

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:**Forbedring av termisk isolasjon****Erasmus+ prosjekt-ID: 2023-1-ES01-KA220-HED-000156652**

Dette Erasmus+-prosjektet er finansiert med støtte fra Europakommisjonen. Denne publikasjonen gjenspeiler kun forfatterens synspunkter, og Europakommisjonen og Erasmus+-nasjonale byråer kan ikke holdes ansvarlig for bruk av informasjonen i publikasjonen.

BIM4Energy-prosjekt**Katalog over beste alternativer for å forbedre bygningers energieffektivitet: Forbedring av termisk isolasjon**

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

Innhold

Katalog over beste alternativer for å forbedre bygningers energieffektivitet: Forbedring av termisk isolasjon.	1
1 – Mål	3
2 – Læringsmetodikk	3
3 – Varighet av opplæringen	4
4 – Nødvendige undervisningsressurser	4
5 – Innhold og opplæring	4
5.1 – Hva er den termiske klimaskjermen til en bygning	4
5.2 Hvordan bygningens termiske skall fungerer	5
5.3 Strategier for å optimalisere den termiske klimaskjermen til en bygning. ...	6
5.4 Eksempler på svært energieffektive vinduer og dører	7
5.5 Eksempler på svært energieffektive fasader og tak	13
5.6 Alternativer for å forbedre isolasjonen av fasader på eksisterende bygninger.	21
Referanser	26
6 - Leveranser	28
7- Hva vi har lært	28

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:**Forbedring av termisk isolasjon****1 – Mål**

En katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet: Veiledningen om forbedring av termisk isolasjon har som mål å gi deltakerne en omfattende forståelse av tiltak for å forbedre egenskapene til bygningens termiske isolasjon. Målene med denne katalogen over de beste alternativene for å forbedre termisk isolasjon i bygninger er som følger:

- Forstå hva termisk klimaskjerm i en bygning er.
- Forstå de fysiske egenskapene til en bygning termiske klimaskjerm.
- Strategier for å optimalisere termisk isolasjon i en bygning.
- Forstå komponentene i termisk klimaskjerm.
- Lære om eksempler på svært energieffektive vinduer og dører.
- Lære om eksempler på svært energieffektive fasader og tak.
- Kjenne til tiltak for å forbedre isolasjonen av fasader og vegger i den termiske klimaskjermen.

2 - Læringsmetodikk

Læreren vil gi en forklaring på de beste alternativene for å forbedre bygningens energieffektivitet i den termiske klimaskjermen, og dette vil ta omtrent 30 minutter.

Elevene leser denne veiledningen og følger trinnene som er vist i veiledningen, nemlig:

- Hvordan bygningens termiske klimaskjerm fungerer
- Strategier for å optimalisere den termiske klimaskjermen til en bygning
- Eksempler på svært energieffektive vinduer og dører
- Eksempler på svært energieffektive fasader og tak
- Alternativer for å forbedre isolasjonen av fasader på eksisterende bygninger.

For å evaluere hvor vellykket anvendelsen er, foreslår vi at det gjennomføres en spørreundersøkelse blant studentene.

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

3 - Varighet av veiledningen

Implementeringen beskrevet i denne veiledningen vil gjennomføres via BIM4ENERGY-prosjektets nettside gjennom selvstudium.

3 undervisningstimer er passende for denne opplæringen.

4 – Nødvendige undervisningsressurser

Datarom med PC-er med internettilgang.

Nødvendig programvare: Microsoft Office.

5 – Innhold og veiledning

5.1 – Hva er den termiske kappe til en bygning

Før vi går inn på konkrete tiltak for å forbedre den termiske klimaskjermen, er det viktig å forstå hva den termiske klimaskjermen til en bygning er.

Den **termiske kapselen** til en bygning er den fysiske barrieren som skiller de klimatiserte innvendige rommene fra det ytre miljøet. Den spiller en avgjørende rolle i reguleringen av varmestrøm, luftinfiltrasjon og fuktighetsoverføring, som direkte påvirker bygningens energiytelse, inn klima og holdbarhet. En godt utformet termisk kapsel bidrar til å opprettholde en jevn innetemperatur, reduserer energiforbruket og senker klimagassutslippene [1].

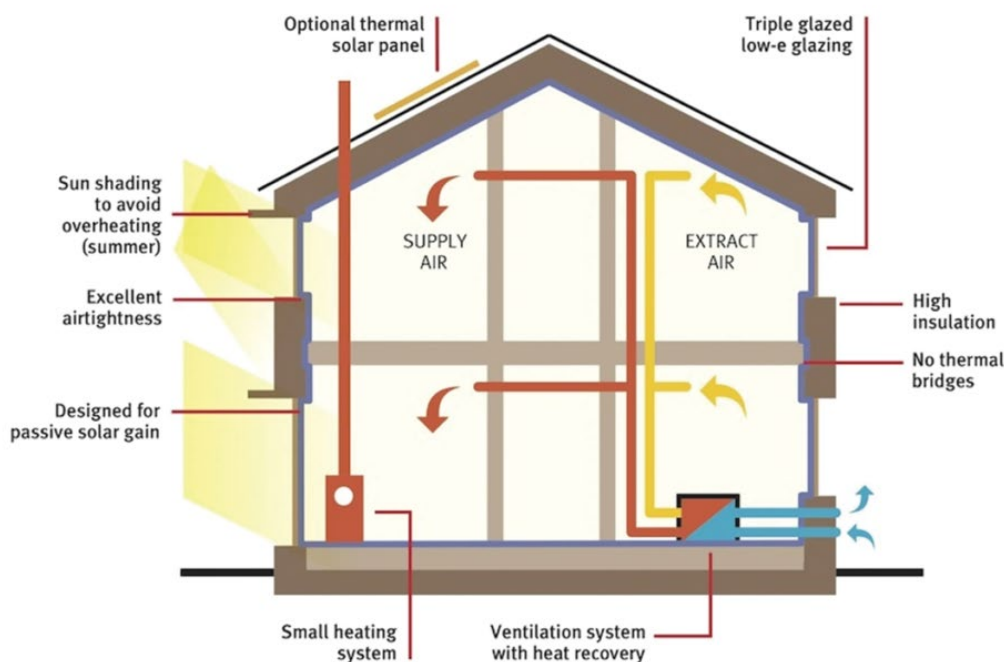
De viktigste komponentene i den termiske konvolutten er **vegger, tak, gulv, vinduer og dører**. Hver del bidrar til å kontrollere varmeutvekslingen og bør være konstruert med egnede **isolasjonsmaterialer, luftbarrierer og fuktighetsregulerende lag**. For eksempel inneholder yttervegger vanligvis isolasjon og et lufttett lag for å minimere varmetap om vinteren og hindre varmetilførsel om sommeren. Tak har ofte ventilasjonslag og reflekterende overflater, mens gulv – spesielt de som er i kontakt med bakken – krever termiske brytninger og fuktighetsbeskyttelse. Vinduer og dører regnes som termiske svakheter, og moderne design inkluderer derfor **doble eller tredoble vinduer, lavutslippsbelegg (low-E)** og termisk isolerte rammer for å forbedre ytelsen.

Det finnes ulike typer termiske klimaskjermkonstruksjoner basert på designintensjon og effektivitetsstandarder. **Konvensjonelle klimaskjermkonstruksjoner** følger standard byggforskrifter og gir grunnleggende termisk beskyttelse mot inne n. I kontrast til dette

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

har **klimaskjermkonstruksjoner med høy ytelse**, som for eksempel de som brukes i passivhusdesign [2], som mål å minimere energibehovet gjennom lufttett konstruksjon, overlegen isolasjon og detaljer uten kuldebroer. **Dynamiske eller adaptive klimaskjerm** bruker teknologi eller smarte materialer for å reagere på ytre forhold, for eksempel ventilerte fasader som tillater luftsirkulasjon mellom kledningslagene for å forbedre termisk atferd.



Figur 1: Passivhusstandarder i praksis. (Bildekilde: John Gilbert Architects.)

Å forbedre bygningens termiske klimaskjerm er en av de mest effektive strategiene for å redusere energiforbruket. Vanlige forbedringstiltak inkluderer **ettermontering av isolasjon** i vegger, loft og gulv, utskifting av gamle vinduer med **energieffektive enheter** og tetting av luftlekkasjer rundt skjøter, rør og stikkontakter. Mer avanserte strategier innebærer installasjon av **grønne tak**, **utvendige solskjermingsanordninger** eller **ventilerte fasader**, som alle bidrar til bedre temperaturregulering og fuktighetskontroll.

5.2 – Hvordan bygningens termiske kappe fungerer

Byggets termiske skall fungerer som et beskyttende skall som regulerer overføringen av varme, luft og fuktighet mellom det indre og det ytre miljøet. Det består av strukturelle og isolerende elementer – som vegger, tak, gulv, vinduer og dører – som samlet reduserer energitapet og bidrar til å opprettholde termisk komfort. Ved å begrense

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

uønsket varmetilførsel om sommeren og varmetap om vinteren, reduserer skillet behovet for mekaniske varme- og kjølesystemer betydelig [1].

Viktige egenskaper ved en effektiv termisk kappe er **termisk motstand (R-verdi)**, **lufttetthet** og **fuktighetskontroll**. Høye R-verdier indikerer bedre isolasjonsevne, som bremser varmestrømmen gjennom bygningselementene. Lufttetthet forhindrer ukontrollert luftlekkasje, noe som forbedrer energieffektiviteten og inneklimate. Fuktighetsregulerende lag, som dampsperrer og dreneringsplan, beskytter byggematerialene mot forringelse på grunn av kondens eller infiltrasjon [3]. Hver komponent må fungere sammen som et integrert system for å optimalisere termisk ytelse og holdbarhet.

Avanserte byggestandarter, som **Passivhus**, understreker viktigheten av en høytytelses termisk klimaskjerm. Disse designene bruker tykk isolasjon, høytytelsesvinduer og grundig lufttetting for å redusere oppvarmings- og kjølebehovet drastisk [2]. Forbedring av klimaskjermen – enten gjennom nybygging eller renovering – kan føre til betydelige energibesparelser og lengre levetid for byggematerialene. Til syvende og sist er den termiske klimaskjermen en av de mest kritiske faktorene i bærekraftig og energieffektiv bygningsdesign.

5.3 – Strategier for å optimalisere den termiske klimaskjermen til en bygning.

En av de mest effektive strategiene for å forbedre en bygning termiske klimaskjerm er å **oppgradere isolasjonen** i tak, vegger og gulv. Isolasjon bremser varmeoverføringen og bidrar til å opprettholde behagelige innetemperaturer hele året, samtidig som energiforbruket reduseres. I kalde klimaer, som i Nord-Europa, brukes ofte materialer med høy R-verdi, som mineralull eller sprøyteisolasjon, i tykke lag for å minimere varmetapet [1]. I varme, tørre regioner (f.eks. Sør-Spania) legges det refleksisolasjon eller strålingsbarrierer under taket for å reflektere solstråling [4].

Et annet viktig forbedringsområde er **ytelsen til vinduer og dører**, som er ansvarlig for en stor del av varmetapet eller varmetilskuddet. Å erstatte utdaterte enheter med **doble eller tredoble vinduer med lavutslippsbelegg (low-E)** og argongassfylling forbedrer den termiske ytelsen betydelig [2]. I kaldere regioner kan vinduer mot sør utformes for å fange opp passiv solvarme, mens det i tropiske klimaer er viktig å begrense vindusstørrelsen og bruke solskjerming for å redusere overoppheting. Termiske brudd i aluminiumsrammer og isolerte ytterdører bidrar også til å opprettholde en tettere termisk grense [3].

Lufttetting er en viktig forbedring som gjelder i alle klimasoner. Luftlekkasjer kan utgjøre opptil 30 % av varme- og kjøletapet i en typisk bygning [1]. Tetting av sprekker med fugemasse, skum og tetningslister reduserer infiltrasjon og forbedrer

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

energieffektiviteten. I fuktige klimaer forhindrer det også at varm, fuktig luft kommer inn og kondenserer i veggene, noe som kan føre til mugg. En **blåsetest** brukes ofte for å oppdage lekkasjepunkter.

Til slutt kan klimaresponsive **passive strategier** forbedre den termiske innkapslingen betydelig. I varme, fuktige regioner bidrar **ventilerte fasader** til å fjerne solvarme og fuktighet, slik at bygningen holdes kjøligere. **Grønne tak** er effektive både i tempererte og varme klimaer, da de gir isolasjon og reduserer urbane varmeøyeffekter. **Eksterne solskjermingsanordninger**, som lameller eller pergolaer, blokkerer direkte sollys om sommeren, men slipper det inn om vinteren i sesongklimaer. Disse elementene forbedrer ikke bare den termiske klimaskjermens ytelse, men bidrar også til beboernes komfort og miljømessig bærekraft.

5.4 – Eksempler på svært energieffektive vinduer og dører

5.4.1. Vindustyper: Glass og rammematerialer

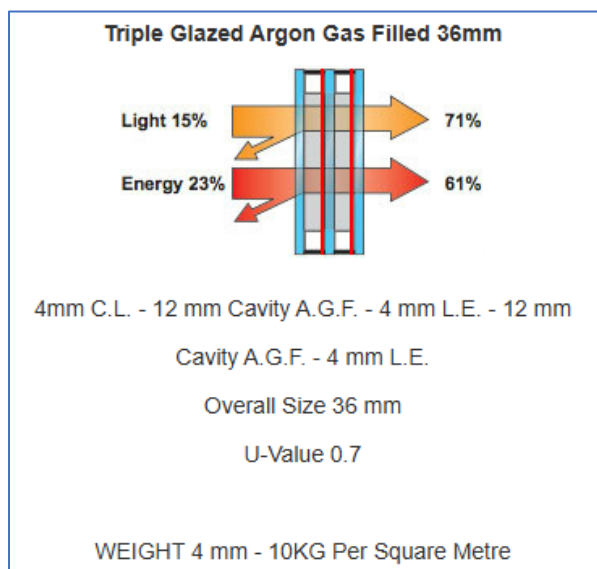
Vinduer er en viktig del av den termiske klimaskjermen og har stor innvirkning på bygningens energieffektivitet, spesielt i klimaer hvor oppvarming eller kjøling dominerer. De to viktigste faktorene som bestemmer et vindus termiske egenskaper er glasset og rammematerialet. Sammen påvirker de U-verdien, som måler varmeoverføringshastigheten – jo lavere U-verdi, jo bedre isolasjon.

Det finnes forskjellige **typer glass**, fra enkeltglass (som sjelden brukes i dag) til dobbeltglass og trippelglass. Dobbeltglass består av to glassplater med et mellomrom fylt med luft eller gass (argon eller krypton), mens trippelglass har en tredje glassplate som gir enda bedre isolasjon. Omtrentlige U-verdier er:

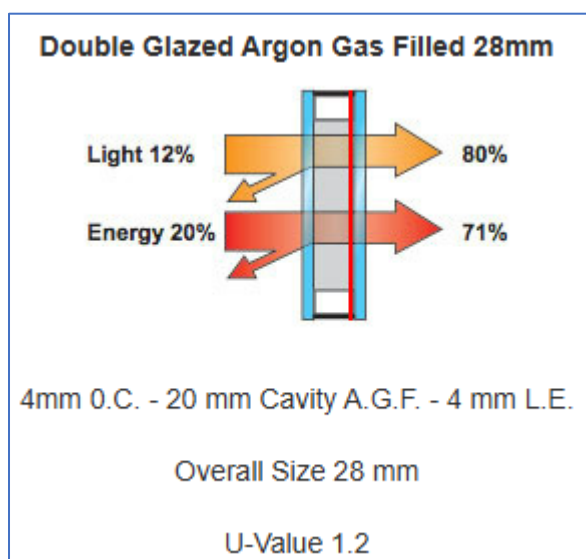
- Enkeltglass: 5,0–6,0 W/m²·K (svært dårlig isolasjon)
- Doble vinduer (luftfylte): 2,7–3,0 W/m²·K
- Doble vinduer (argonfylte, lav-E): 1,4–1,6 W/m²·K
- Trippelglass (argon/krypton, lav-E): 0,8–1,0 W/m²·K [5]

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon



Figur 2: Egenskaper ved trippelglass med argongassfylling, 36 mm



Figur 3: Egenskaper ved dobbeltvinduer med argongass, 28 mm

Rammematerialer spiller også en viktig rolle i varmeoverføring. Vanlige typer inkluderer:

- Aluminium (uten termisk isolasjon): Høy ledningsevne; U-verdier rundt 5,5–6,0 W/m²·K

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

- Termisk isolert aluminium: Med termiske barrierer faller verdiene til 1,8–2,5 W/m²·K
- PVC/vinylrammer: God isolasjon; U-verdier mellom 1,2–1,6 W/m²·K
- Trerammer: Naturlig isolerende; U-verdier fra 1,4–1,8 W/m²·K
- Tre-aluminiumkompositt: Kombinerer estetikk og ytelse; ~1,0–1,4 W/m²·K [6]



Figur 4: Vindusrammer i PVC, aluminium og tre.

5.4.2. Anbefalte U-verdier for vinduer etter klimasoner

Den anbefalte varmetransmisjonen (U-verdi) for vinduer avhenger i stor grad av det lokale klimaet og byggeforskriftene:

- Kaldt klima (f.eks. Skandinavia, Canada): Anbefalt U-verdi er $\leq 1,0$ W/m²·K for vinduer; Passivhusstandarder anbefaler $\leq 0,8$ W/m²·K for ekstrem kulde [2].
- Tempererte klimaer (f.eks. Sentral-Europa, Nord-USA): Mål $\leq 1,4$ W/m²·K for god ytelse.
- Varmt klima (f.eks. Middelhavet, Sør-USA): Litt høyere U-verdier på opptil 1,8–2,0 W/m²·K kan være akseptabelt, men solvarmefaktor (SHGC) blir viktigere her for å redusere overoppheting.

Det er også viktig å ta hensyn til **solorientering og skyggelegging**: I kaldere klimaer kan vinduer mot sør med høyere SHGC bidra til å varme opp interiøret på en naturlig måte, mens i varme klimaer er glass med lav SHGC og utvendig skyggelegging å foretrekke.

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

For å sikre høy energieffektivitet bør vindussystemer velges i henhold til både U-verdi og SHGC, og tilpasses de lokale klimaforholdene. Tredoble vinduer med lav E-verdi og termisk isolerte eller komposittrammer gir utmerket ytelse i kalde klima. I varmere områder er doble vinduer med lav E-verdi, solbeskyttende belegg og solskjermingssystemer ofte mer hensiktsmessige og kostnadseffektive.

5.4.3. Vinduskataloger

Nedenfor finner du noen av de viktigste nettstedene på engelsk hvor du kan finne kataloger over høyeffektive vinduer, inkludert PDF-filer og brosjyrer:

➤ **Alpen High Performance Products**

Alpen spesialiserer seg på spesialtilpassede vinduer med tre og fire glass som er sertifisert i henhold til Passivhus- og ENERGY STAR-standardene. Katalogene deres fremhever avanserte vinduer, isolerte rammer og integrerte solskjermingsløsninger.

windowsbertrand.comthinkalpen.com+3thinkalpen.com+3thinkalpen.com+3

➤ **Marvin (Essential & Ultrex®-serien)**

Tilbyr omfattende kataloger med ENERGY STAR-sertifisert lav-E-glass, argonfylling og Ultrex-glassfiberrammer. Katalogene inneholder ytelsesdata som U-verdier og solvarmefaktorer.

prioritydoorwindow.com+6irp.cdn-website.com+6energy.gov+6

➤ **REHAU**

Polert PDF-brosjyre som presenterer **WER A-klassifiserte polymersystemer** med utmerket varme- og lydisolasjon, tilpasset klimaet i Storbritannia og EU.

window.rehau.com

➤ **SUNCE Marinkovic**

Engelsk PDF-katalog med energieffektive **PVC-vinduer** med sikkerhetsmekanismer og varmeisolerende egenskaper.

en.wikipedia.org+12suncemarinkovic.com+12windowsbertrand.com+12

➤ **SILKA**

Engelsk informasjon om trelags aluminiumsvinduer med **Thermafill®-isolerende rammer**, med en U-verdi på kun 0,8 W/m²K – en av markedets beste.

silkawindows.com

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

5.4.4. Termiske egenskaper for hovedinngangsdører til boliger

Den termiske ytelsen til hovedinngangsdører varierer betydelig avhengig av materialer og innvendig struktur. Dører av massivt tre er naturlig isolerende og visuelt tiltalende, men har vanligvis U-verdier mellom 0,35 og 0,70 W/m²·K, noe som er mindre effektivt enn isolerte alternativer [7]. Dører av stål og glassfiber med polyuretanskumkjerne gir overlegen isolasjon og oppnår U-verdier på så lavt som 0,15–0,30 W/m²·K [8]. I tillegg kan inngangsdører med glass gi god termisk motstand når de er utstyrt med dobbelt eller trippel lavemisjonsglass (Low-E) og gassfylling som argon [9]. Bruk av tetningslister, isolerte kjerne og termiske bryter er avgjørende for å minimere luftlekkasje og opprettholde energieffektiviteten [9].

Regulatoriske standarder definerer maksimalt tillatte U-verdier basert på regionale energieffektivitetsmål. I kaldere europeiske regioner krever regelverket vanligvis at dører har U-verdier under 1,4–1,8 W/m²·K, avhengig av om døren er ny eller erstatter en gammel [7]. Mer krevende sertifiseringer, som Passivhus, krever U-verdier på ≤1,0 W/m²·K for å minimere varmetap [2]. I Nord-Amerika legger ENERGY STAR-retningslinjene også vekt på ytelsen til hele dørkonstruksjonen, med maksimale U-verdier på ca. 0,28 W/m²·K, avhengig av klimasonen og forholdet mellom dør og glass [9].

I kalde og alpine klimaer bør dører ideelt sett ha U-verdier på ≤1,0 W/m²·K for å redusere oppvarmingsbehovet og forbedre termisk komfort [2]. I tempererte regioner gir U-verdier på opptil 1,4 W/m²·K en praktisk balanse mellom isolasjon og kostnadseffektivitet [1]. I varmere klimaer, som middelhavs- eller tropiske områder, kan U-verdier på opptil 1,8 W/m²·K være tilstrekkelig, spesielt når de kombineres med funksjoner som reduserer solvarmetilførselen [9]. Uansett beliggenhet er det viktig å velge dører med gode tetninger, kuldebroer og sertifiserte isolasjonsmaterialer for å sikre langsiktige energibesparelser og innendørs komfort [8].

Her er flere høytytende, energieffektive hovedinngangsdører, sammen med deres omtrentlige varmetransmisjon (U-verdier):

- **Isolert glassfiber med lav-E-glass** – Har vanligvis en glassfiberdør med skumkjerne, doble vinduer, lav-E-glassinnsetser og argongassfylling. Disse dørene oppnår vanligvis **U-verdier mellom 0,17 og 0,30 W/m²·K**, og tilbyr utmerket isolasjon og moderne estetikk.
- **Ståldør med polyuretankjerne** – Et slitesterkt stålutsiden kombinert med en polyuretanisolert kjerne. Disse modellene har ofte termisk isolerte rammer og

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

værstripping, med **U-verdier fra 0,15 til 0,25 W/m²·K**, noe som gjør dem til noen av de mest termisk effektive.

- **Massivt tre med komposittkjerne** – Denne stilen beholder et elegant treutseende, men har en kompositt- eller isolert kjerne for forbedret ytelse. De typiske **U-verdiene ligger mellom 0,30 og 0,50 W/m²·K**, som er bedre enn massivt tre alene, men høyere enn fullt isolerte design.
- **Helt glassdør med trippel Low-E-paneler** – Et elegant, moderne design med trippel Low-E-glass med inert gassfylling (f.eks. argon eller krypton). Disse dørene oppnår ofte **U-verdier på rundt 0,70 til 1,20 W/m²·K**, avhengig av glassspesifikasjoner og rammekvalitet.

Disse eksemplene viser hvordan forskjellige materialer – glassfiber, stål, komposittre og glass – kombinerer estetikk med avansert varmeeffektivitet.



Figur 5: Eksempler på inngangsdører til hus (Kilde: [Constellaion.com](https://www.constellation.com))

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

5.5 – Eksempler på svært energieffektive fasader og tak

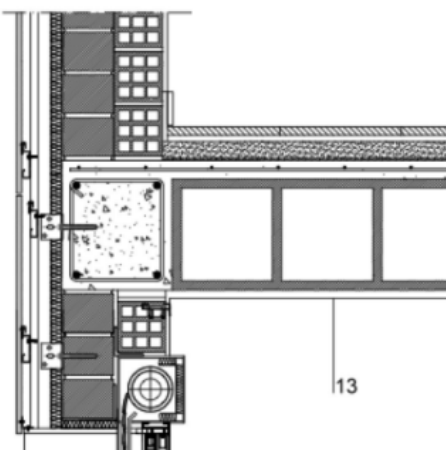
5.5.1. Ventilerte fasader vs. konvensjonelle fasader

Ventilerte fasader (også kjent som regnskjermfasader eller dobbeltfasader) fungerer ved å innlemme en utvendig kledning, et luftrom og isolasjon på den bærende veggen. Luftstrømmen i hulrommet (ofte drevet av «skorsteineeffekten») reduserer varmetilførselen om sommeren og fuktighetsoppbygging om vinteren, noe som forbedrer den termiske ytelsen. Studier har vist at ventilerte fasader kan redusere kjølebehovet med **20–55 %** og forbedre U-verdien med omtrent **30–40 %** sammenlignet med konvensjonelle isolasjonssystemer [10].

En casestudie av boligbygg i Alicante, Spania, sammenlignet en nordvendt ventilert fasade (murstein, 3 cm kontinuerlig isolasjon, 7 cm hulrom, porselensteinkledning) (tabell 1) med en konvensjonell isolert vegg (tabell 2). Det ventilerte systemet oppnådde en U-verdi på rundt **0,20 W/m²·K**, sammenlignet med den konvensjonelle fasaden på **0,33 W/m²·K**, noe som indikerer en 40 % forbedring i varmetransmisjon [11].

Table 1: Constructional features of the housing façade. [11]

F_1_Ventilated façade _Total thickness = 0.355 m		
Vertical construction and horizontal flow		Thickness
Inside environment		(m)
1	Trim and plaster	0.015
2	Hollowed ceramic brick	0.115
3	Perforated ceramic brick	0.115
4	Thermal insulation: PUR projection [0.033 W/[mK]]	0.03
5	Metallic structure	—
6	Air gap ventilated	0.07
7	Outer discontinuous ceramic façade	0.01
Outside environment		



Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

Table 2: Constructional features of the conventional façade. [11]

F_2_ Conventional façade _Total thickness = 0.24 m

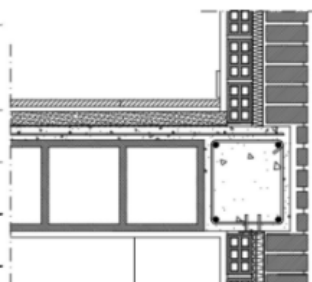
Vertical construction and horizontal flow

Thickness (m)

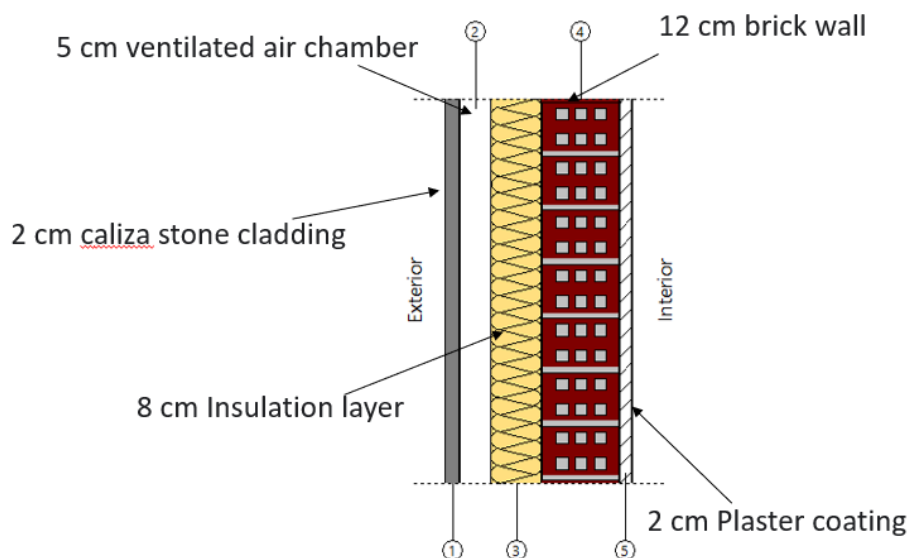
Inside environment

1	Trim and plaster	0.015
2	Hollowed ceramic brick	0.07
3	Thermal insulation: mineral wool [0.033 W/[mK]]	0.03
4	Mortar bed	0.01
5	Perforated ceramic brick	0.115

Outside environment



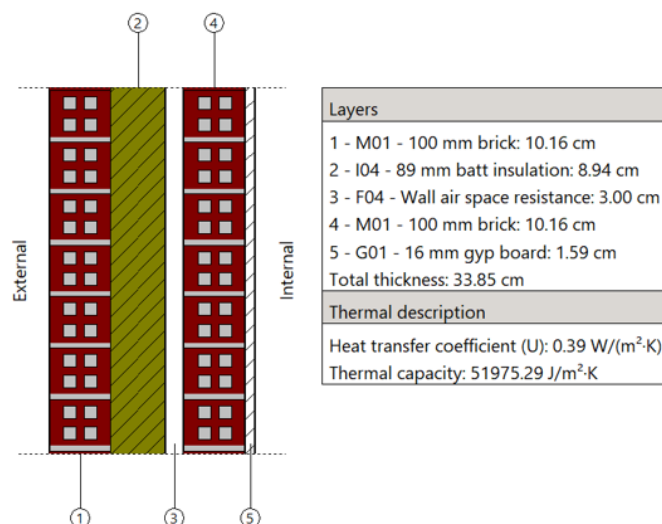
Andre eksempler på ventilerte fasader og konvensjonelle fasader er vist i figurene nedenfor:



Figur 6: Ventilert fasade ($U = 0,33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon



Figur 7: Konvensjonell fasade ($U = 0,39 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)

5.5.2. Andre typer fasader

Et annet eksempel fra virkeligheten er Indira Paryavaran Bhawan, et netto nullenergibygg (NZEB) i Delhi. Bygningens klimaskjerm består av tung konstruksjon. Ytterveggen består av 30 cm tykke blokker av autoklavert porebetong (AAC), 7 cm tykk mineralullisolasjon, 12 cm tykk luftspalte og 12 cm tykke «Fal-G»-blokker (en proprietær blanding av flyveaske (Fa), kalk (L) og gips (G)), og har en U-verdi på **0,22 W/m² K** [12].



Figur 8: Indira Paryavaran Bhawan [12]

Et annet eksempel som er verdt å nevne, er fasader med dobbelt skall. Høyytelses fasader med dobbelt hud med glass og ventilerte hulrom – som på Pearl River Tower

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

eller 30 St Mary Axe – forbedrer U-verdiene til mellom **0,40 og 0,80 W/m²·K**, avhengig av hulromsbredde og glass type [13]. Selv om de er glass, bruker disse fasadene intelligent naturlig eller mekanisk ventilasjon for å regulere solstråling og kontrollere luftstrømmen.



Figur 9: Dobbeltskinnet fasade

5.5.3. Eksempler på tak med høy energieffektivitet

Flatt tak

Et **flatt tak** er en type tak som kjennetegnes ved sin minimale helling – vanligvis mindre enn 5 % – og brukes ofte i moderne og kommersielle bygninger på grunn av sin enkle konstruksjon og effektive utnyttelse av plassen. Et typisk flatt taksystem består av flere lag: et bærende underlag, dampsperre, varmeisolasjon, vanntett membran og noen ganger et beskyttende eller etterbehandlende lag, for eksempel grus, takstein eller vegetasjon.

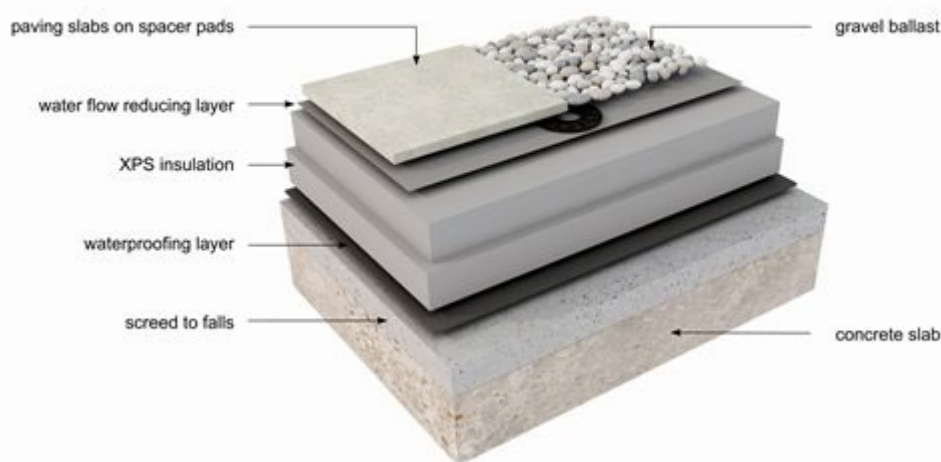
Varmeisolasjonsegenskaper:

1. **Kontinuerlig isolasjonsevne:** Flate tak muliggjør kontinuerlig og uavbrutt installasjon av varmeisolasjon, noe som minimerer kuldebroer. Vanlige isolasjonsmaterialer inkluderer polyisocyanurat (PIR), ekstrudert polystyren (XPS) og mineralull. Godt utformede systemer kan oppnå **varmetransmisjon (U-verdier)** mellom **0,15 og 0,25 W/m²·K**, avhengig av isolasjonstype og tykkelse.
2. **Høy energieffektivitet:** Den flate, jevne overflaten gjør det enklere å sikre jevn isolasjonstykkelse, noe som forbedrer den totale varmeisolasjonen. Dette bidrar til å redusere varmetap om vinteren og overoppheting om sommeren, noe som forbedrer inn klimaet og reduserer energibehovet til oppvarming, ventilasjon og kjøling.

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

3. **Kompatibilitet med passive systemer:** Flate tak er ideelle plattformer for integrering av ekstra energieffektive systemer, som grønne tak, solcellepaneler eller reflekterende belegg (kjølige tak). Reflekterende flate tak kan for eksempel redusere solabsorpsjonen med mer enn 70 %, noe som utfyller varmeisolasjonen og forbedrer ytelsen i varme klimaer.



Figur 10: Flatt tak

Ventilerte kjølige tak.

Definisjon og mekanisme: Ventilerte kjølige tak kombinerer et **ytre lag med høy refleksjonsevne** (solrefleksjon mellom 0,65 og 0,85) med et **ventilert luftrom** under. Denne konfigurasjonen muliggjør naturlig luftstrøm, hvor oppvarmet luft slipper ut gjennom høye ventiler, mens kjøligere luft kommer inn fra lavere inntak, noe som effektivt **reduserer varmeoverføring** til det indre rommet [14]. Denne passive ventilasjonsprosessen bidrar også til å opprettholde en mer stabil taktemperatur gjennom dagen.

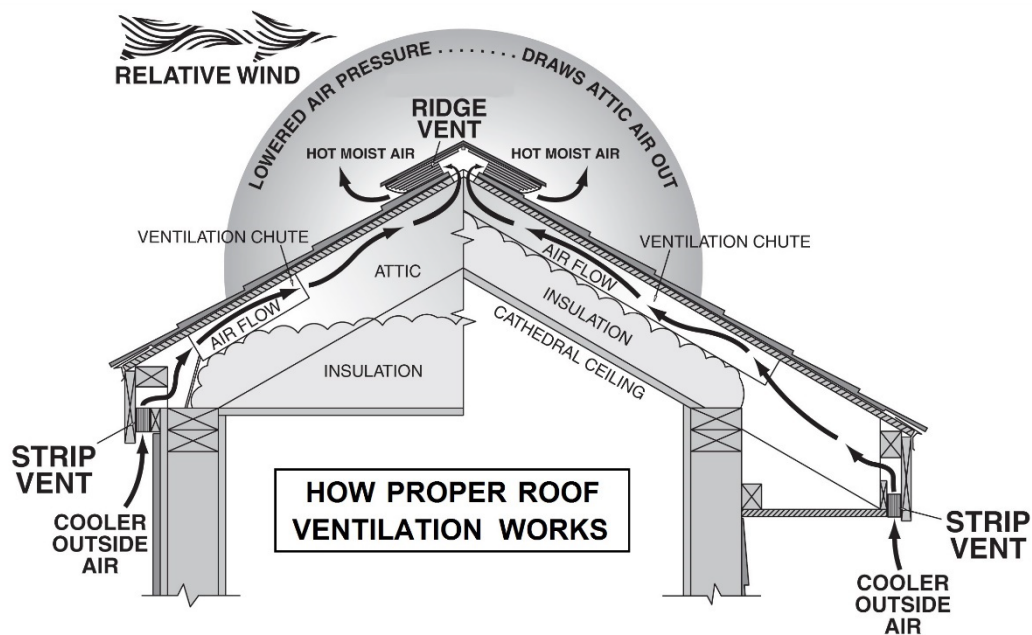
Typisk struktur og varmeoverføring (U-verdi): En standardkonstruksjon består av et **takdekke, dampsperre, varmeisolasjonslag** og et **ventilert hulrom** på ca. 25–50 mm, dekket av det ytre takmaterialet (takstein, metallplater osv.). Det isolerte laget oppnår vanligvis **U-verdier på mellom 0,20 og 0,30 W/m²·K**, avhengig av isolasjonstype og tykkelse [15]. Det ventilerte laget bidrar med en ekstra termisk fordel, som effektivt **reduserer den totale U-verdien med omtrent 0,1 W/m²·K** gjennom redusert konduktiv og konvektiv varmeoverføring [15].

Kjøleeffekt og energieffektivitet: På grunn av den kombinerte effekten av solrefleksjon og ventilasjon kan ventilerte kjølige tak opprettholde **overflatetemperaturer opptil 30–**

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

40 °C kjøligere enn m e, ikke-ventilerte tak [16]. Denne termiske ytelsen resulterer i **energibesparelser på 30–50 % av kjøleenergien**, avhengig av klima, takkonfigurasjon og bygningstype. I enetasjes bygninger er det dokumentert reduksjoner på **opptil 15 % i behovet for varme, ventilasjon og aircondition** ved bytte til ventilerte reflekterende tak [16].



Figur 11: Hvordan ventilerte tak fungerer

Andre fordeler: I tillegg til energieffektivitet har ventilerte kjøletak flere andre fordeler:

- **Forlenget levetid for materialer**, da lavere overflatetemperaturer reduserer termisk belastning og nedbrytning.
- **Fuktighetskontroll**, som minimerer risikoen for kondens og muggdannelse gjennom kontinuerlig luftstrøm [15].
- **Redusert varmeøyeffekt i byer**, siden disse takene avgir mindre varmestråling til omgivelsene [14].

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon



Figur 12: Tak med murvegger (ventilert tak).

Grønne tak



Figur 13: Grønt tak.

Definisjon og komponenter: Grønne tak består av et **flerlagssystem** som installeres på toppen av konvensjonelle tak, og som inneholder vanntette membraner, rotbarrierer, dreneringslag, et vekstmedium (jord) og vegetasjon. De kan klassifiseres som **ekstensiv** (6–20 cm dybde, lite vedlikehold, lettere belastning) eller **intensiv** (20+ cm dybde, tåler trær og busker, tyngre og mer kompleks) [17]. Disse systemene gir isolasjon og klimastabilisering, samtidig som de tilfører estetisk og økologisk verdi til urbane strukturer.

Varmegjennomgang og ytelse: Grønne tak fungerer som naturlige varmebufferer. Om sommeren reduserer **fordampning og skyggelegging** varmeoverføringen, og om vinteren bremser **jordmassen og den oppbevarte fuktigheten** varmetapet. De målte U-verdiene for grønne tak varierer, men ligger vanligvis mellom **0,25 og 0,35 W/m²·K**, avhengig av tykkelse og metning [18]. Sammenlignet med tradisjonelle flate tak ($U \approx$

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

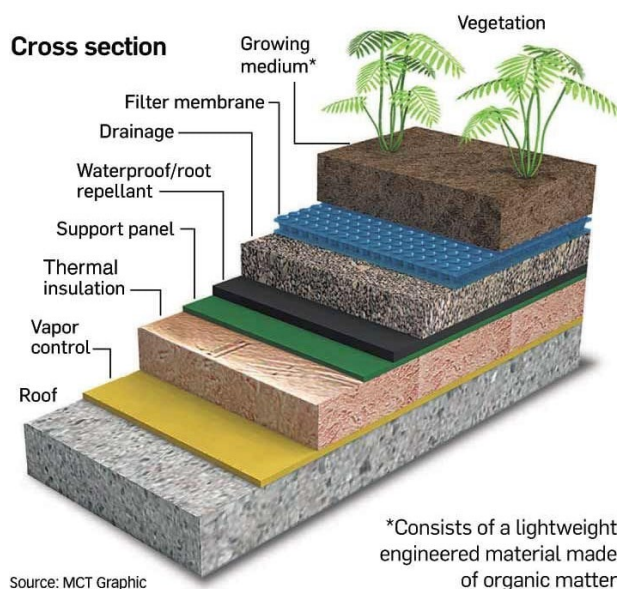
Forbedring av termisk isolasjon

0,50–0,60 W/m²·K) kan grønne tak forbedre isolasjonen med opptil 50 %, spesielt om sommeren.

Energieffektivitet og inneklima: I varme klimaer kan grønne tak redusere innetemperaturen med 2–5 °C, noe som reduserer belastningen på klimaanlegg med 30–70 % i høysommeren [18], [19]. I tempererte klimaer er det rapportert om en samlet energibesparelse på 5–10 % årlig. Om vinteren er isolasjonsgevinsten mindre, men fortsatt relevant – studier viser en reduksjon i oppvarmingsenergiforbruket på **opptil 10 %** [18].

Miljø- og holdbarhetsfordeler: I tillegg til termiske fordeler tilbyr grønne tak:

- Opptil 80 % **oppbevaring** av regnvann, noe som avlaster avløpssystemene.
- **Redusert urbane varmeøyer**, noe som reduserer omgivelsestemperaturen med opptil 2–3 °C i tettbebygde områder [17].
- **Forlenget taklevetid:** Ved å beskytte vanntette membraner mot UV-stråling og termiske sykluser kan grønne tak **double takets levetid** til 40–50 år [20].



Figur 14: Grønt tak. Kilde: MCT-grafikk

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

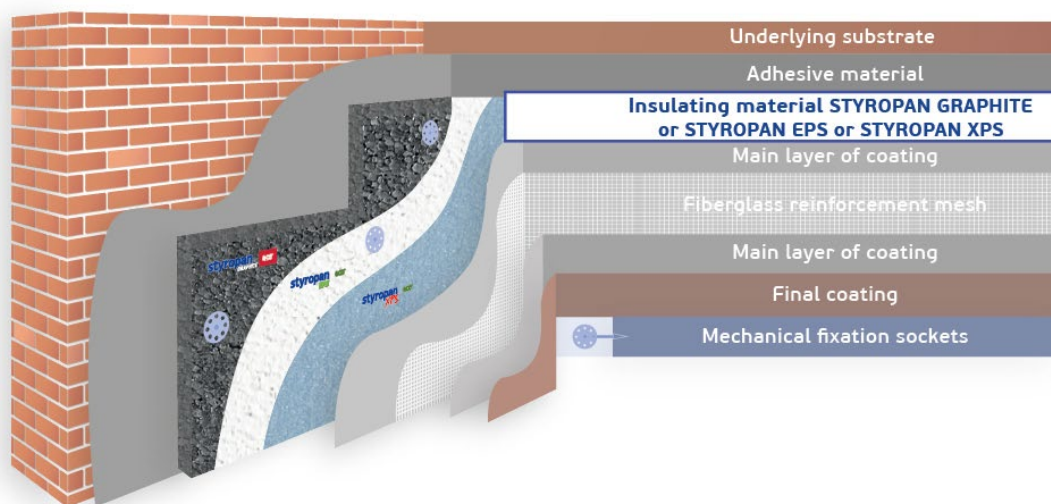
5.6 Alternativer for å forbedre isolasjonen av fasader på eksisterende bygninger.

5.6.1. Innledning og kontekst

Forbedring av isolasjonen av bygningsfasader er en av de mest effektive strategiene for å redusere energiforbruket og øke innekomforten i eksisterende bygninger. Fasader står ofte for **20–35 % av varmetapet** i bygninger, spesielt i kalde og tempererte klimaer [21]. Ettermontering av disse klimaskjermelementene kan redusere bygningens U-verdi og energibehov betydelig uten at det kreves store strukturelle endringer.

5.6.2. Eksterne termiske isolasjonssystemer (ETICS)

ETICS, også kjent som utvendige veggisolasjonssystemer, innebærer å påføre **isolasjonsplater (f.eks. ekspandert polystyren, mineralull eller PIR)** på utsiden av veggene, og deretter dekke dem med netting og etterpåkuss. Disse systemene kan redusere veggens U-verdier fra rundt **1,0 W/m²·K (uisolert murverk)** til så lavt som **0,20–0,25 W/m²·K**, avhengig av materialet og tykkelsen som brukes [22]. ETICS bidrar også til å forhindre kuldebroer og forbedre fasadens holdbarhet ved å beskytte konstruksjonen mot vær og UV-stråling [22].



Figur 15: ETIC. Kilde: Styropan

Fordeler ved rehabilitering med ETICS

- **Forbedret termisk ytelse:** ETICS kan redusere den **termiske overføringsgraden (U-verdien)** for typiske murvegger fra rundt **1,2–1,5 W/m²·K (uisolert)** til **0,20–0,30 W/m²·K**, avhengig av isolasjonstykkelsen og materialet. Denne forbedrede

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

energiklassen () forbedrer inneklimaet og reduserer oppvarmings- og kjølebehovet med opptil **40 %** i tempererte klimaer.

- **Minimerte kuldebroer:** Da isolasjonen er kontinuerlig over hele veggflaten, bidrar ETICS til å **eliminere lineære kuldebroer** (f.eks. ved gulvplater eller vinduskarmer), som er hyppige kilder til varmetap i eldre bygninger.
- **Bevart innvendig plass:** Siden isolasjonen påføres utvendig, **går ingen innvendig overflate tapt**, og beboerne trenger ikke flytte ut under installasjonen.
- **Forbedret fasadens holdbarhet:** ETICS beskytter den underliggende strukturen mot **vær og vind, temperatursvingninger og UV-stråling**, noe som forlenger veggens levetid og reduserer vedlikeholdskostnadene.
- **Estetisk renovering:** Systemet gir mulighet for en lang rekke **overflatebehandlinger, teksturer og farger**, noe som gir mulighet til å modernisere bygningens utseende samtidig som ytelsen forbedres.

Ulemper med ETICS:

- **Fasademodifikasjoner nødvendig:** Den ekstra tykkelsen (vanligvis **8–20 cm**) kan kreve tilpasninger ved **vinduskarmer, vindusben, takskjegg og balkonger**, noe som øker arbeidskompleksiteten og kostnadene.
- **Mekanisk sårbarhet:** Til tross for et forsterket ytre lag kan ETICS være **utsatt for mekaniske skader** (f.eks. støt, hærverk), spesielt i første etasje, og kan kreve periodiske reparasjoner eller forsterkninger.
- **Regulatoriske eller kulturhistoriske begrensninger:** I historiske eller arkitektonisk verneverdige bygninger **kan utvendige endringer være begrenset**, noe som gjør ETICS til et uegnet eller forbudt alternativ.
- **Initialinvestering:** Startkostnadene, inkludert stillas, faglært arbeidskraft og detaljarbeid, er **relativt høye** sammenlignet med noen andre løsninger, men de langsiktige besparelsene rettfærdiggjør ofte utgiftene.

5.6.3. Ventilerte fasader (regnskjermkledningssystemer)

Ventilerte fasader består av et **lagdelt veggssystem** med en utvendig kledning (f.eks. keramikk, metall, fibercement), et luftrom og et underliggende lag med varmeisolasjon. Denne konstruksjonen muliggjør **luftstrøm mellom isolasjonen og kledningen**, noe som forbedrer hygrotermisk ytelse og reduserer fuktansamling. Det ventilerte luftlaget fungerer som en termisk buffer og kan redusere U-verdiene til **0,15–0,30 W/m²·K**,

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

avhengig av isolasjons materialet og hulrommets dybde [23]. Disse systemene er mye brukt både i energirenoveringer og estetiske fasadeoppgraderinger.



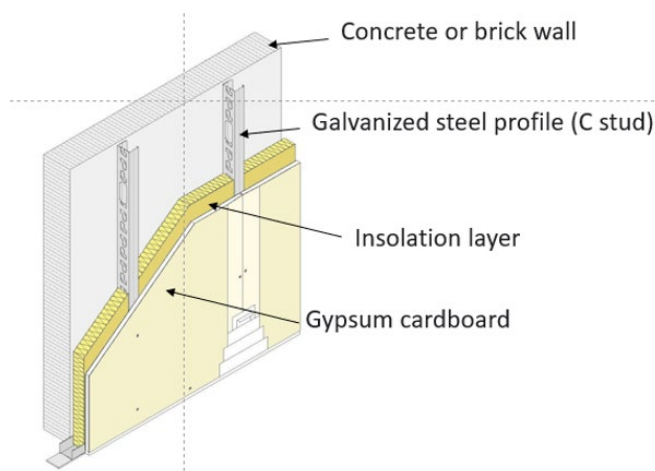
Figur 16: Energirenovering av fasaden. Ventilert fasade

5.6.4. Innvendige isolasjonsløsninger

Når utvendig isolering ikke er mulig (f.eks. i verneverdige bygninger), er **innvendig veggisolasjon** et godt alternativ. Materialer som **vakuumisolasjonspaneler (VIP)**, aerogeler eller mineralullplater påføres på den innvendige siden av veggen. Selv om disse systemene er enklere å installere fra innsiden, kan de redusere den brukbare plassen noe og kreve dampsperrer for å forhindre kondens. Avhengig av produktet kan innvendige oppgraderinger redusere U-verdiene til **0,30–0,45 W/m²·K** [24].

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon



Figur 17: Innvendig isolasjonsløsning.

Innvendig veggisolasjon brukes ofte når det ikke er mulig å isolere utsiden av en bygning, vanligvis på grunn av byplanleggingsrestriksjoner, krav til bevaring av arkitektur eller budsjettbegrensninger. Disse systemene innebærer at isolasjonsmaterialer (som mineralull, polyuretanplater, aerogeler eller komposittpaneler) påføres på innsiden av eksisterende yttervegger.

Fordeler med innvendige isolasjonsløsninger:

- **Bevaring av bygningens utvendige utseende:** En av de viktigste fordelene er at bygningens utvendige utseende forblir uendret. Dette gjør innvendig isolasjon spesielt egnet for **verneverdige bygninger**, hvor endringer av fasaden ofte er begrenset.
- **Enkel installasjon:** Innvendig isolasjon kan vanligvis installeres **rom for rom**, noe som gjør det mulig å **renovere i etapper**. Dette er nyttig i boligområder hvor beboerne kan fortsette å bruke deler av bygningen under arbeidet.
- **Lavere startkostnader:** Sammenlignet med utvendige isolasjonssystemer kan innvendige løsninger være **rimeligere**, spesielt i bygninger med komplekse fasader, ornamenter eller vanskelig tilgang for stillas.
- **Bedre inneklima:** Riktig montert innvendig isolasjon kan **redusere varmetapet** betydelig, **øke overflatetemperaturen** og **redusere kondens** på innvendige vegger, noe som gir bedre termisk komfort i vintermånedene.

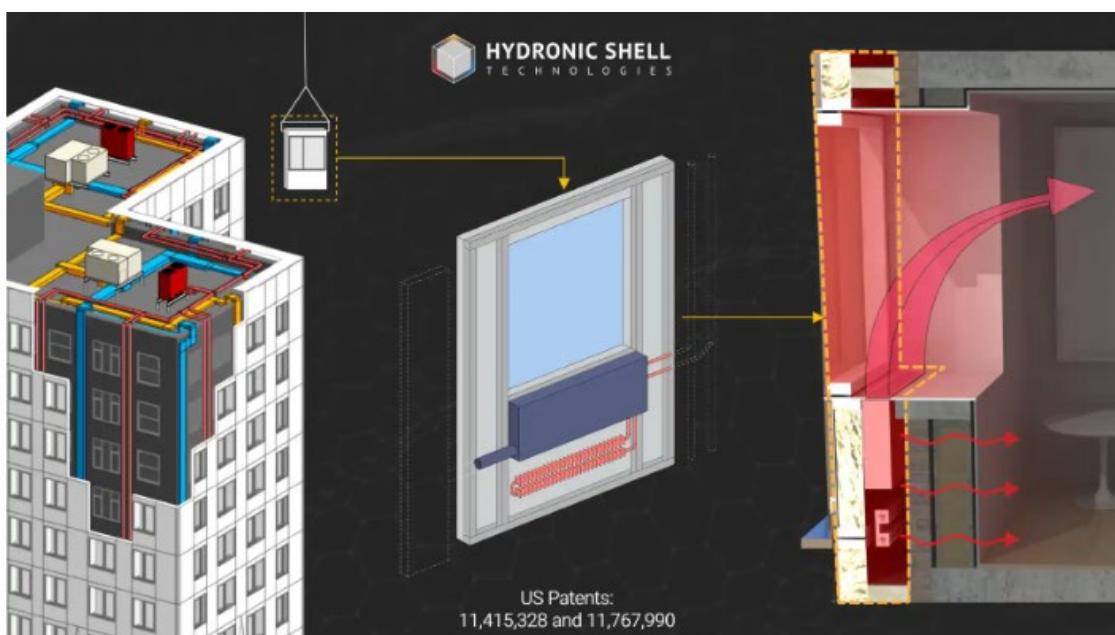
Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

Ulemper med innvendige isolasjonsløsninger

- **Redusert innvendig plass:** En viktig ulempe er **tap av brukbar gulvplass**, spesielt når tykkere isolasjon brukes for å oppfylle termiske krav. Dette kan være et problem i mindre rom eller leiligheter.
- **Risiko for kuldebroer:** Innvendig isolasjon dekker ikke strukturelle skjøter som gulvplater eller innvendige skillevegger. Dette skaper **kuldebroer**, som kan redusere den totale energiprestasjonen og føre til **lokal kondens** eller **muggvekst**.
- **Risiko for kondens og fukt:** Hvis det ikke er riktig utformet med **dampsperrer** eller pustende materialer, kan innvendige isolasjonssystemer fange fukt inne i vegg, noe som kan føre til **kondens** og forringelse av bygningskonstruksjonen.
- **Forstyrrelser for beboere:** Innvendig isolering innebærer arbeid inne i bygningen, noe som kan kreve **flytting av møbler, elektrisk arbeid** og **omdekoring**. Dette kan forstyrre beboerne under renoveringen.
- **Krevende detaljarbeid:** Riktig utførelse er avgjørende, spesielt rundt **vinduskarmer, stikkontakter, radiatorer** og **skjøter**. Dårlig detaljarbeid kan svekke både varmeisolasjonen og fuktkontrollen.

5.6.5. Annet system: Vannbårne skall



Figur 18: Vannbårent skallsystem [25]

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:

Forbedring av termisk isolasjon

Hydronic Shell System er en innovativ fasadeintegrert løsning designet for **dyp energirenovering** av eksisterende bygninger, spesielt de med begrenset isolasjon og utdaterte varmesystemer. Den består av en prefabrikkert ytre kledning som inneholder høytytelsesisolasjon og et integrert **vannbårent strålevarmesystem**. Dette systemet sirkulerer vann gjennom innebygde rør eller paneler i fasaden, noe som muliggjør lavtemperaturvarme om vinteren og passiv eller aktiv kjøling om sommeren. Systemet forbedrer ikke bare varmeisolasjonen (med U-verdier typisk under **0,20 W/m²·K**), men erstatter eller supplerer også tradisjonelle HVAC-systemer, noe som resulterer i betydelige energibesparelser og forbedret inneklima.

En av de viktigste fordelene med Hydronic Shell er at det muliggjør en **ikke-invasiv ettermontering**, da modulene monteres utvendig og kan installeres med minimal forstyrrelse for beboerne. I tillegg til å forbedre energiytelsen, gir systemet en ny ventilert fasade med potensial for arkitektonisk fornyelse. Kompatibiliteten med fornybare energikilder (som varmepumper eller solvarme) forbedrer bærekraften ytterligere. Selv om det fortsatt er en ny løsning når det gjelder implementering i stor skala, representerer den en lovende strategi for å oppnå **nesten nullenergibygg (nZEB)** i eksisterende bygningsmasse.

Referanser

- [1] U.S. Department of Energy, «Building Envelope», Energy.gov. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.energy.gov/energysaver/design/energy-efficient-home-design/building-envelope>
- [2] Passive House Institute, «What is a Passive House?» [Online]. Tilgjengelig: <https://passivehouse.com>
- [3] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), *ASHRAE Handbook – Fundamentals*, Atlanta, GA: ASHRAE, 2021.
- [4] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz og C. Pout, «A review on buildings energy consumption information», *Energy and Buildings*, vol. 40, nr. 3, s. 394–398, 2008.
- [5] U.S. Department of Energy, «Types of Windows», *Energy Saver*, <https://www.energy.gov/energysaver/types-windows>
- [6] NFRC (National Fenestration Rating Council), «Window Performance Ratings», <https://www.nfrc.org>
- [7] Urban Front, «U-verdier og inngangsdøren din: En guide», *Urban Front*, 2025. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.urbanfront.com/blog/u-values-and-your-front-door/>

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:**Forbedring av termisk isolasjon**

- [8] King Locksmiths, «Best R-value and U-factor Comparison for Doors», *King Locksmiths Blog*, 2024. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.kingdoorandlock.com/r-value-vs-u-factor-door-insulation/>
- [9] A. Biro, «A Guide to Energy-Efficient Doors in 2025», *Green Building & Design (gb&d)*, 22. april 2025. [Online]. Tilgjengelig: <https://gbdmagazine.com/energy-efficient-doors/>
- [10] Camila Prieto, «Ventilated Facades for Energy-Efficient Building Rehabilitation», *ArchDaily*, juni 2023. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.archdaily.com>
- [11] A. Espinosa-Fernández et al., «Energy Efficiency of Ventilated Façades», *WIT Transactions on The Built Environment*, vol. 171, s. 41–52, 2017.
- [12] «Indira Paryavaran Bhawan», *Wikipedia*, april 2025. [Online]. Tilgjengelig: https://www.wikipedia.org/wiki/Indira_Paryavaran_Bhawan
- [13] «Double-skin facade», *Wikipedia*, 2023. [Online]. Tilgjengelig: https://www.wikipedia.org/wiki/Double-skin_facade
- [14] U.S. Department of Energy, «Cool Roofs», *Energy.gov*, 2021. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.energy.gov/energysaver/cool-roofs>
- [15] AIVC, «The Thermal Performance of Ventilated Roofs», *Air Infiltration and Ventilation Centre*, 2006. [Online]. Tilgjengelig: https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Inive/epic2006/Volume_1_Epic06/E06/040_Borg.pdf
- [16] M. Singh et al., «A comparative review of cool roof thermal performance», *Journal of Building Engineering*, vol. 43, 2021. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666123321000209>
- [17] U.S. Environmental Protection Agency, «Using Green Roofs to Reduce Heat Islands», *EPA*, 2022. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.epa.gov/heatislands/using-green-roofs-reduce-heat-islands>
- [18] A. Niachou, K. Papakonstantinou, M. Santamouris, A. Tsangrassoulis og G. Mihalakakou, «Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance», *Energy and Buildings*, vol. 33, nr. 7, s. 719–729, 2001. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00062-7)
- [19] Living Roofs, «Green Roofs and Energy Conservation», *LivingRoofs.org*, 2023. [Online]. Tilgjengelig: <https://livingroofs.org/energy-conservation/>
- [20] Urban Greening, «Benefits of Green Roofs», *Green Roofs for Healthy Cities*, 2023. [Online]. Tilgjengelig: <https://greenroofs.org/resources/benefits-of-green-roofs/>

Katalog over de beste alternativene for å forbedre bygningers energieffektivitet:**Forbedring av termisk isolasjon**

- [21] Europakommisjonen, «Energy performance of buildings», *Den europeiske union*, 2023. [Online]. Tilgjengelig: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings_en
- [22] Bauplan, «ETICS External Thermal Insulation Composite System», *Bauplan Technical Datasheets*, 2022. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.bauplan.com/products/facade/etics>
- [23] Knauf Insulation, «Ventilated Façade Systems», *Knauf Technical Guide*, 2023. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.knaufinsulation.com/en/products-solutions/facades>
- [24] Historic England, «Energy Efficiency and Historic Buildings: Internal Wall Insulation», 2016. [Online]. Tilgjengelig: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/eehb-internal-wall-insulation/>
- [25] Hydronic Shell, «Hvordan det fungerer – Hydronic Shell», *HydronicShell.com*, besøkt juni 2025. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.hydronicshell.com/>

6 - Leveranser

For å evaluere suksessen av applikasjonen, foreslår vi at det gjennomføres en spørreundersøkelse blant studentene.

7- Hva vi har lært

Hva er den termiske klimaskjermen til en bygning?

De fysiske egenskapene til en bygnings termiske skall.

Strategier for å optimalisere den termiske klimaskjermen til en bygning.

Komponenter i termisk kappe.

Typer av vinduer og dører med høy energieffektivitet.

Eksempler på svært energieffektive vinduer og dører.

Eksempler på svært energieffektive fasader og tak.

Tiltak for å forbedre isolasjonen av fasader og vegger i den termiske klimaskjermen.