

Oppdragsrapport

Måling av varmegjennomgangskoeffisient inkludert hygrotermisk effekt for krysslimte trevegger i et kontorbygg

Marcus Olsson, Javad Darvishi, Andreas Stenstad og Kristine Nore

Oppdragsgiver:	Borg havn IKS
Kontaktperson:	Pål Erling Johnsen
Rapport nr.:	320047-2
Utstedt:	10.05.2019

Sammendrag

Borg Havn IKS har oppført et lager- og kontorbygg der to vegger i kontordelen består av massive tre-elementer i krysslimt tre (KL-tre). KL-treveggene har verken isolasjon eller kledning, og oppfyller per dags dato ikke de teoretiske kravene til varmegjennomgangskoeffisient (U-verdi) i Byggteknisk forskrift (TEK17). Kontorbygningen har fått dispensasjon om midlertidig bruk fra kommunen.

I denne rapporten har reell U-verdi for veggene i kontorbygningen blitt beregnet. Bakgrunnen til forskningsprosjektet er at trevegger kan ha bedre U-verdi enn hva som tradisjonelt har blitt antatt. Grunnen til dette er at treets hygrotermiske egenskaper ikke er inkludert i tradisjonelle beregninger av U-verdi. Den hygrotermiske effekten innebærer at tre utveksler varme med omgivelsen når fukt opptas og avgis over døgnet. Tre har med andre ord en stabiliserende effekt på klimaet i et rom.

Veggenes U-verdi er beregnet ved å måle varmekraft (W/m^2) gjennom veggens sammenhengende temperaturdifferanse over veggens. Målingene har pågått i et år (mars 2018–mars 2019) og de er utført på to vegger uten isolasjon og en vegg med tradisjonell isolasjon. På hver vegg er varmekraft målt både inkludert og ekskludert hygrotermisk effekt.

Målingene viser at U-verdien for veggene uten isolasjon er $0,32\text{--}0,44 W/m^2 K$ inkludert hygrotermisk effekt. Dette er 3–14 % lavere enn referansemålingene som ekskluderer den hygrotermiske effekten. Usikkerheten i måling av U-verdi på vegger i et eksisterende bygg er store. I tillegg kan ikke den hygrotermiske effekten på begge sider veggens inkluderes med denne metode siden varmekraftplaten forhindrer fuktutveksling på den side den er montert. Den reelle U-verdien for veggene er trolig derfor noe bedre enn det som har blitt målt.

Vår estimering av reell U-verdi for KL-tre-veggene er $0,30\text{--}0,40 W/m^2 K$. Det store spennet er grunnet naturlig variasjon i trefuktighet, samt varierende ytre faktorer som lufttemperatur, luftfuktighet og solstråling.

Videre er energibruket i kontorbygget målt til $107 kWh/m^2$ per år i løpet av måleperioden. Dette er lavere enn kravet til kontorbygninger i TEK17 som er $115 kWh/m^2$.

Introduksjon

Borg Havn IKS har oppført et lager- og kontorbygg, hvor NorLines AS i Fredrikstad er leietakere. To vegger i kontordelen av bygget består av 250 mm massivtre, uten ytterligere isolasjon eller kledning. Disse veggene oppfyller ikke kravene til statisk, standardisert¹ varmegjennomgangskoeffisient (U-verdi, W/m² K) i TEK17². I medhold av plan- og bygningsloven § 19-2 har det blitt gitt en midlertidig dispensasjon fra Energikravet i TEK10 (kap. 14-5) som er gyldig ut året 2019.

Denne rapporten er en del av et forskningsprosjekt der den reelle, effektive U-verdien for KL-tre-veggene har blitt beregnet. Det overordnede målet i prosjektet er å få endret TEK slik at fremtidige U-verdikrav tar hensyn til massivtreets termiske og hygrotermiske egenskaper. En fornuftig tilnærming vil være at fuktvekslinger mellom vegg og omgivelse bør inngå som en faktor i U-verdivurderinger.

Den hygrotermiske effekten innebærer at tre tar opp og avgir fukt over døgnet, noe som jevner ut temperatur og relativ fuktighet i omgivelsen. Denne prosessen vil skje på både innsiden og utsiden av en trevegg. Den hygrotermiske effekten i tre er grunnen til at den reelle U-verdien i massivtrevegger i praksis kan bli lavere (bedre) enn den teoretiske, statiske U-verdien. Siden reell varmegjennomgang varierer over døgnet og året med varierende temperaturforskjell mellom inne og ute, varierende solskinn og regn på overflatene, og med varierende fuktopptak i veggene, har vi målt U-verdien over ett år (mars 2018–mars 2019).

Målemetodikken og usikkerheter med målingene har blitt beskrevet i mer detalj i Treteknisk-rapport 320047-1.

¹ Standard: NS-EN ISO 7345

² Byggeteknisk forskrift (TEK17), dibk.no/byggereglene/byggeteknisk-forskrift-tek17/

Gjengis utdrag av rapporten, eller brukes instituttets navn som referanse til slike utdrag, skal dette godkjennes skriftlig av Norsk Treteknisk Institutt. Rapporten har kun gyldighet for det som er diskutert i rapporten.

Metode for målingene

Metoden som har blitt brukt for å beregne den reelle U-verdien er å måle varmekraft gjennom veggen sammen med temperaturdifferanse over veggen. Målingene har blitt utført på to vegger uten isolasjon og en vegg med tradisjonell isolasjon. På hver vegg måler vi varmekraft på fire steder, se Figur 1. På to steder inkluderer U-verdien den hygrottermiske effekten, og på to steder ekskluderes den hygrottermiske effekten. To av fluksmålerne er plassert på utsiden av veggen og to på innsiden. For å måle U-verdien uten den hygrottermiske effekten har vi ved halvparten av målerne plassert en plastfilm på treoverflaten for å forhindre fuktvekslinger med omgivelsene.

U-verdien for veggen beregnes ved:

$$U = \frac{\varphi}{\Delta T}$$

U = Varmegjennomgangskoeffisient, U-verdi ($W/m^2 / K$)

φ = Varmekraft (varmestrømtetthet) gjennom platen (W/m^2)

ΔT = Temperaturdifferanse³ mellom inne og ute (K).

Den effektive U-verdien er beregnet som gjennomsnittlig fluks over en gitt tid dividert med gjennomsnittlig temperaturdifferanse over samme tid.

Målesensorene har blitt montert på tre ulike vegger i bygget:

1. Nordvegg i KL-tre uten isolasjon.
2. Sørvegg i KL-tre uten isolasjon.
3. Sørvegg i KL-tre med isolasjon.

Hvert målested består av fire varmekraft-plater og to par temperatursensorer for temperaturdifferanse. Ved beregning av U-verdi bruker to varmekraft-sensorer samme temperaturdifferanse. Dette innebærer at effektiv U-verdi kan beregnes på fire steder på hver vegg, og totalt på 12 steder inkludert alle tre vegger.

Målesensorene på de tre veggene beskrives nedenfor og vises i Figur 1:

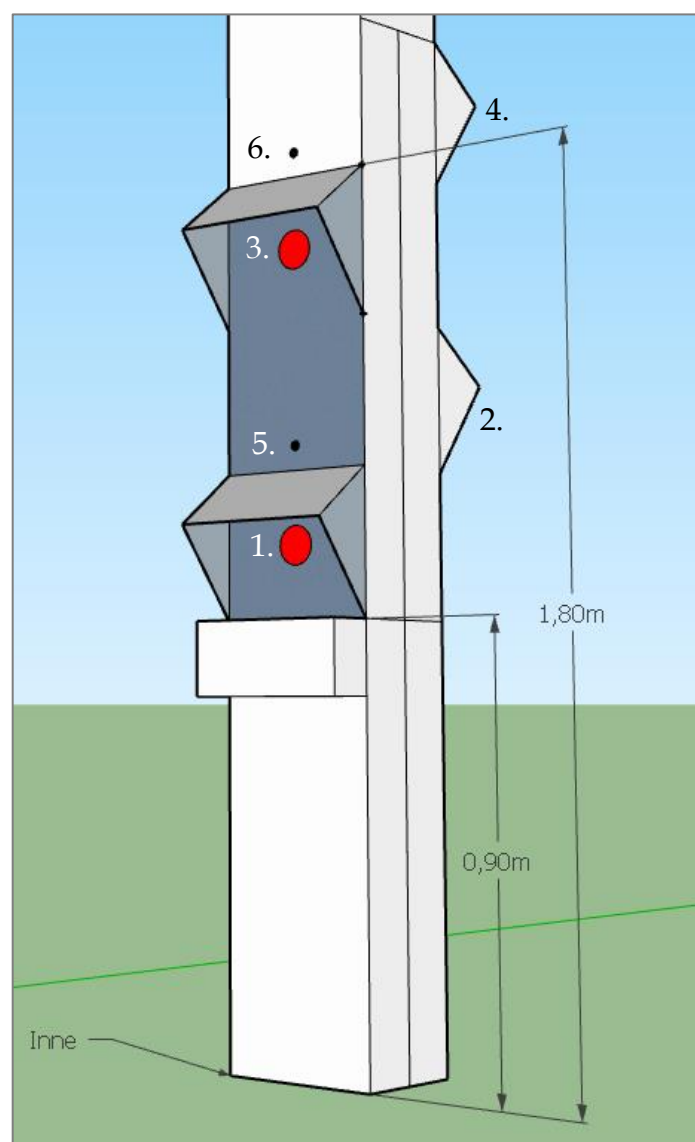
1. Varmekraftplate inne, plastfilm både inne og ute.
2. Varmekraftplate ute, plastfilm både inne og ute.
3. Varmekraftplate inne, plastfilm kun inne.
4. Varmekraftplate ute, plastfilm kun ute.
5. Temperatursensorer inne og ute, overflate med plastfilm.
6. Temperatursensorer inne og ute, overflate uten plastfilm.

³ Dette er temperaturdifferansen mellom innsiden og utsiden et stykke ut fra veggen.

Gjengis utdrag av rapporten, eller brukes instituttets navn som referanse til slike utdrag, skal dette godkjennes skriftlig av Norsk Treteknisk Institutt. Rapporten har kun gyldighet for det som er diskutert i rapporten.

Platesensorene (markert i rødt) sitter helt inntil veggen med en tynn plastfilm mellom sensorene og veggen. Fluksplatene slipper ikke gjennom noe fukt og derfor inkluderes ikke den hygrottermiske effekten fullstendig på den side veggen som platesensoren er montert. For å ytterligere forhindre fuktvekslinger med treoverflatene rundt sensorene ble en plastfilm montert ved fluksplatene. For fluksplate 1 og 2 i Figur 1 er det montert plastfilm på begge sider veggen; disse målerne viser med andre ord varmekraft uten hygrottermisk effekt på overflatene. Plate 3 og 4 har ikke plastfilm på motsatt side veggen og måler da varmekraft inkludert hygrottermisk effekt på motsatt side veggen.

Målemetodikken og usikkerheter med målingene har blitt beskrevet i mer detalj i Treteknisk-rapport 320047-1.



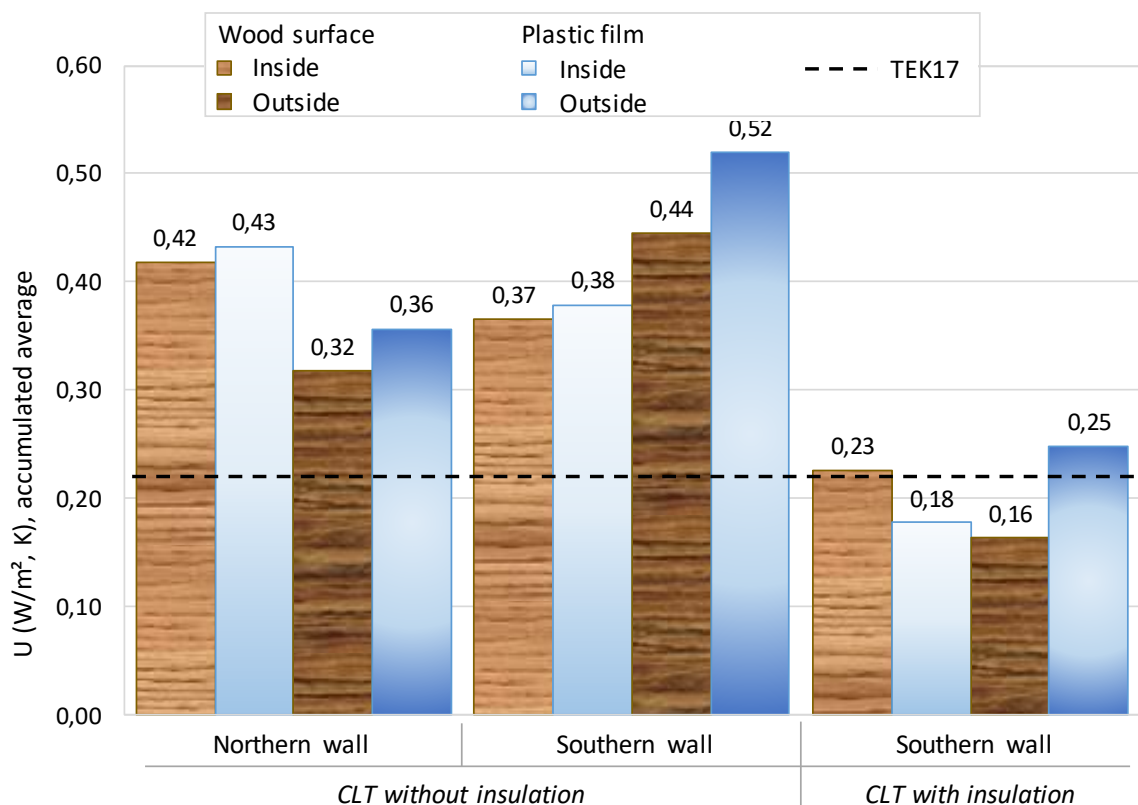
Figur 1. Prinsippkisse av et målested. Fire varmekraftplater (røde, 1-4) og to par temperatursensorer (svarte, 5-6). Overflaten markert i grått symboliserer en tynn plastfilm som forhindrer fuktvekslinger med omgivelsen.

Resultater fra målingene

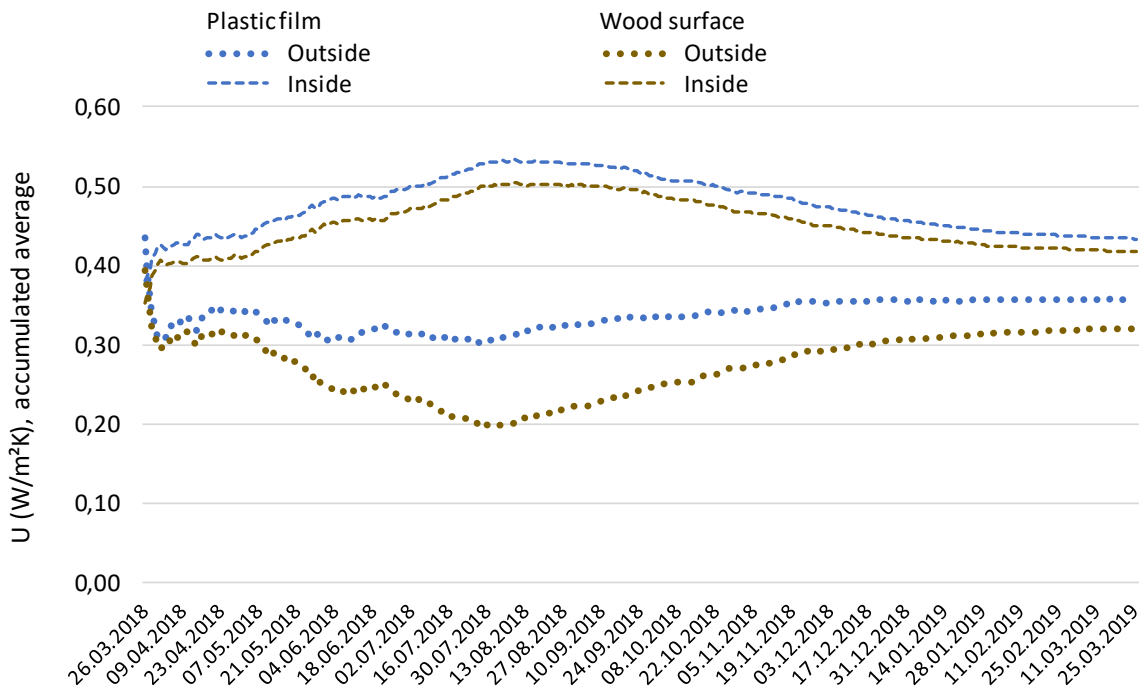
Resultater for veggens U-verdi

Resultatene viser at U-verdien for målingene som inkluderer den hygrotermiske effekten er lavere enn U-verdien uten hygrotermisk effekt. For nordveggen er U-verdien 0,42 W/m² K målt fra innsiden og 0,32 W/m² K målt fra utsiden (se Figur 2). Dette er 3–11 % lavere enn referansemålingene uten hygrotermisk effekt. For sørveggen er U-verdien 0,37 W/m² K fra innsiden og 0,44 W/m² K fra utsiden. Dette er 4–14 % lavere enn referansemålingene uten hygrotermisk effekt.

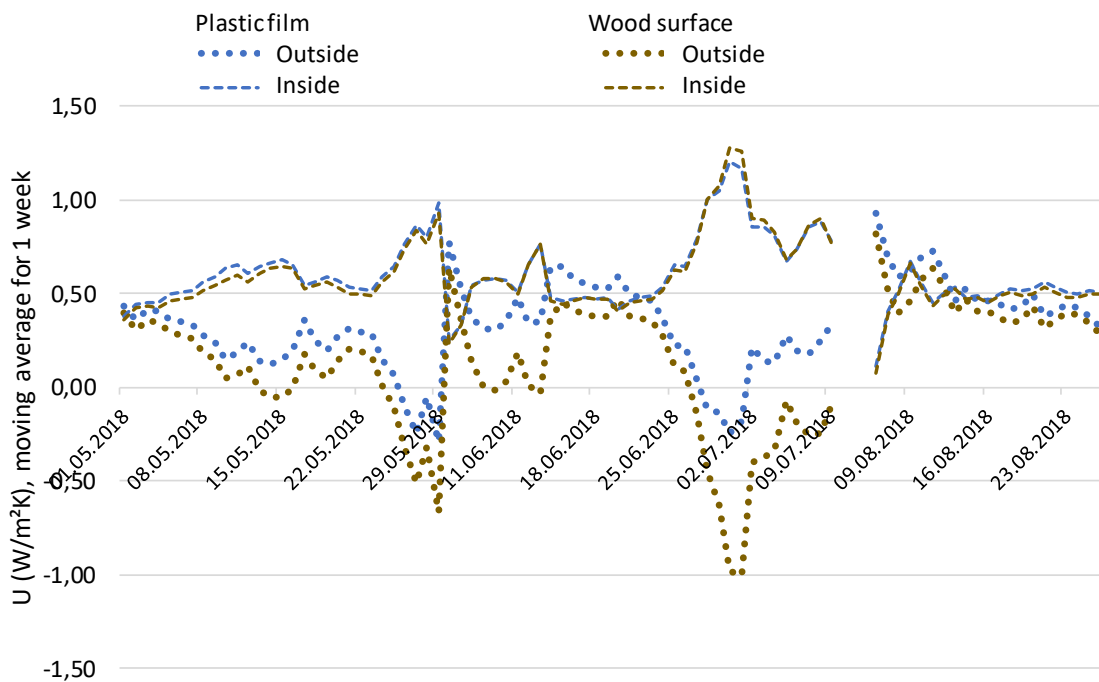
Målingene viser også i Figur 3–5 at den største forskjellen med og uten hygrotermisk effekt inntreffer om sommeren (spesielt på utsiden) da fuktvekslinger med omgivelsen er som størst. På vinterhalvåret er det absolutte fuktinnholdet (g vann/m³ luft) i luften lavere enn på sommerhalvåret, og da er ikke den hygrotermiske effekten like fremtredende.



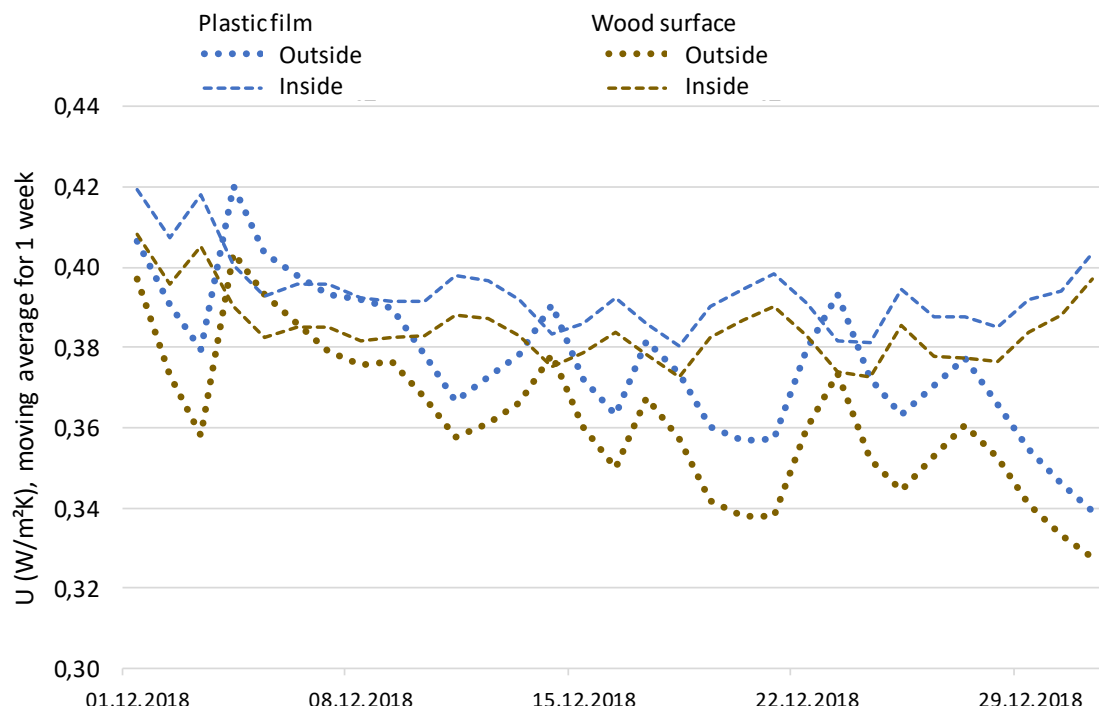
Figur 2. Akkumulert U-verdi for de tre veggene under hele måleperioden. Minstekravet i TEK17 (0,22 W/m² K) er markert med den stiplede linjen.



Figur 3. Akkumulert U-verdi for nordveggen under hele måleperioden.



Figur 4. U-verdi for nordveggen beregnet som glidende gjennomsnitt for en uke når gjennomsnittlig $\Delta T > 5^{\circ}\text{C}$. Grafen viser sommermånedene i 2018.



Figur 5. U-verdi for nordveggen beregnet som glidende gjennomsnitt for en uke. Grafen viser desember 2018.

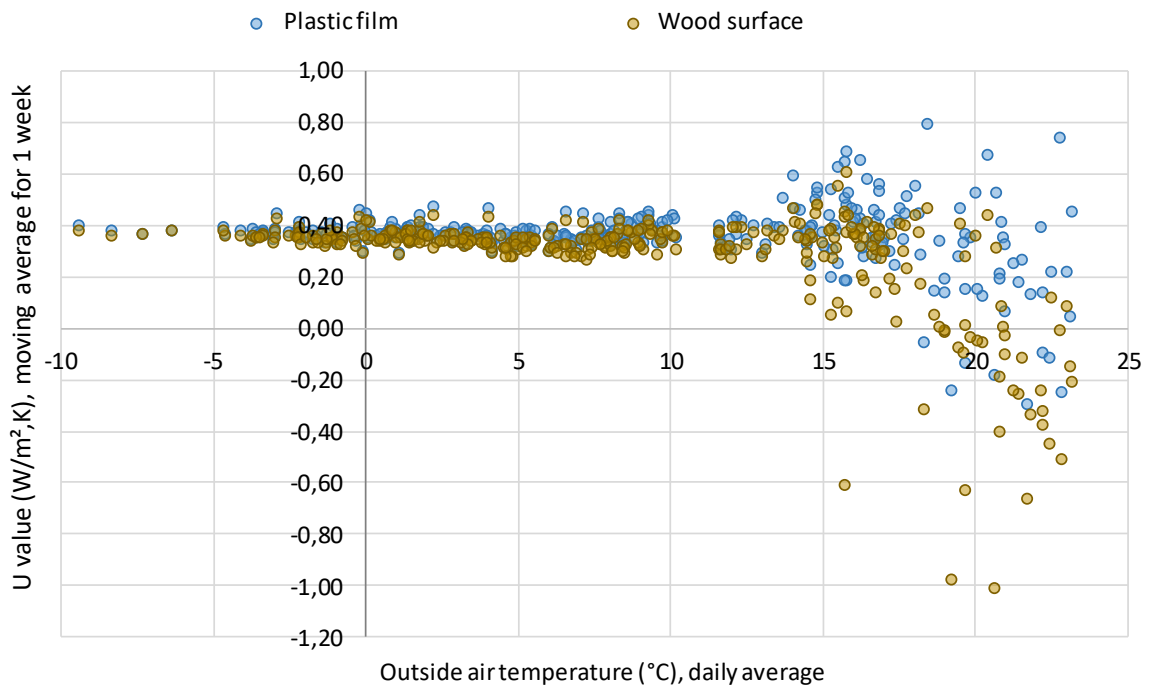
Figur 6 og Figur 7 viser at det er tydelig at den målte U-verdien som inkluderer hygrottermisk effekt er lavere enn U-verdien uten hygrottermisk effekt. I Figur 6 plottes U-verdiene mot utetemperaturen og vi ser at U-verdien varierer mer når det er varmt ute. Når U-verdien er beregnet til et negativt tall betyr det at varmekulaksplaten måler et verdi med motsatt fortegn ift. temperaturdifferansen. Varmekulaksplaten fanger da opp raskere forandringer av varmegjennomgang enn hva temperaturdifferansen gjør. Dette er naturlig siden platesensorene er mye tynnere enn veggene.

Figur 2 viser at det er stor variasjon i U-verdi for veggene da de lokale klimaforholdene (fuktighet og solstråling) for veggene varierer i stor grad. Vår estimering av U-verdien for KLT-veggene uten isolasjon er derfor i det relativt store spennet 0,30–0,40 W/m² K. Estimeringen er basert på at den hygrottermiske effekten er tilstede på begge sider av veggene.

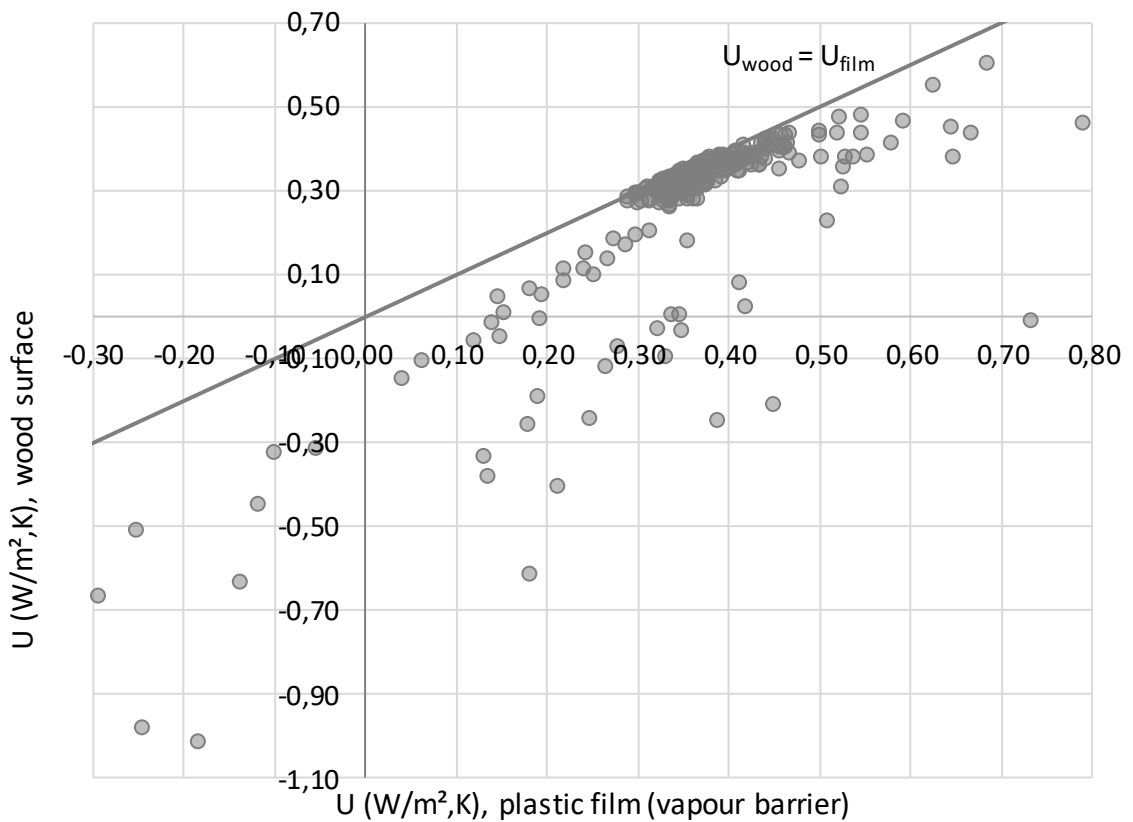
I et tidligere forprosjekt (Nore et al 2015⁴) har statisk U-verdi for veggene blitt beregnet til 0,44 W/m² K og hygrottermisk U-verdi til 0,28 W/m² K. Målingene av den hygrottermiske U-verdien er ikke nede på det beregnede nivået; dette kan være grunnet andre modell-antakelser når det gjelder f.eks. fuktighet og solstråling enn hva som gjaldt under målingene.

⁴ Kristine Nore, Preben Aanensen, Dimitrios Kraniotis, Thomas Orskaug, Per Lind og Anders Q. Nyrud (2015): Borg Havn. Treteknisk-rapport 310485.

Gjengis utdrag av rapporten, eller brukes instituttets navn som referanse til slike utdrag, skal dette godkjennes skriftlig av Norsk Treteknisk Institutt. Rapporten har kun gyldighet for det som er diskutert i rapporten.



Figur 6. U-verdi for nordveggen (målt fra utsiden) beregnet som glidende gjennomsnitt for en uke.



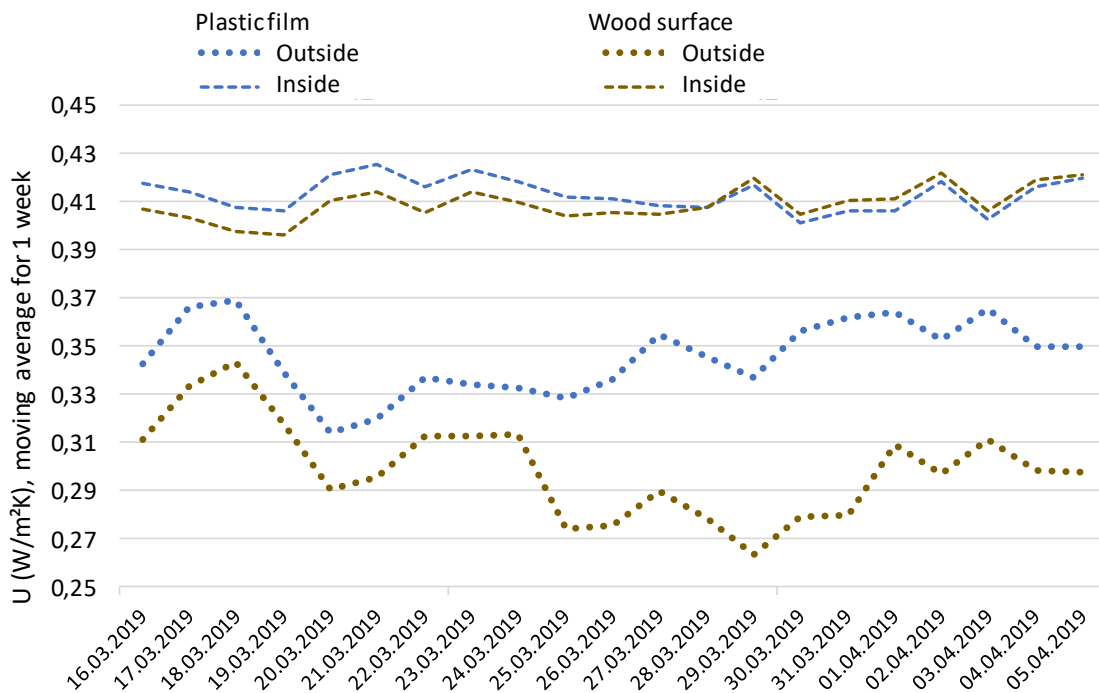
Figur 7. U-verdi med treoverflate plottet mot U-verdi med plastfilm (nordveggen, målt fra utsiden). U beregnet som glidende gjennomsnitt for en uke.

Kontroll av flukssensorene på nordveggen

For å undersøke hvor mye målesensorenes individuelle variasjoner påvirker resultatene ble flukssensorene på nordveggen flyttet: De to flukssensorene på utsiden respektive innsiden byttet plass. Resultatet av denne testen viser at de individuelle målerne skiller seg litt, men at konklusjonene fra målingene fortsatt er gyldige. Figur 8 viser at U-verdien med og uten hygrottermisk effekt (målt fra innsiden) endret seg etter flyttingen 25. mars, men vi ser også at U-verdiene er nærmest lik hverandre. På utsiden er trenden den motsatte: U-verdien for treoverflatene ble enda lavere enn for overflatene med plastfilm. Det er ikke helt samme uteklima før og etter flyttingen, men vi mener at klimaet er såpass lik at det er mulig å sammenligne målingene.

Isolasjon og kledning

I målingene er det tydelig at den reelle U-verdien for veggene er bedre enn hva tradisjonelle beregninger kommer frem til. Dog oppfyller U-verdien ikke minstekravet i TEK17 ($0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$). For å oppnå minstekravet ved å montere isolasjon og kledning kreves det minst 30 mm isolasjon, se Tabell 1. Dette er 40 mm (57 %) mindre isolasjon enn hva som kreves med tradisjonell U-verdi-beregning.



Figur 8. U-verdi for nordveggen beregnet som glidende gjennomsnitt for en uke. Fluksplatene byttet plass 25.03.2019.

Tabell 1. Beregninger (WUFI Plus) av U-verdier for KLT-vegger med og uten kledning og isolasjon.⁵ Resultatene vises med og uten hygrotermisk effekt (HE). Verdiene som inkluderer HE baseres på lavest estimert U-verdi fra målingene og verdiene som ekskluderer HE baseres på statiske, tradisjonelle U-verdi-beregninger.

	Med HE	Uten HE
KLT	0,30 W/m ² K	0,44 W/m ² K
KLT + kledning	0,27 W/m ² K	0,38 W/m ² K
KLT + kledning + isolasjon	0,22 W/m ² K	0,22 W/m ² K
Isolasjonstykkelse	30 mm	70 mm

Det å montere kledning på veggene vil redusere oppfukning som følge av regn på utvendig side. Dette vil forhindre energitap ved uttørking av veggene, noe som vil forbedre den hygrotermiske effekten til ytterveggen.

Energibruk i kontorbygget

Energibruket i kontorbygget har blitt målt til 107 kWh/m²/år⁶. Dette er lavere enn kravet på kontorbygninger i TEK17 som er på 115 kWh/m². Figur 9 viser energibruket i kontorbygget under hele måleperioden. For å underlette sammenligning med det årlige energibruket har de enkelte daglige verdiene blitt multiplisert med 365.

Det målte energibruket inkluderer all elektrisk og termisk energi som går til kontorbygget. Det er viktig å merke seg at den elektriske energien som er målt ikke bare brukes for oppvarming innendørs, så det reelle spesifikke energibruket er i realiteten lavere enn 107 kWh/m²/år. Blant annet inkluderer det målte elforbruket opplading av elbiler og lys utendørs. Det var ikke mulig å måle disse to elforbrukene på en enkel måte, men det er rimelig å anta at disse to strømforbrukerne er små i forhold til det totale elforbruket.

Oppsummering av resultatene for U-verdi

Usikkerhetene i måling av U-verdi på vegger i et eksisterende bygg er store. Usikkerhetene er størst på utsiden og på sørsiden av veggene grunnet større variasjoner i solstråling, temperatur, luftfuktighet og trefuktighet. Ideelt skal målesensorene monteres på innsiden med stabile klimaforhold under 4–10 dagers måleperiode. Sensorene er ikke konstruert for målinger over et helt år. Grunnen til at det ble valgt å utføre målingene med denne metoden var for å inkludere

⁵ Isolasjon med $\lambda = 0,035$ W/mK. Beregningene med kledning inkluderer 30 mm luftspalte.

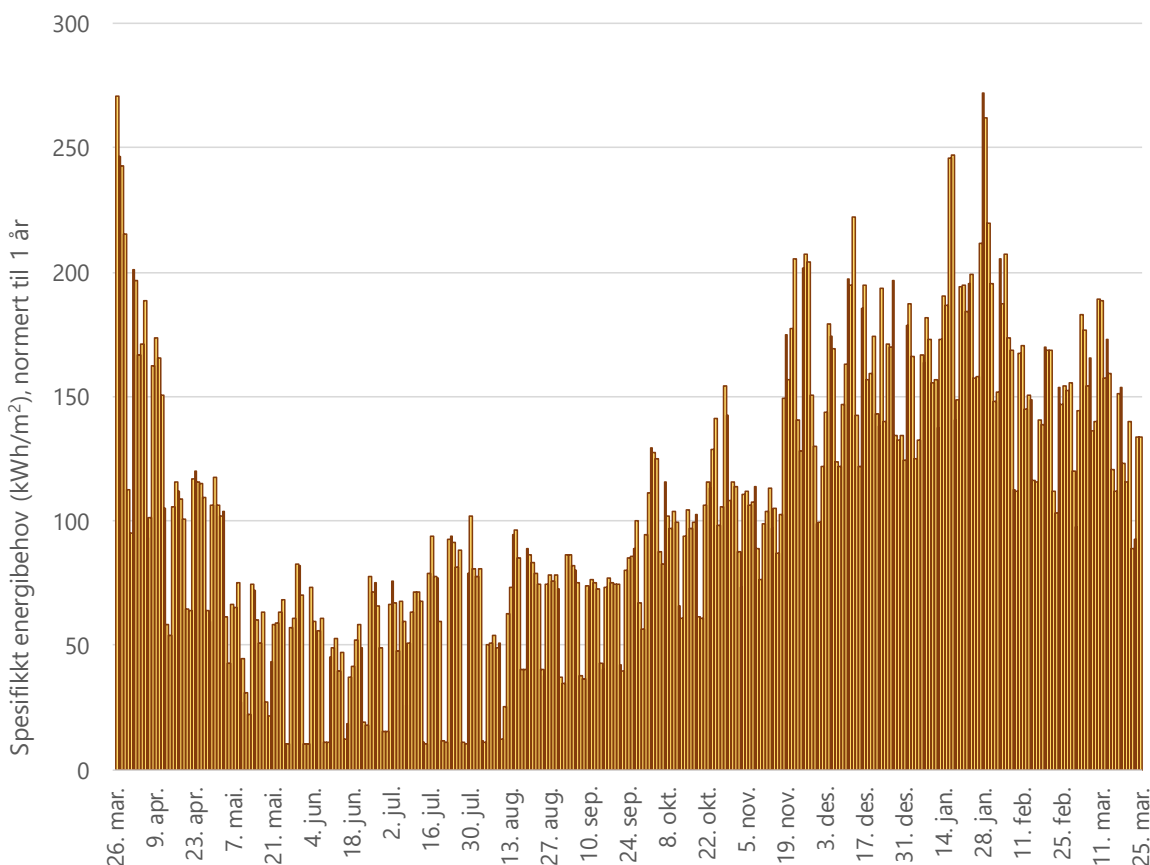
⁶ Kontorbyggets areal er 927 m²: 412 m² kontor og møterom i to etasjer, samt 103 m² teknisk rom.

Gjengis utdrag av rapporten, eller brukes instituttets navn som referanse til slike utdrag, skal dette godkjennes skriftlig av Norsk Treteknisk Institutt. Rapporten har kun gyldighet for det som er diskutert i rapporten.

fuktvariasjoner over et år og for å estimere hygrotermisk effekt fra både innsiden og utsiden.

Målingene viser at det ikke er mulig å angi én enkel U-verdi for veggene da de lokale klimaforholdene (fuktighet og solstråling) for veggene varierer i stor grad. Vår estimering av U-verdien for veggene uten isolasjon er derfor i det relativt store spennet 0,30–0,40 W/m² K.

Det finnes noen faktorer som ikke er optimale for trevegger i et kontorbygg når det gjelder å måle U-verdi inkludert hygrotermisk effekt. For eksempel er luftfuktigheten naturlig tørr i et kontorbygg. Fuktigere forhold inne ville resultert i bedre U-verdi for treveggene siden den hygrotermiske effekten ville vært tydeligere. Trebygg tåler en høyere fuktighet enn tradisjonelt byggeri, så ventilasjonsanlegget kan gjerne driftes slik at mindre fukt fjernes fra luften. Videre gjør beisingen som er blitt gjennomført inne i dette bygget at den hygrotermiske effekten ikke blir like god på innsiden som den skulle vært for ubehandlet tre. En ting som ikke er blitt testet enda, er å tilpasse ventilasjonen for å undersøke treveggers naturlige evne til å balansere inneklime i et bygg. En redusert ventilasjon ville også ført til et lavere energibruk i bygget.



Figur 9. Spesifikt energibruk (kWh/m²) for kontorbygget, normert til 1 år. (Energibruket for hver enkel dag har blitt multiplisert med 365.)