

Varmeisolasjonsmaterialer av stivt polyuretanskum (PUR/PIR)





Varmeisolasjonsmaterialer av stivt polyuretanskum (PUR/PIR)

Egenskaper – produksjon

Stivt polyuretanskum (PUR/PIR) er ett av de mest effektive og høytytende isolasjonsmaterialene, som gir svært effektiv energisparing med minimale plassbehov.

Bedre isolasjon i bygninger er et vesentlig element i implementeringen av Kyoto-protokollen, og tilbyr i tillegg flere fordeler:

- Energibesparelser, som fører til lavere energiutgifter for privatpersoner og land. Dette bidrar til å forbedre Europas konkurransedyktighet totalt sett.
- Miljøbeskyttelse: strengere isolasjonsregler kan redusere Europas CO₂-utslipp med 5 % (60 % av det nåværende europeiske Kyoto-målet).
- Positiv innvirkning på skaping av nye arbeidsplasser.
- Et tilskudd i den europeiske økonomien.

I denne rapporten beskrives egenskapene til og produksjonen av stivt polyuretanskum (PUR/PIR), som er ett av de mest effektive isolasjonsmaterialene.

Innhold

Innledning	4
1 Hva er stivt polyuretanskum (PUR/PIR)?	5
2 Tekniske og fysiske egenskaper til stivt polyuretanskum (PUR/PIR)	6
2.1 Varmeledningsevne	6
2.1.1 Varmeledningsevnen og varmemotstanden til isolasjonsmaterialer	6
2.1.2 Varmeledningsevnen til stivt polyuretanskum PUR/PIR)	6
2.1.2.1 Cellegassens innvirkning	7
2.1.2.2 Tetthetens innvirkning	7
2.1.2.3 Temperaturrens innvirkning	7
2.1.2.4 Innvirkning av sugeevne etter nedsenkning i vann i 28 dager	7
2.1.3 Varmeledningsevnen angitte verdi	7
2.1.4 Langsiktig varmeledningsevne for stivt polyuretanskum -holdige isolasjonsmaterialer (PUR/PIR)	7
2.2 Tetthet	8
2.3 Trykkfasthet om eller trykkbelastning ved 10 % deformasjon σ_{10}	8
2.4 Kontinuerlig trykkbelastning σ_c (compressive creep)	8
2.5 Strekkstyrke loddrett i forhold til flatene σ_{\perp} , skjærfasthet og bøyestyrke σ_b	9
2.6 Reaksjon nær vann og fuktighet	9
2.6.1 Sugeevne etter nedsenkning i vann i 28 dager	9
2.6.2 Fuktighetsreaksjon ved diffusjon og kondens i vekslende fryse-tine-forhold	9
2.6.3 Diffusjonsmotstandsfaktor μ for vanndamp	9
2.6.4 Diffusjonsekivalent tykkelse for luftlaget S_d	10
2.7 Varmeutvidelse	10
2.8 Spesifikk varmekapasitet og varmelagringskapasitet	10
2.8.1 Spesifikk varmekapasitet C_p	10
2.8.2 Varmelagringskapasitet C	10
2.9 Temperaturstabilitet	11
2.10 Kjemisk og biologisk stabilitet	12
2.11 Brannegenskapene til stivt polyuretanskum (PUR/PIR)	12
2.11.1 Isolasjonsproduktets brannreaksjon i henhold til europeiske standarder	12
2.11.2 Brannsikkerhet i bygningselementer som inneholder isolasjon av stivt polyuretanskum (PUR/PIR)	12
2.11.3 Brannreaksjonsklassifisering for stivt polyuretanskumbaserte (PUR/PIR) produkter	12
3 Bærekraftig utvikling med stivt polyuretanskum (PUR/PIR)	13
3.1 Redusere energiforbruk og -utslipp	13
3.2 Konserveringsmidler til hygiene og mat	13
3.3 Livssyklusanalyse av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) og energibalanse	14
3.4 Stivt polyuretanskum (PUR/PIR) – materialgjenvinning og energigjenvinning	14
4 Produksjon av varmeisolasjonsmaterialer av stivt polyuretanskum (PUR/PIR)	15
4.1 Produksjon av isolasjonsplater i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med fleksible dekklag	15
4.2 Produksjon av stive polyuretanskumblokker (PUR/PIR)	16
4.2.1 Kontinuerlig produksjon av skumblokker	16
4.2.2 Usammenhengende produksjon av skumblokker	16
4.3 Produksjon av isolerpaneler i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med herdet dekklag	17
4.3.1 Kontinuerlig produksjon av isolerpaneler med dekklag i metall	17
4.3.2 Usammenhengende produksjon av isolerpaneler	17
4.4 Sammendrag	17
5 Europeisk harmonisering av isolasjonsmaterialer – merking av varmeisolasjonsprodukter med stivt polyuretanskum (PUR/PIR)	18
5.1 Forskrifter i byggevaredirektivet	18
5.2 CE-merking	18
6 Referanser	19



Innledning

Polyuretan forbedrer livskvaliteten

Enten det gjelder skosåler, madrasser, ratt eller isolasjon, er dagens verden utenkelig uten polyuretan. Innenfor sports- og fritidsaktiviteter, i hjemmet og i bilen har polyuretan en positiv innvirkning i dagliglivet vårt. Den brukes overalt. Avhengig av formelen og den grunnleggende kjemiske blandingen, kan egenskapsspekteret til polyuretan avgjøres nøyaktig ved produksjon, enten den skal være stiv, myk, integrert eller kompakt. Resultatet blir skreddersydde og kostnadseffektive løsninger for (nesten) alle bruksområder.



Bilde 1: Polyuretan – et allsidig materiale

Spesialtilpasset isolasjon

Ved isolering av bygninger er stivt polyuretanskum (PUR/PIR) det mest kostnadseffektive isolasjonsmaterialet for nye bygninger på grunn av den lave varmeledningsevnen, som er uten sidestykke blant andre konvensjonelle produkter. I tillegg er stivt polyuretanskum (PUR/PIR) ideelt til renoveringsprosjekter der energieffektiviteten er i høysetet. Etterfylling av isolasjon i eksisterende bygningers skjelett kan redusere gjennomsnittlig energiforbruk med mer enn 50 % og stivt polyuretanskum (PUR/PIR) forenkler installasjonen. Lav varmeledningsevne medfører tynnere isolasjon for gitt isolasjonsnivå, og tynnere isolasjon betyr at det er enklere å sette inn i bygningens hulrom. Isolasjonsev-

nen er svært høy, selv med liten materialtykkelse. Gode mekaniske egenskaper og ypperlig vedheft til andre materialer gjør at bruksområdene er mange.

Materialer av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) er med sin optimale isolasjonsevne svært allsidig. Produktene omfatter alt fra isolasjonsplater til takteking, vegger, gulv og innvendige tak, til vindusrammeisolasjon og skumfôrsegling, til isolerpaneler med dekklag i metall til industribygg.

Effektiv varmeisolasjon som varer et helt liv

Betegnelsen stivt polyuretanskum (PUR/PIR) står for en type isolasjonsmaterialer som i tillegg til polyuretan (PUR) også omfatter polyisocyanurat (PIR) stivt skum.

De ypperlige varmeisolasjonsegenskapene til stivt polyuretanskum med lukket celle (PUR/PIR) fås i dag hovedsakelig med blåsemidler, som pentan (hydrokarbon) eller CO₂.

I tillegg til den lave varmeledningsevnen, er stivt polyuretanskum (PUR/PIR) stabilt og slitesterkt. Det er effektivt så lenge bygningen står, og har en levetid på over 50 år.

Varmeisolering med stivt polyuretanskum (PUR/PIR) bevarer ressurser, sparer energi og har ingen betydelige utslipp til miljøet.

Stivt polyuretanskum (PUR/PIR) er den riktige investeringen for fremtiden, da den:

- tilbyr optimal isolasjon med lang levetid og uten ulemper, vedlikehold eller reparasjon
- gir høyere eiendomsverdi og livskvalitet
- fører til store energibesparelser og reduserte oppvarmingskostnader
- er kostnadseffektiv og enkel å montere



1 Hva er stivt polyuretanskum (PUR/PIR)?

Stivt polyuretanskum (PUR/PIR) er plast med lukket celle. Det brukes som fabrikkprodusert varmeisolasjonsmateriale i form av isolasjonsplater eller skumblokker, og i kombinasjon med ulike herdede dekklag som bygningsmateriale eller isolerpaneler. Polyuretanskum som sprøytes inn på stedet produseres på bygningsplassen.

Når materialtykkelsen er tynn, tilbyr polyuretanskum (PUR/PIR) optimal varmeisolasjon sammen med eksepsjonell romutnyttelse. Stivt polyuretanskum (PUR/PIR) gir arkitekter og planleggere anledning til å velge kreative isolasjonsløsninger fra kjeller og vegger til innvendig og utvendig tak. Det er ideelt til lette lavenergihus eller nullenergihus (passivhus).

Isolasjonsplater

Takket være den ypperlige mekaniske styrken, er isolasjonsplater som er lagd av polyuretanskum (PUR/PIR) svært motstandsdyktige. De kan kombineres med andre materialer, og kan enkelt monteres på bygningsplassen.

Isolerpaneler med dekklag i metall

Isolerpaneler har en kjerne av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med profilerte dekklag som i de fleste tilfeller er av metall på over- og undersiden. Isolerpaneler er særlig egnet for utvendige tak og vegger, til ulike bærekonstruksjoner i haller og industribygninger samt til kjøleapparater og kjølelagerenheter. De lette panelene er enkle å håndtere, og kan monteres i alle værforhold. PUR/PIR isolerpaneler er i stor grad prefabrikkerte, og dette gir dem strukturelle og bygningsmessige designegenskaper som gir øy sikkerhet, både i produksjonsstadiene og i den ferdigstilte bygningen.

Blokker

Polyuretanblokker (PUR/PIR) kan skjæres til ønskede mål for isolasjonsbyggingsutstyr og industrielle installasjoner.

Skum som sprøytes inn på stedet

I tillegg til fabrikkprodusert stivt polyuretanskum (PUR/PIR), brukes også skum som sprøytes inn på stedet til bygningsbransjen. Det produseres med det beste av utstyr på selve byggeplassen. Skum som sprøytes inn på stedet brukes hovedsakelig til isolasjon av teknisk utstyr. Skummet sprøytes på ønsket overflate eller helles i former, slik at en sømfri struktur oppnås.



Bilde 2: Stive polyuretanskumholdige isolasjonsmaterialer (PUR/PIR)



2 Tekniske og fysiske egenskaper til stivt polyuretanskum (PUR/PIR)

Egenskapene til isolasjonsmaterialene avhenger av deres struktur, de benyttede råmaterialene og produksjonsprosessen. Ved valg av egnet varmeisolasjonsmateriale er kravene til varmeegenskaper helt vesentlig. Andre kriterier som er viktige for bygningens funksjonalitet og sikkerhet ved valg av isolasjon er mekanisk styrke, aldringsbestandighet, lydisolasjonsegenskaper og motstandsdyktighet mot fuktighet og brann.

ISOLASJONSMATERIALER av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) har ypperlige isolasjonsegenskaper. De har svært lave verdier for varmeledningsevne og kan oppnå optimale energibesparelser. De gode verdiene for mekanisk styrke og den eksepsjonelle holdbarheten til stivt polyuretanskum (PUR/PIR) tilfredsstiller alle krav til isolasjonsmaterialer i bygningsbransjen.

2.1 Varmeledningsevne

Et isolasjonsmateriales viktigste egenskap er isolasjonsevnen. Isolasjonsevnen måles i lav varmeledningsevne eller høy varmemotstand.

2.1.1 Varmeledningsevnen og varmemotstanden til isolasjonsmaterialer

Varmeledningsevne (λ) er en bestemt materialegenskap. Den representerer varmestrømmen i watt (W) gjennom en overflate på 1 m² med 1 m tykt flatt materiale når temperaturforskjellen mellom de to overflatene i varmestrømmens retning er på 1 kelvin (K). Måleenheten for varmeledningsevne (λ) er W/(m·K).

Varmemotstanden (R) beskriver varmeisolasjonseffekten til et bygningsslag. Det beregnes ved å dividere tykkelsen (d) med bygningsslagkomponentens designverdi for varmeledningsevne: $R = d/\lambda$ (i samsvar med EN ISO 6946). Enheten for varmemotstand (R) er (m²·K)/W. I bygningsslagkomponenter som består av flere lag, legges varmemotstanden til de individuelle lagene sammen.

Varmegjennomgangstallet (U) er varmestrømmen i watt (W) gjennom 1 m² av en bygningsslagkomponent når temperaturforskjellen mellom overflatene i varmestrømmens retning er 1 K. U-verdien kan beregnes fra $U = 1/R$ for en gitt konstruksjon, og er generelt representert i W/(m²·K).

Varmeledningsevnen og varmemotstanden til isolasjonsmaterialer av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) skal bestemmes i samsvar med Tillegg A og Tillegg C i EN 13165.

2.1.2 Varmeledningsevnen til stivt polyuretanskum (PUR/PIR)

Varmeledningsevnen til stivt polyuretanskum (PUR/PIR) avhenger av:

- benyttet cellegass
- tetthet
- temperatur
- reaksjon nær vann og fuktighet
- måletidspunktet

2.1.2.1 Cellegassens innvirkning

De eksepjonelle isolasjonsegenskapene til stivt polyuretanskum (PUR/PIR) oppnås ved hjelp av blåsemidler. Varmeledningsevnen til blåsemiddelet ved en referansetemperatur på 10 °C er atskillig lavere enn for luft [$\lambda_{\text{luft}} = 0,024 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]. Det hyppigst brukte blåsemiddelet er hydrokarbonpentan, som enten er en ren isomer eller en blanding av normal-, iso- eller cyclopentanisomer, med en varmeledningsevne mellom 0,012 og 0,013 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. [1] Til spesielle formål brukes fluorhydrokarboner, som HFC-365 mfc eller HFC-245 fa.

På grunn av det høye innholdet lukkede celler i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) (andel lukkede celler > 90 %), forblir blåsemidlene i isolasjonsmaterialet på lang sikt. Gassdiffusjonssikre dekklag reduserer cellegassutvekslingen med luften omkring.

Varmeledningsverdiene som er angitt av produsenten er langsiktige verdier. Disse er basert på en levetid for isolasjonsmaterialet på minst 25 år, selv om levetiden i praksis forventes å være på mer enn 60 år. Varmeledningsverdiene kan bli utsatt for aldringseffekter. Tillegg C i produktstandard EN 13165 beskriver prosedyrene for å avgjøre aldringseffekten på stivt polyuretanskum (PUR/PIR).

De innledende varmeledningsverdiene bestemmes i samsvar med EN 13165 ved overvåking av en tredjepart, et testinstitutt som er godkjent av bygningsmyndighetene, én til åtte dager etter produksjonen av isolasjonsplatene.

2.1.2.2 Tetthetens innvirkning

Mengden konstruksjonsmateriale øker med tettheten. Dette øker andelen varme som ledes over konstruksjonsmaterialet. Økt varmeledningsevne øker imidlertid ikke proporsjonalt med tetthetsøkningen. Varmeledningsevnen til stivt polyuretanskum (PUR/PIR) endres lite i tetthetsområdet 30 til 100 kg/m^3 , som er relevant for bygging.

2.1.2.3 Temperaturens innvirkning

Varmeledningsevnen til isolasjonsmaterialet reduseres etter hvert som temperaturen synker. Temperaturøkninger fører imidlertid til en minimal økning i varmeledningsevnen.

Varmeledningssmålinger foretas i standardiserte omgivelser. Derfor er de målte verdiene konvertert til en middeltemperatur på 10 °C. De minimale avvikene i varmeledningsevne for bruk i bygningsbransjen sammenlignet med en referansetemperatur på 10 °C tas i betraktning i varmeledningsevnen dimensjoneringsverdi.

2.1.2.4 Innvirkning av sugesevne etter nedsenkning i vann i 28 dager

Med en referansetemperatur på 25 °C, er varmeledningsevnen til vann $\lambda = 0,58 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Da varmeledningsevnen til de fleste vanlige isolasjonsmaterialer ligger mellom 0,020 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ og 0,050 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, fører vannabsorpsjon på grunn av nedsenkning i vann til økt varmeledningsevne. Vannabsorpsjon har imidlertid liten effekt på varmeledningsevnen til stivt polyuretanskum (PUR/PIR). Studier som er utført av Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München har vist at økningen i varmeledningsevne for stivt polyuretanskum (PUR/PIR) som er ekspandert med pentan etter 28 dagers nedsenkning i vann er minimal, og tilsvarer omtrent 0,0018 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ [2]

2.1.3 Varmeledningsevnen angitte verdi

Den angitte verdien for varmeledningsevne (λ_D) er avledet fra målte verdier som fastsatt under betingelsene og vilkårene i EN 13165. Den angitte verdien bestemmes med utgangspunkt i de første målte verdiene, og tar i betraktning statistiske punkt og aldersøkning. Det registreres i trinn på 0,001 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

2.1.4 Langsiktig varmeledningsevne for isolasjonsmaterialer i stivt polyuretanskum (PUR/PIR)

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München foretok langvarige tester på isolasjonsplater av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) over en periode på 15 år. Varmeledningsevnen og cellegassoppbygningen ble periodisk bestemt. På bilde 3 vises endringen i varmeledningsevnen til plater i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) som er innblåst med pentan i løpet av en lagringsperiode på 15 år ved romtemperatur.

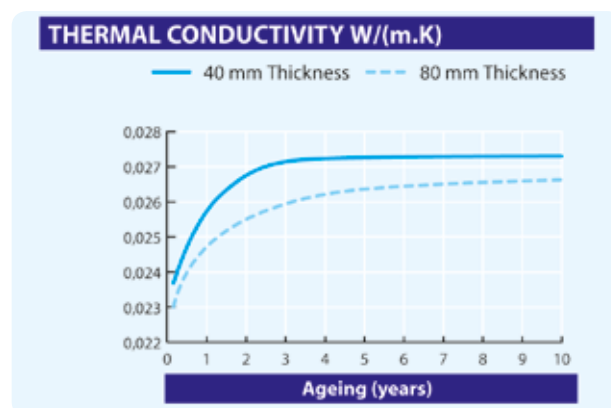
I tillegg til varmeledningsevnen til den faste materialstrukturen og varmestrålingen i skumcellene, avhenger varmeledningsevnen til stivt polyuretanskum (PUR/PIR) hovedsakelig av varmeoverføringen gjennom cellegassen. Den relativt kraftige økningen i varmeledningsevne i begynnelsen av studien oppstår på grunn av gassutvekslingen mellom CO_2 (varmeledningsevne c. 0,016 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) og luft (varmeledningsevne c. 0,024 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$).

Etter omtrent tre år balanseres cellegassoppbygningen, og varmeledningsevnen endres deretter kun minimalt. Normalt har tykke isolasjonsmaterialer lavere langsiktige varmeledningsverdier.

Tidskurvene viser at "faste mellomrom" for pentan er nøyaktig dimensjonert i samsvar med EN 13165:

- 5,8 $\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ved tykkelser på < 80 mm
- 4,8 $\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ved tykkelser på < 80 mm og < 120 mm
- 3,8 $\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ved tykkelser på > 120 mm og < 160 mm
- 2,8 $\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ved tykkelser på > 160 mm og < 200 mm (prEN13165, 2010)
- 1,8 $\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ved tykkelser på > 200 mm (prEN13165, 2010)

Brukerne kan være trygge på at de angitte verdiene for varmeledningsevne (λ_D) ikke overskrides, selv når svært lang tid har forløpt. [2 og 3]



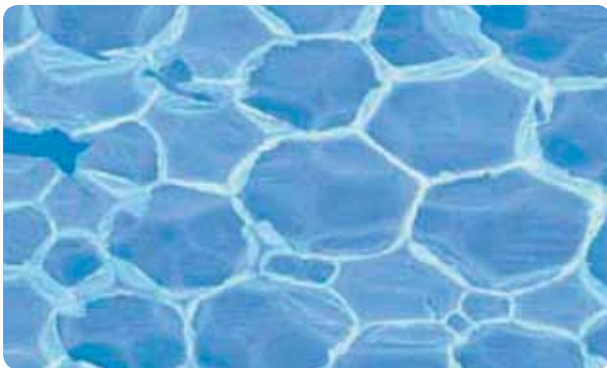
Bilde 3: Økning i varmeledningsevnen til isolasjonsmaterialer i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) i løpet av de første årene etter produksjon.

2.2 Tetthet

Tettheten til stivt polyuretanskum (PUR/PIR) som brukes til varmeisolasjon i bygninger ligger normalt mellom 30 kg/m³ og 45 kg/m³. Til visse typer bruk kan den imidlertid nå 100 kg/m³.

Til spesialoppgaver med ekstrem mekanisk last, kan tettheten til det stive polyuretanskummet (PUR/PIR) økes til 700 kg/m³.

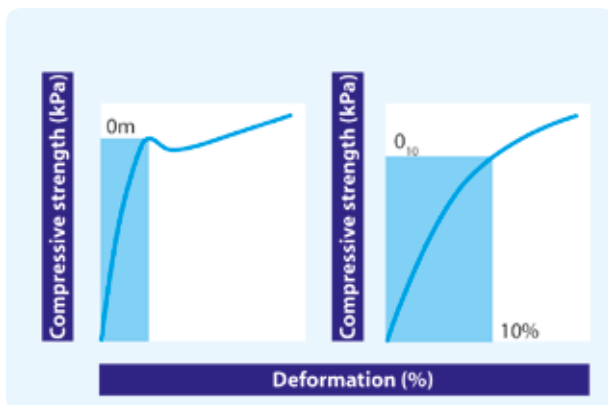
Kun en liten del av det stive polyuretanskummets volum består av fast materiale. Med en normal tetthet på 30 kg/m³ i bygningsbransjen, opptar materialet kun 3 % av volumet. Dette materialet danner et rutenett av celleavstivere og cellevegger som kan tåle mekanisk last på grunn av stivhet og knekksikkerhet.



Bilde 4: Cellestrukturen til stivt polyuretanskum (PUR/PIR)

2.3 Trykkfasthet σ_m eller trykkbelastning ved 10 % deformasjon σ_{10}

Styrkeegenskapene til stivt polyuretanskum (PUR/PIR) er hovedsakelig en funksjon av tettheten. Når materialatferd observeres under trykkbelastning, skiller vi mellom trykkfasthet og trykkbelastning. Trykkfasthet bestemmes normalt ved 10 % deformasjon. Trykkbelastning defineres som maksimal belastning til bristestyrken.



Bilde 5: Trykkfasthet og trykkbelastning ved 10 % deformasjon (trykkfasthet: skummaterialet faller plutselig sammen under den økende trykkbelastningen. Verdien på maksimalpunktet på kurven er trykkfastheten σ_m . Trykkbelastning: det finnes ikke noe klart bristepunkt. Verdien ved 10 % deformasjon av prøven er trykkbelastningen σ_{10}).

Trykkfastheten eller trykkbelastningen ved 10 % deformasjon av isolasjonsmaterialer i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) måles i samsvar med EN 826 innenfor en tidsramme på noen få minutter. Dette er kjent som kortsiktig adferd. Disse målte verdiene kan brukes til å sammenligne ulike isolasjonsmaterialer. Det er nødvendig å ha verdiene for langvarig kontinuerlig trykkbelastning (compressive creep) for å få pålitelige statiske målinger.

For mange bruksområder for stivt polyuretanskum (PUR/PIR) er en trykkfasthetverdi σ_m eller trykkbelastningsverdi σ_{10} på 100 kPa tilstrekkelig.

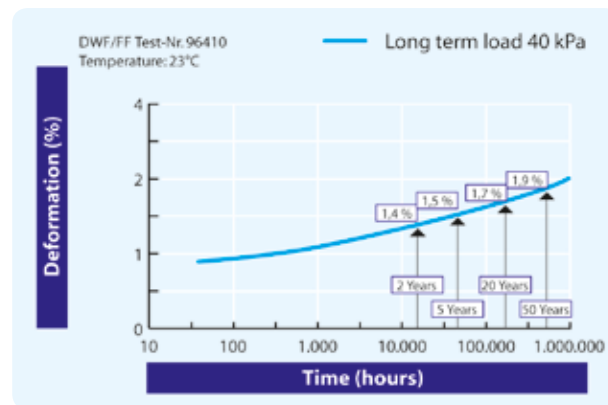
Til noen typer isolasjon, som til tekking av flate tak, gulvlegging, innvendige tak eller yttervegger, kan høyere trykkbelastninger inntreffe.

2.4 Kontinuerlig trykkbelastning σ_c (compressive creep)

Bygningskonstruksjoner er normalt utsatt for statisk belastning over lange perioder. Lastene må overføres trygt uten å skade helhetskonstruksjonen. Stivt polyuretanskum (PUR/PIR) har med sine ypperlige trykkbelastningsverdier, i kombinasjon med elastisitet, vist at det er et eksepsjonelt varmeisolasjonsmateriale i bruk med trykkbelastning i mange tiår.

Til visse bruksområder, og hovedsakelig til gulvlegging, utsettes stivt polyuretanskum (PUR/PIR) for kontinuerlig statisk belastning fra maskiner eller lagermaterialer eller lignende. I slike tilfeller er deformasjonen under kontinuerlig belastning den vesentlige faktoren i den statiske beregningen. Maksimal deformasjon av isolasjonsmaterialet kan ikke være vesentlig over 2 % over en belastningsperiode på henholdsvis 20 og 50 år hvis en skal oppnå sikker dimensjonering i slike bygg. Langvarige tester på stivt polyuretanskum (PUR/PIR) har bekreftet pålitelig samsvar med disse verdiene.

Den langvarige oppførselen til isolasjonsmaterialer av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) under kontinuerlig trykkbelastning (compressive creep) bestemmes i samsvar med EN 1606.



Bilde 6: Langvarige trykkkurver for isolasjonsplater i stivt polyuretanskum (PUR/PIR), 33 kg/m³ med dekklag av aluminiumsfolie, langsiktig belastning på 40 kPa, målte verdier etter en to- og femårs belastningsperiode og ekstrapolering til 20 og 50 år. [4]

Langvarige trykktester i samsvar med EN 1606 på stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med dekklag i aluminiumsfolie og en tetthet på 33 kg/m³ har vist at dette varmeisolasjonsmaterialet gir ypperlige resultater i bruksområder med trykkbelastning over perioder på flere tiår. Med en kontinuerlig belastning på 40 kPa over en toårsperiode, ble deformasjonsmålinger på 1,4 % registrert. I den kontinuerlige belastningstesten som gikk over fem år, ble deformasjonen målt til 1,5 %.

Ved hjelp av Findleys ekstrapoleringsprosedyre, ble deformasjonsverdier på 1,7 % og 1,9 % registrert i perioder med kontinuerlig trykkbelastning med henholdsvis 20 og 50 år.

2.5 Strekkstyrke loddrett i forhold til flatene ømt, skjærfasthet og bøyestyrke øb

Isolasjonsmaterialer som er lagd av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) brukes ofte i kombinasjon med andre bygningsmaterialer (for eksempel i "external thermal insulation composite systems" (ETICS)) for store industribygninger og landbruksbygninger. Til slik bruk utsettes de for strekkstyrke, skjærfasthet og bøyestyrke. Takket være deres stabilitet og eksepsjonelle isolasjonsegenskaper, har sammensatte elementer med kjerne av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) dokumentert ytelse over flere tiår, selv om elementene er svært tynne.

Hvis stivt polyuretanskum (PUR/PIR) brukes til varmeisolasjon på flate tak, interiørarbeid eller sammensatte utvendige varmeisolasjonssystemer (ETICS), er det viktig å sørge for at den sammensatte strukturen forblir intakt og uten brudd i isolasjonslaget. Strekkstyrke og skjærfasthet er viktige i denne forbindelse. Strekkstyrken loddrett i forhold til flatene bestemmes i henhold til EN 1607.

Avhengig av tettheten, ligger verdiene for PUR/PIR mellom 40 og 900 kPa. Avhengig av tettheten, har isolasjonsmaterialer i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) skjærfasthet i samsvar med EN 12090 på mellom 120 og 450 kPa.

Bøyestyrken som er fastsatt i samsvar med EN 12089 beskriver adferden ved bøyestyrke i visse bruksområder, som gipsplater i trebygninger eller til tekking av store tomrom mellom bjelkene i takkonstruksjoner. Bøyestyrken til sammensatte elementer med kjerne av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) avhenger av skummets tetthet og dekklagene som brukes. Verdiene ligger mellom 250 og 1300 kPa.

2.6 Reaksjon nær vann og fuktighet

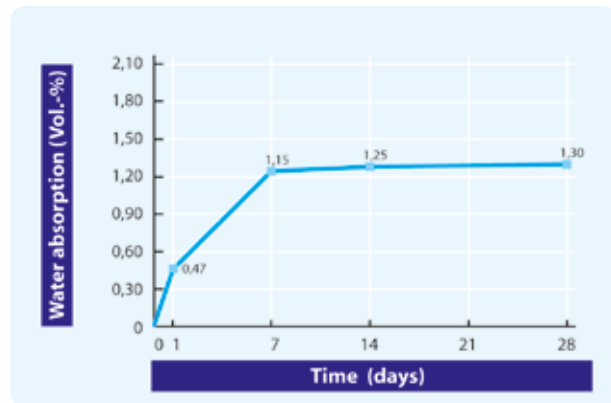
Bygningskomponenters funksjonelle effektivitet når det gjelder fuktighetsmotstand avhenger i stor grad av adferden til isolasjonsmaterialene i forhold til bygnings- og bakkefuktighet, samt nedbør under transport, oppbevaring og montering. Kondensfuktighet på bygningskomponentenes overflate og kondens i bygningskomponentenes tverrsnitt på grunn av dampdiffusjon spiller også inn.

Isolasjonsmaterialer av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) absorberer ikke fuktighet fra luften. På grunn av den lukkede cellestrukturen absorberer de og transporterer de ikke vann, og det vil si at det ikke er noen kapillæraktivitet. Derfor fører ikke normal fuktighet i bygninger til økt varmeledningsevne. Vanndampdiffusjon kan ikke forårsake økt fuktighetsnivå i isolasjonsplater av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med mindre disse ikke er korrekt strukturelt montert, for eksempel hvis det mangler fuktsperre eller hvis det finnes luftlommer eller dårlige forseglinger i flate tak.

2.6.1 Sugeevne etter nedsenkning i vann i 28 dager

I laboratorietester der isolasjonsplater av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) er permanent omringet av vann, kan vannabsorpsjon oppstå som følge av diffusjon og kondens. I nedsenkningstesten som utføres i samsvar med EN 12087 over 28 dager, er sugeevnen som måles i en 60 mm tykk PIR/PUR-isolasjonsplate (med mineralulldekklag og en tetthet på 35 kg/m³) normalt på rundt 1,3 volumprosent.

Når isolasjonsplater av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) brukes til isolasjon av yttervegger, kan de bli utsatt for konstant væte.



Bilde 7: Sugeevnen til stivt polyuretanskum (PUR/PIR) etter 28 dagers nedsenkning i vann [2]

2.6.2 Fuktighetsreaksjon ved diffusjon og kondens i vekslende fryse-tine-forhold

Når stivt polyuretanskum (PUR/PIR) brukes som isolasjon til yttervegger, er isolasjonsplatene i konstant kontakt med bakken, og derfor mer utsatt for fuktighet og frost.

Maksimal sugeevne på grunn av diffusjon og kondens i isolasjonsplater av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) målt i samsvar med EN 12088 er på omtrent seks volumprosent.

Tester som er utført av Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München når det gjelder fuktighetsreaksjonen til stivt polyuretanskum (PUR/PIR) ved alternerende fryse-tine-forhold viste verdier på mellom to og sju volumprosent på isolasjonsplater uten dekklag.

2.6.3 Diffusjonsmotstandsfaktor μ for vanndamp

Diffusjonsmotstandsfaktoren for vanndamp (μ) er en vesentlig parameter for å avgjøre fuktighetsrelatert adferd i bygningskomponenter. μ -verdien angir hvor mye høyere diffusjonsmotstandsfaktoren for vanndamp i et bygningskomponentlag er enn samme tykkelse i luft (μ luft = 1).

Diffusjonsmotstandsfaktoren for vanndamp i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) bestemmes i samsvar med EN 12086. Den avhenger av tettheten og produksjonsmetoden. Hvis materialene har belegget eller dekklag, må det angitte nivået for diffusjonsmotstandsfaktor for vanndamp (symbol Z) angis.

I fuktighetsrelaterte beregninger av bygningskomponenter til konkrete bruksområder, skal den dårligste verdien benyttes.

2.6.4 Diffusjonsekivalent tykkelse for luftlaget sd

Diffusjonsekivalent tykkelse for luftlaget (s_d) er produktet av lagets tykkelse (e_s) i meter og diffusjonsmotstandsfaktoren (μ).
 $s_d = \mu \cdot s$

EKSEMPEL:

Avhengig av bruksområdet i konstruksjonen, har 120 mm tykke isolasjonsplater i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med mineralulldekkklag en s_d -verdi på mellom $40 \times 0,12 = 4,8$ m og $200 \times 0,12 = 24$ m.

2.7 Varmeutvidelse

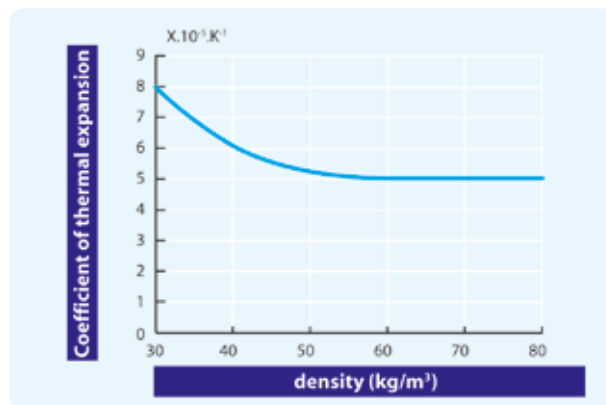
Alle materialer utvider seg i varme. Varmeutvidelseskoeffisienten uttrykker den materialspesifikke varmetvidelsen per kelvin temperaturøkning. I skumplast med lukket celle påvirker gasstrykket i cellestrukturen også ekspansjonen.

Varmeutvidelseskoeffisienten til stivt polyuretanskum (PUR/PIR) avhenger blant annet av

- tetthet
- dekkklag
- eventuelt feste av isolasjonsmaterialet til et bygningskomponentlag
- valgt temperatur

Målinger som er tatt på isolasjonspaneler av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med fleksible dekkklag og tettheter på mellom 30 og 35 kg/m³ ga varmetvidelseskoeffisienter på mellom 30 og $7 \times 10^{-5} \cdot K^{-1}$.

For isolasjonspaneler av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) uten dekkklag og med tettheter på mellom 30 og 60 kg/m³ ligger den lineære varmetvidelseskoeffisienten på mellom 5 og $8 \times 10^{-5} \cdot K^{-1}$. Varmeutvidelseskoeffisienten til isolasjonsplater med høyere tetthet uten dekkklag ligger på omkring $5 \times 10^{-5} \cdot K^{-1}$. Disse verdiene gjelder for paneler eller avkappede deler / lister som ikke er festet til et substrat eller ikke er godt montert.



Bilde 8: Varmeutvidelsen til stivt polyuretanskum (PUR/PIR) uten dekkklag. (Varmeutvidelsen til stivt polyuretanskum (PUR/PIR) uten dekkklag i temperaturer mellom -60 °C og +20 °C, målt i forhold til tetthet)

2.8 Spesifikk varmekapasitet og varmelagringskapasitet

2.8.1 Spesifikk varmekapasitet c_p

Spesifikk varmekapasitet c_p angir hvor mye varmeenergi som kreves for å øke temperaturen til 1 kg materialmasse med 1 K. Spesifikk varmekapasitet c_p måles i J/(kg·K).

Mer varmeenergi kreves for å heve temperaturen med 1 K i materialer med høyere varmekapasitet. Motsatt kreves også mindre energi for å heve temperaturen i materialer med lavere varmekapasitet med 1 K.

I samsvar med EN 12524 skal disse beregnede verdiene brukes i spesielle utregninger av varmeledning i bygningskomponenter med ustabile grenseforhold.

Materialspekifikk	Varmekapasitet $c_p = J/(kg \cdot K)$
Stivt polyuretanskum (PUR/PIR)	1 400 - 1 500
Isolasjonsplater i trefiber	1 400
Mineralull	1 030
Tre og trebaserte materialer	1 600
Gipsplate	1 000
Aluminium	880
Andre metaller	380 - 460
Luft ($\rho = 1,25$ kg/m ³)	1 000
Vann	4 190

Tabell 1: Beregnede verdier for den spesifikke varmekapasiteten c_p til ulike materialer

2.8.2 Varmelagringskapasitet C

Varmelagringskapasiteten til bygningskomponenter påvirkes av den spesifikke varmekapasiteten til de enkelte bygningsmaterialene de inneholder.

Varmelagringskapasiteten C i J/(m²·K) angir hvor mye varme et homogent bygningsmateriale med overflateareal på 1 m² og en tykkelse på (s) kan lagre når temperaturen stiger med 1 K.

Varmelagringskapasitet C i J/(m²·K) =
 spesifikk varmekapasitet (c) x tetthet (r) x tykkelsen på laget (d)

Tabell 2 viser at varmelagringskapasiteten til trefiberplater er mange ganger høyere enn for isolasjonsplater av stivt polyuretanskum (PUR/PIR). For innendørsklima i sommermånedene er disse forskjellene minimale.

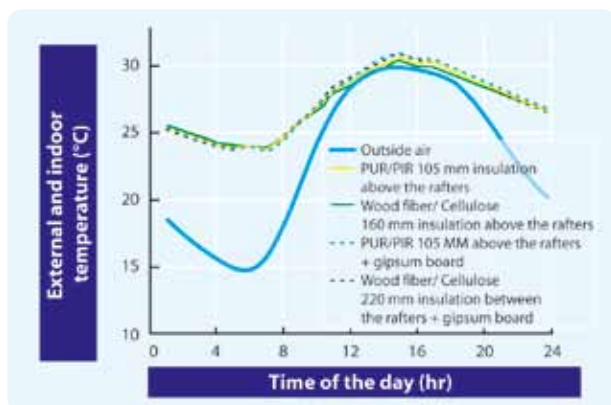
Ved hjelp av datastyrte varmesimulasjoner har Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München undersøkt påvirkningen til isolasjonstyper i ulike skrårak i innendørsklima. [5]

Uten solskjerming nådde innendørstemperaturen 31 °C om ettermiddagen. Temperaturene som ble målt i rommet viser at varmelagringskapasiteten til de ulike isolasjonsmaterialene ikke er relevant. Innendørstemperaturen avvek med maksimalt 0,6 K.

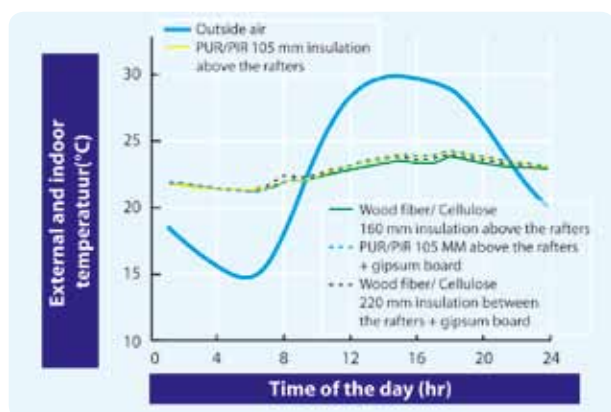
Materialtykkelse	Tykkelser	Varmeledningsevne	Tetthet	Spesifikk varmekapasitet	Varmelagringskapasitet
	mm	W/(m·K)	kg/m ³	kJ/(kg·K)	kJ/(m ² ·K)
Eksempel 1: Skråtak med isolasjon av stivt polyuretanskum (PUR/PIR)					
Isolasjonsmaterialer av stivt polyuretanskum (PUR/PIR)	105	0,025	30	1,5	4,73
Tømmerskall	28	0,13	600	1,6	26,88
Bitumenstripe	2	0,17	1 200	1,0	2,40
Gipsplate	12,5	0,21	900	1,0	11,25
Eksempel 2: Skråtak med trefiberisolasjon					
Trefiberplate	180	0,040	120	1,4	30,24
Tømmerskall	28	0,13	600	1,6	26,88
Bitumenstripe	2	0,17	1 200	1,0	2,40
Gipsplate	12,5	0,21	900	1,0	11,25

Tabell 2: Eksempel på varmelagringskapasiteten til ulike bygningskomponentlag i skråtak

Når vinduet på taket er skjermet mot solen, er innendørstemperaturen om ettermiddagen vesentlig lavere enn temperaturen utenfor. Romtemperaturen forblir til enhver tid under 25 °C. Her har heller ikke typen isolasjonsmateriale noen vesentlig betydning for innendørstemperaturen.



Bilde 9: Utendørs- og innendørstemperaturer på den varmeste dagen i en varm sommeruke uten solskjerming



Bilde 10: Utendørs- og innendørstemperaturer på den varmeste dagen i en varm sommeruke med solskjerming

Resultatene fra datasimuleringen viser at:

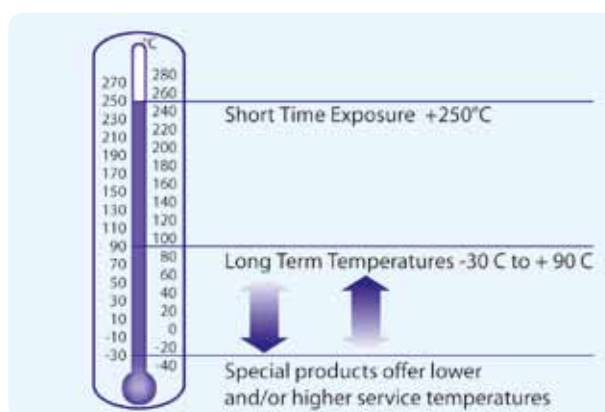
- solstråling er den viktigste faktoren som påvirker inneklimaet om sommeren, og derfor skaper effektiv solskjerming i vinduene behagelige forhold innendørs
- varmelagringskapasiteten til ulike isolasjonsmaterialer har svært liten effekt på innendørsklimaet om sommeren.

God varmeisolasjon forbedrer innendørsklimaet om sommeren også. Tykkelse for tykkelse reduserer isolasjonsmaterialer med lavere varmeledningsevne varmestrømmen inn gjennom de ytre bygningskomponentene.

2.9 Temperaturstabilitet

I tillegg til stabiliseringsegenskapene til isolasjonsmaterialer ved høyere temperatur, er temperaturens maksimums- og minimumsgrenser også viktige for visse bruksområder. Varigheten til bestemte temperaturfaktorer er spesielt viktig her. Temperaturgrensene for materialets bruk kan vise seg på grunn av ulike effekter, som dimensjonsforandringer, tap av form og stabilitet samt termisk nedbrytning.

Isolasjonsmaterialer av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) har høy termisk motstandsgrad og god dimensjonsstabilitet. Avhengig av tettheten og dekklagene, kan isolasjonsmaterialer av stivt polyuretanskum



Bilde 11: Holdbarheten til isolasjonsplater av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) ved varmepåvirkning

(PUR/PIR) til bygningsbruk brukes på lang sikt i temperaturer mellom $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Isolasjonsmaterialer i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) tåler temperatur på opptil $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ i kortere perioder uten negativ innvirkning. Stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med dekklag av mineralull eller uten belegg er motstandsdyktig mot varm bitumen, og kan brukes til tekking av flate tak forseglert med bituminøse tak. Stivt polyuretanskum (PUR/PIR) er en varmtherdende plast, og smelter ikke ved brann.

I tillegg kan en rekke spesialprodukter av polyuretan installeres som isolasjon under gulvavrettingslag av støpeasfalt og tåle temperatur på $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ uten ytterligere varmebeskyttelse, eller det kan brukes i kulde ned til $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.10 Kjemisk og biologisk stabilitet

Kontakt med kjemikalier kan påvirke egenskapene til isolasjonsmaterialer. Isolasjonsplater av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) er imidlertid hovedsakelig motstandsdyktige mot vanlige kjemiske stoffer som brukes i byggebransjen. Dette omfatter for eksempel de fleste løsemidler som brukes i lim, bituminøse materialer, trebeskyttelsesprodukter eller forsøglingsmaterialer. Isolasjonsmaterialet er heller ikke utsatt for innvirkning fra plastiseringsmidler som brukes i tetningsfilm eller drivstoff, mineraloljer, uttynnede syrer og alkalier, avgasser eller korroderende industriatmosfærer. Stivt polyuretanskum (PUR/PIR) råtner ikke, det motvirker mugg og nedbrytning, og har ingen lukt.

UV-stråling forårsaker misfarging av isolasjonsplater av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) uten dekklag eller i skjærekanten, og fører over tid til mild sliping av overflatene. Dette er imidlertid ikke noe teknisk problem. Overflateslipingen kan fjernes i senere arbeidstrinn. Bestandigheten til stivt polyuretanskum (PUR/PIR) (uten dekklag) i bygningsmaterialer og kjemiske stoffer ble fastsatt ved en testtemperatur på $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Forklaring: + bestandig, +/- delvis bestandig

Bygningsmaterialer / kjemiske stoffer	Oppførselen til stivt polyuretanskum (PUR/PIR)
Kalk, gips (puss), sement	+
Bitumen	+
Kald bitumen og bituminøs, vannbasert sement	+
Kaldt, bituminøst lim	+/-
Varm bitumen	+/-
Kald bitumen og bituminøs sement med løsemidler	+/-
Silikonolje	+
Såper	+
Sjøvann	+
Saltsyre, svovelsyre, salpetersyre, kaustisk soda (10 % henholdsvis)	+
Ammoniumhydroksid (kons.)	+
Ammoniakkvann	+
Vanlig bensin / diesel / blanding	+
Toluen/klorbenzen	+/-
Monostyren	+/-
Etylalkohol	+/-
Aceton/etylacetat	+/-

Tabell 3: Kjemikaliebestandigheten til stivt polyuretanskum (PUR/PIR)

2.11 Brannegenskapene til stivt polyuretanskum (PUR/PIR)

2.11.1 Isolasjonsprodukters brannreaksjon i henhold til europeiske standarder

De europeiske teststandardene beskriver testutstyret og testforholdene samt hvordan testen skal utføres og evalueres. Den sentrale testmetoden for produkter i klasse A2 til D, med unntak av gulv, er SBI-testen (Single Burning Item) i samsvar med EN 13823. SBI-testen utføres med en gassbrenner med brannbelastning som tilsvarer en brennende papirkurv. Følgende parametre bestemmes: fire growth rate (brannutviklingshastighet), total heat release (total varmeavgivelse), lateral flame spread on the surface (lateral flammespredning på overflaten), smoke development (røykutvikling) og burning droplets (brennende dråper). SBI-testen erstatter tidligere benyttede nasjonale tester.

Ytterligere én test for liten brenner utført i samsvar med EN ISO 11925-2 kreves for klasse B, C og D (flammevarighet: 30 sekunder). Euroclass E testes kun i samsvar med EN ISO 11925-2 (flammevarighet: 15 sekunder). Klassifiseringsstandarder er tilgjengelige for å forenkle vurderingen eller evalueringen av testresultatene. Bygningsmaterialer er fordelt i "Euroklasser" i samsvar med EN 13501-1 "Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler. Del 1: Klassifisering ved bruk av resultater fra brannmotstandsprøving". For øyeblikket er fire ulike brannklassifiseringer valgt: for bygningsmaterialer unntatt gulv, gulv, rørisolasjon og kabler.

I de harmoniserte europeiske standardene er bygningsmaterialer delt inn i sju euroklasser: A1, A2, B, C, D, E og F. Det europeiske klassifiseringssystemet tar i tillegg i betraktning andre sekundærreaksjoner til brannrelatert adferds karakteristikk, som røykutvikling og brennende dråper/partikler. For bygningsmaterialer er tre klasser etablert for røykutvikling (s1 til s3), og for brennende dråper/partikler (d0 til d2). Disse må alltid angis sammen med reaksjonen på brannklasser for klasse A2 til D. For produkter som er klassifisert i klasse E, må brennende dråper erklæres hvis antenning av filterpapir inntreffer i den lille flammetesten frem mot E, d2. Stivt polyuretanskum (PUR/PIR) er en varmtherdende plast som ikke smelter eller lager brennende dråper ved brann.

2.11.2 Brannsikkerhet i bygningselementer som inneholder isolasjon av stivt polyuretanskum (PUR/PIR)

Bygningselementer klassifiseres i samsvar med EN 13501 "Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler. Del 2: Klassifisering ved bruk av resultater fra brannmotstandsprøving, unntatt ventilasjonssystemer". Bygningsmyndighetene i de enkelte EU-medlemslandene går for tiden gjennom sine nasjonale krav for å avgjøre hvilke europeiske klasser som trengs i fremtiden når det gjelder brannmotstand i bygningselementer. Når det gjelder brannmotstandstestene og de påfølgende brannmotstandsklassene for bygningsmaterialer er dette ganske enkelt, da de nasjonale testene kun har minimale avvik fra de nye europeiske teststandardene.

2.11.3 Brannreaksjonsklassifisering for stivt polyuretanskumbaserte (PUR/PIR) produkter

Avhengig av formel og dekklagstype, har de fleste vanlige PUR/PIR-plater klassifisering fra C, s2, d0 til F. For PUR/PIR-rørisolasjon gis klassifisering fra BL, s1, d0 til F, avhengig av sammensetning og dekklagstype. PUR/PIR-baserte isolerpaneler med metalldekklag kan få B, s2, d0.



3 Bærekraftig utvikling med stivt polyuretanskum (PUR/PIR)

Siden FNs Earth Summit i Rio de Janeiro i 1992, har ordet "bærekraftig" vært på alles lepper. Bærekraftighet kan imidlertid ikke kun forklares som "økologi". Implementering av bærekraftighetsprinsippet betyr å ta i betraktning miljømessige, økonomiske og sosiale aspekter i lik grad. Fokus må være på en helhetlig tilnærming som tar likt hensyn til miljøbeskyttelse, sosiale behov og bærekraftig forretningspraksis.

Energiøkonomisering skal være første prioritet, og når verdens befolkning allerede er over seks milliarder, vil matbesparing bli like viktig.

Bærekraftig bygging handler ikke bare om å evaluere miljøaspektene ved individuelle byggematerialer. Bærekraftighetskonseptet gjør at det er nødvendig å ha en mer kompleks holdning som omfatter hele levetiden til en bygning og materialene som er brukt. Følgende aspekter må vurderes:

- miljømessige mål, som ressursbevaring, strømsparing, CO₂-reduksjon og resirkulering
- økonomiske mål, som reduksjon av bygge- og driftskostnader ved bruk av byggematerialer med tilsvarende ytelsesprofil
- sosiokulturelle aspekter, helse og velbehag, dvs. at bygninger der folk bor og arbeider må svare til brukernes behov og kunne garantere et høyt velværenivå

I denne rapporten fokuserte vi på PUR/PIR-bidraget til miljøaspektene ved bærekraftig utvikling.

3.1 Redusere energiforbruk og -utslipp

Bygninger utgjør mer enn 40 % av EUs totale energiforbruk. Energikildene våre er imidlertid ikke uendelige. Økt energieffektivitet, dvs. energibesparelser og optimal bruk av energi, er en forutsetning for å innhente mangelen på begrensede ressurser i forhold til den økende etterspørselen.

Det er nær sammenheng mellom utslipp av drivhusgasser og strømforbruk. Fossile energikilder gir energi til oppvarming og nedkjøling av bygninger, til transportmidler og industriprosesser. Økningen av jordens gjennomsnittlige overflatetemperatur skyldes den raske forbrenningen av fossile energikilder. Karbondioksid (CO₂) utgjør mer enn 80 % av alt utslipp av drivhusgasser. Disse utslippene forverrer drivhuseffekten, og bidrar dermed til oppvarming av kloden. I Kyoto-protokollen til FNs rammekonvensjon om klimaendringer, inngikk medlemmene i EU-landene en avtale om å redusere det totale utslippet av drivhusgasser med 8 % mellom 2008 og 2012, basert på tallene for 1990. Disse målene skulle oppnås med økt energieffektivitet i bygninger.

3.2 Konserveringsmidler til hygiene og mat

Med en fordobling av verdens befolkning om 50 år og 8 milliarder innbyggere forventet innen år 2030, har verden et økende antall innbyggere som skal ha bolig og mat.

Isolasjonseffektiviteten til stivt polyuretanskum (PUR/PIR) er en nøkkelegenskap for konservering av mat ved lav temperatur under foredling, oppbevaring og distribusjon til forbrukeren, og kan spare opptil femti prosent av verdifull mat som ellers ville ha råtnet før den blir forbrukt.

Hygiene er et viktig hensyn å ta der mat foredles. Konstruksjoner med isolerpaneler med kjerne av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) eliminerer kuldebroer, som sørger for at overflatekondens og kondens mellom lagene ikke inntreffer, da dette kan føre til bakteriedannelse og muggvekst. De leveres med matvaretrygge innlegg som er enkle å rengjøre, og som er spesielt utviklet i samsvar med forskriftene.

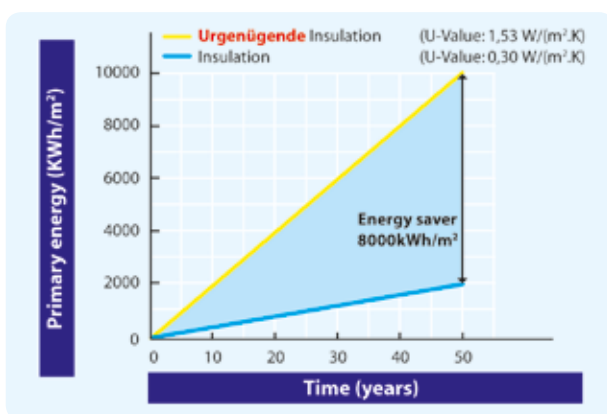
I kjøletransport er isolasjonens tykkelse begrenset av lastebilens maksimale bredde og den minste interne dimensjonen bestemmes av den standardiserte pallestørrelsen. Studier har vist den viktige rollen paneler med kjerne i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) spiller på CO₂-sparing.

Hygiene er like viktig for andre prosesser som krever rent miljø, som elektroniske og farmasøytiske bedrifter. Dette er ikke uviktige aktivitetsområder når vi ser trendene mot mer høyteknologisk industri og lengre forventet levetid på grunn av god og riktig bruk av legemidler.

3.3 Livssyklusanalyse av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) og energibalanse

I tillegg til sine gode strukturelle egenskaper, spiller miljøkrav en stadig viktigere rolle i valget av isolasjonsmaterialer. Når det gjelder økologisk balanse, er det viktig å basere seg på omfattende data for å evaluere varmeisolasjonsproduktene totale levetid. Dette gjelder data om energi, råmaterialer og foredling, og innvirkningen av utslipp og avfall til luft, vann og jordsmonn. I evalueringen er lange bruksperioder og materiallevetid vesentlige faktorer, da disse fører til vesentlig forbedring av den totale økologiske balansen.

Energibalansen er en viktig komponent i livssyklusanalysen. Dette sammenligner produksjonsdataene i produksjonen av produktet med energien den sparer i løpet av levetiden. Studier viser at varmeisolasjonsprodukter av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) sparer mange ganger energien som forbrukes i løpet av produksjonen i løpet av en nyttetid på mer enn 50 år. Energidataene for produksjon av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) innhentes som regel etter første oppvarmingsperiode. 100 kWh energi blir forbrukt ved produksjon av en 80 mm tykk plate stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med en overflate på 1 m² og med dekklag i aluminium. Når isolasjonsplater av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med en tykkelse på 80 mm og dekklag i aluminium brukes til å forbedre varmeisolasjonen til et skråtak i et gammelt bygg, er det mulig å spare 160 kWh energi per kvadratmeter av taket per år, hvilket utgjør totalt 8 000 kWh i løpet av produktets 50 år med nyttetid. [6 ja 7]



Bilde 12: Energibesparelser med isolasjon av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) i løpet av en periode på 50 år

3.4 Stivt polyuretanskum (PUR/PIR) – materialgjenvinning og energigjenvinning

Varmeisolasjonsprodukter av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) er ekstremt stabile og slitesterke. Holdbarheten varer som regel like lenge som bygningens nyttetid. Når bygningen blir demontert/revet, kan isolasjonsmaterialene i stivt polyuretanskum brukes om igjen.

Rene og uskadede isolasjonsplater i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) kan brukes om igjen for å isolere toppetasjer/loft.

Rent avfall av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) kan knuses og brukes til å lage komprimerte plater av resirkulert polyuretan, i likhet med sponplater. Disse brukes til spesielle oppgaver, som for eksempel til gulv, der det er behov for ekstra fuktmotstand.

Partikler fra oppkvernet varmeisolasjon av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) kan også brukes som oljebindemiddel eller i kombinasjon med sement som isolasjonsmørtel.

Hvis avfallsmaterialets sammensetning er kjent og det ikke finnes urenheter, kan én råmaterialkomponent gjenvinnes ved hjelp av glykolyse.

Avfall av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med urenheter, eller med rester av andre bygningsmaterialer, kan brennes sammen med annet husholdningsavfall i forbrenningsovner med varmegjenvinningsystem uten ytterligere negative miljøkonsekvenser. I løpet av denne prosessen omgjøres energien i isolasjonsmaterialet til primær energi.

Produksjonsavfall	Bygningsavfall	Bygningsavfall i løpet av demontering/riving	
		Materialgjenvinning	Energigjenvinning
Rent	Rent	Rent	Blandet
glykolysekomprimerte plater	partikler	resirkulert	avfallsforbrenningsovn med varmegjenvinningsystem
råmateriale	sponplate	f.eks. isolasjonsplater til toppetasjer/loft	energigjenvinning

Tabell 4: Avfall av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) – materialgjenvinning og energigjenvinning

Med stivt polyuretanskum (PUR/PIR) blir innsparingen dobbel: Ved etterfylling av isolasjon av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) oppnås en innsparing på opptil 30 % av oppvarmingskostnadene i løpet av en periode på minst 50 år. Etter nyttetiden som isolasjonsmateriale kan stivt polyuretanskum (PUR/PIR) generere ytterligere innsparinger ved brenning i avfallsforbrenningsovner med varmegjenvinningsystem, og dermed redusere behovet for å brenne nye energikilder (olje eller gass). Dette er en fordel for miljøet, mennesker, planter og dyr.



4 Produksjon av varmeisolasjonsmaterialer av stivt polyuretanskum (PUR/PIR)

Stivt polyuretanskum (PUR/PIR) produseres ved en kjemisk reaksjon mellom to basiskomponenter i flytende form og et blåsemiddel med lavt kokepunkt, som pentan eller CO₂.

Basismaterialene reagerer umiddelbart når de blandes, og danner en polymermatrise: polyuretan. Varmen som frigis i denne reaksjonen fører til at blåsemiddelet fordampes og lager skum av polymermatrisen. Det ekspanderte skummets volum, og dermed også skummets tetthet, kontrolleres med mengden tilført blåsemiddel. Skummaterialets formel kan endres ved hjelp av ulike tilsetningsstoffer for å oppnå ønskede egenskaper. [8]

Overflaten til reaksjonsblandingen beholder klebeffekten en stund etter skumdannelsen, slik at dekklagene kan få godt og permanent feste. Ved industriell produksjon er skumdannelsen finjustert med katalysatorer som forenkler den effektive tidsstyringen av produksjonssyklusen.

Isolasjonsmaterialer av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) produseres i fabrikk som:

- isolasjonsplater med fleksible dekklag
- skumblokker, som er skjært som isolasjonsplater eller -seksjoner
- isolerpaneler med herdet dekklag



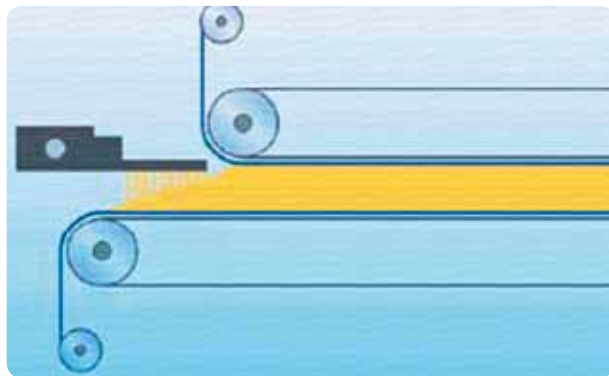
Bilde 13: Fire faser i ekspansjonen av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) i et målebeger

4.1 Produksjon av isolasjonsplater i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med fleksible dekklag

Isolasjonsplater i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med fleksible dekklag produseres i en kontinuerlig prosess på en kontinuerlig laminator. I denne produksjonsprosessen helles reaksjonsblandingen gjennom et blandehode ned på det nedre dekklaget av fleksibelt materiale som trekkes inn i laminatoren. Blandingen ekspanderer og festes deretter til det øvre dekklaget som mates inn ovenfra i laminatorens trykksone. Laminatet herdes nok til at det kan skjæres til ønsket dimensjon etter at det har gått gjennom laminatoren. Platene kan produseres i ulike tykkelser på opptil 200 mm.

De fleksible dekklagene er normalt lagd av

- mineralull
- glassull
- aluminiumsfolie
- sammensatt film



Bilde 14: Kontinuerlig produksjon av isolasjonsplater i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med fleksible dekklag

Ulike dekklag velges i forhold til ønsket bruksområde for isolasjonsplatene. Dekklagene kan fungere som dampspærre, fuktspærre, optikkflate eller beskyttelse mot mekanisk skade. Isolasjonsplatene leveres med ulike kantprofiler, som not og fjær, trappeprofil eller flat.

Isolasjonsplater i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med fleksible dekklag produseres også i sammenheng med herdede dekklag som sammensatte varmeisolasjonspaneler. I slike tilfeller limes sponplater eller mineralmaterialer til veggbruk, som gipsplater, til isolasjonsplatene.



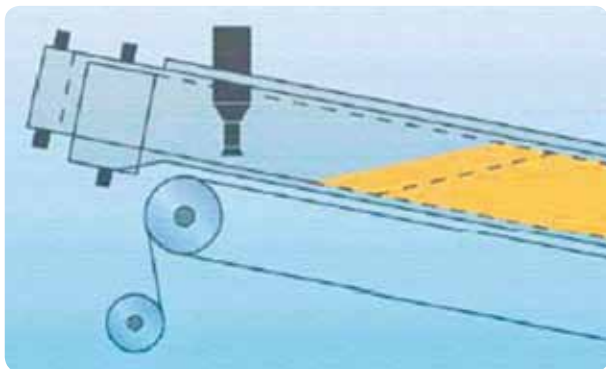
Bilde 15: Isolasjonsplater av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med aluminiumsfolie og andre dekklag

4.2 Produksjon av stive polyuretanskumblokker (PUR/PIR)

Blokker av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) kan produseres i kontinuerlige eller usammenhengende prosesser.

4.2.1 Kontinuerlig produksjon av skumblokker

Ved kontinuerlig produksjon av skumblokker festes reaksjonsblandingen til en U-format papirstrimmel som støttes i sidene og transporteres på et transportbånd. På enden av transportbåndet kan den ekspanderte blokken skjæres til ønsket lengde.

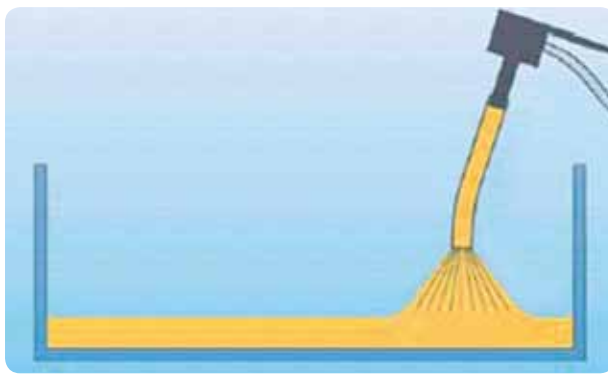


Bilde: Kontinuerlig produksjon av skumblokker

4.2.2 Usammenhengende produksjon av skumblokker

Basiskomponentene blandes i en røremaskin før de helles i blokkstøpeform. Reaksjonsblandingen ekspanderer og danner en herdet skumblokk.

Når de har nådd endelig herdingsgrad, skjæres blokkene som er produsert i kontinuerlige og usammenhengende prosesser til plater (for eksempel isolasjonsplater til flate tak eller skråtak) eller deler (for eksempel isolasjon av loftsrom eller rør). Passende dekklag kan limes til de tilskjærte platene for å lage laminat av ulike typer til ulik bruk.



Bilde 17: Usammenhengende produksjon av skumblokker



Bilde 18: Isolasjonsplater av polyuretanskumblokker (PUR/PIR) til isolasjon av loftsrom og rør

4.3 Produksjon av isolerpaneler i stivt polyuretanskum (PUR/PIR) med herdet dekklag

Isolerpaneler i polyuretan (PUR/PIR) kan produseres i kontinuerlige eller usammenhengende prosesser.

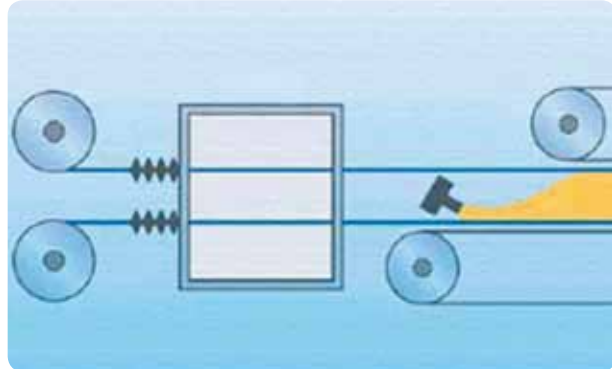
4.3.1 Kontinuerlig produksjon av isolerpaneler med dekklag i metall

Isolerpaneler i polyuretan (PUR/PIR) produseres med kontinuerlige laminatorer. Reaksjonsblandingen festes til en plate i aluminium eller stål som mates på det nedre lamineringsbåndet. Metalldekklagene profileres normalt før skumprosessen for å gi bedre herding. I laminatoren festes den ekspanderende massen til en plate i aluminium eller stål som mates på det øvre båndet. Etter at de har vært gjennom lamineringsmaskinen, skjæres isolerpanelene til ønsket lengde. Isolerpanelenes langkant gis normalt en not-og-fjær-profil for å gjøre det raskt og enkelt å montere de prefabrikkerte elementene. Disse panelene er ofte fabrikkproduserte med forseglinger, slik at de er lufttette.

Isolerpaneler i polyuretan (PUR/PIR) produseres som selvstøttende prefabrikkerte konstruksjonselementer med dekklag av stål, aluminium eller andre herdede materialer. De leveres i bredder fra 800 mm til 1250 mm og opp til 24 m lengde. Disse bygningskomponentene har relativt lav totalvekt, men har uansett stor styrke og stabilitet. De er enkle å transportere, og kan monteres med minimal arbeidsinnsats.

4.3.2 Usammenhengende produksjon av isolerpaneler

Ved usammenhengende produksjon av isolerelementer, festes dekklagene i en støpeform på en ramme, og hulrommet som dannes fylles med polyuretanreaksjonsblanding. I egnede støtteformer kan flere isolerpaneler produseres samtidig ved hjelp av denne prosessen.



Bilde 19: Kontinuerlig produksjon av isolerpaneler med profilerte metalldekklag i lamineringsmaskinen



Bilde 20: Isolerpaneler av polyuretan (PUR/PIR)

4.4 Sammendrag

Bruksområder og produksjonsmetoder for varmeisolasjonsmaterialer av stivt polyuretanskum (PUR/PIR) er presentert i Tabell 5.

Bruksområder	Fabrikkproduserte isolasjonsplater		Fabrikkprodusert skumblokk	Sprøytet/fylt skum som er produsert på bygningsplassen
	Isolasjonsplater med fleksible dekklag	Isolasjonsplater med herdede dekklag / isolerpaneler med dekklag av stål	Isolasjonsplater, avkappede deler / sammensatte paneler	Skum som sprøytes inn på stedet
Klimaskjerm	EN 13165	EN 14509	EN 13165	DIN 18159-1
Isolasjon av bygningstjenester	prEN 14308	-	prEN 14308	DIN 18159-1

Tabell 5: Bruksområder og produksjonsmetoder for varmeisolasjonsmaterialer av stivt polyuretanskum (PUR/PIR)



5 Europeisk harmonisering av isolasjonsmaterialer – merking av varmeisolasjonsprodukter med stivt polyuretanskum (PUR/PIR)

Målet til de europeiske forskriftene i bygningssektoren er å skape et fellesmarked og garantere den frie flyten av varer for å øke konkurransedyktigheten til europeisk industri. Harmoniseringen av tekniske forskrifter for byggematerialer og nedrivning av handelsbarrierer er hjørnesteiner i fellesmarkedet.

5.1 Forskrifter i byggevaredirektivet

Det europeiske byggevaredirektivet inneholder autoritative bestemmelser for harmonisering i byggebransjen. Direktivet fremlegger betingelsene for introduksjon og salg av byggevareprodukter på markedet. Produktene må ha visse spesifikasjoner for at bygningen de skal monteres i skal oppfylle følgende essensielle krav med forbehold om at bygningsarbeidet er korrekt planlagt og utført:

- mekanisk motstand og stabilitet
- brannsikkerhet
- hygiene, helse og miljø
- brukssikkerhet
- støyyvern
- energisparing og varmebevaring

Byggevareprodukter og deres egenskaper beskrives i hEN (harmonised European standards) og ETA (European Technical Approvals). European Committee for Standardisation (CEN) utarbeider de harmoniserte standardene på vegne av Europakommisjonen på grunnlag av byggevaredirektivet (CPD). Byggevareproduktets samsvar med hEN eller ETA bekreftes med CE-merking.

5.2 CE-merking

CE-merking er det eneste bevis på samsvar med gjeldende regelverk. CE-merkingen viser følgende informasjon:

- CE-merkingssymbolet (består av bokstavene CE)
- opplysninger om produsenten (adresser) og produksjonen (produksjonsår)
- kodet informasjon om visse produkttegenskaper
- samsvarserklæring fra produsenten

CE-merkingen er på en måte et "teknisk pass". Isolasjonsprodukter med CE-merket kan omsettes på det europeiske fellesmarkedet. Isolasjonsproduktet tilfredsstiller visse minimumskrav angående den generelle formålstjenelighet som "varmeisolasjon i bygninger". Produsenten er ansvarlig for festing av CE-merket.

6 Referanser

- [1] Albrecht, W., Cell-Gas Composition – An Important Factor in the Evaluation of Long-Term Thermal Conductivity in Closed-Cell Foamed Plastics In: Cellular Polymers, Vol. 19, No. 5, 2000
- [2] Prüfbericht Nr. F.2-421, 462, 630, 731, 840/98, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (FIW München), 1998
- [3] Albrecht, W., Änderung der Wärmeleitfähigkeit von 10 Jahre alten PUR-Hartschaumplatten mit gasdiffusionsoffenen Deckschichten, Bauphysik 25, Heft 5, 2003
- [4] IVPU Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V. (Hrsg.), Aus Forschung und Technik; Nr. 2: Zeitstand-Druckverhalten von PUR-Hartschaum, 2002
- [5] Untersuchungsbericht "Sommerliches Temperaturverhalten eines Dachzimmers bei unterschiedlichem Dachaufbau", Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (FIW München), 2000
- [6] IVPU, Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V. (Hrsg.), Ökobilanz von PUR-Hartschaum-Wärmedämmstoffen – Energieverbrauch und Energieeinsparung, Stuttgart, 2002
- [7] IVPU, Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V. (Hrsg.), Wärmeschutz im Altbau – Energetische Modernisierung mit PUR-Hartschaum nach Energieeinsparverordnung (EnEV), Stuttgart, 2002
- [8] Koschade, R., Die Sandwichbauweise, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2000

