



EPS-søjler 20-dobler styrken i fuldmuret byggeri

Bærende murværk bliver ofte udført med en række stabiliserende stålsøjler. Det er et fordyrende led, som kan føre til, at det fuldmurede byggeri fravælges.

Stålsøjler er et relativt nyt begreb i det murede byggeri. I gamle dage var byggetraditionen anderledes. Taget var som oftest et tungt tegltag på kraftige spær og murene massive eller som minimum opmuret med faste bindere. Herved blev etableret en kraftig lodret stabiliserende last på nogle relativt tykke mure, hvorved stabilitet og bæreevne kunne opnås uden stålsøjler.

Moderne byggeri er kendetegnet ved adskilte for- og bagmure, store vægfelt og store vinduesåbninger i kombination med let tag og lav rejsning. Det vil sige, at når vindlasten skal optages, er der ingen lodret stabiliserende last til rådighed og kun begrænset tykkelse og længde af det effektive vægfelt.

Den styrkeparameter, der er relevant i forbindelse med optagelse af vindlasten, er bøjningsstyrken. Når bøjningsstyrken bestemmes efter de generelle værdier i konstruktionsnormerne, opnår man kun meget lave værdier, da værdien skal dække alle i praksis forekommende mørtler og sten.

Teknologisk Institut, Byggeri har foretaget en analyse af de økonomiske forhold omkring stålsøjler, hvor der er foretaget skøn over det nødvendige antal stålsøjler i et almindeligt parcelhus.

Det er en gængs opfattelse i rådgiverbranchen, at anvendes de relativt lave styrker i normkomplekset, skal der cirka indsættes stålsøjler pr. 2 m løbende facade.

Selvom halvdelen af stålsøjlerne typisk kan undværes på grund af tværvægge, og en række andre forhold tages i betragtning, må der, alt i alt, indsættes minimum 9 stålsøjler i et hus.

Hvad koster stålsøjler

Priser er indhentet i 2009. Den totale pris for en stålsøjle inklusive materiale, korrosionsbehandling, montering og isolering er angivet til: 4.100,- kr.

Det vil sige, for det beregnede eksempel må forventes en merpris på:

$$9 \times 4.100 = 36.900,- \text{ kr.}$$

Der vil der være tale om en væsentlig økonomisk besparelse ved at kunne udelade stålsøjler. Ud over økonomien repræsenterer stålsøjler i byggeriet en række andre ulemper:

- Krav til korrosionsbeskyttelse, der er næsten umulige at efterkomme
- Forøget varmetab, da stålsøjler udgør markante kuldebroer
- Forøget risiko for vandindtrængning, da fugtspærren kan være vanskelig at placere korrekt omkring foden af stålsøjlen

EPS-søjler: Alternativet til stålsøjler

Teknologisk Institut har gennemført et udviklingsprojekt og fundet frem til en enkel og billig løsning, som overflødiggør stålsøjler i muren: EPS-søjler.

En EPS-søjle består i al sin enkelhed af fleksibel men hård isolering i hulmuren, kombineret med indlimet lodret armering. Materialerne er murværk, EPS (ekspanderet polystyren), musetrapper og fliseklæb. Teknikken er simpel og et sådant forstærket murfelt har en bøjningsstyrke på 10 til 20 gange en almindelig hulmur.

Bredden af en søjle er typisk $\frac{1}{2}$ til 1 meter. Sådant et murfelt kan effektivt afstive op til flere meter murværk.

Princippet i en EPS søjle er vist på figuren:

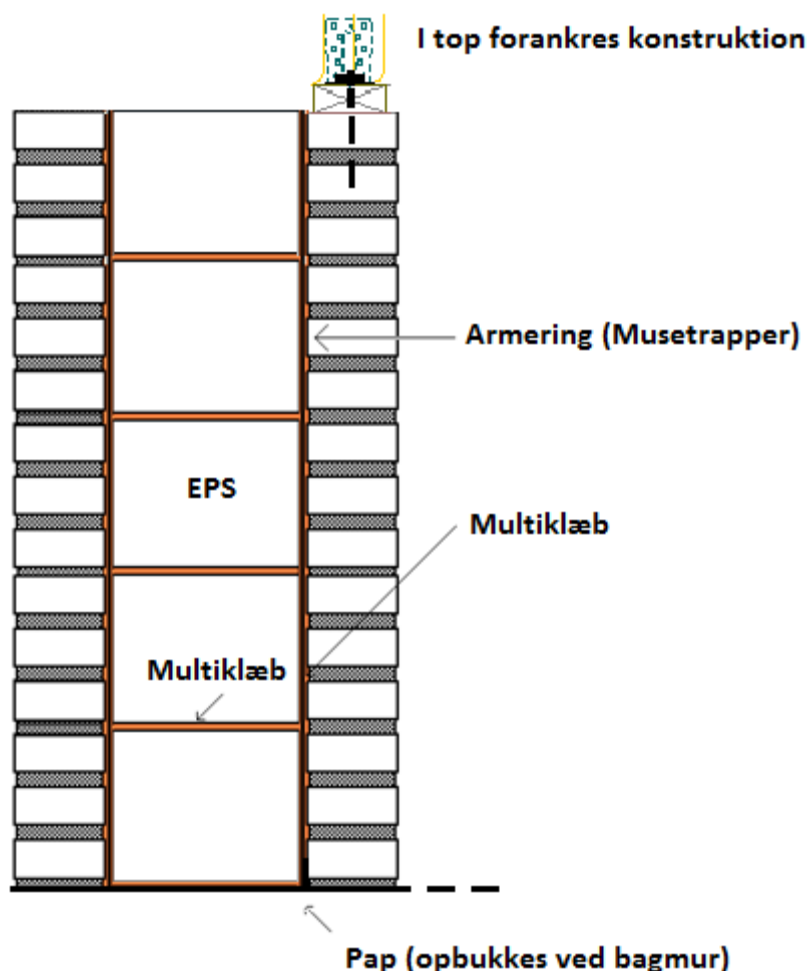


Fig. 1. EPS og armering i smalle hulmure til erstatning af stålsøjler (bindere ikke vist). Lodret snit

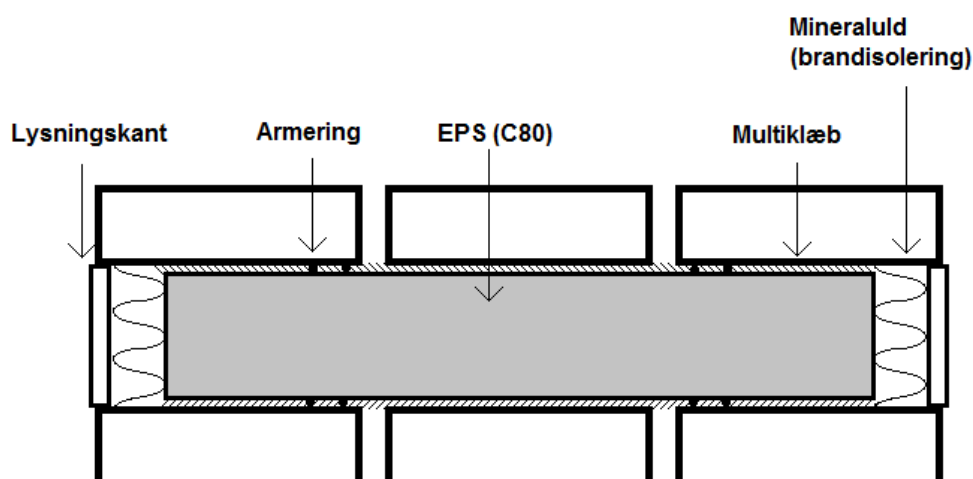


Fig. 2. EPS og armering i smalle hulmure til erstatning af stålsøjler (bindere ikke vist). Vandret snit

Når bøjningstyrken og stivheden er forøget så meget, vil det svage led være forankringen af muren i top og bund, der for hårdt belastede vægfeltet skal udføres stærkere end vanligt.

Såfremt vægfeltet påvirkes til bøjning sker der følgende:

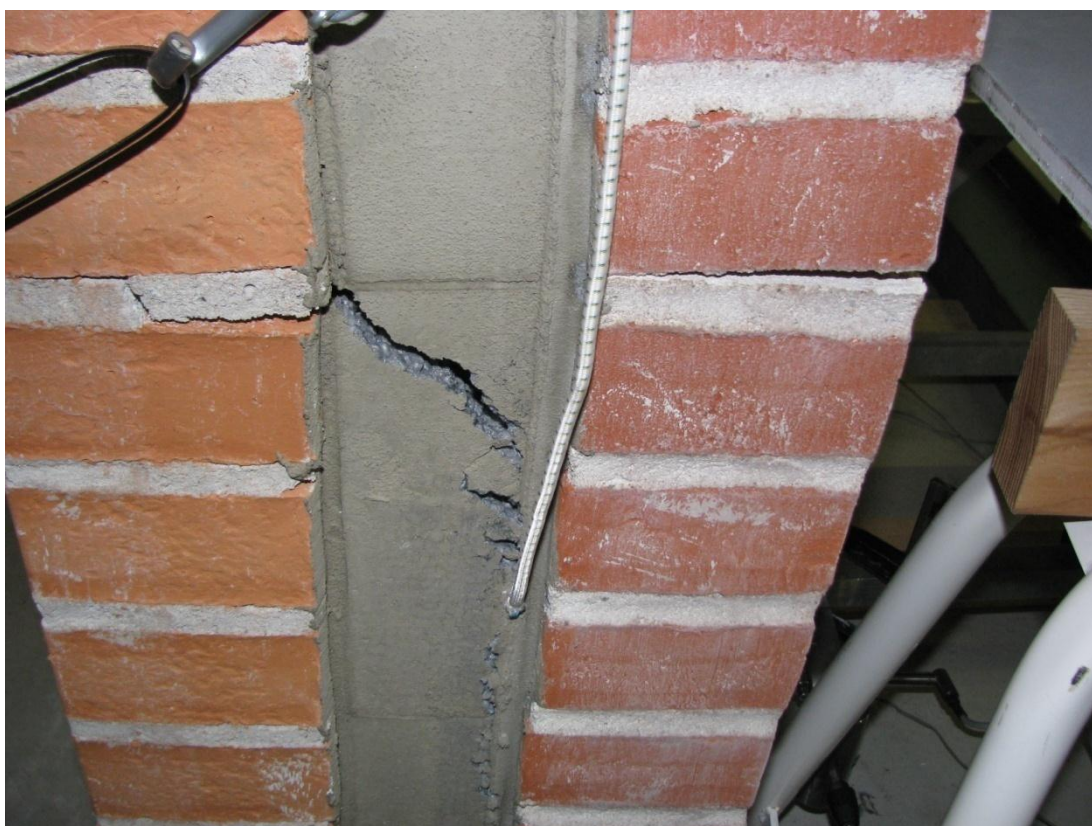


Fig. 3. For etagehøje elementer er det i praksis kun muligt at introducere bøjningsbrud for meget små tykkelser af EPS. Bøjningsstivheden er forøget så meget at det "svage" led er flyttet til understøtningerne.



Fig. 4. Forskydningsbrud i top



Fig. 5. Forskydningsbrud i top

Beregningsværktøj

Til beregning af momentbæreevnen for smalle hulmure (2×108 mm) opbygget med EPS-søjler kan anvendes nedenstående tabeller gældende for $h = 3,0$ m og $h = 4,0$ m.

Forudsætninger:

Materialer mindst som anført i nedenstående tabel 1:

Søjledele	Materialekrav
Lodret armering ved for- og bagmur	Murtec (rustfast)
Fleksibel hård isolering i hulrummet	EPS: C80 eller S80 (ekspanderet polystyren)
Klæb til armering og isolering	Lip Multiklæb grå CE: C2E S1
Muremørtel	KC 50/50/700 eller stærkere
Sten i for- og bagmur	Trykstyrke mindst $f_b > 18$ MPa

Udføres som beskrevet i vejledningen nedenfor.

2×60 mm af bredden fradrages til brandisolering (mineraluld eller lignende).

Begge vanger er forankret i top og bund. Kun $\frac{1}{2}$ -delen af tværsnittet regnes aktivt ved forankringen.

Ved bestemmelse af forskydningskapaciteten i top og bund er forudsat: $f_{vk0} = 0,25$ MPa.

Tykkelse af EPS sættes til tykkelse af det isolerede hulrum minus 10 mm.

Der regnes med følgende højdebegrænsninger:

Den maksimale højde = 3655 mm for hovedsageligt lodret belastet murværk
= 4055 mm for hovedsageligt vandret belastet murværk

Tykkelsen af det isolerede hulrum bør ikke overstige 400 mm (svarende til en normal hulmurstykkelse på ca. 62 cm).

Metode:

I tabel 2 er nogle værdier markeret med *. For disse (sjældne) belastninger skal forankringen i top og bund analyseres nøjere.

Dette vil normalt kræve, at forskydningsstyrken $f_{vk} \geq 0,25$ MPa, hvilket i mange tilfælde kan opnås med deklarerede styrkeparametre eller såfremt, der er en permanent lodret last på væggen (se eksempel).

Tabel 2. Regningsmæssig vandret last ($p_{d, \text{cap}}$) i kN/m for $h = 3,0$ m

n	Netto bredde (mm)	Faktisk bredde (mm)	Tykkelse af det isolerede hulrum (mm)						
			100	132	192*	252*	312*	372*	400*
2	348	468	4,33	4,96	6,15	7,34	8,52	9,71	10,27
2	468	588	4,74	5,43	6,73	8,03	9,33	10,63	11,24
2	588	708	5,15	5,90	7,32	8,73	10,14	11,56	12,22
3	708	828	7,13	8,17	10,13	12,09	14,04	16,00	16,91
3	828	948	7,54	8,64	10,71	12,78	14,85	16,92	17,89
4	948	1068	9,52	10,91	13,52	16,14	18,75	21,36	22,58
4	1068	1188	9,93	11,38	14,11	16,83	19,56	22,29	23,56

n= Antal armeringssystemer ved for- og bagmur

Tabel 3. Regningsmæssig vandret last ($p_{d, \text{cap}}$) for $h = 4,0$ m

n	Netto bredde (mm)	Faktisk bredde (mm)	Tykkelse af det isolerede hulrum (mm)						
			100	132	192	252	312	372*	400
2	348	468	2,43	2,79	3,46	4,13	4,79	5,46	5,77
2	468	588	2,67	3,06	3,79	4,52	5,25	5,98	6,32
2	588	708	2,90	3,32	4,12	4,91	5,71	6,50	6,87
3	708	828	4,01	4,60	5,70	6,80	7,90	9,00	9,51
3	828	948	4,24	4,86	6,03	7,19	8,35	9,52	10,06
4	948	1068	5,35	6,14	7,61	9,08	10,55	12,02	12,70
4	1068	1188	5,59	6,40	7,94	9,47	11,00	12,54	13,25

n= Antal armeringssystemer ved for- og bagmur

Der kan interpoleres mellem værdierne og tabellerne. For vægfeltet med en højde $< 3,0$ m regnes med værdierne fra tabellen svarende til $h = 3,0$ m

Eksempel 1:

For en væg med højden 3,0 m er udført et vægfelt med bredden 708 mm.
På hver side er placeret et etagehøjt vinduesparti med bredderne 1,6 m og 2,0 m.
Vindlasten er $1,57 \text{ kN/m}^2$. Hulmurstykkelsen er 200 mm.
Der anvendes således EPS med en tykkelse på 190 mm.
Der er anvendt en mørtel med $f_{vk0} = 0,25 \text{ MPa}$

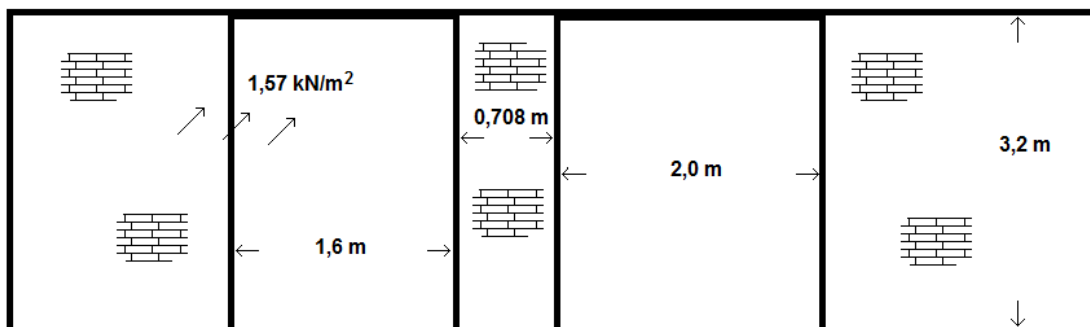


Fig. 6. Opstalt af vægfelt med etagehøje vinduer

Den samlede regningsmæssige last på vægfeltet kan konservativt sættes til:

$$\begin{aligned} p_d &= (1,6/2 + 2,0/2 + 0,708) \times 1,57 \\ &= 3,94 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Ved interpolation i tabel 2 ses, at bæreevnen er:

$$p_{d,cap} = 7,51 \text{ kN/m}$$

Bæreevnen er således tilstrækkelig.

Da den faktiske last ikke er markeret med * (5,90 kN/m), regnes forankringskapaciteten i top og bund værende tilstrækkelig.

Ovenstående fordeling af vindlasterne er konservativ, da døre/vinduer typisk er kilet op i bund og forankret i top (når længden $\geq 1,20 \text{ m}$), hvilket vil sige, at en del af vindlasten typisk vil blive overført til top og bund. (Fordelingen af vindlasten kan foretages efter de faktiske længder ift den samlede omkreds).

Eksempel 2:

For en facade med en permanent lodret last til gunst fra fx huldæk på 24,08 kN/m hvilken-
de af på bagmuren, som er opmuret med en sten/mørtelkombination med $f_{vk0} = 0,35$ MPa
fås følgende regningsmæssige forskydningsstyrke f_{vd} :

$$\begin{aligned} f_{vd} &= 0,35/1,7 + 1,0/1,3 \times 24,08/108 \\ &= f_{vk0}/\gamma_c + \mu_k/\gamma_c \times p_d/t \\ &= 0,21 + 0,17 \\ &= 0,38 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Opmuring med EPS-søjler

Trinvis udførelse:



Fig. 7. Opmuring af bagmur startes på sædvanlig vis. Eventuelt vælges en lim-pap-lim løsning i bund for at forøge forskydningskapaciteten mod sokkel



Fig. 8. Opmuring af 1. skifte



Fig. 9. Ved bund og top indsættes 1 binder pr sten i 3. skifte fra bund og top. For den viste væg er dette 3 bindere i de aktuelle skifter



Fig. 10. I den resterende del af væggen højde indsættes 1 binder pr 3. skifte. 1 binder gælden-
de for en vægbredde op til 0,96 m eller 4 sten. Ellers 1 binder pr 0,96 m/4 sten



Fig. 11. Bagmuren er færdigmuret og hærder af



Fig. 12. I top er indlimet 2 gevindstænger i de øverste 3 skifter. Mange forskellige løsninger kan anvendes ved forankring af toppen



Fig. 13. Rem monteres med spændeskive og møtrik



Fig. 14. Multiklæb påsmøres i baner, hvor armeringen skal placeres, hvorefter armeringen "trykkes" ind i denne



Fig. 15. EPS-blokkene påsmøres lim i liggefuge, på bagside og trykkes mod bagvæg (vådt i vådt). Der anvendes tandspartel eller andet egnet værktøj



Fig. 16. Påsmøring af Multiklæb

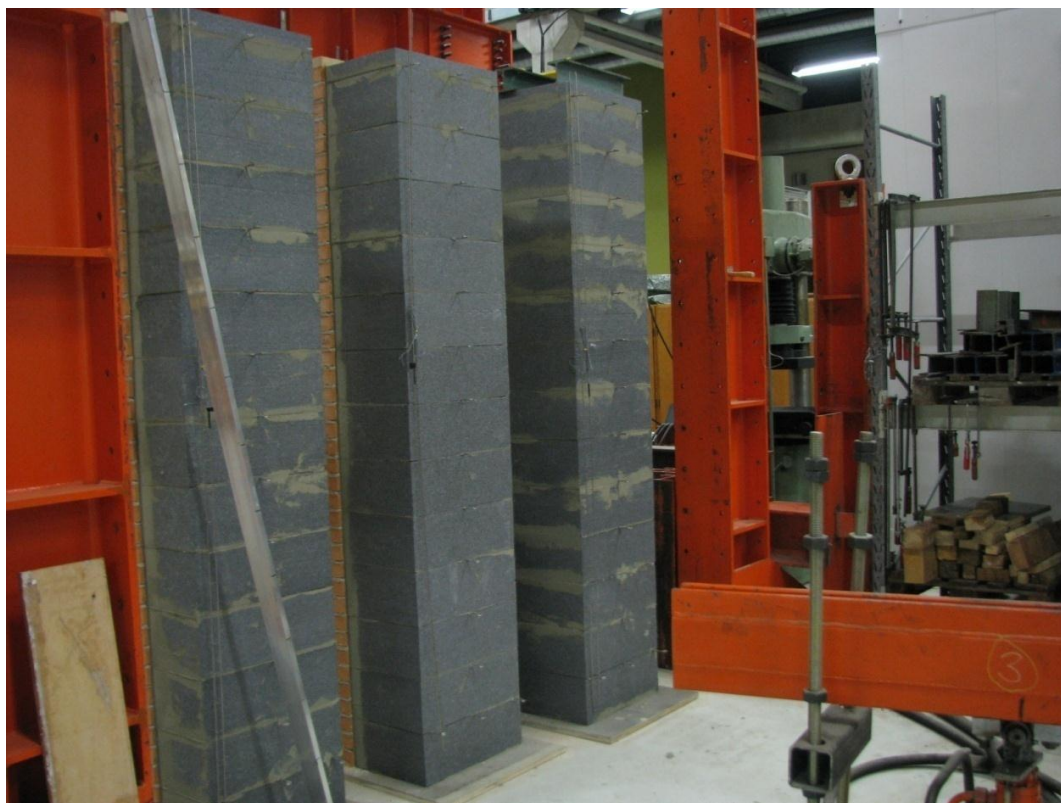


Fig. 17. Bagvægge med EPS pålimet



Fig. 18. På EPS påføres Multiklæb i baner, som armeringen presses ind i.



Fig. 19



Fig.20



Fig. 21



Fig. 22



Fig. 23

Formuren opmures, men samtidig med, at der er påført mørtel på liggefuge og studsens slået, skal der smøres lim på bagside af stenen (min 50 % af arealet). Dette kræver lidt håndlag, men indøves hurtigt. Man kan f.eks. påføre limen på hver ende af stenen, så man kan gribe i midten uden at få (ret meget) lim på fingrene.



Fig. 24. Formuren opføres inden, Multiklæb på EPS er hærdnet helt op



Fig. 25. Fugerne skræbes og trykkes på sædvanlig vis efter opmuringen



Fig. 26. Bemærk formuren kan være længere tid om at hærde og tørre ud end normalt, da dette kun kan foregå fra 1 side mod normalt 2 (væg til højre er uden EPS).

Kvalitetssikring af udførelsen

Det sikres ved løbende stikprøvekontrol, at:

- Limbaner, armering og EPS mod bagmuren monteres indenfor Multiklæbens lukketid
- Limbaner, armering og formuren mod EPS monteres indenfor Multiklæbens lukketid
- Tykkelsen af den lodrette limfuge mellem EPS og formur/bagmur maksimalt er 8 mm
- Mindst 50 % af hver mursten er på bagsiden påført Multiklæb ved opmuring af formuren. Dette skal foretages løbende under opmuringen, så limen er frisk
- Alle byggesten og EPS-blokke trykkes omhyggeligt således, at limfuge bliver aktiv over hele fladen.