

TEGL 24

Nye styrker for murværk

Forbedrede værdier for bøjningstrækstyrker og kohæsion

Forord

Før 1969 blev bærende konstruktioner i murværk projekteret i henhold til:

Bygningsreglement for købstæderne og landet, 1961. Dimensionering af teglstensvægge.

Reglementet indeholdt enkle regler om maksimale størrelser på væg-felter, muråbninger osv.

»Et vægfelt, inklusive åbninger til vinduer og døre, bestående af en hulmur med ståltrådsbindere opmuret med bastardmørtel må højst være 20 m².«

Dvs med en etagehøjde på 2.40 m kunne vægfeltetsbredden være 8.33 m.

I dag er det vanskeligt at projektere et vægfelt med en bredde større end 4 m!

Denne pjeces omhandler styrkeparametrene:

f_{tik} : Bøjningstrækstyrke om liggefuger

f_{tsk} : Bøjningstrækstyrke om studs-fuger

c_k : Kohæsionen

Disse styrkeparametre beskriver vedhæftningen mellem sten og mørtel og anvendes ved projektering af:

- Vægfelter påvirket af vindlaster vinkelret på væggens plan
- Vægfelter påvirket af lodret, excentrisk last
- Teglbjælker
- Buer og stik
- Stabiliserende vægfelter påvirket af laster i eget plan

Dvs stort set alle bygningsdele i det murede byggeri.

På trods af styrkeparametrenes store betydning for den praktiske projektering har problematikken omkring vedhæftningen mellem sten og mørtel aldrig været genstand for den helt store forskningsindsats. Dette har medført ganske lave og konservative værdier for de 3 styrkeparametre i den gældende murværksnorm, DS 414, (1991, 4. udg.).

De vejledende værdier i murværksnormen er:

f_{tik} : 0.25 MPa

f_{tsk} : 0.50 MPa

c_k : 0.10 MPa

Anvendes disse værdier ved projektering af bærende konstruktioner i murværk, bliver resultatet ofte, at bagvæggen bliver udført i beton.

Pjecen indeholder følgende afsnit:

1. Nye basisstyrker for murværk
2. Bestemmelse af f_{tik} . Bøjningstrækstyrke om liggefuger
3. Bestemmelse af f_{tsk} . Bøjningstrækstyrke om studs-fuger
4. Bestemmelse af c_k . Kohæsionen parallel med liggefuger
5. Beregningseksempler
6. Beskrivelseseksempel til direkte anvendelse
7. Kontrol og orienterende forsøg

Bagsiden. Adresser på teglværker-nes salgskontorer

Pjecen er udarbejdet af Murværkscentret, DTI Byggeri, tlf. 86 28 38 11 for Kalk- og Teglværksforeningen af 1893. Pjecen er hovedsageligt rettet mod rådgivende ingeniører.

1. Nye basisstyrker for murværk

Styrkerne kan fordobles

Murværkscentret på Dansk Teknologisk Institut, har i samarbejde med SBI foretaget en række forsøg, der viser, at de regningsmæssige styrker på murværk i mange tilfælde kan fordobles.

Ved projekteringen

Anvendes de forhøjede styrker ved projekteringen, kan der henvises til denne pjece som dokumentation.

Tørmørtel

Indtil videre er det kun tørmørtlens egenskaber mht f_{tk} der er fastlagt, og værdier i denne pjece for f_{tk} refererer kun til murværk opmuret med tørmørtel, hvor nogle få og ikke særlig strikse specifikationer skal overholdes.

Specifikationerne er angivet i afsnit 6, »Beskrivelseseksempel til direkte anvendelse«.

I øvrigt er alle eksisterende tørmørtelfabrikanter bekendt med specifikationerne, og tørmørtlerne vil under normale omstændigheder overholde de nye krav.

Vådmørtel

Murværk opmuret med vådmørtel opfylder naturligvis stadig normens værdi for $f_{tk} = 0.25$ MPa.

Værdier for f_{tsk} og c_k bestemmes, som for tørmørtel, ud fra de angivne formler og tabelværdier.

Forvanding

Begrebet forvanding har længe været kendt som et middel til at forøge vedhæftningen. Ved opmuring af fx tegljbælker med stærkt sugende sten er det et krav, at stenene forvandes.

Forvanding af stærkt sugende sten medfører en reduktion af sugeevnen. Dvs at stenene ikke suger for meget og for hurtigt. For kraftig sugsevne medfører ringe vedhæftning og forringet styrke af mørtlen.

Forvanding er ligeledes beskrevet i afsnit 6, »Beskrivelseseksempel til direkte anvendelse«.

Vandindhold

Vandindholdet i mørtlen er af afgørende betydning for vedhæftningen, specielt for stærkt sugende sten.

Er mørtlen for tør, vil der, ved opmuring af murværk med stærkt sugende, ikke forvandede sten, ikke være tilstrækkeligt vand til en effektiv vedhæftning og hærkning af fugen.

Vandindholdet for de aktuelle mørtler er beskrevet i afsnit 6, »Beskrivelseseksempel til direkte anvendelse«.

Stenenes trykstyrke

I pjecen er anvendt begrebet *stenenes trykstyrke* som synonym til steklassen. Begreberne er identiske, men *stenenes trykstyrke* er blot mere tidssvarende og dækkende. Prøvningsproceduren er naturligvis stadig som angivet i DS 438.11.

Udvikling

Det er Murværkscentrets håb, at de nye og mere realistiske styrkeparametre vil medføre, at murværk vil få en større udbredelse indenfor bærende konstruktioner, og ikke fravælges af rådgivere og bygherrer på grund af den nuværende norms udifferentierede styrkeparametre.

2. Bestemmelse af f_{tlk}

Deklarerede værdier

Murværkscentret har udført en række forsøg med 30 forskellige stentyper i kombination med en tørtmørtel KC 35/65/650. De fundne værdier for f_{tlk} kan oplyses ved henvendelse til teglværkernes salgskontorer (se bagsiden).

Værdierne for f_{tlk} (i MPa) er beliggende i nedenstående angivne intervaller:

Røde blødstrogne sten : 0.45-1.00

Gule blødstrogne sten : 0.30-0.90

Rosé blødstrogne sten : 0.50-1.00

Røde maskinsten : 0.65-0.80

Gule maskinsten : 0.45-0.80

Der bør dog ikke regnes med større værdier for f_{tlk} end 0.60 MPa.

Beregnete værdier

I forbindelse med forsøgene er opstillet en model for brudmekanismen i liggefuger. Denne model angiver f_{tlk} som funktion af den anvendte mørtel, stenes minutsugning og stenes trykstyrke.

Modellen går i al sin enkelthed ud på, at et brud parallelt med liggefugen enten opstår i mørtlen eller stenen afhængig af hvilket led, der er svagest.

Metode

Bøjningstrækstyrken af stenen benævnes f_{sten} . Bøjningstrækstyrken af fugen/mørtlen benævnes $f_{mørtel}$.

- Vælg mørteltype
- Bestem trykstyrke og minutsugning for den aktuelle sten
- Ved forvanding reduceres minutsugningen 50%
- Aflæs $f_{mørtel}$ og f_{sten} vha kurverne
- f_{tlk} er minimumsværdien
- Er forskellen mellem f_{sten} og $f_{mørtel} < 0.20$ MPa reduceres f_{tlk} med: (0.10 MPa - 1/2 x forskellen)

Eksempel

I et aktuelt projekt er det oplyst at:
Stenenes trykstyrke = 20 MPa
Minutsugningen = 1.6 kg/m²
Murværket opmures i
KC 35/65/650

f_{sten} aflæses til = 0.45 MPa

$f_{mørtel}$ aflæses til = 0.60 MPa

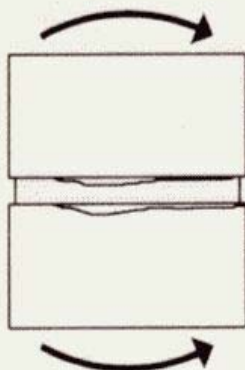
Forskellen mellem f_{sten} og $f_{mørtel} < 0.20$ MPa hvorved bestemmes:

$$f_{tlk} = 0.45 - (0.10 - 1/2 \times 0.15) \\ = 0.42 \text{ MPa}$$

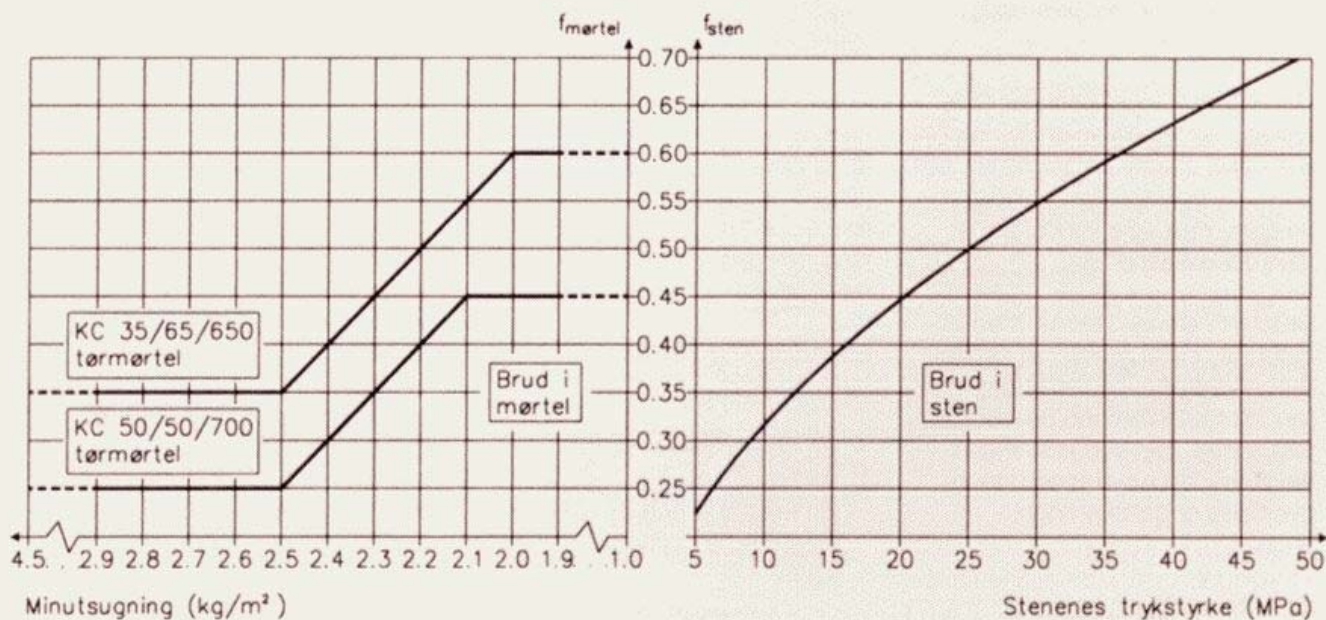
Ved anvendelse af en sten med en minutsugning på 3.2 kg/m² vil en forvanding medføre samme værdier, idet minutsugningen bliver reduceret til 1.6 kg/m².

Momentkapaciteten (m) for en 108 mm væg bestemmes herefter til:

$$m = (1/6) \times 0.42 \times 0.108^2 \times 1000 \\ = 0.82 \text{ kNm/m}$$



Nye basistrækstyrker. Model



Værdier gældende for massive maskinsten, cellesten, 3-hul-sten og blødstrøgne sten i dansk normalformat.

Minutsugningen repræsenterer stenenes sugsevne ved opmuringen og bestemmes som angivet i DS 438.13. Stenenes trykstyrke bestemmes som angivet i DS 438.11.

Bøjningstrækstyrke om liggefuger

Brudmodel for f_{tik}

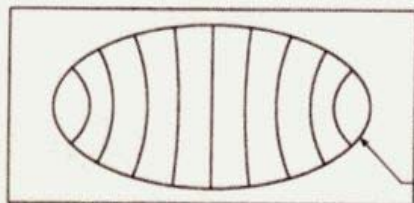
Bøjningstrækstyrken af selve stenen kan beskrives som:

$$f_{sten} = 0.1 \sqrt{\quad} \text{ (stenenes trykstyrke)}$$

hvor stenenes trykstyrke og f_{sten} angives i MPa

Dette udtryk repræsenterer 95% fraktilen for typisk anvendte danske sten. Dvs massive maskinsten, cellesten, 3-hul-sten samt blødstrøgne sten, men ikke vandstrøgne sten og kalksandsten.

Bruddet i stenen parallel med liggefugen opstår typisk i et ellipseformet område, centreret om midten, repræsenterende 60-70% af tværsnittet, idet vedhæftningen langs randen rundt mod den fri overflade er ganske ringe.



Der er taget hensyn til dette forhold i udtrykket for f_{sten} . Værdien af teglmaterialets faktiske bøjningstrækstyrke er ca $2-3 \times f_{sten}$.

$f_{mørtel}$ afhænger navnlig af minutsugningen. Bruddet kan foregå i skillefladen samt i selve fugen.

Stærkt sugende sten har en tendens til at suge for meget vand ud af mørtlen således, at den til hærdningen nødvendige vandmængde ikke er tilstede. Den kraftige sugning medfører endvidere en separation af tilslag og bindemiddel.

En forvanding, der reducerer minutsugningen, vil derfor have:

- En positiv effekt på sten med en minutsugning $> 2.0 \text{ kg/m}^2$
- En neutral til negativ effekt for sten med minutsugning $< 2.0 \text{ kg/m}^2$

Basistrækstyrken bestemmes som minimumsværdien af f_{sten} og $f_{mørtel}$. Hvis de to værdier er næsten sammenfaldne skal minimumsværdien reduceres.

Dette skyldes, at f_{sten} og $f_{mørtel}$ i realiteten repræsenterer en statistisk fordeling omkring de aktuelle værdier, hvorved sandsynligheden for, at et brud initieres ved en given spænding, forøges, såfremt begge led er nogenlunde ens. Eller mere populært, en »kæde« med 2 svage led vil bryde før en kæde med 1 svagt led, selvom leddene i gennemsnit er lige svage.

Ud fra kurverne ses, at sten med en minutsugning $< 2.0 \text{ kg/m}^2$ og trykstyrke $> 25 \text{ MPa}$ giver de største styrker, såfremt opmuringen foretages med KC 35/65/650.

Det er dog kun ca hver 6. stentype, der opfylder ovenstående betingelser, da trykstyrke og minutsugning i nogen grad følges ad.

3. Bestemmelse af f_{tsk}

Deklarerede værdier

Der er ikke udført forsøg til bestemmelse af f_{tsk} for de før omtalte 30 stentyper, idet der under prøvningsarbejdet blev udviklet en model for brudmekanismen for bøjning parallel med studsfulgen. Denne model stemmer overens med mere end 70 forsøg udført på Murværkscenret gennem de sidste 15 år og betragtes derfor som velunderbygget.

Beregne værdier

Ved bøjning parallel med studsfulgen opstår bruddet enten gennem stenene eller i zig-zag gennem fugerne.

Bøjningskapaciteten af et brud gennem stenene hænger i høj grad sammen med stenenes bøjnings-trækstyrke (som er afhængig af stenenes trykstyrke), mens bøjningskapaciteten af et zig-zag-brud udelukkende gennem fugerne er afhængig af vedhæftningen.

Bruddet opstår naturligvis også her i det svageste led.

Bøjningskapaciteten af et zig-zag-brud kan forøges ved en lodret belastning, idet friktionen i de vridningspåvirkede liggefuger forøges. Bøjningskapacitet kan kun forøges, indtil bruddet initieres gennem stenene.

Metode

Nedenstående tabel angiver f_{tsk} som funktion af stenenes trykstyrke og f_{tik} . Værdierne under den trappeformede linie angiver, at bruddet hovedsageligt vil opstå gennem stenene. Værdierne over linien repræsenterer zig-zag-brud gennem fugerne.

- Bestem f_{tsk}
- Bestem stenenes trykstyrke
- Aflæs f_{tsk} ud fra tabellen
- Ved lodret belastning på murværket anvendes indgangsværdien: $(f_{tsk} + 0.25 \times \sigma)$ i tabellen. σ er normalspændingen beregnet ud fra lastkombination 2.2. (Dvs ved valg af partialkoefficienter på lasterne tages hensyn til, at σ virker til gunst). Den lodrette last kan kun give anledning til en forøgelse af f_{tsk} til værdien umiddelbart under den trappeformede linie

Eksempel

I et aktuelt projekt er følgende parametre bestemt:

$$\begin{aligned} \text{Stenenes trykstyrke} &= 40 \text{ MPa} \\ f_{tik} &= 0.25 \text{ MPa} \\ \sigma &= 0.80 \text{ MPa} \end{aligned}$$

For det ubelastede murværk aflæses:

$$f_{tsk} = 0.81 \text{ MPa}$$

For det belastede (fx 0.85 x permanent last) murværk anvendes indgangsværdien:

$$0.25 + 0.25 \times 0.80 = 0.45 \text{ MPa}$$

f_{tsk} aflæses umiddelbart under den trappeformede linie (ikke til 1.06 MPa):

$$f_{tsk} = 1.04 \text{ MPa}$$

f_{tsk} som funktion af f_{tik} og stenenes trykstyrke

f_{tik} (MPa)	Stenenes trykstyrke (MPa)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0.15	0.46	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
0.20	0.47	0.59	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
0.25	0.48	0.60	0.70	0.77	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
0.30	0.49	0.62	0.71	0.79	0.85	0.92	0.95	0.95	0.95	0.95
0.35	0.51	0.63	0.72	0.80	0.87	0.93	0.99	1.04	1.08	1.08
0.40	0.52	0.64	0.73	0.81	0.88	0.94	1.00	1.05	1.10	1.15
0.45	0.53	0.65	0.75	0.82	0.89	0.95	1.01	1.06	1.11	1.16
0.50	0.54	0.67	0.76	0.84	0.90	0.97	1.02	1.08	1.13	1.17
0.55	0.56	0.68	0.77	0.85	0.92	0.98	1.04	1.09	1.14	1.19
0.60	0.57	0.69	0.78	0.86	0.93	0.99	1.05	1.10	1.15	1.20

Værdier gældende for murværk i dansk normalformat

Bøjningstrækstyrke om studsfulger

Brudmodel for f_{tsk}

Udvikling af udtrykkene er ret omstændige og beskrives kun summarisk i denne pjece.

Basistrækstyrken f_{tsk} bestemmes normalt ved at knække en 4-skitte høj bjælke parallel med studsfulgen. Bruddet i bjælken løber enten gennem stenene eller i zig-zag gennem fugerne. Dvs forsøgsresultaterne og brudmodellen refererer til en bjælke med 3 liggefuger og 4 sten i brudtværsnittet.

Ved brud gennem sten bestemmes f_{tsk} ved at addere bøjningskapaciteten fra:

- Stenene (2)
- Liggefugerne (3)
- Studsfugerne (2)

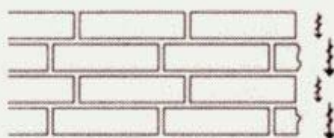
Tallene i parentes angiver hvor mange, fx studsfuger, der bidrager til bøjningskapaciteten ved det aktuelle brud.

Ved zig-zag-brud gennem fugerne bestemmes f_{tsk} ved at addere bøjningskapaciteten fra:

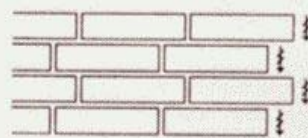
- Liggefugerne (3)
- Studsfugerne (4)
- Vridningsbidraget i liggefugerne (3)
- Forskydningen i studsfugerne (4)



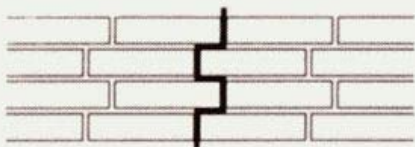
Brud gennem sten



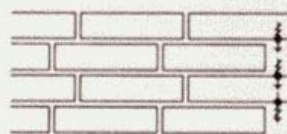
Brud gennem sten



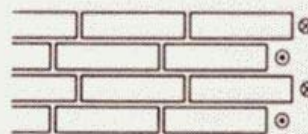
Bøjning i studsfuger



Zig-zag-brud gennem fugerne



Vridning i liggefuger



Forskydning i studsfuger

I forbindelse med udformningen af modellen opstilledes en række antagelser, der blev eftervist på baggrund af tidligere udførte forsøg:

Bøjningstrækstyrken i studsfugen regnes proportional med f_{tik} .

Forskydningsstyrken i ligge- og studsfuge regnes proportional med de respektive bøjningstrækstyrker.

Spændingsfordelingen ved vridning i liggefugen forudsættes beliggende imellem den elastiske og plastiske.

Bøjningstrækstyrken i stenene er proportional med stenenes trykstyrke opløftet i en potens. Dvs:

$$f_{s,sten} = a \times (\text{stenenes trykstyrke})^b$$

hvor

$f_{s,sten}$ = bøjningstrækstyrken af stenen ifb med brud parallel med studsfugen

a , b = proportionalitetskonstanter

Analyseres de før omtalte typeprøvninger udført på Murværkscentret gennem tiderne, kan de forskellige relationsparametre bestemmes og optimeres ved en ikke-lineær regressionsanalyse.

Følgende udtryk repræsenterer 95% fraktilen:

$$f_{tsk} = \begin{cases} 0.13 \times \sqrt{st.tr.} + 0.06 \times f_m + 0.25 \times f_{tik} \\ 0.06 \times f_m + 2.73 \times f_{tik} \end{cases}$$

hvor

f_{tsk} er den mindste af de 2 værdier

f_m er bøjningstrækstyrken af en komprimeret liggefuge. På baggrund af en række tidligere forsøg kan der regnes med følgende værdier:

$$f_m = 2.15 \text{ MPa for KC 50/50/700}$$

$$f_m = 3.65 \text{ MPa for KC 35/65/650}$$

I tabellen er $f_m = 2.15$ MPa.

Udtrykket er i øvrigt gældende for alle mørteltyper, når f_m kendes.

For de to øvrige referencemørtler kan følgende værdier anvendes:

$$f_m = 1.51 \text{ MPa for KC 60/40/850}$$

$$f_m = 4.61 \text{ MPa for KC 20/80/550}$$

Leddets vedrørende brud i stenen: $(0.13 \times \sqrt{st.tr.})$

(hvor st.tr. er stenenes trykstyrke)

kan skrives som:

$$(0.43 \times 0.30 \times \sqrt{st.tr.})$$

hvor værdierne:

0.43 udtrykker stenens geometriske andel af det lodrette brudtværnsnit.

$0.30 \times \sqrt{st.tr.}$ udtrykker teglmaterialets faktiske bøjningstrækstyrke.

Lodret last

En del af bøjningskapaciteten ved zig-zag-brud gennem fugerne skyldes vridning i liggefugerne. Denne kapacitet kan forøges, hvis vægfeltet er påvirket af en lodret last, der fremkalder en jævn fordelt lodret normalspænding.

Det sidste led i udtrykket for f_{tsk} ($2.73 \times f_{tik}$) repræsenterer vridning i liggefugen samt bøjning og forskydning i studsfugen. Vridningen repræsenterer ca 50%.

Inkluderes normalspændingen kan leddet skrives som:

$$1.37 \times f_{tik} + 1.36 \times (f_{tik} + \mu \times \sigma) =$$

$$2.73 \times (f_{tik} + \mu/2 \times \sigma) =$$

$$2.73 \times (f_{tik} + 0.25 \times \sigma)$$

Når μ sættes = 0.5.

En eventuel excentricitet af den lodrette last vinkelret på vægplanden, giver ikke nogen synderlig ændring i den forøgede vridningskapacitet, idet forøgelsen blot opstår på et mindre areal, men med en større styrke.

(Normalspændingen giver endvidere et regningsmæssigt bidrag til f_{tik} , hvilket normalt medtages i brudlinieberegningerne).

Forbandtet

Forbandtet har betydning for brudkapaciteten i de tilfælde hvor f_{tsk} ligger over den trapeformede linie. Dvs for murværk med ringe vedhæftning og høj trykstyrke af stenene.

De skrå og lodrette brudlinier vil her have en tendens til at gå igennem fugerne.

I de tilfælde hvor et brudlinieforløb under eksempelvis 45° kan brydes af en sten i hvert 4. skifte, vil pladens brudkapacitet følgelig forøges.

Dette er tilfældet for fx Løberforbandt-I i forhold til krydsforbandt.

Brudkapaciteten i form af f_{tsk} kan kun, som ved normalbelastningen, forøges til værdien umiddelbart under den trapeformede linie.

Forbandtets indflydelse er endnu ikke klarlagt i detaljer, så der må foretages en ingeniørmæssig vurdering i det enkelte tilfælde.

Eksempel

Til et byggeri skal anvendes en KC 60/40/850 mørtel. f_{tk} er ved forsøg bestemt til 0.15 MPa og stenedes trykstyrke er angivet til 35 MPa. f_{tsk} er bestemt til 0.50 MPa (Tabelværdien på 0.54 MPa svarer til KC 50/50/700 mørtel).

Ved valg af terrænklasse, fordeling af laster mellem for- og bagmur, etc, er der regnet til grænsen, men for en del vægge er bæreevnekapaciteten stadig kun svagt større end den aktuelle belastning.

Forbandtets indflydelse på brudkapaciteten undersøges:

Brudkapaciteten for etagehøje vægge med et spænd på 4-6 m kan fx regnes proportional med:

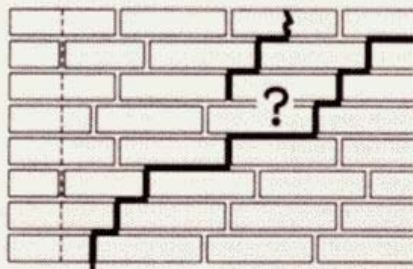
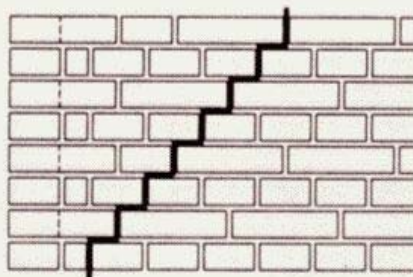
$$2 \times f_{tk} + f_{tsk}$$

f_{tsk} kan ved et gunstigt forbandt forøges til: 0.94 MPa, der svarer til et brud gennem stenene.

Forøgelsen af brudbæreevnen (k) bestemmes til:

$$k = (2 \times 0.15 + 0.94) / (2 \times 0.15 + 0.50) = 1.55$$

Det skal her understreges, at værdien **ikke** kan bruges i den praktiske projektering, men kan kun indgå i en samlet vurdering af rimeligheden i fx at vælge den laveste terrænklasse i tilfælde, hvor byggeriet er beliggende på grænsen mellem 2 terrænklasser.



4. Bestemmelse af c_k

Kohæsionen

Den regningsmæssige kohæsion er i murværksnormen, DS 414, angivet til 0.10 MPa.

Denne værdi afløses her af en karakteristisk kohæsion således, at der ved valg af partialkoefficient kan tages behørigt hensyn til udførelseskontrol og sikkerhedsklasse.

Til praktisk projektering kan den karakteristiske kohæsion sættes lig bøjningstrækstyrken. Dvs:

$$c_k = f_{tk}$$

Dette udtryk medfører regningsmæssige værdier for kohæsionen, som er markant på den sikre side og oftest større end 0.10 MPa.

Baggrund

Baggrunden for den enkle sammenhæng stammer fra en række forskydningsforsøg udført efter DIN 18555/5 med en række sten og mørteltyper, hvor f_{tk} tidligere er blevet bestemt.

Forsøgsopstillingen i den pågældende standard påvirker fugen både med en forskydningskraft og et moment, hvilket medfører, at resultaterne er på den sikre side.

5. Beregningseksempler

Eksempel 1

Til et 1-etages byggeri, hvor σ er sat til 0, anvendes blødstroøgne sten med en trykstyrke på 16 MPa og en minutsugning på 2.0 kg/m^2 , opmuret med en mørtel KC 50/50/700.

De karakteristiske styrker bestemmes:

$$\begin{aligned}f_{\text{sten}} &= 0.40 \text{ MPa} \\f_{\text{mørtel}} &= 0.45 \text{ MPa} \\f_{\text{tik}} &= 0.40 - (0.10 - 1/2 \times 0.05) \\&= 0.32 \text{ MPa} \\f_{\text{tsk}} &= 0.73 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Opmures med mørtel KC 35/65/650 fås:

$$\begin{aligned}f_{\text{sten}} &= 0.40 \text{ MPa} \\f_{\text{mørtel}} &= 0.60 \text{ MPa} \\f_{\text{tik}} &= 0.40 \text{ MPa} \\f_{\text{tsk}} &= 0.75 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Den mere cementrige mørtel giver ikke anledning til nogen særlig forøgelse af styrkerne, idet bruddene opstår i stenene.

Eksempel 2

Til et 3-etages byggeri anvendes maskinsten med en trykstyrke på 36 MPa og en minutsugning på 3.6 kg/m^2 , opmuret med en mørtel KC 50/50/700.

De karakteristiske styrker bestemmes:

$$\begin{aligned}f_{\text{sten}} &= 0.60 \text{ MPa} \\f_{\text{mørtel}} &= 0.25 \text{ MPa} \\f_{\text{tik}} &= 0.25 \text{ MPa} \\f_{\text{tsk}} &= 0.81 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Ved beregning af nederste etage medtages et bidrag fra normalspændingen $\sigma = 1.64 \text{ MPa}$.

$$\begin{aligned}f_{\text{tik}} &= 0.25 \text{ MPa} \\f_{\text{tik}} + 0.25 \times \sigma &= 0.66 \text{ MPa} \\f_{\text{tsk}} &= 1.00 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Forvandes stenene fås:

$$\begin{aligned}f_{\text{sten}} &= 0.60 \text{ MPa} \\f_{\text{mørtel}} &= 0.45 \text{ MPa} \\f_{\text{tik}} &= 0.45 - \\&\quad (0.10 - 1/2 \times 0.15) \\&= 0.42 \text{ MPa} \\f_{\text{tsk}} &= 1.01 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Forvandes stenene, medfører den forøgede vedhæftning, at normalspændingen ikke giver noget forøget bidrag til f_{tik} , idet bruddet opstår i stenene, og et forøget vridningsbidrag i liggefugerne er dermed underordnet.

Eksempel 3

Til en væg påvirket af laster i eget plan kræves en karakteristisk kohæsion c_k på mindst 0.30 MPa .

Ved opmuringen anvendes sten med en trykstyrke på 25 MPa og en minutsugning på 3.1 kg/m^2 opmuret med en mørtel KC 35/65/650.

De karakteristiske styrker bestemmes:

$$\begin{aligned}f_{\text{sten}} &= 0.50 \text{ MPa} \\f_{\text{mørtel}} &= 0.35 \text{ MPa} \\f_{\text{tik}} &= 0.35 - (0.10 - 1/2 \times 0.15) \\&= 0.32 \text{ MPa} \\C_k &= 0.32 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Dvs kravet er overholdt.

Eksempel 4

Ved beregning af en tegloverligger kræves en karakteristisk kohæsion på 0.55 MPa . Opmuringen foretages i KC 35/65/650.

$$\begin{aligned}f_{\text{mørtel}} &= 0.60 \text{ MPa og} \\f_{\text{sten}} &\geq 0.70 \text{ MPa idet:}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_k = f_{\text{tik}} &\geq 0.60 - (0.10 - 0.05) \\&\geq 0.55 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Dvs stenenes trykstyrke $> 49 \text{ MPa} = (0.7 \times 10)^2$. Stenen skal eventuelt forvandes således, at $f_{\text{mørtel}}$ bliver 0.60 MPa .

6. Beskrivelseseksempel til direkte anvendelse

Beskrivelsesafsnit

Anvendes de forøgede styrker, og forudsættes der eventuel forvandling af stenene i et aktuelt projekt, skal beskrivelsen suppleres med følgende afsnit, hvor en af de to angivne mørtler slettes:

Mørtel

Til opmuring og fugning anvendes en tørtørtel (KC 35/65/650) (KC 50/50/700), der ud over murværksnormens, DS 414, (1991, 4. udg.) specifikationer, skal opfylde nedenstående krav:

Cement : Basiscement
Kalk : Hydratkalk
Tilslag : Bakkesand
Indhold af tilslag i intervallet (0.125–0.5 mm) > 45%.
Tilsætningsstoffer : Ingen

Vandprocent ved opmuringen:

(KC 35/65/650) > 18.5% (vægt)
(KC 50/50/700) > 19.5% (vægt)

Alternativt til måling af vandprocenten bestemmes rystebordstallet (jfr Tekniske bestemmelser for Dansk Mørtelkontrol, April 1991).

Rystebordstal > 1.72

Forvandling

Inden opmuringen skal stenene forvandes. Forvandlingen udføres enten ved, at stenene vandlagres i 5-10 sekunder, når opmuringen sker umiddelbart efter lagringen, eller ved at vandlagre stenene i 15-30 sekunder, såfremt opmuringstidspunktet er mere usikkert. (Overdreven forvandling kan medføre misfarvninger).

Opmures fra stillads og løftes stenene med kran, kan vandlagringen eventuelt foretages ved at nedsænke hele stenpallen i en tønde med vand umiddelbart før den leveres på stilladset.

Vinterarbejde

Ved opmuring i vinterperioder skal træffes de nødvendige foranstaltninger for at sikre, at kvaliteten mindst svarer til murværk opmuret under normale forhold.

For at sikre, at stenene kan suge mørtlen død, inden vandet i mørtlen fryser til is, skal der anvendes opvarmet vand (60-80°C).

Dvs, at der ikke må anvendes frysepunktssænkende midler (fx Ethanol).

Til eventuel forvandling anvendes ligeledes opvarmet vand (60-80°C).

Opmuringen skal her foretages umiddelbart efter forvandlingen.

Stenene skal inden opmuring opbevares tørt fx i et ikke-kondensdannende telt. Stenene skal endvidere udpakkes af transportfolien.

Under opmuring anvendes isolerede baljer.

Ved opmuring ved temperaturer under -1°C skal murværket inddækkes med vintermåtter umiddelbart efter arbejdets afslutning. (Se endvidere anvisninger om vinterbyggeri fra Vinterkonsulenttjenesten, DTI).

Sommerarbejde

Ved opmuring i sommerperioder hvor temperaturen på pladsen er større end 28°C, skal stenene altid forvandes som beskrevet under afsnittet »Forvandling«.

Murværket skal endvidere afdækkes for at hindre hurtig udtørring.

7. Kontrol og orienterende forsøg

Teglstenenes minutsugning og trykstyrke kontrolleres løbende af Dansk Murstenskontrol DMUK, suppleret med løbende intern kontrol.

Er der i opførelsesfasen ved et aktuelt byggeri tvivl om styrkeparametrene og vedhæftningen, kan der foretages en prøvning af den aktuelle sten og mørtel efter følgende procedure:

– Der opmures 5-10 dobbeltsten med den aktuelle stentype (eventuelt forvandet) og mørtel. (Dobbeltsten er 2 sten opmuret direkte ovenpå hinanden, liggeflade mod liggeflade, med en 12 mm fuge imellem).

– Dobbeltstenene skal hærde minimum 1 uge under samme betingelser som det øvrige byggeri, hvorefter de sendes til Murværkscentret til videre afprøvning. Følgende oplysninger medsendes:

- Dato for opmuring
- Forbandttype
- Stentype
- Stenenes deklarerede trykstyrke
- Mørteltype

Efter 4-8 uger oplyses værdier for: f_{tk} , f_{tsk} samt C_k .

Prisen (1996) for en prøvning er: 2800,- excl. moms.

Salgskontorer

Oplysninger vedrørende leverancer, stenenes trykstyrker, minutsugning, deklarerede værdier o.lign. fås ved henvendelse til et af nedenstående salgskontorer:

A/S De forenede Teglværker
Sundgade 3, 6320 Egersund
Tlf. 74 44 25 40
Fax 74 44 26 43

A/S De forenede Teglværker
Smedegade 9, 6000 Kolding
Tlf. 75 52 74 44
Fax 75 52 73 64

Lundgaard Teglværk A/S
Lundgårdsvej 10, 7850 Stoholm
Tlf. 97 54 12 22
Fax 97 54 22 95

A/S Randers Tegl
Mineralvej 2-4, Postboks 649
9100 Aalborg
Tlf. 98 12 28 44
Fax 98 11 66 86

Wewers Teglværker A/S
Rørmosevej 85, Postboks 110
3200 Helsingør
Tlf. 48 79 51 11
Fax 48 79 51 35

Optiroc A/S
Sønderskovvej 120, Nordenskov
6800 Varde
Tlf. 75 29 82 11
Fax 75 29 81 41

Ydby Teglværk A/S
Ydbyvej 143, Ydby
7760 Hurup Thy
Tlf. 97 95 60 55
Fax 97 95 65 97

Villemoes Teglværk A/S
Lourupvej 2, 6690 Gørding
Tlf. 75 17 84 22
Fax 75 17 84 90

Lundby Teglværk
Teglværksvej 1-5, 4750 Lundby
Tlf. 53 76 70 19
Fax 53 76 72 23

Jydsk Kalksandstensfabrik A/S
Sønderskovvej 11, Ørum
8721 Daugård
Tlf. 75 89 50 66
Fax 75 89 60 30

Dokumentation

Følgende rapporter ligger til grund for Tegl 24:

- Litteraturstudie og indledende sonderinger (07.04.1994)
- Theoretical determination of flexural strength of unreinforced masonry (02.08.1994)
- Relation mellem bøjningstrækstyrker (16.09.1994)
- Bøjningstrækstyrker. Fase 1, del 1 (01.10.1994)
- Bøjningstrækstyrker. Fase 1, del 2 (01.11.1994)
- Bøjningstrækstyrker. Fase 2 (01.02.1995)
- Bøjningstrækstyrker. Fase 3 (12.08.1995)
- Bøjningstrækstyrker. Afsluttende rapport (26.02.1996). I denne rapport afsnit 13 er angivet, hvor de forskellige metoder i Tegl 24 er beskrevet og dokumenteret.

Yderligere oplysninger vedrørende beregningsmodeller, styrker, eksempler, forsøgsprocedurer, kontrol, dokumentation for de introducerede formeludtryk, etc fås ved henvendelse til:

Murværkscentret
DTI Byggeri
Teglbackvej 20
8361 Hasselager
Tlf. 86 28 38 11
Fax 86 28 34 54

Kalk- og Teglværksforeningen af 1893 står bag udviklingen af projektet, der blev påbegyndt i 1994.

