

Tegl og teglmurverk

Materialeegenskaper



Mur-Sentret
Forskningsvn. 3b
P.b. 53 Blindern, 0313 OSLO

Tlf. 22 93 07 60
Faks 22 60 11 92
e-post: post@mur-sentret.no
Internett: www.mur-sentret.no



murbransjens
forsknings- og
informasjonskontor

Definisjoner	2
1 Teglfremstilling, teglprodukter	3
1.1 Råstoffer og teglfremstilling	3
1.2 Produkter og bruksområder	5
2 Dimensjoner, densitet og trykkfasthet	6
2.1 Dimensjoner og toleranser	6
2.2 Densitet og toleranser	6
2.3 Trykkfasthet	6
3 Fukttekniske egenskaper	9
3.1 Porøsitet	9
3.2 Fuktinnhold. Likevektsfukt	10
3.3 Minuttsug	10
3.4 Vannabsorpsjonskoeffisient	11
3.5 Vannabsorpsjon	11
3.6 Porefyllingstall	11
3.7 Frostmotstandsevne	12
3.8 Innhold av vannløselige salter	12
4 Fasthets- og deformasjonsegenskaper	14
4.1 Tyngdetetthet	14
4.2 Volumstabilitet	15
4.3 Hefffasthet. Samvirke stein /mørtel ..	16
4.4 Trykkpåkjenning	17
4.5 Bøyestrekpåkjenning	18
5 Varmetekniske egenskaper	20
5.1 Termisk konduktivitet	20
5.2 Spesifikk varmekapasitet	20
5.3 Termisk diffusivitet	21
6 Lydtekniske egenskaper	22
6.1 Lydisolasjonsevne	22
6.2 Isolering mot utendørs støy	22
6.3 Lydabsorpsjon	23
7 Branntekniske egenskaper	24
7.1 Brannmotstand ikke-bærende vegger	24
7.2 Brannmotstand bærende vegger	25
8 FDVU-dokumentasjon	26
8.1 Miljødata	26
8.2 Vanndampgjennomslippelighet	26
8.3 Lufttetthet	27
8.4 Inneklima	27
8.5 Overflatebehandling	28
8.6 Vedlikehold. Levetid	28
8.7 FDVU-dokumentasjon	29
9 Produksjonskontroll, CE-merking	30
9.1 Forskriftskrav	30
9.2 Standardiserte prøvemeter	30
9.3 Produksjonskontroll	30
9.4 Deklarasjon og CE-merking	31
Litteraturhenvisninger	32

Anvisningen erstatter tidligere utgave fra 1985.
Materialanvisningene er av ren teknisk karakter.
For oversikt over tilgjengelige tegltyper og farger, se Murkatalogens produktheft *Tegl*.

Denne anvisningen er utarbeidet på et tidspunkt hvor de nye europeiske, harmoniserte standarder for produkter og tilhørende prøvemeter ikke er endelig vedtatt, men foreligger som foreløpige europeiske standarder (prEN). Anvisningen er likefullt basert på krav og betegnelser i de forelig-

gende utgaver av de europeiske standardene, ettersom de gjeldende norske standarder er så mangelfulle og foreldete at de i dag er lite anvendbare.

Anvisningen er utarbeidet av Finn E. Madsø, Sivilingeniør Finn Madsø as, på oppdrag for Mur-Sentret. Tegninger er utført av Mur-Sentret.

Definisjoner

<i>Densitet</i>	et materiales tørre masse pr. volumenhet (kg/m^3) bestemt etter [6.6]
<i>Frostmotstandsevne/ Frostresistens/ Frostbestandighet</i>	et materiales evne til å tåle nedfukning og frysing gjentatte ganger uten skade som forringer dets funksjon. Testes etter standardiserte prøvemeter på enkeltstein eller på sammenmurte veggpaneler utsatt for nærmere definert antall fryse-tine-vekslinger, intensitet og varighet.
<i>Frostmotstandstall, FM-tall</i>	et empirisk uttrykk for teglsteins frostmotstandsevne basert på steinens densitet, minuttug, vannabsorpsjon og porefyllingstall, eventuelt også uttørkingshastighet. Se punkt 3.7.
<i>Minuttug (s_1)</i>	mål for teglsteinens vannoppsug pr. tidsenhet og flateenhet ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{min.}$). Minuttuget måles på helt tørr stein ved å holde steinens sugeflate 5 – 10 mm ned i et vannbad i 1 minutt og måle vektøkningen ved veiing før og etter. Oppsugd vannmengde (kg) delt på sugeflatens areal (m^2) angir minuttuget.
<i>Porefyllingstall (p_r)</i>	dimensjonsløst tall < 1 ; mål for hvor stor del av tilgjengelig porevolum i teglgodset som kan fylles ved kapillært oppsug i neddykket tilstand, og benyttes som indikasjon på teglsteinens frostmotstandsevne.
<i>Trykkfasthet (f_{ck})</i>	karakteristisk trykkfasthet for teglstein for trykkpåkjenning normalt på steinens liggeflate. Trykkfastheten bestemmes etter standardisert prøvemeter i NS 3000 ved at hver stein sages i to like halvdeler, hvoretter de to halvdeler sammenmures. Målt trykkfasthet omregnes til normalisert verdi, se punkt 2.3, relatert til standard steinterning med sidekant 100 mm.
<i>Vannabsorpsjon (w)</i>	mål for teglsteinens maksimale vannoppsug pr. masseenhet (vekt-%). Vannabsorpsjonen måles ved å holde steinen helt neddykket i vann i 3 døgn og måle vektøkningen ved veiing før og etter. Oppsugd vannmengde (kg) delt på steinens tørre vekt (kg) multiplisert med 100 angir vannabsorpsjonen i vekt-%. Vannabsorpsjonen måles suksessivt etter bestemmelse av minuttuget.

1 Teglframstilling, teglprodukter

Tegl fremstilles ved tørking og brenning av leire. Prosessen kan inndeles i fem forskjellige stadier:

- Leiruttak og råstoffbehandling
- Forming og overflatebehandling
- Tørking
- Brenning
- Sortering, merking og emballering

I Norge har vi i dag kun ett gjenværende teglverk i drift, Bratsberg Teglverk i Lunde i Telemark, med en moderne teglproduksjon fullt på høyde med de beste teglverk i Europa forøvrig.

Helt frem til 1970-årene hadde teglframstillingen til en viss grad karakter av håndverk. I dag er det imidlertid blitt en høyt mekanisert og automatisert industri. I det følgende er de fem stadier kort omtalt hver for seg med referanse til teglproduksjonen ved Bratsberg.

1.1 Råstoffer og teglframstilling

Leiruttak og råstoffbehandling

Ekte leirer er en gruppe vannholdige leirmineraler (aluminiumsilikater) dannet av forvitrede feltspatrike bergarter med partikkelstørrelse mindre enn 2 μm . Disse har vi imidlertid lite av i Norge. De norske leirer består vesentlig av noe grovere partikler (siltige leirer, 2–20 μm) med større andel glimmer, dannet ved utvasking fra morener som er avsatt under og etter siste istid. De fleste av våre leirer er marine, dvs. avsatt i salt- eller brakkvann, og vil derfor inneholde større eller mindre mengder vannløselige salter.

Våre leirer er kalkfattige og jernrike (3–6 vekt-% jernoksider), noe som gir rød farge ved brenning.

Leiren uttas i leirtak og transporteres med lastebiler til teglverket hvor leiren oppredes og lagres i store sumphus. Den utnyttbare leiren finnes som regel i det øvre jordsmonnet ned til 5–8 m dybde. Mineralsammensetning og korngradering kan variere betydelig med sted og dybde i leirtaket. Leiruttak og oppredning foregår derfor på en slik måte at man får en best mulig blanding av de forekommende leirtyper. Ved lagring i sumphuset blir leirens plastisitet og formbarhet forbedret, hvilket sikrer en jevnere og bedre kvalitet på det ferdige teglproduktet.

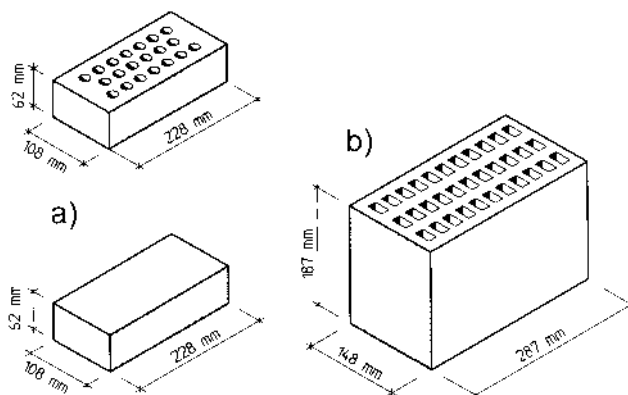


Fig. 1.1

Eksempel på teglprodukter

a) Hulltegl og massivtegl, normalformat NS 3000

b) Lett-tegl hullblokk

På teglverket tilsettes leiren ulike materialer, f.eks. sagflis, knust teglstein eller sand for å bedre leirmassens formbarhet og det brente teglgodsets egenskaper. Kalk kan tilsettes for å kontrollere eller redusere brennsvinn (opp til 2–3 vekt-% kalk) og for å endre leirens brennfarge. Økende kalktilsetning gir teglgods med lysere pastellsjatteringer fra rosa til gult. Saltholdige leirer tilsettes bariumforbindelser, som binder saltene kjemisk til ikke-vannløselige forbindelser.

Forming

Den mest vanlige måten å forme teglproduktene på er ved strengpressing (ekstrudering). Leiren gjøres plastisk ved at den passerer et lavtrykk-kammer (vakumkammer) hvor leiren «utluftes», og molekylær binding mellom partiklene økes. Leiren presses så under høyt trykk gjennom et munnstykke til en leirstreng med tverrsnitt som tilsvarer den aktuelle steinens lengde og bredde. Leirstrengen kuttet deretter opp i stykker tilsvarende steinhøyden vha. en «eggeskjærer». Munnstykets størrelse og avstanden mellom skjæretrådene må ta høyde for krymping ved tørking og brenning.

Teglstein produseres hovedsaklig som hulltegl. I munnstykket festes sirkulære eller rektangulære kjerner på en innenforliggende kam. Disse etterlater langsgående hull i teglstrengen ved ekstruderingen.

Overflatebehandling skjer før kapping. Ru overflate fremstilles ved at leirstrengen passerer under en beholder med sagflis, sand eller knust tegl som drysses på og presses inn i den ferske overflaten. Børstet eller riflet overflate oppnås ved å børste leirstrengen med roterende børstevåler. Leirstrengen kan også preges med ruller som valse spesielle mønstre inn i overflaten, som f.eks. Klostertegl.

Tørking

Etter kapping transporteres steinen til tørking. Tørkingen foregår kunstig, i kammer- eller tunneltørke. I en kammertørke står steinen i ro under hele tørketiden mens varmluft blåses inn. I en tunneltørke transporteres steinen gjennom forskjellige soner med varierende temperatur og fuktighet. Tørkingen starter med lav temperatur og høyt fuktinnhold og avsluttes med høy temperatur og lavt fuktinnhold.

Under tørking skjer det et svinn i leiren. For at svinnet ikke skal gi strukturriss i teglgodset må tørkingen ikke foregå for hurtig. Normalt tar tørkingen 2–5 døgn avhengig av leirens beskaffenhet og fuktinnhold.

Brenning og brennfarger

Brenningen foregår i dag i tunnelovner med en total lengde på over 100 m. Steinene blir plassert på vogner med tykk bunn av keramisk, ildfast materiale. Vognene føres kontinuerlig gjennom tunnelovnen, som er inndelt i en oppvarmingsone, en brennsoner og en avkjølingsone. Brenningen tar normalt ca. 3 døgn.

Tunnelovnen kan fyres med kull, gass, olje eller elektrisitet. Ved Bratsberg Teglverk fyres ovnen med gass via dyser som sitter tett plassert i ovnsaket over brennsonen. Ovnene fyres etter motstrømsprinsippet, dvs. luftstrømmen til brennsonen går i motsatt retning av teglproduktene.

I brennsonen styres temperaturen nøyaktig etter en bestemt brennkurve tilpasset leirens sammensetning. Maks. temperaturen ligger rundt 1.035 °C

med en nøyaktighet på ± 5 °C og med en holdetid på ca. 3 timer. Under brenningen skjer det en krystallinsk omdanning fra råmateriale til ferdig keramisk produkt, teglstein.

Ved brenningen skjer en viss sintring i godset hvorved steinene oppnår sin fasthet. Samtidig oksideres leirens jern- og kalkinnhold. Norske leirer, med jerninnhold 3–6 vekt-% og lavt kalkinnhold, gir teglstein med naturlig rødfarge. Ved å tilsette kalk (kalkstein CaCO_3), som gir gul brennfarge, kan det produseres et variert fargespekter fra rød til rosa og helt lyse, lærgule farger (pastelltegl). Ulike farger kan også oppnås ved tilsetning av forskjellige mineraloksid, f.eks. titandioksid, som gir varmgul brennfarge, og mangan- og chromdioksid, som gir brune og beige brennfarger.

Mineraloksidene tilsettes i små mengder, opp til 2 vekt-% av leirmassen, mens kalktilsetningen kan være opp til 15–30 vekt-%.

Det leveres i dag også helt elfenbenshvite teglstein på det norske marked. Leirmassen består her av 50–65 vekt-% ekte kaolinleire i tillegg til stor andel kalk.

Høyt kalkinnhold vil normalt influere på det brente teglgodsets egenskaper ved økt porøsitet og vannopptak og redusert densitet og fasthet.

Fargespill oppnås ved brenning med redusert ovnsatmosfære, dvs. underskudd på oksygen/overskudd på brensel. Derved trekkes oksygen fra leirens mineraloksid, som resulterer i mørkere brennfarger i overflaten.

Teglets ulike brennfarger er altså et resultat av selve den keramiske brennprosessen. Fargene er således kjemisk stabile, fargeekte.

Sortering, merking og emballering

Etter brenning og avkjøling blir steinene tatt av vognene og stablet på paller, som senere blir krympeemballert med plast og kjørt til lager. All håndtering skjer maskinelt ved hjelp av avplukkingsmaskiner og transportbånd. Moderne teglproduksjon er i dag så nøyaktig styrt at produksjonsutfallet gir nær 100 % fasadetegl-kvalitet. Manuell sortering er redusert til et minimum. Utsortert, skadet stein går til gjenvinning i produksjonen som knust tilslag til leiren.

Teglstein leveres enten på små europaller á 84 stein, eller på store paller á 336 stein (4 euro-

paller). I hver pall legges en merkelapp som angir produsent, produksjonsnummer, tegltype, fasthetsklasse, densitet og eventuelt vannopptak.

Energiforbruk og miljøhensyn

Normalt energiforbruk i moderne teglverk med kammertørke og tunnelovn, men uten varmegjenvinning på røykavgassene, utgjør i størrelsesorden 2.100 MJ pr. tonn brent gods (583 kWh/tonn). I tillegg påløper energiforbruk til transport til byggeplass, i størrelsesorden 1,9 MJ/(tonn·km). Se forøvrig punkt 8.1.

1.2 Produkter og bruksområder

Teglstein kan leveres til ulike formål i et utall forskjellige formater, farger og overflatestrukturer. Med kun ett gjenværende teglverk i landet vil varesortimentet i økende grad fremover bli preget av et internasjonalt marked med større variasjon i steintyper, formater og utseende enn tidligere. Av denne grunn er teglformatene ikke lenger standardisert, men defineres av den enkelte produsent.

Nedenfor er gjengitt noen betegnelser som fortsatt er i allmenn bruk.

<i>Fasadetegl</i>	er teglstein til bruk i fuget murverk hvor det stilles spesielle krav til steinens utseende, målnøyaktighet og klimabestandighet/frostmotstandsevne. Teglstein som deklarerer som fasadetegl forutsettes å ha tilfredsstillende frostmotstandsevne for utendørs anvendelse i isolerte fasader i norsk klima. Fasadetegl forutsettes å ha bruttodensitet større enn 1.000 kg/m ³ dersom annet ikke er angitt, se punkt 2.2. Fasadetegl betegnes etter format, farge og overflatestruktur.
<i>Murtegl</i>	er teglstein til bruk i murverk som skal pusses, og hvor det ikke stilles spesielle krav til steinens utseende. Murtegl fremstilles ikke som eget produkt, men leveres som en nedgradert utsortering av fasadetegl-produksjonen hvor steinen ikke tilfredsstiller kravene til utseende og målnøyaktighet. Murtegl som utsettes for klimatiske påkjenninger skal ha tilfredsstillende klimabestandighet.
<i>Hulltegl</i>	er teglstein med gjennomgående hull vinkelrett på steinens liggeflate. Norskprodusert hulltegl har mange små, sirkulære hull med diameter ca. 18 mm, og hullene utgjør samlet som regel ca. 25 % av steinens bruttovolum. Teglstein produseres i dag vesentlig som hulltegl grunnet lavere vekt, redusert energiforbruk og derav lavere pris enn for massivtegl.
<i>Massivtegl</i>	er teglstein uten gjennomgående hull. Steinene kan ha fordypninger som samlet ikke må utgjøre mer enn 20% av steinens bruttovolum. Massivtegl er særlig aktuelt å bruke i konstruksjoner hvor det stilles spesielle krav til brannmotstand og lydisolasjonsevne, eventuelt bæreevne. Massivtegl brukes også i avslutninger hvor liggeflaten blir synlig, f.eks. i bunnskift i vindusoverdekninger.

Fasadetegl og murtegl leveres som regel både som hulltegl og massivtegl. Av produksjonstekniske årsaker må det påregnes noe fargenyans mellom massivtegl og tilsvarende normalproduksjon som hulltegl.

2 Dimensjoner, densitet og trykkfasthet

2.1 Dimensjoner og toleranser

Teglstein skal ha tilnærmet rettvinklede sideflater som alle skal være tilnærmet rettvinklet på de tilstøtende sideflater. Liggeflater og løpersider skal ikke ha større krumning enn at denne ligger innenfor deklarererte dimensjonstoleranser ved måling etter standardisert prøvemethode. [6.7]

I tillegg til steinens dimensjoner skal produsenten også deklarerere toleranser for hver dimensjon, dvs. største avvik fra deklarererte mål (\pm antall mm) regnet som middel for alle stein i en standardisert prøveserie, samt største differanse (absolutt-toleranse) mellom største og minste mål i prøveserien. Deklarert toleranse kan også knyttes til standardisert toleranseklasse, T1 eller T2. Se tabell 2.1.

Steintype		Toleranseklasse			
Sidekant	Deklarerert mål a (mm)	T1		T2	
		Avvik ¹⁾ $\pm 0,4\sqrt{a}$ (mm)	Tol. ²⁾ $0,6\sqrt{a}$ (mm)	Avvik ¹⁾ $\pm 0,25\sqrt{a}$ (mm)	Tol. ²⁾ $0,3\sqrt{a}$ (mm)
NORMALFORMAT					
Lengde	226	$\pm 6,0$	9,0	$\pm 4,0$	4,5
Bredde	104	$\pm 4,0$	6,0	$\pm 2,5$	3,0
Høyde	60	$\pm 3,0$	4,5	$\pm 2,0$	2,5
REHABFORMAT					
Lengde	226	$\pm 6,0$	9,0	$\pm 4,0$	4,5
Bredde	85	$\pm 3,5$	5,5	$\pm 2,5$	3,0
Høyde	60	$\pm 3,0$	4,5	$\pm 2,0$	2,5
MODULFORMAT					
Lengde	285	$\pm 7,0$	10,0	$\pm 4,5$	5,0
Bredde	85	$\pm 3,5$	5,5	$\pm 2,5$	3,0
Høyde	85	$\pm 3,5$	5,5	$\pm 2,5$	2,0

¹⁾ Største avvik fra deklarerert mål a, regnet som middelværdi for alle stein i standardisert prøveserie.

²⁾ Største differanse mellom største og minste mål i prøveserien.

Tabell 2.1

Vanligste tegltyper, formater og betegnelser på det norske marked, med tilhørende standardiserte toleranseklasser. [5]

2.2 Densitet og toleranser.

Normaltegl. Lett-tegl

Teglsteinens densitet blir normalt deklarerert som bruttodensitet, dvs. inklusive evt. hullandel. Ved tekniske vurderinger og relasjon til andre fysiske egenskaper, benyttes imidlertid teglsteinens nettodensitet, dvs. selve teglgodsets densitet.

Densiteten deklarereres med en toleranse, normalt $\pm 5\%$ (toleranseklasse D1) eller $\pm 10\%$ (toleranseklasse D2), regnet som gjennomsnittlig avvik i forhold til deklarerert densitet. Teglsteinens nettodensitet tilsvarer teglgodsets densitet.

Bruttodensiteten ρ_o er forholdstallet mellom steinens tørre vekt, etter tørking i ovn ved + 105 °C til konstant vekt, og steinens geometriske volum. Nettodensiteten ρ_e er forholdstallet mellom tørr vekt og nettovolum bestemt ved hydrostatisk veiing av steinen neddykket i vann (veiing av fortrent væskemengde). [6.2]

Avhengig av leirmassens råstoffsammensetning og tilsetning av spesielt sagflis og kalk, vil teglgodsets nettodensitet normalt variere fra 2.250 kg/m³ og nedover for vanlig norskprodusert rød teglstein, 1.850 – 1.700 kg/m³ for gul og rosa pastelltegl, og ned til 1.450 kg/m³ for importert hvit kaolin-teglstein.

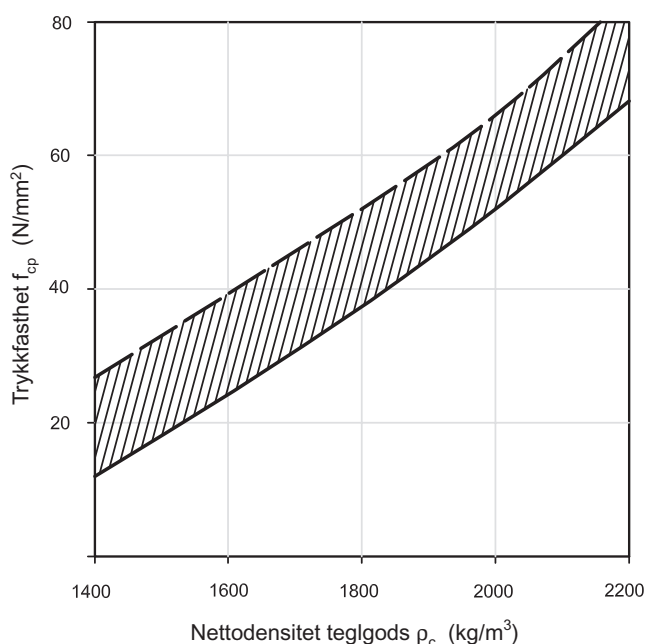
Iht. EN 771-1 [5] skiller det mellom teglprodukter med bruttodensitet > 1.000 kg/m³, normaltegl, og produkter med bruttodensitet ≤ 1.000 kg/m³, lett-tegl. Betegnelsene normaltegl eller lett-tegl skal inngå i produsentens deklarasjon av produktene, se punkt 9.4.

Fasadetegl forutsettes å ha densitet > 1.000 kg/m³ (normaltegl) dersom annet ikke er opplyst.

2.3 Trykkfasthet

Teglsteins trykkfasthet måles på hele stein [6.1], evt. iht. NS 3000, og bestemmes som bruddlasten dividert med trykkflaten uten fradrag for evt. hull. Steinen skal først være lagret eller tørket til likevektsfukt, og trykkflatene skal være avrettet og planparallele.

Trykkfastheten angis som middelværdi av en representativ prøveserie på minst 6, normalt 10 stein. Deklarert trykkfasthet skal ikke være høyere enn midlere trykkfasthet målt i henhold til standardisert prøvemethode [6.1].



Figur 2.3
Sammenheng mellom trykkfasthet f_{cp} (N/mm²) og nettodensitet ρ_c (kg/m³) for norskprodusert hullteglstein med ca. 25 % hullandel.
Skravert felt angir normalt spredningsområde.

Fasthetsklasser

Teglstein kan deklarerer i fasthetsklasser iht. NS 3420. Tabell 2.31 angir normale sammenhenger mellom fasthetsklasse og nettodensitet for hulltegl med ca. 25 % hullandel. Se fig. 2.3.

Nettodensitet ρ_c (kg/m ³)	Trykkfasthet ¹⁾ f_{cp} (N/mm ²)
1.450	15 (15–30)
1.600	25 (25–40)
1.750	35 (35–50)
1.900	45 (45–60)
2.100	60 (60–75)

Tabell 2.31
Normal sammenheng mellom fasthetsklasse og nettodensitet for hulltegl med ca. 25 % hullandel. Tallene i parentes angir normalt spredningsområde for gjennomsnittlig trykkfasthet av hulltegl.
¹⁾ Trykkfasthet er angitt som brutto steinfasthet målt iht. NS 3000 (inkl. andel evt. hull i steinens trykkflate.)

Murproduktenes fasthetsegenskaper kan ha betydning for beregning av minimumsarmering, avstand mellom bevegesfuger o.a. Et leveransepartis trykkfasthet bør derfor ikke være større enn nærmest ovenforliggende fasthetsklasse.

Normalisert trykkfasthet

Dersom teglsteinens trykkfasthet benyttes i dimensjoneringen av bærende konstruksjoner eller konstruksjonselementer, skal trykkfastheten omregnes til en normalisert verdi ved at målt gjennomsnittlig trykkfasthet multipliseres med en formfaktor δ etter tabell 2.32:

$$f_{ck} = \delta \cdot f_{cp}$$

hvor

- f_{ck} = karakteristisk trykkfasthet for teglstein, normalisert verdi relatert til standard steinterning med sidekant 100 mm (terningtrykkfasthet);
- f_{cp} = trykkfasthet av teglstein fastlagt ved prøving etter standardisert prøvemethode [6.1], og angitt som en gjennomsnittsverdi av målte fastheter for de enkelte prøver i prøveserien (brutto steinfasthet målt iht. NS 3000 [3]);
- δ = formfaktor, bestemt etter tabell 2.32, for normalisering av teglsteinens målte trykkfasthet til standard terning med sidekant 100 mm.

Høyde (mm)	Bredde (mm)					
	50	85	100	105	120	135
50	0,85	0,78	0,75	0,745	0,73	0,715
60	0,917	0,847	0,817	0,808	0,783	0,758
62	0,93	0,86	0,83	0,821	0,794	0,767
85	1,064	0,974	0,936	0,926	0,896	0,866
100	1,15	1,05	1,00	0,99	0,96	0,93
125	1,225	1,138	1,10	1,09	1,06	1,03

Tabell 2.32
Formfaktor δ for normalisering av målt trykkfasthet til standard steinterning med sidekant 100 mm.

Når murproduktets orientering i forhold til ytre lastvirkninger resulterer i trykkpåkjenninger normalt på en av sideflatene, skal murproduktets normaliserte trykkfasthet bestemmes for denne akseretningen.

Eksempel

En bærevegg er murt av teglstein med dimensjon $l \cdot b \cdot h = 225 \cdot 105 \cdot 61$ mm. Steinene er trykktestet iht. prøvemethode i NS 3000 [3]. Hvert prøvestykke består av to sammenmurte halvstein med samlet høyde ca. 125 mm. Gjennomsnittlig trykkfasthet ble målt til $f_{cp1} = 47$ N/mm².

Formfaktor for prøvestykkene med høyde 125 mm og bredde 105 mm finnes av tabell 2.32 lik $\delta_1 = 1,09$. Normalisert trykkfasthet f_{ck} blir da lik:

$$f_{ck1} = \delta_1 \cdot f_{cp1} = 1,09 \cdot 47 = 51 \text{ N/mm}^2$$

Et restparti av teglstein fra bæreveggen trykktestes etter ny prøvestandard [6.1], hvor hvert

prøvestykke består av en hel stein. Trykkfastheten blir da målt til $f_{cp2} = 62$ N/mm². Formfaktor for prøvestykkene med høyde lik steinhøyden 61 mm og bredde 105 mm finnes av tabell 2.32 lik $\delta_2 = 0,815$, som gir følgende normaliserte trykkfasthet f_{ck} :

$$f_{ck2} = \delta_2 \cdot f_{cp2} = 0,815 \cdot 62 = 51 \text{ N/mm}^2$$

De to prøvemethodene gir som det fremgår vesentlig forskjell i målt trykkfasthet. Trykkfasthetene normaliseres imidlertid til samme verdi ved å korrigere for prøvestykkenes dimensjon med formfaktor etter tabell 2.32.

Produktkategorier

Murproduktene tilvirkes i to produktkategorier:

Produktkategori I: *Uavhengig, tredjeparts kontroll*

Produsentens produksjonskontroll er sertifisert av et uavhengig, godkjent kontrollorgan, som fører løpende tilsyn med forhold i produksjonen av betydning for produktenes kvalitet og egnethet for tilsiktet bruk, samt foretar kontroll av overensstemmelse med deklarererte egenskaper.

Produktkategori I forutsetter at murproduktenes trykkfasthet bestemt ved prøving har en jevnhet i prøveresultatene slik at sannsynligheten for mer enn 50% undermålere i forhold til spesifisert middelværdi ikke er større enn 10 % (50 %-fraktil og 90 %-konfidensnivå). Dette har praktisk betydning ved dimensjonering av bærekonstruksjoner i tegl, hvor produktkategori I muliggjør høyere utnyttelse av murverkets konstruksjonsfastheter (lavere beregningsmessig sikkerhetsfaktor/materialfaktor).

Produktkategori II: *Dokumentert egenkontroll*

Produsenten fører selv løpende tilsyn med forhold i produksjonen av betydning for produktenes kvalitet og egnethet for tilsiktet bruk, samt foretar kontroll av overensstemmelse med deklarererte egenskaper.

Produktkategori II fastlegger murproduktenes trykkfasthet uten spesielle krav til spredningen av prøveresultater ut over generelle krav som måtte fremgå av gjeldende norsk produktstandard for teglstein [4] og standardisert prøvemethode for bestemmelse av trykkfasthet [6.1].

Dersom produktkategori ikke er deklarerert, forutsettes teglleveransen å være i kategori II.

Se forøvrig kap. 9.

3 Fukttekniske egenskaper

Teglsteinens sugeevne, evnen til å oppta vann, har stor innflytelse på mange av steinens og murverkets bruksegenskaper.

Spesielt ved muring i kulde er det en fordel at steinen har god sugeevne. Mørtelen har alltid et betydelig overskudd av vann, dvs. vanninnhold utover hva som er påkrevet for herding. Overskuddsvannet må kunne opptas i teglsteinen slik at mørtelen ikke utsettes for frostsprengning når den fryser i fersk tilstand.

Sugeevnen har betydning for heftetablingen mellom mørtel og stein under oppmuringen. God heffasthet krever at mørtelen er tilpasset steinens sugeevne. Stein med lavt sug fordrer sementrike mørtler med lav vanntapsmotstand, mens stein med høyt sug fordrer andre typer mørtler med høy vanntapsmotstand.

Mørtelens vanntapsmotstand, evnen til å hindre at vannet i fersk mørtel blir suget opp av steinen, kan reguleres ved valg av bindemiddeltipe og mengde, eller ved hjelp av tilsetningsstoffer.

For å oppnå godt samvirke bør steinen ha en viss sugeevne, som kan øke med økende vanntapsmotstand hos mørtelen, men som aldri bør bli meget stor. Mørtelens vanntapsmotstand bør heller ikke være ekstremt høy eller lav.

Ved karakterisering av teglsteins kvalitet og egnethet for ulike bruksområder benyttes gjerne følgende fukttekniske materialparametre:

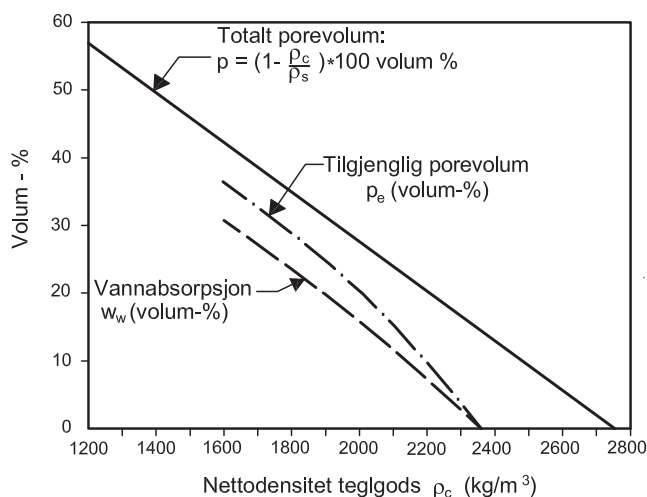
- Fuktinnhold w_i (volum-%)
- Likevektsfukt w_o (volum-%)
- Minuttsug s_1 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min.})$
- Vannabsorpsjonskoeffisient c_w $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min.}^{0.5})$
- Vannabsorpsjon w_w (volum-%)
- Porefyllingstall p_f (-)
- Densitet (teglgods) ρ_c (kg/m^3)

Parametrene måles fortløpende på én og samme prøveserie á 10 stein i ovennevnte rekkefølge. Egenskapene angis som middelverdier. Eventuelt oppgis også maksimale \pm avvik på de deklarererte middelverdier. (NB: Enkeltresultater kan ha større avvik i forhold til deklartert middelverdi.)

Fuktinnhold, likevektsfukt og vannabsorpsjon kan angis i volum-% eller vekt-%. I denne anvisningen er det konsekvent benyttet volum-%, da parametrene har nær sammenheng med materialets porevolum.

3.1 Porøsitet

Under tørking og tildels også brenning av leire er det et betydelig fuktinnhold som skal drives ut. Det fordampede vannet etterlater et åpent og meget finfordelt poresystem. Ved etterfølgende brenning omdannes leirmineralene og flyter ved økende brenningsgrad sammen til en glassaktig matrix som kitter sammen uomdannede kvarts- og feltspatkorn. Ved stigende temperatur øker glassfasen i omfang mens de små porene i godset tildels flyter sammen til større porer, tildels forsvinner. Dette registreres som et brennsvinn, dvs. materialet krymper under brenning.



Figur 3.1

Sammenheng mellom teglgodsets porøsitet p_o , tilgjengelig porevolum p_e og vannabsorpsjon w_w (volum-%), og teglgodsets nettodensitet ρ_c (kg/m^3)

$\rho_s = 2.750 \text{ kg}/\text{m}^3$ = spesifikk densitet for mineralpartiklene i brent teglgods

ρ_c = nettodensitet av det porøse teglgodset (kg/m^3)

p_o = teglgodsets totale porevolum (porøsitet) (volum-%)

p_e = teglgodsets tilgjengelige porevolum ved kapillær metning (koking i 5 timer) (volum-%)

w_w = teglgodsets vannabsorpsjon (kapillært vannopptak) ved 1–3 døgns lagring i vann (volum-%)

Det brente teglgodset får en karakteristisk porøsitet hvor teglets porevolum og porestruktur, dvs. fordelingen mellom fine og grove porer, har avgjørende innflytelse på materialets fukttekniske egenskaper som likevektsfukt, sugeevne og

frostmotstandsevne. Det vesentligste av porevolumet består av porer med størrelse 0,1–2 μm .

Spesifikk densitet for mineralpartiklene i det brente teglgodset kan regnes lik 2.750 kg/m^3 . Pga. teglgodsets porøsitet vil densiteten for teglgodset ligge betydelig lavere, se punkt 2.2.

Teglgodsets totale porevolum bestemmes etter følgende uttrykk:

$$p_o = (1 - \rho_c / \rho_s) \cdot 100 \text{ volum-\%}$$

hvor

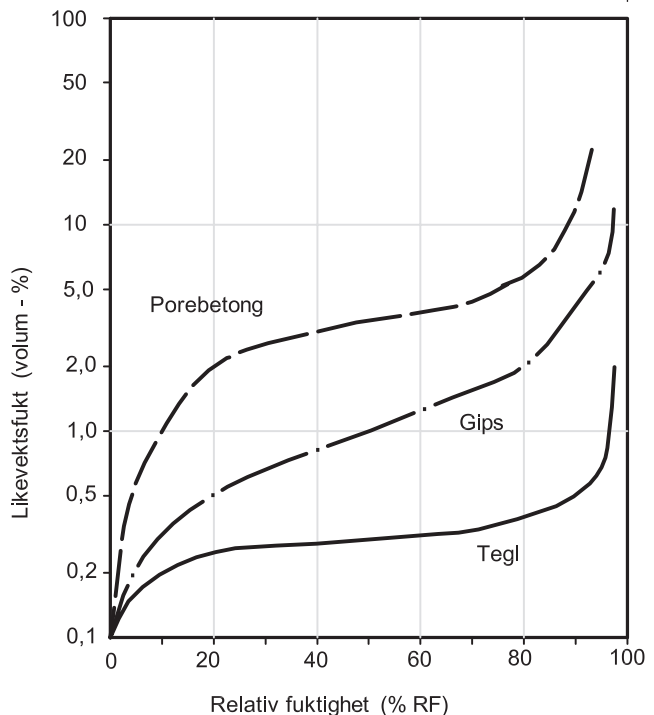
$$\rho_s = 2.750 \text{ kg}/\text{m}^3 = \text{spesifikk densitet for mineralpartiklene i brennt teglgods}$$

$$\rho_c = \text{tørr nettodensitet av porøst teglgods (kg}/\text{m}^3)$$

$$p_o = \text{teglgodsets totale porevolum (porøsitet) i \% av teglgodsets volum (volum-\%)}$$

$$p_e = \text{teglgodsets tilgjengelige porevolum i \% av teglgodsets volum (volum-\%)}$$

Ved oppfukning viser det seg at teglets totale porevolum ikke blir helt fylt. Selv ved koking eller trykkmetning vil det fortsatt være en andel tomme porer. I fuktteknisk henseende er det derfor ikke totalt porevolum p_o som er av interesse, men tilgjengelig porevolum p_e . Se fig. 3.1.



Figur 3.2
Fukttinnhold i teglstein, porebetongblokker og gips i fuktlikevekt med luft med forskjellig relativ fuktighet. Lufttemperatur ca. + 20 °C. ([1],[14])

3.2 Fukttinnhold. Likevektsfukt

Pga. sin mineralsammensetning og porestruktur er keramiske materialer generelt lite hygroskopiske, dvs. de binder til seg lite fukt fra omgivende luft. Teglstein har derfor lav likevektsfukt sammenlignet med alle andre bygningsmaterialer. Ved lagring i luft med temperatur + 25 °C og luftfuktighet 20–80% RF vil teglets likevektsfukt ligge i området 0,25–0,35 volum-%. Se fig. 3.2.

For teglmurverk, dvs. tegl inklusive mørtelfuger, kan man ved gjennomsnittsførhold (0 °C) regne med en praktisk likevektsfukt i størrelsesorden 1 volum-%.

Fukttinnholdet måles ved veiing før og etter tørking i ovn ved + 105 °C til konstant vekt, dvs. maks. vekttap mellom to påfølgende veiinger med minst 24 timers intervall ikke større enn 0,2 % av prøvens vekt; normalt vil ovnstørking i 24 timer være tilstrekkelig.

3.3 Minuttsug

Grunnlaget for heftfastheten i det herdnete murverk etableres i løpet av de første minutters kontakt mellom stein og fersk mørtel. Steinens fukttopptak via kontaktflaten med mørtelfugen i løpet av det første minuttet er funnet å være en viktig parameter for heftetableringen.

Minuttsuget s_1 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min.})$ måles på ovnstørket stein ved at sugeflaten holdes ca. 5 mm neddykket i et vannbad i 1 minutt. Minuttsuget angis i kg oppsuget vann (vektøkningen) dividert med sugeflatens bruttoareal i m^2 , uten fradrag for eventuelle hull [6.5].

Minuttsuget deklarerer som en middelværdi av en representativ prøveserie på minst 6, normalt 10 stein, og med en toleranse mellom $\pm 0,5$ og $\pm 1,0$ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min.})$. For norske hullteglprodukter vil minuttsuget kunne variere innenfor området $s_1 = 0,5\text{--}4,5$ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min.})$.

Hulltegl (25% hullandel)	Farge			
	Rød Brun	Rosa	Gul Oker	Hvit
Densitet, netto (kg/m ³)	2.150	1.850	1.750	1.450
Trykkfasthet (N/mm ²)	45	35	35	25
Minuttsug (kg/m ² ·min.)	1,0 ± 0,6	3,8 ± 1,0	3,8 ± 1,0	3,0 ± 0,5
Vannabs. (volum-%)	9 ± 3	28 ± 5	28 ± 5	25 ± 5
Porefyllingstall (-)	0,70	0,85	0,85	0,85

Tabell 3.3

Karakteristiske, veiledende materialegenskaper for ulike tegltyper på det norske marked.

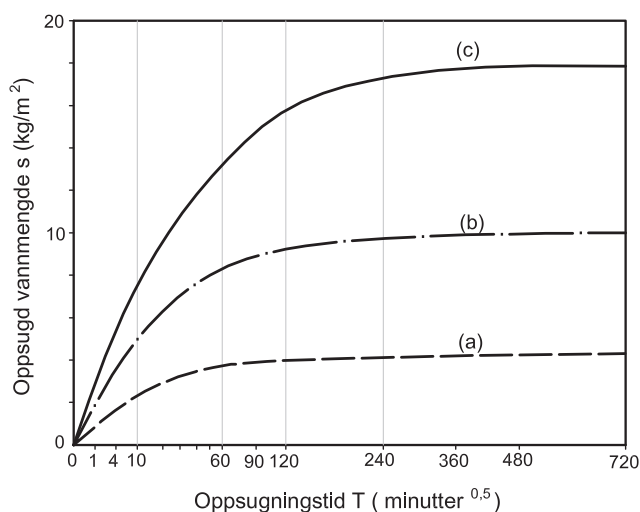
I det etterfølgende er teglsteinens sugeevne gradert etter følgende betegnelser relatert til steinens minuttsug:

Lavt sug	$s_1 < 1,0$	kg/m ² ·min.
Moderat sug	$s_1 = 1,0-2,5$	kg/m ² ·min.
Høyt sug	$s_1 = 2,5-4,0$	kg/m ² ·min.
Meget høyt sug	$s_1 > 4,0$	kg/m ² ·min.

3.4 Vannabsorpsjonskoeffisient

Hvis sugeforsøk utføres over lengre tid etter samme prinsipp som ved måling av minuttsug, og teglsteinens frie flater holdes tildekket mot fordampning, vil steinen innen ett døgn ha suget opp omtrent den vannmengden som tilsvarer metning. Forholdet mellom oppsuget vannmengde pr. sugeflate og kvadratroten av sugetiden kalles vannabsorpsjonskoeffisienten c_w kg/(m²·min.^{0,5}), og denne viser seg å være rimelig konstant over den første timen av oppsugingsperioden frem til begynnende metning. Se fig. 3.4.

Vannabsorpsjonskoeffisienten har bl.a. betydning for klimaeksponerte teglflaters nedfukningshastighet såvel som for uttøringshastigheten, og indirekte for konstruksjonenes fuktbalanse og frostmotstandsevne. Vannabsorpsjonskoeffisienten måles derfor på steinens klimaeksponerte flate som sugeflate og bestemmes ved å ta opp og veie steinene ved bestemte tidsintervaller (f.eks. 1, 2, 4, 8, 15, 30 og 60 minutter, 2, 4, 6 og 10 timer = Σ 24 timer).



Figur 3.4

Eksempler på kapillært oppsuget vannmengde s (kg/m²) målt på tre ulike teglstein (a, b, c) som funksjon av oppsugningstiden T (min.^{0,5}).

Vannoppsuget måles ved at teglsteinen holdes med sin sugeflate (liggeflaten) ca. 5 mm neddykket i vann mens steinens frie flater holdes tildekket mot fordampning. ([1], [12])

Stein	Minuttsug kg/(m ² ·min.) s_1	Vannabs.koeff. kg/(m ² ·min. ^{0,5})		Vannabsorpsjon (volum-%) w_w
		$c_{w, 0-10}$	$c_{w, 10-60}$	
(a)	1,15	0,82	0,17	11,4
(b)	2,40	1,61	0,47	20,7
(c)	2,65	2,46	0,96	26,5

3.5 Vannabsorpsjon

Etter måling av steinens minuttsug og eventuelt vannabsorpsjonskoeffisient lagres steinen helt neddykket under vann i ytterligere 1- 3 døgn inntil konstant vekt. Konstant vekt antas oppnådd dersom vektøkningen (fuktopptaket) mellom to påhverandre følgende veiinger med minst 24 timers intervall ikke er større enn 0,2 % av prøvens tørre vekt. Normalt vil vannlagring i 24 timer være tilstrekkelig. Teglsteinens vannabsorpsjon

bestemmes som et forholdstall mellom volumet av totalt oppsuget vannmengde i forhold til tørr stein og steinens nettovolum (fratrasket eventuell hullandel), uttrykt i volum-%.

For spesielt klimautsatte konstruksjoner som kalde yttervegger, røykpiper over tak, støyskjermer, hagemurer m.m. murt av tegl, skal det iht. NS 3420 Del N Murverk [10] benyttes teglstein med vannabsorpsjon på høyst 7 masseprosent, tilsvarende 12–15 volum-% avhengig av teglsteinens nettodensitet.

3.6 Porefyllingstall

Porefyllingstall p_f er et dimensjonsløst tall < 1 , som benyttes som mål for hvor stor del av teglgodsets tilgjengelige porevolum p_e , som kan fylles med vann ved kapillært oppsug i neddykket tilstand. Porefyllingstallet måles suksessivt etter bestemmelse av vannabsorpsjonen w_w ved at teglsteinen deretter kokes i vann i 5 timer. Total oppsugd vannmengde tilsvarer da teglgodsets tilgjengelige porevolum p_e uttrykt i volum-% av teglsteinens nettovolum.

Hvis man sammenligner tall på teglproduktene tilgjengelige porevolum med de samme produkters vannabsorpsjon, finner man at anslagsvis bare 40–80% av det tilgjengelige porevolum fylles med vann ved en vanlig vannabsorpsjonsprøve.

Porefyllingstallet p_f uttrykker forholdstallet mellom vannabsorpsjonen w_w og det tilgjengelige porevolumet p_e :

$$p_f = w_w / p_e$$

Porefyllingstallet benyttes som indikasjon på teglsteinens frostmotstandsevne etter følgende kriterier (erfaringstall for norske teglprodukter):

$p_f \leq 0,8$: tilfredsstillende frostmotstandsevne for utendørs anvendelse i fasader i norsk klima;

$0,8 < p_f < 0,9$: usikker frostmotstandsevne;

$p_f \geq 0,9$: normalt ikke tilfredsstillende frostmotstandsevne for utendørs anvendelse i fasader i norsk klima.

En hovedårsak til at teglmaterialet kan få frostska-der, ligger i det forhold at vann som fryser til is

får en volumøkning på nesten 10%. Teglets porefyllingstall antas derfor å gi en indikasjon på frostmotstandsevnen ved at denne faktoren uttrykker de ekspansjonsmuligheter som vannet har ved utfrysing til is i teglgodsets porer. Jo lavere porefyllingstall, jo større volum «avlastingsporer» har teglgodset, som porevannet kan unnsnippe til når vannet fryser til is under volumutvidelse. Se punkt 3.7.

3.7 Frostmotstandsevne

Frostmotstandsevne/frostresistens/frostbestandighet benyttes som uttrykk for et materiales evne til å tåle nedfukning og frysing gjentatte ganger uten skade som forringer dets funksjon. Frostmotstandsevnen er ikke et absolutt, målbart parameter. Den kan testes etter standardiserte prøvemeter på enkeltstein eller på sammenmurte veggpaneler utsatt for nærmere definert antall fryse-tine-vekslinger, intensitet og varighet.

Frostmotstandstall, FM-tall – et empirisk uttrykk for teglsteins frostmotstandsevne basert på grunnleggende materialegenskaper som densitet (ρ_c), minuttsg (s_1), vannabsorpsjon (w) og porefyllingstall (p_f):

$$FM = 1.000 \cdot s_1^{0,5} \cdot p_f / \rho_c$$

hvor

s_1 = teglsteinens minuttsg, målt på eksponert fasadeside/løperside ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{min.}$)

p_f = teglsteinens porefyllingstall (-)

ρ_c = teglsteinens nettodensitet (kg/m^3)

Teglsteinens densitet har nær sammenheng med steinens trykkfasthet, jfr. fig. 2.3, selv om korrelasjonen ikke alltid er helt éntydig. Jo høyere densitet, jo større trykkfasthet og evne til å motstå trykk fra absorbert, innestengt vann som fryser til is under volumutvidelse og mulig sprengvirkning i teglmaterialets porer.

Det er også en korrelasjon mellom teglmaterialets densitet, porøsitet og vannabsorpsjon. Jo lavere densitet, jo større porøsitet og større mengde vann kan absorberes i porene for senere å fryse til is.

Teglsteinens minuttsg, målt på steinens vær-eksponerte fasadeside, antas videre å ha betyd-

ning for fasadens nedfukting, ikke minst under mer ekstreme og ofte kortvarige slagregn-påkjenninger. Økende minuttsgir gir økt fuktopp-tak pr. tidsenhet.

Frostmotstandstallet tenkes således benyttet som indikasjon på teglsteinens frostmotstands-evne. Ut fra de prøver, analyser og erfaringer som er gjort kan grensen mellom frostbestandig og ikke frostbestandig stein antas å ligge i følgende intervaller:

- FM \leq 0,25: tilfredsstillende frostmotstands-evne for utendørs bruk som markbelegningsstein (marktegl);
- 0,25 < FM \leq 0,55: tilfredsstillende frostmotstandsevne for utendørs bruk i fasader i norsk klima;
- 0,55 < FM \leq 0,70: usikker frostmotstandsevne;
- FM \geq 0,70: normalt ikke tilfredsstillende frostmotstandsevne for utendørs bruk i fasader i norsk klima.

FM-tall	(-)	0,25	0,55	0,70
Densitet	ρ_c (kg/m ³)	2.150	2.000	1.900
Minuttsgir	s_1 (kg/m ² ·min.)	0,6	1,9	2,5
Vannabsorpsjon	w_w (volum-%)	11	22	28
Porefyllingstall	p_f (-)	0,70	0,80	0,84

Tabell 3.7

Veiledende grenseverdier for frostmotstandstallet FM og tilhørende materialparametre.

3.8 Innhold av vannløselige salter. Saltutblomstringer

Det er ikke uvanlig at nyoppført teglmurverk får hvite utblomstringer de første par årene etter oppmuring. Utblomstringene skyldes utkrystallisering av vannløselige salter i murverket. Ved nedfukting vil saltene løses opp, og ved senere uttørking transporteres de med porevannet ut til overflaten. Her fordampes vannet og etterlater saltforbindelsene i overflaten som et hvitt belegg. De vannløselige saltene skriver seg dels fra teglsteinen, dels fra mørtelen, og dels fra kjemiske reaksjoner mellom saltforbindelser i tegl

og mørtel. De består som regel av sulfater av alkalimetallene, og da i første rekke lett løselige natrium- og kaliumsulfater.

Utblomstringene opptrer hyppigst og i størst omfang den første våren etter oppmuring, ved sakte uttørking av murverket. De er normalt av forbigående karakter, vannløselige saltforbindelser vil gradvis vaskes vekk av regn og vind.

Vedvarende saltutblomstringer er vanligvis tegn på at murverket tilføres fukt. I slike tilfeller er det viktig å se på de bygningstekniske detaljer og beslag for å avdekke og korrigere eventuelle feil og mangler.

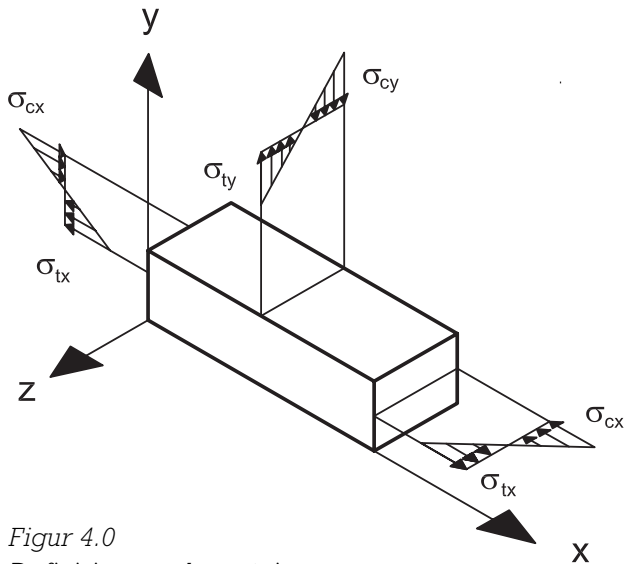
De fleste av våre leirer er marine, dvs. avsatt i salt- eller brakkvann, og vil derfor inneholde vannløselige klorider. Ved teglproduksjon tilsettes bariumforbindelser, som binder kloridene kjemisk til ikke-vannløselige forbindelser i det brente teglgodset.

Leiren kan imidlertid inneholde ulike alkali-sulfater. I teglstein av variabel brenningsgrad kan man finne sulfater av både natrium, kalium og kalsium. Natrium- og kalsiumsulfat spaltes og omdannes imidlertid til ikke-reaktive forbindelser ved temperaturer rundt 900 °C. Vanlig norsk rød teglstein brennes normalt ved ca. 1.035 °C og inneholder derfor kun ubetydelige mengder natrium- og kaliumsulfat. Kalsiumsulfat spaltes ved høyere temperaturer (1150–1200 °C), og teglstein kan derfor inneholde små mengder. Kalsiumsulfatet er tungt løselig i vann, men ved reaksjon med mørtelens løsbare natrium- og kalium-hydroksider i nyoppført murverk dannes lett løselige natrium- og kaliumsulfater. Det er disse forbindelser som i dagligtale omtales som salter og som er opphav til de såkalte saltutblomstringer på nyoppført teglmurverk.

Teglsteinens innhold av vannløselige salter kan kontrolleres etter egen prøvemethode [6.3].

De beste tiltak for å minimalisere saltutslag på nyoppført teglmurverk er å benytte murmørtler med lavest mulig sementinnhold, samt å holde murverket tildekket mot nedfukting i byggeperioden. Dertil bør det mures så nøyaktig at senere rengjøring med syre ikke er nødvendig. Gode bygningstekniske detaljer og ikke minst gode beslagavdekkinger er også avgjørende for å hindre lokal nedfukting av murverket med etterfølgende saltutblomstringer.

4 Fasthets- og deformasjonsegenskaper



Figur 4.0
Definisjon av akseretninger
for spenninger og fastheter.

Karakteristisk for murverk er at fasthetsegenskapene varierer i de ulike hovedretninger, og dessuten at trykkfastheten er langt større enn bøyestrekfastheten.

For teglmurverk er trykkfastheten i størrelsesorden 2–15 ganger større enn bøyestrekfastheten, avhengig av akseretning og materialkvalitet.

Murverkets fasthets- og deformasjonsegenskaper avhenger bl.a. av følgende faktorer:

- steinens brenningsgrad
- teglmaterialets densitet
- teglsteinens hullandel og hullutforming
- steinens sugeegenskaper (minuttsug, vannabsorpsjon)
- mørtelens vanntapsmotstand
- mørtelkvalitet (mørtelens fasthet)

De tre første parametrene uttrykker selve teglsteinens fasthet, de to neste uttrykker samvirkeegenskapene mellom stein og mørtel, mens den siste uttrykker mørtelfastheten.

Ved angivelse av murverkets fasthets- og deformasjonsegenskaper i de ulike akseretninger, benyttes følgende symboler og indekser, jfr. fig. 4.0:

Symboler:

- σ = opptredende spenning
- f = fasthet (øvre grenseverdi)

Indekser – egenskaper:

- c = trykk (eng.: compression)
- t = bøyestrek (eng.: tension)
- v = skjær

Indekser – beregningsmessige størrelser.

- n = konstruksjonsfasthet (nominell fasthet)
- d = dimensjonerende fasthet

Indekser – akseretninger:

- x = spenninger, fastheter og deformasjoner i murverkets horisontale lengdeakse (normalt på steinens koppflate ved vanlig løperskift)
- y = spenninger, fastheter og deformasjoner i murverkets vertikale høydeakse (normalt på steinens liggeflate ved vanlig løperskift)

Eksempler:

- f_{inx} = konstruksjonsfasthet for bøyestrek-påkjønning normalt på steinens koppflate
- f_{vdx} = dimensjonerende skjærfasthet i murverkets horisontalfuger

4.1 Tyngdetetthet

Murverkets tyngdetetthet, ρ_m (kg/m^3), har betydning for bestemmelse av laster og lastvirkninger i byggverket, og for bestemmelse av murverkets brann-, lyd- og varmeisolerende evne (λ -verdi). Tyngdetettheten bestemmes av steinens densitet og hullutforming, samt mørtelens densitet og andelen mørtelfuger i murverket (fugetykkelse).

Tabell 4.11 angir tyngdetetthet ρ_m (kg/m^3) for murverk av de vanligste tegltyper på det norske marked, tabell 4.12, og tilsvarende flatemasser m (kg/m^2) for $1/2$ -steins teglvanger.

Steintype	Tyngdetetthet ρ_m (kg/m ³)			
Farge	Rød	Rosa	Gul	Hvit
Densitet, netto (kg/m ³)	2.150	1.850	1.750	1.450
Massivtegl	2.085	1.860	1.790	1.550
Hulltegl, 25% hull	1.805	1.635	1.575	1.340

Tabell 4.11

Tyngdetetthet av murverk av ulike tegltyper. Murmørteldensitet 1.900 kg/m³. Fugetykkelse 15 mm.

Steintype/veggykkelse	Flatemasse m (kg/m ²)			
Farge	Rød	Rosa	Gul	Hvit
Densitet, netto (kg/m ³)	2.150	1.850	1.750	1.450
NORMALFORMAT				
I·b·h = 226·104·60				
Massiv b = 104 mm	217	194	186	-
25% hull b = 104 mm	188	170	164	-
REHABFORMAT				
I·b·h = 226·85·60				
Massiv b = 85 mm	177	158	152	-
25% hull b = 85 mm	153	139	134	-
MODULFORMAT				
I·b·h = 285·85·85				
Massiv b = 85 mm	-	158	151	132
25% hull b = 85 mm	-	134	129	114

Tabell 4.12

Flatemasser av 1/2-stens teglvanger av ulike teglprodukter ($m = \rho_m \cdot b$). Murmørteldensitet 1.900 kg/m³. Fugetykkelse 15 mm.

4.2 Volumstabilitet

Alle byggematerialer endrer mål ved varierende temperatur og fuktinnhold. For keramiske materialer som tegl er disse endringene små sammenlignet med andre materialer. Svinnarmering er derfor normalt ikke påkrevet i teglmurverk.

I det ferdige murverk vil mørtelfugene innvirke på murverkets fuktavhengige dimensjonsendringer.

Spesifikk varmeutvidelse

For murverk av tegl kan det regnes med en spesifikk varmeutvidelse i størrelsesorden:

$$\alpha = 0,006 \text{ mm/m}\cdot\text{K}$$

Murverkets temperaturavhengige lengdeendring bestemmes av følgende uttrykk:

$$\Delta L_T = \alpha \cdot \Delta T \cdot L$$

hvor

$$\Delta L_T = \text{temperaturavhengig lengdeendring (mm)}$$

$$L = \text{murverkets lengde (m)}$$

$$\Delta T = \text{temperaturrendring (K)}$$

Mht. plassering og utforming av bevegesfuger, vurdering av tverrforskyvninger i murbindere o.l er det normalt de døgnavhengige temperaturrendringer i fasaden som er dimensjonerende. Temperaturendringene, og dermed lengdeendringene i en teglforblending, vil avhenge både av steinfarge, fasadens orientering og byggets beliggenhet. Syd- og vestvendte fasader med dyprød teglstein vil således ha vesentlig høyere temperatursvingninger enn nord- og østvendte fasader med gulhvitt teglstein.

Dimensjonerende temperaturrendring kan ut fra dette antas i størrelsesorden:

$$\Delta T_{\text{døgn}} = 20\text{--}45 \text{ K} \quad \text{døgnavhengig temp.variasjon}$$

$$\Delta T_{\text{år}} = 45\text{--}75 \text{ K} \quad \text{årsavhengig temp.variasjon}$$

Svinn og svelling

For murverk av tegl kan det regnes med fuktavhengig svinn og svelling i størrelsesorden:

$$\epsilon_w = \pm 0,05 \text{ mm/m}$$

Murverkets fuktavhengige lengdeendring bestemmes av følgende uttrykk:

$$\Delta L_W = \epsilon_w \cdot L$$

hvor

$$\Delta L_W = \text{temperaturavhengig lengdeendring (mm)}$$

$$L = \text{murverkets lengde (m)}$$

Normalt vil det skje en utvidelse av murverket etter oppmuring fordi likevektsfukten i utvendig murverk vil ligge noe høyere enn fuktinnholdet i teglsteinen ved oppmuringen.

4.34 Bevegelsesfuger

Samlet temperatur- og fuktavhengig lengdeendring i teglmurverk bestemmes av følgende uttrykk:

$$\Delta L = \Delta L_T + \Delta L_W = (\alpha \cdot \Delta T \pm \epsilon_w) \cdot L$$

$$\Delta L = (0,006 \cdot \Delta T \pm 0,05) \cdot L$$

For en sydvendt fasade med dyprød teglstein kan det ut fra de foregående punkter antas dimensjonerende bevegelse på årsbasis i størrelsesorden:

$$\Delta L_{\text{syd}} = (0,006 \cdot 75 + 0,05) \cdot L = 0,5 \text{ mm/m} \cdot L$$

For å kunne oppta bevegelser uten sprekke-dannelser, må lange/høye fasader oppdeles med vertikale bevegelsesfuger. Avstanden mellom fugene og fugebredden må tilpasses de totale, årsavhengige bevegelser. Med horisontal senteravstand mellom bevegelsesfuger på $L = 20 \text{ m}$, må hver fuge kunne oppta en horisontal sammenstrykning på $\Delta L_{\text{syd}} = 0,5 \text{ mm/m} \cdot 20 \text{ m} = 10 \text{ mm}$. Dette er sannsynligvis for stor bevegelse til å kunne opptas i én fuge, og fugene bør derfor plasseres tettere.

Anvisning P1 og P2 gir nærmere retningslinjer for utforming og plassering av bevegelsesfuger.

4.3 Heftfasthet og samvirke stein – mørtel

Teglsteinens evne til å suge opp vann har stor betydning for murbarhet og for valg av mørtel. Samvirket mørtel/stein, og dermed kvaliteten på ferdig murverk, er bl.a. avhengig av at mørtelen har konsistens, vanninnhold og vanntapsmotstand avstemt etter steinens sugesevne.

Lite sugende stein, med minuttug $s_1 < 1,0 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min.}$, fordrer sementrik mørtel med noe stiv konsistens og begrenset vanntapsmotstand, f.eks. KC 20/80/440. Ved vintermuring er det vesentlig at tilslaget har en optimal gradering slik at mørtelens overskuddsvann ikke er mer enn hva som kan suges opp i steinen. Tilslaget bør ha 5–8 vekt-% filler (korn $< 0,125 \text{ mm}$) og ca. 5 vekt-% grove korn på ca. 1/3 av fugetykkelsen. Mørtelen kan med fordel tilsettes hjelpestoffer som reduserer vannbehovet (melaminer o.l.).

For normalt- til velsugende stein velges mer kalkrike KC-mørtler eller magrere mursementmørtler.

Sterkt sugende stein, $s_1 > 4,0 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min.}$, fordrer spesielle mørtler tilsatt hjelpestoffer som bidrar til å holde på mørtelvannet og øke vanntapsmotstanden (cellulosederivater, peraminer o.a.). For spesielt kritiske konstruksjonsdeler, som bunnskift i plassmurte overdekninger, bør steinens sugesevne normaliseres ved forvanning.

Mørtelindustrien tilbyr «skreddersydde» funksjonsmørtler tilpasset valgt stein og aktuell bruk. Men for sterkt sugende stein kan det ikke påregnes bedre vedheft mellom stein og mørtel enn tilsv. mørtelklasse B uten forvanning av steinen. Med forvanning kan sterkt sugende stein normaliseres, og dermed oppnå samme gode vedheft som moderat sugende stein. Forvanning med 1–2 minutters hel neddykking av steinen kort tid før muring vil alltid ha gunstig effekt på vedheften, uavhengig av opprinnelig sugesevne.

4.42 Skjærfasthet

Heftfastheten mellom mørtel og stein angis oftest ved hjelp av skjærfastheten bestemt etter [9.3].

Hvor det ikke foreligger dokumenterte verdier kan karakteristisk skjærfasthet for uarmert murverk murt med vanlig mørtel og helt fylte fuger, bestemmes etter følgende uttrykk:

$$f_{\text{vn}} = 0,1 \cdot f_{\text{ck}}^{2/3} \text{ for skråskjærbrudd i murverket (øvre grenseverdi)}$$

$$f_{\text{vnx}} = 0,4 \cdot f_{\text{tny}}^{0,75} \cdot f_{\text{cm}}^{0,25} \leq 0,1 \cdot f_{\text{ck}}^{2/3} \text{ for horisontalt skjærbrudd i mørtelfuger}$$

Skjærfastheter for teglmurverk, beregnet etter uttrykket over, er angitt i tabell 4.42.

Det forutsettes at steinen har et minuttug ved innmuring på høyst $2,5 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{min)}$ og at mørtelen er tilpasset steinens sugesevner.

For murverkstverrsnitt påkjent av trykkspenning fra permanente normallaster, σ_G , kan det medtas et bidrag fra friksjonskreftene:

$$\sigma_f \leq (f_{\text{vnx}} + \mu \cdot \sigma_G) / \gamma_M \leq 0,1 \cdot f_{\text{ck}}^{2/3} / \gamma_M$$

hvor

- σ_f = dim. normalspenning (N/mm^2)
- σ_G = dim. trykkspenning fra permanente laster
- f_{vn} = dimensjonerende skjærfasthet (N/mm^2)
- γ_M = murverkets materialfaktor
- μ = 0,6 = friksjonskoeffisient mot betong
0,8 = friksjonskoeffisient i murverkets mørtelfuger

4.4 Trykkpåkjenning

Trykkfasthet

Murverkets trykkfasthet bestemmes etter standardisert prøvemetode iht. [9.1].

Hvor det ikke foreligger dokumenterte verdier, kan karakteristisk trykkfasthet f_{cn} for uarmert murverk murt med alle fuger helt fylte, og uten gjennomgående mørtelfuge parallelt med murverkets plan, bestemmes etter følgende uttrykk:

$$f_{cn} = K \cdot f_{ck}^{0,75} \cdot f_{cm}^{0,25} \quad (\text{N/mm}^2)$$

hvor

f_{ck} = karakteristisk trykkfasthet for teglstein bestemt etter [5], og normalisert til standard murterning med sidekant 100 mm (terningtrykkfasthet)

f_{cm} = murmørtelens karakteristiske trykkfasthet bestemt etter NS 3104 (prEN 1015-11) (terningtrykkfasthet målt på standard mørtelprismer med tverrsnitt 40 mm · 40 mm)

K = 0,30 for teglstein med ≤ 25 % hullandel

K = 0,28 for teglstein med > 25 % hullandel

Formelen for f_{cn} gjelder med følgende begrensninger:

- Teglsteinens karakteristiske trykkfasthet skal ikke regnes større enn $f_{ck} \leq 75 \text{ N/mm}^2$
- Enkelthull i teglsteinen skal ikke utgjøre mer enn 12,5 volum-%
- Mørtelens karakteristiske trykkfasthet f_{cm} skal ikke regnes større enn $f_{cm} \leq 2 \cdot f_{ck} \leq 20 \text{ N/mm}^2$.
- Murverkets fugetykkelse $t \leq 15 \text{ mm}$

For murverk med større fugetykkelser enn 15 mm skal trykkfastheter og E-moduler multipliseres med reduksjonsfaktorer iht. tabell 4.41.

Fugetykkelse (mm)	15	20	25	30
Reduksjonsfaktor β	1,0	0,9	0,75	0,6

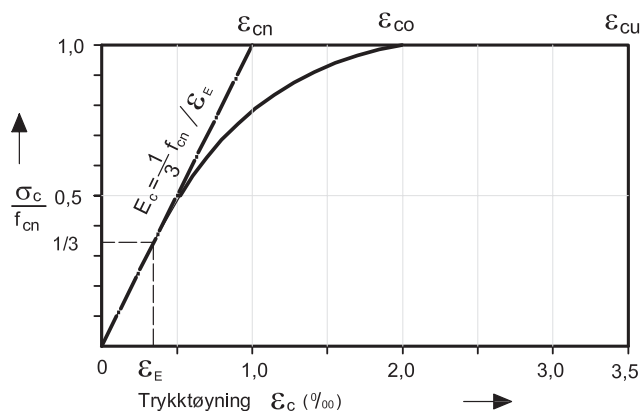
Tabell 4.41

Reduksjonsfaktorer β for trykkfasthet og E-moduler for murverk med fugetykkelser $\geq 15 \text{ mm}$.

Tabell 4.42 angir verdier for murverkets karakteristiske trykkfasthet ved vertikal og horisontal belastning.

Arbeidsdiagram korttidslast

Murverkets tøyningsegenskaper inngår i dimensjoneringen av både uarmerte og armerte murverkskonstruksjoner, samt ved dimensjonering av



Figur 4.4

Arbeidsdiagram (tøynings-spennings-forløp) for trykkpåkjent teglmurverk ved belastning til brudd. E-modulen bestemmes som en sekantmodul ved 1/3 av bruddlasten.

samvirkekonstruksjoner (utstøpt murverk o.a.). E-modulen inngår bl.a. ved bestemmelse av trykkpåkjennte konstruksjoners effektive slankhet, mens bruddtøyningen inngår ved dimensjonering av armerte konstruksjoner.

Teglmurverk kan antas å ha en spennings- og tøyningssammenheng (arbeidsdiagram) ved aksial trykkpåkjenning frem til brudd som vist på fig. 4.4 og gitt ved:

$$\sigma_c / f_{cn} = [k - (k-1) \cdot \epsilon_c / \epsilon_{co}] \cdot \epsilon_c / \epsilon_{co}$$

hvor

$$k = 1,1 \cdot \epsilon_{co} / \epsilon_{cn}$$

σ_c = opptredende aksialtrykkspenning;

ϵ_c = opptredende aksialtrykktøyning;

ϵ_{co} = murverkets trykktøyning idét maksimalspenningen oppnås;

ϵ_{cn} = murverkets nominelle tøyningsgrense, f_{cn} / E_{cn}

Hvor det ikke foreligger dokumenterte verdier, kan murverkets grensetøyninger iht. fig. 4.4 for vertikal trykkpåkjenning bestemmes etter følgende relasjoner, jfr. tabell 4.42:

$$\epsilon_{cny} = 1,0 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{coy} = 0,5 \cdot (\epsilon_{cn} + \epsilon_{cu})$$

$$\epsilon_{cuy} = (\rho_m / 1.910) \cdot 3,5 \text{ ‰}$$

Murverkets trykkspenning antas å variere parabolisk fra 0 til maks.spenningen f_{cn} når tøyningen ϵ_c varierer fra 0 til ϵ_{co} . For tøyninger mellom ϵ_{co} og tøyningsgrensen ϵ_{cu} antas murverkets trykkspenning konstant lik maksimalspenningen f_{cn} .

Teglstein - Type		Mørtel		Murverk																									
Hull- andel	Trykk- fasthet ¹⁾	Densitet (gods)	Mørtel- klasse	f _{cm} (N/mm ²)	ρ (kg/m ³)	Trykkfasthet f _{cn} (N/mm ²)		Bøyestr.f. f _{bn} (N/mm ²)		Skjærfasthet f _{vn} (N/mm ²)		E-moduler - Trykk E _{cn} (N/mm ²)		E-moduler - Bøyestrek E _{bn} (N/mm ²)		Grensetøyninger - Trykk / Korttidslast E _c (%)													
						Vert.	Hor.	Bøyetr.	Vert.	Hor.	Hor.	Hor.	Korttidslast E _{cnv}	Korttidslast E _{cnx}	Langtidslast E _{cnv,∞}	Langtidslast E _{cnx,∞}	Korttidslast E _{bnv}	Korttidslast E _{bnx}	Langtidslast E _{bnv,∞}	Langtidslast E _{bnx,∞}	Vertikallast E _{cny} (%)	Vertikallast E _{cny} (%)	Horisontallast E _{cox} (%)	Horisontallast E _{aux} (%)					
η _o (vol.-%)	(f _{cp}) f _{ck} (N/mm ²)					Aksialtrykk f _{cnv}		f _{bnv}	f _{bnx}	f _{vnx}	f _{vnm}	E _{cnv}	E _{cnx}	E _{cnv,∞}	E _{cnx,∞}	E _{bnv}	E _{bnx}	E _{bnv,∞}	E _{bnx,∞}										
Massivtegl																													
						14,5	14,5	14,5	0,90	3,10	0,76	1,65	14 500	14 500	10 500	10 500	14 500	21 700	10 500	15 700	7 600	11 400	1,00	2,25	3,50	1,00	2,25	3,50	3,50
	(60,0)	1 950		18		13,0	13,0	13,0	0,80	3,10	0,63	1,65	13 000	13 000	9 100	9 100	13 000	19 500	9 100	13 600	6 400	9 600	1,00	2,25	3,50	1,00	2,25	3,50	3,50
				12		11,5	11,5	11,5	0,70	2,80	0,51	1,65	11 500	11 500	7 400	7 400	11 500	17 200	7 400	11 100	6 000	9 000	1,00	2,25	3,50	1,00	2,25	3,50	3,50
				5		10,0	10,0	10,0	0,60	2,80	0,41	1,65	10 000	10 000	6 000	6 000	10 000	15 000	6 000	9 000	5 200	7 800	1,00	2,25	3,50	1,00	2,25	3,50	3,50
				12		10,5	10,5	10,5	0,80	2,50	0,63	1,35	10 500	10 500	7 600	7 600	10 500	15 700	7 600	11 400	6 400	9 600	1,00	2,10	3,20	1,00	2,10	3,20	3,20
				8		9,5	9,5	9,5	0,70	2,30	0,51	1,35	9 500	9 500	6 400	6 400	9 500	14 200	6 400	9 600	5 200	7 800	1,00	2,10	3,20	1,00	2,10	3,20	3,20
				5		8,5	8,5	8,5	0,60	2,15	0,41	1,35	8 500	8 500	5 200	5 200	8 500	12 700	5 200	7 800	4 000	6 000	1,00	2,10	3,20	1,00	2,10	3,20	3,20
				12		8,5	8,5	8,5	0,70	2,15	0,57	1,15	8 500	8 500	5 200	5 200	8 500	12 700	5 200	7 800	4 000	6 000	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00	3,00
				8		7,5	7,5	7,5	0,60	2,00	0,46	1,15	7 500	7 500	4 600	4 600	7 500	11 200	4 600	6 900	3 000	4 000	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00	3,00
				5		6,5	6,5	6,5	0,50	1,85	0,36	1,15	6 500	6 500	4 000	4 000	6 500	9 700	4 000	6 000	2 000	3 000	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00	3,00
				12		6,5	6,5	6,5	0,65	1,75	0,51	0,90	6 500	6 500	4 000	4 000	6 500	9 700	4 000	6 000	2 000	3 000	1,00	1,95	2,90	1,00	1,95	2,90	2,90
				8		5,8	5,8	5,8	0,50	1,60	0,40	0,90	5 800	5 800	3 500	3 500	5 800	8 700	3 500	5 200	1 500	2 000	1,00	1,95	2,90	1,00	1,95	2,90	2,90
				5		5,0	5,0	5,0	0,40	1,50	0,30	0,90	5 000	5 000	3 100	3 100	5 000	7 500	3 100	4 600	1 000	1 500	1,00	1,95	2,90	1,00	1,95	2,90	2,90
				12		4,5	4,5	4,5	0,50	1,25	0,44	0,65	4 500	4 500	2 700	2 700	4 500	6 700	2 700	4 000	1 000	1 500	1,00	1,90	2,80	1,00	1,90	2,80	2,80
				8		4,0	4,0	4,0	0,40	1,10	0,34	0,65	4 000	4 000	2 400	2 400	4 000	6 000	2 400	3 600	1 000	1 500	1,00	1,90	2,80	1,00	1,90	2,80	2,80
				5		3,5	3,5	3,5	0,30	1,00	0,24	0,65	3 500	3 500	2 100	2 100	3 500	5 200	2 100	3 100	1 000	1 500	1,00	1,90	2,80	1,00	1,90	2,80	2,80
Hulltegl																													
				18		14,5	9,5	10,5	0,90	2,50	0,76	1,65	14 500	15 750	10 500	11 400	14 500	23 600	10 500	17 100	7 600	12 700	1,00	2,25	3,50	1,00	2,25	3,50	3,50
				12		13,0	8,5	9,5	0,80	2,50	0,63	1,65	13 000	14 250	9 100	10 000	13 000	21 300	9 100	15 000	6 400	10 000	1,00	2,25	3,50	1,00	2,25	3,50	3,50
				8		11,5	7,5	8,5	0,70	2,25	0,51	1,65	11 500	12 500	7 400	8 000	11 500	18 700	7 400	12 000	5 200	8 400	1,00	2,25	3,50	1,00	2,25	3,50	3,50
				5		10,0	6,5	7,5	0,60	2,25	0,41	1,65	10 000	10 750	6 000	6 500	10 000	16 100	6 000	9 700	4 000	7 000	1,00	2,25	3,50	1,00	2,25	3,50	3,50
				12		10,5	7,0	7,8	0,80	2,00	0,63	1,35	10 500	11 750	7 600	8 500	10 500	17 600	7 600	12 700	6 000	8 400	1,00	2,10	3,20	1,00	2,10	3,20	3,20
				8		9,5	6,0	7,1	0,70	1,85	0,51	1,35	9 500	10 000	6 400	6 700	9 500	15 000	6 400	10 000	5 200	7 800	1,00	2,10	3,20	1,00	2,10	3,20	3,20
				5		8,5	5,5	6,5	0,60	1,75	0,41	1,35	8 500	9 100	5 200	5 600	8 500	13 600	5 200	8 400	4 000	6 000	1,00	2,10	3,20	1,00	2,10	3,20	3,20
				12		8,5	5,5	6,5	0,70	1,75	0,57	1,15	8 500	9 100	6 400	6 900	8 500	13 600	6 400	10 300	5 200	7 800	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00	3,00
				8		7,5	5,0	5,7	0,60	1,60	0,46	1,15	7 500	8 300	5 200	5 800	7 500	12 400	5 200	8 700	4 000	6 000	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00	3,00
				5		6,5	4,5	5,0	0,50	1,50	0,36	1,15	6 500	7 500	4 100	4 700	6 500	11 200	4 100	7 000	3 000	4 000	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00	3,00
				12		6,5	4,2	5,0	0,60	1,40	0,51	0,90	6 500	7 000	5 000	5 400	6 500	10 500	5 000	8 100	4 000	5 700	1,00	1,95	2,90	1,00	1,95	2,90	2,90
				8		6,0	3,9	4,6	0,50	1,30	0,40	0,90	6 000	6 500	4 200	4 600	6 000	9 700	4 200	6 900	3 000	4 000	1,00	1,95	2,90	1,00	1,95	2,90	2,90
				5		5,0	3,6	4,0	0,40	1,20	0,30	0,90	5 000	6 000	3 200	3 800	5 000	9 000	3 200	5 700	2 000	3 000	1,00	1,95	2,90	1,00	1,95	2,90	2,90
				12		4,5	3,0	3,5	0,50	1,00	0,44	0,65	4 500	5 000	3 600	4 000	4 500	7 500	3 600	6 000	4 000	5 700	1,00	1,90	2,80	1,00	1,90	2,80	2,80
				8		4,0	2,7	3,2	0,40	0,90	0,34	0,65	4 000	4 500	2 800	3 200	4 000	6 700	2 800	4 800	3 000	4 000	1,00	1,90	2,80	1,00	1,90	2,80	2,80
				5		3,5	2,4	2,8	0,30	0,80	0,24	0,65	3 500	4 000	2 300	2 600	3 500	6 000	2 300	3 900	2 000	3 000	1,00	1,90	2,80	1,00	1,90	2,80	2,80
Letteglblokk																													
				12		4,0	0,40	1,0	0,40	0,50	0,37	0,45	6 200	2 000	3 500	1 100	6 300	2 500	3 600	1 600	1 600	1 600	0,65	1,30	1,95	0,20	0,40	0,60	0,60
				8		3,5	0,35	0,8	0,30	0,45	0,27	0,45	5 400	1 750	2 900	900	5 500	2 250	3 000	1 300	1 300	1 300	0,65	1,30	1,95	0,20	0,40	0,60	0,60
				5		3,0	0,30	0,6	0,20	0,40	0,18	0,45	4 600	1 500	2 300	800	4 700	2 000	2 400	1 200	1 200	1 200	0,65	1,30	1,95	0,20	0,40	0,60	0,60

¹⁾ Tallverdier for trykkfasthet angitt i parentes angir målte verdier bestemt i hht. NS 3000 (f_{cp}), mens tallverdier skrevet med fete typer angir normaliserte trykkfastheter (f_{ck}), ref. punkt 2.3.

Tabell 4.42. Fasthets- og deformasjonsegenskaper for teglmurverk.

Tabellverdiene forutsetter at steinen er brent ved topptemperatur rundt 1.035 °C i moderne teglverk og at eventuelle variasjoner i densitet skyldes varierende mengde sagflis, kalk eller andre tilsetninger.

Elastisitetsmodul, korttidslast

Ved kapasitets- og deformasjonsberegninger av murverk er det vanlig å betrakte materialet som lineært elastisk, dvs. at deformasjonene øker proporsjonalt med spenningene frem til brudd. Proporsjonalitetsfaktoren kalles materialets elastisitetsmodul, E (N/mm²).

E-modulen bestemmes som en sekantmodul ved 1/3 av bruddlasten. Se fig. 4.4.

Elastisitetsmodulen i teglmurverk er avhengig av følgende faktorer:

- lastvirkning (trykkpåkjenning, bøyestrek-påkjenning)
- lastretning
- lastens varighet (korttidslast eller langtidslast)
- murverkets fasthet

Med god tilnærming kan E-modulen for teglmurverk med vertikal trykkpåkjenning bestemmes etter følgende uttrykk:

$$E_{cny} = (750 / (1 - n)) \cdot f_{cny}$$

hvor

f_{cny} = murverkets konstruksjonsfasthet for vertikal trykkpåkjenning (N/mm²)

n = teglsteinens hullandel

Elastisitetsmoduler for teglmurverk med vertikal og horisontal trykkpåkjenning er angitt i tabell 4.42.

Elastisitetsmodul, langtidslast

Også for teglmurverk vil det opptre krypdeformasjoner ved langtidslast, men krypdeformasjonene vil være vesentlig mindre enn for andre konstruksjonsmaterialer av sementbundne materialer (betong, betongmurverk). Krypdeformasjonen vil bl.a. variere med mørtelkvaliteten og andelen mørtelfuger, samt lastutnyttelsen.

Kryptallet, dvs. forholdstallet mellom endelig krypdeformasjon og elastisk deformasjon, kan antas å ligge i størrelsesorden $\emptyset_{\infty} = 0,25-0,75$, relatert til trykkpåkjenning tilsvarende 1/3 av bruddlast.

E-modul for langtidslast bestemmes av uttrykket:

$$E_{\infty} = E / (1 + \emptyset_{\infty})$$

Hvor det ikke foreligger dokumenterte verdier kan det benyttes følgende øvrige E-moduler for langtidslast:

$$E_{cnx,\infty} \approx (E_{cnx} / E_{cny}) \cdot E_{cny,\infty}$$

Elastisitetsmodul for langtidslast for teglmurverk med vertikal og horisontal trykkpåkjenning, henholdsvis $E_{cny,\infty}$ og $E_{cnx,\infty}$, er angitt i tabell 4.42.

4.5 Bøyestrekpåkjenning

Bøyestrekfasthet

Verdier for teglmurverks bøyestrekfasthet og tilhørende E-moduler i de ulike akseretninger er gitt i tabell 4.42. Det forutsettes at steinens minutt-sug ved innmuring er på maks. 2,5 kg/(m² · min.) og at det benyttes mørtel tilpasset steinens sugegenskaper. Beregningsmessige verdier for $f_{tny} > 0,5$ N/mm² må dokumenteres.

E-moduler for bøyingsstrek, korttidslast

For teglmurverk påkjent av bøyingsstrek, kan det benyttes følgende E-moduler:

$$E_{tnx} \approx 1,5 \cdot E_{cnx}$$

$$E_{tny} \approx E_{cny}$$

E-moduler for bøyingsstrek, langtidslast

Hvor det ikke foreligger dokumenterte verdier kan det benyttes følgende E-moduler for langtidslast:

$$E_{tnx,\infty} \approx 1,5 \cdot E_{cnx,\infty} = 1,5 \cdot (E_{cnx} / E_{cny}) \cdot E_{cny,\infty}$$

$$E_{tny,\infty} \approx E_{cny,\infty}$$

5 Varmetekniske egenskaper

Teglstein er et volumstabil materiale med små temperaturbevegelser, god varmelagrende evne og forholdsvis begrenset varmeisolerende evne.

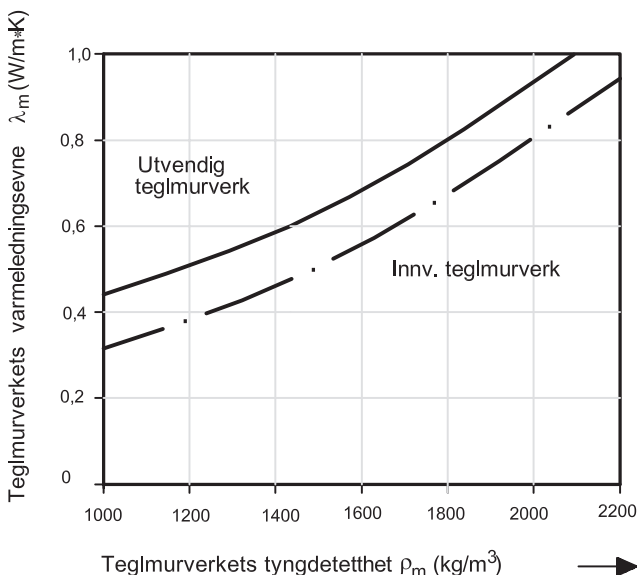
Teglmurverks spesifikke varmeutvidelse er tidligere omtalt under punkt 4.2.

5.1 Termisk konduktivitet (varmeledningsevne)

For massiv teglstein uten hull vil den spesifikke varmeledningsevnen variere med teglets densitet (porevolum) og fuktinnhold. Normalt relateres varmeledningsevnen til teglets densitet ved en likevektsfukt på 1 volum-%. For meget høyporøse teglmaterialer (lett-tegl) er det mulig å oppnå meget lave verdier slik at teglet får en betydelig varmeisolerende effekt.

For hulltegl vil hullene bidra til ytterligere senkning av varmeledningsevnen.

Mørtelfugene vil ha en viss innflytelse på murverkets praktiske varmeledningsevne. Fig. 5.1



Figur 5.1

Praktisk varmeledningsevne (termisk konduktivitet), λ_m ($\text{W/m}\cdot\text{K}$), for teglmurverk som funksjon av murverkets tyngdetetthet ρ_m (kg/m^3).

Innv. murverk: $\lambda_{m, \text{innv}} \approx 0,3 \cdot (\rho_m / 1.200)^{1,75} + 0,09 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Utv. murverk: $\lambda_{m, \text{utv}} \approx 0,3 \cdot (\rho_m / 1.200)^{1,75} + 0,21 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

viser praktisk varmeledningsevne for selve teglsteinen (massivtegl, kurve a), for innvendig teglmurverk (kurve b) og for utvendig teglmurverk (kurve c), som funksjon av teglets densitet respektive murverkets tyngdetetthet. Det forutsettes murt med vanlig murmørtel og fylte fuger.

For praktiske overslagsberegninger kan det benyttes følgende relasjon mellom teglmurverkets varmeledningsevne og densitet:

$$\lambda_{m, \text{innv}} \approx 0,3 \cdot (\rho_m / 1.200)^{1,75} + 0,09 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$\lambda_{m, \text{utv}} \approx 0,3 \cdot (\rho_m / 1.200)^{1,75} + 0,21 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

hvor

$$\rho_m = \text{murverkets tyngdetetthet} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$\lambda_{m, \text{innv}} = \text{varmeledn.evne for innv. murverk} \quad (\text{W/m}\cdot\text{K})$$

$$\lambda_{m, \text{utv}} = \text{varmeledn.evne for utv. murverk} \quad (\text{W/m}\cdot\text{K})$$

Uttrykkene gjelder for murverk med

$\rho_m \approx 1.000 \text{ kg/m}^3$. Tyngdetetthet for noen vanlige teglprodukter på markedet er angitt i punkt 4.1.

5.2 Spesifikk varmekapasitet

Den spesifikke varmekapasiteten er et uttrykk for den varmemengden et materiale kan magasinere eller avgi pr. masseenheter og pr. grad temperaturendring i materialet. For tegl kan det regnes med en spesifikk varmekapasitet i størrelsesorden:

$$c = 830 \text{ Ws}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

I praksis kan man dra nytte av teglets varmelagringsevne ved å utnytte kortbølgete varmestråler fra solinnstråling gjennom vinduer til å varme opp tunge teglvegger i innvendige romflater. De tunge teglveggene vil kunne absorbere betydelig solvarme ved beskjeden temperaturstigning. Derved reduseres de overopphetingsproblemer man ofte har i rom med lette veggkonstruksjoner, samtidig som akkumulert varme vil kunne utnyttes til å holde jevn temperatur over hele døgnet i bygningen. Se punkt 5.3.

Tilsvarende kan en utvendig teglforblending akkumulere solvarme på dagtid slik at forblendingens døgnmiddeltemperatur heves i forhold til lufttemperaturen. Dette vil dermed redusere transmisjonsvarmetapet ut gjennom ytterveggen.

Materiale	Densitet ¹⁾ ρ_m (kg/m ³)	Term. kond. λ_m (W/m·K)	Spes. varmekap. c (Ws/kg·K)	Term. diff. ²⁾ a (m ² /s)
Aluminium	2.700	200	860	86,20·10 ⁻⁶
Stål	7.800	58	470	15,80·10 ⁻⁶
Naturstein	2.700	2,90	790	1,36·10 ⁻⁶
Betong	2.300	1,70	970	0,76·10 ⁻⁶
Teglmurverk ³⁾	2.100	0,90	830	0,52·10 ⁻⁶
Teglmurverk ⁴⁾	1.600	0,62	830	0,47·10 ⁻⁶
Porebet.murv.	500	0,14	970	0,29·10 ⁻⁶
Lettkl.murverk	850	0,22	900	0,29·10 ⁻⁶
Vann	1.000	0,58	4.180	0,14·10 ⁻⁶
Tre (gran)	500	0,14	2.700	0,10·10 ⁻⁶

Tabell 5.3

Termiske egenskaper for noen materialer [13].

¹⁾ Angitte verdier for densitet gjelder selve murverkets tyngdetetthet, inkl. andel mørtel

²⁾ Termisk diffusivitet: $a = \lambda_m / (c \cdot \rho_m)$ (m²/s)

³⁾ Murverk av massivtegl, $\rho_c = 2.150$ kg/m³

⁴⁾ Murverk av hulltegl, 25% hull, $\rho_c = 1.800$ kg/m³

5.3 Termisk diffusivitet

En størrelse som ofte benyttes ved slike varme-lagringsvurderinger, er den såkalte termiske diffusivitet (tidl. temperaturledningstallet):

$$a = \lambda / (c \cdot \rho) \text{ (m}^2\text{/s)}$$

Den termiske diffusiviteten er et uttrykk for hvor lett et materiale tilpasser seg en temperatur- endring – jo høyere termisk diffusivitet, jo ras- kere endres temperaturen i materialet og jo raskere kan materialet lagre eller friggi en be- stemt varmemengde, når omgivelses- temperaturen endres. Tunge trevegger (lafte- vegger o.l.) er ikke på langt nær så gunstig som en tung teglvange. Selv om tre har meget høy varmekapasitet, er treets termiske diffusivitet spesielt lavt slik at lagring og tapping av varme går meget tregt. Se tabell 5.3.

For teglvegger hvor det ønskes høyest mulig termisk diffusivitet, bør det brukes massivtegl med høyest mulig densitet, se tabell 5.3.

Teglmurverks termiske diffusivitet gjør det mulig å lagre respektive tappe varme over kortvarige perioder tilsvarende et døgn. Spesielt i bygninger med kortvarig bruk, som skoler, kirker, kon- torer o.l., med overskuddsvarme i bruksperioden fra personer, lys eller maskiner og tekniske an- legg, kan det innhentes betydelige energi- besparelser ved korttidslagring av overskudds- varmen i bruksperioden for å holde temperaturen i bygget frem til neste bruks- periode.

6 Lydtekniske egenskaper

6.1 Lydisolasjonsevne

En teglvegg gir pga. sin store egyptyngde betydelig bedre lydisolering enn en enkel lettvegg av samme tykkelse.

Lydreduksjonstallet øker med økende flatemasse iht. følgende formel:

$$R_w = 39,0 + 27,5 \cdot \log(m/100) \text{ (dB)}$$

I en bygningskonstruksjon må vi også ta hensyn til flanketransmisjon (F) slik at:

$$R_w' = R_w - F = [39,0 + 27,5 \cdot \log(m/100)] - 3 \text{ dB}$$

$$R_w' = 36,0 + 27,5 \cdot \log(m/100) \text{ dB}$$

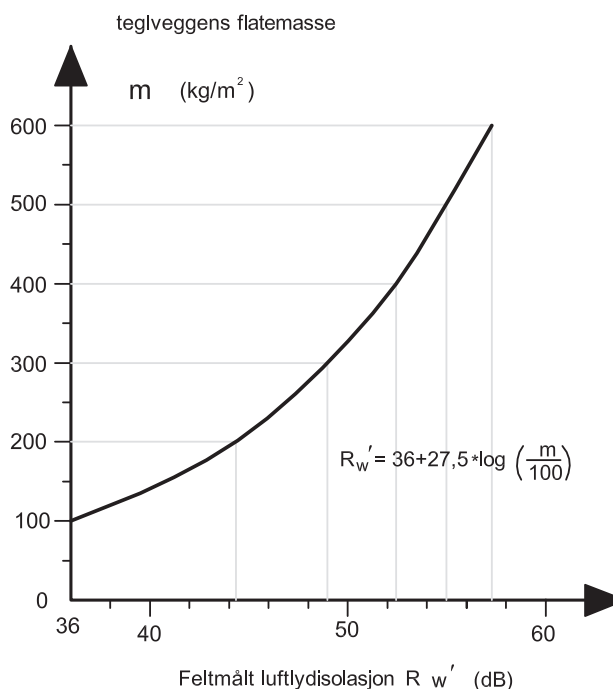
hvor

R_w = laboriemålt luftlydisolasjon (dB)

R_w' = feltmålt luftlydisolasjon (dB)

F = skilleveggs flanketransmisjon er avhengig av knutepunktens utforming, settes normalt til 3 dB

m = skilleveggs flatemasse (kg/m²)



Figur 6.2

Feltemålt luftlydisolasjon R_w' (dB) for massive teglvegger (inkl. effekt av flanketransmisjon) som funksjon av veggens flatemasse m (kg/m²). [3]

Densitet (kg/m ³)		Feltemålt luftlydisolasjon R_w' (dB)					
Tegl gods ¹⁾	Murvegg ²⁾	Veggetykkelse t (mm)					
ρ_c	ρ_m	85	105	120	135	185	225
Massivtegl							
2.150	2.090	43	45	47	48	52	55
2.000	1.975	42	45	48	48	52	54
1.850	1.860	42	44	46	47	51	53
1.750	1.785	41	44	45	47	50	53
1.600	1.675	40	43	44	46	50	52
1.450	1.560	39	42	44	45	49	51
Hulltegl – 25% hull							
2.150	1.800	41	44	45	47	50	53
2.000	1.720	41	43	45	46	50	52
1.850	1.635	40	42	44	46	49	52
1.750	1.575	40	42	44	45	49	51
1.600	1.495	39	41	43	44	48	51
1.450	1.410	38	41	42	44	47	50

Tabell 6.1

Feltemålt luftlydisolasjon R_w' (dB) for massive teglvegger murt av ulike tegltyper, som funksjon av veggetykkelse og veggens tyngdetetthet ρ_m (kg/m³).

¹⁾ ρ_c = teglsteinens nettodensitet, ekskl. evt. hull (kg/m³)

²⁾ ρ_m = tyngdetetthet for ferdig oppmurt teglvegg inkl. teglstein, mørtel og eventuelle pusslag (kg/m³)

Tunge teglvegger har best lydisolasjon ved høye frekvenser, og en liten svekkelse i frekvensområdet 250–500 Hz i forhold til forskriftskravets referansekurve, spesielt for slanke teglvegger.

Med dagens skjerpete krav til lydisolering mellom ulike brukerområder, er det kun unntaksvis mulig å tilfredsstille kravene ved massive teglvegger. Den mest økonomiske og teknisk beste løsningen oppnås ved å kombinere en enkel teglvange med en utlektet, isolert plateledning på én side. For mer utførlige opplysninger henvises til Murkatalogens Anvisning P9.

6.2 Isolering mot utendørs støy

Trafikkstøyreduksjonstallet R_A uttrykt i dB(A) karakteriserer en ytterveggs lydisoleringsevne mot veitrafikkstøy. R_A avhenger av veggkonstruksjon, vindusløsninger og ventilåpninger, hvor det svakeste leddet er dominerende for det totale resultatet. Vanligvis er vinduene det svakeste ledd, og valg av veggkonstruksjon vil i så

fall ha mindre betydning. Ved bruk av spesielt lydisolerende vinduer bør man velge veggkonstruksjon med minst like god lydisolasjon for å oppnå et godt resultat.

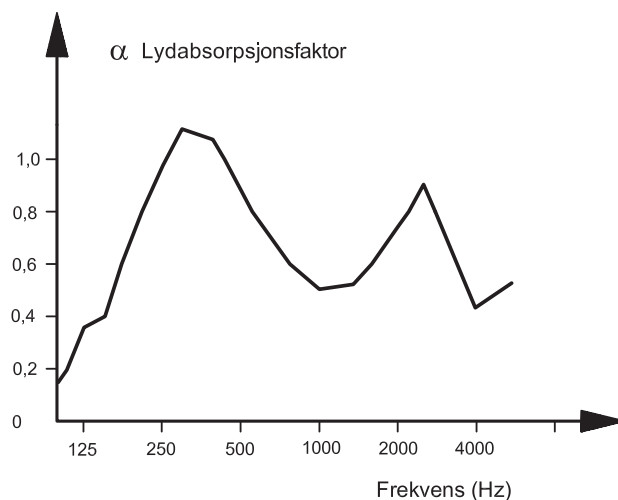
Dersom R_A -verdien for en veggkonstruksjon ikke er kjent, kan man for overslagsberegninger anta følgende sammenheng med laboratoriemålt veiet lydreduksjonstall R_w :

$$R_A = R_w - 5 \text{ dBA}$$

6.3 Lydabsorpsjon

Pga. sin harde og tette overflate vil teglmurverk, ubehandlet eller glattpusset, ha lav absorpsjonsfaktor, i størrelsesorden 0,02–0,05 avhengig av frekvensområdet, dvs. 98–95% av innfallende lydenergi vil bli reflektert.

En hensiktsmessig måte å øke lydabsorpsjonsfaktoren i teglvegger på, er å bruke hulltegl murt på kant slik at hullene kommer frem i overflaten. Hullene vil virke som resonatorabsorbenter, som vil gi spesielt god absorpsjon ved bestemte, lave frekvenser mellom 100–500 Hz. Kombinert med en bakenforliggende porøs absorbent som mineralull, kan det oppnås meget god lydabsorpsjon over hele frekvensområdet. Se fig. 6.3.



Figur 6.3

Frekvensavhengig lydabsorpsjonskoeffisient α for vegg av hulltegl med ca. 25 % hullandel, murt på høykant med hullene vendt ut i vegglivet. Teglvangen er murt i 70 mm avstand fra bakvegg av betong og med 50 mm mineralull i hulrommet. En såkalt randeffekt gjør at α kan bli større enn 1,0 ved bestemte frekvenser. Årsaken til dette ligger i at prøveflaten i akustisk henseende virker større enn det faktiske geometriske areal som inngår i beregningen av α .

7 Branntekniske egenskaper

Murverk har meget god brannmotstand og gode brannbeskyttende egenskaper, og kan motstå brannbelastning over lang tid med bibehold av betydelig bæreevne. Dette gjelder særlig teglmurverk, da teglstein er et keramisk materiale som allerede er brent ved temp. over 1.000 °C.

Etter storbrannen i trehusbebyggelsen i Ålesund i 1904, Norges største bybrannkatastrofe gjennom tidene, ble såkalt Murtvang innført i alle byer og tettsteder. Leiegårder og næringsbygg i tegl overtok gradvis sentrumsbebyggelsen i byer og tettsteder.

7.1 Brannmotstand ikke-bærende vegger

Brannmotstanden for ikke-bærende vegger, (EI – temperaturisolasjonsevne og tetthet mot gassgjennomgang) er nært knyttet til teglsteinens materialegenskaper (densitet, varmekapasitet, varmeledningsevne) og veggtykkelsen. Ut fra brannforsøk [2] er det dokumentert at brannmotstandstiden T_{EI} for massive teglvegger med god tilnærming kan uttrykkes empirisk ut fra veggens flatemasse og materialtype, se fig. 7.1:

$$T_{EI} = a \cdot (m/100)^{1,7} \quad (\text{minutter})$$

hvor

T_{EI} = veggens brannmotstandstid (minutter)

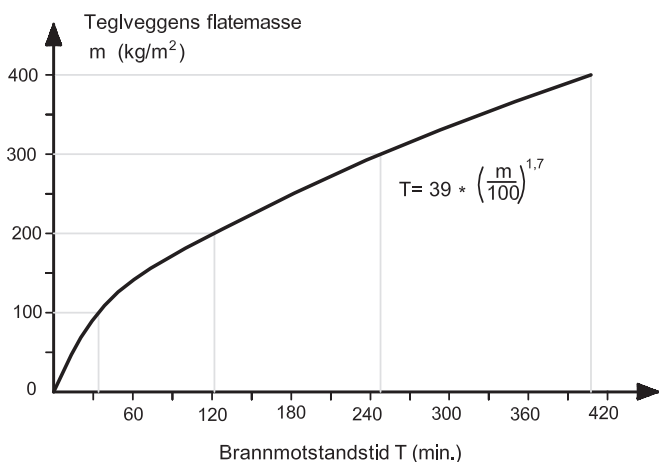
m = veggens flatemasse (kg/m^2)

a = materialavhengig faktor;

= 39 for murverk av teglstein (massiv og hull)

= 75 for murverk av lettegl (Poroton)

Vegger av massiv teglstein har således høyere brannmotstand enn vegger av hulltegl.



Figur 7.1

Brannmotstandstid T (minutter) for massive teglvegger som funksjon av veggens flatemasse m (kg/m^2). [2]

Densitet (kg/m^3)		Minste veggtykkelse t (mm)					
Teglods ¹⁾ ρ_c	Murvegg ²⁾ ρ_m	Brannmotstandstid T_{EI} (minutter)					
		30	60	90	120	180	240
Massivtegl							
2.150	2.090	45	65	85	100	125	150
2.000	1.975	50	70	90	105	130	155
1.850	1.860	50	75	95	110	140	165
1.750	1.785	55	80	100	120	150	175
1.600	1.675	55	85	105	125	160	185
1.450	1.560	60	90	115	135	170	200
Hulltegl – 25% hull							
2.150	1.800	55	80	100	120	150	175
2.000	1.720	55	80	105	120	155	180
1.850	1.635	60	85	110	130	160	190
1.750	1.575	60	90	115	135	170	200
1.600	1.495	65	95	120	140	175	210
1.450	1.410	65	100	125	150	185	220

Tabell 7.1

Minste veggtykkelse t (mm), inkl. eventuelle pusslag (avrundet oppad til nærmeste 5 mm), for ikke-bærende murvegger av ulike tegltyper, ved varierende brannmotstandstider T_{EI} (minutter).

¹⁾ ρ_c = teglsteinens nettodensitet, ekskl. evt. hull (kg/m^3)

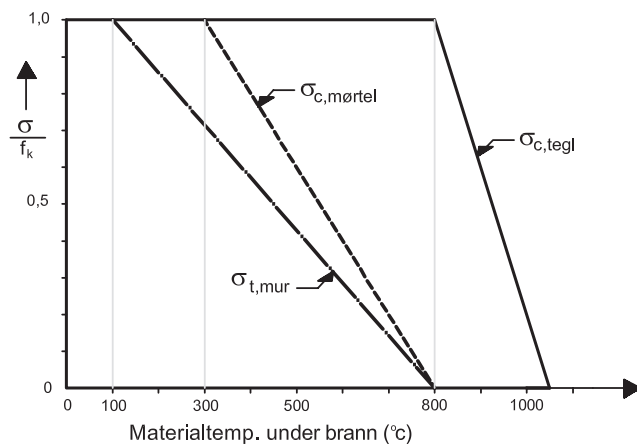
²⁾ ρ_m = tyngdetetthet for ferdig teglvegg inkl. stein, mørtel og eventuelle pusslag (kg/m^3)

7.2 Brannmotstand bærende vegger

Sementbaserte materialer som betong, mørtel og puss mister sin fasthet ved økende temperatur.

For mørtler kan det antas at trykkfastheten avtar rettlinjert fra full verdi ved 300 °C til null ved 800 °C, som for betong. For selve teglsteinen, som allerede er brent ved ca. 1.035 °C, kan trykkfastheten antas å avta rettlinjert fra full verdi ved

ca. 800 °C til null ved 1.050 °C. Murverkets trykkfasthet ved økende temperatur kan beregnes etter punkt 4.4 ut fra delmaterialenes trykkfasthet ved de samme temperaturer, bestemt som angitt over. Tapet i mørtelfasthet vil følgelig få begrenset innflytelse på murverkets trykkfasthet under brann. Se fig. 7.2.



Figur 7.2
Beregningsmessig fasthetsutvikling for teglstein og mørtel (trykk, $\sigma_{c, \text{tegl}}$ og $\sigma_{c, \text{mørtel}}$), og for teglmurverk (bøystrekk, $\sigma_{t, \text{mur}}$) under brannpåkjenning som funksjon av resulterende materialtemperatur. Murverkets trykkfasthet ved økende temperatur kan beregnes ut fra delmaterialenes trykkfasthet ved de samme temperaturer etter formelen i punkt 4.4:

$$f_{cn} = K \cdot f_{ck}^{0,75} \cdot f_{cm}^{0,25} \quad (\text{N/mm}^2)$$

Bøystrekkfastheten for brannpåkjent teglmurverk vil i større grad enn for trykkfastheten være bestemt av mørtelens fasthetstap ved økende temperaturer. Bøystrekkfastheten for murverk med vertikal spennretning er en direkte funksjon av heftfastheten mellom mørtel og stein og av mørtelens egen strekkfasthet. Mørtelens strekkfasthet, og dermed også murverkets bøystrekkfasthet i vertikal retning, kan antas å avta fra full verdi ved 100 °C til null ved 800 °C.

Brannmotstanden for bærende murkonstruksjoner er mangelfullt dokumentert. Som en tommelfingerregel kan veggtykkelsen økes med ca. 45 mm i forhold til ikke-bærende teglvegger for å oppnå samme brannmotstand. Veil. verdier i tabell 7.2 er fremkommet på dette grunnlag.

Densitet (kg/m ³)		Minste veggtykkelse t (mm)					
Teglods ¹⁾	Murvegg ²⁾	Brannmotstandstid T _{REI} (minutter)					
ρ_c	ρ_m	30	60	90	120	180	240
Massivtegl							
2.150	2.090	90	110	130	145	170	195
2.000	1.975	95	115	135	150	175	200
1.850	1.860	95	120	140	155	185	210
1.750	1.785	100	125	145	165	195	220
1.600	1.675	100	130	150	170	205	230
1.450	1.560	105	135	160	180	215	245
Hulltegl – 25% hull							
2.150	1.800	100	125	145	165	195	220
2.000	1.720	100	125	150	165	200	225
1.850	1.635	105	130	155	175	205	235
1.750	1.575	105	135	160	180	215	245
1.600	1.495	110	140	165	185	220	255
1.450	1.410	110	145	170	195	230	265

Tabell 7.2

Minste veggtykkelse t (mm), inkl. evt. pusslag (avrundet oppad til nærmeste 5 mm), for trykkpåkjennte bærende murvegger av ulike tegltyper, ved varierende brannmotstandstid T_{REI} (minutter).

¹⁾ ρ_c = teglsteinens nettodensitet, ekskl. evt. hull (kg/m³)

²⁾ ρ_m = tyngdetetthet for ferdig oppmurt vegg inkl. teglstein, mørtel og evt. pusslag (kg/m³)

Vegger utsatt for énsidig brannbelastning vil få utbøyning inn mot brann siden. Utbøyningen er størst for slanke vegger (l / h > 20), som derfor kan få sterkt redusert bæreevne da utbøyningen vil gi tilleggseksentrisitet. Dersom det ikke foretas kontrollberegning av utbøyninger ved brann, bør veggens slankhet begrenses til l / h < 20.

Etter avsluttet brannpåkjenning og avkjøling vil utbøyningen gå delvis tilbake, varierende med graden av eventuelle sprekkdannelse som kan ha oppstått som følge av brannpåkjenningen (oppvarming, avkjøling/slukking).

Noe av fasthetstapet i mørtelfugene kan gjenvinnes etter en brann ved at fugene tilføres fukt (vanning av murverket). Evt. rene heftbrudd mellom mørtel og stein lar seg ikke utbedre.

8 FDV-dokumentasjon

8.1 Miljødata

Økt miljøbevissthet innen bygg- og anleggsnæringen, har ført til etterspørsel etter seriøs informasjon om produkters miljøegenskaper. Miljødeklarasjon brukes for å sammenstille og utveksle slik informasjon. Iht. ISO/TR 14025 må miljødeklarasjoner være basert på livløpsvurderinger (LCA – Life Cycle Analysis).

Livløpsvurderinger er utviklet for å evaluere miljøkonsekvenser knyttet til bruken av byggematerialer og komponenter, fra råstoffer tas ut av naturen til materialene er tilbake i naturen.

Livløpsvurdering av byggematerialer omfatter raffineringsfase (utvinning og fremstilling av råvarer), produksjonsfase, distribusjonsfase, byggefase, driftsfase over byggets levetid, samt rivefase med evt. resirkulering, ombruk og deponering av materialene. Gjennom alle faser vurderes råvareforbruk, energiforbruk, miljøbelastninger og utslipp ut fra helsemessige og økologiske påvirkninger. Vurderingen vektet ut fra ulike kriterier, ofte politiske, og sammenfattes i et parameter kalt miljøindeks, økofaktor e.l.

Byggets levetid, blir oftest satt til 50 år og likt for alle bygg, selv om reell levetid kan være mye lengre. Dette er bl.a. begrunnet med at kravene til bygg forandres mye raskere nå enn før [NBI 470.111 Miljødata for bygningskonstruksjoner].

For teglkonstruksjoner oppført etter dagens normer og kvalitetskrav [10] vil imidlertid reell levetid være betydelig lengre. Teglkonstruksjoner vil derfor komme vesentlig gunstigere ut jo lengre tidshorisont som anvendes i miljødeklarasjoner og livløpsanalyser. Energiforbruk ved produksjon og transport av teglstein (se punkt 1.26) er i dag de vesentligste miljøbelastninger knyttet til teglstein som byggemateriale. Ved moderne, gassfyrte teglverk med varmegjenvinning og rensing av brenngassene, er imidlertid energiforbruk og utslipp av miljøgasser til atmosfæren svært beskjedne.

Bestandige, tunge teglkonstruksjoner bygget opp av rent mineralske, lavemitterende og fuktbestandige materialer har mange miljø- og energimessige kvaliteter som kan bidra til å øke bygningers totale nytteverdi for sluttbrukerne og samfunnet, både ut fra miljø-, energi- og ressurs-hensyn.

8.2 Vanndampgjennomslippelighet

En av teglmurverks viktige bruksegenskaper er evnen til å la fukt og luft diffundere gjennom konstruksjonen i begrenset omfang, og uten at det oppstår skadelig kondens noe sted i konstruksjonen.

Vanndamppermeabiliteten er et mål for hvor mye vanndamp som diffunderer gjennom et materiale når luften på begge sider av materialet har forskjellig damptrykk. Permeabiliteten for porøse materialer er avhengig av materialets fuktnivå (relativ fuktighet i poreluften). Økning i fuktnivå gir økt permeabilitet. Dette gjelder generelt alle materialer.

Av tabell 8.2 ses at teglmurverk har forbau-sende høy vanndamppermeabilitet, tilsvarende som for lettklinkerblokkmurverk.

Teglmurverks store vanndamppermeabilitet er bl.a. grunnlaget for skallmurveggers gode bufferegenskaper, som naturlig skille mellom inneklime og uteklime, se siste avsnitt under punkt 8.4.

Materiale	Densitet ρ (kg/m ³)	Vanndamppermeabilitet δ_p 10 ⁻¹² kg/(m·s·Pa)			
		Materialfuktnivå, % RF			
		35–70	70–80	80–90	90–95
Granitt, gneis	2.700	0,4			
Betong, v/c 0,5	2.300	1–1,5	1,5–2,5	2,5–7,5	7,5–21
Betong, v/c 0,7	2.300	1–2,0	2–3	3–15	15–55
Gips	950	6			23
Porebetong	500	18	18	24	35
Porebetong	400	28	28	30	45
Teglmurverk ²⁾	2.100	20			30
Teglmurverk ³⁾	1.600	30			40
Lettkl.bl.murverk	770	30			60
Tre (gran)	500	1,5–7	4–15	8–26	

Tabell 8.2

Vanndamppermeabilitet for ulike materialer ved relativ luftfuktighet 35–95 % RF [NBI 573.430].

8.3 Lufttetthet

NS 3420 - Del N1 Murverk [10] stiller krav om at brann- og lydisolierende konstruksjoner skal være lufttett. Det stilles også krav om at indre vange i skallmurvegger og diafragmavegger skal være lufttett. Kravet til lufttetthet er imidlertid ikke kvantifisert.

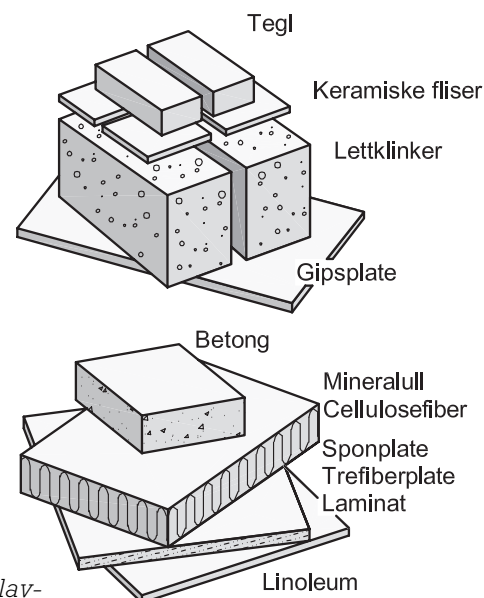
For at en skillevegg skal oppnå full lyd-isolasjonsevne, bestemt ut fra veggens flate-masse, må lufttettheten i følge utførte målinger ikke være dårligere (større) enn ca. $0,05 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$.

Tabell 8.3 viser en oversikt over målte verdier for lufttetthet og luftlydisolasjon for skillevegg murt av ulike murprodukter. Lufttetthet er målt på ubehandlet vegg, mens luftlydisolasjon er målt på både ubehandlet vegg og vegg behandlet med et lufttettende overflatesjikt (slemming/maling) på én side. Måleresultatene viser den klare sammenheng mellom skilleveggenes lufttetthet og resulterende luftlydisolasjon. En 1/2-steins teglvange med normalt god utførelse er lufttett i seg selv, uten noen form for overflatebehandling, mens de øvrige vegger må gis en lufttettende overflatebehandling for å oppnå full lyd-isolasjonsevne.

Skillevegger og skallmurvegger/diafragma-vegger av tegl med vangetykkelse på minst 1/2-stein kan altså utføres uten noen form for overfla-tebehandling på noen av sidene.

Skillevegg	Vegg-tykk. t (mm)	Flate-masse m (kg/m ²)	Luft-tetthet p _a m ³ /(m ² ·h·Pa)	Luftlyd-isolasjon	
				Ubeh. R _w [*] (dB)	Beh. R _w (dB)
1/2-steins tegl	108	195	0,035	46	46
Leca Finblokk	122	155	0,15	32	47
Betongblokk	120	235	0,35	26	50
Lettkl.blokk	100	85	8	10	40

Tabell 8.3
Målinger av lufttetthet og luftlydisolasjon for murte skillevegger uten og med lufttettende overfla-behandling (slemming/maling).



Figur 8.4
Eksempler på lav-emitterende materialer med liten avgivelse av irritanter og luktstoffer. [15]

- a) **minimal** avgivelse av irritanter og luktstoffer:
tegl, keramisk flis, gips, lettklinker
- b) **moderat** avgivelse av irritanter og luktstoffer:
betong, mineralull, spon- og trefiberplater, linoleum

8.4 Inneklima

Ventilasjon og inneklima henger nøye sammen. Nødvendig frisklufttilførsel for å oppnå tilfredsstillende luftkvalitet bestemmes ut fra forventet forurensningsbelastning, som avhenger av følgende tre forhold:

- forurensning fra aktiviteter og prosesser
- forurensning fra personbelastning (m²/person)
- forurensning fra materialbelastning

Kravet til minimum ventilasjon er således også avhengig av materialbruken, dvs. av om det benyttes materialer som avgir forurensninger og avgasser (emisjoner) som kan forringe luftkvaliteten. Materialer til bygningsformål inndeles i følgende emisjons-kategorier, se fig. 8.4 [15]:

- lavemitterende materialer med minimal avgivelse av irritanter og luktstoffer, som tegl, keramiske flis, gips, lettklinker
- lavemitterende materialer med moderat avgivelse av irritanter og luktstoffer, som betong, mineralull, spon- og trefiberplater, linoleum
- kjente, gode materialer
- udokumenterte materialer

Tegl og keramiske materialer generelt er klassifisert som lavemitterende materialer med minimal avgivelse av irritanter og luktstoffer. De avgir heller ikke støv, og det er derfor ikke nødvendig

Materialbelastning	Frisklufttilførsel l / (s · m ² brutto gulvareal)
Lavemitterende materialer	0,7
Kjente, gode materialer	1,0
Udokumenterte materialer	2,0

Tabell 8.4

Minimumskrav til frisklufttilførsel pga. forurensninger (emisjoner) fra materialer. [15]

med støvbindende overflatebehandling, i motsetning til betong. Ubehandlete teglflater og keramisk flis gir heller ikke grobunn og livsvilkår for klassiske allergener som muggsopp, pollen og husstøvmidd, og er derfor spesielt egnet i bygg og oppholdsrom for personer med allergiplager.

Veiledningen til TEK [15] angir minimumskrav til frisklufttilførsel pga. forurensninger fra materialer, se tabell 8.4.

Minimumskravet til frisklufttilførsel pga. materialbelastning kommer i tillegg til kravet til frisklufttilførsel pga. personbelastning (minst 7 l/person ved lett aktivitet). For bygninger med lav personbelastning, som kontorer, hoteller, sykehus, butikker etc., vil materialbelastningen kunne bli dominerende for det totale friskluftbehovet.

I tillegg til at tegl og keramiske materialer i seg selv har gunstig effekt på inneklimate, kan bruk av disse materialer i innvendige romflater bidra til å begrense bygningers ventilasjonsbehov, og derved energiforbruk.

En moderne, velisolert skallmurvegg (se Murkatalogens anvisning P1), med indre og ytre vange av ubehandlet tegl, består i sin helhet av rent mineralske, fuktbestandige materialer uten skadelige avgasser som kan forringe luftkvalitet og inneklimate. Skallmurveggen fungerer som en naturlig buffer mellom inne- og uteklimate ved at den er bygget opp av diffusjonsåpne, hygro-skopiske og fuktbestandige materialer, som tillater luft- og dampdiffusjon inn og ut gjennom konstruksjonen. De tunge murvangene i den velisolerte skallmurveggen vil dertil bidra til å dempe innvendige temperaturvariasjoner, og åpner for en viss grad av selvregulering av temperatur og luftfuktighet, ved at omhyllende rom-

flater kan oppta og avgi varme og fukt. Dette gir mulighet for korttidslagring av gratis solvarme og mer optimal utnyttelse av det interne varme-tilskudd, f.eks. i kontorer, skoler, barnehager o.a. bygninger med begrenset brukstid pr. dag.

8.5 Overflatebehandling

Av flere grunner kan det være ønskelig med en eller annen form for overflatebehandling av teglvegger, utvendig som innvendig (annen overflatestruktur, farge o.l.). I begge tilfeller må det velges en behandling som ikke ødelegger teglveggenes opprinnelige funksjon. Enten det er ønske om maling, slemming, tynnpuss eller grovpuss, må det alltid velges rent mineralske, lavemitterende materialer med tilsvarende fukt- og diffusjonsegenskaper som for teglet.

En organisk maling (plast- eller oljebasert) innvendig og/eller utvendig på en skallmurvegg vil blokkere veggens inneklimateregulerende bufferegnskaper. Utvendig vil organisk maling dessuten være så diffusjonstett at den kan forårsake skadelig fuktakkumulering og frostskafer.

Moderne silikatmaling (én- eller tokomponent) er den type overflatebehandling som best stemmer med teglunderlagets egenskaper, og egner seg utmerket både utvendig og innvendig.

8.6 Vedlikehold. Levetid

Vedlikeholdsbehovet for teglvegger vil være minimalt og i første rekke knyttet til ettersyn og reparasjon av tilslutninger mot andre materialer (beslag, dekklist, elastiske bevegesfuger).

Forebyggende vedlikehold i form av periodevis fasaderengjøring, spesielt i forurensende miljøer, vil ytterligere øke konstruksjonens levetid. Høytrykkspyling av utvendig, fuget teglmurverk med varmt vann (80 bar, + 80°C) hvert tredje år vil som regel være tilstrekkelig for å fjerne smuss og sot fra trafikk o.a., samt hindre begroing på spesielt nordvendte, skyggefulle og fuktutsatte flater. Dersom slike forurensninger og begroing ikke holdes i sjakk, kan det være fare for at mørtelfugene begynner å forvitte.

Innvendige teglflater, og spesielt teglflater med inntrukne fuger, bør støvsuges fra tid til annen. Eventuell tilsmussing, sot el.l. på spesielt lyse teglstein vil normalt kunne fjernes ved forvanning og vask med varmt vann og mild såpe, evt. med sitronsyre eller tilsv. kjemisk rengjøringsmiddel.

Det kan ikke tallfestes noen absolutt grense for teglmurverks levetid. Det tør være kjent at vi rundt omkring i verden har godt bevarte, historiske byggverk av tegl som er flere tusen år gamle, f.eks. Colosseum og Pantheon i Roma. Levetidsaspektet for bygninger i tegl er derfor mer knyttet til bygningstype, og bygningens økonomiske og funksjonelle levetid i forhold til stadige endringer i brukskrav, enn til selve teglkonstruksjonene.

For teglkonstruksjoner oppført etter dagens normer og krav [10] bør reell levetid ikke være dårligere enn for historiske byggverk i tegl.

8.7 FDVU-dokumentasjon

Som underlag for fremtidig vedlikehold, evt. ombygging eller riving, er det viktig å ha dokumentasjon av materialer og konstruksjonsløsninger som inngår i bygningen, såkalt FDVU-dokumentasjon (Forvaltning – Drift – Vedlikehold – Utvikling). Det er mange måter å sette opp slik dokumentasjon på.

En byggeteknisk beskrivelse etter NS 3420 [10] vil som regel være fyllestgjørende. For murverk er det egne koder og tilhørende spesifiserende tekster for komplette veggkonstruksjoner, hvor all relevant informasjon om komponenter, materialer og -kvaliteter samt om utførelse settes opp etter standardisert beskrivelsesmal, se fig. 8.7.

*Fig. 8.7
Eksempel på FDVU-dokumentasjon
av teglforblending satt opp iht.
standardisert beskrivelsesmal etter
NS 3420 – Del N1 Murverk [10].
Det kan i tillegg angis produsent for
de ulike produkter.*

N11.418323 FORBLENDING MED ISOLASJON.
VANGE AV TEGLSTEIN.
FASTHETSKLASSE 45. MILJØKLASSE 3.
MED FUGING. TOLERANSEKLASSE 3.

Bakenforliggende

konstruksjon: 150 mm isolert bindingsverk.

Veggykkelse: 350 mm (total, fra innv. til utv. veggliv)

Murverksklasse: Murverksklasse II

Fugeklasse: F1, t = 15 mm

Steintype: Fasadetegl normal-hullstein EN 771.1, glatt rød med fargespill, 226 · 104 · 60 mm, produktkategori I, tol.kl. T2, trykkfasthet, middelverdi: 45 N/mm² bruttodensitet teglstein: 1.625 ± 75 kg/m³ nettodensitet teglgods: 2.100 ± 100 kg/m³ minuttsug: 1,5 ± 0,5 kg/(m² · min.) vannabsorpsjon: maks. 7 vekt-% frostmotstandsevne: F2

Mørtelkvalitet: Mørtelklasse B – NS 3120, fabrikkfremstilt, tilpasset valgt teglsteins sugeegenskaper

Trådbindere: Ø 4 mm syrefast stål med gjenget ende slått inn i Ø 3 mm forborete hull i bindingsverket, 3 stk. pr. m² vegg.

Fugearmering: 1 stk. fugearmering av 2 · Ø 4 mm rustfritt bistål, innmurt i 2. og 3. horisontalfuge over alle vindusåpninger, samt gjennomgående i 2. horisontalfuge over sokkel/fundament.

Isolasjon: 50 mm mineralull murplater, isol.klasse 33. Det er i tillegg avsatt en luftspalte på 20 mm ± 10 mm mellom forblending og bakenforliggende hulromsisolering.

Utseende: 10 skifts munkeforband med 5 mm tilbake-liggende rette fuger, komprimert og glattet

Bevegelses-fuger:

Vert. bev.fuger iht. fasadetegninger. Fugebredde 10 mm ± 2 mm. Fugene forseglet med elastisk fugemasse av polyurethan mot sirkulær bakfyllingslist av skumplast

Utførelse: Murmørtel slått på stussflatene av steinen. Fugearmering løftet opp etter mørtelutlegg-ning slik at armeringen får full mørtel-omhylling.

Dokumentasjon: Heft mørtel/tegl testet etter NS 3105.

Veggareal (m²):

9 Produksjonskontroll, deklarasjon, CE-merking

9.1 Forskriftskrav

Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (pbl) krever at alle egenskaper som er relevante for de grunnleggende krav til byggverk, skal være dokumentert for samtlige byggevarer som omfattes av EUs Byggevaredirektiv, før de markedsføres og brukes.

De seks grunnleggende kravene omfatter:

- mekanisk motstandsevne og stabilitet
- brannsikring
- hygiene, helse, miljø
- sikkerhet ved bruk
- støyvern
- energisparing og varmeisolering

Kravene er grunnlaget for utarbeidelse av harmoniserte standarder for byggevarer på europeisk nivå – tekniske spesifikasjoner vedtatt av den europeiske standardiseringsorganisasjon CEN.

Dokumentasjon av relevante egenskaper skal fortrinnsvis skje i form av CE-merking. CE-merkingen inkluderer system for produktkontroll slik det angis i de enkelte produktstandarder eller godkjenninger.

9.2 Standardiserte prøvemetoder

Den europeiske produktstandard for teglstein EN 771-1 [5] angir krav til hvilke produkt-egenskaper som skal deklarerer avhengig av produktenes tilsiktede bruk. De tilhørende prøvemetoder, EN 772 [6], gir regler for hvordan deklarererte egenskaper skal testes for å dokumentere samsvar med deklarererte verdier og evt. kvantifiserte krav i produktstandarder.

9.3 Produksjonskontroll

For alle teglprodukter til bygningsformål må det kunne dokumenteres overensstemmelse med harmonisert europeisk standard for teglprodukter EN 771-1 [5].

For produkter underlagt EUs Byggevaredirektiv, har EU-kommisjonen fastlagt krav til produktkontroll gradert i fire hovedmoduler 1–4 med varierende grad av medvirkning fra tredje parts kontrollorganer (sertifiseringsorganer, inspeksjonsorganer, prøvingslaboratorier). Modul 4 angir minstekravet, som forutsetter at

produsenten har et system for produktkontroll og at dette til enhver tid kan dokumenteres (dokumentert egenkontroll). Modul 1 angir strenge krav, som forutsetter produktsertifisering.

For teglprodukter til bygningsformål deklarerert i produktkategori I og II, se punkt 2.3, gjelder følgende moduler:

Produkt-kategori	Modul	Kontrollomfang/ Samsvarserklæring
I	2+	Uavhengig tredjeparts kontroll. Produsentens samsvarserklæring med sertifisert produktkontroll.
II	4	Dokumentert egenkontroll. Produsentens samsvarserklæring.

Tabell 9.31

Moduler for samsvarsdokumentasjon av teglprodukter deklarerert i produktkategori I og II iht. EUs Byggevaredirektiv.

Ansvarlig	Kontrollomfang	Produkt-kategori	
		I	II
Produsentens oppgaver	• Produksjonskontroll ¹⁾	+	+
	• Innledende typeprøving ²⁾	+	+
Utpekte tredje parts organers oppgaver	Sertifisering av produktkontroll på bakgrunn av	+	
	• Innl. inspeksjon av fabrikk og produktkontroll ³⁾	+	
	• Kontinuerlig overvåking av produktkontroll ³⁾	+	

Tabell 9.32

Kontrollomfang for teglprodukter deklarerert i produktkategori I og II iht. EUs Byggevaredirektiv.

¹⁾ Produksjonskontrollen skal omfatte alle relevante forhold i produksjonen av betydning for produktets anvendelse (råmaterialer, produktionsutstyr, produktionsprosess, kontrollrutiner, ferdigvarekontroll, sporbarhet).

²⁾ Innledende typeprøving/ferdigvarekontroll skal omfatte alle deklarererte egenskaper og andre egenskaper av betydning for produktets tilsiktede bruk iht. EN 771-1 [5].

³⁾ Produksjonskontrollen skal omfatte alle relevante forhold i produksjonen av betydning for produktets anvendelse (råmaterialer, produktionsutstyr, produktionsprosess, kontrollrutiner, ferdigvarekontroll, sporbarhet).

CE 01234
NorTegl as, PO Box 12, N-3456 01 01234-CPD-01.234
EN 771-1 Fasadetegl normal-hullstein, 226 · 104 · 60 mm – tol.kl. T2, produktkategori I Trykkfasthet, middelverdi: 45 N/mm ² Bruttodensitet teglstein: 1.625 ± 75 kg/m ³ Nettodensitet teglgods: 2.100 ± 100 kg/m ³ Minuttsug: 1,5 ± 0,5 kg/(m ² · min) Vannabsorpsjon: maks. 7 vekt-% Frostmotstandsevne: F2

Fig. 9.4

Eksempel på CE-merking av fasadetegl

9.4 Deklarasjon og CE-merking

Deklarasjon av teglprodukter etter EN 771-1 [5] skal minst inneholde følgende produkt-opplysninger:

- henvisning til gjeldende produktstandard for teglstein, EN 771-1, med angivelse av standardens utgivelsesdato;
- teglsteinstype – fasadetegl eller murtegl, massivtegl eller hulltegl, se punkt 1.3, samt normaltegl eller lettegl, se punkt 2.2;
- steindimensjon – lengde, bredde, høyde i mm (tilvirkningsmål, middelverdier) og tilhørende toleranseklasse, evt. oppgitte toleranser i hele mm for hver dimensjon, se punkt 2.1;
- trykkfasthet eller trykkfasthetsklasse og produktkategori (I eller II), se punkt 2.3.

Eksempel:

- EN 771-1:2001 Fasadetegl normalhullstein, 226 · 104 · 60 mm – toleranseklasse T1, 35 N/mm² produktkategori I
- EN 771-1:2001 Murtegl lettegl-hullblokk, 287 · 137 · 187 mm – toleranseklasse T2, 10 N/mm² produktkategori II

I tillegg kan deklarasjonen omfatte følgende tilleggsopplysninger, når disse er relevante for tilsiktet bruk:

- brutto- og nettodensitet og tilhørende toleranseklasse, se punkt 2.2;
- minuttsug, se punkt 3.3
- vannabsorpsjon, se punkt 3.5
- overflatestruktur og farge (brukerkrav, ikke EN-krav)

CE-samsvarsmerke iht. «CE»-symbol gitt i EU-direktivet 93/68/EEC
Identifikasjonsnummer for tredjeparts kontrollorgan (der det er relevant)

Produsentens navn eller identitetsmerke, og registrert adresse
Siste to sifre i året som CE-merkingen ble stadfestet
Sertifikat-nummer (hvor dette er relevant)

Nummer på europeisk produktstandard for teglstein

Beskrivelse av murproduktet

Informasjon om regulerte produkttegenskaper

Eksempel:

- EN 771-1:2001 Fasadetegl ru, rød med farge-spill, normalhullstein, bruttodensitet $1.625 \pm 75 \text{ kg/m}^3$, nettodensitet $2.150 \pm 100 \text{ kg/m}^3$, 226 · 104 · 60 mm – toleranseklasse T1, 35 N/mm² produktkategori I, minuttsug $1,5 \pm 0,5 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{min.)}$.

Teglstein kan merkes med CE-merket når det, forsvarlig benyttet, vil medvirke til at byggverk tilfredsstiller de seks essensielle krav, som angitt i punkt 9.1. CE-merket teglstein viser at produktet tilfredsstiller tekniske spesifikasjoner iht. harmonisert europeisk standard for teglstein [5].

CE-samsvarsmerkingen skal bestå av bokstavene CE fulgt av et identifikasjonsnummer for det organ som har deltatt i produksjonskontrollfasen. CE-merkingen skal videre ledsages av produsentens navn eller identifikasjonsmerke, de to siste sifrene i det året da merkingen ble påført, og om nødvendig EU-samsvarssertifikatets nummer, samt evt. opplysninger om produktets kjennetegn i form av tekniske spesifikasjoner. Opplysninger som er nødvendige ut fra et sikkerhetssynspunkt skal være på norsk. Se fig. 9.4.

Et CE-merket produkt skal fritt kunne omsettes og brukes uten ytterligere vurdering.

Systemet med europeiske produktstandarder og tilhørende kontrollorganer er ennå ikke fullt operativt. Det vil ta noe tid før CE-merking av byggprodukter blir innført i større omfang. Dette gjelder også for teglstein. I mellomtiden benyttes nasjonale godkjenning-, sertifiserings- og kontrollorganer. Teglinndustrien har tidligere etablert en frivillig kontrollordning for teglprodukter, Norsk Teglkontroll, som senere ble underlagt Kontrollrådet for betongprodukter.

Litteraturhenvisninger

- [1] Madsø, Finn E.: «Tegl som byggemateriale. Fremstilling og egenskaper». Forelesningsnotat ved Institutt for bygningsmateriallære, NTH. Mur-Sentret, Oslo 1981
- [2] Madsø, Finn E.: «Brannteknisk dimensjonering av bygningskonstruksjoner. Murverk.» NIF-kurs. Mur-Sentret, Oslo 1984.
- [3] Madsø, Finn E.: «Murte veggkonstruksjoners lydisolasjonsevne» Særtrykk av artikkel i MUR nr. 3/1979 med måleskjemaer. Mur-Sentret, Oslo 1979
- [4] NS 3000 Teglstein. NBR, 1. utg. juni 1967
- [5] NS-EN 771-1: Spesifikasjon av murprodukter. Del 1 – Teglstein. Juni 2001
- [6] NS-EN 772 Prøvningsmetoder for murprodukter:
- [6.1] NS-EN 772-1 Bestemmelse av trykkfasthet
 - [6.2] NS-EN 772-3 Bestemmelse av nettovolum og hullandel i teglstein ved hydrostatisk veiing
 - [6.3] NS-EN 772-5 Bestemmelse av teglsteins innhold av vannløselige salter
 - [6.4] NS-EN 772-7 Bestemmelse av vannabsorpsjon for teglstein ved koking i vann
 - [6.5] NS-EN 772-11 Bestemmelse av vannabsorpsjon for murprodukter av betong, trykkherdet lettbetong og naturstein, og minuttsug for teglstein
 - [6.6] NS-EN 772-13 Bestemmelse av netto og brutto densitet for murprodukter
 - [6.7] NS-EN 772-16 Bestemmelse av dimensjoner
 - [6.8] NS-EN 772-22 Bestemmelse av teglsteins frostmotstandsevne
- [7] NS-EN 998-2: Spesifikasjon av mørtler til murverk. Del 2 – Murmørtler. Januar 2001
- [8] NS-EN 1015 Prøvningsmetoder for mørtler
- [8.1] NS-EN 1015-11 Bestemmelse av bøyestrekfasthet og trykkfasthet til herdnet mørtel. Mars 2000
- [9] NS-EN 1052 Prøvningsmetoder for murverk
- [9.1] NS-EN 1052-1 Bestemmelse av trykkfasthet
 - [9.2] NS-EN 1052-2 Bestemmelse av bøyestrekfasthet
 - [9.3] NS-EN 1052-3 Bestemmelse av skjærfasthet
 - [9.4] NS-EN 1052-5 Bestemmelse av heftfasthet
- [10] NS 3420 Beskrivelsestekster for bygg, anlegg, installasjoner. 3. utgave juli 1999
- [11] Byggevedirektivet – Rådsdirektiv pr. 21.12.88 om tilnærming av medlemsstatens lover og forskrifter vedrørende byggevarer (89/106/EØF)
- [12] Madsø, Finn E.: «Lilleborg – Gjenbruk av tegl». Rapport fra FoU-prosjekt 1999-2000 utført i regi av NCC Bolig AS, og med støtte fra Statsbygg, Oslo kommune, ØkoBygg, og NCCs FoU-fond. Sivilingeniør Finn Madsø as. Oslo, februar 2001
- [13] NBI 573.430: Byggevarer og materialer. Materialdata for vanddamptransport. Byggforskserien, NBI, Oslo 1995
- [14] NBI 571.201: Byggevarer og materialer. Murstein og murblokker. Typer og egenskaper. Byggforskserien, NBI, Oslo 1996
- [15] Veiledning til teknisk forskrift (TEK) til plan- og bygningsloven 1997 (PBL). Statens bygningstekniske etat, Oslo april 1999

