

BETONGS SIDETRYKK MOT FORSKALLING

Av Rolf Schjødt

OSLO 1951

Særtrykk av Teknisk Ukeblad
I kommisjon: Johan Grundt Tanum Forlag

Betongs sidetrykk mot forskalling

Dr. techn. R. Schjødt

DK 691.32

„Det må da være en trøst at der i praksis har utviklet seg erfaringsregler, som i de aller fleste tilfeller fører til en forsvarlig og økonomisk forskalling”.

Dette er den resignerte slutning en dansk forfatter kommer til, etter å ha konstatert at de nå brukte beregningsmåter for betongtrykk ikke gir tilfredsstillende resultater. Men det er nok meget tvilsomt om trøsten er berettiget. Tvert imot viser en kontrollregning av våre veggforskallinger, som de utføres i dag, at utførelsen som regel er meget lite rasjonell. De enkelte deler er dårlig avstemt til hverandre, og deres relative bæreevne kan variere med flere hundre prosent.

Dette gjelder særlig husbygging, men også større arbeider. Og så snart man kommer ut over de dimensjoner som er alminnelig brukt i husbygging, blir et sikkert grunnlag for beregningen ennå mer påkrevet.

Forfatteren, som for tiden arbeider for Byggeteknisk Utvalg av Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd med forskallingsundersøkelser, har derfor funnet det ønskelig å prøve å finne frem til en teoretisk og praktisk begrunnet beregningsmåte.

Det er av forskjellige forfattere satt opp flere empiriske formler som passer godt til enkelte måleresultater, men dårlig til andre. Hvor man har prøvet å stille opp teoretisk begrunnede uttrykk er siloformelen benyttet som utgangspunkt, men uten at forfatterne har vært oppmerksom på at forholdet mellom horisontaltrykk og vertikalltrykk i betongen varierer sterkt med tiden, så det teoretiske grunnlag for formelen her ikke holder stikk.

Dette har f. eks. ført til at Noack [3] har fått friksjonsvinkler mellom våt betong og forskalling på 35° mens han har satt den indre friksjonsvinkel til 17°, et helt urimelig resultat.

Vår vanlige utførelsesmetode av forskallingen gir oss en viss oversikt over trykkets størrelse. En

regning viser nemlig at båndjernene er det svakeste punkt, og langt svakere enn resten av forskallingen. Større enn båndjernenes bæreevne kan selvfølgelig ikke trykket være. Og båndjernenes bruddstyrke er bare en brøkdel av det trykk de må bære etter de forskjellige formler, så uoverensstemmelsen er åpenbar.

De viktigste faktorer som bestemmer trykkets størrelse er støpehastigheten, betongens konsistens og bindetid, og forskallingens form. La oss først se på støpehastighetens og bindetidens innflytelse.

Vi sier at betongen utøver sitt fulle sidetrykk idet støpningen passerer det sted vi betrakter, og at trykket når null når avbindingen er ferdig etter bindetiden t_s . Med støpehastigheten v står da betongen vt_s høyere. Under forutsetning av retlinjet variasjon av trykket mellom disse ytterpunkter fås da trykket i avstanden h fra overflaten:

$$p = \gamma t g^2 \left(45 - \frac{\Phi}{2}\right) h \left(1 - \frac{h}{vt_s}\right)$$

γ er betongens egenvekt. Den første del av uttrykket er den alminnelige formel for sidetrykket i en friksjonsmasse med friksjonsvinkel Φ , $(1 - h/vt_s)$

angir tidens virkning. Vi setter $t g^2 \left(45 - \frac{\Phi}{2}\right) = \lambda$,

$$p = \gamma \lambda h \left(1 - \frac{h}{vt_s}\right) \quad (1)$$

Maksimumsverdien av dette uttrykk er

$$p = \frac{1}{4} \gamma \lambda vt_s \quad (2)$$

Setter vi her $\lambda = 1$, og regner altså med fullt væsketrykk, fås $p = \frac{1}{4} \gamma vt_s$, en formel som gis i Christiani og Nielsens „Concrete Manual”. [6]

Den enkle formel (2) har den store mangel at den ikke tar hensyn til forskallingens form, altså

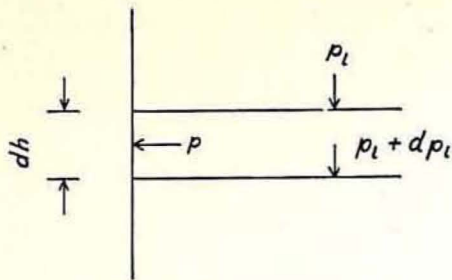


Fig. 1. Silovirkningen.

til silovirkningen. For å rette på dette stiller vi opp likevektsligningen for forskallingen, som det allerede ble gjort av Koenen og Janssen i [1] og [2]:

$$F dp_l = \gamma F dh - p U dh \operatorname{tg} \Phi_1$$

F er konstruksjonens tverrsnitt, U dens omkrets og Φ_1 betongens friksjonsvinkel mot forskallingen.

Herav fås:

$$\frac{dp_l}{dh} = \gamma - \frac{U}{F} \operatorname{tg} \Phi_1 p = \gamma - C \operatorname{tg} \Phi_1 \frac{p}{p_l}$$

Her er $C = \frac{U}{F}$. Koenen satte i sitt grunnleggende arbeid [1]:

$$\frac{p}{p_l} = \frac{\gamma h \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\Phi}{2} \right)}{\gamma h} = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\Phi}{2} \right) = \lambda$$

Det er klart at dette som før nevnt ikke gjelder for betong under avbinding. Vi setter, idet vi benytter formel (1)

$$\frac{p}{p_l} = \frac{\gamma \lambda h \left(1 - \frac{h}{vt_s} \right)}{\gamma h} = \lambda \left(1 - \frac{h}{vt_s} \right) \quad (3)$$

Vår ligning blir altså:

$$\frac{dp_l}{dh} = \gamma - C \operatorname{tg} \Phi_1 \lambda \left(1 - \frac{h}{vt_s} \right) p_l$$

Som løsning av denne ligning får vi, med $a = C \operatorname{tg} \Phi_1 \lambda vt_s$

$$p_l = \gamma vt_s e^{\frac{a}{2} (1 - h/vt_s)^2} \sqrt{\frac{2/a}{1 - h/vt_s}} \int_0^h e^{-h^2} dh = \gamma vt_s K$$

Integralet finnes utregnet i tabell med det nødvendige antall desimaler i [8]. For sidetrykket fås altså ved hjelp av (3):

$$p = \gamma \lambda vt_s K \left(1 - \frac{h}{vt_s} \right) \quad (4)$$

K fås fra kurvebladet (fig. 2)

Ved hjelp av formel (4) regnes altså ut på en enkel måte hvor stort trykket er i høyden h under overflaten, når støpen stiger med hastigheten v . For å finne hvordan trykket synker i støpepåsene, skriver man (4) best på formen

$$p = \gamma \lambda vt_s K \left(1 - \frac{t}{t_s} \right)$$

Friksjonsvinkelen Φ_1 mellom betong og forskalling synes etter de foreliggende forsøksresultater, og også etter praktisk erfaring på byggeplassen, å være lik den indre friksjonsvinkel. Dette gjelder iallfall for forholdsvis våt betong.

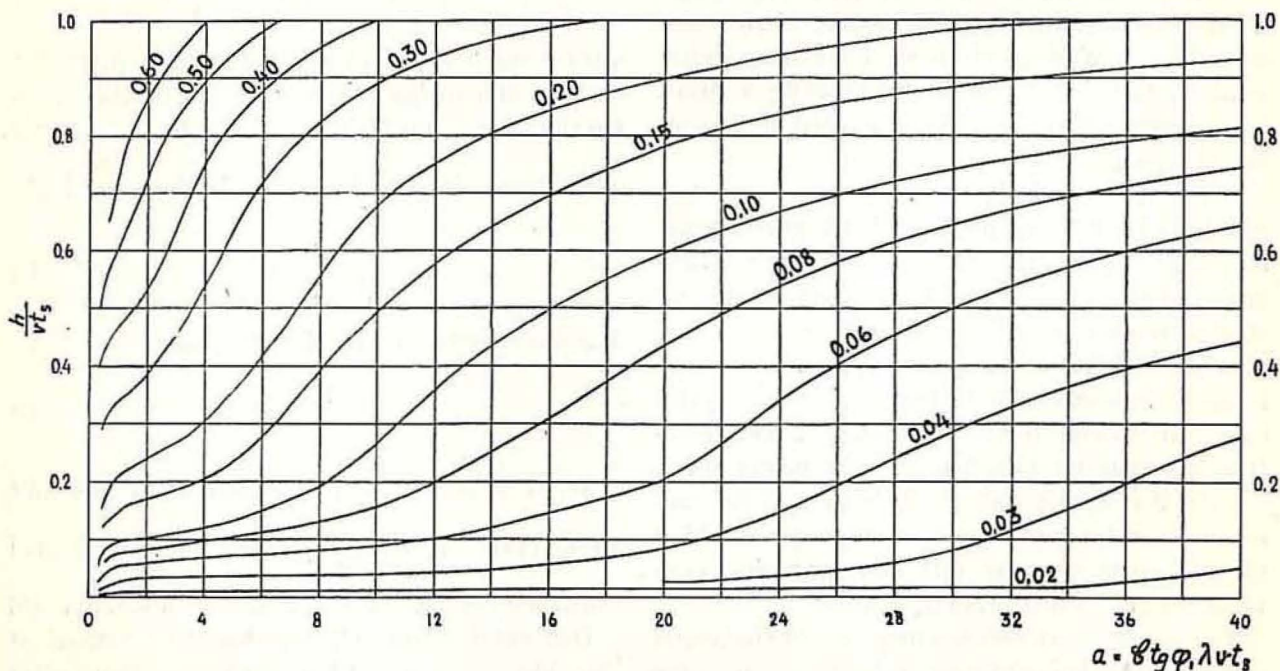


Fig. 2. Kurveblad for K .

Den indre friksjonsvinkel for våt betong har ved de utførte forsøk ligget på ca. 15° . Denne verdi gis også av Ljungberg [5].

La oss som et eksempel ta en 15 cm vegg som man støper til en høyde på 1,10 m på 20 min. og etter 1 1/2 times pause kommer man tilbake for å støpe videre. Betongens bindetid settes til 4 timer.

Da fås:

$$v = 1,10 \cdot \frac{60}{20} = 3,3 \text{ m/time}, C = \frac{2}{0,15} = 13,3$$

$$\lambda t g \psi_1 = 0,590 \cdot 0,268 = 0,157$$

$$a = 27,6 \quad \frac{h}{vt_s} = \frac{1,1}{13,2} = 0,083$$

Etter (4) og fig. 2 blir

$$p = 2,2 \cdot 0,590 \cdot 13,2 \cdot 0,033 (1 - 0,083) = 0,565 (1 - 0,083) = 0,52 \text{ t/m}^2$$

Etter 1 1/2 time:

$$p = 0,565 \left(1 - \frac{0,33 + 1,5}{4} \right) = 0,31 \text{ t/m}^2$$

Etter 20 min. + 1 1/2 time + 20 min.,
 $h = 2,2 \text{ m}$

$$v = \frac{2}{0,33 + 1,5 + 0,33} = 0,92 \text{ m/time}$$

$$\frac{h}{vt_s} = \frac{2,2}{4 \cdot 0,92} = 0,60 \quad a = 7,7$$

$$p = 2,2 \cdot 0,59 \cdot 0,92 \cdot 4 \cdot 0,23 (1 - 0,60) = 0,44 \text{ t/m}^2$$

Kurveforløpet er vist på fig. 3

På fig. 4 er vist strekk i båndjernet regnet ut etter trykkdiagrammet og etter mål-

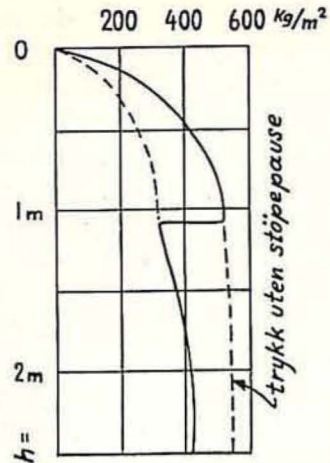


Fig. 3. Trykk i dybde h under overflate.

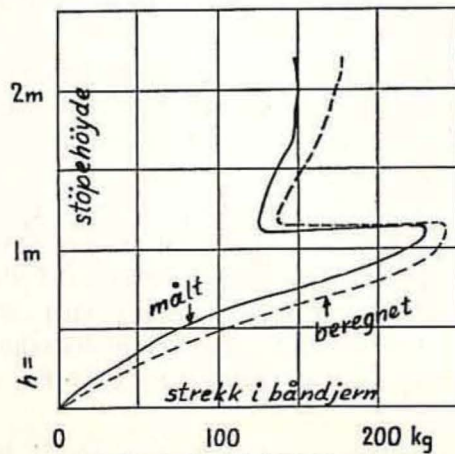


Fig. 4. Strekk i båndjern.

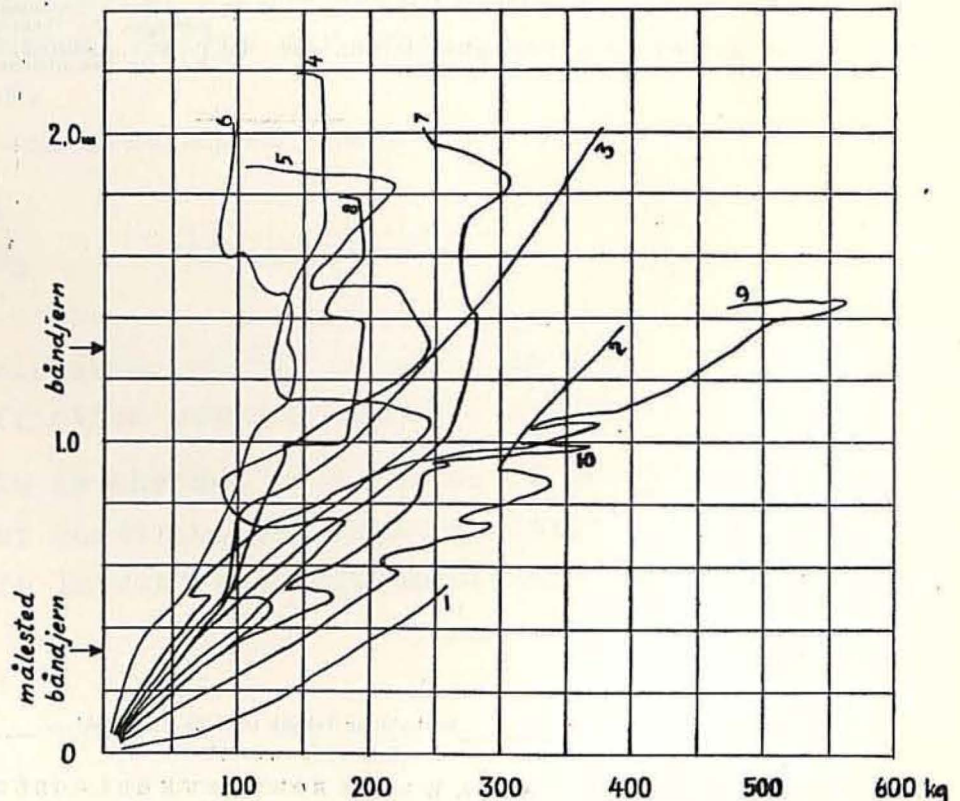


Fig. 5. Målte påkjenninger i båndjern. Omregnet til horisontal båndjernavstand 72 cm. Nr. 1 og 2, veggtykkelse, $t = 25 \text{ cm}$, 2 til 8, $t = 15 \text{ cm}$, 9 og 10, $t = 40 \text{ cm}$.

inger. Som det vil ses er overensstemmelsen meget god.

Forfatteren har utført en serie målinger av betongtrykket mot forskalling på forskjellige byggeplasser for å kontrollere det ovenstående.

Ved de tidligere utførte forsøk har man enten benyttet direkte måling av trykket ved hjelp av innebygde trykkceller, eller man har målt forskallingens deformasjoner. Begge deler har sine iøynefallende svakheter. Trykksellene forandrer forholdene på målestedet, og treforskallingen deformeres seg ved fuktighetsforandringen uavhengig av belastningen.

Forfatteren har derfor målt båndjernes strekk direkte. Derved bortfaller de ovennevnte feilkilder for det meste. Til gjengjeld får man bare målt gjennomsnittstrykket på den flate båndjernet bærer, men dette er jo alt det man i praksis har bruk for.

Philips „strain gauges” ble limt på båndjernene, og motstandsforandringen i disse som følge av spenningen under støpningen ble målt med en Wheatstones bro.¹

Der ble målt 4 målesteder på en gang for å eliminere unøyaktigheter på grunn av ujevn stramming av jernene og andre tilfeldige feilkilder. Forskallingen var utført som vanlig, men „strekkfiskene” ble avsaget utenfor målestrekningen for å hindre kraftoverføring til eller fra andre båndjern.

Endel måleresultater er tegnet opp i fig. 5. Kurvene 1 og 2 er for to båndjern ved siden av

¹ Broen var utlånt fra Statens Teknologiske Institutt, som jeg herved vil få takke for denne imøtekommenhet.

hverandre, likeså kurvene 6, 7 og 9, 10. På det annet av disse målesteder har øyensynlig båndjern 6 vært dårlig strammet, så 7 er blitt forholdsvis mere belastet. Kurve 4, med den støpehastighet som der ble brukt, er benyttet som sammenlikningsgrunnlag på fig. 4. Uregelmessighetene i kurvene tilsvarer forskjellige kortere og lengre støp pauser. Den horisontale avstand mellom båndene varierte en god del på de forskjellige byggeplasser. For sammenlikningens skyld er alle måleresultater omregnet til avstanden 72 cm. Man får et inntrykk av spredningen, som vel hovedsakelig kommer av den før nevnte ujevne stramming av jernene.

Formlene gir såvidt stor sikkerhet at alle måleresultater ligger under de etter formlene beregnede båndjernstrekk.

Endel av veggene var uarmerte, andre enkeltarmerte. Det later ikke til at enkeltarmering gjør noen større forskjell på sidetrykket.

Variasjonen i trykket på grunn av stampingen kunne følges under støpningen. Den var helt ubetydelig, så snart betongoverflaten var kommet 30–40 cm over målestedet, og aldri så stor at den spilte noen rolle.

Litteraturfortegnelse:

- [1] Koenen: Zentralblatt der Bauverwaltung 1896.
- [2] Janssen: Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1895.
- [3] Noack: Versuche zur Bestimmung des Seitendruckes von feuchtem Zementbeton. Schweiz. Bauztg. 82, 1923.
- [4] R. Hoffmann: Der Schalungsdruck von frischem Beton. Beton u. Stahlbetonbau s. 130, 1943.
- [5] N. Ljungberg: Formar och Ställningar, i Betongtekniska Anvisningar, Stockholm 1945.
- [6] J. Brinch Hansen: Betons sidetryk under støbningen. Beton og Jernbeton nr. 1, 1949.
- [7] A. Guerrin: La poussée exercée par le beton frais sur les coffrages. La Technique des Travaux. nr. 9–10, 1950.
- [8] T. R. v. Oppolzer: Lehrbuch zur Bahnbestimmung der Kometen und Planeten. Leipzig 1880.