



BYGNINGSMATERIALERS EGENSKABER

Anders Nielsen

Laboratoriet for Bygningsmaterialer
Danmarks Tekniske Højskole

Bygningsmaterialers Egenskaber
Definitioner og tabeller

Anders Nielsen

Laboratoriet for Bygningsmaterialer
Danmarks Tekniske Højskole
Lyngby 1992

Bygningsmaterialers egenskaber
Definitioner og tabeller
Laboratoriet for Bygningsmaterialer
Danmarks Tekniske Højskole
November 1992

Teknisk Rapport
TR 274/92
ISSN 0907-7073

Resumé

I rapporten gennemgås definitioner og begreber omkring bygningsmaterialers egenskaber. Tabeller over værdier for en lang række vigtige materialeparametre er placeret bagerst.

Indhold

Forord	
1 Indledning	3
2 Densitet og porøsitet	5
2.1 Densitet	5
2.2 Porøsitet	5
3 Fugt og fugttransport	7
3.1 Vanddamppermeabilitet	8
3.2 Vandpermeabilitet	9
3.3 Kapillarsugning	9
4 Varme og varmeledning	10
5 Deformation og styrke	11
5.1 Spænding og tøjning	12
5.2 Arbejdslinier	13
5.3 Brudformer	15
5.4 Krybning og relaksation	15
5.5 Belastningsvarighed	18
5.6 Udmattelsesbrud	18
5.7 Slagsejhed	19
5.8 Slidstyrke	20
5.9 Friktion	20
6 Volumenbestandighed	20
6.1 Temperaturudvidelse	20
6.2 Fugtdeformationer	21
7 Lydhastighed	21
8 Holdbarhed	22
8.1 Kemiske angreb	23
8.2 Elektrokemiske angreb	23
8.3 Fysiske angreb	23
8.4 Biologiske angreb	23
8.5 Ældning	24
9 Litteratur	25
Symbolliste	
Tabeller	

Forord

Denne indføring i bygningsmaterialernes egenskaber er udgivet til brug ved Danmarks Tekniske Højskoles kursus 6101 "Grundlæggende bygningsmateriallære". Det er tanken, at oversigten også skal kunne bruges alment som opslagsværk, hvilket tabelværket på de gule sider skulle bidrage til.

Fremstillingen er et eksempel på bearbejdet genbrug. Teksten er oprindeligt udarbejdet af R. Jørgensen ved Horsens Teknikum i 1973. I 1980 blev teksten bearbejdet af Erik Sellevoid og udgivet som en del af kompendium 7 i B-retningens grundkursus på Danmarks Tekniske Højskole. Kompendium 7 blev omarbejdet i 1986 af Lene Rathkjen og undertegnede. Her blev der inddraget dele af et kompendium udgivet i 1970 ved Tekniska Högskolan i Lund. Ved omlægningen i 1992 er B-retningens grundkursus blevet nedlagt, men kompendiet anvendes imidlertid fortsat i kursus 6101.

I 1992 er tekst og tabelværk set igennem af Finn R. Gottfredsen, Finn Thøgersen og undertegnede. I den forbindelse er der som noget nyt udarbejdet en symbolliste, der indeholder betegnelserne for de grundlæggende størrelser der benyttes inden for materialemekanik og bærende konstruktioner.

Lyngby, November 1992

Anders Nielsen

1 Indledning

Opførelsen af et bygværk eller udformningen af en bygningsdel starter med at man formulerer de funktionskrav, som skal opfyldes. Herefter kan man undersøge, hvorledes funktionskravene kan opfyldes. Man kan spille på bygværkets udformning - dets design, man kan vælge forskellige materialer og man kan bringe forskellige udførelsesmetoder i anvendelse. Projekteringsprocessen består således i, at man i et samspil mellem *udformning*, *materialer* og *udførelse* fastlægger hvorledes funktionskravene bedst kan opfyldes.

I denne proces er et detaljeret kendskab til materialernes egenskaber nødvendigt, når man skal have fantasien til at spille og vurdere de mange forskellige løsningsmuligheder man har. Det er materiallærens opgave at måle og dokumentere de egenskaber, materialer skal have for at opfylde kravene, ligesom det er en vigtig opgave at give forståelse for, hvorfor materialerne har de egenskaber, som iagttages, for dermed eventuelt at kunne forbedre disse.

Opstilles projekteringsprocessen som ovenfor, forklarer det, hvorfor vi ikke i bygningsmateriallæren angiver priser på de forskellige materialer. Det er sådan set uinteressant at få at vide om et materiale er dyrt eller billigt per kg eller m³, når det trods alt til sidst er det færdige bygværks pris der er afgørende. (Yderligere er det et urimeligt stort arbejde til stadighed at holde sig à jour med de forskellige materialers pris.)

I denne fremstilling gennemgås definitionerne på de materialeegenskaber, som har interesse, når bygværket skal udformes efter funktionskravene til bæreevne, varmeisolering og fugtindhold. Denne tredeling er den klassiske opdeling af disciplinerne inden for bygningsingeniørens virke.

Materialeegenskaberne opdeles i følgende hovedgrupper i gennemgangen :

- Densitet og porøsitet
- Fugt og fugttransport
- Varme og varmeledning
- Deformation og styrke
- Volumenbestandighed
- Lydhastighed
- Holdbarhed

Ud over ovenstående, findes der mange andre egenskaber ved materialer og bygningsdele, som man skal tage hensyn til i projekteringen og andre steder i bygningsingeniørens virke. I tabel A er der givet en opremsning af sådanne egenskaber, delt op efter *udførelsesegenskaber*, *demoleringsegenskaber* og *anvendelsesegenskaber*. Tabel A er medtaget for overblikkets skyld. Det ligger uden for denne fremstillings rammer at behandle samtlige disse mange egenskaber.

$$\text{faststofdensitet, } \rho_f = \frac{\text{tør masse}}{\text{faststofvolumen}} = \frac{M}{V_f} = \frac{M}{V_t - V_p} \quad (1)$$

$$\text{tørdensitet, } \rho_d = \frac{\text{tør masse}}{\text{totalvolumen}} = \frac{M}{V_t} = \frac{M}{V_f + V_p} \quad (2)$$

$$\text{totalporøsitet, } p_{tot} = \frac{\text{porevolumen}}{\text{totalvolumen}} = \frac{V_p}{V_t} \quad (3)$$

Disse tre formler kan sammenskrives, således at der fås følgende indbyrdes sammenhæng

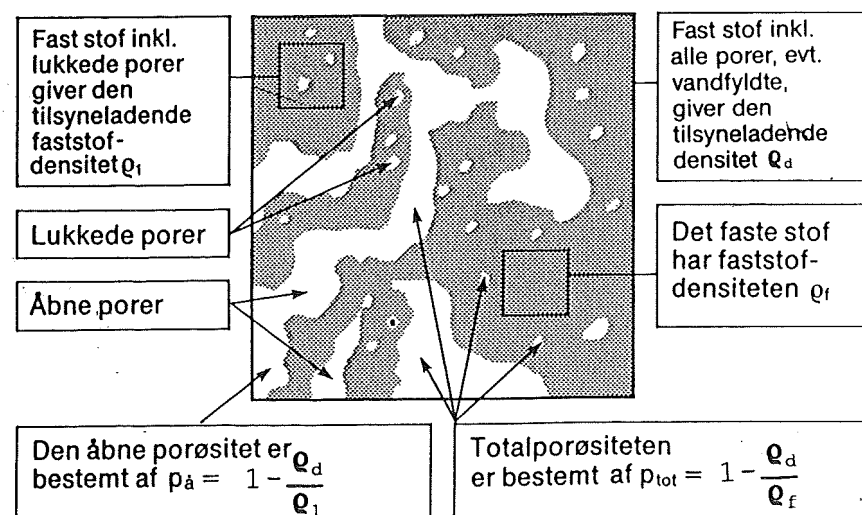
$$p_{tot} = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_f} \quad (4)$$

hvilket vil sige, at den totale porøsitet kan bestemmes, når tørdensitet og faststofdensitet er kendt.

Den åbne porøsitet, p_a , bestemmes som angivet på fig. 1.

I tabel 1 er der for en lang række materialer angivet faststofdensitet, den tilsyneladende tørdensitet og porøsitet.

For partikelformede materialer såsom sten, sand, cement og lignende vil der være hulrum (porer) både i de enkelte partikler og partiklerne imellem. For disse materialer defineres *kornhobsdensiteten*, ρ_{kh} , som forholdet mellem tørmassen og totalvolumenet for en samling partikler. Ved denne definition er det selvfølgelig af afgørende betydning, hvor tæt partiklerne er pakket, hvorfor det er nødvendigt



Figur 1 Densiteter og porøsiteter hos et fast stof med åbne og lukkede porer. Fra [5].

at angive pakningsgraden (f.eks. som løs eller fast).

For nogle partikelformede materialer er i tabel 2 angivet faststofdensiteten og kornhobsdensiteten ved både fast og løs pakning.

Komprimeringen har også betydning for densiteten af bløde eller halvstive materialer som f.eks. mineraluld. For at bestemme tykkelsen af en sådan mineraluldsmåtte plejer man at forbelaste måtten med 100 Pa, hvilket svarer til ca. 10 kg/m², før tykkelsesmålingen foretages.

Betegnelserne densitet, rumvægt, vægtfylde og massefylde med eller uden tillægsbetegnelserne "tilsyneladende" eller "absolut" har desværre været anvendt uden systematik i litteraturen. Efterhånden er det almindeligt at bruge ordet densitet for alle masse-volumenforhold og så tilføje en definerende tillægsbetegnelse som ovenfor vist.

3 Fugt og fugttransport

Porøse materialers egenskaber er stærkt afhængige af fugtindholdet. Derfor er det ligesom ved densitet og porøsitet meget vigtigt, når man sætter tal på en materialegenskab, også at angive, ved hvilket fugtindhold værdien er bestemt.

Vandet kan tilføres gennem luftens fugtindhold, gennem vejrliget, fra kontakt med fugtig jord og endelig som byggefugt, der kan komme fra mørtelen i et murværk eller fra beton- og gasbetonkonstruktioner, idet disse materialer straks efter tildannelsen har et stort vandoverskud.

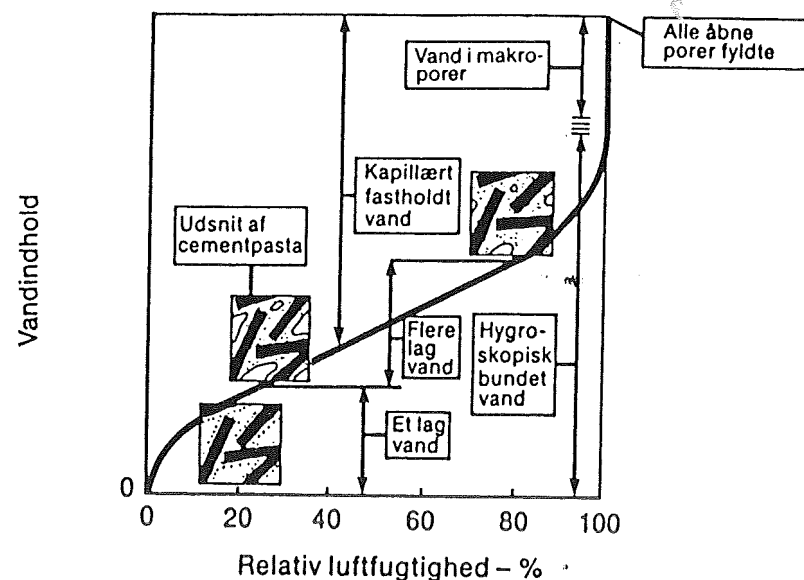
Fugtindholdet i materialet angives oftest i vægtprocent af tørmassen og bestemmes som forholdet mellem vægttabet efter tørring ved 105 °C og tørmassen. Denne størrelse, u , betegnes *vand-tørstofforholdet* eller *fugtbrøken*.

Den relative fugtighed, RF, er defineret som forholdet mellem det herskende vanddamtryk, p , og mætningsdamtrykket, p_s , ved den aktuelle temperatur. Disse og andre vigtige fugt tekniske begreber er behandlet nærmere i [2].

Fugtindholdet i et porøst materiale, som er i ligevægt med den omgivende luft, afhænger af luftens relative luftfugtighed. Afhængigheden afbildes i såkaldte sorptionsisotermier (se figur 2).

Fugttransporten kan foregå både i damp- og væskefase og vil foruden de ydre omstændigheder også afhænge af porernes størrelse og kontinuitet gennem materialet.

Ved fugttransport gennem et materiale skelnes der normalt mellem to former for ydre drivkraft: Damptryk og vandtryk.



Figur 2 Eksempel på sorptionsisoterm. Vandbinding i cementpasta (dvs. hydratiseret cement). De sorte stave skal illustrere faststoffpartiklerne. Vandet bindes på overfladerne og mellem partiklerne. Fra [5].

3.1 Vanddamppermeabilitet

Der betragtes en skive med arealet A [m^2] og tykkelsen d [m]. På de to sider af denne skive haves to forskellige damptryk, p_1 og p_2 [Pa], således at fugten vil vandre fra siden med størst tryk mod siden med mindst tryk. Den vandmængde, Q , der pr. tidsenhed transporteres gennem skiven, kan nu beregnes af formlen

$$Q = \delta \cdot \frac{A}{d} \cdot (p_1 - p_2) \quad (5)$$

hvor δ [$kg / (Pa \cdot m \cdot s)$] betegner materialets vanddamppermeabilitetskoefficient. Størrelsen er ikke en konstant, men afhænger af materialets fugtindhold (δ stiger med stigende fugtindhold).

For meget tynde materialer (folie o.l.) kan det være svært, ofte umuligt at definere tykkelsen d . Derfor benyttes her i stedet for δ , fugtmodstandstallet Z [$Pa \cdot m^2 \cdot s/kg$] defineret ved $Z = d/\delta$, således at den transporterede vandmængde nu bliver

$$Q = \frac{A}{Z} \cdot (p_1 - p_2) \quad (6)$$

En stor Z -værdi giver således ringe væsketransport.

I stedet for den omgivende lufts vanddamptryk kan der som drivkraft benyttes selve materialets vandindhold, w [kg/m^3] ved de to overflader. Dette giver en

formel ganske svarende til formel (5), blot erstattes damptrykkene med vandindhold og damppermeabilitetskoefficienten med det såkaldte fugtleddningstal, D_w [m^2/s], således at

$$Q = D_w \cdot \frac{A}{d} \cdot (w_1 - w_2) \quad (7)$$

I tabel 3 findes transportkoefficienter og i tabel 4 modstandstal.

3.2 Vandpermeabilitet

Hvis nu de to damptryk på væggen to sider erstattes med to vandtryk, så vil der også ske en vandtransport gennem den nu vandmættede væg. Denne transport kan beregnes efter Darcy's lov, som svarer til (5), altså

$$Q = K \cdot \frac{A}{d} \cdot (p_1 - p_2) \quad (8)$$

hvor K [$kg/(Pa \cdot m \cdot s)$] kaldes vandpermeabilitetskoefficienten.

Vandpermeabilitetskoefficienter for enkelte materialer er givet i tabel 3.

3.3 Kapillarsugning

Vand kan suges ind i et porøst materiale ved kapillarsugning. Kapillarsugning skyldes, at vand væder materialet, hvorved der dannes en konkav overflade, en menisk, i de porer der indholder vand. Under disse menisker kan der dannes et betragteligt hydraulisk undertryk, hvorved vandet suges ind i materialet gennem de forbundne porer, hvor transporten kun kan gå fra store mod mindre og mindre porer.

Fugtfrontens fremadskriden i et porøst materiale som følge af kapillarsugning kan, under ideelle forhold, beregnes af formlen

$$z = \sqrt{\frac{t}{M}} \quad (9)$$

hvor z er afstanden fra fugtfronten til den sugende betonflade, t er tiden og M [s/m^2] er modstandstallet.

Den samlede vandmængde, Q_{kap} , der opsuges pr. arealenhed, er givet ved

$$Q_{kap} = k \cdot \sqrt{t} \quad (10)$$

Her er k [$kg/(m^2 \cdot \sqrt{s})$] en konstant der angiver materialets kapillaritetstal.

Eksempler på modstandstal og kapillaritetstal for beton er givet i tabel B.

v/c	M 10 ⁷ · s/m ²	Cement- indhold kg/m ³	k _{50%} kg/(m ² · √s)	k _{90%} kg/(m ² · √s)
0.5	4.8	400	0.013	0.005
0.6	3.1	300	0.018	0.007
0.7	1.7	250	0.026	0.011

Tabel B Modstandstal M og kapillaritetstal k for nogle betontyper. Usikkerhedsinterval ± 50%. Fra 151.

4 Varme og varmeledning

Ganske analogt til fugtmekanismene, så vil der også ske en varmetransport gennem et materiale, hvis dette på to modstående sider udsættes for en temperaturdifferens ($T_1 - T_2 > 0$). Denne varmetransport kan ligesom fugttransporten udtrykkes ved en simpel proportionalitetsligning.

$$Q_v = \lambda \cdot \frac{A}{d} \cdot (T_1 - T_2) \quad (11)$$

hvor λ [J/(s · m · K)] betegner materialets varmeledningstal.

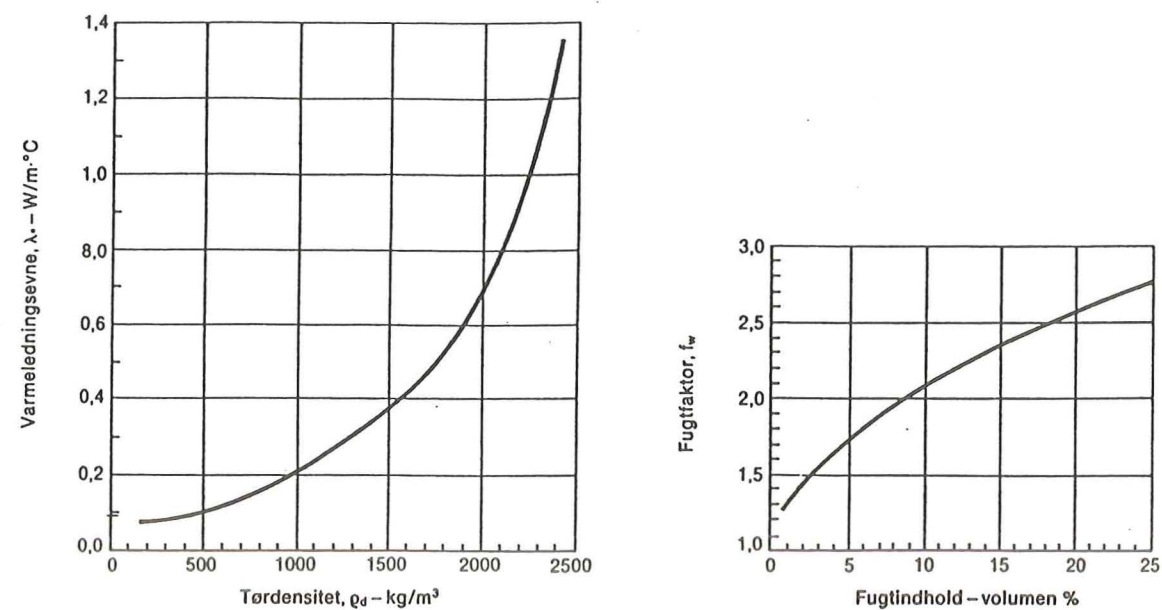
Da det faste stof i de fleste materialer leder varmen flere hundrede gange så godt som luften, så bliver mængden af luft (og dermed porøsiteten) afgørende for materialets λ -værdi, jf. figur 3. Varmeledningstallet kan altså, så længe der er luft i porerne, ikke blive lavere end luftens varmelædningsevne ($\lambda=0,026$). Kun ved at undgå luft, eller ved at erstatte luften med gasarter med en lavere λ -værdi kan materialets samlede varmeledningsevne sænkes. Omvendt vil vand ($\lambda=0,6$) i porerne i stedet for luft give anledning til en betydelig forøgelse af varmeledningsevne.

Det er derfor nødvendigt at skelne mellem et teoretisk varmeledningstal, gældende for et tørt materiale og et praktisk varmeledningstal for et materiale med et fugtindhold dikteret af omgivelserne, jf. figur 3.

En karakteristisk egenskab ved materialer er hvor hurtigt temperaturforandringer foregår i materialet. Til at beskrive denne egenskab benyttes varmediffusionstallet (også kaldet temperaturledningstallet), a [m²/s], givet ved

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \quad (12)$$

Er varmediffusionstallet højt betyder det, at materialet føles koldt ved berøring, da varmen hurtigt ledes bort. Omvendt betyder et lavt varmediffusionstal at materialet føles varmt at røre ved. Dette gælder når de to materialer har samme temperatur. Egenskaben kan illustreres ved et eksempel med velkendte materialer:



Figur 3 Til venstre varmeledningstallet for ovntørre materialer som funktion af tørdensitet. Til højre fugtfaktor til beregning af fugtige materialers varmeledningsevne (Loudon efter Beton-Bogen 151).

Jern/Stål : $a \approx 14 \cdot 10^{-6}$ m²/s "koldt"
 Bøg/Polystyren : $a \approx 0.13 \cdot 10^{-6}$ m²/s "varmt"

I formlen (12) for varmediffusionstallet indgår materialets specifikke varme (også kaldet varmemængde), c_p [J/(kg · K)], som angiver den varmemængde, der skal til for at opvarme én masseenhed af materialet én temperatureenhed (1°K = 1°C).

I tabel 5 er oplyst det teoretiske og det praktiske varmeledningstal samt materialernes specifikke varme. Varmediffusionstallet bestemmes herefter ved brug af (12), idet densiteten findes i tabel 1.

Desværre er der en stor risiko for fejlberegning, idet specifik varme ofte angives i enheden [J/(m³ · K)]. Er dette tilfældet, bestemmes varmediffusionstallet af følgende udtryk:

$$a = \frac{\lambda}{c_p} \quad (12^*)$$

5 Deformation og styrke

Deformationer i materialer kan være reversible (tilbagevendende) eller irreversible (permanente).

Ved reversible eller elastiske deformationer i et materiale bevarer atomer, molekyl-

ler og partikler deres indbyrdes placering under belastningen. De vender tilbage til udgangsplaceringen efter aflastning. Er forandringens størrelse proportional med kraften, kaldes materialet *lineært elastisk*.

Irreversible eller *plastiske* deformationer skyldes, at atomer, molekyler eller partikler forskydes indbyrdes under belastningen. I metaller og plaster er det mest atom- og molekylforskydninger, der forekommer. I porøse materialer skyldes de plastiske deformationer, at der dannes revner under belastningen.

5.1 Spænding og tøjning

Et givet materiales deformations- og styrkeforhold måles ved, at et prøvelegeme af materialet udsættes for en belastning, det være sig tryk, træk, bøjning eller forskydning. Lasten øges, indtil prøvelegemet går i stykker. Undervejs måles sammenhørende værdier af kraft og deformation.

Med henblik på at resultater af forsøg med prøvelegemer af forskellige størrelser skal kunne sammenlignes, normeres kraft og deformation.

Figur 4a viser et meget enkelt belastningstilfælde. En stang med tværsnitsarealet A påvirkes af en centralt virkende trækraft P jævnt fordelt over stangens areal. Påvirkningen per arealenhed af stangens tværsnit, *normalspændingen*, er da

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad [N/m^2] = [Pa] \quad (13)$$

Kraften P har forlænget stangen et stykke Δl , som normeres ved at blive sat i forhold til den oprindelige målelængde, l_0 . Den relative længdeændring, *længdetøjningen* ϵ_l , bestemmes af

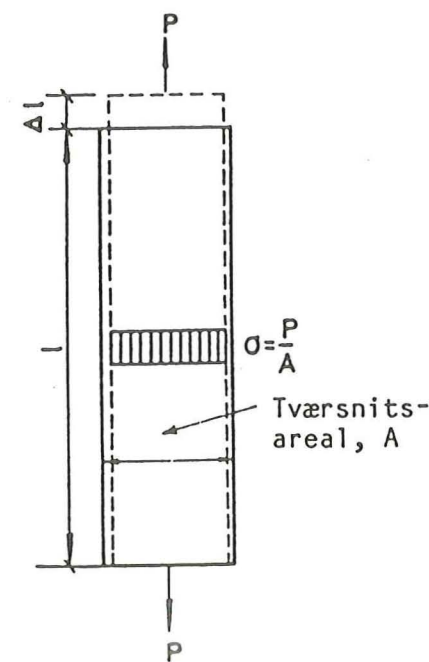
$$\epsilon_l = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (14)$$

(Ordet "tøjning" er indført i teknisk dansk fra svensk i 1960'erne i stedet for det omstændelige "relativ længdeændring".)

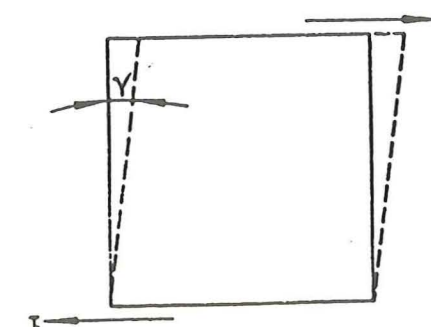
Samtidig med forlængelsen trækker materialet sig sammen på tværs af længderetningen. Kaldes stangens diameter for d , fås tværtøjningen $\epsilon_t = \Delta d/d$. Forholdet mellem de to tøjninger betegnes *Poissons forhold*, ν .

$$\nu = \frac{\epsilon_t}{\epsilon_l} \quad (15)$$

Forskydningspåvirkninger i et prøvelegeme kan give anledning til vinkeldrejninger, jf. figur 4b. Forskydningskraften pr. arealenhed kaldes *forskydningspændingen*, τ , og vinkeldrejningerne betegnes γ .



Figur 4a. Kraft og forlængelse ved en centralt belastet trækstang.



Figur 4b. Forskydningspåvirket prøvelegeme.

5.2 Arbejdslinier

Et materiales deformations- og styrkeegenskaber beskrives mest almindeligt ved sammenhængen mellem spænding, σ , og tøjning, ϵ . En sådan kurve kaldes en *arbejdslinie* (Se figur 5).

Udtrykket arbejdslinie dækker over, at man ud fra kurven kan beregne det arbejde, som må udføres pr. volumenenhed af materialet, for at man kan opnå en given tøjning. Det skraverede areal på figur 5 viser det arbejde, der skal til at opnå tøjningen ϵ_l . (Enhedskontrol: $[\sigma \cdot \epsilon] \sim [(N/m^2) \cdot (m/m)] = [J/m^3]$.) Det samlede arbejde fås ved at multiplicere med den betragtede prøvestangs volumen.

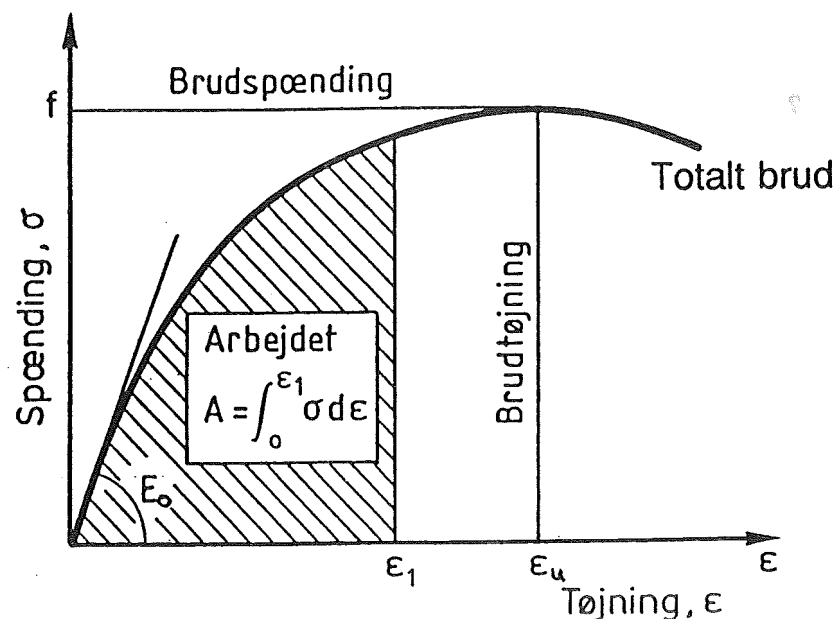
I forbindelse med figur 5 er der visse størrelser, som skal defineres. Det højeste punkt på arbejdslinien kaldes *brudspændingen*, σ_w , eller *styrken*, f . Er der tale om tryk taler man om *trykstyrken*, f_c , og ved træk om *trækstyrken*, f_t .

Hvis der i materialets elastiske område er en lineær sammenhæng mellem spænding og tøjning, siges materialet at være lineær-elastisk, og linearitetsfaktoren betegnes materialets *elasticitetsmodul*, E [MPa], således at

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (16)$$

Sammenhængen udtrykt i formel (16) kaldes også for *Hookes lov*.

For visse materialer vil der overhovedet ikke være nogen linearitet mellem tøjning og spænding, og for disse materialer defineres E -modulet ofte som tangenten i begyndelsespunktet. Herved fås *begyndelseselasticitetsmodulet*, E_0 , jf. figur 5.



Figur 5. Arbejdslinie for et materiale, principielt

På tilsvarende vis defineres materialets *forskydningsmodul*, G [MPa] som linearitetsfaktoren mellem forskydningspænding τ og vinkelændringen γ , således at

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (17)$$

For homogene og isotrope materialer (isotropi: ens egenskaber i forskellige retninger) gælder der følgende sammenhæng mellem E , G og ν

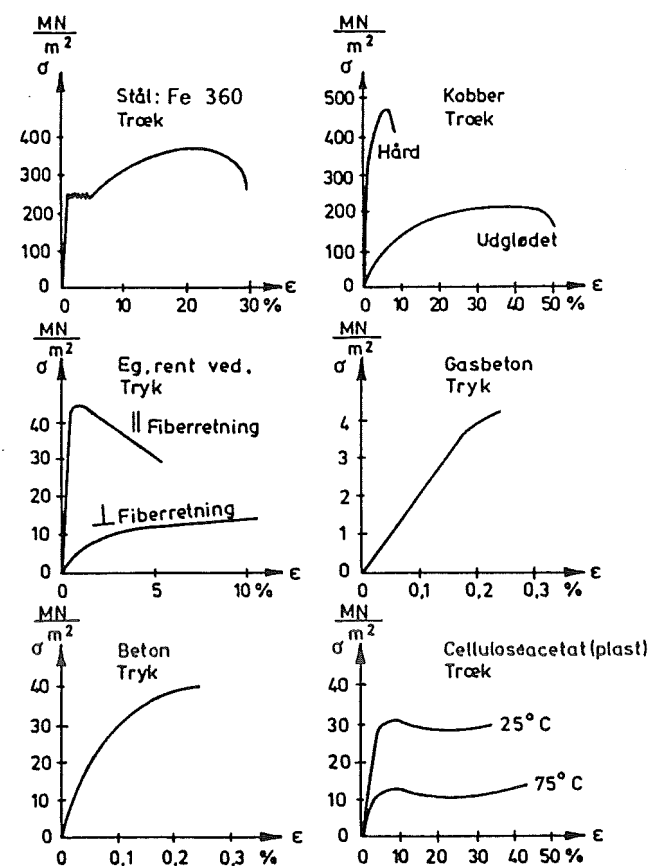
$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (18)$$

Den tøjning, der er opnået ved brudspændingen, σ_u , kaldes *brudtøjningen*, ϵ_u , jf. figur 5. Brudtøjningen er således ikke tøjningen i det øjeblik det totale brud indtræffer. Den totale tøjning afhænger af prøvelegemets form og prøvningens udførelse.

Elasticitetsmodul, forskydningsmodul og Poissons forhold for nogle materialer er vist i tabel 6.

Ved et materiales overgang fra lineær elasticitet til elasticitet/plasticitet haves *proportionalitetsspændingen*, σ_p , der altså defineres som den højeste spænding, hvorunder materialet er lineært-elastisk.

På arbejdslinier for ulegeret stål og for visse plaster ses ofte i det plastiske område et vandret stykke, hvor der sker en tøjningsforøgelse uden nogen spændingsforøgelse. Dette fænomen kaldes flydning, og i disse tilfælde benyttes *flydespændingen*, σ_y , i stedet for brudspændingen, σ_u , som dimensioneringsudgangspunkt. Har materialet ingen markant flydespænding, kan i stedet benyttes $\sigma_{0,2}$ -spændingen. Denne er defineret som den spænding, hvorved der opstår en blivende deformation på 0.2 %. Figur 6 viser eksempler på arbejdslinier for nogle gængse bygningsmaterialer.



Figur 6. Træk- og trykarbejdslinier for nogle byggematerialer

5.3 Brudformer

Et materiale, hvor der er lille plastisk deformation før brud, kaldes *sprødt* eller *skørt*. Et materiale, hvor bruddet varsles af store deformationer, kaldes *sejt*.

For de seje materialer er brudspændingen, σ_u , ikke nødvendigvis den samme som spændingen i brudøjeblikket. Dette skyldes, at man ved beregningen af spændingerne, jf. formel (13), benytter det oprindelige tværsnitsareal, selv om der lige før brud kan blive tale om ret store indsnøringer (tværsnitsformindskelser) i materialet. Hvis man i stedet beregner de effektive spændinger (dvs. kraftpåvirkning divideret med reelt tværsnitsareal), så vil arbejdslinien vise sig at være opadgående helt til brud.

I tabel 8 findes tryk- og trækstyrker for en række bygningsmaterialer, for nogle metaller også flydegrænsen.

5.4 Krybning og relaxation

Udsættes et materiale for en konstant belastning, vil dets deformation ofte vokse i tidens løb. Fænomenet kaldes *krybning*. Det skyldes, at de irreversible deformationer øges som følge af voksende atom- og molekyleforskydning eller fortsatte revnedannelser.

Udsættes et materiale for en konstantholdt deformation, vil de spændinger, der opstår momentant, efterhånden aftage. Fænomenet kaldes *relaksation*. Fænomenet har mikrostrukturmæssigt de samme årsager som krybningen. Mikrostrukturen kan ikke mærke, om vi udefra holder spænding eller tøjning konstant.

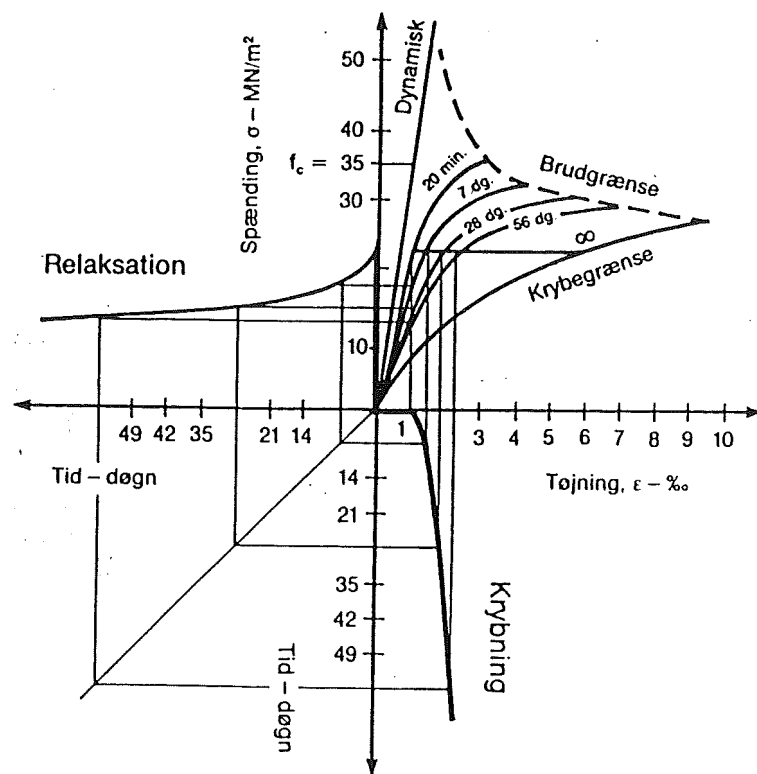
I figur 7 er krybning og relaksation søgt illustreret i én og samme figur. I 1. kvadrant er optegnet arbejdslinien samt nogle *isokrone spændings-tøjningskurver* (materialet oplastes "momentant" til et vist spændingsniveau, og herefter måles tøjningen til faste tidspunkter). I 4. kvadrant er tøjningerne ved samme spændingsniveau forbundet i et (tid, tøjning)'s diagram (materialets krybningskurve). I 2. kvadrant er tilsvarende spændingerne ved samme tøjningsniveau forbundet i et (tid, spænding)'s diagram (materialets relaksationskurve).

Med henblik på sammenligning mellem krybning og momentantøjning anvendes det at normere krybetøjningen, $\epsilon_c(t)$, med momentantøjningen ϵ_0 . Dette forhold kaldes *krybetallet*, $\Psi(t)$. Herved får man følgende udtryk for den samlede tidsafhængige tøjning:

$$\epsilon_{tot}(t) = \epsilon_0 + \epsilon_c(t) = \epsilon_0 (1 + \Psi(t)) = \frac{\sigma}{E} (1 + \Psi(t)) \quad (19)$$

Tilsvarende kan den samlede tidsafhængige udbøjning, $u_{tot}(t)$, findes ud fra momentanudbøjningen, u_0 :

$$u_{tot}(t) = u_0 \cdot (1 + \Psi(t)) \quad (20)$$



Figur 7. Sammenhængen mellem isokrone σ - ϵ -kurver, krybning og relaksation (efter Beton-Bogen).

Krybningsfunktionen, $c(t)$, defineres som forholdet mellem den samlede tidsafhængige tøjning og spændingen:

$$c(t) = \frac{\epsilon_{tot}(t)}{\sigma} = \frac{1}{E} (1 + \Psi(t)) \quad (21)$$

Der er erfaring for, at krybningen hos bygningsmaterialer med god tilnærmelse kan beskrives ved en potensfunktion. Vælges tidsenheden år, kan dette udtrykkes på følgende vis:

$$c(t) = \frac{1}{E} (1 + \phi_{1\text{år}} \cdot t^b) \quad (22)$$

hvor $\phi_{1\text{år}}$ [$(\text{år})^{-b}$] er krybningen efter 1 år, t er tiden og b er en karakteristisk konstant gældende for det betragtede materiale. Værdier for $\phi_{1\text{år}}$ og b kan findes i tabel 7.

For at undgå den uheldige enhed, $(\text{år})^{-b}$, vælger man dog ofte at skrive krybningsfunktionen på følgende form:

$$c(t) = \frac{1}{E} \cdot \left(1 + \left(\frac{t}{\tau} \right)^b \right), \quad \tau = \phi_{1\text{år}}^{-\frac{1}{b}} \quad (23)$$

Størrelsen τ kaldes *relaksationstiden*, og den har samme dimension som tiden t . τ kan i forbindelse med krybning opfattes som *fordoblingstiden*, idet det er den tid ved hvilken den totale tøjning er fordoblet i forhold til momentantøjningen.

Relaksationen i et materiale kan udtrykkes som

$$\sigma(t) = \sigma_0 - \sigma_r(t) = \epsilon \cdot r(t) \quad (24)$$

idet vi har indført *relaksationsfunktionen*, $r(t)$, der angiver forholdet mellem den tidsafhængige spænding og den påsatte tøjning.

For et givet materiale er der altid en entydig sammenhæng mellem krybningsfunktionen og relaksationsfunktionen. Dette betyder at er f.eks. krybningen kendt, kan også relaksationen findes. For materialer, der kan beskrives ved en potensfunktion af form som i formel (23), er denne sammenhæng meget simpel, idet der med god tilnærmelse gælder følgende når $b < 0.3$:

$$r(t) \approx \frac{1}{c(t)} = \frac{E}{1 + \left(\frac{t}{\tau} \right)^b} \quad \text{når } b < 0.3 \quad (25)$$

Det ses af formel (25) at τ i forbindelse med relaksation kan opfattes som *halveringstiden*, hvilket vil sige den tid til hvilken spændingen er halveret i forhold til spændingen til tiden nul.

5.5 Belastningsvarighed

I statiske styrkeforsøg viser det sig, at resultaterne er stærkt afhængige af belastningshastigheden. Som regel stiger styrken med stigende hastighed, jf. figur 7 - kurven mærket "Dynamisk".

Udsættes et prøvelegeme for en vedvarende konstant spænding, σ , mindre end korttidsstyrken, f_{dyn} , vil prøven som regel bryde efter et stykke tid. Tiden til brud, kaldet *levetiden*, afhænger kraftigt af lastniveauet. Optegnes sammenhængen mellem lastniveau (σ/f_{dyn}) og tid til brud, fås materialets levetidskurve, der siger noget om *langtidsstyrken* for materialet. På figur 7 ligger langtidsstyrken, hvor brudgrænse og krybegrænse mødes.

Forklaringen på denne forskel mellem korttidsstyrke og langtidsstyrke er, at den tidsafhængige deformation (krybningen) ved belastninger over en vis værdi vokser, indtil revnedannelsen er så voldsom, at materialet bryder.

5.6 Udmattelsesbrud

I et materiale, som udsættes for vedvarende, varierende belastninger, vil der indtræde brud ved en lavere spænding end brudspændingen fundet ved statiske forsøg.

Når denne udmattelsesstyrke skal bestemmes, gøres dette ved at udsætte et prøvelegeme af materialet for en pulserende belastning med konstant frekvens. Denne belastnings middelspænding σ_m og amplitude σ_a defineres som følger.

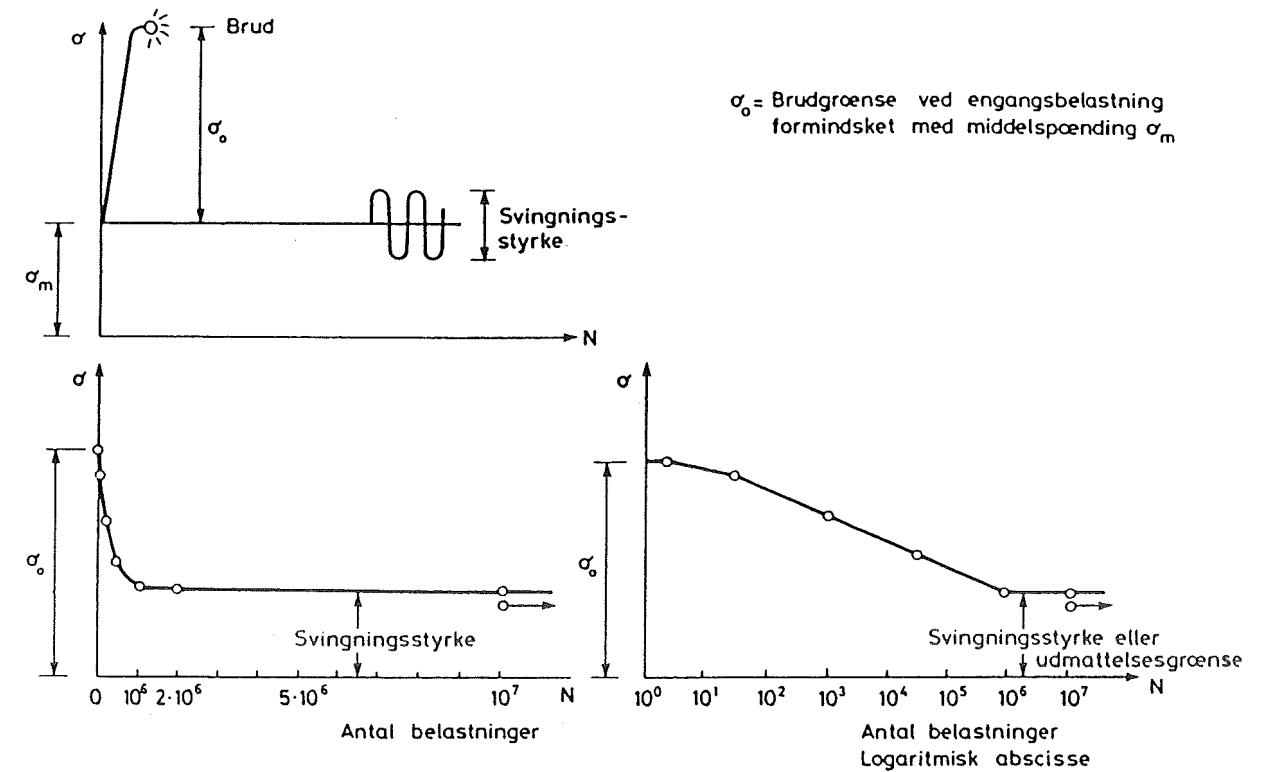
$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (26a)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (26b)$$

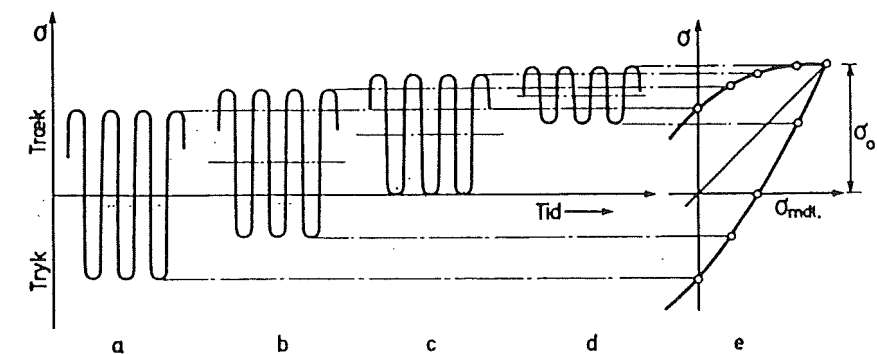
Resultatet af en sådan prøvning kan afbildes enten i et Wöhler-diagram eller i et Smith-diagram.

I et Wöhler-diagram afbildes sammenhængen mellem antallet af lastvariationer N og spændingsamplituden σ_a for konstant middelspænding (ofte $\sigma_m = 0$). Som det ses af figur 8, så eksisterer der en nedre spænding, under hvilken der ikke opstår udmattelsesbrud.

I Smith-diagrammet afbildes sammenhængen mellem middelspændingen og amplituden (angivet ved σ_{\max} og σ_{\min}) for konstant antal lastvariationer (ofte $N = 2 \cdot 10^6$). Et eksempel er vist i figur 9.



Figur 8. Wöhler-diagrammet. (Efter [24])



Figur 9. Smith-diagrammets konstruktion.

5.7 Slagsejhed

Mange materialer er sprøde eller skøre. Dette viser sig ved, at de let går i stykker for slagpåvirkninger. Slagsejheden er et udtryk for, hvor stor energi der skal til for at slå et bestemt areal over ved hjælp af en faldhammer. Prøvestykkerne tildannes efter faste regler med bestemte længder, tværsnit og en kærve. Prøven betegnes ofte som kærveslagprøven. Slagstyrken angives i Nm/m^2 . Dette mål er ikke direkte anvendeligt som karakterisering af en brugsegenskab, men bruges til at måle, om visse materialer bliver sprødere som følge af ældning eller lave temperaturer. Kærveslagprøven er nærmere beskrevet i vejledningen til øvelse D (stål) i LBM-kursus 6101.

5.8 Slidstyrke

Slidstyrken er især af interesse for gulvmaterialer. For at sammenligne slidstyrker for forskellige materialer kan man udføre prøvebelægninger på stærkt befærdede steder eller med specielle slibemaskiner eller ved sandblæsning slide materialet og derefter måle tykkelsesformindskelsen eller vægttabet.

5.9 Friktion

Friktionen mellem to materialer angives ved den statiske friktionskoefficient, μ , der er defineret som

$$\mu = \frac{\text{maksimal friktionskraft}}{\text{normalkraft}}$$

Den maksimale friktionskraft har man lige før glidning begynder, mens friktionen under bevægelse er noget lavere og ved større hastigheder afhængig af hastigheden. Friktionskoefficienten er endvidere afhængig af overfladernes fugtighedsgrad, således at friktionskraften normalt bliver mindre med stigende fugtighed. Friktionen er af betydning ved for eksempel gulves skridsikkerhed, konstruktionsdeles indbyrdes bevægelsesfrihed ved deformationer og ved vejes sikkerhed. For skridsikkerheden gælder det naturligt om at have så stor en friktionskoefficient som muligt. Undersøgelser af menneskers bevægelsesmåde tyder på, at friktionskoefficienten mellem fodbeklædning og gulvmateriale skal være mindst 0,25.

Omvendt kan man mellem konstruktionsdele ønske at få så lav en friktionskoefficient som muligt. Dette skyldes, at man ofte har tunge konstruktionsdele, der hviler på hinanden med store normalkræfter. Ved fugt- eller temperaturvariationer stræber delene efter at bevæge sig i forhold til hinanden. Hvis friktionskoefficienten er stor, hindres bevægelsen, og man får store horisontalkræfter. Man imødegår dette ved et mellemlag af et friktionsnedsættende materiale som f.eks. neoprengummi, teflonplast, pap, plastfolie osv. Friktionskoefficienter for nogle materialekombinationer er givet i tabel 12.

6 Volumenbestandighed

Et materiale vil deformeres ved spændingsændringer som beskrevet i afsnit 5. Desuden vil temperaturændringer og, for de porøse materialers vedkommende, fugtændringer bevirke deformationer.

6.1 Temperaturudvidelse

For langt de fleste materialer gælder, at de udvider sig ved opvarmning. Denne udvidelse er for det meste proportional med opvarmningen, således at længdeændringen i en enkelt retning i forhold til udgangslængden kan skrives som

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta T \cdot l_0 \quad (27)$$

hvor α [m/(m·C)] betegner materialets *længdeudvidelseskoefficient* og ΔT angiver temperaturforskellen. Det ses jf. formel (14), at den temperaturfremkaldte tøjning er givet ved

$$\epsilon_T = \alpha \cdot \Delta T \quad (28)$$

På tilsvarende måde defineres materialets *volumenudvidelseskoefficient* β [m³/m³]. For de fleste materialer gælder, at $\beta \sim 3\alpha$.

I tabel 9 er længdeudvidelseskoefficienten for en række materialer oplyst.

6.2 Fugtdeformationer

For de fleste porøse materialer gælder, at en ændring i det hygroskopiske fugtindhold medfører en ændring i materialets volumen. Disse volumenændringer betegnes henholdsvis *svind* og *svelning*, hvor svind er volumenformindskelsen ved udtørring, og svelning er volumenforøgelsen ved opfugtning. For isotrope materialer er det lineære svind ca. 1/3 af volumensvindet. For anisotrope materialer som f.eks. træ er der store forskelle i de tre hovedretninger.

Svind og svelning opgives som tøjninger, dvs. relative længdeændringer, og angives ofte i ‰.

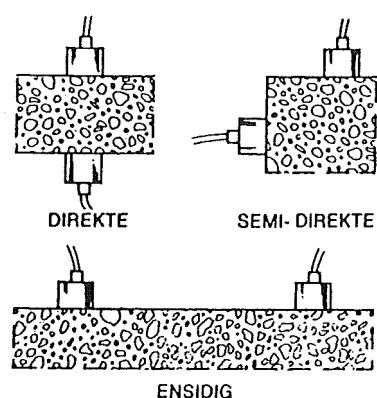
I tabel 10 er nogle materialers svind givet i et eller flere af i alt fire fugtinterval-ler.

7 Lydhastighed

Her skal omtales en størrelse, som ikke er en direkte brugsegenskab, men snarere en egenskab, som benyttes ved undersøgelse af en konstruktionsdel. Det drejer sig om lydens hastighed gennem materialet. Lydhastigheden er meget afhængig af materialets luftindhold idet $v_{\text{luft}} < v_{\text{mat}}$.

Luften kan optræde i form af naturlig porøsitet, som utilsigtede luftlommer eller i form af revner. Indholdet af andre materialer i form af urenheder eller som tilsigtede indlæg (f.eks. armeringsjern) har også indflydelse på lydhastigheden. Det er disse to ting, som gør, at lydhastigheden er god til undersøgelsesbrug, idet de simple og ikke-destruktive målinger kan give et indtryk af variationer i en konstruktions sammensætning og tilstand.

Selve målingen af lydhastigheden kan foretages på flere forskellige måder. Den mest almindelige metode er nok måling med ultralyd, hvor højfrekvente lydimpulser (ofte $f = 50$ kHz) sendes gennem materialet fra et sender- til et modtagerlydhoved. Når afstanden mellem de to lydhoveder, l , er kendt og gennemgangstiden t er målt, kan lydhastigheden beregnes af



Figur 10. Tre forskellige placeringer af sender- og modtagerlydhoveder til ultralydmåling.

$$v = \frac{l}{t} \quad (29)$$

I figur 10 er vist forskellige måder at placere lydhovederne ved ultralydmåling. Vejledende lydshastigheder for nogle materialer er givet i tabel 11.

8 Holdbarhed

Holdbarhed er et samlet begreb til beskrivelse af et materiales evne til at modstå de fysiske og kemiske påvirkninger, som kan forandre materialeegenskaberne. Det bør understreges, at disse forandringer kan gå i både positiv og negativ retning. Et eksempel på en positiv forandring i tidens løb er cementens fortsatte hydratisering i beton, hvilket giver øget styrke. Et eksempel på negativ forandring er frostnedbrydning af teglsten.

Et byggematerials holdbarhed er ikke en egenskab i sig selv. Begrebet dækker over materialers evne til i en vis periode at kunne opretholde de brugsegenskaber, f.eks. med hensyn til styrke og stivhed, der bliver krævet. Denne evne er bl.a. stærkt afhængig af de påvirkninger materialet bliver udsat for.

Ønsker man at vide, hvor lang tid et givet materiale er holdbart, må man se på den konstruktion, materialet indgår i, og det miljø, konstruktionen er placeret i. Ved en konstruktions *levetid* forstås den tid i hvilken konstruktionen opfylder de funktionskrav, som man stiller til den. Æstetiske krav, f.eks. med hensyn til misfarvninger, kan i visse tilfælde være med til at bestemme en konstruktions levetid. Dermed er der tale om en udvidelse af levetidsbegrebet i forhold til afsnit 5.5. der alene omhandlede bæreevnen.

De mekanismer der kan forårsage nedbrydningen, dvs. de negative forandringer i tidens løb, præsenteres meget kort nedenfor. Nedbrydning kan ske *kemisk*, *elektrokemisk*, *fysisk*, *biologisk* og ved *ældning*.

8.1 Kemiske angreb

Dette kan f.eks. forekomme, hvor man anvender et materiale i forbindelse med en væske, eller en luftart, der kan angribe dele af materialet. I denne forbindelse må det erindres, at selv om de fleste materialer er resistente over for rent vand, øges vandets angrebsevne betydeligt med dets indhold af opløste forureninger. Angrebshastigheden afhænger foruden af materialets sammensætning også af dets tæthed, væskens koncentration samt temperaturen.

8.2 Elektrokemiske angreb

Dette ses på metaller og deres legeringer i form af korrosion. Se videre i /12/ og /14/.

8.3 Fysiske angreb

Disse finder man blandt andet som *forvitring*. Det er en meget langsom proces, der skyldes en stadig skift mellem opvarmning og afkøling, f.eks. ved skiftet mellem solbestråling og afkøling ved regn. Der opstår herved trækspændinger i materialet. Hos sprøde materialer, der har en lav trækstyrke, brister overfladen og skaller af. En accelereret forvitring har man ved brand, når materialerne oversprøjtes med vand.

Et sammensat materiale kan nedbrydes fysisk, hvis de enkelte komponenter har forskellige længdeudvidelseskoefficienter. For eksempel er det ikke ligegyldigt, hvad man bruger som tilslagsmateriale til beton.

Når vand fryser, udvider det sig som bekendt 9%. Hvis det da befinder sig i porerne af et materiale, kan der i dette opstå meget store spændinger, der kan føre til *frostsprængning*. En mulighed for at undgå dette er at sørge for, at der i materialet findes tilstrækkelig luft, der kan optage vandets volumenændring. Det afhænger altså af vandmætningsgraden, dvs. forholdet mellem vandmængden og det samlede tilgængelige porevolumen. Hvis luftvoluminet bare var større end 9% af vandets volumen, skulle man tro, at en frostsprængning kunne undgås. I virkeligheden viser det sig, at den kritiske vandmætningsgrad skal være langt mindre, dvs. det tilgængelige luftvolumen skal være langt større end 9% af vandets volumen.

8.4 Biologiske angreb

Dette er levende dyrs og planter angreb på materialet. Angreb på træ er her de kendteste eksempler, men svampeangreb på plast er også observeret. Kloakrør af beton er også blevet nedbrudt. Her reducerer bakterier under slammets forrådnelse bundet svovl til svovlbrinte, der som gasart sammen med fugt danner den over for beton aggressive svovlsyre.

8.5 Ældning

Ældning er langsom ændring af et materiales indre opbygning. Ældning bevirker ofte, at seje materialer bliver skøre. Som eksempel på ældning kan nævnes opløsningsmidlers fordampning fra plast og solstrålings nedbrydning af plast, papir og farvepigmenter. (Udtrykket ældning anvendes også i aluminiumproduktionen om styrkeforbedringer.)

Det er vanskeligt at måle eller beregne et materiales holdbarhed i forskellige miljøer. Det mest sikre er nok at vurdere ud fra erfaringerne med samme materiale i et tilsvarende miljø. Dette er naturligvis ikke muligt med et nyt konstruktionsmateriale. Her er man henvist til laboratorieforsøg med accelererede prøver. Men usikkerheden er stor, når resultaterne skal overføres til virkelighedens betingelser.

Litteratur

Følgende lærebøger og kompendier om bygningsmaterialer skal nævnes. Her kan man få uddybet den meget kortfattede gennemgang ovenfor.

Lærebøger ved LBM's kurser (kursus nr. i parentes)

- /1/ Anders Nielsen: Bygningsmaterialers egenskaber. LBM, Teknisk Rapport, TR 274/92 (6101, 6102).
- /2/ Anders Nielsen: Fugt i bygningsmaterialer. LBM, Teknisk Rapport 206/90 (6101, 6102).
- /3/ Torben C. Hansen: Beton i henhold til DS 411-84. LBM, Teknisk Rapport 146/86. 2. udgave 1986 (6101, 6103).
- /4/ Anders Nielsen: Silikatbygningsmaterialer. LBM, Teknisk Rapport 173/87 (6101).
- /5/ A.D. Herholdt et al.: Beton-Bogen. Aalborg Portland, 1985 (6102, 6103).
- /6/ A.M. Neville: Properties of Concrete. Pitman, 1973 og senere (6103).
- /7/ P. Freiesleben Hansen, E.J. Pedersen: Vinterstøbning af beton. SBI-Anvisning nr. 125, 1982 (6103).
- /8/ T.C. Hansen: Physical Structure of Hardened Cement Paste. Notat. LBM, 1985 (6103).
- /9/ T.C. Hansen: Practical Guide to Concrete Aggregates. LBM Technical Report 133/83 (6103).
- /10/ T.C. Hansen: Vejledning i elementær grusprøvning. LBM, Teknisk Rapport 113/82 (6101).
- /11/ Else Koefoed: Plast. Polyteknisk Forlag, 1981 (6102).
- /12/ Ebbe Hagemann, A. Nielsen: Metallære for bygningsingeniører. Polyteknisk Forlag, 4.udg, 3.opl., 1990 (6101).
- /13/ T.C. Hansen: Notat vedrørende valg af stål til bærende konstruktioner. LBM, Teknisk Rapport 137/83. Bilag til /12/. (6101).
- /14/ E. Maahn, M. Østergård: Korrosion. Insituttet for Metallære, DTH, 1990 (6102).
- /15/ H.J. Larsen, H. Riberholt: Trækonstruktioner, beregning. SBI-Anvisning nr. 135, 1983 (6101, 6104).

- /16/ Claus Kondrup: Træbeskyttelse. LBM, Teknisk Rapport 217/90 (6104).
- /17/ Morten Knudsen: 12 træarter i Skandinavien. Træ 12. TOP 1963 (6104).
- /18/ Torben Huld et al.: Træ holder længe. Træ 29. TOP 1984 (6101, 6104).
- /19/ H. Riberholt, P.C. Nielsen: Limtræ. Træ 30. TOP 1985 (6104).
- /20/ R.A. Parham; R.L. Gray: Formation and Structure of Wood. The Chemistry of Solid Wood (editor Roger M. Rowell). American Chemical Society 1984 (6104).
- /21/ Preben Hoffmeyer: The role of grain angle, knots, tension wood, compression wood and other anomalies on the mechanical properties of wood. LBM, Technical Report 183/87 (6104).
- /22/ Palle Knudsen: Træ og Fugt. LBM, Teknisk Rapport 218/90 (6104).
- /23/ L. Fuglsang Nielsen: Træs rheologi, styrke og levetid. Notat, LBM (6104)

Lærebøger ved DIA-B, FYM

Desuden anvendes følgende lærebøger foruden en del af de ovennævnte ved DIA-B, Sektionen for Fysik og Materialer.

- /24/ Ebbe Hagemann: Byggematerialer, Grundbog. Polyteknisk Forlag, 1985.
- /25/ C. Falk: Tegl 10. Kalk og Teglværkslaboratorium, Oktober 1980.
- /26/ Korrosionsforebyggelse i boligbyggeriets konstruktioner. SBI-Anvisning nr. 104, 1976.
- /27/ C. Strøbech: Limteorier og nyere limteknikker. 1976.
- /28/ T. Thorsen: Notat om betonproportionering. DIA-B, August 1982.
- /29/ T. Thorsen: Notat om sammensætning af tilslag ved grafisk metode. DIA-B, Februar 1983.

Lærebog ved Teknika

- /30/ Jens Mollerup: Husbygningsmaterialer. Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck, 5.udg. 1991.

Symbolliste

Denne symbolliste er udarbejdet således at den følger nomenklaturen i notatet "Bygningsmaterialers egenskaber". Enkelte tilføjelser er dog gjort i forhold til notatet.

I udarbejdelsen af symbollisten er det tilstræbt at følge betegnelserne benyttet i de danske standarder for de vigtigste bygningsmaterialer: DS 411 (betonkonstruktioner), DS 412 (stålkonstruktioner), DS 413 (trækonstruktioner) og DS 414 (murværkskonstruktioner).

Densitet og porøsitet

m	[kg]	Tør masse
p	[m ³ /m ³]	Porøsitet
p _{tot}	[m ³ /m ³]	Totalporøsitet
p _a	[m ³ /m ³]	Åben porøsitet
V _f	[m ³]	Faststofvolumen
V _p	[m ³]	Porevolumen
V _t	[m ³]	Samlet volumen
ρ	[kg/m ³]	Densitet
ρ _b	[kg/m ³]	Tørdensitet, beton (Benyttes i /5/)
ρ _d	[kg/m ³]	Tørdensitet
ρ _f	[kg/m ³]	Faststoffdensitet, absolut densitet, pulverdensitet.
ρ ₁	[kg/m ³]	Tilsyneladende faststoffdensitet
ρ _{kh}	[kg/m ³]	Kornhobsdensitet

Fugt og fugttransport

A	[m ²]	Areal
D _w	[m ² /s]	Fugtleddningstal. I DIA-B's lærebog /25/ kaldet k _f .
d	[m]	Tykkelse
K	[kg/(Pa · m · s)]	Vandpermeabilitetskoefficient
k	[kg/(m ² · √s)]	Kapillaritetstal
M	[s/m ²]	Modstandstal
p	[Pa]	Damptryk
p ₁ , p ₂	[Pa]	Damptryk, vandtryk
p _s	[Pa]	Mætningsdamptryk
Q	[kg/s]	Transporteret vandmængde
Q _{kap}	[kg/m ²]	Opsuget vandmængde
RF	[%]	Relativ fugtighed
t	[s]	Tid
u	[kg/kg]	Vand-tørstofforhold, fugtbrøk (I /2/ og /5/)
w	[kg/m ³]	Vandindhold
Z	[Pa · m ² · s/kg]	Fugtmodstandstal
z	[m]	Afstand fra fugtfront
δ	[kg/(Pa · m · s)]	Vanddamppermeabilitetskoefficient
ω	[kg/kg]	Fugtindhold (I /15/) Svarer til vand-tørstofforhold

Varme og varmeledning

A	[m ²]	Areal
a	[m ² /s]	Varmediffusionstal, temperaturledningstal
c _p	[J/(kg·°K)]	Specifik varme, varmemfylde (Angives ofte i [J/(m ³ ·°K)])
d	[m]	Tykkelse
Q _v	[J/s, W]	Transporteret varmemængde
T ₁ , T ₂	[°K, °C]	Temperatur
λ	[J/(s·m·°K)]	Varmeledningstal
ρ	[kg/m ³]	Densitet

Deformation og styrke

A	[m ²]	Areal
b		EkspONENT
c(t)		Krybningsfunktion
d	[m]	Diameter
Δd	[m]	Ændring i diameter
E	[MPa]	Elasticitetsmodul (E-modul)
E ₀	[MPa]	Begyndelseselasticitetsmodul
f	[MPa]	Styrke
f _c	[MPa]	Trykstyrke
f _{dyn}	[MPa]	Styrke ved dynamisk belastning
f _t	[MPa]	Trækstyrke
f _m	[MPa]	Bøjningsstyrke
f _y	[MPa]	Flydespænding
G	[MPa]	Forskydningsmodul
l	[m]	Længde
l ₀	[m]	Oprindelig længde
Δl	[m]	Længdeændring
N		Antal lastvariationer
P	[N]	Kraft
r(t)		Relaksationsfunktion
t	[år, døgn]	Tid
u	[m]	Udbøjning, flytning
u ₀	[m]	Momentan udbøjning
u _{tot}	[m]	Samlet udbøjning
ε	[m/m]	Tøjning
ε _c	[m/m]	Krybetøjning
ε _l	[m/m]	Længdetøjning
ε _t	[m/m]	Tværtøjning
ε _{tot}	[m/m]	Samlet tøjning
ε _u	[m/m]	Brudtøjning
ε _y	[m/m]	Flydetøjning
ε ₀	[m/m]	Momentantøjning
γ		Vinkelændring
μ		Friktionskoefficient
ν		Poissons forhold

σ	[MPa]	Normalspænding
σ _a	[MPa]	Spændingsamplitude
σ _m	[MPa]	Middelspænding, bøjningsspænding
σ _{max}	[MPa]	Maximumsspænding
σ _{min}	[MPa]	Minimumsspænding
σ _p	[MPa]	Proportionalitetsspænding
σ _u	[MPa]	Brudspænding
σ _y	[MPa]	Flydespænding
σ _{0.2}	[MPa]	Spænding svarende til 0.2 % blivende deformation
τ	[MPa]	Forskydningspænding
τ	[år, døgn]	Relaksationstid
φ _{1år}		Krybetal efter 1 år
Ψ(t)		Krybetal

Volumenbestandighed

l ₀	[m]	Oprindelig længde
Δl	[m]	Længdeændring
ΔT	[°K, °C]	Temperaturændring
α	[°K ⁻¹ , °C ⁻¹]	Længdeudvidelseskoefficient
β	[°K ⁻¹ , °C ⁻¹]	Volumenudvidelseskoefficient
ε _T	[m/m]	Temperaturafhængig tøjning

Lydhastighed

l	[m]	Afstand mellem målepunkter
t	[s]	Tid
v	[m/s]	Lydhastighed
v _{luft}	[m/s]	Lydhastighed i luft
v _{mat}	[m/s]	Lydhastighed i materiale

Det græske alfabet

A, α	Alfa	N, ν	Ny
B, β	Beta	Ξ, ξ	Ksi
Γ, γ	Gamma	Ο, ο	Omikron
Δ, δ	Delta	Π, π	Pi
E, ε	Epsilon	Ρ, ρ	Rho
Z, ζ	Zeta	Σ, σ	Sigma
H, η	Eta	T, τ	Tau
Θ, θ	Theta	Υ, υ	Ypsilon
I, ι	Iota	Φ, φ	Fi
K, κ	Kappa	X, χ	Khi
Λ, λ	Lambda	Ψ, ψ	Psi
M, μ	My	Ω, ω	Omega

Præfixer til mængdebetegnelser

Tera	= 10 ¹²	T
Giga	= 10 ⁹	G
Mega	= 10 ⁶	M
Kilo	= 10 ³	K
Milli	= 10 ⁻³	m
Mikro	= 10 ⁻⁶	μ
Nano	= 10 ⁻⁹	n
Pico	= 10 ⁻¹²	p

Tabeller

TABEL 1. DENSITET OG PORØSITET. Formel (1)-(4)

Materiale	Faststof-densitet	Tørdensitet	Porøsitet
	ρ_f kg/m ³	ρ_d kg/m ³	P %
Vand	1.000	-	-
Is	917	-	-
Metaller			
Platin	21.400		
Bly	11.400		
Kobber	8.960		
Jern/Stål	7.870		
Zink	7.130		
Aluminium	2.700		
Magnesium	1.740		
Silikat- og stenmaterialer			
Diabas	2.900-3.000	-	-
Marmor	2.650-2.700	2.600-2.700	0.5-2
Granit	2.650-2.700	2.600-2.700	0.5-1.5
Kalksten	2.700	2.600	4
Sandsten	2.700	2.100-2.400	11-22
Beton, v/c = 0.4	2.650	2.350-2.450	5-10
Beton, v/c = 0.6	2.650	2.150-2.350	10-20
Beton, v/c = 0.8	2.650	1.900-2.250	15-30
Cementpasta, v/c = 0.5	2.650	1.500	40
Cementmørtel (C)	2.650	2.100	20
Kalkmørtel (K)	2.650	1.850	30
Kalkcementmørtel (KC)	2.650	2.000	25
Tegl, hårdt brændt	2.650	1.800	30
Tegl, middelbrænding	2.650	1.600	40
Tegl, let brændt	2.650	1.400	50
Molersten	2.650	400-800	70-85
Kalksandsten	2.700	2.100-2.000	26-37
Gasbeton, tung	2.700	650	75
Gasbeton, mellem	2.700	500	80
Gasbeton, let	2.700	400	85
Letklinkerbeton (konstruktion)	2.650	1.400-2.000	25-50
Letklinkerbeton (isolation)	2.650	400-1.000	60-85
Gips	2.500	1.000-1.200	50-60
Glas	2.600	2.600	0
Mineraluld	2.600	15-300	89-99
Træ			
Greenheart	1.500	1.050	30
Bøg	1.500	680	55
Eg	1.500	650	57
Fyr	1.500	490	67
Gran	1.500	430	71
Balsa	1.500	170	89
Træbaserede materialer			
Kork	1.500	150-300	80-90
Spånplade	1.500	600-750	50-60
Krydsfiner	1.500	400-580	61-73
Træfiberplade, hård	1.500	> 800	< 47
Træfiberplade, halvård	1.500	350-800	47-77
Træfiberplade, porøs	1.500	< 350	> 77
Træbeton	-	250-450	75-90
Linoleum	-	1.180	-
Plastmaterialer			
PVC, hård	1.500	1.380-1.500	0-8
PVC, blød		1.100-1.400	7-27
Acrylplast (plexiglas)	1.200	1.180-1.200	0-2
Polyethylen, hård (PEH)	1.000	940-960	4-6
Polyethylen, blød (PEL)		910-930	7-9
Polypropylen		890-910	
Polytetrafluorethylen (Teflon)		2.200-2.300	
Polystyren	1.120	1.040-1.065	5-7
Naturgummi		900-1.120	
Butylgummi		910-970	
Neopren		1.230-1.320	
Phenolformaldehyd (Bakelit)		1.400-1.800	
Melaminplast	1.520	~ 1.500	~ 1
Termoplastskum		15-100	
Elastomerskum (Skumgummi)		15-100	
Hærdeplastskum		15-100	

TABEL 2. DENSITETER, PULVERMATERIALER

MATERIALE	Faststof-densitet kg/m ³	Korn-densitet kg/m ³	Kornhobsdensitet, ρ_{kh}	
			Fast lejring	Los lejring
			kg/m ³	kg/m ³
Portlandcement (uhydratiseret)	3150	3150	1400	1100
Portlandflyveaskecement	2900	2000-3150	1300	1200
Flyveaske	2650	2000-2200	1250	1000
Letklinker	2650	500-1000	500	300
Søsand og bakkesand, 4% vand	2650	2550-2650	1500	1250
Nøddesten	2650	2550-2650	1500	1250
Granitskærver	2650	2650-2750	1500	1400
Stabilt grus	2650	2550-2650	1800	1600
Høvlsplåner	1600	400-600	150	100
Polystyren-kugler	1100	15-100	10	5

TABEL 3. FUGTTRANSPORTKOEFFICIENTER - Formel (5), (7) og (8)

MATERIALE	Vanddamp-perm. koeff. δ	Fugtled-ningstal D_w	Vandperm.-koefficient K
	10 ⁻¹² kg/(Pa·m·s)	10 ⁻¹² m ² /s	10 ⁻¹² kg/(Pa·m·s)
Luft (0° C)	176	-	-
Silikat- og stenmaterialer			
Granit			0.5-1.5
Kalksten			0.9-1500
Sandsten			200-15000
Beton og cementmørtel, v/c = 0.4	1-8	10-20	0.001-0.05
Beton og cementmørtel, v/c = 0.6	1-10	15-30	0.1-2
Beton og cementmørtel, v/c = 0.8	1-15	50-200	0.5-30
Kalkmørtel (K)	10-30		
Kalkcementmørtel (KC)	5-15		
Tegl, $\rho = 1200-1800$	20-40		3.000-30.000
Kalksandsten	10-20		
Gasbeton, $\rho = 400-650$	40-100	700-1400	
Letklinkerbeton (konstruktion)	20-40	-	-
Letklinkerbeton (isolering)	100-176	-	-
Gipsplade	20-30	-	-
Glas	0	0	0
Mineraluld	50-176		
Træ			
Bøg \perp	2-3	60-400	-
Bøg \parallel	~ 100		
Fyr \perp	1-2		
Gran \perp	1-30		
Gran \parallel	85		
Træbaserede materialer			
Kork	1-10		
Spånplade	2.5-5		
Krydsfiner	10-20		
Træfiberplade, hård	1-2		
Træfiberplade, halvård	10-20		
Træfiberplade, porøs	20-60		
Træbeton	25-50		
Linoleum	*		
Plastmaterialer			
PVC, hård	~ 2 · 10 ⁻³		
PVC, blød	4-20 · 10 ⁻³		
Polyvinylacetat	10-50 · 10 ⁻³		
Polyethylen, hård (PEH)	0.4 · 10 ⁻³		
Termoplastskum	0.5-10		
Hærdeplastskum	1-65		

TABEL 4. FUGTMODSTANDSTAL FOR SKIVEMATERIALER - Formel (6)

MATERIALE	Modstandstal Z
	10^9 (Pa·m ² ·s)/kg
Alufolie	150-10.000
Alufolie, 0.009 mm på papir	25
Avispapir (55 g/m ²)	0.1
Uimpr. pap	0.2-0.5
Asfaltimpr. pap	2.4-10
Tagpap	> 100
Asfalt (1-2 strygninger)	10-150
"Plastfolie" (0.05 mm)	50-125
PVC-folie (100 g/m ²)	100-200
Polyetenfolie (0.15-0.2 mm)	300-600
Gulvtæppe med gummivrang	~ 1
Linoleum	25-50
Vinylgulvbelægning (2-3 mm)	60-90
Plader	
Gipsplade (13 mm)	0.3-0.5
Spånplade (13 mm)	3-5
Spånplade (19 mm)	4-5.5
Hård træfiberplade (3.2 mm)	1-6
Krydsfiner (9 mm)	4-40
Maling	
Silikatmaling (80-100 my)	0.7-0.8
PVA-latex (100-120 my)	0.9-1.5
Akryllatex (100-200 my)	1.5-5
Klorkautsjuk (40-50 my)	5-8
Alkyd (90-120 my)	9-20
Polyurethan (30-40 my)	10-20
Epoxy (50-100 my)	10-20

TABEL 5. VARMELEDNINGSTAL OG VARMEKAPACITET - Formel (11) og (12)
Varmekapaciteten er angivet for fugtigt materiale

MATERIALE	Teoretisk varmeledningstal λ_{teo}	Normalt v/t-forhold u	Praktisk varmeledningstal λ	Specifik varme/ varmefylde C _p
	J/s·m·°K	‰	J/s·m·°K	J/kg·°K
Vand			0.6	4186
Is (0° C)			2.2	2100
Luft	0.024			1000
Metaller				
Bly	35	0	35	130
Kobber	380	0	380	390
Jern/Stål	35-60	0	35-60	450-500
Rustfrit stål	18	0	18	500
Støbejern	45-60	0	50-60	450-500
Zink	110	0	110	390
Aluminium	175-235	0	175-235	920
Silikat- og stenmaterialer				
Marmor	2.9	0	2.9	800
Granit	3.5	0	3.5	750
Kalksten	2.8	0	2.8	800
Sandsten			1.3-2.1	710
Beton, $\rho = 2000-2400$	0.75-1.35	2-3	1.6-2.1	800-1000
Beton, $\rho = 400-1000$	0.1-0.2	5-6	0.1-0.4	1000-1300
Cementmørtel (C)	0.70	2-5	1.1-1.15	
Kalkmørtel (K)	0.52	2-5	0.75-0.9	
Kalkcementmørtel (KC)	0.64	2-5	0.85-1.05	
Tegl, massiv	0.35-0.58	0.5-1.5	0.41-0.82	960
Tegl, mangehul	0.29-0.47	0.5-1.5	0.35-0.64	960
Molersten	0.17	5	0.29	
Kalksandsten	0.70	2-3	0.88-1.0	840
Gasbeton, $\rho = 650$	0.15	4-6	0.21	960
Gasbeton, $\rho = 500$	0.12	4-6	0.16	960
Gasbeton, $\rho = 400$	0.10	4-6	0.14	960
Letklinkerbeton	0.35-0.75	3	0.40-0.80	
Gips	0.41	2	0.52	1100
Glas	0.81	0	0.81	750
Skumglas	0.055	0.5	0.06	750
Mineraluld	0.029-0.045	1	0.040-0.05	750
Træ				
Vedtørstof	-	0	-	1356
Bøg ⊥		18	0.16	1800
Eg ⊥		18	0.16	1800
Fyr ⊥		15	0.14	1700
Fyr ≠		15	0.24	
Gran ⊥		12	0.09	1650
Gran ≠		15	0.24	
Træbaserede materialer				
Kork	0.035-0.075	2-4	0.04-0.08	1700-2100
Spånplade	0.10-0.13	10	0.12-0.14	
Krydsfiner			0.14	
Træfiberplade, hård	0.12	8	0.13	1300
Træfiberplade, halv hård	0.075	9	0.08	1300
Træfiberplade, porøs	0.045	10	0.052	1300
Træbeton	0.07-0.12	10	0.09-0.14	
Linoleum	0.14		0.17	
Plastmaterialer				
PVC, hård			0.35	1050
PVC, blød			0.17	1350
Acrylplast (plexiglas)			0.14-0.21	1450
Polyethylen, hård (PEH)			0.47	2300
Polyethylen, blød (PEL)			0.35	2300
Polypropylen			0.22	1920
Polytetrafluorethylen (Teflon)			0.24	1050
Polystyren			0.14-0.16	1255
Naturgummi			0.12-0.17	1840-1880
Butylgummi			0.13	1840-1925
Neopren			0.19	2050-2175
Phenolformaldehyd (Bakelit)			0.20-0.60	1340
Melaminplast			0.35	1400
Termoplastskum	0.023-0.04	1-2	0.03-0.06	
Hærdeplastskum	0.019-0.035	1-2	0.023-0.047	

TABEL 6. ELASTICITETER OG POISSONS TAL - Formel (16), (17) og (15)

MATERIALE	Elasticitetsmodul E	Forskydningsmodul G	Poissons-tal ν
	$10^3 \text{ MN/m}^2 = \text{GPa}$	$10^3 \text{ MN/m}^2 = \text{GPa}$	-
Is	10		0.33
Ferskvandsis	5		0.3
Saltvandsis			
Metaller			
Bly	16.5	5.6	0.47
Kobber	120	45	0.33
Jern/Stål	210	85	0.24
Støbejern	90-175	40-65	0.20
Zink	100	37	0.35
Aluminium	70.5	27	0.33
Silikat- og stenmaterialer			
Diabas	90		
Marmor	75-85		
Granit	20-70		
Kalksten	60-70		
Sandsten	5-80		
Beton	20-40		0.1-0.2
Cementmørtel (C)	20-30		0.1-0.2
Kalkmørtel (K)	2-5		
Kalkcementmørtel (KC)	5-10		
Tegl	1-30		0.30
Gasbeton	1-3		
Letklinkerbeton	10-20		
Gips	2		
Glas	50-80		0.25
Træ			
Bøg ⊥	1.5		
Bøg ≠	16.0		
Eg ⊥	1.0		
Eg ≠	12.4		
Fyr ⊥	0.46		
Fyr ≠	12.0		
Gran ⊥	0.55		
Gran ≠	11.0		
Træbaserede materialer			
Spånplade	1.5-3.5	0.8-1.2	
Krydsfiner	6	-	
Træfiberplade, hård	5		
Træfiberplade, halv hård	2		
Plastmaterialer			
PVC, hård	2.5-4.0		
PVC, blød	0.01-0.1		
Acrylplast (plexiglas)	2.5-3.2		0.4
Polyethylen, hård (PEH)	0.4-1.2	0.43	0.38
Polyethylen, blød (PEL)	0.1-0.2		0.45
Polypropylen	1.3	0.49	0.33
Polytetrafluorethylen (Teflon)	0.4-0.7		
Polystyren	3-3.5	1.2-1.3	0.33
Naturgummi	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$0.3-0.7 \cdot 10^{-3}$	0.5
Butylgummi	$0.7-1.5 \cdot 10^{-3}$	$0.2-0.5 \cdot 10^{-3}$	
Neopren	$1-3 \cdot 10^{-3}$	$0.3-1 \cdot 10^{-3}$	
Phenolformaldehyd (Bakelit)	5-15		
Melaminplast	5-10		

TABEL 7. KRYBNINGSPARAMETRE - Formel (22) og (23)
Temperatur omkring 20° C

Materiale (bemærkning)	Krybetal φ _{1år}	Eksponent b
Stål (σ < 0.6 f _t), (træk)	0	-
Støbejern	0	-
Aluminium (Al Zn Mg Cu), (træk)	0.2	0.27
Aluminium, andre typer, (træk)	0.02-0.1	0.2-0.3
Beton, (tryk)	0.5-2.5	0.1-0.2
Tegl	0	-
Gasbeton, (bøjning)	0.2-1.3	0.2-0.3
Letklinkerbeton, (tryk)	0.5-2.5	0.1-0.2
Limtræbjælker, (bøjning)	0.3-0.7	0.28-0.33
Konstruktionstræ, (bøjning)	0.5-2.5	0.2-0.3
Nåletræ (fejlfrit ≠, bøjning)	0.2-0.6	0.15-0.25
Fyr (fejlfrit ⊥, træk)	7.0 (!)	0.2
Krydsfiner (5 mm)	0.4-0.6	0.4
Spånplade (19 mm, indendørs, bøjning)	1.2	0.25
Spånplade (19 mm, udendørs, bøjning)	12.0	0.40

TABEL 8. STYRKETAL

MATERIALE	Flydespænding, f_y	Trykstyrke, f_c	Trækstyrke, f_t
	MPa	MPa	MPa
Ferskvandsis	-	2.5	1.2
Havvandsis	-	1.2-1.6	0.3-0.6
Metaller			
Bly	5		15
Kobber	50-300		200-400
Stål, Fe 360	215-235		360-460
Stål, Fe 510	335-355		490-630
Svejseligt højstyrkestål	-		~ 800
Spændstål	1200-1700		1900-2150
Rustfrit 18/8 stål	250		650
Støbejern	50-250	400-900	100-500
Zink	40-50		120-180
Aluminium	30-380		65-440
Silikat- og stenmaterialer			
Diabas		210	11
Marmor		100-180	6
Granit		170-200	10
Kalksten		50-180	2-9
Sandsten		30-180	1-9
Beton, v/c = 0.4 (28 døgn)		40-55	4-6
Beton, v/c = 0.6 (28 døgn)		25-40	3-4
Beton, v/c = 0.8 (28 døgn)		15-25	1-3
Cementmørtel (C)		5-20	0.5-2
Kalkmørtel (K)		1-2	-
Kalkcementmørtel (KC)		2-10	-
Tegl, hårdt brændt		50-80	6-10
Tegl, mellembænding		30-50	4-8
Tegl, let brændt		10-30	2-6
Kalksandsten		15-25	-
Gasbeton, $\rho = 600$		4-6	1.3-2
Gasbeton, $\rho = 500$		2-3	0.7-1
Gasbeton, $\rho = 400$		1-2	0.3-0.7
Gips		5-20	2-8
Glas		500-2000	30-100
Træ			
Bøg (fejlfrit, u = 12%) \neq		40-100	60-180
Bøg (fejlfrit, u = 12%) \perp		10	7
Eg (fejlfrit, u = 12%) \neq		50-70	50-180
Eg (fejlfrit, u = 12%) \perp		8-19	3-10
Fyr (fejlfrit, u = 12%) \neq		35-95	35-195
Fyr (fejlfrit, u = 12%) \perp		4-14	1-4
Gran (fejlfrit, u = 12%) \neq		35-80	20-245
Konstruktionstræ, T 200 \neq		10-30	20-50
Træbaserede materialer			
Kork		-	0.2-0.3
Spånplade \neq		9-12	15-25
Spånplade \perp		-	0.3-0.5
Krydsfiner (4-15 mm)		-	45
Træfiberplade, hård		-	40
Træfiberplade, halvård		-	15
Træfiberplade, porøs		-	2-4
Plastmaterialer			
PVC, hård		50-90	45-60
PVC, blød		-	10-25
Acrylplast (plexiglas)		80-130	30-80
Polyethylen, hård (PEH)		15-40	30-40
Polyethylen, blød (PEL)		-	7-15
Polypropylen		40-55	30-40
Polytetraflourethylen (Teflon)		10-15	10-35
Polystyren		80-100	40-60
Naturgummi		-	15-30
Butylgummi		-	10-18
Phenolformaldehyd (Bakelit)		105-280	20-60
Melaminplast		175-300	30-45
Termoplastskum		-	0.1-0.6
Elastomerskum (Skumgummi)		-	0.1-1
Hærdeplastskum		-	0.1-0.4

TABEL 9. LÆNGDEUDVIDELSESKOEFFICIENT - Formel (27) og (28)

MATERIALE	α
	$10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Ferskvandsis (0-10 ⁰ C)	45-55
Havvandsis (afh. af salt %)	+40-(-4.000)
Metaller	
Bly	28.9
Kobber	16.2
Jern/Stål	11-12
Rustfrit Stål (ferritisk)	10.8
Rustfrit Stål (martensit)	11.2
Rustfrit Stål (austenitisk)	17.6
Støbejern	10
Zink	26.2
Aluminium	23.7
Silikat- og stenmaterialer	
Kvarts	0.5-14
Marmor	4-16
Granit	8-12
Kalksten	8-12
Sandsten	7-12
Stensalt (NaCl)	40
Beton	8-12
Cementpasta	10-30
Cementmørtel (C)	8-14
Kalkmørtel (K)	10-20
Kalksandsten	8-9
Tegl	2-9
Gasbeton	7-8
Letklinkerbeton	8-10
Gips	17-25
Glas	6-9
Træ og træbaserede materialer	
Bøg \neq	3
Bøg \perp	61
Eg \neq	5
Eg \perp	54
Fyr \neq	5
Fyr \perp	34
Gran \neq	4
Gran \perp	58
Træbeton	10
Plastmaterialer	
PVC, hård	60-80
PVC, blød	150-200
Acrylplast (plexiglas)	50-90
Polyethylen, hård (PEH)	150
Polyethylen, blød (PEL)	230
Polypropylen	110
Polytetraflourethylen (Teflon)	100
Polystyren	60-80
Naturgummi	77
Phenolformaldehyd (Bakelit)	10-50
Melaminplast	60
Termoplastskum	20-40
Elastomerskum (Skumgummi)	20-250
Hærdeplastskum	30-50

TABEL 10. FUGTBETINGET SVIND

MATERIALE	Helt vådt → helt tør o/oo	90% RF → helt tør o/oo	Helt vådt → ~ 50% RF o/oo	Helt vådt → ~ 35% RF o/oo
Silikat- og stenmaterialer				
Marmor	0.12			
Granit	0.06-0.32			
Sand- og kalksten	0.1-0.5			
Beton	0.5-1		0.2-0.8	0.3-0.7
Cementmørtel	0.6-1.5		0.4-1.2	0.5-1.3
Kalkmørtel	0.07			
Tegl	0.1-0.2		0.005-0.01	
Molersten			0.2	
Kalksandsten				
Gasbeton	1-2		0.2-0.6	0.3-0.8
Letklinkerbeton	0.6-1.2		0.3-0.9	0.4-0.8
Gips	0.2			
Gipsplader			0.4	1.3
Træ				
Bøg, længde	3		2	
Bøg, radiale	58		45	
Bøg, tangt.	118		95	
Eg, længde	4		2	
Eg, radiale	40		25	
Eg, tangt.	78		45	
Fyr, længde	4		2	
Fyr, radiale	40		24	
Fyr, tangt.	77		45	
Gran, længde	3		2	
Gran, radiale	36		22	
Gran, tangt.	78		45	
Træbaserede materialer				
Spånplade ⊥		65		
Spånplade =		4		2.4-3.7
Krydsfiner ⊥		60		
Krydsfiner =		2.5		
Træfiberplade		5		4.3
Linoleum (langs)				-1
Linoleum (tværs)				+7
Plastmaterialer				
PVC-gulvbelægning	7-12	2-4	6-11	7-12
PVC-gulvbelægning (super)				0.2-0.5
Gummigulvbelægning				5-8

TABEL 11. LYDHASTIGHED - Formel (29)

Længdebølger i ubegrænset materiale

MATERIALE	Lydhastighed v
	m/s
Vand	1500
Luft	330
Metaller	
Bly	1960-2160
Kobber	4760-5010
Jern/Stål	5850-5960
Zink	4210
Aluminium	6420
Silikat- og stenmaterialer	
Marmor	3800
Beton	3500-4500
Tegl	2200-2500
Kalksandsten	2400-2900
Gasbeton	1600-1900
Gips	2600-2700
Glas	5000-6000
Træ og træbaserede materialer	
Træ ≠	2700-5000
Træ ⊥	1200-1400
Kork	430-530
Plastmaterialer	
Polyethylen, hård (PEH)	1900-2000
Polystyren	2100-2300
Naturgummi	1500-1600
Butylgummi	1800-1900
Neopren	1600

TABEL 12. STATISK FRIKTIONSKOEFFICIENT

MATERIALE	μ			
Stål-stål bearbejdede flader	0.12			
Stål-stål ubearbejdede flader	0.15-0.30			
Stål-stål friktionssamling	0.45-0.55			
Bronze-bronze eller støbejern	0.85			
Stål-bronze	0.10-0.20			
Stål-beton	0.20-0.35			
Metal-træ	0.50-0.80			
Beton-beton	0.50-0.60			
Beton-sten	0.75			
Tegl-tegl	0.50-0.70			
Teflon-stål	0.04-0.10			
Polyester-stål	0.27-0.18			
Teflon-teflon	0.04			
Polyeten-polyeten	0.12-0.33			
Læder-metal	0.35-0.70			
Kork-metal	0.45			
Teflon-poleret stål	0.04			
	Lædersål		Gummisål	
	tør	våd	tør	våd
Beton	0.54		0.74	
Vinylplast	0.46	0.30	0.58	0.63
Gummi	0.45	0.43	0.44	0.87
Kork	0.42	0.78	0.53	1.00
Linoleum	0.27		0.42	
Ferniseret gran	0.31		0.50	
Slebet kalksten	0.27		0.38	
Terrazzogulv	0.25		0.38	