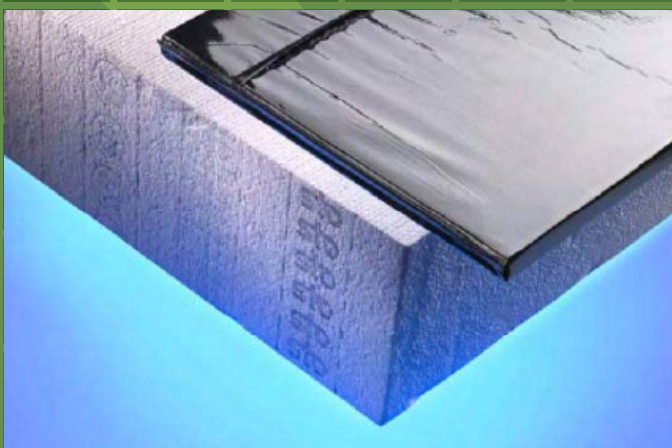
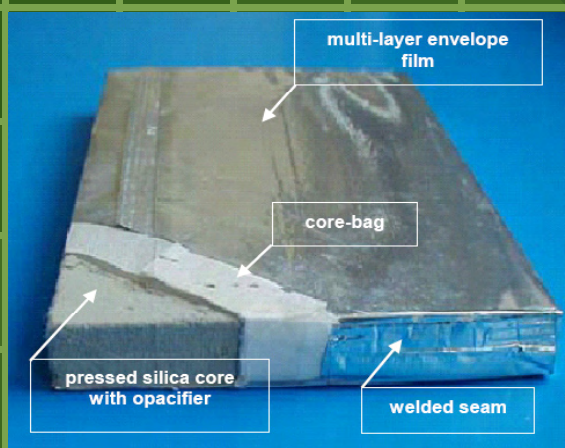


STEINAR GRYNNING, RUBEN BAETENS, BJØRN PETTER JELLE, ARILD GUSTAVSEN,
SIVERT UVSLØKK OG VIVIAN MELØYSUND

Vakuumisolasjonspaneler for bruk i bygninger – Egenskaper, krav og muligheter

Prosjektrapport 31

2009



SINTEF Byggforsk

Steinar Grynning, Ruben Baetens, Bjørn Petter Jelle, Arild Gustavsen, Sivert Uvsløkk og
Vivian Meløysund

Vakuumisolasjonspaneler for bruk i bygninger – Egenskaper, krav og muligheter

Prosjektrapport 31 – 2009

Prosjektrapport nr. 31

Steinar Grynning ^{a)}, Ruben Baetens ^{abc)}, Bjørn Petter Jelle ^{ab)}, Arild Gustavsen ^{d)},
Sivert Uvsløkk ^{a)} og Vivian Meløysund ^{a)}

Vakuumisolasjonspaneler for bruk i bygninger – Egenskaper, krav og muligheter

Emneord:

Vakuumisolasjon, vakuumisolasjonspanel, VIP, bygning

Prosjektnummer: B22479.18

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1050-4 (trykt)

ISBN 978-82-536-1048-1 (pdf)

100 eks. trykt av AIT AS e-dit

Innmat: 100 g scandia

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

a) SINTEF Building and Infrastructure, Forskningsveien 3 b, P.O.Box 124 Blindern,
NO-0314 Oslo/Høgskoleringen 7B, NO-7465 Trondheim, Norway

b) Department of Civil and Transport Engineering, Norwegian University of Science and
Technology (NTNU), Høgskoleringen 7A, NO-7491 Trondheim, Norway

c) Department of Architecture, Urbanism and Planning, Catholic University of Leuven
(KUL), Kasteelpark Arenberg 1, B-3001 Heverlee, Belgium

d) Department of Architectural Design, History and Technology, Norwegian University of
Science and Technology (NTNU), Alfred Getz vei 3, NO-7491 Trondheim, Norway

Deltakere i prosjektet:

SINTEF Building and Infrastructure
Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
AF Gruppen ASA
Glava AS
Icopal as
Isola as
Jackson AS

maxit as
Moelven ByggModul AS
Rambøll Norge AS
Skanska Norge AS
Statsbygg
Takprodusentenes forskningsgruppe (TPF)

Forord

Det blir et stadig strengere krav til tillatt varmegjennomgang i bygningers klimaskall. Dette fører til tykkere vegger, tak og golv ved bruk av konvensjonell isolasjon. Neste generasjons bygninger vil være lavenergi-, passiv- eller nullenergibygnings hvor veggtykkelser opp mot ca. 400 mm og enda tykkere tak kan forventes. Det er derfor et behov for å utvikle mer effektive isolasjonsmaterialer med redusert konduktivitet som vil gi reduserte tykkelser.

Høyisolerende materialer er tatt i bruk i bygninger internasjonalt, bl.a. vakuumisolasjonspaneler. Denne prosjektrapporten studerer vakuumisolasjonspaneler som finnes i markedet med hensyn til oppbygning, termiske egenskaper, levetid og bruksområder. Dersom vakuumisolasjonspaneler skal tas i bruk i en større skala enn i dag, er det en rekke utfordringer som må studeres nærmere. Den omhyllende folien rundt vakuumpanelene har bl.a. stor innvirkning på panelenes varmemotstand og levetid. Selv om panelene har stor varmemotstand, synker den effektive isolerende effekten betraktelig når panelene integreres i en bygningsdel.

ROBUST retter søkelyset mot klimatilpassede, miljø- og energieffektive løsninger for dagens og framtidens bygninger. Prosjektets hovedmål er å utvikle ny kunnskap og nye metoder for bruk av robuste konstruksjonsdetaljer og løsninger, og bruk av effektive isolasjonsmaterialer i godt isolerte bygninger. Resultatene vil bli innarbeidet i Byggforskserien.

Prosjektet omfatter studier relatert til utvikling og klassifisering av byggematerialer og konstruksjonsløsninger for lavenergi-, passiv- og nullenergibygnings, deriblant bygningers klimaskjerm og nye, innovative isolasjonsløsninger. Prosjektet ledes av SINTEF Byggforsk (verts-institusjon) og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) og gjennomføres i samarbeid med AF Gruppen, Glava, Icopal, Isola, Jackon, maxit, Moelven ByggModul, Rambøll, Skanska, Statsbygg, Takprodusentenes Forskningsforening (TPF). Prosjektet ble igangsatt våren 2008 og vil pågå til utgangen av 2011.

Vi ønsker å rette en takk til prosjektets partnere og Norges forskningsråd for finansiering av prosjektet.

Oslo/Trondheim, mars 2009

Vivian Meløysund
SINTEF Byggforsk
Prosjektleder ROBUST

Arild Gustavsen
NTNU
Vitenskapelig ansvarlig ROBUST

Sammendrag

Vakuumisolasjonspaneler (VIP) består av en porøs kjerne som er omsluttet av en damp- og lufttett folie som er forseglet mens det er tilnærmet vakuum i kjernematerialet. Avhengig av kjerne- materialet og folien kan ekvivalent varmekonduktivitet til et VIP ligge typisk 5 til 10 ganger lavere enn for konvensjonell varmeisolasjon.

Dersom VIP skal tas i bruk i en større skala enn i dag, er det en rekke utfordringer som må studeres nærmere. De viktigste problemstillingene som må utredes er å:

- utvikle praktiske, robuste og kostnadseffektive løsninger,
- begrense kuldebrovirkningen fra bæresystemet,
- beskytte panelene mot punktering både under transport, montering og under bruk,
- avklare praktiske U-verdier for aktuelle løsninger.

Den samlede termiske ytelsen til vakuumpanelet styres av en rekke parametere:

- kjernematerialet,
- omhyllende folie,
- panelets geometri,
- utettheter i skjøtene mellom elementene,
- tilstøtende konstruksjoner,
- aldring av panelene på grunn av luft og vanndampinntrenging.

Det mest brukte kjernematerialet i vakuumisolasjonspaneler i dag er *pressed fumed silica*. Dette materialet har en varmekonduktivitet på 0,004 W/(mK) ved et trykk på 1 mbar. Dette er et typisk trykknivå i nye vakuumisolasjonspaneler. Ved atmosfærisk trykk øker varmekonduktiviteten til ca 0,020 W/(mK) (for eksempel ved punktering).

Den omhyllende folien rundt vakuumpanelet har stor innvirkning på panelets samlede varme- motstand og levetid. Folien må ha

- lav permeabilitet for å hindre diffusjon av gass og vanndamp inn i kjernen
- lav varmeledningsevne for å minimere kuldebroer langs kantene av elementet.

Valg av folie er et kompromiss mellom kravene til lav permeabilitet og lav varmeledningsevne. Nyere typer folier er bygd opp av laminerte folier med svært tynne metallsjikt omgitt av plastmaterialer. Dette reduserer kuldebrovirkningen betraktelig sammenlignet med rene metall- folier, samtidig med at permeabiliteten øker noe.

Generelt vil panelets varmekonduktivitetsverdi øke i takt med et økt luft- og vanndamptrykk. Eksisterende forskning indikerer en økning i varmeledningsevnen fra 0,004 W/(mK) opp mot 0,008 W/(mK) i løpet av en praktisk levetid i overkant av 25 år.

Kuldebroer i kantsonen av panelene bidrar til et betraktelig varmetap. Størrelsen på varme- strømmen gjennom kuldebroen styres av foliens varmekonduktivitet og tykkelse, samt panelenes geometri. Store paneler gir lavere kuldebroverdier enn små paneler. Kuldebroene vil også påvirkes av tilstøtende konstruksjoner, og eventuelle luftåpninger mellom panelene eller mot de tilstøtende konstruksjonene.

Innhold

Forord	3
Sammendrag	4
1 Innledning	7
2 Termiske egenskaper	8
2.1 Kjernemateriale	8
2.2 Omhyllende folie	10
2.2.1 Metallfolier	10
2.2.2 Laminerte folier	10
2.3 Panelets geometri	12
2.4 Utettheter i skjøtene mellom elementene	14
3 Levetid og hygrotermiske egenskaper	15
3.1 Levetidsbegrepet for VIP	15
3.2 Aldring på grunn av økt gass- og vanndamptrykk	16
3.3 Permeans og temperatur	17
3.4 Permeans og relativ fuktighet	17
3.5 Samlet permeans for folien	17
4 Oppsummering av termiske og hygrotermiske ytelser på panelnivå for VIP	18
5 Tilstøtende konstruksjoner	19
5.1 Økte kuldebroverdier	19
5.2 Integrering av VIP i fasader, Vacuum Insulated Systems (VIS)	19
6 Vakuumisolasjon og bruk i bygninger	20
6.1 Fordeler og ulemper	20
6.2 Pågående og utførte prosjekter	20
6.3 Vakuumisolasjon i Norge	21
7. Besparingspotensiale ved bruk av VIP	22
8. Referanser	25
Vedlegg	27
Appendix A – List of appliances of VIP	28
List of projects applying VIPs in walls	28
List of projects applying VIP's in roofs, ceilings and floors	36
Appendix B - List of Vacuum Insulated Panels	38

1 Innledning

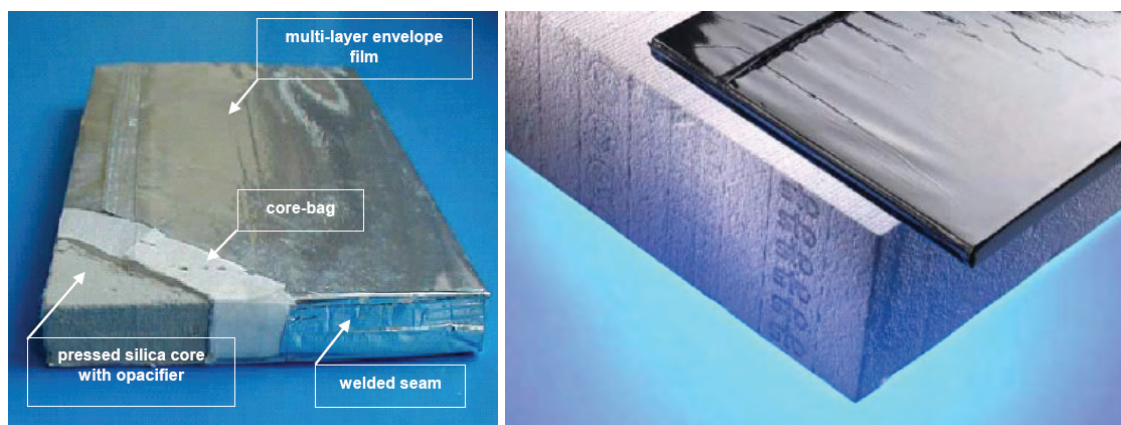
Vakuumisolasjonspaneler (VIP) består av en porøs kjerne som er omsluttet av en damp- og lufttett folie som er forseglet mens det er tilnærmet vakuum i kjernematerialet. Avhengig av kjernematerialet og folien kan ekvivalent varmekonduktivitet til et VIP typisk ligge 5 til 10 ganger lavere enn for konvensjonell varmeisolasjon.

Vakuumisolerte paneler har lenge vært i bruk på det europeiske markedet. De første panelene ble hovedsakelig brukt som isolasjon i fryser.

Allerede i 1999 ble det satt i gang et sveitsisk forskningsprogram på hvordan vakuumisolasjonspaneler kunne brukes i bygningssektoren. Siden den gang er det stort sett sveitsiske og tyske forskere som har studert vakuumpanelenes ytelse i byggregrelaterte sammenhenger.

Bruk av VIP i bygninger byr imidlertid på flere utfordringer.

Figur 1 viser oppbygningen av et typisk vakuumisolasjonspanel. Panelet består av et kjernemateriale eventuelt tilsatt såkalte *getters*, *dessicanter* og *opacifiers*, samt en omhyllende folie med tilnærmet vakuum innvendig. *Getters* absorberer gasser som trenger igjennom folien og *desiccants* absorberer vanndamp. Disse forhindrer en økning av det indre damp- og gasstrykket, inntil kapasiteten til de tilsatte materialene er mettet. *Opacifiers* blir tilsatt for å redusere varmestålingene i kjernematerialet.



Figur 1. Oppbygning av vakuumisolert panel til venstre [1] og sammenligning av vakuumisolasjon og tradisjonell isolasjon med samme varmegjennomgangskoeffisient til høyre [2].

2 Termiske egenskaper

Vakuumisolasjonspaneler er et sterkt inhomogent produkt. Dette skyldes den store forskjellen mellom kjernematerialets "superisolerende" evne og foliens høye varmeledningsevne. Dette gjør både modellering og analytiske beregninger av panelenes ytelse mer komplisert enn for et tradisjonelt og homogent isolasjonsmateriale. Den kraftig varmeledende folien fører til at kantsonen av panelene utgjør en kuldebro med betydelige varmetap sammenlignet med kjernen.

Den samlede termiske ytelsen til vakuumpanelet styres av en rekke parametere:

- kjernematerialet,
- omhyllende folie,
- panelets geometri,
- utettheter i skjøtene mellom elementene,
- tilstøtende konstruksjoner,
- aldring av panelene på grunn av luft og vanndampinntrenging.

2.1 Kjernemateriale

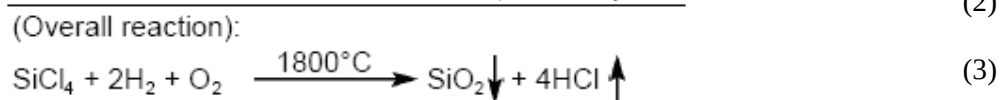
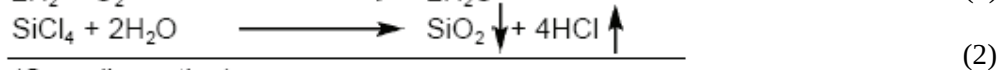
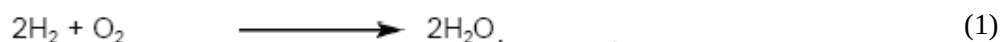
En rekke ulike materialer er brukt som kjernemateriale. Fiberglass, "open-cell" Polyurethan, XPS, aerogeler og *pressed fumed silica* (SiO_2) er noen eksempler.

De viktigste egenskapene til kjernematerialet er at det må

- ha god isolerende evne (lav varmekonduktivitet),
- kunne motstå det atmosfæriske trykket slik at elementet ikke kollapser og
- ha en åpen porestruktur slik at luften kan evakueres og vakuum skapes.

Kjernens totale varmekonduktivitet avhenger av en rekke faktorer. Som nevnt ovenfor, er porestrukturen av vesentlig betydning. Det mest brukte materialet i kommersielt tilgjengelige VIP er *pressed fumed silica*.

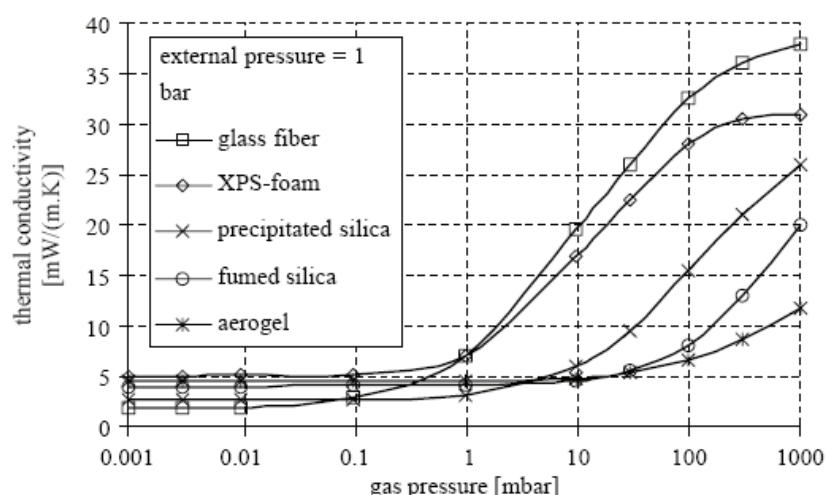
Fumed Silica er et høyporøst materiale som produseres ved hydrolyse¹ av silikon tetraklorid i en hydrogen – oksygen flamme. Reaksjonsligningene er som følger [4]



Det dannes et hvitt porøst pulver med en densitet lik 40 - 50 kg/m³. Ved bruk i VIP, presses dette pulveret sammen til solide paneler med en densitet i området 150-220 kg/m³. Materialet omtales da som *pressed fumed silica*. Porøsiteten til de pressede panelene ligger i området over 90 % med et spesifikt overflateareal i størrelsesorden 100 til 400 m²/g og en porestørrelse i området 300 nm.

Dette materialet beholder også sin gode isolerende evne, selv ved en økning i det interne gasstrykket [5]. Da folien rundt panelet ikke vil være 100 % damp- og gasstett, vil gasstrykket øke med tiden. Figur 2 viser hvordan varmeledningsevnen til en rekke kjernematerialer påvirkes av lufttrykket i kjernematerialet.

¹ kjem. prosesser hvor forbindelser ved å reagere med vann, spaltes i to eller flere nye forbindelser [3]



Figur 2. Varmekonduktivitet for typiske kjernematerialer som funksjon av internt gasstrykk [5].

Av Figur 2 ser man at fumed silica har en god ytelse og kan tåle et høyere gasstrykk enn for eksempel glassfiber før varmekonduktiviteten øker nevneverdig. Videre ser man at dette materialet har en varmeledningsevne tilsvarende ca halvparten av tradisjonelle isolasjonsmaterialer, selv ved atmosfærisk trykk.

Varmeledningsevnen til et kjernemateriale av fumed silica vil øke med en faktor på ca. 5 fra et gasstrykk på 1 mbar til atmosfærisk trykk. Det er tydelig at gasstrykkøkningen i panelet vil være den styrende parameteren for panelets levetid. Varmekonduktiviteten til kjernematerialet, $\lambda(t)$, kan beskrives som en funksjon av tiden etter ligning 4 [1].

$$\lambda(t) = \lambda_{init} + \frac{\lambda_{atm}}{1 + \frac{p_{1/2,luft}}{p_{luft}(t)}} + b \cdot X_w(t) \quad (4)$$

$\lambda(t)$	=	varmekonduktivitet ved tiden t	[W/(mK)]
λ_{init}	=	varmekonduktivitet ved initialtrykk (1 mbar)	[W/(mK)]
λ_{atm}	=	varmekonduktivitet ved atmosfærisk trykk (1 mbar)	[W/(mK)]
$p_{1/2,luft}$	=	lufttrykk der konduktiviteten er halvparten av konduktivitet for fri og stillestående gass	[Pa]
$p_{luft}(t)$	=	lufttrykk ved tiden t	[Pa]
b	=	konstant, avhenger av kjernematerialets sorpsjonsisoterm	
$X_w(t)$	=	vanninnhold ved tidspunkt t	[kg/kg]

Verdiene i ligning 4 er gyldige for et panel med *pressed fumed silica* kjernemateriale med densitet $\rho_{VIP} \approx 170 \text{ kg/m}^3$, $\lambda_{evac} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ W/(mK)}$. Omgivelsene styrer parameterne $p_{1/2,luft}$, λ_{atm} og b. Ut i fra materialparametere for folien, kan de tidsavhengige $p_{luft}(t)$ og $X_w(t)$ bestemmes. Konduktiviteten til kjernematerialet som funksjon av tiden kan da bestemmes. Dette diskuteres videre i kapittel 3.

Gasstrykket øker i hovedsak på grunn av fukt- og gassdiffusjon gjennom den ytre folien. I tillegg vil porøse materialer ha en viss egenproduksjon av gasser (avgassing). Denne avgassing er svært lav for silica og bidrar ytterligere til silicaens egnethet som kjernemateriale i VIP.

2.2 Omhyllende folie

Den omhyllende folien rundt vakuumpanelet har stor innvirkning på panelets samlede varmemotstand og levetid. Folien må ha

- lav permeabilitet for å hindre diffusjon av gass og vanndamp inn i kjernen og
- lav varmeledningsevne for å minimere kuldebroer langs kantene av elementet

Inntrengning av gasser og vanndamp fører til en reduksjon av kjernens varmemotstand, som vist i Figur 2. Hastigheten på gass- og vanndampinntrengningen er de viktigste faktorene ved bestemmelse av panelets levetid. Kravet til lav permeabilitet gir en rekke føringer for materialvalget. Folier i metall oppfyller lettest materialkravene med hensikt til å sikre en lav permeabilitet. Metaller leder imidlertid varme godt og oppbygningen av folien vil være resultatet av et kompromiss mellom krav til lav permeabilitet og lav varmeledningsevne.

2.2.1 Metallfolier

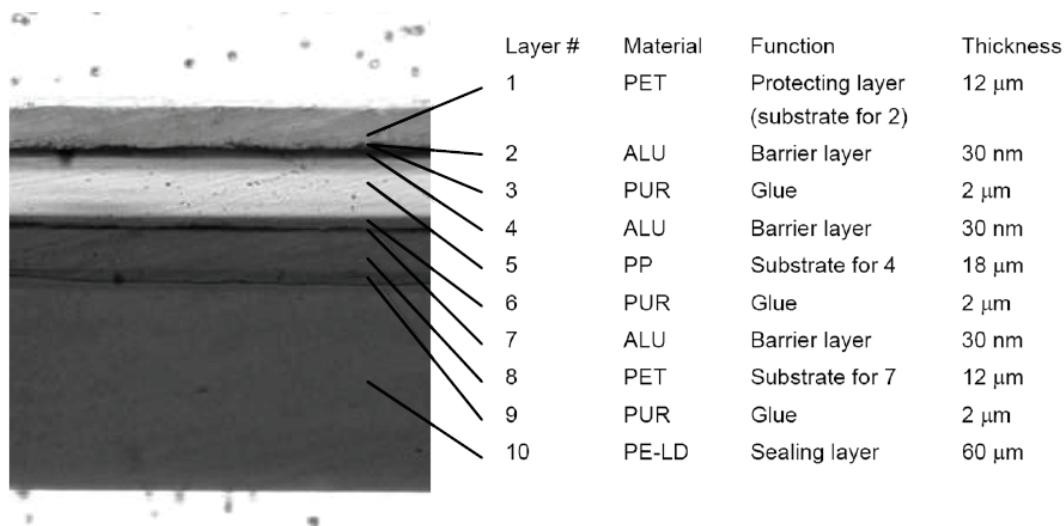
Bruk av rene metallfolier gir opphav til store varmetap i randsonen av elementet. Disse kuldebroene er av så stor betydning at de kan øke den totale varmeledningsevnen til panelet med flere hundre prosent [6].

2.2.2 Laminerte folier

For å unngå kuldebroer grunnet den høye varmeledningsevnen til folien rundt panelet brukes det pr. i dag stort sett laminerte aluminiumsfolier (AF) og såkalte *"multilayer foils"* (MF).

Folier av typen AF består av en tilnærmet 8 μm tykk aluminiumsfolie, laminert på begge sider med plastfolie.

Folier av typen MF består av flere lag plastfilm med pådampede tynne metallsjikt satt sammen, som vist i Figur 3, for å lage en folie med lavest mulig varmekonduktivitet kombinert med en lav permeabilitet. Tykkelsen på metallsjiktene i denne typen folie utgjør til sammen cirka 100 nm. Dette er i størrelsesorden 100 ganger tynnere enn for en AF-folie og gir derfor lavere kuldebrotap ved kantene sammenlignet med aluminiumsfolien.



Figur 3. Typisk materialoppbygning for folie av typen MF [7].

Effekten av ulike typer folie på den totale varmeledningsevnen til et vakuumpanel er studert i en rekke tidligere arbeider. Resultatene fra to av disse rapportene [8] og [1] vises i hhv. Tabell 1 og Figur 4.

Tallene i Tabell 1 er beregnet for et panel med dimensjoner 1 m x 1 m. λ_{eff} beregnes etter ligning 5. Det er ikke tatt hensyn til aldring av panelene ved denne beregningen.

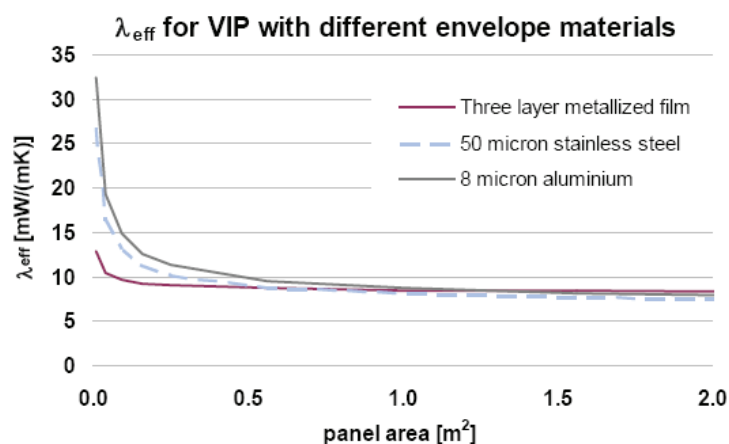
$$\lambda_{\text{eff}} = \lambda_{\text{cop}} + \psi_{\text{edge}} \cdot d \cdot \frac{P}{A} \quad (5)$$

λ_{eff}	= ekvivalent varmekonduktivitet for hele panelet	[W/(mK)]
λ_{cop}	= varmekonduktivitet for senterdel av panelet	[W/(mK)]
ψ_{edge}	= lineær kuldebroverdi	[W/(mK)]
d	= tykkelse av VIP	[m]
P	= omkretsen av flaten A	[m]
A	= areal av VIP	[m ²]

Tabell 1. Effekten av ulike typer folie på varmeledningsevnen i VIP med fumed silica kjernemateriale [8].

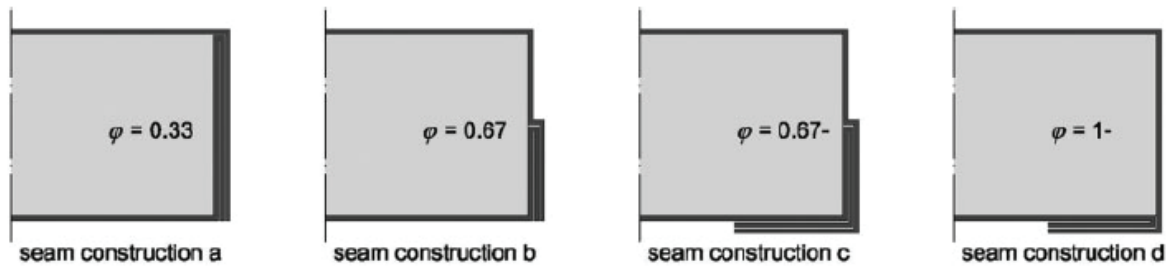
VIP	d [m]	λ_{cop} [W/(mK)]	ψ [W/(mK)]	λ_{eff} [W/(mK)]
Folie A, 90 nm aluminium	0,02	$4,14 \cdot 10^{-3}$	$6,96 \cdot 10^{-3}$	$4,70 \cdot 10^{-3}$
Folie B, 300 nm aluminium	0,02	$3,91 \cdot 10^{-3}$	$9,19 \cdot 10^{-3}$	$4,65 \cdot 10^{-3}$
Folie C, 800 nm aluminium	0,018	$3,95 \cdot 10^{-3}$	$52,44 \cdot 10^{-3}$	$7,73 \cdot 10^{-3}$

I Figur 4 er effekten av foliens innvirkning på den ekvivalente varmekonduktiviteten for hele panelet studert for paneler av ulik størrelse. Figuren indikerer en trend der betydningen av foliematerialet avtar med en økt panelstørrelse og redusert folietykkelse. Effekten av panelets størrelse på λ_{eff} diskuteres videre i kapittel 2.3 om panelets geometri.



Figur 4. Effektiv varmekonduktivitet for ulike foliematerialer og kjernemateriale med $\lambda_{\text{eff}} = 8 \cdot 10^{-3}$ W/(mK) [1].

Verdiene for den ekvivalente varmekonduktiviteten i Figur 4 er beregnet for et panel med tykkelse 20 mm og kjernemateriale av fumed silica. Beregningene er gjort for allerede paneler, med $\lambda_{\text{cop}} = 8 \cdot 10^{-3}$ W/(mK). Av ligning 5 ser man at kuldebrovirkningen av folien avhenger av panelets tykkelse og verdiene i Figur 4 er bare representative for paneler med tykkelse 20 mm. Hvordan panelets tykkelse påvirker kuldebroverdien diskuteres i kapittel 2.3.



Figur 5. Ulike utforminger av folieskjøtene, [9].

En annen viktig faktor for varmetapet gjennom den omhyllende folien er utforming av skjøtene av folien. Dette kan gjøres på ulike måter, som vist i Figur 5 [9]. Størrelsen ϕ avhenger av type folieskjøt. ϕ -verdiene angitt på Figur 5 inngår som en faktor i beregningen av den lineære kuldebroverdien, der ψ_{edge} er proporsjonal med en faktor ϕ^{-1} . Utformingen av skjøten kan dermed gi en økt kuldebroverdi for panelet avhengig av utførelse.

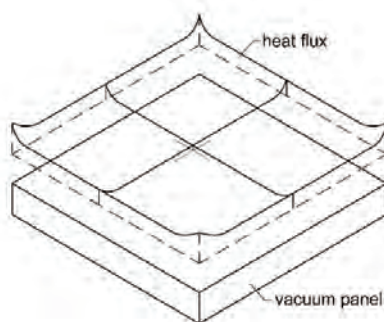
2.3 Panelets geometri

Av ligning 6 ser man at den totale varmegjennomgangskoeffisienten, U_{eff} , avhenger av panelets geometri. Bidraget fra kantsonen legges til varmetapet gjennom kjernen av elementet. Figur 6 illustrerer den økte varmefluksen (ψ_{edge}) mot kantsonen av elementet og en ytterligere økning ved panelets hjørner (X_{corner}).

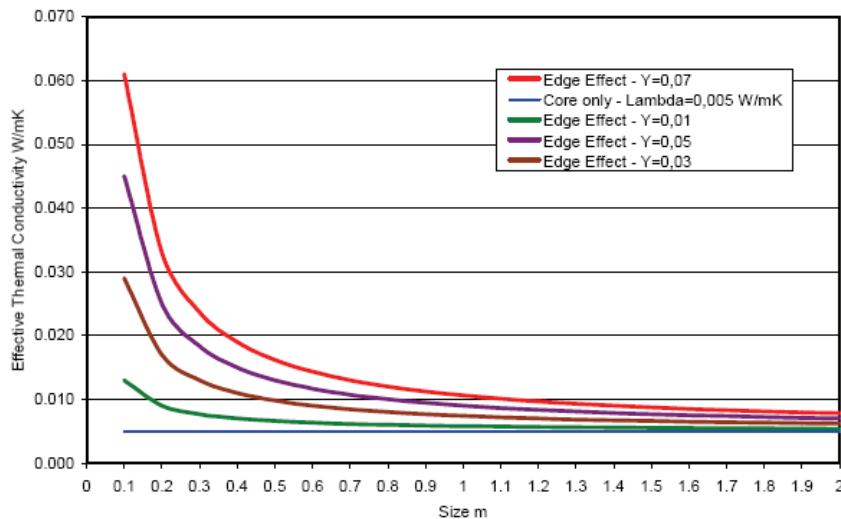
Et kvadratisk tverrsnitt gir minste mulige omkrets av en flate med areal A . Som det fremgår av ligning 6 gir en reduksjon av lengden, l , en resulterende lavere U_{eff} . Store paneler vil komme heldigere ut enn små elementer da store paneler har en mindre omkrets relativt til arealet enn små paneler. Dette tydeliggjøres i Figur 7.

$$U_{eff} = \frac{\sum (U_{cop} \cdot A) + \sum (\psi_{edge} \cdot l) + \sum X_{corner}}{A} \quad (6)$$

U_{eff}	= ekvivalent varmegjennomgangskoeffisient for hele panelet	$[W/(m^2K)]$
U_{cop}	= varmegjennomgangsverdi for senter av panelet	$[W/(m^2K)]$
ψ_{edge}	= lineær kuldebroverdi	$[W/(mK)]$
l	= lengde av kuldebroen (panelets omkrets)	$[m]$
X_{corner}	= tredimensjonal kuldebroverdi (for hjørnene av panelet)	$[W/K]$
A	= areal av VIP	$[m^2]$



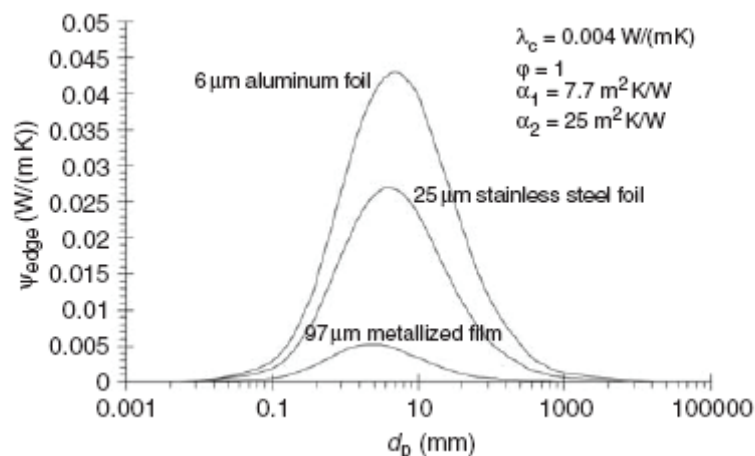
Figur 6. Økt varmefluks i vakuumpanelenes kantsone og hjørner [10].



Figur 7. Effekten av panelstørrelse og kuldebroer i randsonen på den totale varmekonduktiviteten for panelet. Y angir kuldebroverdien for randsonen [10].

Figur 7 viser verdier, beregnet etter ligning 5, for den ekvivalente varmekonduktiviteten for ulike kuldebroverdier og panelstørrelser. Tallene for Y i Figur 7 er inngangsverdi for størrelsen ψ_{edge} i ligning 5. Man ser at jo mindre panelet er, jo større er effekten av kuldebroene. Disse verdiene er bekreftet ved målinger av panelene i *varmeplateapparat (ISO 8302)* [10]. Et resultat av denne relasjonen mellom areal og U_{eff} viser at en mer damptett folie kan benyttes i paneler av en viss størrelse uten at det får store innvirkninger på den termiske ytelsen til panelet. AF folier, som er mer damptette enn MF folier, kan da benyttes for å gi en økt levetid for panelene.

Panelets tykkelse vil også spille en rolle for hvor stort varmetapet vil være gjennom kantsonen av panelet. I en tidligere studie [11], er det gjort et forsøk på å utvikle en analytisk modell for å beskrive blant annet effekten av ulike paneltykkelser på kuldebroverdien i kantsonen. Resultatene fra dette arbeidet er vist i Figur 8.



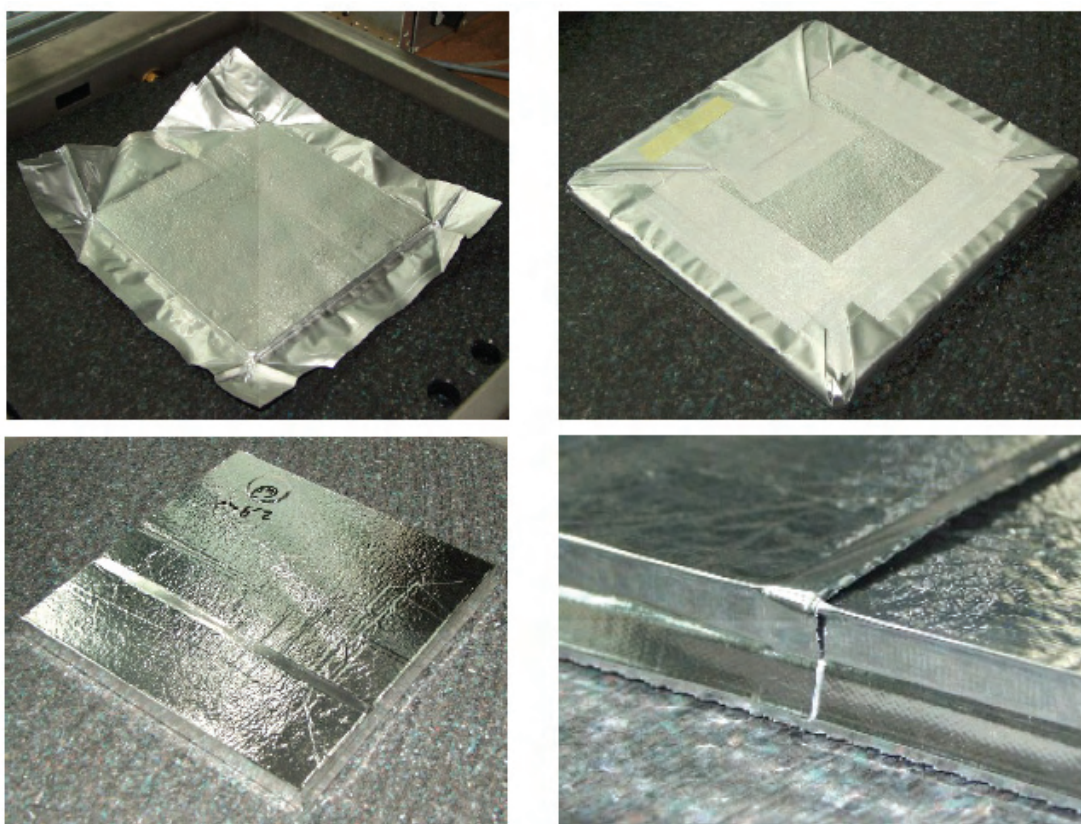
Figur 8. Kuldebroverdier som funksjon av paneltykkelse [11].

Figur 8 viser hvordan kuldebrovirkningen i randsonen avtar med økende paneltykkelse og at kuldebroene utgjør størst effekt ved en paneltykkelse under 10 mm.

2.4 Utettheter i skjøtene mellom elementene

Ved produksjon av vakuumisolerte paneler vil det ved evakuering av luft i panelene oppstå uregelmessigheter i elementenes overflate. Det er vanskelig å forutsi helt nøyaktig hvor mye kjernematerialet komprimeres ved denne prosessen. Måten folien "pakkes" rundt kjernen, vist på Figur 9, kan også bidra til ujevnheter langs panelets sidekanter. Dette fører til små avvik fra standard dimensjoner for elementene. Dette kan i sin tur føre til utettheter i skjøtene mellom elementene. Disse lufttrommene leder varme mye bedre enn selve elementet og gir opphav til kuldebroer.

For å unngå utettheter mellom panelene stilles det også store krav ved montasje av elementene. De må monteres svært nøyaktig for å unngå luftrom mellom elementene. Dersom utettheter oppstår rundt elementene vil varmetapet i panelenes kantsone øke som en konsekvens av dette. En tysk rapport [6] har studert den kvantitative effekten av slike utettheter. Beregninger som har blitt gjort er gjengitt i Tabell 2.



Figur 9. To ulike produksjonsmetoder ved forsegling av VIP [5].

Tabell 2. Lineære kuldebroer som følge av åpninger mellom panelene. Tallene uttrykker den lineære kuldebroverdier med enhet $W/(mK)$ for to ulike folietyper. (Det er regnet med varmeovergangsmotstander lik $0 \text{ m}^2K/W$ ved panelenes overflate) [6].

Kuldebro- virkning [W/(mK)]	Laminert Aluminiumsfolie		Laminert Multilayer folie	
	VIP 1 cm tykkelse	VIP 2 cm tykkelse	VIP 1 cm tykkelse	VIP 2 cm tykkelse
0 mm åpning	0,319	0,160	0,003	0,003
2 mm åpning	0,328	0,168	0,011	0,009
5 mm åpning	0,343	0,181	0,026	0,022

3 Levetid og hygrotermiske egenskaper

3.1 Levetidsbegrepet for VIP

Gasstrykket og fuktforholdene internt i panelet er de styrende faktorene for panelets levetid. Ved produksjon har de fleste paneler et gasstrykk på 1 mbar. Mengden av gass og vanndamp som trenger inn i panelet over tid vil være avgjørende for hvor lenge panelet opprettholder kravene som er stilt til varmegjennomgangskoeffisienten til bygningsdelen de er implementert i. Inntreknings-hastigheten styres i hovedsak av foliens materialegenskaper og de ytre klimapåkjenningene. De viktigste materialegenskapene og ytre klimatiske parametere kan oppsummeres i følgende punktlistor:

Materialegenskaper

- Gasspermeabilitet
- Vanndamppermeabilitet
- Kjernematerialets respons på trykkøkning
- Panelets geometri

Ytre faktorer

- Temperatur
- Fuktforhold (relativ fuktighet)
- Mekaniske laster

På basis av disse punktene kan en praktisk levetid for panelene bestemmes. Som nevnt i kapittel 2.1 vil økningen i kjernematerialets varmekonduktivitet være den styrende faktoren for hva man i praksis vil kalle panelenes levetid. Levetiden t_{SL} vil kunne defineres som tiden frem til varmekonduktiviteten for senterdelen av panelet λ_{cop} har nådd en grenseverdi λ_{lim} . Følgende uttrykk vil da definere levetiden for et VIP:

$$\lambda_{cop} |_{t=t_{SL}} = \lambda_{lim} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \lambda_{cop} |_{t=t_{SL}} &= \text{varmekonduktivitet for senterdel av panelet når levetiden er utløpt} \quad [\text{W}/(\text{mK})] \\ \lambda_{lim} &= \text{grenseverdi for varmekonduktivitet for senterdel av panelet} \quad [\text{W}/(\text{mK})] \end{aligned}$$

Den termiske ytelsen til panelet styrer i stor grad hvor store ekstrakostnader som kan forsvares ved bruk av VIP kontra konvensjonell isolasjon. Dersom isolasjonsegenskapene synker under et gitt nivå, trengs det i praksis tykkere paneler, og differansen i isolasjonstykkelsen i forhold til konvensjonell isolasjon vil avta.

Sveits og Tyskland er de to landene der forskningen på VIP har kommet lengst. I Sveits har en kommet frem til en grenseverdi for akseptabel varmeledningsevne for senterdelen av panelet [1]. Verdiene er vist i Tabell 3. For å ta hensyn til et høyere lineært kuldebrottillegg for randsonen til panelet med aluminium, er kravet til λ_{cop} satt noe lavere enn den for et panel med metallisert polymerfolie.

Tabell 3. VIP Dimensjoneringsverdier for varmekonduktivitet [1].

Sveitsiske dimensjoneringsverdier for varmekonduktivitet	λ_{cop} [W/(mK)]
Aluminiumfolier (AF)	0,006
Metalliserte polymerfolier (MF)	0,008

Økningen i varmekonduktivitet tar hensyn til en årlig gasstrykkøkning på 2,5 mbar, og en årlig damptrykkøkning på 0,16 masse-% for paneler med MF-folie. AF-folier har i snitt en lavere

permeabilitetsverdi enn MF-folier og det regnes med halverte verdier for gass- og damptrykk-økning. Dette gir en levetid for panelene på 25 år under normale bruksbetingelser. Dersom gunstigere bruksbetingelser (lavere temperatur og RF) kan dokumenteres, åpnes det for at en lavere dimensjoneringsverdi kan benyttes. En anslått levetid på 25 år kan virke å være noe konservativ. Andre rapporter antyder at lengre levetid vil være fullt oppnåelig. En rapport [13] antyder at en årlig trykkøkning < 1 mbar bør være fullt oppnåelig for VIP'er. En rapport fra Delft University of Technology i Nederland [14] antyder at for Nordvest- Europeiske klimabetingelser kan levetiden anslås å ligge rundt det dobbelte av laboratoriemålt levetid grunnet en lavere gjennomsnittstemperatur. Ved fastsettelse av dimensjoneringsverdiene i Tabell 3, er det testet med klimabetingelser; T=23°C og 50 % relativ fuktighet [7].

Eksisterende forskning indikerer en økning i varmeledningsevnen fra 0,004 W/(mK) opp mot 0,008 W/(mK) i løpet av en praktisk levetid i overkant av 25 år.

3.2 Aldring på grunn av økt gass- og vanndamptrykk

Generelt vil lufttrykkdifferansen over folien indusere en massetransport gjennom folien og inn i kjernen. Dette styres av foliens permeabilitet og tykkelse [13].

$$J_{gas} = P_{gas} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta x} = Q_{gas} \cdot \Delta p \quad (8)$$

J_{gas}	= masseflukstetthet	$[m^3/(m^2s)]$
P_{gas}	= permeabilitet	$[m^3/(msPa)]$
Δp	= trykk	$[Pa]$
Δx	= folietykkelse	$[m]$
Q_{gas}	= permeans	$[m^3/(m^2sPa)]$

Permeabiliteten til et materiale er en funksjon av blant annet temperatur- og fukt-betingelser. For metalliserte polymerfolier vil permeabilitetsverdien for de enkelte materialsjiktene ikke kunne benyttes for å beskrive en ekvivalent permeabilitet. Det benyttes da en verdi for permeansen. Denne størrelsen for den samlede folien må måles i et laboratorium. Trykkdifferansen Δp er tilnærmet lik atmosfæretrykket, da det interne trykket i et vakuumisolasjonspanel er svært lavt sammenlignet med det eksterne trykket. De styrende parametrene for folien i et panel vil være temperaturen og relativ fuktighet i omgivelsene, samt panelets geometri.

For det desidert mest brukte kjernematerialet på markedet, *pressed fumed silica*, vil varmekonduktiviteten til senterdelen av panelet stige til omtrent 0,020 W/(mK) ved atmosfærisk trykk. Dette betyr at selv ved punktering har VIP en såpass lav ledningsevne som 0,020 W/(mK), som er nesten halvparten av ledningsevnen til konvensjonell isolasjon (for eksempel mineralull).

3.3 Permeans og temperatur

Diffusjonen gjennom folien styres av omgivelsenes temperatur og relative fuktighet. Temperatur-avhengigheten styres av en Arrhenius-ligning [13]. Den kan uttrykkes som:

$$Q(T) = Q(T_0) \cdot \exp\left(\frac{E_a}{R} \left[\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right]\right) \quad (9)$$

Q =	permeans	[m ³ /(m ² sPa)]
R =	gasskonstanten	[J/(mol K)]
E _a =	aktiviseringsenergi	[J/(mol)]
T =	temperatur	[K]
T ₀ =	referansetemperatur	[K]

Man ser av ligning 9 at permeansen er proporsjonal med en faktor e^T. Temperaturen har altså stor innvirkning på levetiden til panelet. Tabell 4 viser beregnede verdier gjort i en eksisterende rapport [13] for tre ulike typer folier ved ulike temperaturer.

Tabell 4. Innvirkning av temperaturendringer på foliens permeans.

Verdier av faktoren $\exp\left(\frac{E_a}{R} \left[\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right]\right)$, ved T ₀ =25°C			
Temperatur [°C]	AF folie	MF folie (type 1)	MF folie (type 2)
0	0,39	0,23	0,35
10	0,58	0,43	0,47
45	1,9	2,7	2,0
65	3,4	6,7	3,8
85	4,9	12,2	5,8

3.4 Permeans og relativ fuktighet

Fuktforholdene i panelets omgivelser vil også påvirke panelets permeans. For visse plasttyper vil permeansen forandres betraktelig avhengig av relativ fuktighet (RF). Det er imidlertid ikke helt klart hvilke transportmekanismer som ligger til grunn for endring i permeans på grunn av en endring i RF [13].

En direkte konsekvens av høyere RF vil være en økning i damptransporten gjennom folien.

3.5 Samlet permeans for folien

For å uttrykke den samlede gasstrømmen G_{gas,total} gjennom hele folieoverflaten kan følgende ligning benyttes:

$$G_{gas,total} = Q_{gas,A}(T, \varphi) \cdot A + Q_{gas,L}(T, \varphi) \cdot L + Q_{gas,P}(T, \varphi) \quad (10)$$

G _{gas, total}	= gasstrøm (samlet)	[m ³ /(sPa)]
Q _{gas, A}	= permeans for overflatene	[m ³ /(m ² sPa)]
Q _{gas, L}	= permeans for lengde av sidekantene	[m ³ /(msPa)]
Q _{gas, P}	= permeans for punktdefekter	[m ³ /(sPa)]
T	= temperatur	[K]
φ	= relativ fuktighet	[%]
A	= samlet areal av panelet	[m ²]
L	= lengde av panelenes sidekanter	[m]

G_{gas, total} er en funksjon av temperatur og trykkgradient etter ligning 10. G_{gas, total} gir et uttrykk for den samlede gasstrømmen (vanddamp + luft).

4 Oppsummering av termiske og hygrotermiske ytelser på panelnivå for VIP

Den samlede størrelsen av kuldebroene for vakuumpanelet avhenger av følgende to faktorer:

- Omhyllende folie
- Panelets geometri.

Kjernematerialets konduktivitet avhenger av det interne damp- og gasstrykket. Med basis i diskusjonen i de tidligere kapitlene kan det anslås en omtrentlig ekvivalent verdi for hele panelet. Denne verdien omtales som panelets *design value*, altså panelets dimensjoneringsverdi. Verdien beskriver varmekonduktiviteten til vakuumpanelet inkludert effekten av kuldebroer og en økning i det indre gasstrykket tilsvarende en aldring på 25 år.

Flere kilder oppgir denne dimensjoneringsverdien til 0,008 W/(mK). Denne verdien er omlag dobbelt så stor som varmekonduktivitetsverdien til kjernematerialet ved ideelle trykkforhold.

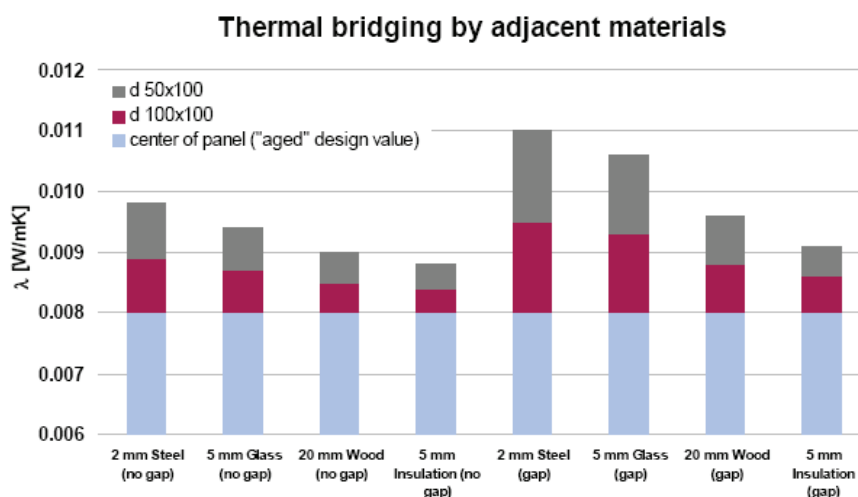
I en reell brukssituasjon skal vakuupanelene integreres som en del av en større konstruksjon. Ved numeriske beregninger av vakuumisolasjon satt inn i en større konstruksjon er det ofte lite hensiktsmessig å modellere elementet med alle bestanddelene. De svært tynne sjiktene i omhyllingsfolien kan ikke modelleres separat og et ekvivalent sjikt med en samlet ekvivalent varmekonduktivitetsverdi må brukes. Dette kan i sin tur føre til at modelleringen av folien i en numerisk modell gir økt usikkerhet i beregningsresultatene.

5 Tilstøtende konstruksjoner

5.1 Økte kuldebroverdier

På flere av produsentenes hjemmesider blir VIP fremstilt som et vidunderprodukt med en 10 ganger bedre isolerende evne enn konvensjonell isolasjon. Dette er en sannhet med modifikasjoner. Panelets kjernemateriale alene innehar egenskaper av en slik art, men så snart VIP'ene skal integreres i en bygningsdel synker den effektive isolerende effekten betraktelig på grunn av aldring og kuldebroer i randsonen.

Kuldebroen langs panelets kantsone påvirkes av de tilstøtende konstruksjonene. Avhengig av de tilstøtende konstruksjonenes varmeledningsevne vil de i større eller mindre grad påvirke kuldebroene rundt de vakuumisolerte panelene. Dette er vist i Figur 10.



Figur 10. Kuldebrovirkning av tilstøtende materialer på den totale varmeledningkoeffisienten for VIP [1].

5.2 Integrering av VIP i fasader, Vacuum Insulated Systems (VIS)

På grunn av panelenes høye grad av sårbarhet med hensyn til mekaniske påkjenninger vil det i mange tilfeller være hensiktsmessig å benytte seg av vakuumisolerte paneler satt inn i mer solide moduler. Disse modulene kan deles inn i to hovedkategorier [15]: Sandwichmoduler og en "edge spacer construction", heretter forkortet til ESC.

Sandwich modulen (VIS) består av et beskyttelsespanel limt på begge sider av vakuumpanelet.

ESC-typen krever bruk av en avstandslist, mye likt det som benyttes i vinduer for å oppnå en ønsket mekanisk styrke. Edge spacer modulen ligner i mange henseender på et tolags vindu med en lastbærende avstandslist rundt panelet. Utforming og materialvalg i avstandslista kan gi betydelige tilleggsvarmetap rundt panelet. Eksisterende studier [5,8,16] diskuterer både numeriske og analytiske metoder for å kvantifisere effekten av avstandslista på panelets effektive konduktivitet.

Et tidligere studie [16] viser en analytisk approksimasjon for å beskrive det totale varmetapet gjennom en ESC modul. I dette studiet er det utarbeidet en analytisk modell som er verifisert med en stor mengde numeriske beregninger. Det er ikke gjort praktiske forsøk for å verifisere de numeriske beregningenes nøyaktighet.

6 Vakuumisolasjon og bruk i bygninger

6.1 Fordeler og ulemper

På basis av erfaringer utenlandske forskningsinstitusjoner, produsenter, arkitekter og entreprenører har gjort seg kan det oppsummeres en del fordeler og ulemper knyttet til vakuumisolasjon. Dette vises i Tabell 5.

Tabell 5. Styrker og svakheter ved bruk av VIP i bygninger.

Fordeler	Ulemper
Høy isolerende evne	De er <i>skjøre</i> og må ha mekanisk beskyttelse mot punkteringer av foliematerialet.
Tynnere yttervegger	Isolasjonsevnen reduseres over tid
Frigjør gulvareal = økte leie / salgsinntekter	Begrenset levetid krever mulighet for utskifting
Egnet ved rehabilitering av bygg med restriksjoner av ulik art	Foliematerialet gir kuldebroer ved kantene og kan påvirke ekvivalent varmeledningsevne i stor grad.
Kan brukes som kuldebroisolasjon der det er lite plass.	Påvirkes av omkringliggende materialer i større grad enn konvensjonell isolasjon, pga randsonen av metall. Dette gir kuldebroer.
Et materiale for fremtiden?	Mindre egnet i bindingsverksvegger eller andre typer vegger der isolasjonssjiktet brytes
Som eneste isolasjonssjikt i nye norske konstruksjoner vil antakeligvis fire cm tykkelse på VIP være nødvendig.	Lite fleksible. Kan ikke så enkelt tilpasses "omgivelsene" som konvensjonell isolasjon
Lavere brukstemperatur gir lenger levetid, noe som er gunstig i et nordisk klima.	Lavere toleransegrenser for unøyaktigheter i panelene enn for konvensjonell isolasjon.
	Nøyaktige planer må lages for leggemønsteret

Bruk av VIP gir som vist i tabellen over en rekke utfordringer. Problemstillinger som må studeres mer inngående er å:

- begrense kuldebrovirkningen fra bæresystemet,
- beskytte panelene mot punktering både under transport, montering og i bruksperioden,
- utvikle praktiske, robuste og kostnadseffektive løsninger og
- avklare praktiske U-verdier for aktuelle løsninger

6.2 Pågående og utførte prosjekter

Das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern) har i tidsrommet 1. januar 2000 til 30. juni 2003 sammen med 16 prosjektpartnere fra industri og næringsliv gjort studier vedrørende utvikling og bruk av VIP i bygninger [17]. Ni ulike demonstrasjonsobjekter i Tyskland er oppført og studert.

I 2002 ble det igangsatt et forskningsprosjekt med temaet vakuumisolasjon i bygninger. Et internasjonalt forskerteam, hovedsakelig av tyske og sveitsiske forskere arbeidet blant annet med å kartlegge ferdigstilte bygg der VIP hadde blitt brukt. Faktorer som levetid, termiske egenskaper, pålitelighet og kostnad er studert [15]. Det ble observert bygg med VIP i blant annet gulv, vegger, tak, prefabrikkerte sandwich- og fasadeelementer.

Som en del av arbeidet i Annex 39 til *International Energy Agency (IEA) Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS)* [15], er det studert ytterligere eksempler på bygninger der vakuumisolasjon er benyttet.

Tabell 6 VIP referansebygg

Objekt	Ansvarlig utførende
Rehabilitering av gavlfasade in Nürnberg	Schnös Trockenbau
Nybygg i tre München	Architektbüro Lichtblau
Rehabilitering av rekkehus med utvendig isolasjon i fasade	Architektbüro Lichtblau
Utbygging av sykehus VIP brystningspanel i tre stenderverk	Fa. Glas-Keil GmbH & Co. KG
Rehabilitering av gulv i turnhall i Gemünden	Ing. Büro Rosel
Installering av varmesystem i vegg i en eksisterende kirke	Architektbüro Hasse & Partner
Rehabilitering av kjellertak og utvendig gangareal	Bayosan Wachter GmbH
Rehabilitering av gulv i turnhall i Nürnberg	va-Q-tec AG
Rehabilitering av Ortgang	ZAE Bayern

Den vanligste konstruksjonen der VIP benyttes er pr. i dag som isolasjon i terrasser på flate tak [18]. For denne typen konstruksjoner kan man, ved bruk av VIP, unngå store nivåsprang selv om det stilles høyere krav til isolasjonsevnen i terrassegulvet (mot utvendig klima) enn for innvendige gulv. En del av prosjektene er listet i Vedlegg, A.

6.3 Vakuumisolasjon i Norge

Vakuumisolasjonspaneler er et forholdsvis nytt isolasjonssystem her i Norge, og har foreløpig bare blitt brukt i et relativt begrenset omfang. En fordel med det norske klimaet er en lavere gjennomsnittstemperatur over året, noe som kan bidra til en senkning av hastigheten på luft- og fuktinntrengningen i VIP'ene sammenlignet med bruk ved høyere gjennomsnittstemperatur.

Norsk byggeskikk skiller seg også noe fra den som benyttes i Sveits og Tyskland der de fleste studiene av oppførte bygninger har funnet sted. Norsk byggeskikk skiller seg i vesentlig grad fra den *kontinentale* ved at det i mye større grad benyttes tre som konstruksjonsmateriale. Norske småhus bygges nesten utelukkende med bindingsverk i tre og en luftet takkonstruksjon av tre. Større bygg, der det kan være interessant å benytte VIP, som boligblokker og kontorer bygges ofte med et lastbæresystem i stål med etasjeskillere av betong. Et mål i forskningsprosjektet ROBUST vil være å avdekke og så langt det er mulig, forsøke å løse disse utfordringene. Tabell 7 viser noen aktuelle anvendelsesområder for VIP.

Tabell 7. Aktuelle anvendelsesområder for VIP.

Aktuelle anvendelsesområder for VIP
Prefabrikerte sandwichelementer
Kontinuerlige isolasjonssjikt i ikke-lastbærende vegger
Tynne bindingsverksvegger
Gulv og kompakte tak
Etterisolering av bygg med lite areal til rådighet
Nybygg med høye arealkostnader for eksempel i tettbygde strøk
Dører og vinduer
Isolasjon i terrasser, for eksempel der trinnløs adkomst er viktig

7. Besparingspotensiale ved bruk av VIP

Selv om dagens vakuumisolasjonspaneler er relativt kostbare, kan faktisk anvendelse av VIP vise seg å være direkte lønnsomt sammenlignet med tradisjonell varmeisolasjon. Denne potensielle lønnsomheten skyldes den langt lavere varmeledningsevnen i VIP (sml. med f.eks. mineralull) som dermed muliggjør bygging med langt slankere veggkonstruksjoner. Desto høyere boligmarkedsverdien er (NOK/m² boareal) desto større er besparingspotensialet ved bruk av VIP og reduksjon av veggtykkelsen som dermed øker boarealet.

Tabell 8 viser tilgjengelige midler som en kan bruke på VIP innkjøp grunnet reduksjon av veggtykkelsen som gir et økt boareal, hvor den potensielle besparelsen er inklusive kostnaden til tradisjonell termisk isolasjon. I alle beregningene her er det antatt at VIP i en veggkonstruksjon gir i gjennomsnitt en varmeresistans omtrent fem ganger høyere enn tradisjonell termisk isolasjon over en gitt driftsperiode. I kalkulasjonene er det antatt en innvendig takhøyde på 2,5 m. For eksempel, hvis markedsverdien i byggeområdet er på 40 000 NOK/(m² boareal) og en har redusert veggtykkelsen med 20 cm (fra 35 cm bindingsverk med mineralull til 15 cm bindingsverk), kan en bruke inntil 3 300 NOK/(m² veggareal) til innkjøp av VIP før VIP kostnadene overstiger kostnadene en ville ha hatt med tradisjonelt isolasjonsmateriale. Bruker en mindre enn 3 300 NOK/(m² veggareal) blir dette ren gevinst i favør av VIP. Kostnadene til tradisjonell termisk isolasjon utgjør bare en relativt liten andel av totalbesparelsen. I Tabell 8 er det lagt inn mineralullkostnader på 120, 140, 160, 190 og 210 NOK/m² for mineralulltykkelser på henholdsvis 25, 30, 35, 40 og 45 cm for tilsvarende reduksjon av veggtykkelse på 10, 15, 20, 25 og 30 cm ved bruk av VIP. Disse mineralullkostnadene kan trekkes direkte fra tallene i Tabell 8 hvis en ønsker tilgjengelige midler for VIP innkjøp grunnet kun boarealgevinsten.

Tabell 8. Midler tilgjengelig for innkjøp av VIP som funksjon av markedsverdi boareal og reduksjon av veggtykkelse. Det er antatt en innvendig takhøyde på 2,5 m. (Mineralullkostnader på 120, 140, 160, 190 og 210 NOK/m² er lagt inn for mineralulltykkelser på henholdsvis 25, 30, 35, 40 og 45 cm for tilsvarende reduksjon av veggtykkelse på 10, 15, 20, 25 og 30 cm ved bruk av VIP).

Tilgjengelige midler for VIP innkjøp grunnet boareal og tradisjonell termisk isolasjon besparelse (NOK/m ² veggareal)					
Markedsverdi boareal (NOK/m ² boareal)	Reduksjon av veggtykkelse (cm)				
	10	15	20	25	30
10 000	500	700	900	1 200	1 400
20 000	900	1 300	1 700	2 100	2 500
30 000	1 300	1 900	2 500	3 100	3 700
40 000	1 700	2 500	3 300	4 100	4 900
50 000	2 100	3 100	4 100	5 100	6 000

Tabell 9 og Tabell 10 tar for seg et tilfelle hvor veggtykkelsen reduseres fra 35 cm bindingsverk med mineralull (160 NOK/m²) til 15 cm bindingsverk med 6 cm tykk VIP (1 600 NOK/m²), altså en veggtykkelsesreduksjon på 20 cm med omtrent samme varmegjennomgangskoeffisient (U-verdi). Veggtykkelsesreduksjonen kunne med hensyn til varmeisoleringssevnen til VIP ha vært enda mindre, men en minimum veggtykkelse på 15 cm er valgt av bygningstekniske årsaker (inklusive lastbærende egenskaper). Med en VIP tykkelse på 6 cm kan de resterende 9 cm i bindingsverket eventuelt fylles opp med mineralull for å øke varmeisoleringssevnen ytterligere. VIP plassert midt i veggkonstruksjonen med hulrom på begge sider øker dessuten robustheten mot punkteringer. I kalkulasjonene er det antatt en innvendig takhøyde på 2,5 m, samt en eksempelbolig

på 10 m x 10 m, som gir et innvendig golvareal (boareal) på 100 m² og et innvendig veggareal på 100 m² etter veggtykkelsesreduksjon. Tabell 9 og Tabell 10, samt Figur 11 og Figur 12, presenterer fortjenesten ved VIP bruk, henholdsvis som NOK/(m² boareal) og NOK/(totalt m² boareal). Denne fortjenesten representerer penger du sitter igjen med etter at boligen er bygd med bruk av VIP, altså et rent overskudd forårsaket av VIP. Som en ser av tabellene kan dette dreie seg om relativt store summer, spesielt når boligmarkedsverdien er høy.

Det gjøres oppmerksom på at dette er forenklete beregninger som ikke tar hensyn til alle forhold. Som et eksempel kan det nevnes at slankere bindingsverkskonstruksjoner medfører mindre materialkostnader relatert til selve bindingsverket. Dette gir en enda høyere besparelse i favør av VIP, men er ikke inkludert i disse beregningene. I tillegg er kostnader og renteutgifter per måned relatert til ekstra låneopptak ved kjøp av VIP, sammenlignet med ekstra utleieinntekter ved økt boareal, heller ikke inkludert i beregningene. Alle tallene i Tabell 8-10 er relativt grove og avrundete overslagstall.

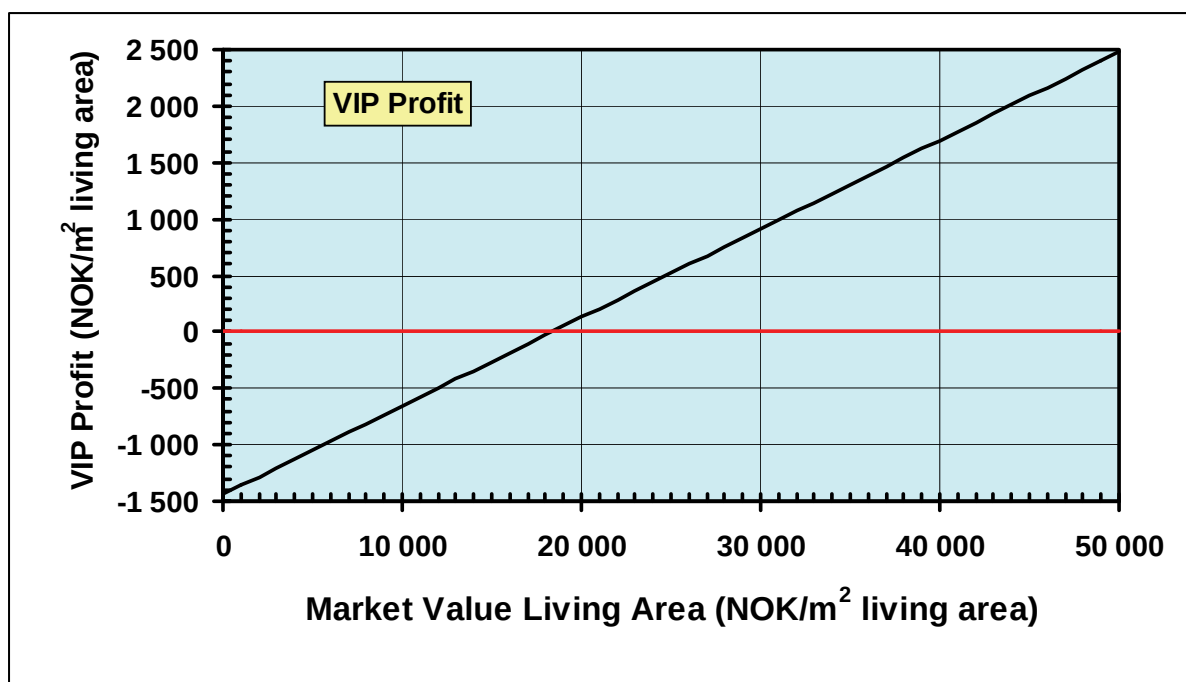
Innkjøpsprisen av VIP har stor betydning for den eventuelle besparingen og hvor stor den kan bli. VIP kostnaden (1600 NOK/m² for totalt 6 cm tykk VIP) som er brukt i beregningene her er bare et eksempel. VIP kostnaden forventes også å reduseres relativt mye i årene framover.

Tabell 9. Fortjeneste i NOK/(m² boareal) ved bruk av VIP som funksjon av markedsverdi boareal hvor veggtykkelsesreduksjonen er satt til 20 cm for en eksempelbolig på 10 m x 10 m. Det er antatt en innvendig takhøyde på 2,5 m. Se også Figur 11.

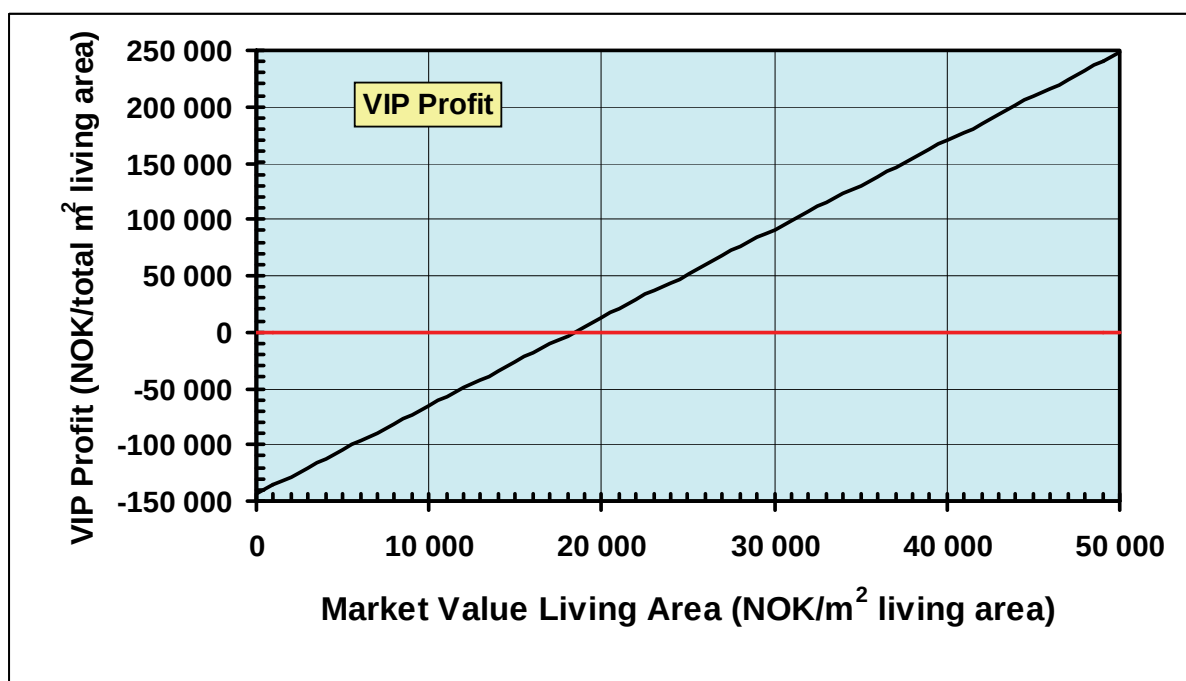
Boareal (m ²) 10 x 10	Markedsverdi boareal (NOK/m ² boareal)	Økt boarealgevinst ved bruk av VIPs og redusert veggtykkelse (m) med 0.2 (NOK/m ² boareal)	VIP kostnad 6 cm tykkelse (NOK/m ² VIP)	Tradisjonell termisk isolasjon kostnad 35 cm tykkelse (NOK/m ² isolasjon)	Fortjeneste ved VIP bruk (NOK/m ² boareal)
	10 000	800	1 600	160	-600
	20 000	1 600	1 600	160	200
	30 000	2 400	1 600	160	1 000
	40 000	3 100	1 600	160	1 700
	50 000	3 900	1 600	160	2 500

Tabell 10. Fortjeneste i NOK/(totalt m² boareal, her 100 m²) ved bruk av VIP som funksjon av markedsverdi boareal hvor veggtykkelsesreduksjonen er satt til 20 cm for en eksempelbolig på 10 m x 10 m. Det er antatt en innvendig takhøyde på 2,5 m. Se også Figur 12.

Boareal (m ²) 10 x 10	Markedsverdi boareal (NOK/m ² boareal)	Økt boarealgevinst ved bruk av VIPs og redusert veggtykkelse (m) med 0.2 (NOK/totalt m ² boareal)	VIP kostnad 6 cm tykkelse (NOK/totalt m ² VIP)	Tradisjonell termisk isolasjon kostnad 35 cm tykkelse (NOK/totalt m ² isolasjon)	Fortjeneste ved VIP bruk (NOK/totalt m ² boareal)
	10 000	80 000	1 600	160	-60 000
	20 000	160 000	1 600	160	20 000
	30 000	240 000	1 600	160	100 000
	40 000	310 000	1 600	160	170 000
	50 000	390 000	1 600	160	250 000



Figur 11. Fortjeneste i NOK/(m² boareal) ved bruk av VIP som funksjon av markedsverdi boareal hvor veggtykkelsesreduksjonen er satt til 20 cm for en eksempelbolig på 10 m x 10 m. Det er antatt en innvendig takhøyde på 2,5 m. Se også Tabell 9.



Figur 12. Fortjeneste i NOK/(totalt m² boareal, her 100 m²) ved bruk av VIP som funksjon av markedsverdi boareal hvor veggtykkelsesreduksjonen er satt til 20 cm for en eksempelbolig på 10 m x 10 m. Det er antatt en innvendig takhøyde på 2,5 m. Se også Tabell 10.

8. Referanser

- [1] Bundi, R., Cauberg, J., Erb M., Moosmann, A., Mukhopadhyaya, Ph.Sallée, H., Schwab, H. & Stramm, C., (2005). *Vacuum Insulation. Panel Properties and Building Applications* (Summary), final report for the IEA/ECBCS Annex 39 HiPTI-project (High Performance Thermal Insulation for buildings and building systems).
- [2] Zwerger, M., Klein, H. 2005. *Intergation of VIP`s into External Wall Insulation Systems. I:* Zimmermann, M. (eds.), *proceedings of the 7th International Vacuum Insulation Symposium*, EMPA, Duebendorf, Switzerland, pp. 173-179, 28-29 September 2005.
- [3] <http://www.caplex.no/Web/ArticleView.aspx?id=9315385>; 21.10.2008
- [4] CAB–O–SIL® *Untreated Fumed Silica, Properties & Functions*, Hentet fra <http://www.cabot-corp.com/cws/businesses.nsf/CWSID/cwsBUS01182001101516AM7587?OpenDocument>; besøkt 30.09.08
- [5] Tenpierik M.J, Cauberg J, Thorsell T.; *Integrating vacuum insulation panels in building constructions: an integral perspective*; Construction Innovation Vol. 7 No. 1, 2007 pp. 38-53 © Emerald Group Publishing Limited 1471-4175 DOI 10.1108/14714170710721287
- [6] Ebert H.P., Fricke J Schwab H., Stark C., Wachtel J.; *Thermal Bridges in Vacuum-insulated Building Facades*, Journal of Thermal Envelope & Building Science, Volume 28 No.4/April 2005
- [7] Brunner, S., Cauberg, J.J.M., Erb, M., Heinemann, U., Küçükpinar-Niarchos, E., Kumaran, K., Mukhopadhyaya, Ph., Noller, K., Quénard, D., Sallée, H., Schwab, H., Simmler ,H., Stramm, C. & Tenpierik, M.J. (2005). *Vacuum Insulation Panels. Study on VIP-components and Panels for Service Life Prediction in Building Applications (Subtask A)*; Final report for the IEA/ECBCS Annex 39 HiPTI-project (High Performance Thermal Insulation for buildings and building systems)
- [8] Bundi R., Ghazi Wakili K., Frank T.; *Vacuum Insulated Paneles in Building Applications*, Laboratory for Applied Physics in Building, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing & Research (EMPA) Ueberlandstrasse 129, CH-8600 Duebendorf, Switzerland
- [9] Cauberg H, Tenpierik M, van Der Spoel W; *Analytical Model for Predicting Thermal Bridge Effects due to Vacuum Insulation Panel Barrier Envelopes*; Bauphysik 30 (2008), Heft 1
- [10] Schild K, Willems W; *The use of Vacuum Insulated Sandwiches (VIS) in building constructions*; Department of Civil Engineering, Ruhr-University Bochum; Bochum, Germany
- [11] Quenard D, Sallée H.; *From VIP's to Building Façades: Three Levels of Thermal Bridges*. CSTB Grenoble – Saint Martin d'Herès. A part of 7th International Vacuum Insulation Symposium Empa, Duebendorf / Zurich, Switzerland September 28-29, 2005
- [12] Cauberg H., Tenpierik M.; *Analytical Models for Calculating Thermal Bridge Effects Caused by Thin High Barrier Envelopes around Vacuum Insulation Panels*; Journal of Building Physics 2007; 30; 185 DOI: 10.1177/1744259107073160

- [13] Beck A, Ebert H-P, Fricke J, Heinemann U, Schwab H; *Permeation of Different Gases Through Foils used as Envelopes for Vacuum Insulation Panels*; Journal of Thermal Envelope and Building Science 2005; 28; 293 DOI: 10.1177/1097196305051791
- [14] Cauberg J, Tenpierik M; *Vacuum Insulation Panels in Building Facades: Moisture and Temperature Conditions during Insolation*; Hentet fra internet: http://www.byv.kth.se/avd/byte/reykjavik/pdf/art_144.pdf (02.10.08)
- [15] Binz, A., Brunner, S., Bundi, R., Cauberg, J.J.M., Erb, M., Fregnan, F., Ghazi, K., Heinemann, U., Johannesson, G., Moosmann, A., Nussbaumer, B., Schonhardt, U., Schwab, H., Simmler, H., Steinke, G., Tenpierik, M.J. & Thorsell, TH. I., (2005). *Vacuum Insulation in the Building Sector. Systems and Applications (Subtask B)*; Final report for the IEA/ECBCS Annex 39 HiPTI-project (High Performance Thermal Insulation for buildings and building systems).
- [16] Cauberg H, Tenpierik M, van Der Spoel W; *An Analytical Model for Calculating Thermal Bridge Effects in High Performance Building Enclosure*; Journal of Building Physics 2008; 31; 361
- [17] ZAE-Bayern Abschlussbericht VIP – Demoobjekte; http://www.zae-bayern.de/files/ab_vip_demo.pdf, downloaded october.2008
- [18] Binz A, Steinke G; *Applications of Vacuum Insulation in the Building Sector*; Institute of Energy, University of Applied Sciences Basel (FHBB); A part of 7th *International Vacuum Insulation Symposium* Empa, Duebendorf / Zurich, Switzerland September 28-29, 2005

Vedlegg

Appendiks A

I appendiks A er det samlet informasjon om en rekke pågående og utførte prosjekter der de har benyttet VIP som isolasjonsmateriale. Dette er ment som en orientering om prosjektene og SINTEF Byggforsk kan ikke gå god for informasjonen som er gitt fra de ulike prosjektene.

Appendiks B

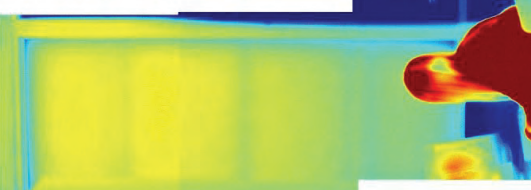
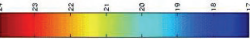
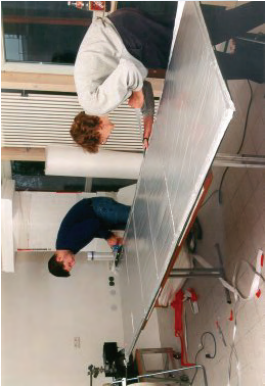
I appendiks B er det samlet informasjon om en del produsenter av vakuumisolasjonspaneler. Verdiene produsentene oppgir er kun veiledende verdier og er ikke kvalitetssikret av SINTEF Byggforsk.

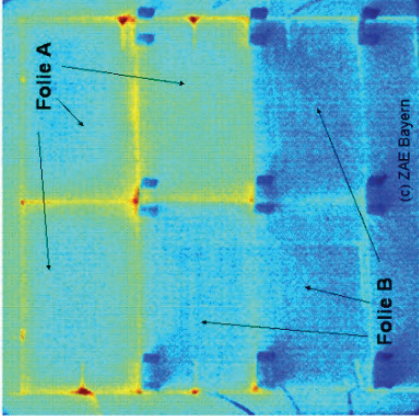
Begge appendiksene er på engelsk. De sentrale verdiene som oppgis fra de fleste produsentene er:

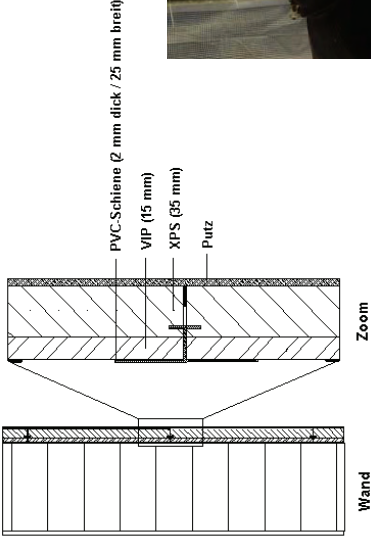
λ_{cop}	=	Varmekonduktivitetsverdi for senterdelen (kjernematerialet) av panelet.
λ_{eq}	=	Ekvivalent varmekonduktivitet for hele panelet. Tallene her varierer en del og tyder på at produsentene i større eller mindre grad tar hensyn til kuldebrotap og aldring av panelene.
Density	=	Massetetthet for panelene.
Initial gas pressure	=	Gasstrykket i panelene ved avlevering fra produsent.
Gas increase per year	=	Økning i gass(luft)trykk og vanndampkonsentrasjon som følge av diffusjon gjennom folien.
Specific heat capacity	=	Varmekapasitet for panelene.

Appendix A – List of appliances of VIP

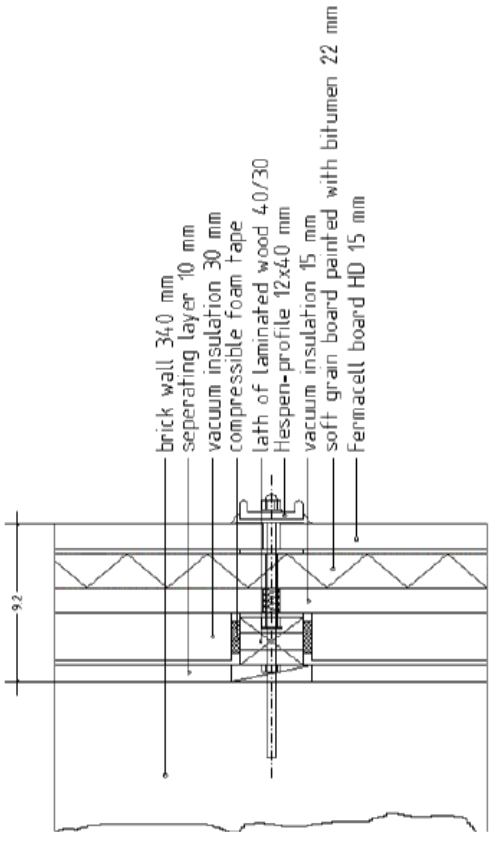
List of projects applying VIPs in walls

Manufacturer / Product / Reference	Construction / information	Illustrations	Additional information
ZAE-Bayern <i>VIP in four different wall constructions</i> http://www.zae-bayern.de/files/vip_poster.pdf	8 fields (0.9 x 1.9 x 0.18m) were filled with VIP's Construction (outside to inside) - Glasplate - Plywood - EPS (20 mm) - Wooden frame with 2 x 20 mm VIP - EPS 20mm - Vapour barrier - Plywood Internal gaspressure measured after one year. No significant pressure raise (1 mbar accuracy)	   	

Manufacturer / Product / Reference	Construction / information	Illustrations	Additional information
ZAE-Bayern, Hangeleiter GmbH <i>Systematisiertes Bauen mit vakuumgedämmten Betonfertigteilen</i> http://www.zae-bayern.de/files/vipgebaeude.pdf	Construction (outside to inside) Outside façade cladding 3 cm PU-foam 3 cm VIP Vapour barrier 15 cm concrete Totals a 27 cm thick wall U-value = 0.15 W/m²K Tested with two different foils; A = 6 µm AF, B = 2 x 30 nm AF The test building was also fitted with VIP in as insulation in roof (flat roof). Construction (outside to inside) Roofing 10 cm concrete prefab. Protective foil VIP 14cm thick roof	 	VIP costs are 85 €/m².

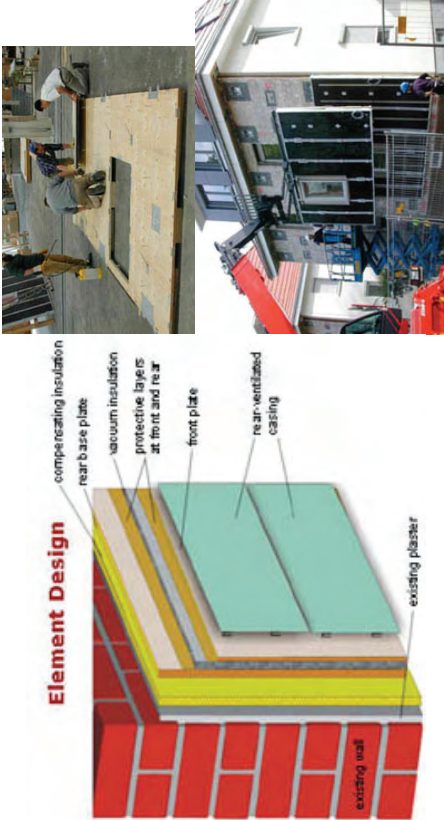
Manufacturer / Product / Reference	Construction / information	Illustrations	Additional information
ZAE-Bayern, Schöns Trockenbau <i>Sanitation of brick wall gable façade, Nürnberg</i> [11,15]	Construction (outside to inside) Bricks (30 cm) Vapour barrier VIP (15 mm) XPS (35 mm) Sheating plaster (3 mm) Surface plaster (3 mm) Calculation in HEAT2 gives U-value = 0,19 W/m²K (three times better than the old value) The total surface of the wall = 35 m²	 	

Manufacturer / Product / Reference	Construction / information	Illustrations	Additional information
ZAE-Bayern, Architektbüro Lichtblau <i>New solid-wood construction with replacable Vacuuminsulation, München</i> [11,15]	Construction (outside to inside) Ventilated cladding VIP (1 x 1.05 x 0.04 m) inserted into; 40-45 mm laths Soft grain board Solid-wood element 80 mm Calculated U-value without thermal bridges = 0,10 W/m²K Calculated U-value with thermal bridges = 0,14 W/m²K Saved area = 15 m² (total area of house 292m²) = 5 % saved floor area VIP is used as insulation in all exterior components except for the cellar	 	Aerated panels discovered by loose foil at the corners

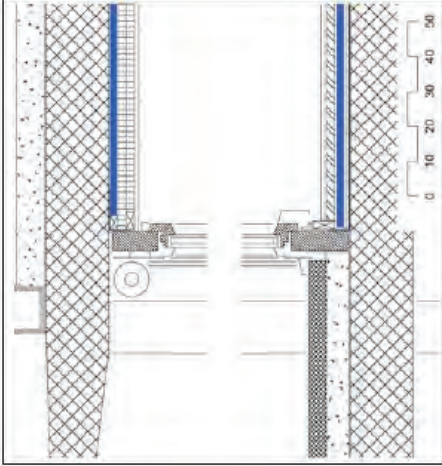
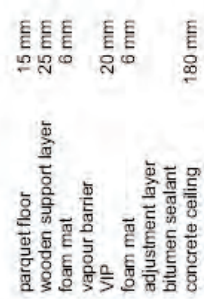
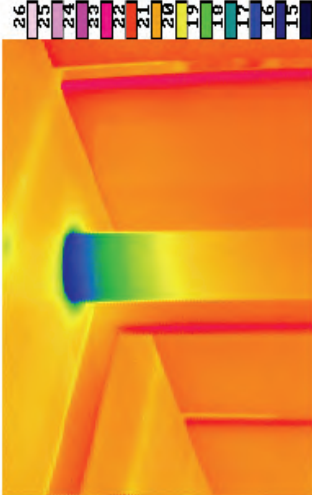
Manufacturer / Product / Reference	Construction / information	Illustrations	Additional information
ZAE-Bayern, Architektbüro Lichtblau <i>Renewal of a terraced house in Munich</i> [11,15]	Construction (outside to inside) Fermacell board Soft grain board VIP (15 mm) VIP (30mm) inderted into 30 mm laths Brick wall (340 mm) This solution gives lower thermal bridges, due to the dual layering of the VIP's Roofs and cellar ceilings were also insulated with VIP's. Total heating energy lowered by a factor of 10.		

Manufacturer / Product / Reference	Construction / information	Illustrations	Additional information
Architecturbüro Beat Consoni <i>Non-load bearing wall sandwich elements</i> [11]	The building utilizes eight sandwich panels from NIKOL-MULTIPAC (VIP's from SAES)		Average costs for complete sandwich element (in 2003) 200-230 €/m²

Manufacturer / Product / Reference	Construction / information	Illustrations	Additional information
Energie-tib, Bindel, Jenne, Krauter & Becker <i>Façade insulation Refurbishment of an apartment and office block in Munich/Germany</i> [11]	Exterior insulation using VIP. VIP's, fixed to existing concrete wall with adhesive. VIP's installed between vertical laths of recycled polyurethane. This gives a total area of VIP's used, equalling 850 m².	  	

Manufacturer / Product / Reference	Construction / information	Illustrations	Additional information
IGRT, PDREL, Variotec, IWU, ift <i>Facade insulation in old buildings: Three buildings in Hofheim am Taunus</i> http://www.vip- bau.de/e_pages/applications/facade _old/drei_hofheim_e.htm	Insulation with prefabricated elements with 40mm VIP's. Outer casing mounted on-site		
ZAE <i>Vakuumgedämmte Mauerstein</i> http://www.zae- bayern.de/deutsch/abteilung- 2/spezielle-themen/varianten.html			

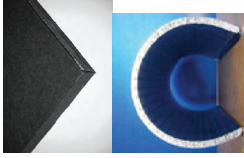
List of projects applying VIP's in roofs, ceilings and floors

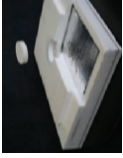
Manufacturer / Product / Reference	Construction / information	Illustrations	Additional information
Zai, Zai & Partner <i>Attachment to a single family house in Zug Switzerland</i> [11]	Both ceiling and floor of the attachment were insulated using VIP's. Internal insulation consisting of 20 mm Vacucomp VIP's using standard panel dimensions of 100 x 60 cm. Continuous columns penetrate the insulation layer, causing substantial thermal-bridging and low surface temperatures	    concrete ceiling VIP 2 x wooden laths insulation gypsum plaster board 180 mm 20 mm 25 mm 12.5 mm parquet floor wooden support layer foam mat vapour barrier VIP foam mat adjustment layer bitumen sealant concrete ceiling 15 mm 25 mm 6 mm 20 mm 6 mm 180 mm Average VIP costs (in 2005) 89 €/m²	

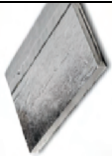
Manufacturer / Product / Reference	Construction / information	Illustrations	Additional information
3-D Architecten AG <i>Terrace insulation Multifamily houses in Kerzers Switzerland</i> [11]	External insulation using 15 mm VIP's in addition to 60 mm PU- foam.		Average VIP costs (in 2003) 79 € /m²

Appendix B - List of Vacuum Insulated Panels

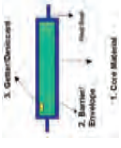
Manufacturer / Product	Name	Illustration	λ_{cop} λ_{equ} (W/mK)	Density (kg/m ³)	Initial gas pressure Increase per year (mbar)	Specific heat- capacity (kJ/kgK)	Standard dimensions (used for calculation of λ_{equ}) (mm)	Materials	Additional information
Schneider Systemtechnik AG Im Hölzli 26 CH-8405 Winterthur Fon: +41-(0)52-235 22 02 Fax: +41-(0)52-232 55 66 http://www.syag.ch/	VACUtex® - vip		0.0042 0.008	170-190	< 3 < 1.2	0.8	1000x600x20	Core SiO ₂ : 80% SiC: 15% Andre 5% Foil PE, ca 40 mm Al, ca 0.04 µm PET, ca 60 µm	
Porextherm Dämmstoffe GmbH Heisinger Straße 8 D-87437 Kempten + 49 (0) 831 - 57 53 60 Fax: + 49 (0) 831 - 57 53 63 info@porextherm.com www.porextherm.com	Vacupor® NT		0.005 0.019 (at ambient pressure)	150-300	≤ 5 0.5			Core SiO ₂ : 80% SiC: 15% Andre 5% Foil Laminated alu-foil	

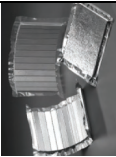
Manufacturer / Product	Name	Illustration	λ_{cop} λ_{equ} (W/mK)	Density (kg/m ³)	Initial gas pressure Increase per year (mbar)	Specific heat- capacity (kJ/kgK)	Standard dimensions (used for calculation of λ_{equ}) (mm)	Materials	Additional information
Microtherm N.V. Industriepark-Noord 1 9100 Sint-Niklaas Belgium Tel (+32) 3 7601980 Fax (+32) 3 760 1999 E-Mail info@microthermgroup.com www.microtherm.uk.com	SlimVac		0.0045 0.0055	140-180 (Core material)	1-5				
va-Q-tec AG Karl-Ferdinand-Braun-Str.7 D-97080 Würzburg Germany Tel. +49 (0)931/ 35 942 0 Fax. +49 (0)931/ 35 942 10 info@va-q-tec.com www.Va-q-tec.com	Va-q-vip B		< 0.0053 0.008 (including aging and edge)	180-210	0.5-3 1		1000x600x20	Core: SiO2 Opacifier Foil Fleece-covered on outside	

Manufacturer / Product	Name	Illustration	λ_{cop} λ_{equ} (W/mK)	Density (kg/m ³)	Initial gas pressure Increase per year (mbar)	Specific heat-capacity (kJ/kgK)	Standard dimensions (used for calculation of λ_{equ}) (mm)	Materials	Additional information
Vaku Isotherm GmbH Mittweidaer Straße 16, 09661 Rossau Telefonnummer: +49 3727 612477 Fax: +49 3727 942955 info@vaku-isotherm.de www.vaku-isotherm.de			≤ 0.005	150-250	1-5				
VARIOTEC GmbH & Co. KG Weißmarterstraße 3-5 D-92318 Neumarkt Tel.: +49 9181 6946-0 Fax: +49 9181 8825 info@variotech.de http://variotech.de/hp358/UNTERNEHMEN.htm	QASA-max								
NanoPore Incorporated 2501 Alamo Ave. SE Albuquerque, NM 87106 (505) 247-4041 Phone (505) 247-4046 Fax info@nanopore.com www.nanopore.com	Nano Pore™							Core Silica, titania and/or carbon	

Manufacturer / Product	Name	Illustration	λ_{cop} λ_{equ} (W/mK)	Density (kg/m ³)	Initial gas pressure increase per year (mbar)	Specific heat capacity (kJ/kgK)	Standard dimensions (used for calculation of λ_{equ}) (mm)	Materials	Additional information
Neofas AG Vogelsangstrasse 14 CH- 8307 Effretikon Tel. +41 52 354 51 00 info@neofas.ch www.neofas.ch			0.0045 0.008 (including edge effects and ageing)	130-170			500x500	Core pyrogenes Kieselpulver Foil Alu-metallisierte Verbundfolie	WTOR and OTR not measurable according to producer
ZZ Wancor Althardstrasse 5 8105 Regensdorf Tel: +41 (0)44 871 32 32 Fax: +41 (0)44 871 32 90 info@zzwancor.ch www.zzwancor.ch	Vacucomp S		NA 0.008	180-220	1		1200x1000		Diffusionswiederstand μ 5'000'000 "μ-wert folie"
ZZ Wancor Althardstrasse 5 8105 Regensdorf Tel: +41 (0)44 871 32 32 Fax: +41 (0)44 871 32 90 info@zzwancor.ch www.zzwancor.ch	Vacucomp P1		NA 0.008	180-220	1		1200x1000	Foil Rubber-covered (3mm) outside on one side	Diffusionswiederstand μ 5'000'000 "μ-wert folie" For roofs and floors...

Manufacturer / Product	Name	Illustration	λ_{cop} λ_{equ} (W/mK)	Density (kg/m ³)	Initial gas pressure increase per year (mbar)	Specific heat capacity (kJ/kgK)	Standard dimensions (used for calculation of λ_{equ}) (mm)	Materials	Additional information
ZZ Wancor Althardstrasse 5 8105 Regensdorf Tel: +41 (0)44 871 32 32 Fax: +41 (0)44 871 32 90 info@zzwancor.ch www.zzwancor.ch	Vacucomp P2		NA 0.008	180-220	1		1200x1000	Foil Rubber-covered (3mm) outside on two sides	Diffusionsweerstand μ 5'000'000 "μ-wert folie" For roofs and floor
RParts United States sales@rparts.com http://www.rparts.com/Catalog/Box_Building/insulation/insulation.asp			0.005				Max. 810 x810mm	Core DOW-Instill Foil	RParts is a 100% internet-based company
Glacier Bay, Inc. 2930 Faber Street Union City, CA 94587 U.S.A. U.S.A. (510) 437-9100 sales@glacierbay.com www.glacierbay.com	Barrier Ultra-R™		0.003		0.07			Core Aerogel Foil Polypropylene Fiberglass coating (optional)	

Manufacturer / Product	Name	Illustration	λ_{cop} λ_{equ} (W/mK)	Density (kg/m ³)	Initial gas pressure Increase per year (mbar)	Specific heat- capacity (kJ/kgK)	Standard dimensions (used for calculation of λ_{equ}) (mm)	Materials	Additional information
Xiamen Super-Tech Insulation Technology Co. Ltd No.99 Liantang Rd North Industrial Region, Jimei Xiamen, Fujian, 361021 China http://vip.fuzing.com/	GOOT®		0.004	230	1			Core Superfine fibreglass, phenolic foam	
								Foil Combination of multilayer polymer film, Aluminum foil	
Igloo Thermal™ 10610 Longwoods Road R R #1 Delaware, ON Canada N0L 1S0 Phone: 519-652-5858 Fax: 519-652-0517 Cell: 519-673-8990 info@igloothermal.com www.igloothermal.com			0.004	230	0.1 Pa			Core Superfine fibreglass, phenolic foam	
								Foil Combination of multilayer polymer film, Aluminum foil,	

Manufacturer / Product	Name	Illustration	λ_{cop} λ_{equ} (W/mK)	Density (kg/m ³)	Initial gas pressure Increase per year (mbar)	Specific heat- capacity (kJ/kgK)	Standard dimensions (used for calculation of λ_{equ}) (mm)	Materials	Additional information
Unifrax Corporation Corporate Headquarters 2351 Whirlpool Street Niagara Falls, New York 14305-2413 Telephone: 716-278-3800 Telefax: 716-278-3900 Internet: www.unifrax.com Email: info@unifrax.com	Excelfrax® 200		0.004	185		800	490x490 980x1225	Core SiO2 80% SiC 15% Others 5% Foil Laminated PE-film	Curved panels can be delivered. Only available in USA.

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 det tredje største byggforskningsinstituttet i Europa. Vi har rom både for store forskningssatsinger og for tett oppfølging av de mange små bedriftene. Vårt mål er bedre produktivitet og økt kvalitet i det bygde miljø.

SINTEF Byggforsk er Norges ledende formidler av forskningsbasert kunnskap til byggenæringen. Våre publikasjoner inneholder tilrettelagte erfaringer og resultater fra praksis og forskning. Vi utgir Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.

