

BEREGNING AF U-TVÆRSNIT SOM ET KOMPLEKST TVÆRSNIT

Indledning

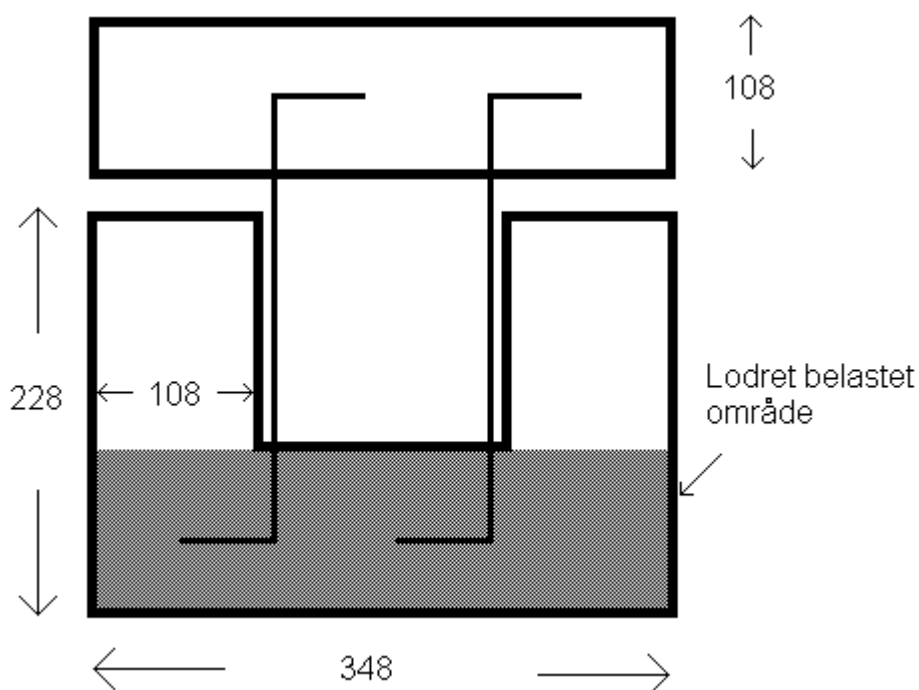
I dette notat gennemregnes som eksempel et muret U-tværsnit.
U-tværsnittet findes fx mellem 2 dørfalse og er som oftest kraftigt påvirket.

Geometri er angivet på efterfølgende skitse.

Til beregningen anvendes værktøj til bestemmelse af den ækvivalente tykkelse for komplekse tværsnit. Se evt.: <http://www.mur-tag.dk/index.php?id=632>

Geometri

Geometrien er vist på efterfølgende figur:



Figur 1. U-profil med formur og bindere (isolering er ikke vist)

Højden på søjlen er 3,6 m

Styrkeparametre, laster, mm

Følgende parametre anvendes:

Styrkeparametre:

$$\begin{aligned}f_k &= 5,0 \text{ MPa} \\E_{0k} &= 3000 \text{ MPa} \\f_{\text{yk1}} &= 0,25 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Densitet:

$$\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$$

For- og bagmur regnes opført af samme type murværk

Laster:

$$W_{Ed} = 2,9 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}N_{Ed} &= 20 \text{ til } 60 \text{ kN eller} \\ &= 20/0,348 \text{ til } 60/0,348 \text{ kN/m} \\ &= 57,5 \text{ til } 172 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Bemærk: Ved bestemmelse af den minimale lodrette last anvendes normalt sikkerhedsfaktoren $\gamma_{G,inf} = 0,9$. Det er væsentlig at bestemme den minimale lodrette last korrekt, da det oftest er denne lastkombination, der er kritisk, da den lodrette last sædvanligvis stabiliserer konstruktionen for vindlast.

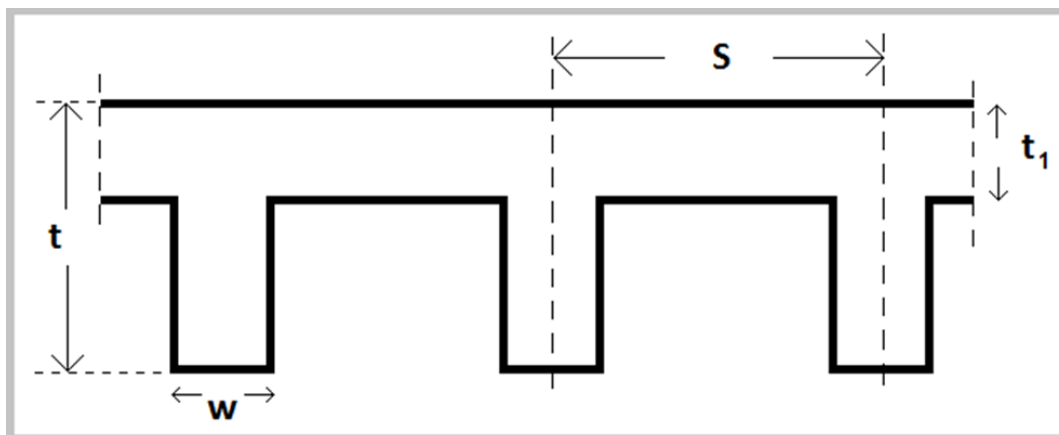
Excentricitetsinterval:

Ved sokkel: I fuld bredde

Ved top: I halv bredde som vist på figur 1

Beregning af den ækvivalente tykkelse

Fra regnearket fås følgende input/output:



| Input | | | Output | | For | |
|-------|-----|----|----------|-------|-----------------|-------------------------|
| S | 348 | mm | t_{ef} | 190 | mm | Mainly lateral loading |
| t | 228 | mm | t_{ef} | 190 | mm | Mainly vertical loading |
| t_1 | 108 | mm | A | 63504 | mm ² | |
| w | 216 | mm | A_{ef} | 66133 | mm ² | |

Bemærk w inddateres som 2×108 mm, da kun halvdelen medregnes til et U – tværsnit i dette regneark.

Det ses, at der kan regnes med en effektiv tykkelse (t_{ef}) på 190 mm for bagmuren.

Beregning af den murede søjle

Fordeling af vindlaster mellem for- og bagmur

Vindlasten (sug) på for- og bagmur fordeles efter kapaciteterne, formuren regnes at optage 12 % (en nærmere beregning foretages ikke, da dette ikke vedrører substansen i eksemplet)

Bagmuren optager således 0,88 af vindlasten (samt den lodrette last). Dvs

$$\begin{aligned} W_{Ed,bagmur} &= 0,88 \times 2,9 \text{ kN/m} \\ &= 2,55 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Efterfølgende regnes kun på bagmuren.

Beregning af bagmur for maksimal lodret last

For det ækvivalente tværsnit med tykkelsen $t_{ef} = 190$ mm anvendes konservativt et excentricitetsinterval svarende til den halve tykkelse i top og det fulde tværsnit i bund.

Udskrift af beregningen for maksimal lodret last er vedlagt i bilag 1, hvoraf ses, at Φ_m er: 0,35 og udnyttelsesgraden i midtertværsnittet for den effektive tykkelse ($U_{m,ef}$) er: 95 %

Udnyttelsesgraden justeres mht arealerne, hvoraf fås det endelige resultat:

$$\begin{aligned} U_m &= 95 \% \times 66133/63504 \\ &= 99 \% \end{aligned}$$

Det ses at bæreevnen netop er tilstrækkelig

Beregning af bagmur for minimal lodret last

Udskrift af beregningen for minimal lodret last er vedlagt i bilag 2, hvoraf ses, at Φ_m er: 0,16 og udnyttelsesgraden i midtørtværsnittet for den effektive tykkelse ($U_{m,ef}$) er: 73 %

Udnyttelsesgraden justeres mht. arealerne, hvoraf fås det endelige resultat:

$$\begin{aligned} U_m &= 73 \% \times 66133/63504 \\ &= 76 \% \end{aligned}$$

Det ses at bæreevnen er tilstrækkelig.

Bemærk: Hvis den lodrette last kommer under 50 kN/m for det pågældende eksempel bliver bæreevnen ikke tilstrækkelig.

Teknologisk Institut
Kongsvang Allé
8000 Århus C
Projekt navn: EC6design.com - Ver 7.03
Komponent: Maksimal lodret last

Sagsansvarlig: pdc
Dato: 31-10-2014
Tid: 13:58
Sagsnummer: 1355724-03
Modul: Lodret belastet muret væg / EC6design v.7.02

Specifikke forudsætninger

Regningsmæssige dimensioner

Længde = 0,348 m Tykkelse = 190 mm Højde = 3,600 m
Tykkelse af formur = 0 mm
(tykkelse=0 betyder ingen formur)

Understøtningsforhold

Antal understøtninger = 2 $\rho_2 = 1,00$

Karakteristiske materialeparametre

Trykstyrke = 5,00 MPa Bøjningstrækstyrke = 0,25 MPa
E-modul = 3000 MPa E-modul evt. formur = 3000 MPa
Densitet = 1800 kg/m³ Konsekvensklasse = Normal Kontrolklasse = Normal

Regningsmæssig last på bærende væg alene

Lodret last = 172,0 kN/m Tværlast (vindlast) = 2,55 kN/m² (positiv mod venstre)
Excentricitetsintervaller inden korrektion med værdien e_{init} . Positiv mod højre:
Top: fra 0 til 95 mm; Bund: fra -95 til 95 mm

Delresultater

Geometriske forhold

Areal = 0,066 m² $\rho_3 = 0,30$ $\rho_4 = 0,05$
Eff. højde = 3600 mm Eff. tykkelse = 190 mm Slankhedsforhold = 18,9
Initialexcentricitet $e_{init} = 8$ mm Krybningsexcentricitet $e_k = 2$ mm

| <i>Materialeparametre</i> | Karakt. værdi | Partialkoeff | Regn.mæss. værdi |
|---------------------------|----------------------|--------------|------------------------------|
| Trykstyrke | $f_k = 5,00$ MPa | 1,60 | $f_d = 2,81$ MPa |
| Bøjningstrækstyrke | $f_{xk1} = 0,25$ MPa | 1,70 | $f_{xd1} = 0,13$ MPa |
| E-modul | $E_{0k} = 3000$ MPa | 1,60 | $E_{0d} = 1684$ MPa |
| Specifik tyngde | | | 0,00001765 N/mm ³ |

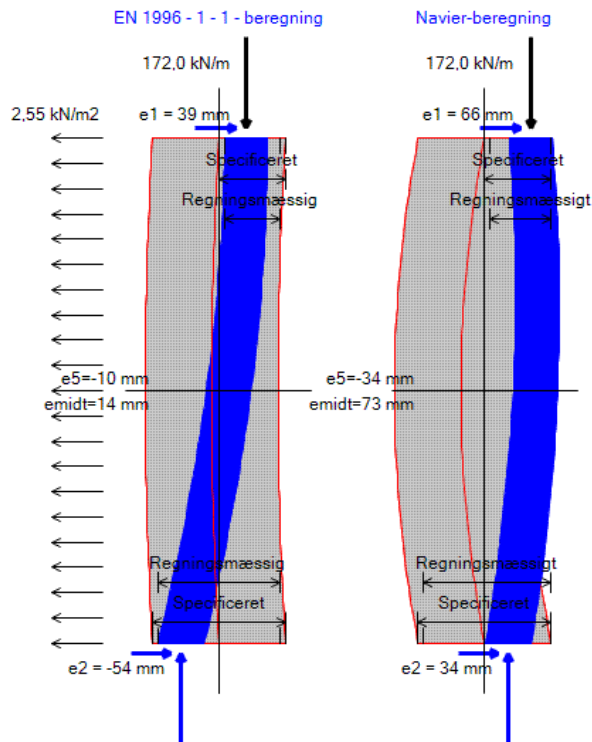
| <i>Bæreevneforhold</i> | top | midt | bund |
|--|---------------|--------------------------|---------------|
| Regningsmæssig normalkraft, N_{Ed} | 172,0 N/mm | 178,0 N/mm | 184,1 N/mm |
| Minimal trykzonebredde, N_{Ed} / f_{cd} | 61 mm | 63 mm | 66 mm |
| <i>EN 1996 - 1 - 1 - beregning</i> | | | |
| Trykbuens excentricitet | 39 mm | 14 mm | -54 mm |
| Væggens udbøjning, e_s | - | -10 mm | - |
| Resulterende excentricitet, e_{mr} | 39 mm | 24 mm | 54 mm |
| (i midten mindst $1/20 \times$ vægtykkelsen) | | | |
| Reduktionsfaktor Φ (jfr. EN 1996 - 1 - 1(6.4) og (G.1)) | 0,59 | 0,35 | 0,43 |
| Regn.mæss. bæreevne N_{Rd} (jfr. EN 1996 - 1 - 1(6.2)) | 316,5 N/mm | 187,7 N/mm | 229,0 N/mm |
| Udnyttelsesgrad N_{Ed} / N_{Rd} | 54 % | 95 % | 80 % |
| <i>Navier-beregning</i> | | | |
| Trykbuens excentricitet | 66 mm | 73 mm | 34 mm |
| Væggens udbøjning, e_s | - | -34 mm | - |
| Resulterende excentricitet, e_{mr} | 66 mm | 107 mm | 34 mm |
| 1. ordens moment $M_0 = N_{Ed} \times e$ | | 14391 Nmm/mm | |
| Eulerlast N_{cr} | | 733,2 N/mm | |
| Momentforøgelsesfaktor $\alpha = N_{cr} / (N_{cr} - N_{Ed})$ | | 1,32 | |
| Resulterende moment $M_{max} = \alpha \times M_0$ | | 19006 Nmm/mm | |
| Modstandsmoment Z | | 6017 mm ³ /mm | |
| Bøjningsspænding $abs(M_{max}) / Z$ | | 3,159 MPa | |
| Normalspænding $N_{Ed} /$ vægtykkelse | | 0,937 MPa | |
| Kantrækspænding og -styrke | | 2,222 MPa | 0,132 MPa |
| Kantrykspænding og -styrke | | 4,096 MPa | 2,807 MPa |
| Største udnyttelsesgrad = kantspænding / styrke | | 1682 % | |

Resultat

| | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|
| Dimensionsgivende udnyttelsesgrader | 54 % | 95 % | 80 % |
|-------------------------------------|------|------|------|

Konklusion

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



Det grå område er væggen. Det blå område er den smallest mulige trykbue, symmetrisk om tryklinien og med bredden NEd/fd .

Den krumme røde linie gennem vægtværsnittenes midtpunkter benævnes vægaksen. Den lodrette sorte linie gennem vægaksens skæringspunkter med top- og bundsnittene benævnes systemlinien. Tryklinien er ikke vist, men ligger midt i trykbuen.

For EN 1996 - 1 - 1 - beregningens vedkommende er i top og bund de specificerede og de regningsmæssige excentricitetsintervaller. Trykbuen skal ramme inden for de regningsmæssige intervaller.

For Navier-beregningens vedkommende er excentriciteten i top placeret til ugunst i $1/6$ af det regningsmæssige excentricitetsinterval.

Laster er markeret med sorte pile, reaktioner med blå. Alle breddemål er forstørret 5 gange i forhold til højdemål.

Yderligere informationer findes i "Generelle forudsætninger" og "Delresultater" i rapporten.

Beregningen har givet følgende resultat:
Bæreevnen er tilstrækkelig.

Teknologisk Institut
Kongsvang Allé
8000 Århus C
Projekt navn: EC6design.com - Ver 7.03
Komponent: Minimal lodret last

Sagsansvarlig: pdc
Dato: 31-10-2014
Tid: 14:21
Sagsnummer: 1355724-03
Modul: Lodret belastet muret væg / EC6design v.7.02

Specifikke forudsætninger

Regningsmæssige dimensioner

Længde = 0,348 m Tykkelse = 190 mm Højde = 3,600 m
Tykkelse af formur = 0 mm
(tykkelse=0 betyder ingen formur)

Understøtningsforhold

Antal understøtninger = 2 $\rho_2 = 1,00$

Karakteristiske materialeparametre

Trykstyrke = 5,00 MPa Bøjningstrækstyrke = 0,25 MPa
E-modul = 3000 MPa E-modul evt. formur = 3000 MPa
Densitet = 1800 kg/m³ Konsekvensklasse = Normal Kontrolklasse = Normal

Regningsmæssig last på bærende væg alene

Lodret last = 57,5 kN/m Tværlast (vindlast) = 2,55 kN/m² (positiv mod venstre)
Excentricitetsintervaller inden korrektion med værdien e_{init} . Positiv mod højre:
Top: fra 0 til 95 mm; Bund: fra -95 til 95 mm

Delresultater

Geometriske forhold

Areal = 0,066 m² $\rho_3 = 0,30$ $\rho_4 = 0,05$
Eff. højde = 3600 mm Eff. tykkelse = 190 mm Slankhedsforhold = 18,9
Initialexcentricitet $e_{init} = 8$ mm Krybningsexcentricitet $e_k = 3$ mm

| <i>Materialeparametre</i> | Karakt. værdi | Partialkoeff | Regn.mæss. værdi |
|---------------------------|----------------------|--------------|------------------------------|
| Trykstyrke | $f_k = 5,00$ MPa | 1,60 | $f_d = 2,81$ MPa |
| Bøjningstrækstyrke | $f_{xk1} = 0,25$ MPa | 1,70 | $f_{xd1} = 0,13$ MPa |
| E-modul | $E_{0k} = 3000$ MPa | 1,60 | $E_{0d} = 1684$ MPa |
| Specifik tyngde | | | 0,00001765 N/mm ³ |

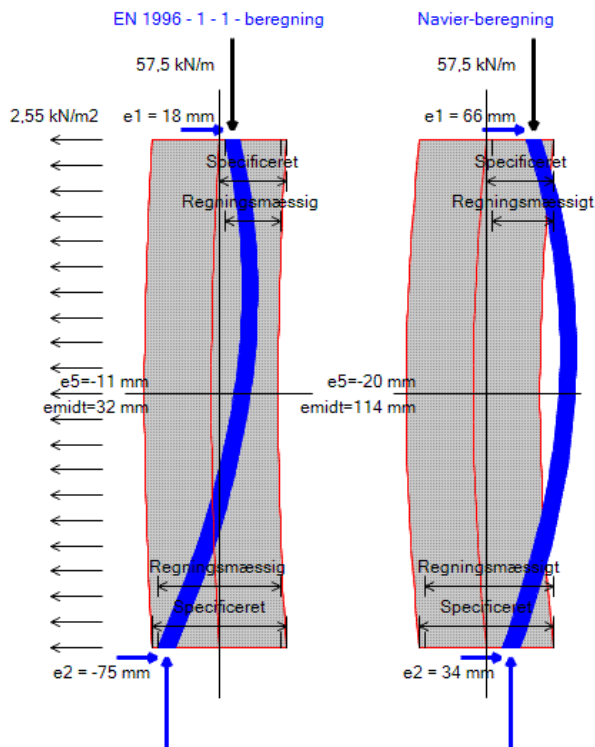
| <i>Bæreevneforhold</i> | top | midt | bund |
|--|------------|--------------------------|------------|
| Regningsmæssig normalkraft, N_{Ed} | 57,5 N/mm | 63,5 N/mm | 69,6 N/mm |
| Minimal trykzonebredde, N_{Ed} / f_{cd} | 20 mm | 23 mm | 25 mm |
| <i>EN 1996 - 1 - 1 - beregning</i> | | | |
| Trykbuens excentricitet | 18 mm | 32 mm | -75 mm |
| Væggens udbøjning, e_5 | - | -11 mm | - |
| Resulterende excentricitet, e_{mr} (i midten mindst $1/20 \times$ vægtykkelsen) | 18 mm | 44 mm | 75 mm |
| Reduktionsfaktor Φ (jfr. EN 1996 - 1 - 1(6.4) og (G.1)) | 0,81 | 0,16 | 0,21 |
| Regn.mæss. bæreevne N_{Rd} (jfr. EN 1996 - 1 - 1(6.2)) | 431,0 N/mm | 87,6 N/mm | 114,5 N/mm |
| Udnyttelsesgrad N_{Ed} / N_{Rd} | 13 % | 73 % | 61 % |
| <i>Navier-beregning</i> | | | |
| Trykbuens excentricitet | 66 mm | 114 mm | 34 mm |
| Væggens udbøjning, e_5 | - | -20 mm | - |
| Resulterende excentricitet, e_{mr} | 66 mm | 133 mm | 34 mm |
| 1. ordens moment $M_0 = N_{Ed} \times e$ | | 7731 Nmm/mm | |
| Eulerlast N_{cr} | | 733,2 N/mm | |
| Momentforøgelsesfaktor $\alpha = N_{cr} / (N_{cr} - N_{Ed})$ | | 1,09 | |
| Resulterende moment $M_{max} = \alpha \times M_0$ | | 8465 Nmm/mm | |
| Modstandsmoment Z | | 6017 mm ³ /mm | |
| Bøjningsspænding $\text{abs}(M_{max}) / Z$ | | 1,407 MPa | |
| Normalspænding $N_{Ed} / \text{vægtykkelse}$ | | 0,334 MPa | |
| Kanttrækspænding og -styrke | | 1,072 MPa | 0,132 MPa |
| Kanttrykspænding og -styrke | | 1,741 MPa | 2,807 MPa |
| Største udnyttelsesgrad = kantspænding / styrke | | 812 % | |

Resultat

| | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|
| Dimensionsgivende udnyttelsesgrader | 13 % | 73 % | 61 % |
|-------------------------------------|------|------|------|

Konklusion

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



Det grå område er væggen. Det blå område er den smallest mulige trykbue, symmetrisk om tryklinien og med bredden NEd/f_d .

Den krumme røde linie gennem vægtværsnittenes midtpunkter benævnes vægaksen. Den lodrette sorte linie gennem vægaksens skæringspunkter med top- og bundsnittene benævnes systemlinien. Tryklinien er ikke vist, men ligger midt i trykbuen.

For EN 1996 - 1 - 1 - beregningens vedkommende er i top og bund de specificerede og de regningsmæssige excentricitetsintervaller Trykbuen skal ramme inden for de regningsmæssige intervaller

For Navier-beregningens vedkommende er excentriciteten i top placeret til ugunst i 1/6 af det regningsmæssige excentricitetsinterval

Laster er markeret med sorte pile, reaktioner med blå. Alle breddemål er forstørret 5 gange i forhold til højdemål.

Yderligere informationer findes i "Generelle forudsætninger" og "Delresultater" i resultatrapporten.

Beregningen har givet følgende resultat:
Bæreevnen er tilstrækkelig.