



TUNGE SKILLEVÆGGE PÅ TRYKFAST ISOLERING BEREGNINGSMODELLER

Indledning

Teknologisk Institut, byggeri har for EPS sektionen under Plastindustrien udført dette projekt vedrørende anvendelse af trykfast isolering under tunge skillevægge på betondæk uden skillevæggsfundamenter.

Følgende kombinationer undersøges:

- EPS: S150 og S250
- Tykkelser: 400 mm og 550 mm

Problembeskrivelse

Etablering af konstruktioner uden skillevæggsfundamenter forøger produktiviteten og billiggør byggeriet. Endvidere sikrer de forenklede detaljer, at risikoen for byggefejl minimeres.

Da trykfast isolering har en stivhed, der er langt mindre end sædvanlige fundamenter af jernbeton og letklinkerblokke, kræver konstruktionen, at det underliggende betondæk kan fordele kræfterne i et tilstrækkeligt stort område.

Endvidere er skillevægge ofte stift forbundet med bagvægge, der er etableret på stive fundamenter, hvilket giver randeffekter, der ændrer kraftfordelingen markant (skillevægge benævnes i det følgende blot vægge).

Da der i lærebøger og andre steder ikke er redegjort for statikken for denne løsning, anvendes den næppe, såfremt der er krav til dokumentation af bæreevnen.

I dette projekt opstilles en beregningsmodel for konceptet samt simplificerede værktøjer til praktisk anvendelse for rådgivende ingeniører.

Konceptet opdeles i 2 forskellige statiske situationer.

- Fri væg ved begge lodrette kanter.
- Fri væg ved den ene lodrette kant samt stift forbundet til en bagmur på sokkel ved den anden lodrette kant.

Væg stift forbundet til en bagmur på sokkel ved begge lodrette kanter kunne teoretisk forekomme, men i praksis er det næppe relevant med en tværvæg, der medfører, at passage gennem huset i en etage ikke er mulig. Da denne type væg sætter begrænsninger på konceptet vælges det derfor at forudsætte, at løsningen ikke anvendes.

Åbninger i væggen i form af vinduer negligeres, såfremt højden og bredden af åbningen er mindre end $0,5 \times$ væghøjden, ellers regnes med en fri kant.

Åbninger i væggen i form af døre regnes således som en fri kant.

Materialeparametre og geometri

Beregninger foretages for en række varierende parametre. Anvendte parametre og deres eventuelle grænser er angivet nedenstående.

Generelt

Sikkerhedsklasse	= Normal
Kontrolklasse	= Normal

Armering

Armeringstype	= Ribbestål
Armeringsstyrke (f_{yk})	= 550 MPa
E_{0k}	= 200.000 MPa
$f_{yd} = 550/1,20$	= 458 MPa
Armeringsplacering	= I midten

Betonplade

Tykkelse af betonplade (d)	≥ 100 mm
Betontrykstyrke (f_{bnk})	= M20
$f_{bnd} = 20/1,60$	= 12,50 MPa

Trykfast isolering

Tykkelse (t)	= 400 mm og 550 mm
Type	= S150 og S250
$E_{\text{langtid, S150}}$	= 2,25 N/m ²
$E_{\text{langtid, S250}}$	= 3,75 N/m ²

Tilladelig nedbøjning

δ_0	= 2,5 mm
------------	----------

Den trykfaste isolering forudsættes placeret på komprimeret bæredygtig bund, som ikke undergår nævneværdige deformationer.

Vægge

Væggene regnes normalt med en tykkelse (t) på:	
t	= 100 mm

Der skelnes i beregningerne ikke mellem de forskellige typer af vægge. Det vil typisk være murede vægge, vægge af letklinkerbeton, tung beton eller porebeton.

I beregningerne indgår væggene blot med den lodrette last samt en eventuelt vandret last.

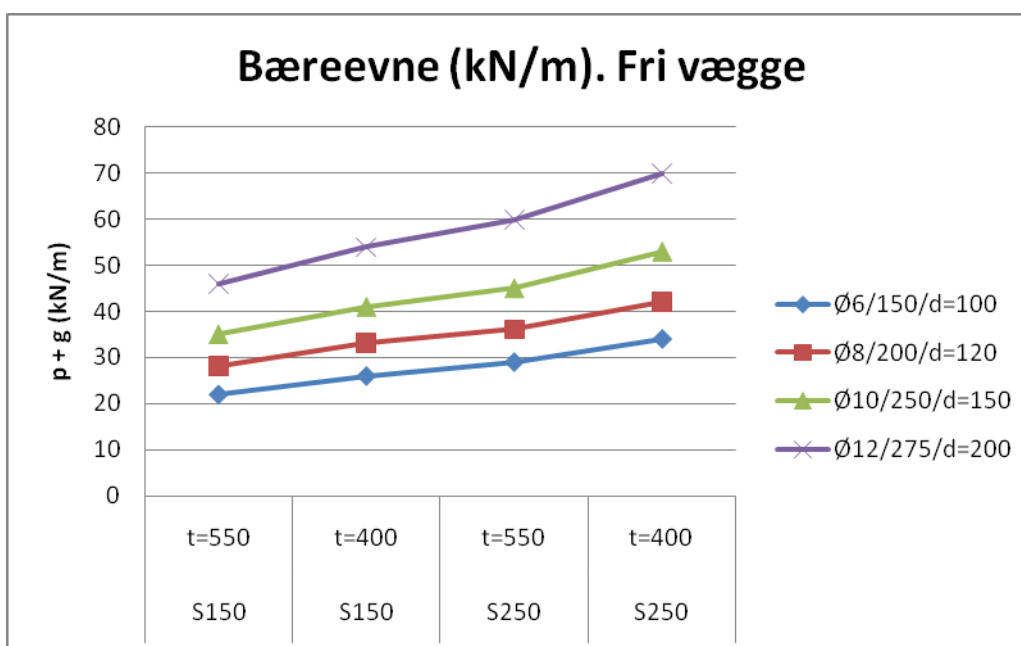
Lasterne er typisk benævnt:

Egenvægt af væggen = g (kN/m)
Lodret last på væggen = p (kN/m)
Vandret last = H (kN)

Ved permanente belastninger i kombination med kortvarige nyttelaster skelnes der normalt ikke mellem korttids- og langtidsstyrker (E modul), da denne skelnen vil medføre komplicerede beregningsmodeller og kun en mindre bæreevneforøgelse. Når der i det følgende således ved permanente og nyttelaster anvendes elasticitetsmoduler for langtidslast er dette en konservativ betragtning.

Fri væg ved begge lodrette kanter

Beregninger er gennemført i bilag 1 og 2. Resultatet er angivet i efterfølgende graf.



Figur 1. Bæreevne ved vægfelt på trykfast isolering.

I figuren er:

t tykkelsen af den trykfaste isolering (EPS)

S typen af EPS (karakteriseret efter stivhed)

d dæktykkelsen

Ø6/150 Armeringsdiameter pr. længde

Y-aksen angiver således den samlede mulige belastning fra væggen i niveau med dækoverkant (dvs. egenlast, nyttelast, reaktion fra stabiliserende last, etc.).

X-aksen angiver 4 kombinationer af tykkelse af EPS og type.

Ved interpolation mellem graferne anvendes en armeringsgrad på 0,21 % i forhold til hele dækhøjden.

Anvendelsen af grafen er illustreret med 3 eksempler.

Eksempel 1

En ikke-bærende væg af tegl ønskes opført uden skillevægsfundament.

Væggens geometri er:

højde 3000 mm
tykkelse 168 mm

Egenlasten (g) bestemmes til:

$$\begin{aligned} g &= 0,168 \times 3,0 \times 18 \text{ kN/m}^3 \\ &= 9,07 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Det ses, at et sædvanligt betondæk med tykkelse:

$$t = 100 \text{ mm}$$

i kombination med armering:

$$\begin{aligned} \emptyset &= 6 \text{ mm} \\ a &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

og trykfast isolering S150 med en tykkelse på 550 mm har tilstrækkelig bæreevne, da denne er 22 kN/m. Bæreevnen er således cirka en faktor 2 større end nødvendig.

Eksempel 2

For en bærende porebetonvæg er den maksimale regningsmæssige belastning i niveau med dækoverkant bestemt til:

$$g + p = 30 \text{ kN/m}$$

På grafen ses, at konstruktionen fx skal udføres med et betondæk med tykkelse:

$$t = 120 \text{ mm}$$

i kombination med armering:

$$\begin{aligned}\varnothing &= 8 \text{ mm} \\ a &= 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

og trykfast isolering S150 med en tykkelse på 400 mm.

Eksempel 3

For en bærende væg er den maksimale, regningsmæssig belastning i niveau med dækovertkant bestemt til:

$$g + p = 50 \text{ kN/m}$$

Der ønskes anvendt trykfast isolering S250 med en tykkelse på 550 mm.

Ved sædvanlig interpolation ses, at bæreevnen er tilstrækkelig for et betondæk med tykkelse på:

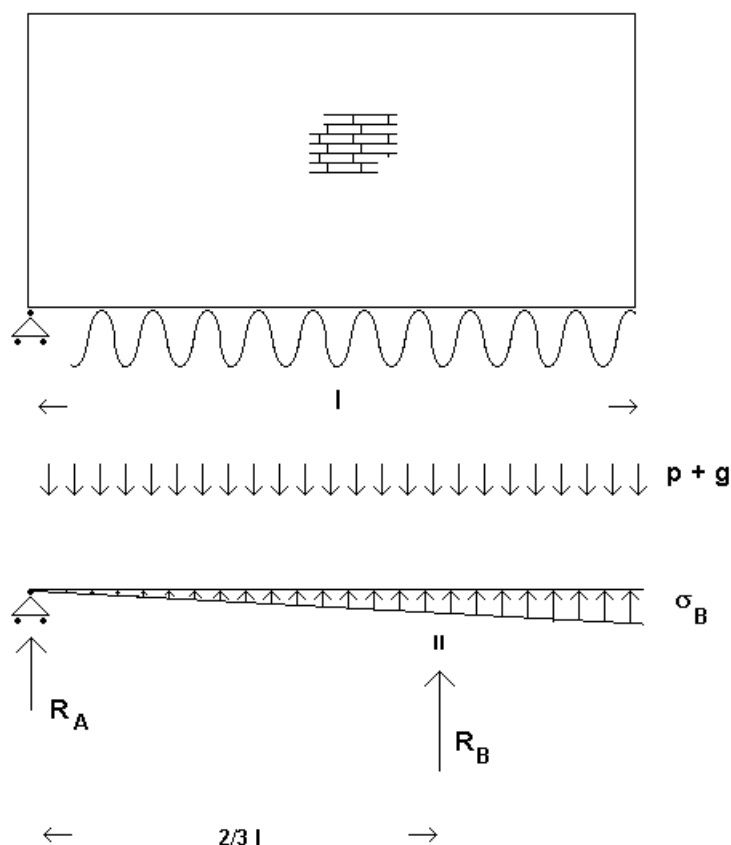
$$t = 170 \text{ mm}$$

Som armering anvendes $\varnothing 10$. Afstanden mellem armeringen (a_a) bestemmes ud fra forudsætningen om en armeringsgrad på 0,21 % til:

$$\begin{aligned}a_a &= (\pi/4) \times 10^2 / (0,21 \times 10^{-2} \times 170) \\ &= 220 \text{ mm}\end{aligned}$$

Væg fri ved den ene lodrette kant og stift forbundet til bagmur på sokkel ved anden lodrette kant

En beregningsmodel er angivet i bilag 3 og beskrevet nedenstående.



Figur 4. Kraftfordeling for væg bunden i en ende og fri i den anden

På figuren er introduceret følgende belastninger og reaktioner.

p	=	Den lodrette regningsmæssige last på konstruktionen (excl. egenlast)
g	=	Egenvægten af væggen
σ_B	=	Reaktionen fra den trykfaste isolering i den fri ende af væggen hvor deformationen er størst.

Det kan vises, at reaktionen i den fri ende ved denne type væg er $3/2$ af reaktionen for tilsvarende vægge, som er fri i begge ender. Dvs. ved praktisk projektering anvendes grafen angivet i afsnit 4, hvor belastningen sættes til $(3/2) \times (g + p)$.

Optagelse af vandret last foretages på sædvanlig vis. Dvs. er konstruktionen påvirket af en vandret kraft H , kan der mellem væg og betonplade overføres følgende vandrette reaktion (F_H):

$$F_H = (g+p) \times \mu_d$$

hvorved glidningskriteriet er opfyldt.

Optagelse af det væltende moment er illustreret i eksempel 2.

Eksempel 1

En ikke-bærende væg af tegl ønskes opført uden skillevægsfundament.

Væggens geometri er:

højde 3000 mm
tykkelse 108 mm

Egenlasten (g) bestemmes til:

$$g = 0,108 \times 3,0 \times 18 \text{ kN/m}^3 \\ = 5,83 \text{ kN/m}$$

Det ses i figur 1, at et sædvanligt betondæk med tykkelse:

$$t = 100 \text{ mm}$$

i kombination med armering:

$$\begin{aligned} \emptyset &= 6 \text{ mm} \\ a &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

understøttet af trykfast isolering S150 med en tykkelse på 550 mm har bæreevnen 22 kN/m. Det ses, at bæreevnen er tilstrækkelig idet:

$$(3/2) \times 5,83 \leq 22 \text{ kN/m}$$

Eksempel 2

En bærende væg af tegl ønskes opført uden skillevægsfundament.

Væggens geometri er:

højde 3000 mm
længde 6000 mm
tykkelse 168 mm

Ud over egenlasten er væggen påvirket af en vandret kraft (H) mod den fri ende på:

$$H = 10 \text{ kN}$$

Egenlasten (g) bestemmes til:

$$g = 0,168 \times 3,0 \times 18 \text{ kN/m}^3 \\ = 9,07 \text{ kN/m}$$

Egenlasten giver anledning til en kraftpåvirkning ved den fri kant på:

$$\sigma_B = (3/2) \times 9,07 \text{ kN/m} \\ = 13,61 \text{ kN/m}$$

Momentet fra den vandrette kraft regnes optaget med et kraftpar beliggende ved R_A og R_b (se bilag 5).

Det fås af:

$$R_{HA} = 10 \times 3 / ((2/3) \times 6) \\ = 7,5 \text{ kN} \\ R_{HB} = 7,5 \text{ kN}$$

En opadrettet kraft i bagvæggen på 7,5 kN anses ikke for problematisk og undersøges ikke videre.

Den vandrette last giver anledning til et forøget bidrag i den lodrette reaktion på:

$$\sigma_{BH} = 3 \times H \times h / l^2 \\ = 2,5 \text{ kN/m}$$

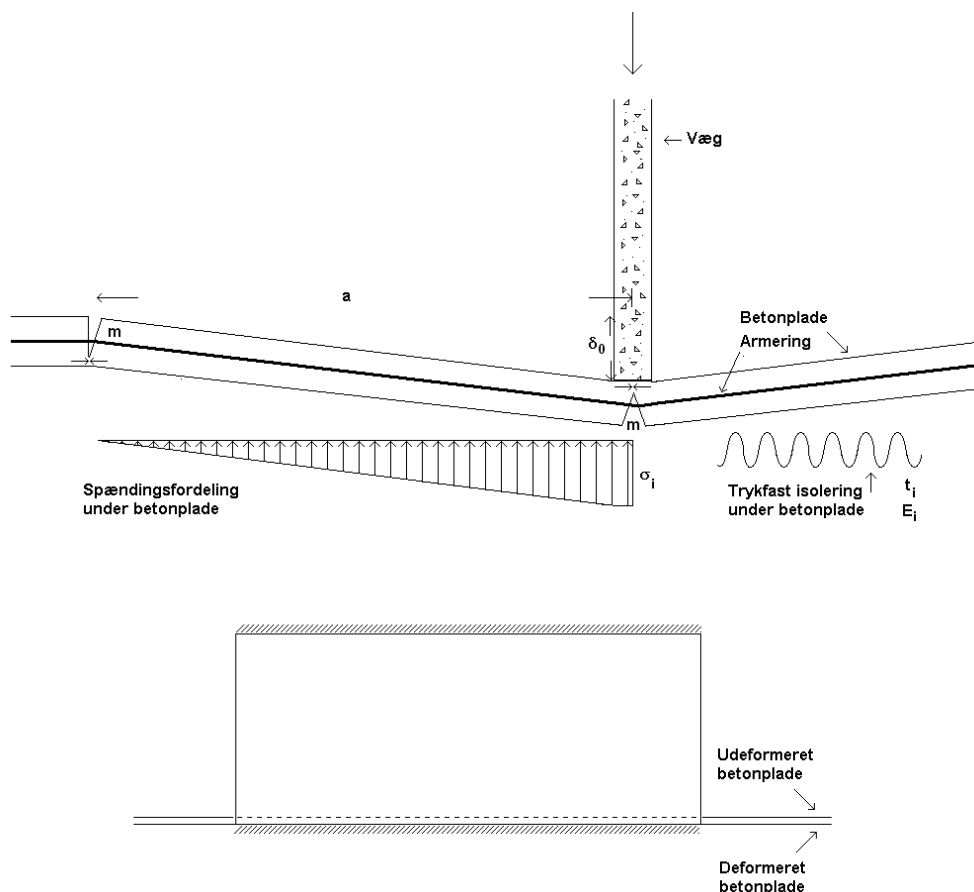
Heraf fås at den samlede påvirkning til:

$$\sigma_{BH} + \sigma_B = 16,11 \text{ kN/m}$$

Dækket dimensioneres på sædvanlig vis overfor denne last.

Trykfast isolering – fri væg i begge ender

Statisk system



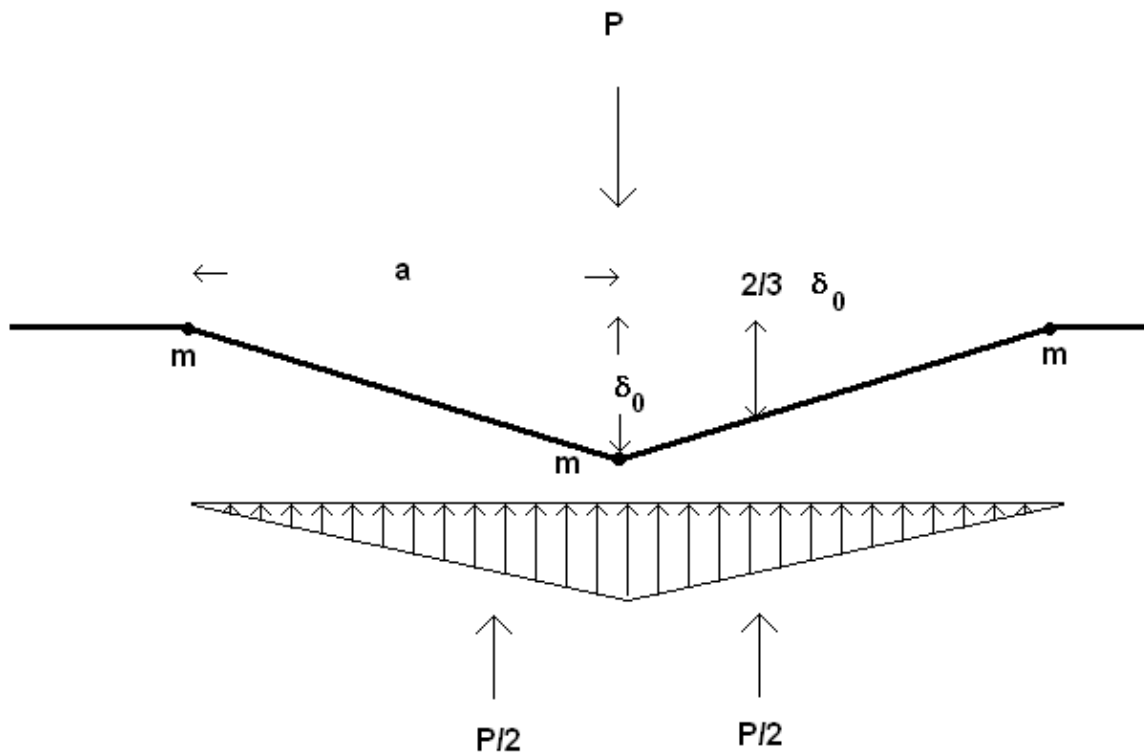
Forudsætninger

- Spændingsfordelingen under betonpladen regnes trekantformet.
- Der optræder flydeled i dækket under væg og i afstanden a .
- Nedtrykningen (δ) i afstanden a regnes lig 0.
- Nedtrykningen under væggen betegnes som (δ_0)
- Af symmetriårsager er forholdene på begge sider af pladen identiske.
- Udstrækningen af reaktionen mellem dæk og væg regnes værende væsentlig større end tykkelsen på væggen, hvorved den statiske model kan forudsættes at være 2-dimensional.
- Da armeringen er placeret i midten er de positive og negative momenter identiske.
- Egenvægten af betonpladen tages ikke i regning, da den ikke giver anledning til differenspændinger og -flytninger eller momenter i betonpladen.
- Underlagets bevægelse under den trykfaste isolering er negligibel.
- Der regnes med samme spænding hele vejen igennem den trykfaste isolering.

Statistiske ligninger

$$\begin{aligned} \sigma_i &= E_i \delta_0 / t_i && \text{(spænding under betonplade prop. med } \delta) \\ P &= \sigma_i a \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 && \text{(ligevægt i lodret retning)} \\ &= \sigma_i a \\ &= E_i a \delta_0 / t_i && (1) \end{aligned}$$

Ved hjælp af arbejdsligningen fås:



$$A_y = P \times \delta_0 - \left(2 \times \frac{P}{2} \times \frac{2}{3} \delta_0 \right) = \frac{P}{3} \times \delta_0$$

$$A_i = 4m \times \frac{\delta_0}{a}$$

$$A_i = A_y$$

$$\frac{4m}{a} = \frac{P}{3} \quad (2)$$

(1) og (2) giver således

$$12m \times E_i \delta_0 = P^2 \times t_i$$

Bestemmelse af m:

$$T = f_{yd} \times A_a$$

$$h_c = \frac{T}{f_{cd}}$$

$$m = T \times \left(h_{eff} - \frac{l}{2} h_c \right)$$

$$h_{eff} = \frac{h}{2}$$

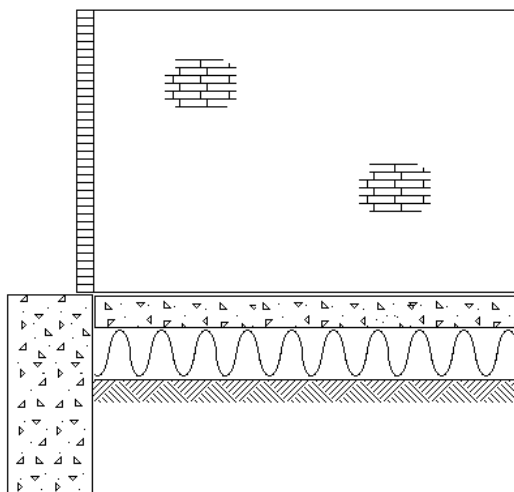
Udtrykkene indsættes i regneark. Dette er gjort i bilag 2.

Specifikation af armering				Bæreevne (kN/m) for kombination				a (mm) for kombination			
t	Ø	pr	Arm.grad	S150 t=550	S150 t=400	S250 t=550	S250 t=400	S150 t=400	S150 t=550	S250 t=400	S250 t=550
100	6	150	0,19	22	26	29	34	1852	2172	1435	1683
120	8	200	0,21	28	33	36	42	2333	2736	1807	2119
150	10	250	0,21	35	41	45	53	2917	3420	2259	2649
200	12	275	0,21	46	54	60	70	3856	4522	2987	3503

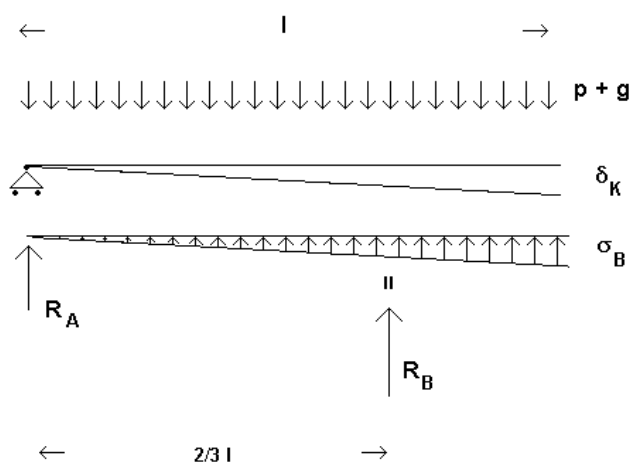
Tabel 1. Oversigt over beregning

Bunden væg / fri væg

Her betragtes en væg, som er stift forbundet til bagvæg ved den ene lodrette kant og fri i den anden lodrette kant. Væggen er illustreret nedenstående:



I den deformede tilstand fås følgende spændingsfordeling:



Ud fra ligevægtsberegninger fås:

$$R_B = \frac{3}{4} \times (p + g) \times l$$
$$R_A = \frac{1}{4} \times (p + g) \times l$$

σ_B bestemmes til:

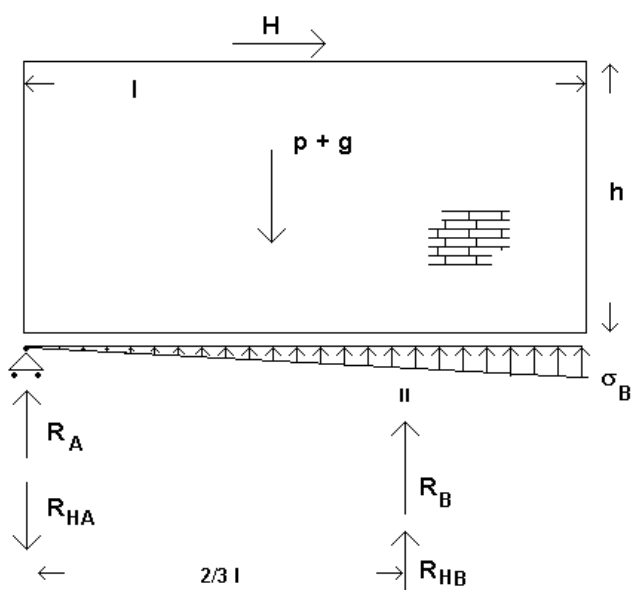
$$\begin{aligned} \frac{3}{4} (p + g) l &= \frac{1}{2} l \sigma_b \\ \frac{3}{2} (p + g) &= \sigma_b \end{aligned}$$

Såfremt væggen er fri i begge ender fås følgelig $(p + g) = \sigma_b$ - Dvs. at bæreevnen af væggen er $\frac{2}{3}$ af bæreevnen af en tilsvarende væg, fri i begge ender.

Bidraget fra reaktionen i den trykfaste isolering, introduceret i opførelsesfasen før sammenmuring med bagvæggen, er konservativt ikke medtaget, da det vil komplicere beregningsmodellen markant, uden tilsvarende at give en markant forøget bæreevne.

Vandret påvirkning

Såfremt væggen er påvirket af en vandret kraft analyseres dette på følgende måde:



Glidning

Bæreevnen mht. glidning er tilstrækkelig såfremt:

$$(g + p) \mu_d \geq H$$

Væltning

R_{HA} og R_{HB} bestemmes ud fra følgende udtryk:

$$\begin{aligned} R_{HA} = R_{HB} &= H \times h / (\frac{2}{3} l) \\ &= \frac{3}{2} \frac{H \times h}{l} \end{aligned}$$

R_{HB} omregnes til et bidrag til σ_b (her benævnt σ_{HB}). Det fås at:

$$\sigma_{HB} = \frac{2R_{HB}}{l} = \frac{3 H \times h}{l^2}$$

Det undersøges om $(\sigma_B + \sigma_{BH}) \leq$ den aktuelle bæreevne vha. figur 1.

Såfremt $\sigma_{BH} \leq 0$ undersøges om:

$$\sigma_{BH} \leq \sigma_b$$

I modsat fald medfører det, at væggen ”løftes”.

Den resulterende værdi af R_{HA} og R_A (regnet med fortegn) skal kunne overføres i den lodrette samling mellem den betragtede væg og bagvæggen. Dvs.:

$$R_{HA} + R_A \leq f_{vk0} \times t \times h$$

hvor f_{vk0} er den initiale forskydningsstyrke i samlingen

$R_A + R_{HA}$ skal naturligvis medregnes, når bagvæggen dimensioneres. Dette er ikke yderligere uddybet her.