



Muret byggeri og indeklima

By og Byg Notat

Resultater fra et
pilotprojekt

Energi og indeklima
Lars Gunnarsen

Juni 2003
Journal nr. 432-18

Indhold

Undersøgelsens formål	2
Temperatur	5
Fugtighed	6
Luftkvalitet	7
Lys	10
Lyd	11
Litteratur	12

Formål

Formålet med nærværende notat er først og fremmest at belyse, hvilken betydning teglvægge har for fugtforhold og luftkvalitet i boliger. Endvidere gennemgås den eventuelle betydning af indervægge af tegl for forhold som temperatur, lyd og lys, der er med til at beskrive påvirkningen af mennesker i bygninger. Notatet er baseret på tilgængelig litteratur. Et yderligere formål er at afdække eventuelle forskningsbehov i tilknytning til muret byggeri og indeklima.

Baggrund

I Danmark tilbringes 80-90% af tiden inden døre. Påvirkningerne i indeklimaet kan derfor være af stor betydning for befolkningens sundhed og velvære. De eventuelt sundhedsskadelige påvirkninger, der hyppigst findes i indeklimaet, er oftest svagere end det, der fx kendes som grænseværdier i arbejdsmiljøet. Traditionel toksikologi giver derfor sjældent svaret på, om en påvirkning i indeklimaet er uønsket. Blandt de påvirkninger, der giver anledning til mest sygdom eller flest gener i boliger, hører radon, passiv rygning, fugt og vandskader, partikler fra trafikken, husstøvmider og andre allergenkilder, støj, temperaturforhold samt luftforurening fra materialer og aktiviteter i og omkring boligen.

Det er muligt, at en del af årsagerne til den kraftigt stigende forekomst af allergi skal søges i forhold ved indeklimaet. Der vides dog ikke meget sikkert om miljøets betydning for udviklingen af allergi. Når det gælder mulighederne for at reducere generne og medicinforbruget blandt de 20-30% af befolkningen, som har allergi, er der god grund til at anbefale at reducere forekomsten af allergener i disse allergikeres miljø. Allergenkilder i indeklimaet omfatter husstøvmider, vækst af skimmelsvampe og pelsbærende kæledyr. Derudover kan en række allergener, herunder pollen trænge ind i bygningerne med ventilationsluften.



Figur 1. Liste over de vigtigste påvirkninger af mennesker inden døre, der skyldes forhold ved bygningen.

Mennesker indånder mere luft, end de i øvrigt indtager som mad og væske. På den baggrund er det oplagt, at de mest sundhedsskadelige påvirkninger inden døre er knyttet til indeluftens kvalitet. Luftforurening tilføres indeluften fra byggevarer, mennesker, aktiviteter og fra udeluften. Bortskaffelsen sker via udeluftskiftet, deponering på indre overflader og diffusion gennem klimaskærmen. Klimaskærmens konstruktion og beskaffenhed kan være afgørende for deponeringen og diffusionen af luftforurening.

Bygningsreglementet har bestemmelser om varmeisolering, fugtforhold, lyd og lys. Der er dog kun få specifikke bestemmelser om afgivelsen af forurening fra byggevarer, og om klimaskærmens gennemtrængelighed over for forureninger. Til undtagelserne hører bestemmelser om spånpladers afgivelse af formaldehyd og reglen om, at bygninger skal udføres, så radon fra undergrunden ikke kan trænge ind.

Afgivelse af forurening fra byggevarer kan skyldes kemikalier, der indgår som egentlige bestanddele, eller kemikalier, der indgår som forurening af byggevaren. Emissionen kan også skyldes, at byggevaren tidligere har været udsat for høje forureningsniveauer, hvorunder en del af forureningen er trængt ind i byggevaren. Sådant absorberet forurening vil senere kunne afgives, når koncentrationen i omgivelserne er lavere.

Mange mennesker har en tro på, at diffusionsåbne byggevarer virker positivt på luftkvaliteten inden døre. "Som at bo i en osteklokke eller i en plastpose" er udsagn, som beboerne ofte fremsætter, når luften i deres bolig er dårlig. Ofte kædes sådanne udsagn sammen med klimaskærmens materialer eller konstruktion, fx: "Sådan er det at bo i betonbygninger", eller: "Det er fordi, der er dampspærre i væggene". Der foreligger dog ikke noget videnskabeligt bevis for, at der er en sådan sammenhæng mellem klimaskærmens opbygning og luftkvaliteten inden døre.

Tegl er brændt mineralsk produkt med uhyre lille egenforurening og attraktive diffusionsegenskaber i forhold til flere andre materialer til brug i klimaskærmen. Emissionen fra andre gode byggevarer vil dog typisk også være lav i forhold til typiske ventilationsrater. Betydningen af diffusionsegenskaberne gennemgås under "Fugtighed" og "Luftkvalitet" senere i notatet.

I forbindelse med flere af de efterfølgende vurderinger er følgende vægtyper sammenlignet.

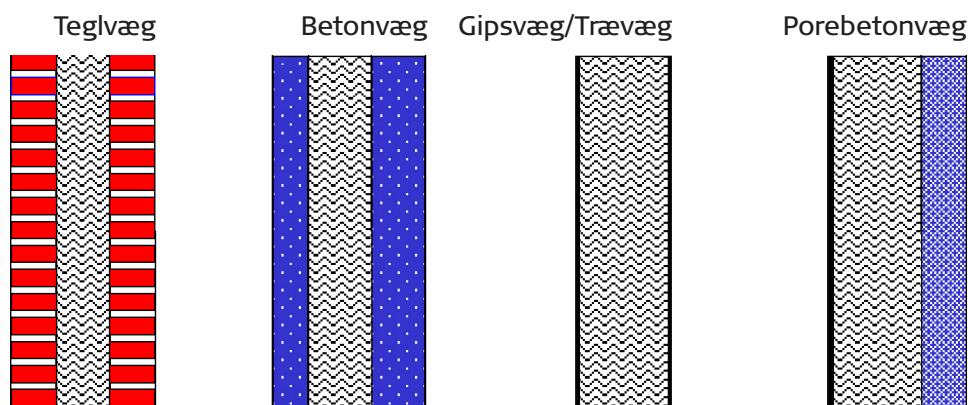
Teglvæg. Muret væg med tegl i formur og bagmur og hulrum på 125 mm med mineraluld.

Betonvæg. Forplade af 70 mm beton, 145 mm mineraluld og bagplade af 125 mm beton.

Gipsvæg. Udvendig pladebeklædning, 200 mm mineraluld, dampspærre og indvendig gipsplade på 13 mm.

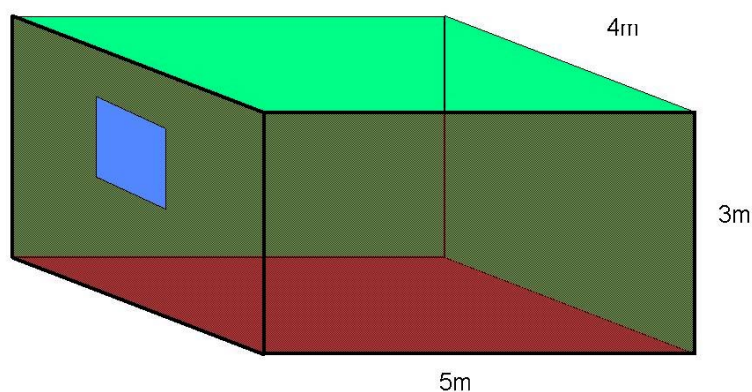
Trævæg. Opbygget som gipsvæg, men med træ i stedet for gipsplader.

Porebetonvæg. Udvendig pladebeklædning, 200 mm mineraluld, indvendigt 100 mm porebeton.



Figur 2. Skematisk tegning af de analyserede vægtyper.

For at kunne lave sammenligninger mellem betydningen af ventilation og forhold ved væggene er tænkt opbygget et modelrum på $4 \times 5 \text{ m}^2$ med en højde på 3 m. Væggene er opbygget, som ovenfor vist, og gulv og loft er fiktivt tænkt opbygget, så de ikke påvirker de behandlede forhold. Væggene har et samlet areal på 54 m^2 , og rummets areal og volumen er henholdsvis 20 m^2 og 60 m^3 . Sådan et rum opbygges sjældent udelukkende af ydervægge, og indervægge har ofte mindre betydning for de undersøgte parametre end ydervæggene. Men størrelsesordenen af de vurderede forhold påvirkes typisk ofte også af materialer i væg og loft, så forskellene mellem vægtyperne tydeliggøres i regneeksemplerne, uden at størrelsesordenen af effekterne er meget overdrevet. Modelrummet er skematisk vist i Figur 3.



Figur 3. Skematisk tegning af modelrummet.

Temperatur

Kontrol over temperaturen i bygninger opleves af mange som den vigtigste forskel mellem ude- og indeklimaet. Opretholdelse af en komfortabel temperatur sker ved varmeinstallationer med passende styring og varmeudfyldelse. Væggene skal have tilstrækkelig varmeisolering. Vægge i byggeri, der opfylder bygningsreglementet, har normalt god isolering, der er ca. 10 gange bedre end for traditionelle termoruder. Det kan i mange tilfælde give mere stabile temperaturer, hvis væggene indenfor isoleringen har stor varmeakkumuleringsevne. Den væsentligste forskel mellem de forskellige vægtyper i nutidigt byggeri vil ofte være størrelsen af varmeakkumuleringen i indervæggen. I Tabel 1 vises varmekapaciteten for de fire vægeksempler.

Tabel 1. Indervæggens vægt og varmekapacitet.

	Densitet kg/m ³	Varmefylde J/kg K	Vægt kg/m ²	Varmekapacitet kJ/m ² K
Tegl, massive	1900	1000	200	200
Tegl, højporøse	1200	1000	130	130
Beton	2400	800	300	240
Gips/træ	1000	1000	13	13
Porebeton	625	1000	63	63

Det kan beregnes, at luften i modelrummet har en samlet varmekapacitet på ca. 72 kJ/K. Antages rummet at være opbygget af vægge som ovenfor og med et vægareal på 54 m², kan det beregnes, at varmekapaciteten i væggene er fra ca. 10 til 180 gange over varmekapaciteten i luften.

Væggens varmekapacitet medfører, at hvis de tilføres 30W/m² gulv, hvilket svarer til et typisk varmeanlægs ydelse, vil det tage mellem 32 og 50 timer for teglvægge at opnå en temperaturstigning på 10° C. Tilsvarende vil det tage 60 timer for betonvægge og 3,3 timer og 16 timer for vægge af henholdsvis gips/træ og porebeton.

Det skal her nævnes, at det ikke er typisk, at alle vægge i et rum på kun 20 m² er opbygget som ydervægge. Indervægge vil typisk have lavere varmekapacitet. Modelrummet er valgt for at tydeliggøre forskellene og at have et simpelt sammenligningsgrundlag.

Betonvægge vil således typisk være lidt bedre til at udjævne rumtemperaturerne end teglvægge, der igen er langt bedre end indvendige vægge af gips, træ og porebeton.

Fugtighed

Høj fugtighed inden døre kan skyldes store fugtkilder eller utilstrækkelig bortskaffelse af fugten ved ventilation, diffusion eller andet. Det er vist, at høj luftfugtighed kan give forøget forekomst af husstøvmider i senge, og at vandindhold i overfladematerialerne svarende til en vandaktivitet over ca. 75% kan give anledning til skimmelsvampevækst.

Vægkonstruktionerne vil have forskellig evne både til at transportere fugten bort ved diffusion og til at udjævne indeluftens fugtindhold ved adsorption. Overfladebelægningen i form af tapet eller maling vil dog typisk begrænse indtrængningen af fugt i væggene.

Tabel 2. Væggenes egenskaber, når det gælder fugtabsorption og -transport. Tabellen er beregnet for en temperatur på 23° C og relativ fugtighed på 50% RH i indeluften. Det er endvidere forudsat, at eventuelle behandlinger af de indre overflader ikke reducerer gennemtrængeligheden.

	Gennemtrængelighed ved 50% RH 10-9 kg/s (g/kg)	Vandindhold ved 50% RH kg/kg	Fugttransport fra modelrum ved diffusion kg/h	Vandindhold i modelrummets bagvægge kg
Tegl	20,1	0,0026	0,0220	29 - 19
Beton	0,86	0,0209	0,0008	340
Gips *)	190	0,0359	0,0004	25
Porebeton	16,5	0,0280	0,019	100

*) I gipspladevæggen indgår en dampspærre.

I Tabel 2 vises diffusionen af vanddamp og vandabsorptionen ved de analyserede vægtyper. Randbetingelserne er valgt, så kolde vinterforhold kan vurderes. Udendørs er temperaturen sat til -5° C og den relative fugtighed 90% RH. Indendørs er temperaturen 23° C og den relative fugtighed 50% RH (absolut vandindhold 8,5 g/kg tør luft), hvilket afspejler en situation med stor fugtproduktion og lavt luftskifte. I praksis vil der ske kondensation i den tunge forvæg i teglvæggene, der ikke har dampspærre. Teglstene kan tåle det. Det er forudsat at ske ved et absolut vandindhold omkring 3,5 g/kg tør luft.

Til sammenligning kan beregnes, at et udeluftskifte på 0,5 h⁻¹ kan fjerne

$$0,5 \text{ (h}^{-1}\text{)} \cdot 75 \text{ (m}^3\text{)} \cdot 1,2 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot 6,5 \text{ (g/kg)} = 0,292 \text{ (kg/h)}$$

Fugttransporten ved ventilation er således 13 gange større end transporten ved diffusion i modelrummet med teglvægge, 15 gange større i modelrummet med porebeton og 350-700 gange større ved beton- eller gipsvægge med dampspærre. Fugttransporten ved diffusion kan give et yderst begrænset bidrag til reduktion af indeluftens fugtindhold ved tegl- og porebetonvægge, mens vanddampdiffusionen er ubetydelig for betonvægge og vægge med dampspærre.

I modelrummets luft vil vandindholdet være

$$75 \text{ (m}^3\text{)} \cdot 1,2 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot 8,5 \text{ (g/kg)} = 0,765 \text{ (kg)}$$

Vandindholdet i væggene er betydeligt større. I praksis vil fugttransporten ved diffusion dog, som ovenfor nævnt, være lille sammenlignet med fugttransporten ved ventilation. Dermed bliver væggenes evne til at udjævne svingninger i indeluftens relative fugtighed ubetydelig på trods af væggenes betydelige fugtbuffer. De fleste overfladebehandlinger vil reducere vanddampdiffusionen betydeligt i forhold til de viste resultater. Resultaterne viser dog tydeligt, at udtørring af opfugtede vægge kan tage meget lang tid. Særligt for betonvægge gælder, at det kan tage mange måneder at reducere vandindholdet, hvis de for eksempel har optaget så meget vand, at skimmel-svampevækst er mulig.

Luftkvalitet

Dårlig luftkvalitet kan skyldes forurening fra mennesker, aktiviteter eller materialer i bygningen eller utilstrækkelig ventilation. Bygninger ventileres blandt andet for at fortynde forureningen fra kilderne til luftforurening inden døre. For kraftige forureningskilder eller utilstrækkelig ventilation kan give gener og oplevelsen af dårlig luftkvalitet blandt brugerne. Dårlig luftkvalitet kan endvidere give nedsat produktivitet blandt bygningens brugere.

Tegl i sig selv indeholder stort set ingen flygtige stoffer, der vil kunne forurene indeluften. Eventuelle kemikalier i råvarerne vil effektivt udbages eller stabiliseres under brændingen. Mørtelen i fugerne brændes ikke og vil i princippet kunne indeholde organiske forureningskomponenter. Traditionel mørtel tilsættes dog ikke organiske materialer, og i praksis vil egenforureningen fra teglvægge være meget begrænset.

Beton vil på linie med mørtelen kunne indeholde organisk materiale. Dette har dog yderst sjældent givet anledning til gener.

Porebeton har som tæt beton yderst sjældent givet anledning til luftkvalitetsgener.

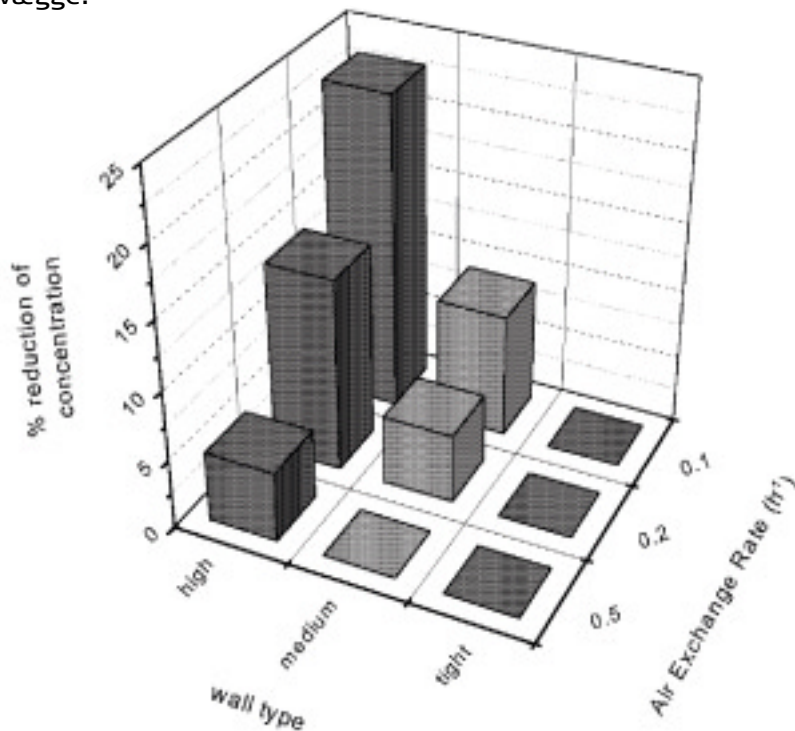
Gipsen i pladerne er beklædt med pap. Denne består af organisk materiale, der kan nedbrydes eller danne grobund for skimmelsvampe ved høj fugtighed. Den kan også indeholde kemikalier til forbedring af holdbarhed og modstandsevne. Gipsplader, der ikke har været fugtbelastede, giver dog sjældent anledning til gener.

Træ er kendt for at afgive stoffer til indeluften. Det kan være terpenener eller stoffer, der frigives i forbindelse med oxidation af stoffer i træet. Afgivelsen varierer med træart, forudgående behandling og eventuelle overfladebehandlinger. Nogle mennesker forbinder den særlige trælugt med noget frisk og naturligt. Ved omfattende brug af ubehandlet træ som indvendig overfladebeklædning må man regne med et forøget ventilationsbehov, hvis trælugten ikke skal virke dominerende.

Overfladebehandlinger som spartelmasse, lime, tapeter og maling kan indeholde en lang række kemikalier, der kan forurene indeluften. Ved dårlig luftkvalitet vil man da ofte mistænke overfladematerialerne fremfor hovedbestanddelene i de typiske vægge, der her gennemgås. Af hensyn til luftkvaliteten kan det være attraktivt helt at undgå overfladebehandlinger for at reducere den eventuelle forurening herfra.

På linie med forholdene omkring vand kan det være berettiget at vurdere betydningen af deponering af kemikalier optaget fra indeluften i væggene og bortskaffelse af kemikalier ved diffusion gennem væggene.

Figur 4 viser diffusion af n-octan fra et yderligere simplificeret modelrum sammenlignet med bortskaffelse af forurening ved ventilation. Grundlaget for figuren er følgende simplificerede vægtyper: Meget lukket: 10 cm beton, middel åben: 11 cm mursten og meget åben: tapet, 2 lag gips, hulrum, 2 lag gips, tapet. Loft og gulv er forudsat at være diffusionstæt. Baggrunden for denne simplificering er, at der ikke findes detaljeret viden om diffusion af kemikalier gennem dampspærre og øvrige lag i de typiske vægge.



Figur 4. Diffusion af n-octan fra det simplificerede modelrum sammenlignet med bortskaffelse af forurening ved ventilation.

Figurteksterne i Figur 4 er på engelsk; i det følgende gives en forklaring. På y-aksen er vist den reduktion af koncentrationen af luftforureningskomponenten n-octan, der kan tilskrives diffusionen i væggene, målt i % af bortskaffelsen ved ventilation. På en af de andre akser er vægtyperne meget åben, middel åben og meget lukket vist, og på den sidste akse er ventilationsraten vist. Det ses:

Σ at diffusionen gennem en betonvæg er ubetydelig ved ventilationsrater helt ned under 0,1 h⁻¹,

Σ at diffusionen gennem en teglvæg er ubetydelig ved ventilationsrater i overensstemmelse med bygningsreglementet på 0,5h⁻¹, men den kan have en mindre betydning ved lavere ventilationsrater,

Σ at diffusionen gennem en gipsvæg kan have en mindre betydning (under 5% af ventilationens betydning) ved 0,5h⁻¹ og større betydning ved lavere ventilationsrater.

Tabel 3 viser sorptionskapaciteten for n-octan i modelrummet. Sorptionskapaciteten er den mængde af en given kemisk forbindelse, et materiale kan optage i forhold til koncentrationen i den omgivende luft.

Sorptionskapaciteten ses at være meget stor for porebeton efterfulgt af beton og murværk. Det ses også, at sorptionskapaciteten kun bevirker, at væggene af porebeton indeholder ca. 10 gange så meget n-octan som rumluften i et modelrum, hvilket er mindre end det tilsvarende forhold for vandindholdet. Der findes andre kemikalier, fx ethyl acetat, hvor vægge af porebeton kan have et indhold, der ligger mere end 200 gange over rumluftens.

Tabel 3. Sorptionskapacitet for n-octan i modelrummet.

	mg/mg/m ³
Tæppe	12
Porebeton	958
Beton	287
Murværk	120
Gipsplade	81

Lys

De bedste lysforhold inden døre opnås generelt ved lyse indvendige overflader. Ingen af de nævnte vægmaterialer vil i praksis være tilstrækkelig lyse eller smudsafvisende til at kunne give de bedste lysforhold. Ubehandlede teglvægge, der som bekendt er modstandsdygtige overfor meget kraftigt slid, vil med deres robuste og rustikke udseende ofte være attraktive inden døre på trods af deres relativt store absorption af lys.

Ønsket om at få lyse indvendige overflader, hvor skader fra smuds og andet kan udbedres, er anledningen til, at de nævnte vægtyper sjældent anvendes uden malerbehandling eller anden behandling, der forbedrer lysforholdene. For teglvægge kan det være attraktivt med kalkning eller behandlinger som filtsning, vandskuring eller sækkeskuring med lys pudt for at forbedre forhold vedrørende absorption og refleksion af lys.

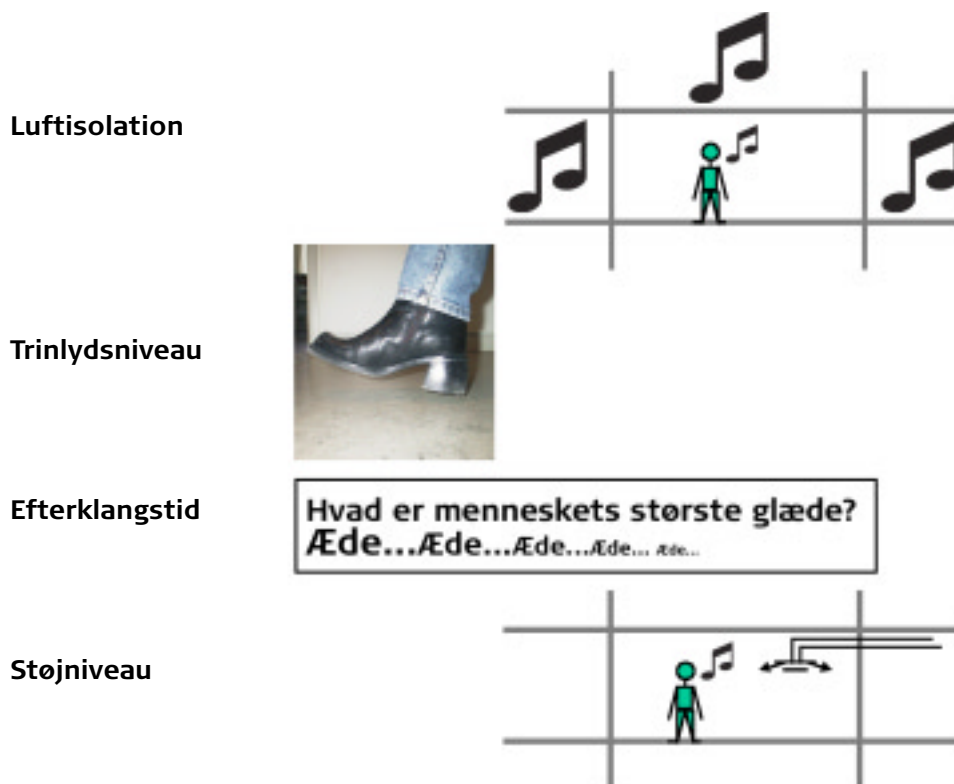


Lyd

I Figur 5 vises de fire lydparametre, der reguleres i bygningsreglementet. Kravene kan opfyldes ved alle de behandlede vægtyper. Der kan dog være en tendens til, at de lette konstruktioner opbygget med for eksempel gips eller træ isolerer dårligst mod lavfrekvent støj, og at efterklangstiden vil være lavere i rum med strukturerede overflader som en ubehandlet teglvæg med dybe fuger. Der kan også være en tendens til at den praktiske udførelse af vægge af plader er særlig kritisk i forbindelse med luftlydisolation. Små utætheder ved pladesamlingerne kan give anledning til betydelig luftlydtransmission.

Indre enkeltvægges luftlydisolation afhænger først og fremmest af deres masse pr. m². Det er baggrunden for, at vægge af gips og træplader næsten altid opbygges som dobbelte skeletvægge. En pudset halvstensvæg og en 90 mm betolvæg har begge en luftlydisolation på 45 dB. Til sammenligning kan nævnes at luftlydisolationen for en 100 mm letbetolvæg og en skeletvæg på 95 mm med et lag gips på hver side af et hulrum med mineraluld er 35 dB.

Hultegl med synlige huller vil kunne anvendes som akustisk dæmpning til reduktion af efterklangstiden.



Figur 5. Billeder, der forklarer de fire parametre, der gælder lydforhold, og som reguleres i Bygningsreglementet.

Forslag til kommende forskningsprojekter

Diffusion og deponering af kemikalier i vægge afhænger i høj grad af egenskaber ved kemikalier og vægge. Der er behov for yderligere eksperimentel bestemmelse af diffusion og adsorption af forskellige kemikalier i typiske vægmaterialer for endeligt at kunne vurdere betydningen af diffusion og deponering af forureningskomponenter for indeluftkvaliteten. Der er usikkerhed om betydningen af vægmaterialer og overfladebehandling for udjævning af store pludselige fugtbelastninger såsom badning, madlavning og strygning. En feltundersøgelse med bestemmelse af udeluftskifte og kortvarig fugtgenerering vil kunne kvantificere overfladebehandlingens og vægmaterialernes betydning.

Simuleringsprogrammet BSim vil med de rette inddata kunne anvendes til mere nøjagtigt at vurdere vægmaterialernes betydning for udjævning af temperaturer og fugtindhold i indeluften. Vurderingen kan gælde både for variationer i forbindelse med store pludselige fugtbelastninger, for daglige variationer og for variationer i forbindelse med årstidernes skiften.

Litteratur

Meininghaus R, Gunnarsen L and Knudsen H N: Diffusion and sorption of volatile organic compounds in building materials. *Environmental Science and Technology*. V 34 PP 3101-3108, 2000.

Gunnarsen L and Hjorslev Hansen M: Ventilation and moisture sources in apartments. *Proc. of Indoor Air 2002*, V 4 pp 20-26. Monterey, California, USA. 2002.