



Varmeisoleringsevne af strå- tækning

6 in situ målinger i testhus og 12 laboratorie-
målinger på udtagne prøveemner fra gamle tage



Titel:
Varmeisoleringsevne af stråttækning

6 in situ målinger i testhus og 12 laboratoriemålinger på udtagne prøver fra gamle tage

Rekvirent:
Stråttægets Kontor
Att.: Direktør Jørgen Kaarup
Store Torv 9
8000 Aarhus C

Udarbejdet af:
Teknologisk Institut
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C
Tlf. 7220 2000
Byggeri og Anlæg
Glas og Vinduer
Bent Lund Nielsen

Kvalitetssikring:
Sagsansvarlig: Bent Lund Nielsen, tlf. 7220 1147, btl@teknologisk.dk
Godkendt af: Lars Thomsen Nielsen, tlf. 7220 1116, ltn@teknologisk.dk

Opgave nr.: 0108/664103
Version nr.: 03
Dato: 1. februar 2020

(I version 03 af denne rapport er der medtaget korrektioner af tagfladens (Sepatec-delen) og væggenes opbygning - efter oplysninger fra tækkemand Ruud Conijn som var med til at udføre tækkearbejdet på prøvehuset, jf. billede B1a).

Resultater af Instituttets opgaveløsning beskrevet i denne rapport, herunder fx vurderinger, analyser og udbedringsforslag, må kun anvendes eller gengives i sin helhed, og må alene anvendes i denne sag. Instituttets navn eller logo eller medarbejderens navn må ikke bruges i markedsføringsøjemed, medmindre der foreligger en forudgående, skriftlig tilladelse hertil fra Teknologisk Institut, Direktionsekretariatet.

DEL 1: In situ målinger

Beskrivelse af prøvehus

De udførte in situ målinger er foretaget i 6 punkter i et til formålet opført testhus, se billede B1a og B1b, opstillet ved Den Jyske Håndværkerskole i Hadsten.



B1a: tækning af testhus



B1b: færdigt testhus

I den skrå tagflade som vender mod nord er der etableret 4 prøvelfelter TA1, TA,2 og TB1, TB,2:

Prøvefelt TA er udført med 28 cm strå direkte på et pladeunderlag (2 målinger).

Prøvefelt TB er udført med 28 cm strå med Sepatec på lægter (2 målinger). I prøvelfelter TB blev monteret en krydsfinerplade bag på lægterne og langs prøvelfeltets afgrænsninger blev alle hulrum udstoppet med mineraluld.

I væggen under den skrå tagflade er etableret 2 prøvelfelter VA og VB:

Prøvefelt VA er udført med 32 cm strå direkte på et pladeunderlag (2 målinger)

Prøvefelt VB er udført med 32 cm strå direkte på et pladeunderlag (2 målinger)

Begge prøvelfelter på væg er placeret tæt på væggens afslutning mod gulv dvs i en kantzone.

Billede B2-B4 viser prøvelfelterne set indefra med monteret måleudstyr.



B2: Prøvefelt TA2 set indefra



B3: Prøvefelt TB2 set indefra



B4: Billede af prøvelfelter VA og VB på vægflade (dataloggere på testhusets gulv).

Måleudstyr

Der er anvendt dataloggere (type ALMEMO 2690), termoelementer (type K) og varmestrømsmålere (type FQ) fra fa. Ahlborn se billede B4 og B5. Dataloggerne opsamler måleværdierne fra de tilsluttede sensorer, så de senere kan overføres og behandles på en computer. Termoelementerne er ca. 1mm tykke ledninger med 2 ledere, som er loddet sammen i den ende hvor temperaturen måles. Varmestrømsmålerne er ca. 1,5 mm tykke kunststofplader, og består af et målefelt og et randfelt. I målefeltet er der en stor mængde termoelementer som registrerer temperaturforskellen mellem kunststofpladens indvendige og udvendige overflade, og som udsender en spændingsforskel proportional med varmestrømmen gennem måleren.

Målemetode/målemetodik

Målemetoden er beskrevet i DS/ISO 9869-1 fra 2014. Det anbefales heri, at der for lette konstruktioner kun anvendes måledata fra 1 time efter solnedgang til solopgang. Vi har her valgt i stedet at vende testfladerne mod nord, således at direkte solbestråling undgås.

Der blev monteret termoelementer udvendigt til de yderst liggende strå (fastholdt med strips) i testfelter TA og TB, og ledningerne blev ført gennem åbninger i gavlvæggene til dataloggerne. På de indvendige vægoverflader i testfelterne blev der monteret varmestrømsmålere med kunststofftape i pladens randfelt og umiddelbart ved siden af varmestrømsmåleren et termoelement med alutape samt malertape.

Måleudstyret har været anvendt til flere opgaver i laboratoriets Hotbox, og er i den forbindelse blevet kalibreret til måling på testemner med varierende isolans. Til denne opgave valgtes at kontrollere kalibreringen ved at foretage en kontrolmåling på en referenceplade med kendt isolans i TI's udstyr til U-værdimåling iht. EN 675, se billede B5.



B5: Kontrol af varmestrømsmålere

Erfaringer med laboratoriemålinger med anvendelse af varmestrømsmålere til U-værdibestemmelse viser, at usikkerheden på resultaterne er max. 0-5 % i EN 675 udstyret (hvor kold og varm temperatur er konstant, og hvor der ikke er luftstrømning ved varmestrømsmålerens overflade) og 5-10 % ved anvendelse i Hotboxen, hvor der er en kontrolleret luftstrømning ved overfladerne. Ved in situ målinger generelt, hvor især udetemperaturen varierer, og hvor der er konvektive luftstrømninger ved overfladen af varmestrømsmåleren, anfører ISO 9869-1 en usikkerhed for veludførte målinger på 14-28%.

Behandling af måledata

Iht. middelværdi-metoden i ISO 9869-1 kan varmeledningsevnen af testemnet findes ved at dividere middelværdien af de målte varmestrømme med middelværdien af de målte temperaturdifferencer. Hvis man som valgt i denne opgave anvender overfladetemperaturer findes U-værdien ved at beregne isolansen R, addere en normeret værdi for overgangsisolanser (0,17 m²K/W) og invertere. Isolansen findes af udtrykket

$$R = \frac{\sum_{j=1}^n (T_{sij} - T_{sej})}{\sum_{j=1}^n q_j}$$

Hvor tælleren er temperaturdifferencer og nævneren varmestrømme.

Når man beregner ovenstående estimat efter hver registreret måleværdi, vil man normalt observere en konvergens mod en asymptotisk værdi, som er tæt på den virkelige U-værdi, hvis den interne energi (samme temperatur) og fugtfordeling i testemnet er den samme i begyndelsen og slutningen af måleperioden. Dette anses at være gældende for lette konstruktioner, når der over en 72 timers måleperiode opnås start- og slutværdier som afviger mindre end 5%.

Det aktuelle testemne – stråttækning - vil kunne have variationer i fugtindholdet i en måleperiode. Ved præpareringen af testemner til laboratoriemålinger (se billeder i bilag 1) var det imidlertid tydeligt, at fugten fra regnvand kun påvirkede de yderste 2-3 cm af tagdækningen.

Måleresultater in situ målinger

Målingerne er foretaget over 2 vintersæsoner 2016/17 og 2017/2018. Efter 1. sæson viste det sig, at testhuset ikke var tilstrækkeligt lufttæt til at indetemperaturen kunne holdes nogenlunde konstant, hvorfor der inden 2. sæson blev monteret en indvendig plastfolie med tapede samlinger. Det viste sig endvidere, at testhuset helst skulle være opvarmet i ca. 14 dage inden montage af varmestromsmålernes for at undgå fugtbetingede krumninger af varmestromsmålernes. Til opvarmning af testhuset i sæson 2 blev der endvidere anvendt en bedre olie-radiator med en bedre ventilator indbygget (medførte bedre luftcirkulation og mere konstante temperaturer, men større turbulens på varmestromsregistreringerne). I det følgende er vist figurer med grafer over udvalgte måledata fra de 2 måleperioder. I alle figurer er anvendt flg. farver på graferne:

Rød linje: indetemperatur °C (Tsi)

Blå linje: udetemperatur °C (Tse)

Sort linie: (Tsi -Tse) °C

Mørkegrøn linje: $1/R$ W/m²K (svarer til U-værdien – men uden overgangsisolanser) – Channel 0.12 eller 90.91 . U-værdien angives normalt med tillæg af overgangsisolanser 0,17 m²K/W til R værdien (overgangsisolanser er isolerings-evnen af stillestående luftlag ved den indvendige og den udvendige overflade)

Lysegrøn linje: varmestrøm W/m²

Lilla linje: løbende middel -U-værdi W/m²K (formel side 7)

Den betragtede måleperiode er mellem left cursor (rød lodret linje) og Right cursor (blå lodret linje).

$\lambda_{strå}$ bestemmes ud fra den generelle U-værdi formel:

$U = 1 / (0,17 + \sum d/\lambda)$ hvor d er lagtykkelsen og λ varmeledningsevnen for hvert lag i konstruktionen.

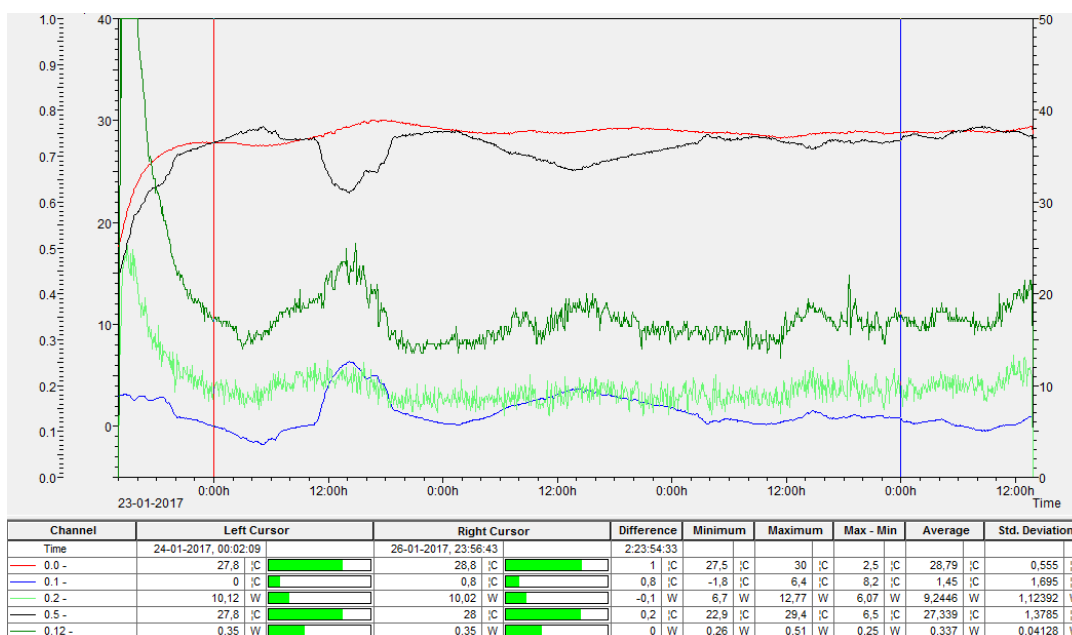


Fig 1 TA1 23-01-17 til 27-01-17 (plade), måling nr. TA1

Ved den allerførste måleperiode var indetemperaturen stillet lidt højt, men udeklimaet havde næsten konstant udetemperatur. Beregning af U-værdi: $U=1/[1/(0,337) + 0,17]=0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Beregning af lambda-værdi for 28 cm strå (krydsfinerpladens isolans sættes til $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ og fratrækkes): $\lambda_{\text{strå}} = 0,28/(1/0,32 - 0,13 - 0,17) = 0,099 \text{ W/mK}$

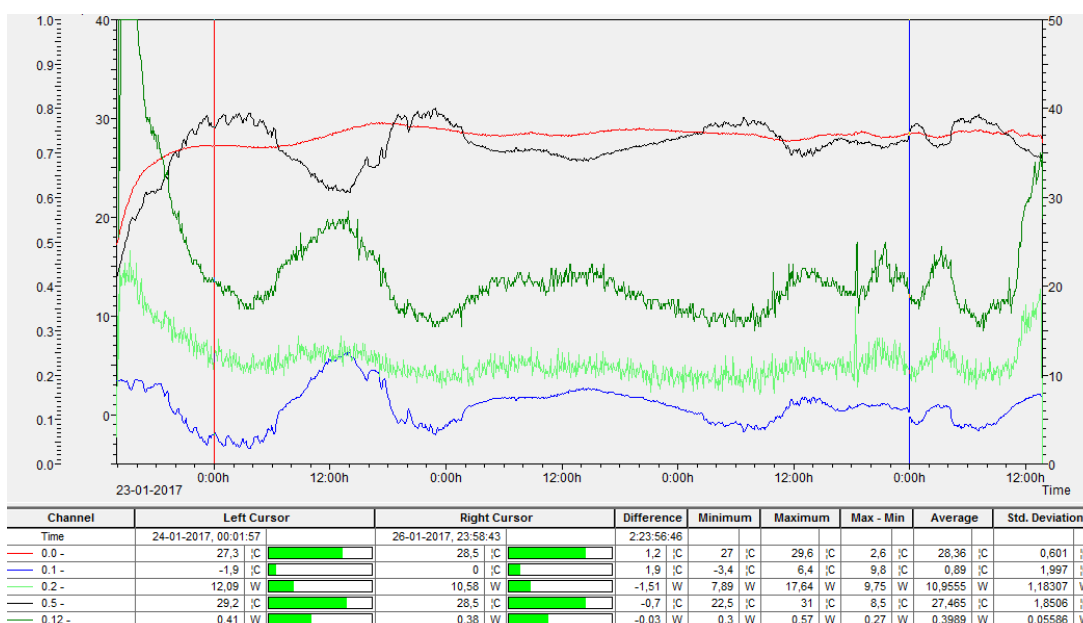


Fig 2 TB1 23-01-17 til 27-01-17 (Sepatec), måling nr. TB1

Ved den allerførste måleperiode var indetemperaturen stillet lidt højt, men udeklimaet havde næsten konstant udetemperatur. Beregning af U-værdi: $U=1/[1/(0,3989) + 0,17]=0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Beregning af lambda-værdi for 28 cm strå (krydsfinerpladens isolans sættes til $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ og fratrækkes): $\lambda_{\text{strå}} = 0,28/(1/0,37 - 0,13 - 0,17) = 0,117 \text{ W/mK}$

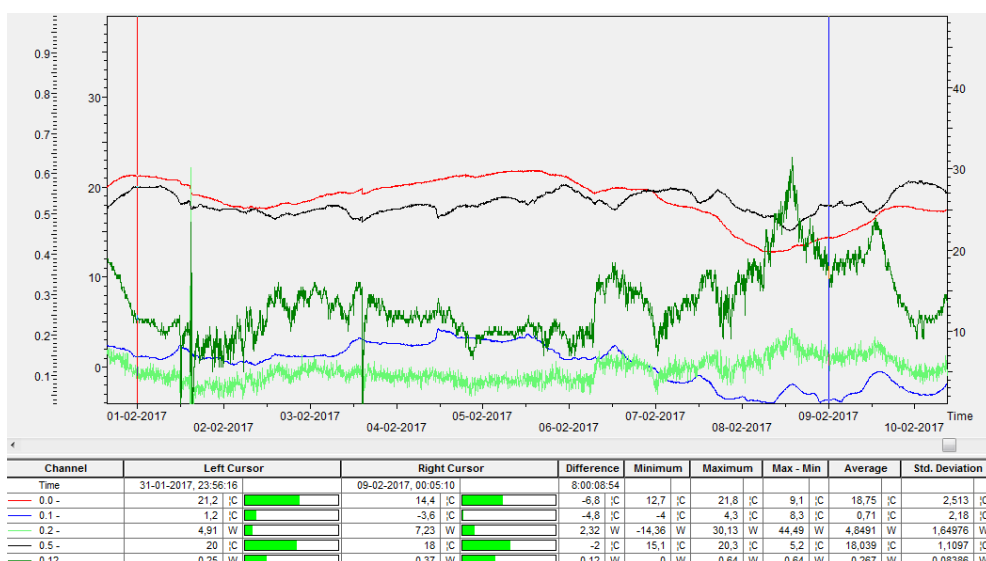


Fig 3 TA 31-01-17 til 09-02-17 (plade)

Kommentarer:

Her er kriterierne for en valid måling ikke overholdt. Der sker noget mærkeligt idet den indvendige overfladetemperatur falder til ca. 13 °C i en periode med blæsevejr. Det besluttes at tætte testhuset bedre.

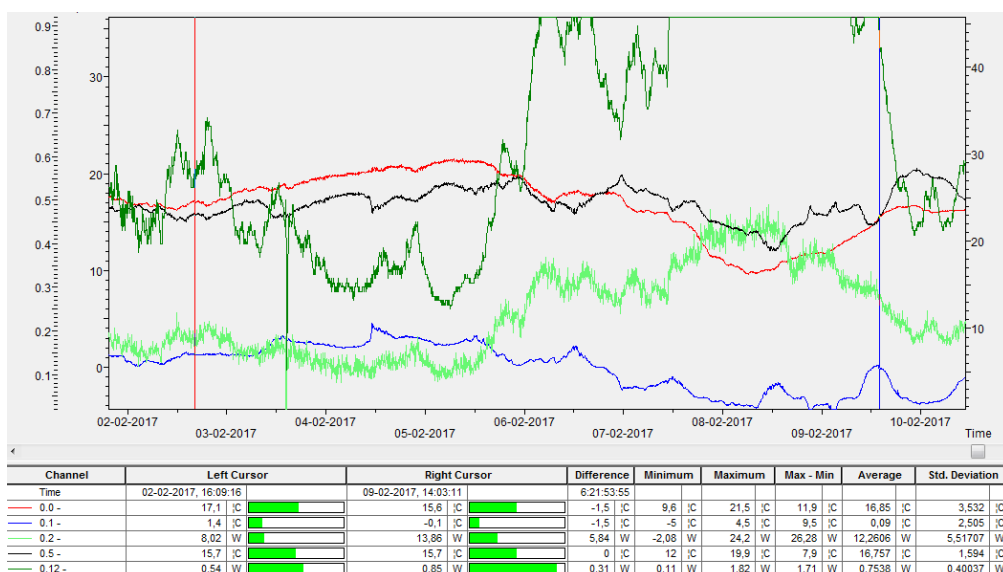


Fig 4 TB 31-01-17 til 09-02-17 (Sepatec)

Kommentarer:

Her er kriterierne for en valid måling ikke overholdt. Der sker noget mærkeligt idet den indvendige overfladetemperatur falder til ca. 10 °C i en periode med blæsevejr. Det besluttes at tætte testhuset bedre. Der ses større fluktuationer end ved prøvefeltet med pladetækning (fig. 3).

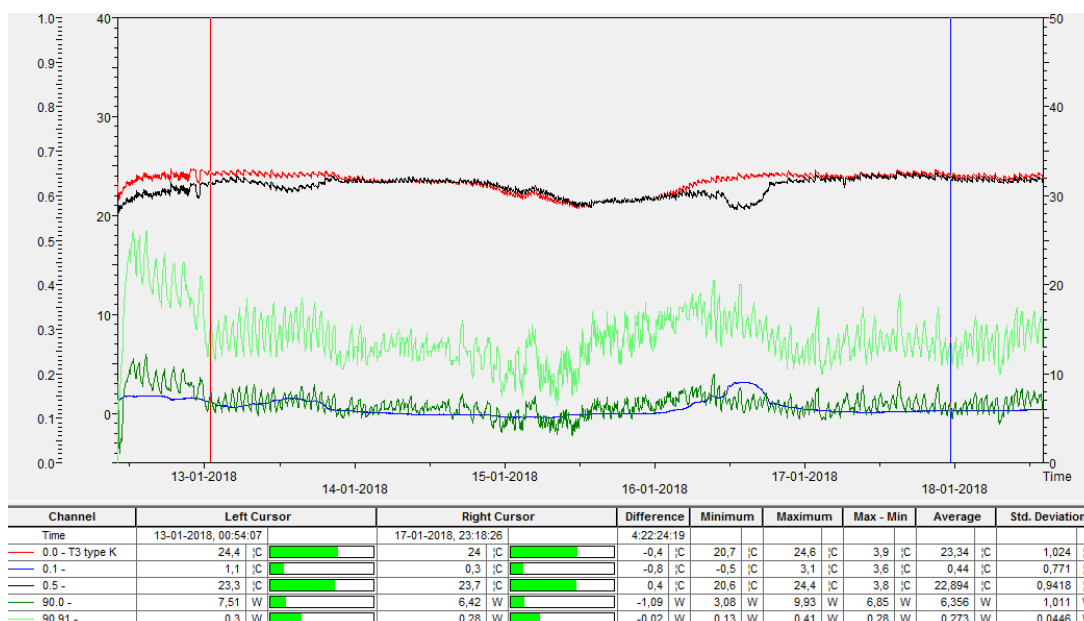


Fig 5 TA2 13-01-18 til 18-01-18 (plade), måling nr. TA2,a

Kommentarer:

Udeklimaet havde næsten konstant udetemperatur, registreringen fra varme-strømsmåleren fluktuerer omkring en middelværdi, formentlig pga. påvirkninger fra luftcirkulationen og termostatstyringen i rummet (vurderes ikke at have betydning for resultatet).

Beregning af U-værdi:

$$U = 1/[1/(0,273) + 0,17] = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Beregning af lambda-værdi for 28 cm strå (krydsfinerpladens isolans sættes til 0,13 m²K/W og fratrækkes):

$$\lambda_{\text{strå}} = 0,28/(1/0,26 - 0,13 - 0,17) = 0,079 \text{ W/mK}$$

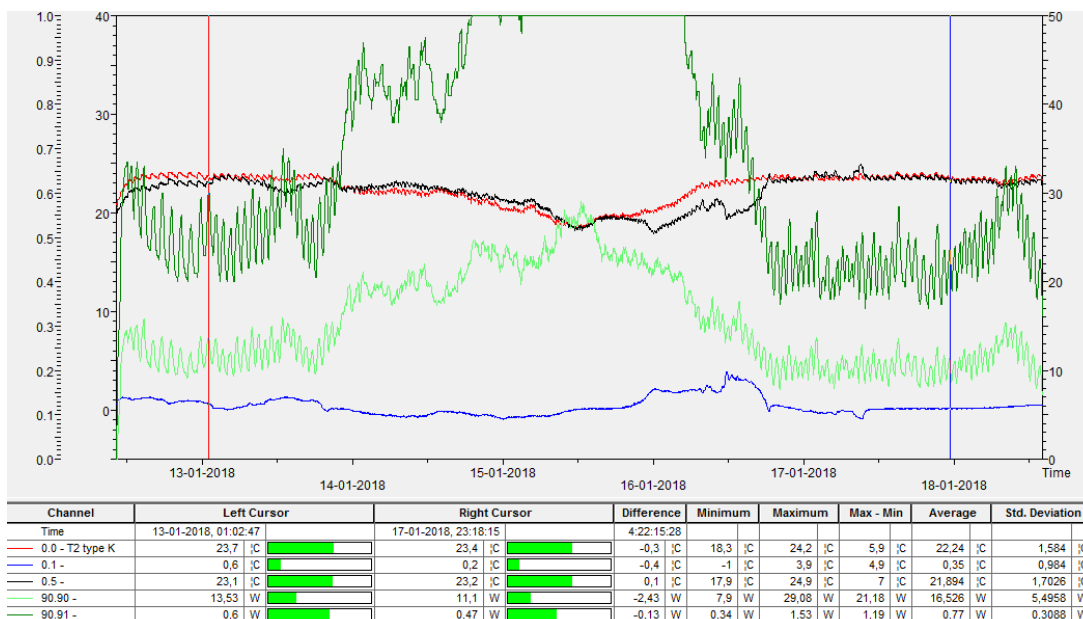
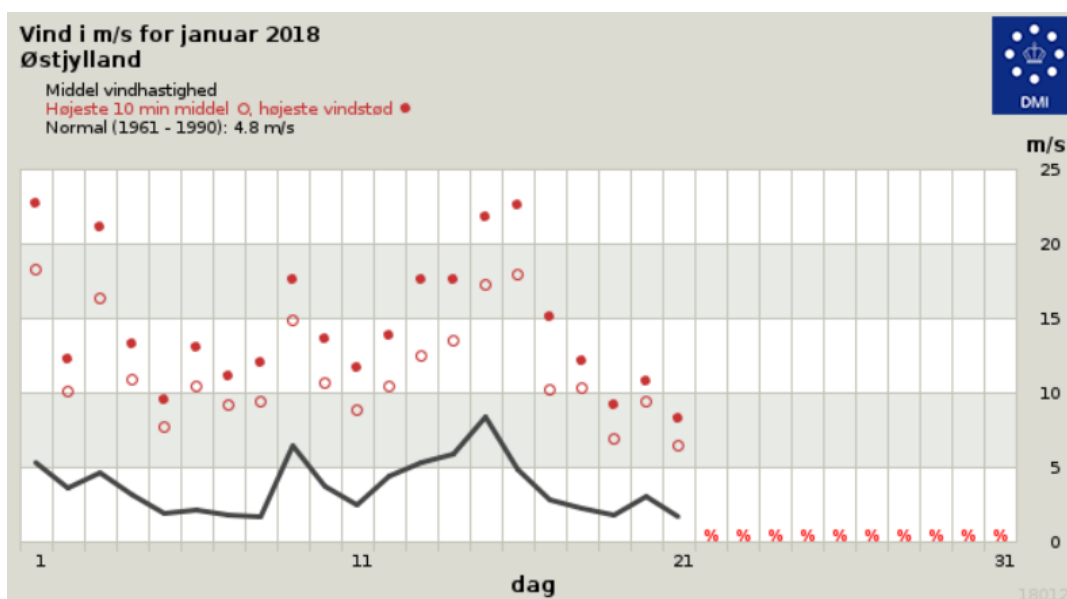


Fig 6 TB2 13-01-18 til 18-01-18 (Sepatec)

Kommentarer:

Udeklimaet artede sig fint med næsten konstant udetemperatur, registreringen fra varmestrømsmåleren fluktuerer omkring en middelværdi, formentlig pga. påvirkninger fra luftcirkulationen i rummet (vurderes ikke at have betydning). Her ved Sepatec-løsningen ses en tydelig indflydelse fra vindpåvirkningen som på en eller anden måde (fx ventilation mellem stråene / ventilation mellem udeluft og hulrum bag strålag) øger U-værdien. I perioden var der stærk blæst se fig. herunder, og det vælges derfor at dele observationerne op i to.



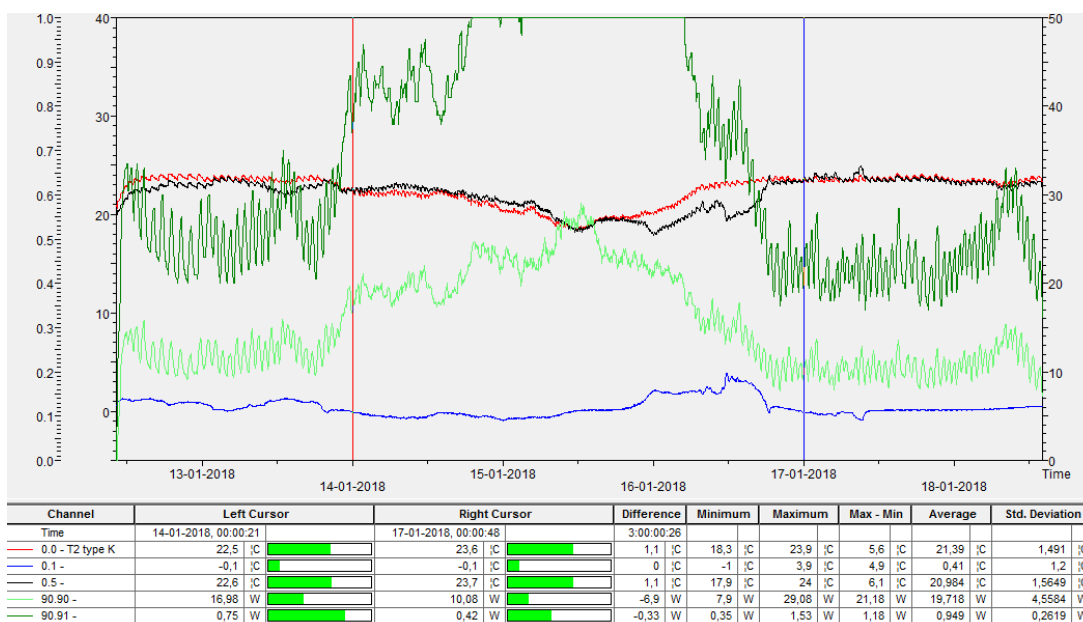


Fig 6a TB2 14-01-18 til 17-01-17 (Sepatec-vind), måling nr. TB2,a

Beregning af U-værdi: (orienterende værdi for perioden med stærk blæst)
 $U = 1/[1/(0,949) + 0,17] = 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$ (middelværdi i perioden)

Beregning af lambda-værdi for 28 cm strå (krydsfinerpladens isolans sættes til $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ og fra-trækkes): $\lambda_{\text{strå}} = 0,28/(1/0,82 - 0,13 \cdot 0,17) = 0,30 \text{ W/mK}$

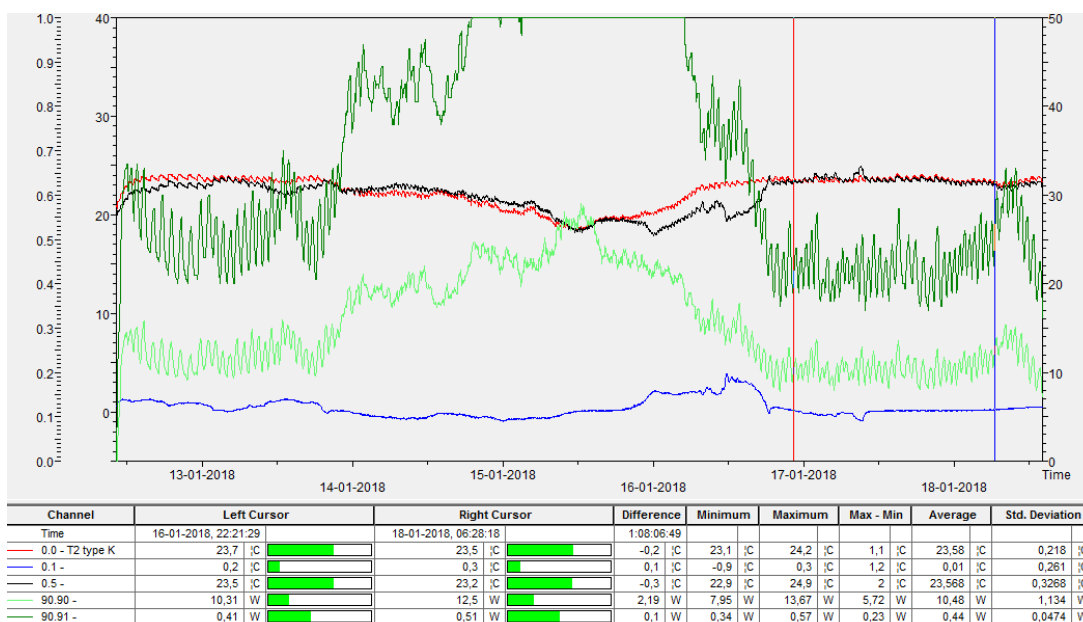


Fig 6b TB2 17-01-18 til 18-01-17 (Sepatec ingen vind), måling nr. TB2,b

Beregning af U-værdi: (normal periode)
 $U = 1/[1/(0,44) + 0,17] = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$

Beregning af lambda-værdi for 28 cm strå (krydsfinerpladens isolans sættes til $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ og fra-trækkes): $\lambda_{\text{strå}} = 0,28/(1/0,41 - 0,13 \cdot 0,17) = 0,13 \text{ W/mK}$

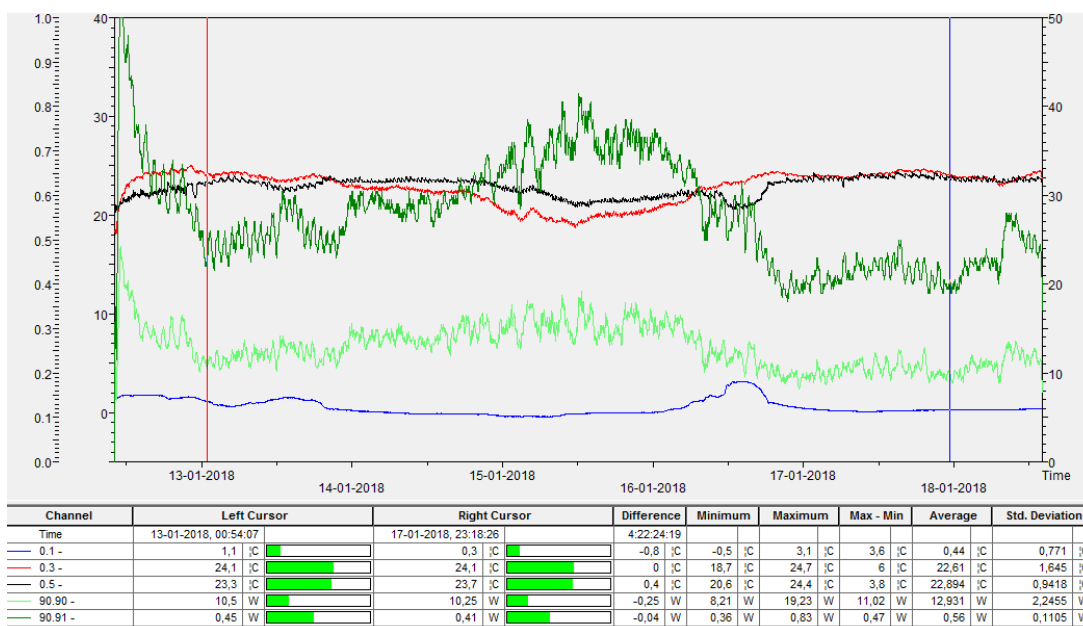
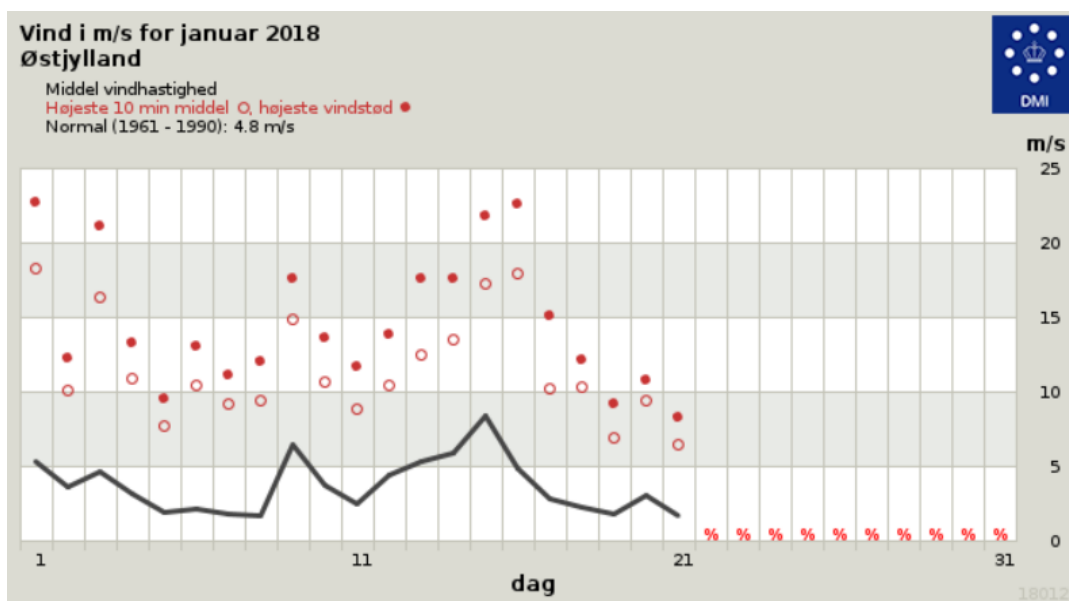


Fig 7 VA 13-01-18 til 18-01-18

Kommentarer:

Udeklimaet artede sig fint med næsten konstant udetemperatur, registreringen fra varmestrømsmåleren fluktuerer omkring en middelværdi, formentlig pga. påvirkninger fra luftcirkulationen i rummet (vurderes ikke at have betydning). Her ved en pladekant ses en tydelig indflydelse fra vindpåvirkningen som på en eller anden måde (fx ventilation mellem stråene / ventilation mellem udeluft og hulrum bag strålag) øger U-værdien. I perioden var der stærk blæst se fig. herunder, og det vælges derfor at dele observationerne op i to.



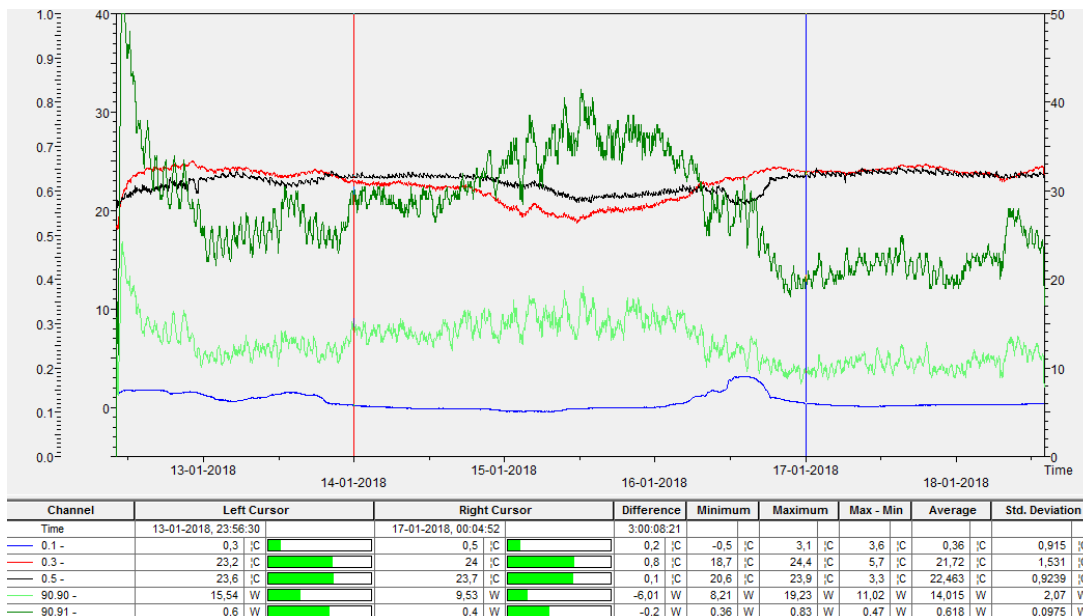


Fig 7a VA 14-01-18 til 17-01-18 (Pladekant -vind), måling nr. VA,a

Beregning af U-værdi: (orienterende værdi for perioden med stærk blæst)

$$U = 1/[1/(0,618) + 0,17] = 0,56 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ (middelværdi i perioden)}$$

Beregning af lambda-værdi for 32 cm strå (krydsfinerpladens isolans sættes til 0,13 m²K/W og fratrækkes): $\lambda_{\text{strå}} = 0,32/(1/0,56 - 0,13 - 0,17) = 0,22 \text{ W/mK}$

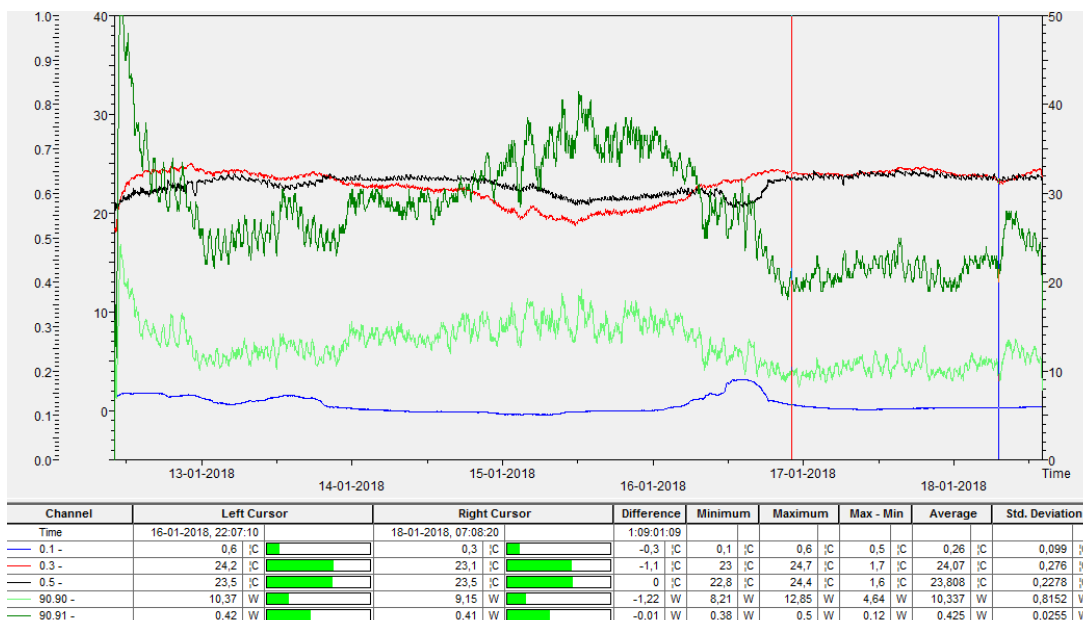


Fig 7b VA 14-01-18 til 17-01-17(Pladekant - ingen vind), måling nr. VA,b

Beregning af U-værdi: (normal periode)

$$U = 1/[1/(0,425) + 0,17] = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Beregning af lambda-værdi for 32 cm strå (krydsfinerpladens isolans sættes til 0,13 m²K/W og fratrækkes): $\lambda_{\text{strå}} = 0,32/(1/0,40 - 0,13 - 0,17) = 0,15 \text{ W/mK}$

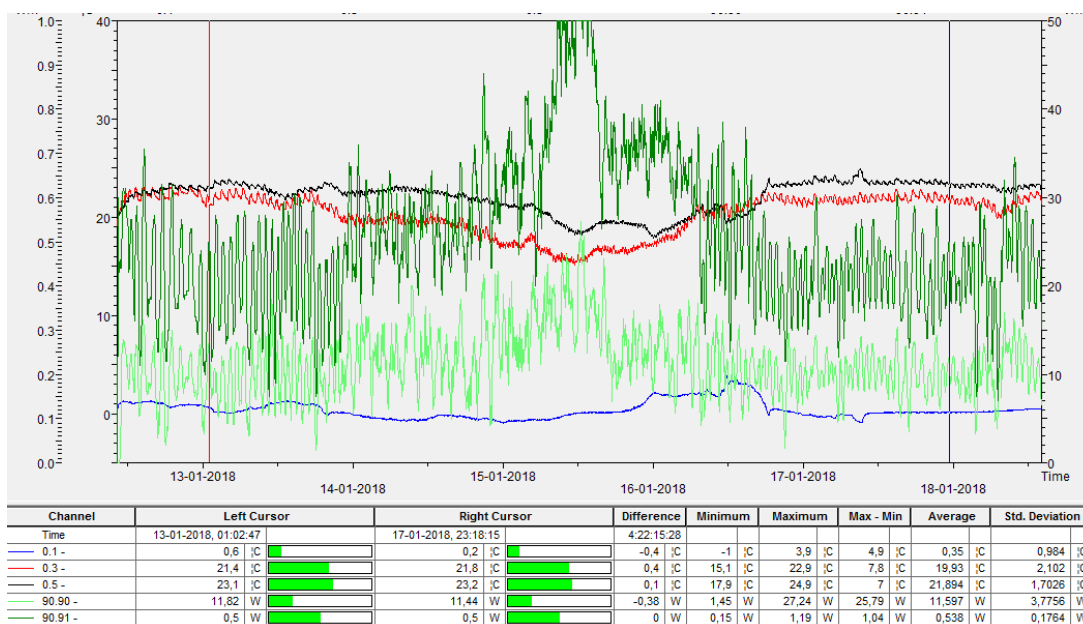
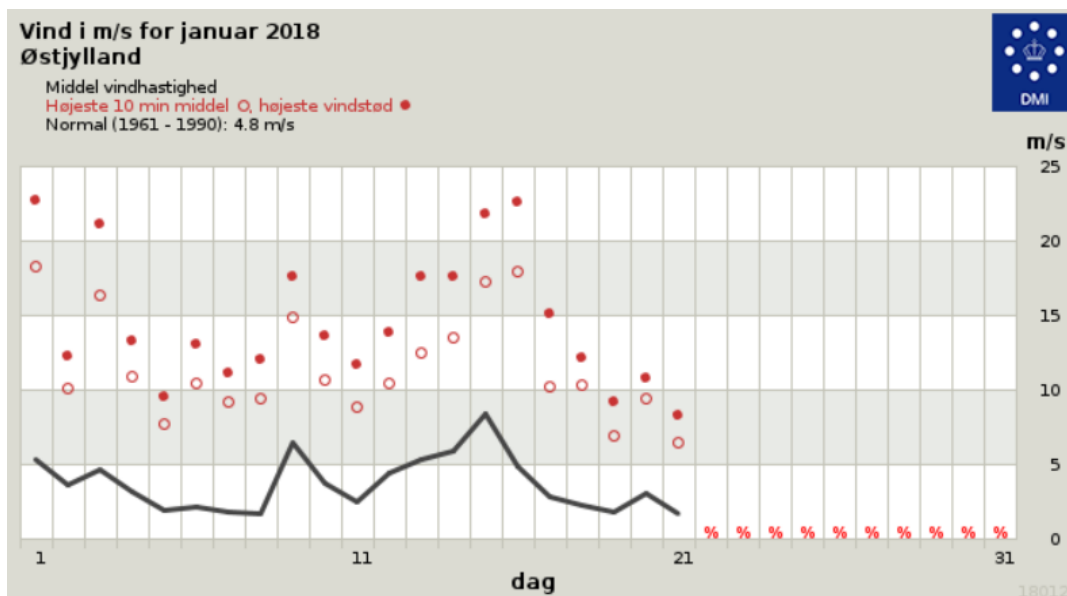


Fig 8 VB 13-01-18 til 18-01-18

Kommentarer:

Udeklimaet artede sig fint med næsten konstant udetemperatur, registreringen fra varmestrømsmåleren fluktuerer omkring en middelværdi, formentlig pga. påvirkninger fra luftcirkulationen i rummet (vurderes ikke at have betydning). Her ved en pladekant ses en tydelig indflydelse fra vindpåvirkningen som på en eller anden måde (fx ventilation mellem stråene / ventilation mellem udeluft og hulrum bag strålag) øger U-værdien. I perioden var der stærk blæst se fig. herunder, og det vælges derfor at dele observationerne op i to.



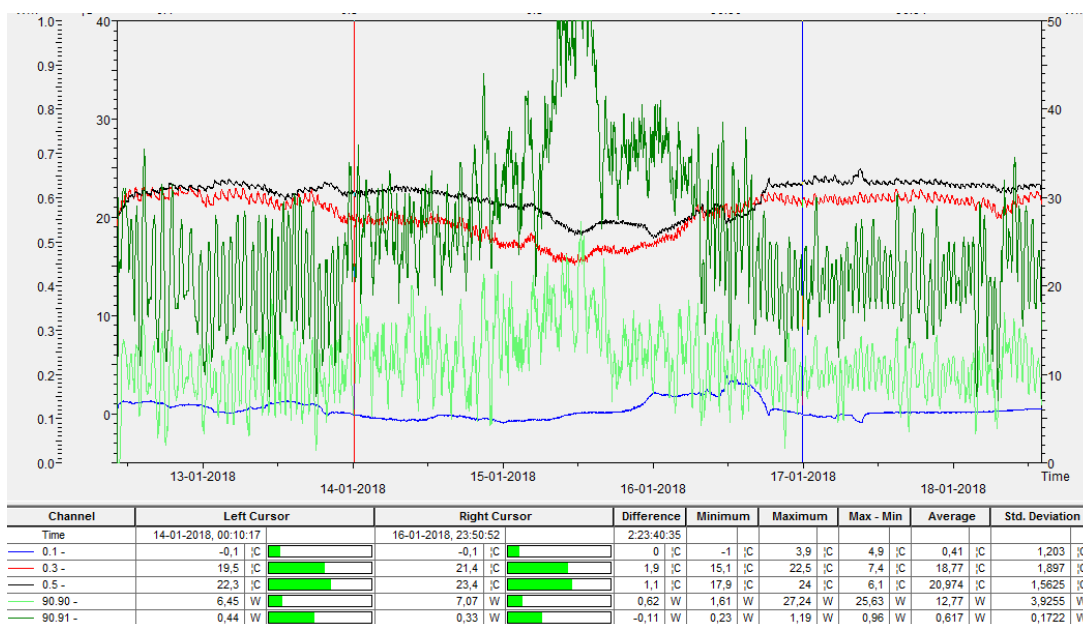


Fig 8a VB 14-01-18 til 17-01-18 (Pladekant -vind), måling nr. VB,a

Beregning af U-værdi: (orienterende værdi for perioden med stærk blæst)

$$U = 1/[1/(0,617) + 0,17] = 0,56 \text{ W/m}^2\text{K (middelværdi i perioden)}$$

Beregning af lambda-værdi for 32 cm strå (krydsfinerpladens isolans sættes til 0,13 m²K/W og fratrækkes): $\lambda_{\text{strå}} = 0,32/(1/0,56 - 0,13 - 0,17) = 0,22 \text{ W/mK}$

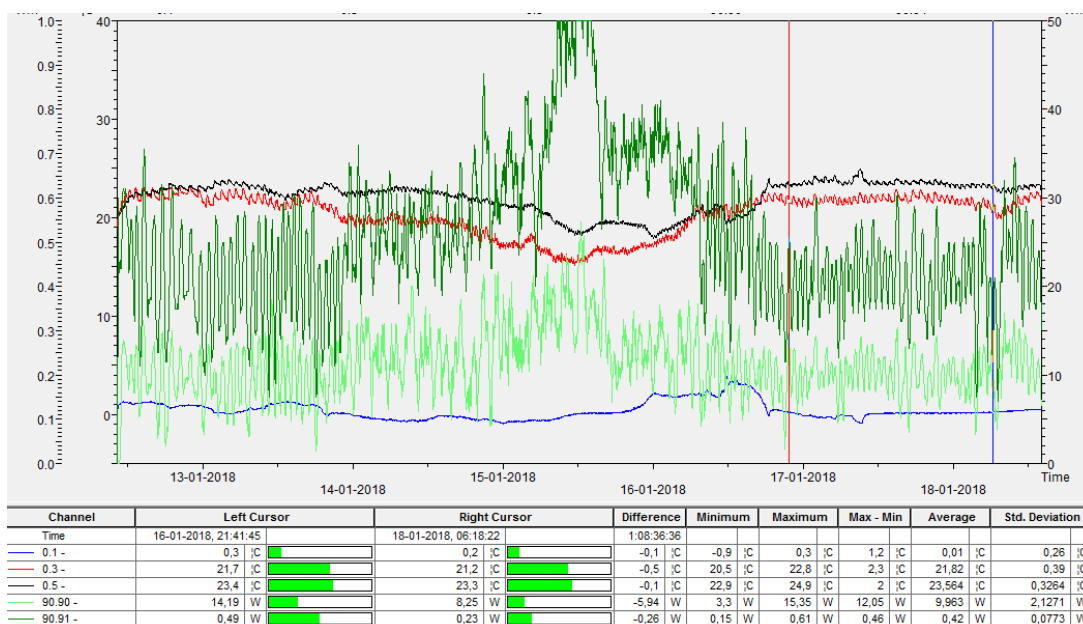


Fig 8b VB 14-01-18 til 17-01-18 (Pladekant- ingen vind), måling nr. VB,b

Beregning af U-værdi: (normal periode)

$$U = 1/[1/(0,42) + 0,17] = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Beregning af lambda-værdi for 32 cm strå (krydsfinerpladens isolans sættes til 0,13 m²K/W og fratrækkes): $\lambda_{\text{strå}} = 0,32/(1/0,40 - 0,13 - 0,17) = 0,15 \text{ W/mK}$

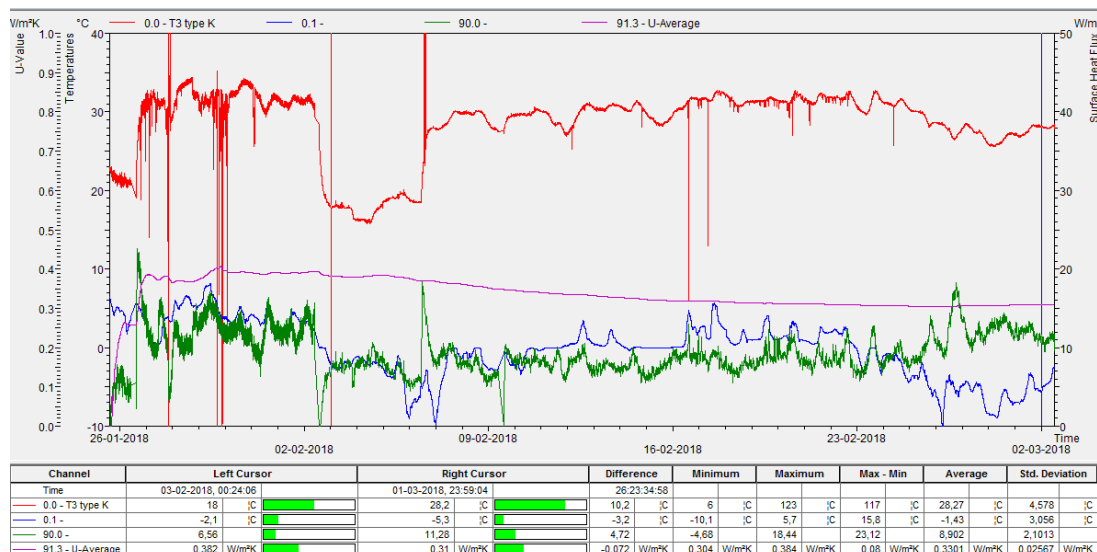


Fig 9 TA2 02-02-18 til 02-03-18 (Plade), måling nr. TA2,b

Målingen er fra hele februar måned. Kurven med den mørkegrønne farve er U-værdien og den lille lilla kurve er den løbende middelværdi af U-værdien (jvf formelen side 7). Det ses at U-værdien med god tilnærmelse nærmer sig asymptotisk til værdien $U = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ (højre cursor)

Beregning af lambda-værdi for 28 cm strå (krydsfinerpladens isolans sættes til $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ og fratrækkes): $\lambda_{\text{strå}} = 0,28 / (1/0,31 - 0,13 - 0,17) = 0,096 \text{ W/mK}$

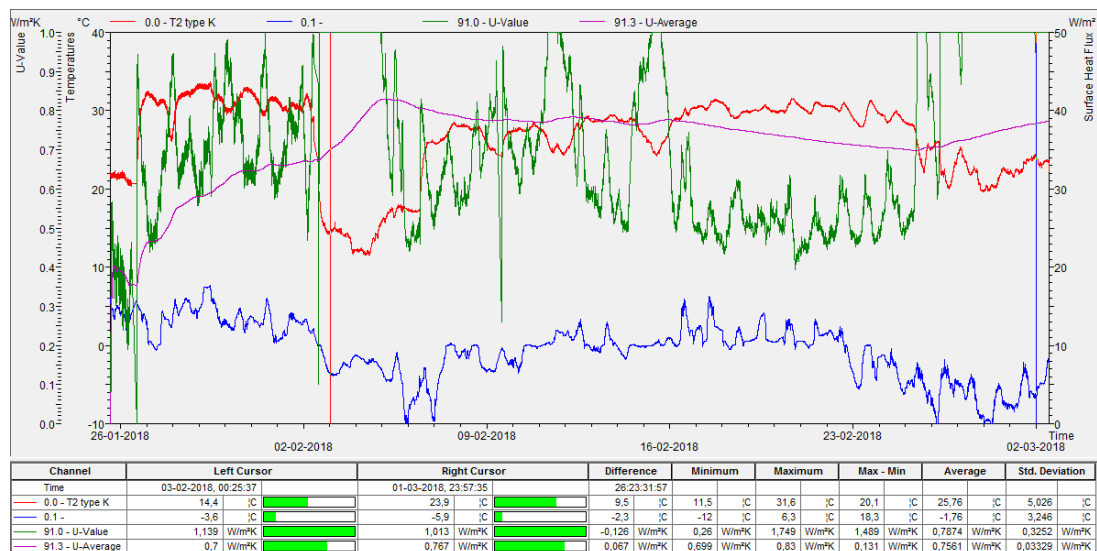


Fig 10 TB2 02-02-18 til 02-03-18 (Sepatec), måling TB2,c

Målingen er fra hele februar måned. Kurven med den mørkegrønne farve er U-værdien og den lille lilla kurve er den løbende middelværdi af U-værdien (jvf formelen side 7). Det ses at den lille lilla kurve slutter i værdien $U = 0,77 \text{ W/m}^2\text{K}$ (højre cursor) , men kurven nærmer sig ikke asymptotisk til denne værdi pga vindpåvirkningen.

Beregning af skøn for lambda-værdi for 28 cm strå (krydsfinerpladens isolans sættes til $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ og fratrækkes): $\lambda_{\text{strå}} = 0,28 / (1/0,77 - 0,13 - 0,17) = 0,28 \text{ W/mK}$

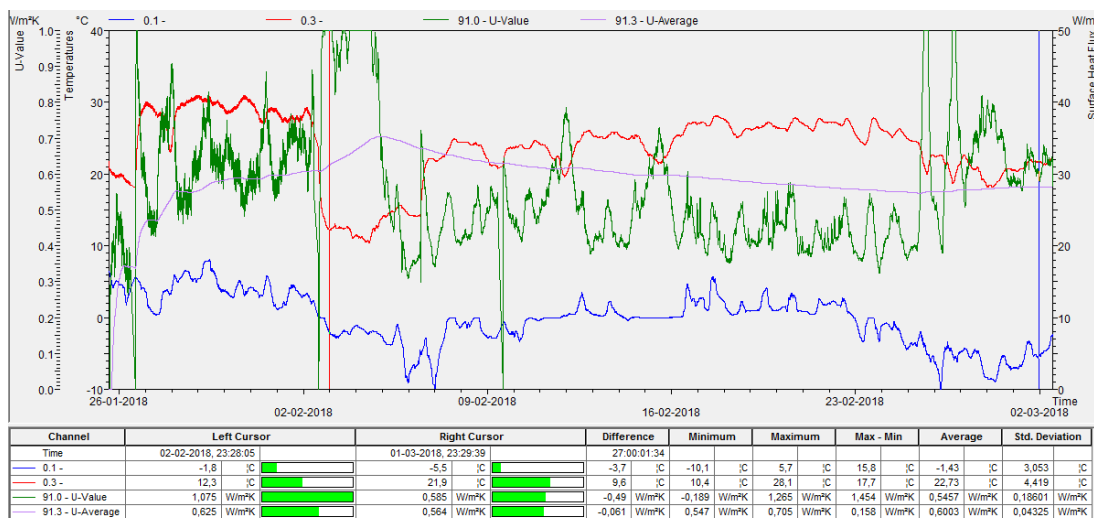


Fig 11 VA 02-02-18 til 02-03-18 (Pladekant), måling nr. VA,c

Målingen er fra hele februar måned. Kurven med den mørkegrønne farve er U-værdien og den lille lilla kurve er den løbende middelværdi af U-værdien (jvf formelen side 7). Det ses at den lille lilla kurve slutter i værdien $U = 0,56 \text{ W/m}^2\text{K}$ (højre cursor), men kurven nærmer sig ikke asymptotisk til denne værdi pga vindpåvirkningen.

Beregning af skøn for lambda-værdi for 32 cm strå (krydsfinerpladens isolans sættes til $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ og fratrækkes): $\lambda_{\text{strå}} = 0,32 / (1/0,56 - 0,13 - 0,17) = 0,22 \text{ W/mK}$

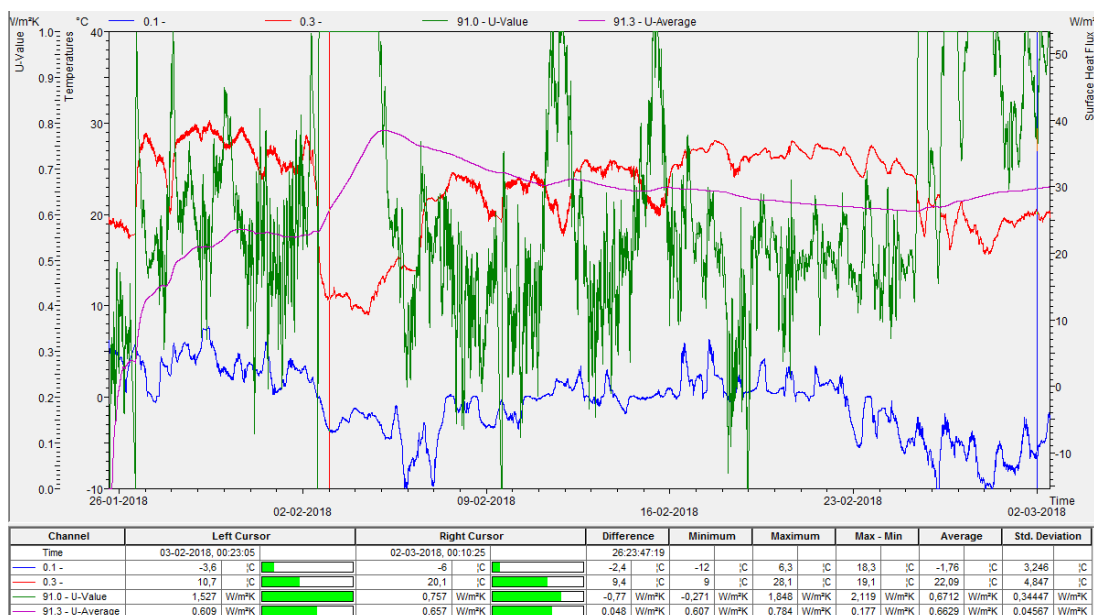


Fig 12 VB 02-02-18 til 02-03-18 (Pladekant), måling nr. VB,c

Målingen er fra hele februar måned. Kurven med den mørkegrønne farve er U-værdien og den lille lilla kurve er den løbende middelværdi af U-værdien (jvf formelen side 7). Det ses at den lille lilla kurve slutter i værdien $U = 0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$ (højre cursor), men kurven nærmer sig ikke asymptotisk til denne værdi pga vindpåvirkningen.

Beregning af skøn for lambda-værdi for 32cm strå (krydsfinerpladens isolans sættes til $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ og fratrækkes): $\lambda_{\text{strå}} = 0,32 / (1/0,66 - 0,13 - 0,17) = 0,26 \text{ W/mK}$

DEL 2: Laboratoriemålinger

Prøvningens formål og gennemførelse

Prøvningens formål var at måle en lambdaværdi for udtagne prøver af stråmateriale fra eksisterende stråtage. Dimensioner på prøveemner ca. 750mm x 750mm x tykkelsen. Måleudstyret er opbygget iht. EN 765 og anvendes normalt til bestemmelse af U-værdien for termoruder. De anvendte varmestrømsmålere (1 stk. på den kolde side og 1 stk. på den varme side) har størrelsen 310 mm x 310 mm. På den varme side blev anvendt en 10 mm glasfiberplade som afslutning, på den kolde side et 4 mm floatglas. I bilag 1 er medtaget billeder af testudstyr.

Det skal bemærkes at alle prøveemner er uden bindetråd (gennemgående binde-tråd er en kuldebro, men tråden er meget tynd) og selve prøvningsmetoden bevirker at luften mellem stråene er stillestående, idet der er lufttætte lag (glas, metal, cellokumsfolier) på begge sider af prøveemnet.

Prøvningsresultater

Resultaterne fra prøvningerne er medtaget på de følgende sider.

Prøveemne nr. 1, beskrivelse

Prøveemne: Ca. 750 mm x 750 mm x 250 mm prøve af stråmateriale.

Udtagning: Prøveemnet mærket nr. 1 blev indleveret af kunden og modtaget på Teknologisk Institut 2017-02-24.

Metode: Prøveemnet er testet ved brug af varmestrømsmålere (EN 675 metode).

Periode: Prøvningen blev gennemført 2017-03-02 til 2017-03-03.

Der er modtaget fig. beskrivelse af det udtagne prøveemne:

"Tækket 1985, beliggende midt på Djursland, mellem Kolind og Rønne. Syet med ståltråd, altså før skruemaskine-metoden. Tagstykke udtaget 22.03.2017 i forbindelse med omtækning, idet hele det gamle tag på denne bygning blev taget ned. Tagets tilstand var særdeles god, alderen taget i betragtning. Forventet restlevetid: Minimum 10 år."

Stråmaterialet blev separeret fra lægter og metaltråde (der kunne ikke konstateres nogen volumenændring), og stråene blev holdt i facon ved hjælp af tape, se billeder i bilag 1. Der blev bestemt en middelværdi af tykkelsen midt i prøven.

Prøveemne nr. 1, måleresultat

Målt U-værdi 0,274 W/m² K, (Middeltemperatur 10,5 gr C, delta T = 24,7 gr C).

Prøveemnets vægt (incl. tape) blev bestemt umiddelbart før prøvningen og igen efter oplagring i opvarmet tør kælder i 160 dage, og og 5erud fra anslås fugtindholdet ved målingen at have været mindst ca 18 vgt -% (det meste af fugten har været i de yderste cm, se billede side 1 i bilag1)

Ud fra den målte U-værdi findes lambdaværdien for den 250 mm tykke plade af strå således:

$$(0,274)^{-1} = 0,17 + 0,004 + 0,01/0,43 + 0,250 / \lambda_{\text{strå}}$$

$$\lambda_{\text{strå}} = \mathbf{0,072 \text{ W/mK}}$$

Prøveemne nr. 2, beskrivelse

Prøve-
emne: Ca. 750 mm x 750 mm x 240 mm prøve af stråmateriale.

Udtagning: Prøveemnet mærket nr. 2 blev indleveret af kunden og modtaget på Teknologisk Institut 2017-06-22.

Metode: Prøveemnet er testet ved brug af varmestrømsmålere (EN 675 metode).

Periode: Prøvningen blev gennemført 2017-06-22 til 2017-07-03.

Der er modtaget flg. beskrivelse af det udtagne prøveemne:

"Keld 1 fra 1991"

Stråmaterialet blev separeret fra lægter og metaltråde (der kunne ikke konstateres nogen volumenændring), og stråene blev holdt i facon ved hjælp af tape, se billeder i bilag 1. Der blev bestemt en middelværdi af tykkelsen midt i prøven.

Prøveemne nr. 2, måleresultat

Målt U-værdi 0,240 W/m² K, (Middeltemperatur 10,5 gr C, delta T = 24,9 gr C).

Prøveemne konditioneret 1 uge i 23 gr C og 50% RH inden test.

Ud fra den målte U-værdi findes lambdaværdien for den 240 mm tykke plade af strå således:

$$(0,240)^{-1} = 0,17 + 0,004 + 0,01/0,43 + 0,240 / \lambda_{\text{strå}}$$

$$\lambda_{\text{strå}} = \mathbf{0,060 \text{ W/mK}}$$

Prøveemne nr. 3, beskrivelse

Prøveemne: Ca. 750 mm x 750 mm x 230 mm prøve af stråmateriale.

Udtagning: Prøveemnet mærket nr. 3 blev indleveret af kunden og modtaget på Teknologisk Institut 2017-06-22.

Metode: Prøveemnet er testet ved brug af varmestrømsmålere (EN 675 metode).

Periode: Prøvningen blev gennemført 2017-06-22 til 2017-07-03.

Der er modtaget flg. beskrivelse af det udtagne prøveemne:

“Henrik 28 år sydvendt”

Stråmaterialet blev separeret fra lægter og metaltråde (der kunne ikke konstateres nogen volumenændring), og stråene blev holdt i facon ved hjælp af tape, se billeder i bilag 1. Der blev bestemt en middelværdi af tykkelsen midt i prøven.

Prøveemne nr. 3, måleresultat

Målt U-værdi 0,258 W/m² K, (Middel temperatur 10,56 gr C, delta T = 24,98 gr C).

Prøveemne konditioneret 1 uge i 23 gr C og 50% RH inden test.

Ud fra den målte U-værdi findes lambdaværdien for den 230 mm tykke plade af strå således:

$$(0,258)^{-1} = 0,17 + 0,004 + 0,01/0,43 + 0,230 / \lambda_{\text{strå}}$$

$$\lambda_{\text{strå}} = \mathbf{0,063 \text{ W/mK}}$$

Prøveemne nr. 4, beskrivelse

Prøveemne: Ca. 750 mm x 750 mm x 220 mm prøve af stråmateriale.

Udtagning: Prøveemnet mærket nr. 4 blev indleveret af kunden og modtaget på Teknologisk Institut 2017-06-22.

Metode: Prøveemnet er testet ved brug af varmestrømsmålere (EN 675 metode).

Periode: Prøvningen blev gennemført 2017-06-22 til 2017-07-03.

Der er modtaget flg. beskrivelse af det udtagne prøveemne:

“Keld 2 1991”

Stråmaterialet blev separeret fra lægter og metaltråde (der kunne ikke konstateres nogen volumenændring), og stråene blev holdt i facon ved hjælp af tape, se billeder i bilag 1. Der blev bestemt en middelværdi af tykkelsen midt i prøven.

Prøveemne nr. 4, måleresultat

Målt U-værdi 0,250 W/m² K, (Middel temperatur 10,51 gr C, delta T = 24,95 gr C).

Prøveemne konditioneret 1 uge i 23 gr C og 50% RH inden test.

Ud fra den målte U-værdi findes lambdaværdien for den 220 mm tykke plade af strå således:

$$(0,250)^{-1} = 0,17 + 0,004 + 0,01/0,43 + 0,220 / \lambda_{\text{strå}}$$

$$\lambda_{\text{strå}} = \mathbf{0,058 \text{ W/mK}}$$

Prøveemne nr. 5, beskrivelse

Prøveemne: Ca. 750 mm x 750 mm x 160 mm prøve af stråmateriale.

Udtagning: Prøveemnet mærket nr. 5 blev indleveret af kunden og modtaget på Teknologisk Institut 2017-06-22.

Metode: Prøveemnet er testet ved brug af varmestrømsmålere (EN 675 metode).

Periode: Prøvningen blev gennemført 2017-06-22 til 2017-07-03.

Der er modtaget flg. beskrivelse af det udtagne prøveemne:

”36 år”

Stråmateriale blev separeret fra lægter og metaltråde (der kunne ikke konstateres nogen volumenændring), og stråene blev holdt i facon ved hjælp af tape, se billede nr. 3 og 4. i bilag 1. Der blev bestemt en middelværdi af tykkelsen midt i prøven.

Prøveemne nr. 5, måleresultat

Målt U-værdi 0,307 W/m² K, (Middel temperatur 10,48 gr C, delta T = 24,81 gr C).

Prøveemne konditioneret 1 uge i 23 gr C og 50% RH inden test.

Ud fra den målte U-værdi findes lambdaværdien for den 160 mm tykke plade af strå således:

$$(0,307)^{-1} = 0,17 + 0,004 + 0,01/0,43 + 0,160 / \lambda_{\text{strå}}$$

$$\lambda_{\text{strå}} = \mathbf{0,052 \text{ W/mK}}$$

Prøveemne nr. 6, beskrivelse

Prøveemne: Ca. 750 mm x 750 mm x 180 mm prøve af stråmateriale.

Udtagning: Prøveemnet mærket nr 6 blev indleveret af kunden og modtaget på Teknologisk Institut 2017-12-08.

Metode: Prøveemnet er testet ved brug af varmestrømsmålere (EN 675 metode).

Periode: Prøvningen blev gennemført 2017-12-12 til 2017-12-14.

Der er modtaget flg. beskrivelse af det udtagne prøveemne:

“tækket 1976 fra valm mod sydøst”

Stråmaterialet blev separeret fra lægter og metaltråde (der kunne ikke konstateres nogen volumenændring), og stråene blev holdt i facon ved hjælp af tape, se billede nr. 3 og 4. i bilag 1. Der blev bestemt en middelværdi af tykkelsen midt i prøven.

Prøveemne nr. 6, måleresultat

Målt U-værdi 0,31 W/m² K, (Middel temperatur 10,69 gr C, delta T = 23,19 gr C).

Prøveemne konditioneret i 23 gr C og 50% RH inden test.

Ud fra den målte U-værdi findes lambdaværdien for den 180 mm tykke plade af strå således:

$$(0,31)^{-1} = 0,17 + 0,004 + 0,01/0,43 + 0,180 / \lambda_{\text{strå}}$$

$$\lambda_{\text{strå}} = \mathbf{0,059 \text{ W/mK}}$$

Prøveemne nr. 7, beskrivelse

Prøveemne: Ca. 750 mm x 750 mm x 200 mm prøve af stråmateriale.

Udtagning: Prøveemnet mærket nr. 7 blev indleveret af kunden og modtaget på Teknologisk Institut 2018-01-15.

Metode: Prøveemnet er testet ved brug af varmestrømsmålere (EN 675 metode).

Periode: Prøvningen blev gennemført 2017-01-16 til 2017-01-17.

Der er modtaget flg. beskrivelse af det udtagne prøveemne:

"Taget er fra Slots Allen 10 5631 Ebberup. Taget har vendt mod vest, og er 39 år."

Stråmateriale blev separeret fra lægter og metaltråde (der kunne ikke konstateres nogen volumenændring), og stråene blev holdt i facon ved hjælp af tape, se billeder i bilag 1. Der blev bestemt en middelværdi af tykkelsen midt i prøven.

Prøveemne nr. 7, måleresultat

Målt U-værdi 0,354 W/m²K, (Middel temperatur 10,71 gr C, delta T = 23,22 gr C).

Prøveemnets vægt (incl. tape) blev bestemt umiddelbart før prøvningen og igen efter oplagring i opvarmet tør kælder i 160 dage, og herud fra anslås fugtindholdet ved målingen at have været ca 20 vgt -% (det meste af fugten har været i de yderste cm, se billede side 1 i bilag1)

Ud fra den målte U-værdi findes lambdaværdien for den 200 mm tykke plade af strå således:

$$(0,354)^{-1} = 0,17 + 0,004 + 0,01/0,43 + 0,200 / \lambda_{\text{strå}}$$

$$\lambda_{\text{strå}} = \mathbf{0,076 \text{ W/mK}}$$

Prøveemne nr. 8, beskrivelse

Prøve-
emne: Ca. 750 mm x 750 mm x 225 mm prøve af stråmateriale.

Udtagning: Prøveemnet mærket nr 8 blev indleveret af kunden og modtaget på Teknologisk Institut 2018-03-13.

Metode: Prøveemnet er testet ved brug af varmestrømsmålere (EN 675 metode).

Periode: Prøvningen blev gennemført 2018-04-03 til 2018-04-05.

Der er modtaget flg. beskrivelse af det prøveemnet:

Prøven er lavet af nye strå placeret i en krydsfinerkasse.

Stråmateriale blev separeret fra kasse materialet og stråene blev holdt i facon vha tape. Der blev bestemt en middelværdi af tykkelsen midt i prøven.

Prøveemne nr. 8, måleresultat

Målt U-værdi 0,235 W/m² K, (Middel temperatur 10,70 gr C, delta T = 23,5 gr C).

Prøveemne konditioneret i 23 gr C og 50% RH inden test.

Ud fra den målte U-værdi findes lambdaværdien for den 225 mm tykke plade af strå således:

$$(0,235)^{-1} = 0,17 + 0,004 + 0,01/0,43 + 0,225 / \lambda_{\text{strå}}$$

$$\underline{\lambda_{\text{strå}} = 0,055 \text{ W/mK}}$$

Prøveemne nr. 9, beskrivelse

Prøveemne: Ca. 750 mm x 750 mm x 225 mm prøve af stråmateriale.

Udtagning: Prøveemnet mærket nr 9 blev indleveret af kunden og modtaget på Teknologisk Institut 2018-03-13.

Metode: Prøveemnet er testet ved brug af varmestrømsmålere (EN 675 metode).

Periode: Prøvningen blev gennemført 2018-04-05 til 2018-04-06.

Der er modtaget flg. beskrivelse af det prøveemnet:

Prøven er lavet af nye strå placeret i en krydsfinerkasse.

Stråmaterialet blev separeret fra kasse materialet og stråene blev holdt i facon vha tape. Der blev bestemt en middelværdi af tykkelsen midt i prøven.

Prøveemne nr. 9, måleresultat

Målt U-værdi 0,235 W/m² K, (Middel temperatur 10,70 gr C, delta T = 23,5 gr C).

Prøveemne konditioneret i 23 gr C og 50% RH inden test.

Ud fra den målte U-værdi findes lambdaværdien for den 225 mm tykke plade af strå således:

$$(0,244)^{-1} = 0,17 + 0,004 + 0,01/0,43 + 0,225 / \lambda_{\text{strå}}$$

$$\underline{\lambda_{\text{strå}} = 0,058 \text{ W/mK}}$$

Prøveemne nr. 10, beskrivelse

Prøveemne: Ca. 750 mm x 750 mm x 180 mm prøve af stråmateriale.

Udtagning: Prøveemnet mærket nr 10 blev indleveret af kunden og modtaget på Teknologisk Institut 2018-03-19.

Metode: Prøveemnet er testet ved brug af varmestrømsmålere (EN 675 metode).

Periode: Prøvningen blev gennemført 2018-04-09 til 2018-04-11.

Der er modtaget flg. beskrivelse af det udtagne prøveemne:

“Taget er 43 år gammelt, det har vendt mod syd”

Stråmateriale blev separeret fra krydsfiner og metaltråde (der kunne ikke konstateres nogen volumenændring), og stråene blev holdt i facon ved hjælp af tape. Der blev bestemt en middelværdi af tykkelsen midt i prøven.

Prøveemne nr. 10, måleresultat

Målt U-værdi 0,36 W/m² K, (Middel temperatur 10,68 gr C, delta T = 23,15 gr C).

Prøveemne konditioneret i 23 gr C og 50% RH inden test.

Ud fra den målte U-værdi findes lambdaværdien for den 180 mm tykke plade af strå således:

$$(0,36)^{-1} = 0,17 + 0,004 + 0,01/0,43 + 0,180 / \lambda_{\text{strå}}$$

$$\lambda_{\text{strå}} = \mathbf{0,070 \text{ W/mK}}$$

Prøveemne nr. 11, beskrivelse

Prøveemne: Ca. 750 mm x 750 mm x 140 mm prøve af stråmateriale.

Udtagning: Prøveemnet mærket nr 11 blev indleveret af kunden og modtaget på Teknologisk Institut 2018-03-19.

Metode: Prøveemnet er testet ved brug af varmestrømsmålere (EN 675 metode).

Periode: Prøvningen blev gennemført 2018-04-11 til 2018-04-13.

Der er modtaget flg. beskrivelse af det udtagne prøveemne:

“Taget er 54 år gammelt, det har vendt mod syd/sydøst, taget er brandisoleret med træbeton der sidder 50 mm under lægter”

Stråmateriale blev separeret fra krydsfiner, lægter og metaltråde (der kunne ikke konstateres nogen volumenændring), og stråene blev holdt i facon ved hjælp af tape. Der blev bestemt en middelværdi af tykkelsen midt i prøven.

Prøveemne nr. 11, måleresultat

Målt U-værdi 0,361 W/m² K, (Middel temperatur 10,78 gr C, delta T = 23,15 gr C).

Prøveemne konditioneret i 23 gr C og 50% RH inden test.

Ud fra den målte U-værdi findes lambdaværdien for den 140 mm tykke plade af strå således:

$$(0,361)^{-1} = 0,17 + 0,004 + 0,01/0,43 + 0,140 / \lambda_{\text{strå}}$$

$$\lambda_{\text{strå}} = \mathbf{0,054 \text{ W/mK}}$$

Prøveemne nr. 12, beskrivelse

Prøveemne: Ca. 750 mm x 750 mm x 180 mm prøve af stråmateriale.

Udtagning: Prøveemnet mærket nr 12 blev indleveret af kunden og modtaget på Teknologisk Institut 2018-04-10.

Metode: Prøveemnet er testet ved brug af varmestrømsmålere (EN 675 metode).

Periode: Prøvningen blev gennemført 2018-04-16 til 2018-04-18.

Der er modtaget flg. beskrivelse af det udtagne prøveemne:

“Taget er mindst 41 år gammelt, det har vendt mod syd”

Stråmaterialet blev separeret fra krydsfiner, lægter og metaltråde (der kunne ikke konstateres nogen volumenændring), og stråene blev holdt i facon ved hjælp af tape. Der blev bestemt en middelværdi af tykkelsen midt i prøven.

Prøveemne nr. 12, måleresultat

Målt U-værdi 0,281 W/m² K, (Middel temperatur 10,73 gr C, delta T = 23,26 gr C).

Prøveemne konditioneret i 23 gr C og 50% RH inden test.

Ud fra den målte U-værdi findes lambdaværdien for den 180 mm tykke plade af strå således:

$$(0,281)^{-1} = 0,17 + 0,004 + 0,01/0,43 + 0,180 / \lambda_{\text{strå}}$$

$$\lambda_{\text{strå}} = \mathbf{0,054 \text{ W/mK}}$$

Vurdering af prøvningsresultater

In situ målinger

Sammenfatning af måleresultater:

Måling TA1	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,10$ W/mK (tag, pladetækning)	ingen vind
Måling TA2,a	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,08$ W/mK (tag, pladetækning)	vind
Måling TA2,b	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,10$ W/mK (tag, pladetækning)	vind
Måling TB1	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,12$ W/mK (tag, Sepatec)	ingen vind
Måling TB2,a	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,30$ W/mK (tag, Sepatec)	vind
Måling TB2,b	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,13$ W/mK (tag, Sepatec)	ingen vind
Måling TB2,c	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,28$ W/mK (tag, Sepatec)	vind
Måling VA,a	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,22$ W/mK (væg, pladetækning, kantzone)	vind
Måling VA,b	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,15$ W/mK (væg, pladetækning, kantzone)	ingen vind
Måling VA,c	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,22$ W/mK (væg, pladetækning, kantzone)	vind
Måling VB,a	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,22$ W/mK (væg, pladetækning, kantzone)	vind
Måling VB,b	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,15$ W/mK (væg, pladetækning, kantzone)	ingen vind
Måling VB,c	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,26$ W/mK (væg, pladetækning, kantzone)	vind

For tækning på plade i tag blev der ikke observeret nogen væsentlig følsomhed overfor vindpåvirkninger - $\lambda_{\text{strå}} = 0,08-0,10$ W/mK , for tækning med Sepatec på lægter (udført med mineraluldstætning langs feltafgrænsninger) og for tækning på plade i en kantzone (væg målingerne) nedsættes isolansen ved kraftig vind - $\lambda_{\text{strå}} = 0,12-0,30$ W/mK .

Laboratoriemålinger

De målte prøver fra eksisterende tagkonstruktioner har varieret i alder, tykkelse, stråtykkelse, nedbrydningsgrad i 2-3 cm overfladelag, fugtindhold m.m. Det har vist sig, at den målte varmeisoleringssevne ved laboratorieprøvningen på alle 10 prøver ikke er væsentlig forskellig fra den varmeisoleringssevne, der blev målt på nye emner. Alle emner er målt uden bindetråd.

Oversigt:

Labmåling 1	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,072 \text{ W/mK}$ (tag, 1985, ikke fugtkonditioneret)
Labmåling 2	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,060 \text{ W/mK}$ (tag, 1991, fugtkonditioneret)
Labmåling 3	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,063 \text{ W/mK}$ (tag, 1990, fugtkonditioneret)
Labmåling 4	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,058 \text{ W/mK}$ (tag, 1991, fugtkonditioneret)
Labmåling 5	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,052 \text{ W/mK}$ (tag, 1982, fugtkonditioneret)
Labmåling 6	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,059 \text{ W/mK}$ (tag, 1976, fugtkonditioneret)
Labmåling 7	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,076 \text{ W/mK}$ (tag, 1979, ikke fugtkonditioneret)
Labmåling 8	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,055 \text{ W/mK}$ (nyt, 2018, fugtkonditioneret)
Labmåling 9	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,058 \text{ W/mK}$ (nyt, 2018, fugtkonditioneret)
Labmåling 10	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,070 \text{ W/mK}$ (tag, 1975, fugtkonditioneret)
Labmåling 11	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,054 \text{ W/mK}$ (tag, 1964, fugtkonditioneret)
Labmåling 12	: $\lambda_{\text{strå}} = 0,054 \text{ W/mK}$ (tag, 1977, fugtkonditioneret)

Nye emner:

Antal prøver: 2

$$\begin{aligned} \text{Middelværdi } \lambda_{\text{strå}} &= (0,055 \text{ W/mK} + 0,058 \text{ W/mK}) \\ &= \underline{0,056 \text{ W/mK}} \quad (s = 0,002 \text{ W/mK}) \end{aligned}$$

27-54 år gamle prøveemner målt i tør tilstand:

Antal prøver: 8

$$\begin{aligned} \text{Middelværdi } \lambda_{\text{strå}} &= (0,060 \text{ W/mK} + 0,063 \text{ W/mK} + 0,058 \text{ W/mK} + 0,052 \text{ W/mK} + \\ &\quad 0,059 \text{ W/mK} + 0,070 \text{ W/mK} + 0,054 \text{ W/mK} + 0,054 \text{ W/mK}) \\ &= \underline{0,059 \text{ W/mK}} \quad (s = 0,006 \text{ W/mK}) \end{aligned}$$

33-39 år gamle prøveemner målt med indleveret fugtindhold:

Antal prøver: 2

$$\begin{aligned} \text{Middelværdi } \lambda_{\text{strå}} &= (0,072 \text{ W/mK} + 0,076 \text{ W/mK}) \\ &= \underline{0,074 \text{ W/mK}} \quad (s = 0,003 \text{ W/mK}) \end{aligned}$$

Samlet vurdering

I Tyskland har man gennemført meget store forskningsprojekter vedr. stråttækning, men man har ikke undersøgt varmeisoleringssevnen af stråttækning, og det er i Tyskland ikke tilladt at medregne stråttækningen ved beregning af klimaskærmens samlede isolans (isoleringssevne).

I Holland har man stor erfaring med stråttækning og her er det for pladetækning tilladt at medregne en regningsmæssig isolans beregnet ud fra $\lambda_{\text{strå}} = 0,20 \text{ W/mK}$ dvs at 30 cm stråttækning regnes at varmeisolere svarende til ca 5 cm mineraluld med $\lambda_{\text{minuld}} = 0,037 \text{ W/mK}$ (Isolansen af lagene er $0,3/0,2 = 1,5 \text{ m}^2\text{K/W}$).

I Danmark har det ikke været tilladt at medregne stråttækningen ved beregning af klimaskærmens samlede isolans.

Vore målinger viser, at varmeledningsevnen for stråttækningen under normale forhold i Danmark kan regnes at være et godt stykke under $\lambda_{\text{strå}} = 0,20 \text{ W/mK}$, kun ved Sepatec løsningen (og i en mindre kantzone ved tækning på plade) og kraftig vind kan varmeledningsevnen stige over denne værdi.

Som en middelværdi i fyringssæsonen foreslås derfor at anvende en værdi på $\lambda_{\text{strå}} = 0,15 - \mathbf{0,175} - 0,20 \text{ W/mK}$ for Sepatec-tækning med mineralulds- stopning langs feltafgrænsninger ("uventilerede konstruktioner"). For tækning på plade er isoleringssevnen væsentlig bedre og som en middelværdi i fyringssæsonen foreslås anvendt $\lambda_{\text{strå}} = 0,10 - \mathbf{0,125} - 0,15 \text{ W/mK}$. For 30 cm stråttækning svarer de foreslåede værdier til henholdsvis ca 7,5 - **6,5** - 5,5 cm og ca. 11,0 - **9,0** - 5,5cm mineraluld med $\lambda_{\text{minuld}} = 0,037 \text{ W/mK}$.

For tage og facader med bibeholdt ventilation via luftspalte under lægter ("ventilerede konstruktioner") kan der jvf DS 418 kun regnes med en isolansforøgelse på $0,09 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Bilag 1: Laboratoriemålinger, billeder



Foto 1. Prøveemne nr.1, som indleveret



Foto 2. Prøveemne nr. 1, strå alene



Foto 3. Prøveemne nr. 1, placeret i målekasse

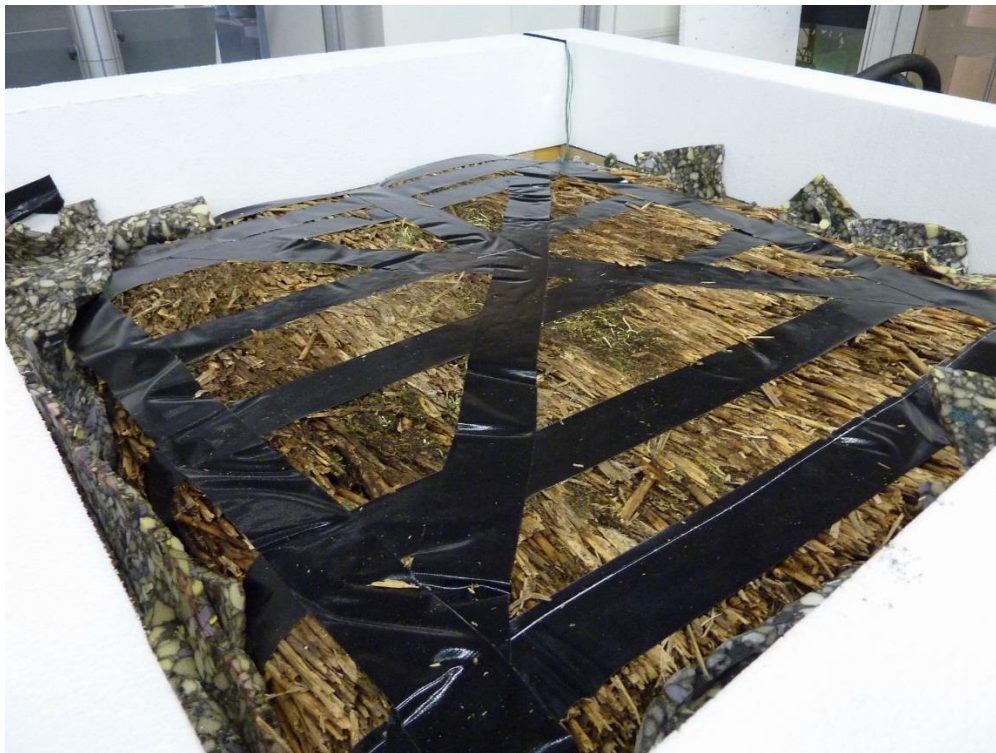


Foto 4. Prøveemne nr. 1, placeret i målekasse

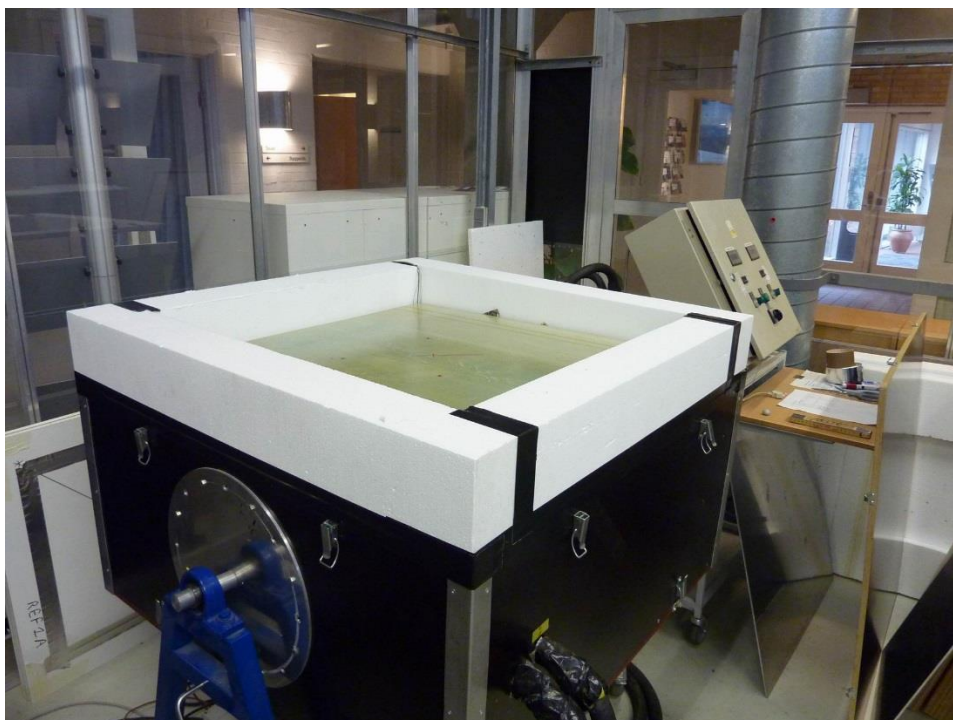


Foto 5. Prøveemne nr. 1 i målekasse (glasfiberplade som afslutning)



Foto 6. Prøveemne nr. 1 i målekasse, klar til måling