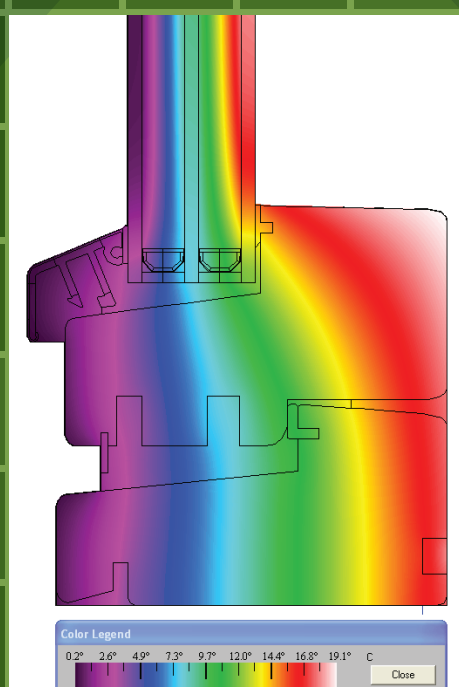


HEIDI ARNESEN, JONAS HOLME, BIRGIT RISHOLT, SIVERT UVSLØKK, STEINAR GRYNNING, BJØRN PETTER JELLE, BERIT TIME OG SILJE WÆRP

Moderne trevinduer – funksjonalitet, levetid og design

Prosjektrapport 46

2009



SINTEF Byggforsk

Heidi Arnesen, Jonas Holme, Birgit Risholt, Sivert Uvsløkk, Steinar Grynning,
Bjørn Petter Jelle, Berit Time og Silje Wærp

Moderne trevinduer – funksjonalitet, levetid og design

Prosjektrapport 46 – 2009

Prosjektrapport nr. 46

Heidi Arnesen, Jonas Holme, Birgit Risholt, Sivert Uvsløkk,
Steinar Grynning, Bjørn Petter Jelle, Berit Time og Silje Wærp

Moderne trevinduer – funksjonalitet, levetid og design

Emneord:

Vindu, tre, varmeisolering, lufttetthet, regntetthet, levetid, miljø, kvalitet, dokumentasjon

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1121-1(trykt)

190 eks. trykt av AIT AS e-dit

Innmat: 100 g munken polar

Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF Byggforsk 2009

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF Byggforsk er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk



Forord

Denne rapporten gir en samlet oppsummering av resultatene fra prosjektet *Moderne Trevindu – funksjonalitet, levetid og design (MOT)*. Et hovedfokus i prosjektet har vært å utvikle energivennlige trevinduer med lang levetid.

Prosjektet eies av Norske Trevarefabrikkers Landsforbund (NTL) som organiserer 100 norske produsenter av trevinduer. SINTEF Byggforsk er prosjektleder. Andre samarbeidende forskningsinstitutter er NTNU, Norsk Treteknisk Institutt, Teknologisk Institutt, Norsk Institutt for Skog og Landskap, Mycoteam og Lawrence Berkeley National Laboratory, USA.

Prosjektet er et treårig brukerstyrt innovasjonsprosjekt delfinansiert gjennom Norges forskningsråd og Innovasjon Norge sitt program *Fellessatsing Tre*. Den øvrige finansieringen har skjedd gjennom en meget stor egeninnsats fra NTL og deres medlemsbedrifter. Prosjektet er gjennomført i perioden 2007–2009.

Forskningen og utviklingen som er utført i prosjektet, har skjedd i nært samarbeid mellom NTL, vindusprodusentene og forskningsinstituttene. En styringsgruppe med representanter fra vindusprodusenter og leverandørbedrifter har fulgt opp arbeidet. Det har også blitt avholdt flere kurs, seminarer og workshops i prosjektperioden.

Vi vil rette stor takk til vindusprodusentene som har deltatt aktivt i utviklingsarbeidet gjennom å bidra med sin kunnskap om vinduer og vindusproduksjon samt leveranser av materialer og prototyper. En stor takk rettes også til administrasjonen i NTL som har tatt en stor del av den administrative jobben knyttet til gjennomføringen av prosjektet.

Trondheim, desember 2009

Birgit Risholt
Prosjektleder
SINTEF Byggforsk

Sammendrag

Materialvalg og konstruktiv utforming av moderne trevinduer er avgjørende for vinduets egenskaper slik som luft- og regntetthet, styrke, varmeisolerings og bestandighet. Optimalisering av design for best mulig ytelse for alle egenskapene er nødvendig for å oppnå et vindu med lang levetid.

Et trevindus varmeisolerings, U-verdien, kan forbedres ved å bruke godt isolerende isolerruter med trelags glass. Isolasjonsevnen til ramme og karm kan forbedres ved å øke dybden eller ved å legge inn isolerende sjikt. Dette kan oppnås ved gjennomgående sjikt av isolasjonsmaterialer som polyuretan eller kork. En annen mulighet er å bruke slisser med stillestående luft til å isolere ramme og karm. Ved forbedret design på ramme og karm er det mulig å oppnå en U-verdi på $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ selv ved bruk av isolerrute med to lag glass.

En miljøanalyse av sju ulike trevinduer viste at vinduer med god varmeisolerings og lav U-verdi kommer gunstig ut. Ved valg av isolasjonsmaterialer til ramme og karm, bør materialets miljøegenskaper vurderes spesielt. Enkelte isolasjonsmaterialer inneholder stoffer som krever spesiell avfallshåndtering.

Vindusprodusenter kan dokumentere U-verdien ved måling eller beregning. Normalt dokumenteres U-verdien ved beregning i henhold til NS-EN ISO 10077-2 for vinduer med størrelse $1230 \times 1480 \text{ mm}$. For vinduer med isolerrute med to lag glass er denne verdien ca $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bedre enn det som oppnås ved laboratoriemåling. For bruk i norske bygninger kreves det i tillegg dokumentasjon av gjennomsnittlig U-verdi for vindusarealet.

Kuldebro ved innsetting av vindu i vegg kan optimaliseres ved å plassere vinduet inntrukket i vegg. Slik montering av vinduet stiller imidlertid strenge krav til utførelse for å oppnå tilfredsstillende luft- og regntetthet. Ved å isolere innvendig for karmen ved montering av vinduet, kan U-verdien til vinduet forbedres.

Råteskader forekommer sjelden på norske trevinduer. Det finnes imidlertid eksempler på hele leveranser hvor råte har oppstått som følge av manglende impregnering eller uheldige konstruktive løsninger. Klimaendringer med økt temperatur og økt nedbørmengde antas å ville medføre økt råtefare for trevindu. Beregninger og målinger viser at isolerte utførelser av ramme og karm kan medføre økt fuktinnhold i ytre deler av ramme og karm. Fuktforhold må tillegges spesiell oppmerksomhet ved design av moderne trevinduer. Konstruktiv utforming som sikrer tilstrekkelig drenering og muligheter for uttørring samt god trekvalitet, impregnering og overflatebehandling gir vinduer med god motstand mot oppfukting.

Trekvalitet, impregnering og overflatebehandling er avgjørende for vinduets levetid. Om lag 95 % av alle trevinduer som produseres i Norge, leveres ferdig impregneret og overflatebehandlet fra fabrikk. Det er gjennomført akselererte aldringsforsøk av malte karmbiter fra 17 norske vindusprodusenter. De aktuelle malingsystemene oppfylte anbefalte ytelse. For overflatebehandling anbefales malingsystemer som er prøvd i vertikal klimasimulator i henhold til NT-Build 495 da denne aldringsmetoden representerer klimapåkjenninger i et nordisk klima.

Vinduers egenskaper skal dokumenteres i henhold til den felles europeiske produktstandard for vindu, NS-EN 14351-1. Vindusprodusenten kan CE-merke produktene sine i henhold til krav i denne standarden. Det anbefales tilleggsdokumentasjon knyttet til egnethet i bruk for norske forhold samt dokumentasjon av vinduenes miljøegenskaper.

Innhold

1	Innledning	5
1.1	Formål.....	5
1.2	Bakgrunn.....	5
1.3	Avgrensning av studien.....	5
2	Materialer til vindusproduksjon	6
2.1	Funksjonskrav til emner.....	6
2.2	Treslag og trekvalitet	6
2.3	Isolasjonsmaterialer	7
3	Energivennlige trevinduer	9
3.1	Vinduer og U-verdi	9
3.2	Dokumentasjon av vinduers U-verdi	10
3.3	Parametere som innvirker på varmetap gjennom et vindu.....	12
3.4	Vindusrute for bedre varmeisolering	13
3.5	Ramme- og karm-løsninger for bedre varmeisolering	15
3.5.1	Parameterstudie av karm-/rammeprofiler	16
3.5.2	Isolerte karm-/rammeprofiler	17
3.6	Utvendig isolert vindu.....	19
3.7	Energivennlige vinduer tilgjengelige på markedet	20
4	Innsetting av energivennlige vinduer i vegg	21
4.1	Kuldebroverdier	21
4.2	Innvendig isolering	23
4.3	Luft- og regntetthet	24
5	Beregning av gjennomsnittlig U-verdi for vindusleveranser	27
5.1	Beregningsmetode for leveranser	27
5.2	Omfordeling av varmetap	28
6	Miljøvennlige vinduer	29
6.1	Metode for miljøvurdering.....	29
6.2	Resultater fra miljøvurderingen av sju vinduer.....	30
6.3	Isolasjonsmaterialer	30
7	Fuktpåkjenning og råtefare	31
7.1	Råte	31
7.2	Økt råtefare som en effekt av klimaendringer	31
7.3	Erfaringer med råte i norske trevinduer	31
7.4	Fuktpåkjenning i trevinduer	33
7.5	Fullskala fuktforsøk	34
7.6	Hvordan unngå fuktproblemer i trevinduer	36
8	Overflatebehandling av trevinduer	38
8.1	Impregnering.....	38
8.2	Overflatebehandling.....	38
8.3	Klimabestandighet hos norske trevinduer – resultater fra akselererte aldringsforsøk	39
8.3.1	Akselerert aldring i vertikal klimasimulator	39
8.3.2	Akselerert aldring i horisontalt UV-apparat.....	40
8.3.3	Resultater fra akselerert aldring	40
8.3.4	Diskusjon	41
8.3.5	Konklusjoner.....	43
9	Dokumentasjon av vinduers egenskaper	44
9.1	Dokumentasjonskrav.....	44

9.2	Miljødokumentasjon	44
9.3	CE-merking og annen produktdokumentasjon	45
	Litteraturliste.....	46
	Referanser	48

1 Innledning

1.1 Formål

Hensikten med rapporten er å presentere anbefalinger og tekniske løsninger for moderne, energivennlige og industrielt overflatebehandlede trevinduer. Vindusprodusenter kan benytte rapporten ved utvikling av sine produkter. De som kjøper vinduer, kan bruke rapporten ved vurdering av hvilken vindustype som bør velges til et bygg.

Rapporten fokuserer spesielt på fire hovedområder:

- anbefalinger for materialvalg til ramme og karm
- design av ramme og karm i trevinduer for å redusere varmegjennomgang
- fukt- og råtefare for trevinduer
- overflatebehandling av trevinduer

1.2 Bakgrunn

I Norge har vinduer i tre en markedsandel på ca. 90 %. Dette er unikt når vi sammenligner oss med land på kontinentet. I Mellom-Europa har vinduer i tre en markedsandel på ca 30 %.

Vindusprodusentene ser en utfordring i og har et ønske om å garantere funksjonelle produkter tilpasset energikrav og med god kvalitet og lang levetid. Samtidig stilles det stadig strengere krav til bruk og utslipp av miljøskadelige stoffer ved impregnering og overflatebehandling.

Norske vindusprodusenter er veldig ofte hjørnesteinsbedrifter og en av få arbeidsplasser på sine respektive lokaliteter. De produserer for hjemmemarkedet, men har et økende fokus på å vinne markedsandeler utenfor Norge. Det ble eksportert vinduer og dører for mer enn 350 mill. NOK i 2008. Ved landets om lag 125 vindusfabrikker blir det årlig produsert mer enn 1 million vinduer.

Trevinduer lages i dag primært av furu. Det er vanlig at trevarefabrikkene maler vinduene ferdig på fabrikk. De fleste fabrikkene overflatebehandler med et vandispergert system eller en kombinasjon hvor man har en oljebasert grunning. Overflatebehandlingen av vinduer har gradvis økt, og i dag er ca. 90 % av alle vinduer som går ut fra fabrikk overflatebehandlet. Dette betyr at omtrent 900.000 vinduer blir behandlet per år.

Norske myndigheter har som mål å redusere energibruken i bygninger. Dette reflekteres i endringer i Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (TEK) av februar 2007. Det nye kravet til U-verdi (varmegjennomgangstall) for vinduer er på 1,2 W/(m²K) og medfører at flere av de mest brukte karm- og rammeløsningene for trevinduer (krysspostvinduer og vinduer med gjennomgående poster og losholter) ikke tilfredsstiller kravet med mindre en bruker isolerte treprofiler i vinduene. Myndighetene har varslet av kravet til U-verdi vil skjerpes ytterligere ved senere revisjoner av forskriften.

1.3 Avgrensning av studien

Hovedandelen (ca. 45 %) av vinduene som omsettes i Norge er såkalte toppsvingvinduer, det vil si horisontalt glidehengslede, utadslående vinduer. Beregningene og de eksperimentelle arbeidene som er gjennomført i denne studien, er gjort for denne typen vinduer.

Utvikling av mer energivennlige vinduer har skjedd med hovedfokus på løsninger for vinduer med tolags isolerrute. De beregnede og målte U-verdiene gjelder kun det designet og den basismodellen som er vist i rapporten. Andre utforminger vil gi andre verdier.

Rapporten gjengir ikke materialdata, U-verdier eller andre kvantitative verdier for vinduer, overflatebehandling eller materialer for konkrete leverandører. Leverandører er selv ansvarlige for å dokumentere produktenes egenskaper.

Anbefalingen i rapporten er knyttet til utvikling og produksjon av vindu samt til en viss grad til montering i vegg. Det er ikke gitt anbefalinger knyttet til vedlikehold.

Rapporten er basert på resultater fra arbeider utført i MOT -prosjektet, se egen litteraturliste. Andre referanser er angitt i referanselisten.

2 Materialer til vindusproduksjon

2.1 Funksjonskrav til emner

Dimensjonsstabile bygningselementer av tre, som vinduer, må produseres av egnede treslag og tilfredsstillende trekvalitet. Emner til vindusproduksjon må blant annet ha tilfredsstillende styrke og dimensjonsstabilitet. Trevirket må også ha akseptabel råtemotstand. De fleste største vindusprodusentene benytter laminerte emner til ramme og karm. De laminerte emnene må ha tilsvarende gode egenskaper som emner av heltre. Limsjikt og eventuelle sjikt bestående av andre materialer enn tre, kan utgjøre svake deler av laminatet.

Konstruktive detaljer som glassing, lufting, drenering, hjørneløsninger og beslagsinnfesting må utredes nøye for å oppnå gode og varige løsninger. Andre forhold ved produksjon slik som maskinering, overflatebehandling og avfallshåndtering må også vurderes ved valg av materialer til vindusproduksjon.

Valg av egnede materialer, det være seg trevirke eller isolasjonsmateriale, er avgjørende for vinduets levetid. Materialenes levetid, vedlikeholdsvennlighet, værbestandighet og fuktegenskaper er avgjørende faktorer. I tillegg er tilgjengelighet og pris viktige faktorer.

2.2 Treslag og trekvalitet

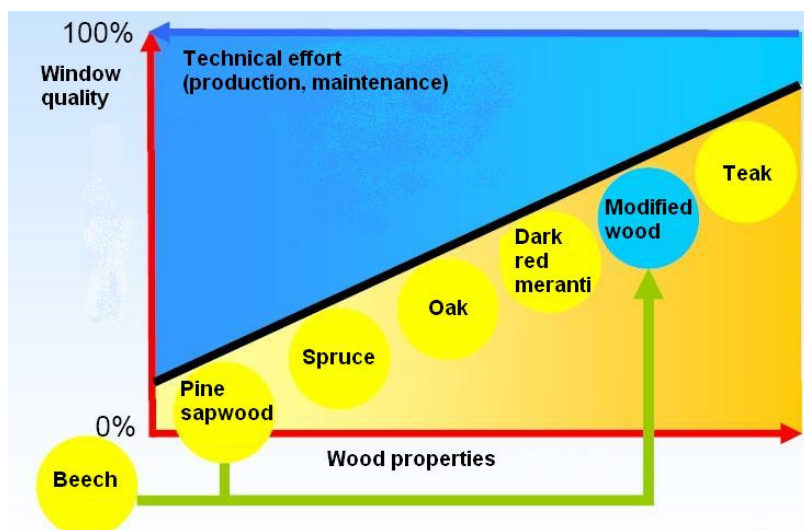
Trevinduers kvalitet og levetid er avhengig av en rekke faktorer. Kvalitet på trevirke er en slik faktor og utgangspunktet for all vindusproduksjon. Tabell 2.2 gjengir blant annet en oversikt over noen europeiske treslag som brukes til vindusproduksjon.

Tabell 2.2
Egenskaper ved noen europeiske treslag som brukes til vindusproduksjon (VFF Guidance sheet HO.06, 2004)

Treslag	Spesielle egenskaper	Dimensjonsstabilitet	Fuktighetsgjennomtrengningskoeffisient	Motstand NS EN 350-2	Densitet ved 12–15 % fuktighet	Egnethet som laminerte emner til vindusrammer	Egnethet som tømmer i vindusproduksjon	Kommentarer
Gran (Picea abies)	kvaelommer	god	middels	4	0.40–0.50	3 godkjent*	3 godkjent*	Impregnering før overflatebehandling anbefales sterkt.
Furu (Pinus sylvestris)	hapiksholdig	middels til god laminat god	kjerneved: middels yteved: høy	3-4	0.44–0.60	3-4 godkjent*	3-4 godkjent*	Impregnering før overflatebehandling anbefales sterkt.
Lerk (Larix spp.)	hapiksholdig, litt skjør	middels til god laminat god	kjerneved: lav yteved: høy	3-4	0.47–0.62	2 godkjent*	2-3 godkjent*	Impregnering før overflatebehandling anbefales sterkt.
Douglas (Pseudotsuga menziesii)	hapiksholdig	middels til god laminat god	kjerneved: lav yteved: høy	3-4	0.42–0.50	3-4 godkjent*	3-4 godkjent*	Impregnering før overflatebehandling anbefales sterkt.
Edelgran (Abies alba)		god	middels	4	0.40–0.50	3 godkjent*	3 godkjent*	Impregnering før overflatebehandling anbefales sterkt.
Eik (Quercus spp.)	Tanninsyre i kontakt med jern gir brun til mørk brun farge.	middels	lav	2	0.67–0.77	2 godkjent*	2-3 godkjent*	

*Godkjent = alt trevirke som har 15 års holdbarhet

Modifisering av trevirke og ny teknologi for beskyttelse av trevirke er introdusert i tillegg til konvensjonelle impregneringsmetoder. Figur 2.2 viser modifisert trevirke sammenlignet med noen treslag som blir brukt til produksjon av vinduer (Krause, 2007).



Figur 2.2
Modifisert trevirke sammenlignet med noen treslag som blir brukt til produksjon av vinduer (Krause 2007).

Det er et stort potensial for nye systemer for modifisering. Behovet for å finne måter å produsere vinduer av tre med høyere kvalitet anses enda viktigere på det europeiske markedet enn på det skandinaviske da markedsandelen for trevinduer i Europa har gått drastisk ned.

2.3 Isolasjonsmaterialer

Det finnes flere eksempler på trevinduer med isolerte ramme- og karmprofiler. De mest brukte isolasjonsmaterialene er skummet plastisolasjon og kork. I vinduer av PVC økes antall uventilerte hulrom for å bedre isolasjonsegenskapene til karm og ramme. Tabell 2.3 viser en oversikt over vesentlige egenskaper for noen isolasjonsmaterialer.

Luft har et varmeledningstall (λ -verdi) omtrent som de beste isolasjonsmaterialene. Figur 2.3 viser et trevindu hvor isolasjonsevnen er forbedret ved å legge inn luftslisser i ramme og karm. Varmetransport i luftfylte hulrom skjer imidlertid ikke bare ved ledning, men også ved konveksjon og stråling. Størrelsen på de ulike formene for varmetransport er avhengig av hulrommets dybde, temperaturfall over hulrommet og overflatenes emissivitet.

Skumplast av polyuretan og polystyren har 3–4 ganger bedre varmemotstand enn furu. Men disse materialene har som oftest dårlige styrkeegenskaper og kan derfor ikke brukes i deler av ramme og karm hvor hengsler skal festes, eller hvor det skal overføres krefter. Et gjennomgående slikt av vanlig plastisolasjon kan for eksempel ikke uten videre brukes i deler av bunnramma som skal bære vekten av isolerruta. Figur 2.4 viser NorDans N-Tech vindu som er isolert med et gjennomgående slikt av plastisolasjon.

Kork isolerer nesten like godt som skummet plastisolasjon. Kork er bark fra korkeika og dermed et materiale som under vindusproduksjon kan bearbeides sammen med furu uten at dette setter spesielle krav til utstyr eller avfallshåndtering. Kork er imidlertid en begrenset ressurs, og kan neppe brukes som isolasjonsmateriale av alle norske vindusprodusenter.

Mineralull finnes i mange ulike kvaliteter og fastheter. Mineralull avgir støv ved sponavskjærende bearbeiding, og vil kunne medføre økt behov for rengjøring/ventilasjon. Den mekaniske styrken til mineralull er vesentlig dårligere enn styrken til tre. Mineralull vil derfor ha samme begrensning som vanlig plastisolasjon i deler av karm og ramme som skal overføre krefter. Isolasjonsegenskapene til et materiale angis ved materialets termiske konduktivitet (varmeledningstall), λ (W/mK). Lav termisk konduktivitet betyr at materialet isolerer godt. Den termiske konduktiviteten til materialene brukes ved beregning av et vindus U-verdi. Både styrkeegenskaper og varmeledningsevne øker med økende massetetthet (egenvekt).

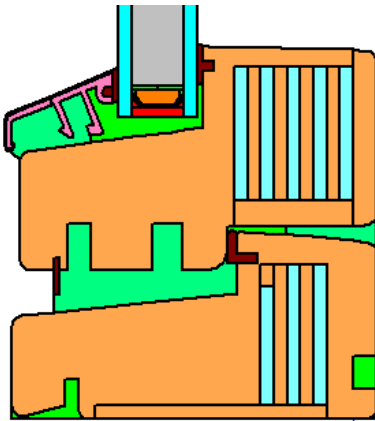
Et vindu er et komplekst produkt, og materialene som brukes må ikke bare isolere godt. Styrke er også en vesentlig egenskap. I tabellen nedenfor oppsummeres termisk konduktivitet og styrke til noen materialer.

Tabell 2.3

Isolasjonsmateriale	Termisk konduktivitet, λ [W/mK]	Massetetthet ρ [kg/m ³]	Skjærfasthet [N/mm ²]	Skruefasthet (kN)
Furu ¹⁾	0,12	500	100 (bøy)	1,8
Stillestående luft ²⁾	0,025			
Skummet polyuretan	0,03	30		
Skummet PVC	0,08	600-670	3,5	1,7
Purenit®	0,075	500-550	3,7	0,96
Kork	0,038	96		
Mineralull	0,04	300		

1) Målte verdier for furu med 12 % fuktighet

2) I tillegg kommer varmetransport som følge av stråling og konveksjon.



Figur 2.3 Slisset vindusprofil



Figur 2.4 NorDan N-Tech vindu med plastisolasjon i karm for bedre varmeisolering (NorDan 2009)

3 Energivennlige trevinduer

3.1 Vinduer og U-verdi

U-verdi

En stor del av varmetapet i boliger og bygg skjer gjennom vinduene. Myndighetene har derfor skjerpet kravet til U-verdi for vinduer. Det nye U-verdikravet til vinduer er 1,2 W/(m²K).

Begrepet *U-verdi* eller *varmegjennomgangskoeffisient* brukes som standardisert mål på hvor lett en bygningsdel slipper gjennom varme. U-verdi oppgis i W/(m²K) og angir hvor mye varme per tidsenhet som strømmer gjennom et areal på 1 m² ved en konstant temperaturforskjell på 1 K (1 °C) mellom omgivelsene på varm og kald side av konstruksjonen. En godt isolert bygningsdel har derfor lav U-verdi. En typisk vinterdag med temperaturforskjell mellom ute og inne på 20 °C vil varmetapet gjennom f. eks. et vindu på 1,4 m² og U-verdi 1,2 W/(m²K) være 34 W (1,2 x 1,4 x 20).

Varmestrøm skjer ved følgende tre måter:

- ledning (i faste materialer og stillestående gasser)
- konveksjon (strømning i luft mellom to glass i en isolerrute)
- stråling (strålingsutveksling mellom glassene i ei flerlags isolerrute)

Vinduets U-verdi

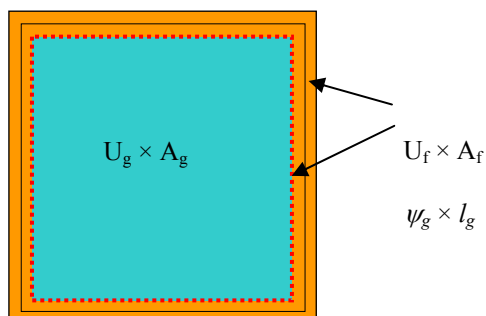
Et vindu består av glassrute med avstandslist, ramme- og karmkonstruksjon samt beslag. Disse komponentene har forskjellig varmeisolasjonsevne, avhengig av materialegenskaper og oppbygging. For eksempel er U-verdien i rutens senterområde forskjellig fra U-verdien i rutens kantområde, som igjen er forskjellig fra U-verdien til karm/rammekonstruksjonen.

Vinduets totale U-verdi, U_w , er en arealveid verdi for hele vinduet basert på U-verdiene for de ulike komponentene; rutens senterområde, vinduets karm/ramme og rutens kanttillegg. Dette beregnes som vist i ligning 1. Varmetapet i rutens kant (kanttillegget) beregnes som et ekstra varmetap per løpemeter rutekant.

$$U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \psi_g}{A_t} \tag{1}$$

hvor

- U_w = U-verdien til hele vinduet [W/(m²K)]
- U_g = U-verdien til senter rute [W/(m²K)]
- U_f = U-verdien til karm-/rammeprofilene [W/(m²K)]
- A_g = Vinduets glassareal (synlig del) [m²]
- A_f = Vinduets karm- og rammeareal [m²]
- A_t = Vinduets totale areal ($A_g + A_f$) [m²]
- ψ_g = Lineært kanttillegg (varmetap per løpemeter rutekant) [W/K*m]
- l_g = Løpemeter rutekant [m]



Figur 3.1 Illustrasjon av de tre hovedkomponentene som inngår i den totale U-verdien til et vindu

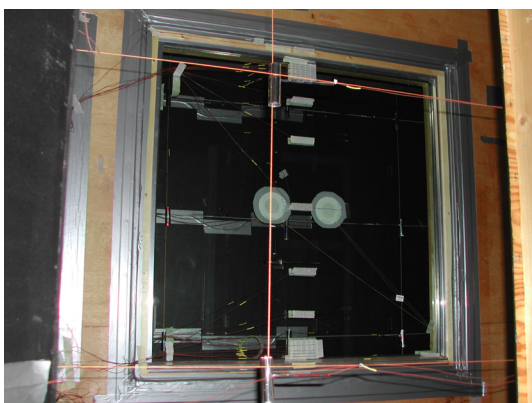
3.2 Dokumentasjon av vinduers U-verdi

Metoder og standarder

Dokumentasjon av vinduers og dørers U-verdi kan gjøres enten ved måling i laboratorium (hot-box), ved beregning eller ved å bruke U-verdier fra tabeller for et begrenset utvalg vinduer. Det finnes metoder for både forenklet beregning (NS-EN ISO 10077-1) og for mer detaljerte beregninger (NS-EN ISO 10077-2). Beregning etter forenklet metode skal gi et konservativt resultat, dvs. at U-verdien skal bli noe høyere (dårligere) enn om det gjøres en detaljert beregning. Tabell 3.2 gir en oversikt over ulike standarder for måling eller beregning av vinduers U-verdi. Tittel og utgivelsesår for de ulike standardene er gitt i referanselista.

Tabell 3.2 Oversikt over standarder for dokumentasjon av U-verdi

Standard	U-verdi	Merknad
NS-EN ISO 12567	U_w	Metode for laboratoriemåling (hot-box) Referansemetode for deklarasjon av U-verdi etter NS-EN 14351-1
NS-EN ISO 10077-1	U_w , U_f , ψ_g U_g	Metode for beregning av U_w samt tabeller med U_w og forenklet beregning av U_f Verdier for U_f og ψ_g i tabeller eller diagrammer Henviser til NS-EN ISO 673 for forenklet beregning av U_g Henviser til ISO 15099 for detaljerte beregninger av U_g
NS-EN ISO 10077-2	U_f og ψ_g	Metode for detaljert beregning av U_f og ψ_g
NS-EN 673 (ISO 10292)	U_g	Metode for beregning av U_g NS-EN 673 er basert på ISO 10292 som har forenklede formler for konveksjon basert på målinger fra før 1954.
ISO 15099	U_w , U_f , ψ_g U_g	Metode for detaljert beregning av U_w , U_f , ψ_g og U_g NS-EN ISO 10077-2 oppgis som normativ referanse og U_f og ψ_g beregnes etter samme metoder som i denne. Anviser detaljert metode for beregning av U_g Algoritmene for beregning av konveksjon i vertikale ruter basert på målinger publisert i 1996



Figur 3.2 a Instrumentering av vindu i hot-box ved måling av U-verdi i henhold til NS-EN ISO 12567-1

I følge den felles europeiske produktstandarden for vinduer (NS-EN 14351-1) er målinger i laboratorium (hot-box) etter NS-EN ISO 12567-1 referansemetode for dokumentasjon av vinduers U-verdi (NS-EN ISO 12567-1). Det betyr at hvis beregnet og målt U-verdi for ett og samme vindu gir ulikt resultat, er det målt U-verdi i henhold til NS-EN ISO 12567-1 som er gjeldende resultat.

Beregnete verdier skal følgelig være noe høyere (dårligere) enn målt verdi slik at beregningene gir et konservativt avvik i forhold til referansemetoden, hot-box-målinger.

Tidligere målinger har vist at beregninger av U-verdier for trevinduer og -dører etter NS-EN 10077-1 og -2 stemmer godt overens med målinger i hot-box etter NS-EN ISO 12567-1. Dette

forutsetter at U-verdien midt på ruten, senter U-verdi (U_g), beregnes etter ISO 15099 og ikke etter NS-EN 673 (ISO 15099, NS-EN 673).

Formlene for konveksjon i NS-EN 673 gir for lave senter U-verdier sammenlignet med målinger etter NS-EN ISO 12567. Det gjelder spesielt for tolags ruter når temperaturforskjellen og eller hulromsavstanden er over visse grenser. Formlene i ISO 15099 gir derimot senter U-verdier som stemmer godt overens med verdier målt med varmestrømsmåler. NS-EN ISO 10077-1 og -2 henviser til ISO 15099 for mer presise beregninger av senter U-verdi.

For en tolags rute vil senter U-verdi beregnet etter NS-EN 673 bli ca. 0,1 W/(m²K) lavere (for god) enn om den beregnes etter ISO 15099. For et vindu med størrelse 1,2 x 1,2 m² utgjør dette ca. 0,07 W/(m²K) på den totale U-verdien.

For trelags rute gir de to beregningsmetodene tilnærmet samme U_g -verdi. Det skyldes at det er minimalt med konveksjon i trelags ruter.

Metoden for beregning av U_f og ψ_g er tilnærmet sammenfallende i NS-EN ISO 10077-2 og ISO 15099.

Kontroll av beregningsmetode

Beregninger er et nødvendig verktøy ved parameterstudier og produktutvikling. For å kontrollere beregningsmetoden ble det tidlig i MOT-prosjektet produsert to testvinduer for laboratoriemåling av U-verdi i hot-box.

Todimensjonale beregninger tar ikke høyde for effekten av blant annet følgende:

- Hengsler og beslag
- Global konveksjon. Kald luft som dras inn i bunnfugen og stiger opp i sidefugene og ut i toppfugen. Lufta strømmer slik fordi den blir varmet opp i fugene, samtidig avkjøler lufta overflatene mellom karm og ramme.

Begge disse effektene vil bidra til at beregnet U-verdi blir noe bedre enn reell U-verdi, når fugene er åpne mot det fri. Med ekstra tettelist i topp- og sidefugene stoppes den globale konveksjonen og det kan forventes bedre samsvar mellom beregnet og reell, målt U-verdi.

For å anslå hvor mye den globale konveksjonen utgjør ble det gjennomført hot-box-målinger av vinduet med ulike kombinasjoner tape over utvendige fuger. Tilsvarende tiltak ble simulert i beregningene.

Alle beregningene i MOT-prosjektet er gjort ved hjelp av dataprogrammene THERM 5.2, WINDOW 5.2 (LBNL) og Uvin36 (Uvin 36).

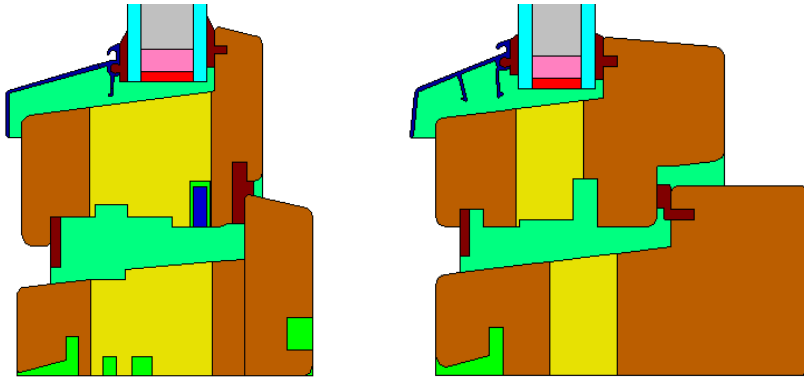
Resultater testvindu I

Resultatene fra testvindu I viser at beregnet reell U-verdi for vinduet blir 9,3 % dårligere enn målt i hot-box. Beregninger gir et konservativt resultat i forhold til hot-box-målinger som er referansemetode.

Studien i seg selv gir ikke nok grunnlag til å trekke noen konklusjoner om hvorfor avviket er opp mot 10 %, men det antas at modellering av hulrommene er en av de mest usikre faktorene i beregningene. Karm-/rammeprofilene i dette vinduet har relativt store åpne fuger.

Resultater testvindu II

Resultatene fra testvindu II viser at beregnet reell U-verdi for vinduet blir 3,9 % bedre enn målt i hot-box. Beregninger bør gi et konservativt resultat i forhold til hot-box-målinger som er referansemetode. Global konveksjon i fugen mellom karm og ramme kan ikke simuleres i beregningene. Ved å tape over fugene i topp og side elimineres konveksjonen. Beregningsresultatene viser da et positivt avvik på under 2,0 % i forhold til referansemetoden.



Figur 3.2 b Modellert snitt av bunnprofil for testvindu I (venstre) og testvindu II (høyre)

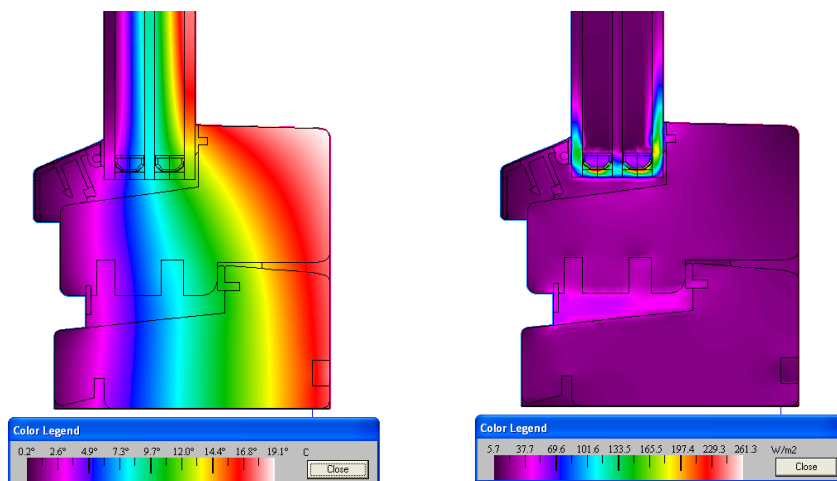
Konklusjon

Resultatene viser at det er god overensstemmelse mellom beregninger etter ISO 15099 og hot-box-målinger etter NS-EN ISO 12567 som er referansem metode.

3.3 Parametere som innvirker på varmetap gjennom et vindu

Varmetapet gjennom et vindu i en bygningskonstruksjon er bestemt av en rekke faktorer. I tabellen nedenfor har vi forsøkt å systematisere de viktigste ved å samle dem i grupper og undergrupper.

Vinduet påvirker energibehovet til en bygning også ved at det slipper inn solvarme og indirekte ved at det har stor betydning for innvendig varmekomfort. I oversikten nedenfor har vi bare tatt med de forholdene som påvirker varmetapet innenfra og ut gjennom et lukket og lufttett vindu. I de to neste kapitlene gjengis det viktigste fra to studier om hvor hvordan de ulike parameterne påvirker varmetapet i henholdsvis vindusruta og karm-/rammekonstruksjonen. Parameterstudie I omhandler vindusruta og parameterstudie II omhandler karm-/rammeprofilene.



Figur 3.3 Temperatur- og varmefluktprofil for trevindu med isolerende spacer

Tabell 3.3 Oversikt over faktorer som påvirker varmetapet gjennom et vindu

Vinduet	Vindusruta (parameterstudie I)	Antall glass Tykkelse pr. hulrom Antall belagte glass pr. hulrom Emisjonstall Gasstype Gasskonsentrasjon Avstandslist/type/rutekanttap, ψ_g Mellomliggende sprosser/type/rutekanttap, ψ_g
	Karm/ramme (parameterstudie II)	Materiale/densitet/varmekonduktivitet Profilbredde Profildybde Profilutforming/falsdybde Glassingslister Glassingspakninger Tettelister/antall/type/plassering Hengsler og beslag/materiale/utforming/plassering Materiale Isolasjon Densitet Varmekonduktivitet Bredde/dybde/utforming
	Vindusstørrelse	Bredde Høyde Antall gjennomgående poster, losholter og sprosser
	Innmontering	Plassering i vindusmyget Plassering av foring
	Bygningskonstruksjon	

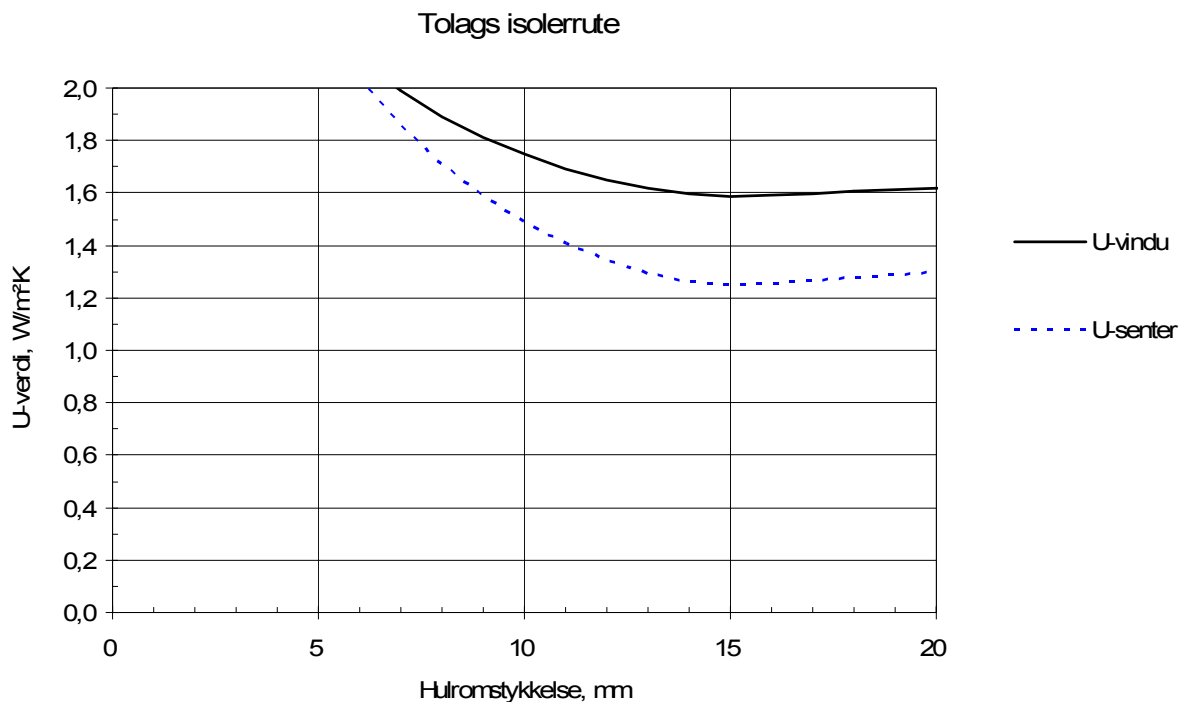
3.4 Vindusrute for bedre varmeisolering

Parameterstudie del I presenterer beregningsresultater på en systematisk måte for å vise hvilke muligheter en har for å redusere U-verdien for hele vinduet gjennom valg av vindusrute.

I den første parameterstudien ble det undersøkt hvordan valg av isolerrute påvirker hele vinduets U-verdi. Det ble tatt utgangspunkt i et standard trevindu, 1,2 m x 1,2 m med en standard tolags isolerrute. Dette vinduet har vi brukt som referanse for de øvrige beregningsalternativene.

Hulromstykkelse, tolags ruter med argon

Vi har valgt 16 mm hulromstykkelse som standardverdi. Som det framgår av figur 3.4, kan senter U-verdi bli like lav eller litt lavere, 1,25 W/(m²K), med 15 mm hulrom. Vi anbefaler likevel at en bruker avstandslistene som gir en nominell hulromstykkelse på 16 mm for å kompensere for at rutene vinterstid er noe tynnere på midten enn ved kantene.



Figur 3.4
Trevindu med tolags isolerrute, argon og lavemisjonsbelegg. U-verdier for alternative hulromstykkelser

U-verdien til vinduer, som andre bygningsdeler, bestemmes vanligvis ved en innetemperatur på 20 °C og en temperatur ute på 0 °C som noenlunde tilsvarende midlere temperaturforhold i fyrings-sesongen. Middelttemperaturen i standardruta er da ca. 8 °C som er lavere enn den temperaturen de fleste ruter produseres ved. Når temperaturen i en rute går ned, trekker gassen seg litt sammen og glassene bøyes litt innover. I en tolags rute på 1 m x 1 m og med 16 mm hulromstykkelser ved kantene vil hulromstykkelseren være ca. 14,5 mm på midten og midlere hulromstykkelser vil være ca. 15,5 mm. Dette gjelder når middelttemperaturen i hulrommet er 8 °C, og temperaturen var 20 °C når ruta ble limt. Det forutsetter også at det er samme barometertrykket som når ruta ble limt sammen.

Hulromstykkelser, tolags ruter med andre gasser

Med krypton i hulrommet blir senter U-verdi 1,18 W/m²K og lavest når hulrommet er ca. 10 mm tykt. Xenon gir bare litt lavere senter U-verdi, 1,16 W/m²K, men det kan oppnås med bare 7 mm hulromstykkelser.

Hulromstykkelser, trelags ruter

Når en øker antall hulrom fra ett til to, øker også optimal hulromstykkelser med hensyn til U-verdi. Det skyldes at drivkraften for konveksjon i hulrommene blir redusert som følge av at temperaturforskjellen over hvert hulrom blir redusert. Mens optimal hulromstykkelser for argonfylte trelags ruter er ca. 18 mm med tanke på U-verdi, vil hulromstykkelseren i praksis være begrenset av tilgjengelig falsdybde.

Beregninger viser for øvrig at det er fullt mulig å oppnå U-verdier på godt under 1,2 W/(m²K) for trevinduer med vanlige karm- og rammeprofiler av massivt tre hvis en bruker trelags isolerrute

Gasskonsentrasjon

Standardverdi for gasskonsentrasjon er satt til 90 %. Med en god gasspresse kan en oppnå noe høyere gasskonsentrasjon og litt lavere U-verdi. En økning av gasskonsentrasjonen fra 90 % til 95 % fører til at senter U-verdi går ned ca. 0,016 og vinduets U-verdi går ned ca. 0,01 W/(m² K).

Emisjonstall

Bruk av glass med reflekterende belegg, såkalt lavemisjonsbelegg, er det klart mest effektive enkelttiltaket for å redusere varmetapet gjennom isolerruter og dermed gjennom vinduer. I en gammeldags tolags rute med bare vanlige glass, uten belegg, domineres varmeoverføringen i hulrommet helt av varmestråling. Vanlig floatglass har en emisjonsfaktor på 0,837 og strålingsoverføringen er 72 % av det maksimale som en ville hatt hvis begge flatene i hulrommet hadde emisjonstall 1,0. Med ett belagt glass, med emisjonstall 0,05, reduseres strålingsoverføringen til 5 % i forhold til det maksimale. Ved å redusere emisjonstallet ytterligere, f. eks til 0,03, reduseres strålingsoverføringen til 3 % av det maksimale.

Senter U-verdi reduseres med ca. 0,03 W/m² og vinduets U-verdi reduseres med ca. 0,02 W/(m²K) hver gang emisjonstallet reduseres med en hundredel (0,01). Det er imidlertid begrenset hvor mye det er mulig å redusere U-verdien ved ytterligere reduksjon i emisjonstallet.

Avstandslist, rutekanttap

I følge siste reviderte utgave av NS-EN ISO 10077-1:2007 er standard rutekanttap økt fra 0,06 W/mK til 0,08 W/mK for vanlige avstandslist av aluminium. Ved å velge en godt isolerende avstandslist kan rutekanttapet kanskje reduseres til ca. 0,04 W/mK.

Glasstykkelse

I alle beregningene har vi brukt 4 mm glasstykkelse. Glass har forholdsvis god varmeledningsevne, 1 W/mK, og en økning av glasstykkelsen gir derfor bare noen promilles reduksjon i senter U-verdi. Det samme gjelder også for ruter med laminerte glass. Tykkelsen til plastlaminatet mellom glassene er vanligvis mindre enn 1 mm og varmemotstanden til plastlaminatet vil heller ikke utgjøre mer enn noen promille av rutas varmemotstand. En får derfor i praksis samme senter U-verdi for lydruter og sikkerhetsruter med tykke glass som for vanlige isolerruter med 4 mm glass når hulrom og belegg for øvrig er like.

Økt glasstykkelse fører derimot til økt varmetap gjennom avstandslista, ψ_g øker, og U-verdien til vinduet blir dermed høyere. Det skyldes at varmestrømmen i glasset, fra midtarealet til kanten av ruta, møter mindre motstand i et tykt enn i et tynt glass.

Samlet forbedringsmulighet for hele vinduet

Ved å velge beste tilgjengelige tolags rute og en godt isolerende avstandslist mellom glassene kan U-verdien for det valgte standardvinduet reduseres med 0,24 W/(m²K), fra 1,59 til 1,35 W/(m²K). Da er det forutsatt en isolerrute med 95 % krypton, 10 mm hulrom, ett lavemisjonsbelegg med emisjonstall 0,03 og avstandslist som gir et rutekanttap på 0,04 W/mK.

En mer vanlig tolags rute, med 16 mm hulrom fylt med 95 % argon, ett lavemisjonsbelegg med emisjonstall 0,03 og avstandslist som gir et rutekanttap på 0,04 W/(m²K), gir en reduksjon i standardvinduet U-verdi på 0,16 W/(m²K), fra 1,59 til 1,43 W/(m²K).

Karm/rammeprofilen er beregnet etter NS-EN ISO 10077-1 som er en forenklet metode sammenlignet med beregningene i parameterstudie del II. Vinduets U-verdi beregnet etter forenklet metode vil være noe høyere enn hva den blir ved detaljert beregning.

I begge tilfellene er det sammenlignet med en vanlig tolags energirute med argonfylling og avstandslist av aluminium.

3.5 Ramme- og karmløsninger for bedre varmeisolering

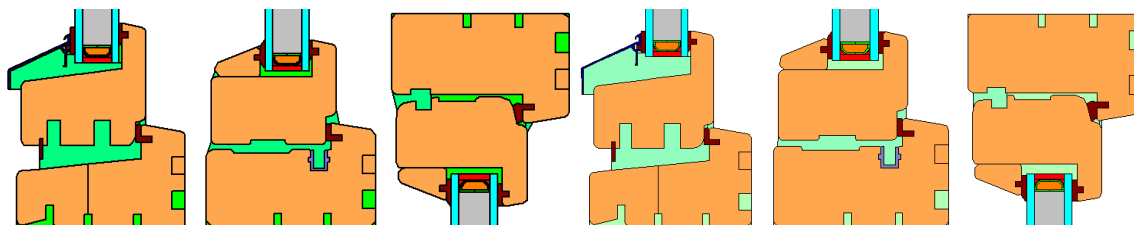
Videre er det gjennomført en parameterstudie av hvordan karm-/rammeprofilenes utforming påvirker vinduets U-verdi. På bakgrunn av disse resultatene ble noen profilløsninger valgt for videre studie og vurdering. De viktigste resultatene fra studiene er presentert i dette kapittelet.

Referansevindu

Referansevinduet som er lagt til grunn for studien er et horisontalt glidehengslet, utadslående trevindu (1,2 x 1,2 m²). De viktigste dataene for referansevinduet er presentert i Tabell 3.5. Snitt av bunn, side og topp er vist i Figur 3.5.

Tabell 3.5 Referansevinduet

Horisontalt glidehengslet utadslående, HGU - profildybde - bredde karm/ramme	1,19 x 1,19 m ramme 68 mm, karm 92 mm topp 100 mm, side 103 mm, bunn 113 mm
Isolerrute, oppbygging	4-16Ar-e4, e=0,03, gass: 90% argon, avstandslist: Swiss-V (lft-Rosenheim)
Beregnet U-senterverdi, U_g	1,09 W/m ² K (EN 673), 1,19 W/m ² K (ISO 15099)
Beregnet U-verdi vindu	1,34 W/m ² K (EN 673), 1,38 W/m ² K (ISO 15099)



Figur 3.5 Modellerte snitt av referansevinduet

Fra venstre: bunn, side og topp modellert etter ISO 15099 og videre bunn, side og topp modellert etter NS-EN ISO 10077-2

Beregningsmetode

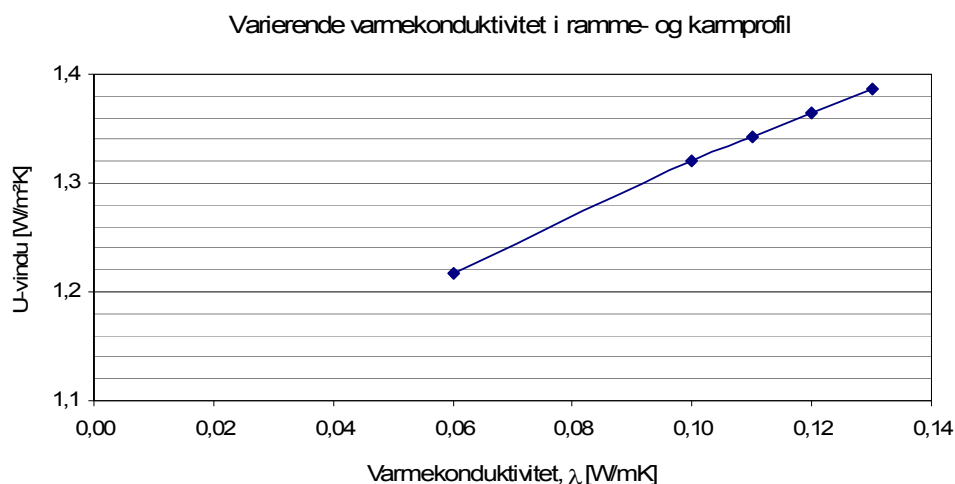
Beregning av total U-verdi for vinduet, U- senterverdi for ruten, karm/ramme og lineært varmetap er gjennomført i samsvar med ISO 15099: 2003. I tillegg er det oppgitt beregnet U-verdi for hele vinduet i samsvar med NS-EN ISO 10077-1: 2007 og -2: 2003, og med U- senterverdi i henhold til NS EN ISO 673. For å skille på beregningsmetode er resultater merket med hhv. ISO 15099 og EN 673.

Resultatene gjelder for de eksakte profilene for referansevinduet med tolags rute. Beregning av U-verdi for andre profiler kan gi et annet resultat. Tendensen i resultatene har imidlertid en overføringsverdi til andre profiler med tilnærmet lik utførelse.

3.5.1 Parameterstudie av karm-/rammeprofiler

Følgende konklusjoner kan trekkes fra parameterstudien av karm-/rammekonstruksjonene:

- For å oppnå U-verdi for vindu $\leq 1,2$ W/(m²K) for vindu med tolags rute må profilene isoleres. Isolasjon i profiler har bedre effekt hvis den legges mot varm side enn mot kald side.
- Varmeisolasjonsegenskapene til tre er avhengig av treets densitet og fuktinnhold. Løst virke isolerer bedre enn tettvokst virke. Varmeisolasjonstallet (termisk konduktivitet, λ) til furu og gran ligger for eksempel i området 0,10–0,13 W/mK. Som en tommelfingerregel kan en regne at U-verdien for et trevindu med tolags rute vil forbedres med ca. to hundre deler ($\Delta U = -0,02$ W/m²K) for hver hundredel materialets varmekonduktivitet reduseres ($\Delta\lambda = -0,01$ W/mK) (Figur 3.5.1). Typisk densitet for furu er 500 kg/m³ med standardisert varmekonduktivitet lik 0,13 W/mK. Andre laboratoriemålte verdier for densitet og varmekonduktivitet kan også benyttes i varmetekniske beregninger, men da anbefales det at λ -verdien multipliseres med en sikkerhetsfaktor på 1,15.



Figur 3.5.1 U-verdi for vindu som funksjon av ramme- og karmprofilenes varmekonduktivitet

- Ved å benytte heltettende utvendige *tettelister* kan vinduets U-verdi i følge beregninger reduseres med opptil tre hundredeler. Målinger i hot-box viser at vinduets U-verdi kan reduseres med nesten en tiendel med utvendige tettelister i topp- og sidefugene. Det bemerkes at ved utvendig tetteliste i bunnfuging er det viktig å ivareta drenering og lufting.
- Ved å benytte *glassingslister* med lav varmekonduktivitet kan U-vindu reduseres med en hundredel ved utvendig innglassing og med tre hundredeler ved innvendig innglassing.
- Ved å bruke en *glasspakning* med gode varmeisolasjonsegenskaper eller ved å utvide den ytre glasspakningen oppover til samme høyde som innvendig glasspakning kan vinduets U-verdi reduseres med en hundredel.
- Utvidelse av *profildybden* på varm side har bedre effektivt enn utvidelse på kald side. For å redusere vinduets U-verdi med en tidel må dybden utvides med drøyt 40 mm på varm side.
- Det nye U-verdi kravet på 1,2 W/(m²K) kan oppfylles ved å sette inn trelags rute i ordinære profiler. For referansevinduet i denne studien er vinduets U-verdi beregnet til 1,0 W/(m²K) hvis det benyttes ei trelags rute med senter U-verdiverdi på 0,71 W/(m²K).

Det bemerkes at effekten av tiltakene er korrelerte og kan dermed ikke summeres.

3.5.2 Isolerte karm-/rammeprofiler

Beregnete U-verdier for karm-/rammeprofiler

Resultatene i figur 3.5.2 viser total U-verdi for hele vinduet. Hvis vi ser utelukkende på karm-/rammekonstruksjonen, er gjennomsnittlig U-verdi for referansevinduet karm-/rammeprofiler 1,44 W/(m²K). Ved å øke profildybden til 110 mm og benytte en isolerende bunnglasslist vil U-verdien for karm og ramme reduseres med ca. 16 %. Hvis det i tillegg velges profiler med tynne, parallelle luftslisser i alle profilene, kan U-verdien til karm/rammeprofilene reduseres med opptil 25 % sammenlignet med referansevinduet. Profiler med 30 mm isolasjon ($\lambda=0,030$ W/mK) i bunn og topp reduserer U-verdien til karm/rammeprofilene med 28 %. Hvis også sideprofilene isoleres, blir U-verdien for karm/ramme redusert med hele 40 %. Ved å benytte dobbel tetteliste i side og topp kan U-verdien reduseres ytterligere litt.

Produksjonstekniske utfordringer

Luftslisser i treprofilene medfører visse utfordringer med hensyn til stabilitet og produksjon. En utredning fra Norsk Treteknisk Institutt viser at produksjon av slissede profiler for bruk i vinduer av tre er fullt mulig. Det krever imidlertid god kontroll under produksjonsprosessen, fra valg av trevirke og tørkeprosess til bearbeiding av emnene.

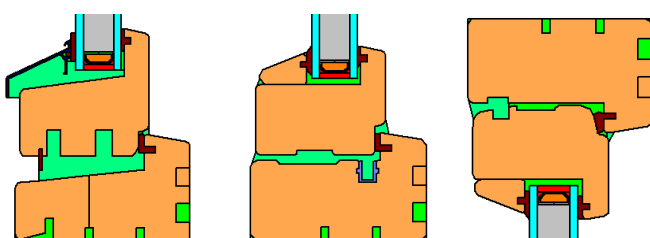
Laminerte emner med isolerende sjikt fører også til endringer i vinduets egenskaper som må vurderes nøye: Miljøpåvirkning under produksjon, livsløp og avhending, temperatur- og fuktforhold, samt styrkeegenskaper.

Før man velger isolasjonsmaterialer, er det viktig at materialegenskaper som varmekonduktivitet, styrke og fuktpermeabilitet vurderes i sammenheng med profilenes utforming og design. I tillegg anbefales det å sjekke materialets tilsetningsstoffer opp mot Obs-listen (SFT 2002) eller klassifisering av kjemikalier i REACH.

Konklusjoner

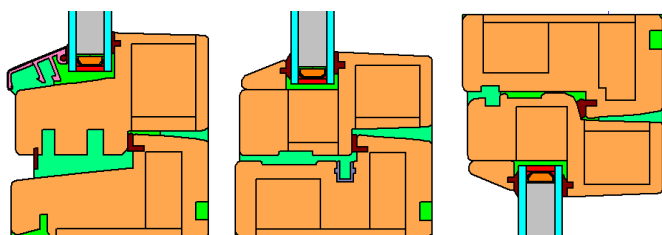
Resultatene fra MOT-prosjektet viser at vinduets U-verdi kan reduseres fra 1,4 W/(m²K) ned mot 1,2 W/(m²K) hvis den tradisjonelle karm-/rammekonstruksjonen erstattes med en dypere konstruksjon isolert enten med luftslisser eller 30 mm isolasjon ($\lambda=0,03$ W/(m²K)) i bunn- og toppprofilene.

Ved å benytte trelags rute med senter U-verdi på 0,71 W/(m²K) i disse konstruksjonene vil U-verdien for vinduet (12 x 12) kunne komme under 1,0 W/(m²K).



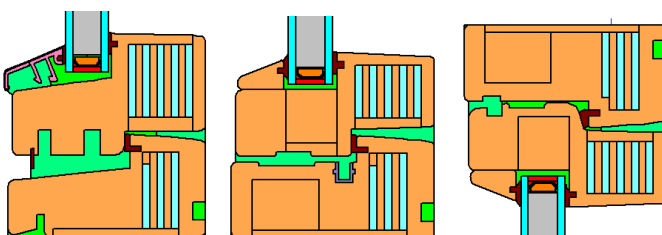
Total U-verdi
 $U_w = 1,34$ W/m²K (EN 673)
 $U_w = 1,38$ W/m²K (ISO 15099)

Referansevinduet, karmdybde 92 mm, snitt av bunn-, side- og toppprofil



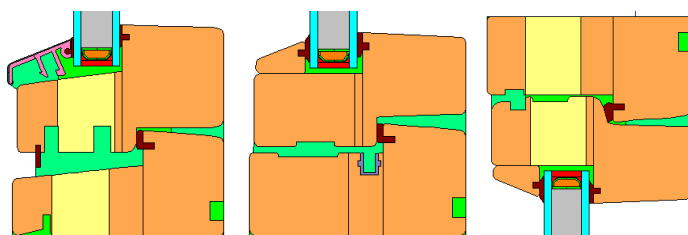
Total U-verdi
 $U_w = 1,24$ W/m²K (EN 673)
 $U_w = 1,30$ W/m²K (ISO 15099)

Økt karmdybde til 110 mm og bunnglasslist i plast



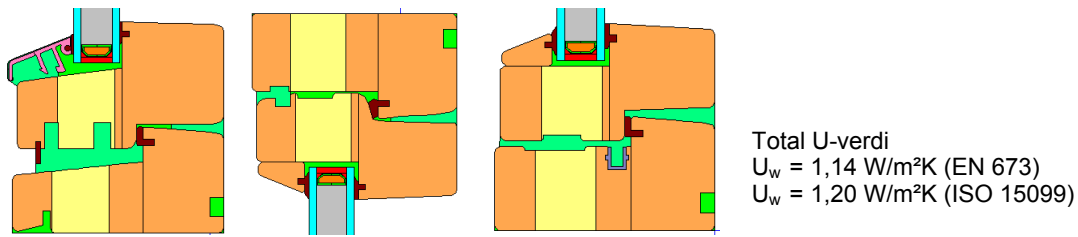
Total U-verdi
 $U_w = 1,21$ W/m²K (EN 673)
 $U_w = 1,26$ W/m²K (ISO 15099)

Økt karmdybde 110 mm, bunnglasslist i plast og luftslisser som vist i snitt av bunn, side og topp



Total U-verdi
 $U_w = 1,19$ W/m²K (EN 673)
 $U_w = 1,25$ W/m²K (ISO 15099)

Profildybde 110 mm, bunnglasslist i plast, 30 mm gjennomgående isolasjon i karm og ramme, bunn og topp.



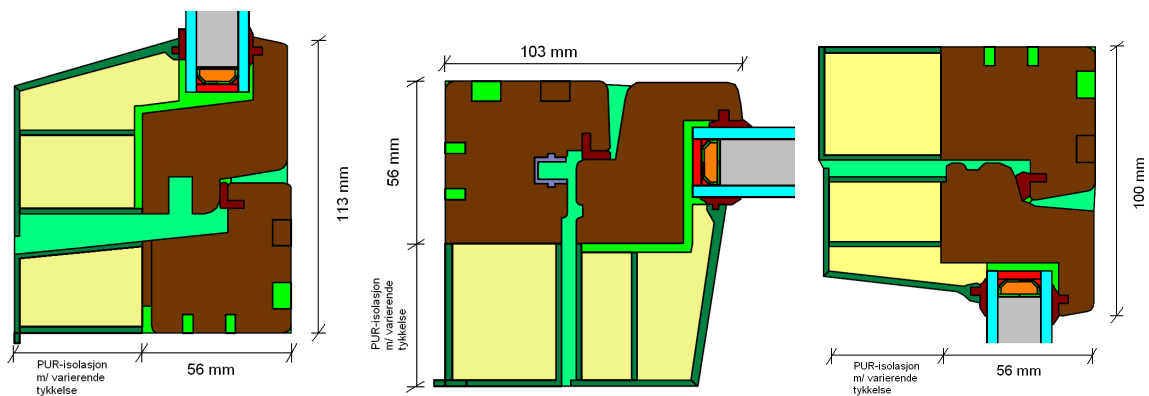
Profildybde 110 mm, bunnglasslist i plast, 30 mm gjennomgående isolasjon i karm og ramme i både bunn, side og topp

Figur 3.5.2 Snitt av bunn, side og topp for ulike vindusløsningene med tilhørende beregnet U-verdi

3.6 Utvendig isolert vindu

Utvendig isolering av karm-/rammeprofilene er en annen mulighet som kan gi U-verdier som tilfredsstillende de nye kravene ved bruk av tolags rute. For å oppnå en god U-verdi er treandelen i karm-/rammedelen redusert til en dybde på 56 mm (figur 3.6 a). Det er regnet med tre ulike isolasjonstykkelse som gir en total karm/ramme dybde på hhv. 95, 105 og 115 mm. Denne løsningen har tatt høyde for at det kan benyttes trelags rute.

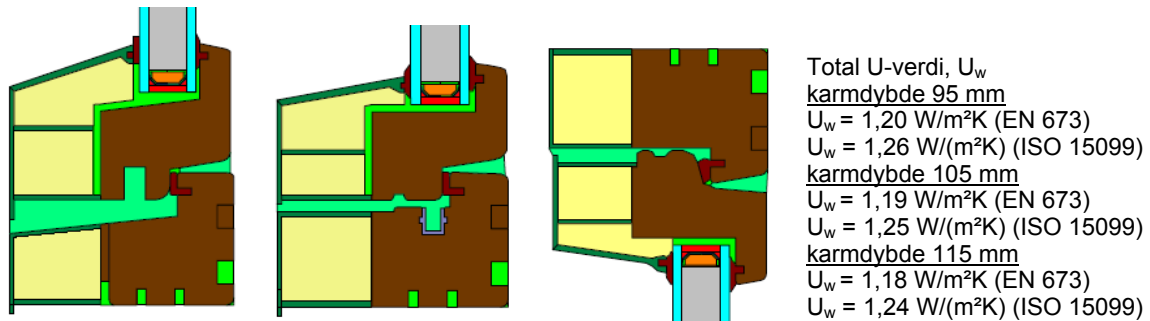
Eksemplene i denne studien er prinsipløsninger der det er tatt forbehold om at løsningen må tilpasses fukttekniske problemstillinger, innfesting av beslag, drenering i fm glassfals og lignende.



Figur 3.6 a
 Treandel i referansevidu er redusert til 56 mm med isolert beslag utvendig. Snitt av bunn, side og topp

Resultater

Beregnet U-verdi for de ulike vinduene er vist i figur 3.6 b sammen med tegninger av henholdsvis bunn-, side- og toppprofilen.



Figur 3.6 b
Ramme- og karmprofil med utvendig isolasjon, snitt av bunn og side

Konklusjoner

Beregningsresultatene viser at en løsning med utvendig isolasjon av polyuretanskum gir akseptabel U-verdi ved beregning i henhold til NS 10077-2 med rute beregnet etter NS 673. Ved beregning i henhold til ISO 15099 kan en profildybde på 115 mm (60 mm isolasjon) gi en U-verdi på $1,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

3.7 Energivennlige vinduer tilgjengelige på markedet

Trevinduer med tolags isolerrute i én ramme er den vanligste vinduskonstruksjonen i Norge. Det brukes også trelags isolerruter, som har flere varmetekniske fordeler. De isolerer bedre og har høyere glasstemperatur, som gir bedre varmekomfort og ingen kondensfare i randsonen. Trelagsruter er noe tyngre og gir større påkjenning på ramme og hengsler for store åpningsvinduer. Trelags ruter gir i tillegg oftere kondens på utvendig glassflate. Utvendig kondens betyr at rutene isolerer godt.

For trevindu med tolags isolerrute vil U-verdien ligge i området $1,2\text{--}2,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, avhengig av vindusstørrelsen. Karm-/rammekonstruksjonen har høyere U-verdi enn isolerruten.

Trevinduer med ruter som er over ca. $1,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$, kan oppnå en U-verdi på $1,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ på følgende måter:

- trelags isolerrute med to energibelegg og argon i hulrommene samt vanlige trekarm-/rammeprofiler
- tolags isolerrute med ett energibelegg og argon i hulrommet og forbedrede trekarm-/rammeprofiler

Flere norske produsenter kan i dag tilby trevinduer med dype forbedrede karm-/rammeprofiler som med trelags rute har en U-verdi på $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Det fins også produsenter som kan tilby trevinduer med karm-/rammeprofiler med PUR som isolasjon. Med trelags rute kan disse vinduene oppnå en U-verdi rundt $0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Enova har en merkeordning, ”Enova anbefaler” for vinduer med U-verdi på $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ eller bedre.

Profiler med luftslisser er per i dag ikke i produksjon i Norge, men framstilles hos andre europeiske produsenter.

4 Innsetting av energivennlige vinduer i vegg

Vindusinnfestingen må være solid, ikke bare for å unngå at vinduet skal falle ut eller blåse inn, men også for at det skal fungere som forutsatt i mange år med åpning og lukking.

Utvendig omramning og tetning skal hindre at regn og vind trenger inn i veggen via fugen mellom vindu og vegg. Samtidig må vinduet og fugen gis tilstrekkelig uttørkingsevne slik at oppfuktede materialer tørker igjen fortest mulig. Fugen må være tilstrekkelig lufttett både på kald og varm side for å hindre gjennomgående luftlekkasjer og konveksjon i fugeisolasjonen.

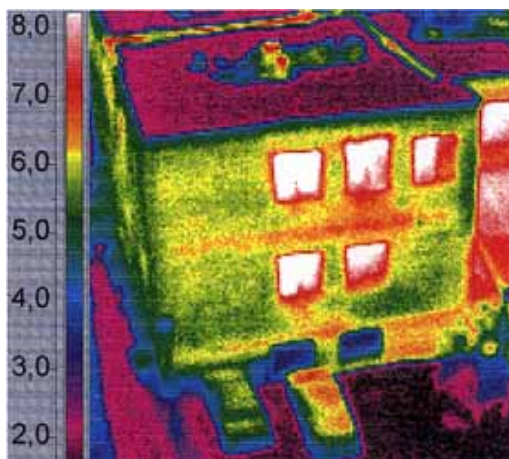
4.1 Kuldebroverdier

TEK stiller nå, for første gang egne kvantifiserte krav til hvor stort varmetapet gjennom en bygnings kuldebroer kan være. Dette har ført til en økt bevissthet rundt varmetap og andre negative konsekvenser av kuldebroer.

En kuldebro er en del av omsluttende konstruksjon der den ellers ensartede varmemotstanden endres betydelig av en eller flere av årsakene nedenfor (Gustavsen m.fl. 2008).

- hel eller delvis gjennomtrengning av den omsluttende konstruksjonen av materialer med høyere varmekonduktivitet
- en endring av konstruksjonens tykkelse
- en forskjell mellom innvendig og utvendig areal, som ved overganger mellom vegg/gulv/-tak

Figur 4.1 a viser et termogram av en teglfasade hvor fargen på bildet indikerer utvendig overflate-temperatur. Bildet viser at områdene rundt vinduene og ved etasjeskillerne har høyere overflate-temperatur enn veggen forøvrig og følgelig dårligere varmeisolasjonsevne. Årsaken til dette kan enten være manglende lufttetting eller en kuldebro (Byggforvaltning 720.015).



Figur 4.1 a

Termogram av bygning med teglfasade. Stort varmetap rundt vinduer i karm/rammekonstruksjon og i overgang mellom vindu og vegg. Betongdekket i etasjeskiller har varierende grad av kuldebroer (Byggforvaltning 720.015).

Kuldebroverdien, ψ

Kuldebroverdien beskriver det tilleggsvarmetapet som går gjennom kuldebroen i antall watt per løpemeter av kuldebroen per temperaturdifferanse. Dette gir enheten W/(mK).

Normalisert kuldebroverdi, ψ''

I TEK 07 § 8-21 stilles det krav til normalisert kuldebroverdi, ψ'' . Denne verdien er et mål på det samlede varmetapet gjennom kuldebroene dividert på boligens oppvarmede bruttoareal, som vist i likning 1 og skal ikke overstige 0,03 W/(m²K) for småhus og 0,06 W/(m²K) for øvrige bygg (TEK 07).

$$\psi'' = \frac{\sum_i \psi_i l_i}{A_{BRA}} \quad (4.1)$$

hvor

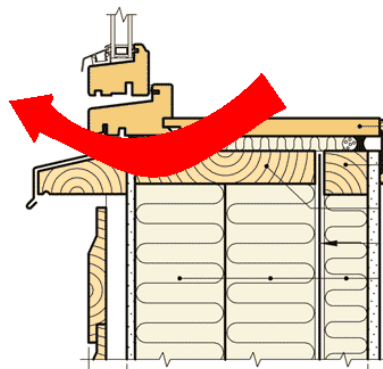
ψ''	er normalisert kuldebroverdi	[W/(m ² K)]
ψ_i	er lineær kuldebroverdi	[W/(mK)]
l_i	er lengde av kuldebroen	[m]
A_{BRA}	er oppvarmet bruttoareal	[m ²]

Kuldebroer ved innsetning av vinduer

U-verdien til et vindu er et mål på varmetapet gjennom hele vinduet inkludert karm-/rammekonstruksjonen. Eventuelle kuldebroer i selve vinduet inngår i vinduets U-verdi og skal følgelig ikke tas med i kuldebroverdien. Det er kun området i overgangen mellom vegg og vindu som betraktes som kuldebro i denne sammenheng.

Kuldebroer rundt vinduer kan potensielt utgjøre en stor andel av normalisert kuldebroverdi. For et typisk småhus med et vindusareal på ca. 20 % av husets bruttoareal, kan kuldebroer for vindusinnsetninger i verste fall overstige rammekravet til ψ'' på 0,03 W/m²K (Byggdetaljer 523.701).

Kuldebroer mellom vindu og vegg er av typen a) beskrevet ovenfor, dvs. hel eller delvis gjennomtrengning av den omsluttende konstruksjonen av materialer med høyere varmekonduktivitet, som vist på figur 4.1 b.



Figur 4.1 b

Illustrasjon av tilleggsvarmestrømmen i en kuldebro i overgangen mellom vindu og vegg

Det samlede varmetapet gjennom kuldebroene i en bygning kan i verste fall utgjøre om lag 10 til 15 prosent av det samlede varmetapet gjennom bygningskroppen (Grynning 2009). Kuldebroer i tilknytning til vinduer kan utgjøre et vesentlig bidrag til det samlede varmetapet gjennom en bygnings kuldebroer. For en typisk norsk enebolig vil kuldebroer rundt vinduene kunne utgjøre om lag 20 til 50 prosent av det samlede varmetapet gjennom eneboligens kuldebroer (Gustavsen m.fl. 2008). Dersom det velges en ugunstig varmeteknisk løsning, kan kuldebroer

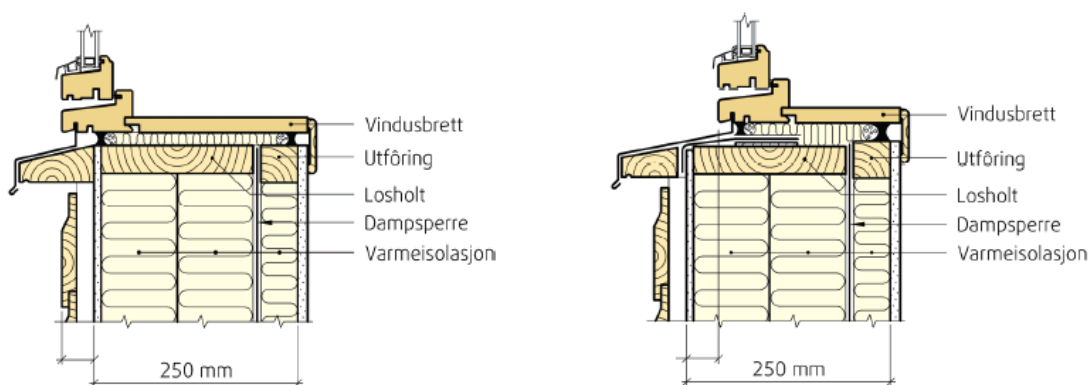
grunnet vinduer utgjøre et så stort bidrag til varmetapet at kravspesifikasjonen til den normaliserte kuldebroverdien i TEK 07 overskrides.

Utover det rent energiøkonomiske, kan kuldebroer ha en rekke negative konsekvenser for en bygning.

- Økt energitap
- Temperaturspenninger i konstruksjonen
- Lavere overflatetemperaturer kan gi
 - redusert termisk komfort
 - fukt kondens
 - sjenerende sverting av overflater

Minimering av kuldebroer

Plasseringen av vinduet i vegglivet har stor innvirkning på kuldebroverdien. En plassering mot midten av veggen har vist seg å være gunstig, og kuldebroverdien kan reduseres til en femtedel sammenlignet med et vindu plassert med utvendig karm utenfor vindusperrsjiktet i veggen (Figur 4.1c og Tabell 4.1). I praksis vil plasseringen ofte være et kompromiss mellom varmetekniske- og fukttekniske hensyn. Dersom man plasserer vinduet noe inn i vegglivet, stiller dette strengere krav til tetting mot nedbør rundt vinduene.



Figur 4.1 c

Eksempel på plassering av vindu i vegglivet. Til venstre vindu som er trekt ut i vegglivet og til høyre vindu trukket innover i vegglivet.

Tabell 4.1 Kuldebroverdier for ulike plasseringer av vinduer i en vegg

Avstand fra utside vinduspærre til utvendig kant vinduskarm (mm)		Kuldebroverdi ψ (W/(mK))
-42	(vinduets stikker ut)	0,05
-20		0,03
0		0,02
35		0,01
85		0,02
140		0,03

4.2 Innvendig isolering

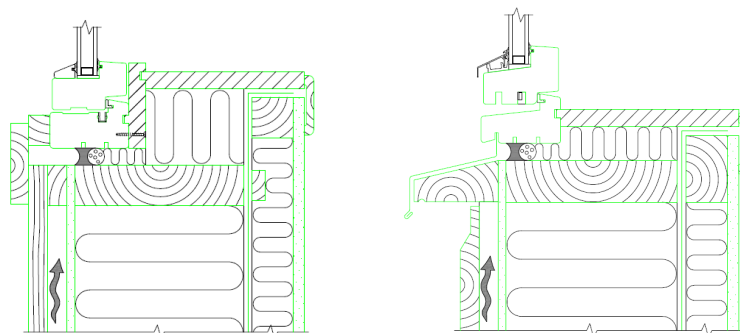
Det er også mulig å redusere kuldebroverdien for et vindu som er trukket ut i vegglivet. Som et alternativ til en tradisjonell karm-/rammeløsning har det i MOT-prosjektet blitt gjort kuldebroberegninger for en vindusløsning med en innvendig isolert karm og ramme.

Hvis vinduets karm-/rammekonstruksjon isoleres på innsiden ved at foringene flyttes lenger inn mot ruten, kan man montere mer isolasjon på varm side av karm- og rammedelen av vinduet. Denne løsningen vil både gi en lavere U-verdi for karm-/rammeprofilene og dermed hele vinduet, samt en reduksjon av kuldebroen rundt vinduet.

U-verdien til vinduet beregnes da for vinduet inkludert innvendig konstruksjon innenfor projisert areal av vinduet (yttermål karm).

Det er tatt utgangspunkt i et vanlig utadslående tolags trevindu med karmdybde 92 mm og rammedybde 68 mm. For å tilpasse konstruksjonen til innvendig utføring er rammedybden økt på varm side til totalt 87 mm.

I dette eksemplet er vinduet trukket 20 mm ut fra utvendig side av vindsperra. Ved å isolere vinduet på innvendig side som vist i Figur 4.2 reduseres kuldebroverdien fra 0,03 til 0,01 W/mK (Tabell 4.2).



Figur 4.2. Snittegninger som viser prinsipp av innvendig isolert vindu. Til venstre snitt av topp- og sidekarm, til høyre snitt av bunnkarm

Tabell 4.2 Lineære kuldebroverdier for vindu med innvendig isolert karm/ramme

Beskrivelse av karm/ramme type	Lineær kuldebroverdi for innvendig isolert vindu	Lineær kuldebroverdi for standard vindu
	ψ [W/(mK)]	ψ [W/(mK)]
Ved topp- og sidekarm	0,008	
Ved bunnkarm	0,022	
Beregnet veid middelvei for et kvadratisk vindu	0,011	0,03

4.3 Luft- og regntetthet

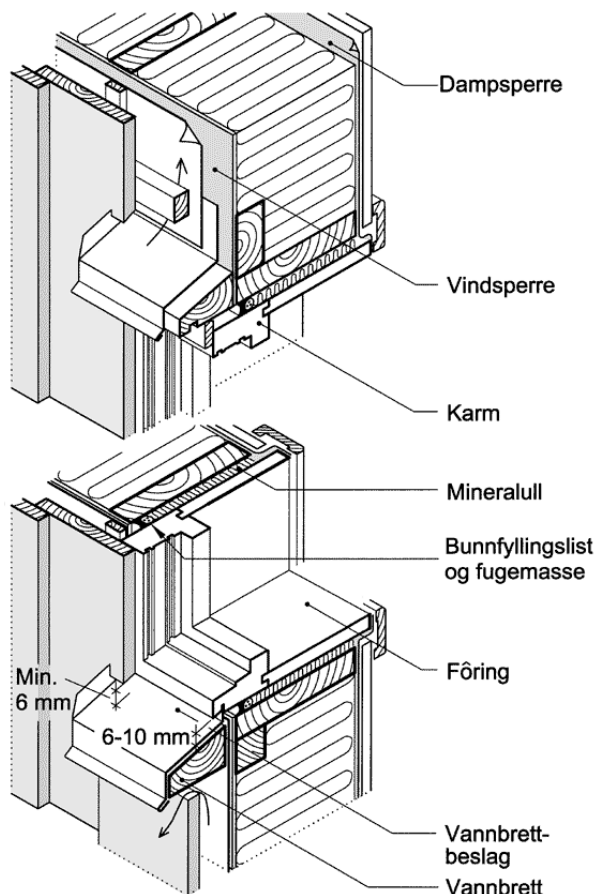
Plassering

Vindusplassering henholdsvis langt ute eller langt inne i veggen har betydning også for fukt-tekniske forhold.

Enklest regntetting og lavest risiko for fuktskader oppnås når vinduet plasseres langt ut i veggen. Hensynet til god regntetthet er spesielt viktig på steder som er utsatt for slagregn. Se fig. 4.3 a.

Plassering langt ute i veggen gir:

- enkel regntetting og lav risiko for fuktskader i veggen under vinduet fordi slagregn som trenger forbi utvendig omramning enkelt kan dreneres ned på forsiden av vindsperra/isolasjonen
- mest solvarme inn gjennom vinduet fordi smyget gir liten avskjerming
- best mulighet for drenering og lufting bak utvendig omramning og raskere opptørking av vinduet etter slagregn
- økt slitasje og vedlikeholdsbehov

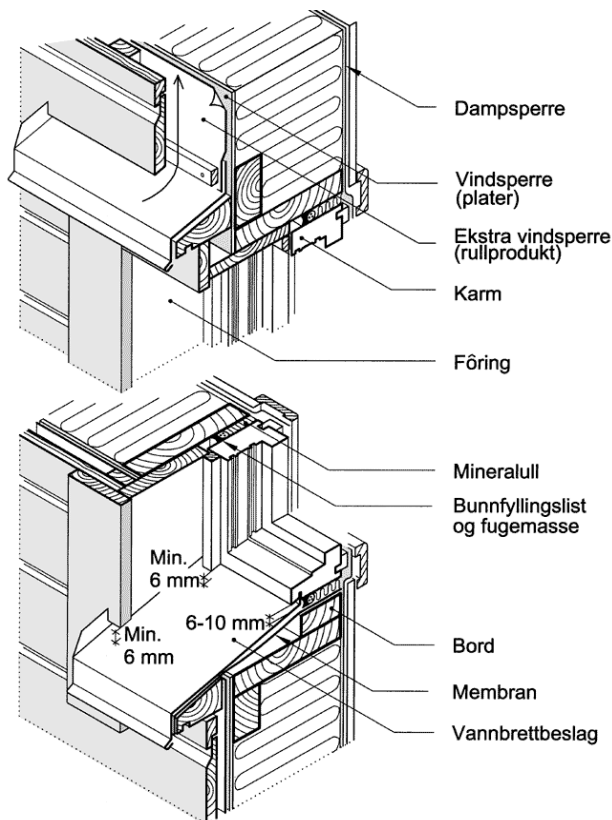


Figur 4.3 a Vindu satt inn i vegg med utlektet tømmermannskledning
 Vinduet kan eventuelt settes lenger ut i vegg slik at overligger danner sidelist (Byggdetaljer 523.701).

I kalde innlandsstrøk med lite slagregn kan vinduet trekkes lenger mot varm side av vegg for å redusere faren for innvendig kondens. Hvis vinduet plasseres så langt inn at oppkanten på vannbrettbeslaget kommer inn i isolasjonssjiktet, er det svært viktig at vannbrettbeslag og tetning rundt vinduet utføres helt regntett for å unngå lekkasjer og fuktskader i vegg. Se fig. 23 a og fig. 23 b.

Plassering lenger inn mot varm side gir:

- noe redusert risiko for innvendig kondens ved at vinduets innvendige overflater blir varmere. Uten dype vindusnisjer vil vinduet lettere bli oppvarmet fra varmekilder under vinduet og fra den generelle luftsirkulasjonen i rommet. Det gir også redusert fare for kaldras fra vinduet.
- redusert risiko for utvendig kondens fordi utvendig glassflate blir varmere. Det skyldes at vindusmyget skjermer mot deler av den kalde himmelen.
- lengre levetid og mindre behov for vedlikehold, i første rekke av trevinduer. Dette skyldes dels at vinduet sjeldnere blir oppfuktet av regn, og dels at karm og ramme blir varmere og gjennomsnittlig fuktinnhold derfor blir litt lavere.
- redusert soloppvarming. Dette er en fordel i bygninger med varmeoverskudd og kjølebehov.



Figur 4.3 b Vindu plassert langt inn i veggen

Når oppkanten på beslaget ligger innenfor vindsperre i veggen, stilles det svært strenge krav til beslag og tettedetaljer. Lekkasje rundt vinduet vil føre til oppfukning av veggen (Byggedetaljer 523.701).

Prinsipp for utvendig tetning

Feil utførelse av monteringsfugen mellom karm og vegg gir ofte lekkasjer av luft og regnvann, og fører lett til skader på selve vinduene og veggen omkring. Spesielt veggen under vinduet er utsatt. God og sikker regntetthet oppnås enklest ved å utføre monteringsfugen etter prinsippet om totrinns tetning med atskilt regn- og lufttetning.

Fugen dekkes utvendig av en regnskjerm som stopper regnet, vanligvis omramningen eller et beslag. Omramning og beslag er nærmere behandlet i Byggedetaljer 523.701.

5 Beregning av gjennomsnittlig U-verdi for vindusleveranser

5.1 Beregningsmetode for leveranser

Kravet i TEK til maks U-verdi på 1,2 W/(m²K) gjelder *gjennomsnittlig* U-verdi for samlet areal av vinduer, glassfelt og dører i en bygning, inkludert karm/ramme og eventuelle sprosser, poster og losholter. Det betyr at hvis noen vinduer har dårligere U-verdi enn 1,2 W/m²K, så må de resterende vinduene være tilsvarende bedre.

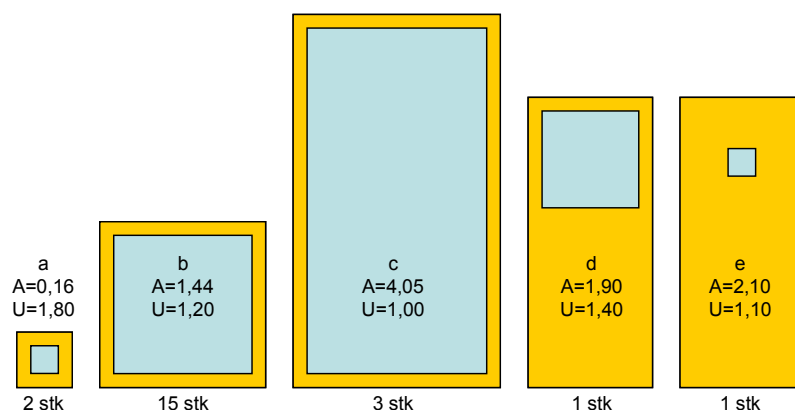
Den gjennomsnittlige U-verdien til en leveranse beregnes ved å summere varmetapet gjennom alle vinduene/dørene og dele dette på det samlede arealet av vinduene/dørene. Den generelle ligningen ser slik ut:

$$\bar{U}_{alle_vindu} = \frac{\sum_{j=1}^k n_j \cdot A_j \cdot U_j}{\sum_{j=1}^k n_j \cdot A_j} = \frac{n_1 \cdot A_1 \cdot U_1 + n_2 \cdot A_2 \cdot U_2 + \dots + n_k \cdot A_k \cdot U_k}{n_1 \cdot A_1 + n_2 \cdot A_2 + \dots + n_k \cdot A_k} \quad [W / m^2 K] \quad (2)$$

hvor

- U = U-verdi for hele vinduet (isolerrute, karm-/ rammekonstruksjon og rutens kantområde)
- A = arealet av vinduet/døren
- j = vindu/dør type eller størrelse nr j
- n = antall av hver type eller størrelse

Σ -tegnet angir at det her er snakk om en sum. Det betyr helt enkelt at dette uttrykket over brøkstreken er summen av varmetapet gjennom alle vinduene, mens uttrykket under brøkstreken er samlet vindusareal. Figur 5.1 viser et eksempel på uttrykket for den gjennomsnittlige U-verdien for en leveranse med vinduer og dører.



Figur 5.1

Eksempel på et utvalg vinduer og dører som inngår i en leveranse. "A" angir arealet av vinduet/døra med enhet (m²), "U" angir den tilhørende U-verdien med enhet (W/(m²K)).

$$\bar{U}_{alle_vindu} = \frac{\sum_{j=1}^k n_j \cdot A_j \cdot U_j}{\sum_{j=1}^k n_j \cdot A_j} = \frac{n_1 \cdot A_1 \cdot U_1 + n_2 \cdot A_2 \cdot U_2 + \dots + n_k \cdot A_k \cdot U_k}{n_1 \cdot A_1 + n_2 \cdot A_2 + \dots + n_k \cdot A_k} \quad [W / m^2 K]$$

5.2 Omfordeling av varmetap

Kravet til maks U-verdi på $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ kan fravikes dersom kompenserende tiltak gjør at bygningens energibehov ikke økes, såkalt omfordeling. Et eksempel på kompenserende tiltak kan være at andre bygningsdeler isoleres bedre enn forskriftskravet. Omfordeling mellom transmisjonstap, infiltrasjonstap og ventilasjonstap godtas. Omfordeling dokumenteres ved å vise at varmetapstallet, som angir bygningens samlede spesifikke varmetap, ikke øker. Varmetapstallet er definert i NS 3031.

Gjennomsnittlig U-verdi for alle vinduene i en bygning kan uansett ikke overskride $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Det betyr at hvis noen vinduer har dårligere U-verdi enn $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, så må de resterende vinduene være tilsvarende bedre.

Arealveid gjennomsnittlig U-verdi for alle vinduer og dører i en bygning skal følgelig være maks $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ved oppfyllelse av samtlige energiltak eller $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ved omfordeling av energiltak.

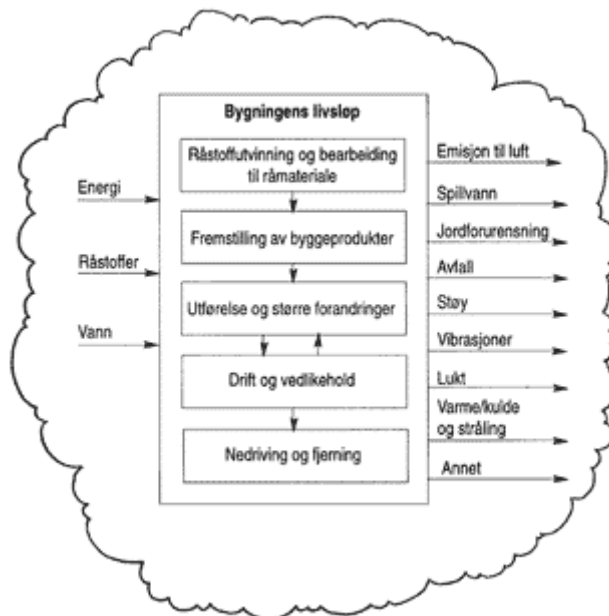
6 Miljøvennlige vinduer

Det er gjennomført miljøvurdering av sju vinduer av tre med ulik oppbygning, se tabell 6.1. Vurderingene er basert på livsløpsanalyse for miljøpåvirkninger fra fremstilling av råmaterialer, produksjon, vindu i driftsfasen og avhending etter bruk.

6.1 Metode for miljøvurdering

Miljøvurderingen av vinduene er basert på ISO 14025 og ISO 21930 som er gjeldende standarder for utarbeidelse av miljødeklarasjoner. Vurderingene er basert på livsløpsberegninger (Life Cycle Assessment, LCA) og omfatter følgende faktorer:

- utslipp til luft, vann og jord
- innhold av helse- og miljøskadelig stoff
- forbruk av ressurser (energi og råmaterialer)
- avfallshåndtering
- påvirkning på inneklima



Figur 6.1 Livsløpsanalyse for byggevarer. Analysen omfatter alle miljøpåvirkninger fra vugge til grav.

For energiforbruk i driftsfasen, det vil si når vinduet er montert i et bygg, er det gjort beregninger av totalt varmetap/energiforbruk. Det er gjort analyse av et vindu uten isolasjon i ramme og karm (to- og trelags rute), samt analyse av vinduet med ulike isolasjonsmaterialer i karm og ramme, i alt 7 varianter. Oversikt over vinduer som er vurdert, er vist i tabell 6.1.

Tabell 6.1: Oversikt over vurderte løsninger for vinduer

Vindusprodusent: Generiske data						
Vindu: H-vinduet						
Dimensjon: 1,2 x 1,2 m						
Nr	Materiale i karm	Isolasjonsmateriale	prosentandel isolasjon*	Materialkvalitet	Rutetype	U-verdi
1	Furu/gran	-	0		tolags	1,4
2	Furu/gran	-	0		trelags	1,0
3	Furu/gran	Karmen gjøres dypere, 110 mm, forbruk av trevirke blir 34 % større enn ved produksjon med normal karmdybde på 95 mm			tolags	1,3
4	Furu/gran	Polyuretan	30	$\lambda = 0,030$	tolags	1,2
5	Furu/gran	Polyuretan	25	$\lambda = 0,025$	tolags	1,2
6	Furu/gran	Kork	41	$\lambda = 0,04$	tolags	1,2
7	Furu/gran	Mineralull	41	$\lambda = 0,04$	tolags	1,2

* volumandel isolasjon av karm og ramme. Isolasjonsmaterialet erstatter delvis trevirke.

I miljøvurderingen er det benyttet generiske data, det vil si ikke spesifikke fra produsent. Innhold av kjemikalier er basert på generell materialvurdering, ingen konkrete produkter/leverandører er valgt. Innhold av helse- og miljøfarlige stoffer er vurdert opp mot Obs-listen (SFT 2002).

6.2 Resultater fra miljøvurderingen av sju vinduer

Miljøvurderingen av materialene viser svært liten forskjell i miljøpåvirkning for de ulike vinduene. Stort sett ligger de beregnede verdiene innenfor $\pm 10\%$ sammenlignet med alternativ 1 (tolags glass med uisolert karm av tre). Trelags glass gir en økning på om lag 25–40 %. Det er ikke gjort en fullstendig rangering av de ulike vindustypene (to-/trelags med og uten isolasjon). Miljøvurderingen viser at bruk av isolasjonsmaterialer gir begrenset endring i energibruk og miljøpåvirkninger i produksjonsfasen av vinduet.

Reduksjon av U-verdi vil redusere energiforbruket i driftsfasen vesentlig og dermed bidra positivt i det totale livsløpsregnskapet for vinduet.

6.3 Isolasjonsmaterialer

Isolasjonsmaterialer i vinduer bør velges med bakgrunn i innhold av helse- og miljøfarlige stoffer, fremtidig avfallssituasjon, arbeidsmiljø samt ressursbruk. Miljøbelastende materialer bør erstattes. De tre foreslåtte isolasjonsmaterialene rangeres som følger i forhold til de ovennevnte kriteriene:

1. kork
2. steinull
3. polyuretan

Erstattes deler av treverk i karm og ramme med andre materialer, vil dette gi dårligere ressursbruk. Polyuretan er et oljeprodukt, og må regnes som ikke bærekraftig fornybart. Kork oppgis å være bærekraftig fornybart. Steinull er et ikke fornybart materiale.

Polyuretan er en polymer som fremstilles av isocyanater og polyol som reagerer. Det finnes mange forskjellige produsenter av og typer av plastisolasjon av polyuretan, og noe konkret produkt er ikke valgt i miljøvurderingene for MOT. Innhold av isocyanater i ferdig utherdet produkt må vurderes ved bruk av polyuretan. Avfall med isocyanater er farlig avfall og vil kunne gi økt risiko og kostnad ved rehabilitering, sanering og riving.

Arbeidsmiljø bør også tillegges spesiell vekt ved valg av isolasjonsmateriale. Vindusprodusenter er små og mellomstore bedrifter der det må etableres HMS-rutiner. Ved oppvarming av polyuretan til 150–200 °C frigjøres isocyanater. Eksponering for isocyanater kan bidra til overfølsomhet (f.eks. astmalignende symptomer og irritasjon i luftveiene). Bearbeiding av steinull kan frigjøre fibre.

Før man velger isolasjonsmaterialer, anbefales det å sjekke alle tilsetningsstoffer opp mot Obs-listen (SFT 2002) eller klassifisering av kjemikalier i REACH. Innhold av slike stoffer varierer fra produkt til produkt og fra leverandør til leverandør.

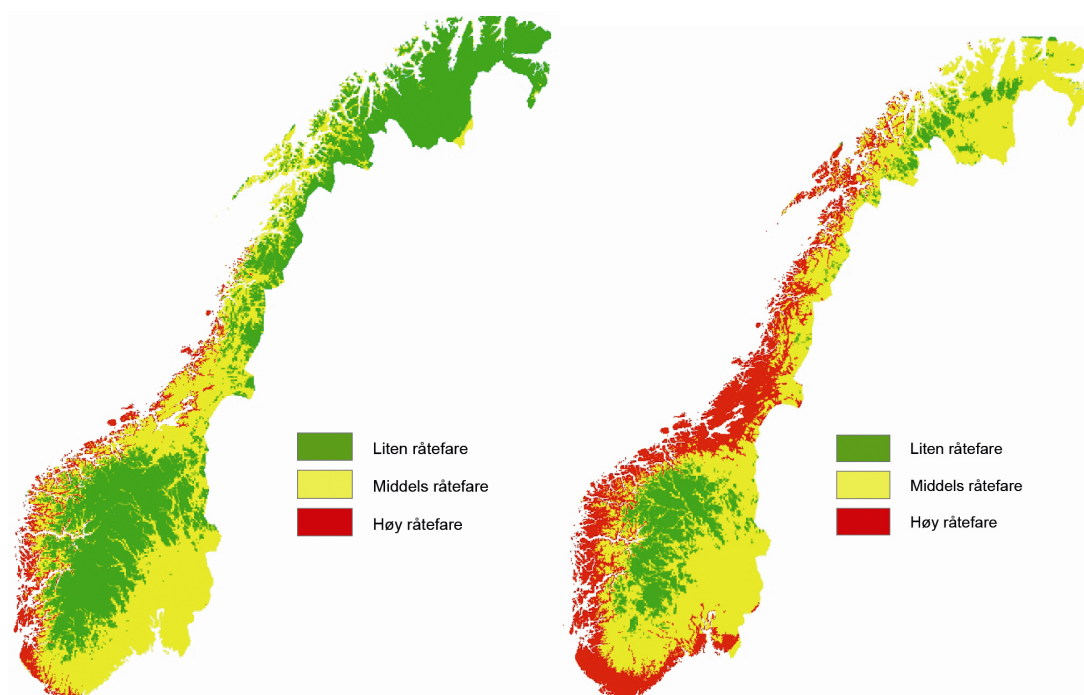
7 Fuktpåkjønning og råtefare

7.1 Råte

Råte- og fargeskadesopper skaffer seg energi og næringsstoffer ved å bryte ned dødt organisk materiale. Nedbryting av større molekyler skjer utenfor soppcellene, ved at enzymer og andre nedbrytende stoffer skilles ut av cellene. Disse stoffene fungerer bare hvis det er vann til stede i materialet. Hvor stort fuktinnhold i trevirket som er nødvendig for at råtesopper skal etablere seg, varierer mellom de ulike artene. I tillegg virker temperaturen og tilgang til næring inn på veksten. I trevirke med fuktinnhold på mer enn ca. 20 vektprosent er det en risiko for at råtesopp kan vokse. Risikoen blir større med økende fuktinnhold. Optimale vekstvilkår er det med et fuktinnhold på 30–50 vektprosent og ved temperaturer mellom 20 og 30 °C.

7.2 Økt råtefare som en effekt av klimaendringer

Faren for råte i utvendige trekonstruksjoner over bakken er i stor grad avhengig av lokale klimaforhold. Gjennom forskningsprosjektet ”Klima 2000” er det laget et kart over råtefaren ulike steder i Norge basert på temperaturforhold og nedbørsmengder i perioden 1961–1990. I tillegg er det laget et kart over råtefare basert på klimascenarier for perioden 2021–2050 med økende temperaturer og mer nedbør i fremtiden (figur 7.2). Vi ser at råtefaren er sterkt økende over store deler av landet som en direkte konsekvens av et fremtidig klimascenario med mer nedbør og høyere temperaturer (Lisø 2006).



Figur 7.2 Potensiell råtefare i Norge basert på normalperioden 1961–1990 (til venstre) og med grunnlag i klimascenarier for perioden 2021–2050 (til høyre) (Lisø 2006)

7.3 Erfaringer med råte i norske trevinduer

I MOT-prosjektet er det gjennomført en spørreundersøkelse med den hensikt å få bedre kunnskap om skadeomfang og årsaker til råte på nyere vinduer. Spørreskjema ble sendt ut til 40 trevindusprodusenter, hvor de ble bedt om å rapportere inn skader på vinduer som var inntil 10 år gamle. 30 bedrifter svarte på undersøkelsen.

Oppsummert så viste resultatene at det er rapportert inn råteskader på om lag 700 vinduer til en kostnad på ca 1 million kroner. Råteskadene ble først og fremst registrert i nedre deler av vinduet, spesielt i nedre ende på sideglasslister og hjørneforbindelser på ramme. Det har også blitt brukt materialer som normalt er hentet fra furu sidebord som inneholder mye yteved. Yteveden suger opp mye fuktighet og trenger impregnering eller annen grunnbehandling som ikke er pigmentert. Mange produsenter forklarte råteskadene med manglende impregnering. Manglende impregnering kan godt være en årsak til råteskade, men impregnering kompenserer ikke andre mangler. Oppfukting av treverket må forebygges med riktig konstruksjon, utførelse og behandling.

Teknologisk institutt i Oslo har gjennomført to større undersøkelser på bygg hvor vinduene var angrepet av råte 6 til 8 år etter oppføring. Felles for begge prosjektene var at vinduene var levert ferdig overflatebehandlet fra fabrikk. Vinduene var innadslående, eller fast i karm. Karm/rammeprofilene bestod av laminert furu, stort sett fra hurtigvokst yteved, og var ikke impregnert. Trefuktigheten i områder nært opp til deler som var angrepet av råte, var i området 17–25 vektprosent. Felles for begge prosjektene var også at det var dårlig konstruktiv utforming av vindusprofilene, samt feil utførelse. Vann ble stengt inne i profilene som også hadde dårlig utlufting.

Utvendige sidestykker hadde råteskade. Her viste det seg at endevæden ikke var forseglet, samtidig som avstanden til vannbrettet var på bare et par millimeter. Også horisontal endevæde hadde store råteskader (figur 7.3a).

På vinduene i fast karm var det på noen steder ikke god nok klem mellom glass og utvendig treverk, slik at vann ble stående i en grop bak treverket som så råtnet (figur 7.3b). I det ene prosjektet var også bunnrammen av to deler med en fuge imellom. Fugen hadde åpnet seg og sluppet inn vann. I de vinduene som kunne åpnes var bunnrammen i ett stykke.

Det ene prosjektet hadde benyttet fingerskjøtede lameller utvendig som tydelig var blitt angrepet av råte. Dette er ikke overraskende sett i forhold til at endevæde suger vann lettere enn yteved. Vinduene i det ene prosjektet hadde også en langsgående limfuge på væresponert side. Denne åpnet seg og slapp inn vann som spredte seg på innsiden av malingsfilmen. Drenering og lufting av glassfals var dårlig utført og hindret ikke oppsamling av vann.



Figur 7.3 a Endevæde som er dårlig forseglet og suger til seg vann kapillært.



Figur 7.3 b Vinduet har ikke tilstrekkelig klem på pakningen mellom glasset og treverket slik at vann har trengt ned og blitt stående mellom glasset og treverket. Over tid har det utviklet seg en råteskade.

7.4 Fuktpåkjenning i trevinduer

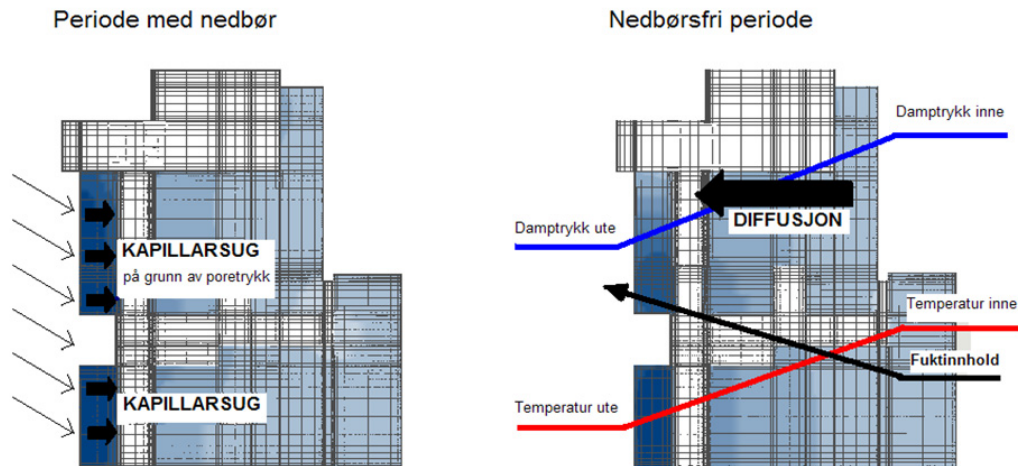
Ramme og karm i trevinduer har et gitt fuktinnhold fra fabrikk. Råvirke til vindu blir tørket til om lag 12 vektprosent. Fukten finnes bundet i celleveggene eller som damp i luften i porene i materialet. Etter at vinduet er montert i en vegg, er det lokale klimatiske forhold som har betydning for den relative luftfuktigheten i porer og cellevegg. Fukten er fordelt slik at ytre deler av karm og ramme er fuktigere enn indre deler mesteparten av året. Dette kommer av at innetemperaturen er høyere enn utetemperaturen, slik at indre deler av karmen er varmere enn ytre. Jo lavere temperatur, jo mindre fukt klarer luften å holde på, og relativ fuktighet øker.

I tillegg er fukttransporten rettet utover hele året unntatt en liten periode på sommeren. Dette skyldes at luftens partialtrykk (damptrykk) er større inne enn ute, mesteparten av tiden. En ser likevel at tre er relativt damp tett, slik at fuktig luft fra innemiljøet har svært liten betydning for fuktinnholdet i selve profilet.

Nedbør er et større problem. En perfekt malingsfilm skal i utgangspunktet sikre god regntetthet. Sprekker og andre skader i filmen forekommer og fører likevel til oppfukning om vinduet ikke er skjermet mot direkte regnpåkjenning. Nedbøren lager en væskefilm på utsiden av malingsfilmen, og fukt blir trukket inn via utettheter, ved kapillærsuging (figur 7.4).

Siden tre er finporøst, har det stort potensial for å trekke mye fukt. Fuktig trevirke transporterer lettere fuktighet enn tørt trevirke. Innenfor malingsfilmen fordeler fukten seg videre ved kapillærsuging til mindre porer og ved diffusjon til tørrere områder så lenge en ubalanse i fuktfordelingen er til stede. Når det slutter å regne og vannfilmen fordamper, tørker karmen ut igjen, hovedsakelig ved diffusjon.

Under uttørkingen blir fukt fra områder et stykke inne i karmen transportert utover ved diffusjon (figur 7.4). Nå gjør kapillærsuging seg gjeldende i mindre grad. Diffusjonsprosessen går imidlertid mye saktere enn kapillærsugingen under oppfuktingen. Den fordelte fuktigheten på innsiden av malingsfilmen diffunderer gjennom malingsfilmen eller gjennom sprekker i malingsfilmen. Malingsfilmens damp tetthet avgjør hvor fort uttørkingen kan skje. Beregningene viser at fukt i karmen ikke alltid tørker ut før en ny regnperiode med påfølgende oppfukning. Derfor kan karmen få varig større fuktinnhold enn de 12 vektprosent den har fra fabrikk.



Figur 7.4.

I nedbørsperioder blir regn sugd opp ved kapillærsuging. Fukten blir videreført ved kapillærsuging til mindre porer og diffusjon til tørrere områder. I nedbørsfrie perioder er fukttransporten rettet utover ved diffusjon. Diffusjonen skjer saktere gjennom malingsfilmen slik at det blir opphoping av fukt på innsiden av den (Rønnevik 2008 a).

7.5 Fullskala fuktforsøk

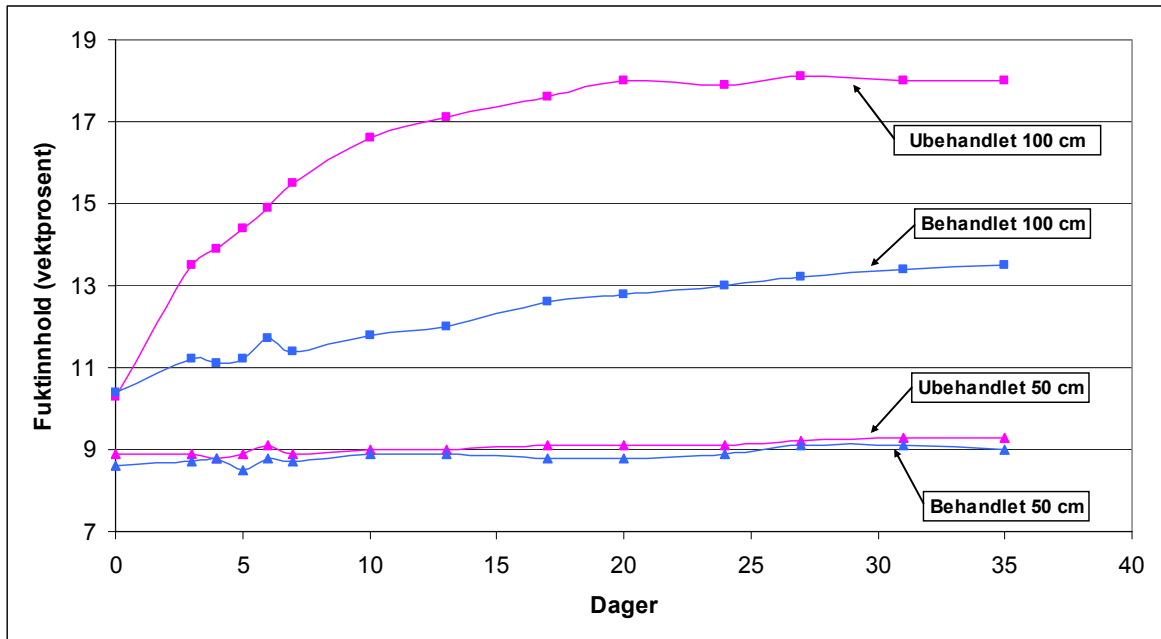
I MOT-prosjektet ble det gjennomført fullskala fukttesting av trevinduer hvor profilene var laget av furulaminat. Hensikten med forsøkene var blant annet å se på effekten av overflatebehandling i forhold til fuktopptak, og hvilken effekt isolering av karm/rammeprofil hadde på fuktfordelingen i trevirket. Følgende fire vinduer ble testet:

- trevindu, ubehandlet
- trevindu, malt
- trevindu med luftslisser, malt
- trevindu isolert med 20 mm polyuretan, malt

Vinduene ble plassert i en 150 mm isolert bindingsverksvegg mellom to klimarom med konstant temperatur og relativ luftfuktighet (RF). Utsiden hadde en temperatur på 10 °C og en RF på 80 %. Innsiden hadde en temperatur på 20 °C og en RF på 40 %. Figur 7.5 b viser forskjellen i fuktopptak mellom et vindu med overflatebehandling (behandlet) og et vindu som ikke er overflatebehandlet (ubehandlet). I ytre del av karmen (100 mm fra varm side) viser resultatene at det ubehandlede vinduet etter 20 dager kom opp på et likevektsnivå for fuktinnholdet på ca 18 vektprosent. Til sammenlikning kommer det overflatebehandlede vinduet til å bruke mye lengre tid til å komme opp på tilsvarende fuktinnhold. I den indre delen av karmen (50 mm fra varm side) er det nesten ingen forskjell på fuktinnholdet mellom de to vinduene. Fuktinnholdet her styrer mot et likevektsnivå med innelufts RF på 40 %, dvs. et fuktinnhold i furu på ca 9 vektprosent.



Figur 7.5 a Vinduene som ble brukt i fullskala fuktforsøkene sett fra innsiden (varm side)

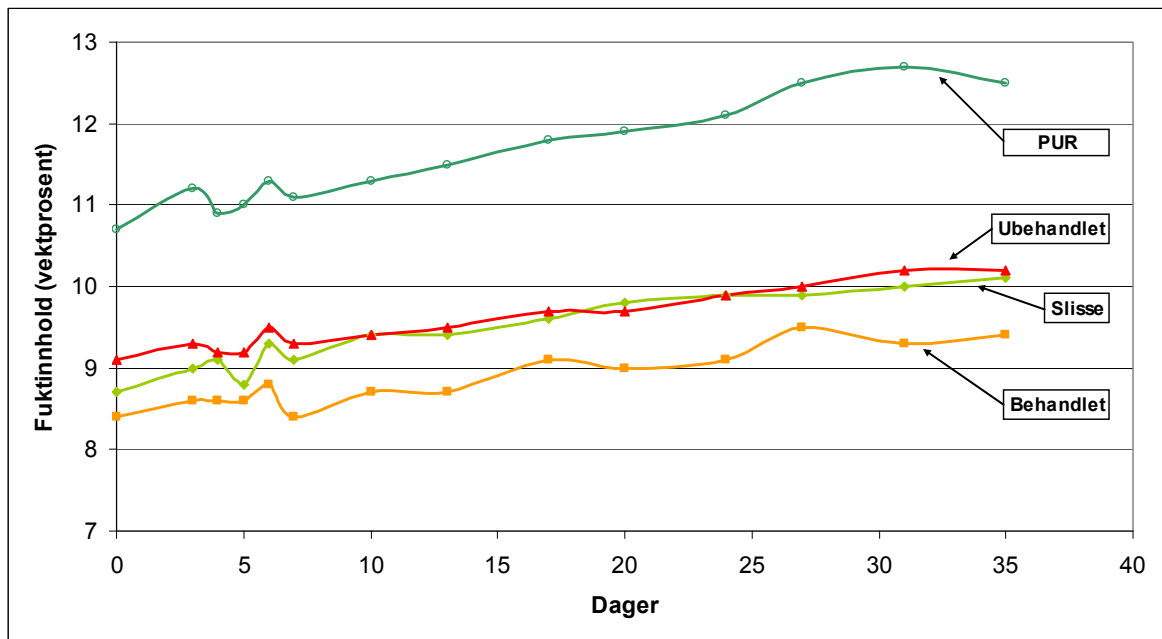


Figur 7.5 b Fuktinnholdet i vektprosent 100 mm og 50 mm ut i bunnkarm fra varm side for trevindu i furu laminat med og uten overflatebehandling

Figur 7.5 c viser registrert fuktinnhold i vinduenes bunnkarm, 70 mm inn fra varm side, målt over en periode på 35 dager. For vinduet isolert med polyuretan betyr dette at målepunktet ligger på kald side, rett utenfor isolasjonslaget. Vi ser at for målepunktet ligger det malte vinduet med polyuretanisolasjon mellom 2 og 3 vektprosent over de andre vinduene i fuktinnhold.

Resultatene viser at polyuretan som isolasjon i karm-/rammekonstruksjonen gir økt fuktinnhold på kald side av konstruksjonen. Følgende tre forhold kan forklare dette:

- Samme fuktmenge tas opp i de to vinduene, men isolasjonslaget fungerer som en fuktsperre slik at fukt som tas opp fra kald side fordeles i et mindre volum av konstruksjonen.
- Isolasjonslaget vil føre til lavere temperatur på kald side av isolasjonssjiktet sammenlignet med tilsvarende punkt i det ordinære trevinduet. Lavere temperatur fører igjen til seinere opptørking.
- Opptørking i den ordinære trekonstruksjonen skjer i alle retninger, både mot varm og kald side. I vinduet med polyuretan hindrer isolasjonslaget opptørking mot varm side. De isolerte profilene kan følgelig i stor grad bare tørke mot kald side og opptørkingstiden vil følgelig bli lenger.



Figur 7.5 c
Fuktinnholdet 70 mm fra varm side i isolert og uisolert bunnkarm i laminert furu over en 35-dagers periode

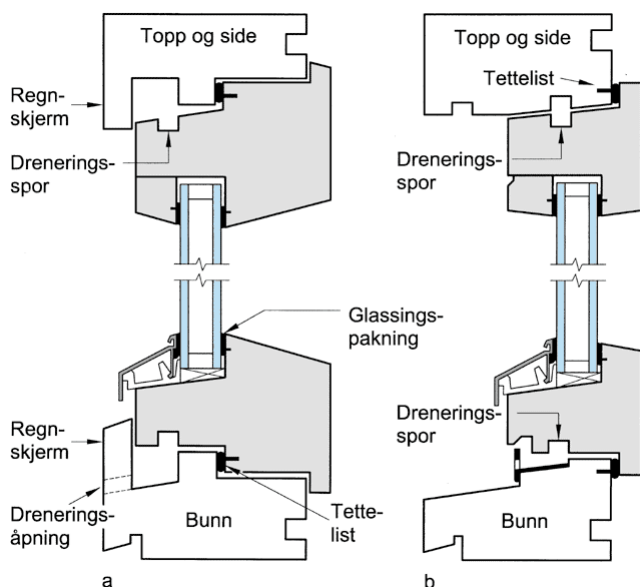
Selv om deler av karm-/rammekonstruksjonen med polyuretanisolasjon har høyere fuktinnhold, er det ikke grunnlag for å si at dette kan være kritisk i forhold til råteproblemer. Ved produksjon av karm-/rammeprofiler med isolasjonssjikt må potensielle råteproblemer vurderes nøye i forhold til hvor damptett isolasjonen er, samt profilets design.

Fuktregninger som er utført med et simuleringsprogram for fukt og varmetransport (WUFI) viser at fuktinnholdet i ytre del av karmen øker med bredden på isolasjonssjiktet. Dette ser en også om isolasjonssjiktet blir plassert langt ut mot ytre del av karmen. Blir isolasjonssjiktet derimot plassert langt mot innsiden av profilet, kan et isolerende sjikt på ca 20 mm gi omtrent like lavt fuktinnhold i ytre lamell av karm som i et ”uisolert” profil (Rønnevik 2008b).

7.6 Hvordan unngå fuktproblemer i trevinduer

- God konstruktiv utforming og overflatebehandling kan redusere fuktopptaket i trevinduer. Godt taktspring kan beskytte både vegger og vinduer mot sol og nedbør.
- De fleste skader på vinduer skyldes fuktighet som trenger inn i vindusprofilene eller gjennom fuger i vinduskonstruksjonen. Det er derfor svært viktig at sammenføringene er tettst mulig, og at profilene er utformet slik at vann ikke trenger inn i fuger og spalter i større mengder. Vann som har trengt inn og som kan skade vindusmaterialet eller komponenter i konstruksjonen, må ledes til utsiden gjennom et dreneringssystem.
- En riktig overflatebehandling på ut- og innsiden av trevinduer er viktig både for å redusere oppfuktingen og for å gi profilene god uttørkingmulighet.
- Vinduer med god lufttetthet har vanligvis også god tetthet mot slagregn, forutsatt at tettelisten er riktig plassert i konstruksjonen. Det er viktig at tettelisten er tørr til enhver tid. Dersom ikke fugen er skjermet på utsiden, bør tettelisten være trukket lengst mulig inn fra vinduets ytre plan for å hindre vanndråper i å trenge inn. Som ekstra sikring anbefales vannfeller i form av terskler, vannriller o.l. i profilene. Slikt hindrer eventuelt inntrengt vann i å nå tettelisten. Vann må aldri bli liggende i fugene. Det bør føres vekk, enten ved at det er fall utover på bunnkarmen og rammen, eller ved at det er drenshull som leder vannet ut.
- God klaring i fugene mellom vannbrettbeslag og endeveden ved sidekarm på vinduet samt nedre fuge mellom karm og ramme er viktig. Endeved er tusenvis av avkuttete vedceller som fungerer som sugerør. Ubehandlet endeved kan suge fukt og regnvann 15–20 cm inn i borda ved hjelp av kapillærkrefter. Det må unngås at vann blir stående slik at begge sidene

- Innvendig tettelist bør plasseres slik at vann ikke lett slipper til den. Om den blir oppfuktet vil det lettere oppstå lekkasjer. Prinsippet med totrinnstetting anbefales på det sterkeste med et luftet, drenerert hulrom mellom den ytre regnskjermen og den indre vindtettingen (figur 7.6).



Figur 7.6 Prinsipp-skisse for totrinnstetting av innadslående vindu (a: med lukkede fuger og b: med åpne fuger) (Byggdetaljer 533.132)

- Vannbrettbeslaget må dyttes godt opp i fugen i karmen for å hindre at vann ikke trenger inn bak det og fukter opp nedre del av vinduet og veggen nedenfor.
- Trevinduer bør impregneres. Den beste beskyttelsen et trevindu kan få, er en industriell vakuumpregning med et løsningsmiddelbasert impregneringsmiddel etter kravene til Nordisk Trebeskyttelsesråd i klasse B. Nest best er enten dypping eller flowcoat med vannfortynnbare trebeskyttelsesmidler som gir overflaten en beskyttelse mot angrep av råtesopp.
- I tillegg til impregnering er det viktig å endeforsegle karm og rammestykker slik at vann ikke vil trenge inn i endeveden. Det er spesielt de nedre hjørnene som er utsatt for fuktighet og hvor vann lett kan trenge inn i endeveden gjennom cellehulrommene. Spesielt er yteveden utsatt.
- Trekvaliteten kan også ha betydning for biologisk nedbryting. Ved å velge emner hvor nedre rammer og karmen hovedsakelig består av furu kjerneved, og hvor denne legges slik at kjerneveden vender ut, vil en få et mer bestandig emne som tåler en større fuktbelastning, og vil være mer holdbar mot biologisk nedbryting.

8 Overflatebehandling av trevinduer

8.1 Impregnering

Impregnering av tre er behandling av trevirket med soppdrepende midler, med eller uten trykksetting. Ved å impregnere vinduene med soppdrepende midler reduserer en nedbrytingshastigheten. Impregneringen bør skje industrielt, og det skal benyttes trebeskyttelsesmiddel i klasse B etter kravene til Nordisk Trebeskyttelsesråd.

Det er i dag tre behandlinger som brukes til å impregnere vinduer:

- flowcoat, som er oversprøyting av elementene eller sammensatte vinduer med et trebeskyttelsesmiddel som ofte kan være vannbasert
- dypping, hvor elementer eller sammensatte vinduer blir senket ned i kar med vannbasert trebeskyttelsesmiddel
- vakuumpregnering, hvor vinduene blir utsatt for vakuumpregnering og deretter påføres impregneringsmiddel, slik at impregneringen trenger lengre inn i veden

Industriell vakuumpregnering med løsningsmiddelbaserte impregneringsmidler er den beste beskyttelsen et trevindu kan få, mens dypping og flowcoat er den nest beste siden behandlingen ikke trenger like langt inn når trebeskyttelsesmidlene er vannbaserte. Før var disse midlene også løsningsmiddelbaserte, men av miljøhensyn er dette nå forbudt.

De fleste vinduer som blir vakuumpregnerede er av furu. Rene granvinduer og limte produkter av utvendig gran og innvendig furu blir også vakuumpregnerede. Vakuumpregnering er lettest på yteved av furu, siden denne er mer mottakelig for inntregning. Gran har større motstand mot impregnering blant annet på grunn av permanent strukturendring under tørking.

8.2 Overflatebehandling

I tillegg til impregnering behandles trevinduer med en grunning og et toppstrøk. De fleste overflatebehandlingene inngår i et system som består av en grunning basert på alkydoljer og et toppstrøk. Grunningen, som kan være enten en grunningsolje eller en grunningsmaling, utgjør en viktig del av et system og kan ikke utelates. Den har som oppgave å beskytte treet mot inntregning av fukt og soppangrep, men grunningen kan også ha som oppgave å forbedre heft mellom toppstrøk og trevirke. Den viktigste funksjonen til toppstrøket er å beskytte underlaget mot sollys i tillegg til å gi overflaten et bestemt utseende.

Dersom man blander systemer, for eksempel ved å bruke grunning fra én leverandør og sluttbehandling fra en annen, er det en risiko for at produktene ikke fungerer sammen. Det er viktig å følge produsentens anbefalinger med tanke på systemoppbygging for å oppnå god beskyttelse av trevirket og en holdbar overflate.

Grunningen og sluttbehandlingen kan være enten vannløselige eller løsemiddelbaserte. Vannløselige produkter har kortere tørketid enn løsemiddelbaserte. Holdbarheten og evnen til å beskytte trevirket er like god for vannløselige produkter som for løsemiddelbaserte, dersom malingsystemet er riktig bygd opp. Ved valg av system bør man derfor, uansett om det er vannløselig eller løsemiddelbasert, etterspørre dokumentasjon på holdbarhet og evne til å beskytte det underliggende trevirket.

De mest brukte malingerne, dekkbeisene og beisene inneholder bindemidler, som er enten alkyd, akrylat eller en kombinasjon av disse to. De akrylatbaserte overflatebehandlingene, enten bindemiddelet er rent akrylat eller akrylat kombinert med alkyd, er vannløselige, mens de alkydbaserte overflatebehandlingene ofte er løsemiddelbaserte. Akrylatprodukter har gjerne bedre farge- og glansbestandighet enn alkydproduktene, men har dårligere inntregningsevne i trevirket og stiller strengere krav til temperatur og luftfuktighet ved påføring. De akrylatbaserte produktene har som oftest høyere vannabsorpsjon enn de alkydbaserte, det er derfor vanlig å kombinere et akrylatbasert toppstrøk med alkydbasert grunning. Dermed får man kombinert alkydets evne til å trenge inn i trevirket og gjøre dette vannavvisende med den bedre farge- og glansbestandigheten til akrylatet.

8.3 Klimabestandighet hos norske trevinduer – resultater fra akselererte aldringsforsøk

Overflatebehandling av trevinduer skjer i dag i all hovedsak med vanddispergerte overflatebehandlingssystemer, eller i en kombinasjon hvor man har en oljebasert/løsemiddelbasert grunning. I dag er ca 90 % av alle vinduer som går ut fra fabrikk overflatebehandlet.

Vinduenes overflater utsettes daglig og gjennom hele året for store og varierende klimabelastninger gjennom for eksempel solstråling (UV), infrarød varmestråling, temperaturforandringer (spesielt fryse-/tinesykluser), og vannpåkjenning (regn, luftfuktighet).

Det er viktig å velge de som best vil tåle klimafaktorene de utsettes for gjennom hele sin levetid. Men hvordan skal en på forhånd kunne vite det uten å teste materialene og komponentene i hele sin levetid? Løsningen ligger i å gjennomføre en akselerert klimaaldring i laboratorium.

Vi har i MOT-prosjektet testet ferdigmalte trekarmer fra 17 norske vindusprodusenter med tanke på bestandighet mot nordisk klima. Testingen er utført etter to forskjellige standarder for akselerert aldring: Nordtest NT Build 495 som per i dag er foretrukket ved bestandighetsprøving av materialer for norske forhold, og NS-EN 927-6, som er foretrukket i europeisk sammenheng og av malingsprodusentene.

Målsetning for denne studien har vært å undersøke kvaliteten på ferdigmalte trekarmer fra norske vindusprodusenter, og å sammenlikne virkningen eksponeringen i de to laboratoriemetodene for akselerert aldring har på nedbryting av malte vinduskarmer og deres bestandighet. I tillegg til å vurdere karmenes bestandighet, er det gjennomført en analyse basert på opplysninger om malingstype, behandlingsmetode, tørketid etc, for å kunne gi noen anbefalinger til hvordan vinduer bør overflatebehandles for å tåle norsk klima best mulig.

Til prøvingen er det benyttet hvite karmbiter med lengde ca. 200 mm. Alle bitene er impregnert og overflatebehandlet fra fabrikk. Endeveden ble forseglet med løsemiddelbasert maling.

8.3.1 Akselerert aldring i vertikal klimasimulator

Klimasimulatoren har fire sider som simulerer ulike klimapåkjenninger. De fire klima påkjenningene er ultra fiolett stråling (UV) (15 W/m^2) og infrarød stråling (IR) (60 °C på prøvene), påsprøyting av vann $15(\pm 3) \text{ l vann l/(m}^2\text{h)}$), frost (-20 °C) og laboratorieklima $23(\pm 5) \text{ °C}$ og $50(\pm 10)\%$. Prøvene går i en konstant syklus med 1 time i hvert klima.



Figur 8.3.1 Vertikal klimasimulator

8.3.2 Akselerert aldring i horisontalt UV-apparat

Prøving i UV-apparatet tar utgangspunkt i en ukes syklus. Hver ukesyklus består av 24 timer med kondisjonering ved $45 (\pm 3) ^\circ\text{C}$, 144 timer (6 døgn) med 48 sykluser av 2,5 timer med UV-påkjønning 45 W/m^2 ved $60 \pm 3 ^\circ\text{C}$, og 0,5 timer med påsprøyting av $10 (\pm 3) \text{ l vann (m}^2\text{h)}$.



Figur 8.3.2 Horisontalt UV-apparat

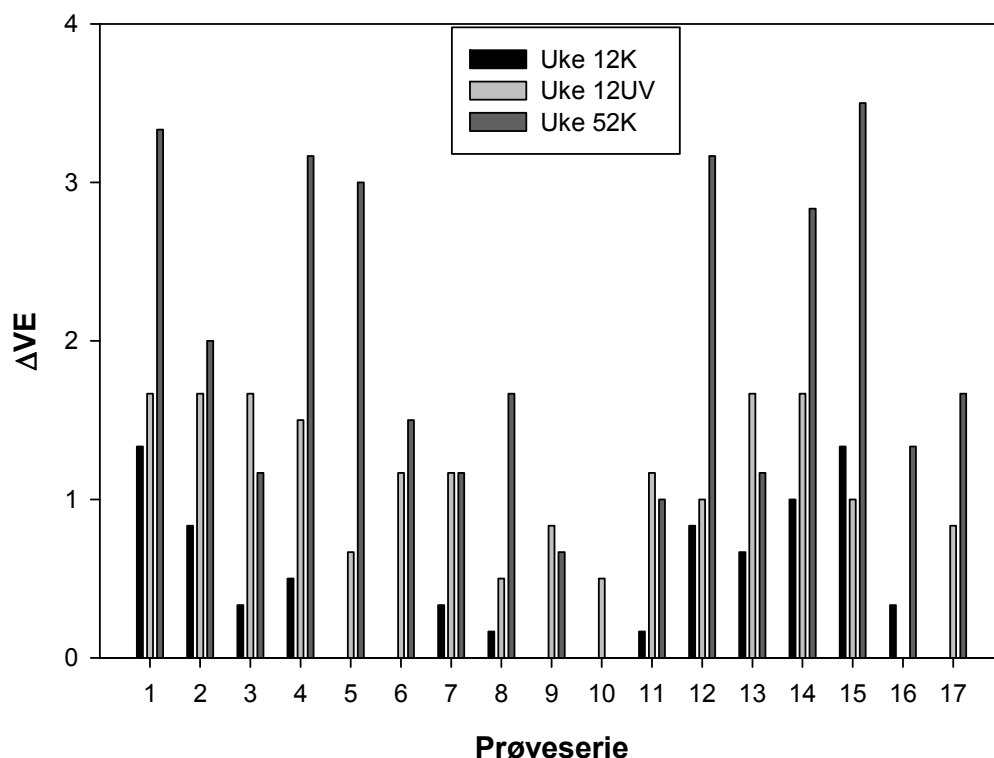
8.3.3 Resultater fra akselerert aldring

Alle prøvestykkene ble ved hvert inspeksjonstidspunkt vurdert visuelt i henhold til NS-EN ISO 4628-1. Vurderingen baserer seg på endringer som misfarging, blærer og sprekk i malingsfilme på prøvestykkenes overflate i løpet av eksponeringsperioden. Basert på resultatene i den visuelle inspeksjonen ble prøvene tildelt en grad som karakteriserer intensiteten i endringene (tabell 1). I tillegg til visuelle endringer, ble det også utført fargemålinger på alle prøvestykkene. Fargemålingene blir presentert som endring i farge (ΔE), endring i gulhet (ΔYE), endring i hvithet (ΔW), endring i glans (ΔG).

Tabell 8.3.3 a Skala for å gradere visuell endring (ΔVE) til prøvene

Grad	Intensitet i endringer
0	Uendret, dvs. ingen merkbar endring
1	Meget svak, dvs. så vidt merkbar endring
2	Svak, dvs. tydelig merkbar endring
3	Moderat, dvs. meget tydelig merkbar endring
4	Betydelig, dvs. umiskjennelig endring
5	Meget markert endring

Figur 8.3.3 viser visuell endring (ΔVE) for prøvene fra 17 vindusprodusenter etter 12 ukers aldring i UV-apparat og etter 12 og 52 uker i vertikal klimasimulator.



Figur 8.3.3 ΔVE for prøveseriene etter 12 ukers aldring i UV-apparat (Uke 12UV), og etter 12 uker (Uke 12K) og 52 uker (Uke 52K) i vertikal klimasimulator

Tabell 8.3.3 b viser gjennomsnittlig endring i forhold til visuell evaluering (ΔVE), prosentandel prøvestykker i hver serie med missfarging (MF), blærer (BL), sprekke i malingen (SM), endring i farge (ΔE), endring i gulhet (ΔYE), endring i hvithet (ΔW), endring i glans (ΔG) for prøveseriene som er aldret 12 og 52 uker i vertikal klimasimulator og 12 uker i UV-apparat

Tabell 8.3.3 b Gjennomsnittsverdier for resultater for prøver fra 17 vindusprodusenter eksponert for vertikal klimasimulator i 12 og 52 uker og 12 uker i UV-apparat

	ΔEV	MF	BL	SM	ΔE	ΔYE	ΔW	ΔG
12 K	0,5	25 %	4 %	20 %	1,6	2,1	-7,7	-6,1
52 K	1,9	53 %	10 %	94 %	2,1	2,7	-9,7	-13,2
12 UV	1,1	43 %	18 %	25 %	3,6	4,9	-17,6	-14,4

8.3.4 Diskusjon

Aldring i vertikal klimasimulator

Fire ukers aldring i vertikal klimasimulator tilsvarer etter det SINTEF Byggforsk har erfart, omkring et års naturlig aldring. Det betyr at karbitene som ble eksponert i vertikal klimasimulator i 12 og 52 uker, har blitt utsatt for en aldring tilsvarende 3 og 12 år ved naturlig aldring. Gjennomsnittlig gradering i synlig endring på prøveseriens overflater var 0,5 og 1,9 etter henholdsvis 12 og 52 uker i klimasimulator.

Ut i fra gjennomsnittstallene kan det virke som om slitasjen på prøvene er lik gjennom hele perioden med tanke på visuelle endringer i overflaten. For endringene i farge, gulhet, hvithet og glans var ikke dette tilfelle. Her så vi at endringen var større fra start til uke 12 enn mellom uke 12 og 52.

SINTEF Byggforsk anbefaler generelt at vedlikeholdstiltak iverksettes når endringer som skyldes eksponering fra klimaet passerer en gradering på 3. Etter 12 uker var høyeste gradering på 1,3. Etter 52 ukers eksponering i klimasimulator hadde 5 av 17 prøveserier gradering 3 eller høyere. Dette må regnes som et godkjent resultat for alle 17 vindusprodusentene sett under ett. To

av prøveseriene hadde en gradering mindre enn 1: ”Meget svak, dvs så vidt merkbar endring” etter 52 uker.

Sammenlikning av aldringsmetodene

Ved sammenlikning av de to aldringsmetodene ser en tydelig at det etter 12 ukers eksponering er prøvene i UV-apparatet som har de største endringene, både med tanke på graden av synlige endringer og endring i farge, gulhet, hvithet og glans. Forskjellen i eksponering ved de to aldringsmetodene består først og fremst i at prøvene i UV-apparatet er blitt eksponert for nesten 9 ganger så høy UV-strålingsdose (kWh/m²) som prøvene i klimasimulatoren. Energien i UV-strålingen fører til fotokjemiske reaksjoner i overflatebehandlingen. Mengde og intensitet i strålingen er avgjørende for omfanget av nedbrytingen. Resultatet blir gjerne at overflatebehandlingen mister egenskaper som farge, glans, elastisitet og mekanisk styrke.

Prøvene som ble eksponert i 52 uker i klimasimulatoren, ble eksponert for ca halvparten av mengden UV-stråling som prøvene i UV-apparatet etter 12 uker. Disse prøvene hadde likevel en større gjennomsnittlig gradering i synlige endringer i overflaten. 10 % flere prøver hadde misfarging og hele 69 % flere prøver hadde sprekker i malingsfilmen. Andelen prøver med blærer og endring i farge, gulhet, hvithet og glans var lavere sammenlignet med prøvene som hadde vært eksponert i UV-apparatet. Forskjellen kan muligens forklares i at disse prøvene har vært eksponert for fryse-/tinesykluser. I løpet av eksponeringsperioden har prøvene i klimasimulatoren blitt eksponert for en temperatur på -20 °C i 2166 timer. I tillegg så har prøvene i klimasimulatoren vært oppfuktet 7,5 ganger så lenge som prøvene i UV-apparatet. Mindre endring i fargemålingene og færre prøver med blæredannelse kan muligens forklares med mindre eksponering for UV-stråling sammenlignet med prøvene i UV-apparatet.

Faktorer som innvirker på aldring av malingsfilmen

Alle vindusprodusentene som har bidratt med prøvestykker av bunnkarm i denne studien, har gitt opplysninger blant annet om trekvalitet, impregnering, maling, påføringsmetode og tørketider. For å kunne si noe om hvilke faktorer som kan ha betydning for kvaliteten til de overflatebehandlede karmene, er det gjort en analyse i forhold til dette.

Karmbitene som ble benyttet i denne studien, er behandlet med malingsystemer fra fire forskjellige produsenter (A, B, C og D). System D kommer jevnt ut dårligere i forhold til de parametre som er undersøkt ved prøvene etter eksponering i både klimasimulator og UV-apparat.

Når en ser på antall lameller i trevirket og impregneringsmetode, er det vanskelig å se forskjeller mellom gruppene. I forhold til trefukt, temperatur ved maling, RF ved maling, tykkelse på våtfilm, grunning og toppfilm og tørketid for grunning og toppfilm er det utført en enkel statistisk analyse. Analysen viser en sammenheng mellom gradering av visuell endring i overflaten og tørketid. Økende tørketid gir bedre bestandighet til malingsfilmen.

Akselerert aldring i forhold til naturlig aldring

Aldringsforsøkene som er utført i denne studien, gir et bilde på hvor god bestandighet ferdigmalte karm/rammer fra et utvalg norske trevindusprodusenter har i forhold til eksponering i opp til 52 uker i vertikal klimasimulator. Erfaringer fra tidligere aldringsforsøk utført med klimasimulator ved SINTEF Byggforsk tilsier at 52 uker akselerert aldring tilsvarer omkring 12 år med naturlig aldring i nordisk klima. I denne sammenhengen er det viktig å påpeke at akselerert aldring aldri helt kan erstatte prøving ved naturlig aldring.

Ved naturlig aldring er det forhold som ikke lett lar seg gjenskape i et laboratorium. Slitasje i forhold til vind og partikler i luften er ikke tatt med i aldringstestene utført i denne studien. For å kunne anslå effekten av akselerert aldring sett i forhold til virkeligheten er det viktig med sammenlignende prøver som er eksponert for vær og vind i det naturlige miljø. I dette prosjektet er det plassert ut tilsvarende prøvestykker av bunnkarm utendørs ved SINTEF Byggforsk sin feltstasjon på Voll i Trondheim. Resultater herfra foreligger ikke ennå, men en fremtidig sammenlikning mellom disse prøvene og prøvene som er aldret i klimasimulator og UV-apparat, kan gi oss viktig informasjon i forhold til å kunne anslå hvor tett opp mot virkeligheten de akselererte aldringsmetodene ligger, hvor god korrelasjon det blir mellom resultatene og hvilken akselereringsfaktor som kan brukes i forhold til de akselererte laboratoriemetodene.

8.3.5 Konklusjoner

- Prøver fra ferdigmalte vinduskarmer fra 17 forskjellige norske vindusprodusenter klarer seg jevnt over bra gjennom 12 og 52 uker med eksponering i vertikal klimasimulator og 12 uker i UV-apparat.
- Eksponering i UV-apparat ser ut til å ha en større effekt på nedbrytingen av malingsfilmen enn eksponering i klimasimulator over samme tid. Denne effekten skyldes mest sannsynlig større eksponering for UV-stråling, og ses best som endring i farge, gulhet og glans i overflaten.
- Som akselerert aldringsmetode anbefales vertikal klimasimulator fremfor horisontalt UV-apparat, da sistnevnte metode først og fremst bryter ned materialoverflaten ved hjelp av UV-stråling. Klimakarusellen benytter seg også av UV-stråling, men i mindre grad enn i UV-apparatet. I tillegg utsettes prøvene i klimasimulatoren for fryse-/tinesykluser, noe som er meget relevant for nordiske forhold. Resultatene fra den pågående naturlige aldringen vil for øvrig etter noen år kunne gi oss bedre svar med tanke på hvilken laboratoriemetode som gir best korrelasjon med virkeligheten.
- I denne studien er det vanskelig å trekke frem kriterier som gjør at noen bunnkarmer klarer seg bedre gjennom prøvingen enn andre. Det er imidlertid indikasjoner på at prøvestykker behandlet med malingsystem D kommer noe dårligere ut enn de øvrige. I tillegg ser det ut til at lang tørketid for grunningen er viktig for bestandigheten.

9 Dokumentasjon av vinduers egenskaper

9.1 Dokumentasjonskrav

Plan- og bygningsloven stiller krav til at byggevarers egenskaper skal dokumenteres. Egenskaper ved vinduer skal dokumenteres i henhold til en felles europeisk produktstandard, ”NS-EN 14351-1 Vinduer og dører - Produktstandard, egenskaper - Del 1: Vinduer og ytterdører uten krav til motstand mot røyklekkasje ved brann, men med krav for takvinduer til utvendige brannegenskaper”. Tabell 9.1 gir oversikt over hvilke egenskaper som er obligatoriske å dokumentere i henhold til produktstandard.

Tabell 9.1 Obligatoriske egenskaper som skal dokumenteres i henhold til NS-EN 14351-1

Egenskap	Klassifiseringsstandard	Prøvings-/beregningsstandard
Regntetthet	NS-EN 12208	NS-EN 12208
Lufttetthet	NS-EN 12208	NS-EN 12208
Strålingstekniske egenskaper	Deklarert verdi	Deklarert verdi
U-verdi	NS-EN 10077-1 NS-EN 10077-2 NS-EN ISO 12563	NS-EN 10077-1 NS-EN 10077-2 NS-EN ISO 12563
Motstand mot vindlast	NS-EN 12210	NS-EN 12210
Luftesikringens styrke	NS-EN 14351-1	NS-EN 14351-1
Motstand mot støt	NS-EN 13049	NS-EN 13049
Lydisolering	Deklarert verdi	Deklarert verdi
Farlige stoffer		

I vindusprodusentenes brosjyremateriale og produktdokumentasjon angis egenskaper for en eller flere referansestørrelser. Ved bruk av vinduer i et konkret byggverk er det imidlertid andre forhold som også må dokumenteres:

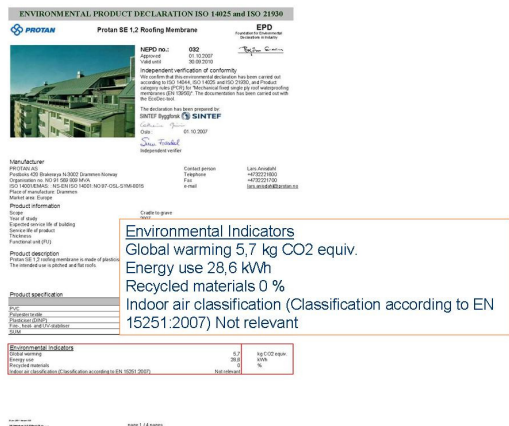
- Hvilke ytelser vinduet skal ha for de ulike egenskapene, eksempelvis hvor lufttett vinduet skal være og hvilke vindlaster vinduet skal motstå, skal være bestemt ved prosjektering av bygget.
- Egenskaper må dokumenteres for de vindustypene og størrelsene som skal brukes i byggverket.
- For U-verdi skal gjennomsnittlig verdi beregnes, se kapittel 5, for å inngå i byggverkets energiregnskap.
- Forhold vedrørende montering i vegg skal avklares.
- Vedlikeholdsbehov og -anbefalinger bør kartlegges.

9.2 Miljødokumentasjon

Dokumentasjon av miljøegenskaper gjøres i form av miljødeklarasjoner. Metodikken som er brukt i miljøvurderingen i MOT, se kapittel 6, brukes også ved utarbeidelse av miljødeklarasjoner.

En miljødeklarasjon type III er et kortfattet dokument som numerisk beskriver miljøegenskaper til et produkt. En miljødeklarasjon type III kalles også miljødeklarasjon, miljøvaredeklarasjon (MVD) eller EPD (Environmental Product Declaration). En miljødeklarasjon må utarbeides i henhold til standarder fra de internasjonale standardiseringsorganisasjonene ISO og CEN. En miljødeklarasjon dokumenterer ressursforbruk og miljøpåvirkninger gjennom hele produktets livsløp (råvareuttak, produksjon, bruksfase og avhending).

Hensikten med miljødeklarasjoner er, i tillegg til å dokumentere miljøegenskapene til et produkt, å tillate sammenligning av to produkter som hører til samme produktkategori. Miljødeklarasjoner kan brukes som miljødokumentasjon når dette kreves av byggherren, (for eksempel ved offentlige anskaffelser) eller som sammenligningsgrunnlag ved innkjøp av byggevarer (ønske om å trekke inn miljøhensyn ved valg av materialer). Figur 9.2 viser EPD miljødeklarasjon for Protan Takbelegg.



Figur 9.2 EPD miljødeklarasjon for Protan takbelegg

9.3 CE-merking og annen produktdokumentasjon

CE-merking av vindu gjøres i samsvar med bestemmelsene i NS-EN 14351-1. Det er produsenten selv som påfører CE-merket på sine produktet etter at egenskaper er typeprøvd av et teknisk kontrollorgan. CE-merking gjøres normalt for vinduer med størrelse bredde x høyde 1230 mm x 1480 mm. Selve CE-merket skal innholde angivelse av hvilken klassifisering vinduet har for egenskapene som er angitt i tabell 9.1. Det er ikke noe krav til hvilke klasser/ytelser som skal være oppnådd ved typeprøvingen. Det er altså mulig å CE-merke et vindu som ikke er regntett, bare man oppgir dette i merkingen, dvs angi klasse 0 i henhold til NS-EN 12208.

For å kunne vite om et vindu er egnet brukt i et konkret byggverk, må de oppgitte klassene i CE-merket vurderes opp mot de kravene som er stilt ved prosjekteringen. Dette kan være vanskelig dersom man ikke har detaljkunnskap om de aktuelle standardene. CE-merking sier at vinduet er tillatt markedsført, men betyr altså ikke nødvendigvis at vinduet kan brukes i et norsk byggverk.

SINTEF Certification utsteder SINTEF Teknisk Godkjenning for de fleste typer byggevarer, konstruksjoner og konstruksjonselementer. En SINTEF Teknisk Godkjenning dokumenterer at et byggprodukt er egnet i bruk når det anvendes som angitt i godkjenningen. SINTEF Teknisk Godkjenning bekrefter samtidig at produktet tilfredsstiller de krav til dokumentasjon av produkt-egenskaper som Plan- og bygningsloven stiller for markedsføring av produktet. Dokumentasjonsordningen er rettet mot det norske byggmarkedet.

Litteraturliste

Arnesen, H

Beregnet U-verdi MOT I, HGU Trenor, treprofiler med 38 mm PUR-isolasjon
SINTEF Byggforsk, desember 2008

Arnesen, H.

Beregnet U-verdi MOT II, TS Gilje, treprofiler med 20 mm PUR-isolasjon
SINTEF Byggforsk, desember 2008

Arnesen, H

Beregnet U-verdi. MOT Referansevindu. Innvendig isolert karm/ramme
SINTEF Byggforsk, desember 2008

Arnesen, H

Beregnet U-verdi. MOT Referansevindu. Karm og ramme med isolerte profiler
SINTEF Byggforsk, september 2009

Arnesen, H

Beregnet U-verdi. MOT - Referansevindu. Karm og ramme med luftslisser
SINTEF Byggforsk, september 2009

Arnesen, H.

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

Arnesen, H.

U-verdier for trevinduer. Parameterstudie av ramme- og karmprofiler
SINTEF Byggforsk, mars 2008

Byggdetaljer 523.701 Innsetting av vindu i vegger av bindingsverk

Byggdetaljer 533.132 Vinduer av tre

Byggforvaltning 720.015 Utbedring av kuldebroer

Byggforvaltning 733.162 Utbedring av eldre trevinduer

Engebretsen S. og Lind, P.

Undersøkelse av styrken til limte, isolerte vinduslameller etter klimapåkjenninger
Norsk Treteknisk Institutt, 1.12.2008

Grynning, S., Gustavsen, A. og Arnesen, H.

B217000-03 MOT Kuldebroer ved vindusinnsetting
SINTEF Byggforsk, mai 2009

Grynning, S. og Uvsløkk, S.

Beregnet U-verdi MOT – Referansevindu. Utvendig isolering
SINTEF Byggforsk, mai 2009

Grynning, S. og Uvsløkk, S

Varmekonduktivitet og typiske tørrdensiteter for norske bartre

SINTEF Byggforsk, november 2008

Gustafsen, A., Jelle, B. P., Arasteh, D., Kohler, C.
State-of-the-art Highly Insulating Window Frames – Research and Market Review
SINTEF Byggforsk and NTNU, Project Report no. 6 2007

Holme, J og Jelle, BP
Akselerert aldring av malte bunnkarm prøvestykker i tre fra 17 forskjellige norske vindusprodusenter
SINTEF Byggforsk, september 2009.

Hundhausen, U. og Sandland K. M.
Slissede vindusprofiler: Betydningen av tørkekvalitet og produksjonstekniske utfordringer
Norsk Treteknisk Institutt, juni 2009

Risholt, B., Bugten, A. og Arnesen H.
Varmeisolasjonsmaterialer til bruk i trevindu
SINTEF Byggforsk, 10.03.2008

Rønnevik, JM
Isolerte trevindauge. Klimapåverking og fuktforhold.
Prosjektoppgåve, Institutt for bygg anlegg og transport, Norges teknisk-naturvitenskaplig universitet, Trondheim desember 2007

Rønnevik, JM
Isolerte trekarmar. Klimapåverking, fuktforhold og bestandighet
Masteroppgave, Institutt for bygg anlegg og transport, Norges teknisk-naturvitenskaplig universitet, Trondheim juni 2008

Treu, A.
Treslag og kvalitet av trevirke til bruk i produksjon av vinduer
Norsk institutt for skog og landskap, juni 2007

Uvsløkk, S.
B2170003-64741 MOT I, HGU 38 mm PUR, Hot-boks,
SINTEF Byggforsk, 12.06.2009.

Uvsløkk, S.
U-verdier for trevinduer med alternative isolerruter
SINTEF Byggforsk, 05.10.2007

Wærp, S og Folvik, K.
MOT – Miljøvurdering av trevinduer med alternative isolasjonsløsninger
SINTEF Byggforsk, januar 2009

Referanser

Enova.no (enova anbefaler)

Grynning S; Kuldebroenes innvirkning på varmetapet i flerfamiliehus; Masteroppgave ved NTNU juni.2009.

Gustavsven Arild m.fl.; Oppdragsrapport Kuldebroer - Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk 2008-06-30 Arkivnr. B21394;

Krause, A. (2007) Neue Materialien – neue Chancen für Holzfenster ? Treffpunkt der Fenster- und Fassadenbranche – Windays 2007, 15-16 März, Biel, Switzerland.

Ift-Rosenheim. Nachweis längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient. Prüfbericht 427 32464/1. Giesbrecht AG Swisspacer. Ift Rosenheim, dezember 2006.

ISO 10292: 1994. Glass in building – Calculation of steady-state U values (THERMAL transmittance) of multiple glazing.

ISO 14025. 2006 Environmental labels and declarations Type III environmental declarations -- Principles and procedures.

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

ISO 21930. 2007 Sustainability in building construction -- Environmental declaration of building products.

LBNL, Lawrence Berkeley National Laboratory, WINDOWS and Daylighting Group, USA (<http://WINDOWS.lbl.gov/software/>)

- THERM 2 User's Manual, June 1998
- WINDOW 5.0 User Manual, November 2001
- NFRC THERM 5.2 / WINDOW 5.2 Simulation Manual, July 2006
- Calculating fenestration product performance in WINDOW 6 and THERM 6 according to EN 673 and EN 10077

Lisø KR, Hygen HO, Kvande T, Thue JV. (2006) Decay potential in wood structures using climate data. Building Research and Information 34(6): 546-551

NorDan 2009, www.nordan.no

NS-EN 673: 1998. Bygningsglass - Bestemmelse av varmegjennomgangskoeffisient (U-verdi) – Beregningsmetode.

NS-EN 14351-1:2006 Vinduer og dører - Produktstandard, egenskaper - Del 1: Vinduer og ytterdører uten krav til motstand mot røyklekkasje ved brann, men med krav for takvinduer til utvendige brannegenskaper

NS-EN ISO 10456:2007. Byggematerialer og -produkter. Hygrotermiske egenskaper. Tabulerte dimensjonerende verdier og prosedyrer for bestemmelse av deklarete og praktiske termiske verdier. Desember 2007.

NS-EN ISO 10077-1: 2007. 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.

NS-EN ISO 12567: 2000. Dørers og vinduers termiske egenskaper - Bestemmelse av varmegjennomgangskoeffisient ved varmestrømapparatmetode - Del 1: Komplette dører og vinduer

SFT 2002, OBS-listen, Miljøvern myndighetens liste over helse- og miljøfarlige stoffer man skal være spesielt oppmerksom på. ISBN82-7655-466-0,
<http://www.miljostatus.no/no/Tema/Kjemikalier/Kjemikalielister/>

TEK 1997. Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk. FOR 1997-01-22 nr 33: Statens bygningstekniske etat. Byggeregler. <http://www.be.no/beweb/regler/regeltop.html>

Veiledning TEK. Veiledning til teknisk forskrift 1997. 4. utgave mars 2007
Statens bygningstekniske etat. Byggeregler. <http://www.be.no/beweb/regler/regeltop.html>

VFF Guidance Sheet HO.06 (2004) Timber species for window joinery – Requirements, table of timber species.

Uvin36. Dataprogram for beregning av senter U-verdi i henhold til NS-EN 673. Uvsløkk, SINTEF Byggforsk, oktober 2008.

SINTEF er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

SINTEF Byggforsk er et internasjonalt ledende forskningsinstitutt og Norges viktigste formidler av forskningsbasert kunnskap til bygge- og anleggsnæringen. Vi skaper verdier for våre kunder og for samfunnet gjennom forskning og utvikling, spesialrådgivning, sertifisering og kunnskapsformidling. Våre publikasjoner omfatter Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.