

Højisoleret kontorbyggeri med glasfacader

Målinger i Rockwools nye forskningscenter i Hedehusene

Aggerholm, Søren; Schultz, Jørgen M.; Bergsøe, Niels Christian; Thomsen, Kirsten
Engelund; Damsgaard Olsen, Arne; Riis, Preben

Publication date:
2003

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Aggerholm, S., Schultz, J. M., Bergsøe, N. C., Thomsen, K. E., Damsgaard Olsen, A., & Riis, P. (2003). *Højisoleret kontorbyggeri med glasfacader: Målinger i Rockwools nye forskningscenter i Hedehusene*. SBI forlag. By og Byg Resultater Nr. 025

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

By og Byg Resultater 025

Højisoleret kontorbyggeri med glasfacader

Målinger i Rockwools nye forskningscenter
i Hedehusene



Statens Byggeforskningsinstitut
Danish Building and Urban Research

Højisoleret kontorbyggeri med glasfacader

Målinger i Rockwools nye forskningscenter i Hedehusene

Søren Aggerholm
Jørgen M. Schultz
Niels C. Bergsøe
Kirsten Engelund Thomsen
Arne Damsgaard Olsen
Preben Riis

Titel	Højisoleret kontorbyggeri med glasfacader
Undertitel	Målinger i Rockwools nye forskningscenter i Hedehusene
Serietitel	By og Byg Resultater 025
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2003
Forfattere	Søren Aggerholm, Jørgen M. Schultz, Niels C. Bergsøe, Kirsten Engelund Thomsen, Arne Damsgaard Olsen, Preben Riis
Sprog	Dansk
Sidetæl	27
Litteratur-henvisninger	side 25
English summary	side 26-27
Emneord	Energiforbrug, indeklima, kontorbygninger
ISBN	87-563-1160-5
ISSN	1600-8049
Pris	Kr. 62,50 inkl. 25 pct. moms
Tekstbehandling	Annelise Danielsen
Fotos	Rockwool International A/S og Jan Carl Westphall
Tryk	BookPartner, Nørhaven digital A/S
Udgiver	By og Byg Statens Byggeforskningsinstitut, P.O. Box 119, DK-2970 Hørsholm E-post by-og-byg@by-og-byg.dk www.by-og-byg.dk

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen: *By og Byg Resultater 025: Højisoleret kontorbyggeri med glasfacader. Målinger i Rockwools nye forskningscenter i Hedehusene. (2003)*

Indhold

Forord	4
Sammenfatning og konklusion	5
Bygningen.....	7
Målinger	9
Indbygget målesystem	9
Temperatur-, fugt- og ventilationsmålinger	11
Spørgeskemaundersøgelse.....	12
Resultater	13
Målt energiforbrug.....	13
Målte rumtemperaturer	15
Fugtforhold og varmestrømme i konstruktionerne	16
Luftkvalitet.....	17
Temperatur og relativ fugtighed	18
Ventilation	19
Spørgeskemaundersøgelser	20
Analyse af energiforbruget	23
Referencer.....	25
Summary	26

Forord

Bygninger tegner sig for over 40% af EU's energiforbrug og CO₂-udledning fra energiforbrug. Størsteparten af energiforbruget i bygninger går til opvarmning og afkøling. Ved planlægning af Rockwool International's nye forskningscenter i Hedehusene var det målet at opføre byggeriet som et lavenergi-kontorhus med et energiforbrug til opvarmning på 1/3 af energirammen i det gældende bygningsreglement BR 95, svarende til 15 kWh/m² pr. år. Samtidig var det målet, at byggeriet skulle have et godt indeklima især med hensyn til rumtemperatur, dagslys og luftkvalitet. Den gode luftkvalitet skulle opnås ved hjælp af naturlig ventilation. Byggeriet er tegnet af Vandkunsten, og Erik K. Jørgensen har været rådgivende ingeniør på byggeriet.

Byggeriet blev taget i brug i sommeren 2000. I byggeriet blev der installeret måleudstyr og gennemført et omfattende måleprogram samt spørgeskemaundersøgelser. Måleprogrammets formål har især været at uddrage de generelle erfaringer med byggeriet. Måleprogrammet har bl.a. omfattet måling af varme- og elforbrug, registrering af rumtemperaturer, luftfugtighed og CO₂-koncentration, som indikator for luftkvaliteten, måling af ventilationsluftstrømme i en udvalgt vinterperiode samt spørgeskemaer til brugerne sommer og vinter om deres brug af bygningen og komfortoplevelse. Måleprogrammet er støttet af Energiforskningsprogrammet under Bygninger og solenergi EFP 1213/00-0003.

I denne rapport beskrives hovedresultaterne fra måling og analyse af energiforbrug og indeklima i byggeriet. Yderligere detaljer findes i detailrapporterne, som der er referencer til bagerst i rapporten. Målingerne og analyserne er gennemført af BYG•DTU og Statens Byggeforskningsinstitut i samarbejde med Rockwool International A/S.

By og Byg, Statens Byggeforskningsinstitut
Afdelingen for Energi og Indeklima
Januar 2003

Erik Christophersen
Forskningschef

Sammenfatning og konklusion

Ved planlægning af Rockwool International's nye forskningscenter i Hedehusene var det målet at opføre et lavenergi-kontorhus med et energiforbrug til opvarmning på 1/3 af energirammen i det gældende bygningsreglement BR 95, svarende til 15 kWh/m² pr. år. Samtidig var det målet, at byggeriet skulle have et godt indeklima især med hensyn til rumtemperatur, dagslys og luftkvalitet. Den gode luftkvalitet skulle opnås ved hjælp af naturlig ventilation.

Byggeriet blev taget i brug i sommeren 2000. I byggeriet blev der installeret måleudstyr og gennemført et omfattende måleprogram samt spørge-skemaundersøgelser. Måleprogrammets formål har været at uddrage de generelle erfaringer med byggeriet.

Målingerne viser, at bygningen har et varmebehov som er lidt lavere end krævet i BR 95. Bygningen lever dog ikke op til den oprindelige målsætning om et varmebehov på 1/3 af energirammen, svarende til 15 kWh/m² pr. år. Det faktiske, målte varmeforbrug, korrigeret til normalåret og en indetemperatur på 20 °C, er 51 kWh/m² pr. år, hvor Bygningsreglementets energiramme er 55 kWh/m² pr. år. Analyserne viser, at en væsentlig årsag til at varmeforbruget ligger højere end målsætningen er, at der på trods af de højisolerede konstruktioner i facade, tag og terrændæk er væsentlige kuldebroer ved fundamenter og konvektorgrave samt i vinduerne. En anden årsag er, at det aktuelle antal personer og dermed gratisvarmen har været lavere end oprindeligt antaget, samtidig med at forventningerne til udnyttelsen af solindfaldet og det interne varmetilskud har været lidt for høje. Dette understreger behovet for, at der ved projektering af højisoleret byggeri foretages omhyggelige beregninger af kuldebroerne, og der lægges stor vægt på at undgå eller minimere kuldebroer, samt at der foretages en realistisk vurdering af de faktiske forhold i byggeriet herunder rumtemperaturer og varmetilskud.

Det beregnede varmebehov er 45 kWh/m² pr. år. I dette er der dog ikke taget hensyn til alle kuldebroerne, fx hvor punktfundamenterne til søjlerne og fundamenterne under de indvendige skillevægge gennembryder terrændækkets isolering. Med dette in mente er der således god overensstemmelse mellem beregnet og målt varmeforbrug.

Målingerne af varmestrøm i facade, tag og terrændæk viser, at der opnås et meget lille varmetab gennem de højisolerede konstruktioner svarende til de projekterede U-værdier. Målingerne af fugtforholdene i facade, tag og terrændæk indikerer, at der er sunde fugtforhold i konstruktionerne. Der er dog kun målt midt i konstruktionerne, og derfor kan det ikke med sikkerhed vides, hvordan fugtforholdene er fx lige under tagbelægningen.

Indetemperaturen i bygningen om vinteren ligger det meste af tiden indenfor normale komfortgrænser, men noget højere end standardforudsætningen på 20 °C, som normalt anvendes ved beregning af varmebehovet i relation til Bygningsreglementets energiramme. Brugerne er generelt tilfredse med rumtemperaturen om vinteren. Om sommeren er der i perioder forholdsvis høj indetemperatur især på 1. sal i bygning A. Temperaturen kan dog holdes på et acceptabelt niveau ved hjælp af natteventilation. Brugerne indikerer, at de har et stort behov for at regulere på temperaturen, ventilationen og solafskærmningen om sommeren.

Luftkvaliteten vurderet ud fra CO₂-koncentrationen er generel god eller acceptabel hele året rundt, selv om luftskiftet er lavt, og brugerne er da også tilfredse med den. Årsagen til, at der med det lille luftskifte, kan holdes en god luftkvalitet er det store rumvolumen. Det lille luftskifte indikerer, at bygningskonstruktionerne er tilstrækkeligt lufttætte.

Brugerne er generelt tilfredse med både loftlyset og dagslyset i kontorerne. Til gengæld er der problemer med støjniveauet, som brugerne ikke er tilfredse med. Dette er et sædvanligt problem i storrumskontorer.

Hvis et tilsvarende kontorhus skal ned til på et lavere energiforbrug til opvarmning på fx 15 kWh/m² pr. år, viser erfaringerne fra byggeriet at:

- Orienteringen i forhold til verdenshjørnerne skal optimeres.
- Glasarealernes størrelse skal vurderes nøje.
- Der skal gennemføres detaljerede beregninger og dokumentation af kuldebroernes varmetab fx i vinduer og fundamenter.
- Der skal tages højde for, at komforttemperaturen i storrumskontorer er et par grader højere end den normalt dimensionerende indetemperatur på 20 °C.
- Der skal gennemføres detaljeret vurdering af udnyttelsen af gratisvarmen i storrumskontorer.

Der skal under projekteringen være stor fokus på varmetabet samt nøje kontrol og dokumentation af varmetabet.

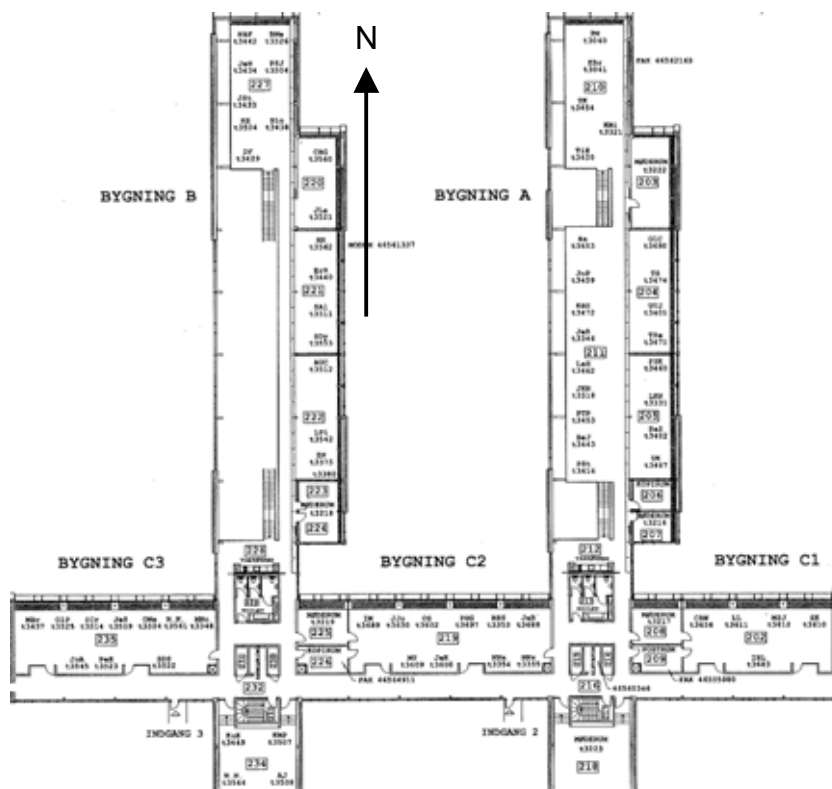
Bygningen



Figur 1. Forskningscenteret set fra nordvest.

Forskningscenteret har et samlet etageareal på 4200 m² med åbne kontorlandskaber og testfaciliteter, se figur 2. Testfaciliteterne er placeret i bygning B. Forskningscenteret er i to etager. På grund af grundens hældning er der kun én etage over terræn i sydfacaden i bygning C. I bygning A og B er der åben forbindelse mellem etagerne, se figur 3. Der er store vinduespartier samt mindre vinduesbånd i facaden i bygning A og B. I bygning C består facaden næsten udelukkende af vinduer. Centeret er projekteret til 130 brugere.

For at opfylde målsætningen om et lavt energiforbrug til opvarmning er bygningen projekteret med stor isoleringstykkel i vægge, loft og gulv samt med trelags energiruder. Isoleringstykkelser og U-værdier fremgår af tabel 1. Vinduesarealet svarer til ca. 40 pct. af etagearealet. Hovedparten af vinduesarealet er mod nord og vest.



Figur 2. Etageplan for forskningscenteret, 1. sal.



Figur 3. Vestfacaden i bygning B med åben forbindelse mellem stuen og 1. sal.

Tabel 1. Isoleringstykkelser og projekterede U-værdier for konstruktionerne i forskningscenteret.

Bygningsdel	Isoleringstykkelser mm	U-værdi W/m ² K
Tag	500	0,08
Facade	450	0,09
Terrændæk	250	0,10
Vinduer	-	0,85
Rude (centerværdi)	-	0,45

Opvarmningssystemet er et traditionelt vandsystem med konvektorer langs facaden ud for glaspartierne samt radiatorer placeret ved skillevægge og lignende. Varme bliver leveret fra to gaskedler. Fremløbstemperaturen styres efter udetemperaturen. Der er nat- og weekendsænkning. Der er et lille solvarmesystem, som kan levere en del af det varme brugsvand.

Der er naturlig ventilation i bygningen suppleret med mekanisk udsugning fra toiletter og kaffekøkkener. Princippet er, at ventilationsluften skal komme ind gennem små, højtsiddende tophængte ventilationsvinduer på hver etage og blive trukket ud af bygningen gennem et langsgående vinduesbånd af store tophængte vinduer på tagets vestside. Disse vinduer styres automatisk. Brugerne har mulighed for at åbne nogle store vinduer i facaden samt at overstyre åbningen af de små vinduer. Om sommeren er der natventilation.

Loftbelysningen i kontorerne styres automatisk efter dagslysniveauet.



Figur 4. Princip for naturlig ventilation.

Målinger

Til dokumentation af byggeriets funktion blev der etableret et omfattende måleprogram, der udover registrering af ude- og indeklima samt tilført energi også opsamler data fra en lang række følere indbygget i konstruktionerne. Alle målepunkter er beskrevet mere detaljeret i (Schultz, 2002c).

Indbygget målesystem

Målesystemet består af Solartron målekort fra Schlumberger placeret tæt på målepunkterne. Via en kabelforbindelse skabes forbindelse til computeren, der styrer dataopsamlingen og lagrer data på computerens harddisk.

Måleprogrammet er sat op til at skanne alle kanaler hvert 10. sekund og automatisk danne timemiddelværdier af de målte data. Kun middelværdierne lagres. Den hurtige skanne-frekvens er specielt forårsaget af målingerne af solstråling, hvor der kan være store udsving over korte tidsperioder, hvorfor en hurtig skanne-frekvens giver den mest repræsentative middelværdi. En undtagelse er fugtmålingerne i konstruktionerne, hvor der kun skannes i et minut hvert døgn. Dette er nødvendigt på grund af måleprincippet, men er i øvrigt også fuldt ud tilstrækkeligt, idet fugtindholdet ændrer sig meget langsomt. Timemiddelværdierne gemmes i separate filer for hvert døgn.

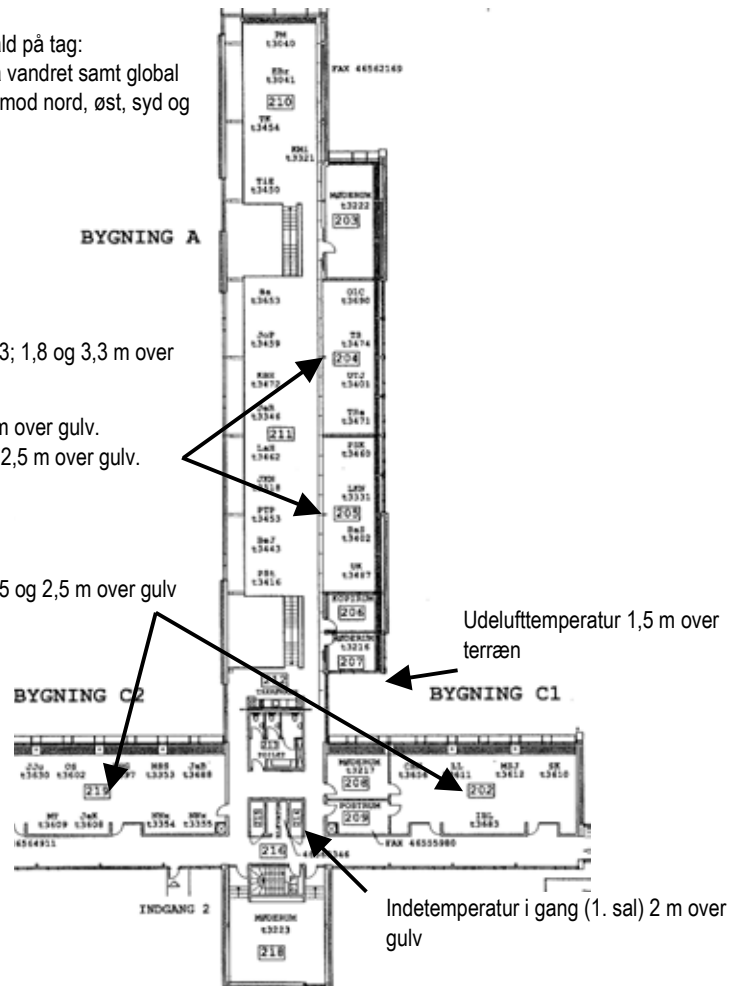
Målepunkterne for energiforbrug og indeklima

I figur 5 er vist de målepunkter, der har relevans for bygningens energiforbrug og det resulterende indeklima. Foruden de viste følere måles elforbruget fordelt på hhv. teknik, lys, edb og kraft samt energien afsat i varme-anlægget. Alle temperaturer måles med termoelementer af typen kobber-konstantan. Solstrålingen er målt med pyranometre af typen Kipp & Zonen SP *Lite*, der anvender en fotocelle til registrering af solintensiteten. Målingen af den relative luftfugtighed i indeluften er beregnet for en simpel evaluering af fugtforholdene, hvorfor der er valgt en relativ billig kapacitativ føler af mærket ES 160 fra L&S Control A/S. Derimod er CO₂-målingerne en vigtig parameter til vurdering af indeluftens kvalitet og effektiviteten af det naturlige ventilationssystem. CO₂-målingerne foretages ved hjælp af VentoThermostat 2001 VT.

Måling af solindfald på tag:
Global stråling på vandret samt global
stråling på lodret mod nord, øst, syd og
vest

På hver etage:
Lufttemperatur 0,3; 1,8 og 3,3 m over
gulv.
CO₂ indhold 1,5 m over gulv.
Relativ fugtighed 2,5 m over gulv.

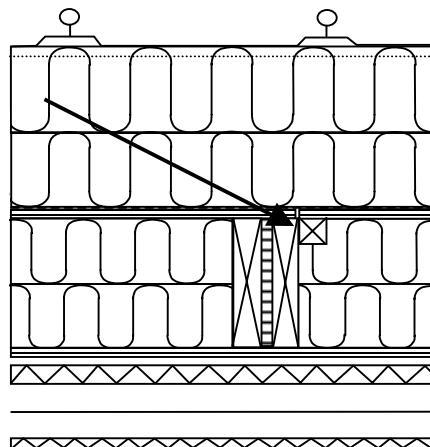
På hver etage:
Lufttemperatur 1,5 og 2,5 m over gulv



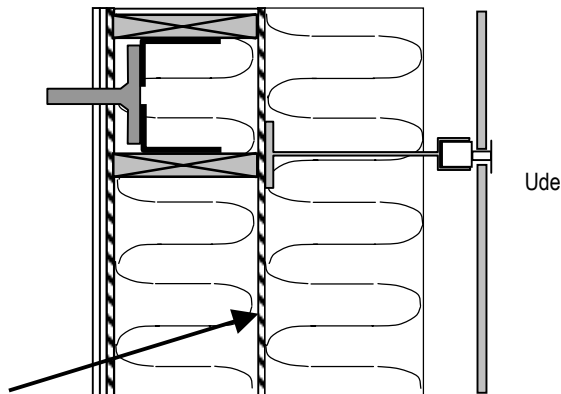
Figur 5. Oversigt over placering af målepunkter til registrering og vurdering af indeklima og energiforbrug.

Fugtindhold i konstruktioner

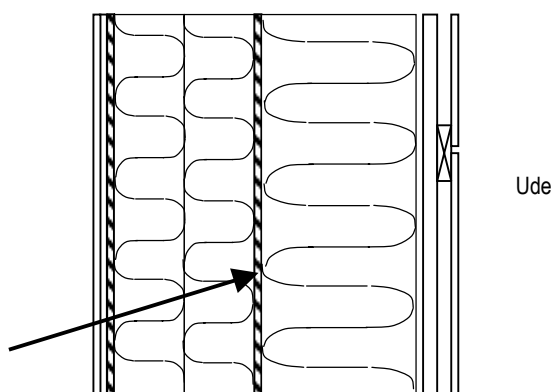
Fugtindholdet i konstruktionerne er målt med træondeller midt i konstruktionerne, som vist i figurene.



Figur 6. Lodret snit i tag med angivelse af træondellernes placering.



Figur 7. Vandret snit i vestvæg med angivelse af trærandellernes placering.



Figur 8. Vandret snit i østvæg med angivelse af trærandellernes placering.

Temperatur-, fugt- og ventilationsmålinger

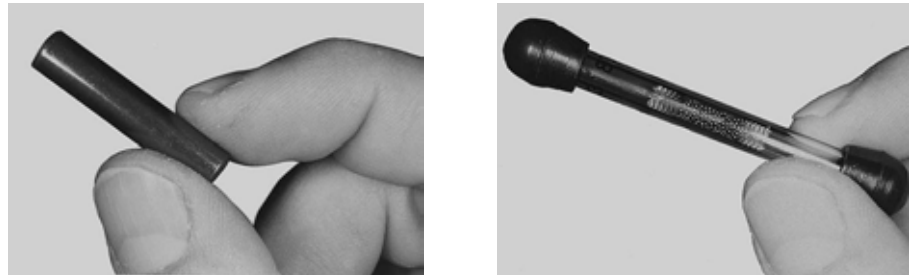
I to perioder er der foretaget yderligere kontinuerte målinger af rumluftens temperatur og relative fugtighed og af ventilationsforholdene. Målingerne er gennemført i bygning A, hvor A0 og A1 betegner henholdsvis underetagen og overetagen. Desuden har kontorområder i bygningerne C1 og C2 af praktiske årsager delvis indgået i undersøgelserne. Der er foretaget målinger i en vinterperiode fra torsdag den 1. februar til fredag den 9. februar 2001 og i en sommerperiode fra fredag den 31. august til mandag den 10. september 2001.

Målingerne af temperatur og relativ fugtighed er foretaget med programmerbare dataloggere type TinyTags, Gemini Data Loggers, se figur 9. Én datalogger registrerer både temperatur og fugt. Ved disse undersøgelser har loggerne været programmeret til at registrere hvert 5. minut. Ved såvel vinter- som sommerundersøgelserne har der været anbragt i alt 18 dataloggere i bygning A; 9 jævnt fordelt i A0 og 9 jævnt fordelt i A1.



Figur 9. Programmerbar datalogger, TinyTag.

Ventilationen er målt ved anvendelse af passiv sporgasteknik, den såkaldte PFT-metode. Sporgas, perfluorcarbons, frigives kontinuert, med en kendt rate og passivt fra små sporgaskilder, mens registreringen af den gennemsnitlige sporgaskoncentration i rumluften sker ved passiv opsamling i adsorptionsrør, se figur 10. Adsorptionsrørene analyseres i laboratoriet ved hjælp af termisk desorption og gaschromatografi. Med PFT-metoden er det muligt at anvende op til tre forskellige sporgastyper samtidigt. Ved zoneopdeling af en bygning kan således også interne luftudvekslinger mellem zonerne bestemmes. PFT-metoden findes nærmere beskrevet i (Bergsøe, 1992).



Figur 10. PFT-metoden: Passiv sporgaskilde og adsorptionsrør.

Spørgeskemaundersøgelse

Der er gennemført spørgeskemaundersøgelse om vinteren og om sommeren. Undersøgelserne er hovedsagelig gennemført blandt brugerne i bygning A, dog har enkelte brugere i dele af bygningerne C1 og C2 indgået.

Spørgeskemaundersøgelserne har haft til formål at understøtte de tekniske målinger ved at beskrive brugernes opfattelse af indeklimaforholdene. Spørgeskemaet indeholder således spørgsmål om brugernes opfattelse af rumtemperatur, luftbevægelser, luftkvalitet, belysning, dagslys og støjniveau. Desuden indeholder spørgeskemaet spørgsmål vedrørende brugernes behov for selv at kunne regulere rumtemperatur, ventilation, belysning og solafskærmning. Endelig er brugerne bedt om at vurdere omfang og kvalitet af eventuel information om de tekniske installationer og brugen af disse.

De fleste spørgsmål skulle besvares ved at sætte en markering på en dimensionsløs, vandret linje med yderpunkterne "Ikke tilfredsstillende" og "Tilfredsstillende". Brugere har haft mulighed for ved afkrydsning at præcisere en ikke tilfredsstillende situation, fx vedrørende rumtemperaturen "For varmt", "For koldt" eller "For varierende". Det anvendte spørgeskema er vist i (Bergsøe, 2002).

Resultater

Målt energiforbrug

Energiforbruget til rumopvarmning er målt med energimålere monteret i kedelrummet efter fremløbstemperaturstyringen. Målingerne dækker således både den afsatte effekt i radiatorerne og rørtabet. Resultatet af målingerne for opvarmningssæsonen 2001/2002 er vist i figur 11 samt tabel 2.

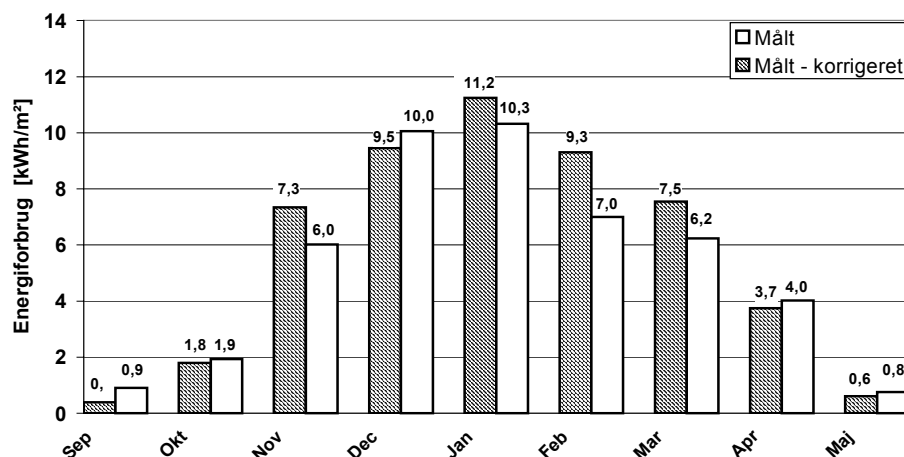
Til sammenligning med det forventede energiforbrug er der desuden foretaget en korrektion af de målte forbrug for afvigelser i det aktuelle ude- og indeklima i forhold til referencesituationen (referenceårsdata og en inde-temperatur på 20 °C). Korrektionen er foretaget ud fra forholdet mellem gradtimerne i den aktuelle situation og i referencesituationen. Gradtimerne er beregnet som middelværdien af skyggegradtimer og solgradtimer i de to tilfælde. Proceduren er nærmere beskrevet i (Schultz, 2002). De korrigerede månedlige energiforbrug er ligeledes vist i figur 11 og tabel 2.

Den beskrevne korrektionsmetode er behæftet med store usikkerheder hvad angår vægtningen af skygge- og solgraddøgn og især med hensyn til at finde den "rigtige" indetemperatur ud fra målingerne. I huse uden natsækning af rumtemperaturen, ville den målte indetemperatur midt på natten være et godt mål for varmeanlæggets effektive set-punktstemperatur og dermed den "korrekte" indetemperatur til graddøgnsberegningen. Men i det aktuelle tilfælde er der anvendt natsækning, hvorfor denne metode ikke kan anvendes. Om dagen stiger temperaturen i rummet gennem hele arbejdsdagen, så det er umuligt at konstatere, hvor meget af temperaturstigningen, der skyldes varmeanlægget, og hvor meget der skyldes den interne varmebelastning og solindfald gennem vinduerne. Der er derfor valgt at anvende middelindetemperaturen som parameter i graddøgnsberegningen uden at skele til nat- og weekendsækning af rumtemperaturen, eller at rumtemperaturens højeste niveauer nok ikke skyldes varmeanlægget. Der er alene korrigeret for udeklimaet og indetemperaturen og ikke fx for det lavere interne varmetilskud på grund af færre brugere i bygningen end forventet. Det varme klima i fyringssæsonen 2001/2002 har betydet, at det korrigerede energiforbrug er ca. 10% højere end det målte.

Tabel 2. Samlet energiforbrug til rumopvarmning i fyringssæsonen 2001/2002.

Målt energiforbrug til rumopvarmning	46,5 kWh/m ²
Energiforbrug korrigeret til standardbetingelser	51,4 kWh/m ²

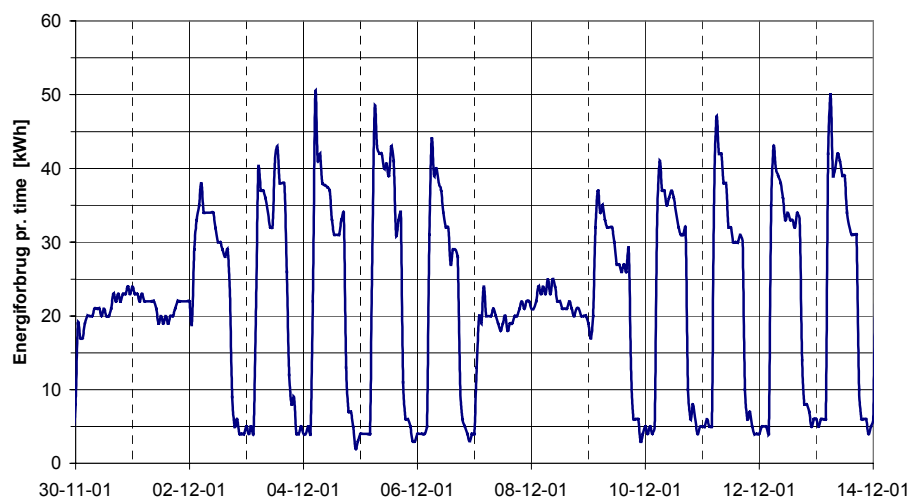
Målt energiforbrug til rumopvarmning



Figur 11. Målt energiforbrug til rumopvarmning 2001/2002 samt forbruget korrigeret til standardbetingelser (referenceårs klima og indetemperatur 20 °C).

Figur 12 viser fordelingen af energitilførslen de første 14 dage i december 2001. Perioden indledes med en weekend, hvor energitilførslen er nogenlunde konstant, mens der er store udsving på hverdagene. Årsagen til det karakteristiske mønster er den anvendte nat- og weekendsækning af indetemperaturen, hvor temperaturen tillades at falde til ca. 18 °C. Hver arbejdsdag indledes med en kraftig opvarmning for at bringe rumtemperaturen op på komfortniveau, hvorefter der sker et lille fald i energiforbruget til et niveau der netop kan holde den ønskede komforttemperatur. Ved fyraften træder natsækningen i funktion, hvorfor energitilførslen bliver næsten nul, mens bygningen køler af. Kurverne viser, at effekten af natsækningen er begrænset, idet opvarmningen til næste arbejdsdag påbegyndes uden at der er opnået en periode med konstant varmetilførsel knyttet til den lavere rumtemperatur, som det tydeligt ses i forbindelse med weekend-sækningen.

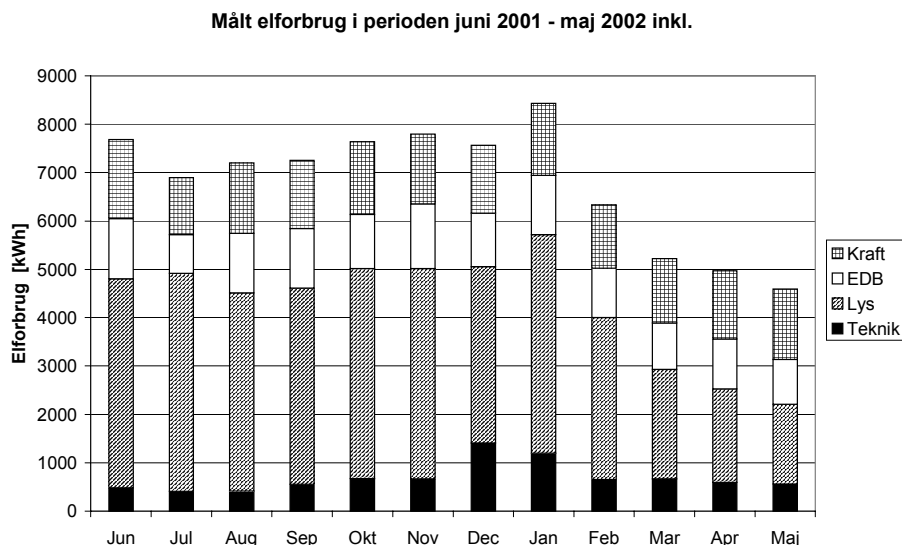
Energiforbrug til rumopvarmning 1. - 14 december 2001



Figur 12. Fordelingen af varmetilførslen i perioden 1. – 14. december 2001.

Figur 13 viser elforbrugets fordeling over året opdelt på arten af forbrug. I begyndelsen af perioden er forbrugene nogenlunde konstante, men der kan ses en tydelig stigning i forbruget til "teknik" i december og januar, hvilket dækker over, at gasfyrene på grund af det større opvarmningsbehov har haft længere driftstid. Derudover kan der ses et væsentlig fald i forbruget til belysning i foråret 2002 sammenlignet med begyndelsen af perioden. Dette skyldes, at den automatiske styring af lyset i begyndelsen ikke fungerede

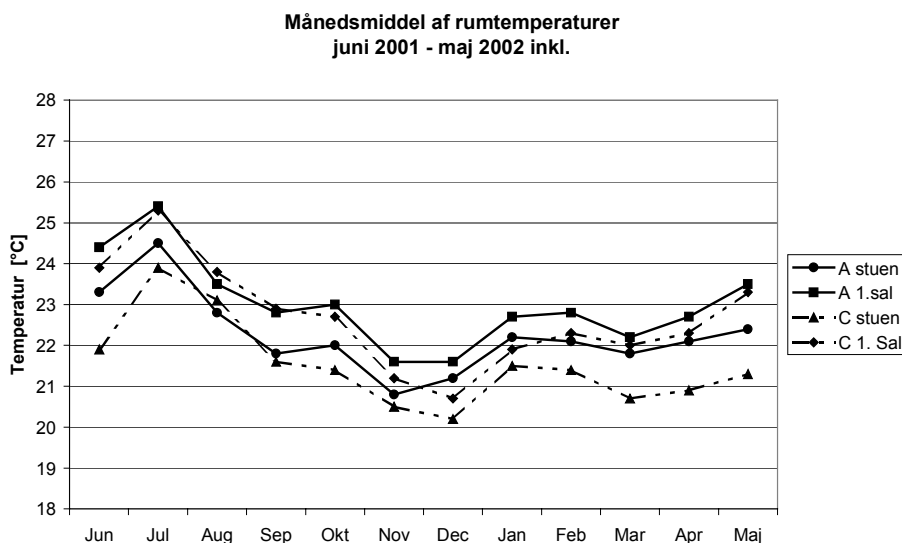
efter hensigten, og der var ofte tændt for lyset hele døgnet. Dette er efterfølgende rettet, hvilket også fremgår af figur 13.



Figur 13. Målt elforbrug i perioden juni 2001 til maj 2002 inklusive. Kraft dækker bl.a. stikkontakter og tekøkkener.

Målte rumtemperaturer

Der er målt en række rumtemperaturer i forskellige højder og placeringer i bygningen (se afsnit om målepunkter og dataopsamling). Figur 14 viser månedsmiddelværdien af rumtemperaturerne i de enkelte afsnit af bygningen.



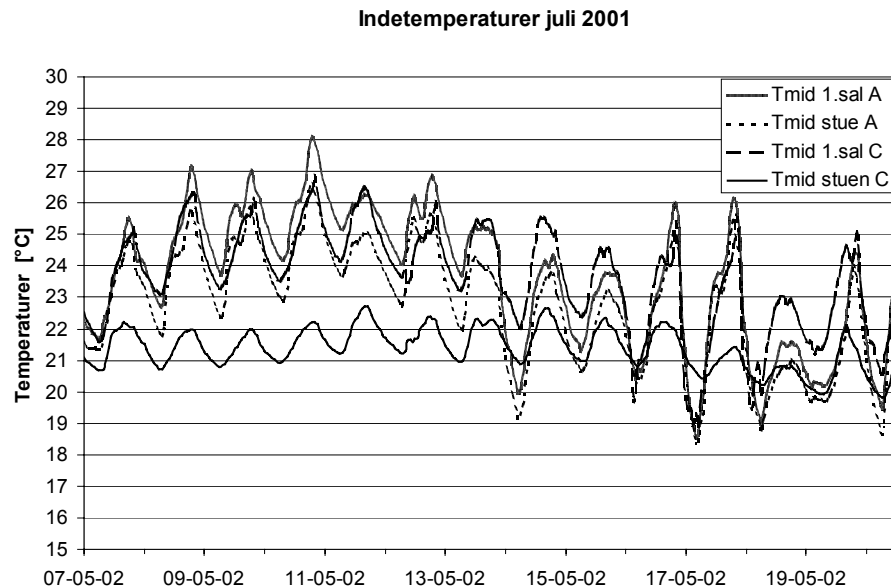
Figur 14. Månedsmiddel af rumtemperaturen i de forskellige bygningsafsnit for perioden juni 2001 til maj 2002 inkl.

Månedsmiddelværdierne giver et billede af de temperaturer, der har betydning for det resulterende energiforbrug, men siger i øvrigt ikke så meget om indeklimaet, idet middelværdier fremkommer som et resultat af både perioder med natsænkning af indetemperaturen og perioder med overtemperaturer. Figur 14 afslører dog, at den planlagte natlige afkøling af bygningen ved naturlig ventilation ikke fungerede i sommeren 2001. Dette blev der rettet op på i august 2001. Desuden kan der konstateres ca. 1 grads forskel i indetemperaturen mellem stuen og 1. sal.

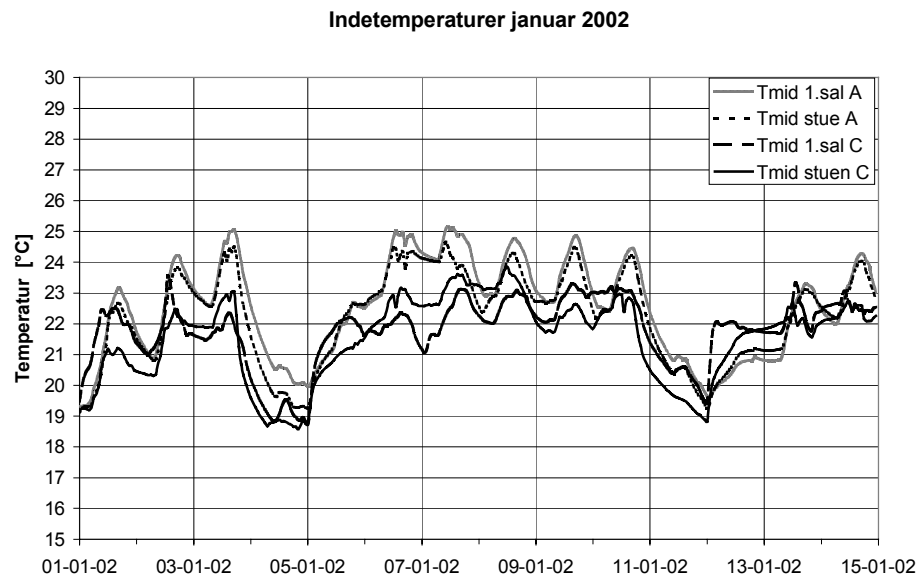
Til vurdering af det termiske indeklima er indetemperaturen for dels en forårsperiode og dels en vinterperiode vist i nedenstående figur 15 og figur 16. I forårsperioden ses det, at indetemperaturen i stueetagen i C-fløjene er

meget konstante sammenlignet med de øvrige bygningsafsnit. Det skyldes, at stueetagen på grund af terrænet kun har vinduer mod nord og i øvrigt har en meget stor varmekapacitet på grund af indvendige betonvægge. I de øvrige bygningsafsnit svinger indetemperaturen betydeligt mere. Sammenlignes perioderne 7. – 16. maj uden natkøling og 16. – 21. maj med natkøling ses effekten af denne tydeligt.

I vintersituationen ligger indetemperaturene i arbejdstiden mellem 22 °C og 24 °C. Det er noget over standardforudsætningerne på 20 °C i DS 418, men ikke egentligt usædvanligt i kontorlandskaber.



Figur 15. Indetemperaturer i maj måned 2002.



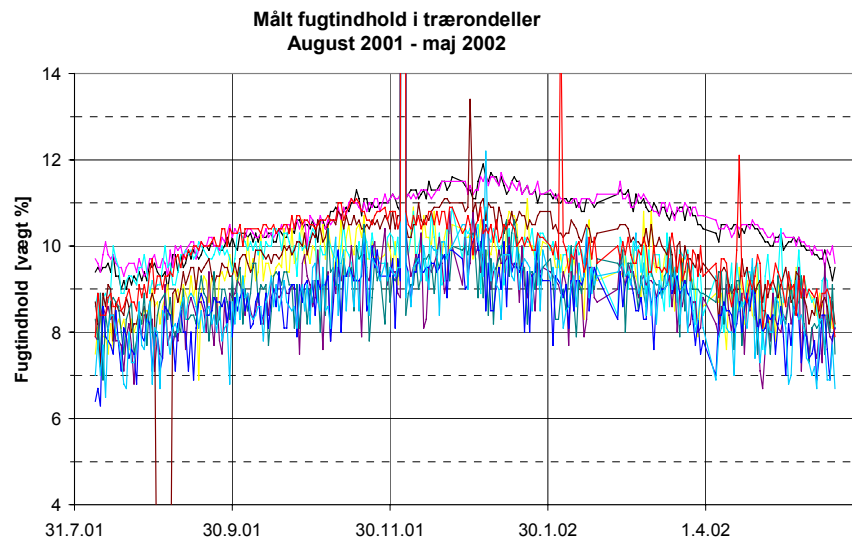
Figur 16. Indetemperaturer i januar måned 2002.

Fugtforhold og varmestrømme i konstruktionerne

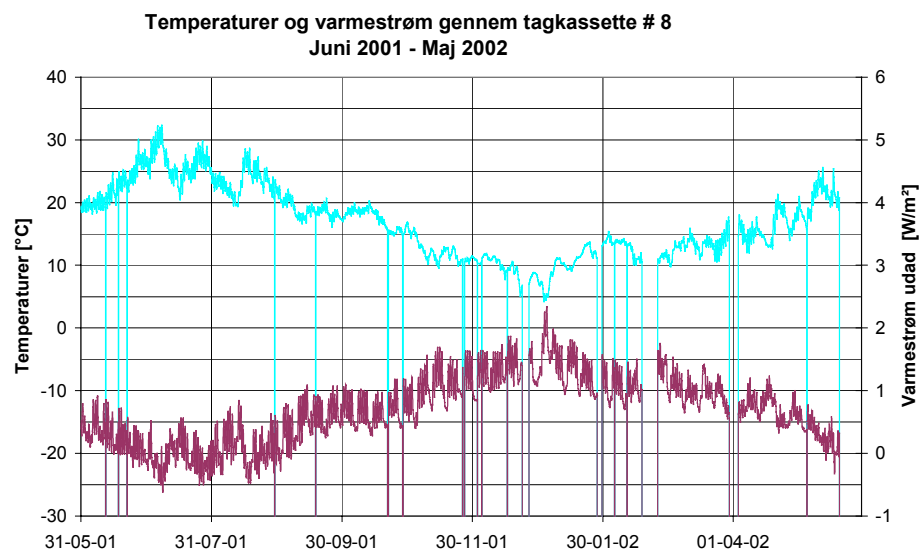
I figur 17 er vist samtlige målinger af fugtniveauer midt i konstruktionerne. Målingerne er foretaget med træondeller. Registreringerne er foretaget midt på natten mellem klokken 1 og 2. Et fugtindhold på 12% svarer til ca. 60% relativ luftfugtighed og indikerer, at der er sunde fugtforhold i konstruktionerne. Det vides dog ikke, hvordan fugtforholdene er fx lige under tagbelægningen.

I figur 18 er som eksempel vist temperatur og varmestrøm gennem taget målt med termoelement og varmestrømsmåler midt i isoleringen. Målingerne

viser, at der opnås et meget lille varmetab gennem de konstruktioner svarende til de projekterede U-værdier.



Figur 17. Samtlige målinger af fugtniveauer midt i konstruktionerne.

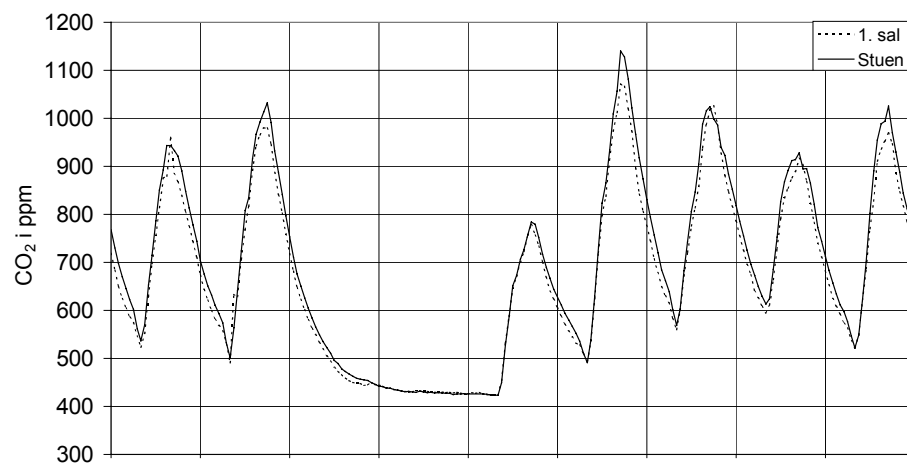


Figur 18. Temperatur og varmestrøm gennem taget målt midt i isoleringen.

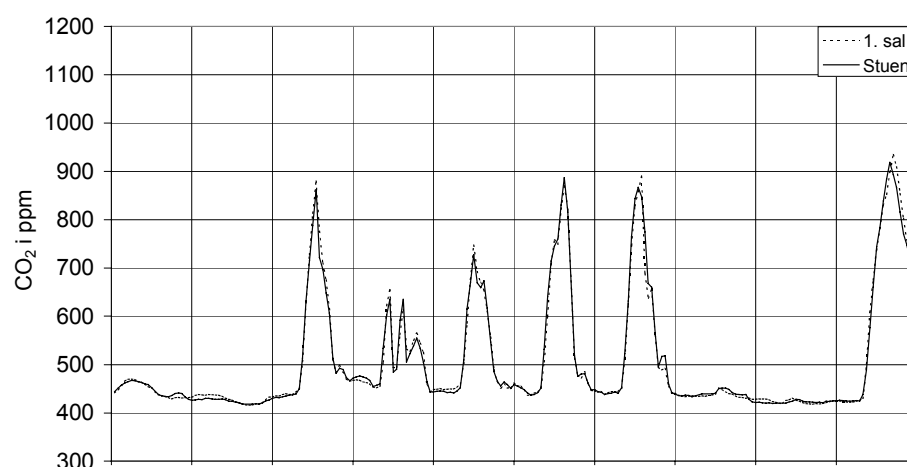
Luftkvalitet

Luftkvaliteten i bygning A, baseret på CO_2 koncentrationen, er vist i figur 19 for den første ventilationsmåleperiode i februar 2001 og i figur 20 for den anden ventilationsmåleperiode i september 2001 samt i figur 21 for måleperioden juni 2001 til maj 2002, der i øvrigt er anvendt ved vurdering af energiforbruget og indeklimaet.

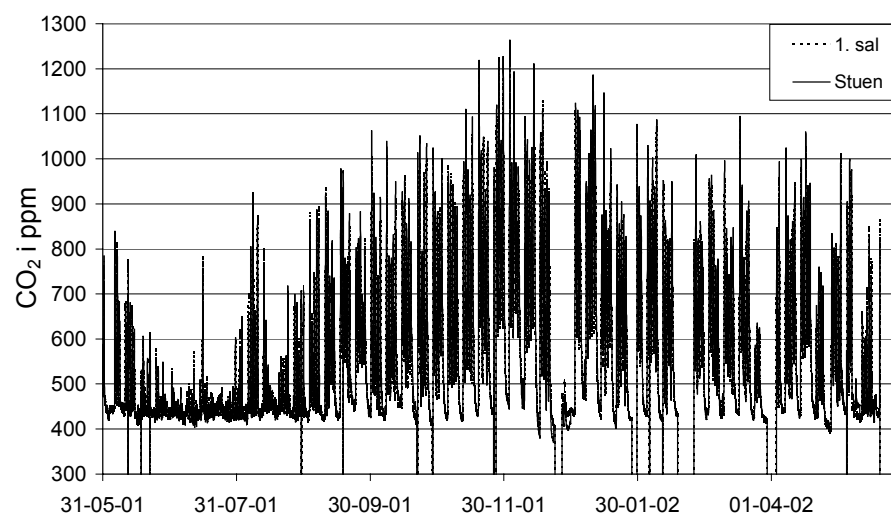
Det ses, at CO_2 koncentrationen varierer mellem ca. 400 og 1200 ppm, og at den det meste af tiden er under 1000 ppm, hvilket indikerer, at der er en god luftkvalitet i lokalerne. Om vinteren når CO_2 koncentrationen kun ned på udekonzentrationen på 400 ppm efter en weekend. Det ses også, at der ikke er forskel på luftkvaliteten i ventilationsmåleperioderne og i måleperioden anvendt ved vurdering af energiforbruget.



Figur 19. Luftkvalitet i stuen og på 1. sal i bygning A fra 1. til 9. februar 2001, hvor der også blev målt ventilation.



Figur 20. Luftkvalitet i stuen og på 1. sal i bygning A fra 1. til 10. september 2001, hvor der også blev målt ventilation.



Figur 21. Luftkvalitet i stuen og på 1. sal i bygning A, hele måleperioden juni 2001 til maj 2002.

Temperatur og relativ fugtighed

Resultaterne af målingerne ved hjælp af TinyTags viser, at i vintermåleperioden varierede den gennemsnitlige rumtemperatur i længderetningen i A0 fra ca. 20 °C i yderenderne (ved nordgavl og ved bygning C) til ca. 22 °C midt i bygningen, hvor der også var den største variation (min. 16 °C, maks. 24 °C). I A1 var den gennemsnitlige rumtemperatur omkring 21,5 °C overalt i

længderetningen og variationen ca. $\pm 2,5$ °C. Over døgnet når rumtemperaturen minimum (18-19 °C) omkring kl. 5 og maksimum (ca. 24 °C) omkring kl. 14. Udetemperaturen var i måleperioden i gennemsnit 0 °C med en stigende tendens over perioden. Rumluftens gennemsnitlige relative fugtighed var omkring 33% overalt i længderetningen i både A0 og A1. Variationerne var størst i A0. I de sidste 2-3 dage i måleperioden stiger rumluftens relative fugtighed fra ca. 30% til ca. 40%. Rumluftens relative fugtighed var således, som det er normal for kontorbygninger ved lav udetemperatur.

Under sommermålingerne var den gennemsnitlige rumtemperatur i A0 20,7 °C og i A1 21,4 °C; på begge etager med en lidt højere rumtemperatur nær bygning C. Over døgnet er minimum tidligt på morgenen 17-18 °C og maksimum sidst på eftermiddagen ca. 25 °C i A0 og lidt under 26 °C i A1. Udetemperaturen var i måleperioden i gennemsnit 14 °C med en faldende tendens over perioden. Rumluftens relative fugtighed var omkring 55% i hele længderetningen, både i A0 og A1 og igennem hele måleperioden. Dette er passende tørt for årstiden.

Ventilation

Bygning C har delvis indgået i ventilationsmålingerne. Det drejer sig om dele af kontorområderne C10 og C11, som udgør henholdsvis underetagen og overetagen af bygning C1, og dele af kontorområderne C20 og C21, som udgør henholdsvis underetagen og overetagen af bygning C2. Ved målingerne bestemmes middelværdier for ventilationen, som både indeholder perioder, hvor bygningen er benyttet, og perioder, hvor bygningen er ubenyttet.

Ved vintermålingen er udelufttilførslen til A0 målt til ca. 120 m³/h svarende til ca. 33 l/s. A0 tilføres desuden luft fra den overliggende etage (A1) og fra dele af bygning C, henholdsvis ca. 500 m³/h og ca. 150 m³/h. Den samlede lufttilførsel til A0 er således ca. 770 m³/h svarende til ca. 214 l/s. I A1 er udelufttilførslen målt til ca. 460 m³/h svarende til ca. 130 l/s. Tillægges luftoverføring fra A0, ca. 475 m³/h, og fra bygning C, ca. 515 m³/h, tilføres A1 i alt ca. 1450 m³/h svarende til ca. 400 l/s. Udelufttilførslen til bygning C er målt til ca. 550 m³/h, men da bygning C kun indgår delvis, indbefatter den målte udelufttilførsel luftoverføring fra andre områder af bygning C. Sættes voluminet af A0, A1 og de indregnede områder af bygning C til henholdsvis 1750 m³, 2380 m³ og 478 m³, er det samlede udeluftskifte ca. 0,25 h⁻¹ (0,25 gange pr. time). Antages det, at luften, som overføres fra bygning C, kan indgå som en del af ventilationen af bygning A, er den samlede tilførsel af luft til bygning A ca. 1245 m³/h svarende til et luftskifte på ca. 0,3 h⁻¹. Antages 16 personer pr. etage i bygning A er lufttilførslen ca. 11 l/s pr. person i gennemsnit over hele måleperioden inklusive den tid, hvor bygningen er ubenyttet. Det fremgår af forrige afsnit, at ventilationen er tilstrækkelig til at opnå en god luftkvalitet vurderet ud fra CO₂-koncentrationen i indeluften.

Resultaterne af sommermålingen viser meget store 2-vejs luftudvekslinger såvel mellem etagerne A0 og A1 som mellem bygning A og bygning C. Den forudsatte zoneopdeling (A0, A1 og bygning C) eksisterer således ikke i praksis, og beregningsmæssigt medfører dette, at bestemmelsen af volumenstrømme bliver usikker, så ventilationen på de enkelte etager kun kan vurderes kvalitativt. For at forbedre mulighederne for at kunne vurdere ventilationen i bygning A, er ligningssystemet reduceret således, at resultaterne fra bygning C er ekskluderet fra beregningerne, svarende til, at luftoverføring fra bygning C til bygning A betragtes som udelufttilførsel til bygning A.

Analyserne viser, at bygning A i alt tilføres i størrelsesordenen 3000 m³/h; ca. 2000 m³/h tilføres A0 og ca. 1000 m³/h tilføres A1. Luften forlader bygningen alene fra A1, således at den store luftudveksling etagerne imellem resulterer i en netto luftbevægelse på ca. 2000 m³/h fra den nedre etage A0 til den øvre etage A1. Udeluftskiftet i bygning A er ca. 0,8 h⁻¹. Antages igen

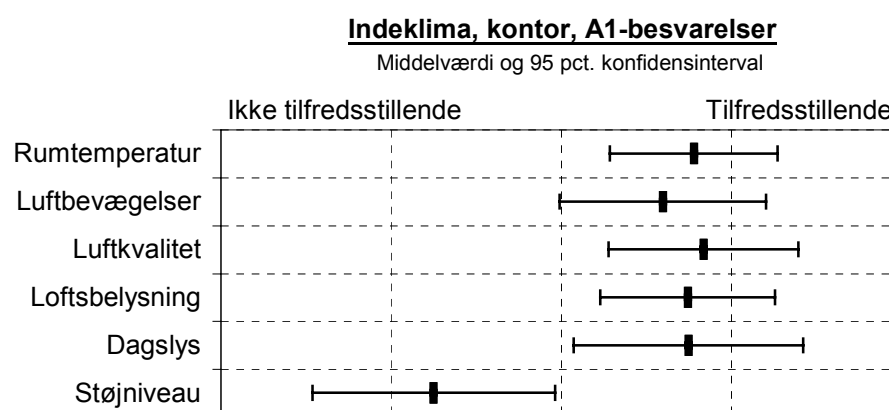
16 personer pr. etage i bygning A er lufttilførslen ca. 26 l/s pr. person. Ventilationsbehovet om sommeren er styret af behovet for at køle bygningen, og ventilationen er da også væsentligt større end om vinteren.

Spørgeskemaundersøgelser

Ved vinterundersøgelsen blev der uddelt spørgeskemaer til ca. 70 arbejdspladser og modtaget besvarelser fra i alt 52 brugere. 16 besvarelser kom fra brugere i A0 og 16 besvarelser kom fra brugere i A1. De resterende besvarelser kom fra brugere i bygning C. Ved sommerundersøgelsen blev der modtaget 16 spørgeskemabesvarelser fra brugere i A0, 12 fra brugere i A1 og 8 fra brugerne i bygning C. Ved sommerundersøgelsen blev der kun uddelt spørgeskemaer til arbejdspladser i dele af bygning C. I det følgende vises udvalgte figurer til illustration af resultaterne fra spørgeskemaundersøgelserne. Yderligere figurer og tabeller findes i (Bergsøe, 2002).

Figur 22 viser besvarelser fra brugerne i A1, overetagen i bygning A, vedrørende deres vurdering af en række indeklimaparametre ved vinterundersøgelsen. Det fremgår af figuren, at brugerne udtrykker utilfredshed med støjniveauet i kontoret, mens der udvises større tilfredshed med de øvrige parametre. Spørgeskemaundersøgelserne viser generelt, at brugerne i A1 er mere tilfredse med indeklimaet end brugerne i A0, underetagen i bygning A. Forskellen er mest udtalt ved vinterundersøgelsen, men ses også ved sommerundersøgelsen.

I både A0 og A1 og ved såvel vinterundersøgelsen som sommerundersøgelsen vurderes luftkvaliteten i kontoret og dagslysforholdene positivt. Derimod vurderer brugerne i A0 loftsbelysningen og navnlig rumtemperaturen mindre tilfredsstillende. Årsagen til utilfredsheden med rumtemperaturen ved vinterundersøgelsen angives at være, at der er for koldt, og rumtemperaturen er for varierende. I A1 er der kun få brugere, der udtrykker utilfredshed med rumtemperaturen, men det skal bemærkes, at de, som de eneste i hele bygning A klager over, at der er for varmt. Der er god overensstemmelse mellem brugernes vurderinger og TinyTag-måleresultaterne. Ved sommerundersøgelsen fordeler utilfredsheden med rumtemperaturen sig ligeligt, mellem at der er for varmt, og at rumtemperaturen er for varierende.



Figur 22. Indeklimavurdering af brugerne i A1, vinterundersøgelse.

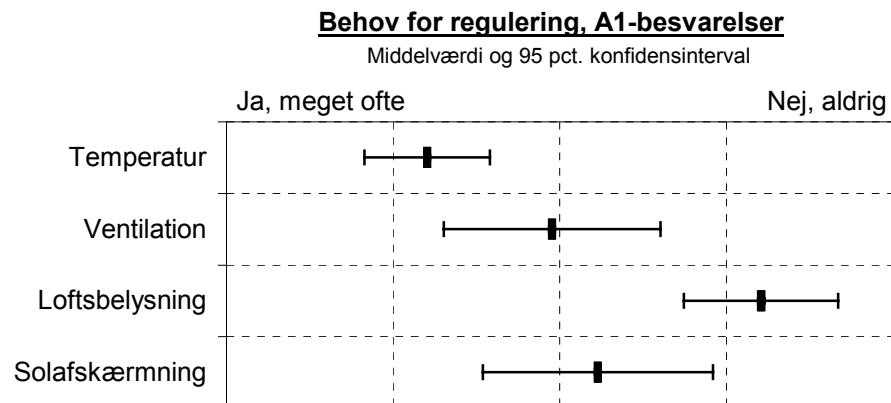
Figure 1 consists of six scatter plots arranged in a 3x2 grid. The rows represent different noise sources: 'Støj i kontoret' (Noise in the office), 'Støj fra install.' (Noise from installation), and 'Støj udefra' (Noise from outside). The columns represent two conditions: 'Ikke tilfredsstillende' (Unsatisfactory) and 'Tilfredsstillende' (Satisfactory). The y-axis for each plot shows noise levels: A0, A1, C10, C11, C20, and C21. The x-axis represents the number of respondents, with a scale from 0 to 100. The plots show the distribution of noise levels for each condition. In the 'Ikke tilfredsstillende' column, there are more data points at higher noise levels (A0, A1, C10, C11, C20, C21) compared to the 'Tilfredsstillende' column, which shows a higher concentration of data points at lower noise levels (A0, A1, C10, C11, C20, C21).

Det fremgår af figur 22, at ved vinterundersøgelsen udtrykker brugerne i A1 utilfredshed med støjniveauet. Også brugerne i A0 udtrykker utilfredshed med støjniveauet, og utilfredsheden på etagerne ses ved såvel vinter- som sommerundersøgelsen. Figur 23 viser, at årsagen til brugernes utilfredshed i første række er støj i kontoret fx hidrørende fra personer og telefoner. Dette er et sædvanligt problem i storrumskontorer. Kun få brugere er generet af støj fra de tekniske installationer, og der er ingen, som er generet af støj udefra.

Behov for regulering, A1-besvarelser

	Ja, meget ofte				Nej, aldrig
Temperatur					
Ventilation					
Loftsbelysning					
Solafskærmning					

21



Figur 25. Brugere i A1's vurdering af behov for regulering, sommerundersøgelse.

Spørgeskemabesvarelserne fra vinterundersøgelsen viser en god overensstemmelse mellem brugernes vurdering af den enkelte indeklimaparameter og behovet for at kunne regulere denne parameter. Eksempelvis viser besvarelserne fra A0 en korrelationskoefficient på 0,88 for tilfredshed versus reguleringsbehov af rumtemperaturen. Sammenhængen ses ved alle de undersøgte parametre undtagen brugernes vurdering af dagslys og reguleringsbehovet af solafskærmningen; $R^2=0,01$ i A0 og $R^2=0,22$ i A1. Netop denne sammenhæng er imidlertid relativ tydelig ved sommerundersøgelsen ($R^2=0,56$ i A0, $R^2=0,60$ i A1), hvorimod der kun ses svage sammenhænge ved de øvrige parametre.

Ved vinterundersøgelsen blev brugerne desuden bedt om at vurdere indeklimaet i møderummene, på samme måde som i deres kontor. Resultaterne viser generelt, at dagslysforholdene i møderummene vurderes positivt, hvorimod rumtemperaturen karakteriseres som for lav og for varierende. Der udtrykkes desuden utilfredshed med støjniveauet i møderummene, og årsagen er støj fra omkringliggende rum.

Tabel 3 viser resultaterne af spørgsmål vedrørende information om de tekniske anlæg. Det fremgår, at der er delte meninger, om der er givet information, men der er enighed om, at ønsker om ændringer bliver efterkommet.

Tabel 3. Besvarelser af spørgsmål vedrørende information om de tekniske installationer.

		Vinter		Sommer	
		A0	A1	A0	A1
Har du og dine kolleger modtaget information om, hvordan anlæggene for opvarmning, ventilation, belysning og solafskærmning fungerer, og hvad I kan gøre, hvis I synes indeklimaforholdene er utilfredsstillende?	[ja/nej]	8/8	7/7	8/8	6/6
Har du, eller dine kolleger, inden for de sidste par måneder udtrykt ønske om at få ændret på anlæggene for opvarmning, ventilation, belysning eller solafskærmning?	[ja/nej]	14/1	13/2	9/5	7/4
Hvis ja – har det medført, at der er foretaget ændringer?	[ja/nej]	13/1	12/1	6/3	6/1

Efter gennemførelse af spørgeskemaundersøgelsen, er akustikken blevet forbedret med opsætning af yderligere 350 m² væg absorbent og opstilling af støjskærme. Desuden er styringen af rumtemperaturen og belysningen blevet forbedret.

Analyse af energiforbruget

Det forventede energiforbrug til opvarmning og ventilation er beregnet med programmet Bv98. Beregningsforudsætningerne er beskrevet i (Thomsen & Schultz, 2002). Der er taget hensyn til de mest betydende kuldebroer vha. to-dimensionale beregningsprogrammer som nærmere beskrevet i (Schultz, 2002a, 2002b).

Der er for kuldebroen for fundamenterne beregnet en gennemsnitsværdi for linietabet på 1,16 W/mK, hvilket er ganske højt. Den målte ventilation svarer til et middelventilation på 0,173 l/s m² som gennemsnit både indenfor og udenfor brugstiden, hvilket er brugt i beregningerne. Resultatet af beregningerne er vist i tabel 4.

Energirammen udgør 54,6 kWh/m² pr. år (196,7 MJ/m² pr. år), og det beregnede varmeforbrug udgør hermed 83% af rammen. Beregningerne viser, at ca. 2/3 af solindfaldet plus den interne varmelast fra personer, installationer og eludstyr nyttiggøres til sænkning af opvarmningsbehovet.

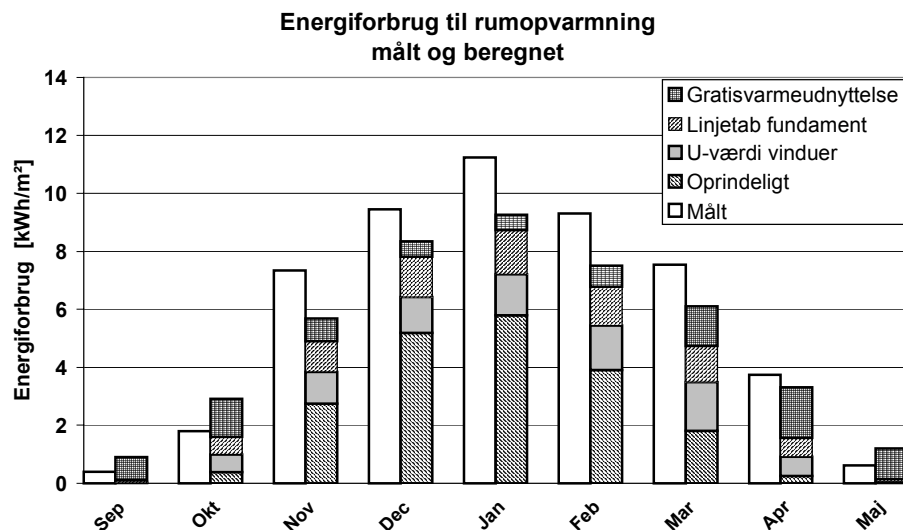
Linietabet udgør 15% af det samlede transmissionstab. Varmetabet gennem glaspartierne udgør ca. 2/3 af det samlede transmissionstab. Linietabet og det samlede varmetab gennem glaspartierne udgør således en væsentlig del af det samlede transmissionstab.

Det faktiske energiforbrug til opvarmning og ventilation er i opvarmnings-sæsonen 2001/2002 opgjort til 51,4 kWh/m². I denne opgørelse er der taget højde for de aktuelle klimadatas afvigelser fra standardværdierne, og at den aktuelle indetemperatur har været højere end 20 °C, som det er forudsat i beregningen af det forventede forbrug. Figur 26 viser hhv. det målte og det beregnede energiforbrug pr måned, og i figur 27 er det samme vist summeret for et år.

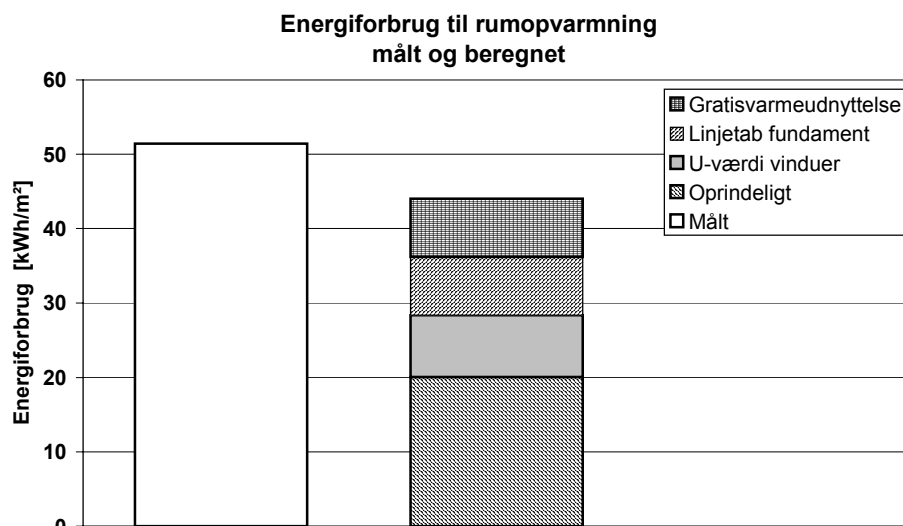
Sammenlignes det beregnede og målte forbrug ses det, at der er god overensstemmelse med en afvigelse på kun ca. 10%. En forklaring til det lidt højere faktiske forbrug end det forventede kan være, at der er visse kuldebroer, som der ikke er taget højde for, fx hvor punktfundamenter og fundamenter under indvendige skillevægge gennembyder terrændækket.

Tabel 4. Det beregnede energiforbrug til opvarmning og ventilation i opvarmnings-sæsonen pr. opvarmet etageareal.

	Varmetab	Solindfald	Intern last	Varmebehov
kWh/m ²	86,3	25,0	35,1	45,3
MJ/m ²	310,6	90,0	126,4	162,9



Figur 26. Målt og beregnet varmekonsum. Det viste målte varmekonsum er korrigeret for de aktuelle klimadata og indetemperaturens afvigelse fra standardværdierne anvendt i beregningerne. Gratisvarmeudnyttelse dækker både den lavere personbelastning i bygningen og den lavere udnyttelsesgrad af det interne varmetilskud.



Figur 27. Målt og beregnet varmekonsum opgjort for et normalår.

Betragtes figur 26 og 27 ses det, at der oprindeligt var beregnet et meget lavt varmebehov, hvilket ikke viste sig at blive opfyldt. Årsagen hertil kan primært tilskrives følgende forhold:

- De oprindelige beregninger var ikke baseret på en detaljeret kuldebro-analyse af fundamentskonstruktion og vinduer.
- Udnyttelsesfaktoren for solindfald og intern varmelast er tilsyneladende skønnet for høj.
- Det aktuelle antal personer og dermed gratisvarmen er lavere end forventet.

Det oprindelige mål om et energiforbrug til opvarmning på 15 kWh/m² pr. år var fastsat ud fra en beregning af en midtersektion af bygning A, hvor der ikke var taget hensyn til varmetabet gennem gavle og lignende. Desuden var det baseret på en lidt anden bygningsudformning.

Referencer

Bergsøe, N. C. (1992). *Passiv sporgasmetode til ventilationsundersøgelser: Beskrivelse og analyse af PFT-metoden* (SBI-rapport 227). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Bergsøe, N. C. (2002a). *Spørgeskemaundersøgelse og målinger, sommer 2001*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Bergsøe, N. C. (2002b). *Spørgeskemaundersøgelse og målinger, vinter 2001*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Engelund Thomsen, K., & Schultz, J. M. (2002). *Beregnet energiforbrug, Rockwool International A/S forskningscenter*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Schultz, J. M. (2002a). *Beregning af linietaf for fundament i Rockwool's lav-energi kontorhus*. Lyngby: BYG•DTU.

Schultz, J. M. (2002b). *Beregning af U-værdier for vinduer i center 3, Rockwool International A/S, Hedehusene*. Lyngby: BYG•DTU.

Schultz, J. M. (2002c). *Katalog over et års målinger i center 3, Rockwool International A/S* (SR-02-17). Lyngby: BYG•DTU. Lokaliseret 20030502 på: <http://www.byg.dtu.dk/publicering/sagsrapporter/byg-sr0217.pdf>

Summary

By og Byg Results 025: Superinsulated office building with glass facades

Rockwool International's new research centre in Hedehusene was planned and designed as a low-energy office building with the energy consumption for heating to be one third of the energy frame stipulated in the Danish Building Regulations BR95, i.e. corresponding to 15 kWh/m² per year. It was an objective that the building should also have a good indoor climate, especially as regards room temperature, daylight and air quality. Good air quality was to be achieved by means of natural ventilation.

The building was occupied in the summer of 2000. Measuring equipment was installed in the building and an extensive measuring programme was implemented together with a questionnaire survey. The purpose of the measuring programme was to draw conclusions from the general experience gained on the building project.

The measurements showed that the heating requirement of the building was somewhat lower than stipulated in the Danish Building Regulation BR95. However, the building did not measure up to the original target that the heating requirement should be one third of the energy frame, corresponding to 15 kWh/m² per year. The actual measured heating consumption, adjusted for a standard year, and an indoor temperature of 20 °C was 51 kWh/m² per year, where the BR95 energy frame is 55 kWh/m² per year. Analyses showed that an important reason that heating consumption was higher than targeted was that significant thermal bridges were found at the foundations and convector casings as well as windows, in spite of the superinsulated constructions in facades, roof and ground slab. Another reason is, that the actual number of persons, and as a consequence the heat gain, was lower than first assumed. At the same time expectations were too optimistic regarding the exploitation of the internal heat gain. This emphasises that careful calculations of thermal bridges should be performed during design of superinsulated buildings, and that it is important to avoid or minimise thermal bridges. Moreover, realistic assessment should be made during design concerning the actual conditions of the building project including room temperature and heat gain. The calculated heating requirement is 45 kWh/m² per year. However, this does not consider all thermal bridges, e.g. where foundation blocks for the columns and the foundations below interior partition walls break through the insulation of the ground slab. Bearing this in mind, the calculated and the measured heating consumption are in good agreement.

Measurements of the heat flow in the facade, roof and ground slab showed that a very small heat loss was achieved with superinsulated constructions corresponding to the design U-values. Measurements of the moisture conditions in facade, roof and ground slab indicated sound moisture conditions in the constructions. Measurements were only made in the middle of the constructions and therefore it cannot be stated with certainty, how moisture conditions were e.g. just below the roof covering.

Most of the time the indoor temperature in winter in the building was within normal comfort limits, but somewhat higher than the standard 20 °C which are normally used for calculating the heating requirement in relation to the BR95 energy frame. The users were generally satisfied with the room temperature in winter. But in summer, the indoor temperatures were

periodically high, especially on the 1 floor of building A. The temperature could be kept at an acceptable level by means of night ventilation. The users strongly emphasised their need to regulate temperature, ventilation and solar shading during summer.

Assessed on the basis of the CO₂ concentration, the air quality was in general good or acceptable the year round, in spite of the small air change rate, and the users were well satisfied with it. The large room volume was the reason that a good air quality could be maintained with a small air change rate. A small air change rate indicates that the building constructions are sufficiently air tight.

The users were generally satisfied with the artificial lighting and the daylight in the offices. On the other hand the users were dissatisfied with the noise level which caused problems. This is a recurring problem in open plan offices.

If a comparable office building is to achieve a lower energy consumption for heating, e.g. 15 kWh/m² per year, lessons learnt from this building project showed that:

- the building orientation must be optimised
- the size of the glass areas should be carefully assessed
- detailed calculations should be performed and the heat loss of thermal bridges, e.g. at windows and foundations, should be documented
- it should be taken into account that the comfort temperature in open plan offices is a couple of degrees higher than the usual design indoor temperature of 20°C
- the exploitation of the heat gain in open plan offices should be assessed in detail
- during design, focus should center on heat loss as well as careful control and documentation of the heat loss.

Rapporten beskriver hovedresultaterne fra målinger og analyse af energiforbruget og indeklimaet i Rockwool International's nye forskningscenter i Hedehusene. Ved planlægningen af byggeriet var målet at opføre et lav-energi-kontorhus med et energiforbrug til opvarmning på 1/3 af energirammen i Bygningsreglement 1995, svarende til 15 kWh/m² pr. år. Samtidig var det målet, at byggeriet skulle have et godt indeklima især med hensyn til rumtemperatur, dagslys og luftkvalitet. Den gode luftkvalitet skulle opnås ved hjælp af naturlig ventilation.

1. udgave, 2003

ISBN 87-563-1160-5

ISSN 1600-8049

