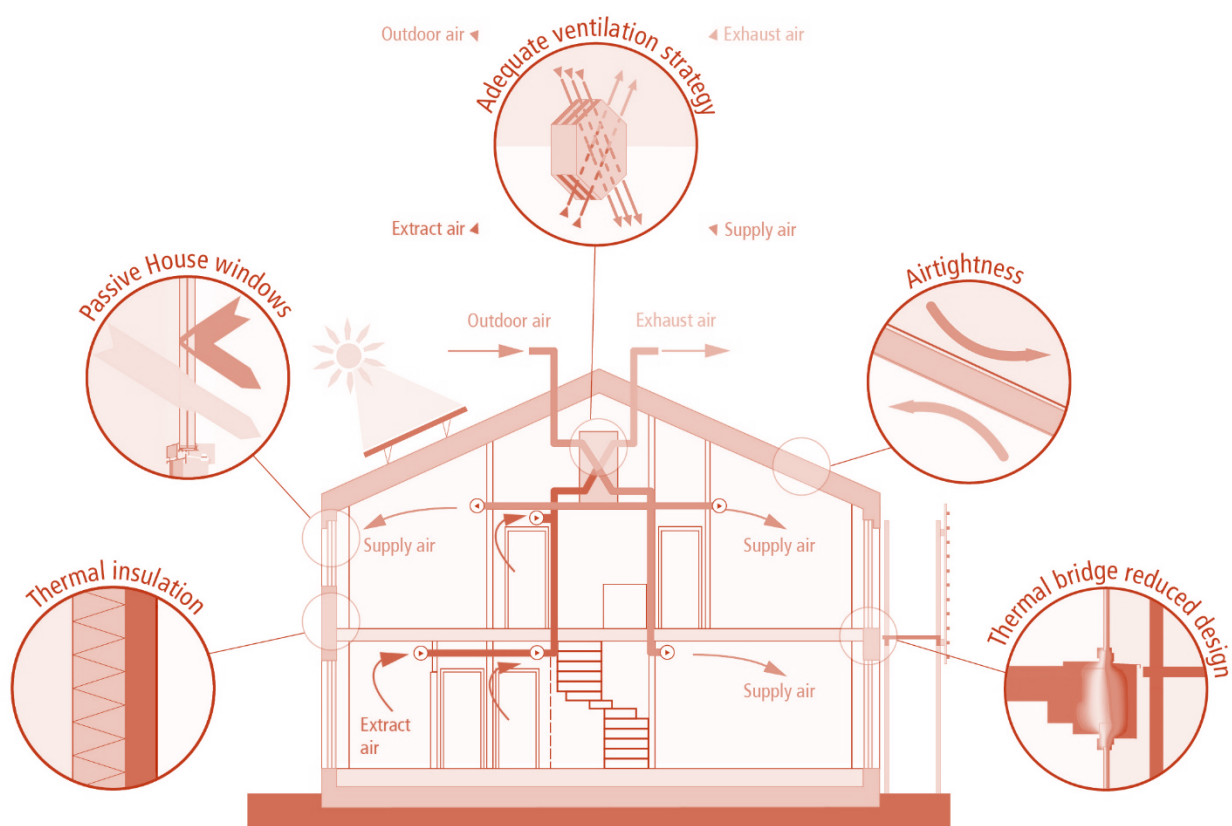


Erasmus+ prosjekt-ID: 2023-1-ES01-KA220-HED-000156652

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

Tittel: Passivhus



1 – Mål

Målene med denne veiledningen om passivhus er som følger:

1. Forstå passivhusprinsippene – få kunnskap om de grunnleggende prinsippene for passivhusdesign og -drift, deres innvirkning på energieffektivitet og komfort for beboerne.
2. Identifisere nøkkelkomponenter – lære å gjenkjenne og forstå de viktigste elementene i et passivhus, som varmeisolasjon, lufttetthet, ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning, utnyttelse av solenergi og forebygging av kuldebroer.
3. Gjenkjenne energisparemuligheter – analysere hvordan passivhus-teknologier bidrar til å redusere oppvarmings-, kjøle- og strømkostnader og vurdere de økonomiske fordelene.
4. Fremme bærekraftig bygging – introdusere miljøvennlige byggteknologier og løsninger for fornybar energi for å redusere bygningers klimapåvirkning.
5. Praktisk anvendelse – utvikle evnen til å vurdere bygningers energiprestasjon, velge passende materialer og teknologier og anvende passivhusprinsipper i reelle byggeprosjekter.

2 - Læringsmetodikk.

Læreren vil gi en forklaring om passivhus i omtrent 1 time.

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

- Introduksjon til passivhus
 - Konseptet passivhus
 - Historisk bakgrunn for passivhus
- Hvorfor bygge et passivhus?
 - Energibesparelser
 - Komfort
 - Langvarig bærekraft
 - Redusere påvirkningen av klimaendringer
- Passivhusprinsipper
 - Varmeisolasjon
 - Viktigheten av varmebevaring
 - Typer isolasjonsmaterialer
 - Betydningen av varmeoverføringskoeffisienten (U-verdi)
 - Lufttetthet
 - Lufttetthet i bygninger
 - Testing av lufttetthet
 - Praktiske tiltak for å sikre lufttetthet
 - Effektiv ventilasjon med varmegjenvinning
 - Betydningen av luftkvalitet for helse og komfort
 - Effektiv energigjenvinning

- Vinduer og dører
 - Trippelglass
 - Solenergi gjennom riktig orientering av bygningen
- Eliminering av kuldebroer
 - Varmekoblingers innvirkning på energitap
 - Konstruksjonsløsninger

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

3 - Varighet av veiledningen.

Denne veiledningen vil gjennomføres via BIM4ENERGY-prosjektets nettside www.bim4energy.eu gjennom selvstudium.

Veiledningen er strukturert slik at den kan gjennomføres over:

Total varighet: 3 timer.

4 – Nødvendige undervisningsressurser.

Datarom med PC-er med internettilgang.

Nødvendig programvare: Microsoft Office.

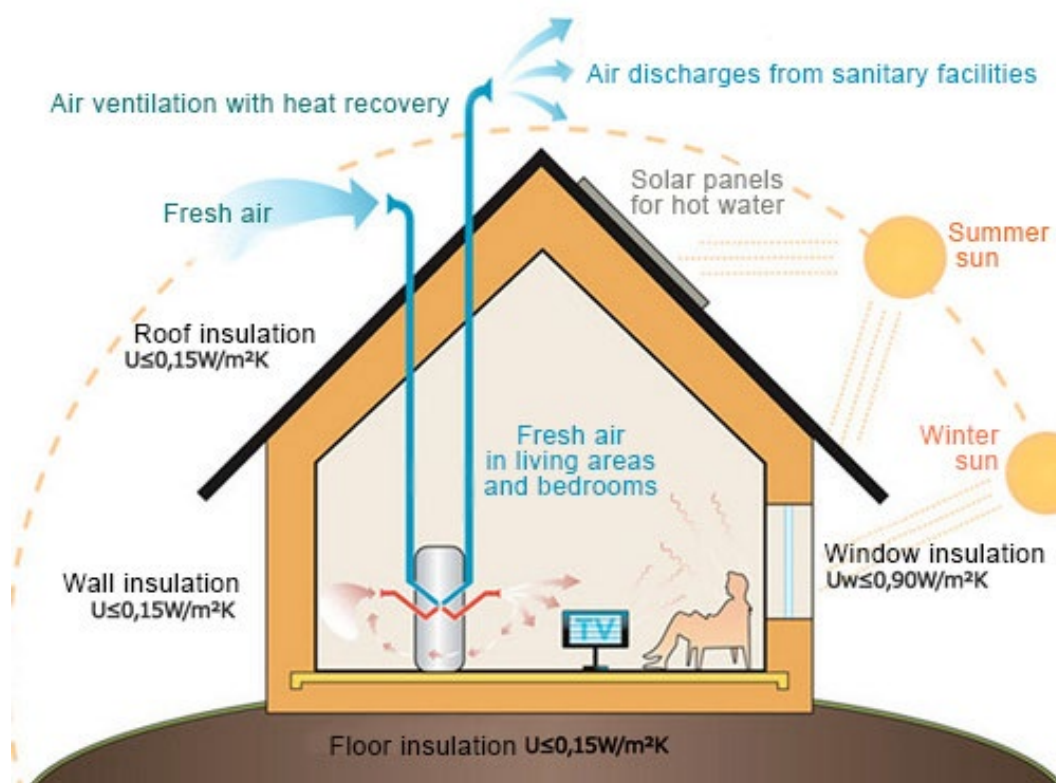
5 – Innhold og veiledning.

5.1 – Introduksjon til passivhus.

5.1.1. Passivhusbegrepet.

De siste tiårene har det vært mye snakk og diskusjon om å bevare naturen, og de siste årene har det blitt gjort mye for å redusere bruken av energiresurser, noe som har ført til økt popularitet for energieffektive boliger.

Et passivhus er et energieffektivt bygg som er designet for å gi høyest mulig komfort ved bruk av minimalt med energi til oppvarming og kjøling, og ved hjelp av effektiv isolasjon, lufttetthet og ventilasjonsteknologi. Et passivhus er basert på prinsippet om at det meste av energibehovet dekkes av passive kilder som solenergi og menneskelig varme, mens den resterende energien kommer fra fornybare kilder, noe som resulterer i ekstremt lave driftskostnader.



Figur 1. De fem grunnleggende prinsippene for passivhus.

5.1.2. Historisk bakgrunn for passivhus

Passivhus-konseptet ble utviklet i Tyskland i 1990 i samarbeid mellom professor Wolfgang Feist (grunnlegger av Passivhaus Institute) og den svenske forskeren Bo Adamson. Målet til disse to ekspertene var å utvikle en byggestandard som minimerer energiforbruket og samtidig sikrer maksimal komfort. Det første passivhuset ble bygget i Darmstadt, Tyskland, i 1990, med alle de grunnleggende prinsippene: effektiv varmeisolasjon, effektive vinduer, de fleste vendt mot sør, mekanisk ventilasjon med varmegjenvinning og lufttetthet. Bygningen fungerer fortsatt som et demonstrasjonsprosjekt og bevis på konseptet for et passivhus. 1996 – Wolfgang Feist grunnlegger Passivhaus Institut, som har som mål å standardisere og fremme passivhusprinsippet. Instituttet utviklet klare tekniske kriterier for passivhus og begynte å tilby opplæring for arkitekter, ingeniører og byggefagfolk. Siden 2000 har passivhuskonseptet spredd seg i Europa og senere over hele verden. Det er utviklet mange passivhusmodeller, blant annet skoler, kontorer og boligblokker. Passivhaus Institut har utviklet PHPP, en programvare for modellering og planlegging av energibehovet i passivhus. Passivhusstandarden har blitt en av verdens viktigste energieffektive byggemetoder. I mange land brukes den som grunnlag for utvikling av nasjonale energieffektivitetsstandarder. I dagens verden er Passivhus ikke bare en standard for boligbygg. Den brukes nå på mange forskjellige typer bygninger, blant annet skoler, kontorer og til og med industrianlegg. Passivhaus Institut fortsetter å forske på og utvikle nye teknologier som bidrar til enda større energieffektivitet og reduserer klimaendringene.

5.2. – Hvorfor bygge et passivhus?

5.2.1. Energibesparelser

Passivhus er designet for å bruke svært lite energi til oppvarming, kjøling og andre daglige behov. Her er de viktigste energibesparende fordelene:

- ✓ **Minimalt energiforbruk:** Et passivhus bruker opptil 90 % mindre energi til oppvarming og kjøling enn en konvensjonell bygning. Det gjennomsnittlige energiforbruket til oppvarming er bare 15 kWh/m² per år, noe som kan oppnås med bare en liten ekstra oppvarmings- eller kjølekilde.
- ✓ **Lavere vedlikeholdskostnader:** Redusert energibehov reduserer månedlige regninger for strøm, gass eller andre oppvarmingsbrensler. På lang sikt betaler et passivhus seg selv gjennom kostnadsbesparelser.
- ✓ **Bruk av fornybare energikilder:** Det er lettere å integrere fornybare energisystemer, som solcellepaneler eller geotermisk oppvarming, i passivhus fordi energibehovet er svært lavt.
- ✓ **Energieffektivitet:** Takket være effektiv isolasjon, lufttetthet og varmegjenvinningssystem holder Passive House en konstant innnetemperatur uten høye energikostnader, selv under ekstreme værforhold.
- ✓ **Energisikkerhet:** Lavt energibehov reduserer avhengigheten av eksterne energileverandører og svingninger i prisene på fossilt brensel.
- ✓ **Bærekraft:** energibesparelser bidrar til å redusere karbonutslipp og dempe effektene av klimaendringer. Det er det perfekte valget for deg som ønsker en grønnere livsstil.

Passivhus er ikke bare en løsning for å redusere kostnader, men også et skritt mot langsiktig energibærekraft og komfort.

5.2.2. Komfort

Passivhus gir eksepsjonell komfort ved å være designet for å opprettholde en konstant temperatur, utmerket luftkvalitet og maksimal følelse av velvære. De viktigste aspektene ved komfort er:

- ✓ **Jevn innnetemperatur:** Et passivhus holder samme temperatur i alle rom, uten store svingninger, uansett årstid. Takket være effektiv isolasjon, varmegjenvinning og lufttetthet holder innnetemperaturen seg over 21 grader Celsius selv i den kalde årstiden og forblir kjølig om sommeren uten å stige over 24 grader Celsius.
- ✓ **Utmerket luftkvalitet:** varmegjenvinningsventilasjonssystemet sikrer konstant tilførsel av frisk luft og fjerner overflødig CO₂ og fuktighet. Det er ingen trekk eller luftbevegelser i rommene som kan forårsake ubehag.
- ✓ **Lydisolering:** Et tykt isolasjonslag og vinduer av høy kvalitet gir utmerket beskyttelse mot støy utenfra og skaper en fredelig atmosfære.

- ✓ **Naturlig lys:** Vinduene vender i stor grad mot sør for å utnytte sollyset maksimalt, noe som gjør oppholdsrommene i et passivhus lyse og koselige.
- ✓ **Behagelig fuktighetsbalanse:** Tetting og ventilasjon bidrar til å opprettholde en optimal fuktighet (40–60 %) som er sunt for huden, luftveiene og helsen generelt.
- ✓ **Komfortable veggflater:** godt isolerte bygningskomponenter sørger for at vegger, gulv og tak er like varme som luften, slik at det ikke er «kalde flekker» eller ubehag.
- ✓ **Ingen støyende varme- eller kjølesystemer:** På grunn av minimalt mekanisk utstyr har passivhus ingen støyende varmekjeler eller klimaanlegg, noe som bidrar ytterligere til komforten.

Passivhus sparer ikke bare energi, men gir også høyeste komfort, slik at du kan bo i et sunnere, roligere og triveligere miljø. Det er en investering ikke bare i energieffektivitet, men også i livskvalitet i hverdagen.

5.2.3. Langsiktig bærekraft

Passivhus er designet for å være ikke bare energieffektive, men også langvarige, bærekraftige og miljøvennlige. Denne standarden sikrer at boliger bidrar til miljøet og forblir økonomisk levedyktige i mange år.

Reduced environmental impact

- Reduced CO₂ emissions: a Passive House consumes up to 90% less energy than a conventional building, thus contributing less to climate change.
- Reduced need for fossil fuels: the low energy demand makes it easier for a Passive house to switch to renewable energy sources such as solar panels or geothermal heating.

Longevity

- Quality materials: Passive houses use high-quality insulation materials, windows, doors and efficient building solutions that last for decades.
- Durable design: structures without thermal bridges ensure that the building remains resistant to moisture, mould and temperature fluctuations and therefore requires less maintenance.

Economic sustainability

- Lower running costs: low energy consumption for heating, cooling and other uses means lower costs in the long run.
- Long-term value: Passive houses retain a higher real estate value because they are attractive for their energy efficiency and comfort.

Adapting to meet future requirements

- Resilience to energy price fluctuations: the very low energy demand makes Passive house owners less vulnerable to rising energy prices.
- Climate resilience: Passive houses are designed to maintain comfort in extreme weather conditions, from cold winters to hot summers.

Promoting sustainable solutions

- Passive House is an example of a long-term sustainable living philosophy that ensures lower environmental impact, greater sustainability and financial stability. It is an investment not only in the present but also in the future of our planet.

5.2.4. Redusere virkningen av klimaendringer

Passivhus bidrar i betydelig grad til å redusere klimaendringene fordi de er designet for å minimere energiforbruket og tilhørende CO₂-utslipp.

Viktige aspekter ved hvordan et passivhus bidrar til å bekjempe klimaendringer

Reduced energy demand

- Up to 90% lower energy consumption: a Passive House consumes very little energy for heating and cooling (just 15 kWh/m² per year), reducing the need to use fossil fuels, which are a major source of greenhouse gases (GHG).
- Energy efficiency in all areas: modern technologies such as heat recovery are used to help retain heat and cool while reducing heat loss.
- Use of renewable energy: In passive houses, the energy demand is so low that it can be fully covered by renewable sources such as solar panels, geothermal heating or wind power. Renewable energy not only reduces GHG emissions but also ensures energy self-sufficiency.

Reducing CO₂ emissions

- Minimal CO₂ emissions: low energy demand and resilience to energy loss mean that a passive house has significantly lower carbon emissions than conventional buildings.
- Long-term impact: Over its lifetime, a passive house significantly reduces overall emissions, contributing to climate change mitigation.

Use of sustainable materials

- Environmentally friendly and recyclable materials: passive houses are often built with materials whose production process emits less CO₂.
- Durability: Passive house structures are resilient and long-lasting, requiring less maintenance and renovation, which reduces the need for additional resources.

A role model for others

- Promoting climate awareness: passive houses become a model for living responsibly, using natural resources sustainably and reducing the impact of climate change.
- Raising standards: Passive House serves as a benchmark for other building standards, promoting the integration of energy-efficient technologies and sustainable solutions.

Passivhus er et ansvarlig valg som reduserer miljøpåvirkningen fra menneskelig aktivitet. Det bidrar til å dempe effektene av klimaendringer ved å redusere energibehovet, klimagassutslippene og fremme bruk av bærekraftige løsninger. Det er et viktig skritt mot å dempe klimaendringene og sikre en renere fremtid.

5.3 – Passivhusprinsipper

5.3.1. Varmeisolasjon

5.3.1.1. Betydningen av varmebevaring

Varmebevaring er et sentralt prinsipp i passivhusdesign, som sikrer lavt energiforbruk, komfort og bærekraft. Dette oppnås ved å minimere varmetap gjennom bygningskonstruksjonen og utnytte naturlige varmekilder effektivt.

Varmebevaring i et passivhus er nøkkelen til energieffektivitet, komfort og bærekraft. Det sikrer at varmeenergien utnyttes maksimalt og varmetapet holdes på et minimum, noe som gir langsiktige fordeler for både beboere og miljøet.

5.3.1.2. Typer isolasjonsmaterialer

Isolasjonsmaterialer er en viktig del av byggingen av et passivhus, da de bidrar til å redusere varmetap og opprettholde en konstant innnetemperatur. Materialene som velges må være svært effektive og oppfylle kravene til varmeoverføring (U-verdi) for passivhus.

Mineralisasjonsmaterialer

Mineralull (fig. 2)

Laget av stein eller glassfiber.

Fordeler: god varme- og lydisolasjon, brannsikker, miljøvennlig.

Bruk: Til isolering av vegger, tak og gulv.

Glassull

Lett og elastisk, egnet for komplekse konstruksjoner. Fuktbestandig, men krever et egnet dampsperrsystem.



Figur 2 Isolasjon med mineralullisolasjonsmaterialer.

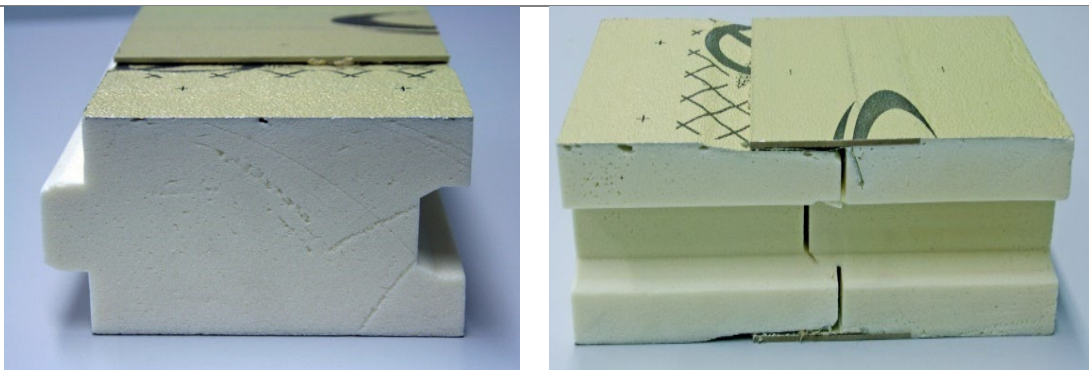
Polymerisasjonsmaterialer

Polyuretanskum (PUR) (fig. 3)

Brukes som spray eller i panelform.

Fordeler: høy lydisolasjon, ekstremt lav varmeledningsevne. Danner et tett lag uten kuldebroer.

Bruk: til isolering av gulv, tak og komplekse konstruksjoner.



Figur 3 Polyuretanskum (PUR) paneler.

Polystyrenskum (EPS og XPS) (fig. 4)

EPS (ekspandert polystyren)

Svært lett, brukes til isolering av vegger og tak.

Fordeler: lett, kostnadseffektivt, god varmeisolasjon.

XPS (ekstrudert polystyren)

Sterkere, fuktbestandig, egnet for fundamenter og gulv.

Fordeler: motstandsdyktig mot fuktighet og mekanisk belastning, forbedret holdbarhet, egnet for ulike bruksområder. Effektiv varmeisolator.



Figur 4 Isolasjon av vegger i en bygning med polystyrenplater (Neopor).

Naturlige isolasjonsmaterialer

Fiberplate (fig. 5)

Fordeler: miljøvennlig, lett å resirkulere. God lydisolasjon.

Bruksområder: isolering av tak, vegger, gulv.

Halm

Brukes i miljøvennlig bygging som veggisolasjonsmateriale.

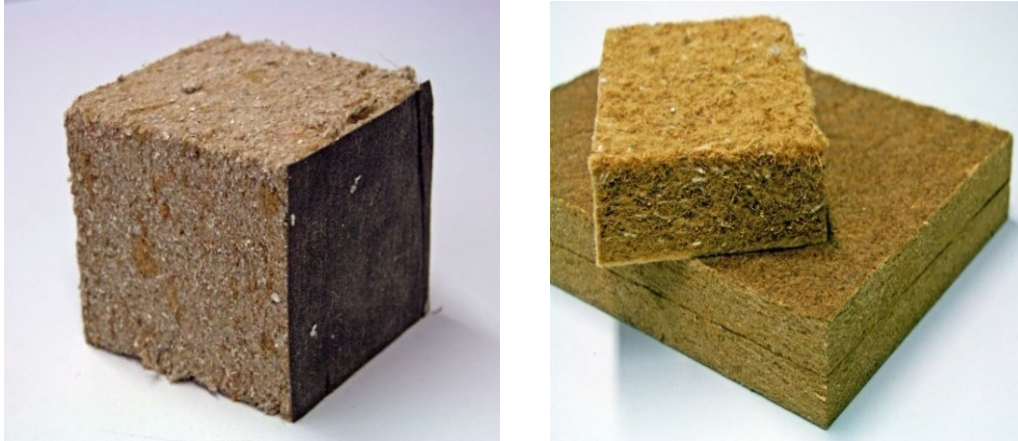
Fordel: lav pris og gjenvinnbar.

Filt og sauull

Brukes til innvendig isolasjon, god fuktighetsregulering.

Kork (korkmateriale)

Fordeler: Naturlig materiale, utmerket isolasjon. Motstandsdyktig mot fukt og mugg.
Bruk: Til gulv- og veggisolasjon.



Figur 5 Fiberplate.

Innovative isolasjonsmaterialer

Aerogel

Svært effektivt, lett og tynt materiale.

Fordeler: Lav varmeledningsevne selv i tynne lag.

Lav varmeisolasjon med lav varmeisolasjon.

Vakuumisolasjonspaneler (VIP) (fig. 6)

Fordeler: Ekstremt tynn, men svært effektiv.

Bruk: til spesielle prosjekter hvor plassbesparelse er viktig.



Figur 6 Isolasjon av gulv med vakuumisolasjonspaneler.

Bulk- og sprøytbare materialer

Ekowool

Laget av resirkulert papir.

Fordeler: miljøvennlig, lett å fylle hulrom.

Bruk: til å fylle hulrom i vegger og tak.

Sprøyteisolerings (polyuretan)

Sikrer lufttetthet og eliminerer kuldebroer.

Kriterier for valg av isolasjon

THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENT

- The lower the value, the better the material insulates.

MOISTURE RESISTANCE

- Important for floor and foundation insulation.

FIRE RESISTANCE

- Particularly relevant for the insulation of residential buildings

ECO-FRIENDLY

- Whether the material is environmentally friendly and recyclable

EASE OF INSTALLATION

- Is the material easy to install.

Den riktige kombinasjonen av isolasjonsmaterialer sikrer energieffektivitet, komfort og holdbarhet i et passivhus.

5.3.1.4. Betydningen av varmeoverføringskoeffisienten (U-verdi)

Varmeoverføringskoeffisienten (U-verdi) er en egenskap ved en bygningskonstruksjon som beskriver hvor mye varme som går tapt per kvadratmeter overflate per tidsenhet når temperaturforskjellen mellom innsiden og utsiden av bygningen er 1 Kelvin ($\text{W/m}^2\text{K}$). Denne verdien er svært viktig i passivhus, da den direkte bestemmer energiforbruk, komfort og bærekraft.

U-verdi i passivhus

Effective thermal insulation indicator

A low U-value means that the building's structure (walls, roof, floors, windows) effectively traps heat and reduces heat loss.

Reducing energy costs

Low U-value designs allow passive houses to maintain a minimum heating demand of only 15 kWh/m² per year.

U-verdi-krav i et passivhus

Et passivhus må oppfylle strenge U-verdi-standarder for å sikre energieffektivitet:

Konstruksjon	Krav til U-verdi (W/m ² K)
Yttervegger	≤ 0,15
Tak	≤ 0,15
Gulv (kontakt med bakken)	≤ 0,15

Advantages of low U-value

- Reducing heat loss: less heat transfer means that more heat is retained inside the building during winter.
- Comfort: surfaces such as walls, floors and windows remain warm and pleasant to the touch, while indoor temperatures are uniform.
- Lower running costs: better thermal insulation saves energy for heating and cooling.

Effect of U-value on structures

- External walls: a lot of heat is lost through the walls, so special attention needs to be paid to their insulation.
- Windows: windows are one of the weakest points in terms of heat loss, so triple glazing with efficient thermal insulation is used in passive houses.
- Floors and foundations: heat can be lost through floors if there is no proper insulation. Insulation materials must ensure that heat is retained inside the building.

Sustainability aspect

- Reduced energy consumption: low U-value designs reduce fossil fuel use and CO₂ emissions.
- Longevity: properly insulated buildings last longer and require less maintenance.

Eksempel på beregning av U-verdi

Hvis konstruksjonen består av flere lag (f.eks. isolasjon, murstein, puss), beregnes U-verdien som summen av lagene termiske motstand:

$$U = \frac{1}{R_{\text{insolation}} + R_{\text{structure}} + R_{\text{other}}}$$

Jo høyere termisk motstand (R), desto lavere U-verdi.

Varmeoverføringskoeffisienten (U-verdi) er en viktig indikator for å vurdere energieffektiviteten til en bygning. En lav U-verdi sikrer redusert varmetap, komfort og lavere oppvarmings- og kjøleutgifter, og er derfor et av hovedkravene i passivhusstandardene.

5.3.2. Lufttetthet

Lufttettheten til en bygning er evnen til å forhindre ukontrollert luftbevegelse gjennom bygningens konstruksjoner, skjøter og sammenføyninger. Det er et av de viktigste prinsippene i Passivhus, da det har direkte innvirkning på energibesparelser, komfort og bygningens levetid.

5.3.2.1 Bygningslufttetthet

Lufttetthet sikrer at luft ikke kommer inn eller ut gjennom lekkasjer (f.eks. sprekker, utette skjøter, dører eller vinduer). Målet er å redusere luftlekkasje, som kan føre til varmetap og økt energibehov.

Hvorfor er lufttetthet i bygninger viktig?

Energy efficiency

- Uncontrolled air leakage leads to heat loss in winter and heat penetration in summer. Airtightness reduces the need for heating and cooling.

Comfort

- Prevents draughts, so the internal temperature remains uniform and pleasant.

Air quality

- The airtight building, combined with an efficient ventilation system, ensures that the air is clean and properly humidified.

Durability

- Airtightness protects structures from moisture and mould, which can be caused by air movement and condensation.

Hvordan måles lufttetthet?

Blower Door
Test

This is a standard method used to assess the airtightness of a building. The test uses a special fan to create a pressure differential (50 Pa) inside the building and measures how much air enters or leaves through leaking areas.

The requirement for a passive house is an air leakage rate (n_{50}) ≤ 0.6 air changes per hour.

Hvordan sikre lufttettheten i en bygning?

Structural solutions

- proper sealing of wall, ceiling and floor joints. Sealed doors and windows with high quality gaskets.

Use of materials

- vapour barrier films, sealing tapes, polyurethane foams.

Installation quality

- ensuring that materials are properly installed and that all connections are tight.

Lufttetthet og ventilasjonsbalanse

Efficient ventilation

- sealed buildings use a mechanical ventilation system with heat recovery to provide fresh air without heat loss.

Controlled air exchange

- airtightness allows you to control how much air enters the building and how it enters, unlike uncontrolled air leakage.

Problemer når en bygning ikke er lufttett nok

- Økt varmetap som fører til høyere energikostnader.
- Trekk som reduserer komforten.
- Fukt, mugg og kondens som kan skade konstruksjoner.
- Støytransmisjon, da lekkasjer kan føre til at eksterne lyder trenger inn.

Lufttetthet i bygninger er en viktig egenskap ved passivhus, som sikrer redusert varmetap, innendørs komfort og strukturell holdbarhet. En riktig implementert lufttetthetsløsning kombinert med et ventilasjonssystem gjør passivhus til et forbilde for energieffektivitet og komfort.

5.3.2.2. Tetthetstesting

En lufttetthetstest er en standardisert metode som brukes til å vurdere lufttettheten i en bygning ved å bestemme hvor mye luft som kommer inn eller ut ukontrollert gjennom utette områder. Det er et viktig trinn i sertifiseringen av et passivhus for å sikre at bygningen oppfyller kravene til energieffektivitet og komfort.



Figur 7 Typer av utstyr for blåsetest i henhold til nødvendig effekt.

Formål: å kontrollere at bygningskonstruksjonen (vegger, vinduer, dører, skjøter) er lufttett.

Lufttetthetstesten utføres ved hjelp av et spesielt apparat – Blower Door-systemet. Det skapes en trykkforskjell (50 Pa) mellom innsiden og utsiden av bygningen, og man måler hvor raskt luft kommer inn eller ut av bygningen.

- ✓ Installasjon av viften: En vifte med en justerbar lufttett ramme installeres i døren eller vinduet.
- ✓ Trykkgenerering: Viften reduserer eller øker trykket på bygningens indre luft for å skape en trykkforskjell på 50 Pa.
- ✓ Måling av luftlekkasje: måleutstyr registrerer hvor mye luft som passerer gjennom utette områder.
- ✓ Lekkasje-deteksjon: tilleggsverktøy som termisk avbildning, røykgeneratorer eller ultralyddetektorer brukes til å finne lekkasjer.

Krav til lufttetthet for passivhus

Indikator n50 (antall luftskift) viser antall ganger i timen det totale luftvolumet i bygningen skiftes ut på grunn av lekkasjer.

Passivhusstandard: $n50 \leq 0,6$ luftutskiftninger per time (50 Pa trykkforskjell). **Kravverdi:** en lavere verdi betyr bedre lufttetthet, lavere varmetap og høyere energieffektivitet.

Fordeler med lufttetthetstester

Saving energy

- Leaks are identified and the heat loss is reduced.

Comfort

- It ensures even temperature distribution and eliminates draughts.

Protection of structures

- A sealed building protects structures from moisture, mould and condensation.

Certification

- The airtightness test is a necessary step in the certification process for Passive houses.

Ytterligere testmetoder

Smoke test

- Smoke is used to visually identify leak locations.

Thermal imaging

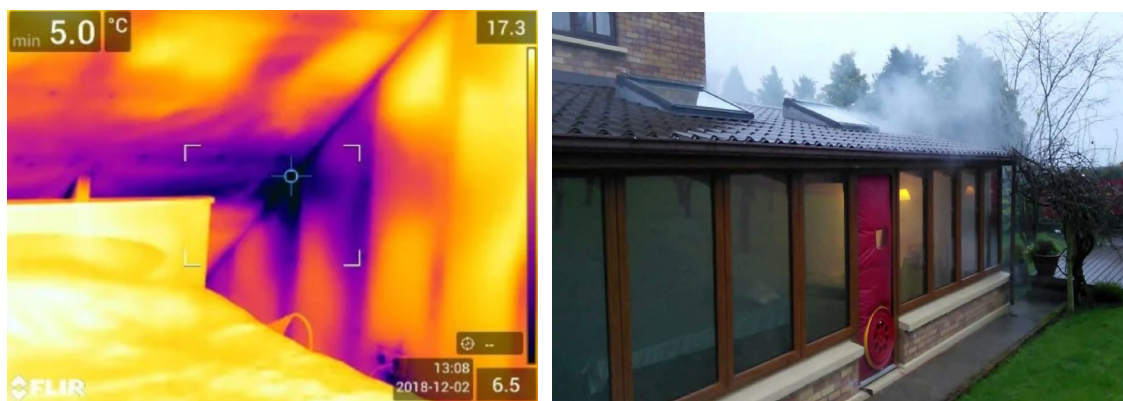
- Thermal imaging cameras are used to see areas of heat loss.

Ultrasonic test

- Ultrasonic detectors identify air movement in leaking areas.

Når utføres lufttetthetstesten?

- **Under bygging:** Testen utføres før konstruksjonene dekkes til, slik at lekkasjer kan repareres.
- **Etter bygging:** den endelige testen sikrer at bygningen oppfyller passivhusstandardene.



Figur 8 Termisk avbildning under en lekkasjetest og et bilde tatt med røykgenerator for å lokalisere lekkasjer.

Lufttetthetstesting er en nødvendig prosess for å sikre at en bygning oppfyller kravene til energieffektivitet, komfort og holdbarhet. Testingen gjør det mulig å identifisere og eliminere svake punkter i konstruksjonen som kan føre til varmetap eller andre mangler.

5.3.2.3. Praktiske tiltak for å sikre lufttetthet.

Bruk av riktige materialer, løsninger og nøye installasjon er avgjørende for å sikre at bygningen er lufttett og for å minimere luftlekkasje. Dette er spesielt viktig i et passivhus, da lufttetthet direkte bestemmer bygningens energieffektivitet, komfort og levetid.

Materials to ensure airtightness

- sealing tapes resistant to temperature fluctuations and humidity, vapour barrier films needed to prevent uncontrolled air movement, polyurethane foams, sealants and mastics, special installation foams.

Sealed connections

- Ensure that all joints in walls, floors and ceilings are tight.
- Joint sealing systems shall be used to eliminate cracks and thermal bridging.

Installation of windows and doors

- Special sealing tapes and properly adapted installation foams are used.
- The frames shall be mounted in such a way as to avoid thermal bridging.

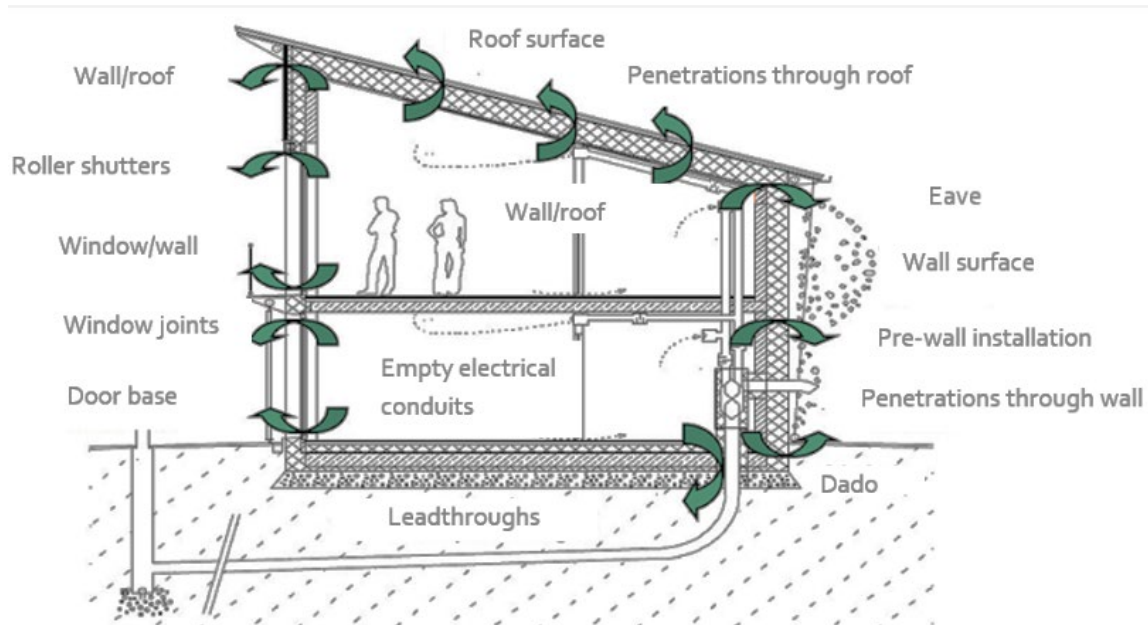
Sealing of engineering networks

- The passageways for pipes, wires and ventilation ducts through walls or roofs must be thoroughly sealed.

Installation quality

- Careful work: ensuring airtightness depends not only on the materials, but also on the precision of the work. Even the smallest leaks can lead to significant heat loss.
- The right combination of materials: vapour barriers, films, foams and tapes need to be matched to avoid condensation or other problems.
- Control during construction: leakage tests can be carried out between construction phases to correct deficiencies in time.

De vanligste luftlekkasjepunktene og løsningene på disse



Figur 9 De vanligste luftlekkasjepunktene som ble funnet under lekkasjetesten.

Valg av riktige materialer, kvalitetsløsninger og grundig utførelse sikrer god tetthet. En tett bygning reduserer ikke bare energitapet, men forbedrer også komforten og holdbarheten.

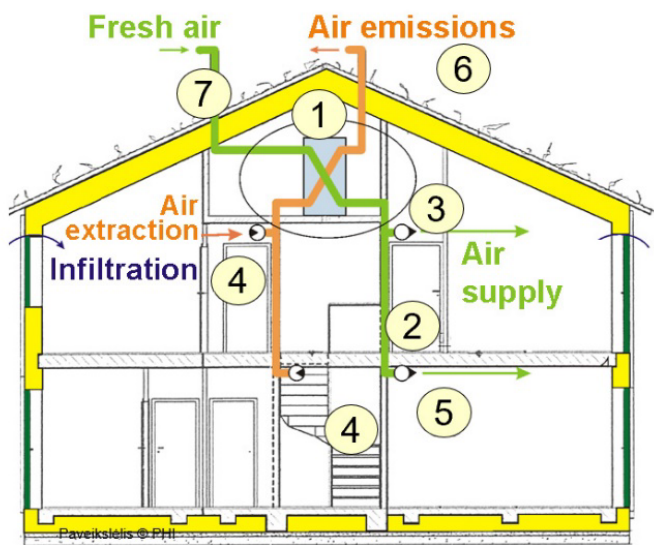
5.3.2.4. Effektiv ventilasjon med varmegjenvinning

Operating principle of the recuperator

- A heat recovery ventilator is a mechanical ventilation system designed to provide fresh air to a building while retaining most of the heat in the exhaust air. This process reduces heating and cooling costs and ensures a healthy indoor microclimate.

How a recuperator works:

- Heat recovery: heat is transferred from the building's exhaust air to the fresh air supply.
- Efficient ventilation: a constant supply of fresh air is provided, preventing the build-up of carbon dioxide, moisture or other harmful substances.



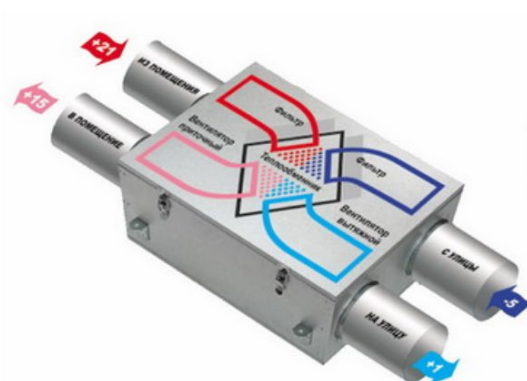
Characteristics

Centrally installed ventilation unit with fan and heat recovery.

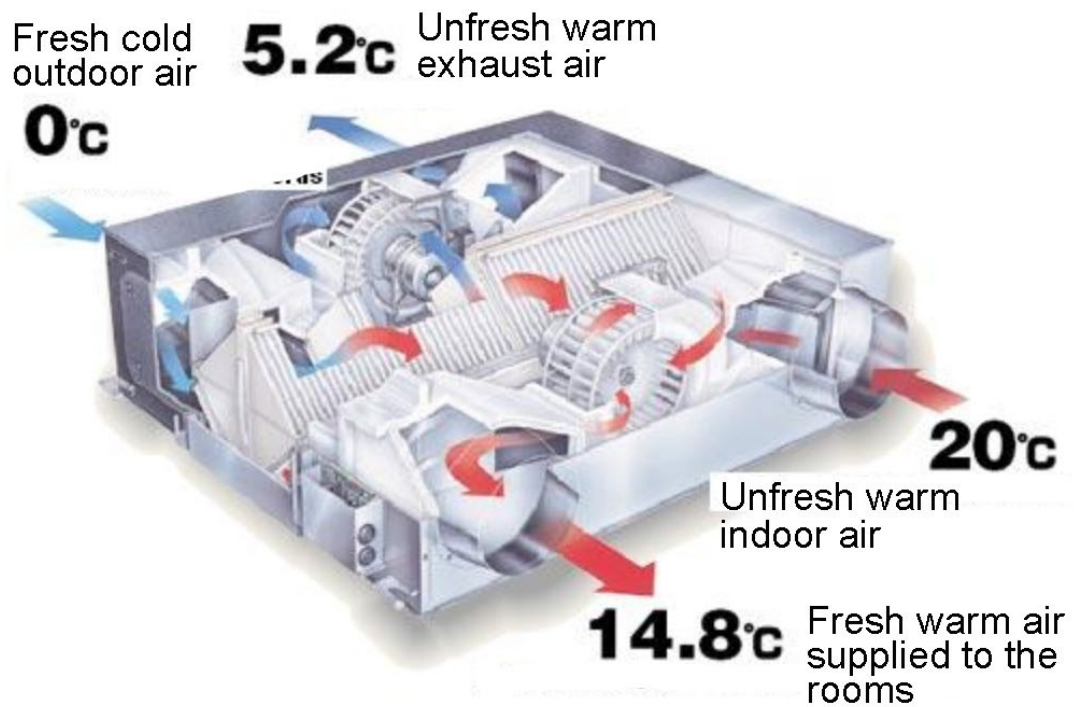
Air supply and extract through separate ducts.

Main components

1. Ventilation unit with fan, control, heat recovery, filter.
2. Ductwork with sound attenuator.
3. Air supply valve
4. Air extraction valve
5. Air transfer
6. Air exhaust device.
7. Air intake device.



Figur 10 Prinsippskisse og 3D-visualisering av varmegjenvinningssystemet.



Figur 11 Prinsipp for hvordan rekuperatoren fungerer.

Exhaust air collection

- Warm and humid air is extracted from rooms (e.g. bathrooms, kitchens, living rooms).

Heat exchange

- The exhaust air passes through a heat exchanger where its heat is transferred to the cold outside air, preventing direct mixing of these air streams.

Fresh air supply

- Outdoor air that has gained heat from the exhaust air is supplied to the building's living spaces (e.g. bedrooms, living room).

Air flow management

- The recuperator ensures that exhaust and supply air move separately, thus avoiding the transfer of pollutants or odours.

Hoveddelene av rekuperatoren

Heat exchanger

- The main component where heat is exchanged. May be plate, rotary or counterflow.

Fans

- One fan draws in exhaust air and the other supplies fresh air.

Filters

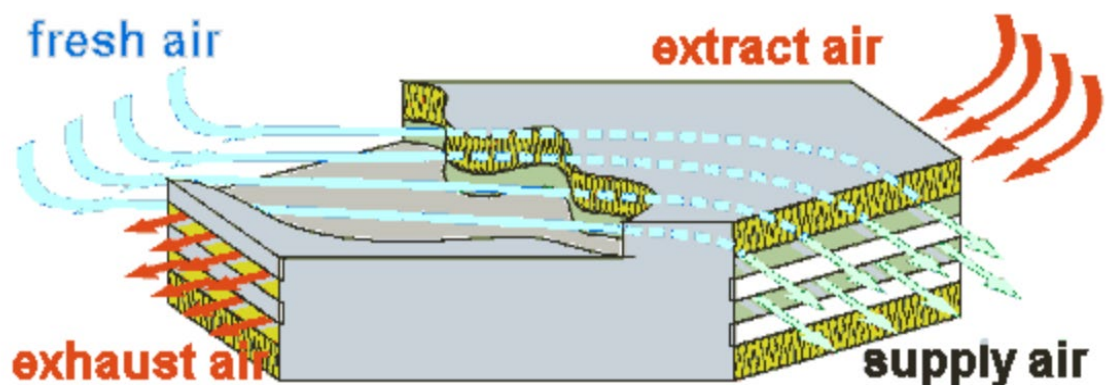
- Clean both the supply and exhaust air to ensure a healthy indoor climate.

Control system

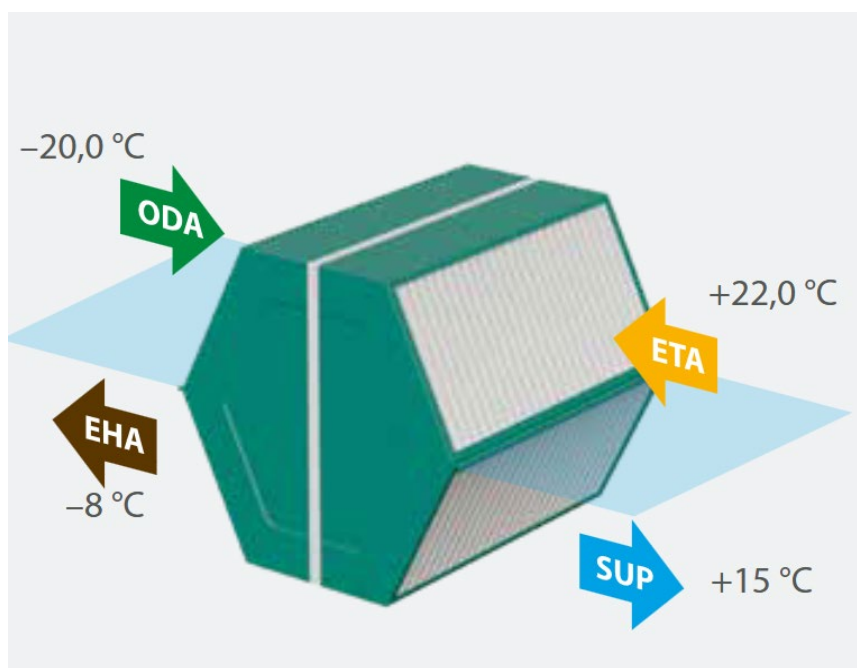
- Allows you to control airflow, temperature and humidity.

Typer rekuperatorer

Platevarmeveksler: avtrekks- og tilluft passerer gjennom plater hvor varme utveksles.
Fordeler: Enkel, effektiv, ingen bevegelige deler.



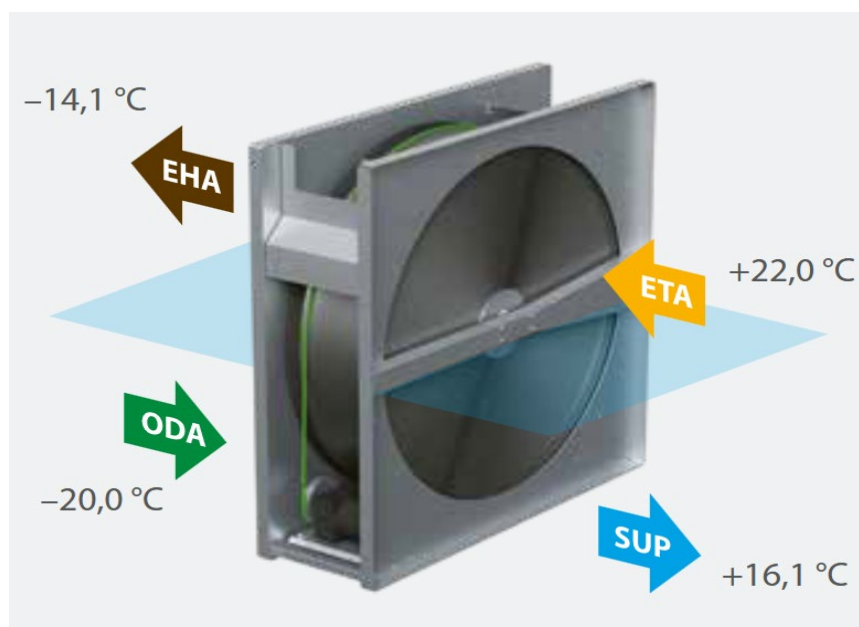
Figur 12 Prinsippskisse av en platevarmeveksler.



Figur 13 Prinsippskisse av en tværstrømsvarmeveksler.

Roterende varmeveksler: en roterende skive samler opp varme fra avtrekksluften og overfører den til tilluften.

Fordeler: mer effektiv fuktighetsretensjon.



Figur 14 Prinsippskisse av en roterende varmeveksler.

Motstrømsvarmeveksler: luftstrømmene beveger seg i motsatte retninger for maksimal varmeoverføringseffektivitet.

Fordeler: høy varmeutvinningsgrad.

Rekuperatoren kan gjenvinne opptil 90 % av varmen fra avtrekksluften. Dette reduserer oppvarmingskostnadene og energibehovet. Noen varmegjenvinningsventilatorer kan også overføre noe av fuktigheten, noe som gir et behagelig inneklima. Om sommeren kan rekuperatoren bruke kjøligheten i avtrekksluften til å senke tilluftstemperaturen.

Prinsippet for en varmegjenvinningsventilator er basert på effektiv varmeveksling, som reduserer energiforbruket og samtidig sikrer et sunt og behagelig inneklima. Det er en viktig del av et passivhus, og bidrar til å oppnå høy energieffektivitet og komfort.

5.3.2.5. Betydningen av luftkvalitet for helse og komfort

God luftkvalitet innendørs er avgjørende for både fysisk og psykisk helse, da luften vi puster inn innendørs har direkte innvirkning på luftveiene, energinivået og den generelle komforten. I et passivhus legges det særlig vekt på å sikre luftkvaliteten gjennom effektive ventilasjonssystemer som varmegjenvinningsventilatorer.

The main determinants of air quality

- Level of oxygen
Oxygen is essential for a healthy respiratory system and energy production. Inadequately ventilated rooms can have reduced oxygen concentrations.
- Carbon dioxide (CO₂)
Excess CO₂ causes drowsiness, headaches and reduced work capacity.
- Pollutants
Dust particles, mould, bacteria and other air pollutants can cause respiratory diseases, allergies and other health problems.
- Moisture levels
Too high humidity encourages the growth of mould and dust mites, while too low humidity dries out the skin and respiratory tract and causes discomfort.

The importance of air quality for health

- Prevention of respiratory diseases
Clean air reduces the risk of infectious diseases such as colds and flu by removing harmful particles and germs.
- Allergy and asthma control
Clean and properly filtered air reduces exposure to allergens (e.g. dust, pollen), which is important for allergy sufferers or asthma sufferers.
- Sense of well-being
Adequate air quality improves sleep, energy levels and concentration.
- Cardiovascular health
Well-ventilated rooms reduce harmful air pollutants that can have a negative impact on blood pressure and overall heart health. Adequate air quality improves sleep, energy levels and concentration.

The importance of air quality for comfort

- **Temperature balance**
Efficient ventilation ensures that the air is at the right temperature without the discomfort of heat or cold.
- **Moisture balance**
An optimum humidity of 40-60% is maintained to ensure comfort and health.
- **Freshness**
Fresh air supply eliminates stagnant air odours and provides a pleasant living environment.
- **Noise reduction.**
Heat recovery systems allow rooms to be ventilated without opening windows, which reduces exposure to external noise.

Ensuring good air quality in a passive house

- **Heat recovery ventilation systems**
A constant supply of fresh air and the removal of polluted air ensure high air quality.
- **Air filtration**
High-quality filters (e.g. HEPA) are used to remove dust, allergens and other pollutants.
- **Airtightness**
Passive houses are airtight, so air quality can be fully controlled by ventilation systems.
- **Humidity control**
Recuperators maintain optimum humidity, preventing excessive dryness or mould growth.

God luftkvalitet er en integrert del av et sunt og komfortabelt liv. I passivhus sikrer tilførsel av frisk luft og riktig filtrering at beboerne puster ren, sunn luft og opprettholder et behagelig inneklima. Dette bidrar ikke bare til helse, men også til bedre livskvalitet.

5.3.2.6. Energigjenvinningsgrad

Energigjenvinningsgrad (eller varmegjenvinningsgrad) er en indikator på hvor mye varme fra avtrekksluften som gjenvinnes av varmegjenvinningsanlegget og overføres til den tilførte friske luften. Dette prinsippet er en viktig del av det mekaniske ventilasjonssystemet i passivhus, og gjør det mulig å redusere energiforbruket og sikre komfort.

Hva er energigjenvinningsgrad?

Definisjon

Energigjenvinningsgrad refererer til prosentandelen av varmen fra avtrekksluften som gjenvinnes av rekuperatoren og overføres til tilluften.

Betydning

Effektiviteten avgjør direkte hvor mye ekstra varme- eller kjøleenergi som er nødvendig for å holde rommet på ønsket temperatur.

Energy recovery efficiency of the recuperator

- Efficiency range: modern heat recovery units achieve 75-95% heat recovery efficiency. This means that only 5-25% of the heat is lost in the exhaust air.
- Example: if the room temperature is 22 °C and the outside air temperature is 0 °C, a recuperator with an efficiency of 90% will heat the supply air to about 20 °C using only the exhaust air heat.

Factors determining efficiency

- Plate: Efficiency about 75-85%. Air flows are not mixed, heat is transferred through the plates.
- Rotary: Efficiency about 80-90 %. Some moisture can also be transferred.
- Counter-flow: Efficiency up to 95%. The air streams move in opposite directions, maximising heat transfer.
- Insulation: well-insulated ducts and unit reduce heat loss.
- Air filtration: proper filters not only clean the air but also reduce energy losses due to airflow resistance.
- Proper maintenance: regular filter changes and cleaning of the ventilation system ensure optimum performance.

Benefits of energy recovery efficiency

- Energy savings: most of the heat is returned to the building, reducing heating and cooling energy demand.
- Comfort: the supply air is already at a near-adequate temperature, so rooms do not freeze and there are no sudden temperature fluctuations.
- Environmental protection: efficient use of energy reduces CO₂ emissions, contributing to reducing the effects of climate change.
- Lower running costs: less energy is used for heating and cooling, which reduces electricity or heating fuel bills.

Beregning av energigjenvinningsgrad

Effektiviteten uttrykkes i prosent og beregnes etter formelen:

$$\eta = \frac{T_{\text{supplied air}} - T_{\text{outdoor air}}}{T_{\text{air emissions}} - T_{\text{outdoor air}}} \times 100$$

η – energy recovery efficiency

$T_{\text{supplied air}}$ – temperature of the preheated fresh air

$T_{\text{outdoor air}}$ – temperature of outdoor air entering the recuperator

$T_{\text{air emissions}}$ – temperature of the exhaust air from the room

Betydningen av energigjenvinningsgrad i passivhus

En høyeffektiv varmegjenvinningsventilator er en viktig komponent i et passivhus, som sikrer minimalt varmetap og energibehov.

Den gjør at passivhus kan oppfylle kravet til oppvarmingsenergi på 15 kWh/m² per år.

Energigjenvinningsgrad er en viktig ytelsesindikator for å oppnå energieffektivitets-, komfort- og bærekraftsmålene til et passivhus. Høy energigjenvinningsgrad gir lavere energiforbruk, bedre mikroklima og lavere miljøpåvirkning.

5.3.3. Vinduer og dører

5.3.3.1. Tredoble vinduer

Trippelglass er en viktig komponent i et passivhus, da det gir høy varmeisolasjon, energibesparelser og komfort. Slike vinduer og dører oppfyller de strenge passivhusstandardene og bidrar til å redusere varmetap gjennom åpninger i bygningen.

Hva er trippelglass?

Konstruksjon: En trippelglass består av tre lag glass med to lag luft eller en inert gass (f.eks. argon, krypton) mellom seg. Mellomrommene er fylt med denne gassen for å øke varmeisolasjonen.

Belegg: glassflatene er belagt med et lavemisjonsbelegg (Low-E), som reflekterer varmen tilbake inn i rommet og reduserer varmetapet.

Thermal insulation properties

- Low U-value: triple glazing has a very low heat transfer coefficient (U-value), often $\leq 0.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,
- The total U-value of the whole window with frame is $\leq 0.8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, which meets the requirements of a passive house.
- Efficiency: they are twice as efficient as double glazing, with minimal heat leakage.

Saving energy

- Heat retention: triple glazing helps to retain heat indoors, reducing the need for heating in winter.
- Heat penetration protection: in summer, the windows prevent too much heat from the sun from entering the room, reducing the need for cooling.
- Solar transmittance: windows with the right choice of glass make optimal use of natural sunlight and heat.

Ensuring comfort

- Uniform temperature: triple glazing eliminates the feeling of cold zones at the windows, as the glass remains warm even in winter.
- Sound insulation: thanks to the extra layer of glass and the gas filler, the windows have a high level of sound insulation, reducing noise from outside.
- Anti-condensation: the warm inner surface of the glass reduces the risk of condensation forming on the windows.

Sustainability

- Energy saving: reduced heating and cooling demand helps reduce CO₂ emissions and contributes to environmental protection.
- Durability: triple glazing is durable and resistant to temperature fluctuations, so it retains its properties over time.

Additional features

- Security: windows can be reinforced with toughened glass or laminate to provide impact resistance.
- Aesthetics: different frame types (wood, aluminium, plastic) and glass shades are available to match the building design.

Trippelglass er det ideelle valget for passivhus på grunn av sine varmeisolerende egenskaper, energisparingspotensial og komfort. De er uunnværlige for moderne bærekraftige og energieffektive bygninger.

5.3.3.2. Solenergi gjennom riktig orientering av bygningen.

Riktig orientering av bygningen er et av de viktigste designprinsippene for passivhusdesign. Det muliggjør effektiv bruk av solens naturlige energi til oppvarming, belysning og generell energibesparelse. Ved å optimalisere bygningens plassering i forhold til solens bevegelse, kan behovet for oppvarming, kjøling og belysning reduseres.

Viktige prinsipper	
Window orientation	the majority of windows should be oriented towards the south to maximise absorption of solar heat and light during winter. A minimum of windows on the north side to minimise heat loss.
Shape of the building	a compact and simple building form reduces heat loss.
Shadow management	canopies, curtains or protruding structures prevent excessive solar heat in summer but allow winter sunlight to reach the interior of the building.

Benefits of solar energy through proper orientation

- Reducing heating demand: south-facing windows allow the sun's heat to warm rooms during the cold season, reducing the need for additional heating energy.
- Natural light: the orientation ensures maximum natural light penetration, reducing the need for artificial lighting.
- Energy saving in summer: proper shade management prevents overheating, reducing the need for air conditioning.

Practical orientation solutions

- South orientation
Maximum absorption of solar energy and light in winter.
Windows should be large enough to take advantage of the sun's heat, but at the same time protect against overheating in summer.
- North orientation
Reduced number of windows to avoid heat loss.
Suitable for ancillary or less used rooms.
- East and west orientation
Eastern windows let in the morning sun, providing warmth and light early in the morning.
On the west side, protection against afternoon overheating is needed, e.g. blinds or plants.

Optimising solar energy capture

- Roofs and solar panels: roofs with a southern slope are ideal locations for solar panels or photovoltaic panels, allowing additional energy generation.
- Solar heat storage: massive internal structures (e.g. concrete or masonry walls) can store solar heat during the day and slowly release it at night.

Sustainability aspects

- CO₂ reduction: efficient use of solar energy reduces dependence on fossil fuels.
- Cost-effectiveness: lower heating and cooling costs due to optimal orientation and use of natural solar energy.

Example

- In a passive house with windows on the south side, the sun's rays warm the floors and walls in winter, while in summer, canopies or trees block the direct rays to prevent overheating. This ensures constant comfort in all seasons.

Riktig orientering av bygningen er en av de viktigste faktorene for energibesparelser i et passivhus. Optimal utnyttelse av solenergi reduserer behovet for oppvarming og kjøling, sikrer komfort og bidrar til bærekraftige byggemål.

5.3.4. Eliminering av kuldebroer

5.3.4.1. Varmekoblingers innvirkning på energitap

Kuldebroer er en av hovedårsakene til at et passivhus kan miste varme og redusere energieffektiviteten. Kuldebroer er områder i en bygning hvor isolasjonen er svakere på grunn av konstruksjon eller materialegenskaper, og hvor varmen slipper ut raskere.

Hva er kuldebroer?

Det er deler av en konstruksjon som overfører varme raskere enn resten av bygningen på grunn av:

- Forbindelser mellom forskjellige materialer med ulik varmeledningsevne.
- Lekkasjer i installasjonen eller konstruksjonen.
- Feil utformede isolasjonslag.

Hovedplasseringer for kuldebroer

Vinduer og dører:

- Skjøter mellom vindus- og dørkarmen og veggen.
- Feil installerte tetningsmaterialer.

Fundamenter og vegger:

- Overgangssoner mellom vegger og fundamenter.

Tak-til-vegg-skjøter:

- Dårlig isolering ved skjøter.

Balkonger:

- Konstruksjoner som strekker seg fra innsiden til utsiden overfører varme.

Rør og ledninger:

- Gjennomføringer gjennom vegger og tak uten tilstrekkelig tetting.

Effekt av kuldebroer på energitap

Økt varmetap:

- Kuldebroer fungerer som «varmetapskanaler» og øker bygningens totale energiforbruk.

Økt oppvarmingsbehov:

- Selv små kuldebroer kan føre til betydelige økninger i energikostnadene, spesielt om vinteren.

Redusert komfort:

- Kuldebroer skaper områder med kalde overflater som kan forårsake ubehag og trekk i rommene.

Mugg- og fuktproblemer:

- Kalde overflater har en tendens til å kondensere fuktighet, noe som kan føre til muggdannelse og til slutt skade konstruksjonen.

Hvor stor kan effekten av kuldebroer være?

Selv om kuldebroer bare utgjør en liten del av bygningens overflate, kan de være ansvarlig for 20–30 % av alt varmetap.

Passivhusstandarder legger særlig vekt på kuldebroer for å minimere energitap.

Hvordan redusere effekten av kuldebroer?

Design solutions

- Avoid external structures that extend from inside to outside (e.g. balconies).
- Use continuous layers of insulation without gaps.

Selection of materials

- Use materials with lower thermal conductivity (e.g. polystyrene, mineral wool).
- Continue the insulation layer through all joints of the structure.

Structural solutions

- Insulate foundations and walls without interruption.
- Install window and door frames so that the insulation covers the sides of the frame.

Installation quality

- Ensure careful installation work to avoid leakage.
- Use sealing tapes and mastic at joints.

Passivhusstandarder for kuldebroer

I passivhusstandarden må påvirkningen fra kuldebroer minimeres:

Varmebrokoefisienten (ψ) skal være så nær null som mulig.

Passivhus er konstruert ved hjelp av spesifikke simuleringer og beregninger for å identifisere og eliminere potensielle kilder til kuldebroer.

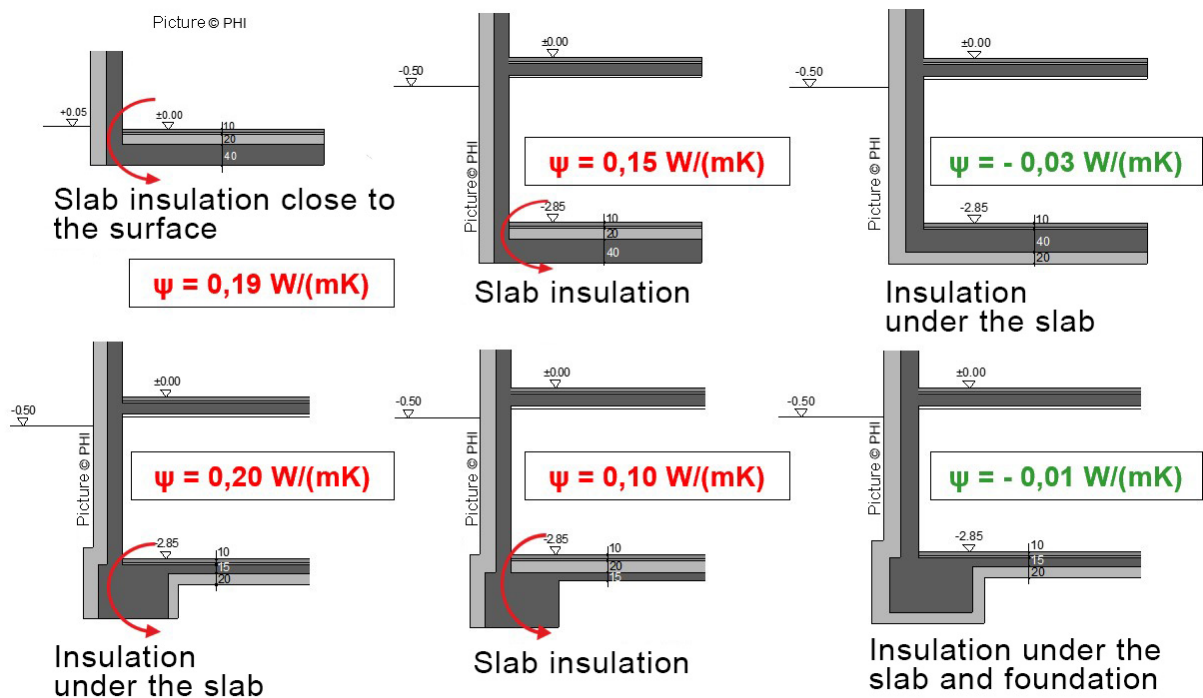
Redusering av kuldebroer er et viktig aspekt ved passivhusdesign. Å unngå dem reduserer ikke bare energikostnadene, men øker også komforten, beskytter konstruksjoner mot fuktighet og forlenger bygningens levetid. Riktig design, materialer og installasjonsløsninger er nøkkelen til suksess.

5.3.4.2. Konstruksjonsløsninger

Forebygging av kuldebroer er en viktig del av effektiv bygningsdesign og konstruksjon, spesielt i passivhus. Riktig valgte designløsninger kan redusere varmetap, forbedre energieffektiviteten, forhindre fuktighet og øke den generelle komforten.

Foundations and floors

- Insulation under floors: use high-density insulation boards (e.g. XPS or PIR) under floor and foundation slabs to prevent heat transfer through the ground.
- Thermal insulation blocks for foundations: install thermal insulation blocks in the transition zones between foundations and walls to reduce heat transfer.
- Continuity of insulation is crucial: insulation should cover the foundation and the edges of the floor to avoid breaks between insulation layers.



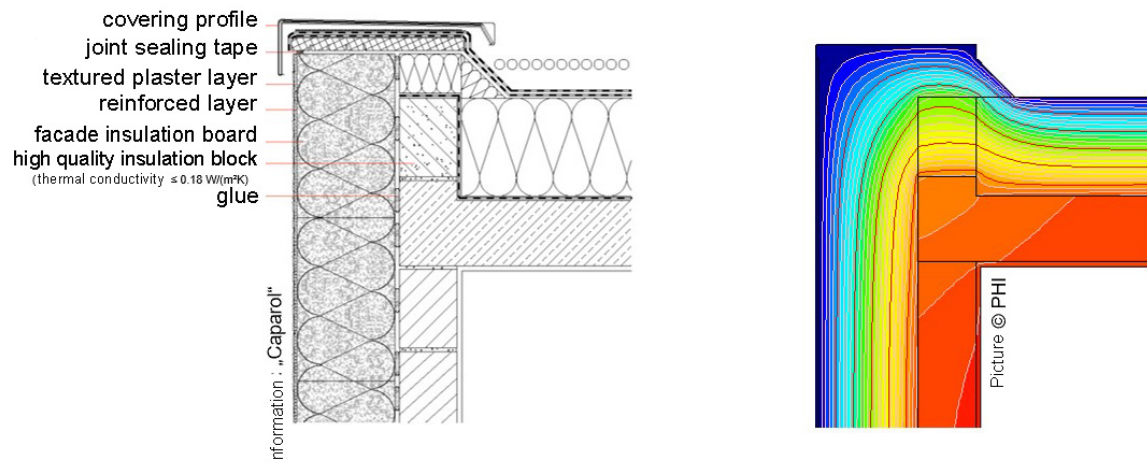
Construction without thermal bridges: $\psi \leq 0,01 \text{ W/(mK)}$

Figur 15 Konstruksjonsløsninger med og uten kuldebroer.

Walls and their connections

- Single layer of insulation: ensure that the insulation covers the entire external surface of the building, including corners and joints, without interruption.
- Insulation of wall and ceiling joints: avoid open corners of structures; use external insulation layers that extend across all joints.
- Multi-layered structures: use external insulation layers with appropriate diffusion membranes to ensure thermal conductivity reduction and moisture removal.

Solid construction - roof parapet with insulation block

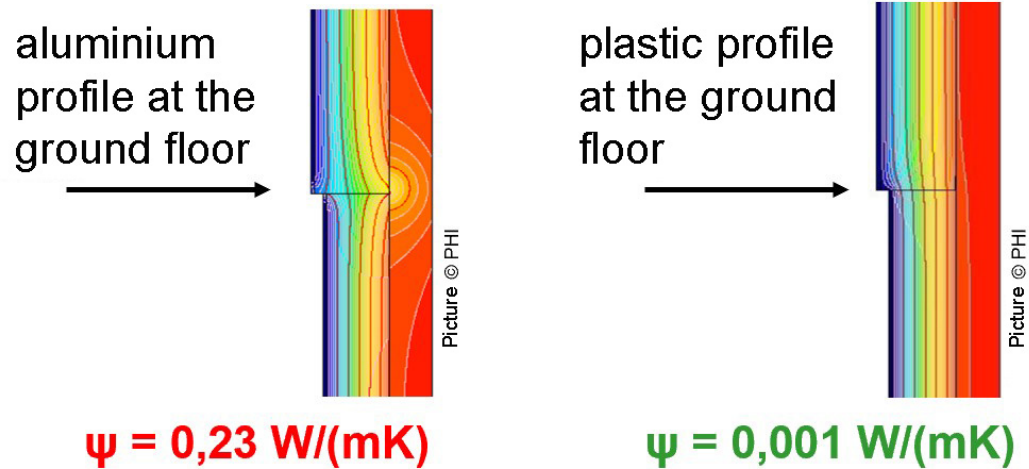


$$\Psi = -0,007 \text{ W/(mK)}$$

Fig. nr. 16 Takrekkverk uten kuldebro.

Windows and doors

- Installation of windows in the insulation layer: windows should be installed in the external insulation layer to prevent heat loss through the window frames.
- Use of sealing strips: install special sealing strips between window/door frames and walls to prevent air and heat leakage.
- Low U-value windows: use triple glazing with low thermal conductivity frames.



Figur 17 Kuldebroer med forskjellige materialer.

Balconies and other external structures

- Thermal insulation joints: balcony panels should be separated from the building by thermal insulation joints which reduce heat loss.
- Separate structural elements: where possible, balconies should be constructed as separate from the building to avoid heat transfer.

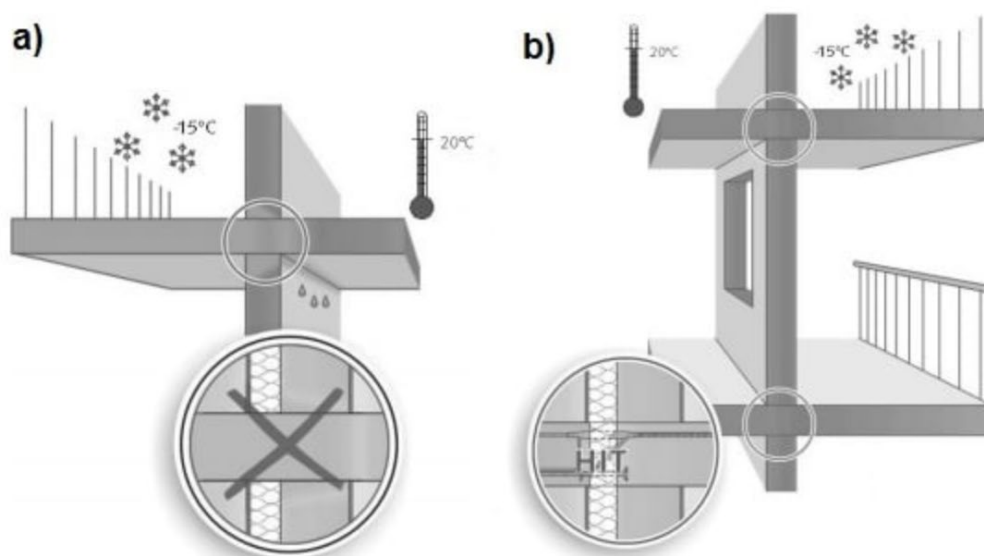


Fig. 18 Løsning for montering av balkongpanel uten kuldebro.

Roofs and overlays

- Thermal insulation at roof joints: the roof insulation shall be continuous and cover the entire joint between the walls and the roof.
- Avoid heat loss through the ridge: roof ridges shall be properly insulated using sealed insulation boards or spray insulation.

Transitions for pipelines and engineering systems

- Sealed penetrations: use special sealing devices for pipe and cable penetrations through walls, floors or roofs.
- Insulate piping: heating and cooling pipes must be insulated even in internal structures to reduce heat loss.

Materials used

- Insulation materials: use low thermal conductivity materials such as polyurethane (PUR), extruded polystyrene (XPS) or mineral wool.
- Thermal insulation blocks: incorporate thermal insulation blocks in structural joints to reduce heat transfer.
- Diffusion membranes: membranes protect against moisture but allow vapours to escape.

Ensuring airtightness

- Vapour barrier films: proper installation of vapour barriers to ensure airtightness and moisture control.
- Sealing tapes and mastics: use sealing materials at all joints to eliminate cracks and air leaks.

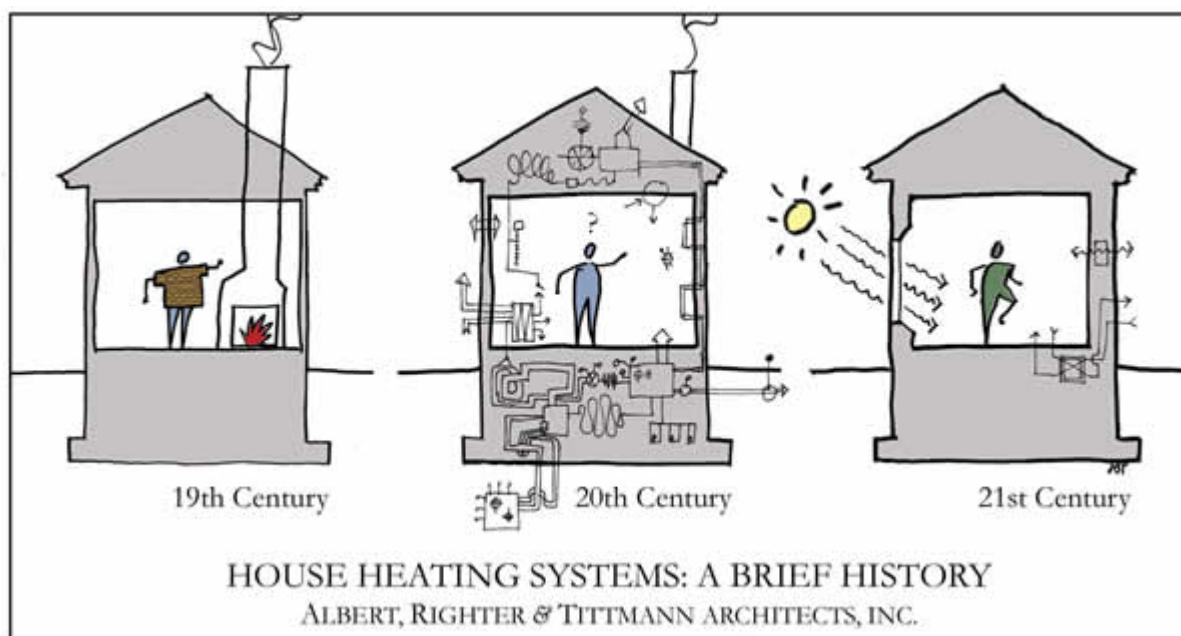
Konstruksjonsløsninger for å forhindre kuldebroer er en viktig del av passivhusbygging. Riktig valg av materialer, konstruksjonsmetoder og nøye installasjon kan minimere energitap, forbedre komforten og sikre bygningens levetid.

Oppsummering av fordelene med passivhus

Et energieffektivt hus har mange miljømessige, økonomiske og sosiale fordeler. Det er også utvilsomt en rekke fordeler for beboerne i passivhuset selv.

- Sammenlignet med andre lignende typer energieffektive bygninger er et passivhus mye mer holdbart og krever mindre vedlikehold.
- Høyere livskvalitet og komfort.
- Reduserte CO₂-utslipp – Et hus av gjennomsnittlig størrelse slipper ut opptil 6000 kg CO₂ per år. Å bo i et passivhus av samme størrelse reduserer luftforurensningen med opptil 2100 kg CO₂ per år.

- Støyreduksjon – Tykkere og godt isolerte vegger gir bedre beskyttelse mot støy utenfra, noe som ganske enkelt betyr roligere rom og bedre avslapning i områder nær støyende områder.
- Termisk komfort (også om sommeren).
- Bedre inneklima. Frisk, ren luft.
- Jevn luftfuktighet og temperatur.
- Enklere vedlikehold.
- Lave oppvarmingskostnader – Et passivhus sparer minst 75 % av energien som trengs til oppvarming per år.
- Lave driftskostnader.
- Høyere og stabil bygningsverdi – Salgsprisen på et energieffektivt hus vil være opptil 30 % høyere enn for et konvensjonelt hus.
- Designfrihet.
- Mindre teknisk utstyr.
- Mindre avhengighet av importerte energiresurser.



Referanser

Figur på forsiden https://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm

Figur 8 <https://i1.wp.com/www.aterma.lt/wp-content/uploads/2019/05/dumai.jpg>

Figur 10 <https://smartair.lt/rekuperatoriaus-balansavimas>

Figur 11 <http://www.manevras.lt/index.php?id=39&print=1>

Figur 13 <https://www.komfovent.lt/lt/atsisiuntimai>

Figur 14 <https://www.komfovent.lt/lt/atsisiuntimai>

Figur 18 <https://denia.lt/balkonai-be-salcio-tiltelio-halfen-konstrukciniai-sprendiniai/>

Anbefalt litteratur:

„Passivhuset: Grunnleggende, design, konstruksjon“ (Jürgen Schnieders).

«Passive House Design» (Emma Walshaw).

Nyttige lenker:

Passivhaus Institute: www.passiv.de

Internasjonal Passivhusforening: www.passivehouse-international.org

<https://smartair.lt/rekuperatoriaus-balansavimas>

<https://i1.wp.com/www.aterma.lt/wp-content/uploads/2019/05/dumai.jpg>

<http://www.manevras.lt/index.php?id=39&print=1>

<https://www.komfovent.lt/lt/atsisiuntimai>

Nyttige verktøy:

PHPP (Passive House Planning Package) – programvare for beregning av passivhusenergi.

6 - Leveranser

For å evaluere suksessen av søknaden, foreslår vi at studentene svarer på et spørreskjema på nettet.

7- Hva har vi lært

Grunnleggende forståelse av passivhus.

Ulike passive og aktive løsninger som er brukt i bygningen for å oppnå passivhusstandarder.