

Grundlag for beregning af armeret murværk – vægge

Detaljeret og eksemplificeret af
beregningsgrundlaget for excentrisk
belastede vægge efter forslaget til
EUROCODE 6 Masonry Structures

Ole Vanggaard, Kunstakademiets Arkitektskole

INDHOLD

INDLEDNING	5	3 REKTANGULÆRT TVÆRSNIT	19
1 GRUNDLAG	6	3.1 Overarmeret rektangulært tværsnit.	19
1.1 DS 414 og EC-6.	7	3.1.1 Eksempel på beregning af væg med rektangulært overarmeret tværsnit.	21
1.2 Materialer.	8	3.2 Underarmeret rektangulært tværsnit.	24
1.3 Konstruktive krav.	9	3.2.1 Eksempel på beregning af væg med rektangulært underarmeret tværsnit.	25
1.4 Beregningsforudsætninger.	10	4 T- & L- TVÆRSNIT	28
1.4.1 Søjlelængden.	11	4.1 Den effektive bredde.	29
1.4.2 Hultmure med trådbindere.	12	4.2 Overarmeret tværsnit	30
1.4.3 Excentriciteter vinkelret på væggens plan.	12	4.3 Underarmeret tværsnit.	31
1.4.4 Tværsnitsundersøgelse for armerede murede vægge.	13	4.2.1 Eksempel på beregning af overarmeret T-formet tværsnit.	32
1.4.5 Eftervisning af styrkeforholdene ved søjlemidten.	14		
2 BEREGNINGSMETODE	15		
2.1 Murtryksspændingen.	16		
2.2 Armeringsspændingen.	17		
2.3 Generelt beregningsprincip.	18		

INDLEDNING

Murværks traditionelle kvaliteter i form af holdbarhed, indeklima og fleksibilitet gør det fortsat til et attraktivt byggemateriale. Skærpede isoleringskrav og behov for materialeminimering af de bærende konstruktioner nødvendiggør en nytænkning for nutidige bærende murværkskonstruktioner.

Armeret murværk er en sådan ny måde, der muliggør en langt mere effektiv anvendelse af murværket. Det armerede murværk giver mulighed for en konstruktionsfrihed, der kan måle sig med den pladstøbte jernbeton.

Derfor er det i særlig grad interessant for arkitekter, ingeniører og andre, som søger byggemetoder der kan tilfredsstille vores krav, om byggeri på et sundt grundlag.

Visioner om sundere, mere fleksible og økonomiske bærende bygningskonstruktioner har ført til en markant arkitektinteresse for armerede murede konstruktioner.

I forbindelse med adskillige konkrete projekter er såvel arkitekter som rådgivende ingeniører stødt på det problem, at der ikke findes udviklede og tilpassede beregningsmetoder for denne type konstruktioner i Danmark. Da murværksnormen DS 414, 4. udgave, ikke indeholder konkrete beregningsanvisninger for armeret murværk, bliver sådanne konstruktioner let overdimensioneret, idet statikeren føler sig usikker med hensyn til anvendelsen af beregningerne.

Et samarbejde mellem Bærende Konstruktioner på Institut for Byggeteknik, Kunstakademiets Arkitektskole og Murerbranchen repræsenteret ved MURO og Murværkscentret under DTI var derfor naturligt for at fastlægge foreløbige danske retningslinier for beregning af armerede vægge.

Den nye Eurocode 6 (EC-6) "Design of masonry Structures" omfatter mere detaljerede retningslinier.

Formålet med denne pjece er at anvise retningslinier for statisk beregning af bærende armerede vægge af murværk, baseret på sidste udgave af EC-6, koordineret med DS 414's principper.

I det praktiske arbejde viser sig en del fortolkningsproblemer, der har resulteret i nærværende forslag.

Fremkomsten af denne pjece kan forhåbentlig lette det praktiske projekteringsarbejde, og medvirke til en ny anvendelse af murværk til bærende konstruktioner.

Professor Mogens Peter Nielsen og civilingeniør Haukur Erikksson, har gennemset principperne for beregningerne og er kommet med værdifulde korrektioner. Civilingeniør lic. techn. Finn Bach og akademiingeniør Vilhelm Trier har gennemlæst manuskriptet med kritiske øjne. Centerleder Erik Kjær fra Murværkscentret har udarbejdet afsnittet om materialeværdier, og har fremskaffet normgrundlaget samt deltaget i en kritisk faglig dialog under udarbejdelsen. Jeg takker alle de medvirkende for deres assistance, også tak til teknisk assistent Helle Zetterwall for gode og enkle tegninger.

Jeg har efter bedste evne forsøgt at tolke reglerne i EC-6 ud fra den praktiserende ingeniørs synspunkt. Anvendelsen af pjecen kræver dog en kritisk og ansvarlig ingeniørmæssig vurdering af resultaterne.

*August 1996
Ole Vanggaard*

1.2 Materialer

På det danske marked findes der p.t. en teglblok, der har følgende basismål :

228 · 108 · 188 mm (længde · bredde · højde).

Blokken er forsynet med to store huller placeret således, at der kan etableres lodrette kanaler, hvis blokkene forskydes en 1/2-bloklængde. Blokkene har en trykstyrke på 20 MPa.

Mørtel :

DS 414 angiver, at den anvendte mørtel til armeret murværk skal være KC 20/80/550, tilsvarende eller bedre.

Armering :

DS 414 fastlægger, at armeringsstænger og præfabrikerede fugearmeringssystemer i murværkskonstruktioner i aggressivt eller moderat miljø skal være korrosionsfaste.

Diameteren af rette armeringsstænger i liggefuger skal være mindst 5 mm og højst 8 mm, hvorimod det for fugearmeringssystemer, hvor forankringen sikres på anden måde end ved stænger, ikke er stillet noget krav til minimumsdiameteren. For fugearmeringssystemer skal producentens minimumslængde anvendes.

Hvis stød i armeringen ikke kan undgås, må stødlængden for profilerede stænger ikke være mindre end 600 mm og for glatte stænger 900 mm.

1.3 Konstruktive krav

Murtykkelsen af armeret murværk skal være mindst 100 mm. (EC-6 og DS 414).

EC-6, pkt. 4.4.4.3 kræver minimum vederlag for dæk på 85 mm. Mindste tykkelse for vægge, hvorpå der aflastes dæk, er derfor ifølge EC-6 $2 \cdot 85 \text{ mm} + \text{tolerance}$. Dette er forskelligt fra dansk praksis, hvor vederlagsdybden for dækelement på mur oftest regnes til 65 mm.

Slankhedsforholdet må for trykpåvirkede konstruktioner ikke overstige 30. I den refererede udgave af EC-6, angives max. forholdet noget mere restriktivt til 27. Angivelsen er en såkaldt "boxed value", som kan angives med en anden værdi i det Nationale Anvendelses Dokument (NAD).

Armeringsplaceringen er bestemt af hullerne i teglblokkene. Den effektive bredde, hvormed man kan beregne væggen som armeret, er $3 \cdot t$ i henhold til EC-6, pkt. 4.7.1.6, hvor t er murens tykkelse. Se fig. 1.2.

For normale danske blokke med tykkelsen 110 mm og længde på 300 mm (modulmål) skal mindst hver andet hul derfor være armeret, hvis hele væggen skal kunne regnes effektiv.

Med 2 hulblokke 110 · 230 mm behøver kun hver 3. hul at være armeret.

Den frie afstand mellem armeringsstænger skal være mindst to gange deres diameter.

DS 414, pkt. 6.8 : "Lodrette armeringsstænger skal omgives af mørtel i en tykkelse, som mindst er lig med armeringsstængernes diameter, dog mindst 15. mm".

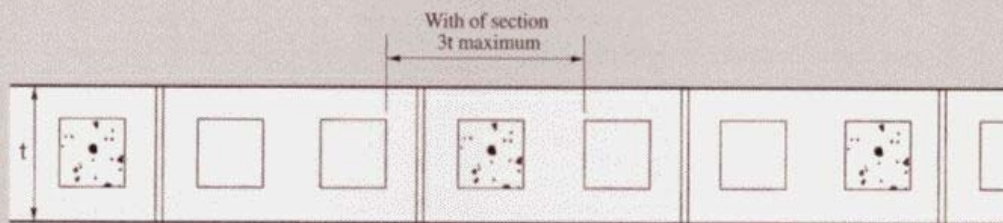


Figure 4.11 : Width of section for members with locally concentrated reinforcement.

Fig. 1.2 Beregningsmæssig bredde for lokalt koncentreret armering.

1.4 Statiske beregninger

Beregning af armeret murede vægge adskiller sig ikke meget fra beregning af jernbetonvægge, samt fra beregning af uarmerede murede vægge. I det følgende er de almindelige forudsætninger for beregningerne gennemgået i henhold til DS 414 og EC-6.

1.4.1 Søjlelængde

Både efter DS 414 og EC-6 kan søjlelængden reduceres under hensyntagen til afstivende tværvægge.

Krav til afstivende vægge :

EC-6, pkt. 4.4.4.2 : "Afstivende vægge skal have mindst:

- længde 1/5 etagehøjden,
- min tykkelse $0,3 \cdot$ den afstivende vægs effektive tykkelse".

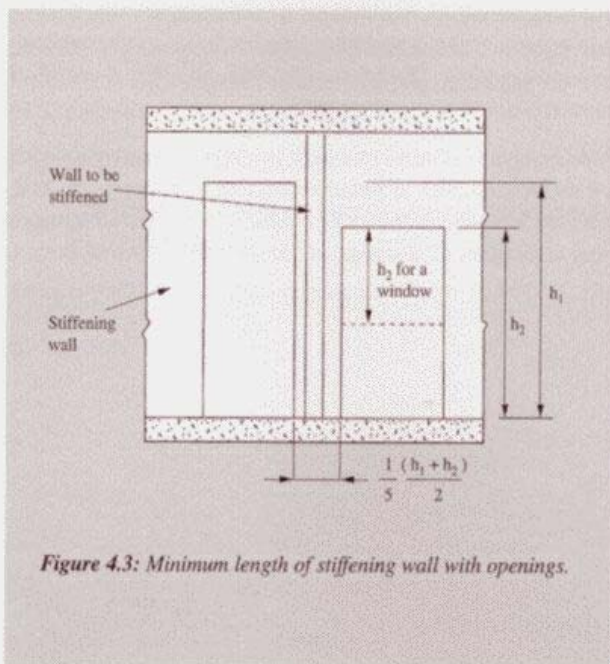


Fig. 1.3 Minimumslængde for afstivende vægge med huller.

DS 414, pkt. 6.3 v angiver kravet til de afstivende vægges stivhed ved inertimomenterne : $I_1 > 3 \cdot I_2$, hvor I_1 er tværvæggens inertimoment og I_2 er inertimomentet af den del af det eller de murfelter, som tværvæggen forudsættes at understøtte.

Huller i bærende vægge :

EC-6, pkt. 4.4.4.4 : "Der skal regnes med fri lodret understøtning gennem siden af vinduesåbning når den enten er:

- højere end 1/4 etagehøjde,
- bredere end 1/4 væglængden eller
- har arealet større end 10% af vægarealet"

DS 414 regler til en reduceret søjlelængde er næsten identiske med EC-6, pkt. 4.4.4.3, men noget simplet formuleret.

For firsidige understøttede vægflader:

$$l_s = \frac{h}{1 + \left(\frac{h}{b}\right)^2} \text{ for } b > h \quad (1.1)$$

$$l_s = 0,5 \cdot b \text{ for } b < h \quad (1.2)$$

For tresidige understøttede vægflader:

$$l_s = \frac{h}{1 + \left(\frac{h}{3 \cdot b}\right)^2} \text{ for } b > \frac{h}{3} \quad (1.3)$$

$$l_s = 1,5 \cdot b \text{ for } b < \frac{h}{3} \quad (1.4)$$

1.4.2 Hulmure med trådbindere

En beregningsmæssig værdi af en formur bundet til en armeret bagmur med trådbindere opnås i den her angivne beregningsmetode kun i form af en vindaflastning, hvis vindpåvirkningen på den bærende armerede mur kan aflastes af formuren. Dette forudsætter fornøden styrke af formur, samt at formurens reaktioner kan optages ved etageadskillelserne, eller at der mellem formur og bagmur vælges en fordeling, som kan optages af de tilstedeværende trådbindere og murdele.

1.4.3 Excentriciteter vinkelret på væggens plan

Excentriciteter vinkelret på væggens plan beregnes efter EC-6's regler principielt som efter DS 414, Anneks A.

Vedr. excentriciteter ved vederlag:

I EC-6 forudsættes alle momenter fra indspændinger såvel som fra vandrette laste (vind, jord, mm) at kunne fordeles med indspændingsmomenter på enderne. Dog må nyttelast ikke regnes til gunst.

Anvendelsen af EC-6's metode forudsætter, at snitkræfterne kan optages ved top og bund, samt at der er en tilstrækkelig stiv indspænding. Disse forhold gælder efter EC-6 ved såvel uarmeret som armeret murværk.

Med hensyn til armeret murværk henledes opmærksomheden på nødvendigheden af lodret forankring af armeringen, hvilket især kan give problemer i øverste etage, hvis armeringen skal medregnes til at optage et indspændingsmoment her.

1.4.4 Tværsnitsundersøgelser for armerede murede vægge

DS 414's krav til beregningen af armeret murværk er indeholdt i afsnit 6.8. Det kræver at dimensionering skal foretages under overholdelse af murværkets trykstyrke og armeringens trækstyrke, idet der skal tages hensyn til armeringens forankringsevne. Trækspændinger i murværket må ikke tages i regning. Trykstyrken vinkelret på liggefladen kan regnes lig f_{cd} .

EC-6 krav og vejledning er mere detaljerede. De baserer sig på følgende almindelige forudsætninger.

Styrken af armeret murværk skal bestemmes af en teori, der forudsætter ikke lineær sammenhæng og som tager hensyn til 2. ordens effekten (pkt. 4.7.1.1).

- plane snit forbliver plane.
- armeringen er underlagt samme tøjningsvariation som det omgivende murværk.

- trækstyrken i murværket er = 0.
- den maksimale tryktøjning i murværket ikke overskrides $\epsilon_m = \epsilon_u = 0,0035$.
- den maksimale træktøjning i armeringen valgt i henhold til materialet – $\epsilon_s = 0,01$.
- arbejdslinien for murværket parabolisk, parabolisk rektangulær eller rektangulær.
- arbejdslinien for armeringen.
- største tøjning i murværk: 0,0020 ved rent tryk, 0,0035 ved bøjning.

I de følgende beregninger er anvendt en idealelastisk/plastisk model for stålet, hvilket er en mindre afvigelse fra EC-6 på den sikre side.

For murværket er påregnet en idealplastisk arbejdslinie under anvendelse af en reduceret trykzone som angivet i fig. 1.4.

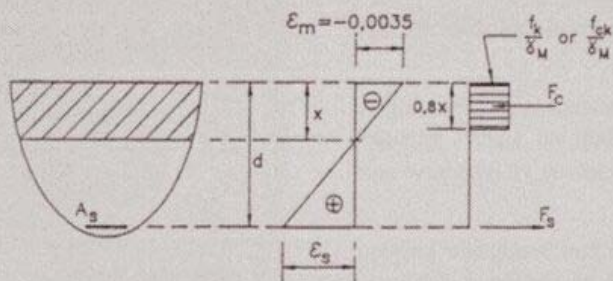


Figure 4.10: Simplified rectangular stress block

Fig. 1.4 Spændingsberegningsgrundlag efter EC-6

1.4.5. Eftervisning af styrkeforholdene ved søjlemidten:

DS 414 angiver i annek A, undersøgelse ".... i konstruktionens midterste tredjedel". EC-6 angiver den midterste femtedel af væghøjden (se fig. 1.5).

Følgende excentriciteter medregnes normalt:

e_0 resulterende excentricitet øverst på væggen.

e_1 og e_2 excentriciteter fra normalkræfter fra dæk eller bjælker, der hviler på væggen. Disse beregnes i henhold til EC-6, pkt. 4.4.3, som $e_i = M_i/N_i$, hvor M_i er det regningsmæssige bøjningsmoment i top eller bunden af væggen og N_i den regningsmæssige normalkraft. Det skal bemærkes, at EC-6 regner med en fordeling af momenterne i top og bund, som vist på fig. 1.5.

e_3 er excentriciteten fra mulig forskydning af tyngdepunkt for væggen eller søjlen fra overliggende etage. $e_3 = 10$ mm, ved skærpet kontrol. $e_3 = 15$ mm ved normal kontrol. Der findes ingen tilsvarende værdi i EC-6.

e_4 er excentricitet fra indspændingen af dæk eller bjælker, der ikke er gennemgående.

EC-6 har i annex C: "A simplified method for calculating the out-of-plane eccentricity of loading on walls". Metoden refererer til monolitiske jernbetondæk og vil ikke blive nærmere omtalt her.

e_5 er excentricitet stammende fra den betragtede vægkonstruktionens mulige afvigelse fra den plane form.

$e_5 = 10$ mm (DS 414, pkt. 7.1.2)

EC-6, pkt. 4.4.7.2 Accidental eccentricity $e_a = h_{ef}/450$ (ex. $2800/450 = 6,2$ mm)

e_6 er excentricitet hidrørende fra tværpåvirkning (vind, jordtryk og temperaturdifferencer).

Efter EC-6 kan disse virkninger fordeles med indspændingsmomenter i top og bund under forudsætning af, at momenterne kan optages der.

e_t er den resulterende største excentricitet efter DS 414 beregnet på den midterste tredjedel af væggen. Efter EC-6, beregnet på den midterste femtedel af væggen.

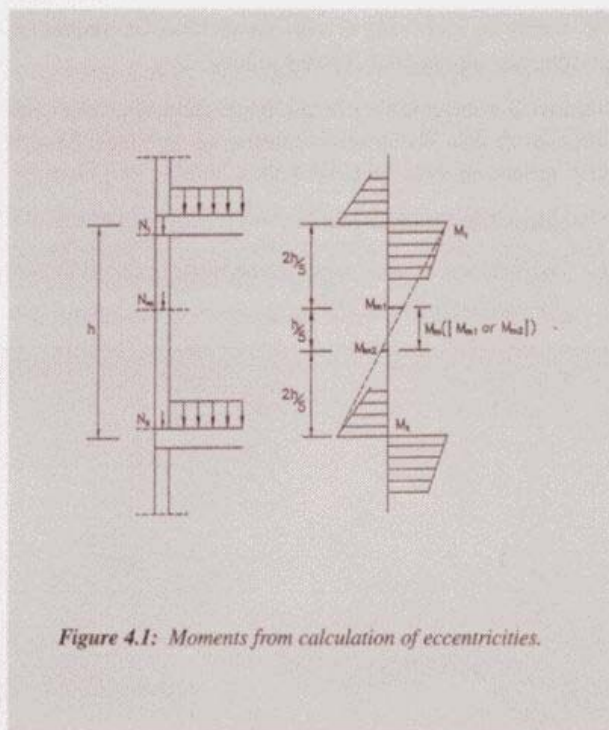


Figure 4.1: Moments from calculation of eccentricities.

Fig. 1.5 Excentricitetsmomenter efter EC-6.

2. BEREGNINGSMETODER

I fig. 2.1 er spændings- og deformationsforhold i en armeret prismatisk væg angivet. Væggen er påvirket med en excentrisk normalkraft, der giver træk i væggenes ene side.

Antages materialet ikke at kunne optage trækkæfter, vil der ved et vist belastningstrin opstå revner. Disse revner kan regnes at forplante sig helt op til tværsnittets trykzone (nullinien). Murværkets tøjning ϵ_m kan med rimelig nøjagtighed regnes at variere proportionalt med afstanden fra nullinien som vist i fig. 2.1-b.

Plane snit forbliver plane.

2.1 Murtrykspændingen

Murtrykspændingen vil variere med afstanden fra nullinien.

Spændingsfordelingen i murværket kan bestemmes af tøjningsfordelingen og murværkets arbejdslinie. Et eksempel på en sådan spændingsfordeling er vist i fig. 2.1-c. Da den er noget vanskelig for praktisk beregning, anvendes ofte en spændingsfordeling, der er statisk ækvivalent med den i fig. 2.1-c viste.

Der har i tidens løb været foreslået mange forskellige antagelser, hvoraf 3 er angivet i fig. 2.1- d til f.

EC-6 anbefaler at man anvender de i fig. 2.1- d eller f viste spændingsfordelinger, som begge antages at svare til tværsnittets maksimale tryktøjning på $\epsilon_u = 0,0035$.

For spændingsfordelingen i fig. 2.1- d antages σ_m at være konstant over den del af tværsnittet, for hvilken $\epsilon_m > 0,002$ og herefter at aftage til nul ved nullinien efter en andengradsparabel, hvis toppunktstangent svarer til den konstante σ_m fordeling.

Den i fig. 2.1- f viste spændingsfordeling svarer til en ensformig fordeling af σ_m inden for den yderste del, mens resten af tværsnittet antages at være spændingsløst. Bredden af den del hvor der forekommer trykspændinger, betegnes h_c .

For den rektangulære spændingsfordeling foreskriver EC-6:

$$h_c = 0,8 \cdot y \quad (2.1)$$

Beregning af excentrisk belastede vægge gennemføres indenfor jernbetonområdet oftest efter den såkaldte metode B, dvs en tilnærmet elasticitetsteoretisk beregning. Med 25% forøgelse af kanttryksspændingerne og en reduktion af ela-

sticitetskoefficienten. Denne metode er nævnt i DS 414 pkt. 6.8 som vejledning.

EC-6 angiver ikke denne mulighed, hvorfor der i det følgende er anvendt den under f angivne fordeling som beregningsgrundlag. Beregning af excentrisk belastede murværksvægge vil derfor adskille sig fra de tilsvarende beregninger af armerede jernbetonvægge, som f.eks. angivet i Ståbien.

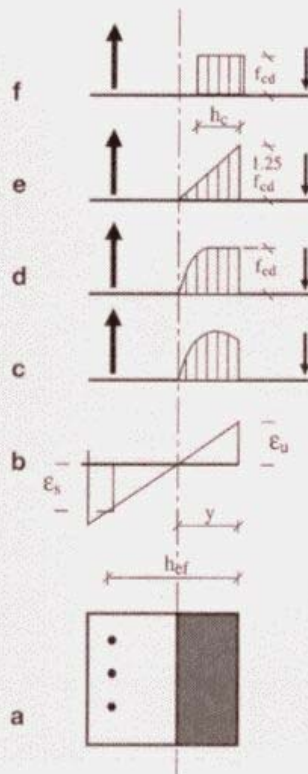


Fig. 2.1 Mulige spændingsfordelinger i momentbelastet væg.