserne, forurener med en olf. Dette forudsætter at personen er ikke ryger.

Sammenhængen for ikke adapteret personers bedømmelse af luftkvaliteten og ventilationsraten når forureningen stammer fra

en person der afgiver en olf ses ud af nedenstående figur

(P.O. Fanger et al., 1992 /14/)

Ud fra figuren kan det ses at ønskes der en luftkvalitet hvor det forventes at mindst 80% vil være tilfredse skal der ventileres med ca. 7 l/s pr person svarende til kategori B i tabel 3..



Figur 6 : Utilfredshed med en olf-forurening ved forskellige ventilationsrater

Tobaksrøg

Tobaksrøg er generelt uforligneligt med et godt indeklima. For at kunne opretholde en rimelig luftkvalitet i rum hvor der ryges skal der typisk ventileres med mindst 40 l/s pr ryger baseret på at mindst 80% af de tilstedeværende skal være tilfredse, samt en ryger med et forbrug på ca. 1,2 cigaret pr. time. Denne ventilationsrate er ca. 6 gange højere end for rum, hvor der ikke ryges med den givne belastning (P.O. Fanger et al., 1992, /14/). For det aktuelle projekt hvor der påregnes at ventileres primært med naturlig ventilation er denne rate for høj til, at der i praksis kan opretholdes et acceptabelt indeklima uden træk.

Tobaksrygning forurener luften med blandt andet kulmonoxid, og denne uorganiske forbindelse kan give anledning til irritation af øjnene og andre SBS symptomer ved koncentrationer på ca. 2 ppm. Lugtgener forekommer allerede ved mindre forøgelser ca. 0,5 ppm af koncentrationen som maksimalt bør være 0,5 ppm. Kulmonoxid kan også stamme fra andre forbrændingsprocesser, typisk ville dette være udstødningsgasser fra nærliggende trafik. (Indeklimaproblmer, 1995 /20/). I betragtning af bygningens placering vil forurening fra udstødningsgasser i ventilationsluften ikke give anledning til særligt høje koncentrationer af kulmonooxid

Forurening fra materialer

Bygge materialer og inventar forurener deres omgivelser ved kemisk emission. Luften indeholder mange forskellige typer af kemiske komponenter og det vil typisk være organiske forbindelser der afgasses når det gælder byggematerialer. Disse organiske forbindelser er generelt meget flygtige⁷ og går under betegnelsen VOC (volatile organic compounds) Koncentrationen af VOC i indeluften afhænger af kvaliteten af udeluften , antallet og styrken af kilder indendørs samt adsorption på og desorption fra overflader. Sorption forekommer nemmest i materialer med stor specifik overflade det vil sige porøse og lodne overflader dette kunne være tekstiler som f.eks. tæpper. Koncentrationen afhænger også af eventuelle kemiske omdannelser i luften dette kunne f.eks. være med det stærkt reaktive stof ozon som kopimaskiner/laserprintere i drift udskiller. Ved nyere maskiner, er udskillelsen af ozon væsentligt reduceret. Ventilationen, temperaturen og luftfugtigheden indvirker også på koncentrationens forholdene, stiger temperaturen af materialet øges afgasningen mens luftfugtigheden både kan øge(højne) afgasningen og hæmme den, afhængigt af materialet. Det fremgår at den totale koncentrationen af VOC kaldet TVOC er et kompliceret sammenspil af mange processer og faktorer, derfor vil man også kunne observere store ændringer i TVOC fra ét rum til et andet.(/19/ og /20/)

Afgasningen fra byggematerialer vil typisk være højst inden for de første par måneder af bygningens brugstid.

Den sundhedsskadelige effekt af indholdet af TVOC i indeluften er meget svær at bedømme da der mangler kendskab til de enkelte stoffers virkninger men undersøgelser udført med kendte organiske stoffer i kontormiljøet, viser at der er sammenhæng mellem større koncentrationer af enkelte typer VOC og irritationer af øjne, næse, svælg og hud. Trods dette mangler der beviser for at de relative små koncentrationer der findes i ikke-industrielle bygninger har nogen alvorlig sundhedsskadelig effekt.(ECA rapport no19 /27/)

Men på trods af dette er flere af de materialer der anvendes i byggebranchen kendt for at være slimhindeirriterende og derfor er det vigtigt ved projektering at udvælge de dokumenteret mindst skadelige materialer. I dag findes der en organisation Dansk Indeklima Mærkning der

⁷ De organiske stoffer defineres som flygtige, hvis de har et kogepunkt på under 400°C.

har til formål at dokumentere virkningerne af afgangning fra byggematerialer (Indeklimaproblemer, 1995 /20/)

En af de mest kendte typer af afgangninger fra byggematerialer er formaldehyd.

Koncentrationer af formaldehyd på over 0,05 ppm kan virke slimhindeirriterende. Dette stofs skadelige effekt har været kendt i del tid og brugen af formaldehyd er derfor også blevet stærkt reduceret de seneste år. Det findes blandt andet i en nogle limestoffer der freks bruges i nogle typer spånplader og organiske opløsningsmidler fra maling. Afgasning af formaldehyd øges ved stigende temperatur og luftfugtighed.

Fugtskadede materialer med urea-formaldehydlim kan få væsentlig forhøjet afgasning. (Indeklimahåndbogen, 2000, /19/)

Fugt

Fugt i indeluften tilføres fra primært fra mennesker og planter. Men kan der kan også være en del byggefugt som afgives i starten af bygningens levetid. Fugtindholdet bør holdes på et forholdsvis lavt niveau så muligheden for at der optræder kondens på indvendige overflader minimeres. Hvis der optræder kondens i længere perioder vil der kunne ske opfugtning af konstruktioner og risiko for svampeangreb. Svampesporer i indeluften er kendt for at kunne give SBS symptomer og være allergi fremkaldende

Ligeledes forbedres leveforholdene for husstøvmider ved relativt høje fugt indhold. Holdes fugt indholdet lavere end 7,0 gram vand pr kg tør luft vil dette reducere antallet af husstøvmider til et meget lavt niveau da dette ligger under grænsen for deres leveforhold som ligger ved 45% RF. (J. Korsgaard, 1979, /14/) Det er generelt ønskeligt at holde antallet af husstøvmider så lavt som muligt da disse er kendt for at være astma - og allergi fremkaldende.

Fugt indholdet spiller også en afgørende rolle for afgasninger fra materialer samt at luften opleves mere "frisk" af personer ved lavere fugtindhold og dermed reduceres mængden og indtrykkene fra lugtformige forureninger.

Undersøgelser viser også at kold og tør luft med højere forureningsgrad resultere i samme procentvis antal af utilfredse (PD) som ren luft der er varmere og mere fugtig. Dette vil kunne betyde at der er mulighed for at man i praksis kan reducere ventilationsraten for at

opretholde den samme PD ved samtidigt at sænke fugtindholdet og lufttemperaturen.(L. Fang et al., 1998 /12/)

Radon

Radon er en radioaktiv ædel gas naturligt forekommende i jorden og er en del af den samlede baggrundsstråling som normalt årligt udgør omkring 1 mSv. Tilstedeværelsen af radon i almindelige huse blev opdaget som et problem i starten af 1970'erne, da undersøgelser viste at der i nogle hjem var observeret koncentrationer af radon på helt op til par tusind Bq/m³ svarende til en årlig baggrundsstråling på 10-20 mSv. Personer der befinder sig i længere tid i sådanne koncentrationer har en betragtelig større risiko for lungekræft.

Tilstedeværelsen af radon i vores huse stammer med de vigtigste kilder i nævnte rækkefølge fra ; utætheder i fundamenter og vægge der støder op til jorden, byggematerialer, udeluften samt brugsvandet.(ECA rapport no. 15, 1989 /28/)

Stråling fra radon i Danmark udgør et betydeligt mindre problem end i andre skandinaviske lande. Typiske værdier for danske forhold er for udeluften ca. 8 Bq/m³ og for etagebyggeri er gennemsnitsstråling 20 Bq/m³ (Radon i boliger, SBI 1987 /29/)

Den effektiveste måde at sikre mod radon i byggerier er ved sørge for at fundamenter og kælder gulve og vægge er tætte så de ikke giver anledning til indtrængning.

Lysforhold

Mængden og kvaliteten af lyset i lokale afhænger af hvilken type lyskilder der benyttes, om der er dagslys og af rummets farve og indretning.

Dagslys giver det bedste lys dog har det en række ulemper, når solen står lavt vil den blænde eller giver genskin i skærme, medvirke til kraftig opvarmning af lokalet, og give anledning til skiftende lysstyrke i løbet af dagen.

For at undgå disse ulemper kan man skærme af for solen med persiennet eller gardiner, disse vil alt efter uformningen dæmpe lysmængden til et acceptabelt niveau, dog vil afskærmning ofte medføre at man må tænde kunstigt lys, en alternativ løsning er at oplyse rummet indirekte ved hjælp af sollys, dvs. at der placeres vinduer i taget eller som lysbånd langs loftet i ydervægge (evt. også i skillevægge) disse orienteres således i forhold til solen at lyset ikke skinner direkte ind i lokalet med først rammer en lys flade hvorfra lyset spredes til lokalet.

Kunstig belysning kan ikke undgås i større lokaler hvor personer skal udføre et arbejde, derfor benyttes i kontorlokaler og lignende kunstig loftlys med lysstofrør i armaturer der spreder lyset disse opsættes i rækker parallelt med facader, evt. udføres dette således at enkelte rækker kan slukkes når der er tilstrækkeligt sollys. Sammen med sollyset giver loftlyset en baggrundsbelysning i lokalet, ud over disse er det også nødvendigt at der er lamper ved hver enkelt arbejdsplads hvor personen selv kan regulere lyset disse vil ofte være små indstillelige lamper med halogen, gløde- eller lavenergipære alt afhængig af det arbejde der skal udføres. For bygning 343F udgøres belysning af et orienteringslys (baggrundsbelysning) og et antal punktbelysninger (arbejdsbelysning). Kravet til orienteringsbelysningen er at det minimum skal kunne klare et belysningsniveau på 200 Lux.

Lydforhold

Lydniveauet i et lokale bestemmes af antallet og styrken af lydkilder inde i lokalet og lyd der transmitteres udefra. Lydkilder inde i lokalet for et kontor er typisk personer, trinlyd og døre der åbnes og lukkes. Udefra kommende lyd kan være støj fra ventilationsanlæg, vind og trafikstøj.

Støj fra kilder udendørs kan forsøges at dæmpes med valg af facade og vinduer, vigtigst er vinduerne da lyd let transporteres gennem sprækker samt hvis et vindue åbnes vil lyden kunne strømme frit ind, i områder med kraftig trafikstøj kan det derfor være nødvendigt at anvende vinduer der ikke kan åbnes.

Støj produceret i lokalet og i nærliggende lokaler dæmpes på forskellig vis, i kontorer er anvendelse af akustik lofter udbredt, og er gode til at opsuge støj og nedsætte efterklangstiden. Andre muligheder er tæpper (primært i gangarealer), skillevægge af lyddæmpende materiale, ydermere vil planter, gardiner, reoler m.m. også medvirke til at dæmpe støjen, vigtigst er det at undgå store glatte og hårde overflader da lyden kastes tilbage fra disse.

Det lineære støjniveau dB(lin) er det totale lydtryk, mens der for dB(A) lydtrykket er filtret (A-filter) de høje frekvenser fra som det menneskelige øre ikke kan opfatte, dB(A) er sædvanligvis det lydtryk der opgives for støjende maskiner.

Ifølge Bygningsreglement '95, har vi ikke kunnet finde nogle angivelser af acceptabelt lydtryk i kontormiljøer.

Men ifølge tabel 1 på side 10 i CEN rapport CR1752, angives der nogle retningslinjer for acceptabelt lydniveau.

Type	Indeklima kategori (se afsnit ovenfor)		
	A	B	C
Enkelt kontor	30 dB(A)	35 dB(A)	40 dB(A)
Åbenplan kontor	35 dB(A)	40 dB(A)	45 dB(A)

Tabel 4: Retningslinjer for acceptabelt lydniveau - Uddrag af tabel 1 på side 10 i CEN rapport CR1752

Eftersom 60 dB(A) svarer til normal tale og det primære krav for et kontormiljø må være at personerne skal kunne tale normalt sammen, antages værdierne for kategori B for at være et acceptabelt niveau i bygning 343F for både enkelt rum og åbenplan kontorer (10 dB svarer til en fordobling af lydtrykket).

Det forventede indeklima

Forventet termisk indeklima

Med udgangspunkt i de givne retningslinjer fra henholdsvis DS 474, ISO 7730 og CEN CR1752 vil vi opstille nogle krav til det termiske indeklima i opholdszonen.

Kravene er valgt med udgangspunkt i det valgte aktivitets- og beklædnings niveau.

Parameter	Krav	
	Sommer	Vinter
Operativ temperatur, t_{op}	$24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$	$22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
Vertikale temperatur differens	$< 3^{\circ}\text{C}$	$< 3^{\circ}\text{C}$
Relativ luftfugtighed	$30 \% \leq RF \leq 45 \%$	$30 \% \leq RF \leq 45 \%$
Maksimal middellufthastighed i opholdszonen	$0,25 \text{ m/s}^{\text{a)}$ $0,15 \text{ m/s}^{\text{b)}$	$0,25 \text{ m/s}^{\text{a)}$ $0,15 \text{ m/s}^{\text{b)}$

Tabel 5: Krav til det termiske indeklima

a) Ved benyttelse af naturlig ventilation og fortrængnings princippet

For at udgå at en for stor del af personerne vil føle ubehag på grund af træk, $DR \leq 15\%$, skal middellufthastighederne i opholdszonen generelt holdes lavere end $0,25 \text{ m/s}$. Denne værdi er fundet ud fra figur 5 når det antages at turbulensintensiteten i opholdszonen normalt vil ligge i intervallet $10\% \leq TU \leq 20\%$ med en typisk værdi på 15% , hvilket svarer nogenlunde til målte værdier for naturlig ventilation. (H.B Awbi. ,1991, /26/, s. 21-26).

At turbulens intensiteten vurderes til at ligge i dette område skyldes at middellufthastighederne lige efter ventilationsåbningerne vil være så lave at luftstrømningerne antages i det meste af tiden at være laminare og dermed ikke give anledning til forøgelse i TU i opholdszonen. Disse værdier tager udgangspunkt i at den nødvendige ventilation kun ydes gennem friskluftventilerne. Værdierne vil sandsynligvis overskrides når personerne i lokalet vil åbne for altandøre.

b) Ved benyttelse af mekanisk ventilation og opblandingsprincippet

Bør middellufthastigheden holdes lavere end $0,15 \text{ m/s}$ for at opnå $DR \leq 15\%$. Denne værdi ligger til grund for at turbulensintensiteten ved opblandingsprincippet typisk er ca. 40% (DS 474, 1993 /6/)

Forventet luftkvalitet

Kvaliteten af udeluften er afgørende for luftkvaliteten indendørs, for at bestemme udeluftkvaliteten skal man i realiteten måle den, men da vi ikke kender til de aktuelle forhold og ikke har tid til at udføre målinger, antager vi at den generelle udeluftkvalitet svarer til *By med god luftkvalitet*

Type	Niveau
Oplevet udeluftkvalitet	0,1 decipol
Kulmonoxid	1-2 mg/m ³

Tabel 6: Uddrag af tabel A.9 i CEN CR1752

Sensoriske forurening

Forurening fra mennesker og inventar betragtes som værende den største kilde til forurening af indeluften.

Forureningsniveauet kan bestemmes ud fra vurderet belastninger af personer og inventar

For personer gælder der at det antages at de er standardpersoner og at ingen af disse ryger under ophold i bygningen.

For elektrisk udstyr som f.eks. computere antages det at den angivne belastning er en repræsentativ middelværdi, i udstyrets brugstid.

For begrebet bygning i denne forbindelse gælder der, at det dækker over følgende forureningskilder: byggematerialer, ikke el-forbrugende inventar og forurening fra ventilation. Denne værdi er inde for de ønskede grænser af den maksimale forurening i lav forurenende bygninger. (P.O Fanger. et al. 1992 /14/)

Kilde	Styrke
Personer	1,0 olf
El-udstyr	
- Computer	0,5 olf
- Printer / kopimaskine	1,0 olf
- OH / Video projektor	0,5 olf
Bygning	0,05 olf/(m ² gulv)

Tabel 7: vurderede værdier for de sensoriske belastninger

Med disse lave værdier for forureningen, må vi forvente at opnå en PD værdi på under 15% med henblik på den oplevede luftkvalitet.

Kemisk forurening

Den samlede kemiske forurening fra TVOC er umulig at bedømme på forhånd.

Men det antages at man ved udførelsen af bygningen, vælger materialer der har en lav afgasning samt at den eventuelle afgasning har en lav sundhedsskadelig og imitativ effekt

Eksempler på materialer med lav forurening

- Teglsten
- Aluminiums plade (ikke bemalet)
- Ubehandlet konstruktions træ

Tobaksrøg og kulmonoxid

Tobaksrøg er på grund af sine kraftige lugtgener og skadelige virkninger samt store krav til volumenstrømmen af frisk luft ikke ønskelig, og der vil under projektering antages at alle rum er røgfri

Andre kilder til kulmonoxid her tænkes primært fra udstødningsgasser, betragtes ikke at være af afgørende betydning for den indendørs forurening på grund af bygningen placering (se tabel over udeluft kvalitet.)

Ventilations systemet

Som grundlæggende princip for ventilation kan der vælges mellem mekanisk, naturlig eller hybrid ventilation.

De krav som ventilationen skal opfylde er at det skal kunne opretholde det fornødne komfort- og sundhedsmæssige niveau defineret i ovenstående afsnit om det forventede indeklima.

Lave drift- og vedligeholdelseskostninger tillægges også at have betydning ved valg af det rette ventilationsprincip.

Mekanisk ventilation

Mekanisk ventilation har dens fordele ved at man kan kontrollere ventilationsraten samt at luften nemt kan fordeles jævnt i rummet hvilket kan medføre en forholdsvis præcis kontrol med det termiske indeklima.

Mekanisk ventilation har typisk højere drift- og vedligeholdelseskostninger samt et højere støjniveau end naturlig ventilation. Støj kan der i de fleste tilfælde tages højde for og ved ordentligt design reduceres til acceptabelt niveau.

Luftkvaliteten af indblæsnings luften kan en vis grad kontrolleres ved valg af de rigtige filtre og placering af luftindtag.

Da mekaniske systemer ofte er temmelig komplekse skal de designes så manglende vedligeholdelse af komponenter og især filtre kan spores hurtigt. Hvis de ikke bliver vedligeholdt ordentligt kan det resultere i unødvendig energi forbrug og i nogle tilfælde udgøre en sundhedsrisiko

Mekaniske ventilations anlæg kan være temmelig pladskrævende både med hensyn til aggregater og kanalføring. Nogle typer af indblæsnings aggregater som benyttes ved fortrængning optager også gulvplads og reducere dermed antallet af de udnyttelige (brugbare kostbare) kvadratmeter

Naturlig ventilation

Naturlig ventilation benytter sig udelukkende af vindkræfter og temperatur forskelle i luften mellem inde og ude, til at ventilere bygningen med. Design konceptet for naturlig ventilation er derfor meget afhængig af bygningens udformning (især klimaskærmens opbygning sættes der krav til) da ventilationen benytter sig af de naturlige forekommende kræfter samt at styringen ofte involvere brugerne af bygningen. Dette vil naturligt medføre at en man ikke kan opnå en hel så præcis kontrol af det termiske indeklima.

Naturlig ventilation generere ikke støj i sig selv men kan give anledning til at støj fra udendørs kilder når ind i bygningen. Ved dimensionering af naturlig ventilation vil det ofte være en fordel at benytte sig af at eksponere dele af bygningens termiske masse til at udligne de daglige temperatur udsving, dette kan medføre potentielle akustik problemer.

Luftkvaliteten af indblæsnings luften er af naturlige årsager meget afhængig af kvaliteten af udendørs luften da der sjældent installeres filtre samt at placeringen af luftindtag er mindre fleksible da de som regel skal placeres jævnt fordelt over facaden, og dermed er det svært at isolere alle indtag fra en eventuel ydre forureningskilde

Da naturlig ventilation som tidligere nævnt er et passivt anlæg i den forstand at det benytter sig af naturlige driv kræfter er denne type af ventilation ikke særlig installations tung og optager derfor mindre plads i bygningen og samtidigt er nemmere at rengøre og vedligeholde

Valg af ventilations princip

I dette tilfælde ønskes der en løsning baseret på naturlig ventilation.

Det vurderes at dette princip vil kunne opfylde kravene til indeklimaet når der vælges, hvor det er muligt, parametre for bygningens varmebalance der ikke giver anledning til unødigt høje varmebelastninger ($< 30 \text{ W/m}^2$) i lokalerne.

Tillige opfylder princippet også det formål, at finde løsninger der har et minimalt energiforbrug, samt lave vedligeholdels omkostninger.

Samtidig med dette kan ventilationssystemet for naturlig ventilation være nemt at betjene og renholde hvis det designes med eftertanke.

I det heletaget sigtes der mod at benytte utraditionelle løsninger hvor disse vurderes at have en konkurrencemæssig fordel, da dette er med til gøre projektet spændende for de impliceret.

Naturlig ventilation

Ventilationen af opholdszonen kan udføres efter to grundlæggende principper som hver især giver forskellige muligheder

Enkelt siddet

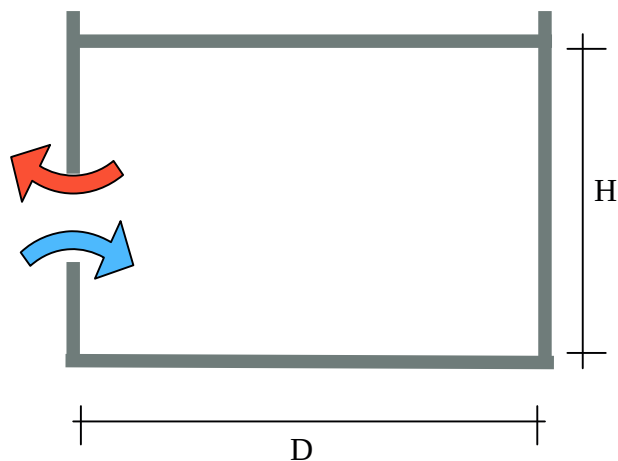
Dobbelt siddet

Enkelt siddet ventilation er det enkleste princip, hvor der kun ventileres gennem en åbning i en side af bygningen, dette kunne for eksempel være et vindue i et lukket kontor. Dette princip er erfaringsmæssigt kun effektivt så længe at rum dybden er maksimalt 2 gange rumhøjden.

$$D \leq 2,0H$$

Der findes en variant af dette princip hvor åbningen deles op i to, en øvre og en nedre, dette kan være med til at gøre temperatur differensen over de to ventilations åbninger større og dermed øge volumenstrømmen. Med den forøgede effektivitet kan rumdybden således gøres større.

$$D \leq 2,5H$$



Figur 7: rumdybde og højde

Dobbelt siddet ventilation er hvor der ventileres gennem to modsatte åbninger, i sin simpleste form to vinduer i hver sin facade i samme lokale. Det vil primært være vind kræfter der vil drive ventilationen og derfor er det vigtigt at der er forholdsvis fri passage mellem de to åbninger. således at der ikke er inventar der skaber forhindringer eller at det ene åbnings areal helt eller delvist lukkes. Denne form for ventilation har også begrænsninger for hvor dybt rummet må være og dermed selve bygningen, erfaringsmæssigt gælder der at:

$$D \leq 5,0H$$

En variation eller udvidelse af den dobbelt siddet ventilation kaldet skorstens effekten forøger effektiviteten af princippet ved at der indføres en skorsten som aftrækskanal. Ved hjælp af denne skorsten drives ventilationen af de termiske kræfter der opstår ved temperatur differensen (i mellem inde og ude) idet der ved friskluftsåbningen forventes at være koldere en ved toppen aftrækskanalen.

Denne skorsten kan så eksempelvis placeres midt i lokalet så rumdybden kan forøges til det dobbelte, således at der stadig gælder at

$D \leq 5,0H$ fra friskluftåbningen til udtræksåbningen.

Effekten af skorstens aftrækket kan gøres større ved at der etableres et varme absorberende materiale i skorstenen som solen opvarmer, dette materiale vil afgive varme i skorstenen ved konvektion og således forbedre den termiske opdrift.

For bygning 343F vælges der dobbelt siddet ventilation med skorstensaftæk, da dette princip vil kunne levere den største effekt.

Styret ventiler og oplukkelige altandøre i hver facade skal sørge for tilførsel af friskluft.

Skorstensaftækket udføres med mulighed for sol opvarmning af den øverste del, til forbedring af den termiske opdrift.

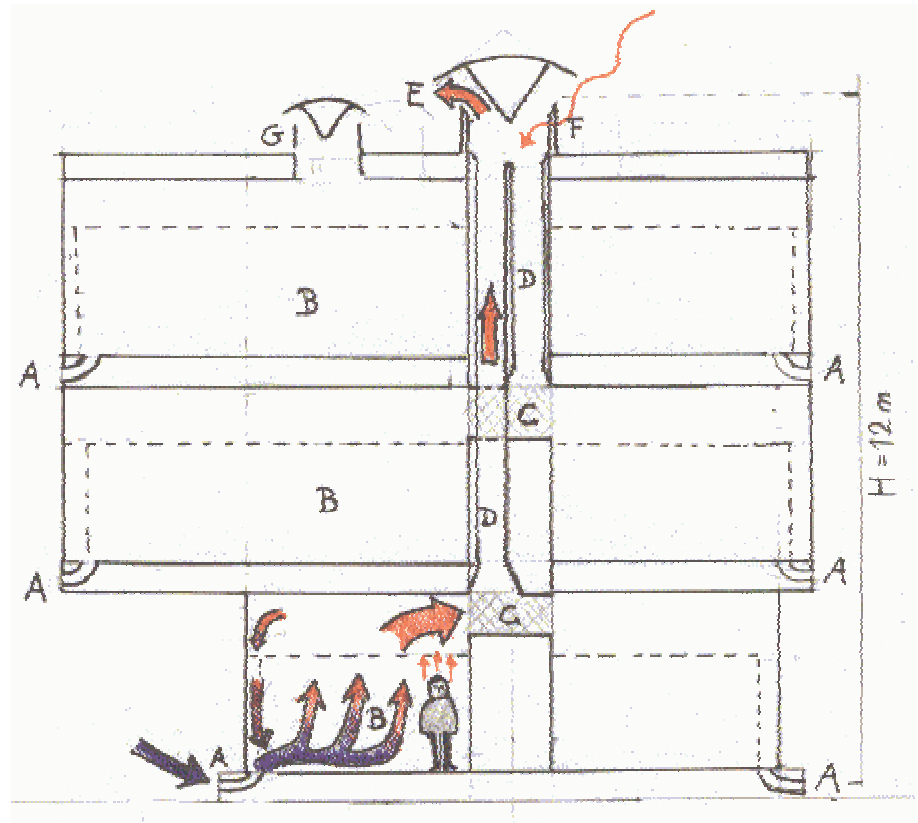
Skorstensaftækket for etage0 og etage1 placeres i teknikskakten med hver sin kanal og der etableres aftræk for etage 2 gennem to separate kanaler i tagkonstruktionen.

Grunden til at etablere separat aftræk for hver etage er for at forhindre at bortventileret luft fra de nederste etager vil finde ind på de øverste etager der således vil miste tilførelsen af frisk luft. Sådan en situation ville kunne opstå på den øverste etage, ved benyttelse af et fælles aftræk, hvor der samtidigt åbnes for altandøre på de nedre etager som vil ændre væsentligt på arealforholdene mellem indløb og udløb.

At ventilere gennem skorstensaftækket placeret midt imellem de to facader vil kravet om forholdet mellem rumdybde og højde, når dybden regnes fra aftrækket også være opfyldt

$D = 15,0m \cdot 0,5 = 7,5m \leq 5,0 \cdot H = 5,0 \cdot 3,0 m = 15,0m$

- A:** Friskluftsventiler (indløb)
- B:** Opholdszone
- C:** Aftræksrist til kanal
- D:** Aftrækskanal for etage 0 og 1
- E:** Udløb
- F:** Solopvarmning af kanal
- G:** Aftræk og udløb for etage 2



Figur 8: Principskitse af luftstrømme

Princip for distribution af ventilations luften

Der vil i det følgende blive forsøgt at beskrive den friske lufts principielle bevægelser fra friskluftventil eller altanåbning, gennem opholdszone til udløbet i aftrækskanalen.

En langt bedre vurderingen af friskluftens betydning for forholdene i opholdszonen, med henblik på blandt andet lufthastigheder og temperaturlagdeling, vil kunne opnås ved hjælp af edb simulerede CFD (Computational fluid dynamics) beregninger. Opbygning af CFD modeller kan være tidskrævene, men er de udført med omhu kan de give et meget nøjagtige billede af de termiske forhold.

Friskluftventiler placeres i etageadskillelsen med mulighed for styring af det åbne areal. Luften ledes gennem en lille kanal op gennem konvektor graven, så der er mulighed for at eftervarme luften. Principielt er der to situationer når luften passere konvektorgraven, med opvarmning og uden opvarmning.

Uden opvarmning vil ventilationsluft når den forlader konvektorgraven være undertempereret i forhold til indeluften og vil starten fordele sig langs gulvet og blande sig med indeluften. Herefter vil der langsomt ske en opvarmning af luften når den møder varme flader som kunne være gulvet og varmekilder som elektrisk udstyr og mennesker. Dette vil resultere i opadgående konvektionsstrømme og en lodret temperatur gradient. I de fleste tilfælde vil varmekilder også være forureningskilder og dermed vil forureningen stige til vejrs med den varme luft. Hermed opstår der en zone deling af rummet med en øvre forurennet zone og en nedre zone med ren luft. Optimalt vil opholdszonen ligge inden for den nedre rene zone. Grænselaget mellem de to zoner vil være bestemt af den tilførte volumenstrøm og dermed også af temperatur forskellen mellem inde og ude. I lofts højde vil der være placeret aftræksventiler som leder den forurenede luft ud i skorstenskanalen.

Med opvarmning vil der i store træk være den samme distribution af ventilations luften, med den undtagelse at der vil være et punkt hvor den friske luft er opvarmet så meget at den ikke længere vil "klæbe" sig til gulvet, men stige mere direkte op. Denne situation skal helst undgås da dette vil forringe udskiftningen af den forurennet luft i opholdszonen. Derfor skal friskluften højst opvarmes til en temperatur der svarer til temperaturen i de nedre luftlag

I andre situationer vil der være åbne altandøre og i disse tilfælde vil distributionen af friskluft i de fleste tilfælde være styret af kræfter det givne vindtryk danner ved overtryk på vindsiden og undertryk på læ siden, især i situationer hvor der er åbne altandøre på begge facader. Den friske luft vil undervejs fra den ene til den anden åbning trække den forurenede indeluft med sig.

På vindstille dage vil lufthastighederne lige efter luften har passeret friskluftventilerne i det meste af tiden være så lave at det antages at $v_a \sim 0$ m/s. Dette vil medvirke til at færre personer vil føle ubehag på grund af træk så længe altandøre holdes lukket.

Dimensionering af naturlig ventilation

Der er valgt at benytte det omtalte ventilations princip for hver etage. Der vil ved dimensioneringen af den naturlige ventilation udføres beregninger for hver af de tre etager da disse udgør tre separate systemer og har forskellige termiske og forurenings belastninger.

Lufttætheden af bygningen er vigtig at denne er høj, da dette giver de bedste forudsætninger for at den naturlige ventilation vil virke optimalt. Lufttætheden defineres ved den lækage angivet ved luftskifte pr time pr kvadratmeter af samlede udvendig areal som indtræder når der påføres en trykforskel på 50 Pa over konstruktionen. Infiltrationen må maksimalt være $5 \text{ m}^3 / \text{h m}^2$ ved en trykforskel på 25 Pa

Det antages at konstruktionen har en lufttæthed svarende til en infiltration på ca. $3 \text{ m}^3 / \text{h m}^2$ ved 25 Pa.

Etage 0

Rum fordelingen består af ankomst og reception dette vil primært være gennemgangs område samt to mødelokaler. I mødelokalerne må forventes at være de største belastninger både med hensyn til forurening og varme.

Ventilationen skal i princippet beregnes på baggrund af den termiske belastning og den sensoriske forurening for både en sommer og en vinter situation. Den dimensionerende situation er den som kræver den største værdi af nødvendig volumenstrøm.

Det vurderes at for de to situationer vil effektiviteten af den naturlige ventilation være mindst for en sommer situation primært på grund af temperatur forskellen mellem inde og ude, ΔT vil være langt mindre end ved en vintersituation. Samtidigt vil den termiske belastning en stor del af vinterhalvåret være mindre end i en sommersituation med klart vejr.

$$\Delta T_{\text{sommer}} = 2^\circ \text{ K}$$

$$\Delta T_{\text{vinter}} = 20^\circ \text{ K}$$

Derfor vælges der at dimensionere ventilationen udelukkende på baggrund af en sommersituation uden vind og klart vejr.

Sommer situation

Skyfri og vindstille dag med en udetemperatur på $t_u = 25^\circ \text{ C}$

Termisk belastning

Rummets overskudsvarme som er det totale frie varmeindhold i indeluften der bestemmes ud fra rummets delbelastninger, som er, sol påvirkning, varme fra el-apparater og personer

Der regnes med at, af den totale transmitteret solenergi afgives 30% umiddelbart til luften ved konvektion og de resterende 70% optages af konstruktioner og inventar.

Den termiske belastning er udregnet ved hjælp af edb programmet Bsim 2000

For at finde en spidsbelastning, granskes vores uddata for vores Bsim model 1

Uddata fra Bsim model 1, energi balance for etage 0 :Dato 06.08 kl 11 med $t_{inde} = 22^{\circ}\text{C}$,

$t_{ude} = 18,5^{\circ}\text{C}$ og $t_{op} = 23,^{\circ}$. Operativ temperatur er angivet for 1,1 m over gulv. Se yderligere uddata for spidsbelastninger på bilag 4.

Day	(None)	Values
Monday 6.8.2001	11	12
qTransmis(Etage0)kW	-3,269	-3,524
qSunRad(Etage0)kW	6,910	6,787
qPeople(Etage0)kW	2,496	2,496
qLighting(Etage0)kW	0,659	0,659
qInfil(Etage0)kW	-0,683	-0,543
qEquipment(Etage0)kW	1,885	1,885
ExtTmp((Outdoor))*C	18,50	18,70
Ti(Etage0)*C	21,83	22,05
TzReturn(Etage0)*C	23,58	23,81

Dette gav en varmebelastning fra personer, el-udstyr, lys og solpåvirkning når transmissionen og infiltrationen er fratrasket på ca. 8,1 kW

Denne værdi antages at være repræsentativ for den maksimale varmebelastning for etage 0.

Den maksimale varmebelastning, når der regnes med 30% direkte varmeafgivelse fra solindfald, bliver

$$\Phi_{\text{maks,e0}} = \Phi_{\text{sol}}(6,9 \cdot 0,3) + \Phi_{\text{pers}}(2,5) + \Phi_{\text{lys}}(0,67) + \Phi_{\text{udstyr}}(1,9) - \Phi_{\text{infil}}(0,68) - \Phi_{\text{trans}}(3,3) \text{ kW}$$

$$\Phi_{\text{maks,e0}} = 3,2 \text{ kW} = 19 \text{ W/m}$$

Det vurderes at forholdet mellem varmebelastningerne for mødelokalerne og resten af etagen bliver

Rum	Solpåvirkning	Resterende	Trans+infil	Total
Mødelokale, 61m ²	0,75 kW	(1,9+0,24+0,95) kW	-1,44 kW	2,4 kW
Reception, 108 m ²	1,32 kW	(0,6+0,43+0,95) kW	-2,54 kW	0,8 kW
Etage 0				3,2 kW

Tabel 8: forhold mellem varmebelastninger

Dette forhold har afgørende betydning for det termiske indeklime for mødelokalerne som tydeligt har den største varmebelastning på hele etagen. Det må antages at den operative temperatur for mødelokalt vil være højere end den angivet middel for hele etagen

En vurdering af den operative temperatur kunne være:

Etage0 (middel) $t_{op,e0} = 23,0^{\circ}\text{C}$

Mødelokale $t_{op,mø} \sim t_{op,e0} \cdot 1,33 = 30^{\circ}\text{C}$

Denne forskel er nok lige i overkanten, da der vil være en del opblanding af indeluften mellem lokalerne, så en realistiske værdi ville være

Mødelokale $t_{op,mø} \sim 26^{\circ}\text{C}$

Denne værdi ligger tilfældigvis lige på grænsen af den maksimalt ønskelige operative temperatur.

Da vi ikke kan simulere de termiskeforhold nærmere for disse lokaler med vores aktuelle model i Bsim vælger vi at betragte det termiske indeklime for etage 0 under ét.

En forbedret model ville være at tilføje en ekstra termisk zone for de to mødelokaler.

Sensorisk belastning

Med de antaget belastninger giver dette en forurening på etage 0,angivet i nedenstående tabel fordelt mellem mødelokale og reception på:

Lokalitet	Personer (olf)	El-udstyr (olf)	Bygning(olf)	Total (dp)
Møderum, 61m ²	16,0	3,0	3,1	2,21
Reception,108m ²	5,0	3,0	3,6	1,16
Etage 0, ialt				3,37

Tabel 9: Den sensoriske forurening for etage0

Sommer situation.

Den dimensionerende volumenstrøm skal findes ved den givne situation.

Den nødvendige volumenstrøm, $q_{nød,term}$ baseret på luftens frie varmeindhold kan beregnes af

$$q_{n\ddot{o}d,term} \geq \frac{\Phi}{\rho \cdot c_p \cdot (t_i - t_{indb})} \cdot \frac{1}{\varepsilon_t} \quad [1.]$$

hvor	Φ	er varmebelastningen der skal fjerne fra rummet (kW)
	t_i	er middellufttemperaturen
	t_{indb}	er temperaturen af den indblæste luft
	ρ	er luftens middel densitet (kg/m ³)
	c_p	er luftens specifikke varmekapacitet (J/kg grad)
	$q_{n\ddot{o}d,sen}$	er den nødvendige volumenstrøm (m ³ /s)
	ε_t	er temperatureffektiviteten. $\sim 1,0$

For den angivne maksimale varmebelastning for etage 0 for vi at den nødvendige volumenstrøm skal være

$$q_{n\ddot{o}d,term} \geq \frac{3,2}{1,2 \cdot 1,0 \cdot 2} = 1,3 m^3/s$$

Den nødvendige volumenstrøm, $q_{n\ddot{o}d,sen}$ baseret på den sensoriske forurening beregnes af

$$q_{n\ddot{o}d,sen} \geq 10 \cdot \frac{G_c}{G_i - G_o} \cdot \frac{1}{\varepsilon_t} \quad [2.]$$

hvor	G	er den sensoriske belastning (olf)
	G_i	er den oplevede luftkvalitet indendørs (decipol)
	G_o	er den oplevede luftkvalitet udendørs (decipol)
	$q_{n\ddot{o}d,sen}$	er den nødvendige volumenstrøm (l/s)

For den angivne maksimale sensoriske forurening for etage 0 for vi at den nødvendige volumenstrøm skal være

$$q_{n\ddot{o}d,sen} \geq 10 \cdot \frac{3,37}{(1,0 - 0,1)} = 40 l/s = 0,04 m^3/s$$

Energibalancen

Energi potentialet som opstår ved temperaturforskellen mellem inde og ude resulterer i de termiske kræfter som giver det tryk der vil drive ventilationen på en vindstille dag.

Den potentielle energi af luftsøjlen udendørs presser luftsøjlen inden døre opad (de termiske kræfter vil sørge for luftcirkulation) når der etableres to modsatte åbninger med den indbyrdes vertikale afstand, H så længe drivtrykket kan overvinde de interne modstande som konstruktionen medføre som for eksempel enkelttab ved luftens passage gennem en ventil.

Energibalancen der udtrykker det nødvendige drivtryk, Δp_{driv} for at etablere en luftstrøm mellem to åbninger bliver

$$\Delta p_{driv} = \Delta p_{enkelt} + \Delta p_{friktion} \quad [3.]$$

hvor Δp_{enkelt} er trykændringen forudsaget af enkelttab
 $\Delta p_{friktion}$ er trykændringen forudsaget af friktionstab

Drivtryk

Drivtrykket er givet ved trykforskellen mellem inde og ude. Trykket af den "kolde" luftsøjle udendørs er større ved den nederste åbning, end trykket af luftsøjlen indendørs. Derfor vil udeluften her diffundere ind i bygningen. Ved den øverste åbning er temperaturen af indeluften højere end udeluften dette resultere i tilsvarende højere tryk. Her vil luften så bevæge sig fra inde mod ude. Er højde forskellen H mellem luftindtaget og udløbet er trykket henholdsvis inde og ude.

$$p_u = \rho_u \cdot g \cdot H$$

$$p_i = \rho_i \cdot g \cdot H$$

Hvilket medføre et drivtryk på

$$\Delta p_{driv} = (\rho_u - \rho_i) g \cdot H$$

Da atmosfærisk lufts temperaturudvidelseskoefficient i intervallet fra 0°C til 20°C har en værdi på ca. $\beta = 0,0044 \text{ kg/m}^3 \text{ K}^{-1}$, vil

$$(\rho_u - \rho_i) = 0,0044 \Delta T$$

Hvor ΔT er temperaturforskellen i kelvin. Udtrykket for Δp_{driv} bliver så

$$\Delta p_{driv} = 0,0432 \Delta T \cdot H \quad [4.]$$

Den samlede volumenstrøm, q_v der løber ind i bygningen er lig det der løber ud

$$q_v = v_i \cdot A_i = v_u \cdot A_u$$

Enkelttab

Et energitab kaldes et enkelttab, når det forårsages af en lokal ændring af hastighedens størrelse eller retning. Enkelttab vil optræde i forbindelse med indsnævring og udvidelser i tværsnittet samt ved bøjninger og knæk i kanaler, hvor luften strømmer.



Ved udvidelser i tværsnittet kan enkelttabet findes ud fra Carnots formel der bliver

$$\Delta p_{enkelt} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_1 - v_2)^2$$

v_1 er hastigheden i ventilen

v_2 er hastigheden af strømningen lige efter indløb i lokalet

Da som tidligere nævnt antages hastigheden $v_2 \sim 0$ m/s, da tværsnitsforøgelsen teoretisk set er uendelig stor når ventilationsluften forlader friskluftventilen og strømmer ud i rummet.

Derved bliver vores enkelttab hidrørende tværsnitsændringen, ved indløb i lokalet.

$$\Delta p_{enkelt} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{q_i}{A_i} \right)^2 = 0,6 \cdot \left(\frac{1}{A_i} \right)^2 \cdot q_i^2 \quad [5.]$$

Ved indsnævring dannes der et kontraheret tværsnit og der gælder at $A_1 = 0,6 \cdot A_2$ for $A_2 \ll A_0$. Da fås enkelttabet til

$$\Delta p_{\text{enkelt}} = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{q}{C_k \cdot A_2} - \frac{q}{A_2} \right)^2 = 0,6 \cdot \left(\frac{C_k - 1}{C_k} \right)^2 \cdot \left(\frac{q}{A_2} \right)^2 = 0,17 \cdot \left(\frac{q}{A_2} \right)^2 \quad [6.]$$

kontraktionskoefficienten C_k for skarpkantede åbninger sættes til 0,65

For et rørknæk gælder der at tryktabet er proportionalt med knækvinklen, θ

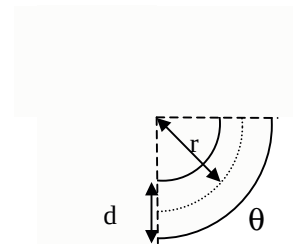
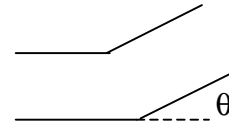
$$\Delta p_{\text{enkelt}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot (1 - \cos \theta)$$

Specielt gælder der for et 90° knæk at

$$\Delta p_{\text{enkelt}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \frac{0,6}{A^2} \cdot q^2$$

og for en bøjning gælder der

$$\Delta p_{\text{enkelt}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot 0,3 \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \sqrt{\frac{d}{r}}$$



Friktionstab

Der forekommer friktionstab når luften strømmer i en kanal. Størrelsen af dette tryktab, er afhængigt om der er tale om en turbulent eller en laminar strømning. Reynolds tal, Re angiver om strømmingen er turbulent eller laminar.

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{q}{d \cdot \nu}$$

hvor $\nu = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ er luftens viskositet ved 20°C

Tryktabet ved laminar strømning er givet ved Poiseilles formel

$$\Delta p_{\text{friktion}} = \frac{128 \cdot \rho \cdot \nu \cdot l}{\pi \cdot d^4} \cdot q$$

Hvor l = kanal længde og d = kanaldiameter

Tryktabet ved turbulent strømning er givet ved Blasins formel

$$\Delta p_{\text{friktion}} = 0,018 \frac{l}{\pi \cdot d^{19/4}} \cdot q^{7/4}$$

Det er på forhånd ikke muligt at vide om strømmingen er turbulent eller laminar da q_v er ubekendt og dermed vides heller ikke hvilket af de to udtryk som er bestemmende for tryktabet. Som udgangspunkt antages det at strømmingen er laminær, det kan så kontrolleres ved at regne Reynolds tal ud for den givne strømning.

Den resulterende energibalace for drivtrykket for etage 0 skal nu findes. Dette gøres ved først at bestemme samtlige energitab for strækningen

Ude → Friskluftventil → Lokale → Udtræksventil → Aftrækskanal → Udløbhætte → Ude

Figur 8 angiver en skitse over strækningen

For denne strækning vurderes følgende tryktab at være bestemmende for volumenstrømmen

$$\Delta p_{driv} = \Sigma \Delta p_{enkelt} + \Sigma \Delta p_{friktion}$$

$$0,0432 \cdot \Delta T \cdot H = \frac{1}{2} \rho_u \cdot \left(\frac{q_v}{A_{indløb}} \right)^2 + 0,0286 \cdot \left(\frac{q_v}{A_{udtræk}} \right)^2 + \frac{1}{2} \rho_i \cdot \left(\frac{q_v}{A_{udløb}} \right)^2 + \frac{128 \cdot \rho_i \cdot \nu \cdot (H - h)}{\pi \cdot d^4} \cdot q_v$$

Hvor

H = 12,0 m er højden fra center af indløbsåbning til center af udløbsåbning

h = 3,0 m er højden fra gulv til loft på etage 0

ΔT = 2°K er forskellen i middeltemperaturen mellem ude og inde Denne værdi er baseret på et skøn

ρ_u = 1,18 kg/m³ er densiteten af atmosfærisk luft ved 25°C

ρ_i = 1,16 kg/m³ er densiteten af atmosfærisk luft ved 30°C

Når ind det samlede areal af ind- og udløbsåbningerne for etage 0 er

Friskluftventilerne $A_{indløb} = 0,10\text{m} \cdot 1,0\text{m} \cdot 18 = 1,80 \text{ m}^2$

Udløbsåbningen $A_{udløb} = \pi \cdot (2,0\text{m}) \cdot h_{afkast} = 1,90 \text{ m}^2$, for $h_{afkast} = 0,3$

Udtræksventilen $A_{udtræk} = \pi \cdot (0,5)^2 \text{ m} = 0,78 \text{ m}^2$

Hvor h_{afkast} er den variable højde udløbsåbningen

Den dimensionerende volumenstrøm for vores vinter situation var $q_{nød,term} = 1,3 \text{ m}^3/\text{s}$

Med de valgte arealforhold giver energibalancen den maksimal volumenstrøm q_v for etage 0 på

$q_v = 1,30 \text{ m}^3/\text{s}$ for $h_{afkast} = 0,4 \text{ m}$

$q_v = 1,35 \text{ m}^3/\text{s}$ for $h_{afkast} = 0,5 \text{ m}$

Da vi har at

$$q_v > q_{n\ddot{o}d,term}$$

- er kravet er opfyldt og åbningsarealerne er således bestemt for etage 0 for den givne situation.

For en vinter situation hvor det er overskyet, vil den dimensionerende volumenstrøm være basisluftskiftet samt et tilskud afhængigt af personbelastningen.

Dette krav kan findes ved opslag i kap.11 i Bygningsreglement 1995

Basisluftskiftet er givet ved et minimumsluftskifte på $0,5 \text{ h}^{-1}$

Dette giver en volumenstrøm på $q_{basis} = 70,0 \text{ l/s}$

Tillæg pr. person $q_{pers} = 5,0 \text{ l/s person}$

Tillæg pr m^2 gulvareal $q_{gulv} = 0,4 \text{ l/s m}^2$

Ved en personbelastning på 21 findes minimumsvolumenstrømmen

$$q_{min} = q_{basis} + q_{pers} + q_{gulv} = 243 \text{ l/s}$$

som giver et luftskifte på $0,6 \text{ h}^{-1}$

Denne volumenstrøm er således større end $q_{n\ddot{o}d,sen}$ for den samme personbelastning.

Den dobbelte glasfacades energiforhold

Da vi ved projektets start skulle vælge hvorledes de store glasfacader skulle udføres, lod vi os inspirere af en artikel i Danvak Magasinet 10-2001. Artiklen som var skrevet af formanden for Danvak's ventilationsgruppe Jørn Tredal, omhandlede de såkaldte "intelligente" dobbelte glasfacaders energiforhold.

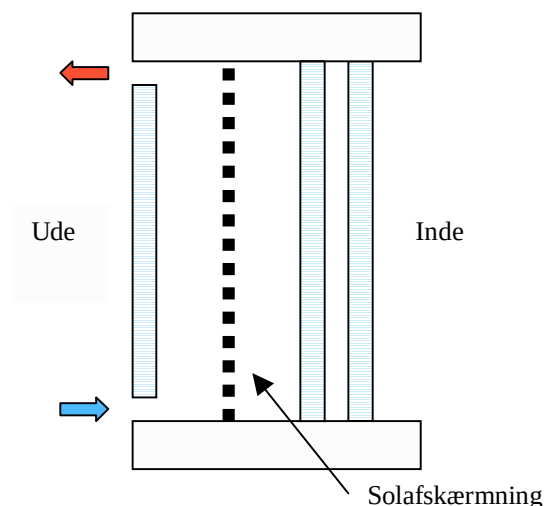
I første omgang blev vi begejstret over facadens muligheder for om sommeren at udnytte den termiske opdrift mellem de ydre glaslag til at bortventilere overskudsvarmen der primært afsættes i den indvendige solafskærmning. Om vinteren vil man kunne reducere kuldnefald ved at lukke for tilførelse af udeluften og i stedet lade noget af indeluften passere op gennem glaslagene. Men begejstringen lagede sig, da vi fandt ud af hvilket problem vi stod overfor i det vi havde brug for at kende energi forholdene og dermed de termiske egenskaber for facaden., for at kunne benytte den i vores projekt. Problemet bestod i at vi hverken havde faglitteratur der beskrev problemet, eller erfaring med den slags specielle facader. I det hele taget var vi på bar bund.

Problemet blev ikke mindre af at vi forsøgte at rådføre os hos to forskellige eksperter med viden inden for området facader. Begge blev os desværre svar skyldige, når det gjaldt energiforholdene for denne type facade.

Dette resulterede i at vi, efter råd fra vores vejleder, blev enige om at vi ville forsøge at opstille en simpel model der kunne beskrive energiforholdene. Denne "simple" model tog os en lille måned at opstille og den indeholdt kun de grundlæggende formler der beskrev de termiske egenskaber.

Den konstruktive model

Mod ude monteres et almindeligt floatglas og
imellem rummet placeres solafskærmning
Mod inde monteres en tolags energirude.



Den matematiske model

Den del af solindstrålingen som har betydning er den som falder på klimaskærmens glasarealer

Kun en del af solstrålingens energi bliver transmitteret direkte gennem disse glasarealer til det bagvedliggende rum. Da noget af energien vil reflekteres og absorberes af glasset og afskærmningen. En del af den energi som absorberes vil blive tilført det bagvedliggende rum ved varmestråling og konvektion

Den matematiske model for den samlede energitransmission, Φ_{tot} gennem facaden valgte vi at opdele i to regne procedure.

Procedure 1:

Beskriver transmission ved den direkte indstråling fra solen samt de resulterende refleksioner og absorptioner i glaslagene samt solafskærmningen

Procedure 2:

Beskriver transmission ved konvektion og varmestråling.

Disse udtryk opstilles i et regneark som kædes sammen.

De antagelser der er gjort for at simplificere vores model opbygning er valgt ud fra en vurdering om hvorvidt den enkelte parameter har en afgørende betydning for den samlede energitransmission.

Antagelser:

Energiforholdene regnes stationært.

Der ses bort fra mellemrummet i energiruden.

Energi overførelsen mellem de to ruder i energiruden beskrives ved rudens korrigerede u-værdi, U'

Denne simplificering medføre at vi kan undlade at regne detaljeret på de termiske forhold i selve energiruden. Dette vil ikke give store fejl da konvektionen af gassen i ruden ikke vurderes at have stor indflydelse på det resterende system.

Refleksionerne mellem glaslagene og deres betydning for τ , ρ og α værdierne medtages

Glaslagene regnes uendeligt tynde. Det vil betyde at de får en ens temperatur i hele glaslaget.

Denne antagelse vurderes ikke at have betydning for størrelsen af den samlede energitransmission gennem facaden, kun for den termiske træghed i systemet. Trægheden af systemet er uden betydning da vi regner energiforholdene stationært.

Beskrivelse af procedure 1

På baggrund af værdier over solindstrålingen og solens vinkler i klart vejr for København, opstilles et udtryk som beregner den direkte, den diffuse og den reflekterede solenergi.

Solindfaldet på en flade kan bestemmes ud fra de tre bidrag

$$E = E_{sy} + E_{dy} + E_{ry}$$

E_{sy} er direkte solstråling på fladen

E_{dy} diffus himmelstråling

E_{ry} reflekteret stråling

De beregnede bidrag samles i to hovedbidrag $\phi_1 = \phi_{\text{direkte}}$ og $\phi_2 = \phi_{\text{diffuse}} + \phi_{\text{reflekteret}}$ der regnes hver for sig. Dette gøres fordi hovedbidrag nr.2 regnes for at ramme ruden med en gennemsnitlig indfaldsvinkel på 60°.

Hovedsystemet består af et facadesystem for den samlede konstruktion, flankeret af to kendte systemer, ude og inde. Der regnes så på de to hovedbidrags påvirkning af hvert lag i facadesystemet. For udtryk 1 deles facadesystemet op i tre lag.

Lag 1 : Består af enkeltruden der vender mod ude.

Lag 2 : Består af solafskærmningen

Lag 3 : Består af energiruden

Den valgte regneprocedure beregner for det første lag den absorberet, reflekteret og direkte transmittert energi fra hvert af de to hovedbidrag. Der regnes herefter på det samlede bidrag fra solen der går ind i facadesystemet. Dele af dette bidrag rammer hvert enkelt lag, og vil så ligge og ”cykle” rundt i mellem lagene ved at energien reflekteres frem og tilbage til den har fordelt sig . Energien fordeles hver gang den rammer et lag hvori der absorberes, transmitteres og reflekteres en brøkdel i det aktuelle lag.

Eksempelvis giver det første to skridt i regne proceduren

Regneeksempel.

Dirkete solindstråling ved 60° $\phi_{0,1} = 90 \text{ W}$

Diffus og reflekteret indstråling $\phi_{0,2} = 10 \text{ W}$

Lag 1 har følgende værdier for $\tau = 0,75$ $\rho = 0,15$ $\alpha = 0,10$, ved 60°. Dette giver for lag 1 i første skridt

Transmitteret energi	$\phi_{t1} = (\phi_{0,1} + \phi_{0,2}) \cdot 0,75$	= 75 W
Reflekeret energi til ude	$\phi_{r1} = (\phi_{0,1} + \phi_{0,2}) \cdot 0,15$	= 15 W (dette går "tabt")
Absorberet energi	$\phi_{a1} = (\phi_{0,1} + \phi_{0,2}) \cdot 0,10$	= 10 W

Det samlede bidrag til facadesystemet bliver således $\phi_{t1} + \phi_{a1} = 85 \text{ W}$

Derefter gælder der for lag 2 med $\tau = 0,0$ $\rho = 0,60$ $\alpha = 0,40$ og åbningsfaktor β

Transmitteret energi fra lag1 $\phi_{t2} = (\phi_{r12} + \phi_{t12}) \cdot 0,0$ = 0 W

(Hvor ϕ_{t12} og ϕ_{r12} er henholdsvis den transmitteret og reflekteret energi fra lag 1 til lag 2. $\phi_{t12} = \phi_{t1}$ og $\phi_{r12} = 0$. Dette led giver 0 W da lyset ikke kan passere gennem afskærmningen)

Reflekeret energi fra lag1 $\phi_{r2} = (\phi_{r12} + \phi_{t12}) \cdot 0,60 \cdot \beta$ = 22,5 W (for $\beta = 0,5$)

Absorberet energi $\phi_{a2} = (\phi_{r12} + \phi_{t12} + \phi_{r32} + \phi_{t32}) \cdot 0,40 \cdot \beta = 15 \text{ W}$

Denne procedure fortsættes for samtlige lag og til sidst opsummeres de enkelte bidrag.

Når beregnings proceduren er færdig kan der aflæses hvor stor en del af det samlede bidrag til facadesystemet der absorberes i de enkelte lag, samt hvad der direkte transmitteres gennem energiruden til det bagvedliggende lokale.

Beskrivelse af procedure 2

Beregnings proceduren for udtryk 2, er i princippet det samme, men det er helt andre forhold der gør sig gældende. Resultaterne fra procedure 1 indsættes som led i procedure 2, i det der nu skal regnes på hvorledes den absorberet energi fordels i systemet ved konvektion og varmestråling. Ved beregning i procedure 2 indgår bl.a. størrelser som Reynolds og Grashoffs tal, afhængigt af om der tale om tvungen eller naturlig konvektion, til at bestemme Nussels tal. Nussels tal indgår ved bestemmelse af konvektionskoefficienten der bestemmer den samlede effektafgivelse.

Teorien der er brugt til procedure 1 og 2, kan findes i følgende to notater:

S. Svendsen, F.F. Jensen, "Soltransmittans" undervisningsnotat

B.H Petersen, "Stationær varmetransmission" undervisningsnotat

Simulering i BSim2000



Om BSim2000

BSim2000 er en programpakke fra Statens Byggeforsknings Institut (herefter SBI) beregnet på simulering af bygningers energi- og indeklimaforhold. Programmet kan benyttes i stedet for håndberegninger til at give et mere detaljeret billede af bygningen over en valgt periode op til et år. Ved håndberegninger benyttes normalt at regne med månedsmiddelværdier, og man kan f.eks. benytte anvisningen Bygningers energibehov fra SBI. I denne henvises dog til at man i stedet kan benytte et EDB-program, eftersom bogen er fra 1995 er der sket noget på området siden. Programmet der henvises til antages at være, forgængeren til BSim2000, tsbi3 (også fra SBI) der ikke giver de samme muligheder som BSim men til gengæld er mere simpelt.

Til simulering af udeforholdene benytter BSim sig af vejrdata filer der indeholder oplysninger om temperatur, sol m.m.. da det desuden er muligt at simulere og styre en række parametre, er det hurtigt muligt at undersøge indflydelsen af f.eks. solafskærmning.

Programpakken består af en række delfprogrammer der knyttes sammen af modelleringsprogrammet SimView hvori bygningsmodellen opbygges, den opbyggede model ses i 3 dimensioner, ved angivelse af de ydre omrids. Af andre vigtige programmer er XSun og tsbi5. XSun benyttes til at beregne solindfald gennem vinduer og andre åbninger samtidig med at der tages højde for såvel interne som eksterne skygger.

Tsbi5 er den væsentligste del af beregningsprogrammerne i BSim, eftersom det er dette program der beregner bygningens energiforhold på baggrund af den opbyggede model samt valg af beregningsforudsætninger det kan f.eks. vælges at benytte data fra XSun til bestemmelse af solbelastningen gennem vinduer.

Når beregningerne er udført kan oplysninger om energiforbrug til opvarmning, operativ temperatur samt meget andet findes og udvalgte dele kan eksporteres eller udskrives i form af tabeller og grafer.

Vi har til simuleringerne anvendt BSim version 2.1.10.17.

Opbygning af model

Som nævnt opbygges bygningsmodellen vha. SimView. Før opbygning af modellen påbegyndes er det nødvendigt at have beskrivelser af bygningen i form af tegninger og belastningsskemaer. Hvis tegningerne haves på elektronisk form i dfx-formatet eksporteret fra f.eks. AutoCad er det muligt at benytte disse som grundlag for modelopbygningen. Det kræver dog stadig at man selv definerer zoner m.v..

Vi har opbygget vores model på grundlag af papirudskrifter af arkitekttegninger over huset og dets indretning samt efter vores valg af konstruktioner.

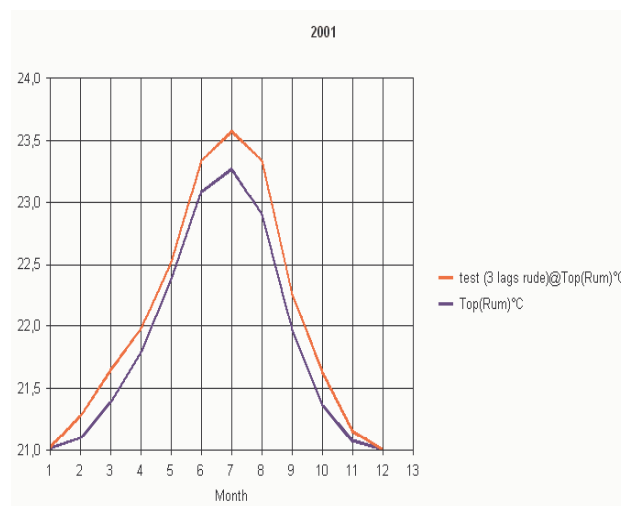
Ved opbygning af en fornuftig model er det vigtigt at modellen minder så meget om virkeligheden som muligt. Men samtidigt er det vigtigt at man ikke medtager uvæsentlige ting, der ingen eller kun lille indflydelse har på det termiske indeklima, f.eks. indvendige døre, møbler og lign. Elementer der er vigtige at medtage er bygningens ydre dimensioner, vinduer, væsentlige eksterne skygger (f.eks. bygninger) samt valg af konstruktioner der ligner virkelighedens mest muligt med hensyn til U-værdi, termisk masse m.m.

I BSim regnes forholdene efter termiske zoner, dette betyder at der skal vælges termiske zoner der dækker over dele af bygningen der regnes at have samme forhold, vores bygning er meget åben og derfor har vi valgt at definere en termisk zone for hver etage.

I vores forslag til et koncept for bygningen har vi, som tidligere nævnt, valgt at benytte en avanceret facade med dobbelt glas med solafskærmning og ventilation mellem de yderste lag i facaden. Dette forhold er det ikke umiddelbart muligt at simulere i BSim da BSim ikke beregner luftstrømninger. Normalt regner BSim luften 100% opblandet, dette repræsenteres vha. en kappaværdi der ved 100% opblanding er sat til 1. Ved en temperatur gradient som der vil forekomme i facaden og ved bla. fortrængningsventilation benyttes kappa til at simulere en tilnærmet temperaturgradient.

Vi har prøvet at opstille en test model med dobbelt facade og uden den dobbelte facade indbygges som en selvstændig termisk zone med naturlig, ventilation. Som det ses af fig.9 tyder det på at det ikke vil give et mere præcist billede af vores bygning at simulere den dobbelte facade som en termisk zone i vores model. Grunden til at BSim ikke rigtigt kan simulere den dobbelte facade er, som vist i kapitlet om den dobbelte facade, at virkningsgraden i høj grad afhænger af persiennen, da det er denne der opvarmer luften mest og derved skaber luftcirkulationen mellem glaslagene. Dette hænger også sammen med at der på SBI's hjemmeside vedr. BSim (under spørgsmål og svar) er angivet at det ikke

umiddelbart er muligt at simulere solvægge. Hvor vi i vores tilfælde mangler tilstrækkelig termisk masse i vores facade har vi i stedet valgt at benytte en 3 lags lavenergirude som vi har søgt at give de samme egenskaber som den dobbelte facade dog uden ventilationen mellem glaslagene. Facadeegenskaberne er fundet ved at opstille en model i et regneark der kan simulere facadens termiske egenskaber ud fra kendte forhold, beregningerne er beskrevet i et tidligere kapitel. For en mere præcis EDB-beregning af facaden vil det være nødvendigt at benytte et CFD-program (Computerized Fluid Dynamics) der regner på luftstrømninger. Da vores bygning støder op til to eksisterende bygninger og vi har valgt at udelade kælderen, benyttes en funktion i BSim hvor det er muligt at definere såkaldte fiktive zoner, vi har valgt at benytte at BSim skal betragte disse flader som at de vender mod rummet selv, dvs. at temperaturen er ens på begge sider af fladen.



Figur 9: temperaturforløb i lokale for hhv. dobbelt facade og 3 lags rude

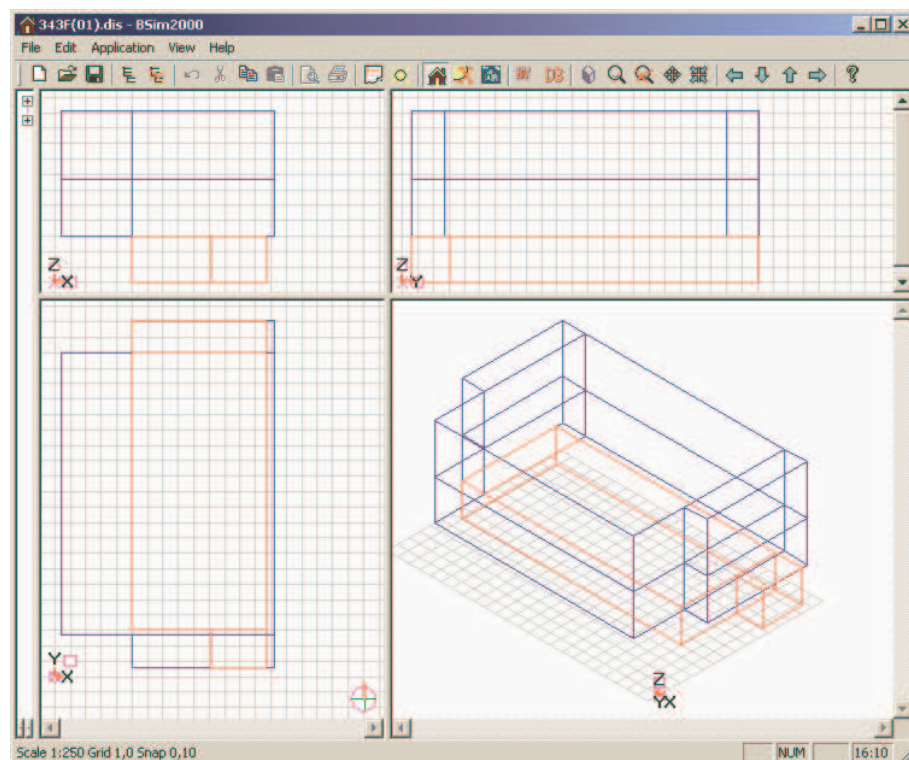
Opbygning af geometrisk model

Som nævnt opbygges modellen i SimView. Først startes med et tomt projekt hvor man bliver bedt om at vælge en database samt et navn til projektet (begge dele kan siden ændres) når dette er gjort kan man så begynde at bygge modellen af bygningen op fra bunden.

Vores model består af en central bygning samt de to eksisterende bygninger der først tilføjes senere. Den centrale bygning tilføjes i BSim ved at højreklikke hvorved der man bliver bedt om at angive et navn for bygningen og lokalet samt dimensioner og placering af bygningen. Når dette er gjort har man en bygning med et lokale. Vores bygning er en smule mere kompliceret end dette også selvom vi laver forenklinger bl.a. ved at udelade kælderen. For at

BSim ikke skal opfatte at gulvet i stueetagen kommer til at vende mod det fri, kan der oprettes såkaldte fiktive zoner, hvor det kan defineres hvilket klima der skal antages at være på siden bort fra lokalet. Det er muligt at vælge om fladen skal vende mod jord eller mod inde i stedet for mod ude som det er standard.

Frem til den endelige model er der lang række operationer der skal udføres, det er derfor vigtigt at prøve at opbygge modellen ved at gå systematisk frem. Udbygningen af modellen ud fra det lokale der i første omgang er lavet sker ved hjælp af en funktion i SimView der hedder Add Room der som navnet siger tilføjer yderligere rum til bygningen dette gøres ved at vælge den flade i det eksisterende lokale (det eksisterende lokale er stueetagen) hvorfra det nye lokale skal udbygges, det gøres som når bygningen skal tilføjes ved at højreklikke i modelvinduet. På denne måde opbygges der hurtigt en række lokaler svarende til stue-, første- og andenetage. Da denne metode kun giver en grov opbygning af modellen er det nødvendigt at kende koordinaterne til en række hjørnepunkter således at den nøjagtige størrelse af bygningen opnås, ændringen af koordinaterne foregår ved at højre klikke på hjørnerne hvorefter de korrekte værdier kan indtastes. Vi står nu med en model hvor bygningens ydre dimensioner er defineret, dog mangler der stadig vinduer/døre, skillevægge samt at definere konstruktioner for hver flade.



Figur 10: grundmodel

Først indsættes vinduer i bygningen. For at kunne simulere solbelastningen og solafskærmningen ordentligt er det nødvendigt at lave vinduerne i en passende størrelse da reguleringen af solafskærmningen foregår for hvert enkelt vindue. Dette er heldigvis ikke noget problem i SimView, da indsætningen af flere vinduer kan ske på en gang, dette gøres ved at vælge den flade hvori vinduerne skal sidde samt et hjørnepunkt og en kant på fladen, dette gøres for at programmet kan vide i hvilken retning vinduerne skal indsættes. Derefter vælges menuen Add Windoors, heri vælges størrelsen af vinduet samt afstanden til kanterne. Hvis der skal indsættes flere vinduer angives dette ved at skrive antallet og deres indbyrdes afstand, herved kan vinduer for en hel facade/flade indsættes på en gang. Åbninger i skillevægge indsættes på samme måde.

For at skabe større overskuelighed navngives alle flader i konstruktionen, således at fladerne kan genkendes, desuden indsættes der tre termiske zoner, en for hver etage, de respektive rum til hver termiske zone trækkes på plads ved hjælp af musen.

Herefter kan konstruktioner for hver flade indsættes, dette gøres ved at vælge konstruktionerne fra databasen SimDB hvori konstruktionerne er defineret.

Opbygningen af konstruktionerne til vores bygning i SimDB beskrives senere.

Konstruktionerne indsættes i fladerne ved at man i oversigten for bygningen vælger hvilken flade man ønsker at indsætte en konstruktion i, derefter åbnes databasen og konstruktionen trækkes med musen hen til fladen herefter er konstruktionen for fladen defineret, dette gentages for alle flader. Det er muligt i SimView at vælge standardkonstruktioner for alle flader af samme karakter f.eks. ydervægge og gulve, dette har vi dog valgt at undlade da vores konstruktioner ikke er ens for alle flader af samme karakter i hele bygningen.

Når alle konstruktioner er indsat ses de i modellen som flader der er placeret i en afstand, til de forud definerede konstruktioner, svarende til tykkelsen af den enkelte konstruktion. Dette gør at den grafiske præsentation bliver meget uoverskuelig, derfor er der heldigvis en funktion i SimView hvor det er muligt at slå visningen af konstruktionstykkelser fra. Da placeringen af konstruktionerne i den grafiske præsentation afhænger af om fladen vender mod ude eller et tilstødende rum, hvis fladen vender mod ude placeres konstruktionen på indersiden men hvis fladen vender mod et rum placeres konstruktionen midt i fladen, det vil sige med en tykkelsesangivelse til begge sider. Dette giver et problem med flader der vender mod det fri nogle steder og andre steder vender mod et rum. På den grafiske præsentation af modellen ses dette som om dele af bygningen er skæv.

I manualen til BSim beskrives dette problem blot ved at man skal være opmærksom på at det eksisterer men der er ikke angivet en løsning. Derfor prøvede vi at flytte fladerne således at konstruktionerne kom til at ligge korrekt, dette så i første omgang ud til at løse problemet, men vi blev senere opmærksomme på at der blev skabt flere problemer end det løste. Dette kom til udtryk ved at nettovolumenet for det midterste lokale i stueetagen blev på kun 4 m^3 hvilket tydeligt ikke kan være korrekt da volumen af selve rummet uden konstruktioner er på over 600 m^3 . Dette problem fik vi løst ved at indsætte en ekstra flade i etagedækket over stueetagen.

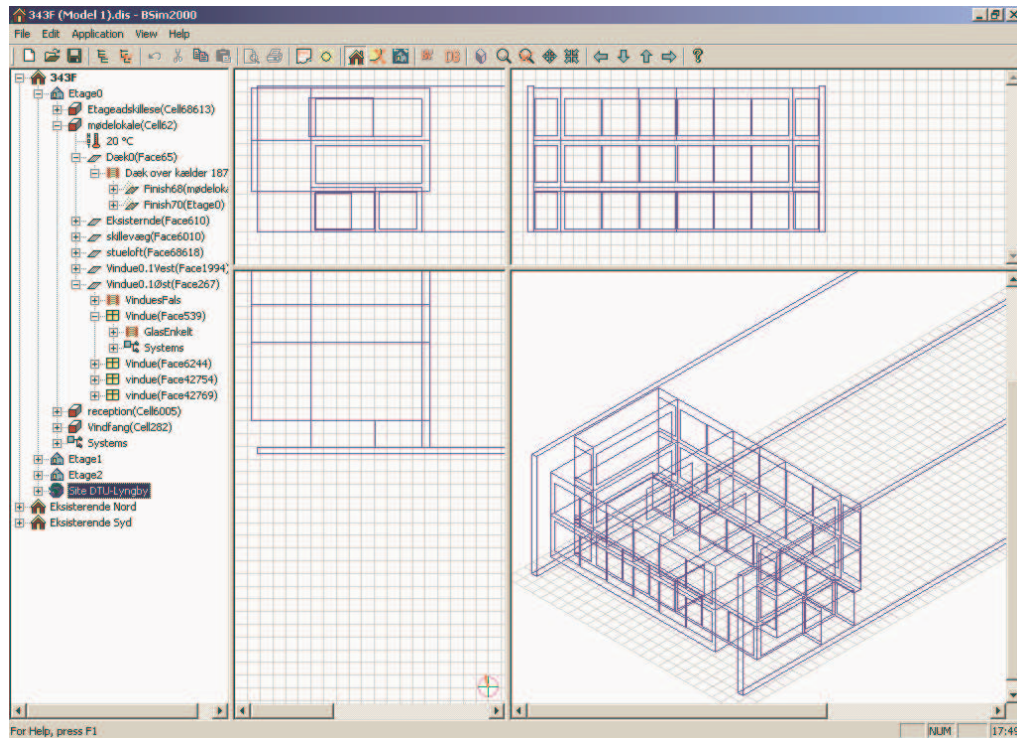
For at BSim kan beregne et mere korrekt solindfald på bygningen skal der defineres nogle eksterne skygger de vigtigste skygger er de to eksisterende bygninger på hver side af bygningen. Andre skygger der har indflydelse er øvrige bygninger, her vil det især være bygningerne overfor, der kan have indflydelse på aftensolen der rammer bygningen. Yderligere skygger kan stamme fra beplantning, hvor det dog ikke er muligt at simulere løvfældende træer.

I vores model har vi valgt kun at inddrage skyggerne fra de eksisterende bygninger der støder op til vores bygning.

Skyggegivende effekter indsættes som nye bygninger, der blot har den rigtige form og størrelse set fra vores bygning. Der kan også indsættes andre skygger hvis disse er opbygget i en anden BSim-model.

Herefter mangler skillevæggene i bygningen, disse er nødvendige da vi ønsker at undersøge om deres termiskemasse skulle have en positiv indflydelse på det termiske indeklima ved at udjævne temperaturvariationer. Skillevæggene indsættes ved at opdele de eksisterende flader i flere dele og derefter indsætte en ny flade. Placeringen angives ved at markere tre punkter i det plan hvor man ønsker at fladen skal være og derefter vælge menupunktet Add Face. Punkterne fremkommer når man deler de eksisterende flader, herefter kan fladen flyttes på plads ved at ændre hjørnepunkternes koordinater.

Nu er den endelige geometriske model defineret, men der mangler stadig at blive defineret en lang række funktioner for at BSim kan udføre en simulering af forholdene for bygningen.



Figur 11: Færdig geometrisk model

Konstruktioner

For at kunne foretage en simulering i BSim er det nødvendigt at definere konstruktioner der ligner virkelighedens mest muligt, dette gøres i en materialedatabase. Typiske konstruktioner og materialer findes i en standarddatabase, ud fra denne kan der opbygges en database der indeholder konstruktioner der svarer til den aktuelle bygning.

Databasen kan opbygges og ændres i BSim ved hjælp af SimDB eller ved at benyttes Microsoft Access som databasen er oprettet i. Materialerne og konstruktionerne i databasen er nummeret efter sfb-systemet, der er en nummerering der angiver hvilken bygningsdel konstruktionen tilhører, samt hvilken materialekategori materialerne tilhører. Sidste nummer i angivelsen er normalt fortløbende, men for klart at kunne skelne de materialer vi selv definerer fra de foruddefinerede ender vores nummerering med xx.xx.9x. nummereringen har dog ingen betydning for simuleringen.

Overflade (Finish)

Overfladen på en konstruktion benyttes til at bestemme hvor meget overfladen absorberer og reflekterer som følge af farve og refleksions egenskaber, f.eks. mat sort eller blank hvid.

Dette har betydning for konstruktionernes termiske egenskaber med hensyn til hvor stor del af energien der optages i tunge bygningsdele, derudover har farven betydning for belysningsniveauet.

Belastninger

Det termiske indeklima bestemmes af en række komplicerede sammenhænge mellem de indre og ydre varmetilskud og bygningens varmetab. For at kunne opstille en varmebalance der er bestemmende for det termiske indeklima i vores bygning er det nødvendigt først at bestemme Indre og ydre termiske belastninger. De indre belastninger stammer fra personer, installationer og elektrisk udstyr. De ydre belastninger stammer primært fra solindfald. Belastningerne beskrives vha. systemer, hvor systemet for solafskærmningen ikke er en beskrivelse af belastningen men en beskrivelse af dæmpningen af solbelastningen.

Ydermere spiller forskellen mellem inde- og udetemperaturen en væsentlig rolle for varmebalancen da denne er bestemmende for bygningens transmissions- og ventilationstab.

Systemer

For at BSim skal kunne lave realistiske beregninger er det nødvendigt at kunne beskrive hvordan bygningen benyttes samt hvordan bygningens varmeanlæg, lys mm. skal fungere, samt hvordan styringen af f.eks. persienner skal foregå. Dette gøres i BSim ved at definere såkaldte systemer disse dækker over en lang række valgmuligheder hvor vi har udvalgt enkelte til at beskrive vores bygning. Under hvert system defineres hvordan enheden skal fungere f.eks. maksimal effekt, døgn variationer m.v. mulighederne er næsten ubegrænsede, dog skal det søges at forenkle systemerne mest muligt.

I de følgende afsnit er systemerne for vores model beskrevet nærmere.

Der vælges systemer for hver termisk zone, det er således muligt at have forskellige belastninger og døgnvariationer for hver etage.

Under valg af egenskaber for hver termisk zone bestemmes ligeledes hvilken kappaværdi der skal benyttes for at simulere en temperaturgradient, for vores zoner er det passende at vælge en kappaværdi⁸ på 0,5 med den type af varmekilder vi har.

Det er desuden muligt at angive en sensorhøjde hvori den operative temperatur måles i den termiske zone, denne temperatur har betydning for styringen af temperaturafhængige

⁸ Litt. /1/ – kappamodellen tabel 1

systemer. Med den lokale benyttelse bygningen har, benytter vi en sensorhøjde på 1,1 m hvilket er passende når det antages at størstedelen af brugerne sidder ned.

På enkelte områder er der forskel på systemerne for de enkelte etager dette gælder primært belastningen fra udstyr. Belastningerne er baseret på funktionsbeskrivelsen udarbejdet i forbindelse med det udarbejdede dispositionsforslag /23/, dog med visse ændringer hvor vi har skønnet det nødvendigt .

Tidsplaner

For at angive hvordan systemernes funktion ændres i løbet af et år defineres der i BSim en tidsplan (Schedule) hvorefter systemet styres. Der kan for hvert system angives en eller flere tidsplaner, således at det kan simuleres forskellige belastningsniveauer for f.eks. hverdage og weekend. Tidsplanerne defineres som et døgnprofil (Dayprofile) og en tidsangivelse (Time), døgnprofilerne angiver belastningen i procent i forhold til et maksniveau, et belastningsniveau på 100 % svarer til maksimal belastning, hermed kan det angives at der i perioder er et mindre belastningsniveau f.eks. i aftentimerne. Tidsangivelsen definerer hvilke måneder, uger, dage og timer det tilknyttede døgnprofil skal være aktiveret, der kan vælges blandt nogle forud definerede indstillinger f.eks. Varmesæson (Heating Season) der er kan benyttes i forbindelse med opvarmningssystemet, det er selvfølgelig muligt selv at definere en tidsangivelse.

Udstyr (Equipment)

Udstyr dækker over det udstyr der er i bygningen og afgiver varme til omgivelserne. Det vil i vores tilfælde sige alle elektriske apparater (undtaget belysning) som computere, kopimaskiner og andet kontor udstyr, der afgiver varme til hver enkelt zone, denne varmeafgivelse er forskellig for hver zone da mængden og brugsmønsteret er forskellig. Effektafgivelsen for alt udstyr i den enkelte zone angives i kW samt en angivelse af hvor stor andel der afgives direkte til luften. Vi antager at 70 % afgives til rumluften, denne fordeling er rimelig eftersom varmeafgivelsen primært stammer fra kontorudstyr hvor varmekilden er lukket inde, og størstedelen af effekten afgives gennem ventilationsåbninger. Alt elektrisk udstyr antages at have en varmebelastning svarende til deres effektforbrug og brugstid angivet i flg. skema

Antaget effektforbrug:

Type	Effekt [W]	Brugstid	Middel [W]
PC. (Desktop, Labtop)	85	8 h	85
Printer*	25	8 h	25
Kopimaskine*	50	8 h	50
OH-projektor	400	2 h	100
AV-Kanon	250	2 h	62,5
El-kedel	1200	1 h	150
Kaffemaskine*	400	8 h	400

Tabel 10: *Inkl. standby forbrug

Benyttelsen af betegnelsen brugstid er ikke identisk med tidsplanen for udstyret, men er et forsøg på at tage højde for at apparaterne kun er i brug i korte perioder, f.eks. en elkedel der har et stort effektforbrug men ikke er i brug mere end max 10 minutter ad gangen.

Der er således indregnet en art samtidighedsfaktor, og belastningerne antager 100 % i tidsrummet 8:00-15:00.

Belastningsskemaer for hver etage:

Etage 0	6:00-8:00	8:00-15:00	15:00-17:00	17:00-22:00	22:00-6:00 + Weekend	Maks
Pc å 85 W	3 - 255 (30%)	11 - 935 (100%)	9 - 765 (80%)	6 - 510 (55%)	1 - 85 (10%)	11
Andet Udstyr	475 (50%)	950 (100%)	475 (50%)	240 (25%)	50 (5%)	950
Udstyr i alt	1130 (60%)	1885 (100%)	1600 (85%)	1130 (60%)	190 (10%)	1885

Etage 1	6:00-8:00	8:00-15:00	15:00-17:00	17:00-22:00	22:00-6:00 + Weekend	Maks
Pc å 85 W	3 - 255 (30%)	15 - 1275 (80%)	11 - 935 (60%)	4 - 340 (20%)	2 - 170 (10%)	19
Andet Udstyr	250 (50%)	500 (100%)	250 (50%)	125 (25%)	25 (5%)	500
Udstyr i alt	505 (30%)	1775 (100%)	1185 (70%)	465 (30%)	195 (10%)	1775

Etage 2	6:00-8:00	8:00-15:00	15:00-17:00	17:00-22:00	22:00-6:00 + Weekend	Maks
Pc å 85 W	3 - 255 (30%)	7 - 595 (75%)	7 - 595 (80%)	2 - 170 (20%)	1 - 85 (10%)	9
Andet Udstyr	300 (50%)	1195 (100%)	450 (75%)	150 (25%)	30 (5%)	600
Udstyr i alt	555 (30%)	875 (100%)	1045 (70%)	320 (30%)	115 (10%)	1195

Tabel 11

Personbelastning (PeopleLoad)

Personbelastningen afhænger af antallet af personer i bygningen samt af deres aktivitetsniveau, personbelastningen dækker over varme- og fugtafgivelsen fra personerne. Belastningerne ved at angive en persontype, ved kontorarbejde, har vi regnet med at personerne i bygningen har et aktivitetsniveau på 1,2 met, dette svarer til en varmeafgivelse på 0.12 kW og fugtafgivelse på 0,123 kg/h fra hver person i zonen. Personerne antages at være i bygningen hovedsageligt i normal kontortid fra 8-17, uden for denne tid er belastningen væsentlig mindre.

Belastningsskemaer for hver etage:

Etage 0	6:00-8:00	8:00-15:00	15:00-17:00	17:00-22:00	22:00-6:00	Maks
Personer á 120W	3 (5%)	21 (40%)	16 (30%)	5 (10%)	0	52

Etage 1	6:00-8:00	8:00-15:00	15:00-17:00	17:00-22:00	22:00-6:00	Maks
Personer á 120W	5 (5%)	42 (45%)	28 (30%)	9 (10%)	0	94

Etage 2	6:00-8:00	8:00-15:00	15:00-17:00	17:00-22:00	22:00-6:00	Maks
Personer á 120W	3 (10%)	15 (50%)	15 (50%)	3 (10%)	0	30

Tabel 12*Opvarmning (Heating)*

Opvarmningen af bygningen udover varme fra personer, maskiner og lys, kommer fra opvarmningssystemet dvs. et varmeanlæg, der søger for at holde temperaturen oppe på forudbestemt minimum forudsat at anlægget har tilstrækkelig effekt. I vores tilfælde er dette ikke et problem da vi overdimensionerer varmeanlægget, vi kender desuden ikke til om bygningen får sin egen forsyning eller om varmen hentes fra de eksisterende bygninger. Varmeafgivelsen styres efter den operative temperatur i zonen, efter en fastsat setpunkttemperatur, i opvarmningssæsonen (uge 39-19) styres efter en setpunkttemperatur på 21°C, yderligere vælger vi at styre radiatoreffekten efter udetemperaturen, dette gør at effekten ikke overstiger behovet, dog kun indenfor maks. og min.. Effekten af anlægget ved styringen efter udetemperaturen bestemmes ved angivelse af en $T_{e\min}$ temperatur, der er den temperatur hvorved varmeanlægget skal skrue ned for effekten vi vælger at benytte $T_{e\min} = 15^\circ\text{C}$ da vi har et stort varmetilskud.

Andelen af varmeafgivelsen direkte til rumluften sætter vi til 80% da vi har valgt at benytte konvektorer placeret i konvektorgrave.

Infiltration (Infiltration)

Infiltration er det uundgåelige luftindtrængning der er forårsaget af utætheder i bygningen, i moderne bygninger er infiltrationen meget lav som følge af tætte konstruktioner, grundet dampspærre og andre tætninger. Små utætheder kan dog ikke undgås helt f.eks. gennem sprækker ved døre og vinduer. Tilsigtet luftskifte beskrives under systemet for udluftning. Vi vælger, da vores bygning antages at være tæt, at sætte luftskiftet ved infiltration til $0,01 \text{ h}^{-1}$. Der kan defineres et døgnskema således at der kan tages højde for øgede utætheder i bygningens brugstid, vi har valgt at sætte infiltrationen til at være 100% altid, og lade variationerne afhænge af systemet for udluftning.

Belysning (Lighting)

Belysningen dækker over den elektriske belysning i bygningen, hvor der angives hvilken belysningstype man anvender, det er dog ikke muligt at blande belysningstyperne.

Der kan vælges en lang række styrings muligheder for belysningen, vi har valgt at styre vores belysning udfra dagslyset, samt tidspunktet på døgnet.

Den generelle belysningsstyrke i brugstiden sættes til 200 lux, svarende til 8 W/m^2 for lysstofrør, i alle opholdszoner. Derudover tillægges eventuelle arbejdslamper/punktbelysning. Regulering efter dagslysmængden styres ved at angive et ønsket belysningsniveau (200 Lux), samt en kontrolmetode, vi vælger en trinløs kontrol da dette giver den mest behagelige oplevelse for brugerne, da man derved undgår pludselige ændringer i lysniveauet, og derved kan brugerne langsomt vænnes til ændringen i belysningsniveauet. Styringen af lysniveauet har dog ingen indflydelse på punktbelysningen, da denne er tændt i hele den angivne periode. I morgen og aftentimerne regnes med at ikke alle lamper er tændt, vi antager derfor at belysningsniveauet er 50 % det vil sige 100 Lux i gennemsnit.

Belastningsskemaer for hver etage:

Etage 0	6:00-8:00	8:00-15:00	15:00-17:00	17:00-22:00	22:00-6:00
Gen lys	50 %	1500 (100 %) automatik styret		50 %	0 %
Arb. lys	50 %	240 (100 %) automatik styret		50 %	0 %
Total lys (min 200lux)	50 %	1740 (100%) automatik styret		50 %	0 %

<u>Etage 1</u>	6:00-8:00	8:00-15:00	15:00-17:00	17:00-22:00	22:00-6:00
Gen lys	50 %	2230 (100 %) automatik styret		50 %	0 %
Arb. lys	50 %	120 (100 %) automatik styret		50 %	0 %
Total lys (min 200lux)	50 %	2350 (100%) automatik styret		50 %	0 %

<u>Etage 2</u>	6:00-8:00	8:00-15:00	15:00-17:00	17:00-22:00	22:00-6:00
Gen lys	50 %	2220 (100 %) automatik styret		50 %	0 %
Arb. lys	50 %	180 (100 %) automatik styret		50 %	0 %
Total lys (min 200lux)	50 %	2400 (100%) automatik styret		50 %	0 %

Tabel 13

For at kunne styre belysningen efter den mængde dagslys der falder i rummet er det nødvendigt at beregne sollysfaktorer for alle vinduer i bygningen.

Sollysfaktorene er defineret som forholdet mellem lysniveauet i det punkt eller plan der betages og det samtidige lysniveau udendørs.

Der er tale om en række faktorer der repræsenteres ved:

SF1	direkte sollys der reflekteres på indvendige overflader
SF2	diffust himmellys
SF3	reflekteret sollys fra omgivelserne
SF4	sollysfaktor når der anvendes solafskærmning

Til dette anvendes programmet SimLight der også er en del af Bsim2000 pakken, der dog ikke kan bestemme sollysfaktoren SF4. Dagslysfaktorerne bestemmes for eet punkt i hvert lokale, dette punkt skal svare til det punkt hvor det ønskes at have et belysningsniveau på det valgte antal Lux, punktet skal derfor være repræsentativt for lokalet. Generelt beregnes lysniveauet i et plan i en afstand af 85 cm over gulv, dette svarer nogenlunde til normal bord højde, ydermere skal der vælges en afstand fra vinduerne hvor punktet skal være. For vores bygning har vi valgt en afstand fra vinduerne på 3 meter, dette antager vi at være en rimelig afstand da vi har store vinduer på begge sider af bygningen således at midterzonen ikke vil lægge hen i mørke, desuden bruges størstedelen af midterzonen til gangareal.

Med de valgte afstande til vinduer og gulve kan der bestemmes koordinater til alle punkter i bygningen hvortil beregningerne af sollysfaktorene skal beregnes. Punktet indtastes derefter i Simlight menuen og der vælges den model for skyintensiteten der ønskes benyttet vi har valgt

at benytte modellen "CIE-overcast sky". Derefter kan det vælges med hvilken nøjagtighed beregningerne skal foretages. Når beregningerne er foretaget kan man med et tryk på knappen "transfer SF" overføre sollysfaktorerne til vinduerne i det rum hvor til beregningerne er foretaget. Selvom sollysfaktorerne kan overføres automatisk er det alligevel nødvendigt at manuelt gå ind og rette faktorerne, dette skyldes dels at vi ikke beregner sollysfaktoren midt i rummet og faktorerne derved kun gælder for vinduet i den ene side. Derudover har Simlight den begrænsning at beregninger kun kan foretages på rektangulære rum og at Simlight regner det aktuelle rum som lå det alene i universet, der tages derved ikke højde for bygninger og bygningsdele der kan kaste skygger på det aktuelle rum. Dette forhold gælder især stueetagen hvor der er et stort udhæng i form af 1. salens udkragning.

Sollysfaktoren SF4 der gælder når afskærmningen er aktiveret, har vi aflæst i kapitlet "sollysfaktorer for WinDoors" i brugervejledningen til Bsim, deraf fås at SF4 er på ca. 12,5 % i en afstand af 3 m. fra vinduet med et vinduesareal på 90% af facaden. Denne værdi antages at gælde alle vinduer hvor solafskærmningen er aktiveret. Når solafskærmningen er aktiveret bruges SF4 i stedet for alle de andre faktorer, ved afskærmninger der ikke er 100 % aktiveret vægtes forholdet.

Udluftning / naturlig ventilation (Venting)

Udluftningen i bygningen skal simulere den naturlige ventilation, der til forskel fra infiltrationen er tilsigtet, det naturlige luftskifte omfatter åbning af vinduer og ventilationsåbninger. Vi har valgt at lade luftskiftet være styres af temperaturen indendørs, således at ved højere temperatur vil der være større luftskifte, end et fastsat basisluftskifte, basisluftskiftet sætter vi til at være 1 h^{-1} . Desuden angives et maksimalt luftskifte, som vi har valgt at sætte til 20 h^{-1} .

Temperaturen hvor udluftningen skal begynde har vi valgt at sætte til 23°C , for at der ikke skal ske en kortslutning når vi om vinteren varmer op til 21°C . Systemet har således et spillerum hvor der ikke tilføres varme eller bortventileres varme.

Effekten af luftskiftet afhænger af forskellen mellem ude- og indelufttemperaturen, samt en temperaturfaktor hvori bl.a. størrelsen af ventilationsåbningerne ($A_{i,\text{eff}}$, $A_{u,\text{eff}}$) samt den lodrette afstand (dH) mellem indtag og afkast indgår.

Temperaturfaktoren kan beregnes af BSim, ved at indsætte værdier for ovenstående, vi har i vores model brugt følgende værdier.

Tabel 14	dH	A_{ieff}
Etage 0	11,5 m	1,0 m ²
Etage 1	7,5 m	A _{ueff}
Etage 2	4,0 m	0,5 m ²

Desuden indgår faktoren epsilon, der angiver ventilationens temperatureffektivtetsgrad, og afhænger af ventilationsåbningernes placering. Dette har indflydelse på muligheden for en kortslutning mellem afkastluft og friskluftindtag. Da vores åbninger er placeret langt fra hinanden, er muligheden for kortslutning meget lille, derfor sætter vi epsilon til at være 0,9, hvor 1 svarer til 100 % effektivitet.

Solafskærmning (SolarShading)

Solafskærmningen er yderst vigtig for vores bygning da vi har meget store glasarealer, hvor vi i perioder er nødt til at afskærme for den direkte solpåvirkning for at undgå overophedning. Dette nedsætter dog også dagslysniveauet, i belysningssystemet kompenseres der for dette ved at skrue lidt op for den elektriske belysning. Samtidigt sikrer automatisk styring af solafskærmningen at der ikke afskærmes hvis det ikke er nødvendigt. Ved en glidende styring af afskærmning og elektrisk belysning sikres det at generne minimeres som følge af pludseligt skift i belysningsniveauet.

Styringen af solafskærmningen sættes ind som et system for hvert vindue, for at gøre det nemmere at styre sætter vi alle solafskærmninger til at køre efter samme kontrolparametre. Når solafskærmningen trækkes for reduceres det indfaldene sollys, dette er angivet ved en afskærmningsfaktor, denne angiver dog lidt misvisende, andelen af sollys der skinner igennem afskærmningen. Således at en lav faktor svarer til en god afskærmning. Vi har ud fra tabel 25.3 indeklimahåndbogen /19/, anslået at vi har en afskærmningsfaktor på 0,2.

Det maksimalt tilladte solindfald på indersiden af ruden, der kan accepteres før solafskærmningen sætter vi til 150 W/m², hvis det viser sig at der vil blive for varmt, må denne værdi sættes ned. Ud over dette krav til solindfaldet fastsættes en række krav under styring af solafskærmningen (ShaingCtrl). Hvor de vigtigste er styring efter maksimal inde temperatur og totalt solindfald i den termiske zone, maksimal indetemperatur har vi sat til 23°C og det maksimalt tilladte solindfald til 1,0 kW.

Den maksimalt tilladte vindhastighed før solafskærmningen fjernes sætter vil til 50 m/s. dette skyldes at vi vil simulere at solafskærmningen er placeret mellem glaslagene i den dobbelte facade, og derfor vil være beskyttet mod vinden.

Desuden er styringen af solafskærmningen sat til at virke hele året.

Simuleringer

I BSim2000 programpakken er som tidligere nævnt en række programmer. Til simulering af varmebalancen og indeklimaet over en periode på 1 år, anvendes programmet tsbi5.

Derudover er det muligt at simulere solindstrålingen når der tages højde for skygger. Til dette formål anvendes programmet Xsun, hvor det er muligt at få en grafisk fremvisning af sol og skygge forhold over et døgn.

I BSim findes der også et program hvormed det er muligt at bestemme bygningens energiramme, samt om kravet er overholdt. Der er dog kun tale om simple beregninger baseret på månedsmiddelværdier. Programmet der benyttes til disse beregninger er BV98.

Vi har valgt at undersøge forholdene i bygningen ved hjælp af tre modeller. For alle tre modeller undersøges varmebalance samt udvalgte parametre som højeste og laveste temperaturer mm.

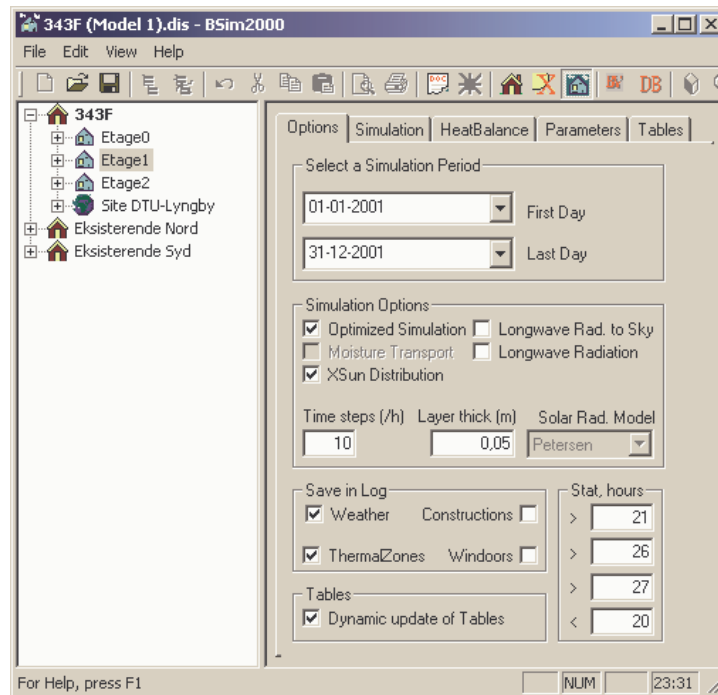
For model 1 undersøges tillige parametre som lysniveau og luftskifte. Desuden undersøges model 1 i XSun.

Følgende forhold gælder for modellerne:

- Model 1:** Fuld model, opbygget som beskrevet tidligere
- Model 2:** Den termiske masse i de indre konstruktioner fjernes
- Model 3:** 3 lags ruderne udskiftes til 2 lags ruder
- Model 4:** Simplificeret model

Før simuleringen påbegyndes i tsbi5, skal der vælges hvilken periode af året man ønsker simuleret, samt om der skal benyttes beregninger af solindfaldet baseret på XSun, hvilke log-filer man ønsker at gemme mm.

For vores simuleringer har vi til alle modeller anvendt følgende valg:



Model 1

Model 1 er den fulde model af vores bygning, opbygget som beskrevet tidligere med alle konstruktioner og systemer.

Undersøgelse af sol og skyggevirkninger i XSun

Ved simuleringer af sollyset i XSun vises modellen i en 3D-model, hvor det er muligt at betragte bygningen fra et selvvalgt punkt eller ved at se bygningen fra solens placering.

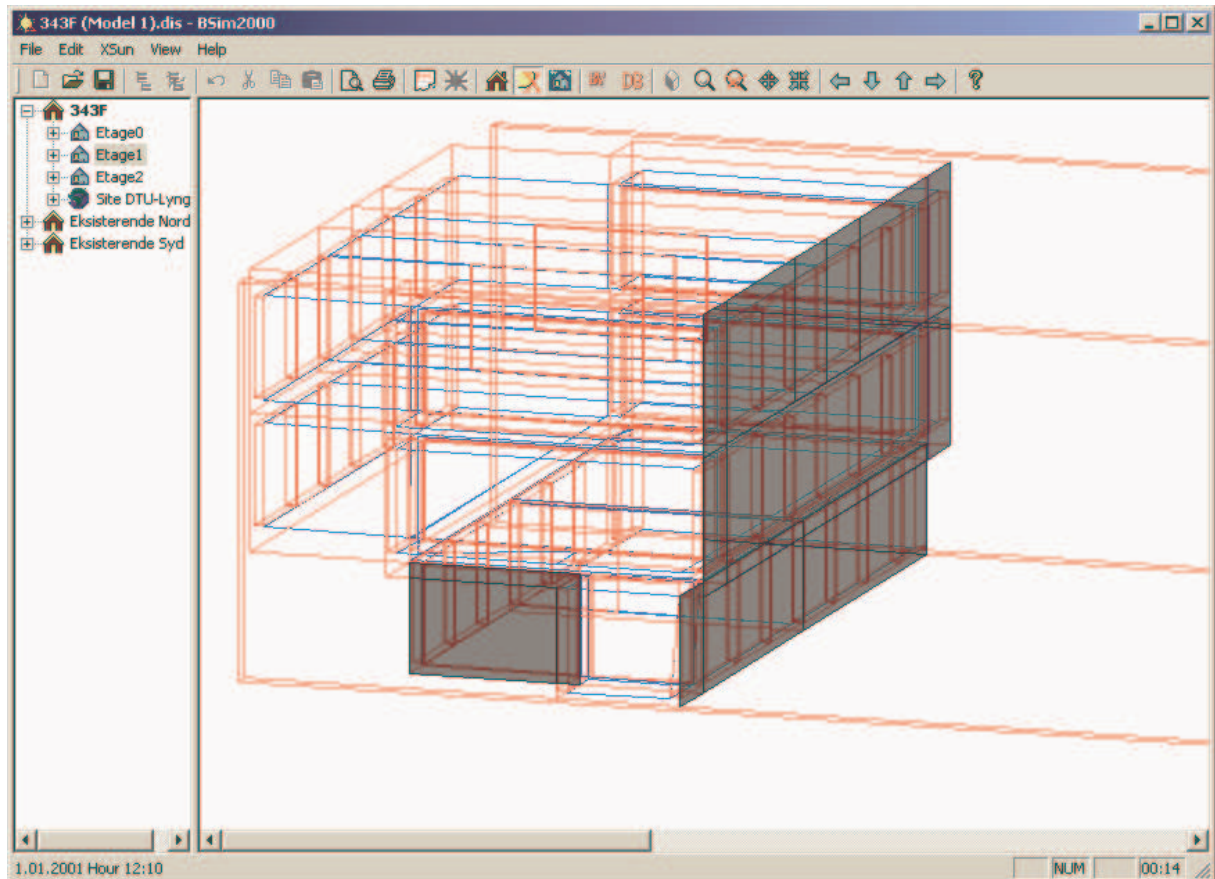
Før kørslen af simuleringen bestemmes hvilket tidsrum man ønsker simuleringen skal foregå, samt om bygningen skal ses fra solen og om bygningen skal kaste skygger på sig selv.

For at undersøge hvordan de eksisterende bygninger vil kaste skygger på den nye bygning, i forskellige situationer, vælger vi at undersøge forholdene for en vinterdag hvor solen står lavt på himmelen. Og for en sommerdag hvor solen står højt.

For undersøge skyggevirkningen fra de eksisterende bygninger vælger vi at betragte bygningen fra solen. Da man derved kan se hvor meget af bygningen der kan "ses" fra solen og derved vil få et solindfald.

Vintersituation.

Som vintersituation vælger vi den 1. januar, i denne situation står solen op kl. 08:41 og går ned igen kl. 15:47.



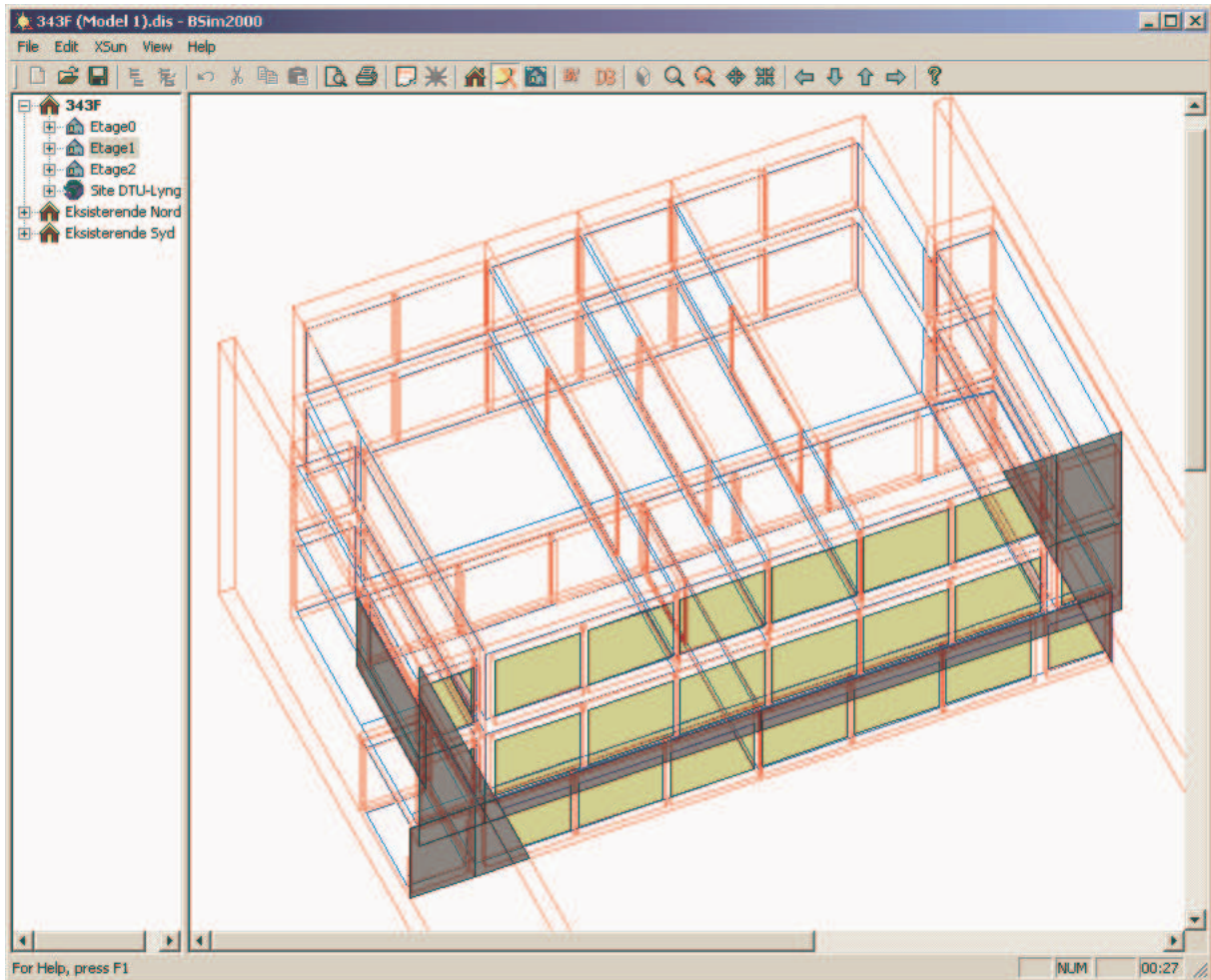
Ved kørslen af simuleringen i det valgte tidsrum ses det tydeligt at de eksisterende bygninger, skygger for sollyset en betragtelig del af dagen.

På ovenstående skærbillede fra kørslen ses det, at der midt på dagen kun er en meget lille del af den nye bygning der kan ses fra solen.

Af skærbilledet fremgår det desuden tydeligt at den grafiske præsentation af situationen er lettere uoverskueligt, og det kan derfor være svært helt at se hvilke stager der hører til de enkelte bygninger. Det er desværre ikke muligt at fjerne visningen af de indre overflader.

Sommersituation

Som sommersituation vælger vi den 1. juli, i denne situation står solen op kl. 03:37 og går ned igen kl. 20:54.



I denne situation ses det tydeligt at skygge virkningen af de eksisterende bygninger, er markant mindre. Samt at solindfaldet primært sker om formiddagen og om eftermiddagen. Desværre ser det også ud som om der i perioder er fejl i skyggerne og at der herved falder sol på flader der burde være i skygge. Om dette forhold er en beregnings fejl eller om det blot er en fejl i den grafiske fremstilling har vi ikke mulighed, for at vurdere. Det gøres ikke nemmere af at den grafiske præsentation af beregningerne, er så uoverskuelige som tilfældet er. Det burde være muligt at udelade enkelte rum i visningen.

Undersøgelse af varmebalance i tsbi5

Varmebalancen for bygningen er et udtryk for forholdene mellem varmetilskuddene og varmetabene, derfor undersøges hvor meget varme der tilføres ad kunstig vej, gennem varmesystemet og belastningerne fra udstyr og belysning. Samt hvor stor del af varmebehovet der dækkes af gratis varmen fra solen og personer i bygningen.

	Etage 0	Etage 1	Etage 2	Total
Opvarmning	10368	13098	12899	36367
Solbelastning	12484	9611	10662	32758

Tabel 15*Undersøgelse af operative temperaturer*

	Etage 0	Etage 1	Etage 2
Minimum	19,52	19,35	19,93
Middel	22,01	21,89	21,90
Maksimal	29,06	27,60	26,29
Timer > 26°	71	51	8
Timer < 20°	10	14	1

Tabel 16

Det ses at temperaturen på alle etager ligger inden for et acceptabelt niveau, da det er meget få timer hvor temperaturen kommer under 20° og over 26°. Dog vil temperaturen i periode overstige det acceptable niveau, dette gælder især for etage 0.

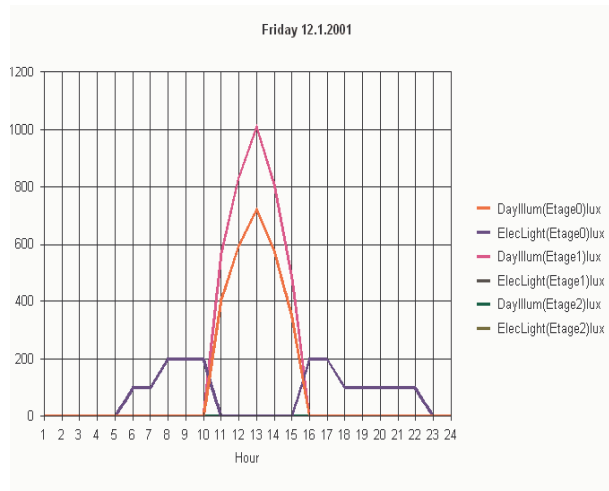
Undersøgelse af belysningsniveauer

Kravet til det generelle belysningsniveau fastsatte vi til 200 Lux, i den primære brugstid samt 100 Lux i perioder med mindre aktivitet.

Den elektriske belysning skulle dække dette belysningsniveau når der ikke var tilstrækkeligt med dagslys. Ved perioder hvor dagslyset kunne dækket kravene til belysningsniveauet skulle den elektriske belysning reduceres, således at energiforbruget til elektrisk belysning bliver reduceret.

På nedenstående grafer, for en udvalgt dag, ses det at styringen af den elektriske belysning træder i kraft, når der er tilstrækkeligt med dagslys til at klare kravene.

Desuden ses det at etage 0 modtager en mindre andel af dagslyset, set i forhold til de øvrige etager.

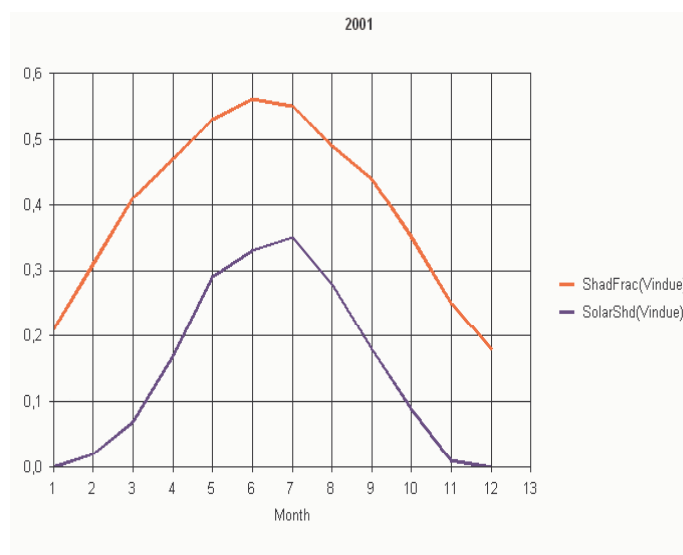


Figur 12: Eksempel belysnings niveauer

Det gennemsnitlige belysningsniveau fra dagslyset for etage 0 er på 459 Lux og for etage 1 og 2 er andelen af dagslys gennemsnitligt på 1189 Lux. Altså tydeligt mere dagslys på de øverste etager. Men først og fremmest kan kravet til belysningsniveauet dækkes langt de fleste dage.

Undersøgelse af solafskærmning

For at bygningen ikke skal blive unødigt overbelastet af solindfaldet, skal solafskærmningen aktiveres når der er brug for det. Men afskærmningen skal på den anden side heller ikke aktiveres unødvendigt.



Figur 13: Middelværdier for solafskærmning over et år

Af ovenstående figur ses det at solafskærmningen som forventet er aktiveret mest i sommermånederne, og knapt så meget i vinterhalvåret. Derved kommer solindfaldet

bygningen mere til gode om vinteren hvor der er mest brug for det. Og solindfaldet lukkes ude om sommeren, når belastningen ellers ville medføre en overophedning af bygningen.

Model 2

I model 2 af bygningen undersøges indvirkningen af den termiske masse, for at undersøge om den har en gunstig indvirkning, på temperatur udsving og derved kan forbedre komforten i bygningen.

For at gøre dette erstattes materialet i de tunge bygningsdel som beton skillevægge af en skillevæg med et materiale med ringe termisk masse. Dette gøres ved at erstatte betonkonstruktionerne med hule konstruktioner.

Undersøgelse af varmebalance i tsbi5

	Etage 0	Etage 1	Etage 2	Total
Opvarmning	11292	10772	10875	32941
Solbelastning	12163	9544	10003	31711

Tabel 17

Samlet set medvirker den manglende termiske masse til at energiforbruget til opvarmning reduceres en smule.

Undersøgelse af operative temperaturer

	Etage 0	Etage 1	Etage 2
Minimum	18,69	17,10	17,97
Middel	21,98	21,72	21,75
Maksimal	31,49	31,73	30,12
Timer > 26°	105	112	88
Timer < 20°	66	814	463

Tabel 18

Det ses at temperaturen på alle etager kun ligger inden for et acceptabelt niveau i middel. Men at der er store temperaturudsving, så der både bliver meget koldt og meget varmt.

da der er mange timer hvor temperaturen kommer under 20° og over 26°, vurderes det at være helt uacceptable forhold. Især vil der blive meget koldt i bygningen i store dele af året.

Den termiske masse i bygningen kan altså vurderes til at have væsentlig indvirkning på udjævningen af temperaturvariationer.

Dog vil virkningen i virkeligheden være mindre, da vi i vores model har antaget at al den termiske masse, der var betonelementerne er fjernet.

Model 3

I model 3 af bygningen undersøges det om de dobbelte facader virkning har en gunstig indvirkning på det termiske indeklima set i forhold til en facade med normal energirude. Derfor erstattes vinduerne i bygningen af normale to lags energiruder.

Undersøgelse af varmebalance i tsbi5

	Etage 0	Etage 1	Etage 2	Total
Opvarmning	10297	14147	14537	38982
Solbelastning	13166	11093	13164	37424

Tabel 19

Værdierne for opvarmning og solbelastning ligger meget tæt på værdierne i model 1. vi har altså ikke fået den store virkning ud af at bruge, en rude i bygningen der skulle ligne vores dobbelte facade. Vores rude har en bedre u-værdi i den dobbelte facade end den lavenergirude vi har brugt i denne model. I alt for hele bygningen har dette kun givet en besparelse på 2615.

Undersøgelse af operative temperaturer

	Etage 0	Etage 1	Etage 2
Minimum	19,53	19,27	19,85
Middel	22,03	21,90	21,90
Maksimal	29,07	27,75	26,40
Timer > 26°	75	62	11
Timer < 20°	10	19	2

Tabel 20

Det ses at temperaturen på alle etager ligger inden for et acceptabelt niveau. Og at temperaturene er meget lig temperaturene i model 1.

Det vurderes at vi derfor ikke har givet et bedre billede af forholdene, ved at anvende en rude i model 1 der skulle svare til den dobbelte facade. Dog har vi kun medtaget de værdier vi fandt via vores beregninger af u-værdien og transmittansen.

Model 4

I model 4 af bygningen benyttes en simpel geometrisk model til at undersøge om det har en afgørende betydning, om modellen er simpel eller avanceret som model 1. model 4 gøres simpel ved at interne skillevægge fjernes, vinduerne i facaderne erstattes af et stort vindue samt at de eksisterende bygninger fjernes.

Dette burde have nogen indvirkning, da solafskærmningen styres for hver enkelt rude, og der således skal være et større solindfald før afskærmningen træder i kraft. Når de eksisterende bygninger fjernes betyder det at den nye bygning vil være solpåvirket en større del af tiden.

Undersøgelse af varmebalance i tsbi5

	Etage 0	Etage 1	Etage 2	Total
Opvarmning	9467	111502	12188	33157
Solbelastning	14325	11920	12887	39123

Tabel 21

Det ses at behovet for opvarmning er lidt lavere end for model 1. mens solbelastningen er væsentligt lavere. Dette betyder at det har en virkning at lade vinduerne være delt op i flere enheder. Således at styringen foregår individuelt, i stedet for at blive styret for en hel facade ad gangen.

Undersøgelse af operative temperaturer

	Etage 0	Etage 1	Etage 2
Minimum	19,53	19,69	20,03
Middel	22,07	21,98	21,96
Maksimal	28,29	27,58	26,21
Timer > 26°	70	51	6
Timer < 20°	11	5	0

Tabel 22

Det ses at temperaturen på alle etager ligger inden for et acceptabelt niveau, da det er meget få timer hvor temperaturen kommer under 20° og over 26°. Dog vil temperaturen i periode overstige det acceptable niveau, dette gælder især for etage 0.

Temperaturerne er meget lig temperaturerne for model 1, så her ses ikke at solbelastningen er større end i model 1. dette skyldes bl.a. at opvarmningen også er lavere, så de to varmetilskud stort set udligner hinanden.

Det tyder derfor på at belastningerne afhænger af kompleksiteten af modellen.

Konklusion

Det var projektets formål at finde en løsning for bygning 343F der kombinerede et lavt energiforbrug, et godt indeklima samt lave vedligeholdelse omkostninger.

Energiforbrug

Energiforbruget for bygning 343F udgøres af

Det samlede opvarmningsforbrug = 36.500 kWh

Vores energiramme udgør

$(168 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ år} \cdot 1003 \text{ m}^2) / 3,6$ = 46.800 kWh

Den ses at vores løsnings model umiddelbart overholder den beregnede energiramme.

Glasfacade

Det var ønskeligt fra arkitektens og bygherres side at benytte glasfacader der gik fra gulv til loft. Da glas som bekendt har en dårlig isolerings evne udgør facaden en afgørende del af det samlede varmetab.

Det tiltag som vi valgte at benytte for at minimere dette varmetab, var at anvende dobbelte glasfacader for 1. og 2. sal, samt en facade med en tolags lavenergirude i stue etagen.

En forudsætning for en god vurdering af dette tiltag, er at vores model for den dobbelte glasfacade er tilnærmelsesvis i overensstemmelse med virkeligheden.

Den opstillede model for glasfacaden giver overbevisende resultater.

Idet vi har opnået en energitransmittans for facaden på 58% med en afskærmningsfaktor på 0,2 og en lavenergirude med en u-værdi på 1,1 som inderste rude.

Var afskærmningens faktoren sat til 0,7 resulterede dette i en energitransmittans på ca 20 %

Denne værdi er i god overensstemmelse med værdier for tilsvarende løsninger angivet i

Danvak Magasinet 10- 2001 som var 20 % til 29%.

Dette tages derfor som et indice for at løsning er nogenlunde overensstemmelse med virkeligheden.

Den resulterende u-værdi for glasfacaden blev $0,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Sammenlignes dette med en traditionel tre lags lavenergirude som har en u-værdi på 0,8

Giver dette også en indikation af at modellen virker rimelig.

Grundlaget for vurdere tiltaget ved at benytte dobbelte glasfacader i bygningen er således i orden.

Vi har desværre ikke kunne give en entydig konklusion på om den dobbelte glasfacade vil virke efter hensigterne. Dette er fordi at ikke helt har kunne implementere dens egenskaber i vore model i edb programmet Bsim2000.

Vi har dog kunne bevise at facaden ikke har dårligere egenskaber end en almindelig tre lags energirude for en vinter situation, da de har tilsvarende u-værdier.

Termisk masse

Vi har i bygningen benyttet skillevejg og lofter af blotlagte betonelementer, for at øge virkningen af den termiske masse.

Ved hjælp af modellerne i Bsim2000 har vi kunne eftervise at den termiske masse i bygningen har en positiv indvirkning på udjævningen af temperatur variationer samt ekstrem værdier i sommer og vinter perioder.

Ved blotlæggelse af betontelemeter udgør disse hårde flader et dårligt udgangspunkt for et godt akustisk miljø.

Indeklima

Det var et af formålene at opnå et acceptabelt termisk indeklima samt god luftkvalitet indendøre.

Forventningerne til indeklimaet var

For det termiske indeklima

Parameter	Krav	
	Sommer	Vinter
Operativ temperatur, t_{op}	$23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$	$22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
Vertikale temperatur differens	$< 3^{\circ}\text{C}$	$< 3^{\circ}\text{C}$
Relativ luftfugtighed	$30 \% \leq \text{RF} \leq 45 \%$	$30 \% \leq \text{RF} \leq 45 \%$
Maksimal middellufthastighed i opholdszonen	$0,25 \text{ m/s}^{\text{a)}$ $0,15 \text{ m/s}^{\text{b)}$	$0,25 \text{ m/s}^{\text{a)}$ $0,15 \text{ m/s}^{\text{b)}$

Fundene værdier for termisk indeklima ved simulering af model 1 i Bsim2000

	Årlig middel værdi	Min og maks. værdier
Operativ temperatur (1,1m)	$22,0^{\circ}\text{C}$	$19,5^{\circ}\text{C}$ og 29°C
Relativ luftfugtighed	39%	28,5% og 52,1%
Vertikal temperatur gradient mellem $z=0,1$ og $1,1 \text{ m}$ o. gulv		$< 2^{\circ}\text{C}$

Det ses ud af tallene af de fundene værdier ved simulering i vores model ligger med rimelighed indenfor de ønskede værdier.

Det må konkluderes at med de fundene værdier, opfylder vi med rimelighed de stillede krav til det termiske indeklima.

Det må forventes at vi opnår en PPD værdi på: $10\% < PPD < 20\%$

på baggrund af dette vil vi påstå at vi har opnået en løsning der vil give et acceptabelt termisk indeklima

Dog skal det fastslås at for opnå en rigtig god vurdering af det termiske indeklima, er det stærkt tilrådeligt at opstille en model i et CFD program der vil kunne simulere forholdene for de kritiske områder af bygningen. Derved vil man kunne danne sig et overblik over vindhastigheder og temperaturer i opholdszonen for disse områder.

Kritiske områder for Bygning343F, er

hvor den samlede varmebelastning overskrider 30 W/m^2

- Mødelokalerne på etage 0, har om sommeren en varmebelastning på ca. 40 W/m^2

For luftkvalitet

Mindste kravet til ventilationen for opnå en oplevet luftkvalitet hvor maksimalt 15% var utilfredse var ca. 40 l/s for etage 0.

Ved dimensioneringen af den naturlige ventilation opnåede vi en volumestrømskapacitet på ca. $1,30 \text{ m}^3/\text{s}$ hvilket overskrider kravet for luftkvalitet.

Vedligehold

Ventilationssystem

Da vi benytter os af naturlig ventilation er dette et indirekte tiltag til at minimere vedligeholdelses udgifter. Dette skyldes at anlægget, når det drejer sig om naturlig ventilation, generelt set er nemme at rengøre på grund af den simple opbygning. Fraværet af filtre og spjæld mindsker yderligere muligheden for ophobninger af skidt og støv i anlægget og at der således heller ikke er udgifter til renholdelse af filtre. Dog kan fraværet af filtre i anlægget også have den modsatte effekt ved at det lukker mere skidt og støv ind i lokalerne, der så behøver en grundigere rengøring.

Konstruktioner

aluminiumsfacader

aluminium kræver et minimum af vedligeholdelse. ydermere er facaderne bygget op med plader så ledes at pladerne kan skiftes enkeltvis.

Persienne i dobbelt facade

Med vores valg af dobbelt facade, giver det mulighed for at montere persienerne inden i facaden. derved er persiennen beskyttet mod regn og vind. hvis persienerne skal repareres vil det dog kræve at det yderste glaslag afmonteres, derfor bør afmontering være så simpel som muligt.

Denne løsning kunne danne grundlag for fremtidige udvidelser på DTU

Litteraturliste

1. BSim2000 Brugervejledning
Statens byggeforskningsinstitut
2. Bygningsreglement 95
Bygge- og Boligstyrelsen
3. CEN prENV 1752 Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Enviroment.
1998
4. Danvak magasinet, diverse artikler
Danvak
5. DS-418 sammenskrivning (tillæg 1-4 + rettelser)
Dansk Standard
6. DS-474 Norm for specification af termisk indeklime, 1. udgave december 1993
Dansk standard
7. EN ISO Standard 7730: Moderate Thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. 1994
8. Funktionsbeskrivelse, Dispositionsforslag maj 2001, DTU Forbindelsesbygning 343 F
Erik Møllers tegnestue A/S
9. Gyproc håndbog, 7. udgave, september 2000
Gyproc A/S
10. Højisolerende glaspartier i nye etageboliger,
By og Byg resultater 010
11. J. Korsgaard: "The effect of the indoor environment on the house dust mite" In:
P.O.Fanger and O.Valbjørn (eds): Indoor Climate. Copenhagen, Danish Building
Research Institute, p.187, 1979
12. L. Fang, G. Clausen, P.O. Fanger: "Impact of temperature and humidity on perception of
indoor air quality during immediate and longer whole-body exposures". Indoor Air, 8,
276-284, 1998
13. Natural ventilation in non-domestic buildings, CIBSE Applications Manual AM10: 1997
CIBSE
14. P. O. Fanger et al.: "Sensory characterization of air quality and pollution sources".
Knöppel, H., Wolkoff, P. (eds) Chemical, Microbiological, Health and Comfort Aspects
of Indoor Air Quality – State of the Art in SBS, Brussels, EEC, 1992

-
15. P. Wargocki et al.: "Perceived air quality, Sick Building Syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads". *Indoor Air*, 9(3), 165-179, 1999
 16. SBI-anvisning 178, Bygningers fugtisolering
Statens byggeforskningsinstitut 1993
 17. SBI-anvisning 184, Bygningers energibehov
Statens byggeforskningsinstitut 1995
 18. SBI-anvisning 192, Glas i byggeriet
Statens byggeforskningsinstitut 2000
 19. SBI-anvisning 196, Indeklimahåndbogen
Statens byggeforskningsinstitut 1999
 20. SBI-rapport – 246, Indeklimaproblemer undersøgelse og afhjælpning
Statens byggeforskningsinstitut 1995
 21. Soltransmittans, undervisningsnotat 6403 Byggeteknisk varmelære, Oktober 1995
Svend Svendsen, Frank F Jensen, Laboratoriet for varmeisolering DTU
 22. Stationær varmetransmission
B. Howald Petersen, DTU
 23. Uddrag af Dispositionsforslag 27.07.2001, DTU forbindelsesbygning 343F, side 4-8
 24. Varme- og climateknik, Grundbog
Danvak
 25. Vejledning om Radon og nybyggeri, 2. udgave 1993
Bygge- og boligstyrelsen
 26. Ventilation of Buildings
H. B. Awbi, E & FN Spon 1991
 27. ECA (European Concerted Action "Indoor Air Quality & its Impact on Man"). Totale Volatile Organic Compounds (TVOC) in indoor air quality investigations. Report No. 19 (EUR 17675 EN) Luxembourg: Office for Publications of the European Communities, 1997.
 28. ECA (European Concerted Action "Indoor Air Quality & its Impact on Man" COST Project 613). Radon in Indoor Air. Report No. 15, 1995
 29. Radon i boliger
Statens byggeforskningsinstitut – oktober 1987, udarbejdet for Byggestyrelsen
-

Sekundær litteratur

1. Generelle mærkningskriterier, 1. udgave 2000.06.14
Dansk Selskab for Indeklima
2. Introduktion til principperne bag indeklimatemærkningen
Dansk Selskab for Indeklima
3. Danvak magasinet, diverse artikler
Danvak

Tegnings- & bilagsliste

Bilag:

1. Udvendige arealer
2. U-værdier vha. DS-418
3. Varmetabs- og energiramme
4. Uddata for model 1, energibalance og indetemperatur for etage 0 samt tilhørende udetemperatur

Tegninger:

1. Etageplan for etage 0
2. Etageplan for etage 1
3. Etageplan for etage 2
4. Tværsnit A-A