

# Dimensjonering av murvegger påkjent av horisontal last

## Del 1 Teorigrunnlag

Mur-Sentret  
Forskningsvn. 3b  
P.b. 53 Blindern, 0313 OSLO

Tlf. 22 93 07 60  
Faks 22 60 11 92  
e-post: [post@mur-sentret.no](mailto:post@mur-sentret.no)  
Internett: [www.mur-sentret.no](http://www.mur-sentret.no)



murbransjens  
informasjons- og  
kompetansesenter

Forord .....	2
Litteraturhenvisninger .....	2
<b>1 Generelt .....</b>	<b>3</b>
Symboler .....	4
<b>2 Bruddlinjeteori .....</b>	<b>6</b>
2.1 Innføring .....	6
2.2 Definisjon og randbetingelser .....	6
<b>3 Bestemmelse av veggens   kritiske horisontale bruddlast .....</b>	<b>8</b>
3.1 Innføring .....	8
3.2 Eksempel: 4-sidig opplagret vegg .....	8
3.3 Innflytelse av vertikale mørtelfuger og forbandtype på bruddlast .....	13
3.4 Enveisplater.....	14
<b>4 Bestemmelse av veggens   momentkapasiteter .....</b>	<b>16</b>
4.1 Uarmert murverk.....	16
4.2 Armert murverk.....	16
<b>5 Implementering av veggens   dimensjonerende kapasitet .....</b>	<b>18</b>
5.1 Fremgangsmåte .....	18
5.2 Høydens forhold til slankhet.....	18
5.3 Omregningskoeffisienter .....	20
<b>6 Konstruksjonsregler .....</b>	<b>21</b>
6.1 Uarmert murverk.....	21
6.2 Armert murverk .....	21
<b>7 Diagrammer .....</b>	<b>22</b>
7.1 Generelle forutsetninger.....	22
7.2 Avlesning av diagrammer.....	22
7.3 Diagramfortegnelse (Del 2).....	25
<b>8 Tillegg .....</b>	<b>26</b>
8.1 Bruddlastens formler .....	26
8.2 Momentkapasitetens formler: armert tverrsnitt.....	45

## Forord

Revisjon av Murkatalogen pågår kontinuerlig, men er begrenset til de deler som til enhver tid vurderes å ha størst behov for oppdatering på grunn av endringer i teknologi, produkter eller normative referanser. Revisjonene utgis både i elektronisk form på [www.murkatalogen.no](http://www.murkatalogen.no) og som enkeltdele i papirutgave, normalt en gang pr år.

Denne anvisning S1 erstatter tidligere utgave fra 2000. Anvisningen er oppgradert iht. beregningsregler og materialparametre gitt i NS 3475, Prosjektering av murkonstruksjoner. Beregnings- og konstruksjonsregler 2. utgave mai 2004.

Anvisningen er av praktiske årsaker delt i to deler:

Del 1 Teorigrunnlag

Del 2 Diagrammer

Ansvarlig for revisjonen har vært Dr. ing. Tharcisse Baricako.

ISBN-13: 978-82-92756-00-3 (Murkatalogen)

ISBN-10: 82-92756-00-0 (Murkatalogen)

ISBN-13: 978-82-92756-41-6 (S1)

ISBN-10: 82-92756-41-8 (S1)

## Litteraturreferanser

- [1] Cajdert, Arne, Laterally loaded masonry walls, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 1980.
- [2] Anvisning nr. S1 Murkatalogen, Mur-Sentret 1985.
- [3] Anvisning nr. S1 Murkatalogen, Mur-Sentret 2000.
- [4] Anvisning nr. S2 Murkatalogen, Mur-Sentret 2005.
- [5] NS 3475, Prosjektering av murkonstruksjoner, beregnings- og konstruksjonsregler, 2.utgave mai 2004.
- [6] Norsk standard, NS-EN 1996-1-1:2006.
- [7] Curtin, W.G., Shaw, G., Beck, J.K. and Bray W.A., Structural masonry designers' manual, Granada, Great Britain, 1982.
- [8] Mauerwerkkalender, Ernst&Sohn, 1995.
- [9] Dimensjonering av murkonstruksjoner etter NS 3475, NTNU Institutt for bygg-, anlegg og transport, Institutt for konstruksjonsteknikk, 2.utg.
- [10] Leca Teknisk Håndbok, maxit Group, 2006.
- [11] Boverkets konstruktionsregler, Sverige, 1995.

# 1 Generelt

Denne anvisningen inneholder teorigrunnlag og diagrammer for dimensjonering av murvegger påkjent av horisontal belastning. Da bøyestrekkefastheter som brukes for bestemmelse av murveggenes momentkapasiteter gjelder for korttidslaster, er det i utgangspunktet vindbelastning som er omtalt her. Likevel dekker dimensjoneringsprinsippene andre horisontale belastningstyper, der bøyestrekkefastheter ikke er involvert i bestemmelse av veggens momentkapasiteter.

Formler og diagrammer er utviklet slik at det oppnås samsvar med dimensjoneringsprogrammet MurDim. Bakgrunnen for dette er å tilby et teoretisk og praktisk hjelpemiddel for å kunne dimensjonere murvegger. Diagrammene angir den laveste dimensjonerende veggkapasiteten.

Diagrammene består av kurver som er knyttet til lengde/høyde forhold og veggtykkelse. Da det for uarmerte vegger foreligger et kvadratisk forhold mellom veggkapasitet og veggtykkelse, er det utviklet en koeffisient som uttrykker dette forholdet for to forskjellige tykkelser, slik at det blir tilstrekkelig med ett diagram for å utlede kapasiteten for andre veggtykkelser av samme materiale. En lignende koeffisient er utledet

fra det lineære forholdet mellom veggkapasiteten og materialfaktoren.

Veggens bæreevne varierer med murproduktets og armeringens egenskaper, veggtykkelse og veggfastholdelse. Anvisningen viser diagrammer for produkter, randbetingelser, veggtykkelser og materialegenskaper som oftest er i bruk. Forøvrig inneholder MurDim mange andre kombinasjonsmuligheter.

Det teoretiske grunnlaget er basert på samme bruddlinjeteori som ble utviklet i de tidligere anvisningene. Innflytelse av parametere som vertikal mørtelfuge, forbandtype og egenlast er nøyere undersøkt. Anvisningen dokumenterer at veggens bruddlast er større med enn uten vertikal mørtelfuge. Det samme gjelder når egenlast er medtatt i veggens momentkapasitet. Diagrammene er imidlertid opprettet for murvegger med vertikal mørtelfuge, halvsteins løperforband og uten hensyn til egenlast. For murprodukter som i praksis mures opp uten mørtel i stussfuger innfører [6] en reduksjonsfaktor av murverkets bøyestrekkefastheter knyttet til denne retningen. For lettklinkeblokker foreslår [11] en reduksjonsfaktor på 0,75.

## Symboler

### Latinske bokstaver

H	vegg høyde,
L	vegg lengde,
$m_x$	enhetsmoment som forårsaker spenninger i x-retning ved momentrotasjon om y-akse,
$m_y$	enhetsmoment som forårsaker spenninger i y-retning ved momentrotasjon om x-akse,
$m_\theta$	enhetsmoment som forårsaker spenninger i skrå retning ved momentrotasjon om skrå akse,
$n_x, n_y$	randbetingelse langs x- resp. y-akse,
x, y	posisjon av den minste bruddlastens bruddlinje i x- resp. y-retning,
$A_{in,+}$	indre arbeid med hensyn til vertikale mørtelfugers motstand i den skrå bruddlinjen,
$A_{in,-}$	indre arbeid uten hensyn til vertikale mørtelfugers motstand i den skrå bruddlinjen,
$A_{if}$	innflytelse av mørtel i stussfuger på indre arbeid,
$A_{yt}$	ytre arbeid,
$q_+, q_-$	bruddlast med resp. uten hensyn til mørtel i stussfuger,
$q_f$	innflytelse av mørtel i stussfuger på ytre arbeid,
a	forbandtypens parameter,
$h_{pp}, l_{pp}$	murproduktets tykkelse resp. lengde,
$h_m$	liggefugens tykkelse,
$h_p, l_p$	murproduktets tykkelse og lengde inklusiv fugens tykkelse,
M	moment,
$M_x, M_y$	moment om y- resp. x-akse,
$m_{dx}$	dimensjonerende enhetsmoment om y-akse,
$m_{dy}$	dimensjonerende enhetsmoment om x-akse,
W	motstandmoment,
$f_{inx}$	murverkets konstruksjonsfasthet for bøyestrek i x-retning,
$f_{iny}$	murverkets konstruksjonsfasthet for bøyestrek i y-retning,
b	bredde på 1 m,
h	murveggs tykkelse,
$m_{dgy}$	dimensjonerende enhetsmoment med hensyn til egenlast,
$g_d$	veggs dimensjonerende egenlast,
$f_{cd}$	murverkets dimensjonerende trykkfasthet,
$M_{cd}$	tverrsnittets momentkapasitet, trykksone,
d	avstand mellom strekkarmeringens tyngdepunktsakse og trykkanten,
$\alpha d$	uttrykker utbredelse av tverrsnittets trykksone,
$M_{sd}$	tverrsnittets momentkapasitet, strekksone,
$A_s$	armeringens areal, generelt,
$f_{sk}, f_{sd}$	armeringens karakteristiske og dimensjonerende fasthet,
$A_c$	areal av lastbærende murverkstverrsnitt med fradrag for eventuell armering,
$f_{tk}, f_{td}$	murverkets karakteristiske og dimensjonerende strekkfasthet,
$K_s$	koeffisient som viser innflytelse av glidesjikt på svinnarmering,
$l_e$	beregningsmessig knekk lengde/effektiv lengde,
$h_e$	effektiv veggtykkelse ved slankhetsberegning,
$k_n$	reduksjonsfaktor ved knekk lengdeberegning, n viser antall av fastholdte sider,
$k_2$	reduksjonsfaktor ved beregning av den 2-sidig fastholdte veggens knekk lengde,
$k_3$	reduksjonsfaktor ved beregning av den 3-sidig fastholdte veggens knekk lengde,
$k_4$	reduksjonsfaktor ved beregning av den 4-sidig fastholdte veggens knekk lengde,
$H_{lim}$	veggs høydegrense grunnet slankhetsbegrensning,
$L_{lim}$	veggs lengdegrense grunnet slankhetsbegrensning,
$h_1, h_2$	angitte veggtykkelser,
$q_1, q_2$	veggkapasiteter,
c	armeringens overdekning,
$s_h$	tillatt horisontal avstand mellom to stenger i en fugearmering,
$s_x$	tillatt horisontal avstand mellom to vertikale armeringsstenger,
$s_y$	tillatt vertikal avstand mellom to horisontale armeringsstenger,
$q_{226}$	veggkapasitet for helsteins teglvegg,
$q_{104}$	veggkapasitet for halvsteins teglvegg,
$d_1$	avstand mellom trykkarmeringens tyngdepunktsakse og trykkanten,
$h'$	avstand mellom strekk- og trykkarmeringens tyngdepunktslinjer,
$A'_s$	tverrsnittsareal av trykkarmering,
$F_{s1}$	armeringens trykkraft i tverrsnittets trykksone,
$F_c$	murverkets indre trykkraft i tverrsnittets trykksone,

$A_{s2}$	tværsnittets areal av strekkarmering,
$F_{s2}, F_s$	armeringens indre strekkraft i tværsnittets strekksone,
$z$	indre momentarm mellom $F_{s2}$ resp. $F_s$ og $F_c$ ,
$E_s$	armeringens elastisitetmodul,
N.A.	nøytral akse.

#### Greske bokstaver

$\theta$	bruddlinjens vinkel,
$\omega_x, \omega_y$	veggens enhetsrotasjoner,
$\delta_z$	veggens enhetsforskyvning,
$\beta$	dimensjonsforhold lengde/høyde,
$\gamma$	forhold murproduktets lengde/tykkelse inklusiv liggefugens tykkelse,
$\sigma$	spenning,
$\gamma_M$	murverkets materialfaktor,
$\alpha$	koeffisient som viser posisjon av nøytral akse ifht tværsnittets effektive høyde,
$\epsilon_{cu}$	murverkets tøyningsgrense ved trykk i bruddgrensetilstanden,
$\epsilon_{sy}$	ståltøyning ved flytespenning,
$\lambda$	veggens geometriske slankhet,
$\gamma_{M1}$	angitt murverkets materialfaktor,
$\gamma_{M2}$	angitt murverkets materialfaktor,
$\Phi_s$	diameter av en angitt armeringsstang,
$\epsilon_{s1}, \epsilon_{s2}$	opptredende ståltøyninger,
$\epsilon_c$	opptredende randtrykk-tøyning i murverk.

---

## 2 Bruddlinjeteori

---

### 2.1 Innføring

Veggens bæreevne for horisontallast bestemmes ved å anta at veggens befinner seg i en bruddgrensetilstand hvor den har deformert seg under utvikling av et antatt ugunstigst mulig bruddmønster. Deformasjonene gir en utbøyning normalt på veggskiven og introduserer krefter langs de enkelte bruddlinjene. Kraftene er antatt å være maksimale bruddmomenter og det finnes ingen skjærkrefter eller torsjonsmomenter.

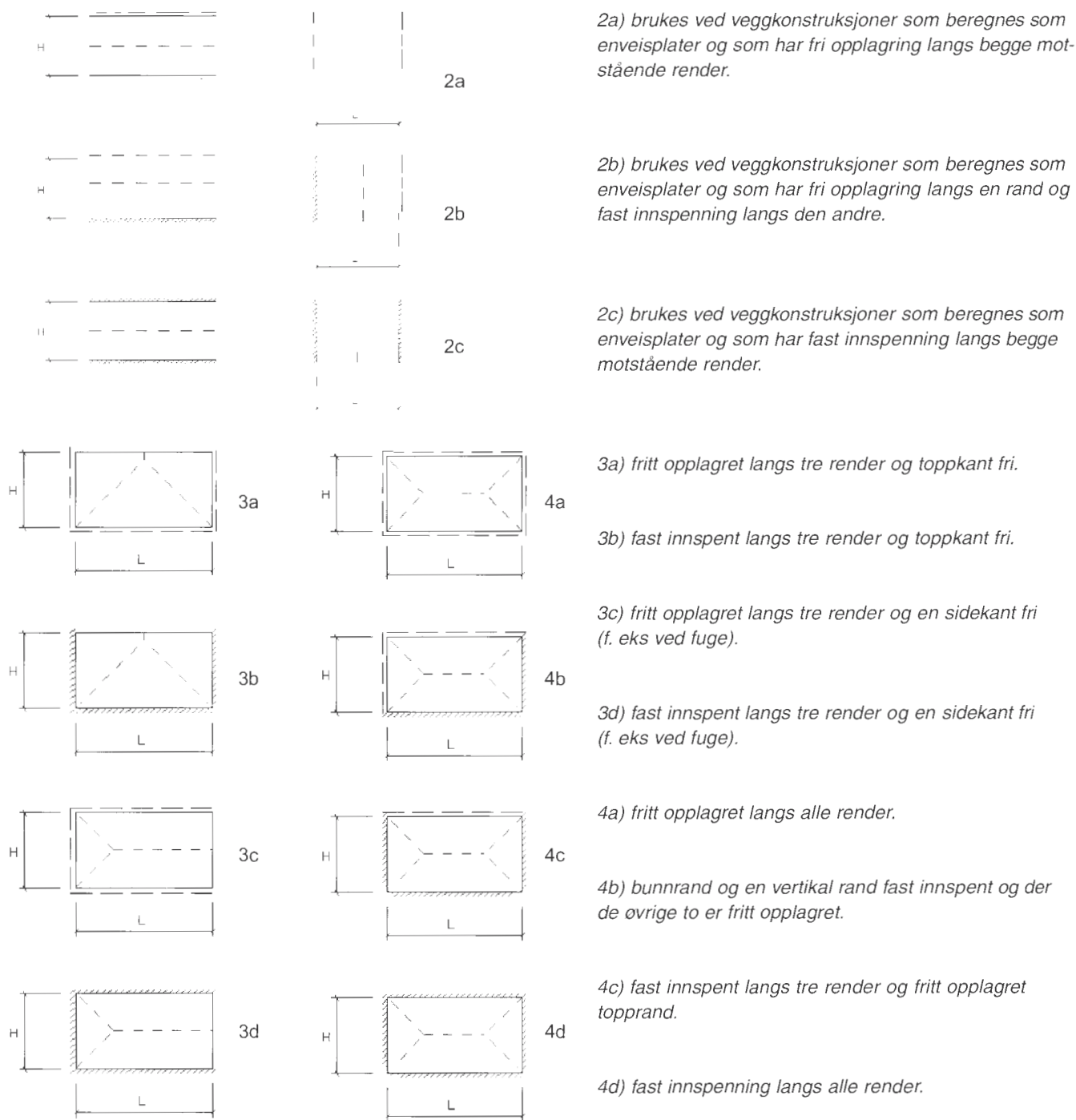
Bruddlinjene vil opptre horisontalt, vertikalt eller som skråbrudd i et trappetrinnsmonster i forbandet langs horisontale og vertikale mørtelfuger. Antagelse om ugunstig bruddlinje kan føre til avvik fra den virkelige bruddfiguren eller fra kreftene som virker langs bruddlinjen. Det innføres en modellfaktor som tar hensyn til dette ved å redusere den så beregnede bruddlasten.

I MurDim og i denne anvisningen er denne modellfaktoren satt på 0,85/0,95 for uarmert/armert murverk.

### 2.2 Murveggers definisjon og randbetingelser

Vegger påkjent av horisontallast virker som plater. Avhengig av innbyrdes dimensjonsforhold bærer plater i en eller to retninger. Ved lengde/høyde forhold mellom 0,5 og 3 betraktes vegger som toveisplater, ellers som enveisplater [6]. Rendenes fastholdelse påvirker bæreevnen. Figur 2.2 nedenfor viser noen eksempler på randbetingelser og bruddlinjemønster for enveis- og toveisplater.

For å kunne betrakte et veggfelt som fast innspent, må man enten ha en kontinuitet med eget materiale eller ha en stabiliserende vertikallast i overkant.



Figur 2.2 Eksempler på randbetingelser og bruddlinjemønster for enveis- og toveisplater.

### 3 Bestemmelse av veggens kritiske horisontale bruddlast

#### 3.1 Innføring

Utgangspunktet for beregning er et forutsatt bruddlinjemønster. Man beregner det indre og ytre arbeid med deformasjonslinjer som grunnlag. Det utførte indre arbeid skal være minst så stort som det utførte ytre arbeid for at den ytre belastningen skal opptas og overføres av veggskiven. Tilsvarende bruddlast utledes fra dette forholdet. Plassering av den ugunstigste bruddlinjen (som gir den minste horisontale bruddlast) bestemmes vha. bruddlastuttrykkets derivasjon.

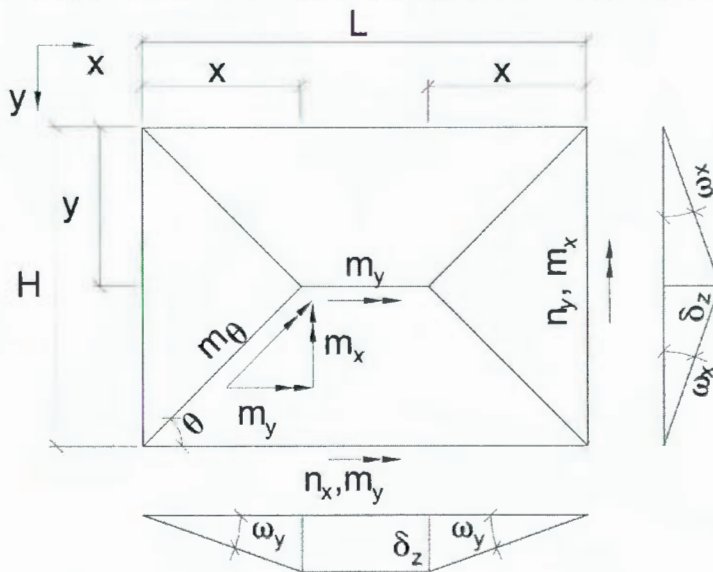
For å forenkle beregninger og undersøke innflytelse av vertikal mørtelfuge på veggens bruddlast, dekomponeres momentet i den skrå bruddlinjen til 2 momenter i x- og y-retninger:  $m_x$ ,  $m_y$ .

I de tidligere anvisningene ble momentets komponent  $m_x$  ikke tatt hensyn til pga. en antagelse som neglisjerer vertikale mørtelfugers motstand. Oppplagingsbetingelser tas hensyn til ved å innføre parametrene  $n_x$  og  $n_y$  slik at  $n_i = 0/1/2$  hvor 0, 1, 2 tilsvarer hhv. fri opplagring, en fast innspent side og to fast innsente sider. Indeksen  $i$  viser x- eller y-akse.

For å forenkle beregninger er det forutsatt et symmetrisk bruddlinjeforløp.

Bruddlastens utledning for toveisplater er omfattende. Den følger samme fremgangsmåte for alle bruddmønstrene og her vises derfor for kun ett bruddmønster. For de øvrige bruddmønstrene vises til tillegget.

#### 3.2 Eksempel: 4-sidig opplagret vegg, bruddmønster med horisontal bruddlinje



Figur 3.2a Bruddmønster med horisontal bruddlinje

Indre arbeid utledes fra bruddlinjemønsteret og uttrykker arbeid utført av enhetsmomenter som forårsaker enhetsrotasjoner:

$$A_{in,+} = 4m_y x \omega_x + n_x m_y L \omega_x + 2m_y (L - 2x) \omega_x + 2m_x y \omega_y + 2m_x (H - y) \omega_y + n_y m_x H \omega_y,$$

$$A_{in,+} = (2 + n_y) m_x H \omega_y + (2 + n_x) m_y L \omega_x,$$

$$A_{in,-} = 4m_y x \omega_x + n_x m_y L \omega_x + 2m_y (L - 2x) \omega_x + n_y m_x H \omega_y,$$

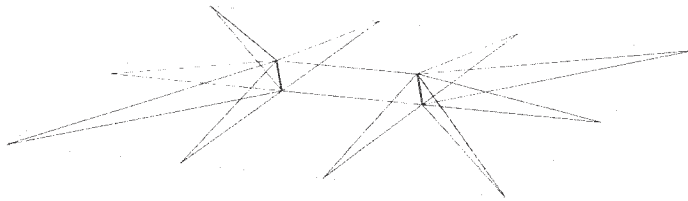
$$A_{in,-} = n_y m_x H \omega_y + (2 + n_x) m_y L \omega_x.$$

Utledningen viser at det indre arbeid som bestemmes ved å ta hensyn til mørtel i stussfuger er større enn det indre arbeid uten hensyn til vertikale mørtelfuger, og forskjellen er lik:

$$A_{if} = A_{in,+} - A_{in,-} = 2m_x H \omega_y.$$



En 3D-deformasjonstilstand som tilsvarer dette bruddmønsteret ser ut som følger:



Figur 3.2b Grafisk fremstilling av forskyvningsdiagrammet for bruddmønster med horisontal bruddlinje

Det ytre arbeid  $A_{yt}$  utledes fra den 3-D figuren som viser påførte enhetsforskyvninger og uttrykkes vha. volumet av forskyvningsdiagrammet:

$$A_{yt} = \frac{1}{3} q \delta_z \frac{xy}{2} 2 + \frac{1}{3} q \delta_z \frac{x(H-y)}{2} 2 + \frac{1}{2} q \delta_z H(L-2x) + \frac{1}{3} q \delta_z \frac{xy}{2} 2 + \frac{1}{3} q \delta_z \frac{x(H-y)}{2} 2,$$

$$A_{yt} = \frac{q \delta_z H}{6} (3L - 2x).$$

Det indre arbeid er minst likt det ytre arbeid:

$$A_{in} \geq A_{yt}.$$

Fra dette utledes bruddlasten  $q$ :

$$q_+ \leq \frac{6}{\delta_z H} \frac{(2 + n_y) m_x H \omega_y + (2 + n_x) m_y L \omega_x}{3L - 2x},$$

$$q_- \leq \frac{6}{\delta_z H} \frac{n_y m_x H \omega_y + (2 + n_x) m_y L \omega_x}{3L - 2x}.$$

Forskjellen mellom disse uttrykkene viser at mørtel i stussfuger har redusert effekt på bruddlast, sammenlignet med forskjellen i indre arbeid. Forskjellen i bruddlast kan uttrykkes gjennom:

$$q_f = q_+ - q_- = \frac{12 m_x \omega_y}{\delta_z (3L - 2x)}.$$

Forholdet mellom enhetsrotasjoner og enhetsforskyvninger uttrykkes som følger:

$$\omega_y = \frac{\delta_z}{x},$$

$$\omega_x = \frac{\delta_z}{H - y}.$$

Da det er antatt at  $y = H/2$ , får man:  $\omega_x = \frac{2\delta_z}{H}$ .

Dette gir følgende uttrykk for bruddlast:

$$q_+ \leq \frac{6}{xH^2} \frac{(2+n_y)m_x H^2 + 2(2+n_x)m_y Lx}{3L-2x},$$

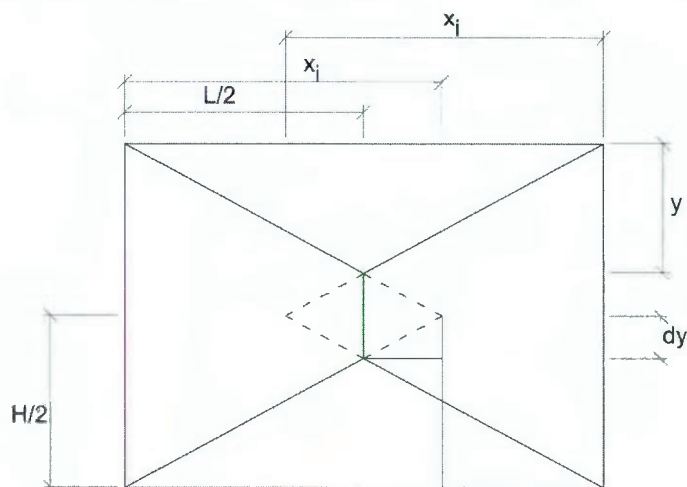
$$q_- \leq \frac{6}{xH^2} \frac{n_y m_x H^2 + 2(2+n_x)m_y Lx}{3L-2x},$$

$$x \neq 0, x \neq \frac{3L}{2}, q_{+/-} > 0 \Rightarrow 0 < x < \frac{3L}{2}.$$

Et grensetilfelle på denne bruddlinjen er to diagonaler som krysses ved  $x = L/2$ . Derfor ligger  $x$ -verdier i dette intervallet:

$$0 < x < \frac{L}{2}.$$

Ved  $x > L/2$  opptrer bruddlinjen som er vist i pkt 8.1.1 og beregninger følger den respektive bruddmodellen. Forklaring for dette er at bruddlinjer ikke kan fortsette i hver sin retning når de treffes. Teoretisk sett vil det da utvikles en ny bruddlinje hvor den midtre delen av veggens også blir svakere:



Figur 3.2c Grafisk fremstilling av bruddlinjer som krysser og som danner ny vertikal bruddlinje

### 3.2.1 Bestemmelse av den minste bruddlasten

Man antar en likevektstilstand hvor ytre og indre arbeid er like. I denne tilstanden opptrer bruddlinjen som gir den minste bruddlasten ved avstand  $x$  slik at:

a) Ved muring med mørtel i stussfuger:

$$\frac{dq_+}{dx} = 0 \Leftrightarrow 4(2 + n_x)m_y Lx^2 + 4(2 + n_y)m_x H^2 x - 3L(2 + n_y)m_x H^2 = 0,$$

$$\Leftrightarrow x^2 + \frac{2 + n_y}{2 + n_x} \frac{m_x}{m_y} \frac{H^2}{L} x - \frac{3(2 + n_y)}{4(2 + n_x)} \frac{m_x}{m_y} H^2 = 0,$$

$$x_{1,2} = \frac{-b_r \pm \sqrt{\Delta}}{2a_r}, 0 < x_i < \frac{L}{2},$$

$$a_r = 4(2 + n_x)m_y L, b_r = 4(2 + n_y)m_x H^2, c_r = -3L(2 + n_y)m_x H^2, \Delta = b_r^2 - 4a_r c_r,$$

b) Ved muring uten mørtel i stussfuger:

$$\frac{dq_-}{dx} = 0 \Leftrightarrow 4(2 + n_x)m_y Lx^2 + 4n_y m_x H^2 x - 3Ln_y m_x H^2 = 0,$$

$$\Leftrightarrow x^2 + \frac{n_y}{2 + n_x} \frac{m_x}{m_y} \frac{H^2}{L} x - \frac{3n_y}{4(2 + n_x)} \frac{m_x}{m_y} H^2 = 0,$$

$$x_{1,2} = \frac{-b_r \pm \sqrt{\Delta}}{2a_r}, 0 < x_i < \frac{L}{2},$$

$$a_r = 4(2 + n_x)m_y L, b_r = 4n_y m_x H^2, c_r = -3Ln_y m_x H^2, \Delta = b_r^2 - 4a_r c_r.$$

Ved å innføre den så bestemte bruddlinjens avstand i bruddlastens ligning og ved å sette:

$$\beta = \frac{L}{H} \Rightarrow H = \frac{L}{\beta},$$

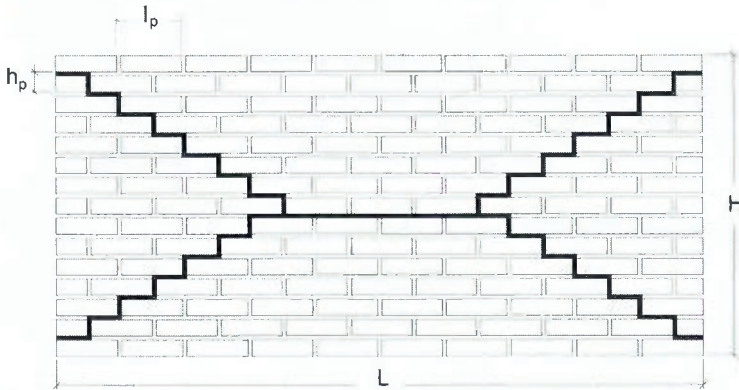
får man den minste bruddlasten uttrykt som en funksjon av vegg lengde:

$$q_- = \frac{6}{x_i L^2} \frac{(2 + n_y)m_x L^2 + 2(2 + n_x)m_y \beta^2 Lx_i}{3L - 2x_i},$$

$$q_- = \frac{6}{x_i L^2} \frac{n_y m_x L^2 + 2(2 + n_x)m_y \beta^2 Lx_i}{3L - 2x_i}.$$

I bruddgrensetilstand er veggens bæreevne fullt utnyttet, dvs. bruddlasten er lik veggens kapasitet. Følgelig er momentene i bruddlastens uttrykk lik veggens momentkapasiteter. Kurver som viser veggens bæreevne eller dimensjonerende horisontallast implementeres ved å iterere om veggens lengde forutsatt at man har bestemt veggens momentkapasiteter og randbetingelser og valgt et bestemt dimensjonsforhold.

### 3.2.2 Bruddlinjeform med løperforband



Figur 3.2.2 Bruddlinje som følger et trappetrinnsmønster.

Utgangspunkt for utledning av bruddlasten som en funksjon av forbandtype er å uttrykke det lineære bruddforløpet i figur 3.2a gjennom en vinkelrelatert parameter:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{H-y}{x} = \frac{H}{2x} \Rightarrow x = \frac{H}{2\operatorname{tg}\theta} = \frac{L}{2\beta\operatorname{tg}\theta}.$$

Da blir bruddlasten:

$$q_+ \leq \frac{12\beta^2\operatorname{tg}\theta}{L^2} \frac{(2+n_y)m_x\operatorname{tg}\theta + (2+n_x)m_y\beta}{3\beta\operatorname{tg}\theta - 1},$$

$$q_- \leq \frac{12\beta^2\operatorname{tg}\theta}{L^2} \frac{n_y m_x \operatorname{tg}\theta + (2+n_x)m_y\beta}{3\beta\operatorname{tg}\theta - 1}.$$

Ved å knytte  $\operatorname{tg}\theta$  til løperforbandet, får man:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{ah_p}{l_p}, h_p = h_{pp} + h_m, l_p = l_{pp} + h_m,$$

$$\gamma = \frac{l_p}{h_p}, \Rightarrow \operatorname{tg}\theta = \frac{a}{\gamma}.$$

I likevektstilstand uttrykkes veggens bruddlast som følger:

$$q_+ = \frac{12\beta^2 a}{L^2 \gamma} \frac{a(2+n_y)m_x + (2+n_x)m_y\beta\gamma}{3a\beta - \gamma},$$

$$q_- = \frac{12\beta^2 a}{L^2 \gamma} \frac{an_y m_x + (2+n_x)m_y\beta\gamma}{3a\beta - \gamma},$$

med

$$3a\beta - \gamma \neq 0 \Rightarrow \beta \neq \frac{\gamma}{3a}, q_{+/-} > 0 \Rightarrow \beta > \frac{\gamma}{3a}.$$

Betingelsen for bruddlastens positive verdier gir den laveste grensen for veggens lengde/høyde forhold. Med denne formelen blir det mulig å bestemme  $q$  ifht  $L$  ved forskjellige  $\beta$ -verdier og løperforband:

- For halvsteins løperforband,  $a = 2$ :

$$q_+ = \frac{24\beta^2}{L^2\gamma} \frac{2(2+n_y)m_x + (2+n_x)m_y\beta\gamma}{6\beta - \gamma},$$

$$q_- = \frac{24\beta^2}{L^2\gamma} \frac{2n_y m_x + (2+n_x)m_y\beta\gamma}{6\beta - \gamma}.$$

- For kvartsteins løperforband,  $a = 4$ :

$$q_+ = \frac{48\beta^2}{L^2\gamma} \frac{4(2+n_y)m_x + (2+n_x)m_y\beta\gamma}{12\beta - \gamma},$$

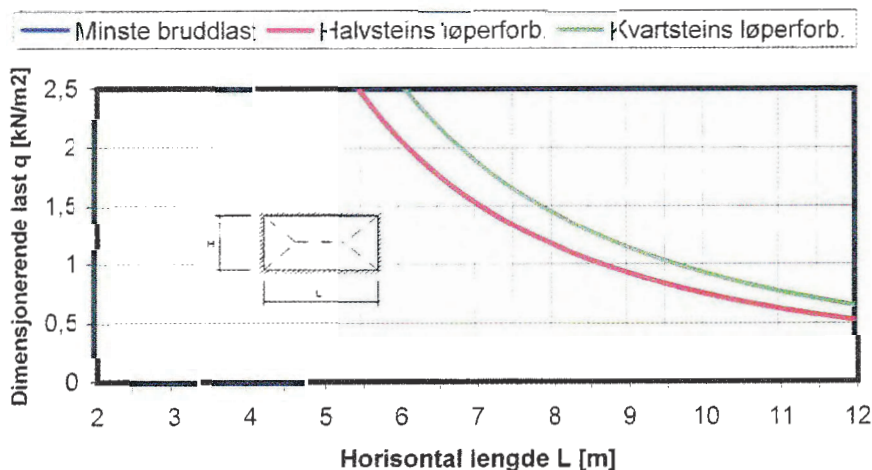
$$q_- = \frac{48\beta^2}{L^2\gamma} \frac{4n_y m_x + (2+n_x)m_y\beta\gamma}{12\beta - \gamma}.$$

Som ved veggens minste bruddlast implementeres kurve som viser veggens kapasitet ved å iterere om veggengde forutsatt at veggens momentkapasiteter, randbetingelser og dimensjonsforhold samt murproduktets dimensjonsforhold er angitt.

### 3.3 Innflytelse av vertikale mørtelfuger og forbandtype på bruddlast

Bruddlast for vegger murt med vertikale mørtelfuger er større enn bruddlast som er beregnet ved muring uten mørtel i stussfuger. Innflytelse av mørtel i stussfuger er likevel mindre på bruddlastnivå enn på indre arbeidsnivå, og den varierer mellom de forskjellige bruddlinjeformer. Det vurderes derfor hensiktsmessig å innføre en reduksjonsfaktor på 0,75 av murverkets bøyestrekkefastheter i samsvarende retning ihht [6] og [11]. Dette vil også lette vurderingsgrunnlaget ved valg av antatt bruddlinjeform.

Innflytelse av forbandtyper på bruddlasten lar seg vise ved sammenligning av kurver som fås ved implementering av deres bruddlasters ligninger. Diagrammet nedenfor er etablert for en 4-sidig innspent uarmert teglvegg murt med mørtel i stussfuger, og viser at bruddlast ved bruddlinje som følger et halvsteinsforband er nesten identisk som den ovenfor beregnede minste bruddlasten. Derfor er det tilstrekkelig å anta en bruddlinje som følger halvsteins løperforband ved bestemmelse av veggens kapasitet. Bruddlinjen med kvartsteins løperforband gir høyere bruddlast.



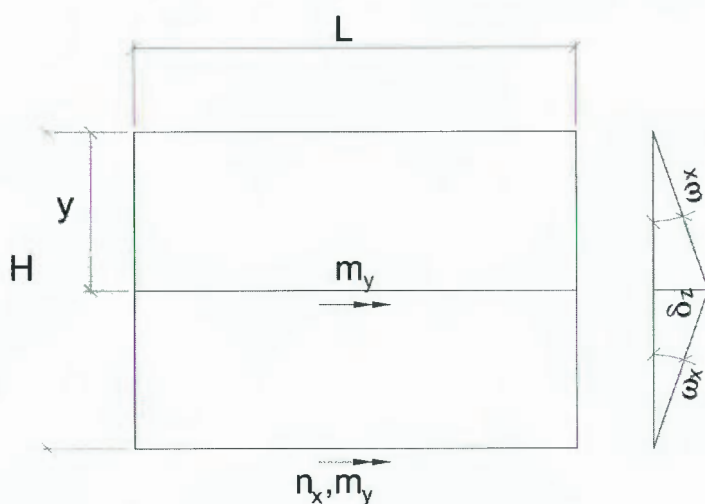
Figur 3.3 Eksempeldiagram som illustrerer forbandets betydning

### 3.4 Enveisplater

Enveisplater bærer i en retning. Avhengig av opplagringsbetingelser spenner de vertikalt eller horisontalt. Som statisk beregningsmodell brukes det vanligvis en bjelke (horizontal spenn) eller søyle (vertikal spenn) med  $1m$  bredde.

Ved enveisplater er det ikke stor forskjell mellom antatt bruddlinje og det virkelige bruddforløpet. Derfor anvendes det ikke den ovenfor nevnte modellfaktoren på enveisplater.

#### 3.4.1 Vegger fastholdt i topp og bunn



Figur 3.4.1 Bruddmønster med horisontal bruddlinje

Indre arbeid utledes slik:

$$A_{in} = (2 + n_x)m_y L \omega_x.$$

Ytre arbeid utledes slik:

$$A_{yt} = \frac{1}{2} q \delta_z LH.$$

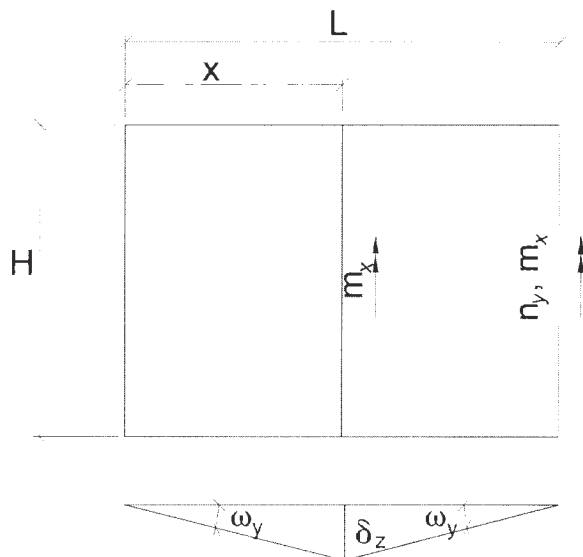
Veggens horisontale bruddlast utledes som følger:

$$A_{in} \geq A_{yt} \Rightarrow q \leq \frac{2(2 + n_x)m_y L \omega_x}{\delta_z LH}.$$

I likevekttilstand får man:

$$\omega_x = \frac{2\delta_z}{H} \Rightarrow q = \frac{4(2 + n_x)m_y}{H^2}.$$

### 3.4.2 Vegger fastholdt i begge sidekanter



Figur 3.4.2 Bruddmønster med vertikal bruddlinje

Veggens horisontale bruddlast bestemmes ved å bytte ut retningen i formelen over:

$$\omega_y = \frac{\delta_z}{x} = \frac{2\delta_z}{L} \Rightarrow q = \frac{4(2 + n_y)m_x}{L^2}$$

## 4 Bestemmelse av veggens momentkapasiteter

### 4.1 Uarmert murverk

Veggens momentkapasiteter utledes fra det velkjente forholdet mellom momenter og spenninger i ikke-opprisset tilstand:

$$\sigma = \frac{M}{W}.$$

Erstatter man det alminnelige spenningsuttrykket med bøyestrekfastheter og substituerer med formelen for motstandsmoment for rektangulært tverrsnitt får man:

$$f_{mx} = \frac{6M_x}{bh^2}, f_{my} = \frac{6M_y}{bh^2}.$$

Da  $b$  er bredde på 1 m, får man følgende enhetsmomenter:

$$m_x = \frac{M_x}{b}, m_y = \frac{M_y}{b}.$$

Dette er hensiktsmessig da det med disse momentene uttrykkes den horisontale bruddlasten som en belastning per  $m^2$  av veggens flate.

Veggens momentkapasiteter utledes fra veggens bøyestrekfastheter vha. følgende uttrykk:

$$m_x = \frac{f_{mx}h^2}{6}, m_y = \frac{f_{my}h^2}{6}.$$

Dimensjonerende verdier fås ved å bruke murverkets materialfaktor  $\gamma_M$ :

$$m_{dx} = \frac{f_{mx}h^2}{6\gamma_M}, m_{dy} = \frac{f_{my}h^2}{6\gamma_M}.$$

Ved å sette disse dimensjonerende momentkapasitetene inn i formlene for bruddlast, får man veggens dimensjonerende horisontallastkapasitet.

#### 4.1.1 Innflytelse av veggens egenlast

Murveggens egenlast virker komprimerende slik at veggens bøyemotstand øker. [6] foreslår en grense på egenlast som kan benyttes med hensyn til den komprimerende effekt, slik at veggens momentkapasitet blir:

$$m_{dyg} = \frac{(f_{my} + g_d)h^2}{6\gamma_M},$$

$$g_d \leq 0,2 f_{cd}.$$

Det vises seg at man da kan utlede større horisontallastkapasitet når man tar hensyn til egenlast.

### 4.2 Armert murverk

#### 4.2.1 Generelt

Murverk kan armeres for å kunne oppta horisontal belastning av jordtrykk og vind i tillegg til vertikallast. I slike tilfeller er det armeringen som ivaretar strekkpåkjenning, og murverkets trykk-kapasitet som ivaretar de balanserende trykk-krefter. Normalt plasseres armering horisontalt i liggefugene. Det finnes også kombinasjoner av murprodukter, armering og forbandvalg som muliggjør bruk av vertikalarmering.

Fugearmering er den mest brukt form for horisontal armering. Den består som oftest av enkeltstenger eller to stenger som forbindes (stigearmering eller fagverksarmering), og plasseres i horisontale mørtelfuger. I tillegg til den statiske funksjonen motvirker denne armeringen også rissdannelser pga. herdesvinn, fukt- og temperaturbevegelser. Diagonale og tverrspinner bidrar til god forankring i mørtelen.

Fugearmeringen brukes som oftest ved sementbasert murverk. Teglmurverk er mindre utsatt for svinn. Normalt vil det der ikke være påkrevet med fugearmering, forutsatt at konstruksjonen har hensiktsmessig oppdelte bevegelsesfuger som motvirker rissdannelser pga. fukt- og temperaturgradient.

Den armerte veggens kapasitet beregnes i denne anvisningen ut fra ligningene utledet vha. bruddlinjeteori, ved å innføre det armerte tverrsnittets momentkapasitet i bruddlastens formler ovenfor.

#### 4.2.2 Tverrsnittets momentkapasitet

Tverrsnittets momentkapasitet i en armert murvegg bestemmes i bruddgrensetilstanden og er den minste av verdiene for trykksonens og strekksonens momentkapasitet. Følgende antagelser legges til grunn ved beregning av tverrsnittets momentkapasitet:

- Armeringen oppnår flytespenning i bruddtilstanden, dvs. balansert armering,
- Det foreligger full heft mellom mørtel og armering,
- Murverket opptar ikke strekkpåkjenning,
- Rektangulær trykkspenningsblokk i murverk over en redusert trykksonehøyde,
- Navier-Bernoullis hypotese er gyldig, dvs. et plant tverrsnitt forblir plant.



Trykksonens momentkapasitet  $M_{cd}$  fås fra en likevekts-tilstand der momentenes ligning om strekkraftens angrepspunkt gir:

$$M_{cd} = 0,8\alpha d^2 b(1 - 0,4\alpha) f_{cd}.$$

Strekksjonens momentkapasitet  $M_{sd}$  fås tilsvarende fra momentenes ligning om trykkkraftens angrepspunkt:

$$M_{sd} = d(1 - 0,4\alpha) A_s f_{sd}.$$

Fullstendig utledning av disse formlene og figurer som legges til grunn er vist i tillegg.

#### 4.2.3 Minimumsarmering

I praksis sammenlignes det beregningsmessige armeringsbehovet med definerte grenseverdier som for eksempel minimumsarmering. Minimumsarmeringen bestemmes ved å forutsette at den armerte veggen skal ha minst like stor momentkapasitet som den uarmerte murveggs momentkapasitet:

$$\begin{aligned} M_{sd} &\geq M_{cd}, \\ M_{cd} &= \frac{bh^2}{6} f_{td} = \frac{A_c h}{6} f_{td}, \\ M_{sd} &= f_{sd} A_s d(1 - 0,4\alpha), \\ \frac{A_s}{A_c} &\geq \frac{hf_{td}}{6d(1 - 0,4\alpha)f_{sd}}. \end{aligned}$$

Ved balansert armering og ved eksempelvis å forutsette:

$$\varepsilon_{cu} = 0,003, \varepsilon_{sv} = 0,0025,$$

får man:

$$\frac{A_s}{A_c} \geq 0,2 \frac{hf_{td}}{df_{sd}}.$$

Hvis svinnarmering er større enn minimumsarmering, er det dimensjonering av førstnevnte som skal benyttes.

#### 4.2.4 Svinnarmering

Murvegger av sementbundne materialer kan være utsatt for opprissing pga. svinn, og må derfor armeres for å begrense rissdannelse. Beregningsmessig svinnarmering bestemmes ved å forutsette at svinn innfører større strekkspenning enn murverkets strekkfasthet, og at armeringens flytespenning minst må være lik svinnspenningen. I motsatt fall kan svinnkrefter danne enkelte og stor riss, istedenfor flere, små og godt fordelte riss. Armeringens minimumsareal bestemmes ut fra murverkets strekkfasthet:

$$A_s f_{sk} \geq A_c f_{tk} \Rightarrow A_s \geq \frac{A_c f_{tk}}{f_{sk}}.$$

Da svinn påvirkes av fuktighet, murverkets alder, tykkelse og utførelse, innføres en reduksjonsfaktor pga. eksisterende svinnmotstand slik at:

$$A_s f_{sk} \geq K_s A_c f_{tk} \Rightarrow \frac{A_s}{A_c} \geq \frac{K_s f_{tk}}{f_{sk}},$$

hvor

$K_s = 0,3$  for murte innervegger og for yttervegger murt på effektivt glidesjikt,  
 $K_s = 0,6$  for yttervegger oppmurt uten atskillende glide-sjikt mot underlag.

## 5 Implementering av veggens dimensjonerende kapasitet

### 5.1 Fremgangsmåte

Det anbefales å arbeide etter følgende retningslinjer for å implementere bruddlastens formler:

1. Valg av murproduktets type, dimensjoner og trykkfasthet (målt),
2. Valg av mørteltype og mørtelklasse,
3. Bestemmelse av murverkets/armeringens mekaniske egenskaper,
4. Valg av materialfaktorer, armeringsoverdekning,
5. Valg av veggens opplagingsbetingelser og mørtelfugers tykkelse,
6. Bestemmelse av dimensjonerende momentkapasiteter,
7. Valg av forhold lengde/høyde,
8. Bestemmelse av grenseverdi på høyden/lengden,
9. Iterasjon over lengde og beregning av avstand som gir den minste kapasiteten,
10. Beregning av veggens kapasitet og opprettelse av den tilhørende kurven.

Selv om det er mulig å etablere kurver for vegger opp til tillatt slankhetsbegrensning, er det ikke hensiktsmessig vise slike kurver med lav kapasitet. Av samme grunn kunne det vært nyttig å legge inn begrensninger knyttet til lengde. Av praktiske grunner er det her kun valgt å stoppe bruddlastens implementering ved den minste av høydegrense grunnet geometrisk slankhetsbegrensning og 6 m vegg høyde. Dette er årsaken til at diagramkurvene stopper på forskjellige lengder  $L_{stop}$ , jfr følgende eksempler:

$$\beta = L_{stop} / 6 = 0,5 \rightarrow L_{stop} = 3 \text{ m,}$$

$$\beta = L_{stop} / 6 = 1 \rightarrow L_{stop} = 6 \text{ m,}$$

$$\beta = L_{stop} / 6 = 1,5 \rightarrow L_{stop} = 9 \text{ m,}$$

$$\beta = L_{stop} / 6 = 2 \rightarrow L_{stop} = 12 \text{ m,}$$

$$\beta = L_{stop} / 6 = 2,5 \rightarrow L_{stop} = 15 \text{ m,}$$

$$\beta = L_{stop} / 6 = 3 \rightarrow L_{stop} = 18 \text{ m.}$$

Kurver er etablert for forskjellige lengde/høyde forhold og basert på forutsatte bruddlinjer. For toveisplater kan to forskjellige bruddlinjer opptre:

- For 4-sidig opplagrede vegger viser bruddlastens implementering at en av bruddlinjeformene tillater beregninger innen hele eller ett bestemt intervall av lengde/høyde forholdet, mens den andre dekker de resterende delen av intervallet, jevnfør pkt. 3.2 og 8.1.1.
- For 3-sidig opplagrede vegger kan to forskjellige bruddmønstre muliggjøre beregninger ved samme lengde/høyde forhold. I slike tilfeller er det kurven med den laveste kapasitet som er avgjørende og vist diagrammene.

Utskrifter fra MurDim viser hvilken bruddlinje som ble lagt til grunn ved dimensjoneringen. Denne informasjonen ingen betydning for bruk av diagrammene i denne anvisningen, da hvert diagram viser veggens tilhørende randbetingelser og en av de to mulige bruddlinjene som ble lagt til grunn ved beregningene.

### 5.2 Høydens forhold til slankhet

Veggens geometriske slankhet setter grense på vegg høyden/lengden.

I NS 3475 begrenses slankheten for uarmerte murkonstruksjoner påkjent av aksiallast slik:

$$\lambda = \frac{l_e}{h_e} \leq 27 \text{ for murverk av tegl,}$$

$$\lambda = \frac{l_e}{h_e} \leq 23 \text{ for murverk av andre produkter.}$$

Når aksiallasten består kun av egenlast:  $\lambda \leq 50 / 43$  for tegl/andre materialer.

Den beregningsmessige knekk lengden resp. effektive lengden bestemmes etter følgende formel [6]:

$$l_e = k_n H \text{ resp. } l_e = k_n L .$$

$k_n$  er en reduksjonsfaktor, indeksen  $n$  viser antall av sider som er fastholdt.

[6] gir følgende  $k_n$ -verdier etter fastholdelse:

- Bunn og topp:

$k_2 = 0,75$  for betongdekker,

$k_2 = 1$  hvis eksentrisitet av dekkers vertikallast i topp av veggen er større enn 0,25 ganger veggtykkelsen eller hvis man har trebjelkelag istedenfor.

Det forutsettes at trebjelkelag og betongdekker har en oppleggsdybde på den bærende veggen på minst 80 mm.

- 3-sidig opplagret vegg, fastholdt på topp og bunn:

$$\frac{H}{L} \leq 3,5 \Rightarrow k_3 = \frac{k_2}{1 + \left(\frac{k_2 H}{3L}\right)^2},$$

$$\frac{H}{L} > 3,5 \Rightarrow k_3 = \frac{1,5L}{H} \geq 0,3.$$

Ved horisontal fri kant får man lignende uttrykk hvor veggghøyden og lengden bytter plass i formelen.

- 4-sidig opplagret vegg:

$$\frac{H}{L} \leq 1,15 \Rightarrow k_4 = \frac{k_2}{1 + \left(\frac{k_2 H}{L}\right)^2},$$

$$\frac{H}{L} > 1,15 \Rightarrow k_4 = \frac{0,5L}{H}.$$

Ved å anta en enkel massiv murvegg, blir den effektive tykkelsen lik veggtykkelsen  $h$ :

$$h_e = h.$$

Ved vegger som har fastholdelse på topp og bunn begrenses veggghøyden som følger:

$$H_{\text{lim}} = \frac{\lambda h}{k_n}.$$

Ellers benyttes det begrensning på veggglengden:

$$L_{\text{lim}} = \frac{\lambda h}{k_n}.$$

Dimensjoneringsstandarden [6] foreslår følgende begrensning for armerte vegger påkjent av horisontallast:

$$\frac{l_e}{h_e} \leq 45 \text{ for fastholdt vegger og toveisplater,}$$

$$\frac{l_e}{h_e} \leq 35 \text{ for fritt lagrede vegger.}$$

### 5.3 Omregningskoeffisienter

For uarmerte vegger viser veggens kapasitet et kvadratisk forhold til veggens tykkelse slik at:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\sqrt{q_1}}{\sqrt{q_2}} \Rightarrow q_2 = \frac{h_2^2}{h_1^2} q_1,$$

hvor  $q_1$  er kapasiteten som tilsvarer veggyykkelsen  $h_1$  mens  $q_2$  tilsvarer veggyykkelsen  $h_2$ .

Det betyr at foreliggende kapasitet og tilhørende tykkelse kan legges til grunn for å bestemme veggens kapasitet hvis man endrer tykkelse, for eksempel som følge av at ytre belastning overstiger veggens kapasitet.

Forholdet mellom veggens kapasitet og materialfaktoren er lineært. Derfor behøver man ikke ny kapasitetsberegning hvis man bruker en ny materialfaktor. Materialfaktoren er avhengig av bruddgrensetilstand, kontrollklasse, armert/uarmert murverk og mørteltype. Endrer man en av disse parametrene i beregningen, for eksempel mørteltype, så må materialfaktoren korrigeres. Hvis for eksempel funksjonsmørtel tilsvarer  $\gamma_{M1}$  og reseptmørtel  $\gamma_{M2}$ , blir forholdet mellom veggens kapasitet og materialfaktor slik:

$$\frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M2}} = \frac{q_2}{q_1} \Rightarrow q_2 = \frac{\gamma_{M1}}{\gamma_{M2}} q_1,$$

dvs. at eksisterende kapasitet ved bruk av funksjonsmørtel kan legges til grunn for å bestemme ny kapasitet ved bruk av reseptmørtel.

Forutsetning for bruk av disse formlene er at murverkets bøyestrekfastheter blir like ved alle tykkelsene. Det gjøres i denne forbindelse oppmerksom på at det finnes sementbaserte murprodukter/blokker med samme fasthet og densitet men med forskjellige tykkelser og derved forskjellige bøyestrekfastheter. I slike tilfeller kan utgangskapasiteten som er bestemt for veggyykkelse med mindre verdier på bøyestrekfastheter benyttes, slik at omregning ved tykkelser med større verdier gir kapasiteten på den sikre siden. Da forskjellen på bøyestrekfastheter ikke er særlig stor, er omregningen fornuftig.

Det gjøres oppmerksom på at slike omregningskoeffisienter kun er gyldige for uarmerte vegger. Grunnen til dette er at en av momentkapasitetene som kommer inn i kapasitetens ligning erstattes av det armerte tverrsnittets momentkapasitet som ikke har tykkelsens kvadratiske eller materialfaktorens lineære forhold til veggens kapasitet.

## 6 Konstruksjonsregler

### 6.1 Uarmert murverk

Belastede vegger av teglstein, kalksandstein og betongmurstein skal være minst 80 mm eller 100 mm tykke for bygninger med henholdsvis 2 etasjer eller flere enn 2 etasjer [5]. Belastede vegger av murblokker av sementbundne materialer skal ha en tykkelse på minst 120 mm.

Belastede, uarmerte vegger skal ikke ha større knekk lengde enn 27 ganger effektiv tykkelse for teglstein, 23 ganger effektiv tykkelse for andre murprodukter. Vegger som kun er påkjent av egenlast og vindlast kan tillates og ha en knekk lengde ikke større enn 50 ganger effektiv tykkelse for tegl, 43 ganger effektiv tykkelse for andre materialer.

Innvendige skillevegger skal kontrolleres for innvendig vindlast.

Murverk skal utformes slik at det kan oppta opptrekkende bevegelser pga. fukt-, temperatur- og lastavhengige lengdeendringer uten skadelige deformasjoner i murverket eller tilstøttende konstruksjoner. Utisiktet eller ukontrollert fastlåsing mot tilstøttende konstruksjoner må unngås.

Lange murvegger skal oppdeles på hensiktsmessig vis med vertikale bevegelsesfuger. Ved ommurte hjørner legges første vertikale bevegelsesfuger i halvparten av denne avstand fra hjørnespissen. Kortere senteravstand anbefales for veggskiver med mange åpninger og sprang i sokkelnivå. Tabell A.14 [5] inneholder maksimal, horisontal senteravstand mellom vertikale bevegelsesfuger i utvendige murkonstruksjoner.

### 6.2 Armert murverk

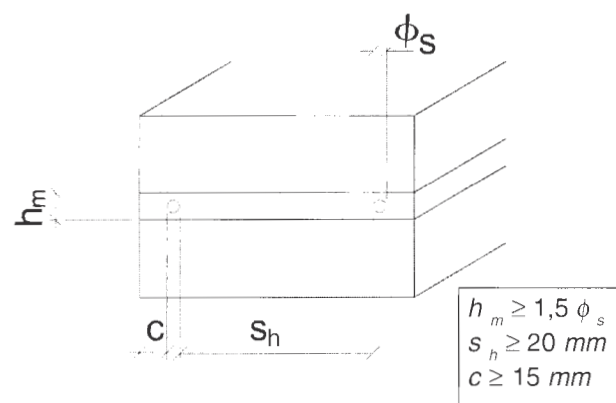
Armeringen skal være utformet og lokalisert slik at den samvirker med murverket, og slik at armeringen ikke når sin flytegrense når rissdannelser oppstår i murverket [5].

Fugetykkelsen skal i alminnelighet være minst 1,5 ganger stangdiameteren. Den frie avstand mellom armeringsstengene skal være minst 20 mm. Armeringens mørteloverdekning (avstanden mellom ytre veggfliv og den nærmest liggende armering) skal tilfredsstillende aktuelle miljøkrav (tabell A.11 [5]), jmf figur 6.2a.

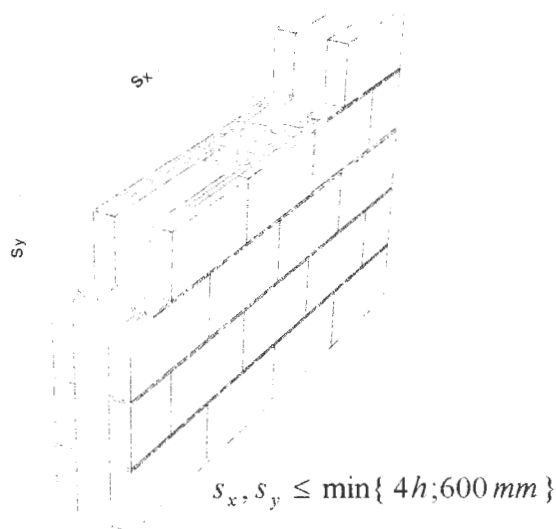
I konstruksjoner hvor armeringen er særlig utsatt for rustangrep, eller i bygg hvor det i tilfelle brann må regnes med særlig høye temperaturer av lang varighet, skal avstanden økes hvis det ikke er truffet andre forholdsregler til beskyttelse av armeringen.

Senteravstanden mellom armeringsstenger for så vel horisontal- som vertikalarmering skal ikke være større enn 4 ganger veggens tykkelse. Avstanden skal uansett veggtykkelse ikke være større enn 600 mm, jmf. figur 6.2b. Benyttes en større avstand mellom armeringsstengene kan dimensjoneringsformlene for murverkets momentkapasitet ikke benyttes direkte.

For vegg-/vangetykkelser under 150 mm kan det benyttes enkel, sentrisk fugearmering. Pga kort indre momentarm vil en slik armeringsplassering ha relativt begrenset virkning. For veggtykkelser 150 mm eller større vil det derfor være mer hensiktsmessig med symmetrisk fugearmering (dobbelarmering).



Figur 6.2a Krav til horisontal armeringsplassering, overdekning og fugetykkelse



Figur 6.2b Krav til armeringsplassering for vertikal- og horisontalarmering

# 7 Diagrammer

## 7.1 Generelle forutsetninger

Del 2 av denne anvisningen inneholder diagrammer der murprodukters dimensjoner og mekaniske egenskaper, mørteltype og mørtelklasse samt murverkets mekaniske egenskaper er basert på NS 3475 tabell A3-A7 eller med leverandørers egne data. Materialfaktorene er bestemt etter NS 3475 tabell 5.

For uarmerte vegger viser hvert diagram alternative veggtykkelser som kan brukes med samme diagram, forutsatt at man tar hensyn til angitte omregningskoeffisienter.

For sementbundne produkter er det antatt at de mures opp med mørtel i stussfuger. I motsatt fall benyttes veggens momentkapasitet basert på tilhørende bøyestrekfasthet redusert med 0,75 faktor.

For armerte vegger er det bare strekkarmering som legges til grunn ved beregning av kapasiteten. Ved dimensjoneringen bør det tilstrebes å få en praktisk fordeling av armering knyttet til skifthyøide.

For murvegger med to vanger skal horisontallast fordeles etter vangenens innbyrdes bøyestivhet, og det forutsettes at begge vangene kan motstå den forholdsvis horisontallasten. For en skallmurvegg med to like vanger kan eksempelvis horisontallasten deles på to.

Hvis det er valgfrihet knyttet til veggens dimensjoner i høyde- og lengderetning, kan det være gunstig å kontrollere alternativer i forholdet mellom høyde og lengde fordi et gitt kapasitetskrav kan oppfylles ved slike forskjellige forholdstall.

Hvis veggens dimensjoner er slik at man ikke treffer ett av diagrammenes dimensjonsforhold, er det mulig å interpolere mellom dem. Det kan imidlertid ikke ekstrapoleres utenfor kurvene da dette vil gi dimensjonsforhold som ikke tilfredsstiller dimensjoneringsforutsetningene.

Veggens egenlast er ikke medtatt i kapasitetens beregning. Den betraktes som en ytre vertikal og stabiliserende belastning som bidrar til at dimensjoneringen vha disse diagrammene er på den sikre siden.

## 7.2 Avlesning av diagrammer

### 7.2.1 Eksempel 1

En uarmert teglvegg mures opp på gulvet og fastholdes med trebjelkelag på toppen. Den betraktes altså som vertikalt fritt opplagret. Den forbindes horisontalt med søyler vha. trådbindere og betraktes her også som fritt opplagret. Avstand mellom søylene er 6 m og den vertikale spennvidden er 3 m. Hvilken horisontallast kan veggene oppta hvis man bruker hulltegl som har målt trykkfasthet på 35 N/mm<sup>2</sup> og funksjonsmørtelklasse M10. Det beregnes med en ½ steins teglvegg med veggtykkelse 104 mm. Materialfaktoren settes lik 2,3.

Veggens kapasitet leses på teglsiden, 4-sidig fritt opplagret vegg, kurve med dimensjonsforhold 2. Diagrammet i figur 7.2.1, viser at veggene kan oppta horisontallast opptil 0,75 kN/m<sup>2</sup>.

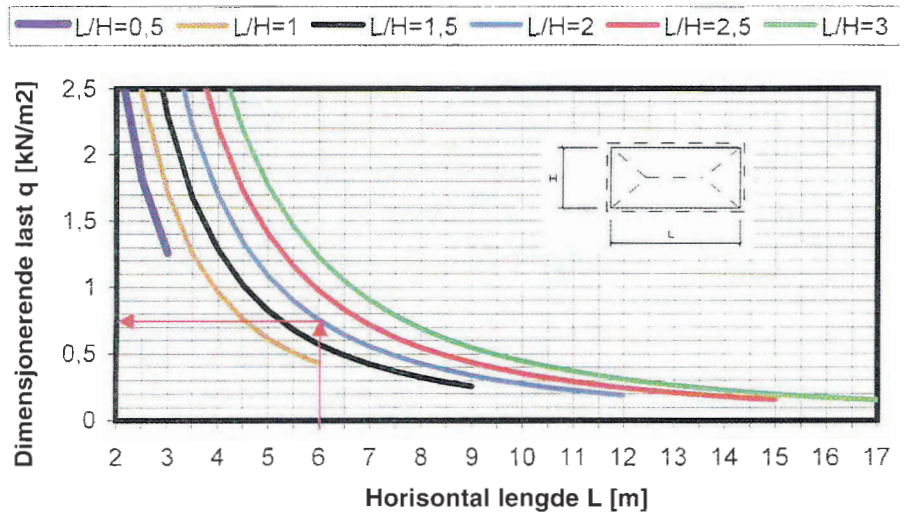
Ved bruk av reseptmørtel istedenfor funksjonsmørtel reduseres veggens avleste kapasitet med den faktoren 0,885, og kapasiteten blir derved 0,66 kN/m<sup>2</sup>.

Ved vindbelastning på for eksempel 1 kN/m<sup>2</sup>, har veggene ikke tilstrekkelig kapasitet til å oppta lasten. Hvilken veggtykkelse er nødvendig for oppta belastningen?

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\sqrt{q_1}}{\sqrt{q_2}} \Rightarrow h_2 = h_1 \frac{\sqrt{q_2}}{\sqrt{q_1}} = 104 \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{0,75}} \approx 120 \text{ mm}.$$

I praksis vil en helsteins vegg da ha tilstrekkelig kapasitet:

$$q_{226} = 4,722 \times q_{104} = 4,722 \times 0,75 = 3,54 \text{ kN/m}^2.$$



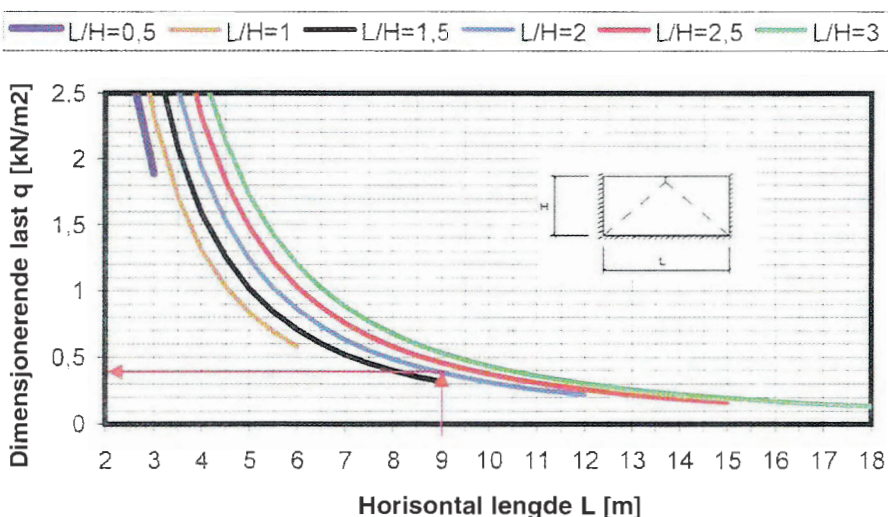
Figur 7.2.1 Eksempeldiagram for avlesning av kapasitet for en definert teglvegg

### 7.2.2 Eksempel 2

En vegg mures opp med lettklinkerblokker 20 cm og funksjonsmørtel klasse M5. Den spenner horisontalt på 9 m og vertikalt på 4,5 m mellom gulv og tak. På toppen er det frikant mens den er fast innspent sideveis vha støttevegger. Den betraktes som en 3-sidig innspent vegg selv om innspenningen på bunnen ikke er 100 %. Veggens skal kontrolleres mot vindbelastning på 1 kN/m<sup>2</sup>.

#### Tilfelle 1: Veggens har svinnarmering og vertikale mørtelfuger.

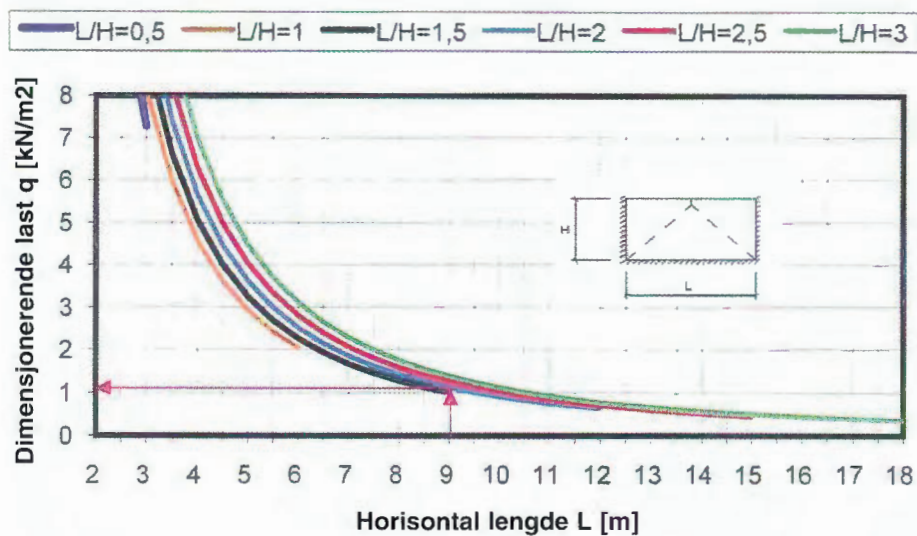
Svinnarmering betraktes ikke som beregningsmessig armering. Derfor anses veggens som uarmert. Man skal bruke diagrammet som tilhører lettklinkerblokker 20 cm, 3-sidig fast innspent vegg med vertikale mørtelfuger. Veggens kapasitet leses på kurven med dimensjonsforhold på 2. Den er på ca. 0,4 kN/m<sup>2</sup>. Veggens kan altså ikke oppta den angitte vindbelastningen. Det foreslås fugearmering hvert 2.skift for å øke veggens kapasitet.



Figur 7.2.2a Eksempeldiagram for avlesning av kapasitet for en uarmert blokkvegg

### Tilfelle 2: Armert vegg med vertikale mørtelfuger

Fugearmingering består av 2 par BI-stål. Et par er under trykk og det andre under strekkpåkjenning. Hvert par består av to stenger av rustfritt stål med diameter 4 mm og plassert på 28 mm avstand fra hverandre. Kurven med dimensjonsforhold 2 på diagrammet for armerte vegger av lettklinkerblokker 20 cm gir veggkapasiteten på ca. 1,1 kN/m<sup>2</sup>. Veggen kan altså oppta vindbelastningen ved fugearmingering plassert på hvert 2.skift.



Figur 7.2.2b Eksempeldiagram for avlesning av kapasitet for en armert blokkvegg



### 7.3 Diagramfortegnelse

Følgende diagrammer for horisontalt belastet murverk med kombinasjoner av murprodukt, mørtelklasse og opplagerbetingelser er medtatt i del 2 av denne anvisning:

#### 7.3.1 Uarmert murverk

##### Vegg av hulltegl:

- Enveisplater fastholdt i topp og bunn
- Enveisplater fastholdt i begge sidekanter
- 3-sidig opplagrede vegger 25/5
- 3-sidig opplagrede vegger 35/10
- 3-sidig opplagrede vegger 45/15
- 4-sidig opplagrede vegger 25/5
- 4-sidig opplagrede vegger 35/10
- 4-sidig opplagrede vegger 45/15

##### Vegg av lettklinkerblokker 250-300:

- Enveisplater fastholdt i topp og bunn 2/2,5-5-10
- Enveisplater fastholdt i begge sidekanter 2/2,5-5-10
- 3-sidig opplagrede vegger 2/5
- 4-sidig opplagrede vegger 2/5

##### Vegg av lettklinkerblokker 100-150-200:

- Enveisplater fastholdt i topp og bunn 3/2,5-5-10
- Enveisplater fastholdt i begge sidekanter 3/2,5-5-10
- 3-sidig opplagrede vegger 3/5
- 4-sidig opplagrede vegger 3/5

##### Vegg av lettklinkerblokker 100-150-200-250 Leca Finblokk:

- Enveisplater 4/8
- 3-sidig opplagrede vegger 4/8
- 4-sidig opplagrede vegger 4/8

##### Vegg av lettklinkerblokker 250-300 Leca Isoblokk:

- Enveisplater 4/8
- 3-sidig opplagrede vegger 4/8
- 4-sidig opplagrede vegger 4/8

##### Vegg av lettklinkerblokker 250-330 Scan Isoblokk:

- Enveisplater 3/5
- 3-sidig opplagrede vegger 3/5
- 4-sidig opplagrede vegger 3/5

##### Vegg av porebetongblokker 365:

- Enveisplater 2/lim
- 3-sidig opplagrede vegger 2/lim
- 4-sidig opplagrede vegger 2/lim

##### Vegg av porebetongblokker 200-250-300:

- Enveisplater fastholdt i topp og bunn 2,5/2,5-5
- Enveisplater fastholdt i begge sidekanter 2,5/2,5-5
- 3-sidig opplagrede vegger 2,5/2,5
- 3-sidig opplagrede vegger 2,5/5
- 4-sidig opplagrede vegger 2,5/2,5
- 4-sidig opplagrede vegger 2,5/5

##### Vegg av betonghullblokker 120:

- Enveisplater fastholdt i topp og bunn 8/10
- Enveisplater fastholdt i begge sidekanter 8/10
- 3-sidig opplagrede vegger 8/10
- 4-sidig opplagrede vegger 8/10

##### Vegg av betonghullblokker 187:

- Enveisplater fastholdt i topp og bunn 3,5/5-10
- Enveisplater fastholdt i begge sidekanter 3,5/5-10
- 3-sidig opplagrede vegger 3,5/5
- 3-sidig opplagrede vegger 3,5/10
- 4-sidig opplagrede vegger 3,5/5
- 4-sidig opplagrede vegger 3,5/10

#### 7.3.2 Armert murverk

##### Vegg av lettklinkerblokker 200:

- Dobbeltarmerte 3-sidig opplagrede vegger/1
- Dobbeltarmerte 3-sidig opplagrede vegger/2
- Dobbeltarmerte 4-sidig opplagrede vegger/1
- Dobbeltarmerte 4-sidig opplagrede vegger/2
- Dobbeltarmerte enveisplater med horisontalt spenn

##### Vegg av porebetongblokker 250:

- Armerte enveisplater med horisontalt spenn
- Armerte 3-sidig opplagrede vegger/1
- Armerte 3-sidig opplagrede vegger/2
- Armerte 4-sidig opplagrede vegger/1
- Armerte 4-sidig opplagrede vegger/2

---

#### Tegnforklaring

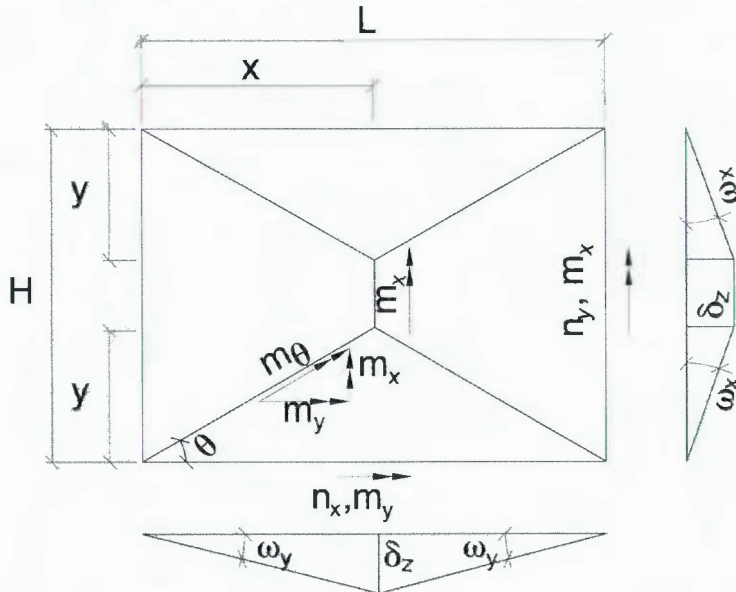
- Murproduktets/mørtelens trykkfasthet
- /1: armert hvert skift
- /2: armert hvert 2.skift

## 8 Tillegg

Dette tillegget viser teoretisk utledning av ytterligere formler for dimensjonering av uarmerte og armerte tversnitt.

### 8.1 Bruddlastens formler

#### 8.1.1 4-sidig opplagret vegg: bruddmønster med vertikal bruddlinje



Figur 8.1.1 Bruddmønster med vertikal bruddlinje

Indre og ytre arbeid beregnes på samme måte som ovenfor:

$$A_{m,+} = 2m_y x \omega_x + n_x m_y L \omega_x + 2m_y (L-x) \omega_x + 4m_x y \omega_y + 2m_x (H-2y) \omega_y + n_y m_x H \omega_y,$$

$$A_{n,+} = (2+n_y) m_x H \omega_y + (2+n_x) m_y L \omega_x,$$

$$A_{m,-} = 2m_y x \omega_x + n_x m_y L \omega_x + 2m_y (L-x) \omega_x + n_y m_x H \omega_y + 2m_x (H-2y) \omega_y,$$

$$A_{n,-} = (2+n_y) m_x H \omega_y - 4y m_x \omega_y + (2+n_x) m_y L \omega_x.$$

Innflytelse av mørtel i stussfuger på indre arbeidsnivå er uttrykt vha forskjellen mellom indre arbeid ved muring med og uten vertikale mørtelfuger. Forskjellen utgjør:

$$A_{if} = 4y m_x \omega.$$

Det ytre arbeid blir:

$$A_{yt} = \frac{1}{3} q \delta_z \frac{xy}{2} 2 + \frac{1}{3} q \delta_z \frac{y(L-x)}{2} 2 + \frac{1}{2} q \delta_z L(H-2y) + \frac{1}{3} q \delta_z \frac{xy}{2} 2 + \frac{1}{3} q \delta_z \frac{y(L-x)}{2} 2,$$

$$A_{yt} = \frac{q \delta_z L}{6} (3H-2y).$$

Bruddlasten utledes også som ovenfor:

$$A_{in} \geq A_y,$$

$$\Rightarrow q_+ \leq \frac{6}{\delta_z L} \frac{(2+n_y)m_x H\omega_y + (2+n_x)m_y L\omega_x}{3H-2y},$$

$$\Rightarrow q_- \leq \frac{6}{\delta_z L} \frac{(2+n_y)m_x H\omega_y - 4ym_x\omega_y + (2+n_x)m_y L\omega_x}{3H-2y}.$$

Innflytelse av vertikale mørtelfuger på bruddlastnivå er mindre enn på indre arbeidsnivå. Den uttrykkes gjennom:

$$q_f = \frac{-24ym_x\omega_y}{\delta_z L(3H-2y)}.$$

For

$$\omega_x = \frac{\delta_z}{y}, \omega_y = \frac{\delta_z}{x},$$

$$x = \frac{L}{2} \Rightarrow \omega_y = \frac{2\delta_z}{L},$$

får man:

$$q_+ \leq \frac{6}{yL^2} \frac{2(2+n_y)m_x Hy + (2+n_x)m_y L^2}{3H-2y},$$

$$q_- \leq \frac{6}{yL^2} \frac{2(2+n_y)m_x Hy - 8y^2m_x + (2+n_x)m_y L^2}{3H-2y},$$

$$y \neq 0, y \neq \frac{3H}{2}, q_{+/-} > 0 \Rightarrow 0 < y < \frac{3H}{2}.$$

Denne bruddlinjen når en grenseverdi når to diagonaler krysses ved  $y = H/2$ . Følgelig ligger  $y$ -verdier i dette intervallet:

$$0 < y < \frac{H}{2}.$$

Ved  $y > H/2$  opptrer bruddlinjen som er vist i pkt 3.2 og veggbruddlastens beregning følger respektive bruddmodell.

### 8.1.1.1 Bestemmelse av den minste bruddlasten

Bruddlinjen som gir den minste bruddlasten opptrer ved avstand  $y$  slik at:

a) Ved muring med mørtel i stussfuger:

$$\frac{dq_+}{dy} = 0 \Leftrightarrow 4(2 + n_y)m_xHy^2 + 4(2 + n_x)m_yL^2y - 3H(2 + n_x)m_yL^2 = 0,$$

$$\Leftrightarrow y^2 + \frac{2 + n_x}{2 + n_y} \frac{m_y}{m_x} \frac{L^2}{H} y - \frac{3(2 + n_x)}{4(2 + n_y)} \frac{m_y}{m_x} L^2 = 0,$$

$$y_{1,2} = \frac{-b_r \pm \sqrt{\Delta}}{2a_r}, 0 < y_i < \frac{H}{2},$$

$$a_r = 4(2 + n_y)m_xH, b_r = 4(2 + n_x)m_yL^2, c_r = -3H(2 + n_x)m_yL^2, \Delta = b_r^2 - 4a_r c_r,$$

b) Ved muring uten mørtel i stussfuger:

$$\frac{dq_-}{dy} = 0 \Leftrightarrow 4(n_y - 4)m_xHy^2 + 4(2 + n_x)m_yL^2y - 3H(2 + n_x)m_yL^2 = 0,$$

$$\Leftrightarrow y^2 + \frac{2 + n_x}{n_y - 4} \frac{m_y}{m_x} \frac{L^2}{H} y - \frac{3(2 + n_x)}{4(n_y - 4)} \frac{m_y}{m_x} L^2 = 0,$$

$$y_{1,2} = \frac{-b_r \pm \sqrt{\Delta}}{2a_r}, 0 < y_i < \frac{H}{2},$$

$$a_r = 4(n_y - 4)m_xH, b_r = 4(2 + n_x)m_yL^2, c_r = -3(2 + n_x)m_yHL^2, \Delta = b_r^2 - 4a_r c_r.$$

Så blir den minste bruddlasten uttrykt som en funksjon av lengde:

$$q_+ = \frac{6}{y_i L^2} \frac{2(2 + n_y)m_xLy_i + (2 + n_x)m_y\beta L^2}{3L - 2\beta y_i},$$

$$q_- = \frac{6}{y_i L^2} \frac{y_i m_x [2(2 + n_y)L - 8\beta y_i] + (2 + n_x)m_y\beta L^2}{3L - 2\beta y_i}.$$

### 8.1.1.2 Bruddlinjeform med løperforband

Utgangspunktet er  $\operatorname{tg}\theta$ -formel knyttet til det lineære bruddforløp:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{y}{x} = \frac{2y}{L}.$$

Da blir bruddlasten:

$$q_+ \leq \frac{12}{L^2 \operatorname{tg}\theta} \frac{(2+n_y)m_x \operatorname{tg}\theta + (2+n_x)m_y \beta}{3 - \beta \operatorname{tg}\theta},$$
$$q_- \leq \frac{6}{L^2 \operatorname{tg}\theta} \frac{(2+n_y)m_x \operatorname{tg}\theta - 2\beta m_x \operatorname{tg}^2\theta + (2+n_x)m_y \beta}{3 - \beta \operatorname{tg}\theta}.$$

$\operatorname{tg}\theta$ -uttrykk knyttet til løperforband gir følgende uttrykk for bruddlastens formel:

$$q_+ \leq \frac{12\gamma}{aL^2} \frac{(2+n_y)m_x a + (2+n_x)m_y \beta\gamma}{3\gamma - a\beta},$$
$$q_- \leq \frac{12}{aL^2} \frac{(2+n_y)m_x a\gamma - 2\beta a^2 m_x + (2+n_x)m_y \beta\gamma}{3\gamma - a\beta},$$
$$3\gamma - a\beta \neq 0 \Rightarrow \beta \neq \frac{3\gamma}{a}, q_{+/-} > 0 \Rightarrow \beta < \frac{3\gamma}{a}.$$

Dette setter den høyeste grensen på veggens lengde/høyde forhold.

- For halvsteins løperforband,  $a = 2$ :

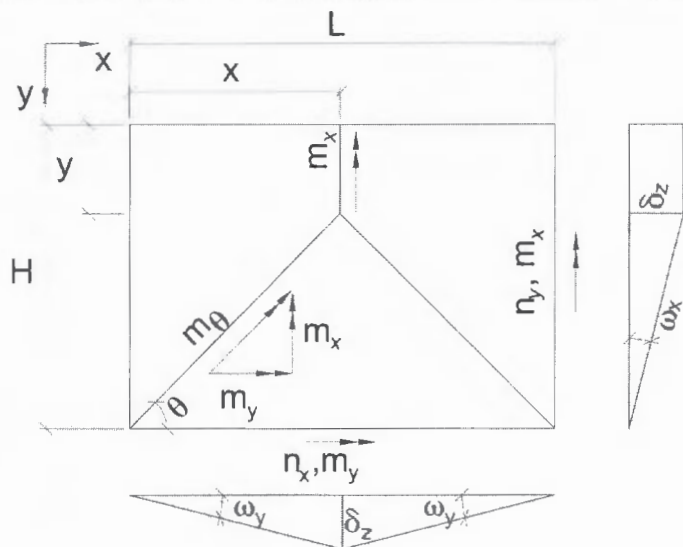
$$q_+ = \frac{6\gamma}{L^2} \frac{2(2+n_y)m_x + (2+n_x)m_y \beta\gamma}{3\gamma - 2\beta},$$
$$q_- = \frac{6}{L^2} \frac{2(2+n_y)m_x \gamma - 8\beta m_x + (2+n_x)m_y \beta\gamma}{3\gamma - 2\beta}.$$

- For kvartsteins løperforband,  $a = 4$ :

$$q_+ = \frac{3\gamma}{L^2} \frac{4(2+n_y)m_x + (2+n_x)m_y \beta\gamma}{3\gamma - 4\beta},$$
$$q_- = \frac{3}{L^2} \frac{4(2+n_y)m_x \gamma - 32\beta m_x + (2+n_x)m_y \beta\gamma}{3\gamma - 4\beta}.$$

## 8.1.2 3-sidig opplagret vegg

### 8.1.2.1 Bruddmønster deler veggens fri horisontale rand i to



Figur 8.1.2.1a Bruddmønster deler veggens fri horisontale rand i to

Indre arbeid regnes ut fra den angitte bruddlinjen og det ytre arbeid fra den tilsvarende 3-D deformasjonsfiguren:

$$A_{in,+} = m_y x \omega_x + m_y (L-x) \omega_x + n_x m_y L \omega_x + 2m_x (H-y) \omega_y + n_y m_x H \omega_y + 2m_x y \omega_y,$$

$$A_{in,+} = (1+n_x) m_y \omega_x + (2+n_y) m_x H \omega_y,$$

$$A_{in,-} = m_y x \omega_x + m_y (L-x) \omega_x + n_x m_y L \omega_x + n_y m_x H \omega_y + 2m_x y \omega_y,$$

$$A_{in,-} = (1+n_x) m_y \omega_x + (2y+n_y H) m_x \omega_y,$$

$$A_{yt} = \frac{1}{3} q \delta_z x \frac{H-y}{2} + \frac{1}{3} q \delta_z \frac{(L-x)(H-y)}{2} + \frac{1}{3} q \delta_z x \frac{H-y}{2} + \frac{1}{3} q \delta_z \frac{(L-x)(H-y)}{2} + \frac{1}{2} q \delta_z L y,$$

$$A_{yt} = \frac{1}{6} q \delta_z L (2H+y).$$

Innflytelse av vertikale mørtelfuger på indre arbeidsnivå uttrykkes gjennom denne forskjellen mellom de to indre arbeid:

$$A_{if} = 2m_x \omega_y (H-y).$$

Ved å sette det indre arbeid minst likt det ytre arbeid, får man følgende uttrykk for bruddlast:

$$q_+ \leq \frac{6}{\delta_z L} \frac{(1+n_x) m_y L \omega_x + (2+n_y) m_x H \omega_y}{2H+y},$$

$$q_- \leq \frac{6}{\delta_z L} \frac{(1+n_x) m_y L \omega_x + (2y+n_y H) m_x \omega_y}{2H+y}.$$

Som ovenfor er vertikale mørtelfugers innflytelse på bruddlastnivå mindre enn på indre arbeidsnivå. Den uttrykkes gjennom:

$$q_f = \frac{12m_x \omega_y (H - y)}{\delta_z L (2H + y)}$$

X er fastsatt på  $L/2$ . Derfor er bruddlinjeforløpet avhengig av  $y$ -verdier og veggens bruddlast uttrykkes gjennom disse:

$$\omega_x = \frac{\delta_z}{H - y},$$

$$\omega_y = \frac{\delta_z}{x} = \frac{2\delta_z}{L},$$

$$\Rightarrow q_+ \leq \frac{6}{L^2} \frac{(1 + n_x)m_y L^2 + 2(2 + n_y)m_x H(H - y)}{(2H + y)(H - y)},$$

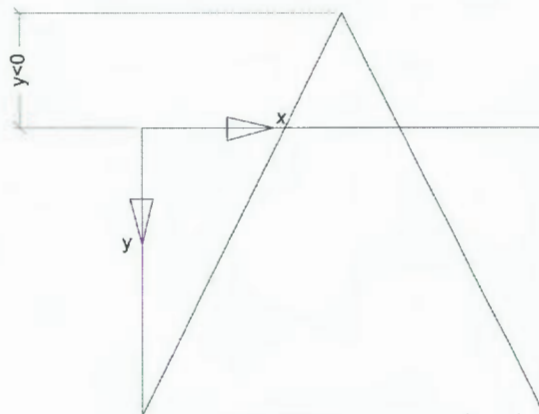
$$\Rightarrow q_- \leq \frac{6}{L^2} \frac{(1 + n_x)m_y L^2 + 2(2y + n_y H)m_x (H - y)}{(2H + y)(H - y)},$$

$$(2H + y)(H - y) \neq 0 \Rightarrow y \neq -2H, y \neq H, q_{+/-} > 0 \Rightarrow -2H < y < H.$$

Denne bruddlinjen kan variere mellom  $y = 0$  og  $y = H$ . Så blir det nye  $y$ -intervallet:

$$0 \leq y < H.$$

Ved negative  $y$ -verdier får man en bruddlinje som er vist i etterfølgende skisse, og som er behandlet i pkt 8.1.2.2.



Figur 8.1.2.1b Grafisk fremstilling av skrå bruddlinjer som krysser utenfor vegg høyde

### 8.1.2.1.1 Bestemmelse av den minste bruddlasten

Bruddlinjen som gir den minste bruddlasten opptrer ved avstand  $y$  slik at:

a) Ved muring med mørtel i stussfuger:

$$\frac{dq_+}{dy} = 0,$$

$$\Leftrightarrow 2(2 + n_y)m_xHy^2 - y[2(1 + n_x)m_yL^2 + 4(2 + n_y)m_xH^2] + 2(2 + n_y)m_xH^3 - (1 + n_x)m_yL^2H = 0,$$

$$\Leftrightarrow y^2 - y\left[\frac{1 + n_x}{2 + n_y} \frac{m_y}{m_x} \frac{L^2}{H} + 2H\right] + H^2 - \frac{1 + n_x}{2(2 + n_y)} \frac{m_y}{m_x} L^2 = 0,$$

$$y_{1,2} = \frac{-b_r \pm \sqrt{\Delta}}{2a_r}, 0 \leq y_i < H,$$

$$a_r = 2(2 + n_y)m_xH, b_r = -[2(1 + n_x)m_yL^2 + 4(2 + n_y)m_xH^2],$$

$$c_r = 2(2 + n_y)m_xH^3 - (1 + n_x)m_yL^2H, \Delta = b_r^2 - 4a_r c_r,$$

b) Ved muring uten mørtel i stussfuger:

$$\frac{dq_-}{dy} = 0,$$

$$\Leftrightarrow 2(4 - n_y)m_xHy^2 + 2[(1 + n_x)m_yL^2 - 2(4 - n_y)m_xH^2]y + 2(4 - n_y)m_xH^3 + (1 + n_x)m_yL^2H = 0,$$

$$\Leftrightarrow y^2 + y\left[\frac{1 + n_x}{4 - n_y} \frac{m_y}{m_x} \frac{L^2}{H} - 2H\right] + H^2 + \frac{1 + n_x}{2(4 - n_y)} \frac{m_y}{m_x} L^2 = 0,$$

$$y_{1,2} = \frac{-b_r \pm \sqrt{\Delta}}{2a_r}, 0 \leq y_i < H,$$

$$a_r = 2(4 - n_y)m_xH, b_r = 2[(1 + n_x)m_yL^2 - 2(4 - n_y)m_xH^2],$$

$$c_r = 2(4 - n_y)m_xH^3 + (1 + n_x)m_yL^2H, \Delta = b_r^2 - 4a_r c_r.$$

Så blir den minste bruddlasten uttrykt som en funksjon av lengde:

$$q_+ = \frac{6}{L^2} \frac{(1 + n_x)m_y\beta^2L^2 + 2(2 + n_y)m_xL(L - \beta y_i)}{(2L + \beta y_i)(L - \beta y_i)},$$

$$q_- = \frac{6}{L^2} \frac{(1 + n_x)m_y\beta^2L^2 + 2(2\beta y_i + n_yL)m_x(L - \beta y_i)}{(2L + \beta y_i)(L - \beta y_i)}.$$



### 8.1.2.1.2 Bruddlinjeform med løperforband

$\text{tg}\theta$ -formel knyttet til det lineære bruddforløp uttrykkes som følger:

$$\begin{aligned}\text{tg}\theta &= \frac{H-y}{x} = \frac{2(H-y)}{L} \Rightarrow H-y = \frac{L}{2}\text{tg}\theta, \\ \Rightarrow q_+ &\leq \frac{24}{L^2\text{tg}\theta} \frac{(1+n_x)m_y \frac{L}{H} + (2+n_y)m_x\text{tg}\theta}{6 - \frac{L}{H}\text{tg}\theta}, \\ \Rightarrow q_- &\leq \frac{24}{L^2\text{tg}\theta} \frac{(1+n_x)m_y \frac{L}{H} + (2+n_y - \frac{L}{H}\text{tg}\theta)m_x\text{tg}\theta}{6 - \frac{L}{H}\text{tg}\theta}.\end{aligned}$$

$\text{tg}\theta$ -uttrykk knyttet til løperforband gir følgende uttrykk for bruddlastens formel:

$$\begin{aligned}q_+ &\leq \frac{24}{L^2 a} \frac{(1+n_x)m_y\beta\gamma + (2+n_y)m_x a}{6\gamma - \beta a}, \\ q_- &\leq \frac{24}{L^2 a} \frac{(1+n_x)m_y\beta\gamma^2 + [(2+n_y)\gamma - \beta a]m_x a}{6\gamma - \beta a},\end{aligned}$$

med

$$6\gamma - \beta a \neq 0 \Rightarrow \beta \neq \frac{6\gamma}{a}, q_{+/-} > 0 \Rightarrow \beta < \frac{6\gamma}{a}.$$

Bruddlastens positive verdier innebærer at veggens lengde/høyde forhold må ligge under denne grensen.

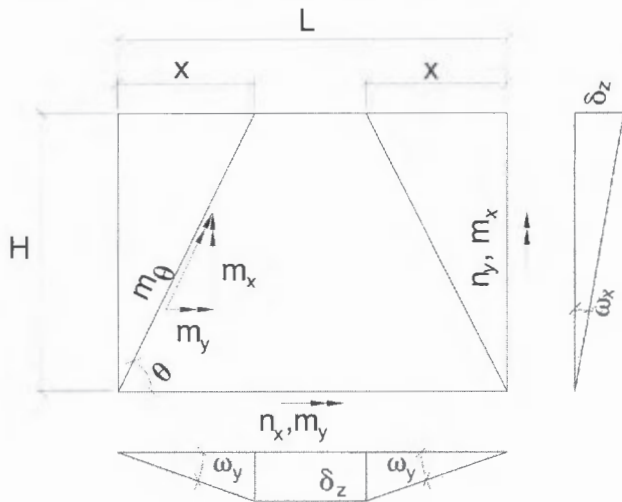
- For halvsteins løperforband,  $a = 2$ :

$$\begin{aligned}q_+ &= \frac{6}{L^2} \frac{(1+n_x)m_y\beta\gamma + 2(2+n_y)m_x}{3\gamma - \beta}, \\ q_- &= \frac{6}{L^2} \frac{(1+n_x)m_y\beta\gamma^2 + 2[(2+n_y)\gamma - 2\beta]m_x}{3\gamma - \beta}.\end{aligned}$$

- For kvartsteins løperforband,  $a = 4$ :

$$\begin{aligned}q_+ &= \frac{3}{L^2} \frac{(1+n_x)m_y\beta\gamma + 4(2+n_y)m_x}{3\gamma - 2\beta}, \\ q_- &= \frac{3}{L^2} \frac{(1+n_x)m_y\beta\gamma^2 + 4[(2+n_y)\gamma - 4\beta]m_x}{3\gamma - 2\beta}.\end{aligned}$$

### 8.1.2.2 Bruddmønster deler veggens fri horisontale rand i tre



Figur 8.1.2.2 Bruddmønster deler veggens fri horisontale rand i tre

Indre og ytre arbeid bestemmes som følger:

$$A_{in,+} = 2m_y x \omega_x + n_x m_y L \omega_x + 2m_x H \omega_y + n_y m_x H \omega_y,$$

$$A_{in,+} = (2x + n_x L) m_y \omega_x + (2 + n_y) m_x H \omega_y,$$

$$A_{in,-} = 2m_y x \omega_x + n_x m_y L \omega_x + n_y m_x H \omega_y,$$

$$A_{in,-} = (2x + n_x L) m_y \omega_x + n_y m_x H \omega_y,$$

$$A_{yt} = 2 \frac{q \delta_z}{3} \frac{xH}{2} + \frac{2q \delta_z}{3} \frac{xH}{2} + \frac{q \delta_z}{2} (L - 2x)H,$$

$$A_{yt} = \frac{q \delta_z H}{6} (3L - 2x).$$

Vertikale mørtelfugers innflytelse på indre arbeidsnivå uttrykkes gjennom forskjellen mellom de to indre arbeid:

$$A_{if} = 2m_x H \omega_y.$$

Bruddlasten utledes fra sammenligningen mellom det ytre arbeid og det indre arbeid:

$$q_+ \leq \frac{6[(2x + n_x L) m_y \omega_x + (2 + n_y) m_x H \omega_y]}{\delta_z H (3L - 2x)},$$

$$q_- \leq \frac{6[(2x + n_x L) m_y \omega_x + n_y m_x H \omega_y]}{\delta_z H (3L - 2x)}.$$

Som ovenfor er vertikale mørtelfugers innflytelse på bruddlastnivå mindre enn på indre arbeidsnivå og uttrykkes gjennom:

$$q_f = \frac{12m_x \omega_y}{\delta_z (3L - 2x)}.$$

Ved å sette:

$$\omega_y = \frac{\delta_z}{x}, \omega_x = \frac{\delta_z}{H},$$

gir dette:

$$q_+ \leq \frac{6}{xH^2} \frac{(2x + n_x L)m_y x + (2 + n_y)m_x H^2}{3L - 2x},$$

$$q_- \leq \frac{6}{xH^2} \frac{(2x + n_x L)m_y x + n_y m_x H^2}{3L - 2x},$$

$$xH^2(3L - 2x) \neq 0 \Leftrightarrow x \neq 0, x \neq \frac{3L}{2}, q_{+,-} > 0 \Rightarrow 0 < x < \frac{3L}{2}.$$

Da denne bruddlinjen kan opptre opptil  $x = L/2$ , ligger x-verdier i dette intervallet:

$$0 < x < \frac{L}{2}.$$

Ved  $x > L/2$  opptre bruddlinjen som er vist i pkt 8.1.2.1 og veggbruddlastens beregning følger respektive bruddmodell.

#### 8.1.2.2.1 Bestemmelse av den minste bruddlasten

Bruddlinjen som gir den minste bruddlasten opptre ved avstand x slik at:

a) Ved muring med mørtel i stussfuger:

$$\frac{dq_+}{dx} = 0,$$

$$\Leftrightarrow 2(3 + n_x)m_y Lx^2 + 4(2 + n_y)m_x H^2 x - 3(2 + n_y)m_x H^2 L = 0,$$

$$\Leftrightarrow x^2 + \frac{2(2 + n_y)}{3 + n_x} \frac{m_x}{m_y} \frac{H^2}{L} x - \frac{3(2 + n_y)}{2(3 + n_x)} \frac{m_x}{m_y} H^2 = 0,$$

$$x_{1,2} = \frac{-b_r \pm \sqrt{\Delta}}{2a_r}, 0 < x_i < \frac{L}{2},$$

$$a_r = 2(3 + n_x)m_y L, b_r = 4(2 + n_y)m_x H^2,$$

$$c_r = -3(2 + n_y)m_x H^2 L, \Delta = b_r^2 - 4a_r c_r,$$

b) Ved muring uten mørtel i stussfuger:

$$\begin{aligned} \frac{dq_{\pm}}{dx} &= 0, \\ \Leftrightarrow 2(3+n_x)m_y Lx^2 + 4n_y m_x H^2 x - 3n_y m_x H^2 L &= 0, \\ \Leftrightarrow x^2 + \frac{2n_y}{3+n_x} \frac{m_y}{m_x} \frac{H^2}{L} x - \frac{3n_y}{2(3+n_x)} \frac{m_x}{m_y} H^2 &= 0, \\ x_{1,2} &= \frac{-b_r \pm \sqrt{\Delta}}{2a_r}, 0 < x_i < \frac{L}{2}, \\ a_r &= 2(3+n_x)m_y L, b_r = 4n_y m_x H^2, \\ c_r &= -3n_y m_x H^2 L, \Delta = b_r^2 - 4a_r c_r. \end{aligned}$$

Så blir den minste bruddlasten uttrykt som en funksjon av lengde:

$$\begin{aligned} q_+ &= \frac{6}{L^2 x_i} \frac{(2x_i + n_x L)m_y \beta^2 x_i + (2+n_y)m_x L^2}{3L - 2x_i}, \\ q_- &= \frac{6}{L^2 x_i} \frac{(2x_i + n_x L)m_y \beta^2 x_i + n_y m_x L^2}{3L - 2x_i}. \end{aligned}$$

#### 8.1.2.2.2 Bruddlinjeform med løperforband

$\text{tg}\theta$  knyttet til det lineære bruddforløp uttrykkes som følger:

$$\text{tg}\theta = \frac{H}{x}, x = \frac{H}{\text{tg}\theta}.$$

Så blir bruddlasten:

$$\begin{aligned} q_+ &\leq \frac{6\beta^2}{L^2} \frac{(2+n_x \beta \text{tg}\theta)m_y + (2+n_y)m_x \text{tg}^2\theta}{3\beta \text{tg}\theta - 2}, \\ q_- &\leq \frac{6\beta^2}{L^2} \frac{(2+n_x \beta \text{tg}\theta)m_y + n_y m_x \text{tg}^2\theta}{3\beta \text{tg}\theta - 2}. \end{aligned}$$

Ved å knytte  $\text{tg}\theta$  til løperforband, får man:

$$\begin{aligned} q_+ &\leq \frac{6\beta^2}{L^2 \gamma} \frac{\gamma(2\gamma + n_x \beta a)m_y + a^2(2+n_y)m_x}{3\beta a - 2\gamma}, \\ q_- &\leq \frac{6\beta^2}{L^2 \gamma} \frac{\gamma(2\gamma + n_x \beta a)m_y + a^2 n_y m_x}{3\beta a - 2\gamma}, \\ 3\beta a - 2\gamma \neq 0 &\Rightarrow \beta \neq \frac{2\gamma}{3a}, q_{+/-} > 0 \Rightarrow \beta > \frac{2\gamma}{3a}. \end{aligned}$$

Betingelsen for bruddlastens positive verdier gir den laveste verdien på veggens lengde/høyde forhold.

- For halvsteins løperforband,  $a = 2$ :

$$q_+ = \frac{6\beta^2}{L^2\gamma} \frac{\gamma(\gamma + n_x\beta)m_y + 2(2 + n_y)m_x}{3\beta - \gamma},$$

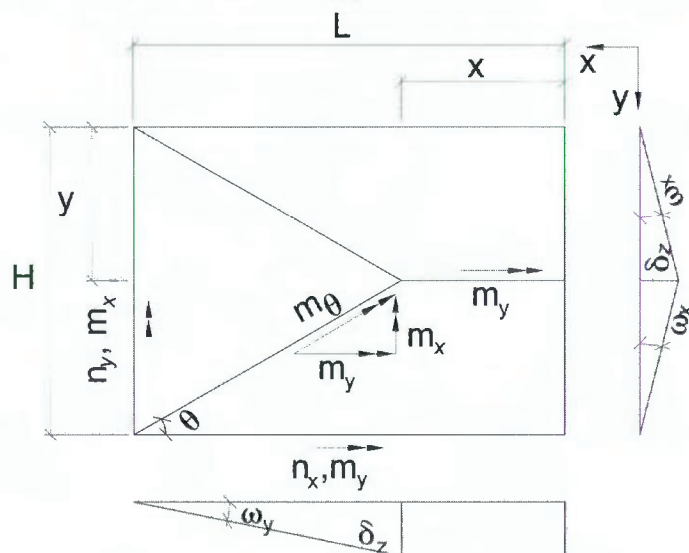
$$q_- = \frac{6\beta^2}{L^2\gamma} \frac{\gamma(\gamma + n_x\beta)m_y + 2n_y m_x}{3\beta - \gamma}.$$

- For kvartsteins løperforband,  $a = 4$ :

$$q_+ = \frac{6\beta^2}{L^2\gamma} \frac{\gamma(\gamma + 2n_x\beta)m_y + 8(2 + n_y)m_x}{6\beta - \gamma},$$

$$q_- = \frac{6\beta^2}{L^2\gamma} \frac{\gamma(\gamma + 2n_x\beta)m_y + 8n_y m_x}{6\beta - \gamma}.$$

### 8.1.2.3 Bruddmønster deler veggens fri vertikale rand i to



Figur 8.1.2.3a Bruddmønster deler veggens fri vertikale rand i to

Indre og ytre arbeid:

$$A_{in,+} = 2m_y(L-x)\omega_x + 2m_y x\omega_x + n_x m_y L\omega_x + m_x(H-y)\omega_y + n_y m_x H\omega_y + m_x y\omega_y,$$

$$A_{in,+} = (2 + n_x)m_y L\omega_x + (1 + n_y)m_x H\omega_y,$$

$$A_{in,-} = 2m_y x\omega_x + 2m_y(L-x)\omega_x + n_x m_y L\omega_x + n_y m_x H\omega_y,$$

$$A_{in,-} = (2 + n_x)m_y L\omega_x + n_y m_x H\omega_y,$$

$$A_{yt} = \frac{2}{3}q\delta_z y \frac{L-x}{2} + \frac{2}{3}q\delta_z \frac{(L-x)(H-y)}{2} + \frac{1}{2}q\delta_z Hx,$$

$$A_{yt} = \frac{1}{6}q\delta_z H(2L+x).$$

Vertikale mørtelfugers innflytelse på indre arbeidsnivå uttrykkes gjennom forskjellen mellom de to indre arbeid:

$$A_{jf} = m_x H\omega_y.$$

Ved å forutsette at det indre arbeid er minst likt det ytre arbeid, bestemmes bruddlasten  $q$  som følger:

For

$$\omega_x = \frac{\delta_z}{H-y}, \omega_y = \frac{\delta_z}{L-x}, y = \frac{H}{2} \Rightarrow \omega_x = \frac{2\delta_z}{H},$$

får man:

$$q_+ \leq \frac{6}{H^2} \frac{2(2+n_x)m_y L(L-x) + (1+n_y)m_x H^2}{(2L+x)(L-x)},$$

$$q_- \leq \frac{6}{H^2} \frac{2(2+n_x)m_y L(L-x) + n_y m_x H^2}{(2L+x)(L-x)},$$

$$(2L+x)(L-x) \neq 0, x \neq -2L, x \neq L, q_{\pm} > 0 \Rightarrow -2L < x < L.$$

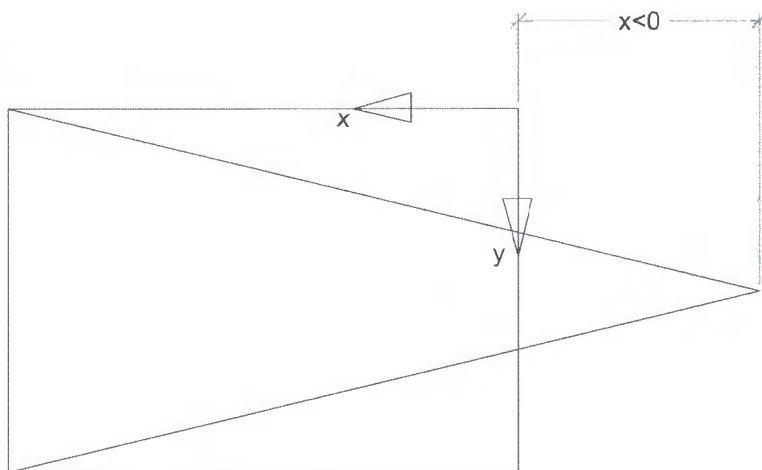
Som ovenfor er vertikale mørtelfugers innflytelse på bruddlastnivå mindre enn på indre arbeidsnivå. Den uttrykkes gjennom:

$$q_f = \frac{6m_x \omega_y}{\delta_z(2L+x)} = \frac{6m_x}{(L-x)(2L+x)}.$$

Denne bruddlinjen kan variere mellom  $x = 0$  og  $x = L$ . Så blir det nye  $x$ -intervallet:

$$0 \leq x < L.$$

Ved negative  $y$ -verdier får man en bruddlinje som er vist i etterfølgende skisse, og som er behandlet i pkt 8.1.2.4.



Figur 8.1.2.3b Grafisk fremstilling av skrå bruddlinjer som krysser utenfor vegg lengde

### 8.1.2.3.1 Bestemmelse av den minste bruddlasten

Bruddlinjen som gir den minste bruddlasten opptrer ved avstand  $x$  slik at:

a) Ved muring med mørtel i stussfuger:

$$\frac{dq_+}{dx} = 0,$$

$$\Leftrightarrow 2(2+n_x)m_y Lx^2 - [2(1+n_y)m_x H^2 + 4(2+n_x)m_y L^2]x + 2(2+n_x)m_y L^3 - (1+n_y)m_x H^2 L = 0,$$

$$\Leftrightarrow x^2 - \left[ \frac{1+n_y}{2+n_x} \frac{m_x}{m_y} \frac{H^2}{L} + 2L \right] x + L^2 - \frac{1+n_y}{2(2+n_x)} \frac{m_x}{m_y} H^2 = 0,$$

$$x_{1,2} = \frac{-b_r \pm \sqrt{\Delta}}{2a_r}, 0 \leq x_i < L,$$

$$a_r = 2(2+n_x)m_y L, b_r = -[2(1+n_y)m_x H^2 + 4(2+n_x)m_y L^2],$$

$$c_r = 2(2+n_x)m_y L^3 - (1+n_y)m_x H^2 L, \Delta = b_r^2 - 4a_r c_r,$$

b) Ved muring uten mørtel i stussfuger:

$$\frac{dq_-}{dy} = 0,$$

$$\Leftrightarrow 2(2+n_x)m_y Lx^2 - 2n_y m_x H^2 x + 2(2+n_x)m_y L^3 - n_y m_x H^2 L = 0,$$

$$\Leftrightarrow x^2 - \frac{n_y}{2+n_x} \frac{m_x}{m_y} \frac{H^2}{L} x + L^2 - \frac{n_y}{2(2+n_x)} \frac{m_x}{m_y} H^2 = 0,$$

$$x_{1,2} = \frac{-b_r \pm \sqrt{\Delta}}{2a_r}, 0 \leq x_i < L,$$

$$a_r = 2(2+n_x)m_y L, b_r = -2n_y m_x H^2,$$

$$c_r = 2(2+n_x)m_y L^3 - n_y m_x H^2 L, \Delta = b_r^2 - 4a_r c_r.$$

Så blir den minste bruddlasten avhengig av vegg lengde:

$$q_+ = \frac{6}{L^2} \frac{2(2+n_x)m_y \beta^2 L(L-x_i) + (1+n_y)m_x L^2}{(2L+x_i)(L-x_i)},$$

$$q_- = \frac{6}{L^2} \frac{2(2+n_x)m_y \beta^2 L(L-x_i) + n_y m_x L^2}{(2L+x_i)(L-x_i)}.$$

### 8.1.2.3.2 Bruddlinjeform med løperforband

$tg\theta$  knyttet til det lineære bruddforløp uttrykkes som følger:

$$tg\theta = \frac{H-y}{x}, x = \frac{H-y}{tg\theta}, y = \frac{H}{2} \Rightarrow x = \frac{H}{2tg\theta}.$$

Så blir bruddlasten:

$$q_+ \leq \frac{24\beta^2 tg\theta (2+n_x)m_y\beta + (1+n_y)m_x tg\theta}{L^2 (6\beta tg\theta - 1)},$$

$$q_- \leq \frac{24\beta^2 tg\theta (2+n_x)m_y\beta + n_y m_x tg\theta}{L^2 (6\beta tg\theta - 1)}.$$

Ved å knytte  $tg\theta$  til løperforband, blir det:

$$q_+ \leq \frac{24\beta^2 a (2+n_x)m_y\beta\gamma + (1+n_y)m_x a}{\gamma L^2 (6a\beta - \gamma)},$$

$$q_- \leq \frac{24\beta^2 a (2+n_x)m_y\beta\gamma + n_y m_x a}{\gamma L^2 (6a\beta - \gamma)},$$

$$6a\beta - \gamma \neq 0 \Rightarrow \beta \neq \frac{\gamma}{6a}, q_{+/-} > 0 \Rightarrow \beta > \frac{\gamma}{6a}.$$

Denne betingelsen for bruddlastens positive verdier gir den laveste grensen på veggens lengde/høyde forhold.

- For halvsteins løperforband,  $a = 2$ :

$$q_+ = \frac{48\beta^2 (2+n_x)m_y\beta\gamma + 2(1+n_y)m_x}{\gamma L^2 (12\beta - \gamma)},$$

$$q_- = \frac{48\beta^2 (2+n_x)m_y\beta\gamma + 2n_y m_x}{\gamma L^2 (12\beta - \gamma)}.$$

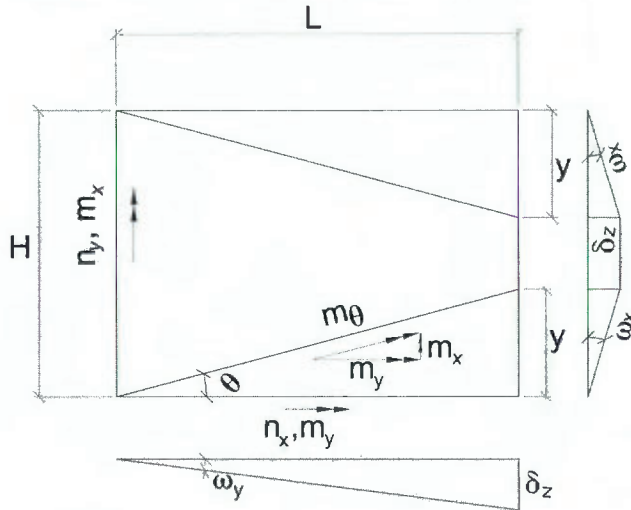
- For kvartsteins løperforband,  $a = 4$ :

$$q_+ = \frac{96\beta^2 (2+n_x)m_y\beta\gamma + 4(1+n_y)m_x}{\gamma L^2 (24\beta - \gamma)},$$

$$q_- = \frac{96\beta^2 (2+n_x)m_y\beta\gamma + 4n_y m_x}{\gamma L^2 (24\beta - \gamma)}.$$



### 8.1.2.4 Bruddmønster deler veggens fri vertikale rand i tre



Figur 8.1.2.4 Bruddmønster deler veggens fri vertikale rand i tre

Indre og ytre arbeid:

$$A_{m,+} = 2m_y L \omega_x + n_x m_y L \omega_x + 2m_x y \omega_y + n_y m_x H \omega_y,$$

$$A_{m,+} = (2 + n_x) m_y L \omega_x + (2y + n_y H) m_x \omega_y,$$

$$A_{m,-} = 2m_y L \omega_x + n_x m_y L \omega_x + n_y m_x H \omega_y,$$

$$A_{m,-} = (2 + n_x) m_y L \omega_x + n_y m_x H \omega_y,$$

$$A_y = 2 \frac{q \delta_z}{3} \frac{yL}{2} + \frac{2q \delta_z}{3} \frac{yL}{2} + \frac{q \delta_z}{2} L(H - 2y),$$

$$A_y = \frac{q \delta_z L}{6} (3H - 2y).$$

Forskjellen mellom de to indre arbeid er uttrykk for vertikale mørtelfugers innflytelse på indre arbeidsnivå:

$$A_{ff} = 2y m_x \omega_y.$$

Bruddlasten utledes ved å sammenligne indre og ytre arbeid:

$$q_+ \leq \frac{6[(2 + n_x) m_y L \omega_x + (2y + n_y H) m_x \omega_y]}{\delta_z L (3H - 2y)},$$

$$q_- \leq \frac{6[(2 + n_x) m_y L \omega_x + n_y m_x H \omega_y]}{\delta_z L (3H - 2y)}.$$

Som ovenfor er vertikale mørtelfugers innflytelse på bruddlastnivå mindre enn på indre arbeidsnivå. Den uttrykkes gjennom:

$$q_f = \frac{12y m_x \omega_y}{\delta_z L (3H - 2y)}.$$

For

$$\omega_x = \frac{\delta_z}{y}, \omega_y = \frac{\delta_z}{L},$$

får man:

$$q_+ \leq \frac{6[(2 + n_x)m_y L^2 + (2y + n_y H)m_x y]}{yL^2(3H - 2y)},$$

$$q_- \leq \frac{6[(2 + n_x)m_y L^2 + n_y m_x Hy]}{yL^2(3H - 2y)},$$

$$y \neq 0, y \neq \frac{3H}{2}, q_{+-} > 0 \Rightarrow 0 < y < \frac{3H}{2}.$$

Denne bruddlinjen kan opptre opptil  $y = H/2$ . Derfor ligger  $y$ -verdier i dette intervallet:

$$0 < y < \frac{H}{2}.$$

Ved  $y > L/2$  opptrer bruddlinjen som er vist i pkt 8.1.2.3 og veggbruddlastens beregning følger respektive bruddmodell.

#### 8.1.2.4.1 Bestemmelse av den minste bruddlasten

Bruddlinjen som gir den minste bruddlasten opptrer ved avstand  $y$  slik at:

a) Ved muring med mørtel i stussfuger:

$$\begin{aligned}\frac{dq_+}{dy} &= 0, \\ \Leftrightarrow 2(3+n_y)m_xHy^2 + 4(2+n_x)m_yL^2y - 3(2+n_x)m_yL^2H &= 0, \\ \Leftrightarrow y^2 + \frac{2(2+n_x)m_yL^2}{3+n_y}y - \frac{3(2+n_x)m_yL^2H}{2(3+n_y)m_x} &= 0, \\ y_{1,2} &= \frac{-b_r \pm \sqrt{\Delta}}{2a_r}, 0 < y_i < \frac{H}{2}, \\ a_r &= 2(3+n_y)m_xH, b_r = 4(2+n_x)m_yL^2, \\ c_r &= -3(2+n_x)m_yL^2H, \Delta = b_r^2 - 4a_r c_r.\end{aligned}$$

b) Ved muring uten mørtel i stussfuger:

$$\begin{aligned}\frac{dq_-}{dy} &= 0, \\ \Leftrightarrow 2(3+n_y)m_xHy^2 + 4n_xm_yL^2y - 3n_xm_yL^2H &= 0, \\ \Leftrightarrow y^2 + \frac{2n_xm_yL^2}{3+n_y}y - \frac{3n_xm_yL^2H}{2(3+n_y)m_x} &= 0, \\ y_{1,2} &= \frac{-b_r \pm \sqrt{\Delta}}{2a_r}, 0 < y_i < \frac{H}{2}, \\ a_r &= 2(3+n_y)m_xH, b_r = 4n_xm_yL^2, \\ c_r &= -3n_xm_yL^2H, \Delta = b_r^2 - 4a_r c_r.\end{aligned}$$

Så blir den minste bruddlasten uttrykt som en funksjon av vegg lengde:

$$\begin{aligned}q_+ &= \frac{6}{L^2 y_i} \frac{(2+n_x)m_y\beta L^2 + (2\beta y_i + n_y L)m_x y_i}{3L - 2\beta y_i}, \\ q_- &= \frac{6}{L^2 y_i} \frac{(2+n_x)m_y\beta L^2 + n_y m_x L y_i}{3L - 2\beta y_i}.\end{aligned}$$

#### 8.1.2.4.2 Bruddlinjeform med løperforband

$tg\theta$  knyttet til det lineære bruddforløp uttrykkes som følger:

$$tg\theta = \frac{y}{L}, y = Ltg\theta.$$

Så blir bruddlasten:

$$q_+ \leq \frac{6[(2 + n_x)m_y\beta + (2\beta tg\theta + n_y)m_x tg\theta]}{L^2 tg\theta(3 - 2\beta tg\theta)},$$
$$q_- \leq \frac{6[(2 + n_x)m_y\beta + n_y m_x tg\theta]}{L^2 tg\theta(3 - 2\beta tg\theta)}.$$

Ved å knytte  $tg\theta$  til løperforband, får man:

$$q_+ \leq \frac{6[(2 + n_x)m_y\beta\gamma^2 + a(2a\beta + n_y\gamma)m_x]}{aL^2(3\gamma - 2a\beta)},$$
$$q_- \leq \frac{6[(2 + n_x)m_y\beta\gamma^2 + n_y m_x a\gamma]}{aL^2(3\gamma - 2a\beta)},$$
$$3\gamma - 2a\beta \neq 0 \Rightarrow \beta \neq \frac{3\gamma}{2a}, q_{+/-} > 0 \Rightarrow \beta < \frac{3\gamma}{2a}.$$

Betingelsen over gir den høyeste grensen på veggens dimensjonsforhold  $\beta$ .

- For halvsteins løperforband,  $a = 2$ :

$$q_+ = \frac{3[(2 + n_x)m_y\beta\gamma^2 + 2(4\beta + n_y\gamma)m_x]}{L^2(3\gamma - 4\beta)},$$
$$q_- = \frac{3[(2 + n_x)m_y\beta\gamma^2 + 2n_y m_x \gamma]}{L^2(3\gamma - 4\beta)}.$$

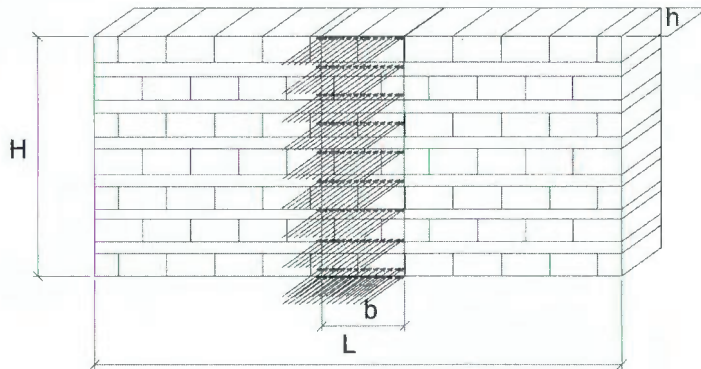
- For kvartsteins løperforband,  $a = 4$ :

$$q_+ = \frac{3[(2 + n_x)m_y\beta\gamma^2 + 4(8\beta + n_y\gamma)m_x]}{2L^2(3\gamma - 8\beta)},$$
$$q_- = \frac{3[(2 + n_x)m_y\beta\gamma^2 + 4n_y m_x \gamma]}{2L^2(3\gamma - 8\beta)}.$$

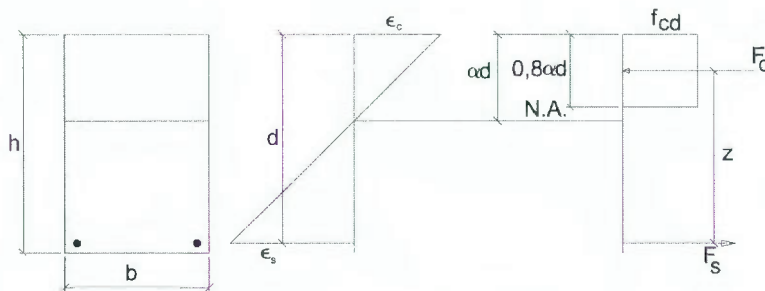
## 8.2 Momentkapasitetens formler: armert tverrsnitt

### 8.2.1 Vertikalarmert vegg

Behovet for vertikal armering i en murvegg kan skisseres ved å betrakte bøyningsspåkjenning på grunn av horisontallast, som for eksempel jordtrykk:



Figur 8.2.1a Grafisk skisse for horisontalbelastet vertikalt veggelement



Figur 8.2.1b Grafisk skisse for utledning av tverrsnittets vertikale momentkapasitet

Ved å betrakte et veggelement med 1 m lengde og ved å undersøke tverrsnittets likevektstilstand, kan tverrsnittets momentkapasitet utledes.

#### 8.2.1.1 Trykksoneens momentkapasitet

I tverrsnittets likevektstilstand gir momentenes ligning om strekkraftens angrepspunkt trykksoneens momentkapasitet  $M_{cd}$ :

$$M_{cd} = F_c z,$$

$$F_c = f_{cd} A_c,$$

$$A_c = 0,8\alpha db \Rightarrow F_c = f_{cd} 0,8\alpha db,$$

$$z = d(1 - 0,4\alpha) \Rightarrow M_{cd} = f_{cd} 0,8\alpha d^2 b(1 - 0,4\alpha).$$

I bruddgrensetilstanden oppnår armeringsstål flytetøyningen mens murverk oppnår den maksimale trykktøyningen. Fra dette utledes faktoren  $\alpha$ :

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{\alpha d} = \frac{\varepsilon_{sy} + \varepsilon_{cu}}{d} \Rightarrow \alpha = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{sy} + \varepsilon_{cu}}.$$

Derav følger at momentkapasiteten blir avhengig av materialenes tøyninger:

$$M_{cd} = 0,8 \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{sy} + \varepsilon_{cu}} f_{cd} d^2 b \left(1 - 0,4 \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{sy} + \varepsilon_{cu}}\right).$$

### 8.2.1.2 Strekksonens momentkapasitet

Momentenes ligning ifht. trykkraftens angrepspunkt gir strekksonens momentkapasitet  $M_{sd}$ :

$$M_{sd} = F_s z,$$

$$F_s = f_{sd} A_s,$$

$$z = d(1 - 0,4\alpha) \Rightarrow M_{sd} = f_{sd} A_s d(1 - 0,4\alpha).$$

For balansert armering settes:

$$M_{cd} = M_{sd},$$

$$\Leftrightarrow f_{cd} 0,8\alpha d^2 b(1 - 0,4\alpha) = f_{sd} A_s d(1 - 0,4\alpha) \Rightarrow \alpha = \frac{f_{sd} A_s}{f_{cd} 0,8db}.$$

Etter [6] begrenses den indre momentarmen som følger:

$$z = d(1 - 0,4\alpha) = d\left(1 - \frac{0,5 f_{sd} A_s}{f_{cd} db}\right) \leq 0,95d.$$

Så blir strekksonens momentkapasitet:

$$M_{sd} = f_{sd} A_s d \left(1 - \frac{0,5 f_{sd} A_s}{db f_{cd}}\right).$$

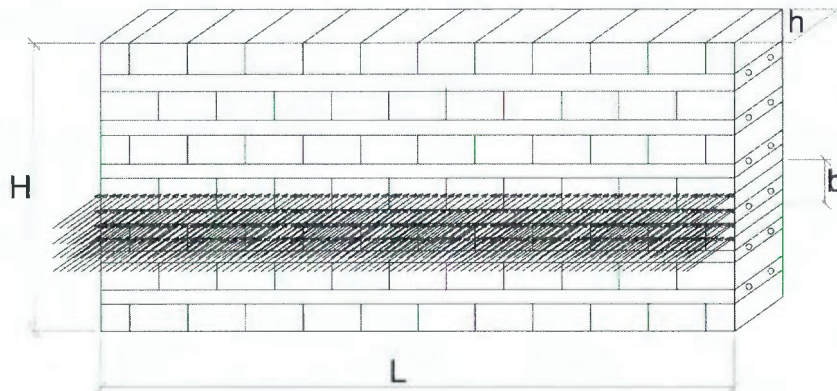
Den minste av  $M_{cd}$  og  $M_{sd}$  blir tverrsnittets dimensjonerende momentkapasitet.

Ved å erstatte  $b$  med den virkelige vegg lengden får man momentkapasiteten i den vertikale retningen. Momentet per 1 m lengde fås ved å dividere momentet med vegg lengden. Momentkapasitet bestemt ut fra veggens bøyestrekfasthet kan da erstattes av den armerte veggens momentkapasitet ved beregning av den armerte veggens dimensjonerende horisontallast.

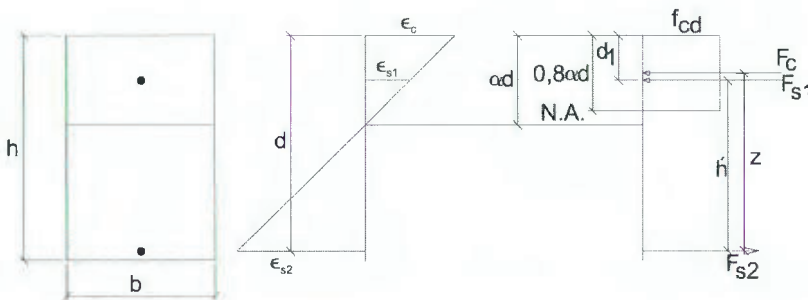
For toveisplater og i den horisontale retning er veggens momentkapasitet utledet fra bøyestrekfasthet som innføres i bruddlastens formel.

### 8.2.2 Horisontalarmert vegg: fugearmering

Ved horisontal belastning utvikles spenninger langs veggens tykkelse. En av armeringsstengene kommer under strekkpåkjenning mens den andre kan bli under trykk- eller strekkpåkjenning. Dette er avhengig av dens avstand fra veggens frie kant.



Figur 8.2.2a Grafisk skisse for horisontalbelastet horisontalt veggelement



Figur 8.2.2b Grafisk skisse for utledning av tverrsnittets horisontale momentkapasitet

#### 8.2.2.1 En stang er under strekkpåkjenning

I dette tilfellet har man:

$$d_1 < \alpha d$$

### 8.2.2.1.1 Trykksonens momentkapasitet

Likevektsbetraktningen på tverrsnittsnivå gir momentenes ligning ifht. strekkraftens angrepspunkt. Derav utledes trykksonens momentkapasitet:

$$M_{cd} = F_c z + F_{s1} h',$$

$$F_c = f_{cd} A_c,$$

$$A_c = 0,8\alpha d b - A'_s \Rightarrow F_c = f_{cd} (0,8\alpha d b - A'_s).$$

$$F_{s1} = A'_s E_s \varepsilon_{s1}, A'_s = A_{s2} = A_s,$$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_c \left(1 - \frac{d_1}{\alpha d}\right) \Rightarrow F_{s1} = A_s E_s \varepsilon_c \left(1 - \frac{d_1}{\alpha d}\right),$$

$$z = d(1 - 0,4\alpha), h' = d - d_1,$$

$$M_{cd} = (0,8\alpha d b - A_s) f_{cd} d(1 - 0,4\alpha) + A_s E_s \varepsilon_c \left(1 - \frac{d_1}{\alpha d}\right) (d - d_1).$$

### 8.2.2.1.2 Strekksonens momentkapasitet

Ved å betrakte momentenes ligning ifht. tyngdepunkt på trykkspenningsblokk utledes strekksonens momentkapasitet:

$$M_{sd} = F_{s2} z + F_{s1} z_1,$$

$$F_{s2} = f_{sd} A_s, F_{s1} = A_s E_s \varepsilon_c \left(1 - \frac{d_1}{\alpha d}\right),$$

$$z = d(1 - 0,4\alpha),$$

$$z_1 = d_1 - 0,4\alpha d,$$

$$M_{sd} = f_{sd} A_s d(1 - 0,4\alpha) + A_s E_s \varepsilon_c \left(1 - \frac{d_1}{\alpha d}\right) (d_1 - 0,4\alpha d).$$

$\alpha$  bestemmes ved å løse ligningen utledet fra antagelse om balansert armering:

$$M_{cd} = M_{sd}.$$

### 8.2.2.2 Begge stenger er under strekkpåkjenning

I dette tilfellet har man:

$$d_1 > \alpha d.$$

Momentenes ligninger utledet fra likevektsbetraktninger på den samme måten som ovenfor gir:

#### 8.2.2.2.1 Trykksonens momentkapasitet

$$M_{cd} = (0,8\alpha d b - A_s) f_{cd} d(1 - 0,4\alpha) + A_s E_s \varepsilon_c \left(\frac{d_1}{\alpha d} - 1\right) (d - d_1),$$

#### 8.2.2.2.2 Strekksonens momentkapasitet

$$M_{sd} = f_{sd} A_s d(1 - 0,4\alpha) + A_s E_s \varepsilon_c \left(\frac{d_1}{\alpha d} - 1\right) (d_1 - 0,4\alpha d).$$



### 8.2.2.3 Trykkarmering neglisjeres

Hvis trykkpåkjent armering ikke har noen beregningsmessig funksjon, tas det ikke hensyn til den ved beregning av tverrsnittets momentkapasitet. Man får da de samme formlene som for vertikalarmert vegg:

#### 8.2.2.3.1 Trykksonens momentkapasitet

$$M_{cd} = 0,8 \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{sy} + \varepsilon_{cu}} f_{cd} d^2 b \left(1 - 0,4 \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{sy} + \varepsilon_{cu}}\right),$$

#### 8.2.2.3.2 Strekksonens momentkapasitet

$$M_{sd} = f_{sd} A_s d \left(1 - \frac{0,5 f_{sd} A_s}{db f_{cd}}\right).$$

Det minste av disse momentene blir tverrsnittets dimensjonerende momentkapasitet.

Ved å erstatte  $b$  med den virkelige veggøyden får man momentkapasiteten i den horisontale retningen. Momentet per 1 m høyde fås ved å dividere momentet med veggøyden. Momentkapasitet bestemt ut fra veggens bøyestrekfasthet kan da erstattes av den armerte veggens momentkapasitet ved beregning av den armerte veggens dimensjonerende horisontallast.

For toveisplater og i den vertikale retning er veggens momentkapasitet utledet fra bøyestrekfasthet som innføres i bruddlastens formel.

ISBN-13: 978-82-92756-00-3 (Murkatalogen)  
ISBN-10: 82-92756-00-0 (Murkatalogen)  
ISBN-13: 978-82-92756-41-6 (S1)  
ISBN-10: 82-92756-41-8 (S1)