

SBI-pvib1.

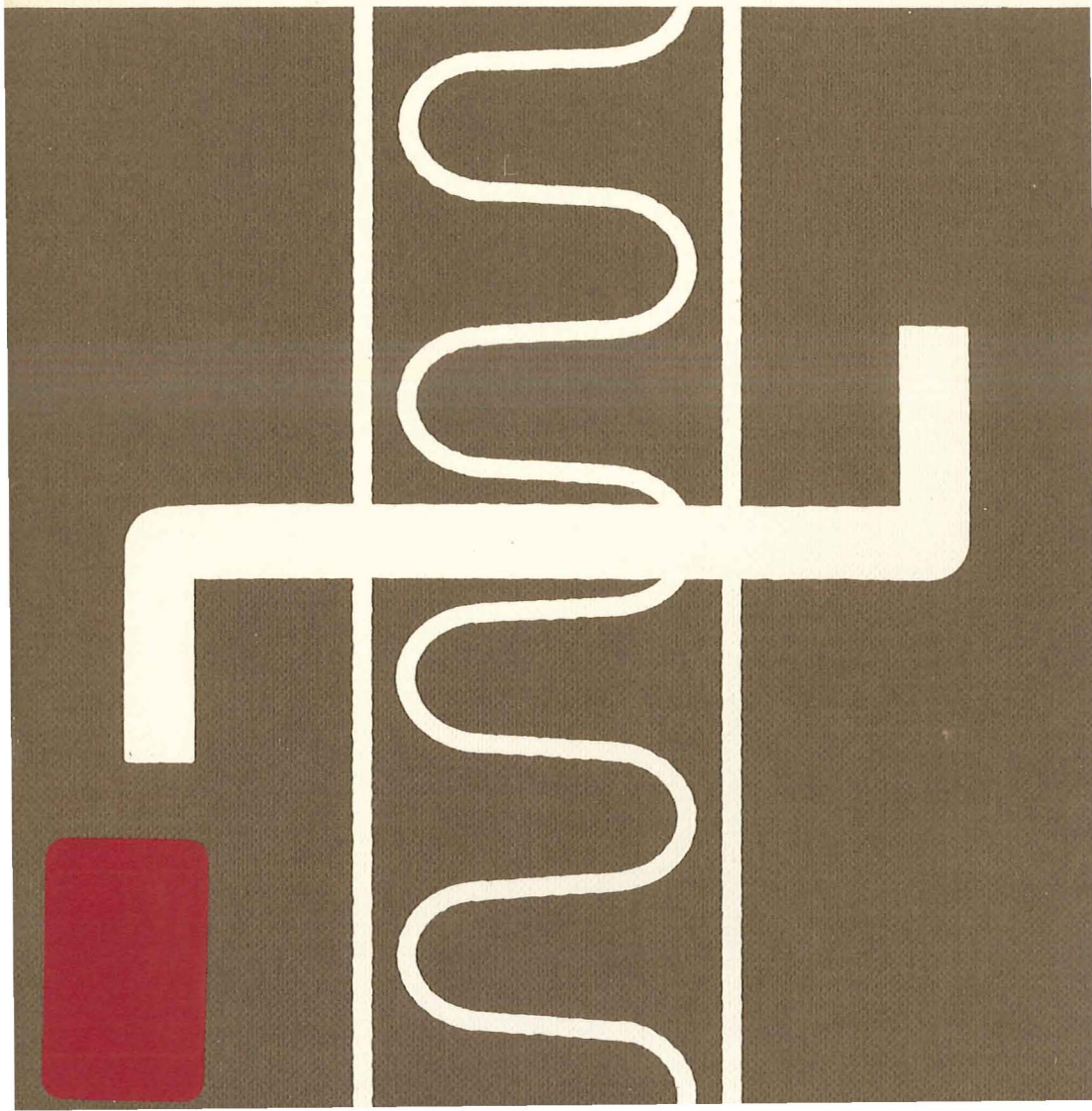
Trådbindere til forankring af skalmure



2. reviderede udgave

Henry Høfding Knutsson

SBI-ANVISNING 101 STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1976



Trådbindere til forankring af skalmure

2. reviderede udgave

HENRY HØFFDING KNUTSSON



00644P
STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

ex. 2
24 MRS. 1977

Til *Norm for murværk* udsendte Dansk Ingeniørforening i marts 1975 et tillæg vedrørende skalmure. Nærværende SBI-anvisning skal betragtes som et supplement til normtillægget og har til formål at lette det daglige arbejde med dimensionering af trådbindere. Anvisningen er udarbejdet i samarbejde med det normudvalg, som forestod normtillægget.

Skalmure	side 6
Skalmure med højde indtil 7 m, 7	
Skalmure med højde indtil 25 m, 8	
Indmuring af trådbindere, 9	
Beregningsformler	side 12
Bogstavsymboler, 12	
1. Differensbevægelser, 14	
2. Horisontalkræfter, 15	
3. Differensbevægelser samt horisontalkræfter, 15	
4. Beregning af binderafstand, 21	
Beregningseksempel, 24	
Grundlag for dimensioneringsdiagrammer	side 29
Beregningsforudsætninger, 30	
1. Differensbevægelser ($g + t$), 31	
2. Horisontalkræfter ($g + w$), 32	
3. Differensbevægelser samt horisontalkræfter ($g + w + t$), 33	
4. Beregning af binderafstand ($g + w$), 34	
Tabeller over afstande mellem binderrækker, 35	
Dimensioneringseksempler	side 40
Dimensioneringsdiagrammer	side 43

ISBN 87-563-0242-8. I kommission hos Teknisk Forlag.
Pris: Kr. 25,00 excl. moms. Oplag: 3000.
Tryk: Bianco Luno, København.
Statens Byggeforskningsinstitut:
Postboks 119, 2970 Hørsholm. Telefon 02-86 55 33.
Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:
»SBI-anvisning 101: Trådbindere til forankring af skalmure. 2. reviderede udgave 1976«.

Forord

Korrektion

SBI udsendte i maj 1975 1. udgave af denne anvisning. I februar 1976 blev instituttet imidlertid opmærksom på en fejl i dimensioneringsdiagrammerne. Derfor bad SBI fagpressen om at bringe en meddelelse herom samtidig med, at der bragtes en forklaring på, hvordan diagrammerne skulle korrigeres for at kunne benyttes, indtil 2. udgave af anvisningen forelå.

Partialkoefficient

Den omtalte fejl skyldtes, at der var regnet med partialkoefficienten 1,0 på materialesiden i søjleformlerne for tryk alene, medens der burde have været regnet med partialkoefficienten 1,5. Idet en partialkoefficient på materialesiden i fx Eulerformlen sædvanligvis betragtes som en partialkoefficient på elasticitetskoefficienten, er der derfor i denne 2. udgave af anvisningen regnet med $f_E = 1,5$ i lastkombinationen egenlast + vind.

Ombytning

Den her foreliggende 2. udgave af anvisningen erstatter 1. udgave. Ejere af 1. udgave kan få denne ombyttet gratis med 2. udgaven ved henvendelse til SBI.

Forbedringer

Med udsendelse af 2. udgave har SBI benyttet lejligheden til at foretage en række forbedringer. Det kan således nævnes, at antallet af dimensioneringsdiagrammer er justeret således, at de er i overensstemmelse med det udvalg af diametre og kvaliteter af bindertråd, som for tiden lagerføres hos leverandørerne. Endvidere har civilingeniør Olaf Mohr udledt et sæt nye formler til lastkombinationen »differensbevægelser samt horisontalkræfter«. Endelig er de anvendte bogstavsymboler bragt i overensstemmelse med de symboler, som nu anvendes i Dansk Ingeniørforenings konstruktionsnormer.

Skalmure

Ny byggeskik

Inden for byggeriet sker samtidig med en forøgelse af isoleringstykkelsen en stigende anvendelse af præfabrikerede konstruktionsdele. Det har blandt andet til følge, at ydervægge nu udføres som en sammensat konstruktion, bestående indvendig af en bærende væg og udvendig af en ikke-bærende klimaskærm.

Den bærende indervæg kan udføres af tegl, men udføres oftere af etagehøje elementer fx af beton, letbeton eller træ. Den ikke-bærende ydervæg kan udføres af mange forskellige materialer, men for at give bygningerne et præg af traditionelt muret byggeri, udføres ydervæggen ofte som en $\frac{1}{2}$ -stens eller en bredstens skalmur.

Trådbindere

En sådan skalmur er ikke i stand til at optage vindlast, hvorfor den må fastholdes til den bærende indervæg. Dette kan gøre ved hjælp af metaltråde, trådbindere, som indmures med en hageformet ombukning i skalmuren og fastgøres lige så godt i bagvæggen.

Murværksnorm

I Dansk Ingeniørforenings norm for murværk, DS 414, er der i afsnit 5.6 angivet nogle få regler for trådbindere i hule mure. Det har imidlertid vist sig, at disse få regler ikke har været tilstrækkeligt detaljerede. For eksempel er der ikke angivet krav til binderens udformning eller binderens placering i væggene.

Forårsaget af nogle ulykker med nedstyrtning af skalmurede gavle henvendte boligministeriet sig til DIF om bistand med udformning af mere detaljerede bestemmelser vedrørende fastgørelse og udførelse af skalmure.

DIF nedsatte herefter et arbejdsudvalg bestående af laboratoriechef, civilingeniør H Dührkop og rådgivende civilingeniør Bjørn Simonsen. Det fik til opgave at udarbejde et forslag til regler for skalmure, omfattende blandt andet bindertyper (materialevalg), binderudformninger med mere.

Styrkeforsøg

Arbejdsudvalget lod udføre nogle forsøg til bestemmelse af udtræksstyrken af trådbindere og udarbejdede derefter i samråd med DIFs permanente normudvalg for murværk et tillæg 1 til DS 414 vedrørende skalmure.

Definition af en skalmur

Det fremgår af tillægget, at *en skalmur defineres som en mur, der udover vindlast kun er belastet med sin egenlast, og som udføres i forbindelse med lodretstående væg, der i sig selv eller i forbindelse med den øvrige konstruktion er stabile over alle påvirkninger, som væggene skulle beregnes for, såfremt skalmuren ikke fandtes.*

Bygningshøjder

I de tilfælde, hvor formuren i en hulmur belastes med lodret last fra tagkonstruktionen eller lignende, betragtes formuren altså ikke som en skalmur. Sådanne ydermure skal derfor beregnes på sædvanlig måde, således at formuren bliver stabil i sig selv eller i forbindelse med den øvrige konstruktion.

Bestemmelserne i tillægget gælder kun for skalmure med en maksimal højde på 25 m, svarende til bygninger med indtil ca 8 etager. Tillægget omfatter desuden særlige bestemmelser, der kan anvendes for skalmure med indtil 7 m højde.

Normtillæggets krav

I det følgende gives en oversigt over tillæggets bestemmelser. Det bemærkes, at de anførte stenklasser er udtryk for stenedes karakteristiske trykstyrke i MN/m².

Skalmur

Skalmure med højde indtil 7 m

Skalmuren skal mindst være en $\frac{1}{2}$ -stens mur udført i klasse B med sten af stenklasse 15 (150 kp/cm²) eller stærkere klasse. Det er tilladt at anvende sten af forskellige stenklasser i samme mur. Mørtlen skal mindst svare til KC 50/50 eller mørtel M 100/600. Der skal altid i en skalmur mures med fyldte fuger.

Bagvæg

For to-etages bygninger stilles der ikke krav til materialevalget i den væg, hvortil skalmuren forankres, men ifølge definitionen for en skalmur skal bagvæggen i sig selv eller i forbindelse med den øvrige konstruktion være stabil.

Bindere

Bindere til fastholdelse af skalmuren kan dimensioneres og udføres på flere måder.

a. *Trådbindere af varmforzinket stål* med en diameter på mindst 4 mm kan bruges uden nærmere undersøgelse,

dersom der anbringes mindst 8 bindere jævnt fordelt pr m² mur. Afstanden mellem skalmur og bagvæg skal være mindst 50 mm og højst 150 mm.

b. *Trådbindere af korrosionsfast metal*, fx rustfrit stål eller tinbronze med en diameter på mindst 3 mm kan bruges, dersom der foretages en beregning af binderafstandene som beskrevet under skalmure med højde indtil 25 m.

c. *Andre bindermaterialer og -udformninger* (fx plastbindere) kan bruges uden særlig beregning, hvis det dokumenteres, at visse krav til blandt andet styrke, stivhed, brandstabilitet og binderantal er opfyldt. Brudlasten over for både træk og tryk af hver binder og dens forankring i skalmur og bagvæg skal mindst være 0,5 kN. Binderens længdestivhed skal mindst være så stor, at forlængelsen eller forkortelsen incl befæstelsernes eftergiven ved et træk eller tryk på 0,25 kN i 5 minutter højst er $1/200 \cdot$ hulrummets tykkelse. Binderens bøjningsstivhed skal være så lille, at binderen kan tåle forekommende differensbevægelser mellem skalmur og bagvæg og uden at beskadige disse. Opfyldelsen af disse krav kan fx dokumenteres gennem prøvning. Dersom brudlast og længdestivhed netop opfylder kravene, skal der anbringes mindst 8 bindere pr m²; dersom brudlast og længdestivhed er større, reduceres det nødvendige binderantal tilsvarende, dog skal der altid anbringes mindst 4 bindere pr m².

Skalmure med højde indtil 25 m

Skalmuren skal mindst være $1/2$ -stens mur udført i klasse A, eller en bredstensmur udført i klasse B. De anvendte mursten skal være af stenklasse 30 (300 kp/cm²) eller stærkere klasse, og den anvendte mørtel skal mindst svare til KC 20/80 eller M 100/400. Der skal altid i en skalmur mures med fyldte fuger.

Anvendelse af håndstrøgne eller blødpresede mursten af en lavere klasse end stenklasse 30 (300 kp/cm²) kan tillades, når der gives garanti for, at murstenene er vejrfaste, og skalmurens stabilitet og styrke eftervises. I denne forbindelse skal opmærksomheden specielt henledes på eventuelle sætninger i skalmuren i forhold til bagvæggen.

Bagvæg

Væggen, hvortil skalmuren fastgøres, skal udføres enten som muret væg eller betonvæg, der kan være støbt på stedet eller udført af elementer.

Bindere

Binderne skal være udført af korrosionsfast materiale med en diameter på mindst 4 mm. Ved korrosionsfast materiale forstås fx

: Rustfrit stål, kvalitet 18/8 eller bedre.

: Tinbronze, kvalitet 93,8 pct kobber, 6 pct tin og 0,2 pct fosfor.

Beregning

Bindernes placering skal altid bestemmes ved beregning. Der skal herved tages to hensyn.

For det første er den lodrette afstand mellem binderækkerne begrænset af, at skalmuren skal kunne spænde frit mellem binderrækkerne under påvirkning af vindlasten. Skalmurens egenlast regnes her som eneste stabiliserende last. Afstanden mellem binderrækkerne må i øvrigt ikke overstige 3 m.

For det andet skal binderne, uden at deres regningsmæssige flydespænding eller kritiske spænding overskrides, kunne udsættes for de tværdeformationer, som skyldes de forventede differensbevægelser mellem skalmur og bagvæg, samt for de normalkræfter, der skyldes vindlast på skalmuren. Heri ligger der et kompromis, idet de påtvungne tværdeformationer taler for bindere med lille stivhed, medens rent tryk i binderne taler for stor stivhed. Den maximale normalkraft, binderne kan optage alene eller i kombination med differensbevægelser, bestemmer det nødvendige antal bindere pr m².

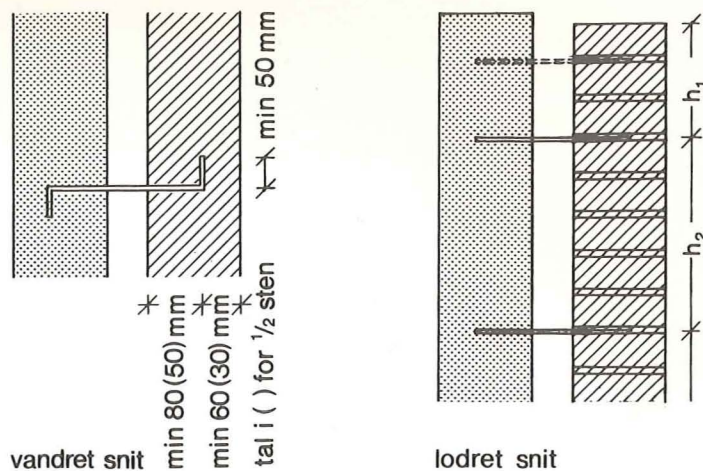
Skalmur

Indmuring af trådbindere

Flere af ulykkerne med nedstyrkede skalmure skyldtes utilstrækkelig kvalitet af det udførte arbejde på byggepladsen. Den håndværksmæssige udførelse har en afgørende betydning for den færdige skalmur.

Indmuring

Tillægget stiller, i modsætning til murværksnormen, detaljerede krav til indmuringen af trådbindere i formur og bagvæg. Disse krav er dog i overensstemmelse med sædvanlig kutyme. Det kræves således (se figur 1), at indmurlængden i en halvstensmur skal være større end 50 mm og i en bredstensmur større end 80 mm, medens dæklaget mod ydersiden i en halvstensmur skal



Figur 1. Til venstre: mål for indmuringslængde, dæklagstykkelse og ombukningslængde – alt iflg DIF's tillæg 1 til norm for murværk: »Skalmure«, 1975. Til højre: den varierende lodrette afstand mellem binderrækkerne, som findes ved beregningen. Det må anbefales at anbringe en ekstra binderrække i øverste eller næstøverste skifte.

være større end 30 mm og i en bredstensmur større end 60 mm. Binderne skal have vinkelret ombukkede stykker på mindst 50 mm eller have en anden udformning, som giver en lige så god forankring.

Binderne skal i bagvæggen forankres på en tilsvarende forsvarlig måde.

Når udformningen af trådbindere sker i overensstemmelse med de ovennævnte krav, kan den karakteristiske udtrækningsstyrke for 4 mm og 5 mm trådbindere antages at være 5,0 kN, medens udtrækningsstyrken for 3 mm trådbindere kan antages at være 2,5 kN. Idet der skal anvendes en partialkoefficient på 3,0, findes den regningsmæssige udtrækningsstyrke for 4 mm og 5 mm trådbindere til 1,65 kN og for 3 mm trådbindere til 0,85 kN.

Endvidere kræves, at binderne skal være parallelle på den frie del i den færdige mur. Det følger heraf, at binderne, der indstøbes i beton, skal anbringes med stor nøjagtighed og under nøje hensyntagen til skiftegangen i det murværk, de skal indmures i. Ombukkede trådbindere i betonnvægge eller præfabrikerede elementer skal

rettes ud på en sådan måde, at de er retliniede på den længde, der er fri i den færdige væg.

I normtillægget kræves, at den øverste binderrække ikke må anbringes lavere end i fugen under tredieøverste skifte. For at sikre den øverste del af skalmuren mod udsugning, anbefales det at anbringe en ekstra binderække under øverste eller næstøverste skifte.

Det fremhæves, at den håndværksmæssige udførelse har en afgørende indflydelse på kvaliteten af skalmuren. Det er derfor af stor betydning, at man følger de stillede krav. Her kan være grund til at fremhæve vigtigheden af, at man på byggepladsen sikrer sig, at den anvendte bindertråd svarer til den i projektet foreskrevne.

Håndværksmæssig kvalitet

Udtrækningsstyrke

Nøjagtighed

Beregningsformler

Styrke- og stabilitetsberegning

I normtillægget kræves, at skalmurens stabilitet og bindernes styrke eftervises, undtagen i visse tilfælde ved skalmure, som er under 7 m høje. Der skal således foretages styrke- og stabilitetsberegning, som tager hensyn til

1. Differensbevægelser mellem skalmur og bagvæg.
2. Horisontalkræfter i bindere fra vindpåvirkning.
3. Differensbevægelser kombineret med horisontalkræfter.
4. Horisontal påvirkning på skalmur.

Formler

I det følgende angives en række formler, hvorefter disse beregninger kan foretages.

Bogstavsymboler

I denne anvisning er anvendt nedenstående bogstavsymboler.

- a Afstand mellem skalmur og bagvæg.
 A Areal af bindertværsnit.
 A_w Skalmurareal svarende til en binder.
 $b = \sqrt{\frac{P}{EI}} = \frac{\pi}{l_{kr}}$, regnestørrelse.
 C Formfaktor svarende til den totale vindlast på skalmuren, dvs summen af samtidig vindlast på skalmurens yder- og inderside.
 d Diameter af binder.
 e Excentricitet af normalkraft i binder.
 E Elasticitetskoefficient af bindermateriale.
 f Partialkoefficient.
 g Skalmurens egenlast pr m^2 .
 h Højde.

- Δh Differensbevægelse mellem skalmur og bagvæg.
 h_i Lodret afstand mellem $(i-1)$ 'ende og i 'ende binderrække.
 h_0 Afstanden i et murfelt fra den øvre binder til forskydningsnulpunktet.
 h_m Maximal højde af murfelt (max binderafstand).
 h_s Skalmurens samlede højde over et betragtet snit.
 i Inertiradius.
 I Inertimoment.
 k_s Reduktionsfaktor, forholdet mellem en murs kritiske spænding og regningsmæssige trykstyrke.
 l $= a/2 =$ længde i hulrummet (fri længde) af binderhalvdel.
 l_s Fri søjlelængde af binder.
 l_{kr} Kritisk søjlelængde, regnestørrelse.
 M Moment.
 M_i Moment i binderens indspændingstværsnit.
 M_s Moment i binderen på den fri strækning.
 n Antallet af bindere pr m^2 .
 P Normalkraft (fra vind) i en binder, se figur 3 og 4.
 P_u Udtrækningsstyrke (forankringsstyrke).
 q Vindhastighedstrykket, se DS 410.
 Q Tværkraft, forskydningskraft.
 R_m Normalkraft i den m 'te binderrække, se figur 7.
 s Regningsmæssig styrke for murværk.
 s_s Regningsmæssig styrke for murværk under hensyn til søjlevirkningen (regningsmæssig kritisk spænding).
 t_0 Skalmurens basistykkelse.
 t_r Skalmurens regningsmæssige tykkelse.
 t_{red} Trykbuens pilhøjde ved membranvirkning i skalmuren.
 t_s Skalmurens tykkelse ved beregning af slankhedsforholdet.
 Δt Bredden af trykzonen i skalmuren.
 $u_{max} = \frac{\Delta h}{2}$, se figur 4.
 $w = Cq =$ vindlast pr m^2 .
 $z = \frac{g t_{red}}{w}$, regnestørrelse.
 $\alpha = \frac{0,8\sigma_f}{4\pi^2 E}$, regnestørrelse.

- ρ Reduktionsfaktor afhængig af murtykkelsen, se DS 414.
 σ Spænding.
 σ_f Flydespænding eller 0,2-spænding ($\sigma_{0,2}$).
 σ_m Bøjningsspænding.
 σ_n Normalspænding.
 σ_s Kritisk spænding for trykpåvirket binder.

$$\cosh x = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

$$\sinh x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

1. Differensbevægelser

På figur 2 er vist binderens deformation ved differensbevægelsen. Momentet i binderens midte er 0. Betragtes den halve binder som en indspændt bjælke i væggen, findes, idet den konstante forskydningskraft, som deformerer binderen, betegnes Q

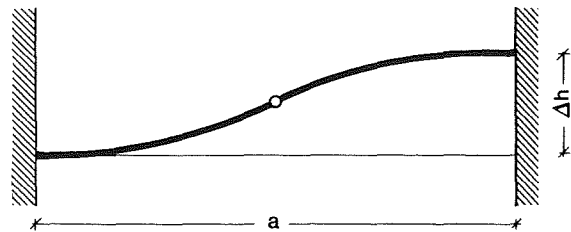
$$\frac{\Delta h}{2} = \frac{Q \left(\frac{a}{2}\right)^3}{3EI} \quad \text{eller} \quad Q = \frac{\Delta h \cdot 12EI}{a^3}$$

Indspændingsmomentet ved væggen findes herefter til

$$M_i = Q \cdot \frac{a}{2} = \frac{\Delta h \cdot 6EI}{a^2}$$

Bøjningsspændingen σ_m i binderen bliver

$$\sigma_m = \frac{M_i}{I} \cdot \frac{d}{2} = 3 \frac{E d \Delta h}{a^2}$$



Figur 2. Deformation af binder ved differensbevægelser.

Der vil ikke opstå normalspændinger i binderen ved differensbevægelsen, idet skalmuren frit kan bevæge sig i horisontal retning.

Af ovenstående formel fremgår, at man kan minimere bøjningsspændingen i denne lastkombination ved at udføre binderen med en så lille diameter og E -model som muligt.

2. Horisontalkræfter

Indadrettet og udadrettet vindlast medfører normalkræfter i binderne. Den indadrettede vindlast er dimensionsgivende. Binderen regnes i dette tilfælde som en søjle, indspændt i begge ender. For alle bindermaterialer bestemmes bæreevnen efter Euler/Ostenfeld-formlerne, idet der regnes med en maximal trykstyrke på 0,8 gange flydespændingen. Idet

$$\kappa = \frac{0,8 \cdot \sigma_f}{4\pi^2 E} \quad \text{og} \quad l_s = \frac{a}{2}$$

er

Kritisk spænding

$$\sigma_s = 0,8 \cdot \sigma_f \left(1 - \kappa \left(\frac{l_s}{i}\right)^2\right) \quad \text{for} \quad \kappa \left(\frac{l_s}{i}\right)^2 \leq 0,5$$

og

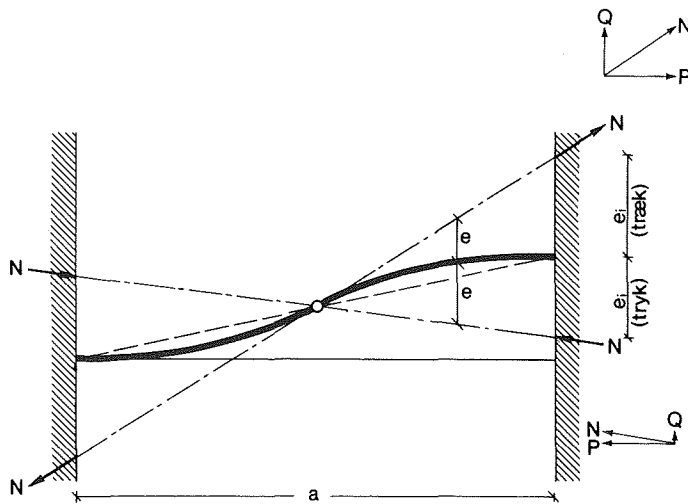
$$\sigma_s = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{l_s}{i}\right)^2} \quad \text{for} \quad \kappa \left(\frac{l_s}{i}\right)^2 \geq 0,5$$

Endvidere er binderens bæreevne naturligvis begrænset af bindernes udtrækningsstyrke.

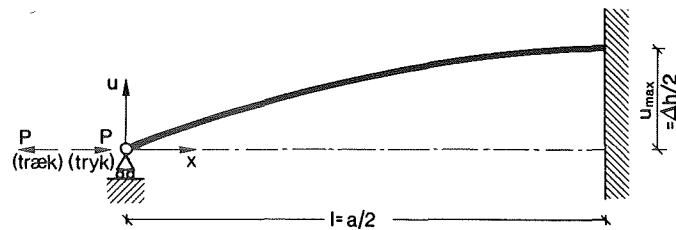
3. Differensbevægelser samt horisontalkræfter

Ved denne lastkombination vil normalkraften medføre tillægsmomenter i binderen, dels på grund af den tvungne deformation og dels som følge af søjlevirkningen (2. ordens effekter).

Afhængig af, om horisontalkraften er indadrettet (tryk) eller udadrettet (træk), vil tryklinien ligge som skitseret i figur 3.



Figur 3. Tryklineplacering for binder ved differensbevægelser kombineret med horisontalkræfter.



Figur 4. Bestemmelse af udbojningslinien ved differensbevægelser kombineret med horisontalkræfter.

Udbøjningslinien for binderen kan bestemmes ved løsning af den almindelige differentiaalligning for en stang uden tværlast, se figur 4.

Differentiaalligningen kan skrives på følgende form (jf Ervin Poulsen, Ren mekanik 7, 1968, p 47)

$$\frac{d^4 u}{dx^4} \pm b^2 \frac{d^2 u}{dx^2} = 0$$

hvor

$$b = \sqrt{\frac{P}{EI}} = \frac{\pi}{l_{kr}}$$

l_{kr} betegner trykstangens kritiske længde, dvs den halve binderlængde, $l = a/2$, som ville kunne accepteres, såfremt binderen var påvirket alene af horisontalkraften, P .

I ovennævnte differentiaalligning gælder fortegnet + for tryktilfældet og fortegnet - for træktilfældet.

Differensbevægelser samt tryk

I dette tilfælde finder man følgende udtryk for løsningen, med de tilhørende afledede, til differentiaalligningen

$$u = C_1 \cos bx + C_2 \sin bx + C_3 x + C_4$$

$$u' = -b C_1 \sin bx + b C_2 \cos bx + C_3$$

$$u'' = -\frac{M}{EI} = -b^2 C_1 \cos bx - b^2 C_2 \sin bx$$

$$u''' = b^3 C_1 \sin bx - b^3 C_2 \cos bx$$

De fire konstanter, C_1 , C_2 , C_3 og C_4 kan bestemmes ved indsættelse af følgende fire randbetingelser

$$(x, u) = (0, 0)$$

$$(x, u') = (0, 0) \text{ (moment} = 0 \text{ i venstre side)}$$

$$(x, u) = (l, u_{\max})$$

$$(x, u') = (l, 0)$$

Ved indsættelse af de to førstnævnte betingelser findes, at $C_1 = C_4 = 0$. Idet kun u'' og u''' har interesse, bestemmes kun værdien af C_2 , der fås af de to sidstnævnte randbetingelser. Ved indsættelse af den fundne værdi for C_2 fås

$$u'' = -\frac{M}{EI} = u_{\max} \frac{b^2}{bl \cos bl - \sin bl} \sin bx$$

$$u''' = u_{\max} \frac{b^3}{bl \cos bl - \sin bl} \cos bx$$

Det maximale moment fås enten som M_i ved indspændingen eller for $u''' = 0$ som M_s på den frie strækning.

$$M_i = -EI u_{\max} \frac{b^2 \sin bl}{bl \cos bl - \sin bl}$$

$$= -P u_{\max} \frac{\sin bl}{bl \cos bl - \sin bl}$$

$$u''' = 0 \text{ for } \cos bx = 0, \text{ eller}$$

$$x = \frac{\pi}{2} \frac{1}{b}$$

der i dette tilfælde kun er aktuel for $x \leq l$. Dette svarer til

$$l \geq \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{b} \text{ eller}$$

$$l \geq \frac{1}{2} l_{kr}$$

I dette tilfælde findes momentet på strækningen

$$M_s = -EIu_{\max} \frac{b^2 \sin\left(b \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{b}\right)}{bl \cos bl - \sin bl}$$

$$= -Pu_{\max} \frac{1}{bl \cos bl - \sin bl}$$

Konklusion

Som konklusion findes således

$$\frac{l}{l_{kr}} = 0 \quad M_{\max} = \frac{3EI}{l^2} \cdot \frac{\Delta h}{2} \text{ (differensbevægelse alene)}$$

$$0 < \frac{l}{l_{kr}} \leq \frac{1}{2} \quad M_{\max} = P \cdot \frac{\Delta h}{2} \cdot \frac{\sin \pi \frac{l}{l_{kr}}}{\sin \pi \frac{l}{l_{kr}} - \pi \frac{l}{l_{kr}} \cos \pi \frac{l}{l_{kr}}}$$

$$\frac{l}{l_{kr}} = \frac{1}{2} \quad M_{\max} = P \cdot \frac{\Delta h}{2}$$

$$\frac{1}{2} \leq \frac{l}{l_{kr}} \leq 1 \quad M_{\max} = P \cdot \frac{\Delta h}{2} \cdot \frac{1}{\sin \pi \frac{l}{l_{kr}} - \pi \frac{l}{l_{kr}} \cos \pi \frac{l}{l_{kr}}}$$

$$\frac{l}{l_{kr}} = 1 \quad M_{\max} = \frac{1}{\pi} \cdot P \cdot \frac{\Delta h}{2}$$

$1 < \frac{l}{l_{kr}}$ Bæreevnen er overskredet ved udknækning for horisontalkraft alene.

Momentkurverne er i figur 5 vist med punkteret streg.

Differensbevægelser samt træk

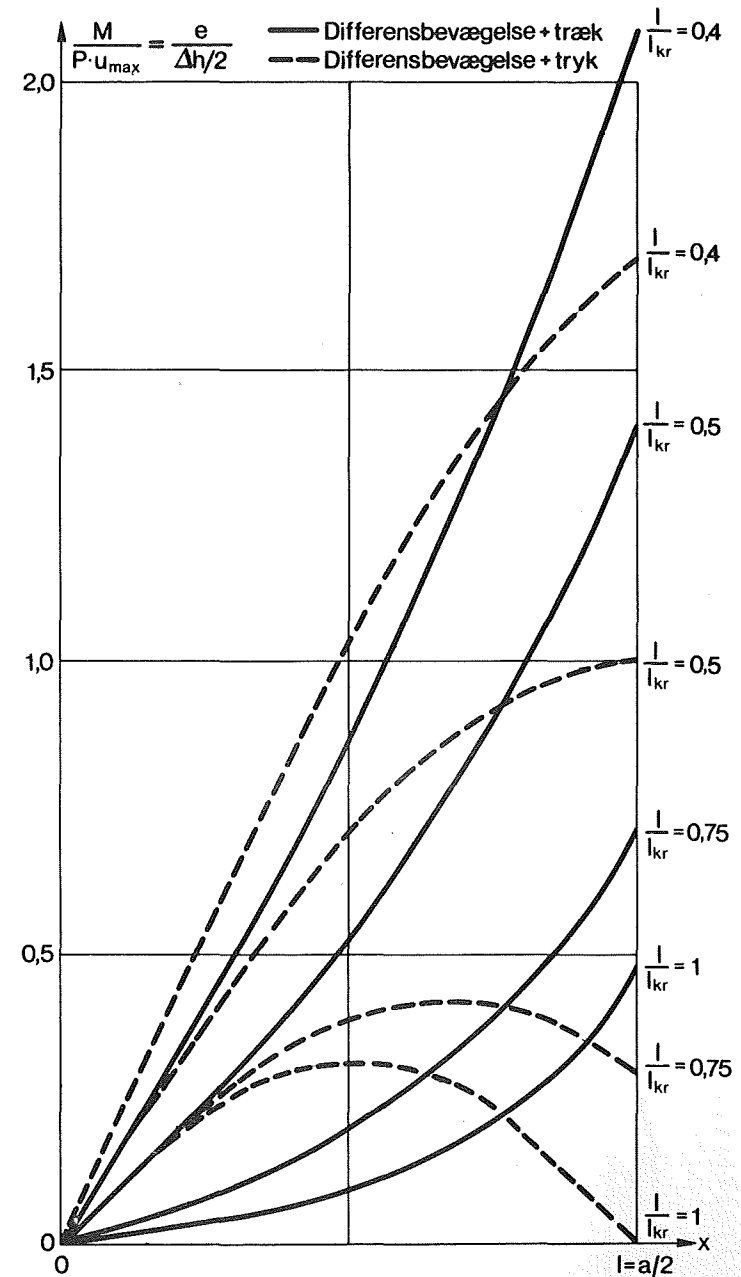
Analogt til tryktilfældet finder man:

$$u = C_1 \cosh bx + C_2 \sinh bx + C_3 x + C_4$$

$$u' = bC_1 \sinh bx + bC_2 \cosh bx + C_3$$

$$u'' = -\frac{M}{EI} = b^2 C_1 \cosh bx + b^2 C_2 \sinh bx$$

$$u''' = b^3 C_1 \sinh bx + b^3 C_2 \cosh bx$$



Figur 5. Resulterende momentkurver for differensbevægelser samt horisontalkræfter ved forskellige forhold af l/l_{kr} . Det ses, at for samme værdier af normalkraft og udbøjning vil differensbevægelse samt træk give større maksimalmoment end differensbevægelse samt tryk.

Randbetingelserne er uændrede i forhold til det foregående tilfælde:

$$\begin{aligned}(x, u) &= (0, 0) \\ (x, u'') &= (0, 0) \\ (x, u) &= (l, u_{\max}) \\ (x, u') &= (l, 0)\end{aligned}$$

Ved indsættelse af de to førstnævnte betingelser findes, at $C_1 = C_4 = 0$. Idet kun u'' har interesse, bestemmes kun værdien af C_2 , der fås af de to sidstnævnte randbetingelser. Ved indsættelse af den fundne værdi for C_2 fås:

$$u'' = -\frac{M}{EI} = u_{\max} \frac{b^2}{\sinh bl - bl \cosh bl} \sinh bx$$

Det maksimale moment findes i dette tilfælde altid som M_i ved indspændingen

$$\begin{aligned}M_i &= -EI u_{\max} \frac{b^2 \sinh bl}{\sinh bl - bl \cosh bl} \\ &= -P u_{\max} \frac{\sinh bl}{\sinh bl - bl \cosh bl}\end{aligned}$$

Som konklusion finder man

$$M_{\max} = P \cdot \frac{\Delta h}{2} \cdot \frac{\sinh bl}{bl \cosh bl - \sinh bl}$$

eller

$$M_{\max} = P \cdot \frac{\Delta h}{2} \cdot \frac{\sinh \pi \frac{l}{l_{kr}}}{\pi \frac{l}{l_{kr}} \cosh \pi \frac{l}{l_{kr}} - \sinh \pi \frac{l}{l_{kr}}}$$

Man finder eksempelvis

$$\frac{l}{l_{kr}} = \frac{1}{2} \Rightarrow$$

$$M_{\max} = P \cdot \frac{\Delta h}{2} \cdot \frac{\sinh \frac{\pi}{2}}{\frac{\pi}{2} \cosh \frac{\pi}{2} - \sinh \frac{\pi}{2}} \sim 0,70 \cdot P \cdot \Delta h,$$

$$\frac{l}{l_{kr}} = 1 \Rightarrow$$

$$M_{\max} = P \cdot \frac{\Delta h}{2} \cdot \frac{\sinh \pi}{\pi \cosh \pi - \sinh \pi} \sim 0,23 P \cdot \Delta h$$

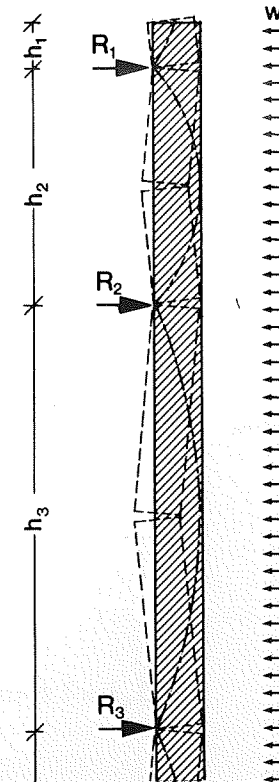
Konklusion

Momentkurverne er i figur 5 vist med fuldt optrukken streg. Det fremgår heraf, at for samme numeriske værdier af P og u_{\max} fås de største momenter i binderen for differensbevægelse samt træk. Dette moment vil optræde ved indspændingstværsnittet. På grund af partialkoefficienternes størrelse kan udknækning uden hensyn til differensbevægelser dog blive afgørende.

4. Beregning af binderafstand

Den maksimale lodrette afstand mellem binderrækkerne kan bestemmes ud fra den på figur 6 viste brudfigur.

Ved indadrettet vindlast vil den lodrette normalkraft fra skalmurens egenlast ligge i skalmurens inderside ud for binderrækkerne og i skalmurens yderside mellem binderrækkerne. Ved udadrettet vindlast vil det omvendte være tilfældet.



Figur 6. Brudfigur for skalmur.

Trykzonens bredde, Δt , bestemmes af, at trykkræfterne fra skalmurens egenlast skal kunne optages.

$$\Delta t = \frac{\Sigma(g \cdot h_i)}{s_s} = \frac{g \cdot h_s}{s_s}$$

idet h_s er skalmurens samlede højde over det betragtede snit.

Trykbuens pilhøjde bliver herefter

$$t_{red} = t_r - \Delta t$$

hvor t_r er murens regningsmæssige tykkelse, dvs basistykkelsen med fradrag for tilbageliggende eller mangelfuldt udfyldte fuger, jf DS 414.

Hjælpestørrelsen z , som har dimension af længde, defineres ved

$$z = \frac{g \cdot t_{red}}{w}$$

Den maximale afstand fra murkronen til første binderække bestemmes af ligevægtsligningen

$$g \cdot h_1 \cdot \frac{t_{red}}{2} \geq \frac{1}{2} w h_1^2$$

$$h_1 \leq \frac{g \cdot t_{red}}{w} = z$$

Den maximalt tilladte binderafstand bestemmes i øvrigt ved ligevægtsbetingelser for det tilsvarende murfelt, se figur 7. Afstanden fra væggen top til den øvre binder benævnes h_s , dvs

$$h_s = \sum_1^{m-1} h_i$$

Afstanden fra den øvre binder til momentmaximumsnittet benævnes h_0 . Da dette snit er kendetegnet ved, at forskydningskraften er nul, fås

$$R_{m-1} = h_0 w$$

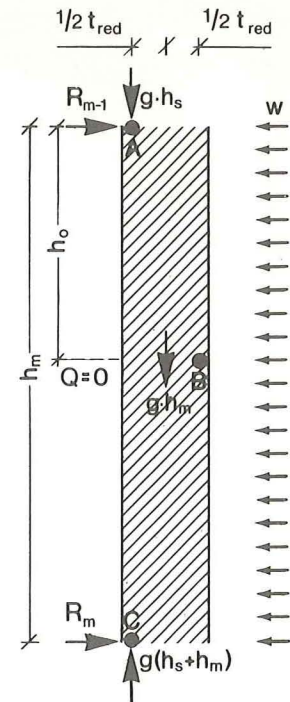
I momentmaximumsnittet ligger normalkraftens resultant i punkt B. Momentligevægt om B for murens del over B giver

$$R_{m-1} \cdot h_0 = g h_s t_{red} + \frac{1}{2} w h_0^2 + \frac{1}{2} g h_0 t_{red}$$

Afstanden z

Afstanden h_1

Figur 7. Ligevægtsfigur for skalmur mellem den $(m-1)$ 'te og den m 'te binderrække.



Ved indsættelse af $R_{m-1} = h_0 w$ og $\frac{g t_{red}}{w} = z$ fås

$$h_0^2 - z h_0 - 2 z h_s = 0,$$

som har den positive rod

$$h_0 = \frac{z}{2} \left(1 + \sqrt{1 + 8 \frac{h_s}{z}} \right)$$

Momentligevægt om punkt C for hele murfeltet giver

$$R_{m-1} h_m + \frac{1}{2} g h_m t_{red} = \frac{1}{2} w h_m^2$$

som reduceres til

$$h_0 + \frac{1}{2} z = \frac{1}{2} h_m$$

Ved indsættelse af det fundne udtryk for h_0 findes

$$h_m = z \left(2 + \sqrt{1 + 8 \frac{h_s}{z}} \right)$$

Afstanden h_m

Ved hjælp af dette udtryk kan den maksimalt tilladelige binderafstand (murfelthøjde) h_m bestemmes, når h_s kendes.

Højden h_s er den del af skalmuren, der ligger over det pågældende murfelt. I praksis skal såvel h_1 som h_m (og dermed også h_s) rundes nedad svarende til et helt antal skifter. Hensynet til en samordning med bygningens øvrige mål vil eventuelt medføre en yderligere reduktion.

Foruden de binderrækker, som beregningen giver anledning til, anbefales det at anbringe en ekstra binderrække i øverste eller næstøverste fuge som en ekstra sikkerhed mod, at skalmurens øverste skifter suges ud. I alle tilfælde må øverste binderrække ikke placeres mere end 3 skifter (0,2 m) under murkronen, jf normtillægget.

Beregningseksempel

Beregningen ønskes gennemført for et 8 etagers hus med etagehøjde på 2,80 m.

Murværket er opført i klasse A. Muren opføres i bredsten, stenklasse 30 (300 kp/cm²), mørtel KC 20/80.

Binderne udføres i en tinbrønzelegering med en garanteret flydespænding på 720 N/mm². Denne legering har en elasticitetskoefficient (E) på 120.000 N/mm². Bindernes diameter er 4 mm.

Afstanden mellem skalmur og bagvæg (a) er 130 mm.

Varmeudvidelseskoefficienten for murværk regnes til $5 \cdot 10^{-6}$ pr grad.

Binderafstand i vandret retning vælges til 0,15 m. Binderne anbringes ud for etageadskillelserne i de nedre etager, dvs maximal binderafstand i lodret retning er 2,80 m.

Forudsætninger

Skalmur: $h = 8 \cdot 2,8 = 22,4$ m

Murværk: $t_0 = 168$ mm, klasse A
stenklasse 30, mørtel KC 20/80
 $\alpha = 5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Bindere: $\sigma_{f,k} = 720$ MPa, $E_k = 120\,000$ MPa
 $d = 4$ mm, $a = 130$ mm
 $A_w = 0,15 \cdot 2,8 = 0,42$ m²

Vind: $C = 1,7$ $q_k = 0,8$ kN/m²

Temperatur: $\Delta T = 30^\circ\text{C}$

1. Differensbevægelser ($g + t$)

$f_t = 1,0$, $f_m = 1,5$, $f_E = 1,0$

$\Delta h = 22,4 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 30 = 3,4$ mm

$s_f = \frac{720}{1,5} = 480$ MPa

$E_r = \frac{120\,000}{1,0} = 120\,000$ MPa

$\sigma_m = \frac{3Ed\Delta h}{a^2}$
 $= \frac{3 \cdot 120\,000 \cdot 4 \cdot 3,4}{130^2} = 290$ MPa $< s_f$

2. Horisontalkræfter ($g + w$)

$f_w = 1,5$, $f_m = f_E = 1,5$, $f_u = 3,0$

$P = 1,5 \cdot 1,7 \cdot 0,8 \cdot 0,42$
 $= 0,86$ kN $< P_u = \frac{5,0}{3,0} = 1,65$ kN

$s_f = 480$ MPa

$E_r = \frac{120\,000}{1,5} = 80\,000$ MPa

$l_s = 65$ mm, $i = 1$ mm

$\kappa = \frac{0,8 \cdot 480}{4\pi^2 \cdot 80\,000} = 122 \cdot 10^{-6}$

$\kappa(l_s/i)^2 = 0,515 > 0,5$

$s_s = \frac{\pi^2 E}{(l_s/i)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 80\,000}{65^2} = 187$ MPa

$P_s = \frac{\pi}{4} \cdot 4^2 \cdot 187 = 2,35$ kN $> P$

3. Horisontalkræfter + differensbevægelser ($g + w + t$)

$f_w = 1,0$, $f_t = 1,0$, $f_m = 1,2$, $f_E = 1,0$

$P = 1,0 \cdot 1,7 \cdot 0,8 \cdot 0,42 = 0,57$ kN

$\Delta h = 3,4$ mm

$s_f = \frac{720}{1,2} = 600$ MPa

$E_r = 120\,000$ MPa

$$I = \frac{\pi}{64} d^4 = 12,56 \text{ mm}^4$$

$$W = \frac{\pi}{32} d^3 = 6,28 \text{ mm}^3$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = 12,56 \text{ mm}^2$$

$$l = 65 \text{ mm}$$

$$b = \sqrt{\frac{P}{EI}} = \sqrt{\frac{570}{120\,000 \cdot 12,56}} = 0,0194 \text{ mm}^{-1}$$

$$bl = 1,26$$

For træk + differensbevægelse findes nu

$$\begin{aligned} M &= P \frac{\Delta h}{2} \cdot \frac{\sinh bl}{bl \cosh bl - \sinh bl} \\ &= 570 \cdot 1,7 \frac{1,629}{1,26 \cdot 1,911 - 1,629} \\ &= 2006 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\sigma_m = \frac{M}{W} = \frac{2006}{6,28} = 320 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_n = \frac{P}{A} = \frac{570}{12,56} = 45 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = 45 + 320 = 365 \text{ N/mm}^2 < s_f$$

4. Binderafstande ($g + w$)

$$f_g = 1,0, f_w = 1,5$$

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

$$w = 1,5 \cdot 1,7 \cdot 0,8 = 2,04 \text{ kN/m}^2$$

$$t_r = t_0 = 168 \text{ mm}$$

$$s = 1,25 \cdot 3,8 = 4,75 \text{ MN/m}^2$$

$$k_s = 1,5 - \frac{1}{24} \cdot \frac{2800}{168} = 0,81$$

$$s_s = 0,9 \cdot 0,81 \cdot 4,75 = 3,44 \text{ MN/m}^2$$

Δt beregnes svarende til 3 etager eller 8,4 m under murkronen:

$$\begin{aligned} \Delta t &= \frac{g \cdot h_s}{s_s} \\ &= \frac{2,9 \cdot 10^3 \cdot 8,4 \cdot 10^{-3}}{3,44} = 7,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{\text{red}} = t_r - \Delta t = 161 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} z &= \frac{g \cdot t_{\text{red}}}{w} \\ &= \frac{2,9 \cdot 161}{2,04} = 229 \text{ mm} = 0,229 \text{ m} \end{aligned}$$

Herefter kan afstandene mellem binderrækkerne beregnes efter de angivne formler. De beregnede binderafstande afstemmes med skiftegangen, og der anbringes altid en binderrække ud for etageadskillelserne.

$$h_1 = 0,20 \text{ m} < z$$

$$h_2 < 0,229 \left(2 + \sqrt{1 + 8 \frac{0,20}{0,229}} \right) = 1,11 \text{ m}$$

$$h_2 = 1,00 \text{ m}$$

$$h_s = 0,20 + 1,00 = 1,20 \text{ m}$$

$$h_3 < 0,229 \left(2 + \sqrt{1 + 8 \frac{1,20}{0,229}} \right) = 1,96 \text{ m}$$

$$h_3 = 1,60 \text{ m}$$

$$h_s = 1,20 + 1,60 = 2,80 \text{ m}$$

$$h_4 < 0,229 \left(2 + \sqrt{1 + 8 \frac{2,80}{0,229}} \right) = 2,73 \text{ m}$$

Da h_4 skal være mindre end etagehøjden, vælges h_4 i dette tilfælde lig en halv etagehøjde. Da den nødvendige afstand mellem binderrækkerne er voksende nedad, kan h_5 på den sikre side også vælges til en halv etagehøjde.

$$h_4 = 1,40 \text{ m}$$

$$h_5 = 1,40 \text{ m}$$

$$h_s = 2,80 + 1,40 + 1,40 = 5,60 \text{ m}$$

$$h_6 < 0,229 \left(2 + \sqrt{1 + 8 \frac{5,60}{0,229}} \right) = 3,67 \text{ m}$$

$$h_6 = 2,80 \text{ m}$$

$$h_s = 5,60 + 2,80 = 8,40 \text{ m}$$

De følgende binderafstande vælges herefter lig etagehøjden.

Trykbuens maksimalt tilladte pilhøjde t_{red} er beregnet på grundlag af den lodrette normalkraft 8,4 m nede i muren. Over dette punkt kan pilhøjden være lidt større, hvilket ville medføre en lidt større maximal binderafstand. Som regel vil gevinsten ved at tage dette forhold i regning dog være uden praktisk betydning. Under det nævnte punkt bliver pilhøjden, og dermed den maksimalt tilladte binderafstand, lidt mindre end forudsat, men her har den valgte binderafstand (etagehøjden) en rigelig sikkerhedsmargin til den beregnede maksimalt tilladte.

Nedenstående eksperiment viser, hvor lidt der kan vindes ved at tage hensyn til variationen i trykbuens pilhøjde. I næstøverste etage kan den maximale binderafstand beregnes på grundlag af den gennemsnitlige pilhøjde i etagen:

$$\Delta t = \frac{2,9 \cdot 4,2}{3,44} = 4 \text{ mm}$$

$$t_{\text{red}} = 168 - 4 = 164 \text{ mm}$$

$$z = \frac{2,9 \cdot 164}{2,04} = 233 \text{ mm} = 0,233 \text{ m}$$

$$h_4 \leq 0,233 \left(2 + \sqrt{1 + 8 \frac{2,80}{0,233}} \right) = 2,76 \text{ m}$$

h_4 skal altså alligevel være mindre end etagehøjden.

Grundlag for dimensioneringsdiagrammer

I det foregående er angivet et sæt formler, hvorefter trådbindere kan beregnes.

Beregningerne er dog ret omfattende og tidskrævende at gennemføre. Der er derfor udarbejdet et sæt diagrammer som kan lette arbejdet ved beregning af binderne. Med hensyn til fastlæggelse af den lodrette afstand imellem binderrækkerne er der kun udarbejdet tabeller for nogle få typiske skalmure.

I første udgave af denne SBI-anvisning fra 1975 omfattede dimensioneringsdiagrammerne foruden rustfrit stål en række kvaliteter af tinbronze, KT 6, og aluminiumbronze, KA 10. For at støtte en standardisering med det formål at lette lagerføringen og forkorte leveringstiderne er mængden af kvaliteter reduceret i nærværende reviderede anvisning efter kontakt med A/S Nordiske Kabel- og traadfabrikker.

Tråd af KT 6 med dimensioner på 3, 4 og 5 mm lagerføres alle med en minimum 0-2-spænding på 720 N/mm², medens 4 mm tråd også kan leveres i en smidigere kvalitet med en minimum 0,2-spænding på 480 N/mm². Det kan tilføjes, at ud over de nævnte trådkvaliteter kan også leveres andre, eventuelt stærkere kvaliteter.

Dimensioneringskurver for aluminiumbronze er udgået af anvisningen, fordi tråd af dette materiale vil kræve væsentlig længere leveringstid af produktionstekniske årsager, og fordi de nævnte tinbronzer i teknisk henseende dækker det aktuelle behov.

Opmærksomheden skal henledes på, at Korrosionscentralen ifølge en undersøgelse foretaget 1975-76 (Undersøgelse af metalliske befæstigelseselementer i bygnin-

ger under nedrivning, 1976) fraråder anvendelse af varmforzinket stål til trådbindere i hule mure.

Endelig skal det bemærkes, at udtrækningsstyrken for 3, 5 og 5,5 mm trådbindere er blevet bestemt ved forsøg siden udarbejdelsen af 1. udgave.

Beregningsforudsætninger

Oversigt over bindermaterialer

Rustfrit stål, Avesta 832 M, blankt, koldtrukket; 3 og 4 mm.

Rustfrit stål, Avesta 832 M, varmvalset; 5,5 mm.

(Blødt stål, varmforzinket, varmvalset; 4 mm).

Tinbronze, KT 6, 93,8 pct kobber, 6 pct tin, 0,2 pct fosfor; 3, 4 og 5 mm.

Karakteristiske styrke- og stivhedstal

Materiale	Diameter mm	$\sigma_{0,2}$ N/mm ²	σ_f N/mm ²	E_k N/mm ²
Rustfrit stål	3 og 4	600		$2,0 \cdot 10^5$
Rustfrit stål	5,5	280		$2,0 \cdot 10^5$
Blødt stål	4		200	$2,1 \cdot 10^5$
Tinbronze	4	480		$1,2 \cdot 10^5$
Tinbronze	3, 4 og 5	720		$1,2 \cdot 10^5$

I det følgende benyttes σ_f som fælles symbol for $\sigma_{0,2}$ og σ_f .

Karakteristiske udtrækningsstyrker

d	P_{uk}
3 mm	2500 N
4 mm	5000 N
5 mm	5000 N
5,5 mm	5000 N

Tværsnitsdata

d mm	i mm	A mm ²	W mm ³	I mm ⁴
3	0,75	7,07	2,65	3,98
4	1,00	12,56	6,28	12,56
5	1,25	19,63	12,27	30,68
5,5	1,375	23,76	16,33	44,92

Murværk

Temperaturdifferens bagvæg/skalmur: $\Delta T = 30^\circ \text{C}$

Temperaturudvidelseskoefficient: $\alpha = 5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$

Partialkoefficienter

	$g+w$	$g+t$	$g+w+t$
Egenlast af skalmur f_g	1,0	1,0	1,0
Vindlast f_w	1,5	—	1,0
Temperaturlast f_t	—	1,0	1,0
Udtrækning af binder f_u	3,0	3,0	3,0
Flydegrænse eller			
σ_f -grænse for bindermateriale f_m ...	1,5	1,5	1,2
Elasticitetskoefficient for binder f_E .	1,5	1,0	1,0

1. Differensbevægelser (g+t)

Den regningsmæssige bøjningsspænding skal være mindre end den regningsmæssige flydespænding, dvs

$$\sigma_m = \frac{3 \cdot E_k \cdot d \cdot \Delta h \cdot f_t}{f_E \cdot a^2} \leq s_f = \frac{\sigma_f}{f_m}$$

hvor

E_k = binderens karakteristiske elasticitetskoefficient

d = binderens diameter

a = afstand mellem skalmur og bagvæg

Δh = differensbevægelse mellem skalmur og bagvæg

$$= 5 \cdot 10^{-6} \cdot 30 \cdot h$$

h = højden af skalmuren

Minimumsafstanden mellem skalmur og bagvæg kan herefter bestemmes

$$a^2 \geq \frac{3 \cdot E_k \cdot d \cdot \Delta h}{\sigma_f} \cdot \frac{f_m \cdot f_t}{f_E} = 4,5 \frac{E_k}{\sigma_f} d \cdot \Delta h$$

Det bemærkes, at de herved bestemte minimumsafstande kun er afhængige af differensbevægelsen, binderens diameter samt bindermaterialets flydegrænse og elasticitetskoefficient, men er uafhængige af binderantallet.

Figur 8 og 13 viser, for henholdsvis stål og tinbrønde, diagrammer for minimumsafstande mellem skalmur og bagvæg ud fra dette kriterium.

2. Horisontalkræfter (g+w)

Horisontalkræfterne er primært vindtryk eller vindsug. Normalt er vindtrykket farligst, idet binderen da virker som søjle.

Vindlasten findes af

$$W = C \cdot q \cdot A_w$$

I tillægget til murværksnormen angives formfaktor $C = 1,7$ for vindlast virkende såvel udad som indad. Denne værdi skal anvendes indtil der foreskrives en ny værdi i 2. udgave af DS 410.

Den karakteristiske last pr binder bestemmes som

$$P_k = C \cdot q_k \cdot A_w = C \cdot q_k \cdot \frac{1 \text{ m}^2}{n}$$

hvor n er antallet af bindere pr m^2 murflade, og q_k er det karakteristiske hastighedstryk.

Den regningsmæssige normalspænding i binderen

$$\sigma_n = f_w \frac{P_k}{A}$$

skal være mindre end den regningsmæssige kritiske spænding, dvs

$$\sigma_n \leq \sigma_s \Rightarrow P_k \leq \frac{\sigma_s \cdot A}{f_w}$$

Binderens regningsmæssige kritiske spænding bestemmes af søjleformlerne

$$\kappa = \frac{0,8 \cdot \sigma_f}{f_m} = \frac{4\pi^2 E_k}{f_E}$$

Idet $f_m = f_E = 1,5$ findes

$$\kappa = \frac{0,2 \cdot \sigma_f}{\pi^2 E_k}$$

For $\kappa \left(\frac{l_s}{i}\right)^2 \leq 0,5$ er

$$\sigma_s = \frac{0,8 \cdot \sigma_f}{f_m} \left(1 - \kappa \left(\frac{l_s}{i}\right)^2\right)$$

Da $f_m = f_w = 1,5$ fås

$$P_k \leq \frac{0,8 \cdot \sigma_f \cdot A}{1,5^2} \left(1 - \kappa \left(\frac{l_s}{i}\right)^2\right)$$

For $\kappa \left(\frac{l_s}{i}\right)^2 \geq 0,5$ er

$$\sigma_s = \frac{\pi^2 \cdot E_k}{\left(\frac{l_s}{i}\right)^2} \cdot f_E$$

hvoraf findes

$$P_k \leq \frac{\pi^2 \cdot E_k \cdot A}{1,5^2 \left(\frac{l_s}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot E_k \cdot I}{1,5^2 \cdot l_s^2}$$

Heri er A = binderens areal og $l_s = a/2$ = den halve afstand mellem skalmur og bagvæg.

De beregnede maksimumsværdier af P_k er på figurerne 9-12 og 14-17 indtegnet som grænsekurven mærket »tryk alene«. Bemærk, at indgangsværdierne er den karakteristiske normalkraft i binderen, dvs normalkraften uden partialkoefficient.

3. Differensbevægelser samt horisontalkræfter (g + w + t)

Ved denne lastkombination vil normalkræfterne i binderen forårsage tillægsmomenter på grund af deformation af binderen.

I kapitlet *Beregningsformler* er angivet, hvorledes binderens momenter bestemmes.

I tilfældet differensbevægelser + træk, som normalt er dimensionsgivende, bestemmes det regningsmæssigt moment som

$$M_r = \frac{f_w \cdot P_k \cdot \Delta h \cdot f_t}{2} \cdot \frac{\sinh bl}{bl \cosh bl - \sinh bl}$$

hvor $b = \sqrt{\frac{P_r}{E_r I}} = \sqrt{\frac{P_k}{E_k I}}$, da $f_w = f_E = 1,0$

Bæreevnekriteriet kan skrives

$$\sigma = \sigma_m + \sigma_n = \frac{M_r}{W} + \frac{f_w P_k}{A} \leq s_f = \frac{\sigma_f}{f_m},$$

da $f_w = f_t = 1,0$ og $f_m = 1,2$ kan bæreevnekriteriet udtrykkes

$$P_k \left[\frac{\Delta h}{2W} \cdot \frac{\sinh bl}{bl \cosh bl - \sinh bl} + \frac{1}{A} \right] \leq \frac{\sigma_f}{1,2}$$

Denne sammenhæng mellem P_k , Δh , og a er optegnet som fuldt optrukne kurver på diagrammerne figurerne 9-12 og 14-17.

Det bemærkes, at for en given binder og for en given numerisk værdi af normalkraften i binderen, giver kombinationen *differensbevægelser samt horisontalkræfter* (træk) en *nedre* grænse for hulrumstykkelsen a , medens kombinationen *horisontalkræfter alene* (tryk) giver en *øvre* grænse for a .

For mindre normalkræfter er minimumslængden betinget af differensbevægelserne alene. For større normalkræfter betinges minimumslængderne af differensbevægelser + træk. Overgangen mellem de to lasttilfælde er markeret på figurerne ved en linie, markeret med bogstavet o .

4. Beregning af binderafstand ($g + w$)

Ved fastlæggelse af den lodrette afstand mellem binderrækkerne kræves det, at afstanden højst må være 3,0 m. I praksis vil man dog altid anbringe en binderrække ud for hver af bygningens etageadskillelser, som i boligbyggeri ligger med en afstand på 2,8 m.

Der er ikke i normtillægget stillet specielle krav til maximumsafstanden mellem bindere i samme vandrette række. Den maximale vandrette afstand betinges imidlertid af den største horisontalkraft binderen kan overføre. Selv om en \emptyset 4 mm trådbinder kan overføre indtil 1650 N anbefales dog, at den vandrette afstand mellem binderne ikke overstiger 0,5–0,6 m.

Den maximale lodrette afstand mellem binderrækkerne bestemmes af

$$h_1 \leq z$$

$$h_m \leq z (2 + \sqrt{1 + 8 \cdot h_s/z}) \quad (m > 1)$$

hvor

$$z = \frac{g \cdot t_{\text{red}}}{w}$$

g = egenlast af skalmur pr m^2

t_{red} = skalmurens reducerede tykkelse = $t_r - \Delta t$

$$\Delta t = \frac{g \cdot h_s}{s_s}$$

s_s = skalmurens regningsmæssige kritiske spænding

$$s_s = \rho k_s \cdot s$$

w = $C \cdot$ vindens regningsmæssige hastighedstryk

C = formfaktor for vind

Det fremgår heraf, at den lodrette afstand mellem binderrækkerne afhænger af

Skalmurens art, dvs

murtykkelse

mørtelkvalitet

stenklasse

udførelseskvalitet og

Vindlastens størrelse, afhængig af

bygningens beliggenhed

bygningens højde

Tabeller over afstande mellem binderrækker

I de følgende eksempler er overalt forudsat et hastighedstryk bestemt efter normal beliggenhed ifølge DS 410, vejledningen, 1. udgave, 1966.

Det bemærkes, at eksemplerne kun har gyldighed indtil 2. udgave af DS 410 er trådt i kraft. Med 2. udgave af DS 410 forventes, at formfaktoren for vind vil blive reduceret til $C = 1,5$, ligesom også vindens hastighedstryk, q , vil blive ændret. Det er forudsat i beregningerne af k_s , at den lodrette afstand mellem binderrækkerne er 2,8 m.

Klasse A, $\frac{1}{2}$ sten, stenklasse 30, KC 20/80

$$g = 1,9 \text{ kN/m}^2$$

$$k_s = 1,5 - \frac{1}{24} \cdot \frac{2800}{108} = 0,42$$

$$s_s = 1,25 \cdot 0,8 \cdot 0,42 \cdot 3,8 = 1,60 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta t = \frac{1,9 \cdot 10^{-3} \cdot 2800}{1,60} = 3,3 \text{ mm pr etage}$$

$$t_{\text{red}} = 108 - x \cdot 3,3 \text{ mm}$$

x = antallet af etager, hvori den lodrette binderafstand er mindre end eller lige etagehøjden, 2,8 m.

Klasse A, bredsten, stenklasse 30, KC 20/80

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

$$k_s = 1,5 - \frac{1}{24} \cdot \frac{2800}{168} = 0,81$$

$$s_s = 1,25 \cdot 0,9 \cdot 0,81 \cdot 3,8 = 3,44 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta t = \frac{2,9 \cdot 10^{-3} \cdot 2800}{3,44} = 2,4 \text{ mm pr etage}$$

$$t_{\text{red}} = 168 - x \cdot 2,4 \text{ mm}$$

Klasse B, $\frac{1}{2}$ sten, stenklasse 15, KC 50/50

$$g = 1,9 \text{ kN/m}^2$$

$$k_s = 0,42$$

$$s_s = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,42 \cdot 1,9 = 0,64 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta t = \frac{1,9 \cdot 10^{-3} \cdot 2800}{0,64} = 8,3 \text{ mm pr etage}$$

$$t_{\text{red}} = (108 - 2 \cdot 8) - x \cdot 8,3 \text{ mm}$$

Klasse B, bredsten, stenklasse 15, KC 50/50

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

$$k_s = 0,80$$

$$s_s = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,80 \cdot 1,9 = 1,37 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta t = \frac{2,9 \cdot 10^{-3} \cdot 2800}{1,37} = 6,0 \text{ mm pr etage}$$

$$t_{\text{red}} = (168 - 2 \cdot 8) - x \cdot 6,0 \text{ mm}$$

Klasse B, bredsten, stenklasse 30, KC 20/80

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

$$s_s = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,80 \cdot 3,8 = 2,74 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta t = 3,0 \text{ mm pr etage}$$

$$t_{\text{red}} = (168 - 2 \cdot 8) - x \cdot 3,0 \text{ mm}$$

De beregnede binderafstande afrundes nedad, således at de passer til skalmurens skiftegang og til etagehøjden.

h , m	25,0	25,0	25,0	
q_k , N/m ²	1050	1050	1050	
w_k , N/m ²	1785	1785	1785	
Murværsklasse	A	A	B	
Stenklasse, MN/m ²	30	30	30	
Mørteltype	KC 20/80	KC 20/80	KC 20/80	
Stenenes basismål, mm	108	168	168	
t_{red} , mm	for $h_s = 2,8$ m når $h_m > 2,8$ m	105 88	165 161	149 145
z , m	for $h_s = 2,8$ m når $h_m > 2,8$ m	0,075 0,062	0,179 0,174	0,161 0,157
h_1 , m	0,07	0,13	0,13	
h_2	0,33	0,47	0,47	
h_3	h_s 0,40	0,60	0,60	
h_4	h_s 0,60	0,80	0,80	
h_5	h_s 1,00	1,40	1,40	
h_6	h_s 0,80	1,40	1,40	
h_7	h_s 1,80	2,80	2,80	
$h_8 \dots h_{15}$	h_s 1,00	1,40	1,40	
h_{16}	h_s 2,80	4,20	4,20	
	h_s 1,40	1,40	1,40	
	h_s 4,20	5,60	5,60	
	h_s 1,40	2,80	2,80	
	h_s 5,60	8,40	8,40	
	h_s 1,40	2,80	2,80	
	h_s 16,80			
	h_s 2,80			
	h_s 19,60			

Tabel 1. Afstande mellem binderrækker for bygninger med højde indtil 25 m. Binderrækkerne placeres som angivet på figur 1, idet det er forudsat, at der altid placeres en binderrække ud for etageadskillelserne.

h angiver bygningens højde.

q angiver vindens hastighedstryk svarende til normal beliggenhed efter Vejledning for fastsættelse af vindbelastning, bilag til DS 410, 1. udgave.

$w_k = C \cdot q$ angiver den karakteristiske vindlast.

h , m	7,0	7,0	7,0	7,0	
q_k , N/m ²	740	740	740	740	
w_k , N/m ²	1250	1250	1250	1250	
Murværsklasse	B	B	B	B	
Stenklasse, MN/m ²	15	15	30	30	
Mørteltype	KC 50/50	KC 50/50	KC 20/80	KC 20/80	
Stenenes basismål, mm	108	168	108	168	
t_{red} , mm	for $h_s = 2,8$ m for $h_s = 7,0$ m	84 71	146 137	88 82	149 145
z , mm	for $h_s = 2,8$ m for $h_s = 7,0$ m	0,085 0,072	0,226 0,212	0,089 0,083	0,230 0,224
h_1 , m	0,07	0,20	0,07	0,20	
h_2	0,33	1,00	0,33	1,00	
h_3	h_s 0,40	1,20	0,40	1,20	
h_4	h_s 0,60	1,60	0,60	1,60	
h_5	h_s 1,00	2,80	1,00	2,80	
h_6	h_s 0,80	1,40	0,80	1,40	
h_7	h_s 1,80	4,20	1,80	4,20	
h_8	h_s 1,00	1,40	1,00	1,40	
	h_s 2,80	5,60	2,80	5,60	
	h_s 1,40	1,40	1,40	1,40	
	h_s 4,20	7,00	4,20	7,00	
	h_s 1,40		1,40		
	h_s 5,60		5,60		
	h_s 1,40		1,40		
	h_s 7,00		7,00		

Tabel 2. Afstande mellem binderækker for bygninger med højde indtil 7 m. Binderrækkerne placeres som angivet på figur 1, idet det er forudsat, at der altid placeres en binderrække ud for etageadskillelserne.

h angiver bygningens højde.

q angiver vindens hastighedstryk svarende til normal beliggenhed efter Vejledning for fastsættelse af vindbelastning, bilag til DS 410, 1. udgave.

$w_k = C \cdot q$ angiver den karakteristiske vindlast.

Dimensioneringseksempler

Ved beregning af trådbindere fastlægges først de lodrette afstande mellem binderrækkerne. Disse afstande skal tilfredsstille de maximumsafstande, som fastlægges enten på grundlag af formlerne angivet på side 22-23, eller på grundlag af tabel 1 eller tabel 2.

Det anbefales at supplere antallet af bindere således, at der i alle tilfælde anbringes en binderrække både i øverste og næstøverste fuge.

Derefter dimensioneres selve binderne. Først bestemmes binderens karakteristiske normalkraft fra vindlasten samt binderens differensbevægelse.

Differensbevægelsen er en funktion af binderens afstand fra skalmurens fodpunkt, og skal for teglmure mindst udgøre den værdi, som fremgår af tabel 3.

Har skalmuren stor udstrækning i vandret retning kan der tages hensyn hertil ved, at binderens differensbevægelse bestemmes på grundlag af afstanden fra midten af skalmurens fodpunkt til den pågældende binder.

Maximumkraften pr trådbinder kan herefter bestemmes under hensyntagen til de vandrette afstande som vælges mellem trådbinderne.

Binderens afstand fra skalmurens fodpunkt, m	2,8	5,6	8,4	11,2	14,0	16,8	19,6	25,0
Differensbevægelse, Δh , mm	0,42	0,84	1,26	1,68	2,10	2,52	2,94	3,75

Tabel 3. Differensbevægelse, Δh , som funktion af binderens afstand fra skalmurens fodpunkt, for varmeudvidelseskoefficienten $\alpha = 5 \cdot 10^{-6}$ pr $^{\circ}C$ og temperaturdifferensen mellem skalmur og bagvæg på $30^{\circ}C$.

Da den lodrette binderafstand er varierende, fås større normalkræfter i binderne for neden i væggen, hvor differensbevægelsen er relativt lille, end foroven, hvor differensbevægelsen er stor.

Når den farligste kombination af differensbevægelse og karakteristisk normalkraft er fundet, kan man ved hjælp af diagrammerne i figur 9-12 og 14-17 enten bestemme binder materialet ud fra en fastlagt afstand mellem skalmur og bagmur, eller minimums- og maximumsafstande mellem skalmur og bagmur ud fra et fastlagt binder materiale.

Eksempel 1

Bygningens totalhøjde = 19,6 m.

Skalmurens højde = 16,8 m.

Bredsten, stenklasse 30 (300 kp/cm²).

Udførelsesklasse B, KC 20/80.

Afstand mellem skalmur og bagvæg = 120 mm.

Max normaltryk i binder (i nedre etager).

Karakteristiske vindlast $1,7 \cdot 980 = 1670 \text{ N/m}^2$.

$$P_k = 1670 \cdot 2,8 \cdot 0,3 = 1400 \text{ N}$$

idet binderne anbringes ud for etageadskillelserne og med indbyrdes afstand på 0,3 m.

Afstanden mellem binderrækkerne i øvrigt som angivet i tabel 1.

Følgende indgangsværdier anvendes på diagrammerne.

Karakteristisk kraft pr binder = 1400 N.

Fri binderlængde = 120 mm.

Differensbevægelse, Δh = 2,52 mm.

Heraf findes

figur 11, $\emptyset 4 \text{ RF}$: Kan ikke anvendes,

figur 15, $\emptyset 4 \text{ T-480}$: Kan ikke anvendes.

figur 16, $\emptyset 4 \text{ T-720}$: Kan anvendes.

Ved at nedsætte den vandrette binderafstand til 0,15 m bliver

karakteristisk normalkraft pr binder = 700 N,

hvorefter $\emptyset 4 \text{ T-480}$ kan anvendes, men ikke $\emptyset 4 \text{ RF}$.

Eksempel 2

Bygningens højde = 14,0 m.

Skalmurens højde = 11,2 m.

1/2-sten, stenklasse 30 (300 kp/cm²).

Udførelsesklasse A, KC 20/80.

Af tabel 1 fastlægges afstanden mellem binderrækkerne. Afstandene kan afrundes således, at binderne fordeles jævnt i de enkelte etager.

Øverste etage : $h_i = 0,40$ m (+ 2 extra binderrækker foroven).

Følgende etager: $h_i = 1,40$ m.

Herefter beregnes max karakteristisk last pr binder.

Karakteristisk vindlast: $w = 1,7 \cdot 900 = 1530$ N/m².

$P_k = 1530 \cdot 1,40 \cdot 0,50 = 1070$ N.

Differensbevægelse: $\Delta h = 1,68$ mm.

Af diagrammerne bestemmes nu a :

figur 11, $\emptyset 4$ RF : $100 \text{ mm} \leq a \leq 200 \text{ mm}$

figur 15, $\emptyset 4$ T-480: $90 \text{ mm} \leq a \leq 155 \text{ mm}$

figur 16, $\emptyset 4$ T-720: $70 \text{ mm} \leq a \leq 155 \text{ mm}$

Eksempel 3

Bygningens højde = 6,1 m.

Skalmurens højde = 5,6 m.

1/2-sten, stenklasse 15 (150 kp/cm²).

Udførelsesklasse B, KC 50/50.

Binderne udføres af $\emptyset 3$ mm tinbronze T-720 i et antal af 4 stk pr m², dvs binderne pr 0,5 m i hvert 7. skifte.

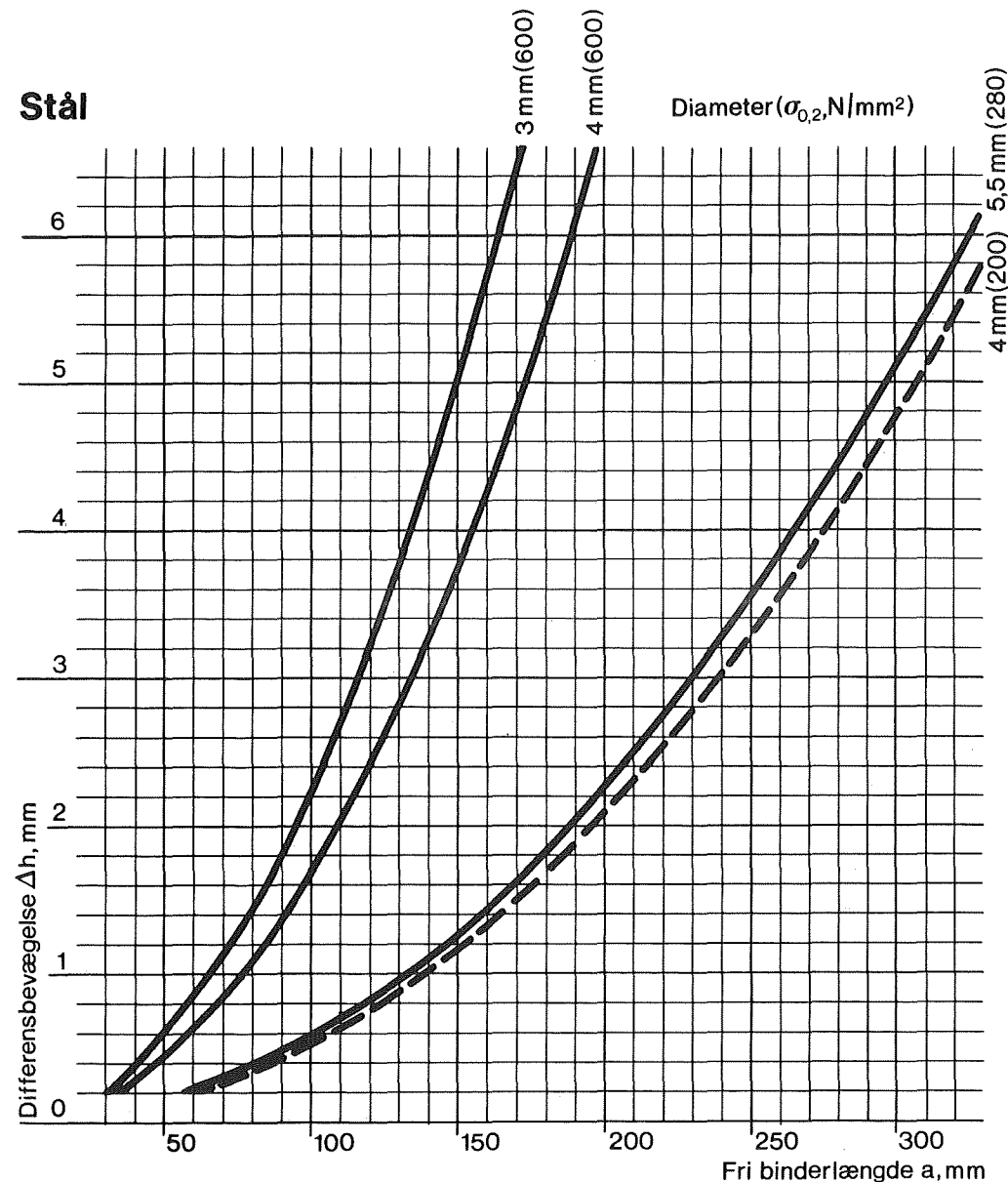
Vindlast: $w = 1,7 \cdot 700 = 1190$ N/m².

$P_k = 1190 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 300$ N.

Differensbevægelse: $\Delta h = 0,84$ mm.

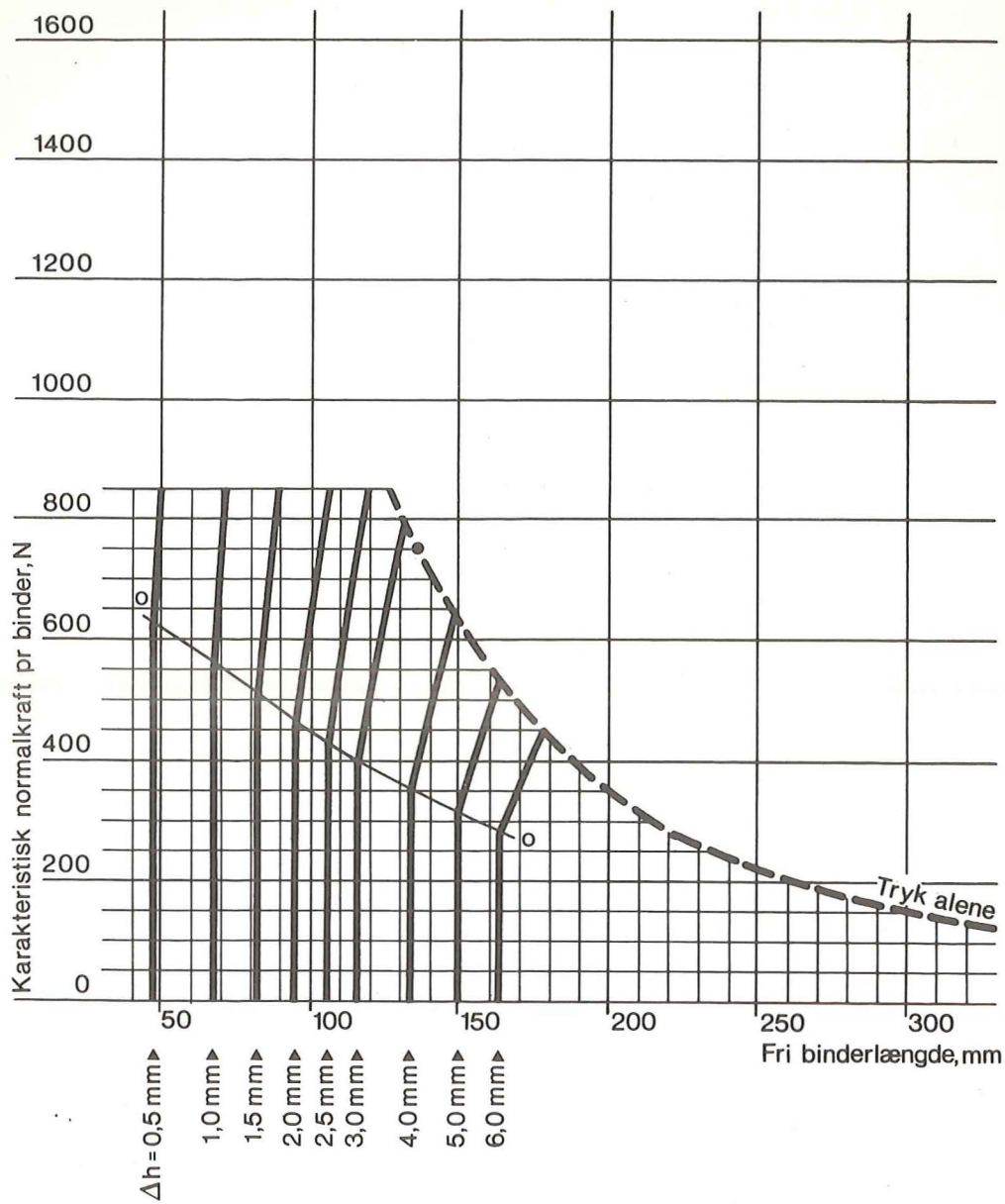
Af figur 14 findes at den fri binderlængde, afstanden mellem skalmur og bagvæg, skal være mindst 45 mm og højst 165 mm. Den øverste binderrække skal anbringes i øverste skifte, eventuelt suppleret med en extra binderrække i tredieøverste skifte.

Ved ændring af binder materialet til rustfrit stål, men bibeholdelse af $\emptyset 3$ mm, øges minimumsafstanden til 60 mm og maximumsafstanden til 215 mm.



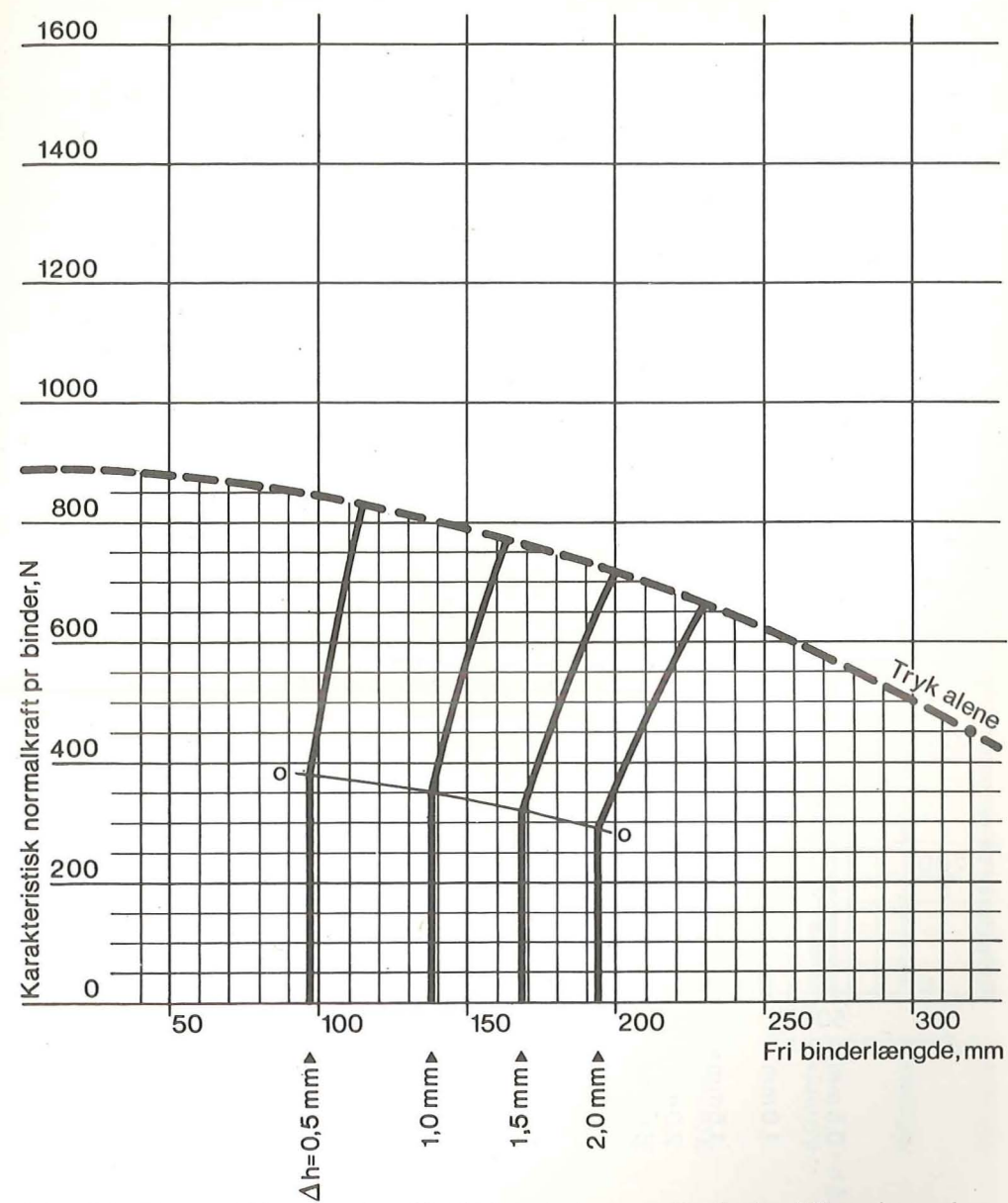
Figur 8. Diagram til bestemmelse af binderlængde for differensbevægelser (minimumsafstande mellem skalmur og bagvæg) gældende for stål.

3 mm rustfrit stål $\sigma_{0,2} = 600 \text{ N/mm}^2$



Figur 9. Diagram til bestemmelse af binderlængde for normalkraft plus differensbevægelser, afhængig af differensbevægelsen, Δh , og gældende for $\phi 3$ mm rustfrit stål med $\sigma_{0,2} = 600 \text{ N/mm}^2$. Maximumslængder: punkteret kurve. Minimumslængder: fuldt optrukne kurver. Linien o markerer overgang mellem lasttilfælde: differensbevægelser alene/træk plus differensbevægelser.

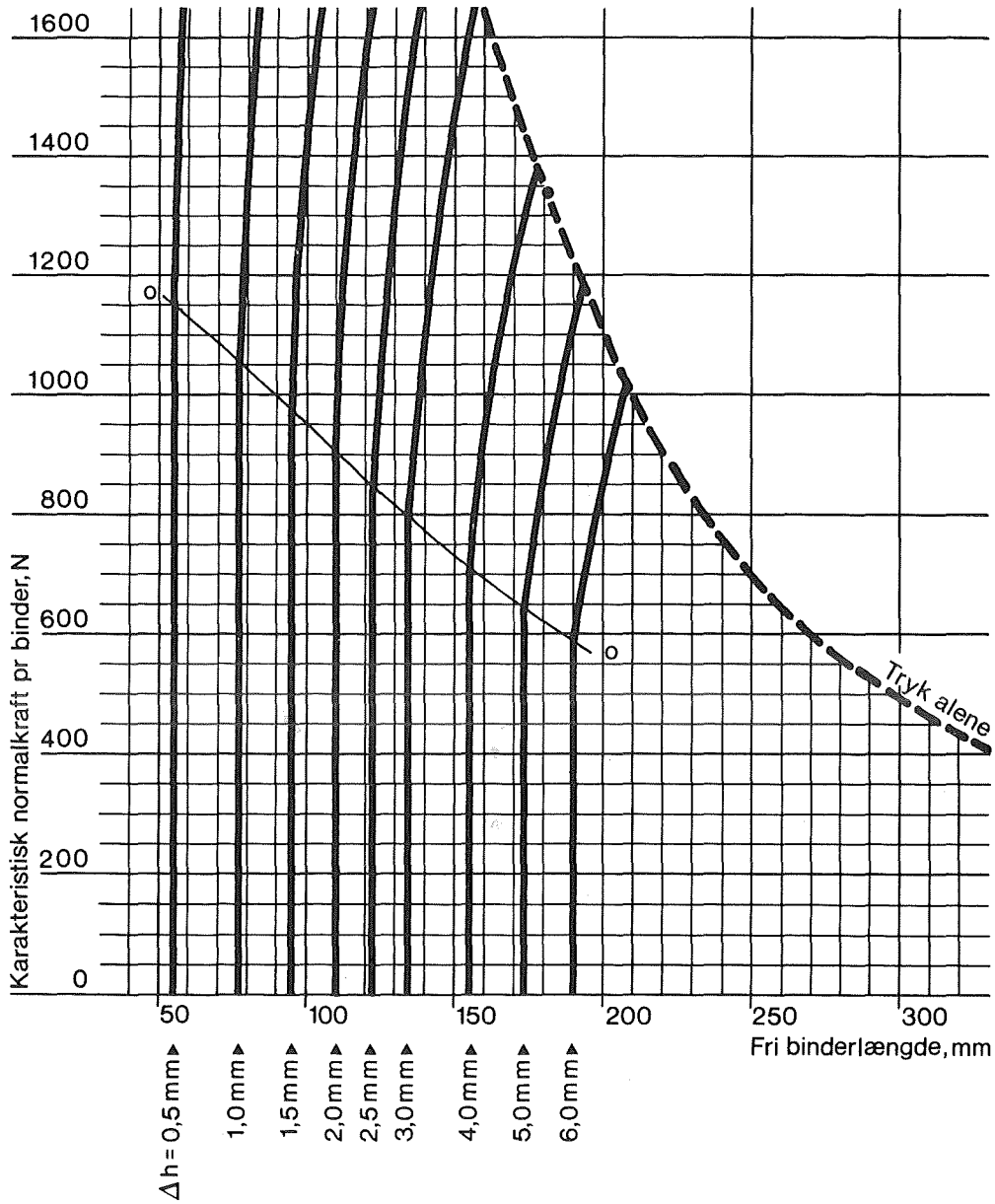
4 mm forzinket blødt stål $\sigma_f = 200 \text{ N/mm}^2$



Figur 10. Diagram til bestemmelse af binderlængde for normalkraft plus differensbevægelser, afhængig af differensbevægelsen, Δh , og gældende for $\phi 4$ mm varmforzinket blødt stål med $\sigma_f = 200 \text{ N/mm}^2$. Maximumslængden: punkteret kurve. Minimumslængder: fuldt optrukne kurver. Linien o markerer overgang mellem lasttilfælde: differensbevægelser alene/træk plus differensbevægelser.

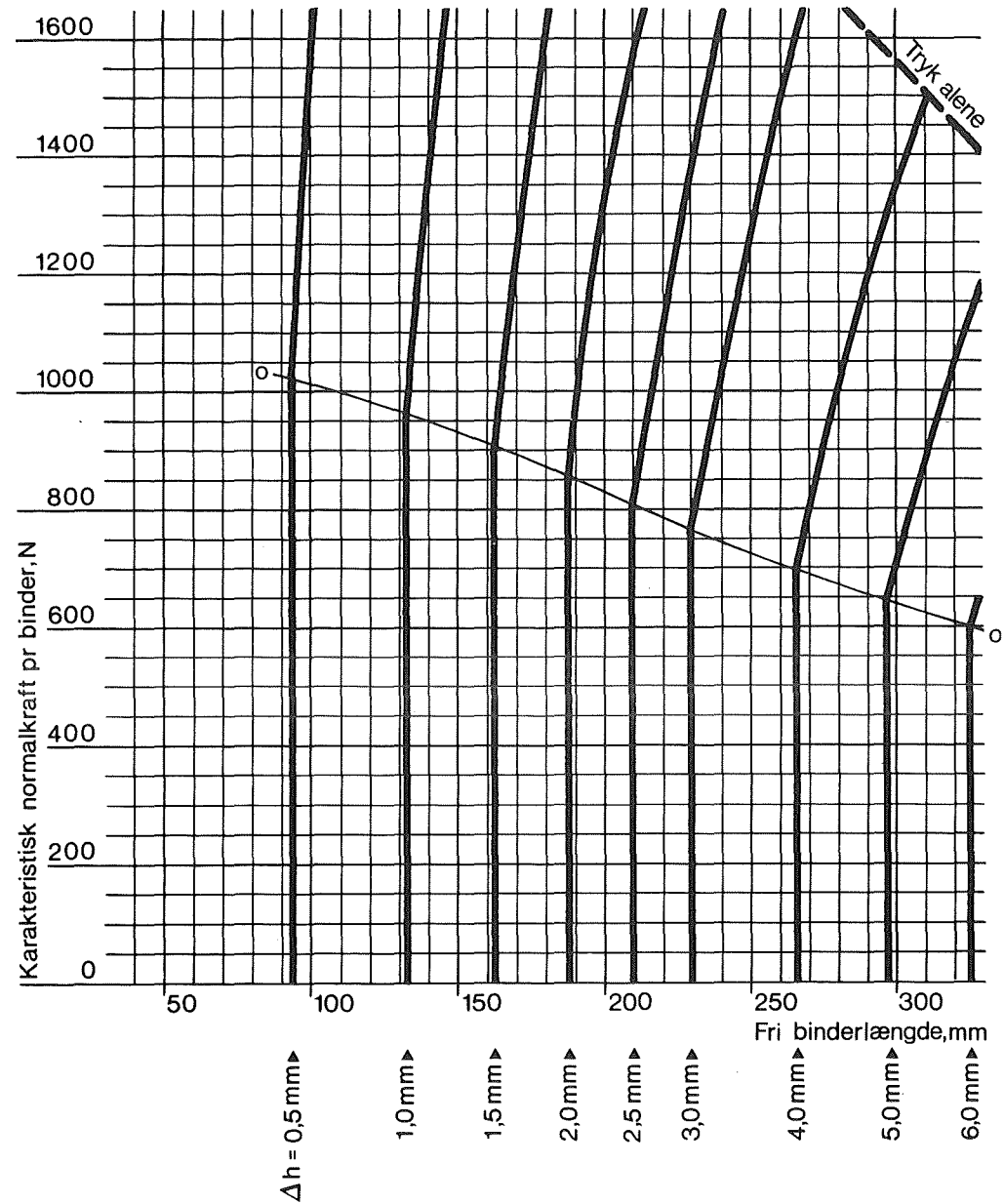
Angående varmforzinkede trådbindere henvises til Korrosionscentral-rapport omtalt i afsnittet »Grundlag for dimensioneringsdiagrammer« side 29.

4 mm rustfrit stål $\sigma_{0,2} = 600 \text{ N/mm}^2$



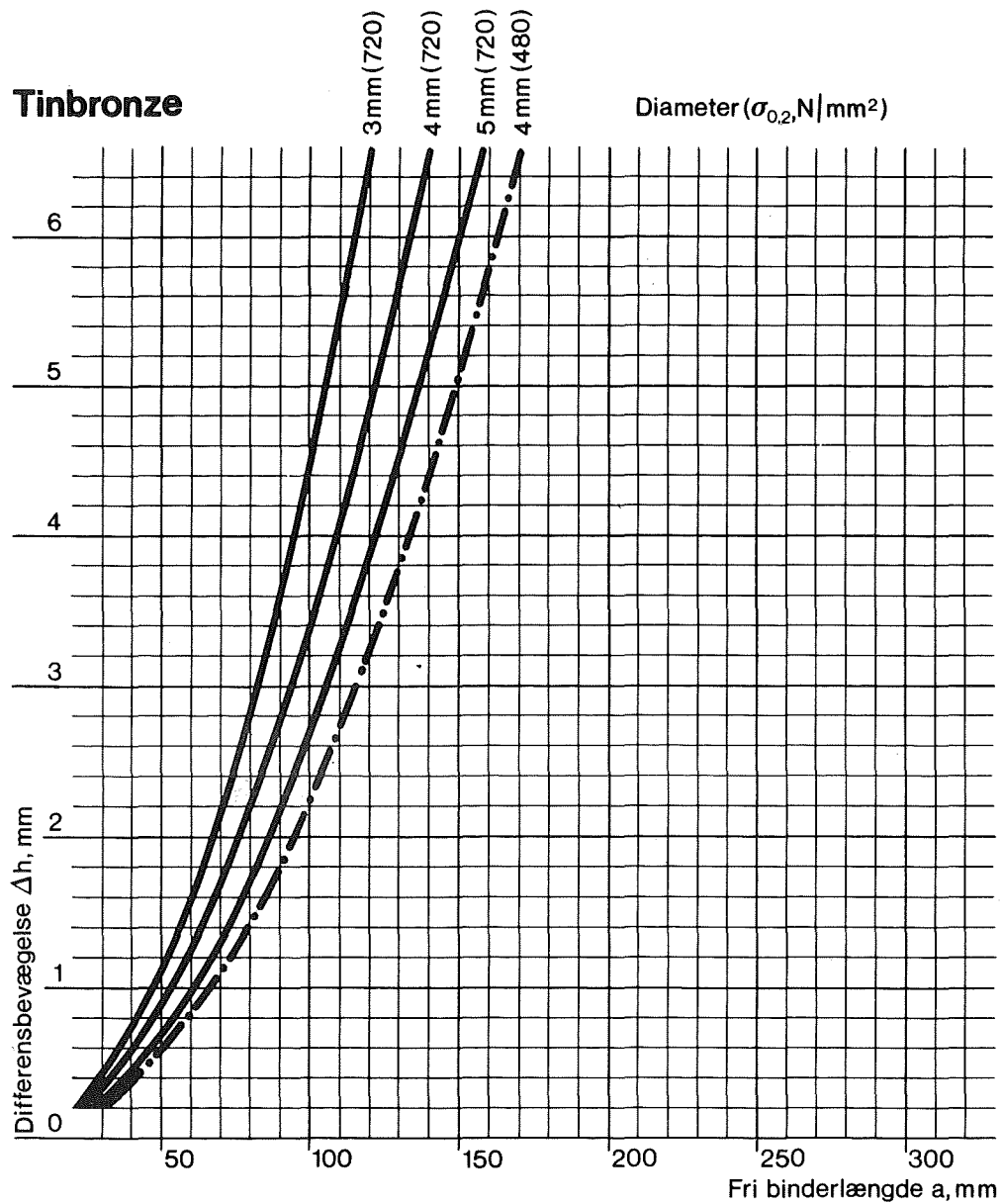
Figur 11. Diagram til bestemmelse af binderlængde for normalkraft plus differensbevægelser, afhængig af differensbevægelsen, Δh , og gældende for $\sigma_{0,2} = 600 \text{ N/mm}^2$. Maximumslængder: punkteret kurve. Minimumslængder: fuldt optrukne kurver. Linien o markerer overgang mellem lasttilfælde: differensbevægelser alene/træk plus differensbevægelser.

5,5 mm rustfrit stål $\sigma_{0,2} = 280 \text{ N/mm}^2$



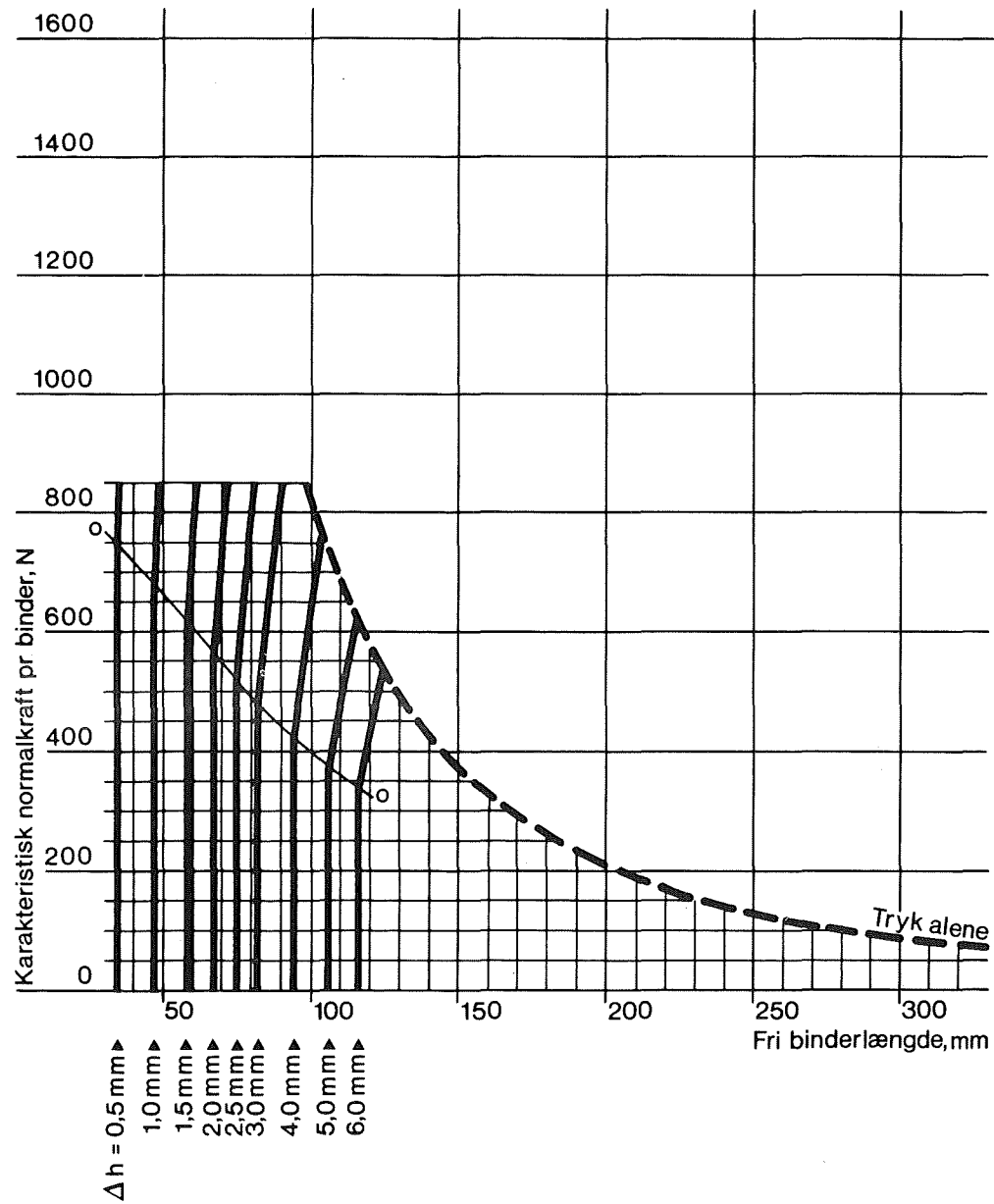
Figur 12. Diagram til bestemmelse af binderlængde for normalkraft plus differensbevægelser, afhængig af differensbevægelsen, Δh , og gældende for $\sigma_{0,2} = 280 \text{ N/mm}^2$. Maximumslængder: punkteret kurve. Minimumslængder: fuldt optrukne kurver. Linien o markerer overgang mellem lasttilfælde: differensbevægelser alene/træk plus differensbevægelser.

Tinbronze



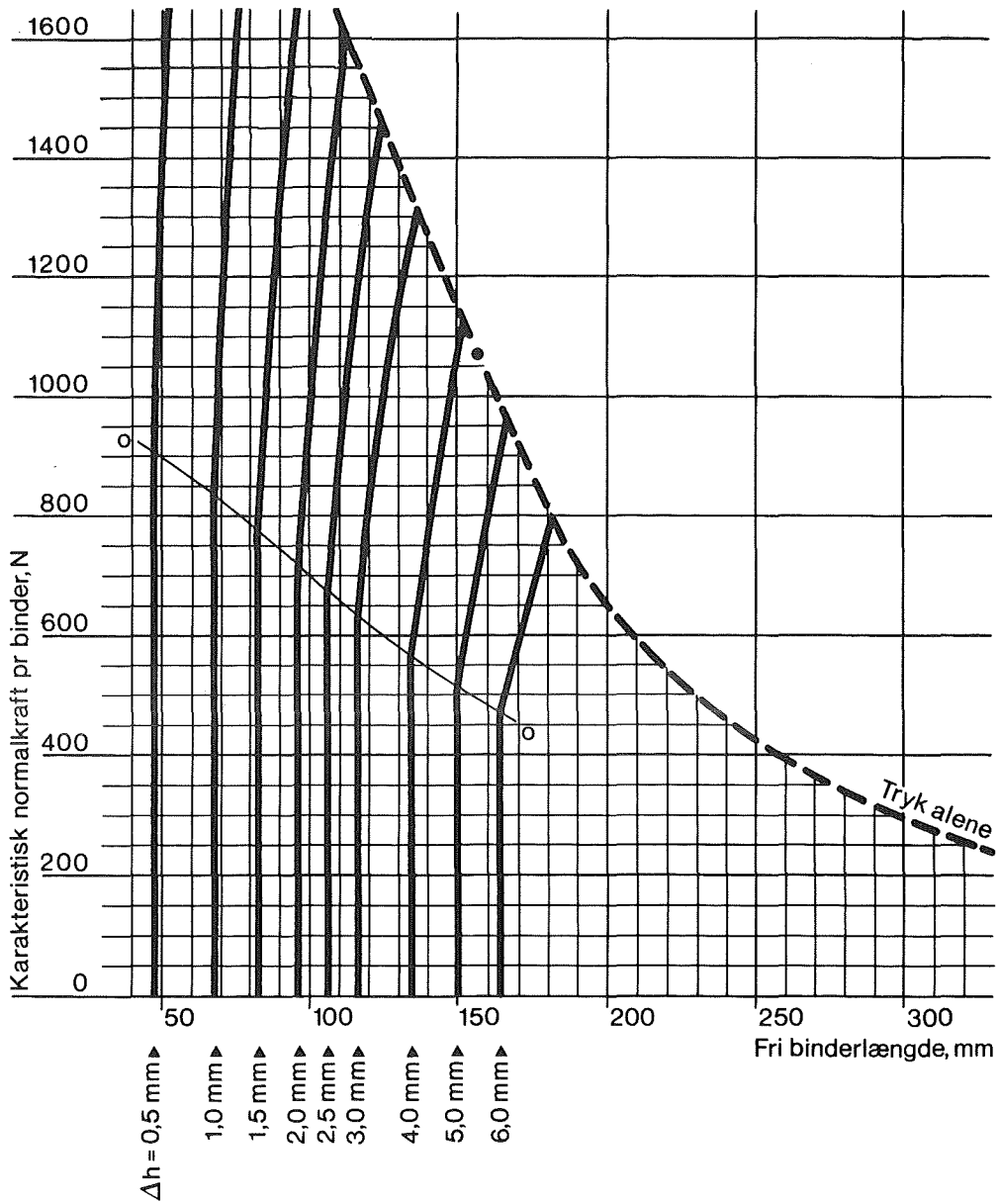
Figur 13. Diagram til bestemmelse af binderlængder for differensbevægelser (minimums-afstande mellem skalmur og bagvæg) gældende for tinbronze.

3mm tinbronze $\sigma_{0,2} = 720 \text{ N/mm}^2$



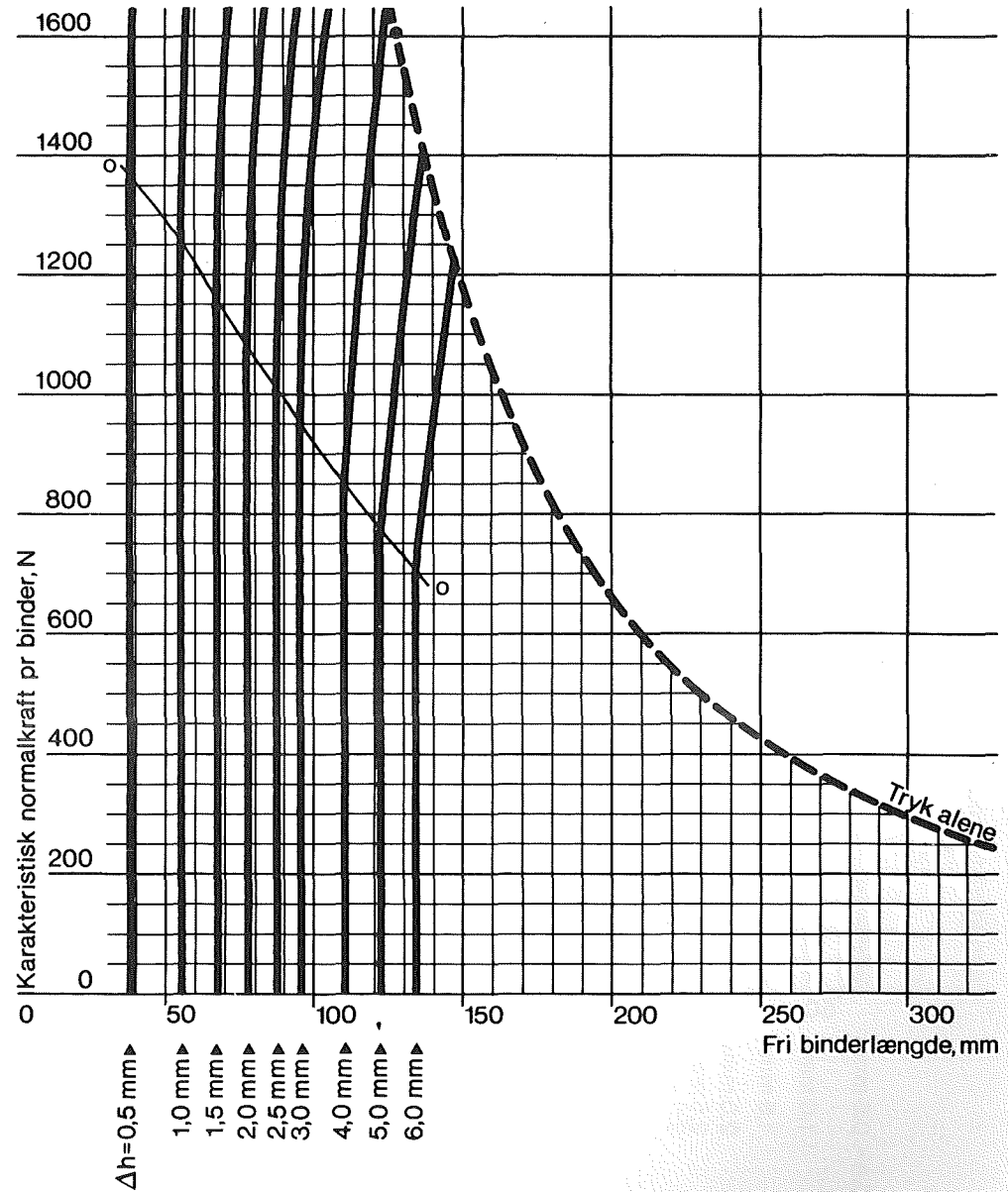
Figur 14. Diagram til bestemmelse af binderlængde for normalkraft plus differensbevægelser, afhængig af differensbevægelsen, Δh , og gældende for $\phi 3 \text{ mm}$ tinbronze med $\sigma_{0,2} = 720 \text{ N/mm}^2$. Maximumslængder: punkteret kurve. Minimumslængder: fuldt optrukne kurver. Linien o markerer overgang mellem lasttilfælde: differensbevægelser alene/træk plus differensbevægelser.

4 mm tinbronze $\sigma_{0,2} = 480 \text{ N/mm}^2$

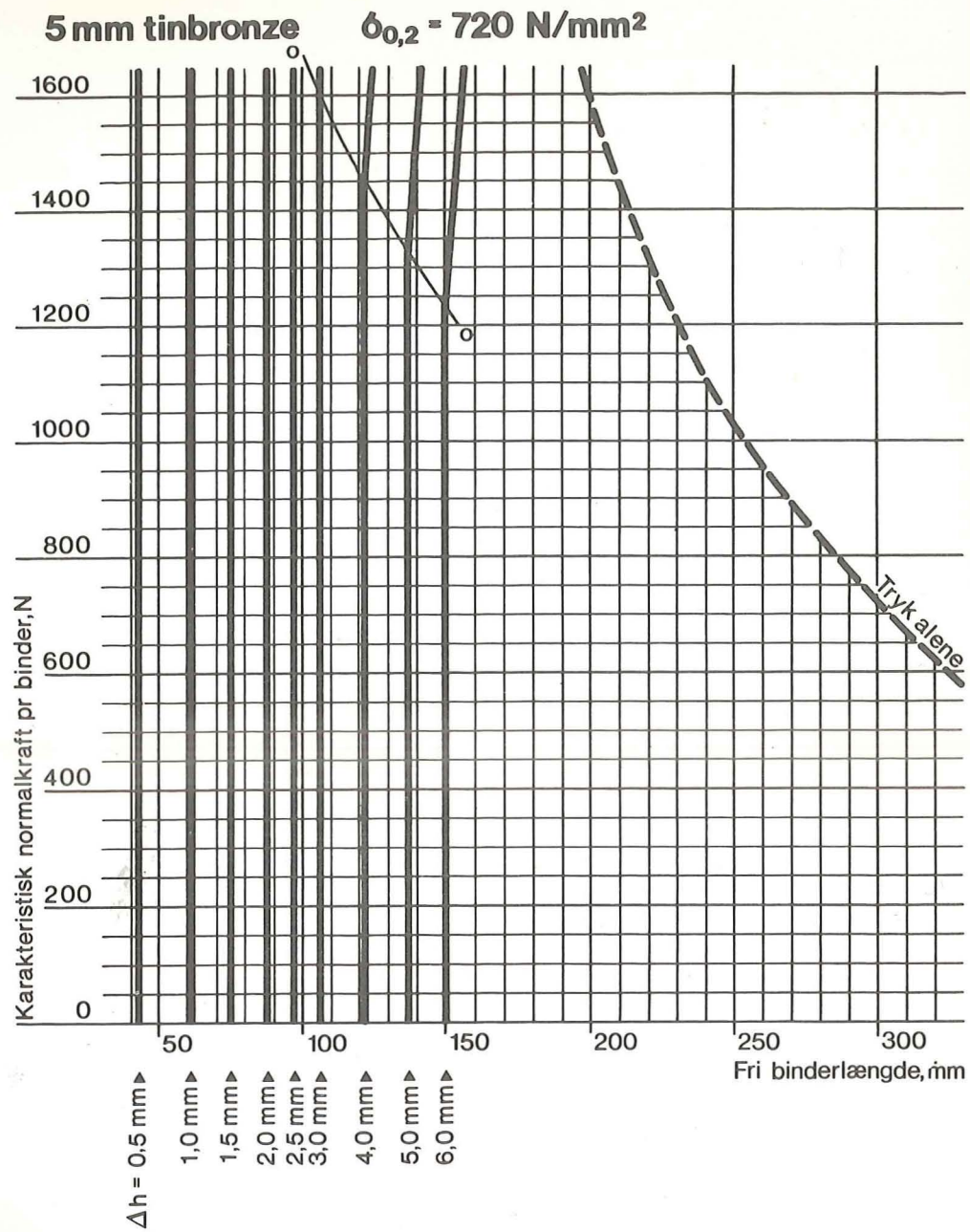


Figur 15. Diagram til bestemmelse af binderlængde for normalkraft plus differensbevægelser, afhængig af differensbevægelsen, Δh , og gældende for $\varnothing 4$ mm tinbronze med $\sigma_{0,2} = 480 \text{ N/mm}^2$. Maximumslængder: punkteret kurve. Minimumslængder: fuldt optrukne kurver. Linien o markerer overgang mellem lasttilfælde: differensbevægelser alene/træk plus differensbevægelser.

4 mm tinbronze $\sigma_{0,2} = 720 \text{ N/mm}^2$



Figur 16. Diagram til bestemmelse af binderlængde for normalkraft plus differensbevægelser, afhængig af differensbevægelsen, Δh , og gældende for $\varnothing 4$ mm tinbronze med $\sigma_{0,2} = 720 \text{ N/mm}^2$. Maximumslængder: punkteret kurve. Minimumslængder: fuldt optrukne kurver. Linien o markerer overgang mellem lasttilfælde: differensbevægelser alene/træk plus differensbevægelser.



Figur 17. Diagram til bestemmelse af binderlængde for normalkraft plus differensbevægelser, afhængig af differensbevægelsen, Δh , og gældende for $\sigma_{0,2} = 720 \text{ N/mm}^2$. Maximumslængder: punkteret kurve. Minimumslængder: fuldt optrukne kurver. Linien o markerer overgang mellem lasttilfælde: differensbevægelser alene/træk plus differensbevægelser.

Denne SBI-anvisning er udarbejdet til projekterende, som skal dimensionere trådbindere i overensstemmelse med gældende normkrav. Anvisningen er med sine tabeller, diagrammer og beregningseksempler et praktisk og lettilgængeligt supplement til Dansk Ingeniørforenings normtillæg vedrørende skalmure.