

3D1110 - Åpen

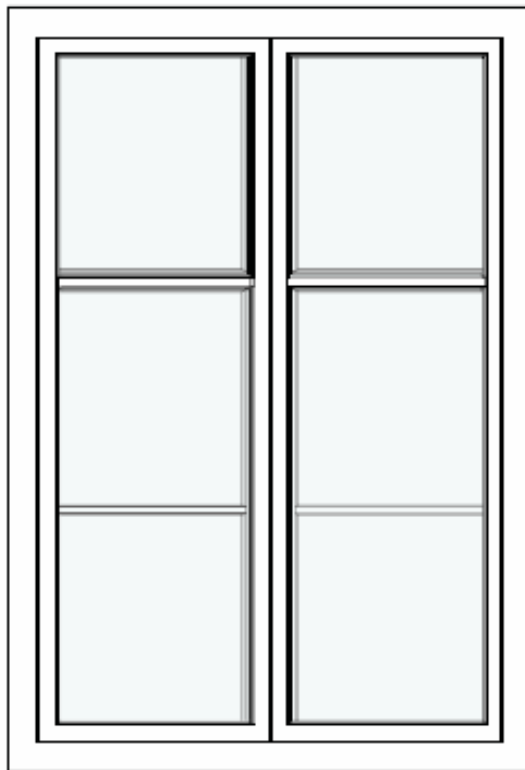
Rapport

Energieffektive bevaringsverdige vinduer

Målinger og beregninger

Forfatter(e)

Anders Homb, Sivert Uvsløkk



Oppdragsgivere:

Enova



Riksantikvaren



Utført av

SINTEF Byggforsk

Byggematerialer og konstruksjoner

SINTEF Byggforsk

Postadresse:
Postboks 4760 Sluppen
7465 Trondheim

Sentralbord: 73593000
Telefaks: 73593380

byggforsk@sintef.no
<http://www.sintef.no/Byggforsk/>
Foretaksregister:
NO 948007029 MVA

Rapport

Energieffektive bevaringsverdige vinduer

Målinger og beregninger

EMNEORD:
Emneord

VERSJON
2

DATO
01.06.2012

FORFATTER(E)
Anders Homb, Sivert Uvsløkk

OPPDRAKSGIVER(E)
Enova SF,
Riksantikvaren

OPPDRAKSGIVERS REF.
SID 10/1078 Roar Hugnes,
Marte Boro

PROSJEKTNR
3D1110

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
39 sider samlet

SAMMENDRAG

Overskrift sammendrag
Se kap. 1.

UTARBEIDET AV
Anders Homb og Sivert Uvsløkk

SIGNATUR


KONTROLLERT AV
Lars Gullbrekken

SIGNATUR


GODKJENT AV
Jonas Holme

SIGNATUR


RAPPORTNR
Rapportnr

ISBN
ISBN-nummer

GRADERING
Åpen

GRADERING DENNE SIDE
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
Skriv versjonsnr.	Velg dato	[Tekst]
1	07.05.2012	Åpen prosjektrapport

2	01.06.2012	Åpen prosjektrapport
---	------------	----------------------

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag	4
2	Bakgrunn og målsetting	4
3	Forsøksvindu	5
4	U-verdi	8
4.1	Måling av U-verdi.....	8
4.2	Nøyaktig beregning av U-verdi.....	11
4.3	Forenklet beregning av U-verdi.....	12
4.4	Sammenligning mellom beregnede og målte U-verdier.....	13
5	Lufttetthet og uttørkingsevne	15
5.1	Måling av luftgjennomgang.....	15
5.2	Uttørkingsevne.....	16
6	Lydisolasjon	18
6.1	Grunnlag.....	18
6.2	Måling av lydisolasjon.....	18
6.3	Beregning og vurdering av lydisolasjon.....	21
7	Varmebalanse	21
7.1	Strålingstekniske egenskaper til vindusruter.....	21
7.2	Beregnet energibehov.....	21
8	Andre vindusvarianter	23
8.1	Beregnete U-verdier for andre vindusvarianter.....	23
9	Referanser	28
10	Vedlegg - målemetoder	29
10.1	Måling av U-verdi i Hotbox.....	29
10.2	Måling av lufttetthet.....	30
10.3	Måling av luftlydisolasjon.....	31
11	Vedlegg - beregningsmetoder	33
11.1	Beregning av U-verdi, nøyaktig metode.....	33
11.2	Beregning av U-verdi, forenklet metode.....	33
11.3	Beregning av varmbalanse.....	33
12	Vedlegg - måleresultater	34
12.1	Temperaturprofiler.....	34
12.2	Lufttetthet.....	37
12.3	Lydreduksjonstill.....	39

1 Sammendrag

SINTEF Byggforsk har gjennomført et prosjekt for Riksantikvaren og Enova for å dokumentere aktuelle egenskaper til energieffektive bevaringsverdige vinduer. Arbeidene har tatt utgangspunkt i en eldre type to-rams vindu med enkle rammer og ett glass delt i tre ruter av horisontale sprosser. Det ble produsert to typer varevindu, henholdsvis med enkelt glass og med isolerrute. Målinger og beregninger har blitt gjennomført med to forskjellige avstander fra ytre glass til varerammen. Prosjektet har hatt følgende innhold:

- Målinger av U-verdi
- Beregninger av U-verdi med nøyaktig og forenklet metode
- Målinger av lufttetthet og uttørkingsevne
- Målinger og vurderinger av lydisolasjon
- Beregninger av varmebalanse

Målingene viser at man kan oppnå U-verdi mellom 1,5 og 1,6 W/m²K for et eldre vindu med innvendig vareramme med enkelt glass med hardbelegg. Med to-lags isolerrute i varerammen kan en oppnå U-verdi under 1,0 W/m²K. Små luftåpninger i ytterste ramme er nødvendig for at fukt som kommer inn mellom rammene skal kunne tørke ut igjen. Målingene med og uten luftåpninger viser at moderate luftåpninger ikke påvirker U-verdien til vinduet. Beregninger av U-verdier med nøyaktig metode viser god overensstemmelse med målte verdier. Det er også beregnet U-verdi for en rekke kombinasjoner med den nøyaktige metoden.

Lydisolasjonsmålingene viser at tetthet i anslag mellom rammene og karm er svært utslagsgivende på resultatet. Dvs. at tettheten er vesentlig mer kritisk for lydisolasjonen enn for U-verdien. Målingene viser også, slik man teoretisk kan forvente, at økt avstand mellom ytre glass og glass i vareramme gir en vesentlig forbedring av lydisolasjonen. Finner man en optimal tettelse kan man oppnå høy lydisolasjon med begrenset glassvekt i vareramme.

Beregning av varmebalanse viser at samlet energibehov for et standard småhus, med golv, vegger, tak og installasjoner som er oppgradert til TEK10 standard, vil få redusert energibehovet til oppvarming med ca. 50 % når vinduene oppgraderes fra enkelt glass til to eller tre-lags ruter ved hjelp av innvendige varerammer.

2 Bakgrunn og målsetting

I Norge er det registrert flere hundre tusen bygninger som er oppført tidligere enn 1900. Inkludert bygninger fra før krigen er det derfor et betydelig antall bygninger som fortsatt har opprinnelige vinduer med kulturhistorisk verdi. Hver stilepoke har sine vindustyper med sine karaktertrekk: Formater, ruteinndeling, detaljering, listverk og annet dekorativt tilbehør som inngår i en arkitektonisk helhet. Vinduene var til å begynne med enkle, med ruter montert i blyinnfatning og fra 1700-tallet i trerammer med kittfals. Etter hvert ble det vanlig å sette inn ekstra rammer, varerammer, med et ekstra glass. Fra omkring 1900 begynte man å produsere åpningsvinduer med koblede rammer, mens de første forseglede vindusrutene med klart glass og luft i hulrommet kom på markedet omkring 1960. For mer detaljert oversikt, se SINTEF Byggforsk (1989).

Selv om mange eldre vinduer er skiftet ut er det fortsatt svært mange som er bevart. Dette gjelder både villaer og mange leilighetsbygg. De originale vinduene har gjerne dårlig varmeisolasjonsevne og det er derfor et stort potensial for energibesparelse ved å utbedre disse vinduene, se for eksempel Grytli (2004).

Ved å montere en innvendig vareramme med riktig rute kan U-verdien til et utbedret vindu bli minst like lav som for et nytt vindu med samme antall lag glass. Midt på ruten blir U-verdien litt høyere i et utbedret, gammelt vindu fordi ett av hulrommene er fylt med luft i stedet for argon, men dette ekstra varmetapet blir mer enn oppveid av at U-verdien til karm-/ramme-delen blir lavere i et vindu med vareramme enn i et nytt vindu med vanlige rammer. Årsaken til denne positive karm-/ramme-effekten er at avstanden mellom innvendig og utvendig glassoverflate blir større i et vindu med vareramme enn i et nytt vindu med vanlig, enkel ramme. Det medfører at varmen får en lengre vei å gå gjennom karm og ramme. Varmetekniske fordeler med varevinduer og lavemisjonsglass er også beskrevet i Fredlund (1999) og Energiforsatsgruppen (2010).

Før man skifter ut vinduer, bør man nøye vurdere om de gamle vinduene kan repareres og/eller forbedres for å tilfredsstille dagens krav til komfort, varmeisoleringssevne og tetthet. Å bevare originalvinduene dersom disse fortsatt eksisterer vil være et viktig mål ved utbedring av bygninger som har status som verneverdig eller fredet. Bakgrunn for å ta vare på eldre vinduer er beskrevet blant annet hos Byantikvaren Oslo kommune (1999). Oppgradering av vinduer ved hjelp av innvendige varerammer med gode ruter er relativt enkle tiltak som bør vurderes også i andre bygninger enn de som har en vernestatus. Dette kan også være økonomisk gunstig når vinduene er i ellers god stand, spesielt der det ikke er nødvendig å utbedre fasaden/ytterkledningen. Slike tiltak kan derfor få et stort omfang og gi en markert reduksjon av energibruken i den eksisterende bebyggelsen.

Utbedring av vinduer slik at de blir energieffektive medfører en del utfordringer. Dette gjelder både utbedringsprinsipper, valg av løsninger, rasjonell produksjon og økonomi, se også SINTEF Byggforsk (2000) og (2004). Med hensyn til tekniske egenskaper og forbedringspotensialet etterspørres det dokumentasjon av varmeisolasjonsevne (U-verdi) og lydisolerende egenskaper. Sistnevnte moment for bygninger i trafikkerte omgivelser. For mer detaljert underlag, se SINTEF Byggforsk (2006). Dette medfører at man også må sikre god tetting og fuktsikre løsninger, vurdere muligheten for utvendig kondens, samt behovet for vedlikehold.

Målsettingen med prosjektet har vært å dokumentere varmeisolasjonsevne, lufttetthet og lydisolering til en aktuell, gammel vindusløsning som blir forbedret med en vareramme med alternative ruter. Resultatene fra prosjektet vil kunne bidra til at flere originalvinduer i eldre hus bevares, utbedring blir et enklere valg, bygningene får vesentlig mer energieffektive vinduer og komforten generelt forbedres.

3 Forsøksvindu

Ved planleggingen av prosjektet diskuterte vi sammen med Marte Boro hos Riksantikvaren og Roger Huges ved Enova, hvilken vindustype som skulle velges som utgangspunkt for forbedringstiltaket og hvilke prinsipielle løsninger som var aktuelle. For å gjennomføre måling av U-verdi etter vanlig standard, måtte vinduet ha utvendig bredde maksimalt 1,23 m og høyde maksimalt 1,48 m.

Det finnes et stort antall vindusvarianter som var vanlige på 1800-tallet eller første halvdel av 1900-tallet. I diskusjonene landet vi på å ta utgangspunkt i et *to-rams vindu med enkle glass delt i tre ruter av horisontale sprosser*. Dette var en vanlig vindusvariant på 1800-tallet (empirevindu). Vi vurderte det som vanskelig å finne et opprinnelig gammelt vindu som vi kunne bruke og det ble derfor besluttet å bygge et nytt vindu av denne typen, men etter gamle tegninger. Vinduet ble produsert av Trebetong AS, og vi hadde en møte med Karl R. Johansen for å avklare detaljer ved oppbyggingen av vinduet, varerammene og tilhørende detaljer.

Vinduet ble produsert med utvendig bredde 1,119 m og høyde 1,449 m. Oppriss av vinduet er vist på rapportens forside. Det ble valgt å produsere to sett med varerammer:

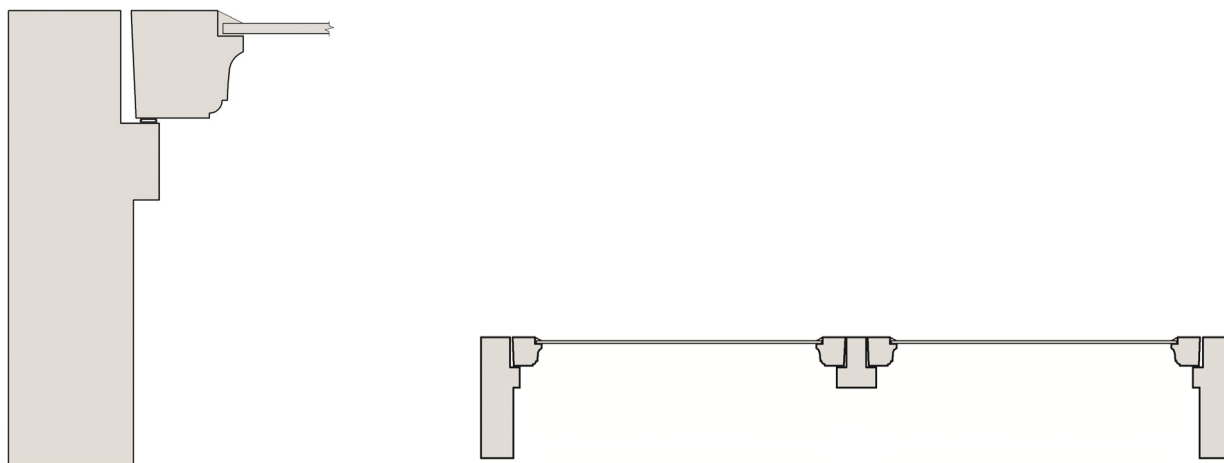
- Vareramme 1 med enkeltglass, E4, med hardbelegg, emisjonstall 0,17, vendt mot hulrommet rutekoder for vinduet: 4-74-E4 (vareramme i midtre posisjon), og 4-144-E4 (indre posisjon).
- Vareramme 2 med tolags isolerrute, E4-16Ar-E4, med to lavemisjonsbelegg. Det ytterste glasset med et hardbelegg, emisjonstall 0,17, vendt mot ytre hulrom og det innerste glasset med et vanlig energibelegg vendt mot rutens hulrom (innerste hulrom) fylt med argon gass.

Forklaring av rutekodene som også er brukt i resultatdiagrammene:

- Tallene angir tykkelsen i mm til henholdsvis glass og hulrom regnet utenfra.
- Bokstaven E angir at glasset har et lavemitterende belegg (varmereflekerende belegg).
- Bokstavene Ar eller Kr etter hulromstykkelser angir at hulrommet er fylt med argon eller krypton.
- Argon og Krypton er edelgasser som isolerer bedre enn luft.
- Ved beregningene har vi forutsatt at hulrom med edelgass er fylt med 90 % gass og resten luft.
- Når det ikke står noen bokstaver etter hulromstykkelser er hulrommet fylt med luft.

For å undersøke hvilken betydning plasseringene av varerammen har, ble U-verdien til vinduet målt med varerammene plassert både i midtre posisjon og i indre posisjon. Karmen hadde en innvendig fals som anslag for varerammen når denne var plassert i midtre posisjon (nærmest ytre ramme). Når varerammen var i indre posisjon hadde den anslag mot lister som ble skrudd fast til karmen.

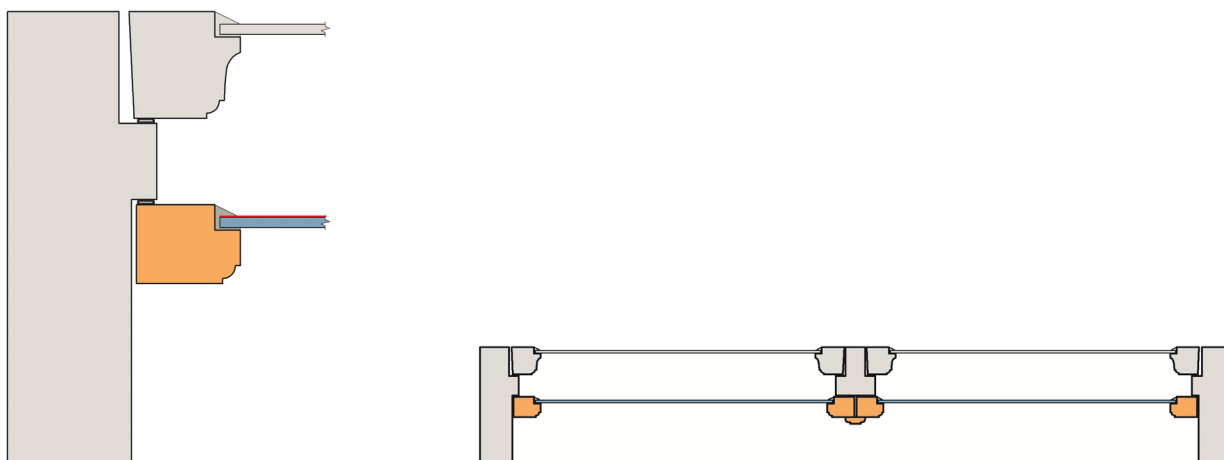
Horizontalsnitt av opprinnelig vindu er vist i figur 3.1. Figur 3.2a og 3.2b viser horizontalsnitt av forbedret vindu med vareramme med enkeltglass i to posisjoner, mens figur 3.3a og 3.3b viser tilsvarende horizontalsnitt av vinduet med vareramme med to-lags isolerrute.



Figur 3.1

Horizontalsnitt av opprinnelig vindu med utvendig karmbredde 1119 mm og karmhøyde 1449 mm.

Karmprofilet er 179 mm dypt og 48 mm bredt. Profilet i ytterrammen er 42 mm dypt og 44 mm bredt.

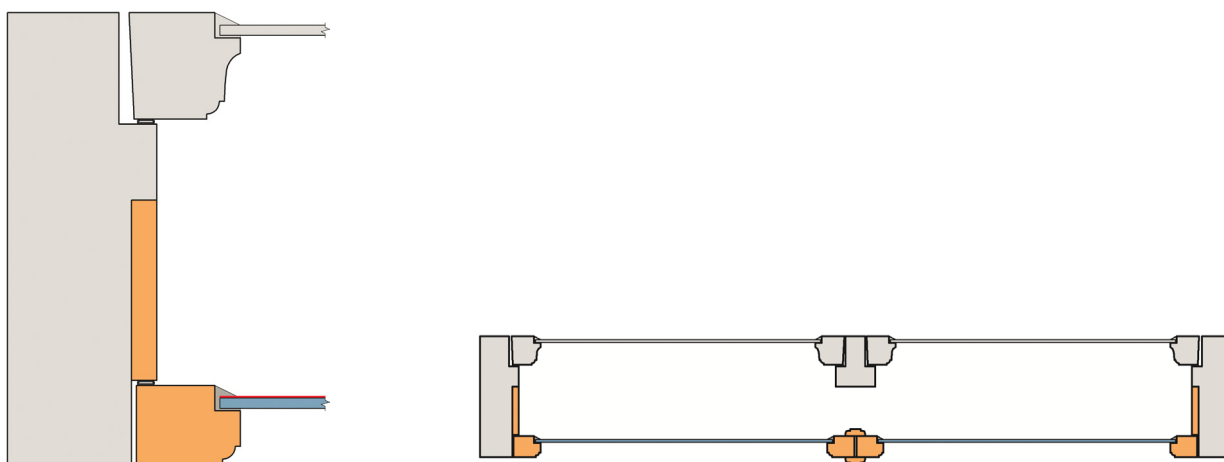


Figur 3.2a

Horisontalsnitt av forbedret vindu med vareramme 1 i midtre posisjon.

Glasset i varerammen har et lavemisjonsbelegg, hardbelegg, her markert med rød strek på utvendig side.

Profilen i vareramme 1 er 31 mm dypt og 44 mm bredt. Hulrommet mellom glassene er 74 mm tykt.

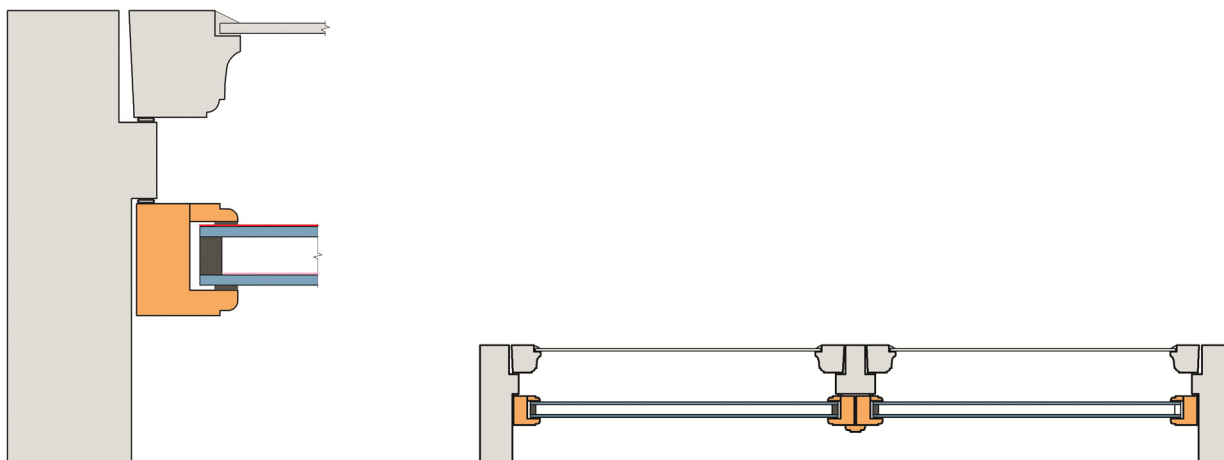


Figur 3.2b

Horisontalsnitt av forbedret vindu med vareramme 1 i indre posisjon.

Glasset i varerammen har et lavemisjonsbelegg, hardbelegg, her markert med rød strek på utvendig side.

Hulrommet mellom glassene er 146 mm tykt.

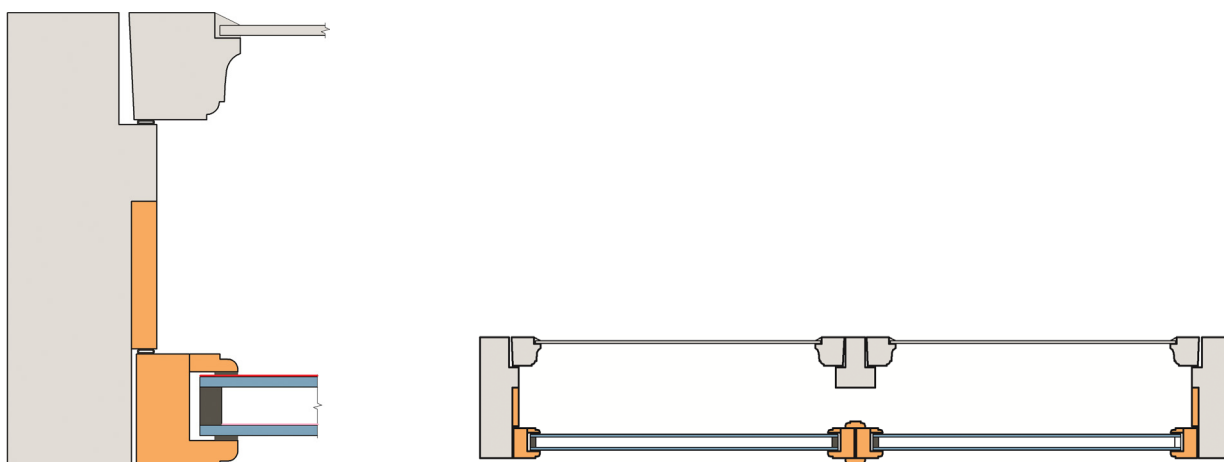


Figur 3.3a

Horizontalsnitt av forbedret vindu med vareramme 2 i midtre posisjon.

Ruten i varerammen har to lavemisjonsbelegg, et hardbelegg, rød strek, på utvendig side av det ytterste glasset og et vanlig belegg, rosa strek, på det innerste glasset vendt mot hulrommet.

Profilen i vareramme 2 er 44 mm dypt og 44 mm bredt. Hulrommet mellom glassene er 74 mm tykt.



Figur 3.3b

Horizontalsnitt av forbedret vindu med vareramme 2 i indre posisjon.

Ruten i varerammen har to lavemisjonsbelegg, et hardbelegg, rød strek, på utvendig side av det ytterste glasset og et vanlig belegg, rosa strek, på det innerste glasset vendt mot hulrommet.

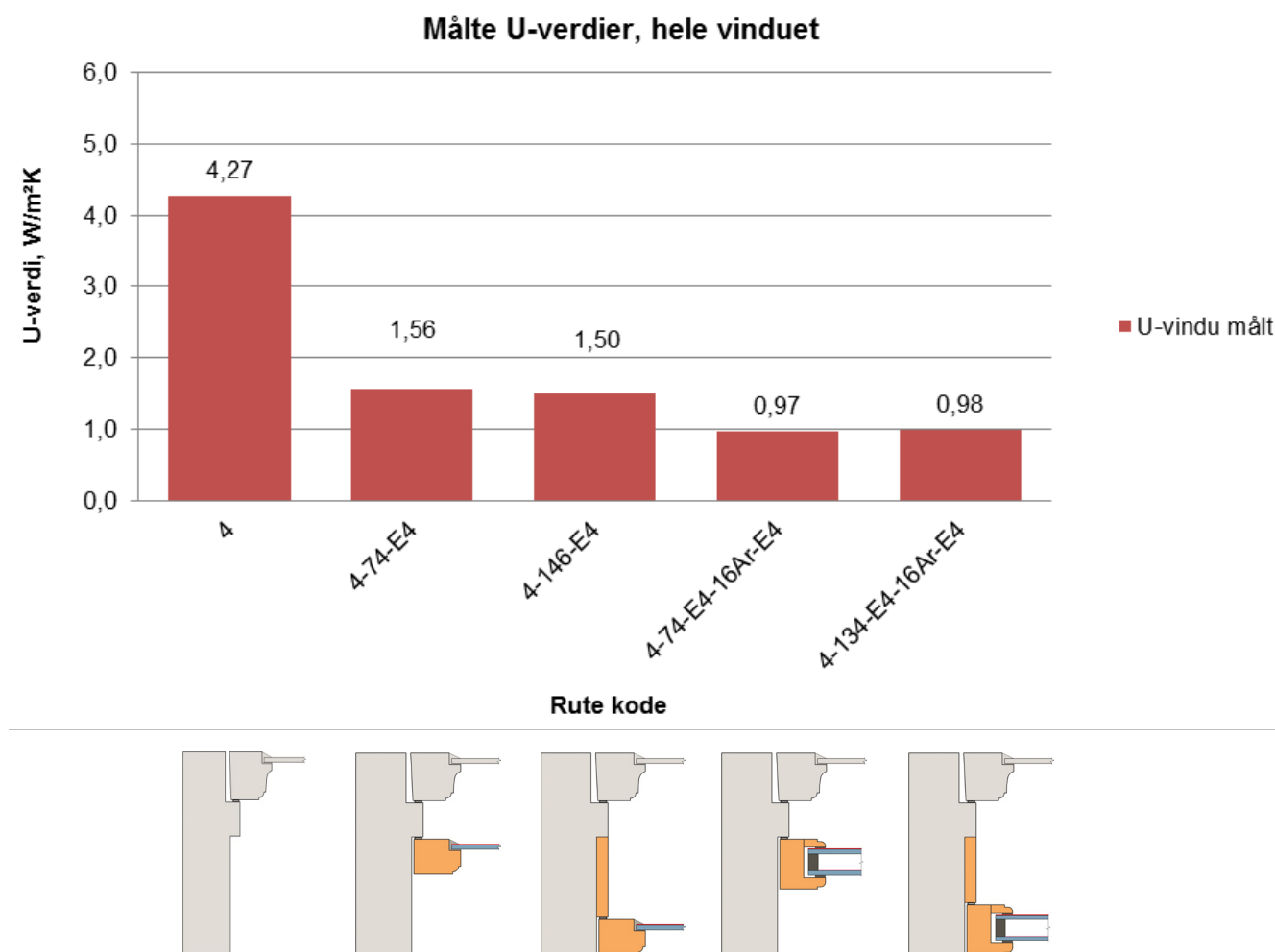
Hulrommet mellom glassene er 134 mm tykt.

4 U-verdi

4.1 Måling av U-verdi

U-verdien til de fem vindusvariantene ble målt i Hot-box ved SINTEF Byggforsk sine laboratorier i Trondheim. Målingene ble gjennomført etter NS-EN 12567-1 (2010). En kort beskrivelse av målemetoden er gitt i Vedlegg (kap 10). Begrepet U-verdi eller varmegjennomgangskoeffisient, brukes som standardisert mål på

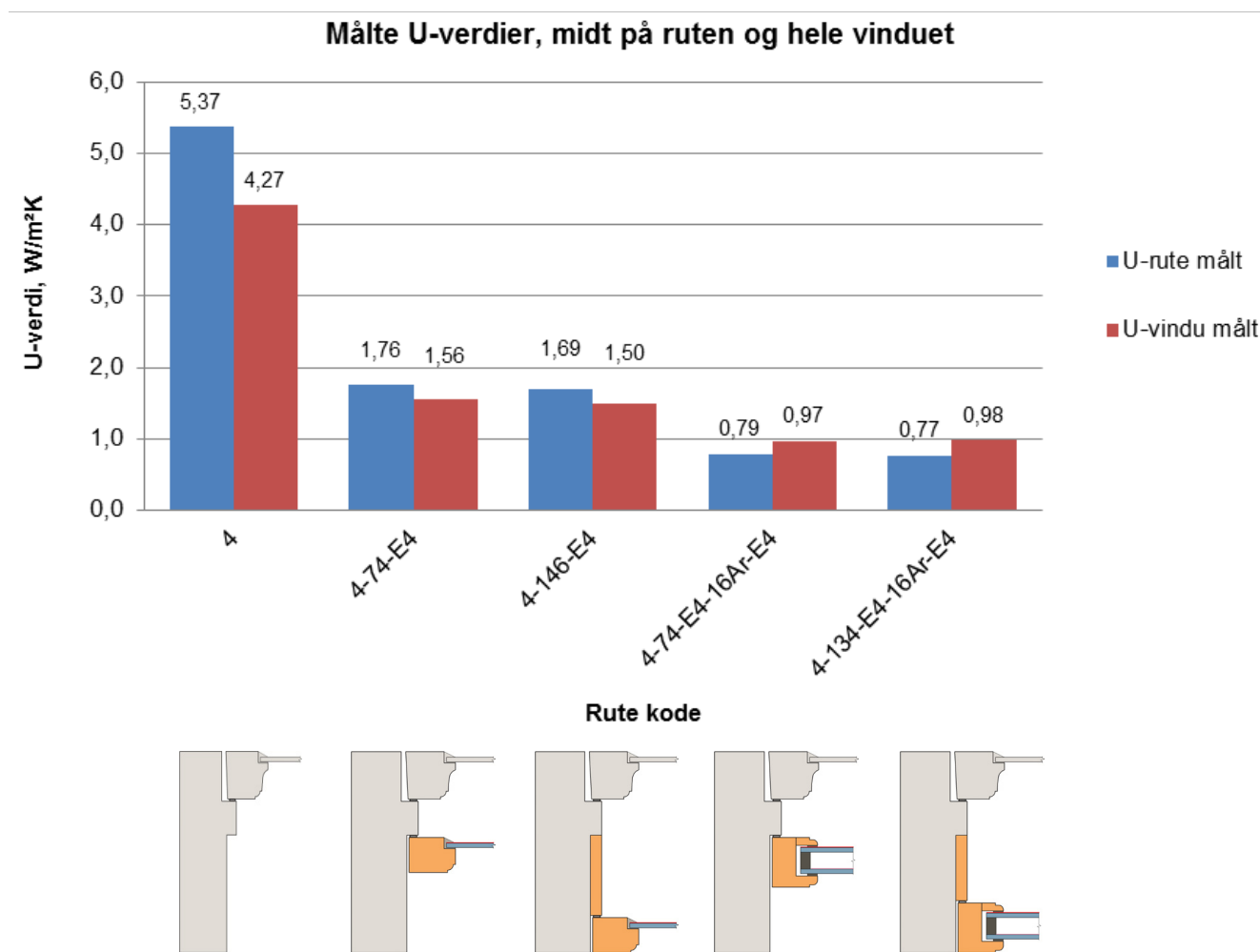
hvor lett en bygningsdel slipper gjennom varme. U-verdien oppgis i $\text{W/m}^2\text{K}$ og angir varmestrøm per areal, tidsenhet og grad temperaturforskjell mellom omgivelsene på varm og kald side av konstruksjonen ($1 \text{ K} = 1 \text{ }^\circ\text{C}$). En godt isolert bygningsdel har derfor lav U-verdi. Målte U-verdier for hele vinduet er vist i figur 4.1. Målte temperaturer på kald og varm side for tre av vinduene er vist i Vedlegg 12.



Figur 4.1

Målte U-verdier for hele vinduet for de fem vindusvariantene som er vist rett under diagrammet. Rutebeskrivelse med tykkelse av glass og hulrom er skrevet på skrå under diagrammet.

Målingene viser at man oppnår en vesentlig forbedring av U-verdien ved forbedring av et eksisterende vindu med en ekstra rute i en vareramme. Med to-lags isolerrute i varerammen blir U-verdien lavere enn $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ som er på samme nivå som et nytt trevindu med en god tre-lags isolerrute. Flytting av varerammene fra midterste til indre posisjon ga ikke signifikante endringer i U-verdien for vinduet. Figur 4.2 viser målte U-verdier midt på ruten sammen med verdier for hele vinduet.



Figur 4.2
Målte U-verdier for midtarealet av ruten og for hele vinduet

U-verdien til vinduet ble målt både med og uten lufteåpninger i den ytterste rammen. Lufteåpninger i ytre ramme er nødvendig for å gi hulrommet mellom rammene en viss uttørkingsevne. Uten lufteåpninger kan fukt som kommer inn mellom rammene føre til kondens, isdannelse og soppvekst.

Resultater med og uten lufteåpninger i ytre ramme er vist i tabell 4.1

Tabell 4.1.

Målte U-verdier, W/m^2K , for hele vinduet uten og med lufteåpninger i ytre ramme

Beskrivelse	Vareramme 1 med enkelt glass		Vareramme 2 med to-lags isolerrute	
	Uten hull i ytre ramme	Med 2 luftehull i hver ramme, samlet hullareal $0,4 \text{ cm}^2$ pr ramme	Uten hull i ytre ramme	Med 4 luftehull i hver ramme, samlet hullareal $4,0 \text{ cm}^2$ pr ramme
Vareramme i midtre posisjon	1,56	1,56	0,96	0,97
Vareramme i indre posisjon	1,52	1,50	0,97	0,98

Målingene viser at lufteåpningen i ytre ramme ikke ga noen signifikant økning i U-verdien for noen av de undersøkte vindusvariantene.

4.2 Nøyaktig beregning av U-verdi

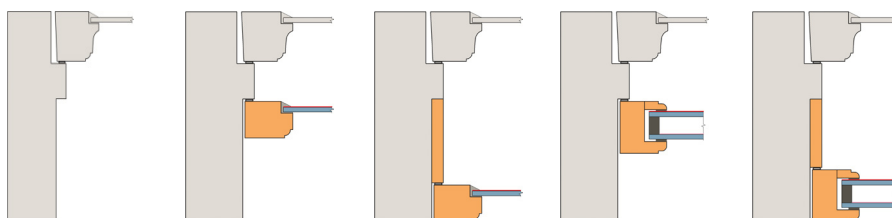
For å få en mest mulig riktig beregnet U-verdi må U-verdien til karm og rammeprofilene, U_{KR} , og kanttillegget, Ψ_K , beregnes i henhold til NS-EN ISO 10077-2 ved hjelp av program for to-dimensjonal varme-strøm. Vi har benyttet beregningsprogrammet THERM 6.3. U-verdien for ruten er beregnet etter ISO 15099 (2003). Nærmere beskrivelse av beregningsmetoden er gitt i Vedlegg, kap 11.

Resultater fra nøyaktige beregninger for de fem vindusvariantene er vist i tabell 4.2. Ved beregningene er det brukt samme oppbygging og dimensjoner som de målte variantene, se også figur 3.1, 3.2 og 3.3.

Tabell 4.2.

Beregnete U-verdier og kanttillegg for de fem undersøkte vindusvariantene, nøyaktig beregning

Hele vinduet	$U_V \text{ W/m}^2\text{K}$	4,56	1,62	1,57	0,92	0,94
Ruten	$U_G \text{ W/m}^2\text{K}$	5,75	1,87	1,87	0,77	0,77
Karm-ramme	$U_{KR} \text{ W/m}^2\text{K}$	2,27	1,08	0,92	0,97	0,82
Kanttillegg	$\Psi_K \text{ W/mK}$	0,011	0,0031	0,0026	0,026	0,037
Post-ramme	$U_{PR} \text{ W/m}^2\text{K}$	2,81	1,21	1,17	0,88	0,88
Kanttillegg	$\Psi_{KP} \text{ W/mK}$	0,011	0,010	0,012	0,011	0,035



4.3 Forenklet beregning av U-verdi

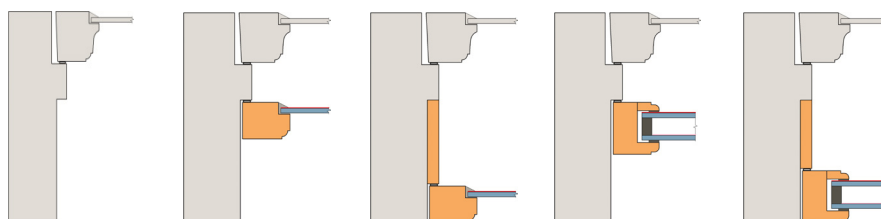
Forenklet beregning gjøres etter samme prinsipper som ved nøyaktig beregning, men U-verdien til karm og ramme, U_{KR} , og kanttillegget, Ψ_K , beregnes på en forenklet måte etter regler i NS-EN ISO 10077-1 (2006). U-verdien for ruten, U_G , er også her beregnet etter ISO 15099 (2003). Resultater fra tidligere beregninger av utadslående trevinduer kan finnes i Arnesen (2008).

Resultater fra forenklete beregninger for de fem vindusvariantene er vist i tabell 4.3. Ved beregningene er det brukt samme oppbygging og dimensjoner som de målte variantene, se også figur 3.1, 3.2 og 3.3.

Tabell 4.3.

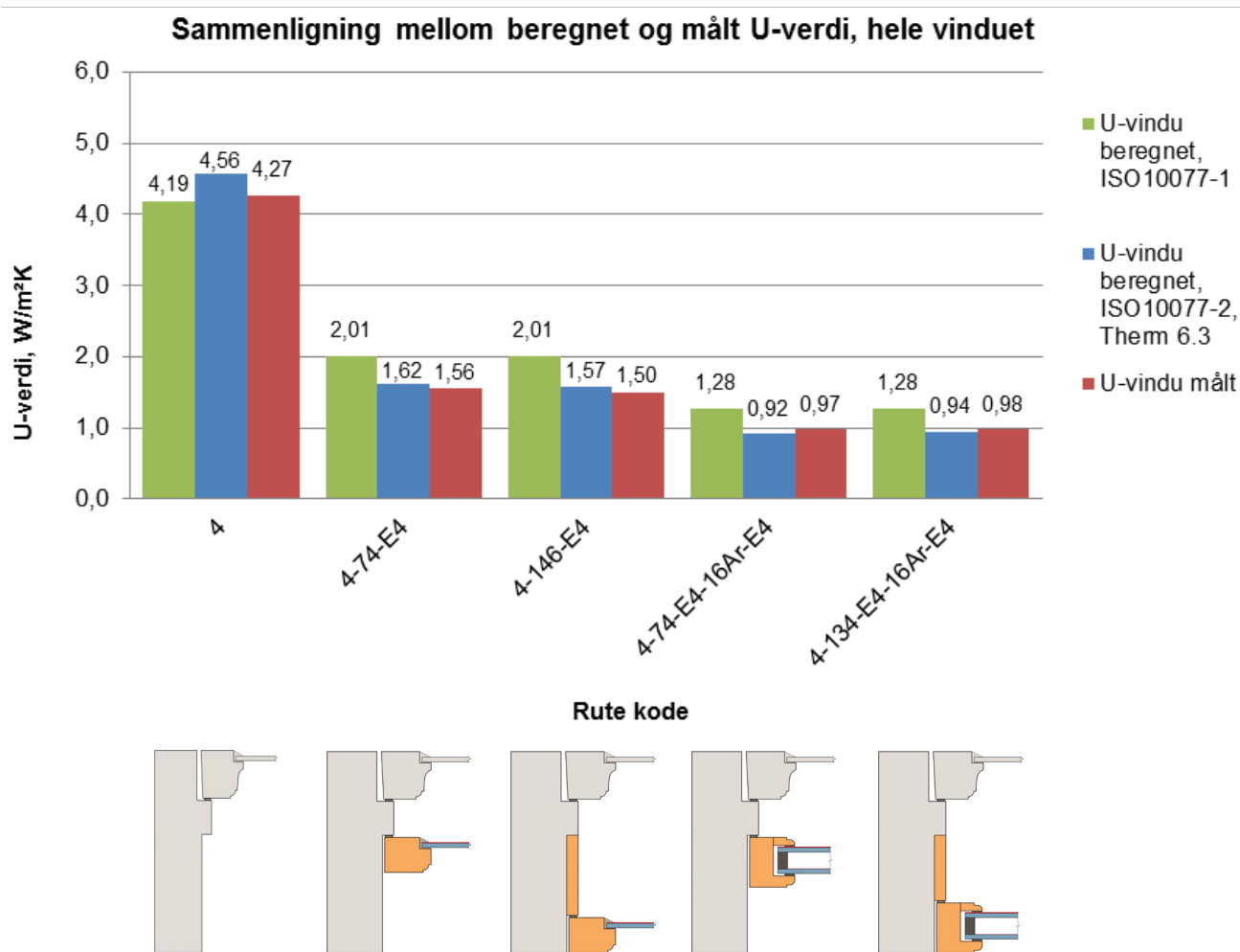
Beregnete U-verdier og kanttillegg for de fem undersøkte vindusvariantene, forenklet beregning

Hele vinduet	U_V W/m ² K	4,19	2,01	2,01	1,28	1,28
Ruten	U_G W/m ² K	5,75	1,87	1,87	0,77	0,77
Karm-ramme	U_{KR} , W/m ² K	1,38	1,26	1,26	1,22	1,22
Kanttillegg	Ψ_K W/mK	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080
Post-ramme	U_{PR} , W/m ² K	1,92	1,57	1,57	1,45	1,45
Kanttillegg	Ψ_{KP} W/mK	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080



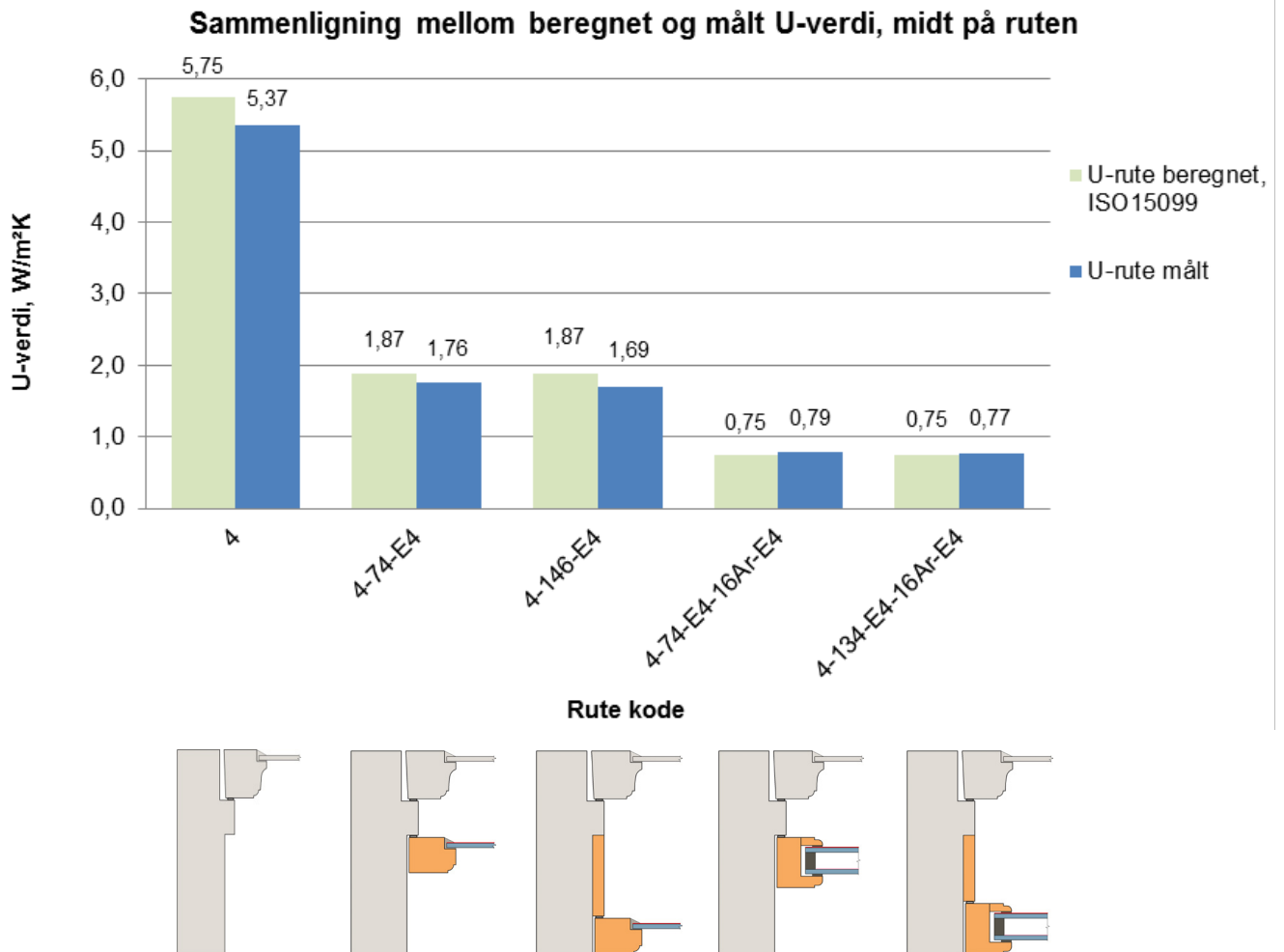
4.4 Sammenligning mellom beregnede og målte U-verdier

Beregnete og målte verdier for hele vinduet, U_V , er sammenstilt i figur 4.3, mens beregnede og målte U -verdier for midtdelen av rutene, U_G , er sammenstilt i figur 4.4.



Figur 4.3

Sammenligning mellom beregnede og målte U -verdier for de fem vindusalternativene. De grønne kolonnene viser verdier beregnet med forenklet metode, de blå viser verdier beregnet med nøyaktig metode mens de røde kolonnene viser målte verdier.



Figur 4.4

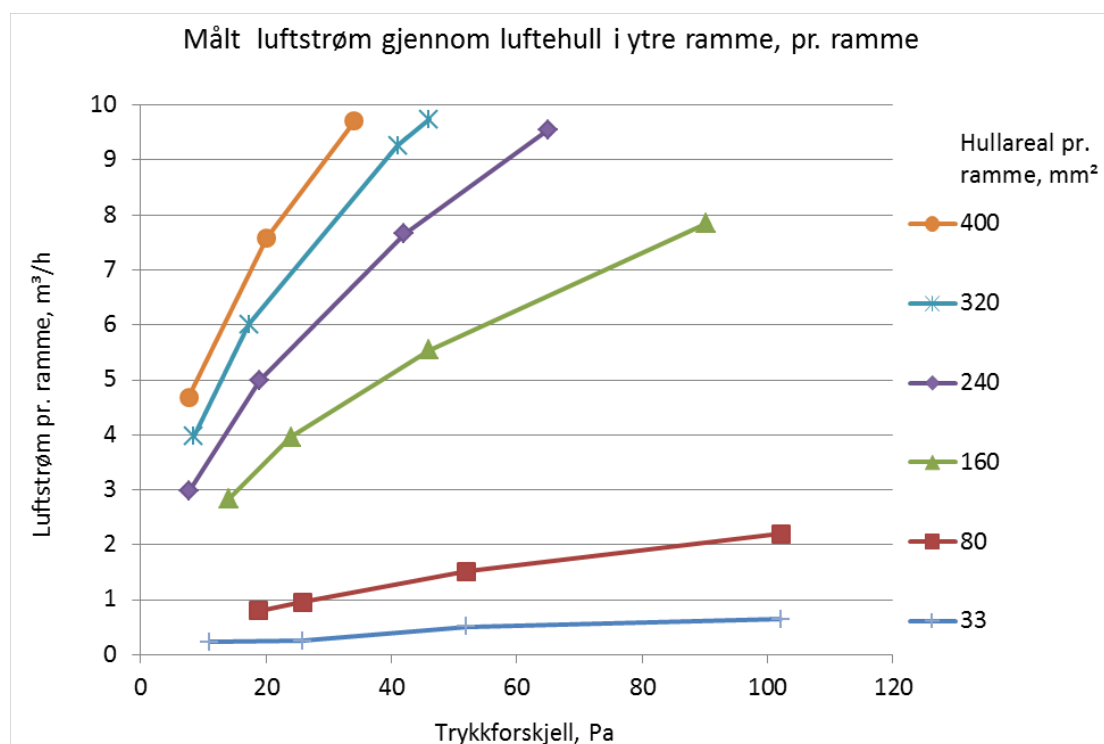
Sammenligning mellom beregnede og målte U-verdier for midtdelen av de fem rutealternativene. De lysegrønne kolonnene viser verdier beregnet med nøyaktig metode og de blå kolonnene viser verdier målt med varmestrømsmåler midt på ruten.

5 Lufttetthet og uttørkingsevne

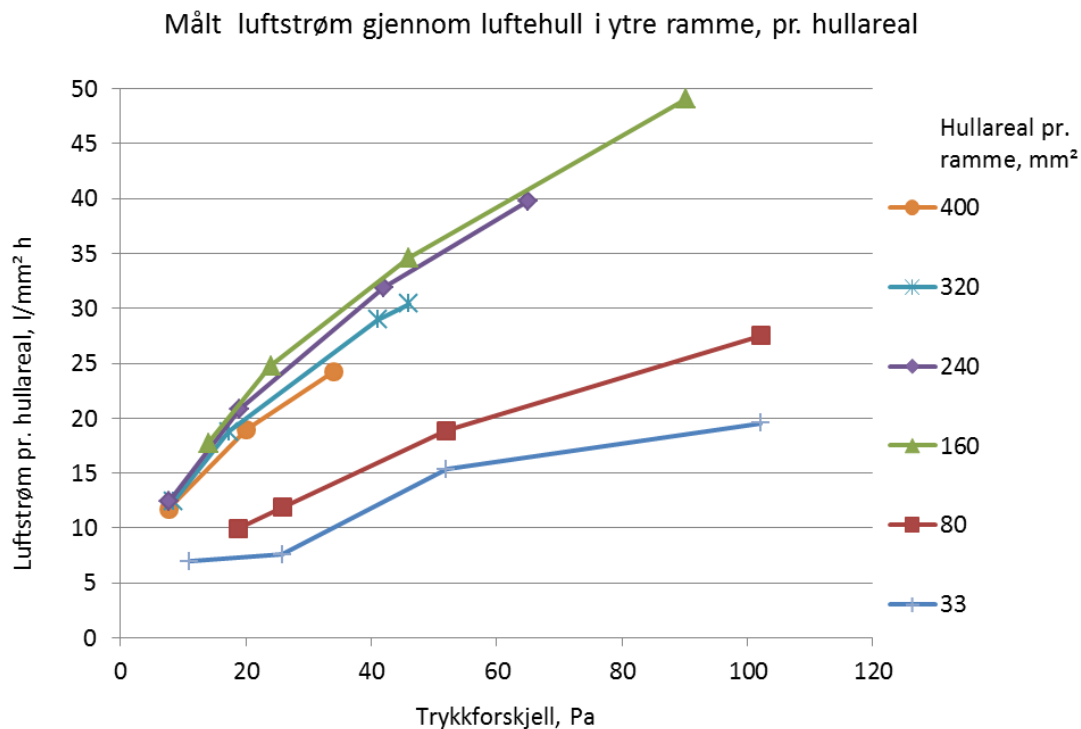
5.1 Måling av luftgjennomgang

Måling av luftgjennomgang til vinduet med bare ytterrammer med alternative lufteåpninger er gjennomført etter metode beskrevet i Vedlegg, kap. 10. Vinduene ble levert med to sirkulære luftehull med diameter 5 mm i hver ramme. Ett hull i øverste rammetre og ett hull i nederste rammetre. Dette viste seg å gi for liten uttørkingsevne for hulrommet mellom rammene. Som omtalt i kapittel 4.1 ble U-verdien derfor også målt med større lufteåpninger i de ytterste rammene. Andre og større lufteåpninger ble laget ved å brette bort deler av tettelistene til de ytterste rammene. Luftgjennomgangen ble først målt med de opprinnelige sirkulære hullene og deretter bare med henholdsvis 10, 20, 30, 40 og 50 mm lange åpninger ved alle rammehjørnene. Avstanden mellom rammen og anslaget i falsen ble målt til 2 mm. Samlet hullareal per ramme ved luftgjennomgangsmålingene var derfor ca. 33, 80, 160, 240, 320 og 400 mm².

Et utvalg av resultater fra målingene er vist i figur 5.1 og 5.2.



Figur 5.1
Målt luftstrøm gjennom lufteåpningene pr. ramme



Figur 5.2

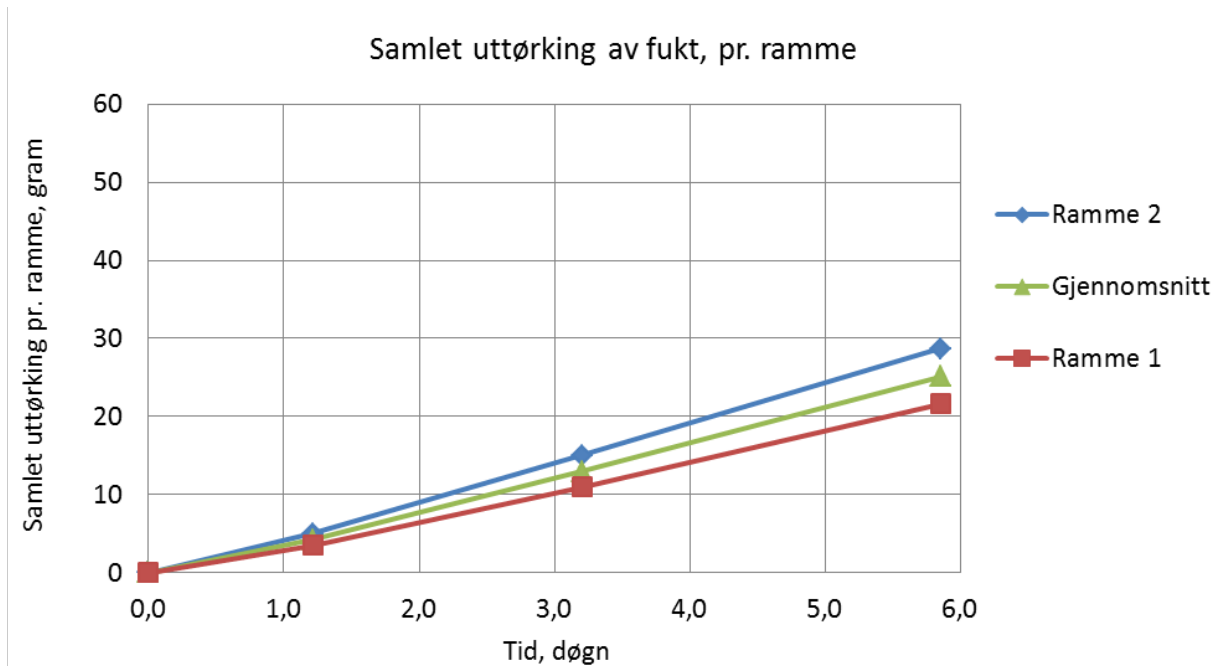
Målt luftstrøm gjennom luftehull per hullareal. Kurvene er basert på de samme måleresultatene som er vist i figur 5.1, men her er verdiene dividert med samlet hullareal

5.2 Uttørkingsevne

Det er gjennomført målinger av hvordan fukt som er kommet mellom rammene kan tørke ut. Dette ble målt ved å plassere en kjent mengde vann i skåler av aluminiumsfolie mellom rammene og registrere vektreduksjonen som funksjon av tiden mens vinduet stod montert i hot-box'en. Det var samme klimaforhold på begge sider av vinduet ved disse forsøkene som ved U-verdi målingene. Innvendig temperatur var 20 °C og utvendig temperatur 0 °C. Det var en oppadrettet luftstrøm, med luft hastighet ca. 4 m/s, parallelt med vindusoverflaten på kald side under uttørkingsforsøkene. Ved uttørkingsforsøkene var det en horisontal luftespalte, med lengde 50 mm og bredde 2 mm, ved alle rammehjørnene. Samlet hullareal var ca. 400 mm² per ramme. Vinduet hadde varerammer med to-lags isolerrute montert i midterste posisjon. Resultater fra uttørkingsforsøkene er vist i figurene 5.3 og 5.4.

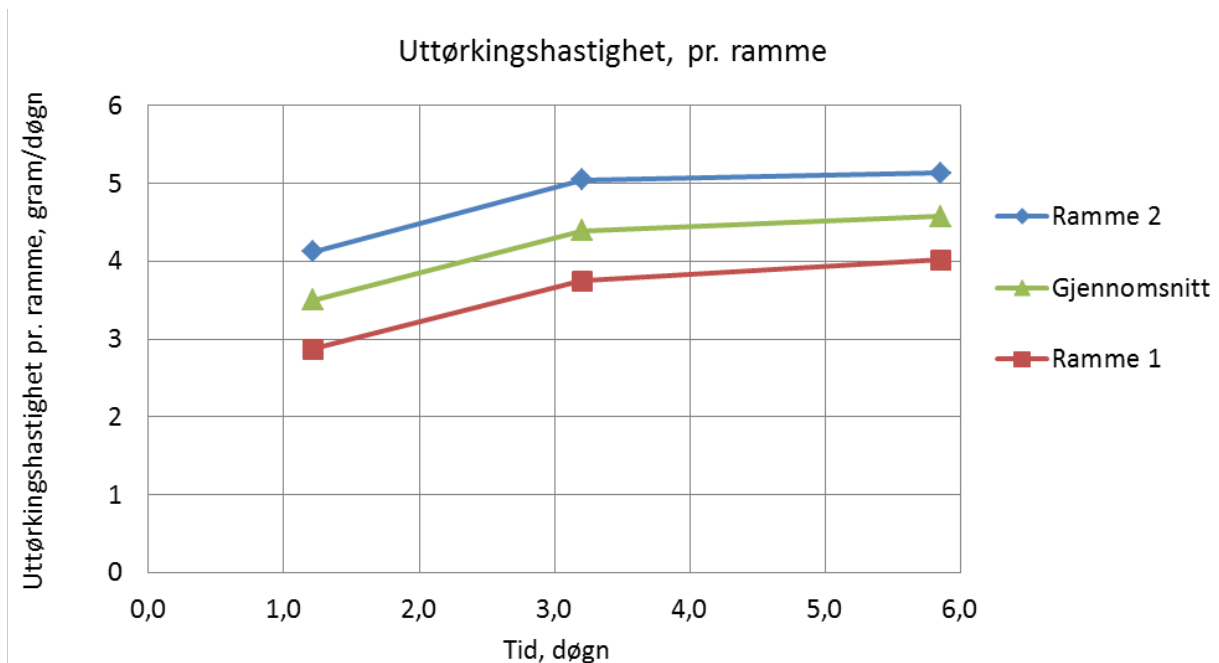
Uttørkingsbehovet vil variere med flere forhold, men først og fremst med hvor god lufttetthet varerammene og tettelistene rundt dem har. Oppfukningen skjer først og fremst ved at fuktig inneluft lekker ut gjennom utette tettelistene rundt varerammene. I mellomrommet mellom rammene blir luften avkjølt og den avgir fukt i form av kondens på det ytterste, kaldeste glasset. Dette skjer først og fremst i den kalde årstiden og når utetemperaturen svinger mye fra dag til natt.

Å ta bort noen cm av tettelistene oppe og nede i den ytterste rammen er en enkel og effektiv måte å oppnå en viss uttørkingsevne slik at en unngår kondens i mellomrommet mellom rammene. For å redusere muligheten for at det skal komme inn nedbør gjennom de samme åpningene bør de øverste åpningene lages i de vertikale tettelistene og de nederste åpningene i den horisontale tettelisten. Etter vår vurdering vil et åpningsareal på ca. 60 mm² ved hvert rammehjørne være tilstrekkelig i de fleste tilfeller. På steder som er utsatt for inndrev av regn eller snø kan en prøve uten åpninger. Hvis det blir kondens mellom rammene kan en kappe bort en cm av tettelistene om gangen inntil kondensproblemet er borte.



Figur 5.3

Målt uttørking av fuktighet pr. ramme. Det var en lufteåpning på 50 mm x 2 mm ved hvert rammehjørne, til sammen 400 mm² per ramme.



Figur 5.4

Målt uttørkingshastighet pr. ramme. Det var en lufteåpning på 50 mm x 2 mm ved hvert rammehjørne, til sammen 400 mm² per ramme.

6 Lydisolasjon

6.1 Grunnlag

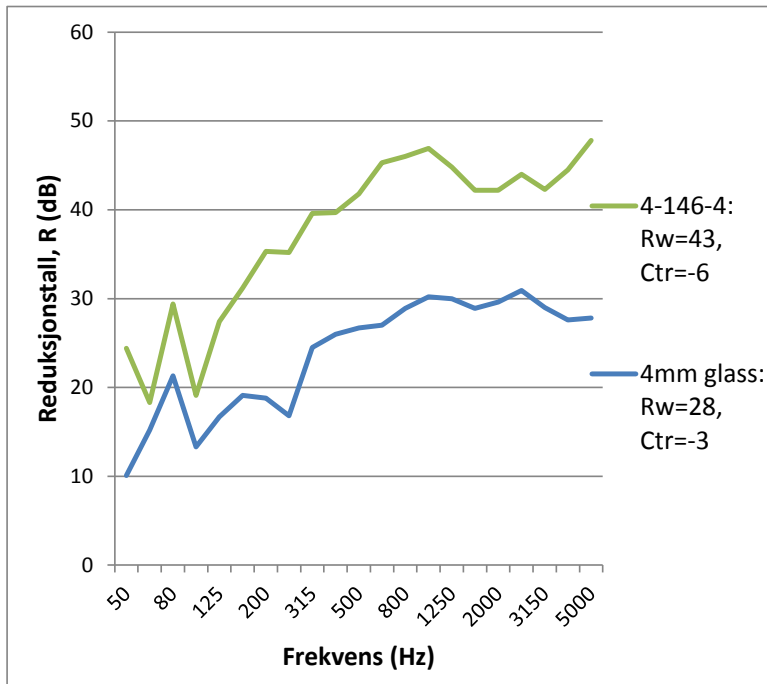
Lydreduksjonstall, R (dB) brukes for å beskrive luftlydisolasjonen til en bygningsdel, dvs. hvor god lydisolasjonen er med hensyn til tale, musikk, trafikkstøy og lignende. Standardisert frekvensområde for slike målinger og beregninger er fra 100 til 3150 Hz. Veid lydredusjonstall, R_w (dB) er en entallsverdi for lydredusjonstallene målt i dette frekvensområdet. På grunn av at vår hørsel oppfatter lyd ned til ca. 20 Hz og fordi (for eksempel) trafikkstøy inneholder mye energi under 100 Hz, er det anbefalt og vanlig å utvide frekvensområdet ned til 50 Hz. For å beskrive hvor god bygningsdelen er med hensyn til trafikkstøy tar man i tillegg hensyn til trafikkstøyens spekter, dvs. hvordan lydenergien er fordelt som funksjon av frekvens. Derfor benytter man i tillegg en korreksjonsfaktor, omgjøringstall for standard veitrafikk-spektrum (basert på 50 km/t hastighet), C_{tr} for frekvensområdet 100-3150 Hz og $C_{tr,50-5000}$ Hz for utvidet frekvensområde. En bygningsdel har god luftlydisolasjon jo høyere R_w -verdiene er. God lydisolering mot trafikkstøy og/eller lave frekvenser har man når C_{tr} -verdiene er lave. Måling av luftlydisolasjon til vinduet er gjennomført i henhold til NS-EN ISO 140-3 (2005). For nærmere beskrivelse, se Vedlegg, kap. 10. Målingene av luftlydisolasjon er gjennomført ved SINTEF Byggforsk sine lydlaboratorier i Oslo.

Et vindu er en sammensatt konstruksjon med mange komponenter. Vinduer er derfor akustisk sett en komplisert bygningsdel. Lydgjennomgangen skjer delvis ved samvirke mellom de ulike komponentene og delvis gjennom enkeltkomponenter, for eksempel glass, rammer eller fuger. Måleverdiene vil alltid representere samlet lydgjennomgang, noe som innebærer at hulrom og glasstykkelser for eksempel kan bestemme reduksjonstallet i ett frekvensområde og tettingen i et annet frekvensområde.

6.2 Måling av lydisolasjon

Figur 6.1 viser målte reduksjonstall for vindusvariantene med enkle glass i eksisterende ramme og varevindu. For målt variant med vareramme er det 146 mm avstand mellom glass i ytre og indre ramme, se også figur 3.2 og 3.3. Mer detaljerte resultater fra målingene er gitt i Vedlegg, kap 12.

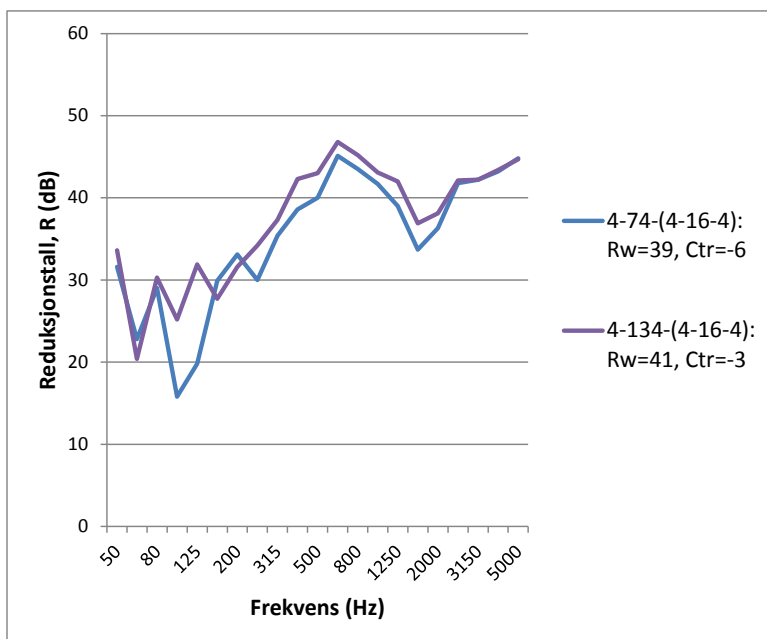
Begge målekurvene viser at det er en lydlekkasje ved høyere frekvenser som skyldes at tettingen ikke er god nok. For vindu kun med enkelt glass er det lavt reduksjonstall også ved 250 Hz. Begge vinduene ble målt med kunstig tetting og i begge tilfellene ble forbedringen av R_w -verdien henholdsvis 1 og 2 dB. Begge målingene viser lavt reduksjonstall ved 100 Hz. Vi antar at dette skyldes lydgjennomgang i spalten som blir mellom ramme og karm når tettemekanismen ikke er god nok/har for liten masse.



Figur 6.1

Lydreduksjonstall for vindu med enkle glass i eksisterende ramme og varevindu. Tettelister slik vinduet ble levert.

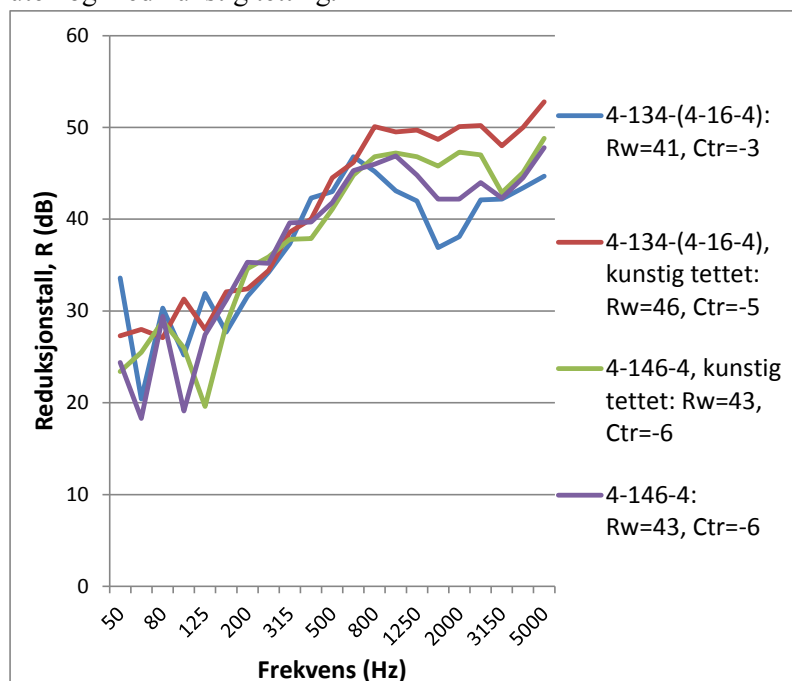
Figur 6.2 viser målte reduksjonstall for vindusvariantene med isolerrute i varevindu. Når vareramme er i ytre posisjon er det 74 mm avstand mellom glass i ytre og indre ramme. Når vareramme er i indre posisjon er det 134 mm mellom glass i ytre og indre ramme, se også figur 3.2 og 3.3. Mer detaljerte resultater fra målingene er gitt i Vedlegg, kap 12.



Figur 6.2

Lydreduksjonstall for vindu med isolerrute i varevindu. Tettelister slik vinduet ble levert.

Begge målekurvene viser at det er en lydlekkasje ved høyere frekvenser (omkring 2000 Hz) som skyldes at tettingen ikke er god nok. Målingen av vindu med vareramme i ytre posisjon viser svært begrensede reduksjonstall i frekvensområdet 100-125 Hz. Dette skyldes hovedsakelig lydgjennomgang i spalten som blir mellom ramme og karm når tettemekanismen ikke er god nok/har for liten masse. Dette er langt mindre synlig med vareramme i indre posisjon, dvs. når avstanden mellom tetteanordningene er vesentlig større. Lave reduksjonstall ved 63 Hz og 200-250 Hz skyldes hovedsakelig resonans på grunn av lukkede hulrom (dobbel/ trippelveggs-resonans) for hulrommene på henholdsvis 74/134 mm og 16 mm. Alle vinduene ble også målt med kunstig tetting. Figur 6.3 viser opprinnelig vindu og vindu med vareramme i indre posisjon uten og med kunstig tetting.



Figur 6.3
Lydreduksjonstall for vinduer uten og med kunstig tetting

Målekurvene viser at tettingen har stor betydning for lydreduksjonstallet ved høyere frekvenser og noe betydning ved lave frekvenser, dvs. i frekvensområde bestemt av spaltens dimensjoner. Måleresultatene tyder på at tetting i tilknytning til vareramme er mest utslagsgivende. Tabell 6.1 viser en sammenstilling av målte entallsverdier for vindusvariantene med og uten kunstig tetting.

Tabell 6.1.
Måling av to-rams vindu uten og med kunstig tetting

To-rams vindu	Laboratoriemålt luftlydisolasjon, R_w (dB)		Laboratoriemålt luftlydisolasjon, $R_w + C_{tr}$ (dB)	
	Med tettelister som levert	Med kunstig tetting	Med tettelister som levert	Med kunstig tetting
Opprinnelig vindu	28	30	25	26
Vareramme med enkelt glass, 146 mm avstand	43	43	37	37
Vareramme med isolerrute, 74 mm avstand	39	41	33	33
Vareramme med isolerrute, 134 mm avstand	41	46	38	41

Entallsverdiene i tabell 6.1 viser at optimal tetting i dette tilfellet utgjør fra 1 til 5 dB på R_w -verdien og fra 0 til 3 dB på verdien for $R_w + C_{tr}$. Som forventet viser tabellen at tettingen er viktigere jo bedre løsningen er når det gjelder flatevekt og hulromsavstand. Det vil i praksis ikke være realistisk å få til så stor forbedring med bruk av kjente tettelister, men det vil være mulig å finne løsninger som gir noe bedre måleverdier i forhold til de valgte tettelistene. Tabellen viser også at vareramme med enkle glass kan gi bedre lydisolasjon enn vareramme med forseglet rute når flatevekt og hulromsavstander er moderate. Måleresultat for vareramme med isolerrute i 134 mm avstand viser sammenlignbare resultater med tidligere måldata, se SINTEF Byggforsk (2006).

6.3 Beregning og vurdering av lydisolasjon

For sammensatte konstruksjoner generelt vil reduksjonstallet i store deler av frekvensområdet bestemmes av flatevekten i kombinasjon med hulromsavstandene, og det er mulig å beregne disse reduksjonstallene med god nøyaktighet. For vindusløsningene i dette prosjektet gjelder det frekvensområdet fra ca. 160 til ca. 630 Hz. I frekvensområdet over dette er lydreduksjonstallet bestemt av tettingen, noe det ikke er mulig å beregne. I det lave frekvensområdet er lydreduksjonstallet i stor grad bestemt av hulromsavstander i kombinasjon med flatevekt, tetting i spalten mellom ramme og karm og kobling via karm. Teoretisk beregning viser at vi skulle få en forbedring av lydreduksjonstallet på 2,5 dB når vareramme flyttes fra ytre til indre posisjon. Dette skyldes at hulromsresonansen forskyves 20-25 Hz mot lavere frekvenser. Målingene viser tilnærmet en slik forbedring i frekvensområdet 315-2000 Hz med en økning av R_w -verdien på 2 dB. Det er mulig å beregne luftlydisolasjonen til vinduet når man skifter ut/optimaliserer glasspakke i vareramme.

7 Varmebalanse

7.1 Strålingstekniske egenskaper til vindusruter

Varmetapet ut gjennom vinduene utgjør en vesentlig del av samlet varmetap for en bygning. I småhus med gamle vinduer kan andelen være spesielt stor, men med oppgradering med innvendig vareramme med en god rute kan varmetapet gjennom gamle verneverdige vinduer bli like lavt som for nye vinduer. Med flere lag glass går ikke bare U-verdien ned, men rutene slipper også inn mindre solvarme og noe mindre dagslys. Total solfaktor, g , angir hvor stor andel av solenergien som kommer gjennom en vindusrute. Lystransmisjonsfaktoren, LT , angir hvor stor andel av det synlige lyset som kommer gjennom ruten. I tillegg til U-verdien er det disse verdiene som har betydning for varmebalansen for vinduene og energibehovet for en bygning.

Total soltransmisjonsfaktor, g , og lystransmisjonsfaktor, LT , for en rekke mulige rutekombinasjoner er beregnet med programmet WINDOW 6 og vist i tabell 7.1 sammen med U-verdien for midtdelen av rutene. I kapittel 8 er det vist beregnede U-verdier for flere vindustyper og vindusstørrelser med de samme rutekombinasjonene.

7.2 Beregnet energibehov

I større bygninger som kontorbygninger er det varmeoverskudd en stor del av året og redusert solvarme er vanligvis ønskelig fordi det reduserer kjølebehovet. I boliger derimot kan varmen fra sola gi et ønsket energitilskudd, spesielt vår og høst. For å få et riktig bilde av hvor mye energi som kan spares ved å oppgradere vinduene med varevinduer må en også ta hensyn til at flere lag glass reduserer ønsket solvarmetilskudd.

Ved hjelp av programmet TEK-sjekk fra SINTEF Byggforsk har vi beregnet varmetapstall og energibehov for et standard småhus med tre av vindusvariantene vi har målt U-verdien til. De tre variantene er vinduet uten vareramme, vinduet med vareramme med enkelt glass og vinduet med vareramme med to-lags isoler-rute, begge i midterste posisjon. Huset har to etasjer med tilsammen 160 m² gulvareal og et vindusareal på 32 m² som er 20 % av gulvarealet. Vindusarealet er fordelt med 10 m² mot sør og nord og 6 m² mot øst og vest. Golv, vegger og tak samt alle installasjoner er oppgradert slik at de tilfredsstiller kravene i TEK10.

Resultater fra beregningene er vist i tabell 7.2.

Tabell 7.1

U-verdi for midtdelen av ruten, total soltransmisjon og lystransmisjon for alternative mulige rutekombinasjoner.

Ruteoppbygging	U-verdi rute U_g , W/m ² K	Soltransmisjon g	Lystransmisjon LT
4	5,75	0,85	0,90
4-74-4	2,76	0,75	0,81
4-74-E4	1,87	0,70	0,74
4-74-4-12-4	1,83	0,67	0,73
4-74-4-12-E4	1,22	0,53	0,72
4-74-4-12Ar-E4	1,02	0,53	0,72
4-74-4-12Kr-E4	0,85	0,53	0,72
4-74-E4-12-E4	0,98	0,52	0,66
4-74-E4-12Ar-E4	0,84	0,51	0,66
4-74-E4-12Kr-E4	0,69	0,50	0,66
4-74-4-16-4	1,78	0,66	0,73
4-74-4-16-E4	1,08	0,53	0,72
4-74-4-16Ar-E4	0,93	0,53	0,72
4-74-4-16Kr-E4	0,88	0,53	0,72
4-74-E4-16-E4	0,88	0,51	0,66
4-74-E4-16Ar-E4	0,76	0,50	0,66
4-74-E4-16Kr-E4	0,71	0,50	0,66

Forklaring av kodene i kolonnen Ruteoppbygging er gitt i kapittel 3.

Tabell 7.2

Beregnet varmetapstall og energibehov for en standard enebolig med tre alternative vindusløsninger.

Vindu og ruteoppbygging	Varmetapstall W/m ² K	Endring %	Energibehov til oppvarming kWh/m ² år	Endring %	Totalt energibehov kWh/m ² år	Endring %
Vindu med enkelt glass	1,49		120,6		186,6	
Vindu med vareramme 1 4-74-E4	0,95	-36	65,6	-46	131,6	-29
Vindu med vareramme 2 4-74-E4-16Ar-E4	0,83	-44	56,3	-53	122,2	-35

8 Andre vindusvarianter

8.1 Beregnede U-verdier for andre vindusvarianter

I tabellene 8.1, 8.2, 8.3 og 8.4 er det vist beregnede U-verdier for fire vindustyper med alternative rutekombinasjoner og vindusstørrelser. Ved beregningene har vi brukt nøyaktig metode med karm-ramme verdier beregnet med programmet THERM 6.3. Det er brukt samme karm-ramme tverrsnitt som forsøksvinduet med varerammene i midterste posisjon, se snittegninger og beskrivelse i kapittel 3.

Som målingene viste var U-verdien til vinduet forholdsvis uavhengig av om varerammen stod i midtre eller i indre posisjon. Dette stemmer med beregninger av U-verdien for midtdelen av rutene som viser at U_g er tilnærmet konstant for hulromstykkelser over ca. 15 mm. U-verditabellene kan derfor brukes med god tilnærming også for andre hulromstykkelser enn 74 mm som er brukt ved beregningene.

Vinduer med karm rammeprofiler med andre dimensjoner vil ha litt andre U_{KR} verdier enn forsøksvinduet. Hvis profilene er dypere vil U_{KR} øke litt, men mindre avvik fra karm-ramme tverrsnittene som er brukt ved beregningene vil gi liten endring i U-verdiene for hele vinduet. Posisjonen til varerammen vil påvirke både U_{KR} og kanttillegget litt, men som det framgår av målingene og beregningene med nøyaktig metode i tabell 4.2 utgjør det lite for U-verdien til hele vinduet. Etter vår vurdering kan derfor U-verditabellene brukes for de fleste vanlige rammeprofilene.

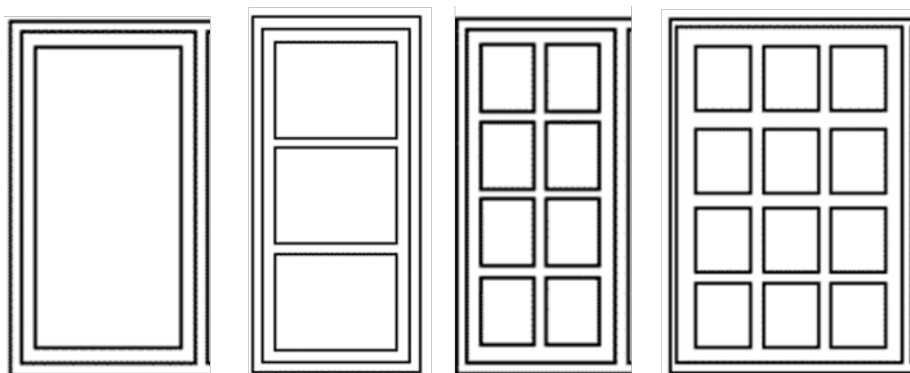
Forklaring av rutekodene som er brukt i kolonne 1 i tabellene:

- Tallene angir tykkelsen i mm til henholdsvis glass og hulrom regnet utenfra.
- Bokstaven E angir at glasset har et lavemitterende belegg (varmereflekerende belegg).
- Bokstavene Ar eller Kr etter hulromstykkelsen angir at hulrommet er fylt med argon eller krypton.
- Argon og krypton er edelgasser som isolerer bedre enn luft.
- Ved beregningene har vi forutsatt at hulrom med edelgass er fylt med 90 % gass og resten luft.
- Når det ikke står noen bokstaver etter hulromstykkelsen er hulrommet fylt med luft.

I U-verditabellene er U-verdiene er gitt en fargekode der de høyeste U-verdiene har rødest farge, mens de laveste U-verdiene har grønnest farge.

Det er forutsatt at ytterrammen har ett lag vanlig glass. Rammer med enkelt glass har tilnærmet samme isolerende evne uavhengig av om rammen har en stor rute eller om den er delt inn i mindre ruter av gjennomgående sprosser. U-verditabellene kan derfor brukes for alle ruteinndelingene i ytterste ramme som er vist i figuren over tabellen. Når varerammen har to-lags forseglede rute er det forutsatt at det er bare en stor rute i hver vareramme, uten gjennomgående eller mellomliggende sprosser.

Som det framgår av tabellene er de beregnede U-verdiene til de fire vindustypene forholdsvis like når de har samme rute. U-verdiene er også forholdsvis uavhengige av vindusstørrelsen. Når U-verdien til karm og ramme, U_{KR} , er omtrent lik med U-verdien til midtdelen av ruten, U_g , er U-verdien til vinduet, U_v , omtrent den samme for alle vindusstørrelsene. Med dårlige ruter blir U_g høyere enn U_{KR} og U-verdi til vinduet vil øke med økende vindusstørrelse. Det skyldes at ruten utgjør en økende andel av vindusarealet når vindusstørrelsen øker. Med gode ruter med lav U_g blir det omvendt, da avtar vinduets U-verdi noe med økende vindusstørrelse.

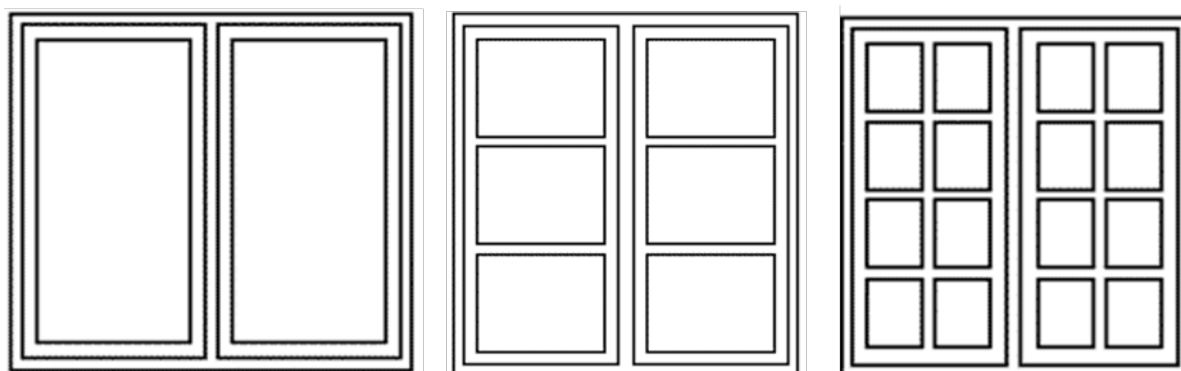


Figur 8.1
En-rams vinduer. Fra BKS 733.161 Eldre vinduer. Vindusformer og materialer.

Tabell 8.1

U-verdier til en-rams vindu etterisolert med en- eller to-lags rute i innvendig vareramme. U-verdiene er gitt en fargekode der de høyeste U-verdiene har rødest farge, mens de laveste U-verdiene har grønnest farge. U-verdiene i tabellen gjelder for alle typer vinduer vist i figur 8.1.

Bredde utvendig karm, m			0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0
Høyde utvendig karm, m			1,2	1,5	1,8	1,2	1,5	1,8	1,2	1,5	1,8
Ruteboppbygging	U _g	U _{KR}	U _v , U-verdi for hele vinduet								
	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K								
4	5,75	2,27	4,35	4,43	4,47	4,57	4,65	4,71	4,70	4,79	4,85
4-74-4	2,76	1,08	2,08	2,11	2,14	2,19	2,23	2,25	2,25	2,29	2,32
4-74-E4	1,87	1,08	1,56	1,57	1,59	1,61	1,63	1,64	1,64	1,66	1,67
4-74-4-12-4	1,83	0,97	1,57	1,58	1,59	1,61	1,62	1,64	1,63	1,65	1,66
4-74-4-12-E4	1,22	0,97	1,20	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21
4-74-4-12Ar-E4	1,02	0,97	1,09	1,09	1,09	1,08	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07
4-74-4-12Kr-E4	0,85	0,97	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94
4-74-E4-12-E4	0,98	0,97	1,06	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04
4-74-E4-12Ar-E4	0,84	0,97	0,98	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94
4-74-E4-12Kr-E4	0,69	0,97	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,85	0,84	0,83
4-74-4-16-4	1,78	0,97	1,55	1,56	1,57	1,58	1,60	1,61	1,61	1,62	1,63
4-74-4-16-E4	1,08	0,97	1,14	1,14	1,14	1,13	1,13	1,13	1,13	1,12	1,12
4-74-4-16Ar-E4	0,93	0,97	1,05	1,04	1,04	1,03	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01
4-74-4-16Kr-E4	0,88	0,97	1,02	1,01	1,01	1,00	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97
4-74-E4-16-E4	0,88	0,97	1,02	1,01	1,01	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97
4-74-E4-16Ar-E4	0,76	0,97	0,95	0,94	0,94	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89
4-74-E4-16Kr-E4	0,71	0,97	0,92	0,91	0,91	0,89	0,88	0,87	0,87	0,86	0,85

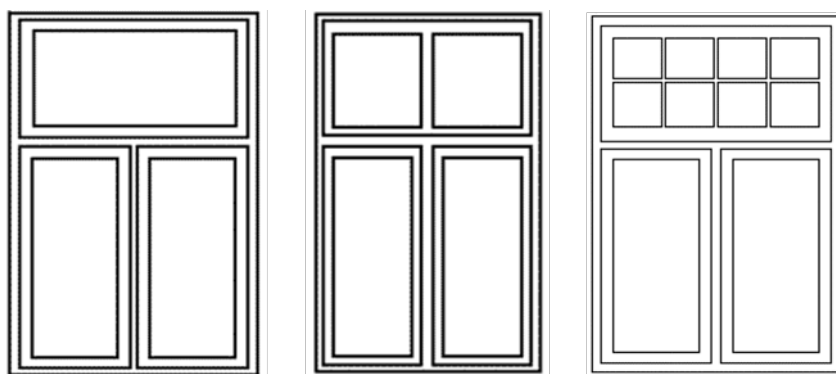


Figur 8.2
To-rams vinduer med midtpost. Fra *BKS 733.161 Eldre vinduer. Vindusformer og materialer.*

Tabell 8.2

To-rams vindu, vindu med post, med en-lags rute i ytre rammer etterisolert med en- eller to-lags rute i innvendige varerammer. U-verdiene er gitt en fargekode der de høyeste U-verdiene har rødest farge, mens de laveste U-verdiene har grønnest farge. U-verdiene i tabellen gjelder for alle typer vinduer vist i figur 8.2.

Bredde utvendig karm, m			1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4
Høyde utvendig karm, m			1,2	1,5	1,8	1,2	1,5	1,8	1,2	1,5	1,8
Ruteboppbygging	U _g	U _{KR}	U _v , U-verdi for hele vinduet								
	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K								
4	5,75	2,42	4,41	4,48	4,53	4,55	4,63	4,68	4,64	4,73	4,78
4-74-4	2,76	1,11	2,10	2,14	2,16	2,17	2,21	2,24	2,22	2,26	2,29
4-74-E4	1,87	1,11	1,58	1,60	1,61	1,61	1,63	1,64	1,63	1,65	1,66
4-74-4-12-4	1,83	0,95	1,54	1,56	1,57	1,58	1,59	1,60	1,60	1,61	1,63
4-74-4-12-E4	1,22	0,95	1,18	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
4-74-4-12Ar-E4	1,02	0,95	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
4-74-4-12Kr-E4	0,85	0,95	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,94	0,95	0,94	0,94
4-74-E4-12-E4	0,98	0,95	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03	1,04	1,03	1,03
4-74-E4-12Ar-E4	0,84	0,95	0,97	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94	0,95	0,94	0,93
4-74-E4-12Kr-E4	0,69	0,95	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85	0,84	0,85	0,84	0,83
4-74-4-16-4	1,78	0,95	1,52	1,54	1,55	1,55	1,57	1,58	1,57	1,59	1,60
4-74-4-16-E4	1,08	0,95	1,12	1,12	1,12	1,12	1,11	1,11	1,12	1,11	1,11
4-74-4-16Ar-E4	0,93	0,95	1,03	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00
4-74-4-16Kr-E4	0,88	0,95	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97
4-74-E4-16-E4	0,88	0,95	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97
4-74-E4-16Ar-E4	0,76	0,95	0,93	0,92	0,92	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89	0,89
4-74-E4-16Kr-E4	0,71	0,95	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,87	0,87	0,86	0,85

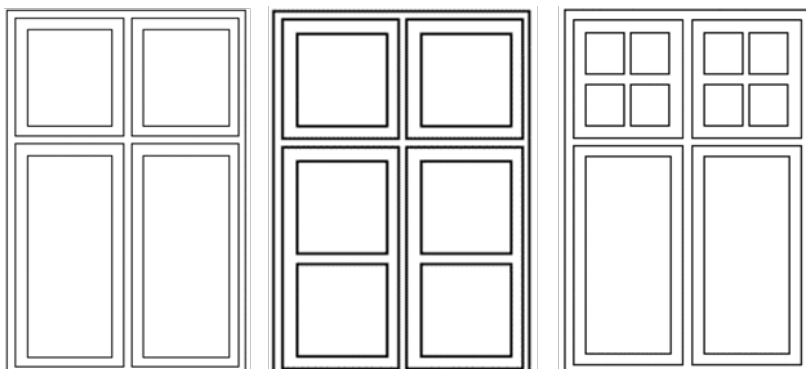


Figur 8.3
Tre-rams vinduer (T-post vinduer). Fra BKS 733.161 Eldre vinduer. Vindusformer og materialer.

Tabell 8.3

Tre-rams vindu, T-postvindu, med en-lags ruter i ytre rammer etterisolert med en- eller to-lags ruter i innvendige varerammer. U-verdiene er gitt en fargekode der de høyeste U-verdiene har rødest farge, mens de laveste U-verdiene har grønnest farge. U-verdiene i tabellen gjelder for alle typer vinduer vist i figur 8.3.

Bredde utvendig karm, m		1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	
Høyde utvendig karm, m		1,2	1,5	1,8	1,2	1,5	1,8	1,2	1,5	1,8	
Ruteboppbygging	U_g	U_{KR}	U_v , U-verdi for hele vinduet								
	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K								
4	5,75	2,47	4,03	4,14	4,21	4,21	4,33	4,41	4,33	4,46	4,54
4-74-4	2,76	1,13	1,92	1,97	2,00	2,00	2,06	2,10	2,06	2,13	2,17
4-74-E4	1,87	1,13	1,51	1,53	1,55	1,55	1,57	1,59	1,57	1,60	1,62
4-74-4-12-4	1,83	0,94	1,44	1,47	1,49	1,48	1,51	1,53	1,51	1,54	1,56
4-74-4-12-E4	1,22	0,94	1,16	1,17	1,17	1,17	1,17	1,18	1,17	1,18	1,18
4-74-4-12Ar-E4	1,02	0,94	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
4-74-4-12Kr-E4	0,85	0,94	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,97	0,96	0,95
4-74-E4-12-E4	0,98	0,94	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03
4-74-E4-12Ar-E4	0,84	0,94	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95
4-74-E4-12Kr-E4	0,69	0,94	0,92	0,91	0,90	0,90	0,88	0,87	0,88	0,87	0,86
4-74-4-16-4	1,78	0,94	1,43	1,46	1,47	1,47	1,50	1,51	1,49	1,52	1,54
4-74-4-16-E4	1,08	0,94	1,11	1,11	1,12	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
4-74-4-16Ar-E4	0,93	0,94	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02	1,01
4-74-4-16Kr-E4	0,88	0,94	1,02	1,01	1,01	1,00	1,00	0,99	1,00	0,99	0,98
4-74-E4-16-E4	0,88	0,94	1,02	1,01	1,01	1,01	1,00	0,99	1,00	0,99	0,98
4-74-E4-16Ar-E4	0,76	0,94	0,96	0,96	0,95	0,95	0,93	0,93	0,93	0,92	0,91
4-74-E4-16Kr-E4	0,71	0,94	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,90	0,91	0,89	0,88



Figur 8.4
Fire-rams vinduer (krysspøstvinduer). Fra BKS 733.161 Eldre vinduer. Vindusformer og materialer.

Tabell 8.4

Fire-rams vindu, krysspøstvindu, med en-lags ruter i ytre rammer etterisolert med en- eller to-lags ruter i innvendige varerammer. U-verdiene er gitt en fargekode der de høyeste U-verdiene har rødest farge, mens de laveste U-verdiene har grønnest farge. U-verdiene i tabellen gjelder for alle typer vinduer vist i figur 8.4.

Bredde utvendig karm, m		1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	
Høyde utvendig karm, m		1,2	1,5	1,8	1,2	1,5	1,8	1,2	1,5	1,8	
Ruteboppbygging	U_g	U_{KR}	U_v , U-verdi for hele vinduet								
	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K								
4	5,75	2,48	4,21	4,32	4,40	4,33	4,45	4,53	4,42	4,54	4,63
4-74-4	2,76	1,13	2,00	2,06	2,09	2,06	2,12	2,16	2,10	2,17	2,21
4-74-E4	1,87	1,13	1,54	1,57	1,59	1,57	1,60	1,62	1,59	1,62	1,64
4-74-4-12-4	1,83	0,94	1,48	1,51	1,52	1,51	1,54	1,56	1,53	1,56	1,58
4-74-4-12-E4	1,22	0,94	1,16	1,17	1,17	1,17	1,17	1,18	1,17	1,18	1,18
4-74-4-12Ar-E4	1,02	0,94	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
4-74-4-12Kr-E4	0,85	0,94	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,96	0,95	0,94
4-74-E4-12-E4	0,98	0,94	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03	1,04	1,03	1,03
4-74-E4-12Ar-E4	0,84	0,94	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,96	0,95	0,94
4-74-E4-12Kr-E4	0,69	0,94	0,90	0,88	0,87	0,88	0,87	0,86	0,87	0,86	0,84
4-74-4-16-4	1,78	0,94	1,46	1,49	1,51	1,49	1,52	1,53	1,51	1,54	1,55
4-74-4-16-E4	1,08	0,94	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
4-74-4-16Ar-E4	0,93	0,94	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02	1,01	1,02	1,01	1,01
4-74-4-16Kr-E4	0,88	0,94	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,98	0,97
4-74-E4-16-E4	0,88	0,94	1,00	1,00	0,99	1,00	0,99	0,98	0,99	0,98	0,97
4-74-E4-16Ar-E4	0,76	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,92	0,91	0,92	0,91	0,90
4-74-E4-16Kr-E4	0,71	0,94	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,89	0,88	0,87

9 Referanser

Arnesen, H. (2008). *Utadslående trevinduer. U-verdi beregnet etter NS-EN ISO 10077-1 og -2 og senter U-verdi etter NS-EN 673*. SINTEF Byggforsk, desember 2008.

Byantikvaren Oslo kommune (1999). *Hvorfor ta vare på gamle vinduer?* Byantikvarens informasjonsark nr. 3, mars 1999, 4 s.

Energiforsatsgruppen (2010). *Også merkbare fordele med Energiforsatsvinduer*. Informasjonshefte (DK), 2010.

Fredlund, B. (1999). *Lågmissionsglas och renovering förbetrar äldre fönsters värmeisolering*. Lund Universitet, rapport TABK-99/3055. Lund 1998, 51 s.

Grytli E., SINTEF Byggforsk m. fl. (2004). *Fiin gammel aargang. Energisparing i verneverdige hus*. Veileder utarbeidet av SINTEF, Trondheim, juni 2004.

ISO 15099 (2003). Termiske egenskaper til vinduer, dører og skjerming - Detaljerte beregninger.

NS-EN 12567-1 (2010). Dørers og vinduers termiske egenskaper - Bestemmelse av varmegjennomgangskoeffisient ved varmekammermetoden - Del 1: Komplette dører og vinduer.

NS-EN ISO 140-3 (2005). Akustikk. Lydforhold i bygninger. Del 3: Laboratoriemåling av luftlydisolasjon til bygningsdeler.

NS-EN ISO 10077-1 (2006). Termiske egenskaper til vinduer, dører og skodder - Beregning av varmegjennomgangskoeffisient - Del 1: Generelt.

NS-EN ISO 10077-2 (2003). Termiske egenskaper til vinduer, dører og skodder - Beregning av varmegjennomgangskoeffisient - Del 2: Numerisk metode for karm og ramme.

SINTEF Byggforsk (1989). Byggforskserien, Byggforvaltning: 733.161 *Eldre vinduer. Vindusformer og materialer*. Del I og II. Oslo 1989.

SINTEF Byggforsk (2000). Byggforskserien, Byggetaljer: 472.421 *Valg av vinduer til boliger. Energibehov og inn klima*. Oslo 2000.

SINTEF Byggforsk (2004). Byggforskserien, Byggforvaltning: 733.162 *Utbedring av eldre trevinduer*. Oslo 2004.

SINTEF Byggforsk (2006). Byggforskserien, Byggforvaltning: 733.109 *Forbedring av lydisolasjonen til eksisterende vinduer*. Oslo 2006.

10 Vedlegg - målemetoder

10.1 Måling av U-verdi i Hotbox

Målingene er utført etter NS-EN ISO 12567 (2010), som er en internasjonal standard for måling av U-verdi til vinduer og dører ved hjelp av hot box.

Ved måling i SINTEF Byggforsks Hot Box monteres vinduet i en sjablon med lysåpning med bredde 1,24 m og høyde 1,24 m eller 1,50 m. Mellomrommet mellom vinduet og sjablonen fylles med EPS med kjent varmekonduktivitet.

Målekammerets måleareal er 2,45 m x 2,45 m, og vinduet monteres som i en vanlig vegg med en avstand på 0,2 m fra taket og ned til toppkarmen. Det korrigeres for den varmestrømmen som går gjennom randfeltet rundt vinduet. Målingen utføres under stasjonære forhold med omgivelsestemperaturer på tilnærmet 20 °C og 0 °C på henholdsvis varm og kald side av vinduet.

Vinduets U-verdi blir utregnet på grunnlag av målt varmestrøm, omgivelsestemperaturer og vinduets areal, og er basert på middelverdier for flere én-timers måleperioder. Under målingen kan varmeovergangsmotstandene avvike litt fra de standardiserte verdiene, og barometertrykket vil kunne avvike noe fra normaltrykk, men begge disse forholdene korrigeres det for. Den oppgitte, normerte U-verdien gjelder derfor ved en samlet, standardisert overgangsmotstand på 0,17 m²K/W og ved normalt atmosfæretrykk.



Figur 10.1

Bildet viser SINTEF Byggforsks hotbox under innmontering av vinduet. Vinduet er montert i en sjablon som settes som inn som skille mellom et varmt rom til venstre og et kaldt rom som er skjult bak sjablonen.

10.2 Måling av lufttetthet

Luftgjennomgangen til vinduet og alternative hull for lufting ble målt ved fire forskjellige lufttrykkforskjeller. For å måle luftgjennomgangen ble det montert en lufttett kasse mot vinduets utside. Til kassen ble det montert slanger for tilførsel av luft og for måling av lufttrykkforskjell mellom vinduets to sider. Luftstrømmen ble målt ved hjelp av rotametre og trykkforskjellen ble målt med et mikromanometer.



Figur 10.2

Bildet viser forsøksoppstillingen ved måling av luftgjennomgang. Vinduet til høyre med den lufttette kassen på baksiden og rotametrene for måling av luftstrøm til venstre. Lengst til venstre står mikromanometeret for måling av lufttrykkforskjell over vinduet.

10.3 Måling av luftlydisolasjon

Beskrivelse av lydlaboratoriet

SINTEF Byggforsks lydlaboratorium, rom U48-49 ble ombygget våren 2005/høsten 2008 for å tilfredsstille alle krav til måling av dører og vinduer i henhold til NS-EN ISO 140 (2005). Plan- og snittegninger av laboratoriene er gitt nedenfor.

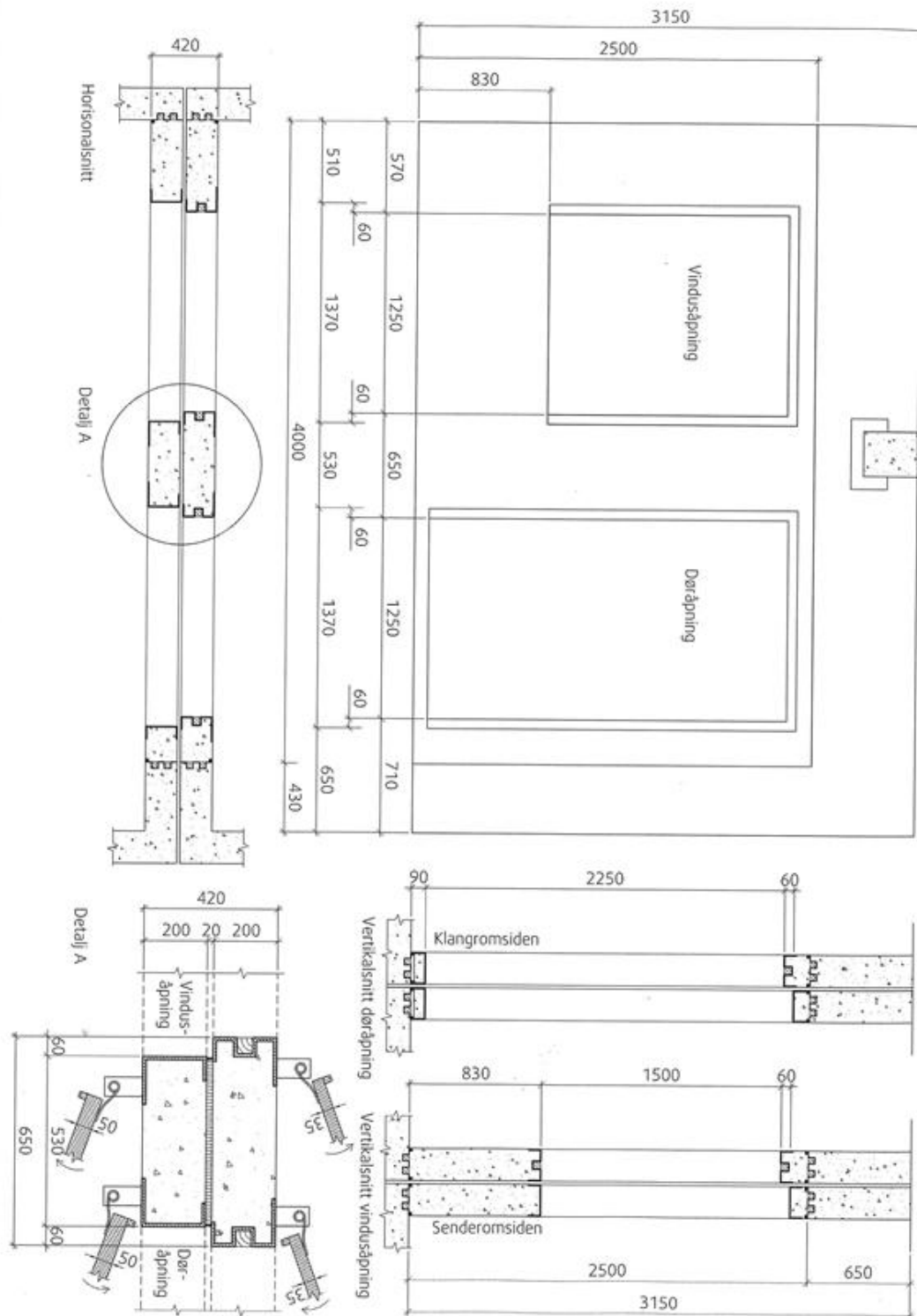
Laboratoriet består av et senderrom med volum ca. 70 m³ og et mottakerrom (klangrom) med volum ca. 80 m³ som er helt strukturelt atskilt med en gjennomgående fuge mellom rommene på 20 mm. Prøveåpningen mellom senderrommet og mottakerrommet (klangrommet) på opprinnelig 10 m² er avblendet med doble vegger av 200 mm betong med 20 mm mineralull i fugen mellom vangene. I denne vegg er det laget to prøveåpninger, én for vindusprøving og én for dørprøving. Begge åpningene kan stenges med ståldører på begge sider for vekselvis prøving av dører og vinduer. Totaltykkelsen av avblendingsveggen er 420 mm. Prøveåpningen for vinduer er bredde x høyde lik 1250 mm x 1500 mm på klangromsiden og til bredde x høyde lik 1370 mm x 1560 mm på senderromsiden (se under om krav til nisjeutforming). Prøveåpningen for dører er bredde x høyde lik 1250 mm x 2250 mm på klangromsiden og til bredde x høyde lik 1370 mm x 2310 mm på senderromsiden. Prøveåpningen for dører går nesten helt ned til golvet for sender- og mottakerrommet som er anbefalt for dørprøving. Prøveåpningen for montering av dører blendes ytterligere ned fra dette avhengig av dørbredde og dørhøyde for aktuelt prøveobjekt.

Akkreditert prøving

SINTEF Byggforsks laboratorium for lydisolasjonsmåling og trinnlydisolasjon er akkreditert. En akkreditering er en tredjeparts vurdering av kompetanse til å utføre spesifiserte oppgaver. Det vil si at vi tilfredsstiller alle krav til NS-EN ISO/IEC 17025 og revideres årlig av Norsk Akkreditering (NA). For mer informasjon, se NAs nettsider. (www.akkreditert.no)

Sporbarhet

Måleinstrument	Type	Serienr.
Analysator	Norsonic 121	28720
Mikrofon	Norsonic 1220	32559
Mikrofon	Norsonic 1220	35058
Mikrofonforsterker	Norsonic 1201	18085
Mikrofonforsterker	Norsonic 1201	30519
Kalibrator	Norsonic 1251	622326
Høytaler	Norsonic	21701
Høytaler forsterker	Norsonic	22652



Figur 10.3
Plan- og snittegninger av laboratoriene

11 Vedlegg - beregningsmetoder

11.1 Beregning av U-verdi, nøyaktig metode

Et vindu består av karm, ramme og glassrute. Disse komponentene har forskjellig varmeisolasjonsevne, avhengig av materialeegenskaper, oppbygging og geometri. Varmetapet gjennom karm og ramme er sterkt avhengig av hverandre og U-verdien til karm og ramme angis derfor med en felles verdi, U_{KR} . Varmetapet gjennom en isolerrute er lavest på den midtre delen av ruten og U-verdien for dette arealet betegnes U_G . Varmetapet er noe større i en randsone på ca. 100 mm fra lysåpningen og øker med avtakende avstanden til rutekanten hvor varmetapet er størst. Dette ekstra varmetapet i randsonen skyldes at avstandslisten mellom glassene isolerer dårligere enn hulrommet og omtales som kanttillegget. Kanttillegget, Ψ_K , angis som varmetap per løpemeter rutekant, W/mK.

For å få en mest mulig riktig beregnet U-verdi må U-verdien til karm og rammeprofilene, U_{KR} , og kanttillegget, Ψ_K , beregnes i henhold til NS-EN ISO 10077-2 ved hjelp av program for to-dimensjonal varme-strøm. Vi har benyttet beregningsprogrammet THERM 6.3. U-verdien for ruten, U_G , er beregnet etter ISO 15099 (2003) som gir verdier som stemmer godt overens med målte verdier.

Samlet U-verdi for hele vinduet, U_V , beregnes som arealveid middelveid for hele vindusarealet basert på U-verdi og arealer for karm/ramme og rute samt kanttillegg og samlet lengde for rutekanten i henhold til NS-EN ISO 10077-1 (2006).

11.2 Beregning av U-verdi, forenklet metode

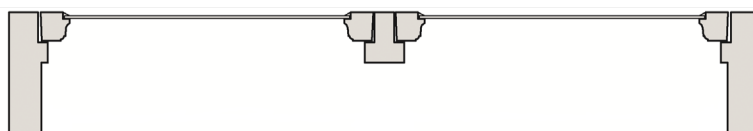
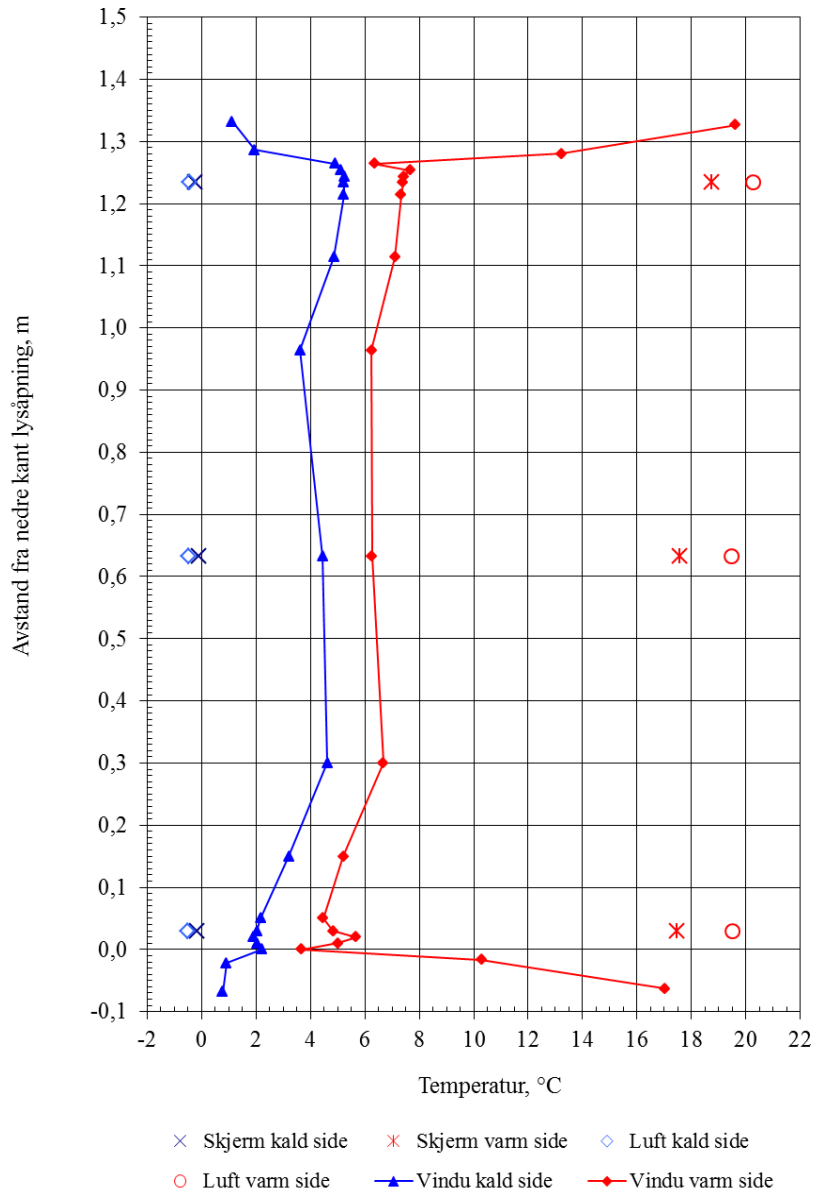
Forenklet beregning gjøres etter samme prinsipper som ved nøyaktig beregning, men U-verdien til karm og ramme, U_{KR} , og kanttillegget, Ψ_K , beregnes på en forenklet måte etter regler i NS-EN ISO 10077-1 (2006). U-verdien for ruten, U_G , er også her beregnet etter ISO 15099 (2003).

11.3 Beregning av varmebalanse

Varmetapstall og energibehov til en standard enebolig er beregnet med programmet TEK-sjekk fra SINTEF Byggforsk. Programmet beregner varmebalansen til bygningen time for time gjennom et helt år i henhold til NS 3031:2007.

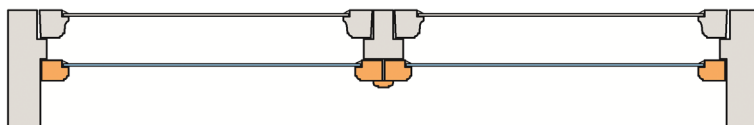
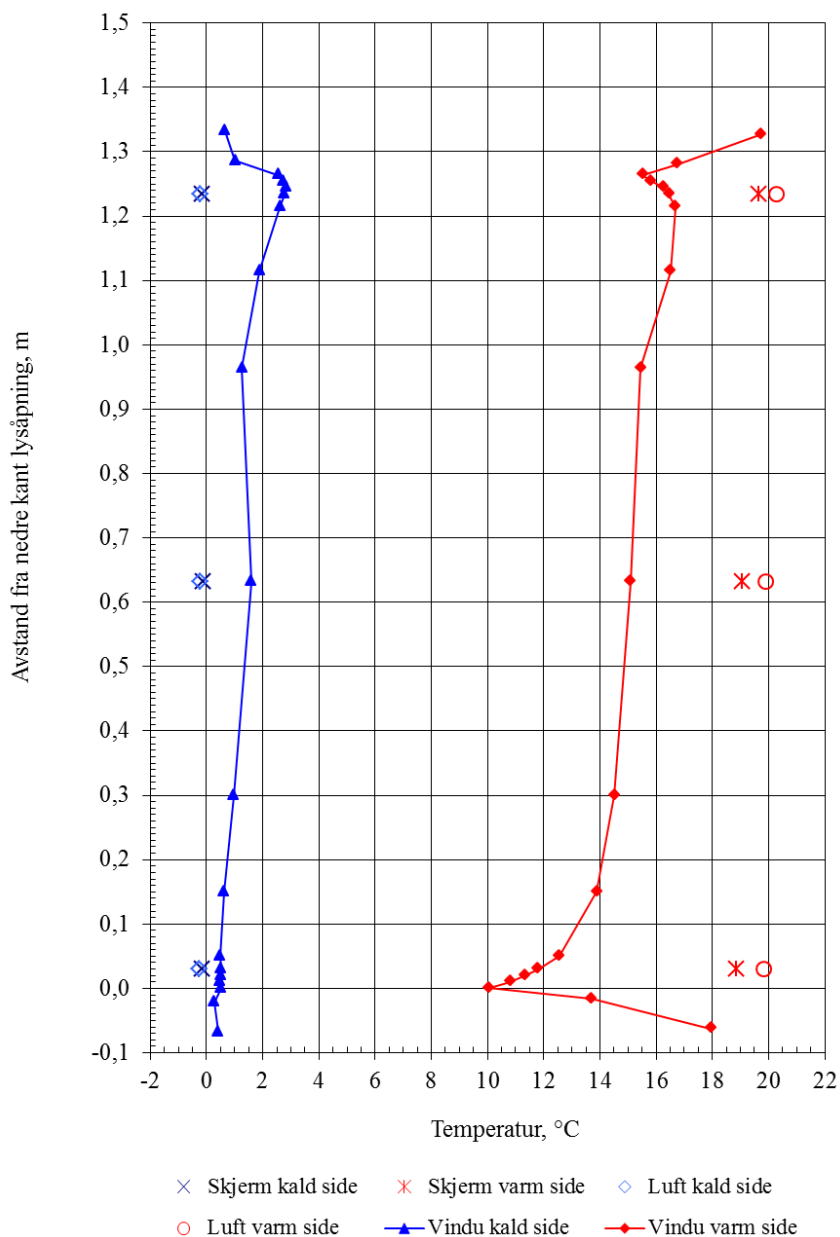
12 Vedlegg – måleresultater

12.1 Temperaturprofiler



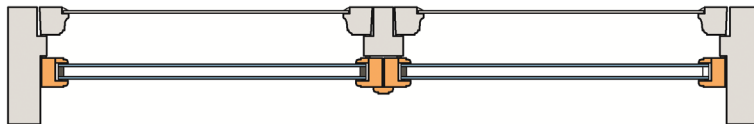
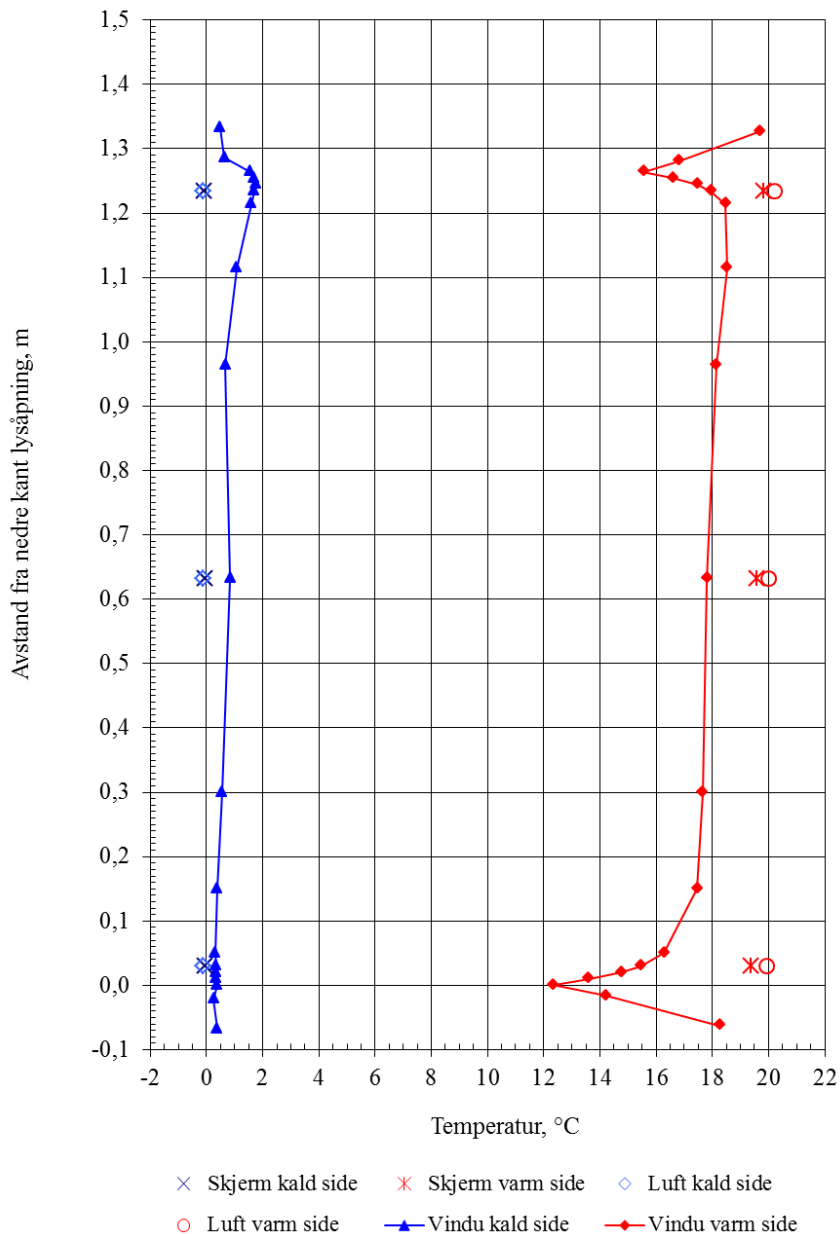
Figur 12.1

Målte temperaturer på kald og varm side av vinduet med bare ytterramme og ett lag glass. Punktene som er forbundet med strek viser temperaturer målt på overflaten av vinduet langs den vertikale midtlinjen for den ene ruten. De to øverste og de to nederste verdiene er målt midt på karmen og rammen, mens de øvrige er målt på glasset.



Figur 12.2

Målte temperaturer på kald og varm side av vinduet med vareramme med en-lags rute i midterste posisjon. Rutekode: 4-74-E4. Punktene som er forbundet med strek viser temperaturer målt på overflaten av vinduet langs den vertikale midtlinjen for den ene ruten. De to øverste og de to nederste verdiene er målt midt på karmen og rammen, mens de øvrige er målt på glasset.



Figur 12.3

Målte temperaturer på kald og varm side av vinduet med vareramme med to-lags rute i midterste posisjon. Rutekode: 4-74-E4-16Ar-E4. Punktene som er forbundet med strek viser temperaturer målt på overflaten av vinduet langs den vertikale midtlinjen for den ene ruten. De to øverste og de to nederste verdiene er målt midt på karmen og rammen, mens de øvrige er målt på glasset.

12.2 Lufttetthet

Resultater fra måling av luftlekkasje gjennom vinduet, uten varerammer					
uten luftehull					
Trykkforskjell	12	23	53	105	Pa
Luftlekkasje, hele vinduet	0,3	0,5	0,8	1,2	m ³ /h
Luftlekkasje pr. vindusareal	0,19	0,28	0,49	0,75	m ³ /m ² h

Resultater fra måling av luftlekkasje gjennom vinduet med varerammer					
uten luftehull					
Trykkforskjell	12	19	50	103	Pa
Luftlekkasje, hele vinduet	0,2	0,3	0,5	0,7	m ³ /h
Luftlekkasje pr. vindusareal	0,11	0,15	0,28	0,43	m ³ /m ² h

Resultater fra måling av luftlekkasje gjennom vinduet med varerammer					
med 4 sirkulære luftehull diameter Ø 4,6 mm i ytre ramme					
Trykkforskjell	14	21	54	96	Pa
Luftlekkasje, hele vinduet	0,7	0,9	1,5	2,2	m ³ /h
Luftlekkasje pr. vindusareal	0,44	0,56	0,89	1,36	m ³ /m ² h

Resultater fra måling av luftstrøm gjennom sirkulære luftehull i ytre ramme, uten vareramme										
Beskrivelse av luftehull				Trykkforskjell og luftstrøm						
Antall hull pr. ramme	Diameter mm	Hullareal mm ²	Det er korrigert for luftlekkasjer utenom luftehullene							
			Trykkforskjell	11	26	52	102	Pa		
			Luftstrøm pr. ramme	0,2	0,3	0,5	0,6	m ³ /h		
2	4,6	33	Luftstrøm pr. hullareal	7	8	15	20	l/mm ² h		

Resultater fra måling av luftstrøm gjennom 4 rektangulære luftehull i ytre ramme, uten vareramme

Beskrivelse av luftehull				Trykkforskjell og luftstrøm					
Antall hull pr. ramme	Bredde mm	Lengde mm	Hullareal mm ²	Det er korrigert for luftlekkasjer utenom luftehullene					
				Trykkforskjell	19	26	52	102	Pa
				Luftstrøm pr. ramme	0,8	1,0	1,5	2,2	m ³ /h
4	2	10	80	Luftstrøm pr. hullareal	10	12	19	27	l/mm ² h
				Trykkforskjell	14	24	46	90	Pa
				Luftstrøm pr. ramme	2,8	4,0	5,5	7,8	m ³ /h
4	2	20	160	Luftstrøm pr. hullareal	18	25	35	49	l/mm ² h
				Trykkforskjell	8	19	42	65	Pa
				Luftstrøm pr. ramme	3,0	5,0	7,7	9,6	m ³ /h
4	2	30	240	Luftstrøm pr. hullareal	12	21	32	40	l/mm ² h
				Trykkforskjell	9	17	41	46	Pa
				Luftstrøm pr. ramme	4,0	6,0	9,3	9,7	m ³ /h
4	2	40	320	Luftstrøm pr. hullareal	12	19	29	30	l/mm ² h
				Trykkforskjell	8	20	34		Pa
				Luftstrøm pr. ramme	4,7	7,6	9,7		m ³ /h
4	2	50	400	Luftstrøm pr. hullareal	12	19	24		l/mm ² h

12.3 Lydreduksjonstall

Resultater fra måling av lydreduksjonstall i laboratorium, se pkt. 10.3.

Oppbygg ing	Enkelt glass		Vareramme med enkelt glass		Vareramme med isolerrute			Vareramme med isolerrute	
	4		4-146-4		4-74-(4-16-4)			4-134-(4-16-4)	
Frekvens	Opprinne- lig	Kunstig tettet	Opprinne- lig	Kunstig tettet	Opprinne- lig	Kunstig tettet	Åpning alle hjørner	Opprinne- lig	Kunstig tettet
50	10,1	17,1	24,4	23,4	31,6	30,8	28,1	33,6	27,3
63	15,2	10,3	18,3	25,5	22,8	25,8	26,2	20,4	28
80	21,3	21	29,4	28,9	29	28,7	27,5	30,3	27,1
100	13,3	16,5	19,1	26	15,8	16,5	14,2	25,2	31,3
125	16,7	13,8	27,4	19,6	19,8	17,6	17,7	31,9	28
160	19,1	17,1	31,2	28,5	29,9	27	24,7	27,7	32,1
200	18,8	19,9	35,3	34,6	33,1	32,1	31	31,6	32,4
250	16,8	21,8	35,2	35,9	30	30,2	28,3	34,2	34,4
315	24,5	26,1	39,6	37,8	35,4	36,4	32,2	37,3	38,6
400	26	25,7	39,7	37,9	38,6	39,6	37,8	42,3	40
500	26,7	26,6	41,8	41,1	40	41,6	38,8	43	44,5
630	27	27,2	45,3	44,8	45,1	46,4	43,4	46,8	46,2
800	28,9	29,3	46	46,8	43,5	46,7	42,2	45,2	50,1
1000	30,2	30,7	46,9	47,2	41,7	43,8	41	43,1	49,5
1250	30	31,3	44,8	46,8	39	45	38,4	42	49,7
1600	28,9	30,4	42,2	45,8	33,7	44,2	33,6	36,9	48,7
2000	29,6	31,3	42,2	47,3	36,3	43,1	34,8	38,1	50,1
2500	30,9	32,1	44	47	41,8	42,7	39,8	42,1	50,2
3150	29	30,1	42,3	42,9	42,2	42,3	41,1	42,2	48
4000	27,6	27,7	44,5	45,1	43,2	42,8	41,7	43,4	50
5000	27,8	28	47,8	48,8	44,8	44,7	43,2	44,7	52,8
R_w (dB)	28	30	43	43	39	41	37	41	46
R_w+C_{tr} (dB)	25	26	37	37	33	33	31	38	41



Enova skal drive fram en miljøvennlig omlegging av energibruk og energiproduksjon i Norge. Vårt oppdrag er å skape varige endringer i tilbud og etterspørsel etter effektive og fornybare energiløsninger. Vi vil inspirere til å gjøre det enklere å velge fremtidsrettede energiløsninger for både private og profesjonelle aktører.



Teknologi for et bedre samfunn
www.sintef.no