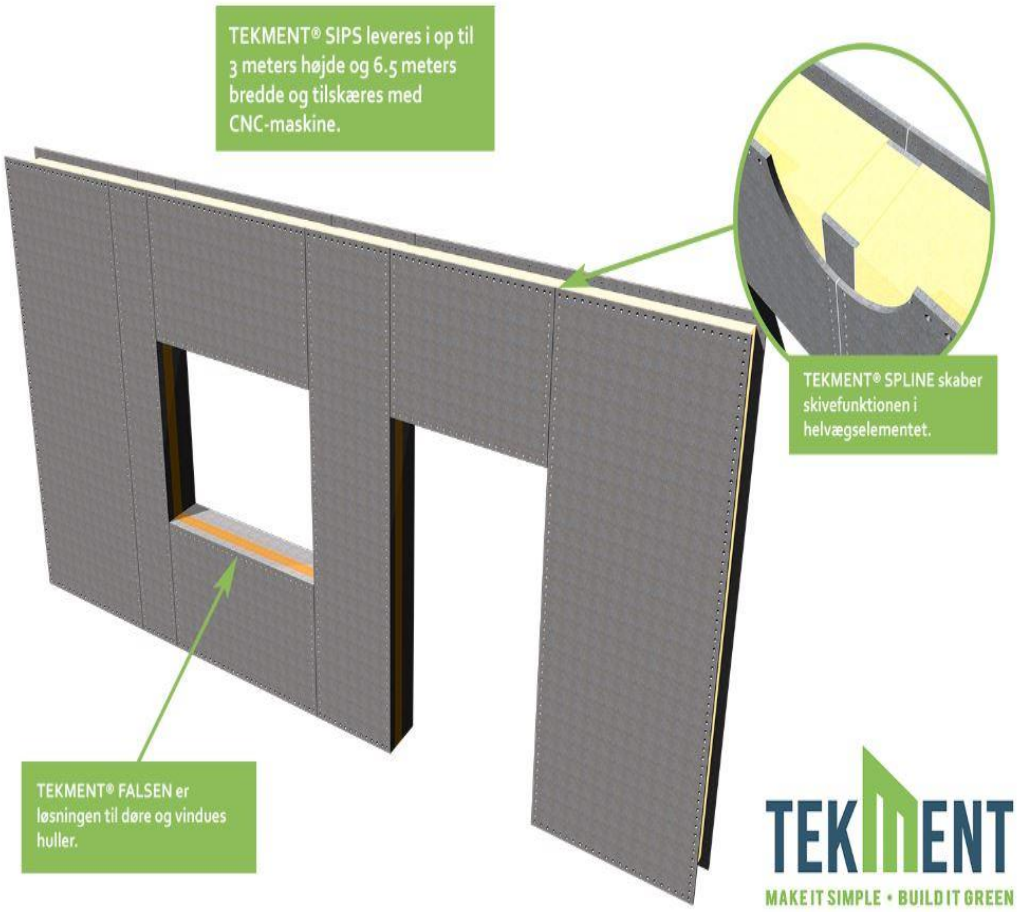
Beregning af bæreevner

TEKMENT
MAKE IT SIMPLE • BUILD IT GREEN



Sagsnr.:	**18.235**	**Udarbejdet af:**	**KS:**
Dato: Rev. A:	13-11/2018	Abdulrahman Daabes *Konstruktionsingeniør*	Mads Peter Sørensen *Civilingeniør*

Underskrifter:

[| Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby [| +45 5126 0006 [| www.energihuset-as.dk [| info@energihuset-as.dk [CVR | 3028 3279

KONTAKTOPLYSNINGER

Byggeadresse:	Bakkevej 19 5750 Ringe
Rekvirent:	Tekment A/S Bakkevej 19 5750 Ringe
Kontaktperson:	Thomas Lindhardt ceo@tekment.dk 60 54 05 40
Rådgivende ingeniør:	ENERGIHUSET A/S Hjulmagervej 4A 7100 Vejle info@energihuset-as.dk www.energihuset-as.dk

Indhold

Opgaven....4

Aftalegrundlag og rådgiveransvar....4

Grundlag....5

Normer og standarder....5

Statiske beregninger....9

1. Beregningsforudsætninger....9
2. Bæreevner for lodret belastning....9
3. Bæreevner for vandret belastning....14
4. Bæreevner for kombination af hhv. vandret og lodret belastning....22

[| Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby [| +45 5126 0006 [| www.energihuset-as.dk [| info@energihuset-as.dk [CVR | 3028 3279

Opgaven

Opgaven indeholder følgende ydelser til projektet:

Ydelse
Lodret belastning (hvor meget last elementet kan klare). Udført med excentricitet på 0 og på kant element samt i højderne 2,8 m/3,0 m/3,6 m.
Vandret belastning (hvor meget last elementet kan klare). 3 indspændinger med væglængder på: 3 m / 3,5 m / 4 m / 4,5 m / 5,0 m / 5,5 m / 6 m / 6,5 m / 7 m. Udført i højderne: 2,8 m / 3,0 m / 3,6 m.
Kombination af hhv. vandret og lodret belastning på elementet. Udført i højderne: 2,8 m / 3,0 m / 3,5 m.

Aftalegrundlag og rådgiveransvar

ENERGIHUSET A/S' ydelser leveres efter ABR 89.
Rådgivningsydelserne leveres iht. lovkrav fra Bygningsreglement 2015/2018.
Statikrapporten laves på baggrund af nuværende gældende normer samt oplyste mål, tilsendt tegningsmateriale, dimensioner samt materialer og antaget forudsætninger. Hvis det efterfølgende viser sig, at dette ikke er i overensstemmelse med konstruktionerne "Som Udført", kan rådgiver ikke stilles til ansvar. Det er derfor vigtigt, at rapporten gennemlæses af rekvirenten, der straks vender tilbage ved ændringer til rapporten.

Rådgiverens samlede ansvar, i henhold til nærværende statikrapport, kan ikke, uanset antallet af skader, overstige i alt tre gange rådgiverhonorar.

[| Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby [| +45 5126 0006 [| www.energihuset-as.dk [| info@energihuset-as.dk [CVR | 3028 3279

Grundlag

Normer og standarder

Dimensionering af konstruktioner udføres på grundlag af følgende Eurocodes med tilhørende danske annekser:
DS/EN 1990 Projekteringsgrundlag for bærende konstruktioner, med DS/EN 1990 DK NA
DS/EN 1991-1-1 Densiteter, egenlast og nyttelast for bygninger, med DS/EN 1991-1-1 DK NA
DS/EN 1991-1-2 Brandlast, med DS/EN 1991-1-2 DK NA
DS/EN 1991-1-3 Snelast, med DS/EN 1991-1-3 DK NA
DS/EN 1991-1-4 Vindlast, med DS/EN 1991-1-4 DK NA
DS/EN 1991-1-5 Termiske laster, med DS/EN 1991-1-5 DK NA
DS/EN 1991-1-6 Last på konstruktioner under udførelse, med DS/EN 1991-1-6 DK NA
DS/EN 1991-1-7 Ulykkeslast, med DS/EN 1991-1-7 DK NA

DS/EN 1992-1-1 Betonkonstruktioner, Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner, med DS/EN 1992-1-1 DK NA
DS/EN 1992-1-2 Betonkonstruktioner, Brandteknisk dimensionering, med DS/EN 1992-1-2 DK NA
DS/EN 1992-3, Betonkonstruktioner til opbevaring af væsker og pulvere med DS/EN 1992-3 DK NA

DS/EN 1993-1-1 Stålkonstruktioner, Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner, med DS/EN 1993-1-1 DK NA
DS/EN 1993-1-2 Stålkonstruktioner, Brandteknisk dimensionering, med DS/EN 1993-1-2 DK NA
DS/EN 1993-1-3 Stålkonstruktioner, Supplerende regler for koldformede elementer og beklædning af tynd-plader, med DS/EN 1993-1-3 DK NA
DS/EN 1993-1-4 Stålkonstruktioner, Supplerende regler for Rustfrit stål, med DS/EN 1993-1-4 DK NA DS/EN 1993-1-5 Stålkonstruktioner, Pladekonstruktioner, med DS/EN 1993-1-5 DK NA
DSEN 1993-1-6 Stålkonstruktioner, Styrke og stabilitet af skalkonstruktioner, med DS/EN 1993-1-6 DK NA
DS/EN 1993-1-7 Stålkonstruktioner, Styrke og stabilitet af pladekonstruktioner med tværbelastning, med DS/EN 1993-1-7 DK NA
DS/EN 1993-1-8 Stålkonstruktioner, Samlinger, med DS/EN 1993-1-8 DK NA
DS/EN 1993-1-9 Stålkonstruktioner, Udmattelse, med DS/EN 1993-1-9 DK NA
DS/EN 1993-1-10 Stålkonstruktioner, Materialesejhed og egenskaber i tykkelsesretningen, med DS/EN 1993-1-10 DK NA

DS/EN 1994-1-1 Kompositkonstruktioner, Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner, med DS/EN 1994-1-1 DK NA
DS/EN 1994-1-2 Kompositkonstruktioner, Brandteknisk dimensionering, med DS/EN 1994-1-2 DK NA

DS/EN 1995-1-1 Trækonstruktioner, Almindelige regler samt regler for bygningskonstruktioner, med DS/EN 1995-1-1 DK NA
DS/EN 1995-1-2 Trækonstruktioner, Brandteknisk dimensionering, med DS/EN 1995-1-2 DK NA

DS/EN 1996-1-1 Murværkskonstruktioner, Generelle regler for armeret og uarmeret murværk, med DS/EN 1996-1-1 DK NA
DS/EN 1996-1-2 Murværkskonstruktioner, Brandteknisk dimensionering, med DS/EN 1996-1-2 DK NA
DS/EN 1996-2 Murværkskonstruktioner, Designbetragtninger, valg af materialer og udførelse af mur- værk, med DS/EN 1996-2 DK NA

DS/EN 1997-1 Geoteknik, Generelle regler, med DS/EN 1997-1 DK NA

[| Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby [| +45 5126 0006 [| www.energihuset-as.dk [| info@energihuset-as.dk [CVR | 3028 3279

DS/EN 1999-1-1 Aluminiumkonstruktioner, Generelle regler for bygningskonstruktioner
DS/EN 1999-1-2 Aluminiumkonstruktioner, Brandteknisk dimensionering, med DS/EN 1999-1-2 DK NA DS/EN 1999-1-3 Aluminiumkonstruktioner, Udmattelse, med DS/EN 1999-1-3 DK NA

Tillæg:
EN 338: Styrkeklasser for konstruktionstræ
DS/EN 1383
DS/EN 14592
DS/EN 206-1 Beton, specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse
DS 2426 Beton - Materialer - Regler for anvendelse af DS/EN 206 i Danmark.
DS/EN 1520 Præfabrikerede armerede elementer af letbeton med lette tilslag og åben struktur med bærende eller ikke-bærende armering med DS/EN 1520 DK NA.
DS/EN 12602 Præfabrikerede armerede komponenter af autoklaveret porebeton sammen med DS/EN 12602 DK NA

Sikkerhed

Brudgrænsetilstand (BGT)

Grænsetilstanden vedrører:

- sikkerhed for personer og/eller
- sikkerhed af konstruktioner

Anvendelsesgrænsetilstand (AGT)

Grænsetilstanden vedrører:

- konstruktionens eller konstruktionsdelenes virkemøde under almindelig brug
- menneskers komfort
- bygværkets udseende

Konsekvensklasse

Samtlige konstruktioner i bygningens bærende hovedsystem for lastnedføring samt lodret samt stabilitet henføres til (DS/EN 1990-1-1 + NA):

Konsekvensklasse: CC2

Sekundære konstruktioner der ikke indgår i bygningens i ovenstående system henføres til:

Konsekvensklasse: CC2

[| Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby [| +45 5126 0006 [| www.energihuset-as.dk [| info@energihuset-as.dk [CVR | 3028 3279

Dokumentationsklasse

Den statiske dokumentation henføres til:

Dokumentationsklasse: Middel

Statikrapporten er lavet i henhold til SBi-anvisning 223's dokumentationsklasser:

Tabel 1. Dokumentationsklasser.

	Konsekvensklasse			
	Lav (CC1)	Middel (CC2)	Høj (CC3)	Ekstra høj* (CC3+)
Simpel og traditionel	L	M	M	H
Kompleks eller utraditionel	M	M	H	H
Kompleks og utraditionel	M	H	H	H

L: Lav dokumentationsklasse, M: Middel dokumentationsklasse, H: Høj dokumentationsklasse.
Konsekvensklasser er iht. Eurocode 0 (Dansk Standard, 2007a).
* Note: Ekstra høj konsekvensklasse omfatter iht. Dansk Nationalt anneks til Eurocode 0 (Dansk Standard, 2007a), de konstruktioner i konsekvensklasse CC3, hvor konsekvenserne af svigt er særlige alvorlige, og hvor der derfor gælder særlige krav til dokumentation og kontrol.

Nærværende statikrapport er kategoriseret som dokumentationsklasse "middel":

Tabel 2. Typisk omfang af den statiske dokumentation.

ID	Del af statisk dokumentation	Dokumentationsklasse		
		Lav	Middel	Høj
A1	Projektgrundlag	x	x	x
A2	Statiske beregninger	x	x	x
A3	Konstruktionstegninger og modeller		x	x
A4	Konstruktionsændringer	-	x	x
B1	Statisk projekteringsrapport	-	x	x
B2	Statisk kontrolrapport	-	-	x
B3	Statisk tilsynsrapport	-	-	x

Nærværende rapport indeholder følgende som dokumentationskrav til kommune og udførelsen:

Statisk dokumentation		
A. Konstruktionsdokumentation		
A1	Projektgrundlag	Modtaget projektmateriale den. 11-10-2018 af Thomas Lindhardt fra Tekment A/S
A2	Statiske beregninger	Nærværende rapport
A3	Konstruktionstegninger og modeller	I nødvendigt omfang
A4	Konstruktionsændringer	I nødvendigt omfang
B. Projektdokumentation		
B1	Statisk projekteringsrapport	I nødvendigt omfang
B2	Statisk kontrolrapport	Ikke medtaget
B3	Statisk Tilsynsrapport	Ikke medtaget

[| Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby [| +45 5126 0006 [| www.energihuset-as.dk [| info@energihuset-as.dk [CVR | 3028 3279

Stivhedskrav

Konstruktionsnormernes stivhedskrav anvendes

Kontrolklasse

Kontrolklassen henføres til:

Kontrolklasse: Normal

IKT-værktøjer

Office-pakken

Referencer

Tegningsmateriale:

- DK_2018_Produktdatablad_Cetris Cementspånplader
- Phonotherm+200+folder
- tekment sips

Statiske beregninger

1. Beregningsforudsætninger

Opbygning af Tekment vægelement:

- Cetris cementspånplade: 18 mm
- Inhomogent lag, PUR og Phonotherm: 300 mm
- Cetris cementspånplade: 18 mm

Styrke- og stivhedstal for cementspånplader:

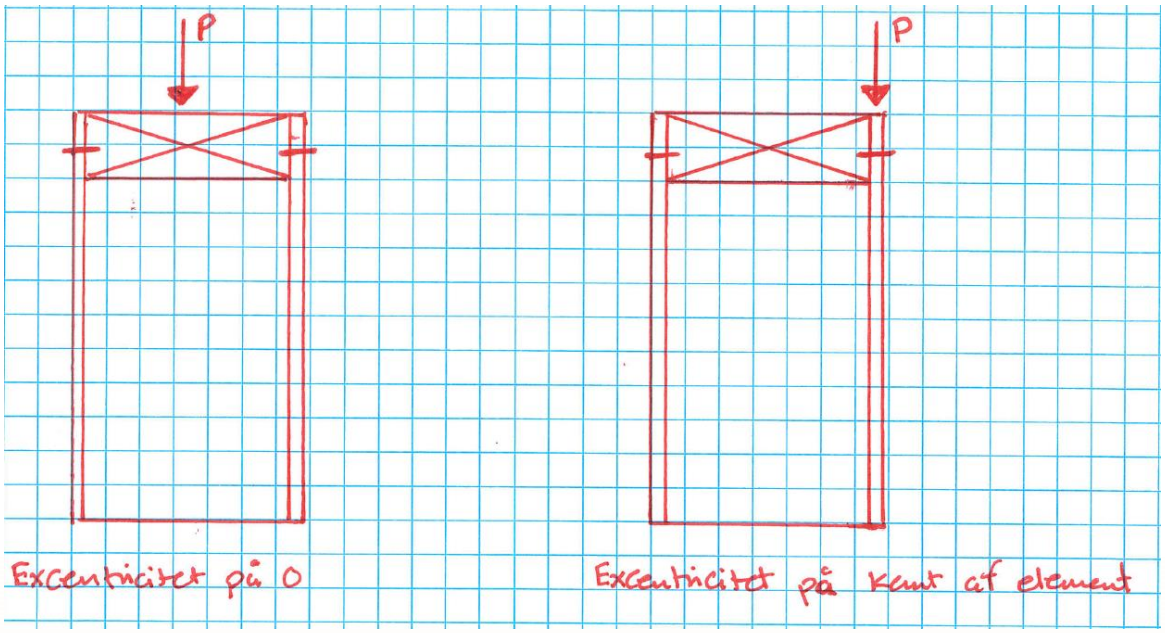
- Bøjningsstyrke: $f_{m,k} = 9{,}0\ MPa$ $f_{m,d} = 6{,}23\ MPa$
- Trykstyrke: $f_{c,k} = 13{,}20\ MPa$ $f_{c,d} = 9{,}14\ MPa$
- Trækstyrke: $f_{t,k} = 3{,}40\ MPa$ $f_{t,d} = 2{,}35\ MPa$
- Tværtrækstyrke: $f_{t,k} = 0{,}50\ MPa$ $f_{t,d} = 0{,}35\ MPa$
- E-modul: $E = 45000\ MPa$

2. Bæreevner for lodret belastning

Den lodrette last overføres fra rem til cementspånpladen igennem skruede samlinger. Remmen fastgøres igennem cementspånpladen med 6 mm skruer pr. 50 mm i begge sider af elementet.

Af hensyn til hhv. cementspånpladens og PUR-Skummets arbejdskurve, kan kun cementspånpladen optage tryk- og trækpåvirkninger.

Bæreevnen iht. den lodrette belastning på elementet beregnes for en excentricitet på 0 og på kant af element for væghøjder på hhv. 2,8 m / 3 m / 3,6 m.

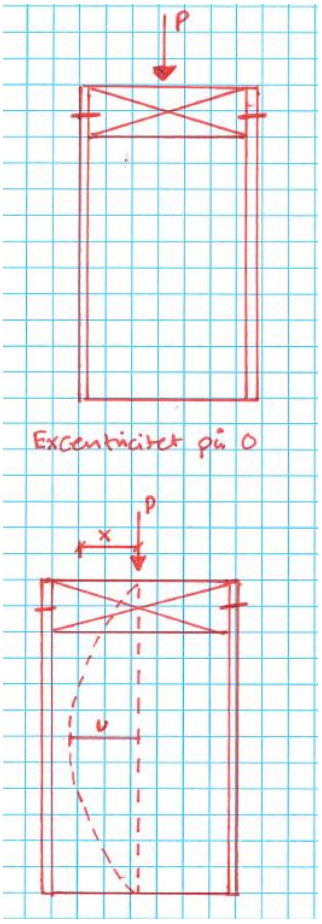


Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby | +45 5126 0006 | www.energihuset-as.dk | info@energihuset-as.dk | CVR | 3028 3279

2.1 Beregning for bæreevne iht. lodret belastning på element med excentricitet på 0:

Ved en ligevægtsbetragtning fås for lodret belastning på elementet med en excentricitet på 0:

$$\left(\frac{20\ skruer}{1000\ mm}\right) * 18\ mm * 6\ mm * 9{,}14\ MPa\ = P * \left(\frac{\left(\frac{336\ mm}{2}\right) + U_{maks}}{336\ mm}\right)$$



Bæreevnen for element med væglængde på 2800 mm:

Maksimal udbøjning:

$$U_{maks} = \frac{2800\ mm}{500} = 5{,}6\ mm$$

Bæreevne for vægelement:

$$N_{b,\,Rd} = P = 38{,}21\ \frac{N}{mm} = 38{,}21\ \frac{kN}{m}$$

Bæreevnen for element med væglængde på 3000 mm:

Maksimal udbøjning:

$$U_{maks} = \frac{3000\ mm}{500} = 6\ mm$$

Bæreevne for vægelement:

$$N_{b,\,Rd} = P = 38{,}12\ \frac{N}{mm} = 38{,}12\ \frac{kN}{m}$$

Bæreevnen for element med væglængde på 3600 mm:

Maksimal udbøjning:

$$U_{maks} = \frac{3600\ mm}{500} = 7{,}2\ mm$$

Bæreevne for vægelement:

$$N_{b,\,Rd} = P = 37{,}86\ \frac{N}{mm} = 37{,}86\ \frac{kN}{m}$$

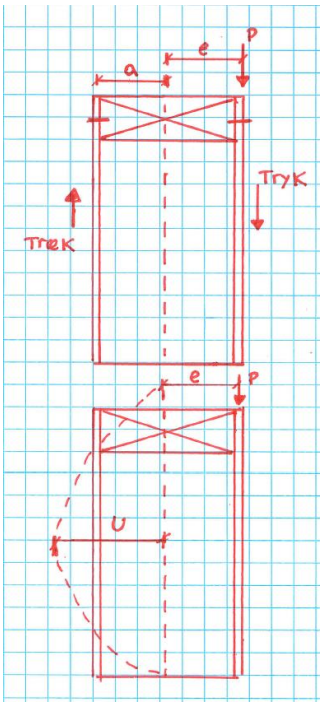
Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby | +45 5126 0006 | www.energihuset-as.dk | info@energihuset-as.dk | CVR | 3028 3279

2.2 Beregning for bæreevne iht. lodret belastning på element med excentricitet på kant af element:

Ved en lodret belastning på elementet med en excentricitet ved kant af element, vil der fremkomme en trækpåvirkning i elementet for at skabe ligevægt iht. den lodrette trykbelastning.

$$F_{cd} = F_{td}$$

En lodret belastning med en excentricitet vil give anledning et 1. ordens moment:



$$M_1 = e * P$$

Excentriciteten vil ligeledes give anledning til en udbøjning, her et 2. ordens moment:

$$M_2 = U * P$$

Herved bliver det samlede moment:

$$M = M_1 + M_2 = e * P + U * P = (e + U) * p$$

Excentriciteten ved kant af element:

$$e = \frac{336\ mm}{2} = 168\ mm$$

Den maksimale udbøjning for vægelementerne er givet som:

$$U_{maks} = \frac{L}{500}$$

Ved ligevægt mellem tryk og træk i vægelementerne fås for den maksimale lodrette last på vægelementerne for en excentricitet på kant af element:

$$F_{cd} = F_{td}$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{M * 0{,}5}{a} = 18\ mm * f_{t,d}$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{\left((e + U_{maks}) * P\right) * 0{,}5}{a} = 18\ mm * f_{t,d}$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{\left((168\ mm + U_{maks}) * P\right) * 0{,}5}{168\ mm - \left(\frac{18\ mm}{2}\right)} = 18\ mm * 2{,}35\ MPa$$

$$\Downarrow$$

Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby | +45 5126 0006 | www.energihuset-as.dk | info@energihuset-as.dk | CVR | 3028 3279

$$\frac{\left((168\ mm + U_{maks}) * P\right) * 0{,}5}{159\ mm} = 42{,}3\frac{N}{mm}$$

⇓

$$P = \frac{42{,}3\frac{N}{mm} * 159\ mm * 0{,}5}{(168\ mm + U_{maks})}$$

Bæreevnen for element med væglængde på 2800 mm:

$$U_{maks} = \frac{2800\ mm}{500} = 5{,}6\ mm$$

$$N_{b,\,Rd} = P = \frac{42{,}3\frac{N}{mm} * 159\ mm * 0{,}5}{(168\ mm + 5{,}6\ mm)} = 19{,}40\frac{N}{mm} = 19{,}40\frac{kN}{m}$$

Bæreevnen for element med væglængde på 3000 mm:

$$U_{maks} = \frac{3000\ mm}{500} = 6\ mm$$

$$N_{b,\,Rd} = P = \frac{42{,}3\frac{N}{mm} * 159\ mm * 0{,}5}{(168\ mm + 6\ mm)} = 19{,}36\frac{N}{mm} = 19{,}36\frac{kN}{m}$$

Bæreevnen for element med væglængde på 3600 mm:

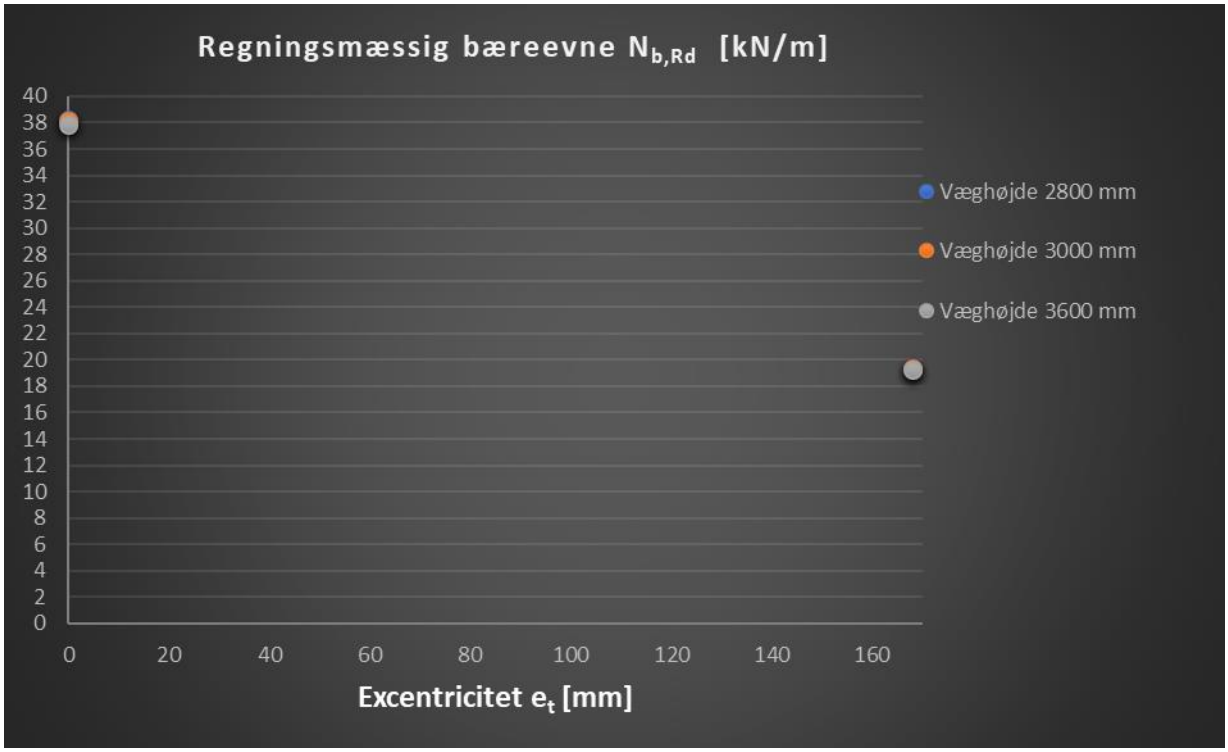
$$U_{maks} = \frac{3600\ mm}{500} = 7{,}2\ mm$$

$$N_{b,\,Rd} = P = \frac{42{,}3\frac{N}{mm} * 159\ mm * 0{,}5}{(168\ mm + 7{,}2\ mm)} = 19{,}23\frac{N}{mm} = 19{,}23\frac{kN}{m}$$

Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby | +45 5126 0006 | www.energihuset-as.dk | info@energihuset-as.dk | CVR | 3028 3279

Bæreevnediagram for vægelementer iht. lodret belastning

Bæreevnediagram for vægelementer med excentricitet på hhv. 0 og på kant af vægelement for væghøjderne 2,8 m / 3,0 m og 3,6 m:



Figur 1: Bæreevnediagram for lodret belastning på elementet i væghøjderne 2,8 m / 3,0 m / 3,6 m.

[| Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby [| +45 5126 0006 [| www.energihuset-as.dk [| info@energihuset-as.dk [CVR | 3028 3279

3. Bæreevner for vandret belastning

Bæreevnen iht. den vandrette belastning på vægelementet beregnes for følgende tre indspændinger:

- Indspænding langs alle rande (fire-sidet understøttet væg)
- Indspænding langs tre rande (tre-sidet understøttet væg)
- Indspænding langs tre rande (væg fri for oven)

Alle tre tilfælde gennemregnes for væglængder på: 3 m / 3,5 m / 4 m / 4,5 m / 5 m / 5,5 m / 6 m / 6,5 m / 7 m i højderne: 2,8 m / 3 m / 3,6 m.

Væggene regnes efter brudlinjeteorien vha. øvreværdimetoden og arbejdsligningen.

Arbejdsligningen defineres ved at det ydre arbejde = det indre arbejde: $A_y = A_i$

Det ydre arbejde bestemmes som: $A_y = \int\int p\partial dxdy + \sum P_i * \delta_i$

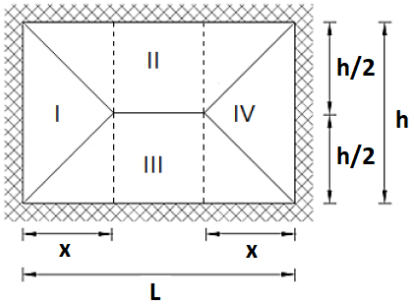
Det indre arbejde bestemmes som: $A_i = \sum m_y * l * \varphi$

Indspændingsgraden regnes for alle tilfælde som $i = 0{,}5$.

3.1 Beregning for indspænding langs alle rande (fire-sidet understøttet væg)

Vinkeldrejning for pladedelene:

$\varphi_I = \varphi_{IV} = \frac{\delta}{x}$ $\qquad$ $\varphi_{II} = \varphi_{III} = \frac{\delta}{h/2}$



Det ydre arbejde bestemmes:

$$A_y = A_{y,I} + A_{y,II} + A_{y,III} + A_{y,IV} = 2 * A_{y,I} + 2 * A_{y,II}$$

$$= 2 * \left(\left(\frac{1}{2} * x * h\right) * \left(P * \frac{1}{3}\right) * \left(x * \frac{\delta}{x}\right)\right) + 4 * \left(\left(\frac{1}{2} * x * \frac{h}{2} * \left(P * \frac{1}{3}\right) * \left(x * \frac{\delta}{x}\right)\right)\right) +$$
$$2 * \left(\left((L - 2 * x) * x * \frac{h}{2}\right) * \left(P * \frac{1}{3}\right) * \left(x * \frac{\delta}{x}\right)\right)$$

$$A_y = \frac{2}{3} * x * h * p * \delta + \frac{1}{2} * (L - 2 * x) * h * p * \delta)$$

Det indre arbejde bestemmes:

$$A_i = A_{i,I} + A_{i,II} + A_{i,III} + A_{i,IV} = 2 * A_{i,I} + 2 * A_{i,II}$$

$$= 2 * \left(\left(m_y * h * \frac{\delta}{x}\right) * 0{,}5 + \left(m_y * h * \frac{\delta}{x}\right)\right) + 2 * \left(\left(m_y * L * \frac{\delta}{h/2}\right) * 0{,}5 + \left(m_y * L * \frac{\delta}{h/2}\right)\right)$$

$$A_i = \frac{3 * m_y * h * \delta}{x} + \frac{6 * m_y * L * \delta}{h}$$

[| Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby [| +45 5126 0006 [| www.energihuset-as.dk [| info@energihuset-as.dk [CVR | 3028 3279

Af arbejdsligningen fås:

$$A_y = A_i$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{2}{3} * x * h * p * \delta + \frac{1}{2} * (L - 2 * x) * h * p * \delta) = \frac{3 * m_y * h * \delta}{x} + \frac{6 * m_y * L * \delta}{h}$$

$$\Downarrow$$

$$p = q_d = \frac{18 * m_y * (h^2 + 2 * L * x)}{x * h^2 * (-2 * x + 3 * L)}$$

Den største last, findes ved at maksimere lasten p med hensyn til x, og derefter indsætte det fundne udtryk for x i udtrykket for lasten p.

$$x = \frac{1}{2} * \frac{\left(-h + \sqrt{h^2 + 3 * L^2}\right) * h}{L}$$

Yderligere erstattes flydemomentet m_y med væggens regningsmæssige trækbæreevne $f_{t,d}$ i beregningen.

Tilfældet er gennemregnet for væglængder på: 3 m / 3,5 m / 4 m / 4,5 m / 5 m / 5,5 m / 6 m / 6,5 m / 7 m i højderne: 2,8 m / 3 m / 3,6 m. Resultaterne ses i nedenstående tabeller samt bæreevnediagram.

h [m]	L [m]	x [m]	q_d [kN/m^2]
2,80	3,00	1,45	10,11
2,80	3,50	1,31	8,90
2,80	4,00	1,21	8,17
2,80	4,50	1,13	7,67
2,80	5,00	1,06	7,30
2,80	5,50	1,00	7,02
2,80	6,00	0,95	6,79
2,80	6,50	0,91	6,61
2,80	7,00	0,87	6,45

Tabel 1: Vandret bæreevne for en væghøjde på 2,8 m

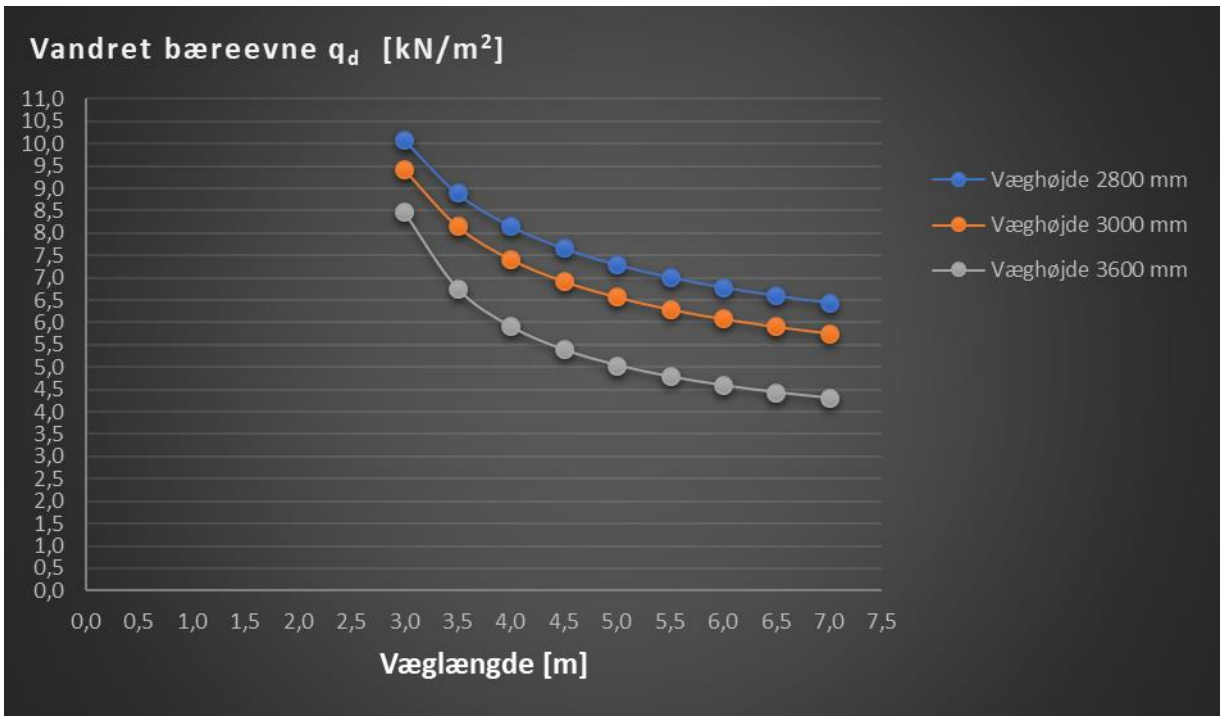
Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby | +45 5126 0006 | www.energihuset-as.dk | info@energihuset-as.dk | CVR | 3028 3279

h [m]	L [m]	x [m]	q_d [kN/m²]
3,00	3,00	1,62	9,45
3,00	3,50	1,46	8,17
3,00	4,00	1,34	7,43
3,00	4,50	1,25	6,94
3,00	5,00	1,17	6,58
3,00	5,50	1,10	6,31
3,00	6,00	1,05	6,09
3,00	6,50	1,00	5,92
3,00	7,00	0,96	5,77

Tabel 2: Vandret bæreevne for en væghøjde på 3,0 m

h [m]	L [m]	x [m]	q_d [kN/m²]
3,60	3,00	2,21	8,47
3,60	3,50	1,98	6,77
3,60	4,00	1,80	5,92
3,60	4,50	1,66	5,40
3,60	5,00	1,54	5,05
3,60	5,50	1,45	4,79
3,60	6,00	1,37	4,60
3,60	6,50	1,30	4,44
3,60	7,00	1,24	4,31

Tabel 3: Vandret bæreevne for en væghøjde på 3,6 m

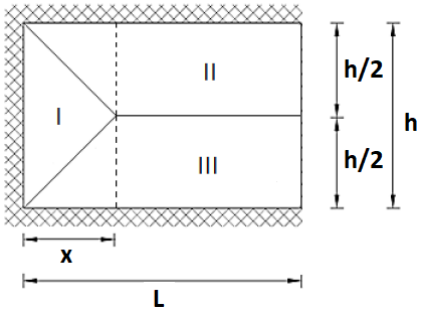


Figur 2: Bæreevnediagram for vandret belastning for indspænding 1 i væghøjderne 2,8 m / 3,0 m / 3,6 m.

[| Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby [| +45 5126 0006 [| www.energihuset-as.dk [| info@energihuset-as.dk [CVR | 3028 3279

3.2 Beregning for indspænding langs tre rande (tre-sidet understøttet væg)

Vinkeldrejning for pladedelene:



$$\varphi_I = \frac{\delta}{x} \qquad \varphi_{II} = \varphi_{III} = \frac{\delta}{h/2}$$

Det ydre arbejde bestemmes:

$$A_y = A_{y,I} + A_{y,II} + A_{y,III} = A_{y,I} + 2 * A_{y,II}$$

$$= \left(\left(\frac{1}{2} * x * h\right) * \left(P * \frac{1}{3}\right) * \left(x * \frac{\delta}{x}\right)\right) + 2 * \left(\left(\frac{1}{2} * x * \frac{h}{2} * \left(P * \frac{1}{3}\right) * \left(x * \frac{\delta}{x}\right)\right)\right) +$$
$$2 * \left(\left((L - x) * x * \frac{h}{2}\right) * \left(P * \frac{1}{3}\right) * \left(x * \frac{\delta}{x}\right)\right)$$

$$A_y = \frac{\delta * h * p * x * (L - x + 1)}{3}$$

Det indre arbejde bestemmes:

$$A_i = A_{i,I} + A_{i,II} + A_{i,III} = A_{i,I} + 2 * A_{i,II}$$

$$= \left(\left(m_y * h * \frac{\delta}{x}\right) * 0{,}5 + \left(m_y * h * \frac{\delta}{x}\right)\right) + 2 * \left(\left(m_y * L * \frac{\delta}{h/2}\right) * 0{,}5 + \left(m_y * L * \frac{\delta}{h/2}\right)\right)$$

$$A_i = \frac{\delta * m_y * (1{,}5 * h^2 + 6 * L * x)}{h * x}$$

Af arbejdsligningen fås:

$$A_y = A_i$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{\delta * h * p * x * (L - x + 1)}{3} = \frac{\delta * m_y * (1{,}5 * h^2 + 6 * L * x)}{h * x}$$

$$\Downarrow$$

$$p = q_d = \frac{3 * m_y * (1{,}5 * h^2 + 6 * L * x)}{h^2 * x^2 * (L - x + 1)}$$

Den største last, findes ved at maksimere lasten p med hensyn til x, og derefter indsætte det fundne udtryk for x i udtrykket for lasten p.

$$x = \frac{0{,}125 * (2 * L + 2 * L^2 - 1{,}5 * h^2 - 0{,}5 * \sqrt{(4 * L^2 + 4 * L + 9 * h^2) * (4 * L^2 + 4 * L + h^2)})}{L}$$

Yderligere erstattes flydemomentet m_y med væggens regningsmæssige trækbæreevne $f_{t,d}$ i beregningen.

Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby | +45 5126 0006 | www.energihuset-as.dk | info@energihuset-as.dk | CVR | 3028 3279

Tilfældet er gennemregnet for væglængder på: 3 m / 3,5 m / 4 m / 4,5 m / 5 m / 5,5 m / 6 m / 6,5 m / 7 m i højderne: 2,8 m / 3 m / 3,6 m. Resultaterne ses i nedenstående tabeller samt bæreevnediagram.

h [m]	L [m]	x [m]	q_d [kN/m^2]
2,80	3,00	2,21	5,31
2,80	3,50	2,44	4,63
2,80	4,00	2,68	4,11
2,80	4,50	2,92	3,71
2,80	5,00	3,16	3,38
2,80	5,50	3,40	3,12
2,80	6,00	3,64	2,89
2,80	6,50	3,88	2,70
2,80	7,00	4,12	2,53

Tabel 4: Vandret bæreevne for en væghøjde på 2,8 m

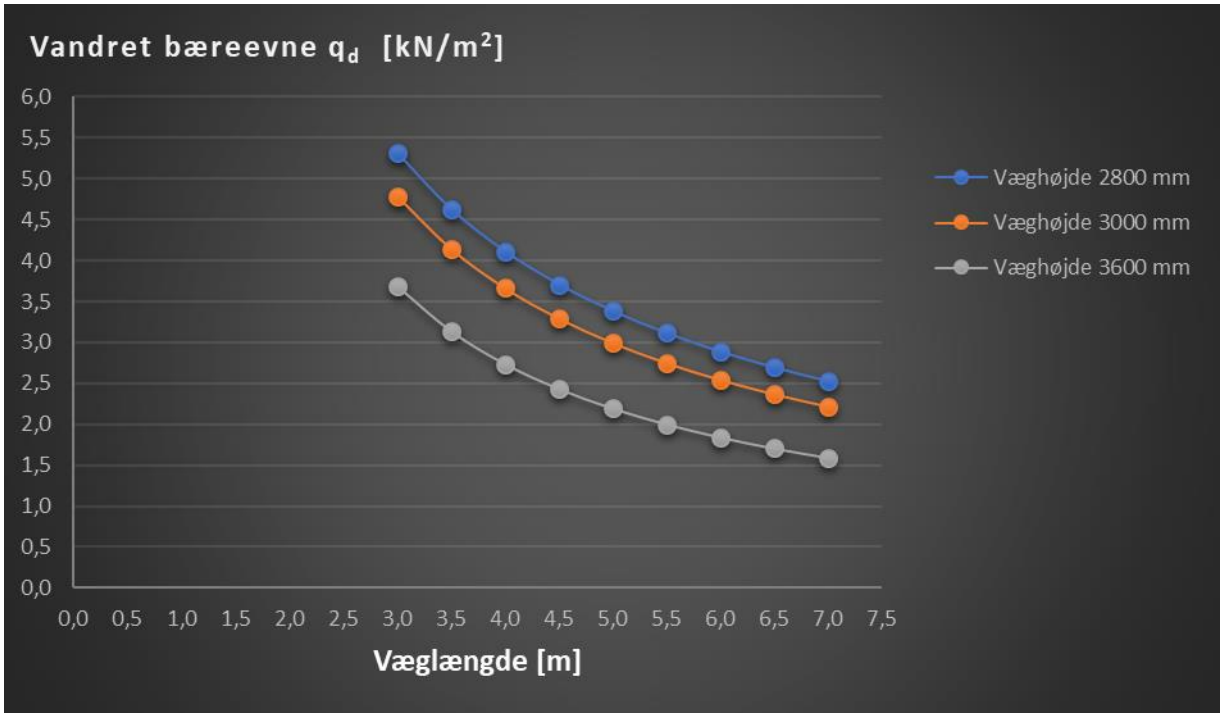
h [m]	L [m]	x [m]	q_d [kN/m^2]
3,00	3,00	2,22	4,78
3,00	3,50	2,46	4,14
3,00	4,00	2,70	3,66
3,00	4,50	2,94	3,29
3,00	5,00	3,18	3,00
3,00	5,50	3,42	2,75
3,00	6,00	3,66	2,55
3,00	6,50	3,90	2,37
3,00	7,00	4,14	2,22

Tabel 5: Vandret bæreevne for en væghøjde på 3,0 m

h [m]	L [m]	x [m]	q_d [kN/m^2]
3,60	3,00	2,28	3,69
3,60	3,50	2,52	3,14
3,60	4,00	2,76	2,74
3,60	4,50	2,99	2,43
3,60	5,00	3,23	2,19
3,60	5,50	3,47	2,00
3,60	6,00	3,71	1,84
3,60	6,50	3,95	1,71
3,60	7,00	4,19	1,59

Tabel 6: Vandret bæreevne for en væghøjde på 3,6 m

[| Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby [| +45 5126 0006 [| www.energihuset-as.dk [| info@energihuset-as.dk [CVR | 3028 3279

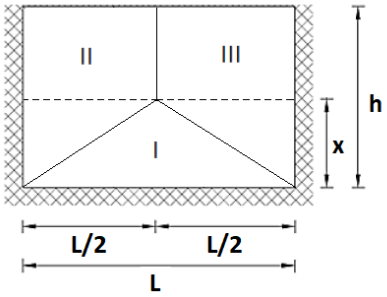


Figur 3: Bæreevnediagram for vandret belastning for indspænding 2 i væghøjderne 2,8 m / 3,0 m / 3,6 m.

3.3 Beregning for indspænding langs tre rande (væg fri for oven)

Vinkeldrejning for pladedelene:

$$\varphi_I = \frac{\delta}{x} \qquad \varphi_{II} = \varphi_{III} = \frac{\delta}{h/2}$$



Det ydre arbejde bestemmes:

$$A_y = A_{y,I} + A_{y,II} + A_{y,III} = A_{y,I} + 2 * A_{y,II}$$

$$= \left(\left(\frac{1}{2} * x * L\right) * \left(P * \frac{1}{3}\right) * \left(x * \frac{\delta}{x}\right)\right) + 2 * \left(\left(\frac{1}{2} * x * \frac{L}{2} * \left(P * \frac{1}{3}\right) * \left(x * \frac{\delta}{x}\right)\right)\right) +$$

$$2 * \left(\left((h - x) * x * \frac{L}{2}\right) * \left(P * \frac{1}{3}\right) * \left(x * \frac{\delta}{x}\right)\right)$$

$$A_y = \frac{L * \delta * p * x * (h - x + 1)}{3}$$

Det indre arbejde bestemmes:

$$A_i = A_{i,I} + A_{i,II} + A_{i,III} = A_{i,I} + 2 * A_{i,II}$$

$$= \left(\left(m_y * L * \frac{\delta}{x}\right) * 0{,}5 + \left(m_y * L * \frac{\delta}{x}\right)\right) + 2 * \left(\left(m_y * h * \frac{\delta}{L/2}\right) * 0{,}5 + \left(m_y * h * \frac{\delta}{L/2}\right)\right)$$

$$A_i = \frac{\delta * m_y * (1{,}5 * L^2 + 6 * h * x)}{L * x}$$

Af arbejdsligningen fås:

$$A_y = A_i$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{L * \delta * p * x * (h - x + 1)}{3} = \frac{\delta * m_y * (1{,}5 * L^2 + 6 * h * x)}{L * x}$$

$$\Downarrow$$

$$p = q_d = \frac{3 * m_y * (1{,}5 * L^2 + 6 * h * x)}{L^2 * x^2 * (h - x + 1)}$$

Den største last, findes ved at maksimere lasten p med hensyn til x, og derefter indsætte det fundne udtryk for x i udtrykket for lasten p.

$$x = \frac{0{,}0625 * (4 * L + 4 * L^2 + \sqrt{16 * L^4 + 32 * L^3 + 40 * L^2 * h^2 + 16 * L^2 + 40 * L * h^2 + 9 * h^4} - 3 * h^2)}{L}$$

Yderligere erstattes flydemomentet m_y med væggens regningsmæssige trækbæreevne $f_{t,d}$ i beregningen.

Tilfældet er gennemregnet for væglængder på: 3 m / 3,5 m / 4 m / 4,5 m / 5 m / 5,5 m / 6 m / 6,5 m / 7 m i højderne: 2,8 m / 3 m / 3,6 m. Resultaterne ses i nedenstående tabeller samt bæreevnediagram.

h [m]	L [m]	x [m]	q_d [kN/m^2]
2,80	3,00	2,13	5,10
2,80	3,50	2,17	4,12
2,80	4,00	2,21	3,47
2,80	4,50	2,25	3,03
2,80	5,00	2,28	2,71
2,80	5,50	2,30	2,47
2,80	6,00	2,33	2,29
2,80	6,50	2,35	2,15
2,80	7,00	2,37	2,03

Tabel 7: Vandret bæreevne for en væghøjde på 2,8 m

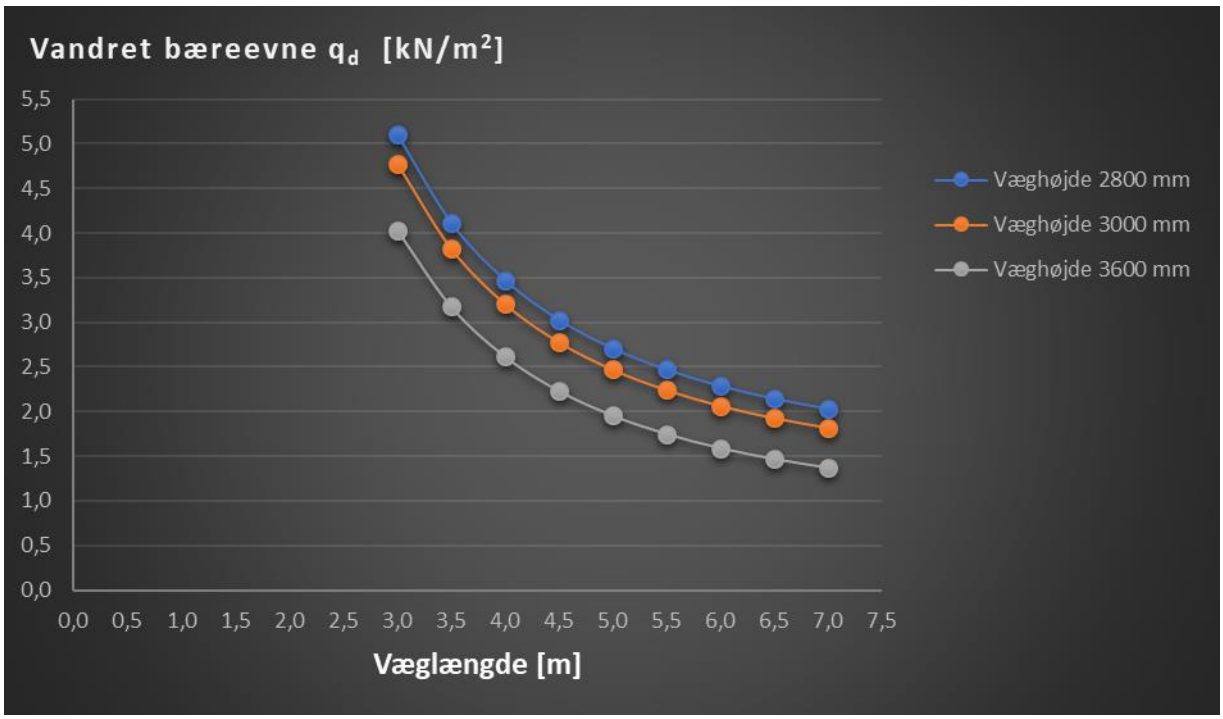
Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby | +45 5126 0006 | www.energihuset-as.dk | info@energihuset-as.dk | CVR | 3028 3279

h [m]	L [m]	x [m]	q_d [kN/m²]
3,00	3,00	2,22	4,78
3,00	3,50	2,27	3,83
3,00	4,00	2,31	3,21
3,00	4,50	2,35	2,78
3,00	5,00	2,38	2,47
3,00	5,50	2,41	2,24
3,00	6,00	2,43	2,07
3,00	6,50	2,46	1,93
3,00	7,00	2,47	1,82

Tabel 8: Vandret bæreevne for en væghøjde på 3,0 m

h [m]	L [m]	x [m]	q_d [kN/m²]
3,60	3,00	2,51	4,04
3,60	3,50	2,56	3,18
3,60	4,00	2,60	2,62
3,60	4,50	2,64	2,23
3,60	5,00	2,68	1,95
3,60	5,50	2,71	1,75
3,60	6,00	2,74	1,59
3,60	6,50	2,77	1,47
3,60	7,00	2,80	1,37

Tabel 9: Vandret bæreevne for en væghøjde på 3,6 m



Figur 4: Bæreevnediagram for vandret belastning for indspænding 3 i væghøjderne 2,8 m / 3,0 m / 3,6 m.

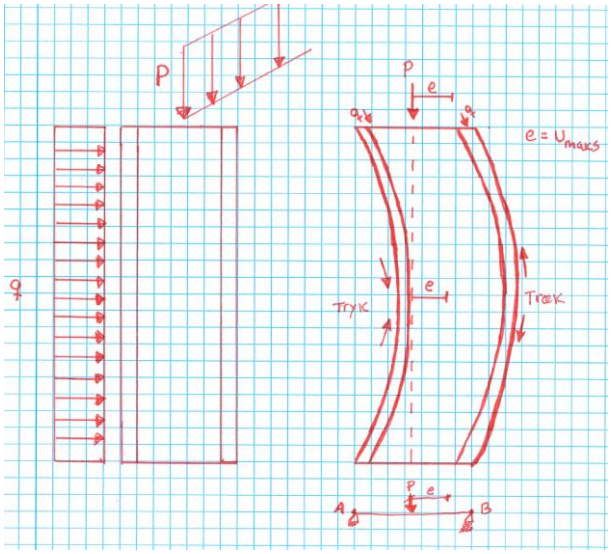
[| Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby [| +45 5126 0006 [| www.energihuset-as.dk [| info@energihuset-as.dk [CVR | 3028 3279

4. Bæreevner for kombination af hhv. vandret og lodret belastning

Bæreevnen iht. kombination af vandret og lodret belastning på vægelementet beregnes for væghøjderne: 2,8 m / 3 m / 3,6 m.

De vandrette og lodrette laster overføres fra mellem cementspåndplader og rem, idet det forudsættes at kun cementspånpladen kan optage tryk- og trækpåvirkninger af hensyn til hhv. cementspånpladens og PUR-Skummets arbejdskurve. Cementspånpladerne indlimes til remmen med fuld vedhæftning i pladerne.

Den lodrette belastning på vægelementet giver en normalkraft i centerlinjen, der dog grundet udbøjning som følge af en ekstra trykkraft fra den vandrette belastning, forskydes med en afstand fra centerlinjen således at normalkraften giver en excentrisk påvirkning på vægelementet.



Bæreevnen af vægelementet defineres ved en momentbæreevne pr. løbende meter, der afhænger af såvel væghøjden som størrelsen på den virkende normalkraft på væggen.

Der undersøges for moment i vægelementets trækside med en given normalkraft N. Momentet vil være voksende med normalkraften indtil brudgrænsen nås i tryksiden, hvorfor denne undersøges efter hver momentberegning.

Momentet og brudspændingen undersøges ud fra følgende formler:

$$M = \left(\left(\frac{18\ mm * 1000\ mm * f_{td}}{1000}\right) + R_B\right) * 0{,}168\ m \quad , \quad \sigma_{cd} = \left(\frac{R_A * 1000}{18\ mm * 1000}\right) + \left(\frac{\left(\frac{M_{Træk} * 1000}{0{,}168\ m}\right)}{18\ mm * 1000}\right) \leq f_{cd}$$

Når brudgrænsen i tryksiden opnås, sænkes momentet med en voksende normalkraft, idet tryksiden nu betragtes ved følgende formel:

$$M = \left(\left(\frac{18\ mm * 1000\ mm * f_{cd}}{1000}\right) - R_A\right) * 0{,}168\ m$$

Den maksimale udbøjning for vægelementerne (U_{maks}) samt reaktionerne i hhv. tryksiden (R_A) og træksiden (R_B) bestemmes som:

$$U_{maks} = \frac{l}{500} \qquad R_A = N * \frac{\left(\frac{336\ mm}{2} - U_{maks}\right)}{338\ mm} \qquad R_B = N * \frac{\left(\frac{336\ mm}{2} + U_{maks}\right)}{338\ mm}$$

Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby | +45 5126 0006 | www.energihuset-as.dk | info@energihuset-as.dk | CVR | 3028 3279

Tilfældet med kombineret vandret og lodret belastning er gennemregnet for tre væghøjder på hhv. 2,8 m / 3 m / 3,6 m. Resultaterne ses i nedenstående tabeller samt bæreevnediagram.

N [kN/m]	M [kNm/m]	N [kN/m]	M [kNm/m]	N [kN/m]	M [kNm/m]
0	2,37	115	5,70	230	2,99
5	2,52	120	5,84	235	2,85
10	2,66	125	5,83	240	2,72
15	2,81	130	5,69	245	2,58
20	2,95	135	5,56	250	2,44
25	3,10	140	5,42	255	2,31
30	3,24	145	5,29	260	2,17
35	3,39	150	5,15	265	2,04
40	3,53	155	5,02	270	1,90
45	3,67	160	4,88	275	1,77
50	3,82	165	4,75	280	1,63
55	3,96	170	4,61	285	1,50
60	4,11	175	4,47	290	1,36
65	4,25	180	4,34	295	1,23
70	4,40	185	4,20	300	1,09
75	4,54	190	4,07	305	0,96
80	4,69	195	3,93	310	0,82
85	4,83	200	3,80	315	0,69
90	4,98	205	3,66	320	0,55
95	5,12	210	3,53	325	0,41
100	5,27	215	3,39	330	0,28
105	5,41	220	3,26	335	0,14
110	5,56	225	3,12	340	0,01

Tabel 10: Kombination af vandret og lodret bæreevne for en væghøjde på 2,8 m

[| Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby [| +45 5126 0006 [| www.energihuset-as.dk [| info@energihuset-as.dk [CVR | 3028 3279

N [kN/m]	M [kNm/m]	N [kN/m]	M [kNm/m]	N [kN/m]	M [kNm/m]
0	2,37	115	5,71	230	3,00
5	2,52	120	5,85	235	2,87
10	2,66	125	5,84	240	2,73
15	2,81	130	5,70	245	2,60
20	2,95	135	5,57	250	2,46
25	3,10	140	5,43	255	2,33
30	3,24	145	5,30	260	2,19
35	3,39	150	5,16	265	2,06
40	3,53	155	5,03	270	1,92
45	3,68	160	4,89	275	1,79
50	3,82	165	4,76	280	1,65
55	3,97	170	4,62	285	1,52
60	4,11	175	4,49	290	1,38
65	4,26	180	4,35	295	1,25
70	4,40	185	4,22	300	1,11
75	4,55	190	4,08	305	0,98
80	4,69	195	3,95	310	0,84
85	4,84	200	3,81	315	0,71
90	4,98	205	3,68	320	0,57
95	5,13	210	3,54	325	0,44
100	5,27	215	3,41	330	0,30
105	5,42	220	3,27	335	0,17
110	5,56	225	3,14	340	0,03

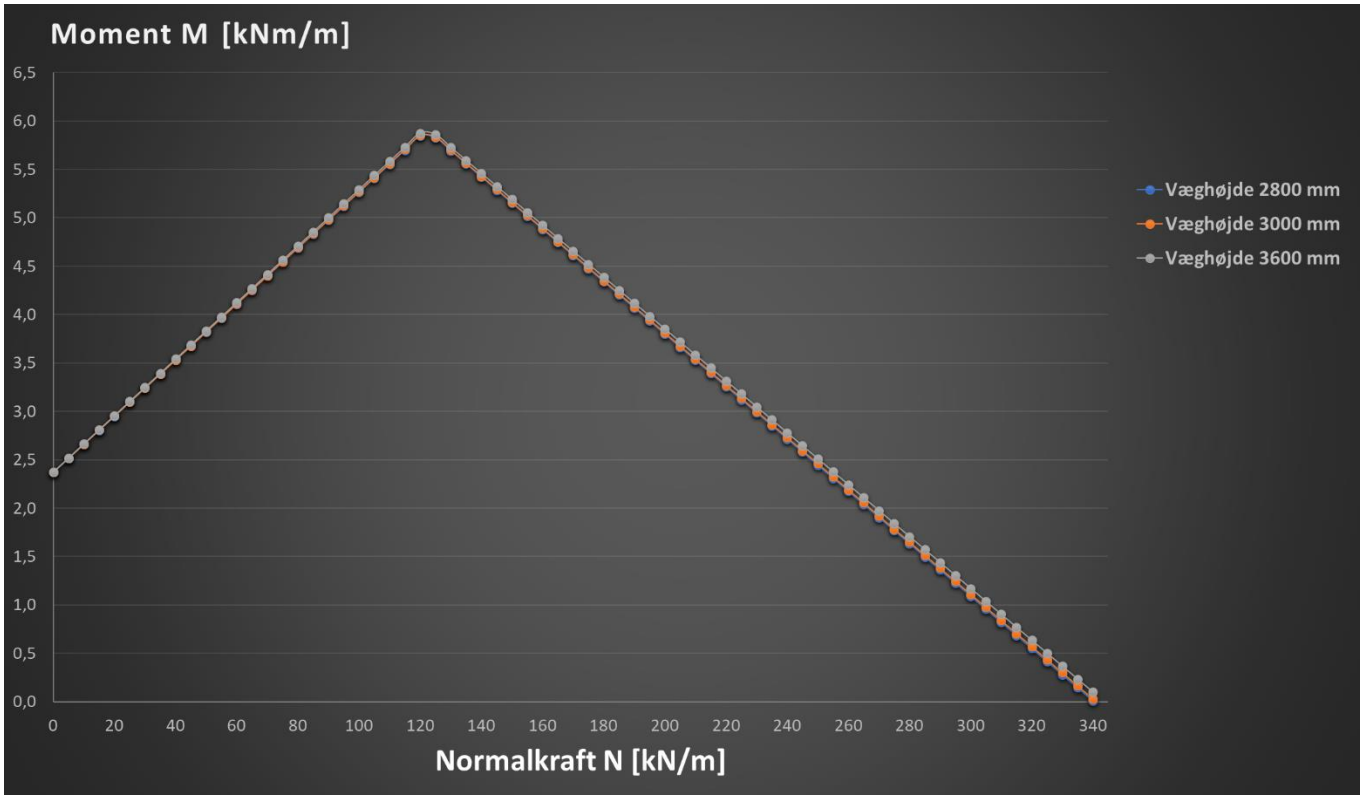
Tabel 11: Kombination af vandret og lodret bæreevne for en væghøjde på 3,0 m

[| Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby [| +45 5126 0006 [| www.energihuset-as.dk [| info@energihuset-as.dk [CVR | 3028 3279

N [kN/m]	M [kNm/m]	N [kN/m]	M [kNm/m]	N [kN/m]	M [kNm/m]
0	2,37	115	5,73	230	3,05
5	2,52	120	5,88	235	2,91
10	2,66	125	5,86	240	2,78
15	2,81	130	5,73	245	2,65
20	2,96	135	5,59	250	2,51
25	3,10	140	5,46	255	2,38
30	3,25	145	5,33	260	2,24
35	3,39	150	5,19	265	2,11
40	3,54	155	5,06	270	1,98
45	3,69	160	4,92	275	1,84
50	3,83	165	4,79	280	1,71
55	3,98	170	4,66	285	1,57
60	4,12	175	4,52	290	1,44
65	4,27	180	4,39	295	1,31
70	4,42	185	4,25	300	1,17
75	4,56	190	4,12	305	1,04
80	4,71	195	3,99	310	0,90
85	4,85	200	3,85	315	0,77
90	5,00	205	3,72	320	0,64
95	5,15	210	3,58	325	0,50
100	5,29	215	3,45	330	0,37
105	5,44	220	3,32	335	0,23
110	5,58	225	3,18	340	0,10

Tabel 12: Kombination af vandret og lodret bæreevne for en væghøjde på 3,6 m

[| Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby [| +45 5126 0006 [| www.energihuset-as.dk [| info@energihuset-as.dk [CVR | 3028 3279



Figur 5: Bæreevnediagram for kombination af vandret og lodret belastning i væghøjderne 2,8 m / 3,0 m / 3,6 m.

[| Sæbygårdvej 15 - DK-9300 Sæby [| +45 5126 0006 [| www.energihuset-as.dk [| info@energihuset-as.dk [CVR | 3028 3279