

Lodret belastet muret væg

Indledning

Modulet anvender beregningsmodellen angivet i EN 1996-1-1, annek G.
Modulet anvendes, når der i et vægfelt er mulighed for (risiko for) 2. ordens effekter (dvs. søjlevirkning). Dette er naturligvis vanskeligt at afgøre uden at foretage en decideret beregning.

I den gældende udgave af EN 1996-1-1 (6.17) angives det, at søjlevirkning kan optræde når:

$$\sigma_d = 0,15 f_{\text{bucding}}$$

hvor f_{bucding} svarer til trykspændingen bestemt ud fra bæreevnen med søjlevirkning. Dette skal i så fald også gennemregnes, og i praksis er det enklest blot at gennemregne det enkelte vægfelt i fald der er tvivl om en eventuel søjlevirkning.

Normalt er bæreevnen bestemt for lastkombinationen med maksimal lodret meget sjældent dimensionsgivende, da den lodrette last sædvanligvis er stabiliserende.

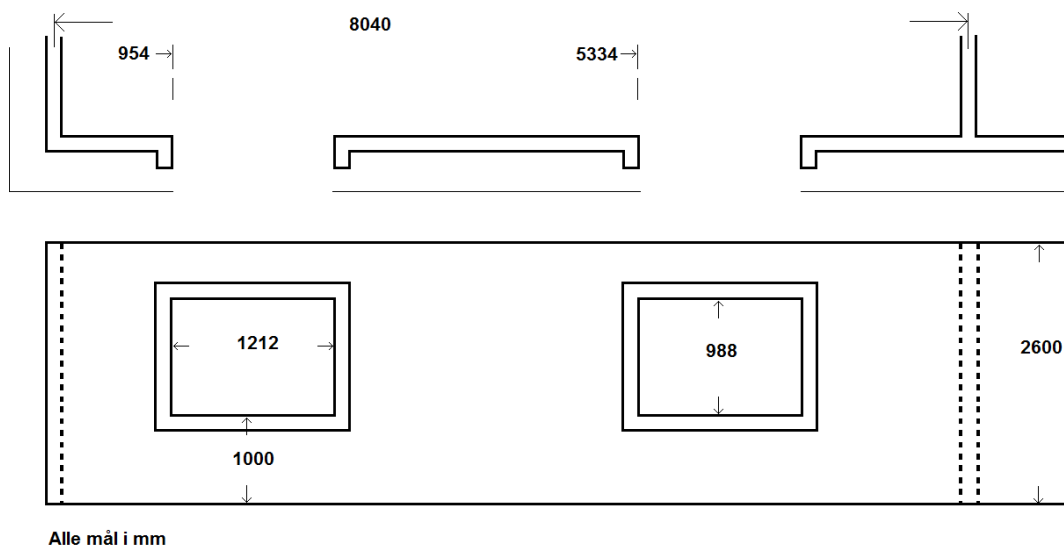
Eksempel

En sædvanlig hulmur som angivet i figur 1 betragtes. Kun bagmuren gennemregnes.

Den samlede vindlast er 1,20 kN/m². Formuren regnes udnyttet 100 % og optager 0,3 kN/m².

Bagmuren (som opmures af murværk, hvor tegl/mørtel er deklareret) er påvirket af den resterende vindlast (0,90 kN/m²).

Bagmuren er i bund og top understøttet af et sribefundament og en 100 mm × 38 mm rem.



Figur 1. Plan og opstalt af aktuel væg

Den lodrette ensfordelte last svarende til hele vægstrækningen er beliggende i intervallet:

fra $P_{\text{gunst}} = 8 \text{ kN/m}$
til $P_{\text{ugunst}} = 70 \text{ kN/m}$

Den tilsvarende last i niveau med åbningerne ($P_{i,\text{eff}}$) bestemmes ud fra en forøgelsesfaktor (f_{eff}) på:

$$f_{\text{eff}} = 8,040 / (8,040 - 2 \times 1,212) = 1,43$$

Hvor fås: $P_{\text{gunst,eff}} = 1,43 \times 8 = 11,44 \text{ kN/m}$
 $P_{\text{ugunst,eff}} = 1,43 \times 140 = 100,1 \text{ kN/m}$

(Forhold omkring minimal lodret last (her 11,44 kN/m) er behandlet i eksemplet under modulet "Tværbelastet rektangulær væg")

Selve beregningen foretages på følgende måde:

Først udføres en beregning af den aktuelle væg med den maksimale lodrette last ved hjælp af modulet "Tværbelastet rektangulært vægfelt". Formålet med denne beregning er alene at bestemme den ækvivalente tværlast. I output fra programmet fås:

Supplerende krav

Da vægfeltet er påvirket af lodret last ud over dets egenlast, skal vægfeltets søjlebæreevne bestemmes, såfremt den lodrette last er dominerende. Beregningen af søjlebæreevnen forudsætter et vægfelt understøttet foroven og forned (2-sidigt understøttet). Vægfeltet skal belastes med en ækvivalent tværlast og et ækvivalent topmoment, som bestemmes ved at multiplicere den aktuelle tværlast og det aktuelle topmoment med en reduktionsfaktor k_a .

k_a og dermed den ækvivalente last bestemmes som beskrevet nedenfor.

Ved aktuelle understøtningsforhold og aktuelle reduktioner af væggenes tværsnit som følge af åbninger giver tværlasten q_u momentet	m_{lu}	= 2522 Nm/m
I en væg med simpelt lodret spænd og uden åbninger medfører tværlasten q_u det simple maksimalmoment	$m_s = q_u * h^2/8$	= 2362 Nm/m
Reduktionsfaktor k_a	$= m_{lu}/m_s = 2522/2362$	= 1,07
Ækvivalent tværlast = $k_a * w$	= 1,07 * 0,90 kN/m ²	= 0,96 kN/m²

Bæreevnen ved beregning af vægfeltet som tværbelastet væg med maksimal lodret last bør ikke være problematisk, da der jo også er foretaget en beregning af det samme vægfelt med minimal (stabiliserende) lodret last, som er mere kritisk ifm. brudlinjeberegningen, der jo ikke tager hensyn til 2. ordens effekter.

Reduktionsfaktoren (k_a) kan være både større end og mindre end 1,0 afhængig af understøtningsforhold, åbninger, styrkeparametre, etc. Uddybende forklaring om emnet kan ses her:

http://www.mur-tag.dk/fileadmin/filer/Laerebog/Del_1_afsnit_1-3_2012.pdf i afsnit 2.2

Værdien 0,96 kN/m² noteres ned og anvendes i den endelige beregning af vægfeltet med modulet: "Lodret belastet muret væg" som vindlast. Input for dette eksempel ses på efterfølgende figur:

Eksempler

Lodret belastet muret væg - "Eksempel"

Regningsmæssige dimensioner

Vægghøjde: m

Bærende (aktuel) væg

- Længde: m
- Tykkelse: mm

Eventuel formur

- Formurens tykkelse: mm

Karakteristiske materialeparametre

Bærende (aktuel) væg

- Trykstyrke: MPa
- Bøjningstrækstyrke: MPa
- Elasticitetsmodul: MPa
- Densitet: kg/m³

Eventuel formur

- Formurens elasticitetsmodul: MPa

Understøtningsforhold

Antal understøtninger:

Regningsmæssige lastparametre på bærende væg alene

Lodret last, pos nedad: kN/m

Topexcentricitetsinterval, min: mm

Topexcentricitetsinterval, max: mm

Bundexcentricitetsinterval, min: mm

Bundexcentricitetsinterval, max: mm

Tværslast (vind), pos mod venstre: kN/m²

Figur 2. Input-box. Lodret belastede vægge

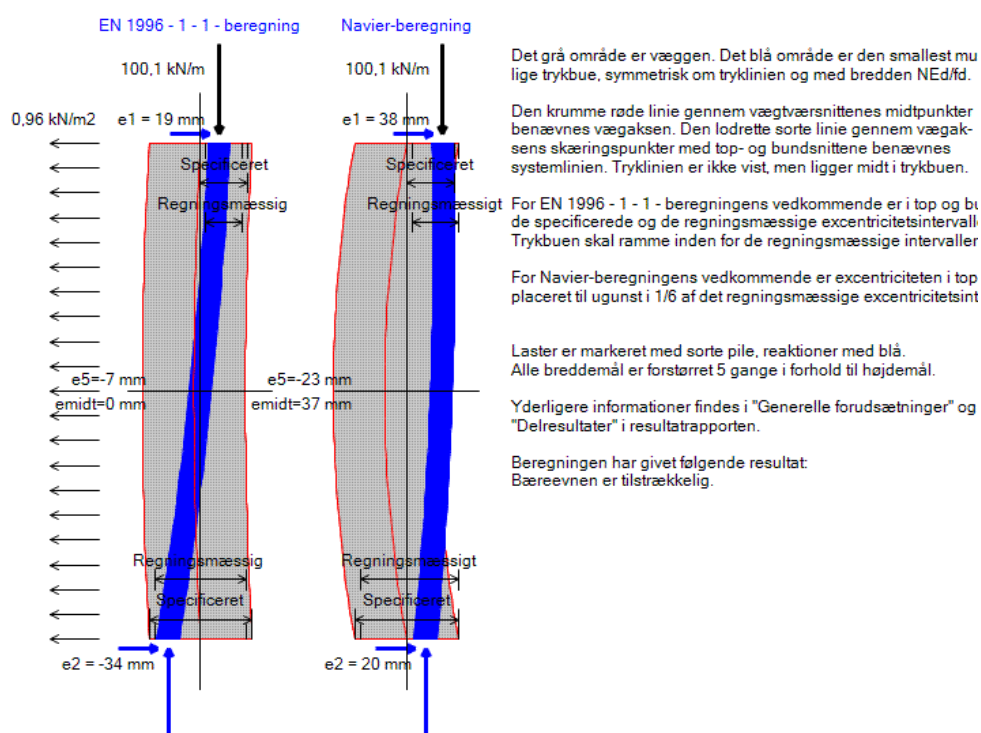
Output fremkaldes ved at trykke på knappen "Rapport". De væsentligste resultater er gengivet efterfølgende:

Resultat

Dimensionsgivende udnyttelsesgrader	33 %	77 %	59 %
-------------------------------------	------	------	------

Konklusion

Da alle dimensionsgivende udnyttelsesgrader (top, midt og bund) er $<$ eller $=$ 100 %, er væggens bæreevne tilstrækkelig.



Det ses at konstruktionen gennemregnes i den "revnede" og den "urevnede" tilstand.

Den revnede tilstand er EN 1996-1-1-beregningen, og den urevnede tilstand er Navier-beregningen. Bæreevnen skal blot være overholdt for en af beregningsmodellerne. I output angives således de mindste udnyttelsesgrader, som skal være mindre end 100 % i top og bund og så selvfølgelig i det kritiske midtærtværsnit, hvor der optræder 2. ordens effekter.

Trykbuen for EN 1996-1-1-beregningen bliver optimeret således, at den centrerer mest muligt i midtærtværsnittet ved at starte på gunstigste placeringer i top og bund i excentricitetsintervallet (se senere). Dette svarer til, at der regnes med en vis indspænding i top og bund (= excentricitet til gunst), såfremt excentricitetsintervallet er stort.

Det ses, at bæreevnen for den aktuelle væg er tilstrækkelig.

Forskellige forhold for enkelte parametre diskuteres i det efterfølgende:

Formurs tykkelse/elasticitetsmodul:

I EN 1996-1-1 er i (5.11) angivet den såkaldte kubikrodsformel: $t_{ef} = \sqrt[3]{k_{tef}t_1^3 + t_2^3}$

hvor den effektive tykkelse kan forøges som funktion af formurens tykkelse og elasticitetsmodul.

Denne regel er dog kun gældende for hovedsageligt lodret belastet murværk, altså i situationen, hvor vægfeltet er påvirket maksimal lodret last.

Når formuren på denne måde bruger al sin kapacitet på at afstive bagmuren, kan den ikke samtidig optage nogen vindlast, og derfor må al vindlasten påsættes bagmuren, når kubikrodsformlen anvendes.

Bagmuren vil dog, med den fulde vindlast, typisk få problemer i situationen med minimum vandret last, da væggen her er hovedsagelig vandret lastet, og ikke får en formel forøgelse af tykkelsen.

Anbefalingen er således, at kubikrodsformlen ikke tages i anvendelse, men at vindlasten fordeles på for- og bagmur i henhold til de gældende regler som er: *Fordeling af vindlasten efter de indgående vægges stivheder er relevant, såfremt der anvendes 2 forskellige materialer i for/bagmur, fx tegl/porebeton. Er for- og bagmur begge af samme materiale (fx tegl/tegl) kan vindlasten fordeles arbitrært: Fx 1/2 vindlast på formur og 1/2 vindlast på bagmur. Mere optimalt kan vindlasten fordeles efter de enkelte vægges kapaciteter.*

Medregning af flanger

Flanger kan medregnes såfremt de er gennemgående i højden. I det aktuelle tilfælde kan det udføres ved, at den lodrette murede flange ved vinduerne forlænges som vist på efterfølgende figur 3. Dette bør dog kun gøres, hvis der er problemer med bæreevnen overfor lodret last, da murede flanger i fuld højde forringer isoleringsevnen.

Såfremt væggen er af porebeton vil der ofte være flangeelementer i fuld højde, og den formelt forøgede tykkelse kan umiddelbart medtages i beregningerne.

Den formelt forøgede tykkelse bestemmes iht. tabel 5.1 i EN 1996-1-1. I det aktuelle tilfælde fås:

$$F: 228/108 = 2,11$$

(da den murede fals er 228 mm og væggen 108 mm)

$$C:(3168/2)/108 = 14,7$$

(Da hver fals har et belastet opland på det halve af væggens længde og flangens bredde er 108 mm)

Ved interpolation ses, at stivhedskoefficienten ρ_t er 1,118. Dvs. den formelle tykkelse af pillen kunne øges til:

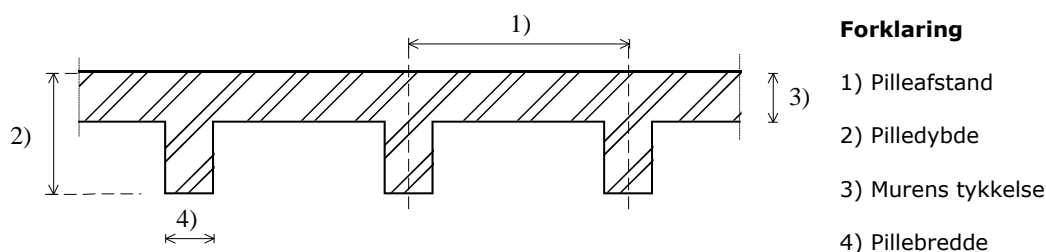
$$\begin{aligned} t_{ef} &= t \times \rho_t \\ &= 108 \times 1,118 \\ &= 121 \text{ mm} \end{aligned}$$

Såfremt bæreevnen overfor maksimal lodret last ikke var tilstrækkelig, ville det således være relevant at medtage den forøgede formelle tykkelse.

Tabel 5.1 – Stivhedskoefficient, ρ_t , for vægge afstivet med piller, se figur 5.2

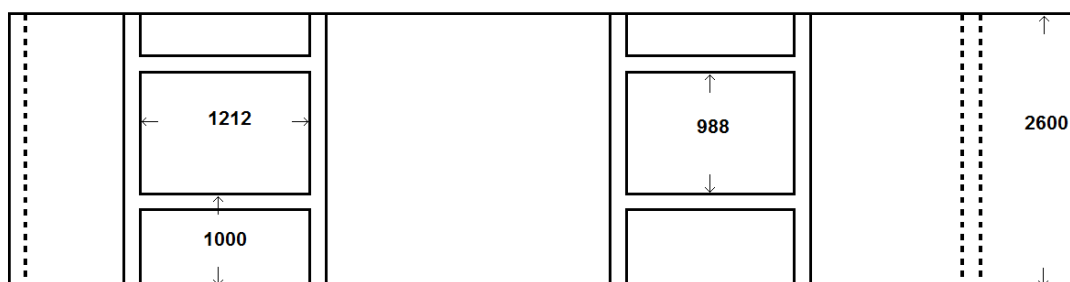
C: Forhold mellem pilleafstand (centrum til centrum) og pillebredde	F: Forhold mellem pilletykkelse og effektiv tykkelse af den mur, som den er forbundet med		
	1	2	3
6	1,0	1,4	2,0
10	1,0	1,2	1,4
20	1,0	1,0	1,0

NOTE – Lineær interpolation mellem værdierne i tabel 5.1 er tilladt.



Figur 5.2 – Diagram, der viser definitionerne i tabel 5.1

Det er vigtigt at huske, at tabel 5.1 kun gælder for hovedsageligt lodret belastede vægfelter (dvs. maksimal lodret last). For hovedsageligt vandret belastede vægfelter (dvs. minimal lodret last til gunst) kan tabel 5.1 ikke anvendes.



Alle mål i mm

Figur 3. Murede false i fuld højde. Opstalt (uden formur)

Excentricitetsinterval

Excentricitetsintervallet angiver, hvor spændingerne fra trykbuens reaktion i top og bund kan overføres. 0-linjen er centerlinjen for væggen. System for +/- som vist på efterfølgende figur.

For stive dæk/bjælkelag regnes det samlede excentricitetsinterval lig vederlagsfladen. For slappe dæk/bjælkelag regnes det samlede excentricitetsinterval lig 1/2-delen af vederlagsfladen.

Et stift dæk er kendetegnet ved, at rotationen af dækket i knudepunktet i brudsituationen er mindre end rotationen af muren, hvorved excentriciteten vil være til gunst, og der vil optræde en vis indspænding. En metode til bestemmelse af dette er angivet her:

http://www.mur-tag.dk/fileadmin/filer/Laarebog/Del_1_afsnit_1-3.pdf

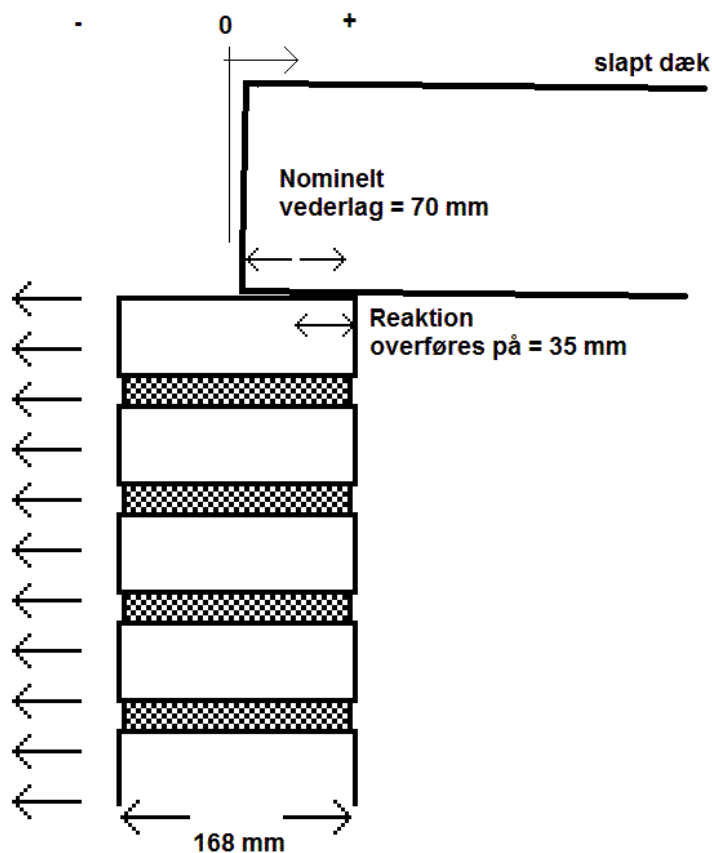
afsnit 3.2. Dette er naturligvis noget vanskeligt at bestemme, så den enkleste procedure er følgende:

Gennemregning under antagelse af slapt dæk

Rent praktisk gøres følgende: Det antages indledningsvist, at der er tale om et slapt dæk/bjælkelag og konstruktionen gennemregnes med denne konservative forudsætning. Er bæreevnen tilstrækkelig foretages der ikke yderligere.

I det aktuelle tilfælde, hvor der er anvendt en rem på 100 mm × 38 mm, fås den samlede formelle bredde af denne til $Bredde = \text{minimum}(100, 3 \times 38)^* = \text{minimum}(100, 114) = 100$ mm. I modulet er intervallet sat fra 0 mm til 50 mm og der er således forudsat et slapt bjælkelag. Da bæreevnen er tilstrækkelig foretages der ikke i eksemplet yderligere.

*Se evt. <http://ec6design.com/da/help/lbmv6#eTopMin> figur 7 for yderligere information om remmen.



Figur 4. Principiel illustration af excentricitetsinterval. Her slapt jbt.dæk.

$e_{min} = 49 \text{ mm}$ til $e_{max} = 89 \text{ mm}$

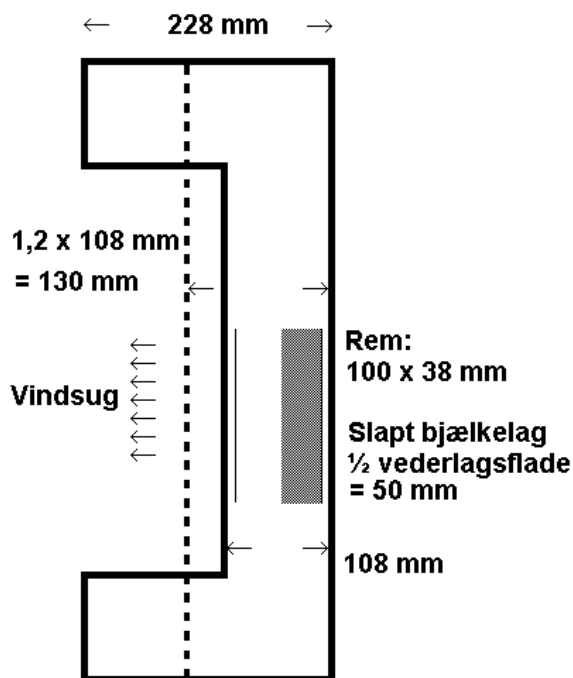
Gennemregning under antagelse af stift dæk

Såfremt bæreevnen ikke er tilstrækkelig undersøges om dækket/bjælkelaget er stift jf. ovenstående reference, og i givet fald foretages en ny beregning (i dette eksempel ville excentricitetsintervallet komme til at ligge mellem -50 mm til $+50 \text{ mm}$, såfremt det kunne eftervises, at bjælkelaget var stift). Bemærk, bæreevnen forøges drastisk, når der antages anvendelse af et stift dæk/bjælkelag, så det er ikke et forhold, der blot kan ændres, uden at dette er dokumenteret.

U-tværsnit

I nogen tilfælde vil det undersøgte tværsnit være et U-tværsnit. Fx kan flangerne mellem 2 etagehøje vinduer/døre udgøre vangerne i et U-tværsnit, hvorved væggen får en forøget tykkelse (effektiv tykkelse) efter reglerne beskrevet i ovenstående afsnit (tabel 5.1 i EN 1996-1-1).

Forholdene for excentricitetsintervallet i et U-tværsnit, hvor der regnes med en forøget tykkelse, er illustreret på nedenstående figur:



Figur 5. Illustration af excentricitetsinterval for et U-tværsnit med $t_{ef} = 130$ mm

Der betragtes en væg med etagehøje false. Lasten overføres af et bjælkelag via en rem. Remmen ligger således $(108 - 100) / 2 = 4$ mm fra kanterne af væggen.

Som eksempel sættes $\rho_t = 1,2$, hvorved den formelle tykkelse af væggen er $1,2 \times 108$ mm = 130 mm

Væggens udbredelse er fra -65 mm til +65 mm (i alt 130 mm). Det fås:

$$\begin{aligned} \text{Topexcentricitetsinterval, max: } & 65 - 4 = +61 \\ \text{Topexcentricitetsinterval, min: } & 61 - 50 = +11 \\ \text{(Kontrol: } & (130 - 108) + 4 + 50 - 65 = +11) \end{aligned}$$

Antal understøtninger

Vægfeltet regnes understøttet i top og bund. Vægfeltet kan tillige være understøttet langs 1 eller 2 lodrette sider, hvorved vægfeltet samlet er understøttet langs 3 eller 4 sider.

De lodrette understøtninger skal have en vis stivhed for at fungere som understøtninger. EN 1996-1-1 angiver, at længden af den tværgående understøttende væg skal være minimum $h/5$ og tykkelsen $0,3 t$. Dvs. en 3,0 m høj væg med tykkelsen 108 mm skal som minimum "tværunderstøttes" af en væg med længden $3,0/5 = 0,6$ m og tykkelsen $108/3 = 36$ mm. Såfremt der anvendes en stålsøjle, skal denne have

en tilsvarende EI-stivhed. Et eksempel er gennemgået her: <http://ec6design.com/da/help/images/Kogebog.pdf> (her bestemmes HE120B som ækvivalent til en 2,8 m × 108 mm tværvæg).

Ovennævnte regler fungerer ikke for små vægfelt, fx en muret vinkel 0,5 m x 0,5 m i 3,0 m højde. Her er der formelt ingen afstivende effekt fra det hosliggende vægfelt, da $h/5 = 3,0/5 = 0,6$ m. Sådanne vægfelt vil undergå et globalt brud og bør regnes som et kompleks tværsnit (Se <http://www.mur-tag.dk/index.php?id=632>)

Reduktion af søjlehøjden i vægfelt med åbninger

Er der i vægfeltet indgående åbninger små, kan det være for konservativt at regne vægfeltet mellem 2 åbninger for 2-sidet understøttet. Såfremt bæreevnen er kritisk, kan søjlelængden reduceres ud fra en beregning angivet her:

http://www.mur-tag.dk/fileadmin/filer/Laerebog/Del_1_afsnit_1-3.pdf

afsnit 3.6 . Beregningen er noget langsommelig at gennemføre vha. modulet, da der iterativt skal indlægges tværvægge, der giver den manuelt udregnede søjlelængde. Proceduren bruges kun, hvis der er problemer med bæreevnen.