Efteruddannelsesudvalget for bygge/anlæg og industri

Lufttæthed ved renovering af ydervægge

© Undervisningsministeriet, juni 2016. Materialet er udviklet af Efteruddannelses-udvalget for bygge/anlæg og industri i samarbejde med faglærere Kaj Hansen og Johnny Lundgreen, Roskilde Tekniske Skole. Materialet kan frit kopieres med angivelse af kilde. Materialet kan frit viderebearbejdes med angivelse af følgende tekst: ”Dette materiale indeholder en bearbejdning af Lufttæthed ved renovering af ydervægge, juni 2016, der er udviklet for Undervisningsministeriet i samarbejde med Efteruddannelsesudvalget for bygge-/anlæg og industri og Kaj Hansen og Johnny Lundgreen, Roskilde Tekniske Skole”.

Revidering, oktober 2021

Denne 3. udgave af undervisningsmaterialet har ændringer i afsnittet *Lovgivning*, på grund af ændringer i bygningsreglementet BR18. Derudover nogle justeringer af tekst i afsnittene *Indledning, Montering* samt to nye afsnit under *Materialer.* Johnny Lundgreen

Indholdsfortegnelse

Forord. 3

Indledning 4
- Fokus på lufttæt 4

Tæthed og ydervægge 5

Lovgivning 6
- BR18´s krav til (rentabel) energioptimering 6
- Ansvar 7
- Energimærkning 8

Dampspærres funktion 9
- Dampspærreren har to funktioner 9
- Hus med tæt klimaskærm 9
- Hus med utæt klimaskærm 9

Fugttekniske begreber 10
- Relativ fugtighed 10
- Diffusion 10
- Konvektion 11
- Kondens 11
- Kapillarsugning 12
- Z-værdi for materialer 12
- Sommerkondens 13
- Fugtbelastningsklasser 13

Materialer 14
- Dampspærre, tape, klæbemidler og fugemasser 14
- Systemløsning 14
- Plastfolie af Polyethylen 14
- Aluminiumsbaserede dampspærre 14
- Fugtadaptiv dampspærre 15
- Armeret dampspærre 15
- Dampbremse 15
- Pladematerialer 15
- Massivt træ 16
- Beton 16
- Fugtspærre 16
- Tape 16
- Primer 16
- Klæbebånd 17
- Manchetter 17
- Fugemasser 17

Montering 18
- Samlinger 19
- Tilslutninger 20
- Gennemføringer 20
- Vindues- og dørelementer 20

Generelt 21
- Forundersøgelse 21
- Rengøring af overflader 21

Lette ydervægge 22
- Dampspærre indefra 22
- Bindingsværk 23
- Dampspærre udefra 23

Tunge ydervægge 24
- Dampspærre indefra 24
- Dampspærre udefra 25

Tæthedsprøvning 26
- Tæthedskrav 26
- Tæthedskrav og renovering 26
- BlowerDoor 26
- Blower Door og renovering 26
- Danske erfaringer 27

Termografering 28
- Hvordan bruges termografering 28
- Hvad viser billederne? 28
- Visuel besigtigelse 29
- Hvad kræver en vellykket termografering? 29
- Hvad skal en rapport indeholde? 30

Forord

Dette kompendium er udviklet til brug for Efteruddannelsesudvalget for bygge/anlæg og industri (BAI) med støtte fra Undervisningsministeriet.

Deltageren:
- kan udvælge og montere specielle dampspærremembraner ved renovering af ydervægskonstruktion udefra og indefra under hensyn til udfaldskrav, membranproducentens anvisninger samt til gældende tætheds- og isoleringskrav.
- kan sikre, at membranen placeres korrekt, så opfugtning i konstruktionen undgås.
- kan udføre tætte samlinger, gennembrydninger og tilslutninger i en dampspærremembran ved renovering af en ydervægskonstruktion.
- kan udføre arbejdet under anvendelse af bygningsreglementets krav til energimærkning, energirammeforhold, isoleringsbestemmelser, hvor deltageren har kendskab til bygningers termiske ydeevne samt tæthedskrav.
- kan anvende metoder til kontrol og dokumentation af tæthed og trykprøvning ved hjælp af godkendt udstyr med BlowerDoor-test samt metoder til lokalisering af utætheder med bygningstermografering.
- udføre arbejdet efter relevante anvisninger og gældende miljø- og arbejdsmiljølovgivning, herunder hensigtsmæssige arbejdsstillinger samt anbefalede og lovpligtige hjælpe- og værnemidler.
- anvende god praksis for bæredygtig adfærd inden for arbejdsområdet.

Udvalget takker de udviklere, som har medvirket i udarbejdelsen af dette materiale.
Herudover takker vi branchen for ideer til og konstruktiv kritik af materialet.

Vi vil godt takke vores samarbejdspartnere som har bidraget til udarbejdelsen af materialet og lån af billedmateriale til de forskellige beskrivelser.
Vi har hovedsagelig benyttet os af materiale fra gældende SBI-anvisninger, BygErfa-blade, erfaringer fra Byggeskadefonde og andre, samt egne erfaringer med udvikling og undervisning i lufttætte løsninger til byggeriet.
Illustrationer og fotos er udarbejdet af udviklerene selv eller er hentet fra frit tilgængelige steder på internettet.

Oktober 2018
Kaj Hansen
Johnny Lundgreen

Indledning

Dette materiale omhandler lufttæthed ved renovering af ydervægge i enfamiliehuse. Enfamiliehuse omfatter fritliggende enfamiliehuse, sammenbyggede enfamiliehuse med lodret lejlighedsskel samt sommerhuse.

Det beskæftiger sig fortrinsvis med den håndværksmæssige udførelse af tæthedsplanet – men byggeriets projekterende parter kan også have gælde af materialets løsninger.

Til sikring af lufttæthed bruges en række forskellige betegnelser for de produkter, der er på markedet, betegnelser som dampspærre, dampbremse og fugtadaptive dampspærre.
Vi har valgt at anvende betegnelsen dampspærre gennem det meste af dette materiale.

Fokus på lufttæthed

Der er i dag mange delte meninger om brugen og indbygningen af dampspærren når ældre huse skal energirenoveres. Specielt blandt de udførende, er der stor mistro og uvidenhed og mange mener at det er forkert, at vi nu skal til at udføre tætte konstruktioner når vi energirenovere. Men med de nye energikrav og dermed nye store isoleringstykkelser, der er defineret i bygningsreglementet (BR18) ved renovering af ydervægge, kommer vi ikke uden om lufttætte konstruktioner og her er dampspærren en meget sikker løsning.

En bygnings lufttæthed afhænger af at alle parter er opmærksomme og samarbejder om, hvordan man opnår at bygningen er lufttæt og forbliver lufttæt. Lufttætte konstruktioner er komplekse derfor er det vigtigt at der i projekteringen og den overordnede styring af byggeriet holdes fokus på lufttætheden, og hvordan den etableres, og at der udarbejdes de nødvendige detaljetegninger af knudepunkter og detaljerede beskrivelser af udførelsen.

Det er ligeledes af stor vigtighed at de forskellige håndsværksgrupper på byggepladsen kan samarbejde, og har fælles forståelse for de arbejdsprocesser der indgår i at bygge lufttætte konstruktioner. Det er en forudsætning for tæt byggeri at der er opnås fælles forståelse og kendskab til lufttæthed ved overgange/overdragelser mellem byggeriets faser.

Hvis ikke der er fokus på lufttæthed ved renoveringer viser erfaringer at husene kan risikere at blive mere utætte efter energirenovering end inden renoveringen startede.

Et dårligt projekteret byggeri og hvor de forskellige håndværksgrupper ikke har fælles fokus på lufttætheden kan ikke reddes med tape og klæbemidler.
Alle implicerede parter i en byggeproces bør have kendskab til følgende:

- Aktuelle lufttæthedskrav
- Materialer i tæthedsplanet
- Tætningsprincipper og detaljer
- Praktisk udførelse af lufttæthed
- Lufttæthedsundersøgelser

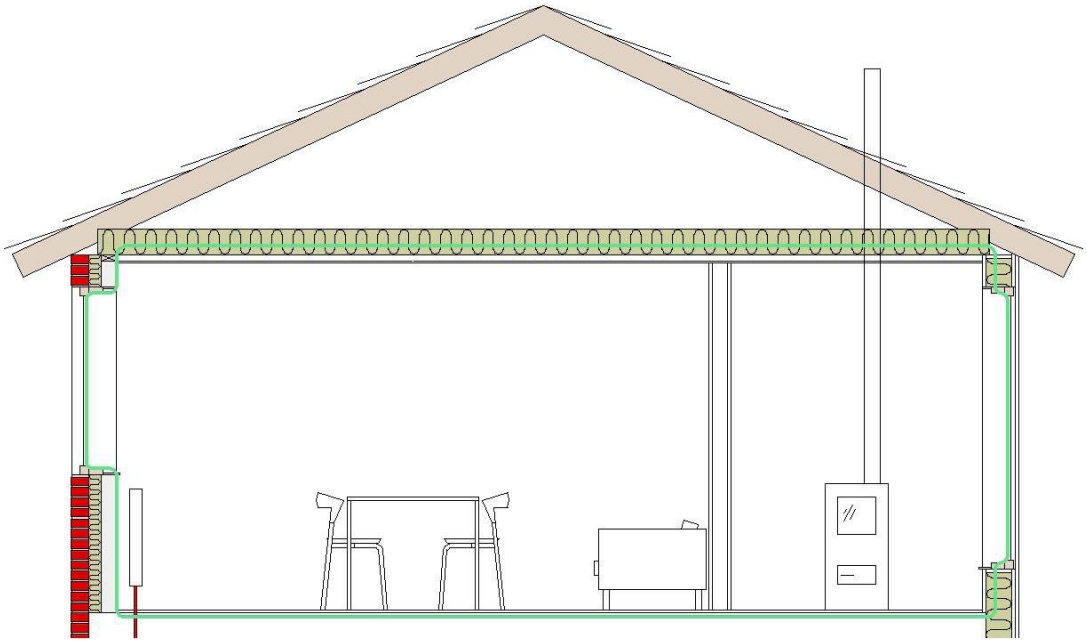
Tæthed og ydervægge

For at forstå, hvad lufttæthedskravet er for et begreb, er vi nødt til at kigge tilbage i tiden. Vi skal tilbage helt til energikrisen i 1970'erne, hvor det blev vigtigt, at holde på varmen og dermed få efterisoleret sin bolig.
I tiden før energikrisen koncentrerede man sig ikke meget om isolering og dampspærre, men kun om misfarvninger på væggene, som var forårsaget af kuldebroer på grund af fx forkert placeret isolering. Ligeledes var der ikke den fokus på årsagerne til skimmelsvamp, som man har i dag.

I dag stiller bygningsreglementet(BR18) skærpede energikrav ved renovering af konstruktioner og med de nye store isoleringstykkelser er det af stor vigtighed, at der bliver monteret dampspærre i langt de fleste konstruktioner så skadelig vanddamp (diffusion) ikke ophobes i konstruktionen med skimmel, råd- og svampeangreb som følgevirkning.

Udover at afværge for diffusion af fugt i konstruktionen skal dampspærren også forhindre utilsigtede luftstrømme (konvektion) i at komme ud ydervæggen. Undersøgelser har vist, at varm luft som transporteres med luftstrømme gennem utætheder i dampspærren, kan bidrage til stor fugtophobning i ydervæggen. Derudover vil der også komme et stort varmespild ud i den kolde konstruktion.
Dampspærren skal forhindre opfugtning både ved diffusion og konvektion.

Løsningen er at opsætte dampspærre med lufttætte samlinger på den varme side af isoleringen for at forhindre den fugtige luft i at komme ud i isoleringen og de organiske materialer.



Billede 1. Dampspærren skal omslutte hele klimaskærmen. veb.teknologisk.dk

Lovgivning

Skærpede krav til varmeisolering af nye bygninger er indført i bygningsreglementet BR18.
De skærpede krav trådte i kraft den 1. januar 2018.
Nye CO_2 krav til nybyggeri indskrives i bygningsreglementet i 2023, samtidig med at der indskrives krav om bæredygtigt byggeri.

Energikravene i BR18 har også betydning for den eksisterende bygningsmasse, da Bygningsreglementet indeholder krav om, at alle eksisterende bygninger, ved større renoveringer, skal have udført de energimæssige forbedringer, der fremgår af energimærkningen. Se energimærkningen side 8.

Der indføres bestemmelser om isolering i forbindelse med udskiftning af tagdækning, facadevis udskiftning af vinduer og krav ved udskiftning af olie- og gasfyrede kedler samt skift af varmeforsyning.

Billede 2. Det nye bygningsreglement BR18. Lundgreen

BR18's krav til (rentabel) energioptimering

Ombygning og andre fordringer i bygningen skal opfylde følgende krav til U-værdier og linjetab:

Bygningsdel	**U-værdi [W/m²K]**
Ydervægge og kældervægge mod jord.	0,18
Skillevægge og etageadskillelser mod rum, hvor temperaturforskellen mellem rummene er 5 ^{0}C eller mere	0,40
Terrændæk, kældergulve mod jord og etageadskillelser over det fri eller ventileret kryberum.	0,10
Loft- og tagkonstruktioner, herunder skunkvægge, flade tage og skråvægge direkte mod tag.	0,12
Porte.	1,80
Lemme, nye forsatsvinduer og ovenlyskupler.	1,40
Renoverede forsatsvinduer.	1,65
Bygningsdel.	**Linjetab [W/mK]**
Fundamenter.	0,12
Samling mellem ydervæg, vinduer eller yderdøre, porte og lemme.	0,03
Samling mellem tagkonstruktion og ovenlysvinduer eller ovenlyskupler.	0,10

Billede 3. Tabel over U-værdier. Lundgreen

Rentabel varmeisolering skal foretages i forbindelse med ombygning og ændringer af bygningsdele. Eksempler på arbejder, hvor der skal foretages rentabel isolering, er:

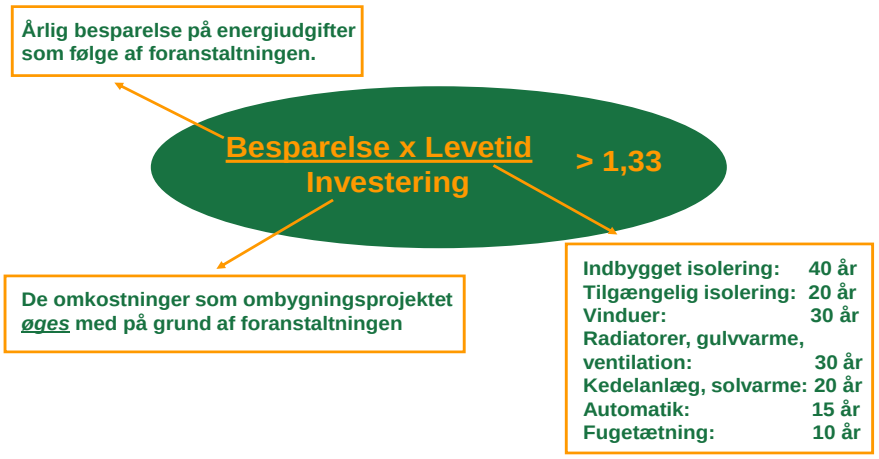
- Lægning af ny tagpapdækning i form af ny tagdug eller overpap på eksisterende tag.

- Nyt tegltag eller tilsvarende.
- Nyt stålpladetag oven på gammelt tag af tagpap eller fibercementplader.

Ved **udskiftning** af bygningsdele eller installationer skal bestemmelserne opfyldes **uanset rentabilitet**. F.eks. et helt nyt facadeparti, en ny tagkonstruktion inklusiv tagdækning, spær, isolering og loft, udskiftning af et vindue, en cirkulationspumpe eller et kedelanlæg.
Ved udførelse af **tilbygninger** og **ændret anvendelse**, hvor der opnås flere beboelses-kvadratmeter (fx indretning af udhus til beboelse), skal de skærpede energikrav **altid** opfyldes.

Byggetekniske forhold kan indebære, at bestemmelserne ikke kan opfyldes på rentabel eller fugtteknisk forsvarlig måde.
Der kan imidlertid være et mindre omfattende arbejde, der nedbringer energibehovet. Det er så dette arbejde, der skal gennemføres.

En ekstra foranstaltning ved ombygning regnes for rentabel når:



Billede 4. Beregningsmodel. Energistyrelsen

Ansvar

Det kan være meget vanskeligt at skelne mellem, hvornår entreprenøren skal lave de oftest omfattende beregninger for at finde frem til en 'rentabel optimering', eller om det er obligatorisk, at gennemføre efterisoleringen. Flere af byggeriets parter – bl.a. Dansk Byggeri og Isover – har udarbejdet informationsmateriale om spørgsmålet. Men selv ikke disse materialer er fri for at være indbyrdes uenig. Hvis ikke der foreligger et projekt fra arkitekt / rådgiver, er det **entreprenørens ansvar** at oplyse (og rådgive) bygherren om disse bestemmelser. Virksomheden kan ikke undlade at bygge i henhold til Bygningsreglementet, selvom bygherren skriftligt frabeder sig at få lavet beregninger på rentabiliteten eller at få optimeringsarbejdet udført!

Energimærkning

Energimærkningen har til formål at bistå boligkøbere og lejere med at finde ud af, hvor meget ejendommen samlet set vil koste at opvarme, før der skrives under på købsaftalen eller lejeaftalen. Desuden er det formålet at give, både sælger og køber eller ejer og lejer, et værktøj til at få overblik over, hvilke energimæssige forbedringer der er rentable at gennemføre. Energimærkningen giver et overblik over bygningens samlede energiforbrug og mulighederne for at reducere varme-, el- og vandforbruget.

Hvad skal have en energimærkning?

- Alt nybyggeri (÷ sommerhuse under 60 m²).
- Alle ejendomme, ejer- og andelslejligheder ved salg, udlejning og større renovering.
- Større ejendomme over 1000m² skal energimærkes regelmæssigt – min hvert 5. år.
- Alle offentlige bygninger skal energimærkes regelmæssigt – min hvert 5. år.

Hvad skal ikke have en energimærkning?

- Der skal ikke udarbejdes energimærke ved salg eller udlejning af sommerhuse uanset størrelse.

Billede 5. Oversigt over, hvornår en bolig skal have udført energimærkning. Lundgreen

Det samlede energiforbrug omfatter energiforbrug til opvarmning af bygningen og til drift af de faste bygningsinstallationer. Energimærkning skal foretages af en uvildig energikonsulent, og skal indberettes til energistyrelsen.

Billede 6. Skala over energimærkningen. Lundgreen

Energimærket viser bygningens placering på energimærkeskalaen fra A til G, hvor A er den bedste placering.
Mærkerne refererer til energikravene i bygningensreglementet. Det vil sige, at et hus, der er mærket med A2015, lever op til de krav, der er i Bygningsreglement 2015. De nye A'er ses primært i forbindelse med nybyggeri.
Et energimærke er gyldigt i 10 år. Sælges bygningen flere gange inden for gyldighedsperioden, kan det samme energimærke benyttes
En central del af energimærkningen er forslagene til energibesparende foranstaltninger. Det er her boligejeren eller lejeren kan se hvilke muligheder der er for at forbedre bygningen rent energimæssigt. Inden indsendelse af ansøgning om byggetilladelse, skal der foretages en beregning af bygningens energibehov, der dokumenterer at energirammen er opfyldt. Beregningerne, og de nødvendige oplysninger til kontrol af beregningerne, sendes ind til energimærkeordningen. Fra energimærkeordningen modtages herefter en kvittering, for at oplysningerne er indberettet. Denne kvittering, samt en kopi af selve beregningen, skal vedlægges ansøgningen om byggetilladelse. Når bygningen er opført, skal eventuelle ændringer i projektet indberettes til energimærkeordningen. Energikonsulenten skal kontrollere, at bestemmelserne i bygningsreglementet er opfyldt. Energikonsulenten udsteder et energimærke på bygningen.
En kopi af energimærkebeviset skal sendes til kommunens forvaltning sammen med færdigmelding eller ansøgning om ibrugtagningstilladelse.

Dampspærrens funktion

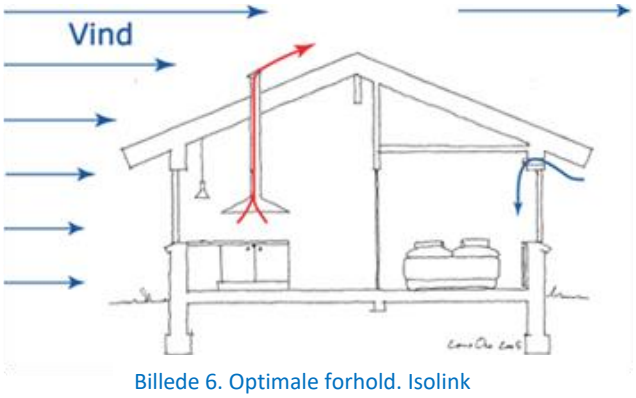
Dampspærren har to funktioner

- Dampspærren skal sikre at den fugtige rumluft, der findes inde i boligen ikke trænger ud i konstruktionen, hvor der er risiko for, at den vil kondensere så der opstår mug, råd og skimmelvækst. Det er særligt i de kolde perioder, at dampspærren skal gøre sit job. Her er forskellen på temperaturen ude og inde nemlig størst.

- Dampspærren skal også monteres lufttæt for at have effekt. De fleste problemer i forbindelse med dampspærrer skyldes enten, at den er monteret forkert, eller at den ikke er udført lufttæt.
  Specielt er det samlinger, tilslutninger og gennemføringer, der giver problemerne, og et lille hul eller revne i dampspærren eller en utæt samling kan resultere i opfugtning af konstruktionen, der er mellem 100 til 1000 gange kraftigere end gennem en hel flade med intakt dampspærre.

Hus med en tæt klimaskærm

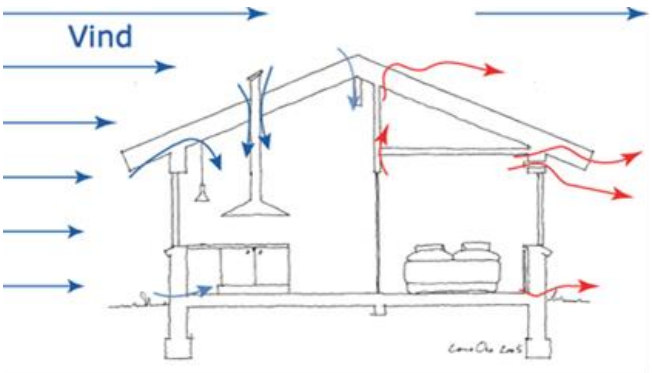
Dampspærren skal omslutte hele den opvarmede del af bygningen, og den skal have tætte samlinger samt slutte tæt til andre bygningsdele (vinduer, mure, terrændæk mv.). Dermed kan ventilationen styres efter behov, og hvor indeluften er under kontrol og dermed giver optimale forhold for at genanvende energien.



Billede 6. Optimale forhold. Isolink

Hus med en utæt klimaskærm

Når et hus påvirkes af vind opstår der et overtryk på forsiden af huset (luv side) og et undertryk på bagsiden af huset (læ side). Dette vil dels ændre luftstrømmen dels medføre at luften trænger ind ved alle utætheder som vist. Herved kan ventilationen ikke længere kontrolleres. I vinterhalvåret er der risiko for, at varm fugtig luft kan kondensere på sin vej ud igennem utætheder i klimaskærmen og dermed give fugtophobning i konstruktionen. Dette skaber gode betingelser for skimmelsvamp, og i værste fald nedbrydning pga. råd og svamp.

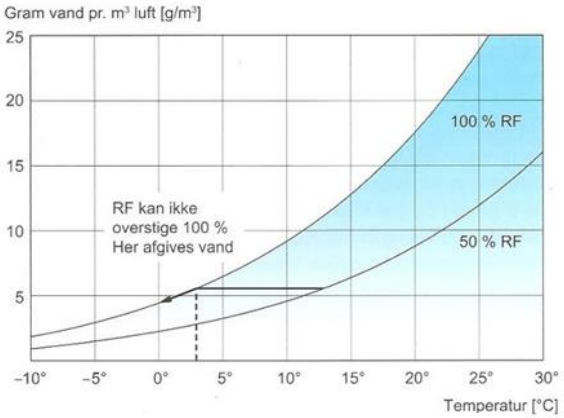


Billede 7. Forholdene er ikke sikre. Isolink

Fugttekniske begreber

Relativ fugtighed (RF)

Luftens relative luftfugtighed beskriver mængden af damp i luften ved en given temperatur i forhold til den største mængde der kan være ved samme temperatur. Varm luft kan indeholde mere vanddamp end til kold luft.
Den relative fugtighed bliver målt i procent og 100 % RF repræsenterer dugpunktet, hvor vanddampen ændrer form til vanddråber dvs. at luften ikke kan indeholde al vanddampen og det vil vise sig som dug eller kondens.

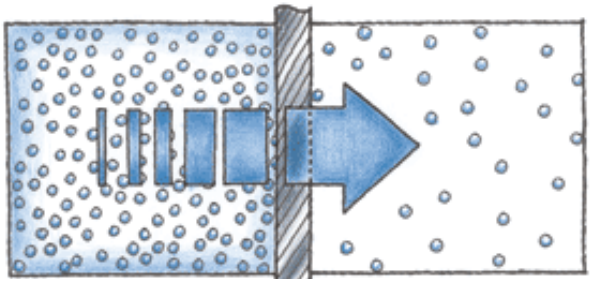


Billede 7. Vanddampdiagram. SBi 224

Den relative fugtighed i udendørs luft varierer med årstid og tid på døgnet. I Danmark er den relative fugtighed højest om vinteren, hvor man ofte kan se 100 % relativ fugtighed i form af regn og tåge. Om sommeren er den relative fugtighed i gennemsnit ca. 75 %, men da varm luft kan indeholde meget mere vand end den kolde luft, ligger det absolutte vanddampindhold alligevel lavere om vinteren (ca. 5g pr. m^3) end om sommeren (ca. 10g pr. m^3).
Vi kender det fra vinduerne i huset, hvor den opfugtede varme luft afkøles ved kontakt med vinduesglasses kolde overflade og fugten i luften kondenserer/ dugger på vinduet.
Omvendt vil den relative fugtighed falde, hvis luft ved en given temperatur og fugtighed opvarmes uden tilførsel af yderligere fugt. Luften kan altså indeholde mere vanddamp, jo varmere den er.

Diffusion

Diffusion er vandtransport gennem konstruktionens overflader som følge af damptrykforskelle. Vanddampmolekyler bevæger sig frit i luften og har en tendens til at fordele sig jævnt. Inde i bygninger er der normalt større fugtindhold i luften end udendørs. Der vil derfor være et højere damptryk indendørs end udendørs. Damptrykforskellen vil få fugt til at diffundere ud gennem bygningen, så damptrykket bliver ens på begge sider at konstruktionsdelen. Dette foregår, selv om luften står stille, og det foregår også i den luft, som befinder sig inde i et materiale.

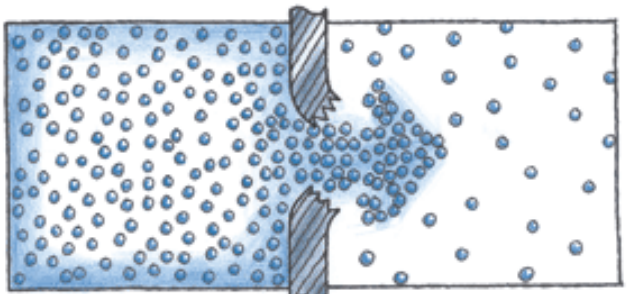


Billede 8. Princip for diffusion. Isover

Byggematerialer har forskellig evne til at hindre dampdiffusion, men mange almindeligt anvendte byggematerialer, f.eks. træ og gips, er ikke tætte mod dampdiffusion. Der vil derfor være risiko for kondensdannelse på indvendig side af en diffusionstæt yderbeklædning.
Er der til gengæld placeret en tæt dampspærre på væggens inderside, forhindres fugten i at trænge ud i konstruktionen, og skader undgås.

Konvektion

Konvektion er fugttransport gennem utætheder i overfladerne som følge af lufttrykforskelle. Trykforskelle opstår pga. vind, termisk opdrift af rumluften (skorstenseffekten) og mekanisk ventilation.
Et ventilationsanlæg, der skaber overtryk i huset, bør derfor undgås, da det øger risikoen for skader som følge af konvektion.



Billede 9. Princip for konvektion. Isover

Er der forskel i lufttrykket på hver side af en væg eller et tag, kan luft strømme gennem konstruktionen og føre fugt med sig. Passerer varm og fugtig luft en kold yderflade, vil der ske en kondensation med ophobning af store fugtmængder til følge.
Kondensationen er skadelig, når fugttransporten går indefra og ud, som det er tilfældet, når der optræder overtryk i huset.
Utætheder i samlinger, kuldebroer o.l. vil ofte medføre en langt større risiko for fugttransport gennem konstruktionen med mulighed for kondensdannelse, end brug af en dårlig dampspærre, hvor der vil forekomme diffusion.

Kondens

Rumluften afkøles ved kolde ydervægge, vinduer mv., og der kan dannes kondens. Kondensen binder støv og snavs, og der opstår risiko for misfarvninger, f.eks. sorte striber, og grobund for mikroorganismer. Materialer vil blive opfugtet af kondensvandet, og væksten af råd og svamp vil herved fremmes kraftigt i træ og træbaserede materialer. I yderbeklædninger vil der ligeledes være risiko for frostsprængninger.
Varmeisolerede konstruktioners indvendige overfladetemperatur er normalt højere end boligluftens dugpunktstemperatur. Der opstår derfor ikke kondens på isolerede vægflader mv.
I konstruktioner med f.eks. gennemgående stålprofiler i isoleringslaget, ved samling af bygningsdele eller hvor det af statiske hensyn er nødvendigt at reducere isoleringstykkelsen, må der som minimum isoleres, så den indvendige overflade -temperatur holdes over luftens dugpunktstemperatur. Den indvendige overfladetemperatur i boliger o.l. skal som tommelfingerregel holdes over 13 - 14° C i den kolde vinterperiode for at undgå kondens og skimmelvækst på tapet mv.

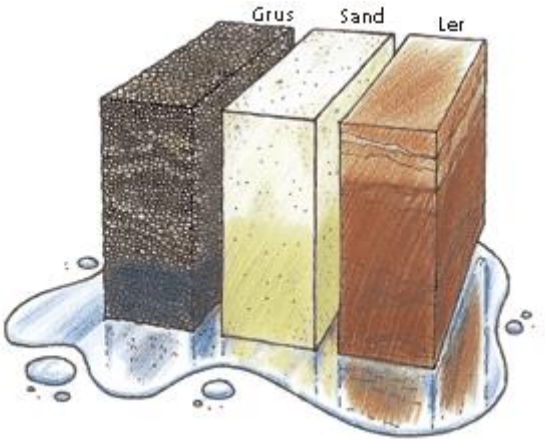
Billede 10. Overfladetemperaturen holdes over 13-14^0 for at undgå kondens og skimmelsvamp. Isover

Kapillarsugning

Et porøst materiale, som står i kontakt med vand, vil suge vand. Dette skyldes, at materialet består af en mængde større og mindre porer, som bygger et kapillarsystem, hvor fugten omfordeles.

For at kapillarsugning skal kunne finde sted, skal der være vand tilstede, og først når materialet er opfugtet til en vis grad, kan kapillar omfordeling af fugt ske. Den relative luftfugtighed i materialets porer er da 100 %.

De bygningsdele, der ligger i forbindelse med jord, påvirkes af jordens fugtighed. For at beskytte bygningen mod denne fugt dræner man under og omkring huset med et kapillarbrydende materiale.



Billede 11. Porøst materiale suger vand. Isover

Z-værdi for materialer

Z-værdi står for vanddampdiffusionsmodstand og udtrykker fx en dampspærres evne til at modvirke diffusion af vanddamp. Mængden af fugt, som kan trænge igennem en dampspærre med lav diffusionsmodstand er meget lille. Det er derfor tilstrækkeligt at anvende dampspærre med en Z-værdi på >50 GPa.s. m^2/kg.

Dampspærre med en lavere Z-værdi kan også anvendes, men kun i samråd med producenten og som en systemløsning, hvor fx dampspærren og vindspærren er tilpasset til brug sammen.

Erfaringer for bygningskonstruktioner er, at Z-værdien på indersiden skal være 10 gange større end på ydersiden af den samlede isolering og med en dampspærre der er monteret lufttæt. På den måde sikres at fugtophobning undgås, da ydersiden er mere diffusionsåben end indersiden.

I tabellen vises en række typiske konstruktionsmaterialer med tykkelser. Værdierne kan bruges til groft overslag for, om materialevalget opfylder kriteriet om at undgå fugtophobninger i konstruktioner.

Materiale	Tykkelse	Z-værdi
Polyethylen	0,15	250-350
Polyethylen	0,20	450-800
Armeret dampspærre	0,07-0,20	55-130
Dampbremse	0,07-0,12	14-47
Fugtadaptiv dampspærre	0,07-0,12	00-200
Alu-baseret dampspærre	0,07-0,12	>500
Gipsplade	13 mm	0,3-0,5
Vindspærre af træfiberplade	3 mm	1-6
OSB-plade	15 mm	2-7
Krydsfinerplade	12 mm	3-17

Billede 12. Tabel over Z-værdier. Lundgreen

Sommerkondens

Om vinteren er temperaturen typisk meget højere inde end ude da vi opvarmer vores boliger. Indeluften indeholder meget mere vanddamp end udeluften og vil ligeledes gøre det, selv på regnvåde dage, med 100% relativ fugtighed udenfor. Det er derfor især vigtigt at lufte ud om vinteren, eller når det er koldere udenfor end indenfor.
Sommerkondens opstår når damptrykket udenfor er højere end indenfor, dvs. når vi har høj luftfugtighed på varme dage. Det skyldes at solen driver fugt ind i vores konstruktioner fx ned på dampspærren, som er relativ kold.
Organiske materialer der er opfugtede, eller omgivet af en relativ fugtighed på over 70%, danner grobund for skimmel, som trives bedst ved sommertemperaturer. Fugten kan være indbygget i konstruktionens materialer såsom beton, træ og isolering eller være tilført senere gennem en utæt dampspærre eller gennem en utæt tagdækning.
I værste tilfælde kan der opstå skimmelsvampeangreb i isoleringen og på konstruktionsoverflader og svampeangreb i træbaserede konstruktionsdele, idet f.eks. undersiden af ribber i tagelementer af træ opfugtes og forbliver fugtige gennem hele sommeren, da temperaturen på dette sted i konstruktionen konstant ligger på 20-25 °C.

Fugtbelastningsklasser

Bygninger inddeles i fugtbelastningsklasser ud fra indeluftens fugtindhold ved normal anvendelse af bygningen i de kritiske vintermåneder, november til marts.
Begrebet fugtbelastningsklasser har hidtil hyppigst fundet anvendelse ved valg af tagløsning, men kan lige såvel anvendes om alle bygningsdele. Fugtbelastningsklasser kan ikke anvendes for svømme- og skøjtehaller, køle- og fryserum og andre lignende bygninger, hvor fugtforholdene afviger væsentlig fra opvarmede boliger.

Fugtbelastnings-klasser	Luftens fugtindhold	Bygningskategori
1	0-5 g/m³ luft	Ubenyttede bygninger, tørre lagerhaller træningshaller uden tilskuere
2	5-10 g/m³ luft	Beboelsesbygninger, forretninger, kontorer, skoler, institutioner, industribygninger uden fugtproduktion
3	8-12 g/m³	Boliger med ukendt beboelsestæthed fx idrætshaller
4	10- 12 g/m³	Storkøkkener, kantiner, bade- og omklædningsrum
5	Over 12 g/m³	Specielle bygninger, fx vaskerier, bryggerier, svømmehaller

Billede 13. Tabel over fugtbelastningsklasser. Lundgreen

Materialer

Dampspærre, klæbemidler og fugemasser

En dampspærre er en form for folie eller membran med en høj diffusionsmodstand, der skal forhindre den varme fugtige rumluft i at trænge ind i konstruktionen.
Bygningens fugtbelastningsklasse, og dermed indeklimaets fugtbelastning har afgørende indflydelse på valg af dampspærre og konstruktionstype. I normale konstruktioner, rumklimaklasse 1 og 2, kan der anvendes dampspærre med en forholdsvis lav dampdiffusions-værdi.
Z-værdien skal dog være mindst 50 GPa.s. m^2/kg i beboelsesrum og 100 GPa.s. m^2/kg i vådrum.
Dampspærre med en lavere Z-værdi kan også anvendes, men kun i samråd med producenten og som en systemløsning, hvor fx dampspærren og vindspærren i en ydervæg er tilpasset til brug sammen.

Systemløsning

Dampspærrens funktion, i de fleste bygninger, er en forudsætning for at bygningen kan fungere fugtteknisk korrekt. Dampspærren og dens tilbehørsmaterialer skal derfor have de nødvendige egenskaber, og disse skal være dokumenterede med en CE-mærkning. Her er levetiden især vigtig, da konstruktionen skal fungere i mange år.
Ved at anvende en systemløsning, hvor en given producents dampspærretype og tilbehør skal være afprøvet og afpasset til brug sammen, opnår man den mest sikre løsning. Materialerne er testet sammen og giver stor sikkerhed for lang levetid.
Anvendes der ikke en systemløsning, men en blanding af forskellige materialer fra forskellige leverandøres systemløsninger, har man ingen sikkerhed for at tætheden bevares gennem hele konstruktionens levetid. Ydermere er der risiko for, at en evt. garantiordning bortfalder.

Plastfolie (PE-folier) af Polyethylen

PE-folien er en plastfolie af Polyethylen, hvor plasten fungerer som den dampdiffusionstætte del. For at sikre god tæthed bør der anvendes PE-folie med en vis robusthed. Erfaringer viser, at robustheden opnås med høj træk- og sømstyrke og med en tykkelse på min. 0,20 mm. Der er dog i dag udviklet PE-folier med mindre tykkelse, der har samme robusthed (træk- og sømstyrke).
PE-folierne bliver produceret i tre kvaliteter:
Jomfrulige folier (ny ren PE), nyvarefolier (kombination af ren og regenereret PE) og genbrugsfolier (100% regenereret PE).

Billede 14. PE-folier. Lundgreen

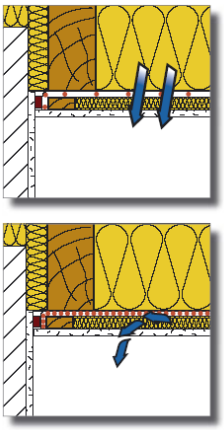
Overfladespænding. Praktiske erfaringer har vist at overfladespændingen på PE-folie bør være så høj som muligt, da det øger sikkerheden ved klæbning. En ubehandlet PE-folie har typisk en overfladespænding på 30-32 dyn/cm, mens PE-folier med en Coronabehandling har en overflade-spænding på 38 dyn/cm eller derover. Erfaringsmæssigt bør der vælges PE-folier, der er behandlede.

Aluminiumsbaseret dampspærre

Den aluminiumsbaserede dampspærre er opbygget med et tyndt aluminiumslag, der fungerer som det diffusionsbremsende lag. Aluminiumsdampspærren har en meget stor Z-værdi. Aluminiumslaget er limet på et bærelag. Dette kan være kraftpapir (alukraft), eller det kan være et armeringslag lamineret med plast. Igen er den ikke armerede udgave mere sårbar overfor mekanisk påvirkning end den armerede.

Fugtadaptiv dampspærre

Disse specialfolier er kendetegnet ved, at de både tillader konstruktionen at ånde og samtidig spærrer for damppassage ind i konstruktionen. Ved lav relativ luftfugtighed fungerer de som en egentlig dampspærre og modsat, ved høj relativ luftfugtighed tillader de, at fugt kan passere udefra og ind gennem folien. De fleste produkter er opbygget af et funktionslag, kombineret med et bærenet og et filtlag. Fordampningen styres af temperaturen i konstruktionen og påvirker dermed funktionslaget i produktet. Der er en række betingelser, der skal være opfyldt, for at en fugtadaptiv dampspærre virker. Det betyder også, at fugtadaptive dampspærre ikke kan anvendes i alle konstruktionstyper. Benyttes en fugtadaptiv dampspærre ved de forkerte forudsætninger, kan det resultere i problemer med fugt i konstruktionen. Fugtadaptive dampspærre bør kun anvendes i samråd med leverandøren eller i konstruktioner, hvor der er foretaget en fugtteknisk analyse.



Billede 15. Principskitse. Isover

Armeret dampspærre

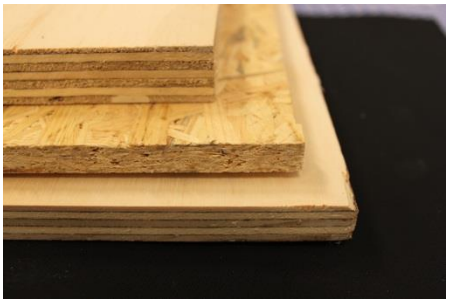
En armeret dampspærre er en dampspærre, hvori der er et armeringsnet som bærelag. Armeringsnettet er lavet af plast (nylon) og giver folien stor styrke. Den armerede dampspærre er opbygget i 3 lag, et fleece lag hvis egentlige funktion er, at man har noget at laminere op imod, et bærelag hvor armeringen ligger og et funktionslag, som er det lag der er diffusionstæt. Funktionslaget er en PP-plast (polypropylen). Z-værdien varierer meget fra produkt til produkt med de laveste Z-værdier på 50 til Z-værdier over 100. Armeret dampspærre kan med fordel anvendes i ventilerede væg- og tagkonstruktioner. Ved andre konstruktionstyper bør armeret dampspærre kun anvendes i samråd med leverandøren.

Dampbremse

Dampbremser virker ved at tillade minimal fugttransport, og gør det dermed muligt for konstruktionen at optage og afgive fugt. Der er en række betingelser, der skal være opfyldt, for at en dampbremse virker. Det betyder også, at dampbremser ikke kan anvendes i alle konstruktionstyper og bør kun anvendes i samråd med leverandøren eller i konstruktioner, hvor der er foretaget en fugtteknisk analyse.

Plademateriale

Ved plademateriale forstås krydsfiner, OSB-plader, gips eller lignende. Plademateriale anvendes især i lavenergihuse, hvor en stor tæthed ønskes. Fordelen ved at anvende plademateriale er robustheden, som beskytter mod utilsigtet gennembrydninger af tæthedsplanet under og efter opsætning. Plademateriale giver i øvrigt et godt underlag for tætning ved gennemføringer, som ventilation og elinstallationer.



Billede 16. Plademateriale af krydsfinér og OSB-plade. Lundgreen

Alle samlinger primes, fuges, klæbes eller tapes. Det kan være et problem at opnå tæthed i samlinger mellem plader og i overgangen til tilstødende materialer de skal derfor udføres med ekstra omhyggelighed.

Massivt træ

I mindre områder, fx lysninger i let byggeri, hvor der er er anvendt massivt træ, kan dampspærren undværes, da massivt træ er lufttæt og har en rimelig diffusionsmodstand.

Beton

Beton uden revner kan fungere som dampspærre. Ved betondæk, hvor dampspærren i ydervæggen eventuelt føres ud på dækket bør betonen kantslibes for at fjerne ujævnheder. Betonen bør ligeledes primes for at sikre en god og lufttæt samling.

Fugtspærre

En fugtspærre er normalt kraftigere og endnu tættere end dampspærren. Fugtspærre anvendes kun ned mod terræn(dæk) og skal sikre, at fugt fra jorden under huset ikke strømmer ind i bygningsdelene, f.eks. trægulvet og de nærliggende bygningsdele. Samtidig hindrer fugtspærren, hvis den monteres lufttæt, at gasser som radon siver op fra undergrunden og ind i boligen.

Tape

Det er ikke alle typer tape, der er lige velegnede til de dampspærre, som findes på markedet. Derfor er det vigtigt at sikre sig, at tape og dampspærre (systemløsning) kan bruges sammen, og at tapen også har en god klæbeevne på lang sigt. Tape leveres i flere varianter og bredder. De fleste producenter har som minimum en fleksibel og ufleksibel tape i deres tæthedssystem, hvor den ufleksible tape bruges ved alle regulære samlinger af dampspærren, og den fleksible fx bruges i hjørner.

Billede 17. Tape findes i mange varianter. Lundgreen

Tape bør have en bredde på minimum 50 mm, men gerne bredder på 60 – 80 mm, da det giver en større sikkerhed for en lufttæt samling.

Primer

Primer anbefales på alle sugende underlag fx ru træ, porrebeton, beton og generelt støvfyldte overflader for at sikre en vedvarende hæftning af samlinger og overgange.
Underlaget skal være tørt og bør eventuelt støvsuges inden primeren påføres.
Primeren bør påføres to gange for at sikre en optimal overflade af underlaget.

Billede 18. De fleste producenter har i dag primer i deres systemløsninger. Lundgreen

Billede 19. Primeren bør påføres to gange inden klæbning. Lundgreen

Klæbebånd

Klæbebånd kan bl.a. anvendes til at klæbe dampspærre til andre konstruktionsdele. I den forbindelse er det vigtigt at sikre, at produktet har de rette egenskaber, så det kan klæbe de forskellige materialer.
Skal klæbningen foregå på sugende underlag som fx ru træ, porrebeton, beton og generelt støvfyldte overflader bør underlaget være tørt og rengjort inden priming.

Billede 20. Oprullede klæbebånd. Lundgreen

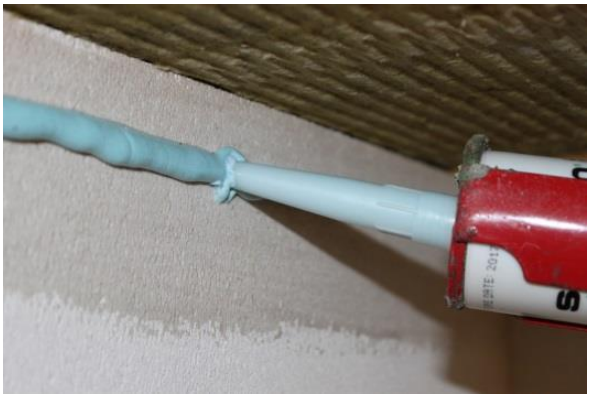
Manchetter

Til gennembrydning af dampspærre findes der specielle klæbemanchetter og klæbebånd til elkabler, ventilationskanaler mm.
Fælles for alle manchetter er, at der etableres et underlag af minimum 15 mm krydsfinér, hvor kabler, rør mv. bør fastgøres så der ikke opstår uønskede bevægelser i samlingen.

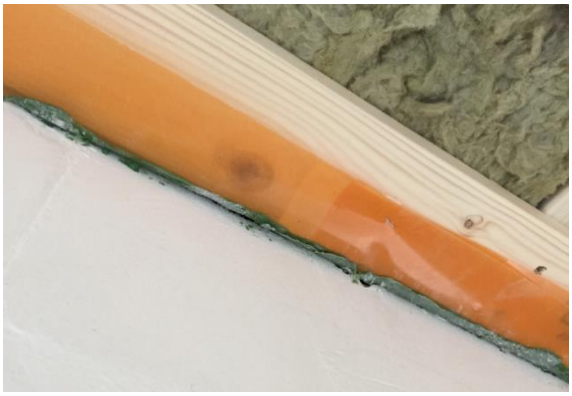
Billede 21. Der findes i dag manchetter til alle slags gennemføringer. Lundgreen

Fugemasser

Fugemasser bruges til at tætne fuger om blandt andet vinduer og døre samt i eventuelle elementsamlinger. Valg af fugemasse og udformning af fuger har stor betydning for bygningens tæthed.
Elastiske fugemasser, så som silikone eller PUR klæber ikke til plastfolier. Når de hærder, bliver de stive, og derved mindskes fleksibiliteten i damspærrens samlinger.
Plastiske fugemasser (folieklæbere) er oliebaserede og lavet af kunstharpiks og kan derfor anvendes, dog skal man være opmærksom på overfladespændingen på plastfolien, se afsnittet *Plastfolier* side 14. Folieklæberen påføres i en minimumstykkelse på 8 til 10 mm, hvorefter dampspærren trykkes let ind i folieklæberen. Der bør være 4-5 mm klæber mellem underlag og dampspærre for at sikre en langvarig og holdbar samling. Herefter monteres en klemmeliste når klæberen har opnået en vis fasthed (3 til 7 dage).
Folieklæber, egner sig ikke til vådrum eller i samlinger, der er under konstant påvirkning af fugt. Desuden egner, folieklæber sig ikke til bitumenholdige materialer fx ved fundamenter, hvor der mange gange anvendes bitumenpapper.



Billede 22. Påføring af folieklæber efter priming af underlag. Lundgreen



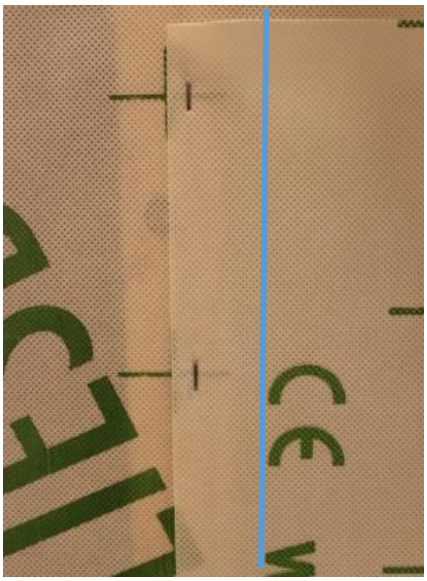
Billede 23. Underlaget er ikke primet og folieklæber slipper. Lundgreen

Montering

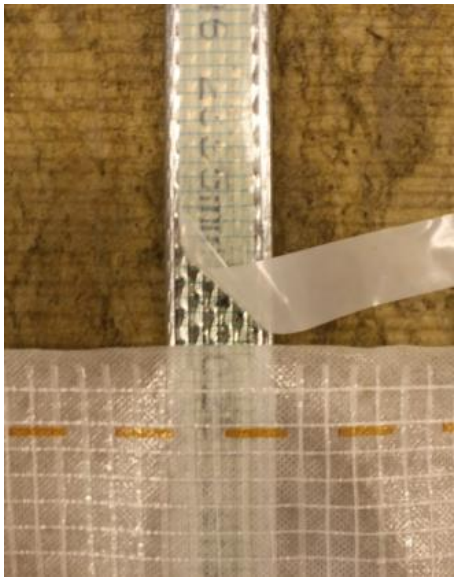
Som hovedregel, placeres dampspærren i helårshuse på den varme side af isoleringen, så der højst er 1/3 af den samlede isoleringstykkelse på den indvendige, varme side af dampspærren. Derved bliver dampspærren beskyttet mod beskadigelse fx fra montage af reoler, billeder og føring af tekniske installationer mm. Hvis dampspærren placeres længere ude i klimaskærmen, er det vigtigt at få foretaget en fugtteknisk vurdering, om dette er fugtteknisk forsvarligt.
Ny forskning (Materialeegenskaber BUILD 2020) har vist at dampspærre af PE-folie, har reduceret levetid afhængig af placeringen i konstruktionen. Rapporten indikerer at oxideringen af plasten accelererer afhængig af temperaturen. Ved en anvendelsestemperatur på 10 ^{0} C antages levetiden at være mere end 30 år og ved en anvendelsestemperatur på 20 ^{0} C er levetiden 15 år.
Det bør derfor tilstræbes at dampspærren placeres så tæt på 1/3's punktet som muligt.

Dampspærren bør opsættes på et sent tidspunkt, f.eks. umiddelbart før færdigisolering og opsætning af forskalling eller loftsplader. På den måde begrænses risikoen for skader mest muligt.
Dampspærren skal dog altid opsættes, før opvarmning påbegyndes, da byggefugt ellers kan trænge ud i konstruktionerne.
På træ og andet sømfast materiale opsættes dampspærren med korrosionsbestandige hæfteklammer. Det er bedst at bruge en regulerbar trykluftpistol eller en batterimaskine, så klammerne ikke bryder dampspærre af banematerialet. Tidligere håndholdte redskaber bør af samme grund ikke anvendes. Klammerne opsættes på en lige linje med max 100 mm afstand, da det herved øger styrken og dermed holdbarheden. På stålskelet opsættes dampspærren med dobbeltklæbende tape, evt. kan den klæbes med lim efter leverandørens anvisninger.

Billede 25. Trykluftpistol til sikker montage. Lundgreen



Billede 26. Hæfteklammer opsættes på en lige linje og med 100 mm afstand. Lundgreen



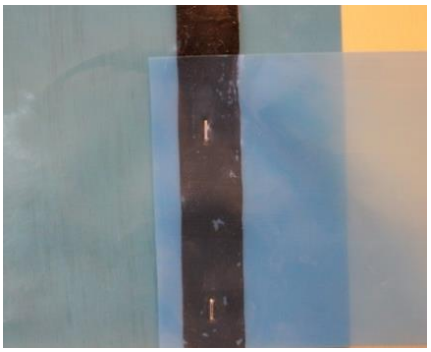
Billede 27. På stålskelet opsættes dampspærren med dobbeltklæbende tape. Lundgreen

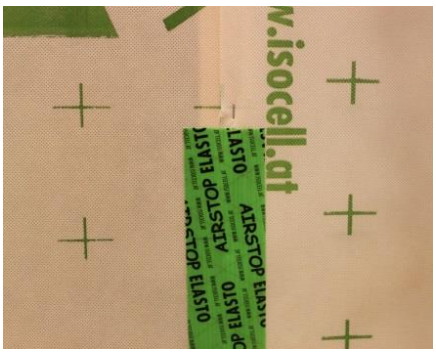
Samlinger

Alle samlinger skal udføres som tapede eller klæbede løsninger, så der opnås en sikker lufttæt løsning.
For at opnå en sikker og langvarig tæthed af en dampspærresamling, skal alle samlinger udføres over et underlag, fx spær, bjælke, stolpe eller pladestykke.
Samlinger udført i banevare bør have et overlæg på mindst 100 mm. men kan variere fra producent til producent.
Benyttes pladestykker som underlag for samlinger bør det minimum være en 15 mm krydsfiner.
Alle tapede samlinger bør trykkes efter monteringen, fx med en spartel eller nylonrulle. Dette gøres for at hjælpe tapen med at penetrere (indtrængning) ind i dampspærren.
Specielt dampspærre udført af PE-folie, med lav overfladespænding (30-32 dyn/cm), kan have svært ved at modtage tape, og skal derfor have ekstra opmærksomhed for at sikre en tæt og langvarig løsning.

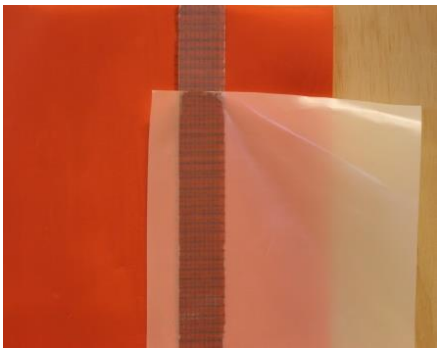
Billede 27. Montering af ufleksibel tape som efterfølgende trykkes. Lundgreen

Inden forskalling eller færdig plademontering bør alle samlinger i PE-folie trykkes en ekstra gang.
Det er også vigtigt, at samlinger af PE-folie straks klæbes, da materialet kan have en vis statisk elektricitet og "fanger" støvet i luften. Derved er overfladen forurenet og tapen har svært ved at "hugge til" PE-folien.


Billede 28. Klæbet samling med klæbebånd. Lundgreen



Billede 29. Tapet samling med fleksibel tape. Lundgreen


Billede 30. Klæbet samling med dobbeltklæbende tape. Lundgreen

Tilslutninger

Tilslutning til andre faste bygningsdele bør udføres med en ”fold” i dampspærren, der sikrer at de små bevægelser/deformationer, som kan opstå optages uden samlingen udsættes for trækbelastning.
Herefter kan samlingen udføres med tape, klæbebånd eller folieklæber.
Inden klæbning rengøres overfladen og primes, hvor klæbningen skal foregå.
Primingen bør påføres to gange for at sikre at støvet bindes i overfladen af materialet, herved sikres en optimal langvarig klæbning.

Billede 31. Tilslutning med ”fold”. Lundgreen

Gennemføringer

Gennemføringer i dampspærren kan tætnes med tape, klæbebånd eller manchetter. Der bør etableres underlag af 15 mm krydsfinér. Ved at etablere underlaget er det muligt at trykke samlingen med en spartel eller nylonrulle - derved opnås større sikkerhed for en god og langvarig lufttæt samling.

Billede 32. Gennemføring tætnet med manchet på underlag af 18 mm krydsfinér. Kablet er fastholdt til underlaget. Lundgreen

Vindues- og dørelementer

Der findes flere forskellige løsninger til at sikre tætheden omkring vindues- og dørelementer.
Mange producenter har i deres tæthedssystem specielle lysningskraver, som kan monteres før isætning af elementerne eller efterfølgende. Lysningskraver, der monteres før isætning giver den tætteste løsning.
Lysningskraven monteres et stykke inde på karmen med den påmonterede tape og fastgøres herefter med klammer pr. 100 mm. Samlingen kan yderligere sikres med ekstra tape eller andet klæbemiddel. I alle hjørner udføres en ”fold”, som skal sikre at kraven kan fange dampspærren i den tilstødende bygningsdel.

Dampspærren i væggen kan alternativ løbe ud forbi elementerne og føres bag ved karmen. Overgangen mellem dampspærren og karmen lukkes med en fugeløsning. Hvis dampspærren er udført af en PE-folie skal fugemassen være af plastiske fugemasser (folieklæber) da de er oliebaserede

Billede 33 Dampspærre ført bag ved vinduet og fuget indvendigt. Lundgreen

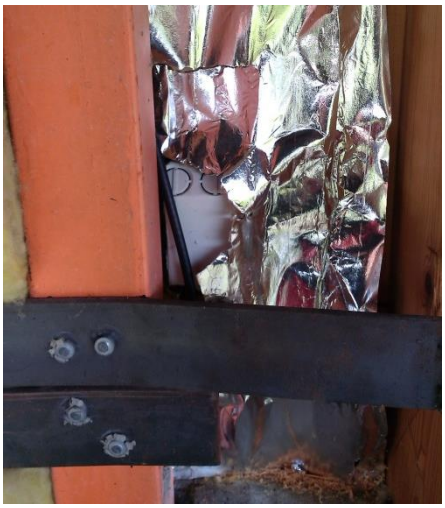
Billede 34. Vindueshjørne med ”fold”. Lundgreen

Generelt

Forundersøgelse

Ældre boliger har normalt mange utætheder. Inden efterisoleringen fortages af ydervægge skal det undersøges om konstruktionen har en dampspærre, og om den er intakt. Det kan være vanskeligt, ved visuel kontrol at afgøre om en eksisterende dampspærre er luft- og damptæt. Derfor bør der foretages en grundig undersøgelse, hvor det med sikkerhed kan afgøres, om den eksisterende dampspærre er intakt.
Undersøgelsen bør omfatte følgende fokuspunkter:

- Samlinger mellem dampspærrebanerne
- Samlinger til tilstødende konstruktionsdele
- Gennemføringer ved installationer, skorstene mm
- Perforering af dampspærren af søm og skruer.



Billede 35. Eksisterende utæt dampspærre. Lundgreen

Utæthederne kan også lokaliseres ved en lufttæthedsmåling suppleret med en termografering. Ved denne undersøgelse kan det afgøres sikkert, om en eventuel eksisterende dampspærre er intakt. En sidegevinst er yderligere, at der ved testen dannes et overblik over hvor utæt klimaskærmen er, og hvor utætheder findes.
Det er ikke altid nødvendigt at fjerne den eksisterende dampspærre i konstruktionen, det skal dog sikres at den nye dampspærre højst bliver placeret 1/3 inde i isoleringslaget. Herved er den eksisterende utætte dampspærre, og den nye tætte dampspærre placerede korrekt og der vil ikke ske en kondensering af fugt da begge ligger på et sikkert fugtteknisk sted i konstruktionen.

Rengøring af overflader

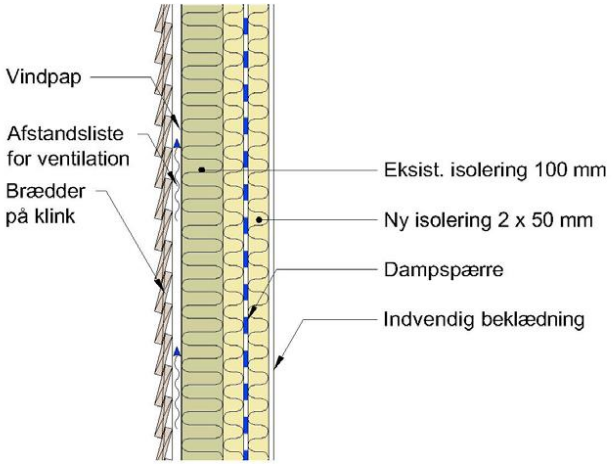
Ved renoveringer, hvor den nye dampspærre mange gange skal tætnes mod gammelt tømmer mm, anbefales det at alle overflader børstes af med en kost eller støvsuges for gammelt støv og andre urenheder. Herefter skal overfladen primes for at sikre en langvarig sikker tætning.

Billede 36. Støvsugning af overfladen før priming og tætning. Lundgreen

Lette ydervægge

Dampspærre indefra

Eksisterende beklædning fjernes, og det vurderes om en eventuelt eksisterende dampspærre kan bibeholdes. Er dampspærren ikke intakt, eller efter opbygning af nyt underlag kommer til at ligge længere ude i konstruktionen end 1/3 af isoleringstykkelsen, skal dampspærre fjernes og erstattes af en ny.

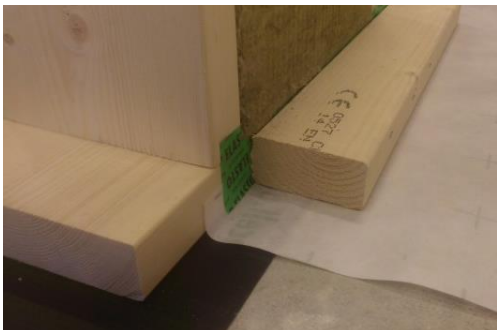


Billede 37. Indvendig efterisolering af let ydervæg. veb.teknologisk.dk

Ved montering af ny dampspærre på træ og andet sømfast materiale opsættes dampspærren med korrosionsbestandige hæfteklammer. Det er bedst at bruge en regulerbar trykluftpistol, så klammerne ikke bryder dampspærre af banematerialе.
Klammerne opsættes på en lige linje med max 100 mm afstand, da det herved øger styrken og dermed holdbarheden.
På stålskelet opsættes dampspærren med dobbeltklæbende tape, evt. kan den klæbes med lim efter leverandørens anvisninger.
For at opnå en sikker og langvarig tæthed af en dampspærresamling, skal alle samlinger udføres over et underlag. Samlinger udført i banevare bør have et overlæg på mindst 100 mm.
Benyttes pladestykker som underlag for samlinger, bør det minimum være en 15 mm krydsfiner.
Alle tapede samlinger bør trykkes efter monteringen, fx med en spartel eller nylonrulle.

Hvis der er elinstallationer i den væg, der efterisoleres, skal disse flyttes med indad i rummet. Elinstallationer bør placeres på indersiden af væggen for ikke at ødelægge dampspærren. Hvis de indbygges, skal monteringsdåserne være lufttætte og samles lufttæt med dampspærren.

Det er vigtigt at dampspærren slutter tæt til tilstødende konstruktioner, ellers kan der strømme fugttig luft ud i den kolde konstruktion og kondensere.
Eksempelvis skal dampspærren sluttes tæt til ydervægges bundrem. Bundremmen i den eksisterende væg rengøres og primes. En 300 mm bred dampspærrebane bukkes op af bundremmen og samlingen tætnes og klemmes med den nye vægs bundrem.
Samme løsning kan anvendes, når dampspærren afsluttes ved loftet og tilstødende konstruktioner. Herefter monteres dampspærren på resten af væggen.

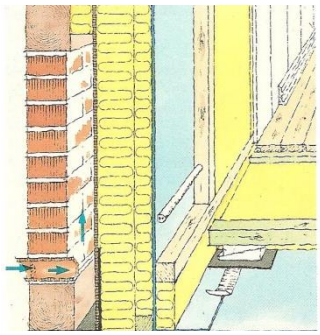


Billede 38. En 300 mm bred dampspærrebane slutter tæt til ydervæggens bundrem. Lundgreen

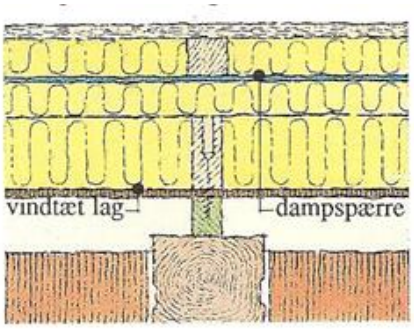
Billede 39. Dampspærrebanen er ført op af den nye vægkonstruktion. Lundgreen

Bindingsværk

Hvis et bindingsværkshus anvendes til beboelse, er det ofte nødvendigt at varmeisolere ydervæggene, hvilket i sagen natur altid sker indvendigt fra.
Gammel beklædning og isolering fjernes, og ydervæggen renses ind til tømmer og tavl. Herefter etableres ventilationsåbninger ved syld og lejde, og vindspærre opsættes på et fugtbestandigt underlag af fx trykimprægneret træ. Herefter monteres vindspærren og der opsættes underlag til indvendig væg. Dampspærren monteres så der højst er 1/3 af den samlede isoleringstykkelse på den indvendige, varme side af dampspærren. Derved bliver dampspærren beskyttet mod beskadigelse fx fra montage af reoler, billeder og føring af tekniske installationer mm.
Dampspærren i ydervæggen føres ned og tætnes med fugtspærren i gulvet og tilstødende konstruktioner, ellers kan der strømme fugttig luft ud i den kolde konstruktion og kondensere.



Billede 40. Dampspærren i ydervæggen er ført ned og tætnes med fugtspærren i gulvet. Ulf Vejlby



Billede 41. Vandret snit i isoleret ydervæg. Ulf Vejlby

Dampspærre udefra

I de følgende er anvendt dampspærre med en Z-værdi på mindst 50 GPa.s m^2/kg.
Eksisterende udvendig beklædning og gammel isolering fjernes, og det vurderes om en eventuelt eksisterende dampspærre kan bibeholdes. Er dampspærre ikke intakt, eller kommer den til at ligge længere ude i konstruktionen end 1/3 af isoleringstykkelsen, skal dampspærre fjernes og erstattes af en ny.
Ved ny dampspærre monteres en 25 - 45 mm hård isoleringsplade mellem de eksisterende stolper, remme og løsholter. Isoleringen skal beskytte den nye dampspærre mod fx gennemgående søm og skruer.
Alt træ rengøres og primes, og herefter monteres dampspærren og strammes op på siden af stolper, remme og løsholter. Dampspærren føres minimum 50 mm ud på konstruktionsdelene og klæbes hertil.
Samlingen kan yderligere sikres ved at montere en klemmeliste.

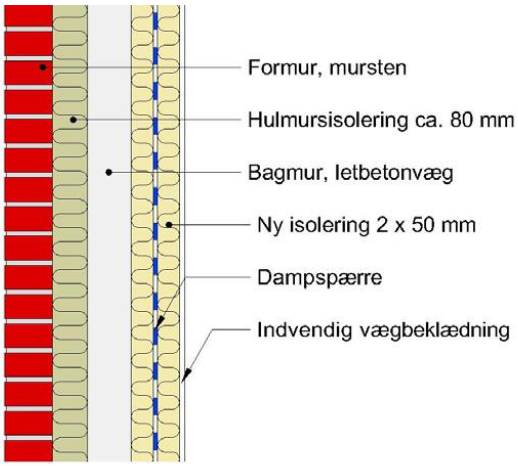
I det følgende afsnit er der anvendt dampspærre med en fleksibel Z-værdi. (Fugtadaptiv dampspærre)
Der monteres en 25 - 45 mm hård isoleringsplade mellem de eksisterende stolper, remme og løsholter. Isoleringen skal beskytte den nye dampspærre mod fx gennemgående søm og skruer. Dampspærren anbringes på isoleringspladen og herefter føres den over stolper, remme og løsholter. Dampspærren strammes op og fastholdes med fx strimler af masonit.

Billede 42. Montering af fugtadaptiv dampspærre. Isover

Tunge ydervægge

Dampspærre indefra

I forbindelse med indvendig efterisolering af tunge ydervægge udført i enten massive eller hule mure opsættes en ny forsatsvæg. Det er meget afgørende, at dampspærren udføres med stor omhu. Specielt ved hjørner og mod væg, loft og gulv skal der fokus på, at dampspærren udføres lufttæt. Utætheder i dampspærren kan betyde stor fugtophopning i konstruktionen, der kan medføre skimmelsvamp og eventuelt nedbrydning af konstruktionen.
Forsatsvæggen kan opsættes som en friholdt skeletkonstruktion af fx træ eller stålprofiler. Ved at friholde forsatsvæggen fra den eksisterende konstruktion kan ujævnheder udlignes.



Billede 43. Indvendig efterisolering af tung ydervæg. veb.teknologisk.dk

Den eksisterende vægkonstruktionen renses for gammelt tapet og anden organisk materiale.
Hvis der er elinstallationer i den eksisterende væg, skal disse flyttes med indad i rummet eller placeres i tilstødende vægge. Hvis de indbygges i den nye forsatsvæg, skal monteringsdåserne være lufttætte og samlet lufttæt med dampspærren.

Billede 44. Skimmelsvamp på eksisterende ydervæg grundet forkert monteret dampspærre i ny forsatsvæg. Lundgreen

Ved gulv, loft og væg skal dampspærren tætnes til den eksisterende konstruktion for at forhindre varm fugtig luft at komme ud på den kolde ydervæg og kondensere.
Hvor dampspærren tætnes rengøres væggen og primes. Herefter monteres et stykke dampspærre, som føres 50 mm ind på den eksisterende vægkonstruktion og tætnes hertil.
Ved hjørner samles dampspærrebanerne med hinanden og tætnes. Herefter monteres skelettet til forsatsvæggen. Dampspærrebanerne bukkes op og ud på skeletkonstruktionen og fastgøres til forsatsvæggen. Dampspærren opsættes på resten af forsatsvæggen, og samlingerne tætnes.

Billede 45. Forsatsvæg af stål. Dampspærren er ført ind på den eksisterende ydervæg og tætnet hertil. Lundgreen

Billede 46. Indvendigt hjørne hvor dampspærren mødes udføres de nødvendige snit og tætnes. Lundgreen

I forbindelse med indvendig efterisolering af tunge ydervægge udført i enten massive eller hule mure, og hvor de eksisterende vindues- og dørelementer bibeholdes, skal lysningen også efterisoleres for at reducere kuldebroen.
Tætningen kan udføres ved at montere en liste, som fuges ind til den eksisterende karm.
Dampspærren føres fra væggen ud i lysningen, og tætnes til listen.

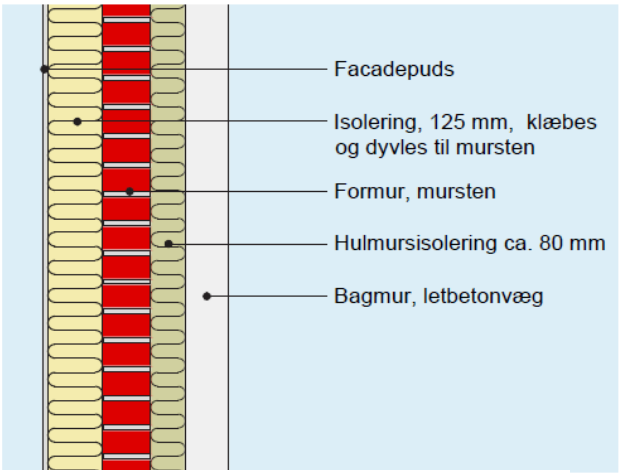
Billede 47. Liste monteret ved element og fuget. Lundgreen

Billede 48. Dampspærren ført rundt om hjørnet og ind på listen hvor den tætnes. Lundgreen.

Dampspærre udefra

Det er som regel ikke nødvendigt at opsætte dampspærre i tunge konstruktioner, hvor væggene er fremstillet af uorganiske materialer som letbeton eller murværk. Konstruktionen er så damptæt, at den selv kan fungere som dampspærre, også selv om diffusionsmodstanden er lille, under 50 GPa s m^2/kg. Til gængæld skal konstruktionen være lufttæt. Dette sikres med tætte samlinger mellem bygningsdelene og ved at tætne alle gennembrydninger inden, det videre efterisoleringsarbejde forsætter.

Der findes flere systemløsninger på markedet til udvendig efterisolering af tunge ydervægge.
Det drejer sig om færdige pakkeløsninger med alt fra sokkelisolering til de beslag, som benyttes ved montering af vindues- og dørelementer og andre 'løse' bygningskomponenter.
Systemerne er opbygget ud fra, at den eksisterende dampspærre (bagmur) i konstruktionen bibeholdes / genoprettes.



Billede 49. Principtegning, udvendig efterisolering af tung ydervæg. veb.teknologisk.dk

Billede 50. Udvendig efterisolering af tung ydervæg. Isover

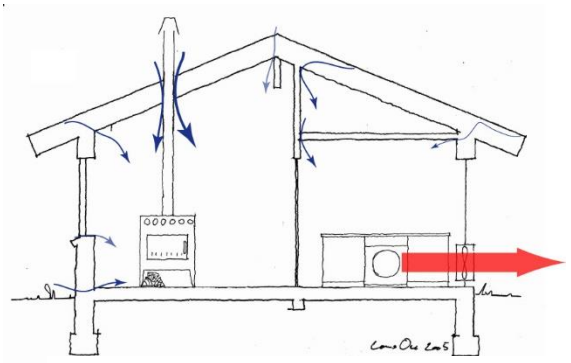
Tæthedsprøvning

Tæthedskrav

Som tidligere nævnt stilles der i dag ifølge bygningsreglementet krav til tætheden i vores bygninger. En bygnings tæthed afhænger af at alle parter er opmærksomme på at bygningen bliver udført tæt. I projektering og den overordnede styring af byggeriet er det derfor meget vigtigt at vide, hvem der skal søge for, at tætheden hele tiden reetableres, så den projekterede tæthed også er til stede ved det færdige byggeri.

Tæthedskrav og renovering

Ved facaderenovering kan det være vanskeligt at opnå den samme lufttæthed som i nybyggeri, men ved omhyggelig projektering og ikke mindst udførelse af tæthedsplanet kan der opnås øget lufttæthed. Den øgede lufttæthed afhænger af renoveringens omfang og hvilke konstruktioner det omfatter



Billede 51. Princip af trykprøvning. Isolink

Blower Door

Ved måling af lufttætheden i en bygning monteres en ventilator (Blower) i en af husets udvendige døre. Blæseren/ventilatoren er styret af en pc som måler trykforskellen mellem ude og inde og dermed kan styre tryk i boligen og hastighed på ventilatoren.
Inden man foretager målingen skal alle friskluftventiler og aftrækskanaler der indgår i huset ventilationssystem forsegles.
Blower Door er et system, hvor styringen via pc'en er sat op således at testen følger den europæiske standard for området DS/EN 13 829.
Ved målingen skal der foreligge stueplan, facadetegninger, fundamentplan samt snittegning

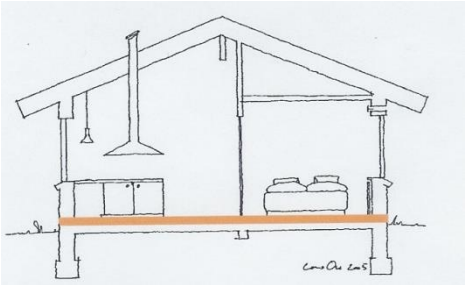
Billede 52. Blower Door. Isolink

Blower Door og renovering

Ved måling af lufttætheden i en hel eller delvis renovering kan der udføres en 2-zone test. Med en 2-zone test kan bidrag fra ikke – renoverede bygninger, hvor fx tagetagen er urørt – elimineres ved anvendelse af to ventilatorer, som kører samtidig. Med samme tryk i stueetagen og tagetagen er der ingen trykfald over etagedækket.
Herved elimineres eventuelle bidrag fra tagetagen, således at kun måledata fra stueetagen ventilator benyttes ved målingen.

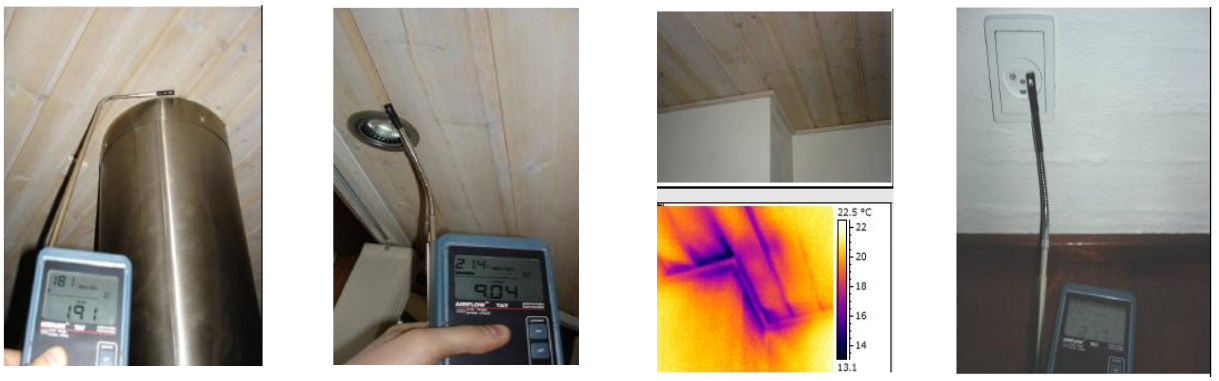
Danske erfaringer

De tæthedsprøvninger der er foretaget herhjemme er udført på nyopførte bygninger udført i en god håndværksmæssig kvalitet, men med fokus på tæthed som før den nuværende lovgivning.
Nedenstående liste viser, hvor der indenfor småhuse er problemer.



Billede 53. Det danske krav er defineret efter bruttoetagearealet. Isolink

- Det absolut største problemområde er installationer der gennembryder dampspærren i loft.
- Halogenspot bliver ofte opsat uden den såkaldte safebox. Hvis der bare bliver boret et hul op i isoleringen, er det selvfølgeligt ikke tæt. (er der anvendt safebox, er halogeninstallationen tæt).
- Stålskorstene giver anledning til betydelige luftstrømme pga. afstandskrav til brandbart materiale, som bevirker at det er svært at få effektiv tætning
- Særligt i det tunge byggeri giver samlingen mellem loft og væg store utætheder.
- I tungt byggeri ses det ofte at alle elinstallationer trækkes igennem bagmur og videre i hulmur til el-tavlen. Denne praksis giver mange huller i tæthedsplanet.
- Installationer (emhætte mm.) udføres ofte uden nogen former for tætning omkring røret.
- Der er ofte ikke lavet en egentlig tætning ved lysning i dør- og vinduesåbninger i let byggeri.
- Det kan konstateres at den almindelig forekommende fundamentsløsning med fundablokke næsten altid giver anledning til luftstrømme.
- Friskluftventiler udføres ofte uden nogen form for tætning.
- Bjælkelag i etageadskillelser er i dag ofte udført uden nogen former for tætning i bjælkelaget.



Billede 54. Vindmåleren viser store udslag når samlinger i dampspærren ikke bliver udført korrekt. Isolink

Termografering

Hvordan bruges termografering

Termografering er en metode til at afsløre kuldebroer, utætheder og varmespild. Man opnår en varmeteknisk kortlægning af overfladetemperaturer af f. eks. bygningsflader/-konstruktioner og får hurtigt et overblik over, hvor der optræder svagheder i klimaskærmen. Nærmere undersøgelser kan herefter målrettes til disse steder. Termograferingen kan udføres indvendigt og udvendigt:

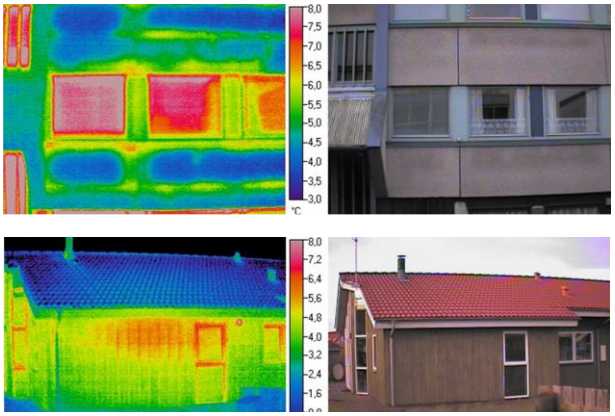
Indvendigt til kontrol af eventuel tilstedeværelse af luftlækager og kuldebroer med kondensrisiko. Her scannes typisk:
- Ydervægge
- Lofter
- Vinduespartier
- Samlinger omkring loft/vægge og vægge/gulve

Udvendigt typisk til kontrol af isoleringstilstanden i ydervægge. Her scannes typisk:
- Tagflader, kviste og gavltrekanter (såfremt loftetagen er udnyttet og opvarmet)
- Ydermure – specielt partier omkring vinduer, etageadskillelse og fundamenter

Endvidere vil en indvendig termografering ofte foretages i forbindelse med en tæthedstest, hvor der ved undertryk i bygningen ledes efter utætheder.

Hvad viser billederne?

Termografiudstyr måler infrarød stråling, som omsættes til overfladetemperaturer. Der dannes billeder (termogrammer), som vises på en monitor, og som kan gengives elektronisk eller på papir.
Som støtte og supplement til termografibilleder bør der normalt også tages almindelige digitale fotos til brug for identifikation af, hvor termogrammerne er taget.
Eksempler på forhold, der kan vises ved hjælp af termogrammer:
- Kuldebroer i konstruktionen
- Utætheder i konstruktionen
- Svagheder i konstruktionssamlinger
- Mangelfuld isolering
- Fejl eller dårligt udført isoleringsarbejde
- Kontrol af efterisoleringsarbejders kvalitet



Billede 55. Store kuldebroer afsløres ved termografering. Isolink

Ovenstående forhold er "afsløringer," som alle i større eller mindre grad er årsag til varmetab/ varmespild/trækgener gennem klimaskærmen. Men det er ikke umiddelbart muligt kvantitativt at udtrykke eller omsætte de kortlagte temperaturniveauer på bygningsoverfladerne til f.eks. varmetab i kWh/m^2.

Visuel besigtigelse

Det er sjældent tilstrækkeligt kun at tage termografibilleder af klimaskærmen og udlede, at der optræder nogle kuldebroer eller utætheder. Det får bygningsejeren ikke megen nytte af. En termografisk undersøgelse bør normalt altid på stedet følges op af en visuel besigtigelse og nærmere undersøgelse i de dele af konstruktionen, hvor termograferingen har registreret fejl, mangler, utætheder o. lign. Igennem den visuelle undersøgelse, der eventuelt kan suppleres med en detailinspektion med et teknoskop eller direkte fysisk indgreb og med fotodokumentation, søges klarlagt og synliggjort, hvad der mere præcist er årsag til betydende temperaturforskelle og væsentligt varmetab.
Den visuelle besigtigelse skal bidrage til, at bygningsejeren får en mere præcis information om og forslag til, hvilke mulige afhjælpende foranstaltninger og indgreb, der kan anbefales iværksat for at eliminere eller begrænse varmetabet gennem klimaskærmen.

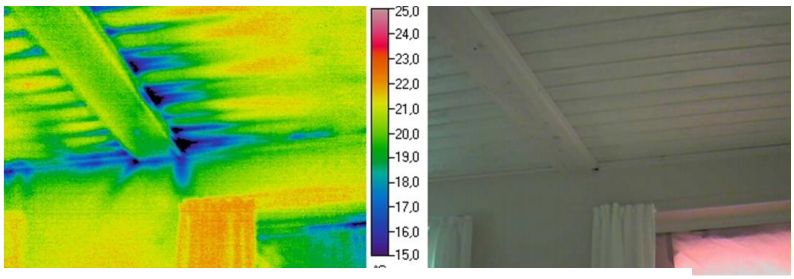
Hvad kræves for en vellykket termografering?

Termografiundersøgelser af bygninger anbefales udført efter:
DS/EN 13187 Bygningers termiske ydeevne – kvalitativ sporing af termiske uregelmæssigheder i en bygnings klimaskærm – Infrarød metode

Det kræver en del ekspertise og erfaring at arbejde med bygningstermografering - specifikt at tolke termografibillederne korrekt set i forhold til at analysere og vurdere fejl og mangler i såvel de synlige bygningsdele som i de bagvedliggende, skjulte bygningskonstruktioner. Der drages ofte usikre og fejlagtige konklusioner med det resultat, at bygningsejeren ikke får den professionelle, sagkyndige bistand og rapportering, han forventer og har krav på, og som beskriver forslag til afhjælpning af kuldebroer, utætheder og varmetab.

For gennemførelse af en bygningstermografering kræves:

- Normalt en temperaturforskel mellem ude og inde på ca. 10 °C. Den bedste periode af året at udføre bygningstermografering på er derfor ca. fra oktober til april/maj.
  En tilstrækkelig temperaturforskel kan i andre perioder opnås ved opvarmning af bygningen til en højere temperatur, og ved termografering om natten eller tidlig morgen.



Billede 56. Temperaturforskelle afslører kuldebroer. Isolink

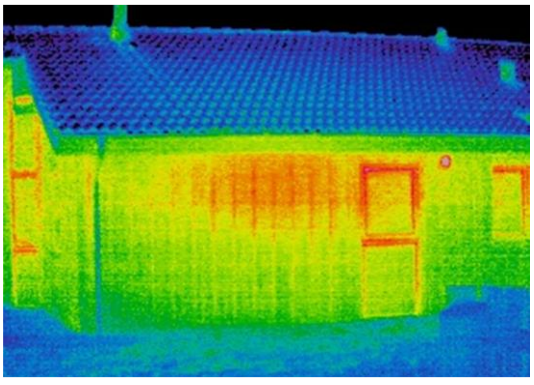
- At termografiudstyret ved almindelig bygningstermografering ikke er indstillet til en skalering på et for lille temperaturinterval (range), idet det vil kunne afsløre selv meget små temperaturforskelle, som er kuldebros og varmetabsmæssigt ganske betydningsløse.
  Ofte vil det være anvendeligt at indstille temperaturintervallet, så det dækker den højeset og laveste temperatur på det objekt, man vil termografere.

En professionel termografioperatør bør have en god byggeteknisk viden og erfaring i at kunne besigtige, gennemgå og undersøge bygninger/bygningskonstruktioner og via disse metoder kunne uddrage og dokumentere fundne fejl, mangler, årsagssammenhænge og beskrive forslag til afhjælpning.
En bygningstermografering kan aftales gennemført som en total undersøgelse. Det vil sige baseret på både en udvendig og indvendig termografering, nærmere besigtigelse og undersøgelse samt rapportering. Bygningstermograferingen kan naturligvis også aftales gennemført som en delundersøgelse af en mindre bygnings- eller konstruktionsdel og resultatet kan gives på stedet.
Ved termografering er det vigtigt at kunne skelne mellem de såkaldte konstruktionsbetingede kuldebroer (bjælker/beslag, massiv udmuring, elementsamlinger o. lign.) og kuldebroer, der er en konsekvens af fejl og mangler i udførelsen eller påført senere.

Hvad skal en rapport indeholde?

I de fleste tilfælde vil det være en fordel for bygningsejeren/brugeren, at resultatet af en termografiundersøgelse følges op af en nærmere visuel besigtigelse og undersøgelse og dokumenteres i en rapport, der beskriver:

- Baggrunden for termografiundersøgelsen
- Kort beskrivelse af bygningen (klimaskærmen/bygningskonstruktionen)
- Alder, areal og anvendelse (evt. energiforbrug og antal brugere)
- Vejrlig (ude- og indetemperatur og vindforhold)
- Termografidataindstilling
- Termografibilleder i farver – tolkning, analyse, vurdering og konklusion
- Resultater af visuelle undersøgelser
- Forslag til afhjælpende foranstaltninger
- Samlet konklusion



Billede 57. Termografering af facade. Isolink