

Ole Holck
Lars Olsen
Carsten Rode

Varmeisoleringssevne for ydervægge målt i Borup Seniorby

Rapport
BYG · DTU
R-095
2004

ISSN 1601-2917
ISBN 87-7877-160-9

BYG•DTU og Teknologisk Institut

Erhvervs- og Byggestyrelsen

Programmet for Økologisk Byggeri, projekt nr. 377.

Projekt titel:

Praktisk U-værdi samt fastlæggelse af korrektionsfaktor for isoleringsevne/U-værdi ved praktisk udførelse af isolering af bygningskonstruktioner med alternativ/økologisk isolering.

Rapport titel:

Varmeisoleringsevne for ydervægge målt i Borup Seniorby

Udgivelsesår: 2004. Dato 31. august

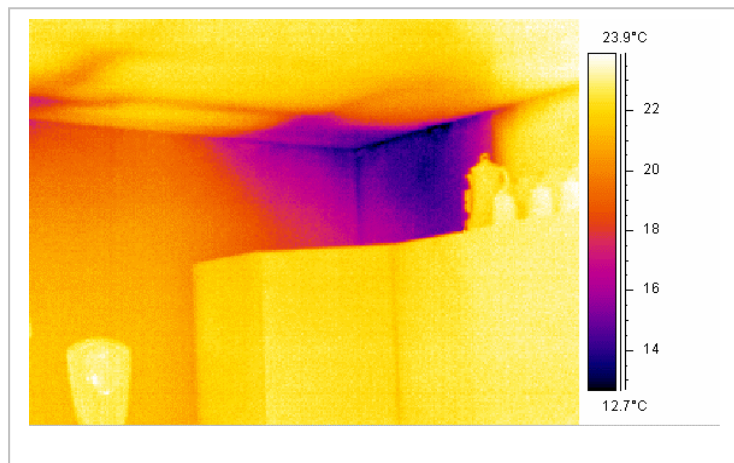
Forfattere: Ole Holck, Lars Olsen, Carsten Rode

ISBN: 1601-2917

ISSN: 87-7877-160-9

Varmeisoleringsevne for ydervægge målt i Borup Seniorby

Ole Holck
Lars Olsen
Carsten Rode



Department of Civil Engineering
DTU-bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
<http://www.byg.dtu.dk>

2004

FORORD

BYG·DTU har i samarbejde med Teknologisk Institut gennemført projektet ”Praktisk U-værdi samt fastlæggelse af korrektionsfaktor for isoleringsevne/U-værdi ved praktisk udførelse af isolering af bygningskonstruktioner med alternativ/økologisk isolering”, Projekt nr. 377.

Projektet er gennemført under By & Boligministeriets program til fremme af økologisk byggeri (nu administreret af Erhvervs- og Byggestyrelsen).

Denne rapport er udfærdiget som et resultat af BYG·DTU's samarbejde med Teknologisk Institut. Rapporten udgør afslutningen på projektet.

Den centrale og mest omfangsrige del af projektet omhandler praktisk måling af isolans på ydervægge i eksisterende byggeri. Til dette formål er den nyligt opførte (år 2001) bebyggelse i Borup udvalgt, ”Borup Seniorby”. Valg af isoleringsmaterialer er helt enestående for denne bebyggelse. Der er således brugt flere forskellige økologiske isoleringsmaterialer samt traditionelle mineraluldsprodukter i ens opbyggede vægkonstruktioner. Økologiske isoleringsmaterialer kan hermed i denne bebyggelse i princippet sammenlignes med almindelig mineraluld under ensartede forhold. Projektet omhandler undersøgelser i laboratorium, med kalibrering af varmestrømsmålere. Desuden er der foretaget en indledende afprøvning af måleteknikken på et forsøgshus placeret på instituttets udendørs areal.

Vi vil rette en tak til de beboere som har åbnet dørene i deres hjem og givet os lov til at opsætte måleudstyr. Takken er også rettet til bestyrelsen i Borup Seniorby for deres accept af vores tilstedeværelse og deres tilladelse til vores indgriben i bygningsfacaderne. En speciel tak til beboerformand Alice Nielsen for hendes velvillighed og samarbejde. Vi takker også Leif Kildegaard fra SeniorBo for hans medvirken til, at vi har fået lov til at udføre måleprojektet på bebyggelsen. Vi vil ligeledes takke Torben Valdbjørn Rasmussen fra By-og-Byg for hans orientering om By og Byg's måleprojekt på samme byggeri, samt for gode råd i opstartsfasen.

Endelig takker vi civ.ing. Georg Christensen fra det rådgivende ingeniørfirma Bygge- og Miljøteknik A/S, for at medvirke med sagkyndig bistand og for evaluering af projektets udredninger og konklusioner.

RESUME

Måling af den praktiske U-værdi er i projektet baseret på brugen af varmestrømsmålere til in-situ måling af varmestrøm gennem konstruktioner. Der er samtidig foretaget termovisionsmålinger for at klarlægge eventuelle uregelmæssigheder i den nærliggende konstruktion. Indledningsvis er der i laboratoriet og på en udendørs prøvestand afprøvet målemetode og fastlagt kalibreringsfaktorer for varmestrømsmålere af typen Hukseflux og Ahlborn. Varmetransmissionskoefficienten (U-værdien) afhænger i praksis af, hvordan isoleringsarbejdet er udført, såvel når det gælder traditionelle isoleringsmaterialer (mineraluld), som når forskellige typer alternativ/økologisk isolering benyttes. Resultaterne fra målingerne viser meget stor afhængighed af kvaliteten i isoleringsarbejdets udførelse og kan derfor vanskeligt anvendes til indbyrdes vurdering af materialerne, og heller ikke til fastlæggelse af korrektionsfaktorer som oprindeligt planlagt.

INDHOLDSFORTEGNELSE

Forord.....	1
Resume	1
Indholdsfortegnelse	3
1. Indledning	5
- Baggrund.....	5
- Udvælgelse af bygning	6
- Udvælgelse af isoleringsmateriale.....	6
- Anvendte isoleringsmaterialer	6
2. Målemetodik i felten	7
3. Overvejelser ved anvendelse af varmestrømsmålere	8
4. Laboratoriemåling	9
- Fastlæggelse af kalibreringsfaktorer for varmestrømsmåler.....	9
- Afprøvning af målemetode på BYG·DTUs forsøgsareal.....	13
5. In-situ målinger i Borup Seniorby	17
6. Data logning.....	22
- Ude logges med Grant SQ1600	22
- Inde logges med Grant SQ1200 eller Gemini Tinytag	22
7. Forsøgsprogram	22
8. Data-analyse	25
9. Resultat behandling og diskussion.....	26
10. Konklusion.....	28
11. Referencer	30
Oversigt over bilag og appendices.....	31

BILAG 1.1 DATABLAD BORUP, BOLIG NR. 13D

BILAG 1.2 DATABLAD BORUP, BOLIG NR. 13H

BILAG 1.3 DATABLAD BORUP, BOLIG NR. 13L

BILAG 1.4 DATABLAD BORUP, BOLIG NR. 13N1

BILAG 1.5 DATABLAD BORUP, BOLIG NR. 13R

BILAG 1.6 DATABLAD BORUP, BOLIG NR. 13T

BILAG 1.7 DATABLAD BORUP, BOLIG NR. 13V1

BILAG 1.8 DATABLAD BORUP, BOLIG NR. 13N1

Appendiks 1: Varmstrømsberegninger af vægudsnit.

Appendiks 2: Temperaturer i luftspalten, sammenligning i mellem boliger.

Appendiks 3: Fortolkninger i Excel regneark af middelværdimetoden.

Appendiks 4: Delkonklusion for bolig 13D

Appendiks 5: Data-fil oversigt, data logning

1. INDLEDNING

Alternative isoleringsmaterialer har i Danmark haft svært ved at vinde markedsandele over for de etablerede og traditionelle mineraluldsprodukter. Dette kan skyldes forskellige barrierer, såsom lovgivning, regelsæt, traditioner og manglende erfaring. Programmet til fremme af økologisk byggeri, har til formål at gøre en indsats for at fremme det økologiske byggeri. Det være sig at bidrage til fremme af reduktion af ressourceforbrug og sundhedsmæssige belastninger der knytter sig til bygningens livsforløb og brug. Brugen af mere isolering i boliger er i sig selv et økologisk tiltag, idet det nedsætter energiforbruget. Det er projektets overordnede formål at fastlægge, hvor meget varmetransmissionskoefficienten (U-værdien) i praksis afhænger af, hvordan isoleringsarbejdet er udført når forskellige typer alternativ/økologisk isolering og to traditionelle isoleringsmaterialer benyttes.

Der måles derfor isolans på udvalgte isoleringsmaterialer i det eksisterende byggeri for at fastlægge korrektionsfaktorer for varmeledningsevne. Der tages herved hensyn til den praktiske udførelse. Ifølge DS 418 skal der altid vurderes, om der anvendes kombinationer af produkter og konstruktioner under påvirkninger, der nødvendiggør korrektioner til deklarerede værdier, for at få en korrekt design værdi [DS418, 2002].

- *Baggrund*

Stramninger af energibestemmelser i bygningsreglementet sikrer, at nye bygninger lever op til fremtidens standard og medvirker til energimæssige forbedringer, når eksisterende bygninger ombygges. Udviklingen vil uvægerlig gå i retning af større isoleringstykkelser i bygningerne, og det er derfor vigtigt at holde for øje, hvad dette betyder for konstruktionen og materialeforholdene. Kuldebroer i konstruktionen får større relativ betydning, og de tykke isoleringsslag kan bevirke, at konvektion i materialet får større betydning.

Øget erfaring og viden om den praktiske U-værdi vil øge sikkerheden for, at husejere og samfund får de forventede energibesparelser ved isolering. Tillæg på U-værdien for udførelsesmæssige fejl vil øge isoleringstykkelsen svarende til opfyldelse af energibestemmelserne og dermed øge afsætningen af både traditionelle og alternative isoleringsmaterialer. Fokus på isoleringsarbejdets udførelse sikrer bedre kvalitet af arbejdet og en kvalitetssikring kan opnås. En følge af det kan formindske Danmarks energiforbrug og reducere CO₂ udslippet, hvilket vil reducere samfundets samlede udgifter og ressourceforbrug til energi. Internationalt vil byggefirmaer og rådgivere være på forkant, hvilket giver en markeds-mæssig fordel ved projekter i ind- og udland.

I et forudgående projekt "Praktisk varmetab ved almindelige isoleringsmetoder" [K. Stokbæk, 1999] er der i litteraturen fundet måleresultater, som i visse tilfælde viser afvigelser fra beregnede varmetab, samt viser at dette kan hænge sammen med den praktiske udførelse af isoleringsarbejdet. U-værdien af bygningskonstruktionen kan være 10 % højere end forventet på grund af udførelsesmæssige fejl. Den praktiske varmeisoleringssevne for celluloseløsfyld og for Rockwool er målt i forsøgshuse i et projekt udført af By og Byg [Asta Nicolajsen, 2001]. Resultaterne af disse undersøgelser viser at facadeelementer med celluloseløsfyld, har højere U-værdi end facadeelementer isoleret med Rockwool. Dette er i modsætning til Stokbæks rapport, som fremhæver, at de traditionelle mineraluldsprodukter har større tendens til udførelsesrelaterede forøgelse af U-værdien.

BYG•DTU har været inspireret af disse forhold, og den oprindelige ide var at måle U-værdier med et nyudviklet mobilt måleudstyr. Dette måleudstyr fungerer efter "Guarded Hot-box" princippet og kan monteres in-situ. Dette princip har den fordel at der måles varmestrøm over et areal og derfor opnås et samlet billede af isolansen for isolering og hvad der måtte være af kuldebroer og udførelsesfejl inden for dette areal. Instituttet har ikke fået bevilliget ressourcer til at udvikle det eksperimentelle grundlag (udstyr og kalibrering) for denne måleteknik. Projektet er derfor gennemført på et andet teknisk grundlag baseret på brugen af varmestrømsmålere til in-situ måling af varmestrøm gennem konstruktionen. Der benyttes to varmestrømsmålere i hvert prøvefelt, som giver to punktvis målinger af varmestrøm gennem konstruktionen.

I litteraturen er fundet måleresultater, som i visse tilfælde viser afvigelser fra beregnede varmetab. For feltmålinger kan fejlen være imellem 5 % og 20 %. I tilfælde hvor opmærksomheden omkring måleteknik har været mangelfuld er der set fejl i størrelsesorden af 100 % [ASTM,1983]. Feltmålinger med en usikkerhed på 10 % er normalt opnåelig [N. Isaacs, 1983].

Erfaringer med varmestrømsmålere fra laboratoriemålinger viser opnåelige resultater med usikkerhed på ca. 5 %. Ved måling af varmestrøm i felten kan lokale variationer hænge sammen med den praktiske udførelse af isoleringsarbejdet. De konstaterede afvigelser kan skyldes utilsigtede luftlommer/sprækker i konstruktionerne, og der er tilsyneladende en sammenhæng med valg af isoleringsmetode, konstruktionsopbygning, isoleringsmateriale og placering af installationer. En udførelsesrelateret forøgelse af U-værdien vil betyde, at bygninger skal isoleres mere for at få den forventede energibesparelse ved isoleringen.

Projektet vil i øvrigt ikke behandle spørgsmålet om fastlæggelse af tillæg til U-værdier for alternativt isolerede konstruktioner.

- Udvælgelse af bygning

Til sammenlignende målinger har valget af Borup Seniorby været oplagt på grund af boligernes opbygning med forskellige isoleringsmaterialer i ensartede konstruktioner. Disse forhold har været ønskelige for projektets studier af praktisk U-værdi. Borup Seniorby er helt enestående, idet der som isolering er brugt flere forskellige traditionelle og økologiske isoleringsmaterialer i ens opbyggede vægkonstruktioner. Økologiske isoleringsmaterialer kan hermed sammenlignes med almindelig mineraluld under ensartede forhold.

- Udvælgelse af isoleringsmateriale

I tabel 1 er angivet hvilke isoleringsmaterialer, der er indgået i undersøgelserne. Vægge med materialet Ekofiber blev ikke undersøgt, da der ikke kunne opnås tilladelse fra beboerne. Desuden er der ikke målt på isoleringsmaterialet ekspanderet Perlit. Dette skyldes en påpeget risiko for neddryk i boligen, der kan afstedkomme erstatningskrav, og som projektet helst ikke ville involveres i. Til forundersøgelserne er benyttet isoleringsmaterialer af polystyren, stenuld og cellulosefyld.

- Anvendte isoleringsmaterialer

Den termiske isolans er målt for en række alternative isoleringsmaterialer, som er på det danske byggermarked i dag og for to traditionelle isoleringsmaterialer. Tabel 1 indeholder de betegnelser som er anvendt i denne rapport. Betegnelsen Isover vil i rapporten dække over isoleringsmateriale af glasuld i måtter og betegnelsen

Rockwool vil dække over isoleringsmateriale af stenuld i måtter. Samlet går disse under betegnelsen mineraluld.

TABEL 1: OVERSIGT OVER ANVENDTE ISOLERINGSMATERIALER.

Produkt/producent	Betegnelse	Beskaffenhed	Bolig
Miljø Isolering ApS	Cellulose	Løsfyld	13 D
Isodan Danmark ApS	Cellulose	Løsfyld	13 H
Dansk hør	Hør	Måtter	13 L
Isover	Mineraluld	Måtter	13 N1
Thermocell	Træfiber	Løsfyld	13 R
Heraflax	Hør	Måtter	13 T
Rockwool	Mineraluld	Måtter	13 V1

2. MÅLEMETODIK I FELTEN

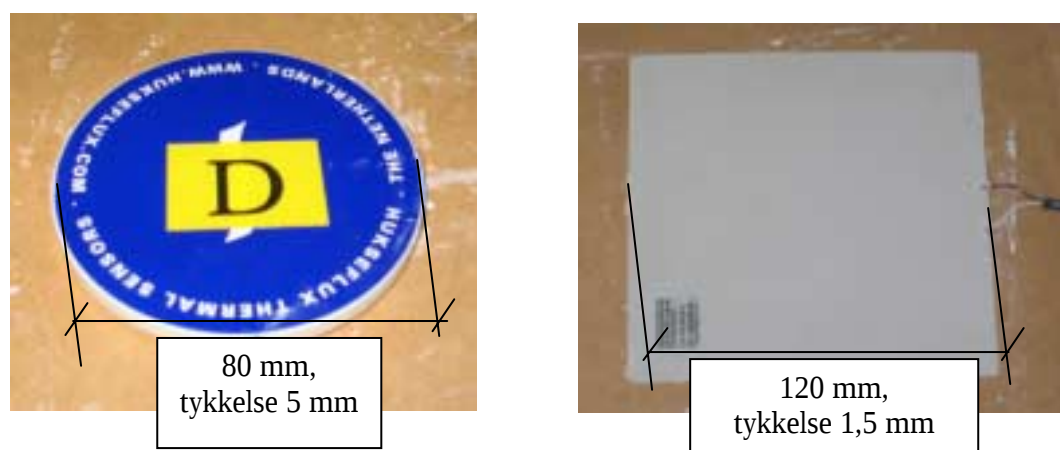
Med varmestrømsmålere måles varmestrøm igennem mindre områder i ydervæggene. Disse målinger benyttes til beregning af U-værdier, hvor der således tages hensyn til den praktiske udførelse. Der udføres 14 målinger på 7 forskellige ydervægskonstruktioner i felten.

De to måleområder er enten anbragt lige ved siden af hinanden, for at have en dobbelt måling af den termiske isolans, eller et af måleområderne er anbragt i et felt som fra termografiske billeder antyder, at der er store variationer inden for det område af væggen, vi betragter. Termografering foretages så vidt muligt samtidig med, at væggenes ventilerede beklædning tages af for at observere forskelle i temperaturer i det felt af væggen, vi betragter. Efter anbringelse af termoelementer og varmestrømsmålere, monteres den ventilerede beklædning på ny, således at væggen er intakt.

I vinteren 2003/04 er der målt på 7 forskellige konstruktioner, udvalgt på de nordøstlige facader af blokkene A, B og C i Borup Seniorby.

En måling af en ydervægs isolans består af temperaturmålinger på hver side af væggen og en varmestrømsmåling på den varme side af den ventilerede luftspalte, inden for den ydre beklædning. En varmestrømsmåler består af en op til 5 mm tyk plade af kunststof med størrelse på op til 12x12 cm og en 4 mm ledning, der fører målesignalet til dataopsamlingsenheden, som placeres uden for væggen. Pladen fastholdes på vindgipsens overflade med tape, og der smøres en varmeledende pasta på vindgips og varmestrømsmåleren for at sikre god termisk kontakt.

En varmestrømsmåler består af et målefelt og et guardfelt. Måleområdet er det sted, hvor registreringen af spændingsforskelle foregår, mens guardområdet forhindrer flerdimensionale varmestrømme i målefeltet. Princippet i en varmestrømsmåler er en matrix af termoelementer, der registrerer temperaturforskellen over varmestrømsmålerens kolde og varme side og som giver en spænding, der er proportional med varmestrømmen gennem måleren. På figur 1 ses varmestrømsmålerne Hukseflux og Ahlborn, som er benyttet til målingerne.



Figur 1: Billeder af de benyttede varmestrømsmålere. Til venstre Hukseflux og til højre Ahlborn.

Desuden monteres til temperaturmåling på ydersiden af vindgipsen et termoelement, som er en ca. 1 mm ledning med to ledere, der er loddet sammen i enden, hvor temperaturen måles. Termoelementets loddested er tapet eller limet på vindgipsen umiddelbart ved siden af varmestrømsmåleren, og ledningen føres ligeledes ud til dataopsamlingsenheden uden for væggen. Vindgipsen forbliver intakt. Et lignende termoelement er monteret på den indvendige overflade af væggen, og dette termoelement har sin egen dataopsamlingsenhed, der er placeret indendørs, så ingen ledninger skal føres gennem væggen. På figur 5 ses et snit gennem væggen med angivelse af placering af termoelementer og varmestrømsmålere.

Efterfølgende foretages en databehandling af de målte værdier, idet et resultat for væggens isolans først kan opnås efter en længere periode med målinger.

Efterbehandlingen af data foretages i henhold til [CEN 1996] beskrevet i kapitel 8.

3. OVERVEJELSER VED ANVENDELSE AF VARMESTRØMSMÅLERE

Det er en kendt teknik at bruge varmestrømsmålere til at måle varmestrømme gennem ydervægge ved at anbringe målerne på vægoverfladen. En række potentielle fejlkilder og forholdsregler er derfor også kendt.

En kategori af fejl skyldes den individuelle kalibrering som afhænger af det materiale, sensoren er anbragt på og som giver anledning til varmestrømme i væggen plan.

Målefejlen er således afhængig af både væggen og sensoren, og kan ikke betragtes alene uden hensyntagen til væggen og overfladen [H. Trethowen 1986].

Kalibreringen skal kompensere for den indflydelse selve tilstedeværelsen af sensoren har på den varmestrøm, der skal måles. [T.Baba et al., 1984] angiver, at fejlen kan være op til 50% i nogle tilfælde.

Andre fejlkilder kan skyldes flerdimensionale varmestrømme i væggen plan, for eksempel fra inhomogenitet i bygningskonstruktionen, luftlommer imellem måler og væg, svigtende fastgørelse til væg, utilsigtede luftstrømme inde i konstruktionen og påvirkning fra solen eller andre varmekilder. Flerdimensionale varmestrømme kan påvirke målingen i begge retninger, medens luftlommer og svigtende fastgørelse vil øge den målte tilsyneladende isolans som resultat af en nedsat varmestrømsstæthed

gennem måleren. Utsigtet luftstrøm i isoleringen kan påvirke måleresultatet i begge retninger.

4. LABORATORIEMÅLING

Måleteknik og udstyr er indledningsvist afprøvet. Der er fastlagt kalibreringsfaktorer i laboratoriet for varmemenstrømsmålere af typen Hukseflux og Ahlborn.

Kalibreringsfaktorerne er bestemt ved benyttelse af Guarded Hot-box (Kalibreret varm og kold kasse).

Målemetode af isolans med varmemenstrømsmålere under dynamiske forhold, er afprøvet på en udendørs prøvestand på DTUs areal. Der er til dette benyttet et prøvehus hvor væggen er isoleret med cellulosefyld eller Rockwool.

- Fastlæggelse af kalibreringsfaktorer for varmemenstrømsmålere

Varmemenstrømsmålerne benyttes til at måle den varme som føres gennem væggen det sted, de er monteret. Når en varmemenstrømsmåler er monteret på væggen, med begrænset termisk isolans, vil målerens egen isolans, kunne have betydning for det uforstyrrede strømbillede. Tilsvarende kan materialernes varmeledningsevner have indflydelse på varmemenstrømsbilledet. Fra fabrikens side er målerne tildelt en kalibreringsfaktor. Kalibreringsfaktoren er den proportionalitetsfaktor, der er imellem spændingssignalet fra varmemenstrømsmåleren og den varmemenstrømtæthed, der ønskes målt. For at have en korrekt kalibreringsfaktor, som tager hensyn til de omgivelser måleren er placeret i, er der foretaget kalibreringer i laboratoriet under stationære forhold.

Med forbillede i væggenes opbygning, som den er konstrueret i Borup Seniorby, er der i laboratoriet opbygget et lignende vægelement.

Laboratoriets vægelement består af en tolagskonstruktion, yderst en 9 mm gipsplade og inderst en 150 mm plade af ekspanderet polystyren (EPS), som udgør væggenes isolerende del.

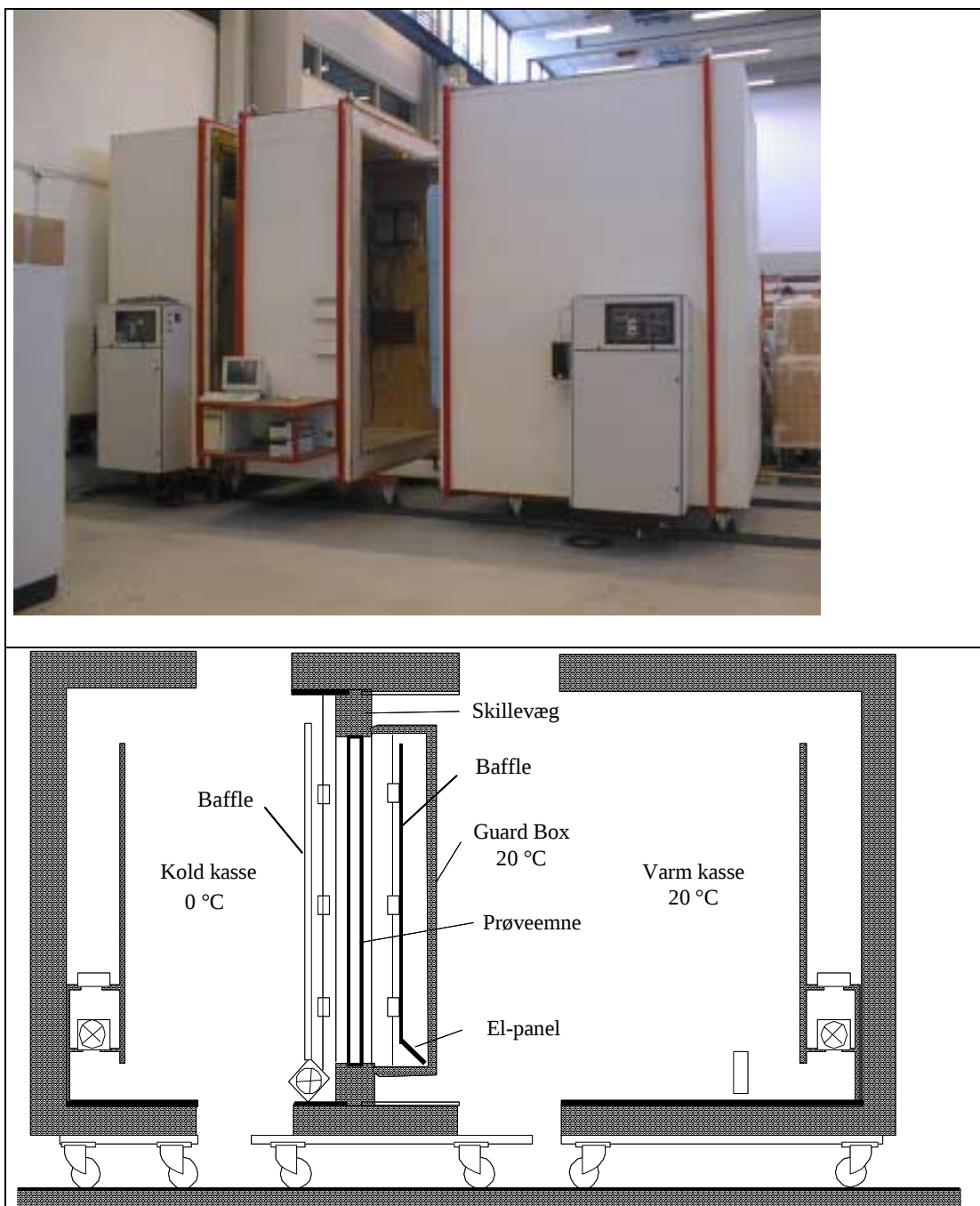
Foran EPS-pladen er anbragt en plexiglasplade for simulering af ventileret hulrum. Der benyttes ikke simulering af vind udvendigt, da luftstrømmene i luftspalten forventes at være meget små.

Med en antaget varmeledningsevne for EPS-pladen på $0,037 \text{ W/(mK)}$ og for gipspladen på $0,5 \text{ W/(mK)}$, er der for væggen en samlet isolans på $4,3 \text{ m}^2\text{K/W}$ og en U-værdi på $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Til bestemmelse af stationære varmemenstrømsegenskaber, benyttes en Guarded Hot-box. Foto og skitse af Hot-Boxen er vist i figur 2.

Princippet i en Guarded Hot-Box

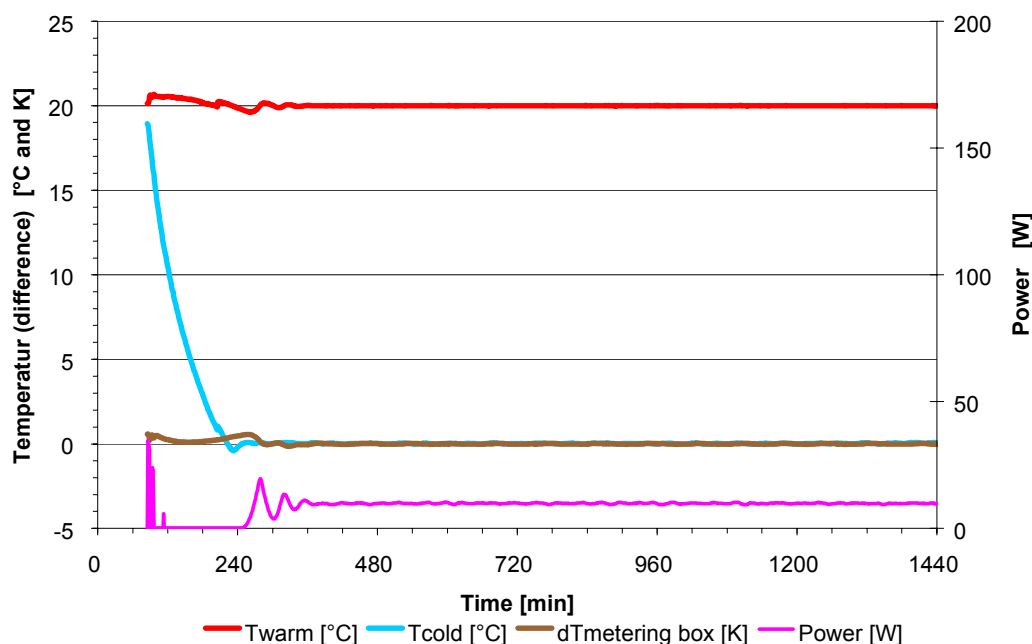
Hot-Boxen består af et koldt rum (eller "kold kasse"), hvor temperaturen holdes konstant på 0°C og et varmt rum ("varm kasse"), hvor temperaturen holdes konstant på 20°C . Imellem de to rum monteres et prøveemne i en skillevæg af isoleringsmateriale. Udenpå prøveemnens varme side monteres guard-boxen. I guard-boxen sidder temperaturfølere og et elektrisk varmepanel, som opvarmer luften til 20°C . Da der er samme temperatur på begge sider af guard-boxens vægge, er der ingen varmemenstrøm hen over disse, dvs. at alt varmetab fra guard-boxen vil ske ud gennem prøveemnet. Den tilførte effekt til el-panelet svarer derfor til varmetabet ud gennem prøveemnet, og sammen med kendskabet til temperaturforskellen over prøveemnet, kan dets varmetransmissionskoefficient (U-værdi) fastlægges.



Figur 2. Foto og skitse af Guarded Hot-Box, benyttet til at bestemme kalibreringsfaktorer for varmestrømsmålerne.

Når stabile forhold er opnået i Hot-Boxen, benyttes målingerne til at beregne den isolerede vægs totale U-værdi.

På figur 3 ses forskellige nøgleverdier, der viser, at stabile forhold er opnået i Hot-Boxen.



Figur 3: Nøgleværdier der viser, at stabile forhold er opnået under afprøvning.

Sammenholdes målinger med spændingssignaler fra varmestrømsmålerne findes kalibreringsfaktorer, som har taget hensyn til varmestrømsmålerens omgivelser. Der er udført 3 kalibreringstest for varmestrømsmålere af typen Hukseflux og Ahlborn.

Kalibreringstest er udført, dels med EPS-pladen alene og dels med det omtalte vægelement. Kalibreringstest med EPS-plade er udført med varmestrømsmålerne monteret udvendigt på pladens kolde side. For vægelementet er varmestrømsmålerne i det ene tilfælde monteret udvendigt på den kolde side og i det andet tilfælde indbygget imellem gipsplade og isolering. Figur 4 viser valgte placeringer af varmestrømsmålerne ved kalibreringsforsøgene i Hot-Box.

De målte kalibreringsfaktorer, indbefattet den fabrikskalibrerede, kan ses i Tabel 2.

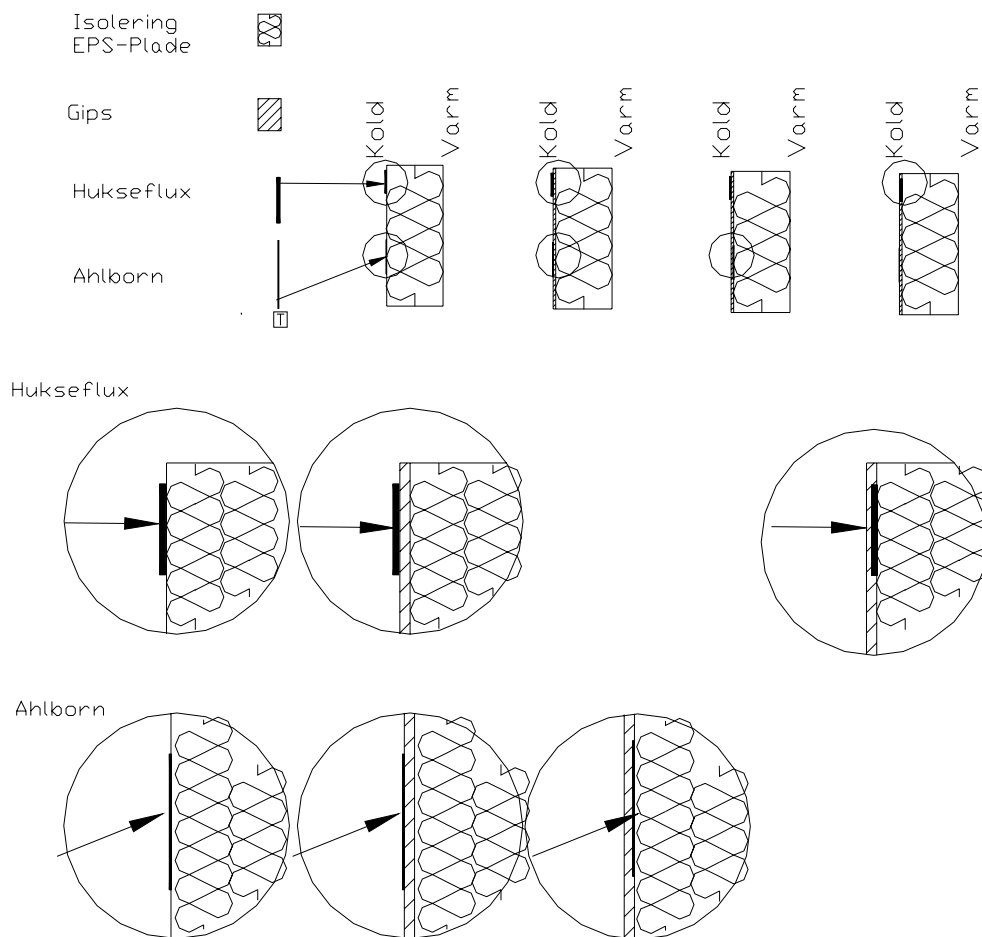
TABEL 2.: KALIBRERINGSKONSTANTER FOR VARMESTRØMSMÅLERE VED FORSKELLIGE OPBYGNINGER AF VÆG OG PLACERING AF MÅLER.

Kalibreringsfaktorer	Ahlborn, W/(m ² ·mV)	Hukseflux W/(m ² ·mV)
EPS-plade	10,96	17,96
EPS-plade og gips	10,39	20,19
Indbygget Ahlborn måler	11,57	
Indbygget Hukseflux måler		19,88
Fabrikskalibreret	10,27	16,26

Hukseflux måleren viser større afhængighed af, hvordan den er placeret, end tilfældet er for Ahlborn. Den valgte løsning for vores målinger i Borup, kommer nærmest tilfældet hvor varmestrømsmåleren er anbragt udvendigt på gipspladen, i en

tolagkonstruktion med isolering bag gipspladen. For Ahlborn måleren er afvigelsen fra fabrikskalibreringen 1 %. Denne afvigelse anses ikke for betydelig. Til Ahlbornmålerne benyttes derfor den fabrikskalibrerede faktor ved målingerne i Borup.

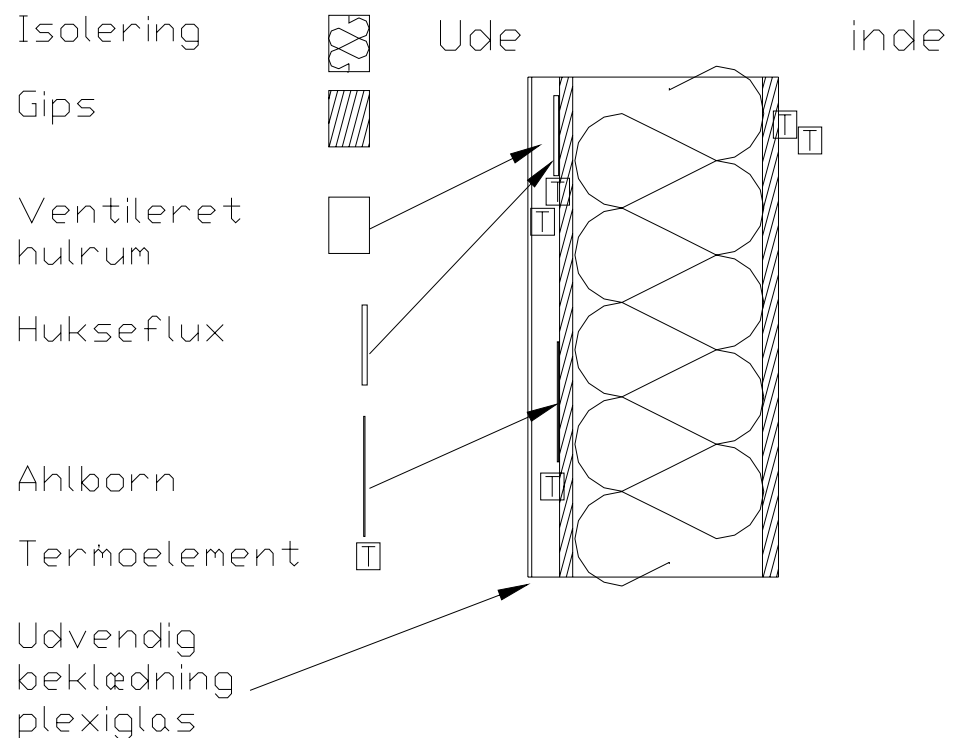
For Hukseflux er afvigelsen 24 %, hvilket anses for væsentlig. Ved målingerne i Borup er fabrikskalibreringsfaktoren derfor ganget med en placeringsfaktor på 1,24.



Figur 4.: Til at bestemme kalibreringskonstanter for varmestrømsmålere benyttes forskellige opbygninger af prøveelement og placering af måler. Kalibreringskonstanterne findes i Tabel 2.

- Afprøvning af målemetode på BYG-DTUs forsøgsareal.

Det vil være normal praksis at placere varmestrømsmålere på den indvendige varme overflade af væggen. Denne praksis vil vi ikke følge, da det vil give ekstra ulemper for beboerne i Borup Seniorby. I Borup Seniorby er placeringen af varmestrømsmålerne derfor i den kolde ventilerede luftspalte imellem vindgips og udvendig beklædning. Målemetoden er afprøvet på BYG-DTU, før udførelsen af isolansmålinger i Borup Seniorby. Afprøvningen går ud på at undersøge betydningen af at måle ud mod den ventilerede spalte under dynamiske forhold. Dels for at undersøge betydningen af placeringen af varmestrømsmålerne, og dels betydningen af en eventuel indkapsling af varmestrømsmåleren, når den anbringes i det ventilerede hulrum. Herudover er det en afprøvning af måleudstyr, dataopsamlingsudstyr og databehandling. Vægkonstruktionen i denne forundersøgelse, en let ventileret konstruktion af træ, består af 16 mm indvendig gipsplade, dampbremse 190 mm cellulose eller Rockwool og 13 mm udvendig gipsplade (vindskærm). Udvendigt er der et ventileret hulrum på 25 mm, begrænset af en plexiglas regnskærm. Figur 5 viser en snittegning af prøvevæggen.



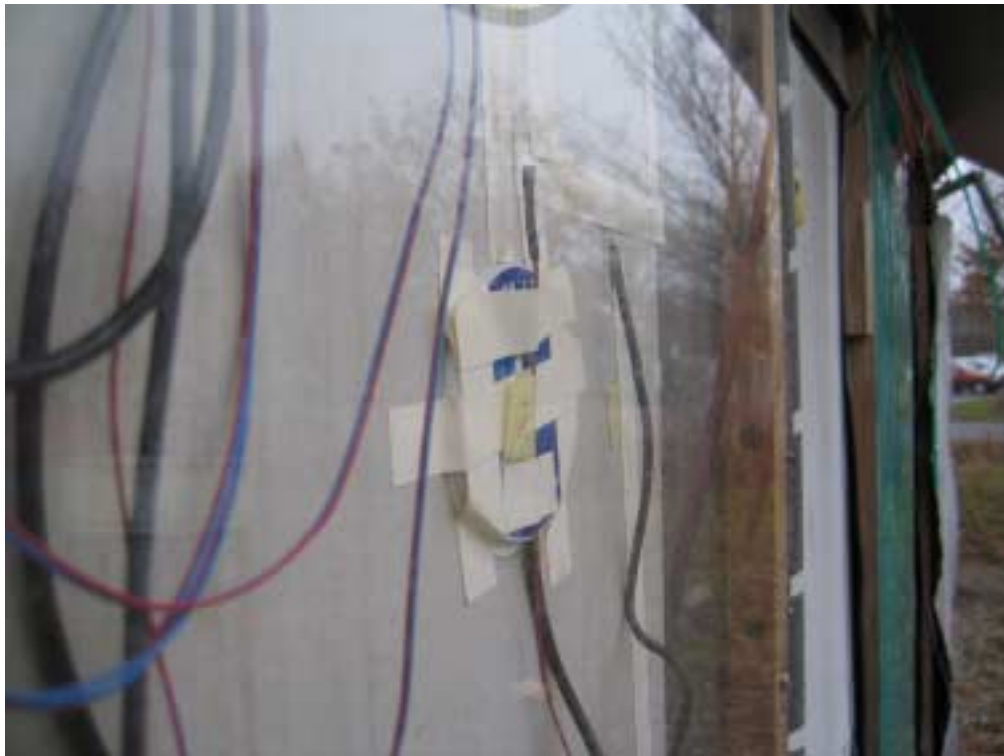
Figur 5: Snit i væg for prøvemåling på BYG-DTU. Varmestrømsmålerne og temperaturmålepunkter er angivet med signatur. Denne opstilling gælder for et forsøg med isoleringsmateriale af typen cellulosefyld.

Med en antaget varmeledningsevne for isolering på $0,04 \text{ W/(mK)}$ og for gipspladen på $0,5 \text{ W/(mK)}$, beregnes for væggen en samlet isolans på $5,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ og en U-værdi på $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

Indvendigt anbringes termoelement med tape. Udvendigt afmonteres pladebeklædningen. I samme højde anbringes varmestrømsmålere og termoelementer udvendigt på vindgipsen

Kabelforbindelser bliver udført med de længder, der efterfølgende er blevet brugt i Borup.

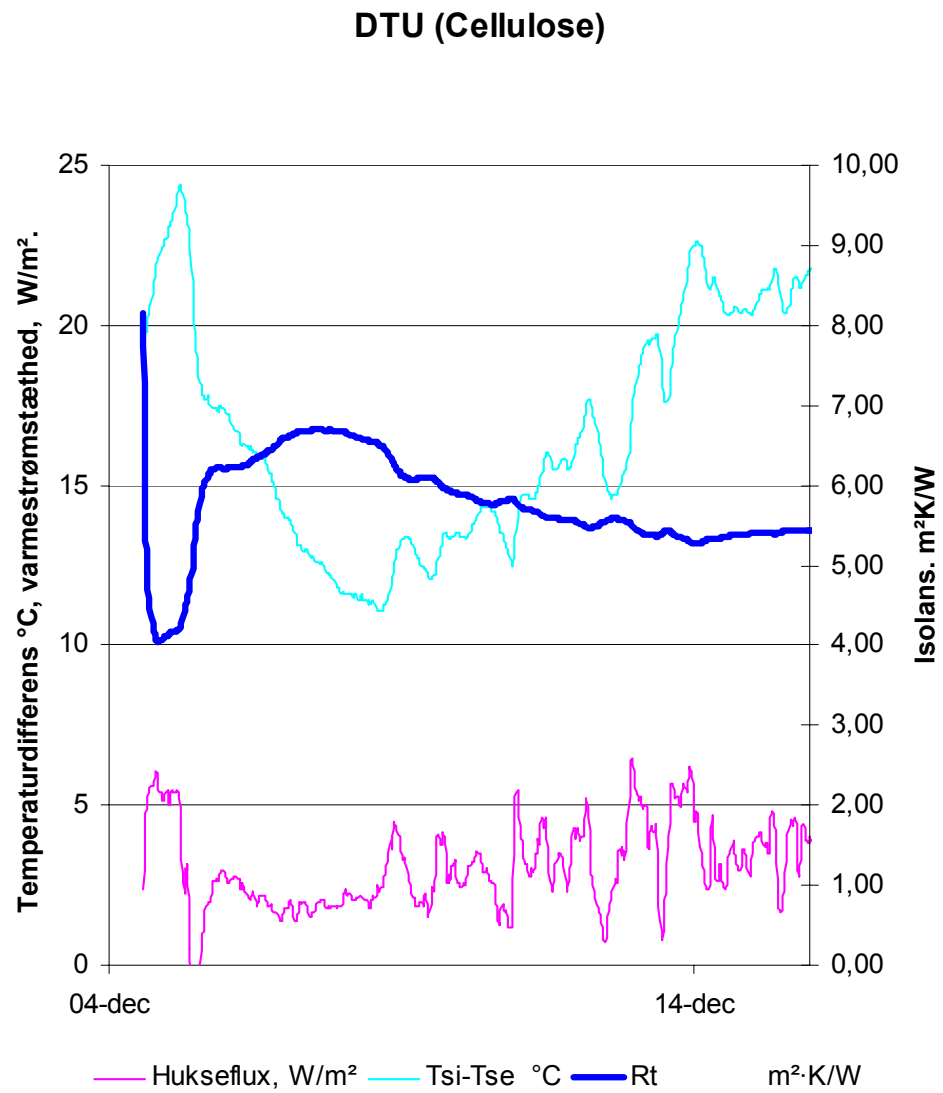
Temperaturer måles indvendigt med et termoelement eller en termistor. Der måles en overfladetemperatur på væggen og en lufttemperatur. Varmestrømme og temperaturer måles udvendigt med varmestrømsmålere og termoelementer. To målesteder udvælges udvendigt. I alt måles udvendigt med to varmestrømsmålere og tre termoelementer. To overfladetemperaturer og en lufttemperatur i spalten samt to varmestrømme.



Figur 6: Afprøvningen af målemetode på BYG-DTUs forsøgsareal. Varmestrømsmåler monteret med tape på vindgipsen bag gennemsigtig regnskærm.

Der er udført en isolansmåling med vægkonstruktionen isoleret med cellulosefyld. Varmestrømsmålere er anbragt udvendigt på vindgipsen, fastgjort med tape. Figur 6 viser et foto af væggen set udefra.

På figur 7 ses resultatet for måling af isolans for cellulosefyld. Isolansen er målt til $5,5 \text{ m}^2\text{K/W}$.



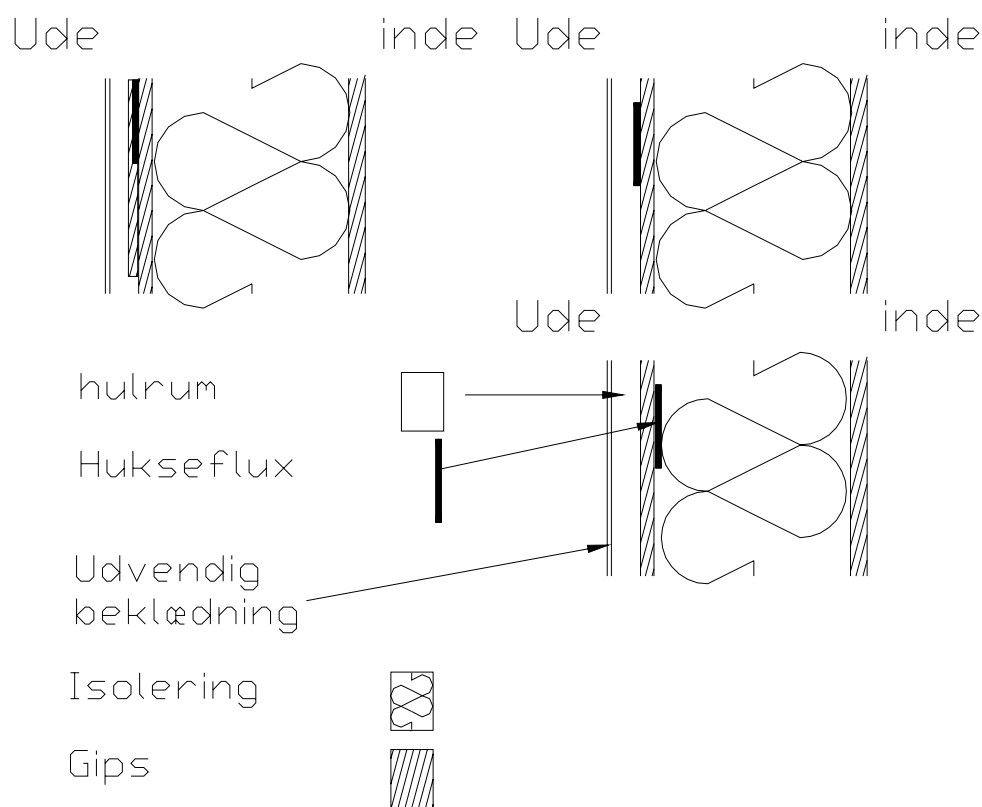
Figur 7: Måling af isolans R_t for isoleringsmateriale afprøvet på BYG.DTU. Bestemmelsen af R_t er beskrevet i kapitlet dataanalyse.

Der er udført tre isolansmålinger med vægkonstruktionen isoleret med Rockwool. Variationer af disse målinger med forskellig anbringelse af varmestrømsmålere ses i figur 8.

En måling er udført med Hukseflux måleren indbygget i en 9 mm gipsplade, som er fastgjort udvendigt på vindgipsen i luftspalten. Samtidigt målt med Ahlborn måleren anbragt på den indvendige side af vindgipsen imellem gips og isolering.

Resultatet af disse målinger gav samme U-værdi.

Efterfølgende er der målt med Hukseflux måleren anbragt frit på vindgipsen, hvilket ikke havde nævneværdig indflydelse på resultatet. Afslutningsvis er der målt med Hukseflux måleren anbragt imellem vindgips og isolering. Dette gav en noget større U-værdi, hvilket bekræfter vigtigheden i at udføre en kalibrering af måleren, med måleren anbragt i samme betingelser som dem der skal måles under.



Figur 8: Afprøvning af målemetode på DTU's areal. Der er målt med tre forskellige placeringer for varmestrømsmåleren, isoleringsmaterialet er Rockwool. Første placering er udvendigt på vindgipsen, men indkapslet i en kvadratisk gipsplade (300x300mm). Anden placering, uden at være indkapslet udvendigt på vindgipsen. Tredje placering er imellem den indvendige side af vindgips og isolering.

5. IN-SITU MÅLINGER I BORUP SENIORBY

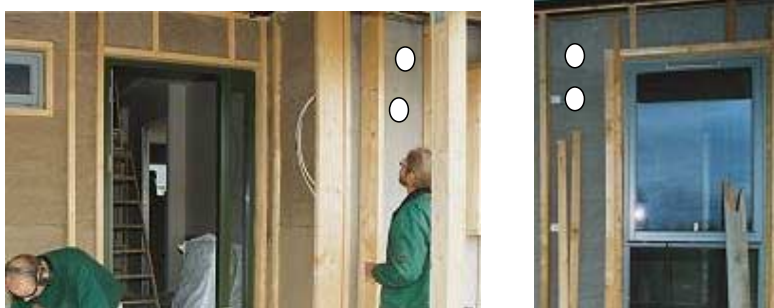
Anbringelsen af målefelt i forhold til boligerne i Borup Seniorby er besluttet ud fra hensyn til beboerne således, at det har været til mindst mulig gene i deres dagligdag og således at forstyrrelsen ved opsætning og nedtagning blev minimal. Desuden har det været vigtigt at målestedet ikke blev udsat for solstråling.

Proceduren ved måling af væggenes isolans bestod i afmontering af de ydre beklædningsplader for anbringelse af to varmestrømsmålere på den udvendige side af vindgipsen samt efterfølgende genmontering af pladerne. Dette blev gjort to gange: Første gang ved montering af varmestrømsmålerne, og anden gang efter måleperiodens afslutning, for afmontering af målerne.

Termovisionsmålinger har givet mulighed for at placere varmestrømsmålere efter de aktuelle lokale forhold i væggene i Borup Seniorby. Derfor blev det endelige valg for placering af varmestrømsmålere lokalt i målefeltet først truffet ved selve montagen af måleudstyret.

Termografering blev så vidt muligt foretaget umiddelbart efter væggenes ydre beklædning var taget af for at observere forskelle i overfladetemperaturer i de vægfelter, der skulle undersøges. Efter anbringelse af termoelementer og varmestrømsmålere blev den ydre beklædning monteret på ny, således at væggen var intakt.

Måling med varmestrømsmålere inden for samme vægelement skulle give et indtryk af variationer i væggenes U-værdi, som kunne være en følge af luftlommer, konstruktionselementer eller installationer. Den ene varmestrømsmåler blev så vidt muligt anbragt uforstyrret i forhold til væggenes stolper, lægter eller hjørner, ca. 30 cm under rem. Se figur 9. Væggens indvendige og udvendige overfladetemperatur blev målt med termoelementer.



Figur 9: Billeder fra byggeriet og hvide mærker til angivelse af påtænkt placering af målepunkter.

Kilde: By og Byg billedmateriale.

Væggene i Borup Seniorby, består af en bagmur af letbetonelementer, 200 mm isolering, 9 mm vindgips, 38 mm ventileret hulrum og yderst pladebeklædning. Pladebeklædningen er fibercementplader, 8 mm Ivarboard plader fra firmaet Ivarson, Rødekro. En termisk karakterisering af væggen er gengivet i Tabel 3

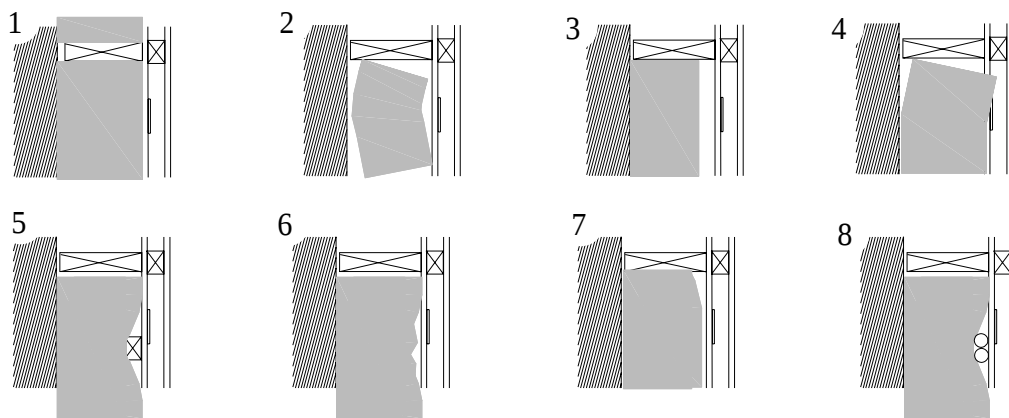
TABEL 3 KARAKTERISERING AF VÆGGEN I BORUP SENIORBY.

	densitet	tykkelse	fladedensitet	λ	varmefylde	varmefylde	R	U-værdi
	kg/m ³ .	m	kg/m ²	W/mK	kJ/kgK	kJ/m ² K	m ² K/W	W/m ² K
Overgangsisolans udv.							0,04	
Gipsplade	833	0,009	7,5	0,51	1,1	8,3	0,02	
Isolering med $\lambda=0,04$	50	0,200	10	0,04	1,2	12,0	5,00	
Letbeton	575	0,100	57,5	0,175	1,0	57,5	0,57	
Overgangsisolans indv.							0,13	
Samlet		0,309	75			77,8	5,76	0,17

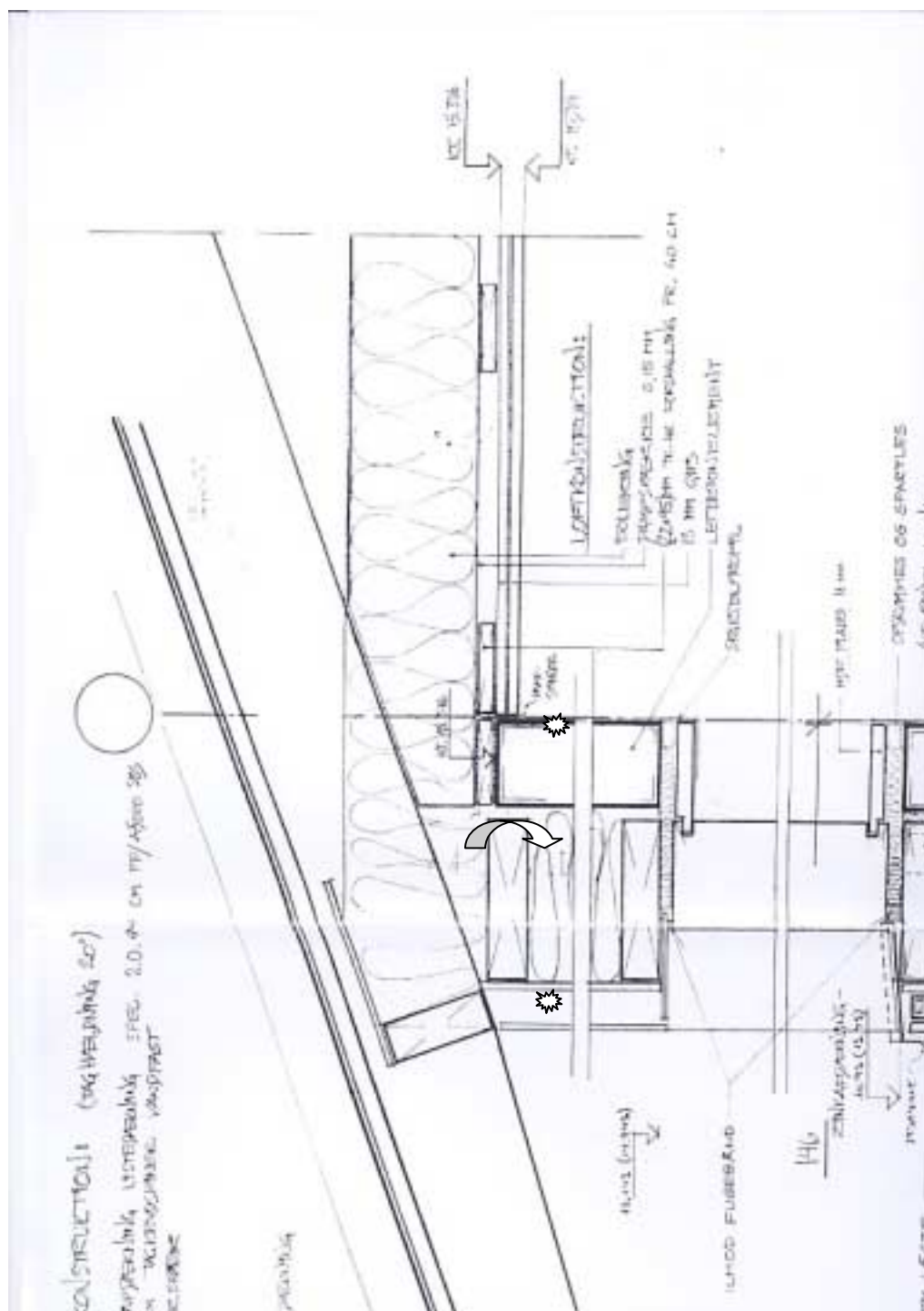
Lodret og vandret snit i væggen ses på figur 11 og 12.

Figur 13 viser principtegning af måleopsætningen på væggen i Borup Seniorby. På figur 14 vises placering af og forklaring på målesteder med udgangspunkt i boligen isoleret med Dansk hør. Figur 15 angiver lokaliseringen af boliger i Borup Seniorby og hvilke isoleringsmaterialer, de er isoleret med. På figur 11 og figur 12 er mulig placering af målested angivet med stjerner. De lodrette planker med dimensionen 45x190 mm i forhold til hulrummets dimension, som er 200 mm, kan give anledning til luftlommer og dermed passage af luft.

I appendiks 1, er der udført to-dimensionale termiske beregninger, for et snit i væggen svarende til figur 12. Beregningerne er udført med variationer af ventilerede luftlommer. På figur 10 er vist vignetter, der illustrerer hypoteser om tilfælde af luftlommer. Disse forhold og deres indflydelse på varmestrøm gennem ydervæg er nærmere omtalt i [Peter Roots, 1997]. Varmestrømsmålere, der får tilført energi fra varmestrømme i væggenes plan, vil reducere den målte, tilsyneladende isolans og modsat, hvis disse varmestrømme fjerner energi.



Figur 10: Vignetter, der illustrer hypoteser om tilfælde af luftlommer. 1) spalte bag ved søjleplanke, som ikke er udfyldt med isolering. 2) tilskæring ikke tilstrækkelig, isoleringsplader har ikke tykkelse nok og er presset ind, hvorefter de bugter sig i isoleringsrummet. 3) tilskæring mangelfuld, isoleringsplader ikke brede nok til at udfylde hulrummet. 4) tilskæring ikke tilstrækkelig, isoleringsplader er presset ind fordi de er for brede. 5) Isolering ikke udskåret for konstruktionsdele. 6) Isoleringens tykkelse skåret ujævn til. 7) Isoleringen hænger i på siden på grund af ru planke. 8) Isoleringen presset sammen ved føring af elektriske installationer.



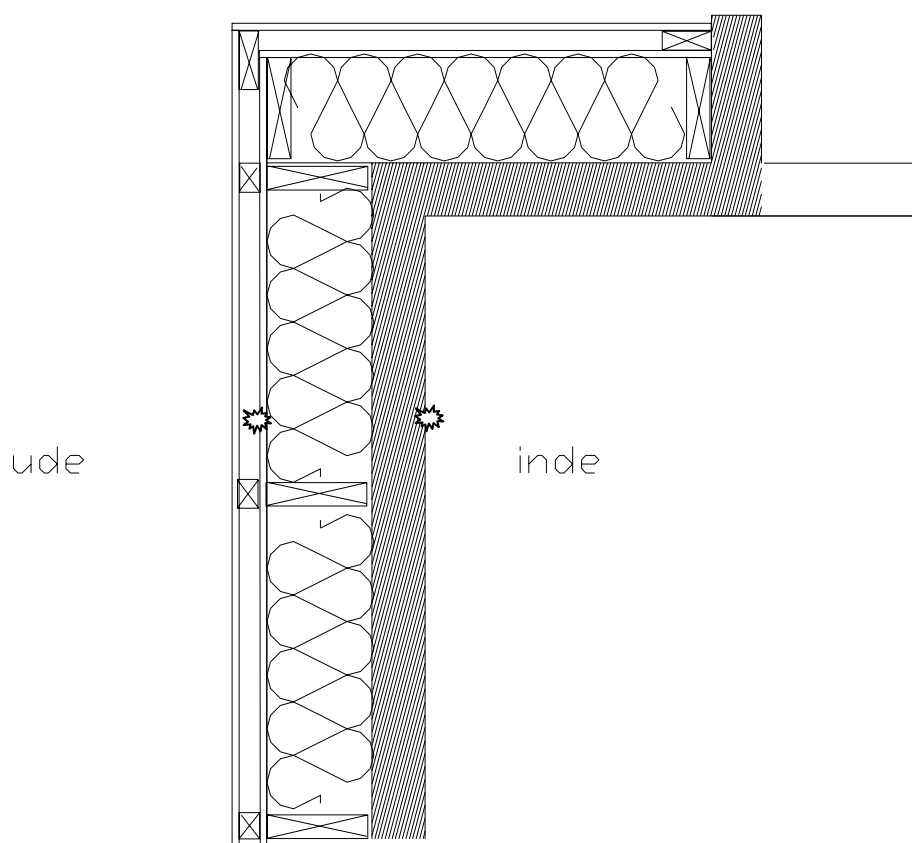
Figur 11: Snittegning lodret af øverste del af væggen samt loftkonstruktionen i Borup Seniorby.



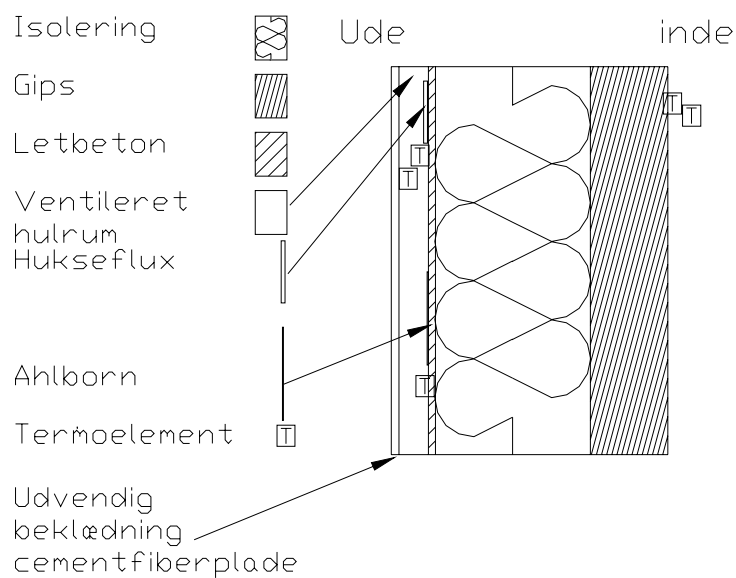
Stjerne kunne være placering af målepunkter for temperaturmåling, i praksis anbragt lavere .



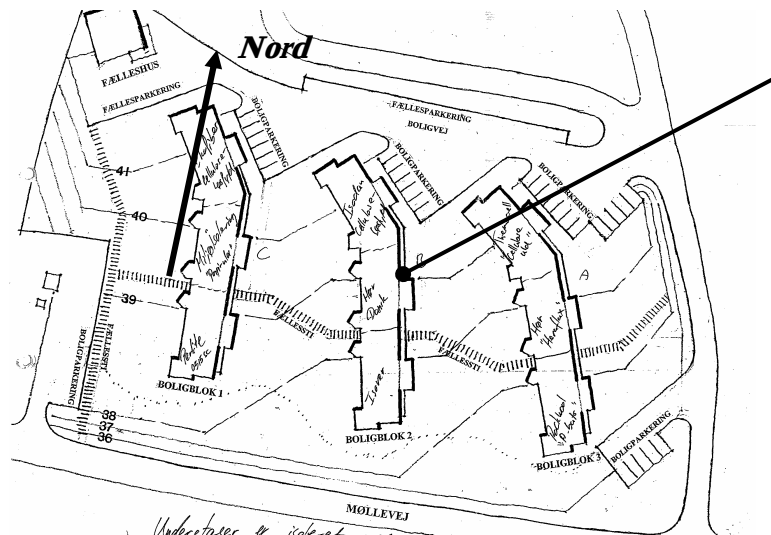
Pilen angier at der er passage fra loftisolering til vægisolering. I det opførte byggeri er muligheden for passagen af luft øget, idet topremnen, øverste planke på tegningen ikke eksisterer.



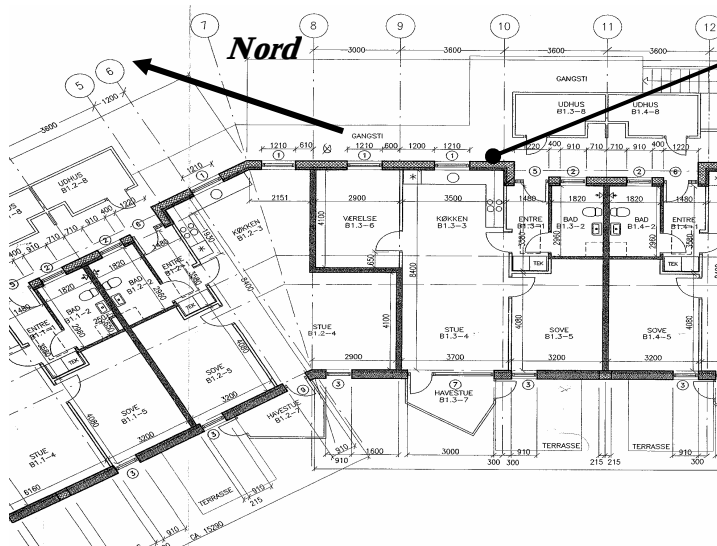
Figur 12: Vandret snit i væg i Borup Seniorby med den påtænkte måleplacering, angivet med: ☼



Figur 13: Princip for måleopsætning på væggen i Borup Seniorby.

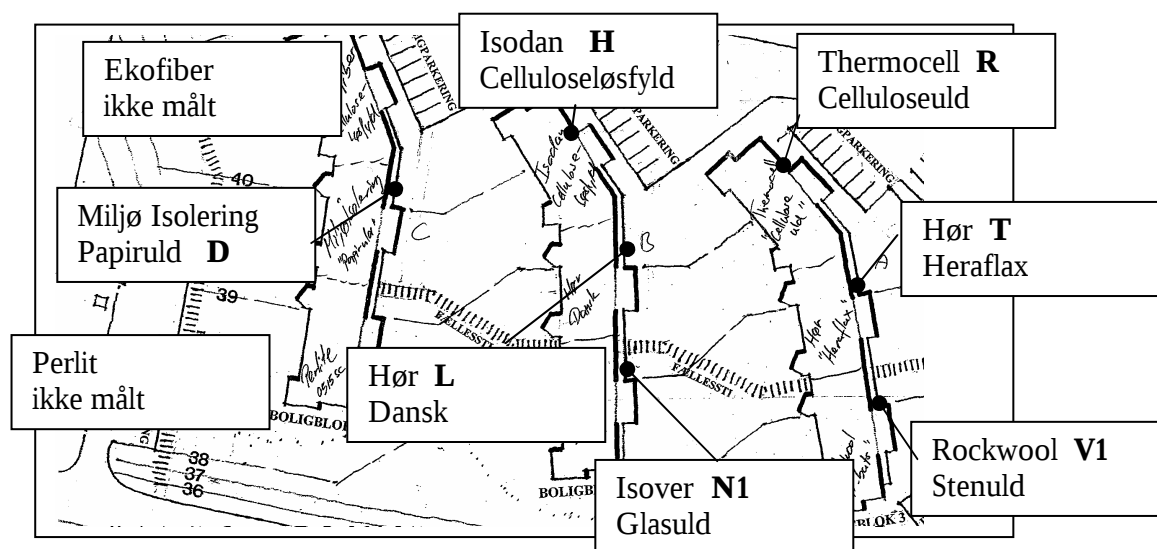


I denne bolig er anvendt Dansk Hør i væggene. Boligen har køkkenvinduet tæt på udhuset således, at udhuset skygger for tidlig morgensol



En placering til højre for vinduet modsat køleskab og over overskabe er valgt. Indvendigt 5 cm over skabet anbringes et termoelement med tape. Udvendigt afmonteres pladebeklædningen. I samme højde udvendigt på vindgipsen, anbringes varmestrømsmålere og termoelementer. Datalogger for udvendige målinger anbringes i udhus. Dataloggere for indvendige målinger anbringes over et køkkenskab.

Figur 14: Placering af målepunkt på bygningen i Borup Seniorby.



Figur 15: Målesteder med angivelse af de forskellige isoleringsmaterialer i alt 7 lokaliseringer. Målestedet anbringes i køkkenets ydervæg tæt på udhuset således at udhuset skygger for tidlig morgensol

6. DATA LOGNING

- Ude logges med Grant SQ1600

Logning er sat op som i Tabel A6.1. i appendiks 6. Temperatur og varmestrøm aflæses hvert 5. sekund og gemmes som middelværdi hver ½ time, i nogle tilfælde hvert 10. minut. Der måles en overfladetemperatur for hver varmestrømsmåler samt en temperatur i væggen i luftspalte.

- Inde logges med Grant SQ1200 eller Gemini Tinytag

Inde logges med to kanaler på Grant SQ1200 og termotråd type T eller 2 gange Gemini Tinytag TG-12-0020 med termistor. Det er tilstrækkeligt med måling af en indvendig overfladetemperatur, på trods af at vi måler to steder på den udvendige side. Begrundelsen har praktiske årsager idet placeringen skal være over overskab i køkken. Foruden overfladetemperaturen skal der måles en lufttemperatur i umiddelbar nærhed af overfladetemperaturen.

Der logges hvert 10. min. Ved efterbehandling reduceres datamængden til halvtimes middelværdier. En data-fil oversigt findes i appendiks 5.

7. FORSØGSPROGRAM

Tabel 4 viser isoleringsmaterialer og benyttede varmestrømsmålere, tidsskridt for dataopsamling og boligplacering. Tabel 5 viser tidsangivelse for måleperioder og figur 16 viser måleperioderne angivet for vinterhalvåret sammen med målte værdier for lufttemperaturer i den ventilerede spalte imellem regnskærmbeklædningen og vindgips. De målte temperaturer er fra bygning 13D, 13N1, 13H, 13R og bolig 13N1 anden periode.

For bolig N1 er der foretaget en ekstra måling, denne måling har haft til formål at undersøge indflydelsen af det kolde hjørne i bygningen mod vest se snittegning i afsnit "in-situ måling". Termovisionsmålingerne har vist stort varmetab for dette

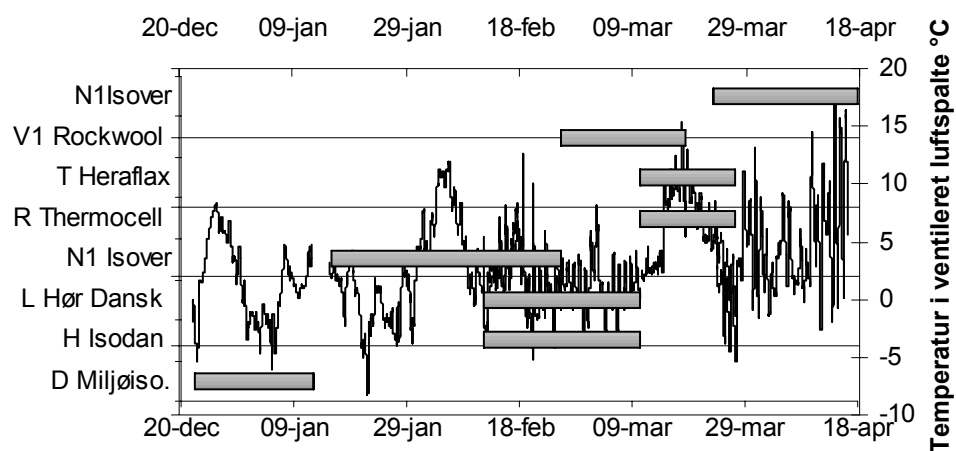
hjørne. Forskellen på første måling og gentagelsen har derfor været at målefeltet er flyttet længere væk fra hjørnet.

TABEL 4: FORSØGSPROGRAM FOR MÅLING AF TO BOLIGER SAMTIDIG.

Isoleringstype	Fabrikat Instrument	Tidsinterval	Placering	Kommentar
2. Ekofiber og Miljø Isolering	Hukseflux Ahlborn nr.1 Hukseflux nr. 5	1800 sek.	D Boligblok 1	Celluloseløsfyld (ikke målt) Celluloseløsfyld
3. Hør og Isodan	Hukseflux A og B Hukseflux C og D	600 sek.	L H Boligblok 2	Dansk Hør Celluloseløsfyld
4. Isover	Hukseflux nr. 5 Ahlborn nr. 1 Gemini Tinytag	1800 sek.	N1 Boligblok 2	Mineraluld
5. Thermocell og Heraflax	Hukseflux nr. A og B Hukseflux nr. C og D	600 sek.	R T Boligblok 3	Træfiber Hør
6. Rockwool	Ahlborn nr.1 Hukseflux nr. 5 Gemini Tinytag	1800 sek.	V1 Boligblok 3	Mineraluld

TABEL 5: PERIODER FOR MÅLTE DATA I DE ENKELTE BOLIGER

Bolig	Start dato	Måleperiode i dage	Slut dato
D Miljøiso.	22-dec-03	21	12-jan-04
H Isodan	11-feb-04	28	10-mar-04
L Hør Dansk	11-feb-04	28	10-mar-04
N1 Isover	15-jan-04	41	25-feb-04
R Thermocell	10-mar-04	17	27-mar-04
T Heraflax	10-mar-04	17	27-mar-04
V1 Rockwool	25-feb-04	22	18-mar-04
N1Isover	23-mar-04	35	27-apr-04



Figur 16: Måleperioder for de forskellige boliger for vinteren 2003-2004. Højre ordinatakse angiver målte værdier af temperaturer i den ventilerede luftspalte i mellem udvendig beklædning og vindgips i væggen.

8. DATA-ANALYSE

Ved praktisk måling af isolans mellem to flader, angiver CEN normen prEN 12494, to metoder til analyse af de målte data. Den ene er en middelværdimetode. Den anden er en identifikationsmetode, som benytter sig af en matematisk model og brug af computeberegninger.

Den anvendte metode for Borup er middelværdimetoden. Begge metoder angiver at den termiske kapacitet for væggen skal være større end 20 kJ/(m²K) og at den termiske isolans over væggen er over 1 m²K/W. I modsat tilfælde er det vigtigt kun at bruge måldata fra nat, en time efter solnedgang til solopgang. Dette er for at undgå direkte solstråling. I Borup måler vi på nordøstvendte facader, så dette er ikke væsentligt her. Såfremt det ikke er nat-data som benyttes, skal der bruges data fra en periode som er et heltals multiplum af 24 timer.

Flade til flade isolans kan estimeres som:

$$R_t = \frac{\sum_{t=0}^t (T_{si} - T_{se})}{\sum_{t=0}^t (q)}$$

Isolansværdien vil gennem måleperioden asymptotisk nærme sig den reelle værdi. Dette gælder hvis den interne energi (samme temperaturer) og fugtfordeling (ingen fugtbevægelser) i væggen er den samme i begyndelsen og slutningen af måleperioden. Dette anses for opfyldt for lette konstruktioner når tre efterfølgende nætter giver resultater som ikke afviger mere end 2 % fra hinanden. For tungere ydervægge skal målingerne stoppes efter følgende kriterier:

- Testperioden skal være på mindst 72 timer.
- R_t værdien ved slutningen af perioden afviger ikke mere end 2 % fra værdien 24 timer før.
- R_t værdien fra første periode, heldelen af (2 x testperiode/3) dage afviger ikke mere end 2% fra værdien opnået i den sidste periode af samme længde.
- Varmestrømsmåleren er ikke udsat for sol og regn.
- Ændringen i væggenes opsamlede energi er mindre end 2% af den energi, som strømmer gennem væggen i samme periode. Den indvendige energi estimeres som middeltemperaturen $(T_{si} + T_{se})/2$ af elementet ved start og slut af testperioden multipliceret med massen af væggen og en estimeret specifik varme på 1200 J/ kg.K.

Væggene i Borup karakteriseres efter masse og termisk kapacitet udregnet i tabel 3, i kapitel 5 "in-situ måling":

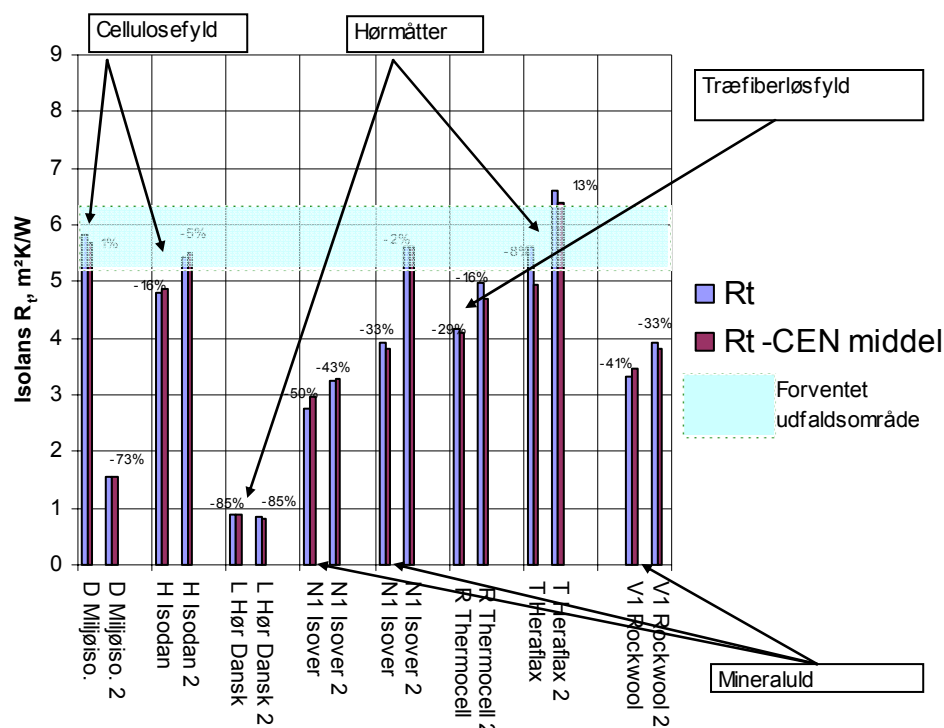
- | | |
|---------------------------------|-----------------|
| - termiske kapacitet for væggen | ca. 78 kJ/(m²K) |
| - termiske resistans | ca. 5,8 m²K/W |
| - Masse af væg | ca. 75 kg/m² |

Anden ønskelige forudsætning er at temperaturudsvingene ikke overstiger halvdelen af temperaturforskellen imellem indvendig og udvendig side. [M.P. Modera ..1983] I databladene bilag 1.1 til 1.8 angives en middelværdi af måleværdier udregnet efter prEN 12494 samt isolansen for hele den målte periode, R_t .

I appendiks 3 er fortolkning i Excel regneark af middelværdimetoden gennemgået.

9. RESULTAT BEHANDLING OG DISKUSSION

Udfaldet af de enkelte målinger i boligerne ses i bilagene 1.1 til 1.8. Sammenholdt er resultatet angivet som totale isolanser i figur 17. Snittegning vandret af væggen med angivelse af målepositioner og snittegning af overgangen imellem loft og væg kan ses i afsnittet "in-situ måling".



Figur 17: Sammenligning af isoleringsmaterialer. Middelværdien af målepunkter for isolansen R_t , opgivet i m^2K/W , for områder hvor CEN normen pr EN 12494's kriterier er opfyldt, er angivet ved søjlen R_t - CEN middel. Søjlen angivet ved R_t er taget som gennemsnit over hele måleperioden. Isolansen var forventet at være inden for det svagt skraverede område, %-angivelserne er taget som afvigelser fra en forventet isolans med en forudsat λ -værdi på $0,04 W/mK$

En forventet værdi for isolansen af vægkonstruktionen i Borup Seniorby vil med et isoleringsmateriale med λ -værdien $0,04 W/mK$ være $5,76 m^2K/W$. Spændet til de eksakte værdier for isoleringsmaterialerne er ikke kendt, men er skønnet til at være inden for området $\pm 10\%$. På figur 17, er dette vist ved en svag skravering som antyder forventet værdiområde. Procentangivelsen ved søjlerne viser afvigelsen fra den forventede værdi med λ -værdien $0,04 W/mK$. Gennemgang af resultaterne, isolansmåling og termografimåling, gældende for hver bolig har ført til følgende kommentarer.

1. Forskellen imellem de to målinger i bolig D, isoleret med cellulosefyld, kan forklares med, at der ved placeringen af varmestrømsmåler nr. 2 netop er valgt et sted som viste en kuldebro ved termografimåling. For løsfyldisolering, som i dette tilfælde, kan problemet være at fyldningen ikke er foretaget med tilstrækkelig densitet og at der derfor er tale om

sætninger i soleringen. Betydningen af indfyldning af løsfyld kan findes i By & Byg's 2 rapporter [T.V. Rasmussen, 2002]. Problemer med at løsfyldsisolering falder sammen er blandt andet nævnt i [T. Andersen et al., 2000]. En uddybning af resultatet for bolig D findes i appendiks 4.

2. Bolig H, også isoleret med celluloseløsfyld, har værdier som er nær forventet. Føleren er her anbragt tæt på et hjørne. Termografimålinger set indefra, viser kolde områder mod skillevæggen og hjørne. Udvendigt er der ifølge termovisionsbilledet en jævn fordeling af temperatur. Imellem vindgips og lægte, over målefeltet er der ved opsætningen tætnet med tape. Der blev tætnet for at begrænse varmenedfald fra oven som kunne ses på de første termografimålinger.
3. Bolig L, isoleret med hørmåtter, giver meget lave værdier for isolans. Udefra, ses varme områder på termovisions målingerne langs lægte kanterne. Inde i køkkenet, ses et koldt hjørne og tegn på stort varmetab til loft. Målepunktet er tæt på hjørnet. Årsagen til den ringe isolans for bolig L, kan være dårlig tilskæring og en egenkonvektion. By og Byg fulgte arbejdets udførelse og opførelsen af ydervæggene i Borup Seniorby. Ved denne lejlighed konstaterede By og Byg at tykkelsen af isoleringsmåtterne, for dette materiale, ikke holdt målene. Tykkelsen er skønnet kun at være ca. 2/3 af forventet og måtterne er i nogle tilfælde presset ind imellem væggens stolper. Resultatet af disse indbygningsforhold kan afstedkomme luftlommer som giver passager. Et dårligt isoleret loft, kan opvarme luftstrømme som finder passager gennem de lokale luftlommer og dermed øges varmetabet gennem den ydre del af væggen. Fjernelsen af topremnen i byggeprojektet har yderligere givet muligheder for luftstrømme fra loft til vægkonstruktion.
4. Bolig N1, isoleret med Isover, har lavere isolans end forventet. Denne lave isolans kan have samme årsag som tilfældet er for bolig L. Ved næste måling i en efterfølgende periode for bolig N1 er dette forsøgt afhjulpet med inddækning af tape mod den øverste trælægte. Placeringen af målefeltet er ændret ved gentagelsen, således at feltet er flyttet længere væk fra hjørnet. Gentagelsen gav resultater med større isolansværdier. For de to parallelle målinger var forøgelsen henholdsvis 35% og 70%. At forøgelsen ikke er ens for de to målinger, kan skyldes at Hukseflux måleren flyttes fra et neutralt sted til et sted tæt ved stolpe og dermed kuldebro. Kuldebroen øger varmestrømmen gennem måleren, hvilket giver lavere isolans. Sammenholdt med at Ahlborn varmestrømsmåleren, er flyttet fra et hjørne påvirket af varm luft til et neutralt sted ved den gentagede måling, får vi noget inkonsistente resultater for den gentagede måling.
5. For bolig R som har værdier lidt lavere end det forventede, med en lidt højere værdi for måleren tættest på hjørnet, ses der tydelig indflydelse udvendigt, fra det kolde hjørne. Dette kunne skyldes vind fra nordøst som passerer omkring hjørnet.
6. For bolig T, har vi mistet temperatur data, som efterfølgende er estimeret ud fra samtidigt målte data for andre boliger. Resultatet har derfor en større

usikkerhed og der er ikke helt opnået stabilitet hvilket kan være grunden til høje værdier. Dette er uddybet i appendiks 2. Vindretning er her vandret forbi hjørne. Der ses tegn på stort varmetab til loft.

7. For bolig V1 er de målte værdier lave i forhold til forventet, hvilket kan skyldes egenkonvektion. Udvendigt ses på termovisions målingerne, i venstre side øverst, tegn på kuldebro. Indvendigt er væggen mod indgangsparti tydelig kold.

Den åbne forbindelse til isolering på loft, kombineret med vind langs facade, kan forårsage luftstrømninger i luftlommer. Luftpasager gennem isoleringen kan have stor betydning på væggenes isolans. Se appendiks 1 "Varmestrømsberegninger af vægudsnit". Dette kan være en dominerende faktor og være grunden til de meget varierende resultater for totale isolanser i væggene målt i Borup Seniorby.

10. KONKLUSION

Fra de termografiske undersøgelser, har vi for mange af boligerne set tydelige anormaliteter, som kan stamme fra manglende udfyldning af isolering, lægter som giver kuldebroer og en tydelig indflydelse fra hjørnet vendende mod øst. Parallelmålingerne viser konsistens i resultaterne, idet de parvis giver enslydende resultater. Der er derfor ikke grund til at drage måleresultaterne i tvivl, selv om der kan være usikkerheder og fejlkilder til de målte data. En bolig hvor afvigelsen til gengæld er stor indikerer en fejl i arbejdets udførelse, konstruktionsudformninger eller sætninger i løsfyldsisoleringen. Samlet fremgår det tydeligt at udførelsen og lokale forhold har stor indflydelse på væggenes isolans.

Resultaterne for måling af ydervæggens isolans er overraskende. Som udgangspunkt var det forventet at resultaterne lå i et snævert område omkring design værdien. De målte praktiske isolansværdier fra Borup viser både værdier større og mindre end forventet. Det grelleste tilfælde er for dansk hør med afvigelser på 85%. En afvigelse af denne størrelsesorden skyldes ikke materiale egenskaber, men nærmere praktiske forhold omkring konstruktionen som der ikke er taget højde for.

Målingerne af den praktiske isolans foretaget i Borup Seniorby af 7 forskellige isoleringsmaterialer, giver ikke grobund til at udpege traditionelle eller alternative isoleringsmaterialer til at have større isolans end andre eller større hyppighed af fejl som skyldes arbejdets udførelse. De forskelle som skyldes de enkelte materialer og deres indbygningsmæssige forhold, overdøves helt af praktiske forhold

Mange af vægkonstruktionerne bærer tydeligt præg af fejl, som ses dels ved termografering og dels ved de meget afvigende resultater fra forventet. Fejlene kan enten være opstået ved monteringsarbejdet eller skyldes selve konstruktionen og dermed projekteringsarbejdet.

Særlige forhold gældende for byggeriet i Borup, er indflydelsen af en kraftig vind langs facadens nordøstlige side, under udhæng og som kan skabe ugunstige vindforhold omkring overgangen imellem væg og tag. Forklaringen på de meget

varierende resultater kan tillægges luftlommer i vægkonstruktionens isolerede del, med passager som giver luftstrømme mulighed for at bidrage til øget konvektion.

Den oprindelige ide for det måletekniske grundlag i projektet byggede på et nyudviklet måleudstyr fungerende efter "Guarded Hot-box" princippet, som målte varmestrømmen over en flade. Denne ide er ved projektets start ændret til punktvis målinger med varmestrømsmålere. Ændringen af det måletekniske princip, tillægges ikke betydning for resultaterne i væsentlig grad. Kun hvor lokale anormaliteter er dominerende, som for eksempel ved bolig D, vil resultatet være anderledes.

Det har ikke været muligt at opfylde det overordnede mål for projektet, at fastlægge hvor meget varmetransmissionskoefficienten (U-værdien) i praksis, afhænger af hvordan isoleringsarbejdet er udført. Resultaterne viser derimod meget større problemer som må henlægges til selve konstruktionen, og som formentlig overskygger de korrektioner som kan skyldes den lokale indbygning afhængig af materialet.

For at få den fulde forståelse, er der fremover behov for yderligere dokumenteret arbejde, i forbindelse med den praktiske udførelse af isoleringsarbejde. Hvis resultaterne, vi har set i Borup, kan overføres generelt til udførelse af isoleringsarbejde i Danmark, vil der være behov for et udbygget vejledningsmateriale for bygningskonstruktioner, både for arbejdets udførelse og for projekteringen. En optakt til et sådant materiale kan for eksempel findes i "håndbog for alternativ isolering" [J.E. Gram et al., 2001].

Det bemærkelsesværdige ved netop byggeriet i Borup, er at både entreprenører og projekterende har været vidende om den særlige fokus på byggeriet, på grund af de tilknyttede forskningsprojekter. Det er derfor ikke sandsynligt at byggeri andre steder vil blive udført med større omhyggelighed - snarere tvært imod.

Energiregnskabsmæssigt, vil resultaterne vise at der er tilfælde hvor isoleringsevnen, er helt nede på 20 % af hvad der kunne forventes. Det her gennemførte projekt har meget tydeligt demonstreret, at der er behov for yderligere anvendelsesteknisk forskning inden for isoleringsområdet, for at opnå de energisparemål som samfundet har sat sig.

11. REFERENCER

- Asta Nicolajsen (2001) Papirisolering, Varmeisoleringsevne målt med varmestrømsmåler. By og Byg Dokumentation 009.
- ASTM (1983) Overview, ASTM special technical publication 885, publication code number 04-885000-10.
- CEN (1996) prEN12494 draft Building components and elements – In-situ measurement of the surface thermal resistance.
- DS 418 (2002) DS 418. Beregning af bygningers varmetab, dansk standard, www.ds.dk.
- H. Trethowen (1986) Measurement errors with surface-mounted heat flux sensors. Building and Environment, Vol.21, No. 1, pp. 41-56, Great Britain.
- J.E Gram, G. Christensen, J. Ditlev, H. Dollerup. (2001) Alternativ isolering... en håndbog med byggetekniske eksempler og detaljer. Energistyrelsens udviklingsprogram for miljø- og arbejdsmiljøvenlig isolering.
- K.Stokbæk. (1999) Praktisk varmetab ved almindelige isoleringsmetoder. Udviklingsprogram for miljø og arbejdsmiljøvenlig isolering, http://www.sbi.dk/forskning/alternativ_isolering/resumeer/. KS-Byggeteknisk service.
- L. Olsen, G. Johannesson (1995) Kuldebroers betydning for bygningers varmetab. NKB utskotts- och arbetsrapport
- M. H. Hansen, S. S. Eriksen. (2000) Brug af alternativ isolering i Finland og Sverige. SBI-Meddelelse 128.
- M. P. Modera, M. H. Sherman and R. C. Sonderegger (1983) Determining the U-Value of a wall from field measurements of heat flux and surface temperatures. ASTM special technical publication 885, publication code number 04-885000-10.
- N. Isaacs (1983) Engineering application of heat flux sensors in building - Technical note , ASTM special technical publication 885, publication code number 04-885000-10.
- P. Roots (1997) Heat transfer through a well insulated external wooden frame wall. Lunds Universitet, akademisk afhandling.
- T. Andersen, S. S. Eriksen. (2000) Alternativ isolering i bygninger, Måling på papirisolering, fåreuld, hør og Perlite. SBI-Meddelelse 128
- T. Baba, A. Ono and S. Hattori (1985) Analyses of the operational error of heat flux transducers placed on wall surfaces. Niihari-gun, Japan.
- T.V. Rasmussen (2002) Creep of granulated loose-fill insulation, test method and round robin test. Nordtest project 1536-01. By og Byg Dokumentation 028.
- T.V. Rasmussen (2002) Løsfyldsisolering i vægge og på lofter. By og Byg Dokumentation 030.
- Thomas Blomberg (2000) HEAT2, A PC-program for heat transfer in two dimensions. Manual with brief theory and eksamples. Version 5.0, Lunds Universitet. Sverige

OVERSIGHT OVER BILAG OG APPENDICES

BILAG 1.1 DATABLAD BORUP , BOLIG NR. 13D.

BILAG 1.2 DATABLAD BORUP , BOLIG NR. 13H.

BILAG 1.3 DATABLAD BORUP , BOLIG NR. 13L.

BILAG 1.4 DATABLAD BORUP , BOLIG NR. 13N1.

BILAG 1.5 DATABLAD BORUP , BOLIG NR. 13R.

BILAG 1.6 DATABLAD BORUP , BOLIG NR. 13T.

BILAG 1.7 DATABLAD BORUP , BOLIG NR. 13V1.

BILAG 1.8 DATABLAD BORUP , BOLIG NR. 13N1.

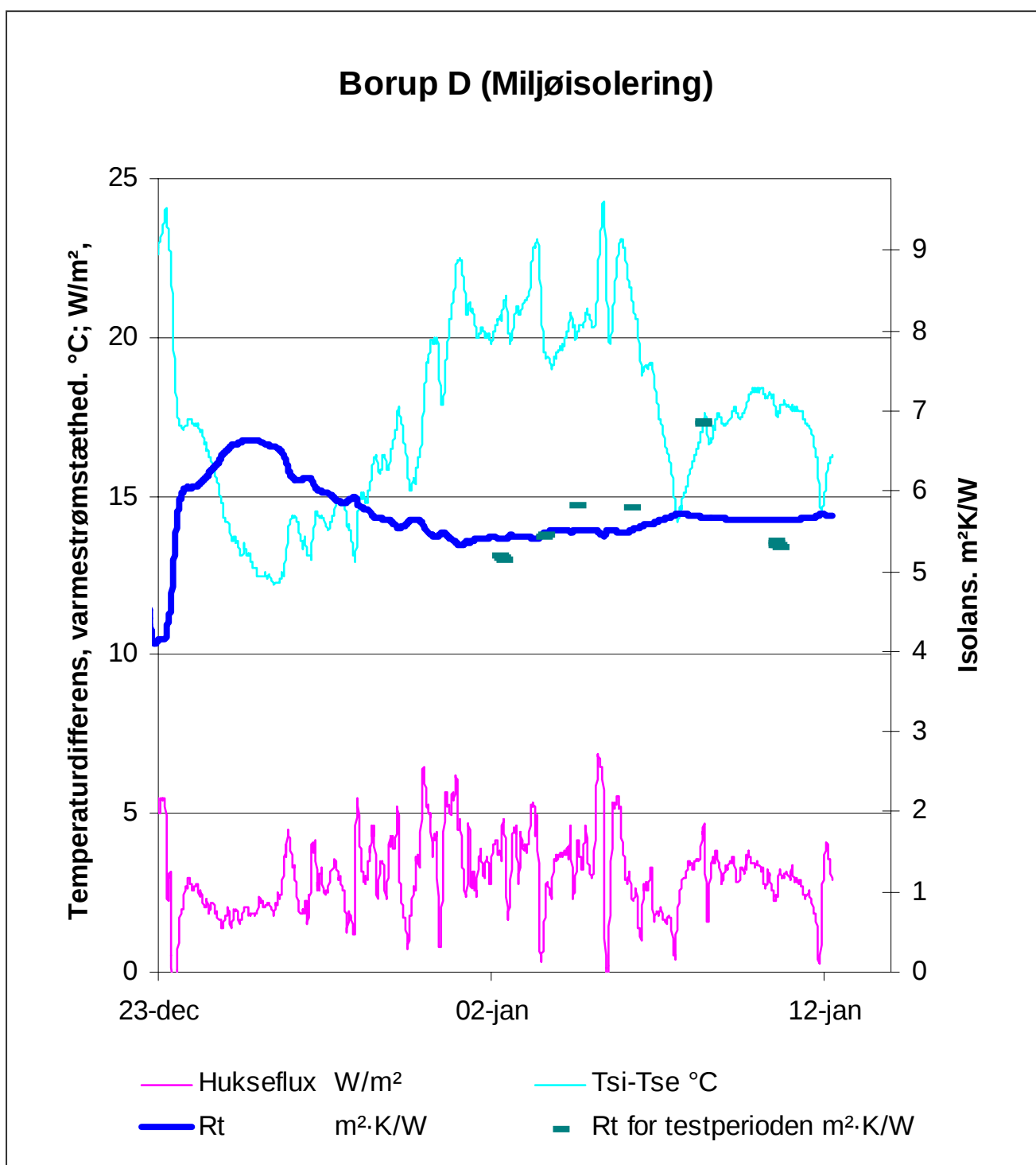
Appendiks 1: Varmstrømsberegninger af vægudsnit.

Appendiks 2: Temperaturer i luftspalten, sammenligning i mellem boliger.

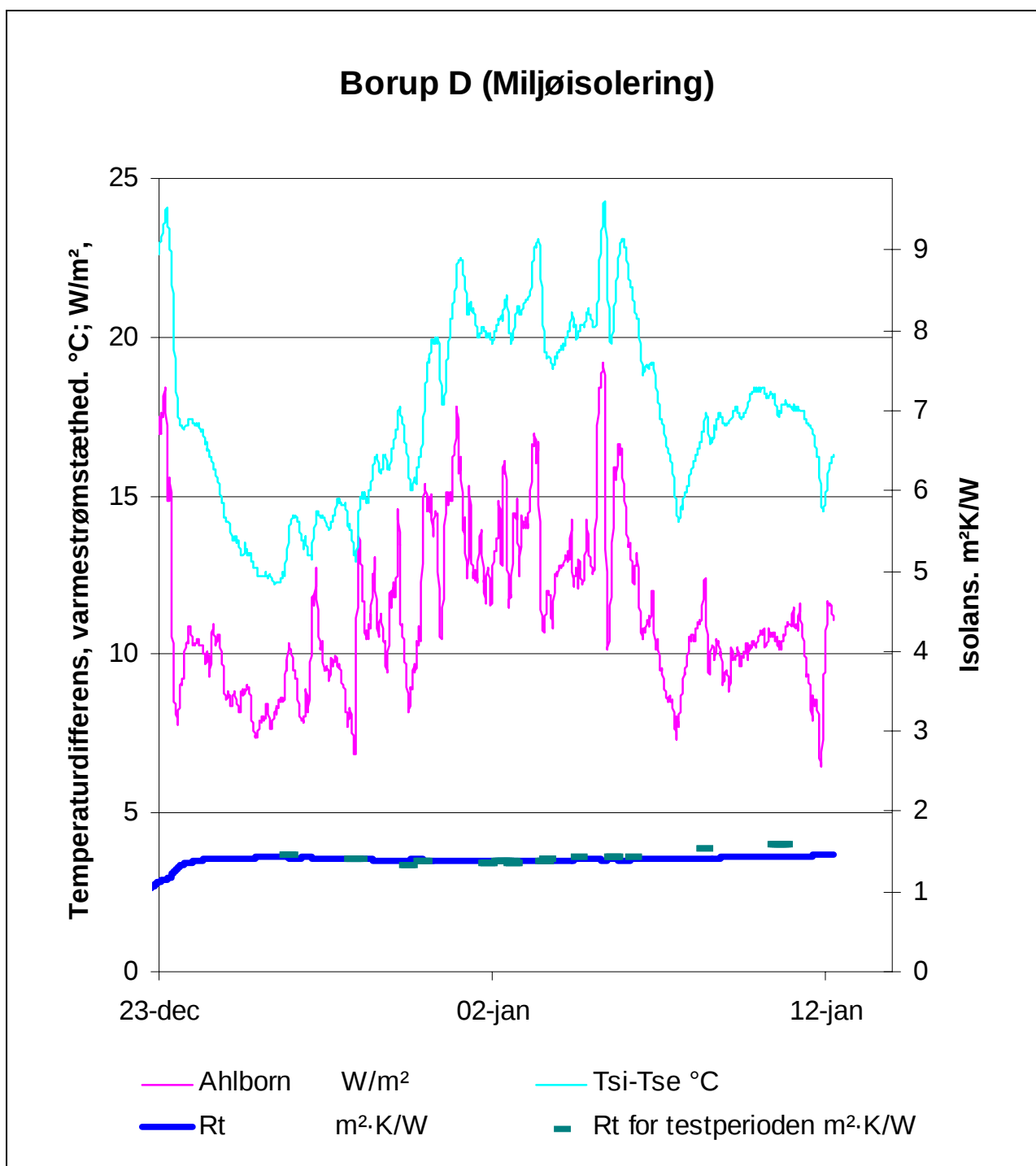
Appendiks 3: Fortolkninger i Excel regneark af middelværdimetoden.

Appendiks 4: Delkonklusion for bolig 13D

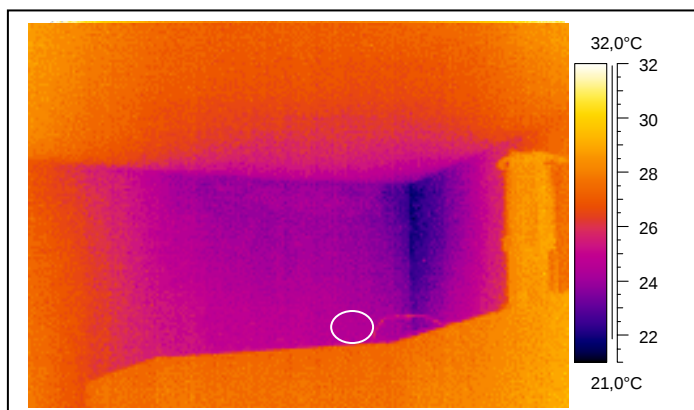
Appendiks 5: Data-fil oversigt, data logning



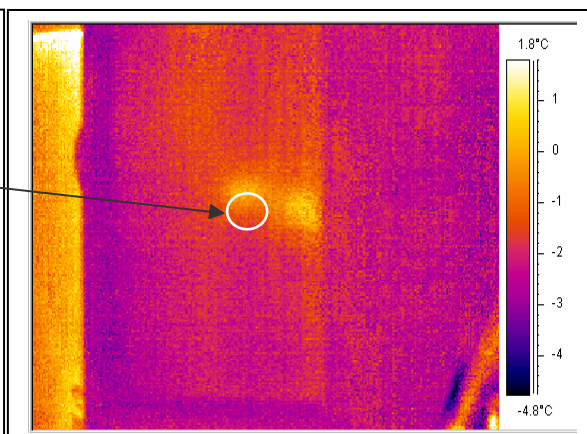
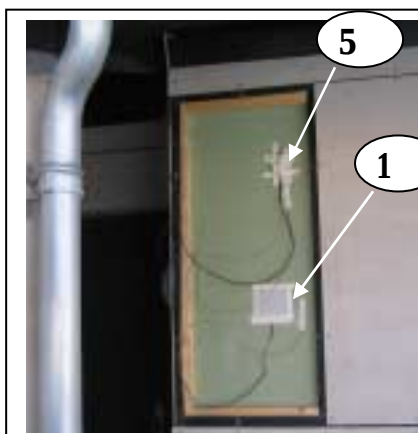
Isoleringsmateriale: <i>Celluloseløsfyld</i>	Isolans måling	
Produkt navn: <i>Miljø Isolering</i>	Målt periode er fra 22/12 2004 til 12/1 2004	
Varmestrømsmåler: <i>Hukseflux 5</i>	Kalibreringsfactor f , $W/(mV \cdot m^2)$	20162
Resultat isolans: $R_t = 5,81 \text{ } m^2K/W$	R_t middel af målepunkter =	5,70 m^2K/W
Bemærkninger:		
Afstand højre side (dvs. væg) for indvendig føler: 28 cm til føler anbragt på væg. Måling af lufttemperaturer i en højde over skab på 5 cm og afstand fra væg: 3 cm. udvendigt er Hukseflux anbragt øverst og Ahlborn nederst.		



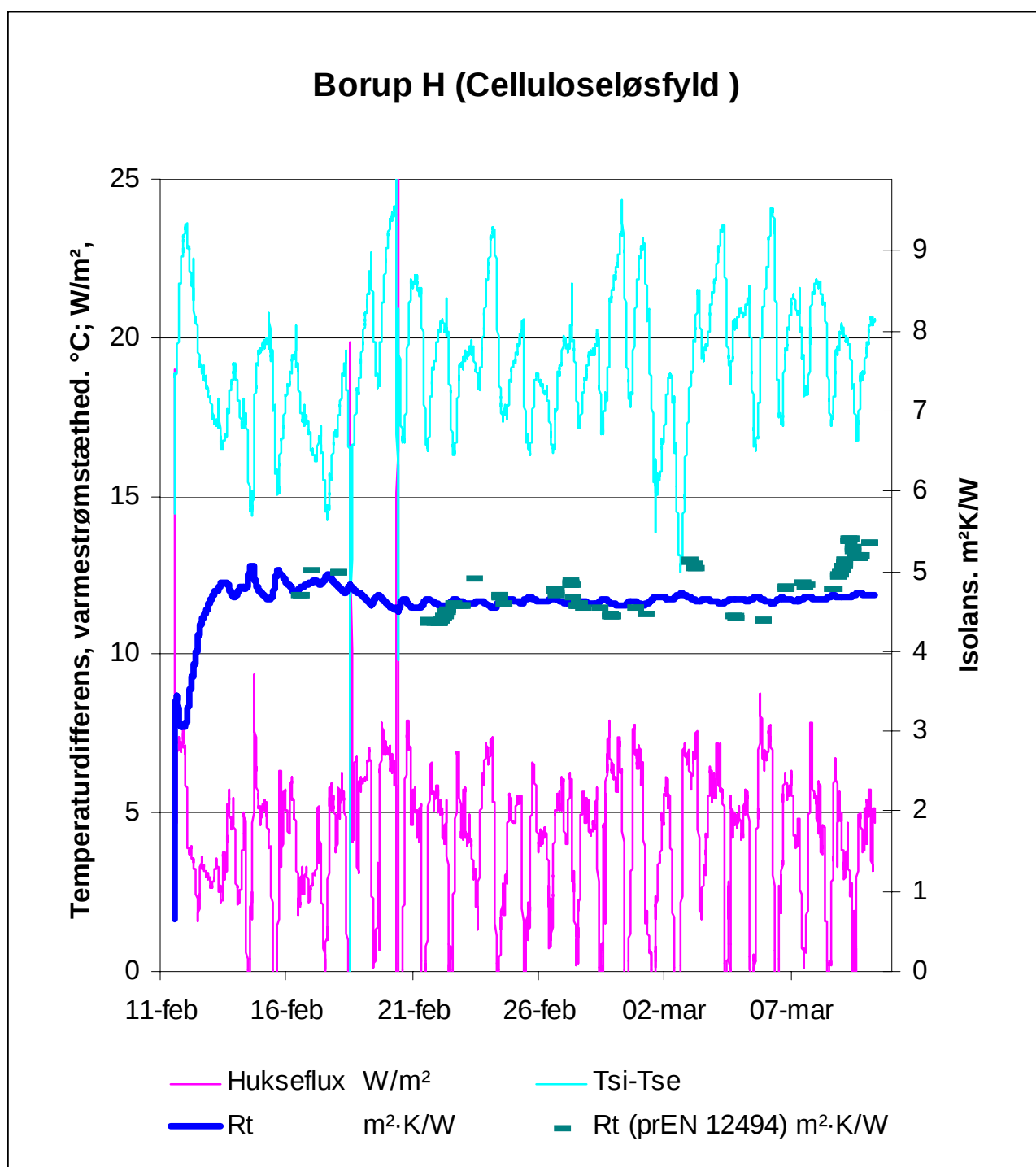
Isoleringsmateriale: <i>Celluloseøsfyld</i>	Isolans måling		
Produkt navn: <i>Miljø Isolering</i>	<i>Målt periode er fra 22/12 2004 til 12/1 2004</i>		
Varmestrømsmåler: <i>Ahlborn nr. 1</i>	<i>Kalibreringsfactor f, $W/(mV \cdot m^2)$</i>	<i>10270</i>	
Resultat for isolans: $R_t = 1,55 \text{ } m^2K/W$	R_t middel af målepunkter =	1,54	m^2K/W
Bemærkninger:			



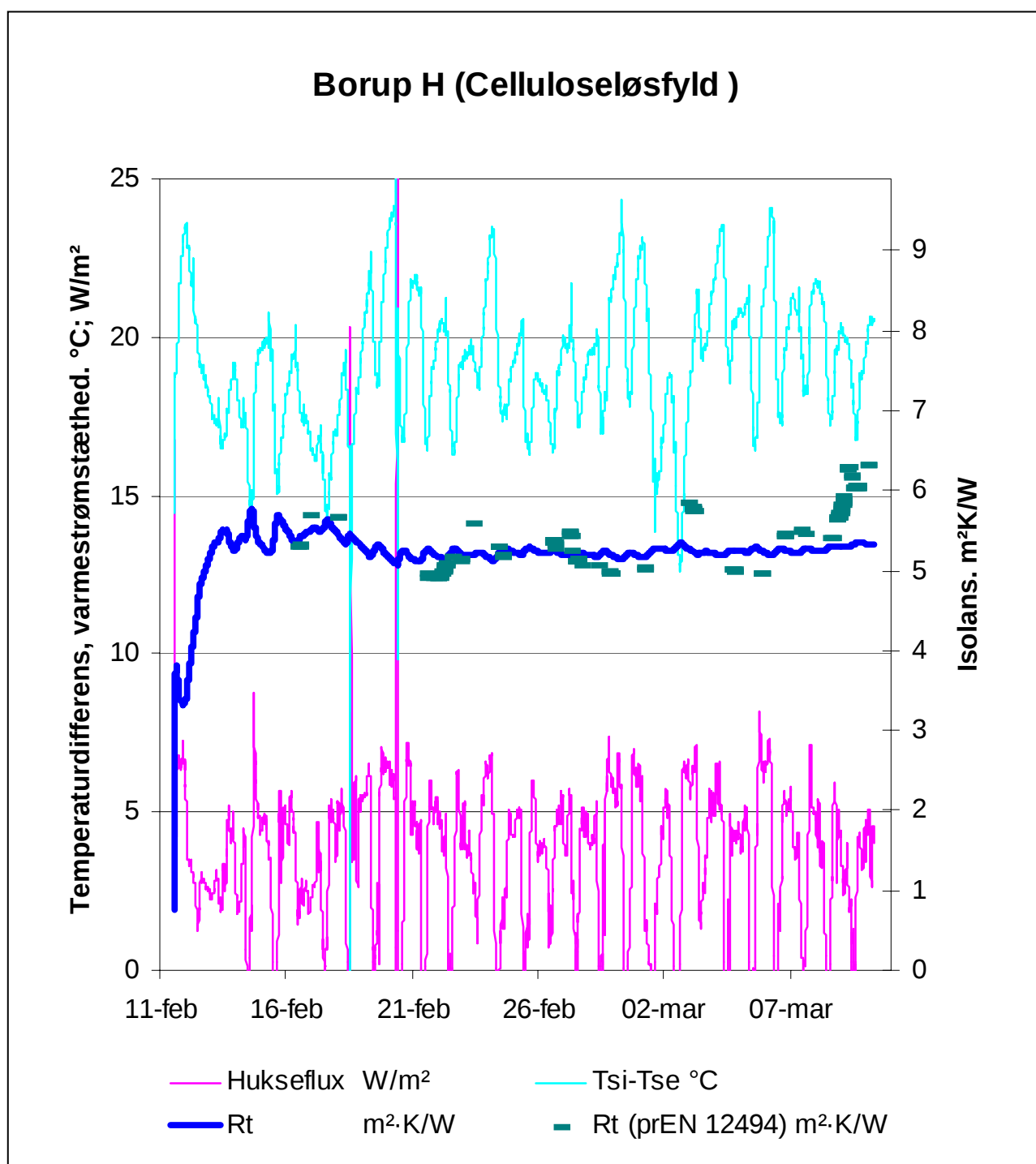
Køkken	Termografi (udført 27.04.04)
	<i>Rumtemperatur +21°C, udetemperatur -2°C, vind: 10 m/s</i>
Bemærkninger:	
<i>Koldt område ved ydervægshjørne. Følere er placeret ved afmærket ring.</i>	



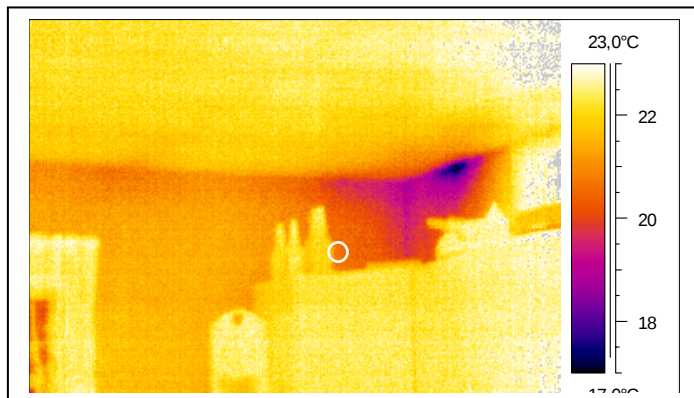
Udvendigt	Termografi (udført 27.04.04)
	<i>Rumtemperatur +21°C, udetemperatur -2°C, vind: 10m/s</i>
Bemærkninger:	
<i>Ahlborn måleren(1) er anbragt ved et lokalt kuldebrosområde som det ses på termografiet.</i>	



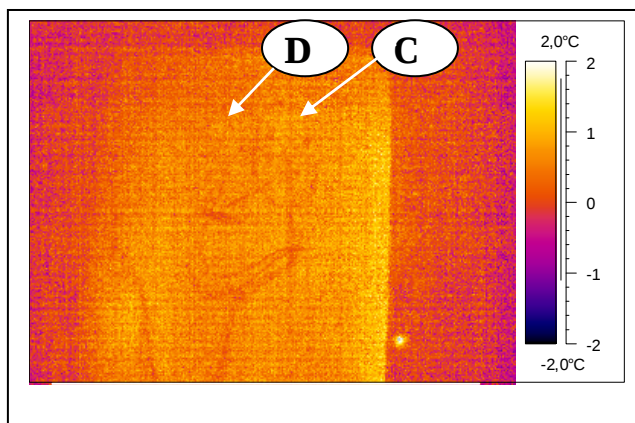
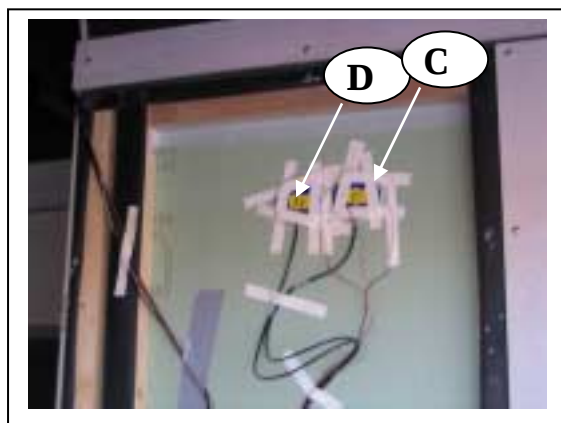
Isoleringsmateriale: <i>Celluloseløsfyld</i>	Isolans måling		
Produkt navn: <i>Isodan</i>	<i>Målt periode er fra 11/2 2004 til 10/3 2004</i>		
Varmestrømsmåler: <i>Hukseflux C</i>	Kalibreringsfactor f, W/(mV·m²)		18931
Resultat isolans: $R_t = 4,81 \text{ m}^2\text{K/W}$	R_t middel af målepunkter =		4,87 $\text{m}^2\text{K/W}$
Bemærkninger:			
De indvendige termotråde er anbragt over overskab i køkken 15 cm fra hjørne, 5 cm over overskab og 1cm fra væg. Ude i luftspalten imellem vindgips og beklædning er varmestrømsmåleren (C) anbragt med center 50 cm fra hjørne og varmestrømsmåler D 41 cm fra hjørne. Begge 5 cm over overskabs niveau, temperatur målepunkter til højre for varmestrømsmålere.			



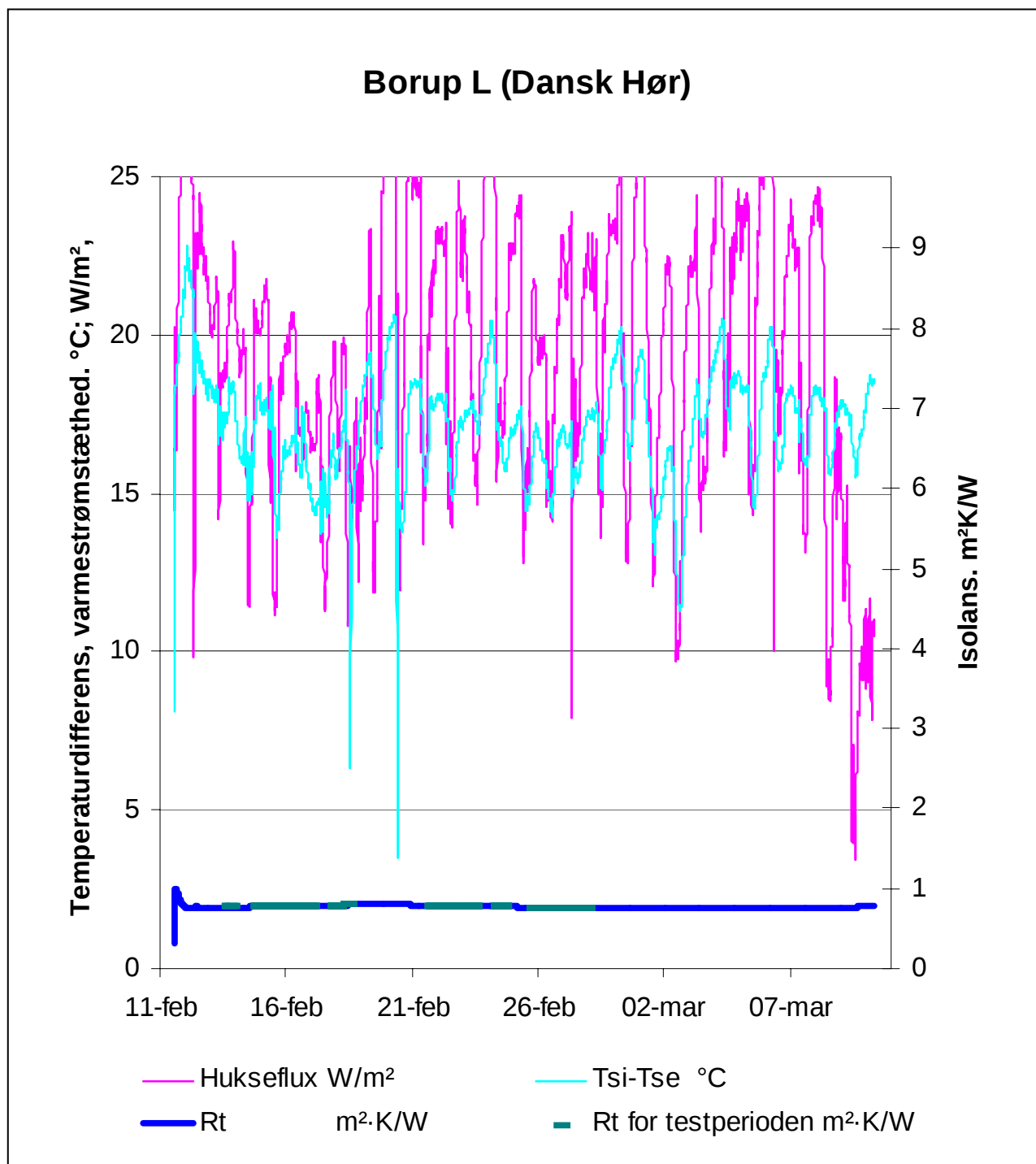
Isoleringsmateriale: <i>Celluloseuld</i>	Isolans måling	
Produkt navn: <i>Isodan</i>	Målt periode er fra 11/2 2004 til den 10/3 2004	
Varmestømsmål: <i>Hukseflux D</i>	Kalibreringsfactor f , $W/(mV \cdot m^2)$	19682
Resultat for isolans: $R_t = 5,45 \text{ } m^2K/W$	R_t middel af målepunkter =	5,52 m^2K/W
Bemærkninger:		



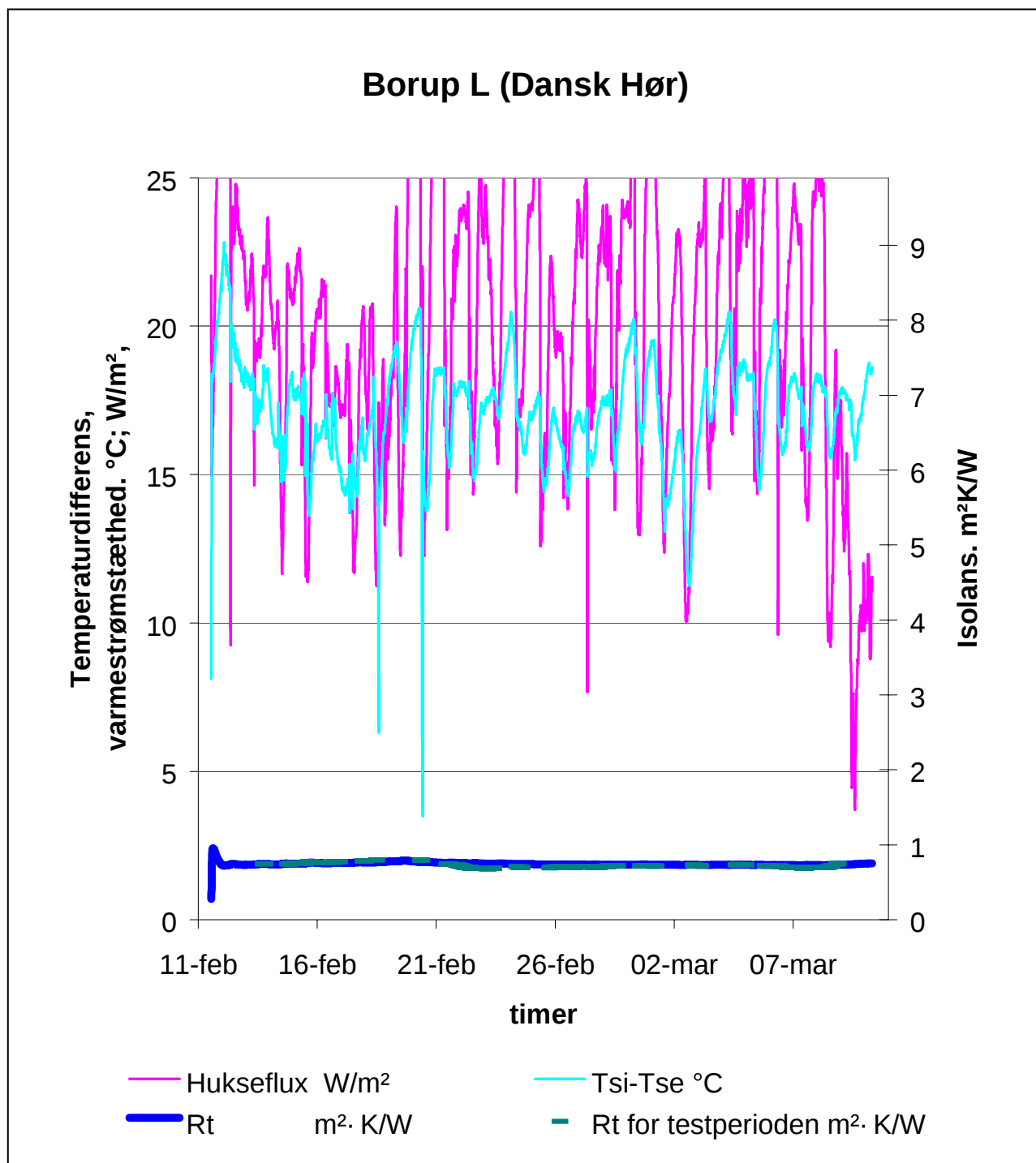
Køkken	Termografi (udført 27.04.04)
	<i>Rumtemperatur +21°C, udetemperatur 1°C, vind: 7 m/s</i>
Bemærkninger:	
<i>Koldt område ved skillevæg. Følere er placeret tæt på hjørne.</i>	



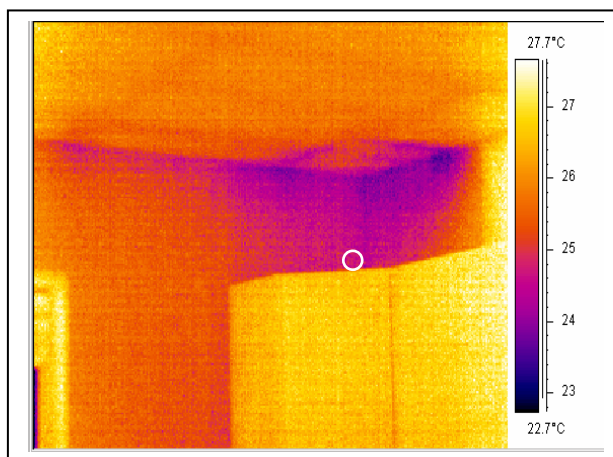
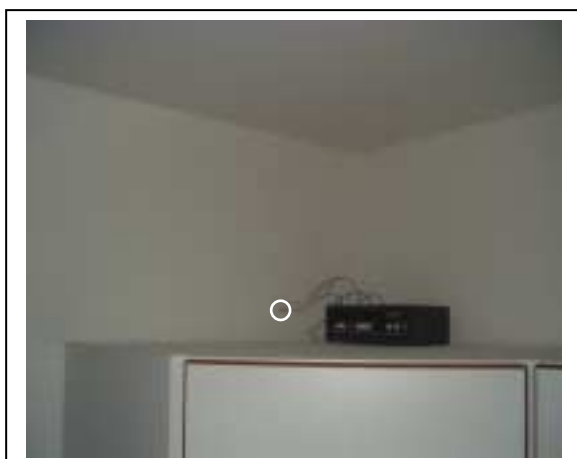
Udvendigt	Termografi (udført 27.04.04)
	<i>Rumtemperatur +21°C, udetemperatur 1°C, vind: 7 m/s NØ</i>
Bemærkninger:	
<i>Få variationer i termovisionsbillede skyldes en kraftig vindpåvirkning fra nordøst.</i>	



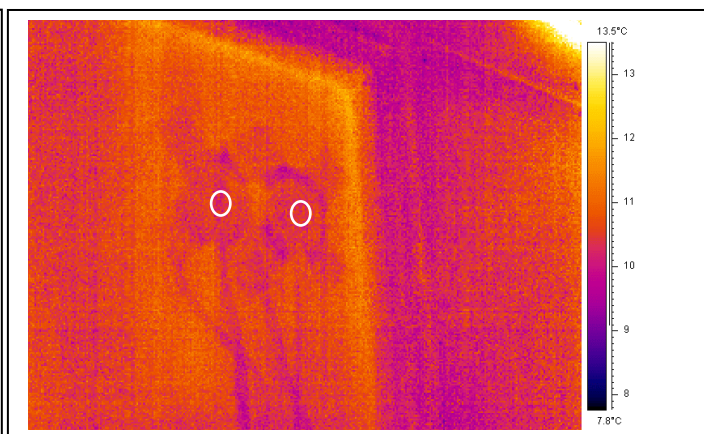
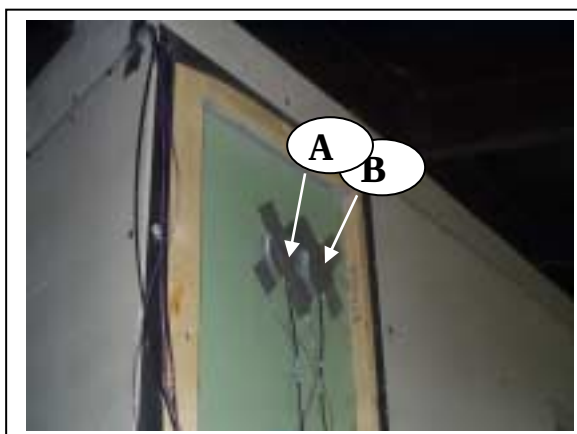
Isoleringsmateriale: <i>Hør måtter</i>	Isolans måling	
Produkt navn: <i>Dansk hør</i>	Målt periode er fra 11/2 2004 til 10/3 2004	
Varmestrømsmåler: <i>Hukseflux B</i>	Kalibreringsfactor f , W/(mV·m ²)	19558
Resultat isolans: $R_t = 0,89 \text{ m}^2\text{K/W}$	R_t middel af målepunkter =	0,88 m ² K/W
Bemærkninger:		
<i>De indvendige termotråde er anbragt over overskab i køkken 18 cm fra hjørne og 5 cm over overskab. Ude i luftspalten imellem vindplade og beklædning er varmestrømsmåleren (B) anbragt 5 cm over overskabs niveau, temperatur målepunkt til venstre. Anden varmestrømsmåler (A) endnu til venstre og venstre herfor yderligere et temperaturmålepunkt.</i>		



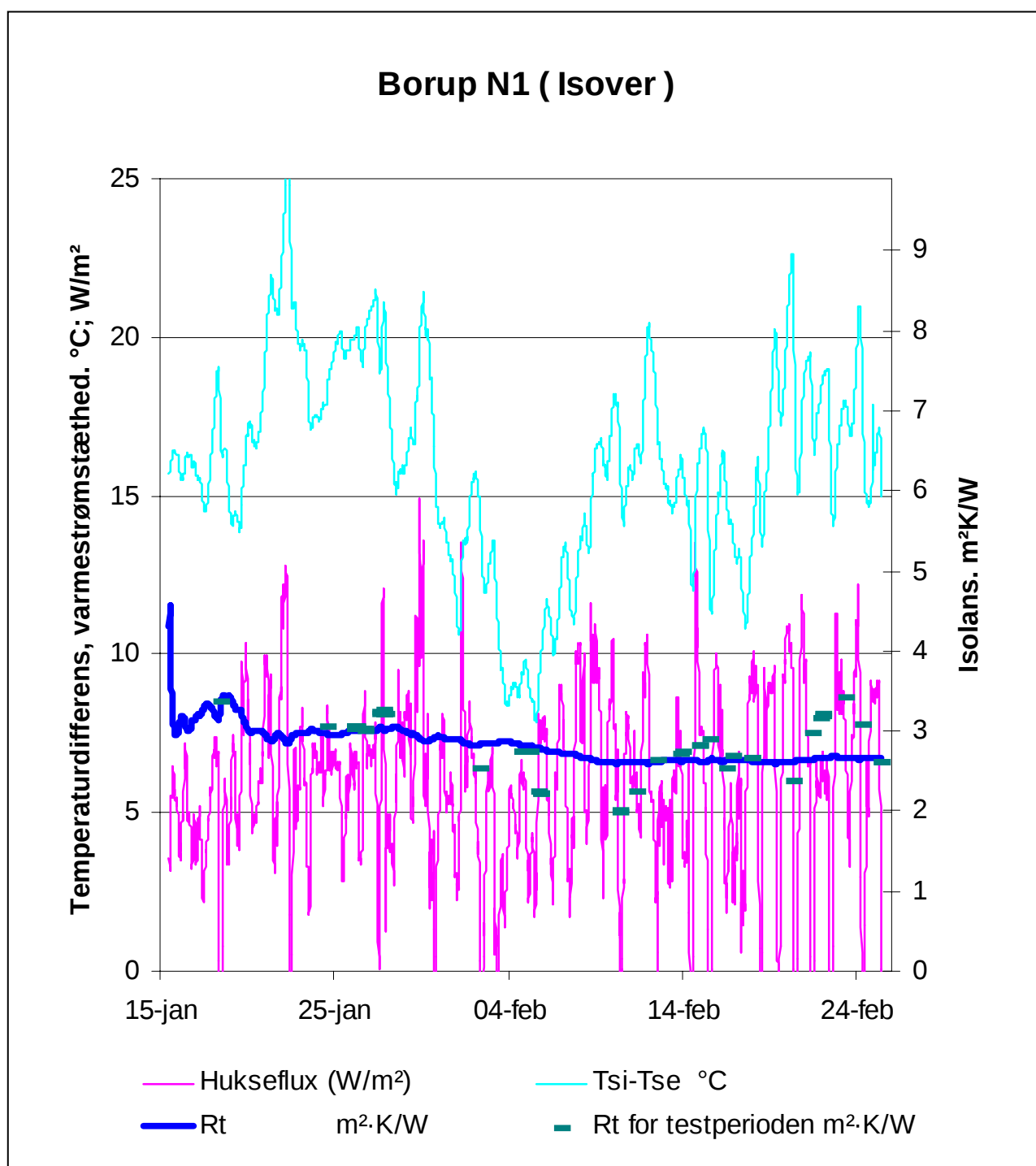
Isoleringsmateriale: <i>Hør måtter</i>	Isolans måling		
Produkt navn: <i>Dansk hør</i>	<i>Målt periode er fra 11/2 2004 til 10/3 2004</i>		
Varmestrømsmåler: <i>Hukseflux A</i>	<i>Kalibreringsfactor f, W/(mV·m²)</i>	<i>19620</i>	
Resultat for isolans: <i>R_t = 0,86 m²K/W</i>	<i>R_t middel af målepunkter =</i>	<i>0,82</i>	<i>m²K/W</i>
Bemærkninger:			



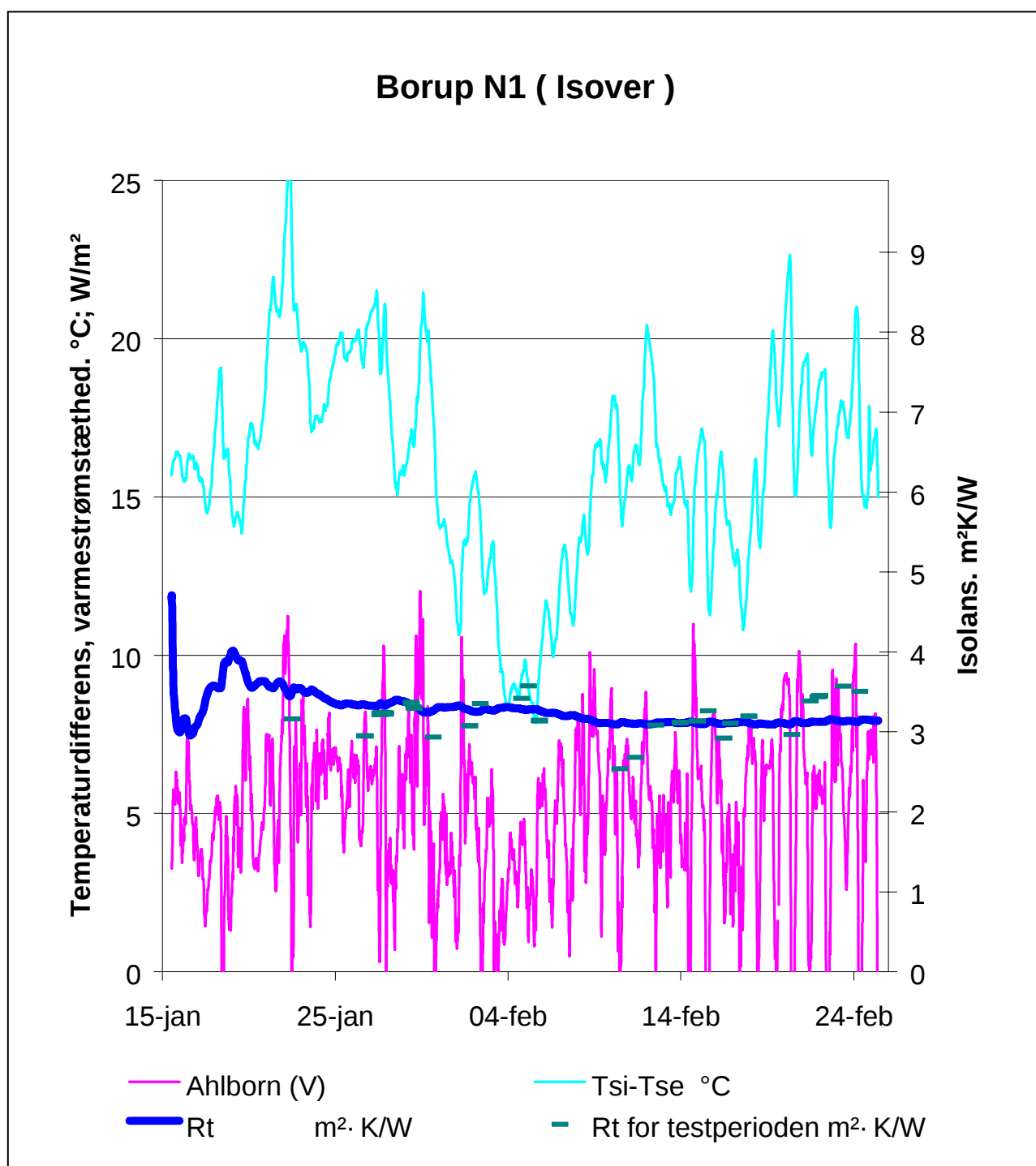
Køkken	Termografi (udført 10.03.04)
	<i>Rumtemperatur +21°C, udetemperatur 7°C, vind: 5 m/s</i>
Bemærkninger:	
<i>Koldt hjørne, isoleringsmåtter i loft aftegner sig på loftets inderside.</i>	



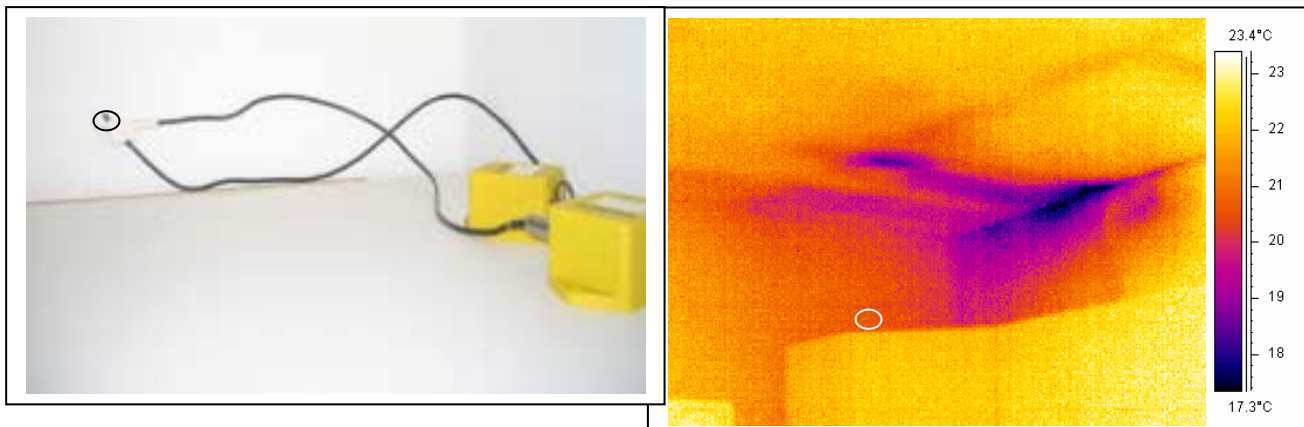
Udvendigt	Termografi (udført 27.04.04)
	<i>Rumtemperatur +21°C, udetemperatur 8°C, vind: 5 m/s SV</i>
Bemærkninger:	
<i>Årsagen til lille isolans kan være luftindtrængen i hulrum mellem udvendig beklædning og gipsplade, stammende fra dårligt isoleret loft. Luftspalte lukket for oven på grund af varmluft kommende fra oven (luftstrømme)</i>	



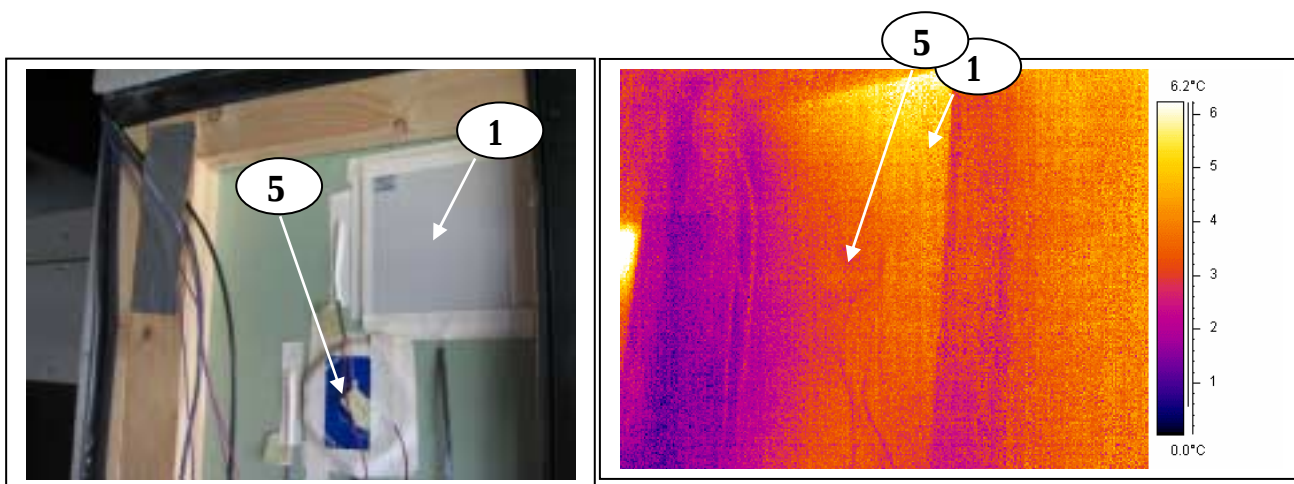
Isoleringsmateriale: <i>Mineraluldsmåtter</i>	Isolans måling	
Produkt navn: <i>Isover</i>	Målt periode er fra 15/1 2004 til 25/2 2004	
Varmestømsmålær: <i>Hukseflux 5</i>	Kalibreringsfactor f , W/(mV·m²)	20162
Resultat isolans: $R_t = 2,76 \text{ m}^2\text{K/W}$	R_t middel af målepunkter =	2,96 $\text{m}^2\text{K/W}$
Bemærkninger:		
Den 3-februar er det indvendige målepunkt flyttet helt til hjørne. Oprindeligt var placeringen 38 cm fra hjørne 5 cm over overskab og lufttemperaturen 1,2 cm fra væg.		



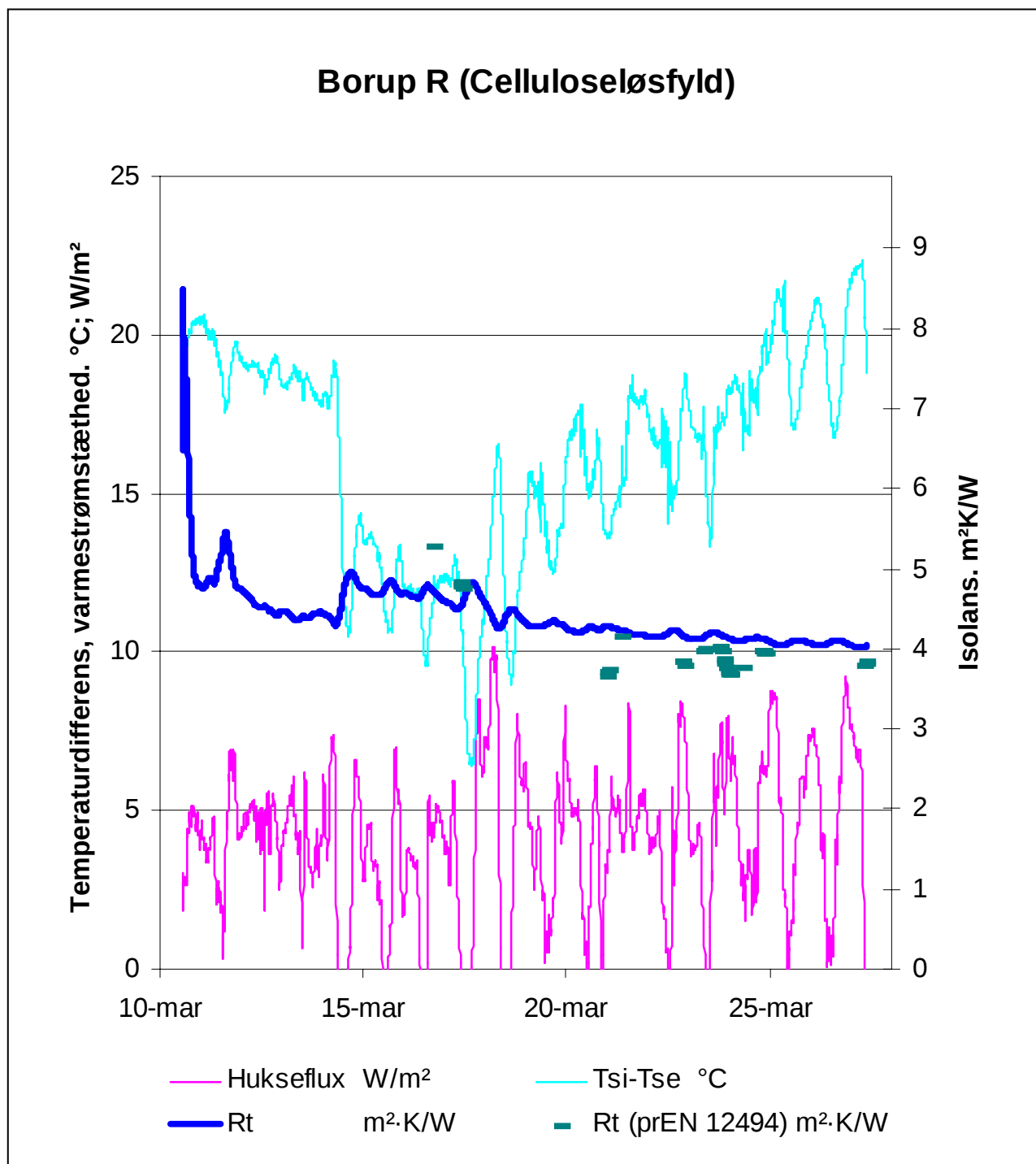
Isoleringsmateriale: <i>Mineraluldsmåtter</i>	Isolans måling		
Produkt navn: <i>Isover</i>	<i>Målt periode er fra 15/1 2004 til 25/2 2004</i>		
Varmestrømsmåler: <i>Ahlborn 1</i>	<i>Kalibreringsfactor f, W/(mV·m²)</i>	<i>10270</i>	
Resultat for isolans: <i>R_t = 3,24 m²K/W</i>	<i>R_t middel af målepunkter =</i>	<i>3,3</i>	<i>m²K/W</i>
Bemærkninger:			



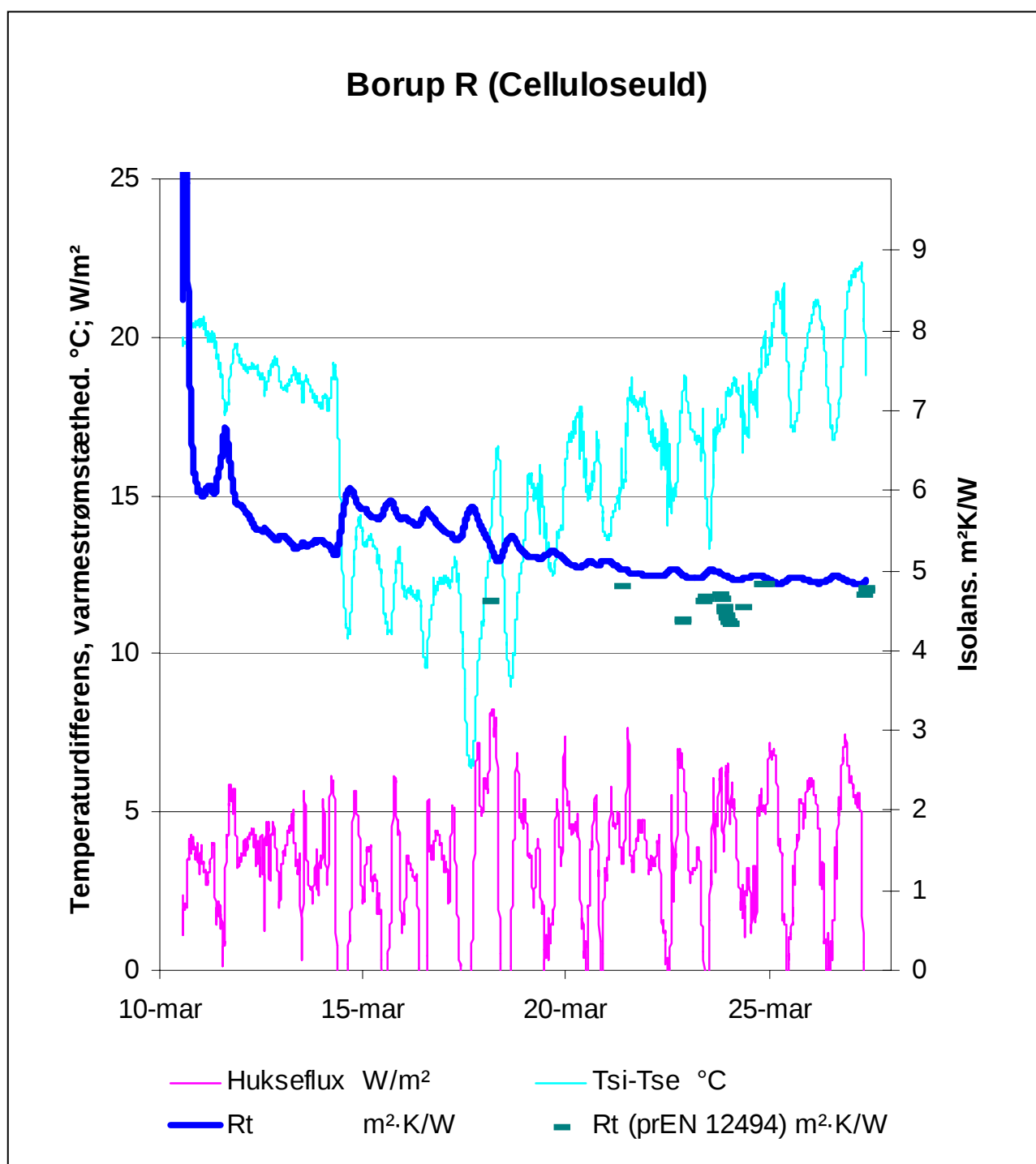
Køkken	Termografi (udført 25.02.04)
	<i>Rumtemperatur +21°C, udetemperatur 2°C.</i>
Bemærkninger:	
<i>Koldt område ved skillevæg og loft. Varmen til luft kan tænkes ført videre ud til felter imellem tag og væg udvendigt.</i>	



Udvendigt	Termografi (udført 25.02.04)
	<i>Rumtemperatur +21°C, udetemperatur 2°C.</i>
Bemærkninger:	
<i>Under den udvendige termografi målingerne, blev det afsløret at der kom varme ud fra felter ved overgang i mellem tag og væg . I det målte felt ses varme komme fra oven og til højre i billeder.</i>	



Isoleringsmateriale: <i>træfiberløsfyld</i>	Isolans måling	
Produkt navn: <i>Thermocell</i>	<i>Målt periode er fra 10/3 2004 til 27/3 2004</i>	
Varmestømsmålær: <i>Hukseflux A</i>	<i>Kalibreringsfactor f, $W/(mV \cdot m^2)$</i>	<i>19620</i>
Resultat isolans: $R_t = 4,15 \text{ } m^2K/W$	R_t middel af målepunkter =	4,08 m^2K/W
Bemærkninger:		
Varmestømsmålære af typen Hukseflux er anbragt 54 cm fra hjørne til kant af varmestømsmålær A. måler B og termotråde er anbragt til venstre for denne varmestømsmålære. De indvendige termotråde er anbragt over overskab i køkken 31 cm fra hjørne og 5 cm over overskab og 1 cm fra væg.		

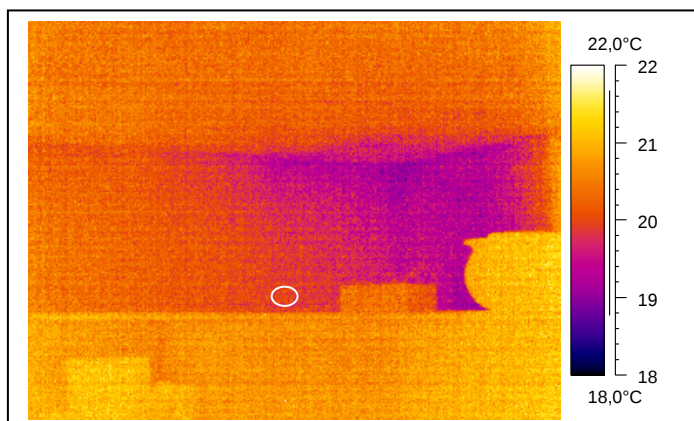
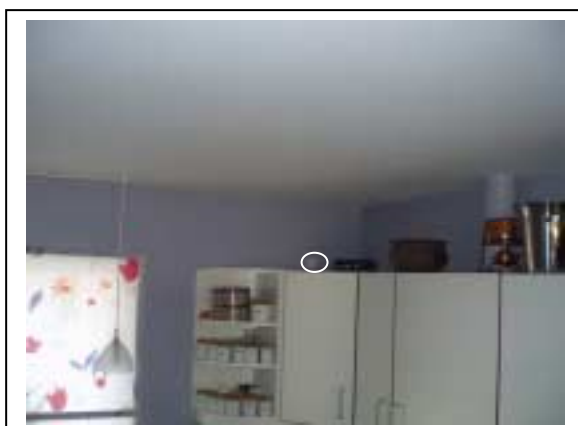


Isoleringsmateriale: <i>Træfiberløsfyld</i>	Isolans måling
Produkt navn: <i>Thermocell</i>	Målt periode er fra 10/3 2004 til 27/3 2004
Varmestrømsmåler: <i>Hukseflux B</i>	Kalibreringsfactor <i>f</i> , W/(mV·m ²) 19558
Resultat for isolans: $R_i = 4,98 \text{ m}^2\text{K/W}$	R_i middel af målepunkter = 4,69 m ² K/W
Bemærkninger:	

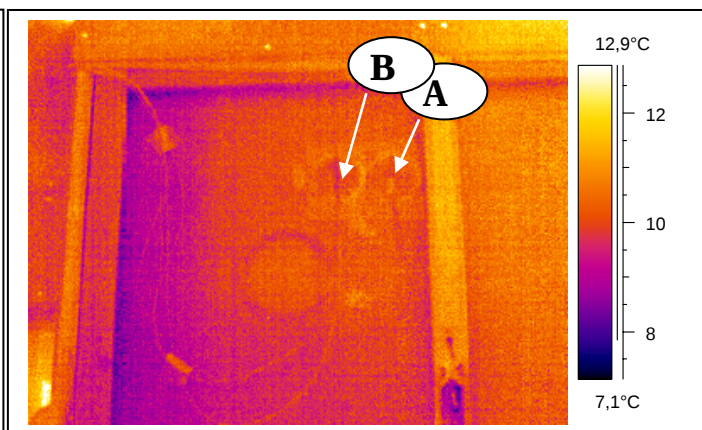
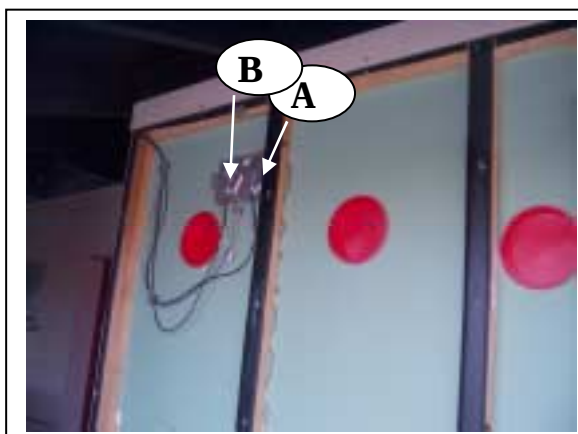
BILAG 1.5 DATABLAD BORUP, BOLIG NR. 13R

Økologisk byggeri

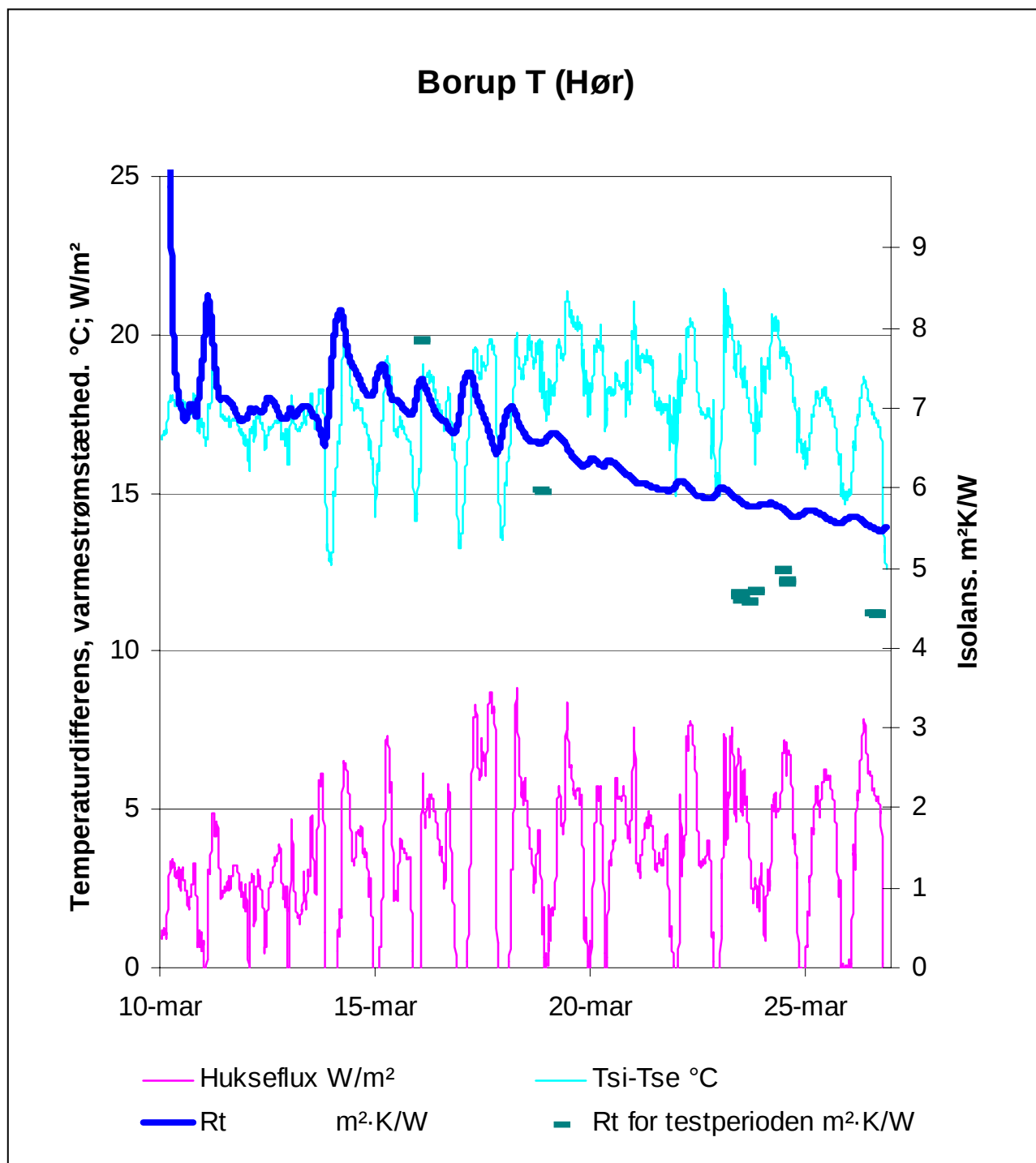
Borup , Bolig nr. 13R.



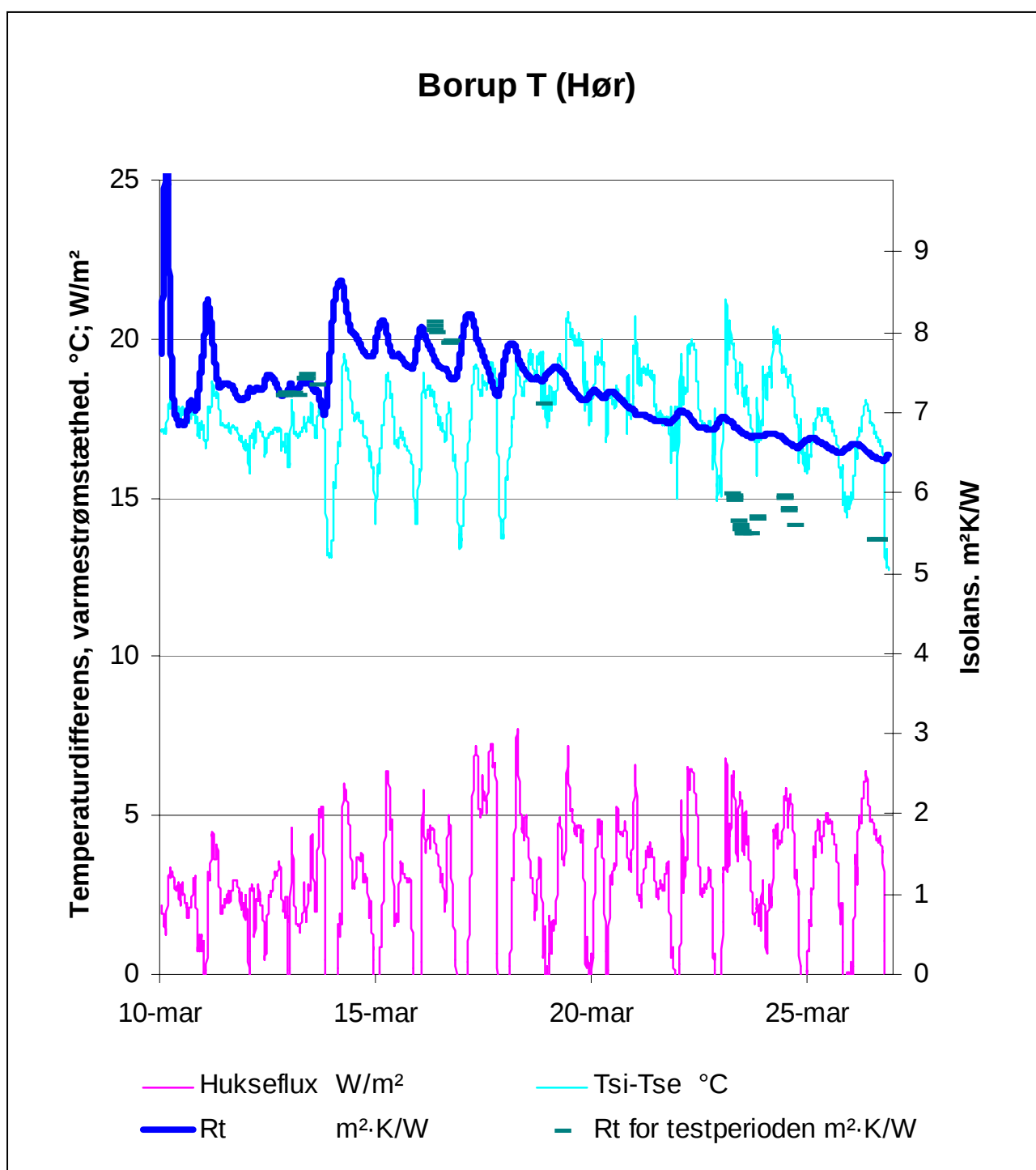
Køkken	Termografi (udført 27.04.04)
	<i>Rumtemperatur +21°C, udetemperatur 10°C, vind: 6 m/s</i>
Bemærkninger:	
<i>Koldt område ved ydervægshjørne. Følere er placeret i yderkanten af dette område.</i>	



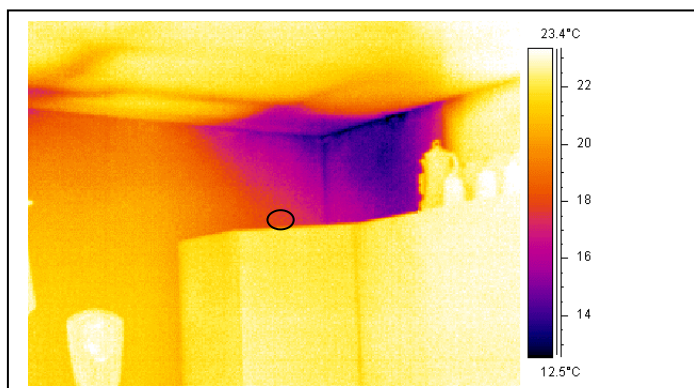
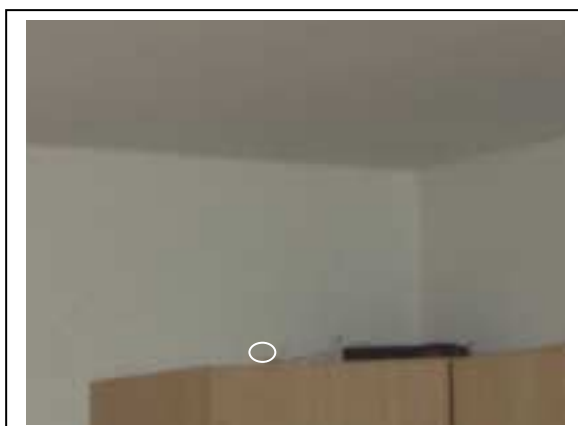
Udvendigt	Termografi (udført 27.04.04)
	<i>Rumtemperatur +21°C, udetemperatur 10°C, vind: 6 m/s</i>
Bemærkninger:	
<i>Årsagen til koldere område i venstre side af billede kan være at luftindtrængen i hulrum mellem udvendig beklædning og gipsplade, samt effekt af koldere overfladetemperaturer ved et udadgående hjørne.</i>	



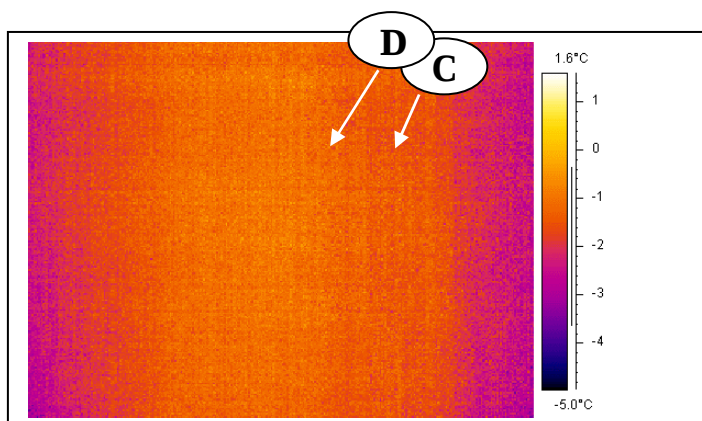
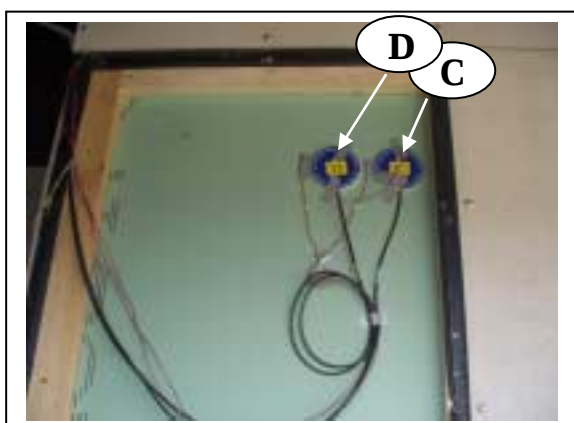
Isoleringsmateriale: <i>Hør måtter</i>	Isolans måling	
Produkt navn: <i>Heraflax</i>	Målt periode er fra 10/3 2004 til 27/3 2004	
Varmestromsmålør: <i>Hukseflux C</i>	Kalibreringsfactor f , W/(mV·m²)	18931
Resultat isolans: $R_t = 5,62 \text{ m}^2\text{K/W}$	R_t middel af målepunkter =	4,94 m²K/W
Bemærkninger:		
<i>Varmestromsmålør C var anbragt 54 cm fra hjørne til kant af varmestromsmålør. Termotråde og Varmestromsmålør D anbragt til venstre for denne. De indvendige termotråde er anbragt over overskab i køkken 29 cm fra hjørne og 5 cm over overskab. Forskellen på isolansværdierne skyldes at måleperioden ikke er helt så lang som den skulle være.</i>		



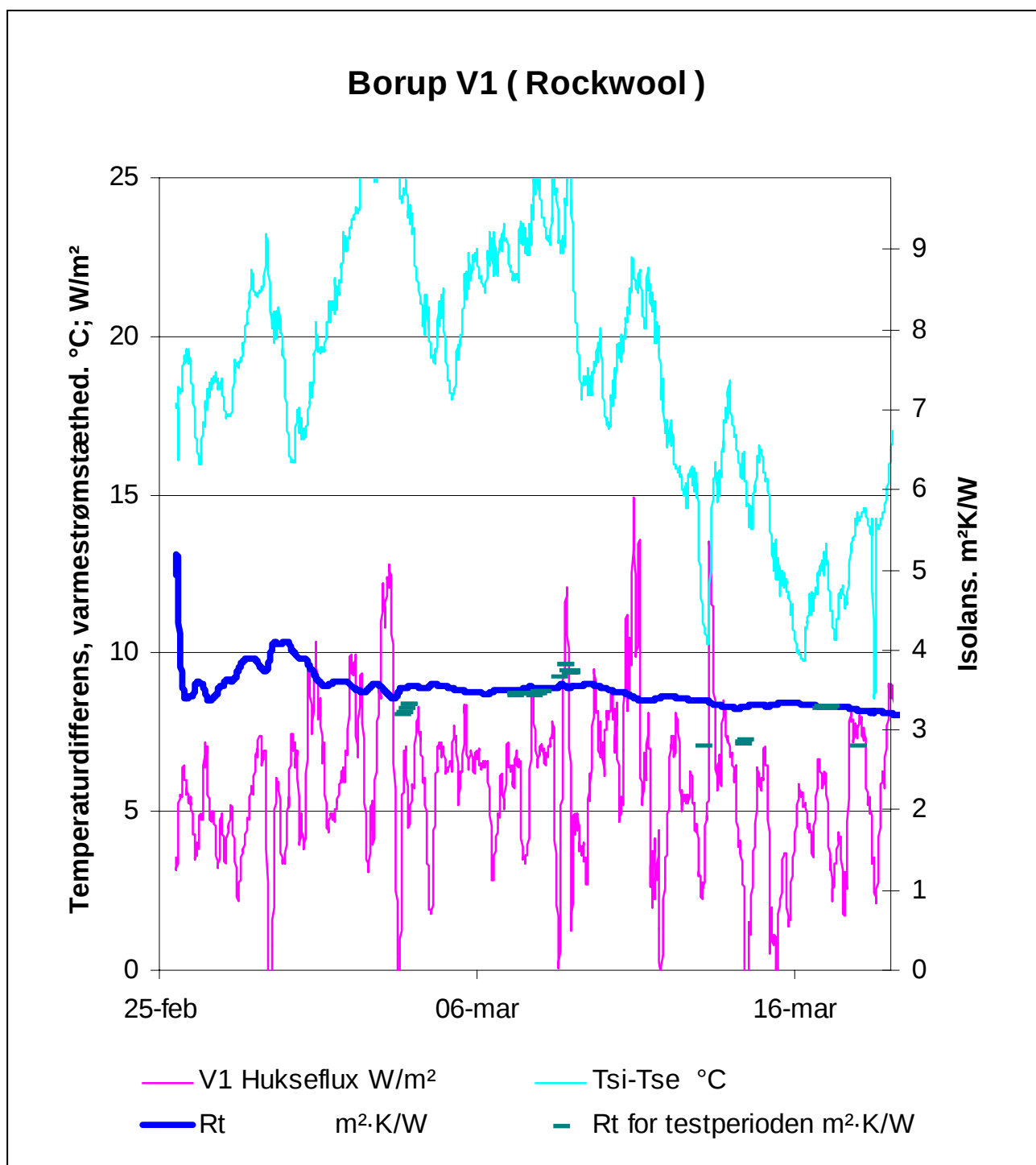
Isoleringsmateriale: <i>Hør måtter</i>	Isolans måling	
Produkt navn: <i>Heraflax</i>	Målt periode er fra 10/3 2004 til 27/3 2004	
Varmestrømsmåler: <i>Hukseflux D</i>	Kalibreringsfactor f , W/(mV·m²)	19682
Resultat for isolans: $R_t = 6,59 \text{ m}^2\text{K/W}$	R_t middel af målepunkter =	6,40 m²K/W
Bemærkninger:		
At D måler noget større værdier end C kan skyldes indflydelse fra skillelæg som fremgår kold på termovisionsmålingerne.		



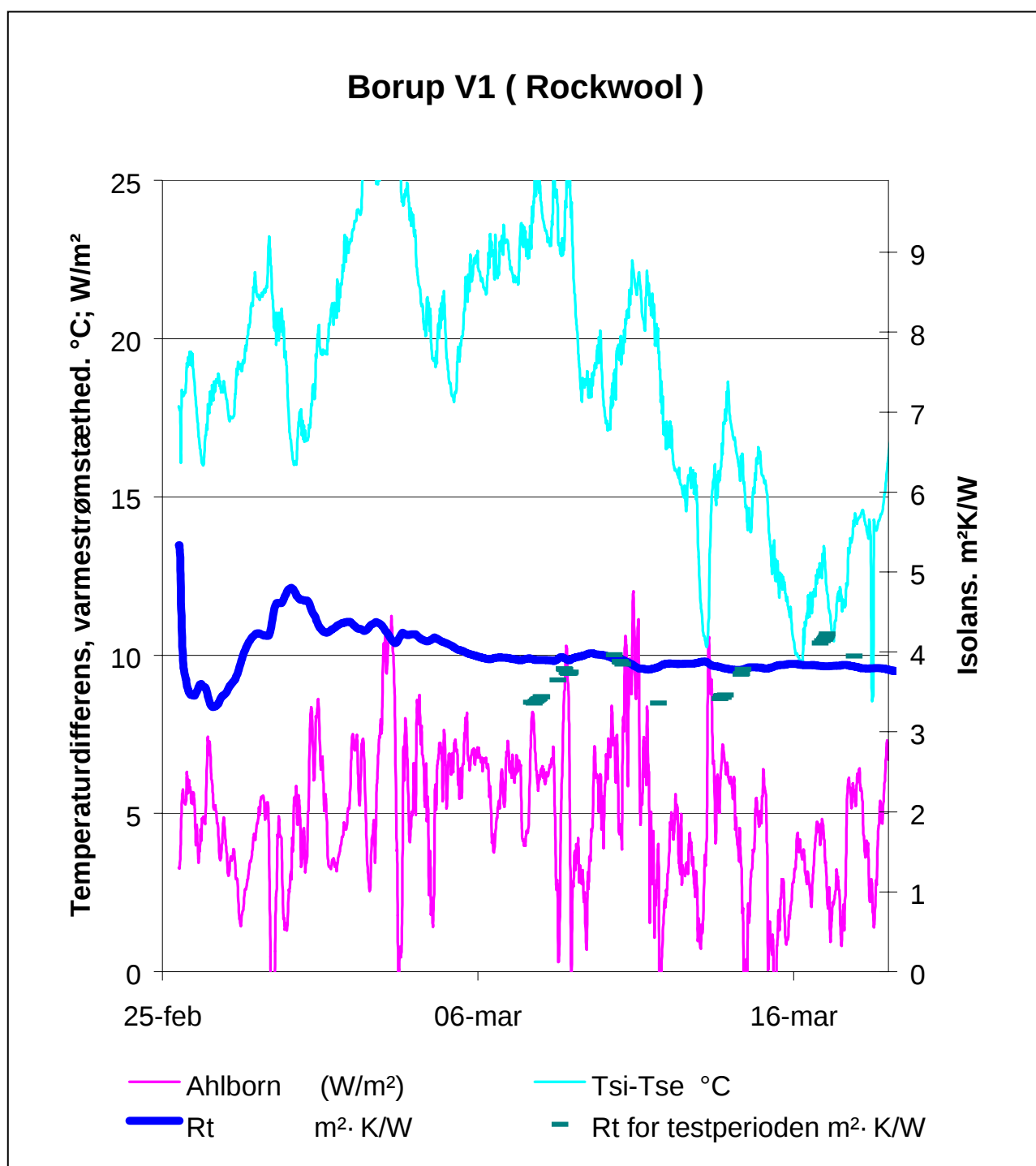
Køkken	Termografi (udført 10.03.04)
	<i>Rumtemperatur +21°C, udetemperatur 1°C, vind: 7 m/s NØ</i>
Bemærkninger:	
<i>Termovisionsmålingen viser kulde på skillevægen og aftegninger efter isoleringsmåtter i loft.</i>	



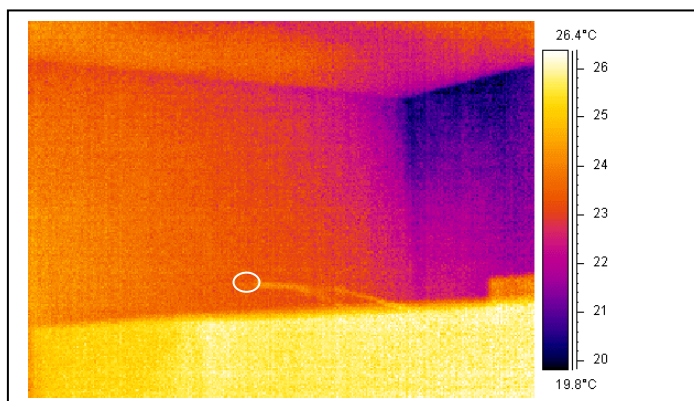
Udvendigt	Termografi (udført 10.03.04)
	<i>Rumtemperatur +21°C, udetemperatur 1°C, vind: 7 m/s NØ</i>
Bemærkninger:	
<i>Termovisionsmålingen viste jævn fordeling af temperaturer i målefeltet både den 10/3 og igen ved nedtagningen den 27/4.</i>	



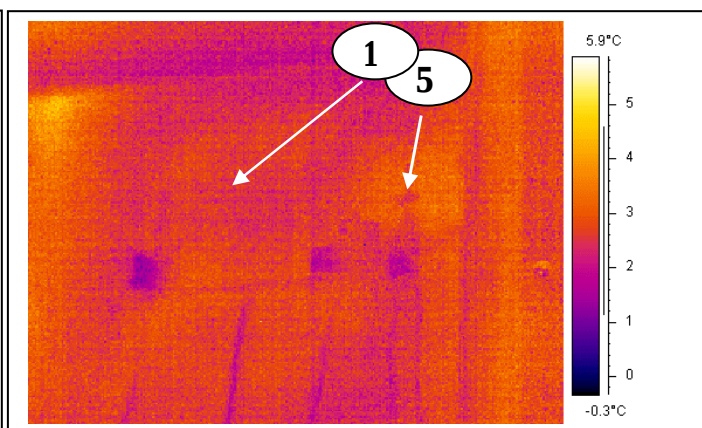
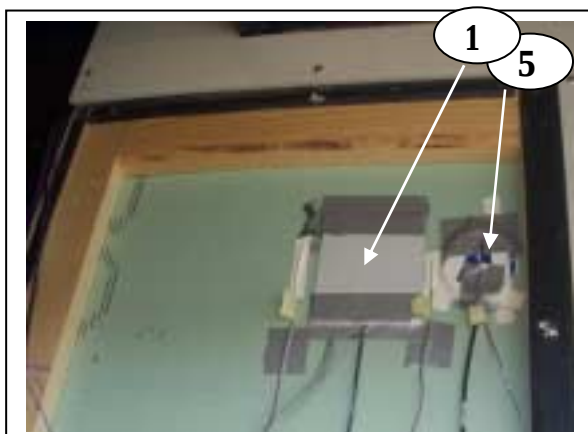
Isoleringsmateriale: <i>Mineraluld måtter</i>	Isolans måling	
Produkt navn: <i>Rockwool</i>	Målt periode er fra 25/2 2004 til 18/3 2004	
Varmestromsmål: <i>Hukseflux 5</i>	Kalibreringsfactor <i>f</i> , W/(mV·m ²)	20162
Resultat isolans: $R_t = 3,33 \text{ m}^2\text{K/W}$	R_t middel af målepunkter =	3,47 m ² K/W
Bemærkninger:		
De indvendige termotråde er anbragt over overskab i køkken 30,5 cm fra hjørne og 5 cm over overskab og 3 cm fra væg. Den udvendige placering af varmestromsmål Hukseflux (5) er anbragt fra center 58 cm fra hjørne, til højre for Ahlborn (1).		



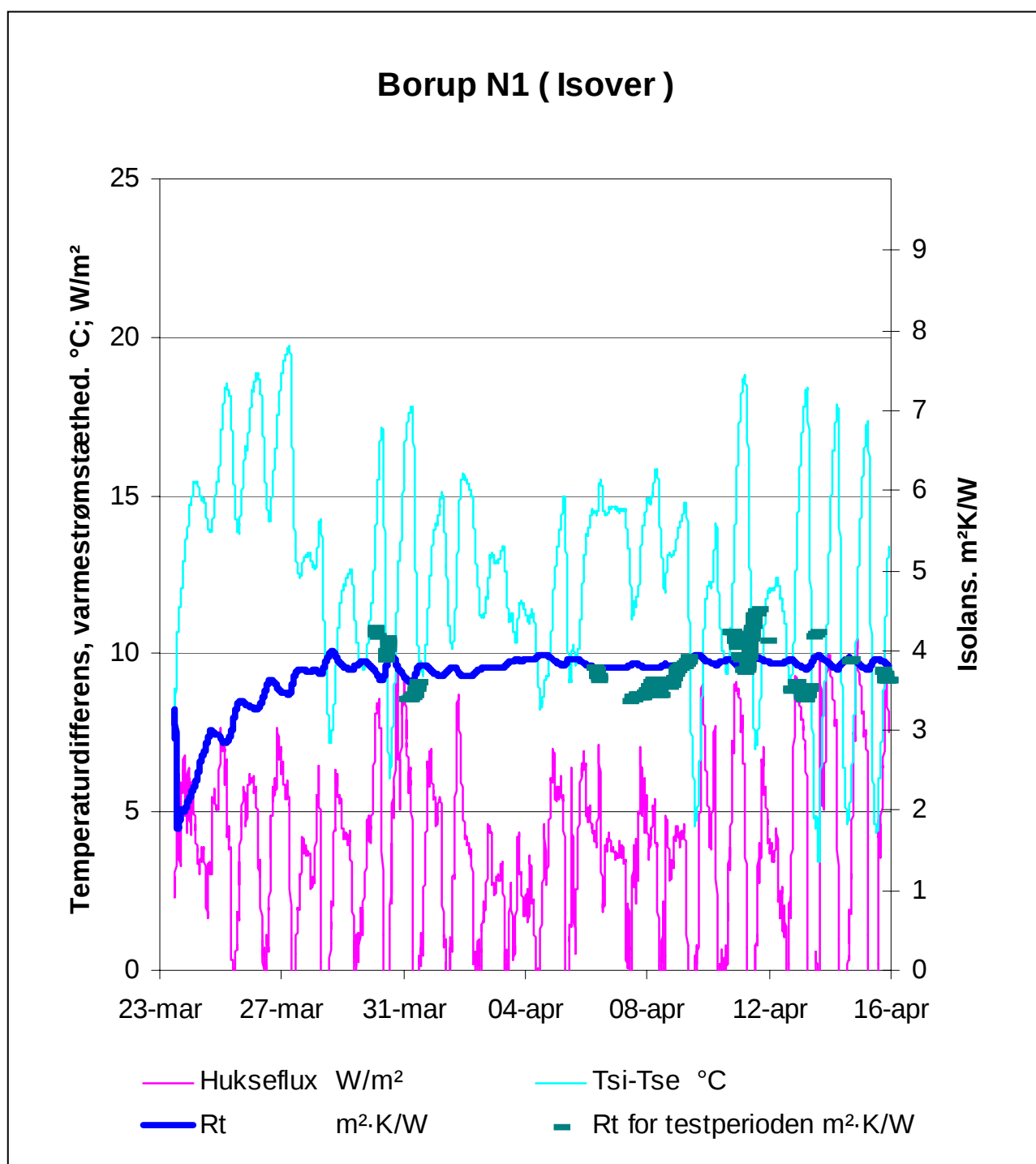
Isoleringsmateriale: <i>Mineraluld måtter</i>	Isolans måling	
Produkt navn: <i>Rockwool</i>	Målt periode er fra 25/2 2004 til 18/3 2004	
Varmestromsmålør: <i>Ahlborn 1</i>	Kalibreringsfactor <i>f</i> , W/(mV·m ²)	10270
Resultat for isolans: <i>R_i = 3,90 m²K/W</i>	R _i middel af målepunkter =	3,81 m ² K/W
Bemærkninger:		
Ved nedtagning den 18/3 var den indvendige føler faldet fra ved væggen. Varmeomgivelser fra kuldebroer imellem tag og væg kan resulterer i lave isolansværdier for væggen.		



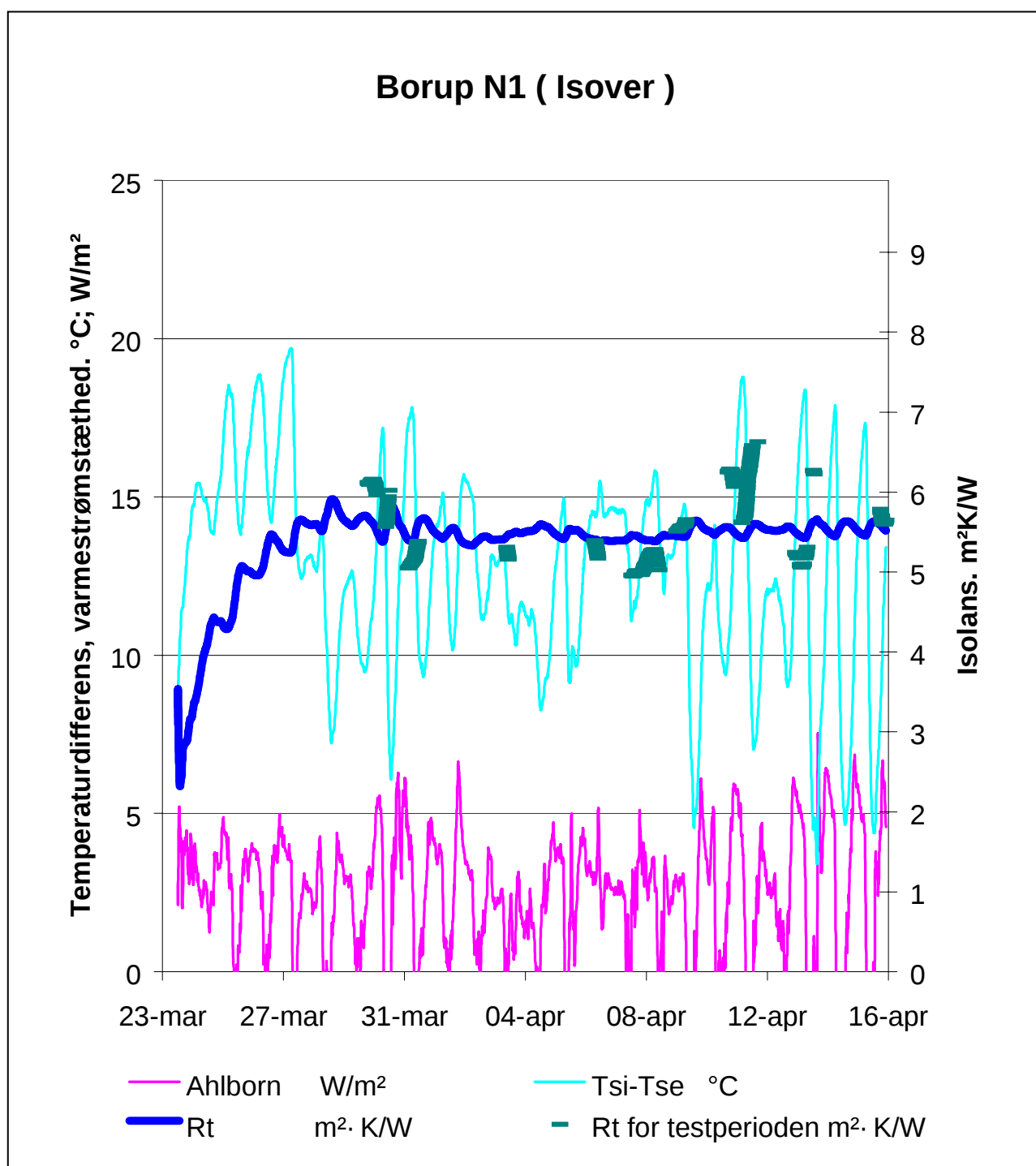
Køkken	Termografi (udført 25.02.04)
	Rumtemperatur +21°C, udetemperatur 3°C.
Bemærkninger:	
Termovisionsmålingerne viste nogle kolde områder på skildevæg og loft.	



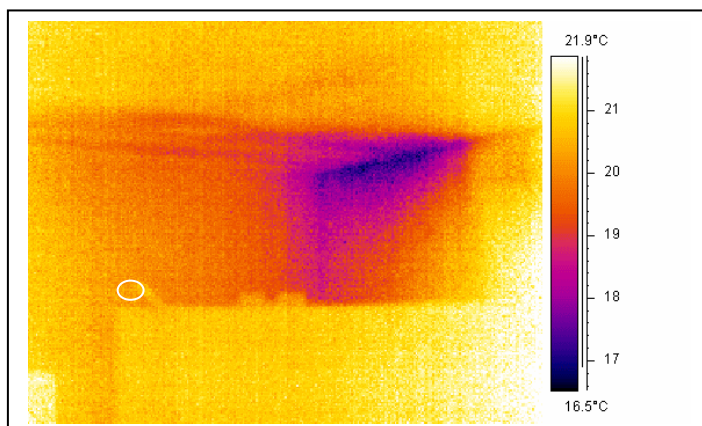
Udvendigt	Termografi (udført 25.02.04)
	Rumtemperatur +21°C, udetemperatur 3°C.
Bemærkninger:	
Termovisionsmålingerne viste nogle kolde områder imellem tag og væg, i målefeltet var fordelingen jævn, som det ses på billedet på nær et lille varmt område øverst til venstre.	



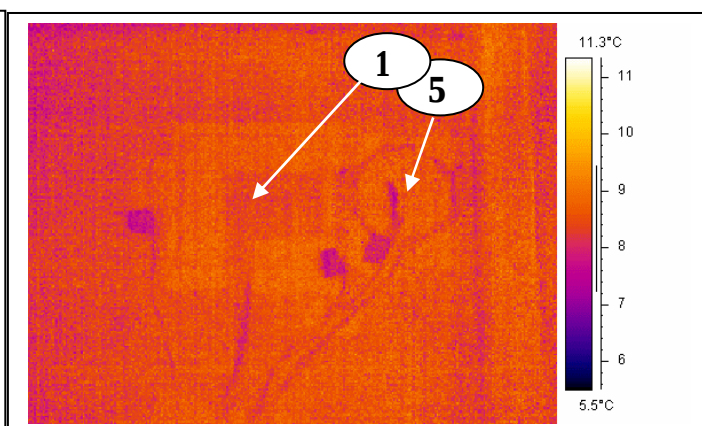
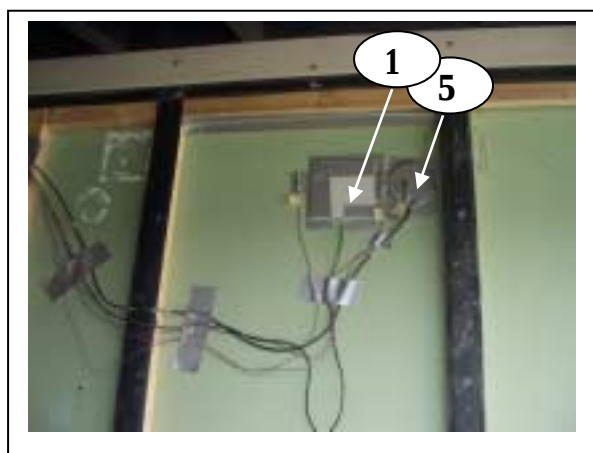
Isoleringsmateriale: <i>Mineraluldsmåtter</i>	Isolans måling	
Produkt navn: <i>Isover</i>	Målt periode er fra 23/3 2004 til 27/4 2004	
Varmestrømsmåler: <i>Hukseflux 5</i>	Kalibreringsfactor f , W/(mV·m ²)	20162
Resultat isolans: $R_t = 3,33 \text{ m}^2\text{K/W}$	R_t middel af målepunkter =	3,47 m ² K/W
Bemærkninger:		
Der er målt frem til den 27/4, men kun behandlet data frem til den 15/4, for at mindske data mængden. Benyttede man hele måleperioden ville resultatet ændre sig i nedadgående retning med ca. 1 %.		



Isoleringsmateriale: <i>Mineraluldsmåtter</i>	Isolans måling	
Produkt navn: <i>Isover</i>	Målt periode er fra 23/3 2004 til 27/4 2004	
Varmestromsmålør: <i>Ahlborn 1</i>	Kalibreringsfactor f , W/(mV·m²)	10270
Resultat for isolans: $R_t = 5,62 \text{ m}^2\text{K/W}$	R_t middel af målepunkter =	5,62 m²K/W
Bemærkninger:		
<i>De indvendige termotråde er anbragt over overskab i køkken 55 cm fra hjørne og 5 cm over overskab. Den udvendige placering af varmestromsmålør Hukseflux (5) er anbragt fra center 90 cm fra hjørne, til højre for Ahlborn (1).</i>		



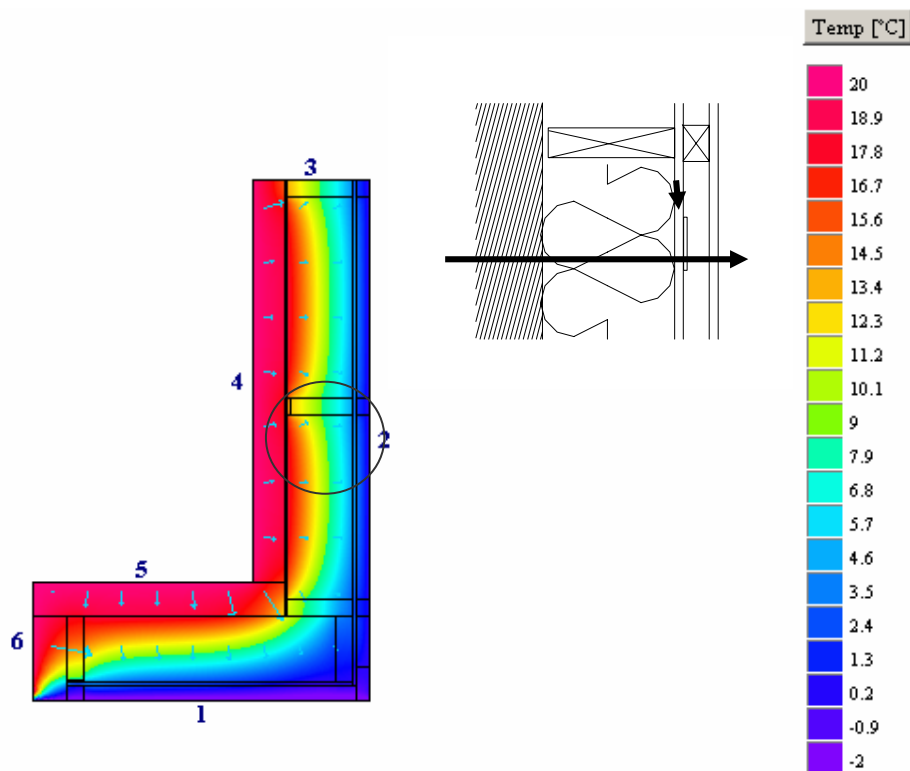
Køkken	Termografi (udført 27.04.04)
	<i>Rumtemperatur +21°C, udetemperatur 8°C.</i>
Bemærkninger:	
<i>Koldt område ved ydervægshjørne. Følere er placeret uden for dette område.</i>	



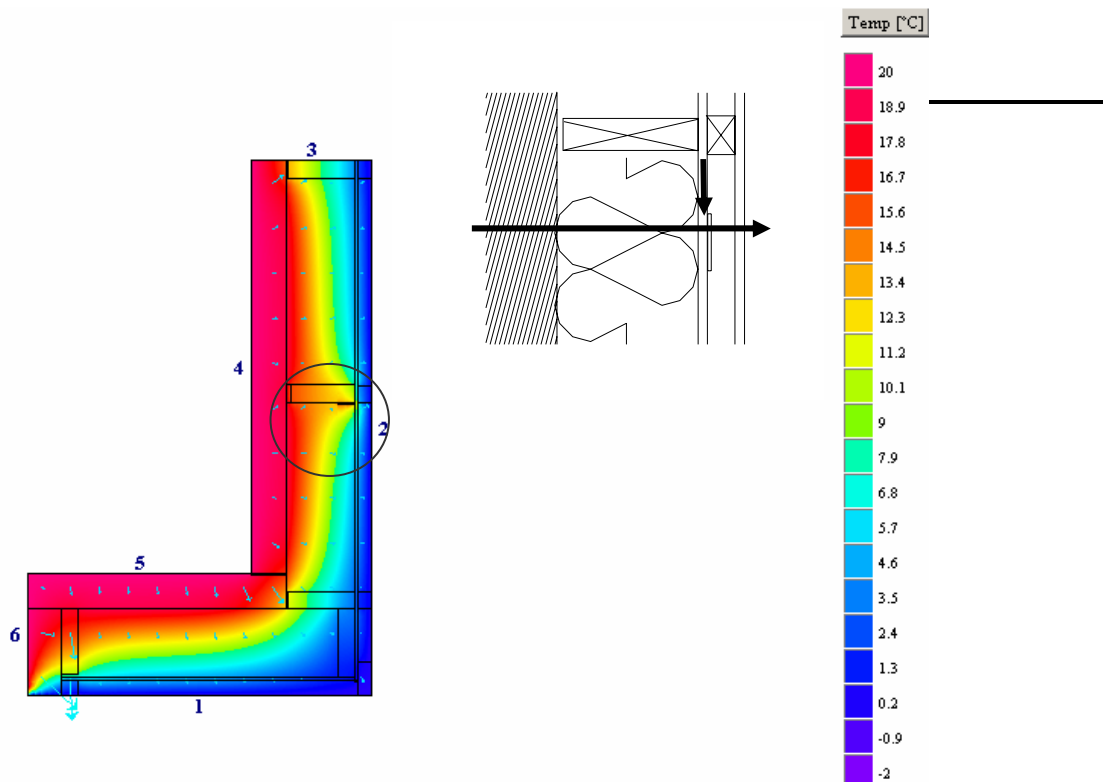
Udvendigt	Termografi (udført 27.04.04)
	<i>Rumtemperatur +21°C, udetemperatur 8°C.</i>
Bemærkninger:	
<i>I feltet til venstre kan stadig ses placeringen af første måleperiode for denne bolig. Termovisionsmålingerne er nu mere ensartet i temperatur svarende til at vi er længere væk fra hjørnet, og der ses ikke mere varme kommende ned fra oven.</i>	

APPENDIKS 1: VARMSTRØMSBEREGNINGER AF VÆGUDSNIT

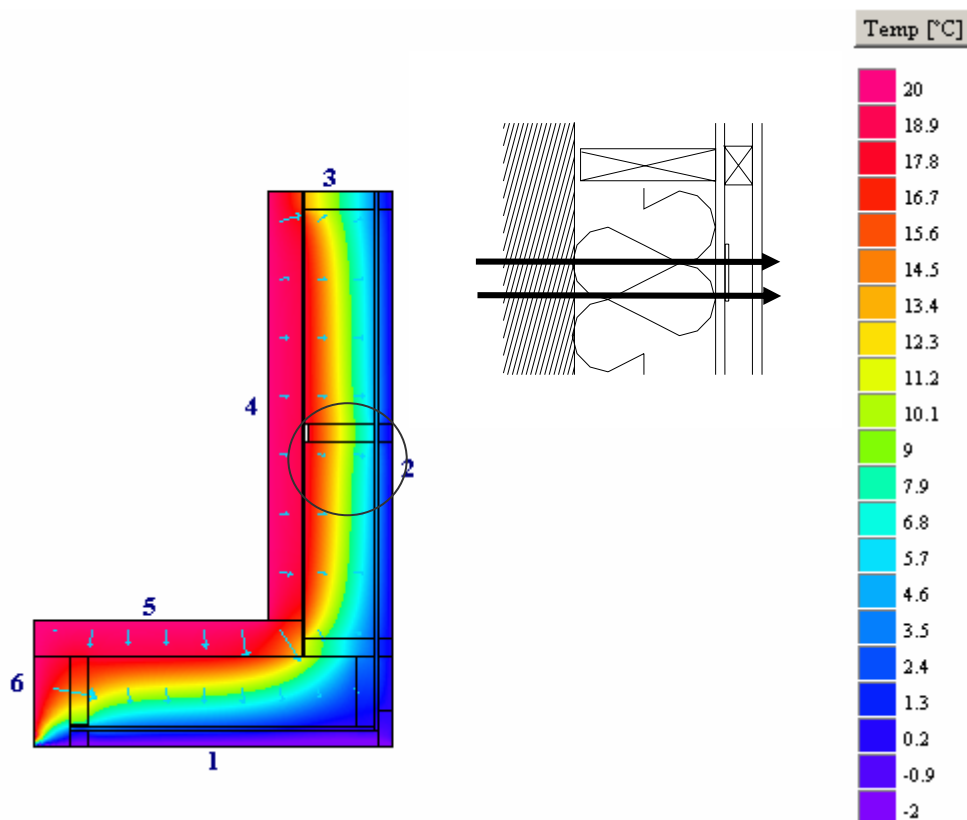
For at undersøge varmestrømsforhold omkring varmestrømsmålerne, i det vægudsnit de er placeret, er der udført termiske beregninger med beregningsprogrammet HEAT2. I beregningerne er der varieret på forhold omkring ventilerede luftlommer, som kan forekomme ved de lodrette stolper. Stolperne selv, udgør også en kuldebro som kan have indflydelse på varmestrømsmålerne. Der er også set på indflydelsen fra selve hjørnet mod indgangspartiet til boligen. Med HEAT2 [Thomas Blomberg, 2000] er der udført statiske to-dimensionale beregninger. Varmestrømmene som de er tolket ud fra beregningsresultaterne er angivet med pile på snitskitse af væg.



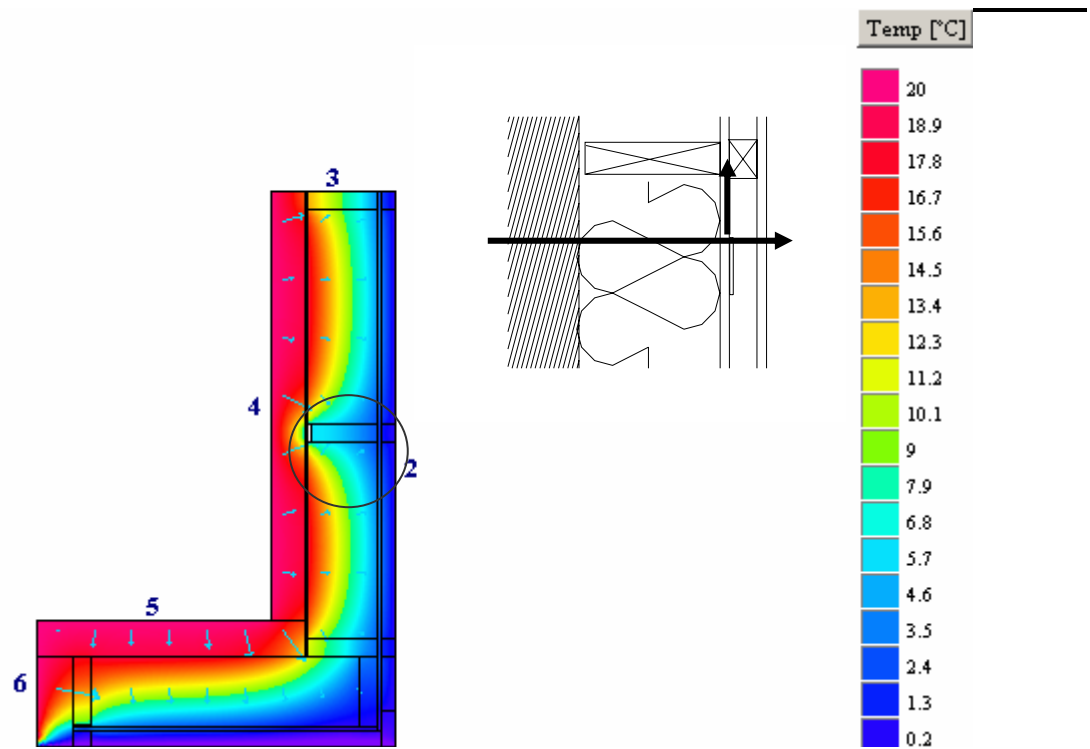
Figur A1.1: Konstruktionen er uden ventilerede luftlommer. Der forekommer varmetilførsel til måler, gennem kuldebro.



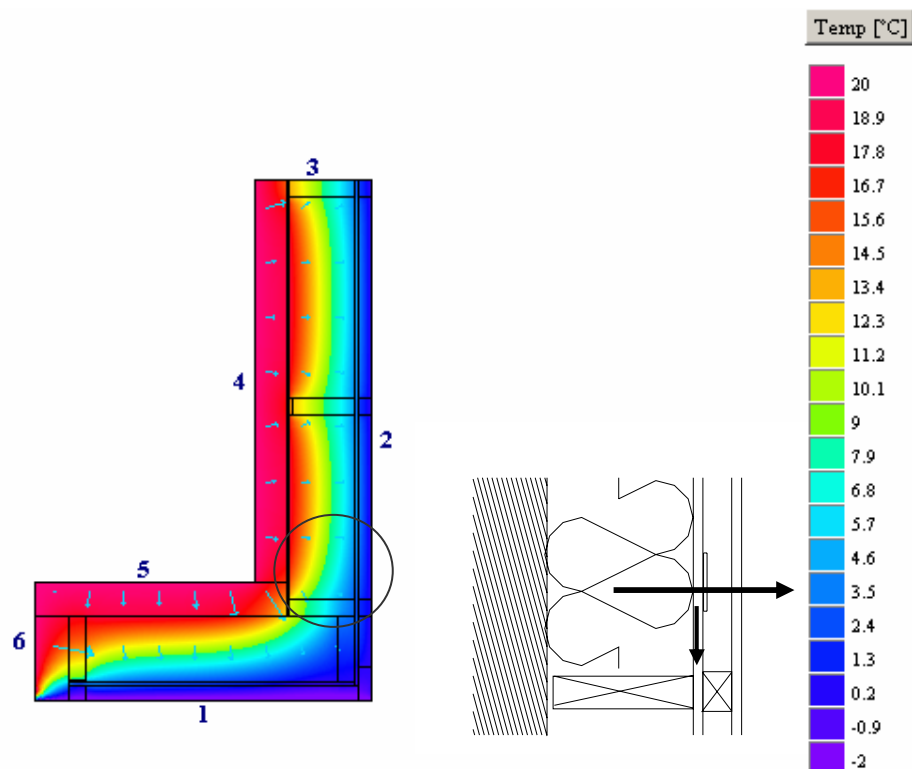
Figur A1.2: luftlomme på ydersiden af isolering, ved stolpe, er ventileret med varm luft fra loft. Der forekommer varmetilførsel til måler fra den varme luft.



Figur A1.3: Luftlomme imellem stolpe og letbetonelement er ventileret med varmluft. Der er små varmestrømme i væggen plan, ved måleren.



Figur A1.4: Loftflomme imellem stolpe og letbetonelement, er ventileret med kold luft. Varmen føres bort fra måler igennem kuldebroen.



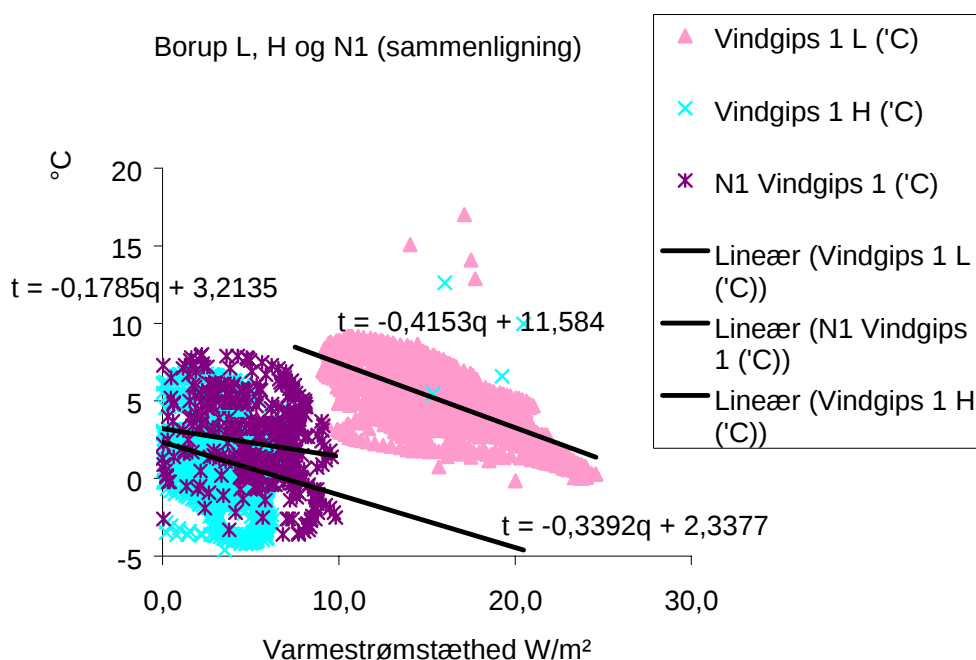
Figur A1.5: Konstruktionen er uden ventilerede luftlommer. Hjørnet, som er koldt fjerner varme fra varmestromsmåleren.

APPENDIKS 2: TEMPERATURER I LUFTSPALTEN, SAMMENLIGNING I MELLEM BOLIGER.

På grund af uheldige omstændigheder, er der gået temperaturdata tabt for målingerne foretaget i bolig T. Bolig T er isoleret med Heraflax, hør måtter. Bolig L er ligeledes isoleret med hør måtter, men her er isolansen målt til at være meget lav. For ikke helt at miste værdien af målingerne for bolig T er det blevet vurderet at usikkerhed på resultatet for denne bolig ikke bliver væsentligt forringet når vi gætter temperatur niveauet i luftspalten ud fra samtidige målinger i nærliggende boliger. Estimatet for temperatur niveauet er gjort afhængig af den målte varmestrøm gennem væggen, således at lave temperaturer i luftspalten medfører en stor varmestrøm. Denne afhængighed er sat til at være lineær efter følgende udtryk:

$$t_{\text{gips}} = a \cdot q - b,$$

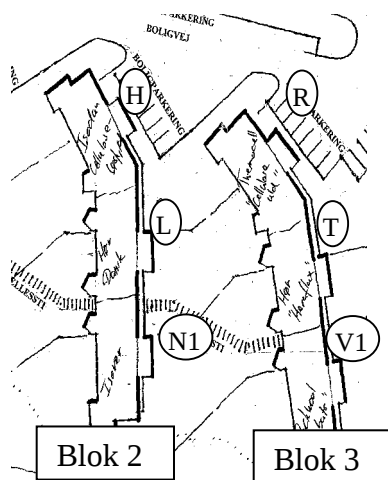
På Figur A2.1, er denne relation undersøgt for bolig H, L og N1. Udfra dette er "a" fastlagt til -0,4 og for b er der i Tabel A2.1 sat 2 værdier som danner et bånd som i måleperioden dækker øvre og nedre temperatur for bolig R, som med hensyn til lokalitets er nærmest bolig T. Bolig H, L og N1 er boliger i blokken ved siden af således at bolig L i Blok 2 svarer til bolig T i blok 3.



Figur A2.1 korrelationen imellem temperatur på gipsplade i ventilationsspalten og den målte varmestrømstæthed for bolig L, H og N1.

TABEL A2.1: LINEARITET KVOTIENTER FOR GIPS TEMPERATUREN I BOLIG T.

a	-0,4	-0,4
b	5,70	2,8

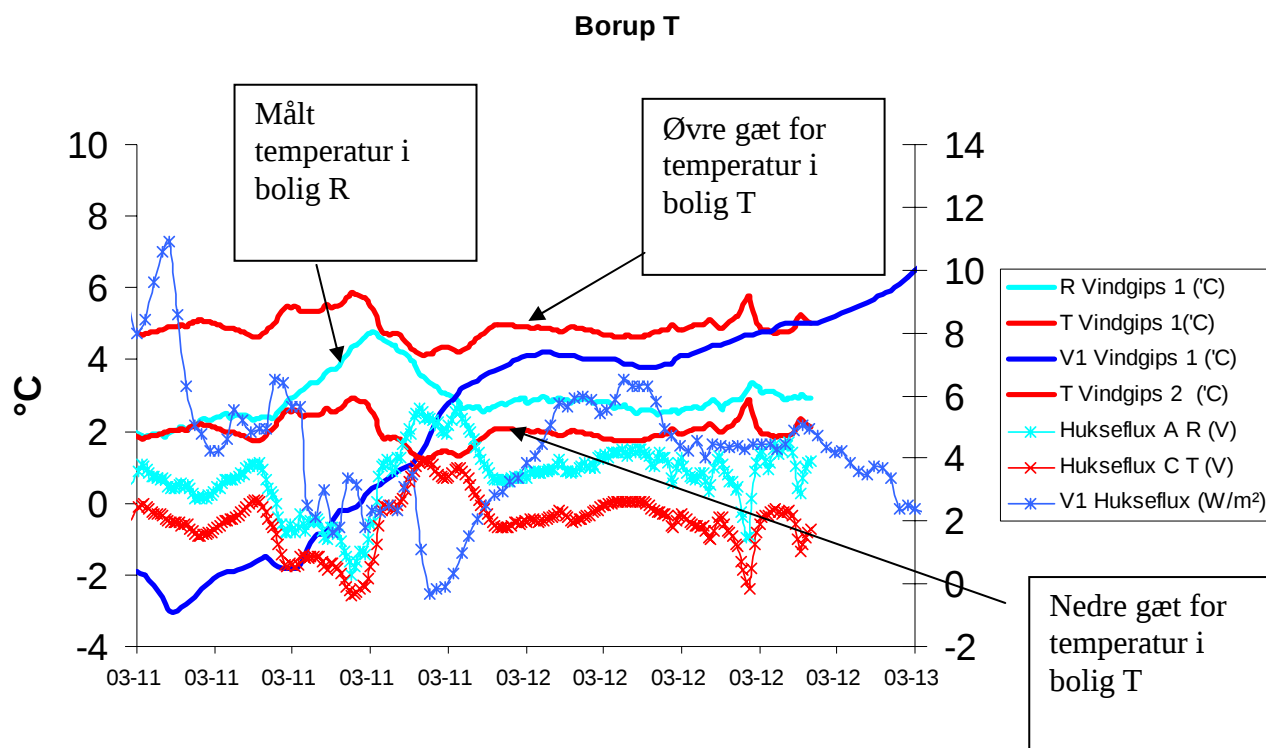


Bolig lokaliteterne i Borup Seniorby kan ses på Figur A2.2 for de to blokke 2 og 3.

Figur A2.3 viser temperaturer og varmestrømsstæthed for boligerne i blok3

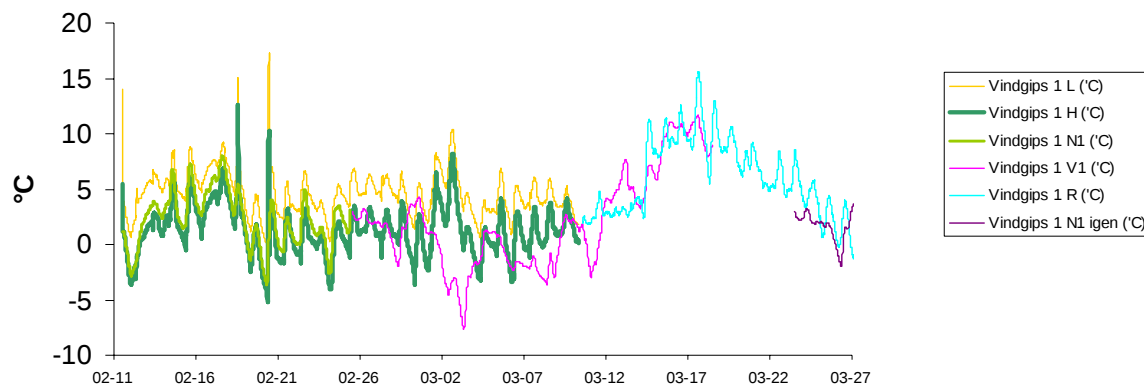
I Figur A2.4 ses de målte vindgipstemperaturer for boligerne. I analysen- og resultatbehandling benytter vi os af den lave Værdi for kvotient b for ikke at få urimeligt høje værdier for isolansen i bolig T.

Figur A2.2 blok 2 og blok 3 i Borup Seniorby.



Figur A2.3.: De estimerede temperatur data for bolig T sammen med temperatur og varmestrømsstæthed for bolig R og V1.

Borup: sammenligning af temperatur i luftspalter



Figur A2.4: sammenligning af temperatur i luftspalte imellem de enkelte boliger

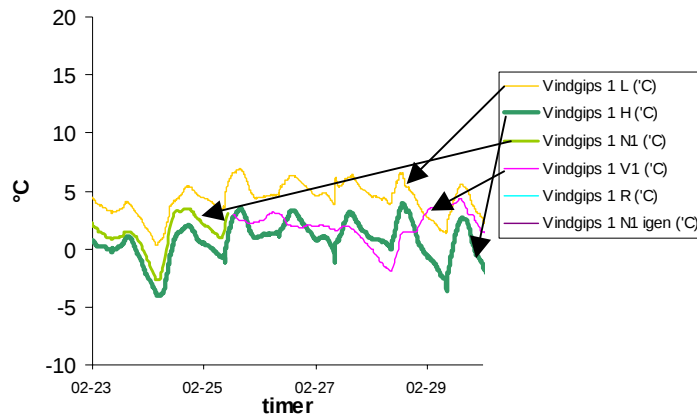
Temperaturen i luftspalten kan afhænge af boligplacering, men også af isoleringsevnen i vægen og meget lidt af den indvendige temperatur i køkkenet.

Bolig H, L og N1 er anbragt i boligblok 2.

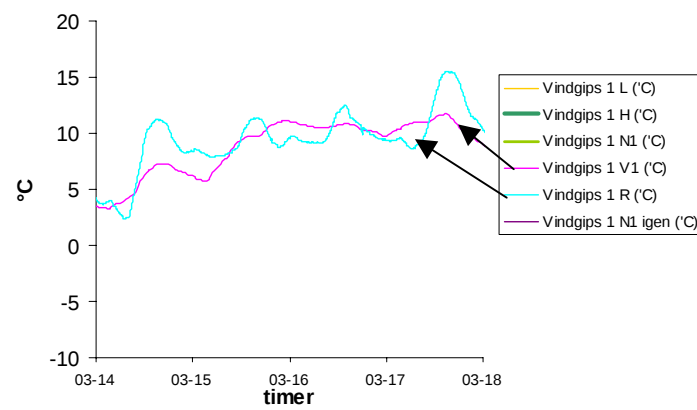
Bolig R, T og V1 er anbragt i boligblok 3

Nedenfor Figur A2.5 er vist 3 udsnit af grafen i Figur A2.4. Temperaturen i bolig H er tydeligt lavere end i bygning L, hvilket kan forklares med at bolig L har et større varmetab. Tilsvarende har bolig N1 en temperatur, som ligger imellem de to førstes. Bolig R har samme placering som bolig H, den vestlige ende af blok 2 og 3. Varmetabet i de to boliger er også af samme størrelses orden. Temperatur niveauet er det samme for disse to men følger ikke helt hinanden i udsvingene. V1 følger dårligt udsving, sammenlignet med R. Tilsvarende ses for N1 og R. Sammenlignes bolig H, L og N1, som ligger i blok 2, ses det at temperaturer for disse følger hinanden med de samme udsving. Antager vi at dette også gælder for boliger i blok 3, kan vi ud fra målinger i bolig V1 og R med hensyntagen til forskellige varmetab gennem vægen, estimere temperaturen for luftspalten i bolig T. Den termiske resistans som findes på dette grundlag er selvsagt mere usikker end hvis vi kunne have brugt målte data fra spalten i bolig T. Men på grund af de uheldige omstændigheder, at disse data er gået tabt, vil dette være et godt gæt på forholdene for bolig T og vigtigt for det samlede resultat af undersøgelsen, især fordi den anden bolig isoleret med hørmåtter viste meget lave værdier for isolansen.

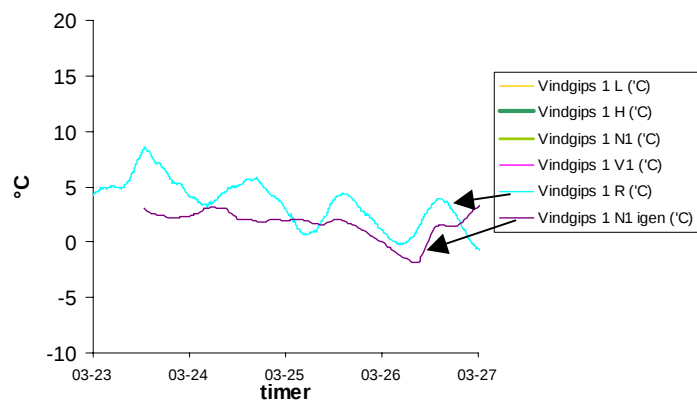
Borup: sammenligning af temperatur i luftspalter



Borup: sammenligning af temperatur i luftspalter



Borup: sammenligning af temperatur i luftspalter



Figur A2.5: Udsnit af grafen i figur A2.4

APPENDIKS 3: FORTOLKNINGER I EXCEL REGNEARK AF MIDDELVÆRDIMETODEN.

Med tidsintervaller imellem de målte data på 600 sek. svarer antallet af data til en periode på 24 timer til 144 rækker. Tilsvarende for målte data pr. 1800 sek. Er 24 timers perioden 48 rækker. I regnearket begynder datarækkerne med række 7. Række 8 er efter første tidsinterval, række 296 er efter en periode på 48 timer som er første periode, 2/3 af testperioden. For at have en fuld testperiode skal der være målte data til række 440. Forskellen imellem dette og datarækker med tidsintervaller på 1800 sek. Kan ses i Tabel A3.1.

TABEL A3.1: RÆKKE BETYDNING I EXCEL REGNEARK.

Rækkenummer	Tidsinterval 600 sek.	Tidsinterval 1800 sek.
Start række	7	7
1/3 testperiode	152	56
2/3 testperiode	296	104
hel testperiode	440	152

Fortolkningen af kriterierne i middelværdimetoden fra CEN normen prEN 12494 kan ses i Tabel A3.2. Når kriterierne i kolonne U, X og Y er opfyldt, har vi en målt værdi af den termiske resistans for testperioden. Værdien i kolonne S er den asymptotisk tilnærmende værdi for hele den målte periode.

TABEL A3.2: FORTOLKNING AF MIDDELVÆRDIMETODEN I EXCEL REGNEARK

Række 296	Kolonne	Indhold i Excel regneark
S	Rt	=SUM(R\$7:R296)/SUM(K\$7:K296)
T	Punkt afvigelse < 2%	=HVIS(ABS(S296-S152)/S152>0,02;0;1)
U	Periode afvigelse < 2%	=HVIS(ABS(SUM(S\$8:S\$296)-SUM(S8:S296))/SUM(S8:S296)>0,02;0;-1)
V	Energi gennem væg	=SUM(K152:K296)*B\$3
W	Ændring i estimeret energiindhold i væg	=B\$1*B\$2*((P296+M296)-(P152+M152))/2
X	Energiindhold i væg/Energi gennem væg	=HVIS(ABS(W296/V296)>0,02;0;-1,5)
Y	Rt for testperioden	=HVIS(ELLER(T296=0;U296=0;X296=0);0;SUM(R\$8:R296)/SUM(K\$8:K296))
Z		=HVIS(Y296>0;Y296)

Betydningen af henvisninger til celler og kolonner i Tabel A3.2 kan ses i Tabel A3.3 og A3.4.

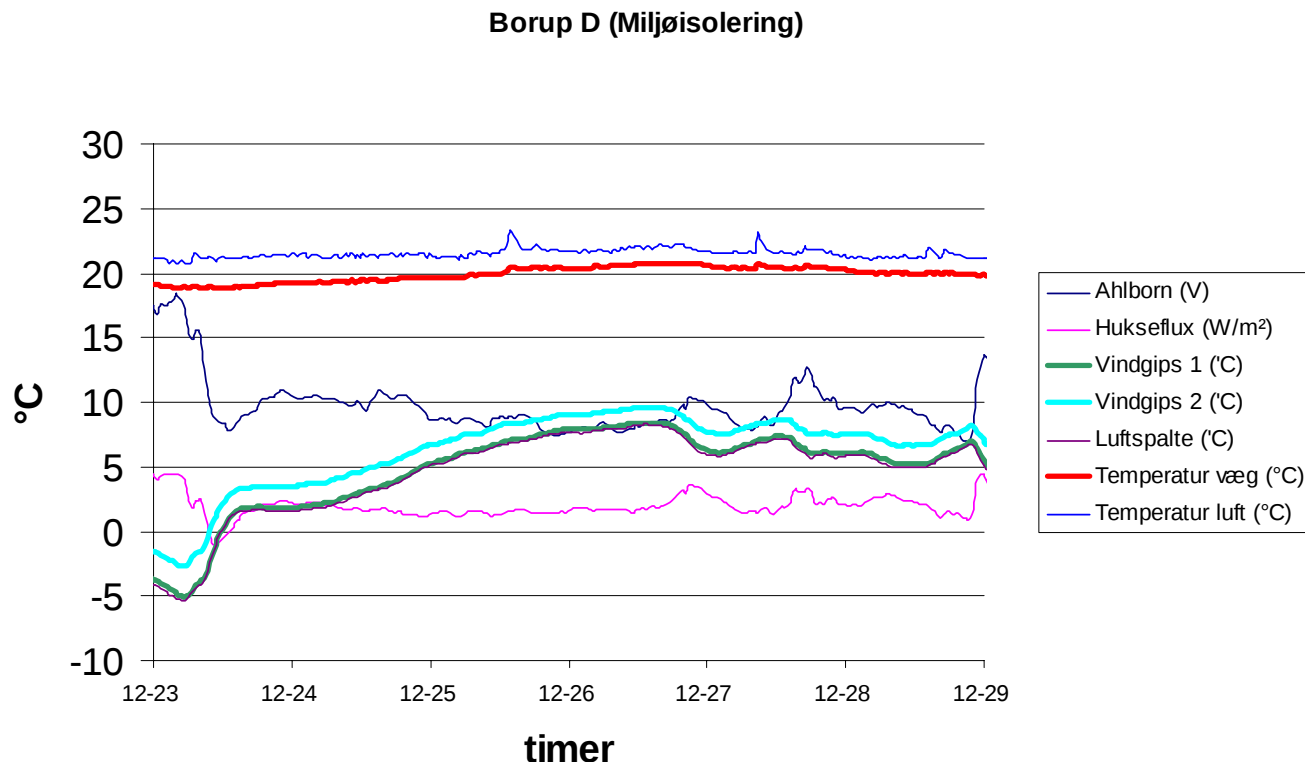
TABEL A3.3: CELLE B1,2 OG 3 ANGIVER EN KARAKTISERING AF VÆGGEN I BORUP EFTER TERMISK MASSE OG TERMISK KAPASITET OG ENDELIGT DET TIDSINTERVAL DER FOR MÅLINGERNE ER BENYTTET IMELLEM HVER GEMNING AF DATA.

Masse af væg ca.:	75	kg/m ²
Estimeret specifik varme	1200	J/ kg K
Tidsinterval	600	sek.

TABEL A3.4: KOLONNE K,M,P OG R. I KOLONNE K ANGIVER HUKSEFLUX VARMESTRØMSMÅLEREN DER ER BENYTTET, C ER DENS IDENTIFIKATION, T ER NUMMERET PÅ BOLIG. KOLONNE M ANGIVER TEMPERATUREN PÅ VINDGIPSEN I LUFTSPALTEN OG ENDELIG ANGIVER KOLONNE R TEMPERATURFORSKELLEN OVER VÆGGEN FRA FLADE TIL FLADE.

Kolonne K	Kolonne M	Kolonne P	Kolonne R
Hukseflux C T 0,9389313	T Vindgips 1(°C) 5,324427	Temperatur væg (°C) 22	Tsi-Tse 16,68

APPENDIKS 4: DELKONKLUSION FOR BOLIG 13D



Figur A4.1: Målte data fra bolig D fra 23/12 til 29/12

Termovisionsbillederne viste uregelmæssigheder i varmefordelingen i hjørnet se bilag 1.1.

Temperaturerne målt inde i køkkenet viser et fint grænselag ved væg med en stabil temperaturforskel mellem væg og lufttemperatur på knap 2°C se figur A4.1.

Ude i luftspalten er temperaturen i luft og temperaturen ved Hukseflux måleren anbragt øverst i feltet den samme. Dette viser at der er meget lille overgangsisolans og dette er i overensstemmelse med den kraftige nordlige vind som vil give maksimal afkøling udvendig.

Temperaturen ved Ahlborn måleren anbragt nederst i feltet er godt 1½°C større end temperaturen ved Hukseflux måleren. Dette er i overensstemmelse med den store varmestrøm gennem vægen i dette område hvilket også ses på termovisionsbilledet i bilag 1.1.

Målingerne stemmer derfor godt overens med vores forståelse for de fysiske forhold. Samlet betyder dette at den store forskel imellem de to målte værdier for isolans skyldes ringe fordeling af isoleringsmaterialet eller store kuldebroer. Hukseflux målingen med den høje værdi for isolans må siges at være den der er gældende for materialet ved optimal udførelse af monteringen i væg.

APPENDIKS 5: DATA-FIL OVERSIGHT, DATA LOGNING.

Bolig	Logger type	DatFiles	Export file	Excel file
D Miljøiso.	1205		borupd001.#00	
	1601	BORD.DAT	BORD001.L01 BORD001.L02	samlet d.xls samlet d 2.xls
H Isodan	1205	borup h.D12	borup h001.#00	
	1601	boruph1003.D12 borup k+h1802.D16	boruph1003001.#00 boruph1003002.#00 borup k+h1802001.#00	samlet H.xls samlet H 2.xls
L Hør Dansk	1205	bor_l_1003.D12	bor_l_1003001.#00	
	1601	borup k+h1802.D16 borup l.D12 borupx(2.D16	bor_l_1003002.#00 borup L001.#00 borup k+h1802001.#00	samlet L.xls samlet L 2.xls
N1 Isover	1601	borupn1250204.dat	borupn1250204001.#00	
	Gemini	borup n1 luft1802.ttd	N1LUFT1.TXT	samlet n1.xls
	Tinytag	borup n1 væg1802.ttd	N1LUFT2.TXT	samlet n1 2.xls
		borup n1 luft2502.ttd	N1VÅG1.TXT	
		borup n1 væg2502.ttd	N1VÅG2.TXT N1VÅG3.TXT	
R Thermocell	1205	borupr+t300304.D16	borupr001.#00	samlet R.xls
	1601	borupr.D12	borupr002.#00 borupr003.#00 borup r+t001.#00	samlet R-2.xls
T Heraflax	1205	borupr+t300304.D16	borup r+t001.#00	samlet T.xls
	1601			samlet T2.xls
V1 Rockwool	1601	borup v1.dat	V1LUFT.TXT	
	Gemini	v1 luft255103.ttd	V1VÅG.TXT	samlet v1.xls
	Tinytag	v1 væg2551.ttd	borup v1001.#00 borup v1002.#00	samlet v1 2.xls
N1Isover	1601	borupn1(.D16	N1LUF2.TXT	
	Gemini	n1(2)luf.ttd	N1VÅG2.TXT	samlet n1(IGEN).xls
	Tinytag	n1(2)væg.ttd	borupn1(2)001.#00	samlet n1 2 (IGEN).xls

TABEL A5.1: OPSÆTNING AF DATALOGGER FOR MÅLING PÅ VÆGGENS UDVENDIGE SIDE I LUFTSPALTE.

Description	Sensor Type	Engineering Units	Log Method	Block	Connection
1 Ahlborn	Voltage - Differential : -0,025 to 0,025 V	-0,025000 to 0,025000 V	Rate: A (00:00:05) Count: 360 Mode: Average	A	2(+ve) to 3(-ve)
2 Hukseflux	Voltage - Differential : -0,025 to 0,025 V	-0,025000 to 0,025000 V	Rate: A (00:00:05) Count: 360 Mode: Average	A	4(+ve) to 5(-ve)
3 Channel 3	Not Set	Not Set	Not Set	A	
4 Vindgips 1	T Thermocouple - Differential : -270 to 400 °C	-270,00 to 400,00 °C	Rate: A (00:00:05) Count: 360 Mode: Average	B	2(+ve) to 3(-ve)
5 Vindgips 2	T Thermocouple - Differential : -270 to 400 °C	-270,00 to 400,00 °C	Rate: A (00:00:05) Count: 360 Mode: Average	B	4(+ve) to 5(-ve)
6 Channel 6	Not Set	Not Set	Not Set	B	
7 Luftspalte	T Thermocouple - Differential : -270 to 400 °C	-270,00 to 400,00 °C	Rate: A (00:00:05) Count: 360 Mode: Average	C	2(+ve) to 3(-ve)
8 Udhus	T Thermocouple - Differential : -270 to 400 °C	-270,00 to 400,00 °C	Rate: A (00:00:05) Count: 360 Mode: Average	C	4(+ve) to 5(-ve)

