



ISOLERINGSMATERIALERS RESSOURCEEFFEKTIVITET I BYGGERI

NOTE

Den følgende artikel er udarbejdet af det tyske center for ressourceeffektivitet i samarbejde med det tyske miljøministerium.

Artiklen er oversat af Breinholm Gruppen.

I denne udgave af rapporten er bilagene udeladt, de kan findes i den udvidede udgave, som kan hentes på Breinholm Gruppens hjemmeside.

Originalen på tysk kan ligeledes hentes på Breinholm Gruppens hjemmeside.

www.isoleringdanmark.dk



INDHOLDSFORTEGNELSE

1. INDLEDNING	4
2. MYTE:	6
3. KRITERIER FOR RESSOURCEEFFEKTIVITET	10
3.1 Råstofte	10
3.2 Energiforbrug	11
3.3 Co ₂ -udledning	16
3.4 Energiforbrug/CO ₂ -udledning efter anvendelse	18
3.5 Bortskaffelse	23
4. SAMMENFATNING	29

1. INDLEDNING

En tredjedel af det tyske energiforbrug bruges til opvarmning af bygninger og vand¹. Dette tal tydeliggør, at øget implementering af energieffektivitet og en egentlig energiomstilling i Tyskland kun kan lykkes, hvis det inkluderer systematisk og kvalitativ renovering af eksisterende bygninger. Dette vil i de kommende år føre en betydelig byggeaktivitet med sig. Med henblik på at tage ansvar for kommende generationer, vedrørende andet og mere end de ikke-vedvarende energiråstoffer, bør der også fokuseres på ressourceforbruget ved denne byggeaktivitet. Kort sagt er en vellykket energiomstilling kun mulig gennem ressourceeffektivitet, dvs. kombinationen af energi- og materialeeffektivitet.

Byggesektoren er kendetegnet ved lange tidshorisonter og store investeringer. Derfor bør tiltag til at øge energieffektiviteten altid gennemføres med en høj fremtidssikret isoleringsstandard, som fx passivhus-standard. Ingen ønsker igen at investere hundredtusindvis af kroner i ellers funktionsdygtige bygningsdele om et eller to årtier, pga. stigende energipriser. Med henblik på materialeeffektivitet bør man samtidig reducere forbruget af ressourcer gennem hele materialets levetid, hvilket kan opnås gennem et tilsvarende valg af materialer. Fordi isoleringsmaterialer spiller en væsentlig rolle ved energirigtig renovering af bygninger, undersøges og sammenlignes i denne publikation ressourceeffektiviteten af de forskellige tilgængelige materialer.

Vurderet med udgangspunkt i ressourceeffektivitet, fremstår renovering af bygninger som positiv i to henseender. Ud over den opnåede energibesparelse anvendes ved renovering, sammenlignet med nybyggeri, kun en tredjedel af den samlede mængde materiale².

Det anbefales at en fagperson, eksempelvis en energirådgiver, undersøger bygningens tilstand før en evt. renovation og der bør udarbejdes et omfattende renoveringskoncept. I den forbindelse bør man være særligt opmærksom på ikke bare isoleringen af de større flader, men især også på overgange og til- og afslutninger, da det er her kuldebroer nemt kan opstå og resultere i varmetab.

¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): Energiedaten, Berlin, 25.1.2012

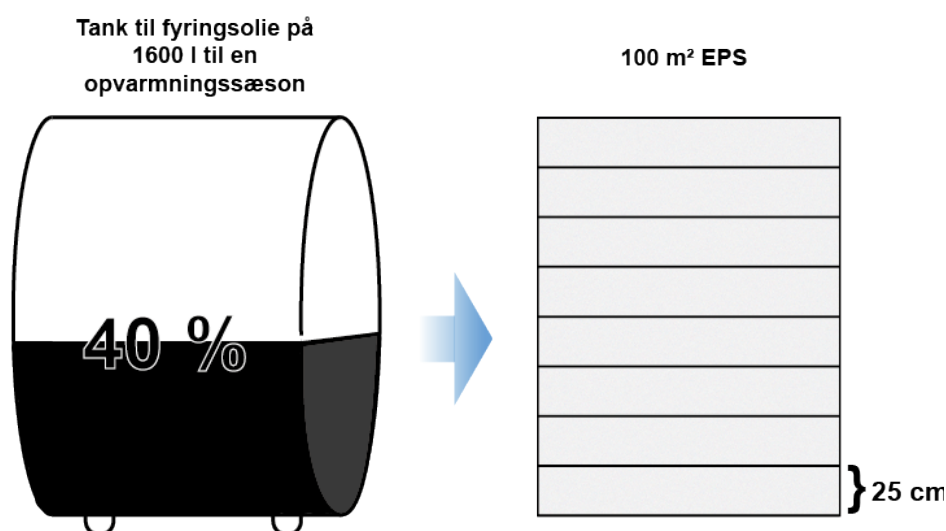
² UBA (Hrsg.): Rohstoffeffizienz – Wirtschaft entlasten, Umwelt schonen, 2010, S. 8

En særlig situation opstår i bygninger, hvor der kan forventes højere stuetemperaturer pga. indre varmekilder og hvor man derfor må forudse et behov for afkøling. Dette er ofte tilfældet i bygninger, der ikke anvendes til beboelse, fx sygehuse. Her bør forbruget af energi til køling have indflydelse på livscyklusvurderingen (LCA=life cycle assessment) af isoleringsforholdene, hvilket kan ændre på vurderingen af ressourceeffektiviteten.

2. MYTE: DER BRUGES MERE ENERGI VED FREMSTILLINGEN AF TYKKE ISOLERINGSLAG END DE SPARER.

Om det er hensigtsmæssigt at energirenovere eksisterende bygninger kan anskueliggøres gennem følgende eksempel:

Til et hus med et grundareal på 120 m² og gennemsnitlige isoleringsegenskaber, anvendes til opvarmning af boligen ca. 1600 l fyringsolie om året³. 40% af den olie der forbruges på en vinter indeholder tilstrækkelig energi til at fremstille en 25 cm tyk facadeisolering af ekspanderet Polystyren (EPS)⁴, som over de kommende årtier vil reducere behovet for fyringsolie drastisk⁵.



Figur 1: Sammenligning af behovet for fyringsolie til én fyringssæson og behovet for olie til en komplet facadeisolering med EPS.

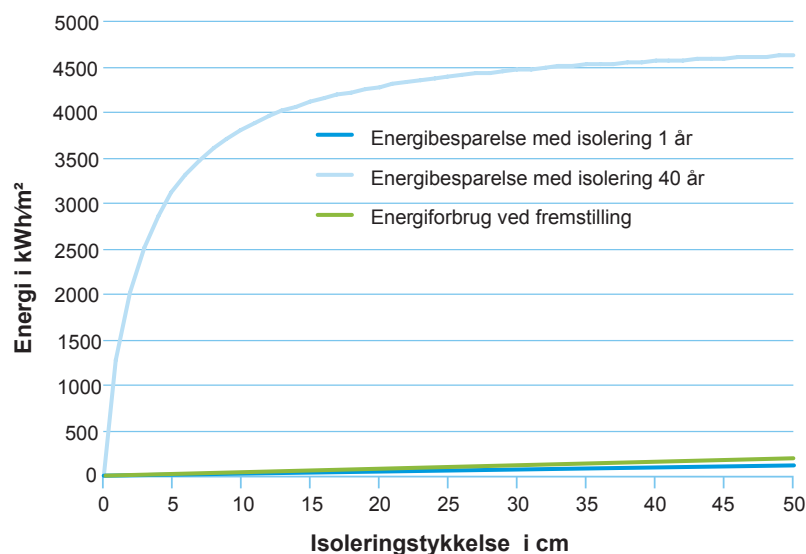
Til trods for ovenforstående anskueliggørelse består myten om, at der ved tykke lag isolering anvendes mere energi til fremstillingen af isoleringsmaterialet end der spares over isoleringens levetid. For at efterprøve rigtigheden af dette udsagn, stilles energiforbruget til fremstilling af isolering, afhængigt af isoleringstykkelsen, i efterfølgende figur over for den besparelse der opnås gennem isoleringens levetid. Der blev taget udgangspunkt i en væg af 24 cm perforerede mursten. Til dette eksempel blev der bevidst valgt et isoleringsmateriale, der produceres med anvendelse af relativt meget energi (dvs. ikke-vedvarende primærenergi), i dette tilfælde EPS⁶.

³ Der blev taget udgangspunkt i det gennemsnitlige tyske forbrug af fyringsolie (ifølge Techem-Studie) på 13,6 l/m² a; hvilket svarer til energiforbrug på ca. 136 kWh/m²a.

⁴ Bedre kendt under betegnelsen Styropor®

⁵ Med den isoleringtykkelse der antages her opnås passivhus-niveau; facadearealet blev antaget til at være 110 m²; til fremstillingen af 1 kg Styropor bruges 1,3 kg olie (Kilde: Industrieverband Hartschaum e.V. (IVH)); endvidere blev EPS-tykkelsen antaget at være 16,6 kg/m³.

⁶ Industrieverband Hartschaum e. V. (IVH): Umwelt-Produktdeklaration: EPS-Hartschaum (Styropor®) für Wände und Dächer, 2012, URL: http://bau-umwelt.de/download/C3b1df8c5X13bdca59eb1X6c75/EPD-IVH_2009311_D.pdf [lokaliseret maj 2013]



Figur 2: Sammenligning af energiforbrug til fremstilling af isolering og energibesparelse over isoleringens levetid.

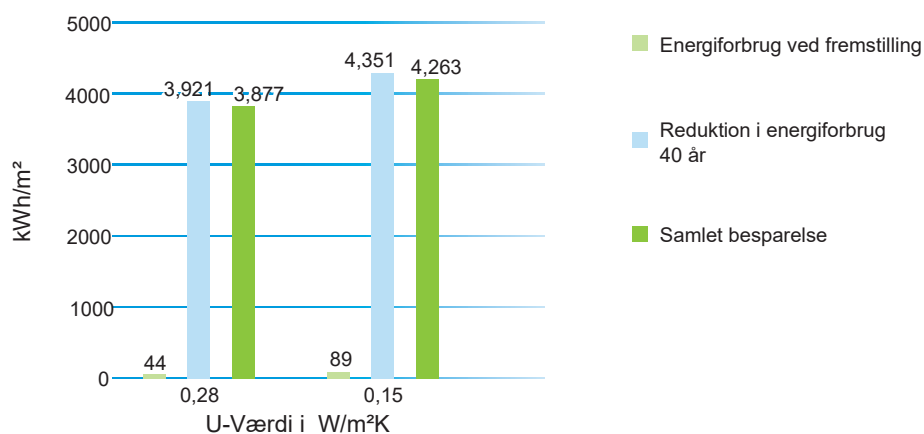
Det viser sig, at den mængde energi der spares over isoleringens levetid på 40 år⁷, betydeligt overstiger den mængde energi, der anvendes til produktionen af isoleringen. Ved en isoleringstykkel på op til 28 cm opnås denne besparelse inden for et år. Den efterfølgende undersøgelse af isoleringsmaterialer viser, at flere isoleringsmaterialer fremstilles under anvendelse af betydeligt mindre energi end EPS, som er brugt i dette eksempel, hvormed energiregnskabet bliver endnu bedre.

Det er ligeledes interessant at se på en sammenligning af energi- og omkostningsregnskaberne ved hhv. den gældende tyske energispareordning EnEV 2009 og den fremtidige tyske energispareordning EnEV 2014 (begge $U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ ⁸), samt den meget ambitiøse isoleringsstandard for passivhuse ($U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$) ved en levetid på 40 år⁹.

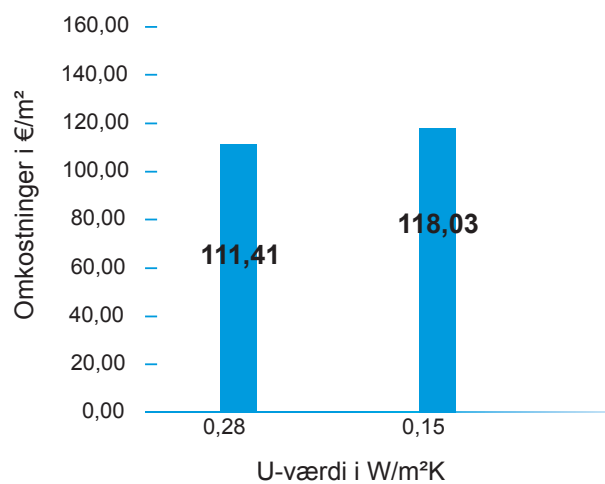
⁷ Anmærkning: Bygningmaterialets levetid diskuteres pt stadig. I Tyskland har man oprettet en såkaldt *Runder Tisch "Nachhaltiges Bauen"*, dvs. en gruppe der vejleder Bundesbauministeriums i sager der handler om bæredygtigt byggeri. I dette forum er der endvidere nedsat en arbejdsgruppe under betegnelsen "Nutzungsdauer" (dvs. brugstid, i det følgende oversat til levetid). Levetiden på 40 år er taget fra følgende kilde: BBSR: Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), citeret 03.11.2011, URL: <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/nutzungsdauern-vonbauteilen.html> [citeret: januar 2014]

⁸ U-værdi: varmeledningsevne, mål for bygningsmaterialets isoleringsegenskaber, angiver hvor mange watt ledes gennem en kvadratmeter materiale ved en temperaturforskel på én grad Kelvin.

⁹ Igen blev der taget udgangspunkt i en væg, der er bygget med 24 cm perforerede mursten og isoleret med EPS. EnEV 2009, Bilag 1: Krav til beboelsesbygninger; EnEV 2014, Bilag 1: Krav til beboelsesbygninger, URL: http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Anlage/BauenUndWohnen/enev-nicht-amtliche-lesefassung-16-10-13-aenderungen.pdf?__blob=publicationFile [læst januar 2014]; Passivhaus-Institut: Wärmedämmung von Passivhäusern, URL: http://www.passivhaustagung.de/siebte/Passivhaus_Daemmung.html [læst juli 2010]



Figur 3: Energiregnskab for isolering ifølge EnEV 2009/2014 ($U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$) og ved passivhus-standard ($U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$)



Figur 4: Omkostninger ved fremstilling af isolering i forhold til EnEV 2009/2014 ($U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$) og ved passivhus-standard ($U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Det lidt højere forbrug af energi ved fremstillingen af isolering til et hus, der lever op til passivhusstandard, bliver der mere end rigeligt kompenseret for gennem besparelserne. For at få et reelt billede af energibesparelserne, må man samtidig holde sig for øje, at de værdier der nævnes her henviser til besparelser pr m^2 . Derudover kan en stor del af investeringerne til en efterisolering føres tilbage til faste omkostninger¹⁰. I det valgte eksempel er der tale om en udvendig facadeisolering med efterfølgende pudsning (herefter forkortet til "facade"). I de faste omkostninger indgår her bl.a. opstilling af stillads, samt den afsluttende pudsning og maling af facaden. Derfor resulterer den forhøjede isoleringsstandard i relativt ringe meromkostninger, i dette tilfælde 6,62 €/m² til yderligere isoleringsmateriale. Alternativt kunne man investere disse ekstra omkostninger i energi og dermed erhverve 79 kWh fyringsolie eller 103 kWh naturgas – hvilket kun ville dække en brøkdel af de relativt højere energiomkostninger man ville få, ved kun at isolere efter de standarder, der er fremsat i hhv. EnEV 2009 og EnEV 2014¹¹.

10 Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) (Hrsg.): Querschnittsbericht Energieeffizienz im Wohngebäudebestand, Darmstadt, 2007, S. 11; Öko-Test: Unter Dach und Fach – Dachdämmstoffe, 10/2009, S. 147

11 Her blev regnet med den gennemsnitlige pris for den tyske slutbruger i 2012, ifølge det statistiske Bundesamt, dvs. 8,16 cent/kWh for fyringsolie og 6,39 cent/kWh for gas; der blev ikke taget hensyn til tab ved varmeproduktionen og lignende.

3. KRITERIER FOR RESSOURCEEFFEKTIVITET

Med udgangspunkt i ressourceeffektivitet, er det afgørende ikke kun at se på den energibesparelse isoleringsmaterialet resulterer i, over den tid det er i brug, men ligeledes at analysere produktet gennem hele dets levetid, dvs. en livscyklusvurdering. Herunder hører også analyse af fremstillingen og bortskaffelsen af isoleringsmaterialet når det kasseres. Den isoleringseffekt en bygningsdel skal opnå har stadig det primære fokus, således fastlægges denne som såkaldt funktionel enhed, som hhv. ønsket funktion og nytte. I forhold til denne sammenlignes de enkelte isoleringsmaterialer nu vha. af fire kriterier for ressourceeffektivitet i løbet af produktlivscyklussen.

1. Råstofstype
2. Energiforbrug (ved fremstilling)
3. CO₂- udledning (ved fremstilling)
4. Bortskaffelse (End-of-Life, EOL)

De data, der her er anvendt til bedømmelsen af materialernes livscyklus er hentet ved *Baustoffdatenbank Ökobau.dat 2011* og for så vidt muligt fra materialernes miljø-produktdeklarationer (MPD)¹². En isoleringseffekt på $U=0,15$ W/m²K blev fastlagt som funktionel enhed, dvs. den isoleringseffekt, der skal opnås hos en eksisterende bygning, hvilket svarer til passivhus-standard. Der blev taget udgangspunkt i, at en bygningsdel med en ringe isolerings-evne og en U-værdi på 2,3 W/m²K, som det fx opleves ved loftetager i boligejendomme fra 60'erne, skal efterisoleres¹³. Tykkelsen på isoleringslaget, som er nødvendigt for at opnå passivhus-standard, varierer i forhold til materialets isolerende egenskaber (se bilag).

3.1 RÅSTOFTYPE

Råstofstype er medtaget som et kriterie for ressourceeffektivitet, fordi forbruget af begrænsede ressourcer skal holdes på de lavest mulige niveau. Anvendelsen af vedvarende råstoffer eller af materialer, der består af mindst 50% genbrugsmaterialer bliver derfor vurderet positivt. I det følgende skel-

¹² En detaljeret forklaring på datamaterialets oprindelse for de enkelte isoleringsmaterialer findes i bilag. Se derudover informationsportalen *Nachhaltiges Bauen, BMVBS: Ökobau.dat (Version 2011)*, URL: <http://www.nachhaltigesbauen.de/oekobaudat/> [lokaliseret maj 2013]; *Institut Bauen und Umwelt e. V. (IBU): Umwelt-Deklarationen (EPD) – Dämmstoffe*, URL: <http://bau-umwelt.de/hp545/Daemmstoffe.htm> [lokaliseret maj 2013]

¹³ Der blev taget udgangspunkt i et forholdvist dårligt isoleret byggemateriale, således vil et tyndere isoleringslag være tilstrækkeligt for de fleste energirenoveringer. Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU): *Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze*, 2. oplæg, dec. 2003

nes derfor mellem 3 typer isoleringsmaterialer, mineralske, fossile og vedvarende. De mange undersøgte isoleringsmaterialer inddeles også i disse tre kategorier for at lette overblikket. Især anvendelsen af fossile materialer vurderes som kritisk pga. den tiltagende ressourceknaphed.

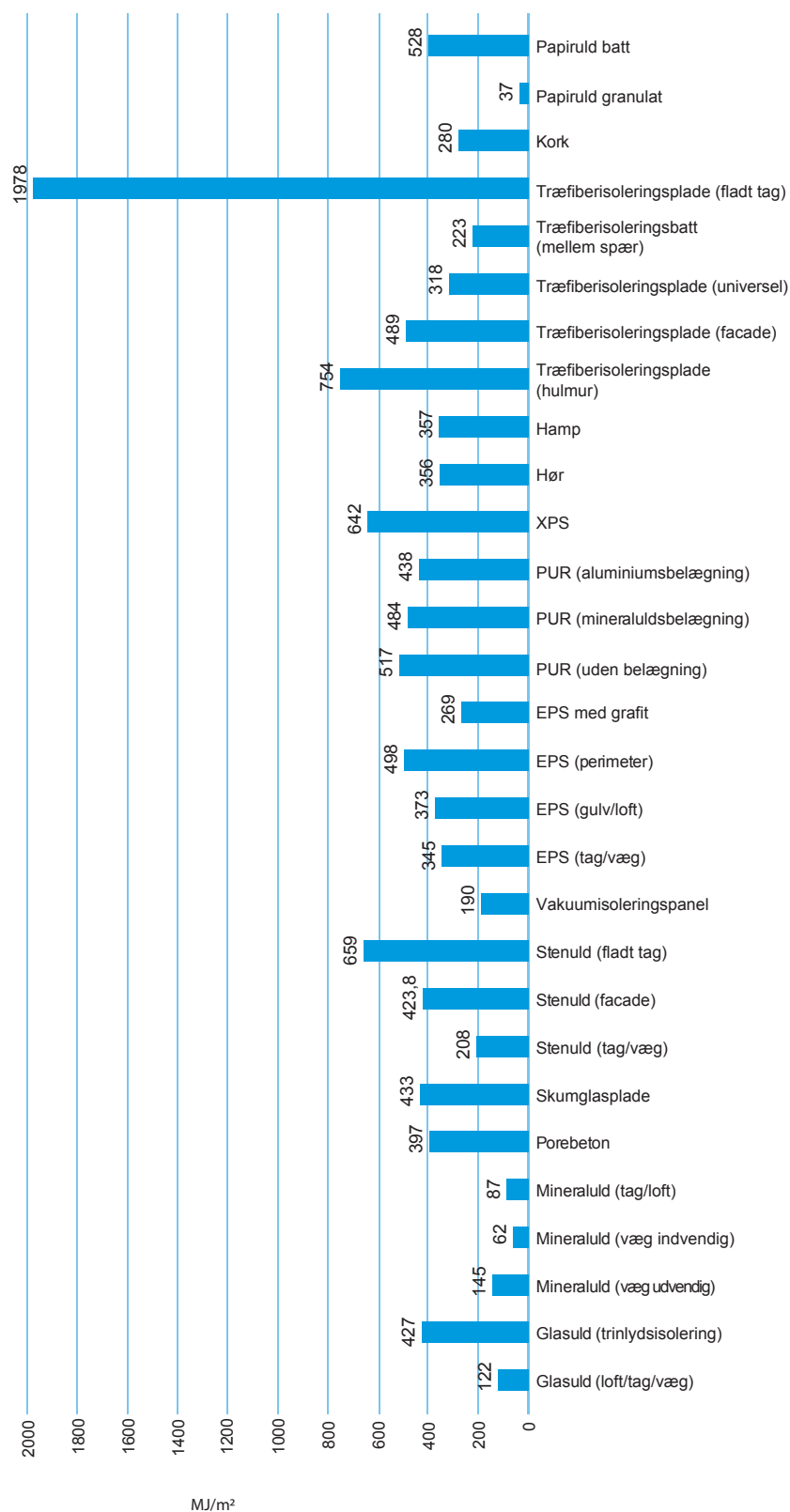
3.2 ENERGIFORBRUG

Ved energiforbrug til fremstilling af isoleringsmateriale skelnes mellem vedvarende og ikke-vedvarende primærenergi, hvoraf det sidste udgør det mere afgørende vurderingskriterie¹⁴. For flere af isoleringsmaterialerne angives forskellige værdier alt efter anvendelsesområde. Værdierne er afhængige af de forskellige krav til trykstyrke, som eksempelvis skal være meget højere ved isolering af fladt tag end ved isolering mellem spær. Det vil derfor være nødvendigt med en tilsvarende højere materialedensitet, som resulterer i øget forbrug af materiale og dermed øget energiforbrug og CO₂-udledning ved fremstillingen. Under bilagene findes en detaljeret oversigt over den nødvendige materialedensitet i forhold til anvendelsesområde.

For at kunne sammenligne oplysningerne om de forskellige isoleringsmaterialer, er det nødvendigt at omregne data fra hhv. Ökobau.dat 2011 og miljøproduktdeklarationerne fra MJ/kg til MJ/m², i relation til isoleringseffektens funktionelle enhed på 0,15 W/m²K. Ud over den allerede nævnte densitet indgår her også de forskellige materials isoleringsevne, som kan aflæses i tabellen i bilaget som varmeledningsevnen λ . Det vil sige, at man for et isoleringsmateriale med en dårligere isoleringsevne, må forudse behov for et tykkere isoleringslag, for at kunne opnå den krævede u-værdi. Den beskrevne kalkulation gælder tilsvarende også ved efterfølgende undersøgelse af CO₂-udledningen.

Det viser sig, at forbruget af ikke-vedvarende primærenergi varierer meget ved de forskellige isoleringsmaterialer, som det fremgår af følgende figur:

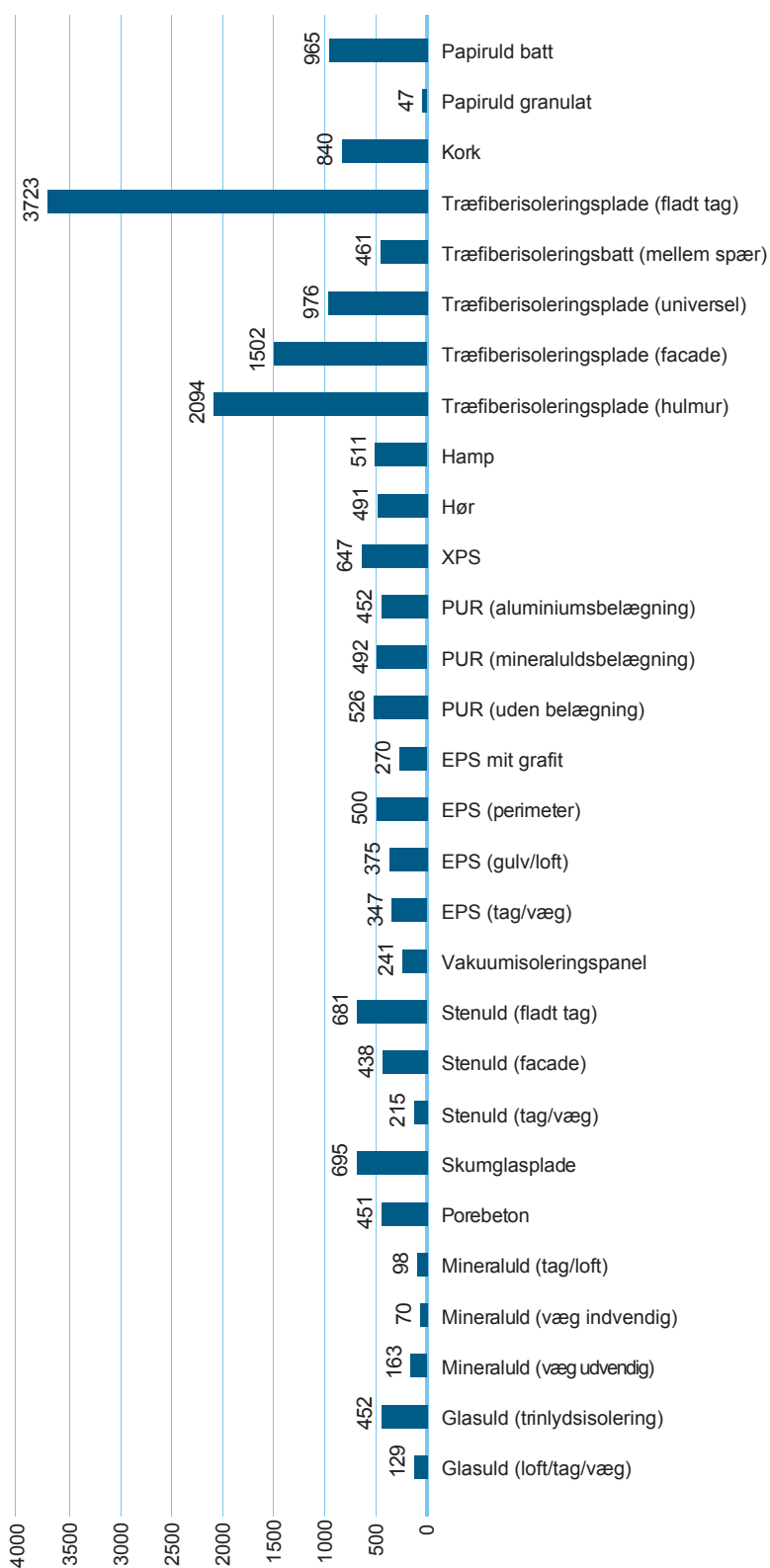
¹⁴ Det oplyste forbrug af primærenergi indeholder såvel den energetiske som den industrielle brug af energikilderne, dvs. at eksempelvis olie ud over at blive anvendt til at producere energi også finder anvendelse i fremstillingen af kunststoffer. Den energi der er bundet i produkterne, krediteres ved livscyklussens afslutning gennem termisk genvinding (fremstilling af strøm og varme). GaBi-Datenbank 2011 /GaBi 5/ fungerer som stamdataregister for Ökobau.dat 2011. For at muliggøre en detaljeret afgrænsning af de forskellige eksisterende definitioner vedr. energiforbrug, som fx KEV og KAN henvises til følgende kilde: PE International: Ökobilanzbasierte Umweltindikatoren im Bauwesen – Methodische Grundlagen, Version 2 – 09.12.2011, URL: www.nachhaltigesbauen.de/no_cache/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html?cid=4433&did=2531&sechash=ee37138c [læst januar 2014]



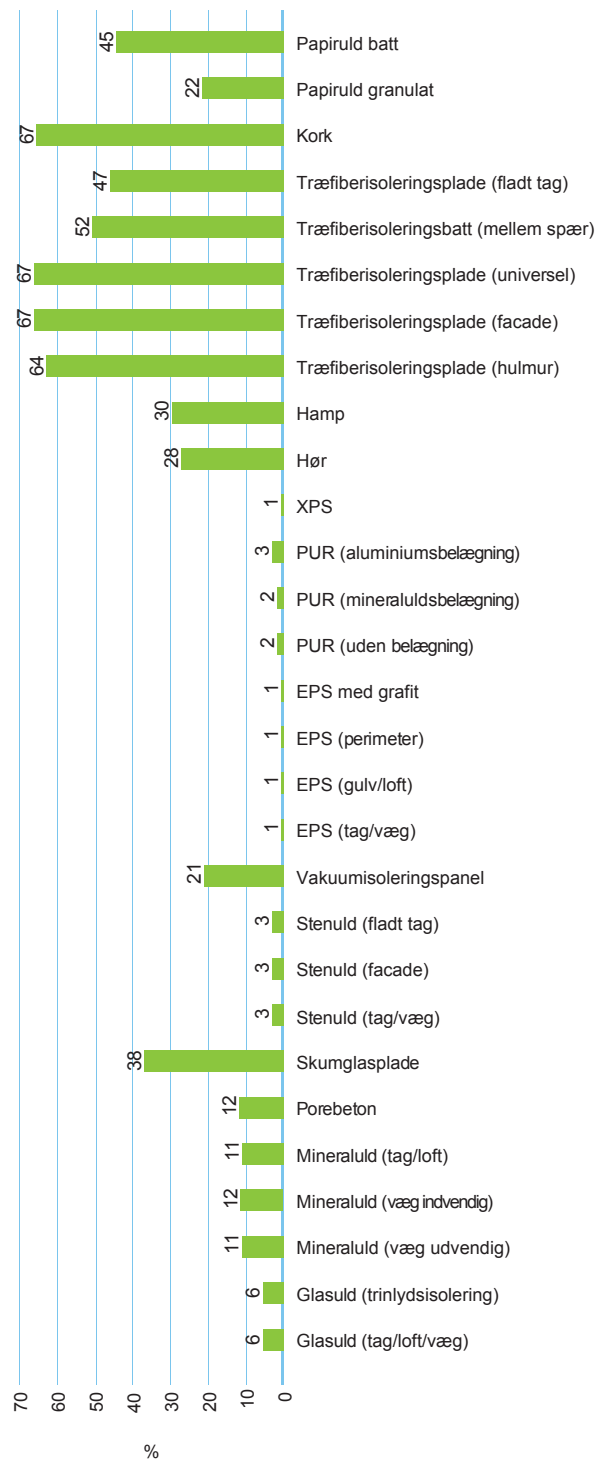
Figur 5: Forbruget af ikke vedvarende primærenergi til fremstilling af isoleringsmaterialerne

Papiruld har klart det mindste forbrug af energi til fremstilling. Isoleringsplader af træfiber til isolering af fladt tag, har derimod et tydeligt større forbrug end de øvrige materialer. Dette gælder også i direkte sammenligning med de øvrige materialer, da isoleringsplader til isolering af fladt tag altid er relativt energiintensive på grund af den høje densitet.

Et yderligere kriterie, som dog vægtes mindre, er forholdet mellem det samlede forbrug af primærenergi og den andel af det samlede forbrug der udgøres af vedvarende primærenergi. For at lette overblikket fremstilles disse i to separate diagrammer.



Figur 6: Samlet forbrug af primærenergi (ikke-vedvarende og vedvarende) til fremstilling af isoleringsmaterialerne

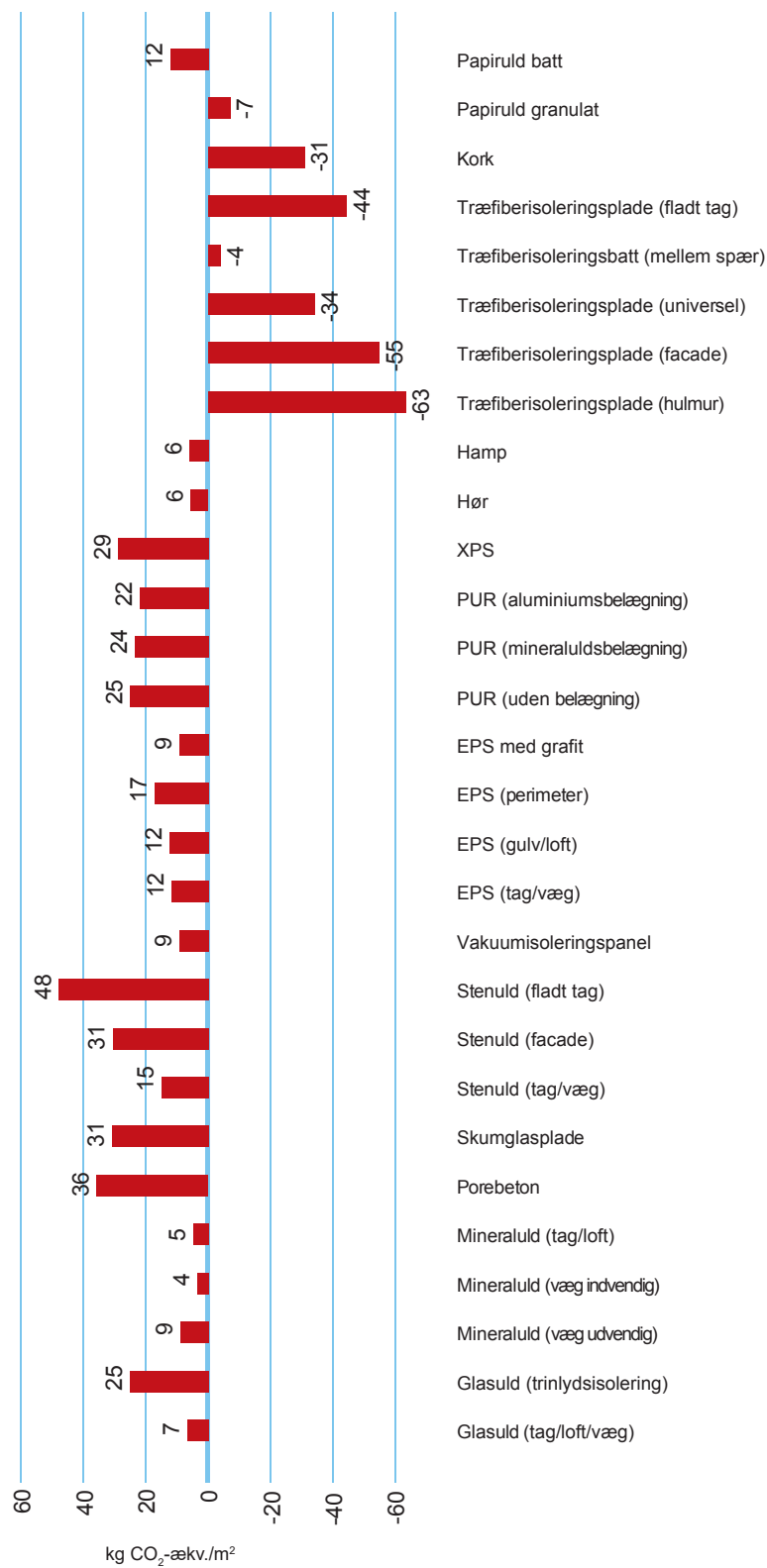


Figur 7: Andelen af vedvarede primærenergi af det samlede forbrug af primærenergi til fremstilling af isoleringsmaterialerne

Den andel af forbruget af primærenergi, der består af vedvarende energi, er påfaldende stor ved alle de isoleringsmaterialer, der produceres af vedvarende råstoffer. Dette afspejler den solenergi, der blev oplagret under plantens vækst. Denne energi er ikke til rådighed i bygningens levetid, men kan vha. termisk genvinding anvendes fuldt ud efter bygningens demontering. Blandt de øvrige isoleringsmaterialer varierer andelen af vedvarende energi mellem 0,6 % for EPS og op til 37,6% for skumglasplader.

3.3 CO₂-UDLEDNING

CO₂-regnskaberne i forhold til produktionen ser meget forskellige ud alt efter isoleringsmateriale, hvilket tydeligt fremgår af efterfølgende figur.



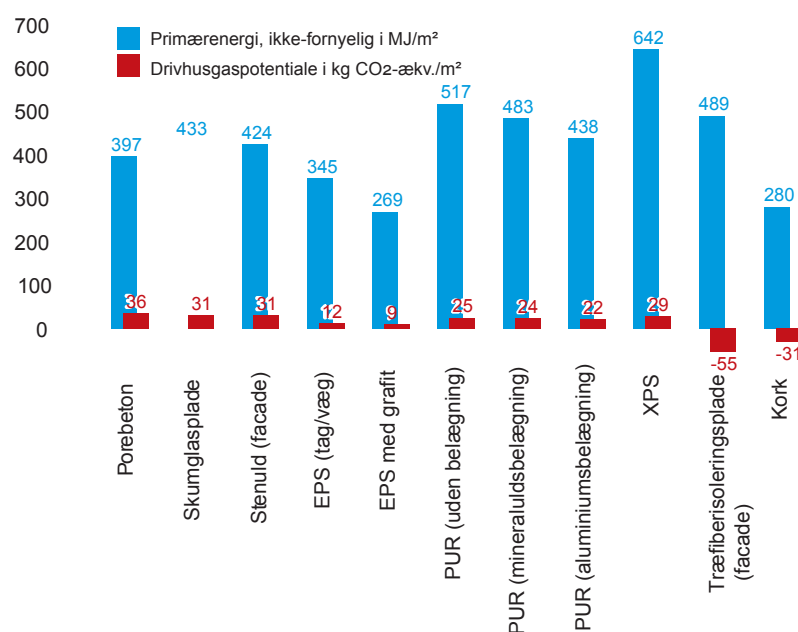
Figur 8: Drivhusgaspotential ved fremstilling af isoleringsmateriale

Flertallet af de vedvarende isoleringsmaterialer viser en negativ CO₂-udledning, fordi planten mens den vokser optager CO₂, som bliver lagret i isoleringsmaterialet gennem materialets levetid.

3.4 ENERGIFORBRUG/CO₂-UDLEDNING EFTER ANVENDELSEOMRÅDE

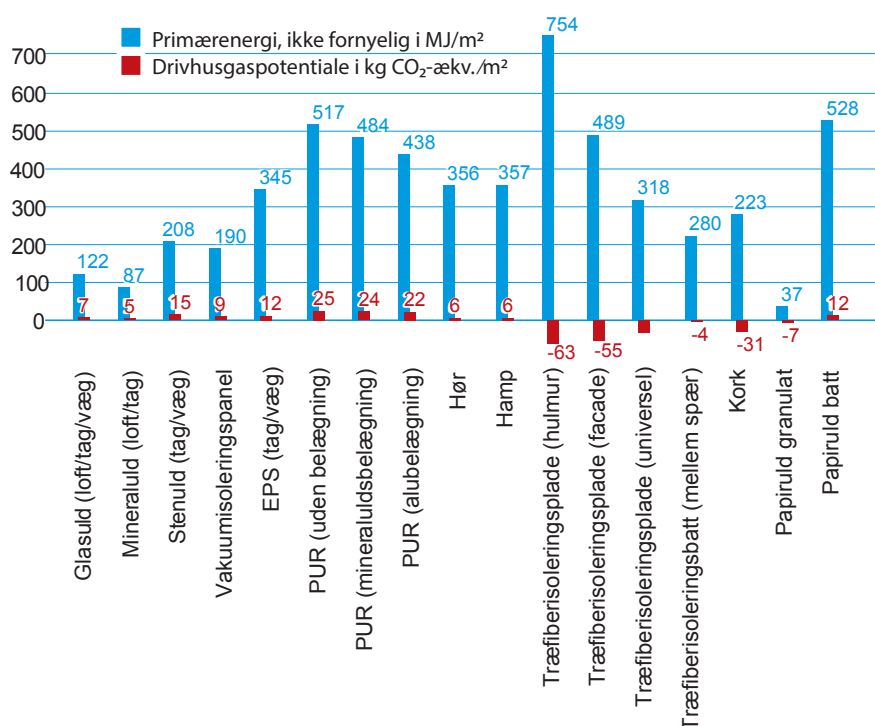
Fordi ikke alle isoleringsmaterialer er lige egnede til alle former for isolering, fremstilles efterfølgende igen, for de fem mest gængse anvendelsesområder, de isoleringsmaterialer der er egnede til opgaven sammen med deres energiforbrug og CO₂-udledning.

- UDVENDIG FACADEISOLERING



Figur 9: Forbrug af ikke-vedvarende primærenergi og drivhusgaspotentiale ved fremstilling af isoleringsmateriale til facadeisolering

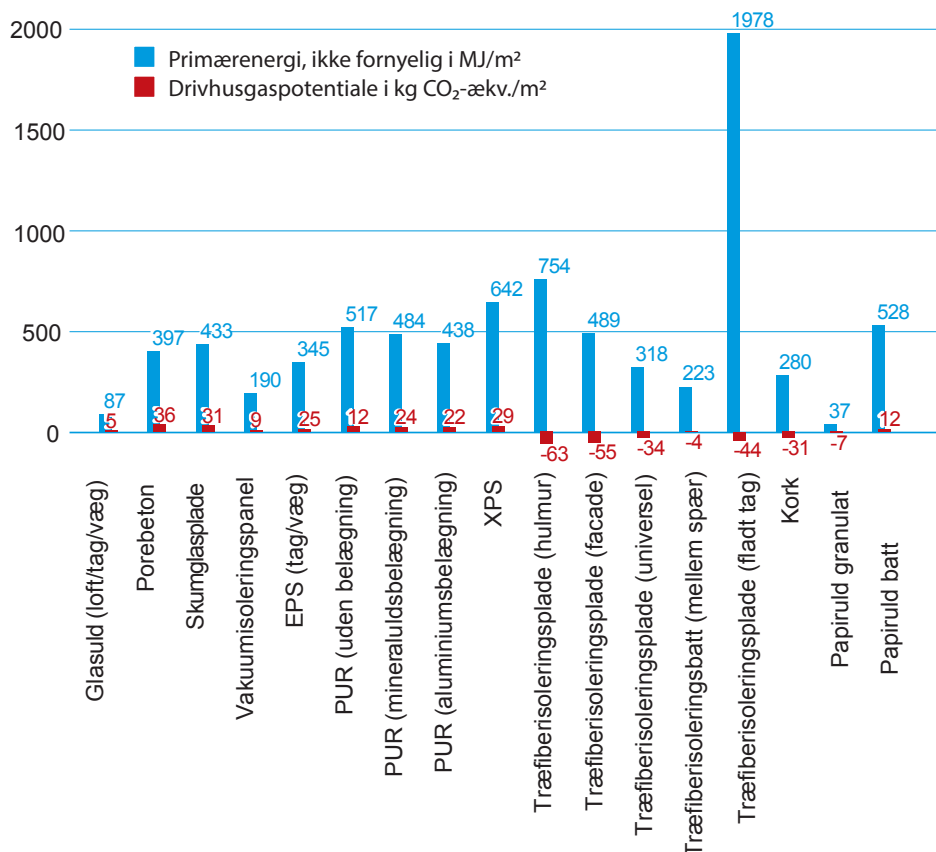
Forbruget af ikke-vedvarende primærenergi varierer en del, fra 268,8 MJ/m² ved isolering med EPS med grafit til 642,5 MJ/m² ved isolering med XPS. Potentialet for en reduktion af ressourceforbruget er tydeligt ved grafitbelægning, som medfører en bedre isoleringsevne og dermed et reduceret forbrug af isoleringsmateriale. Mængden af energi, der anvendes til fremstilling af isoleringen kan dermed reduceres med 22%, sammenlignet med isolering med EPS uden grafit. I forhold til drivhusgaspotentialet opnås de bedste resultater, nemlig en negativ emission af drivhusgasser, af de to vedvarende isoleringsmaterialer, træfiber-batts og kork.

- ISOLERING AF TAG MELLEM SPÆR

Figur 10: Forbrug af ikke-vedvarende primærenergi og drivhusgaspotentiale ved fremstilling af isoleringsmateriale til isolering af tag mellem spær

I forhold til forbruget af ikke-vedvarende primærenergi, opnås det klart bedste resultat af papiruldsgranulat til indblæsning med 37 MJ/m², fulgt af mineraluld (87 MJ/m²). Det højeste forbrug af energi findes ved træfiberplader til hulmursisolering (754 MJ/m²). Det betyder dog ikke, at en træfiberisolering ikke kan anbefales til denne anvendelse, men derimod at man må være opmærksom på at vælge træfiberplader særligt til isolering mellem spær. Til produktion af disse anvendes ikke unødvendig energi på forhøjet trykstyrke, hvorfor de opnår gode resultater, med et energiforbrug på 223 MJ/m². Bedst placeret med hensyn til drivhusgaspotentialet er isolering med træfiber, kork og papiruld, der har negative værdier for udledning af drivhusgasser.

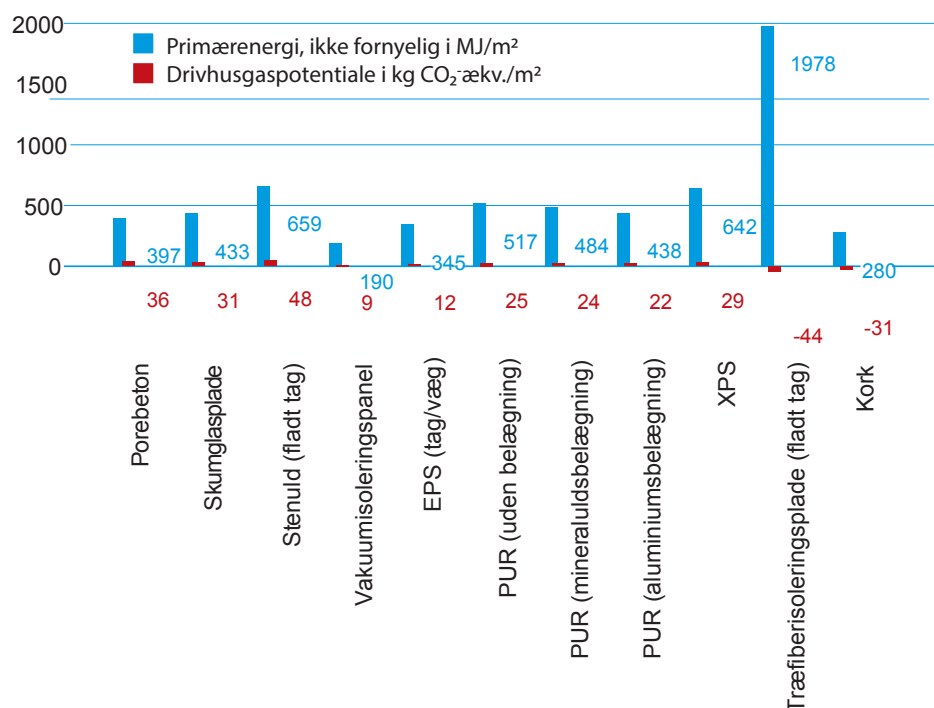
- UDVENDIG ISOLERING AF TAG/LOFT UNDER DIFFUSIONSÅBEN OVERDÆKNING, FX TEGL



Figur 11: Forbrug af ikke-vedvarende primærenergi og drivhusgaspotentiale ved fremstilling af isoleringsmateriale til udvendig isolering af tag/loft under diffusionsåben overdækning fx tegl

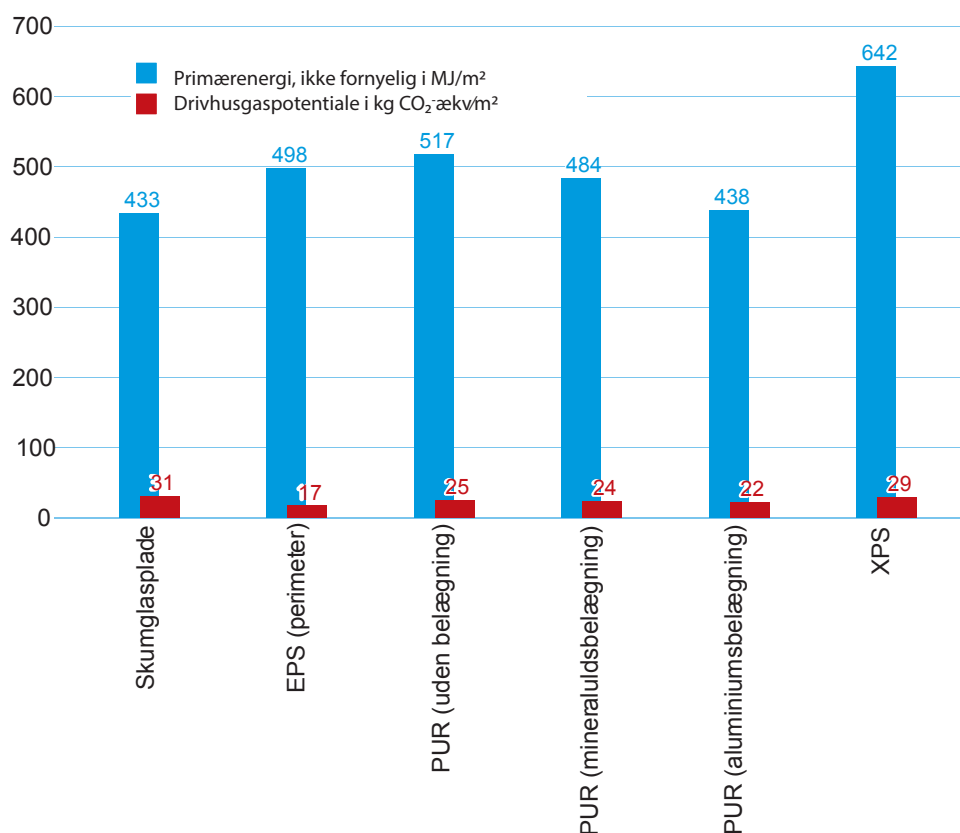
Resultaterne her er meget lig dem, der var gældende ved isolering mellem spær. Dog adskiller forbruget af energi til fremstilling af træfibermåtter sig endnu tydeligere, fordi her også medtages måtter, som lever op til de meget høje krav, der er til trykfastheden ved isolering af fladt tag. Dermed øges forskellen på den mængde energi der kræves til fremstilling af de forskellige træfiberplader yderligere. Forbruget til en træfibermåtte til isolering mellem spær kræver kun 11% af den energi, der kræves i produktion af en træfibermåtte til isolering af fladt tag.

- UDVENDIG ISOLERING AF TAG/LOFT UNDER DIFFUSIONSTÆT AFDÆKNING, FØR VED FLADT TAG MED TAGPAP



Figur 12: Forbrug af ikke-vedvarende- primærenergi og drivhusgaspotential ved fremstilling af isoleringsmateriale til isolering af tag/loft under diffusionstæt afdækning, fx under fladt tag med tagpap

Med hensyn til forbrug af den ikke-vedvarende primærenergi opnår vakuumisoleringspaneler med 190 MJ/m² det klart bedste resultat. Mest energi forbruges uden sammenligning ved fremstilling af træfibermåtter, hvis fremstilling kræver tre gange så meget energi som den næst-dårligste løsning. Dog viser de en negativ værdi mht. CO₂-udledning, hvormed de – ligesom kork – i positiv forstand adskiller sig tydeligt fra de ikke-vedvarende isoleringsmaterialer.

- UDVENDIG ISOLERING AF KÆLDER UNDER TERRÆN

Figur 13: Forbrug af ikke-vedvarende primærenergi og drivhusgaspotentiale ved fremstilling af isoleringsmateriale til udvendig isolering af kældervæg

Kun få isoleringsmaterialer er egnet til denne form for isolering, da der er særligt høje krav til isolering, som har direkte kontakt med jorden. Det er påfaldende, at selv de bedste løsninger viser et forholdsvis højt forbrug af energi i fremstillingen, hvormed spredningen bliver mindre end ved de andre former for anvendelse. I forhold til CO₂-emissionen, udleder det bedste isoleringsmateriale, EPS, kun godt halvt så meget som skumglasplader i den anden ende af skalaen.

Med undtagelse af Polyurethan (PUR), så gengiver ovenstående figur ligeledes de isoleringsmaterialer, der er til rådighed til isolering af guldplader direkte over jorden (isolering af guldplade mod terræn).

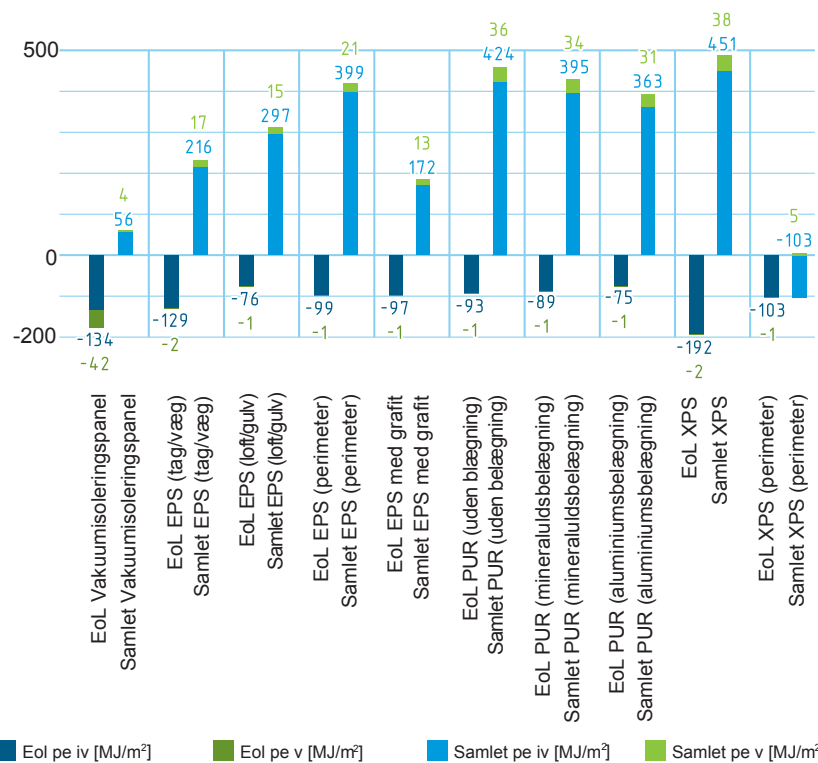
Samlet fremgår af de forudgående figurer, at når der er færre krav til isoleringens trykstyrke og materialedensitet, er flere isoleringsmaterialer til rådighed, med et mindre forbrug af energi og en mindre CO₂-udledning ved fremstilling. Derimod findes til eksempelvis isolering af flade tage færre egnede isoleringsmaterialer og disse anvender flere ressourcer.

3.5 BORTSKAFFELSE

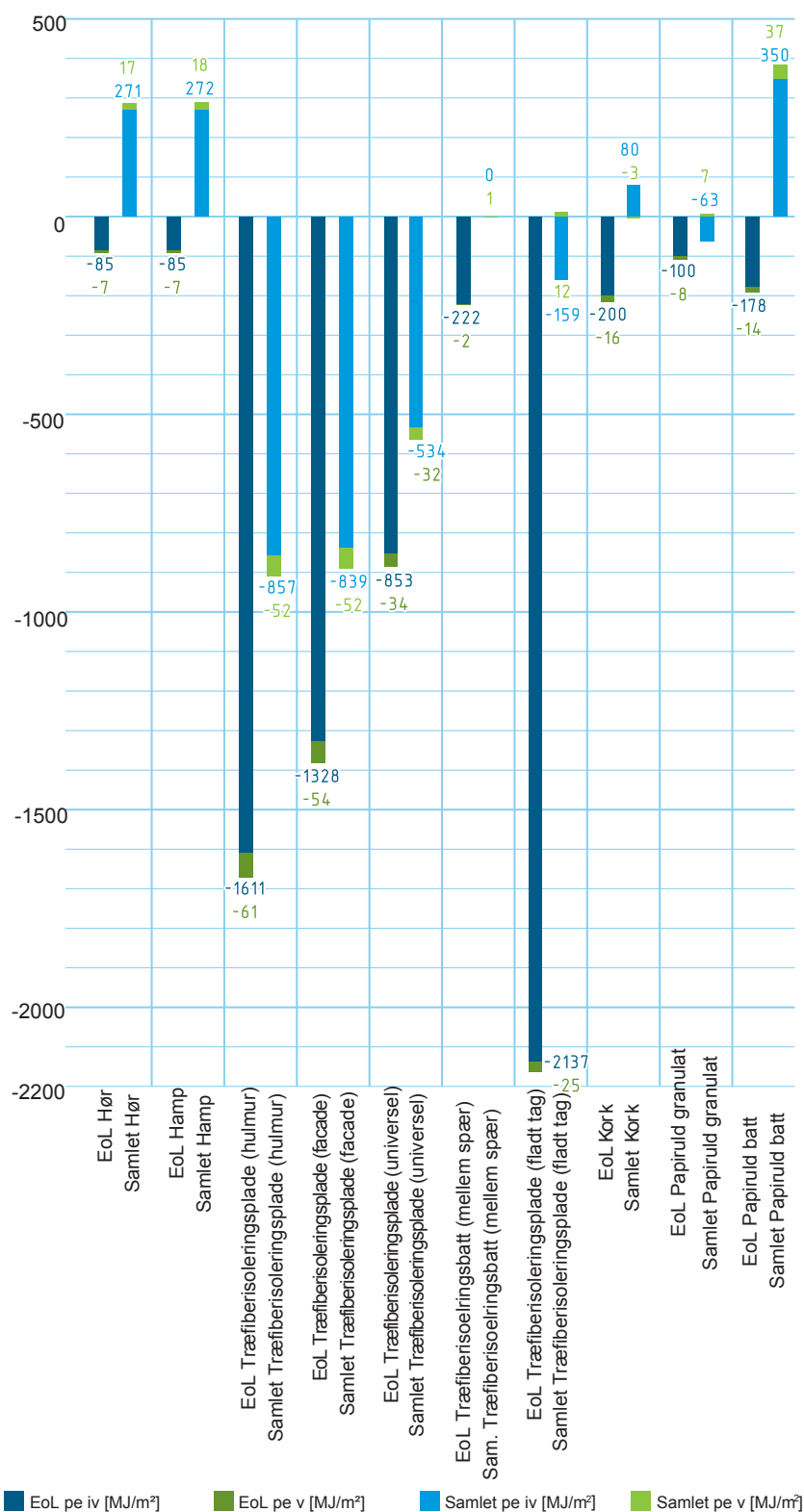
Ved udgang af livscyklussen må isoleringsmaterialerne demonteres og bortskaffes. Til bortskaffelse findes i dag to muligheder - bortset fra ved bortskaffelse af vakuumisoleringspanelerne – som, med udgangspunkt i ressourcebevarende genanvendelse, må betragtes som værende mindre end optimale: deponering, som anvendes ved de mineralske byggematerialer og den termiske genvinding, som er mulig ved alle de andre byggematerialer og som ved nogle af de vedvarende materialer derudover suppleres med muligheden for kompostering. Kun ved vakuumisoleringspaneler forbliver en del af byggematerialerne på positiv vis en del af kredsløbet idet de genanvendes, mens de øvrige bestanddele bortskaffes ved termisk genvinding.

Der tages hensyn til termisk genvinding i "End-of-Life" (EOL) scenariet i Ökobau.dat 2011 såvel som i miljøproduktdeklarationerne, således medtages genvindingens indflydelse på energiforbruget og CO₂-udledningen i udregningerne. Den energi der er lagret i byggematerialerne anvendes til produktion af strøm og varme, hvormed forbruget af fossile brændstoffer kan reduceres. I overensstemmelse hermed, resulterer det ved afslutning af livscyklussen i et tilsvarende tilgodehavende på ikke-vedvarende primærenergi (pe iv), som derudover suppleres af et mindre tilgodehavende på vedvarende primærenergi (pe v). CO₂-udledningen i forbindelse med forbrænding af materialet og tilgodehavendet for det reducerede forbrug af fossile brændstoffer indgår i CO₂-regnskabet ved afslutning af livscyklussen. Ved de vedvarende isoleringsmaterialer fører det, i det samlede regnestykke over fremstilling og "End-of-Life" til, at en negativ CO₂-udledning bevarer, selv om al CO₂ lagret i materialet frigives under forbrænding.

Ved afslutning af materialernes livscyklus resulterer det i følgende energiregnskab for isoleringsmaterialer med termisk genvinding.

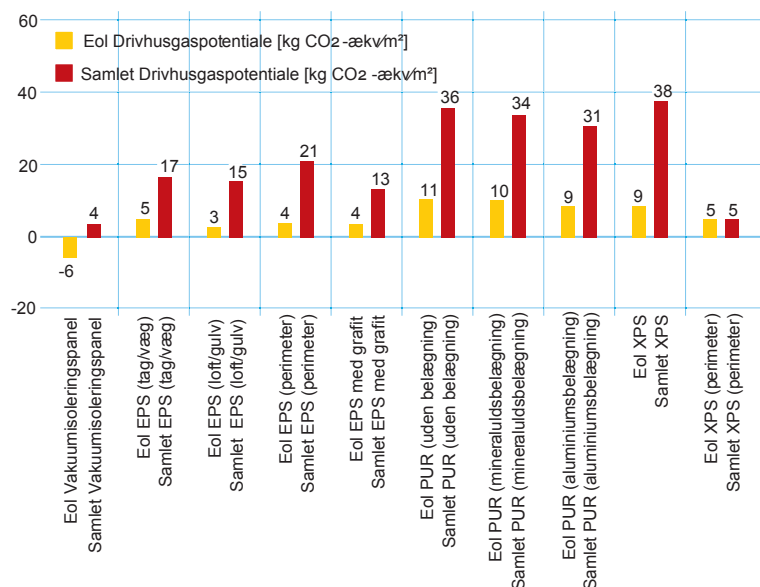


Figur 14: Energiregnskabet ved afslutning af materialets livscyklus (EoL) og over den samlede livscyklus (samlet), for mineralske og fossile isoleringsmaterialer med mulighed for termisk genvinding

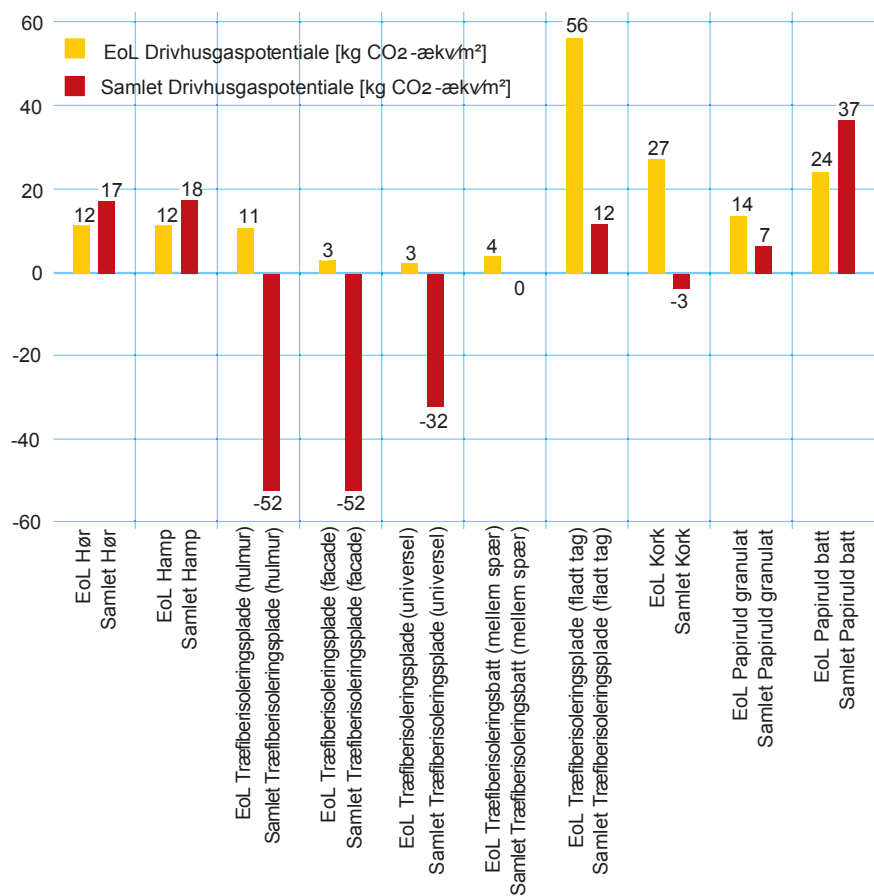


Figur 15: Energiregnskab ved afslutning af materialets livscyklus (EoL) og over den samlede livscyklus (samlet), for vedvarende isoleringsmaterialer med mulighed for termisk genvinding.

Det viser sig, at der ved træfiberpladerne, som er meget energiintensive under fremstillingen, frigives meget energi ved den termiske genvinding, hvorved ikke-vedvarende primærenergi kan substitueres i stor stil (se tilhørende tilgodehavende ved EoL pe iv). Det forudsætter dog en tilsvarende sortsren sortering af isoleringsmaterialet ved demontering og konsekvent termisk genvinding. Opfyldes disse forudsætninger, bliver det samlede energiregnskab for træfiberisolering tydeligt bedre end den forudgående betragtning af fremstillingsprocessen særskilt tydede på. Papiruldens gode resultater er bemærkelsesværdige. Allerede ved fremstillingen udmærker den sig ved et ringe energiforbrug og viser herefter også ved betragtning af den samlede livscyklus ved dennes afslutning et tilgodehavende på ikke vedvarende primærenergi (se negativ værdi for samlet pe iv).



Figur 16: Regnskab for drivhusgaspotentiale ved afslutning af livscyklussen, samt set over den samlede livscyklus for mineralske og fossile isoleringsmaterialer med mulighed for termisk genvinding.



Figur 17: Regnskab for drivhusgaspotential ved afslutning af livscyklussen, samt set over den samlede livscyklus for vedvarende isoleringsmaterialer med mulighed for termisk genvinding.

4. SAMMENFATNING

Før den afsluttende sammenfatning gøres opmærksom på, at der kan opstå situationer, hvor der til en isoleringsopgave kun står forholdsvis ressourcintensive isoleringsmaterialer til rådighed. Pga. de til tider meget begrænsede økonomiske budgetter ved renoveringsprojekter, kan det eksempelvis være tilfældet, hvis de ressourcebesparende isoleringsmaterialer er betydeligt dyrere. Fordi den samlede energibesparelse over isoleringens levetid, som tidligere vist, er mange gange større end den mængde energi der anvendes til fremstilling, vil det til enhver tid bedre kunne betale sig at isolere med ressourceintensive isoleringsmaterialer end slet ikke at isolere.

Resultaterne for de fire ressourceeffektivitetskriterier kan sammenfattes som følger på næste side, hvor den grønne farve markerer et lavt, den gule et middelstort og den røde et stort ressourceforbrug:

Isoleringsmateriale	Fremstilling			End of Life
	Råstofftype	Primærenergi ikke vedvarende [MJ/m²]	Drivhusgaspotentiale [kg CO ₂ -ækv./m²]	
mineraliske	Glasuld (tag/loft/væg)	121,9	7,2	Deponeringsklasse 1/2
	Glasuld (trinlydsisolering)	426,7	25,2	Deponeringsklasse 1/2
	Mineraluld (væg udvendig)	144,6	9,1	Deponeringsklasse 1/2
	Mineraluld (væg indvendig)	61,6	3,6	Deponeringsklasse 1/2
	Mineraluld (loft/væg)	86,9	5,0	Deponeringsklasse 1/2
	Porebeton	397,0	35,8	Deponeringsklasse 2
	Skumglasplade	433,5	31,0	Deponeringsklasse 1
	Stenuld (tag/væg)	208,0	15,1	Deponeringsklasse 1/2
	Stenuld (facade)	423,8	30,7	Deponeringsklasse 1/2
	Steinvolle (fladt tag)	659,5	47,9	Deponeringsklasse 1/2
syntetiske	Vakuumisoleringspanel	189,6	9,4	genbrug./termisk genvinding
	EPS (tag/væg)	345,3	11,8	termisk genvinding
	EPS (loft/gulv)	372,9	12,5	termisk genvinding
	EPS (perimeter)	497,7	17,3	termisk genvinding
	EPS med grafit	288,8	9,4	termisk genvinding
	PUR (uden blægning)	517,3	25,1	termisk genvinding
	PUR (mineraluldsbelægning)	483,8	23,6	termisk genvinding
	PUR (aluminiumsbelægning)	437,9	22,0	termisk genvinding
	XPS	642,5	28,9	termisk genvinding
	Hør	356,1	5,7	termisk genv./kompostering
vedvarende	Hamp	357,0	6,1	termisk genvinding
	Træfiberisoleringsplade (hulmur)	753,9	-63,3	termisk genv./kompostering
	Træfiberisoleringsplade (facade)	489,4	-54,8	termisk genv./kompostering
	Træfiberisoleringsplade (universel)	318,5	-34,1	termisk genv./kompostering
	Træfiberisoleringsplade (mellem spær)	223,0	-3,9	termisk genv./kompostering
	Træfiberisoleringsplade (fladt tag)	1978,1	-44,4	termisk genv./kompostering
	Kork	280,1	-30,8	termisk genv./kompostering
	Papiruld granulat	36,9	-7,0	termisk genvinding
	Papiruld batt	528,3	12,3	termisk genvinding

Figur 18: Sammenligning af alle fire ressourceeffektivitets-kriterier med grøn markering ved ringe, gul ved middelstort og rødt ved stort forbrug af ressourcer

I den samlede vurdering klarer isolering af papiruld sig klart bedst. Dette fremgik allerede i analysen af de enkelte kriterier og resulterer i en samlet vurdering med grønne markeringer i kategorierne råstofstype, ikke-vedvarende primærenergi og drivhusgaspotential. Det bør dog påpeges, at dette isoleringsmateriale kun egner sig til de typer isolering, der ikke stiller krav til trykfastheden, eksempelvis til indblæsning mellem spær (se figur i bilag omhandlende anvendelse). Kork og træfiberbatts opnår ligeledes tre grønne markeringer, dog med dårligere værdier.

Ved bortskaffelse blev der, med en enkelt undtagelse, kun givet gule og røde markeringer, fordi de muligheder der pt. findes, langt fra har det potentiale for ressourcebesparelse, som man finder ved genbrug. Det er tvingende nødvendigt at udvikle nye koncepter i denne forbindelse, da man allerede i dag gennem valg af produkter og anvendelsesmetode, afgør hvilke muligheder der i fremtiden vil være mht. genbrug efter demontering. En positiv undtagelse er vakuumisoleringspanelerne, ved brug af disse holdes i hvert fald en del af råstofferne i omløb.

VDI ZRE PUBLIKATIONER: KORT ANALYSE NR. 7

Oversat af:

Breinholm Gruppen ApS
Brylle industrivej 4
DK - 5690 Tommerup

Tlf.: 44 224 224

www.isoleringdanmark.dk
mail@isoleringdanmark.dk

