

45/68

Per Olof Nylund

RÖRELSER HOS FASADELEMENT AV BETONG

Särtryck ur tidskriften *Byggmästaren* 5:1968

Rapport från Byggforskningen, Stockholm



UDK 69.022.325
691.328
624.042.6Tekn Ilc Per Olof Nylund
Institutionen för byggnads-
teknik, KTH

Betongelementbyggandet har för närvarande en omfattning som aldrig tidigare i vårt land. Det har medfört att fogproblemen har aktualiserats. Bland annat frågan om hur fogarna i fasad skall utformas för att kunna skydda mot regn och vind. I denna uppsats redovisas resultat från experimentella och teoretiska undersökningar av rörelser hos fasadelement av betong. Kunskapen om dessa rörelser är nödvändig för att man riktigt skall kunna utforma infästningsbeslag och fogtättningsanordningar.

¹I artikeln redovisas resultat från undersökningar som utförts med anslag från Statens råd för byggnadsforskning

Vid utformning av fasader med icke bärande fasadelement av betong ställs speciella krav på infästningsbeslag och fogtättningsanordningar. Funktionen hos dessa detaljer påverkas på ett komplicerat sätt av rörelser hos fasadelementen och hos stommen samt av kraft/deformationsegenskaper hos detaljerna själva. Det skulle här föra för långt att redogöra för samspillet mellan dessa faktorer. I stället redovisas uppgifter som avser att belysa arten och storleken av de rörelser som uppträder hos element som har oförhindrad rörelsemöjlighet i förhållande till stommen.

Uppgifterna, som av utrymmesskäl redovisas kortfattat och utan verifierande kommentarer, utgör resultat och bearbetningar av resultat från experimen-

tella och teoretiska undersökningar av rörelser hos fasadelement av betong. Tillsammans ger de möjlighet till beräkningsmässig bedömning av storleken av rörelser hos fasadelement och hos stommen samt hos fogar mellan angränsande fasadelement.

En något utförligare redovisning har lämnats i [15].

För att möjliggöra en systematisk redovisning av rörelser har det inte kunnat undvikas att artikeln blivit belastad med en del formler.

Geometrisk beskrivning av rörelser

Fasadelement

Geometriskt sett uppträder två typer av deformationer: *längdändring* (med bibehållet böjningstillstånd) och *böjning* (med bibehållen elementlängd). Dessa deformationer illustreras i bild 1. I bild 1 A visas hur längdändring av elementet ger en förskjutning av en punkt b på elementets sidokant till det nya läget b^l. Förskjutningen betecknas δ^l . I bild 1 B visas inverkan av böjning. Punkt b, som ligger på elementets mittplan, förskjuts till läget b^b. Förskjutningen betecknas δ^b och motsvarar skillnaden mellan längden L och sträckan a—b^b. Denna förskjutning är i regel försumbar.

För punkter som ligger på ett avstånd e från elementets mittplan tillkommer en förskjutning på grund av elementkanternas vinkeländring. Denna förskjutning betecknas δ_e^b och uttrycks

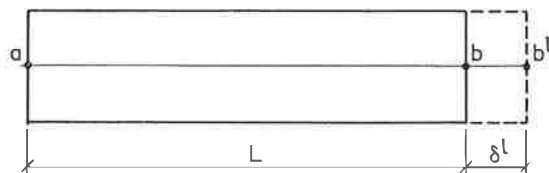
$$\delta_e^b = -2 \cdot \beta \cdot e = -\frac{L \cdot e}{\rho} \quad (1)$$

I formeln har förskjutning på grund av skillnaden mellan längden L och sträckan a—b^b försumrats.

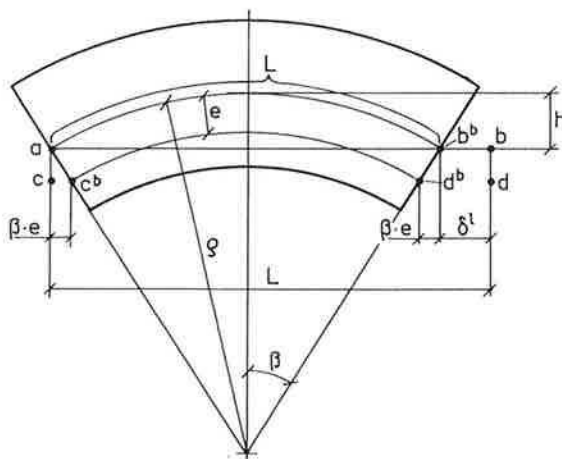
I fortsättningen kommer rörelser att anges som förskjutning per längdenhet och betecknas ϵ . Samma indexbeteckningar l och b används för att ange om rörelsen förorsakas av längdändring eller av böjning. Nyssnämnda rörelse uttrycks då av

$$\epsilon_e^b = -\frac{e}{\rho} \quad (2)$$

1 A
Längdändring
Elongation



1 B
Böjning
Bending



Sammanlagd rörelse på grund av längdändring och böjning betecknas ϵ^{lb} och utgör

$$\epsilon^{lb} = \epsilon^l + \epsilon^b. \quad (3)$$

Fogar

Rörelser hos fogar sammansätts av rörelser hos angränsande element och av rörelser hos stommen enligt följande samband

$$\Delta B = (-\epsilon + \bar{\epsilon}) \cdot L \quad (4)$$

Tecknen anger att en längdökning av elementet medför minskning av fogbredden och att en längdökning av stommen medför en ökning av fogbredden.

Bestämning av storleken av rörelse innebär i det allmänna fallet att rörelse från ett deformations-tillstånd, referenstillståndet, till ett annat skall bestämmas. Referenstillståndet kan variera beroende på syftet med beräkningen av rörelse. Om avsikten är att studera rörelsen hos en i fogen anbrindad fogtätning, kommer referenstillståndet att motsvara tidpunkten för fogtätningens applicerande.

Orsaker till rörelser

Rörelser uppträder på grund av variationer i betongens temperatur och ändrade fuktförhållanden i betongen. De rörelser som förorsakas av dessa faktorer kallas — något oegentligt — i fortsättningen för *temperaturrörelser* och *fuktrörelser*. I bild 2 återges de rörelser som registrerades vid ett års rörelsemätning på ett cirka fem meter långt fasadelement i Göteborg. Rörelserna avser sammanlagd rörelse, det vill säga fuktrörelse och temperaturrörelse. Av diagrammet framgår att elementet haft sin största längd

under mars/april och sin minsta längd under augusti. De vertikala linjerna motsvarar rörelsens dygnsamplituder.

Fuktrörelser påverkas i dominerande utsträckning av den relativa fuktigheten hos omgivande luft. I bild 3 återges fuktrörelser från undersökning av ett element i Stockholm. Rörelsen kan förenklat beskrivas med en sinuskurva som har en period av ett år och som har maximi- och minimivärden under respektive vinter och sommar. Kurvan har viss likhet med kurvorna i bild 8.

Fuktrörelse betecknas $\epsilon(\varphi)$, vilket anger att rörelsen huvudsakligen betraktas som en funktion av den relativa fuktigheten φ .

Temperaturrörelser anses sammansatta av en långtidsvarierande andel som påverkas av medeltemperaturens årsvariation och en korttidsvarierande andel med dygnsperiod som beror på avvikelser i förhållande till årsmedeltemperaturen. Temperaturrörelse betecknas $\epsilon(\theta)$, som anger att rörelsen är en funktion av temperaturen θ .

Det förutsätts att fuktrörelse och temperaturrörelse kan betraktas som två oberoende andelar och att total rörelse utgör summan av dessa andelar enligt

$$\epsilon(\theta, \varphi) = \epsilon(\theta) + \epsilon(\varphi). \quad (5)$$

Genom att differentiera rörelser med hänsyn till geometriska uttryck för förskjutningar enligt (3) och med hänsyn till orsaker enligt (5) kan ett ytterligare differentierat samband uppställas:

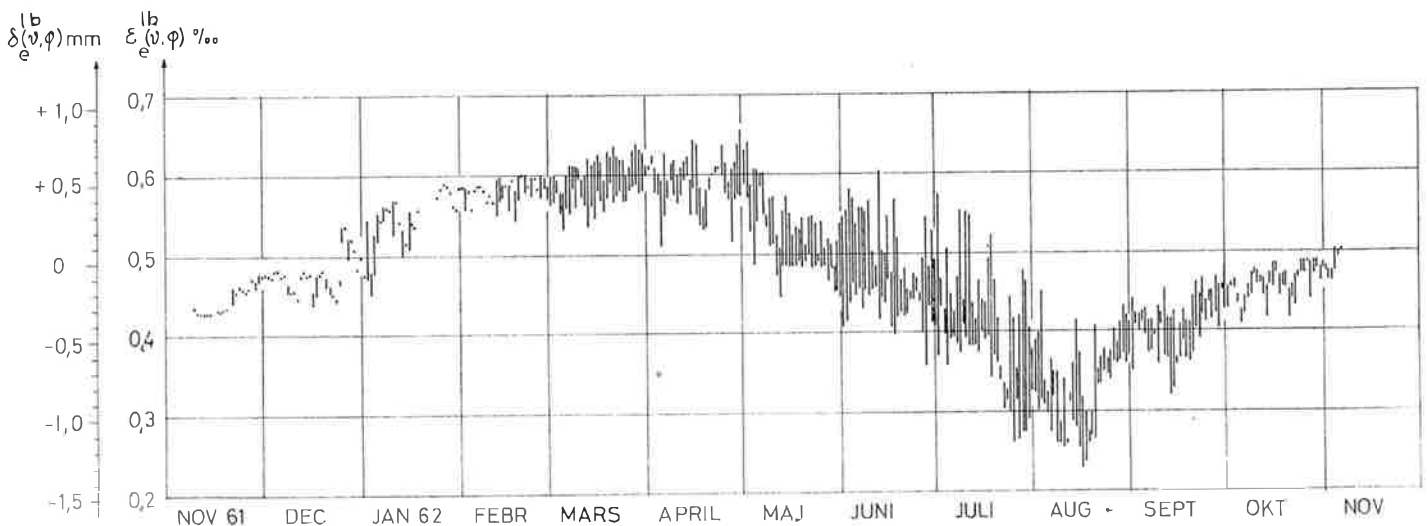
$$\epsilon^{lb}(\theta, \varphi) = \epsilon^l(\theta) + \epsilon^l(\varphi) + \epsilon^b(\theta) + \epsilon^b(\varphi). \quad (6)$$

Avsikten med ovanstående differentiering av olika rörelseandelar har varit att skapa en indelningsgrund enligt vilken de olika rörelseandelarna kan diskuteras var och en för sig i det följande.

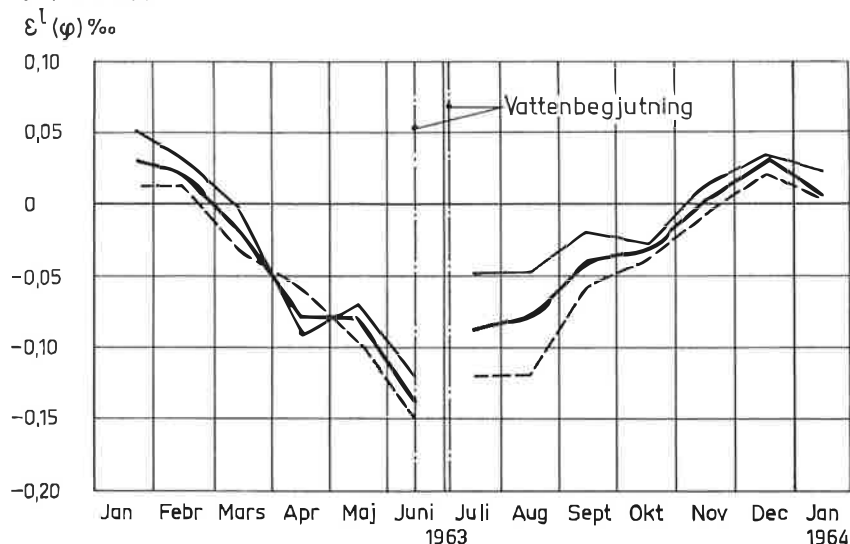
2

Registrerade rörelser vid en undersökning i Göteborg. Mätningarna har gjorts på ett betongelement under ett år. De vertikala linjerna motsvarar rörelsernas dygnsamplituder.

Recorded movements in an investigation in Gothenburg. Recordings were made during a period of one year on a concrete element. The vertical lines represent the daily amplitude of the movements.



Fuktrörelser

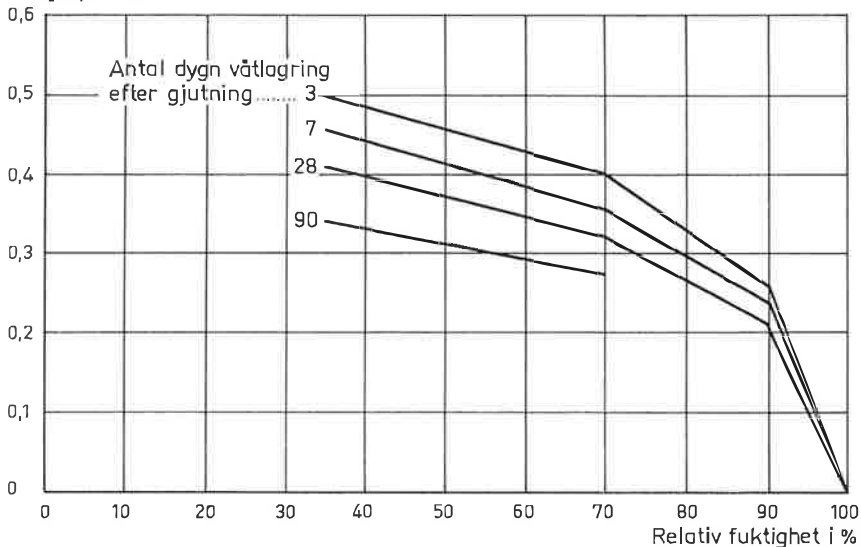


3

Fuktrörelser vid undersökning i Stockholm

Humidity movements from an investigation in Stockholm

4

Slutlig krympning vid uttorkning. Kurvorna avser betong med ett värde på parametern $K = 30$.Final shrinkage from drying. The curves are for concrete with a value on the $K = 30$ parameter. $\varepsilon_{\text{krymp } \infty}^{K=30} \text{‰}$ 

3

Rörelsernas storlek

Fuktrörelser

För att skapa bakgrund till den fortsatta redogörelsen är det nödvändigt att först kortfattat redogöra för en metod att beräkna krympning hos betong.

Krympning vid uttorkning efter gjutning

I bild 4 anges slutlig krympning för betong som funktion av relativ fuktighet hos omgivande luft vid uttorkningen och varierande tids våtlagring efter gjutningen. Betongens egenskaper definieras av en parameter K , vars värde beror av vattencementtal, cementhalt, mängd ballast mindre än 7 mm i ballastmaterialet och på en faktor som uttrycker betongens dimension i »uttorkningsriktningen».

$$K = vct \frac{C \cdot B}{\sqrt[3]{t}} \approx 0,8 \cdot vct \frac{C \cdot B}{\sqrt[3]{r}}, \quad (7)$$

där

 vct =vattencementtal C =cementhalt i kg/m^3 B =mängd ballast mindre än 7 mm/total ballastmängd t =elementets tjocklek i cm r =»hydraulisk radi« i cm.

Kurvorna i bild 4 avser betong med ett värde av $K=30$. För andra värden på K korrigeras med en faktor k som fås ur diagrammet i bild 5. Slutlig krympning erhålls enligt

$$\varepsilon_{\text{krymp } \infty} = k \cdot \varepsilon_{\text{krymp } \infty}^{K=30}. \quad (8)$$

Sedan värde för slutlig krympning bestämts på detta sätt, kan krympningsförloppet, det vill säga krympningens beroende av tiden, räknat från gjutningstillfället, konstrueras med hjälp av diagrammet i bild 6.

Den ovan beskrivna metoden kommer att tillämpas vid beräkning av fuktrörelsernas storlek.

Krympning/svällning vid skiftande relativ fuktighet

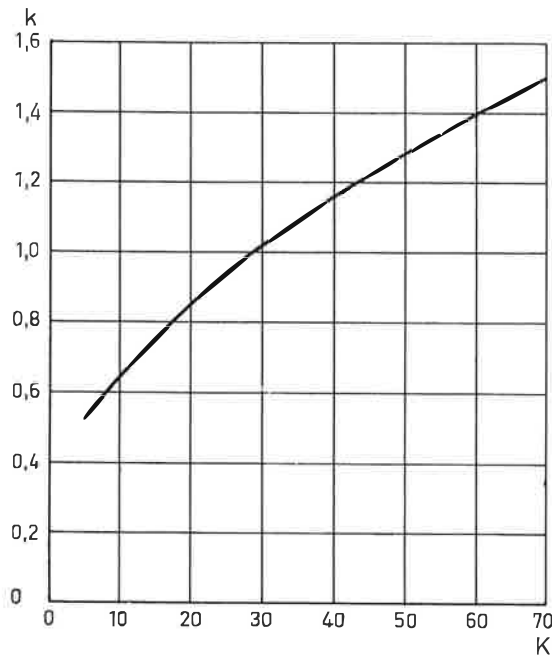
Storlek av slutlig krympning och kurvor för krympningsförlopp används som gränskurvor för krympning/svällning hos betong som lagras vid växelvis skiftande relativ fuktighet. Användningen illustreras av bild 7. I diagrammet har två krympningsförlopp skisserats för relativa fuktigheterna φ_1 och φ_2 . I diagrammet har vidare en kurva ritats in som avser att representera krympning/svällning vid växelvis ändring av den relativa fuktigheten. I det första skedet antas betongen vara lagrad vid en godtycklig relativ fuktighet φ_3 . Om den relativa fuktigheten höjs till φ_2 kommer betongen att svälla för att så småningom närma sig ett gränsvärde. Detta gränsvärde representeras av krympningsförloppet vid den relativa fuktigheten φ_2 .

Om den relativa fuktigheten sänks till φ_1 , börjar

5

Korrektionskoefficient för beräkning av slutlig krympning då $K \neq 30$

Correction factor for the calculation of final shrinkage $K \neq 30$



betongen krympa och närmar sig ett gränsvärde som representeras av krympningsförlopp vid relativ fuktighet φ_1 .

Beräkning av fuktrörelser

Om betong utsätts för periodiskt varierande relativ fuktighet kan, under förutsättning att variationen är tillräckligt långsam, gränsvärden för krympning och svällning relateras till relativa fuktighetens maximi- och minimivärden och beräknas på liknande sätt som för växelvis varierande fuktighet.

I bild 8 visas den relativa fuktighetens normalårsvariation för ett antal orter i Sverige.

Under inverkan av denna årsvariation kommer betongen efter några år, det vill säga när effekten av krympning efter gjutning har dämpats, att krympa och svälla mellan ett övre gränsvärde ϵ^{δ} och ett undre gränsvärde ϵ^u .

Med tanke på systematiken har det varit nödvändigt att formulera årsperiodiska rörelser matematiskt. För att ange den allmänna karaktären av dessa rörelser har de uttryckts som sinusfunktioner.

Fuktrörelser illustreras i bild 9. I diagrammet anges en tidpunkt vid vilken rörelsen i förhållande till referenstillståndet skall undersökas. Fuktrörelserna uttrycks av sambandet

$$\epsilon^i(\varphi) = \frac{\epsilon^{\delta} + \epsilon^u}{2} + \frac{\epsilon^{\delta} - \epsilon^u}{2} \cdot \cos \frac{\pi}{6} \cdot (i - m) - \epsilon_0(\varphi) \quad (9)$$

Rörelse vid referenstillståndet betecknas $\epsilon_0(\varphi)$.

Övre och undre gränser ϵ^{δ} och ϵ^u samt rörelse vid referenstillstånd $\epsilon_0(\varphi)$ kan bestämmas enligt det följande.

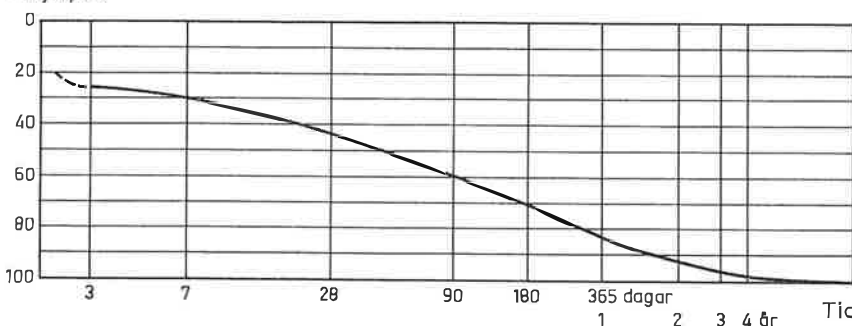
Bestämning av övre gräns ϵ^{δ}

ϵ^{δ} bestäms som medelvärdet av värdet för slutlig krympning vid relativ fuktighet $\varphi=95\%$, vilket avser ytterluftens inverkan, och värdet av slutlig krympning vid en relativ fuktighet som motsvarar den som råder inomhus under vintern. (För obefuktade bostadslägenheter är detta värde $\varphi=40$ à 50% .)

Bestämning av undre gräns ϵ^u

ϵ^u bestäms som medelvärdet av värdet för slutlig krympning vid relativ fuktighet motsvarande lägsta månadsmedelvärde enligt bild 8, vilket avser ytterluftens inverkan, och slutlig krympning vid relativ fuktighet motsvarande inomhusluftens vid samma tidpunkt. För bostadshus ligger dessa värden ganska nära varandra, eftersom relativ fuktighet både utomhus och inomhus rör sig omkring $\varphi=60$ à 70% . Detta förenklar beräkningen något.

$\frac{\epsilon_{krymp}}{\epsilon_{krymp\infty}} \%$



6

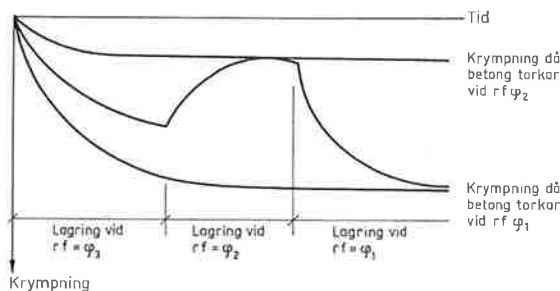
Krympningsförlopp

The shrinkage process

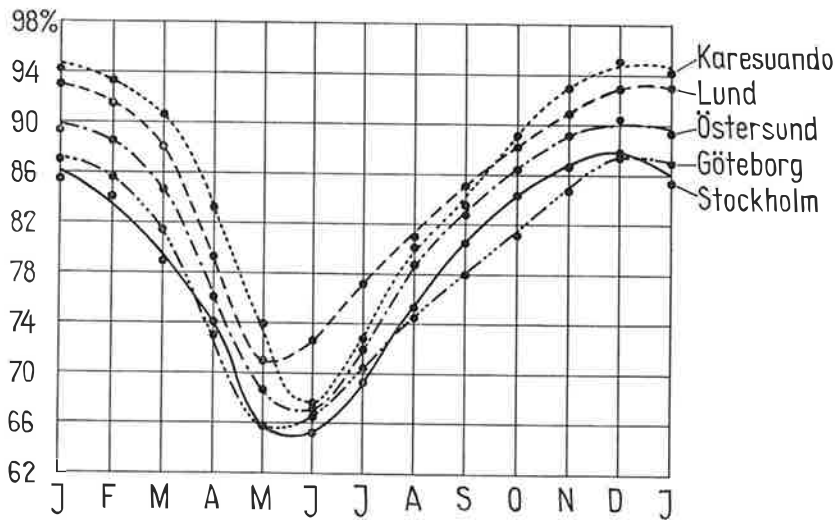
7

Krympning/svällning vid växlande relativ fuktighet

Shrinkage/swelling in changing relative humidity



RELATIV FUKTIGHET I PROCENT

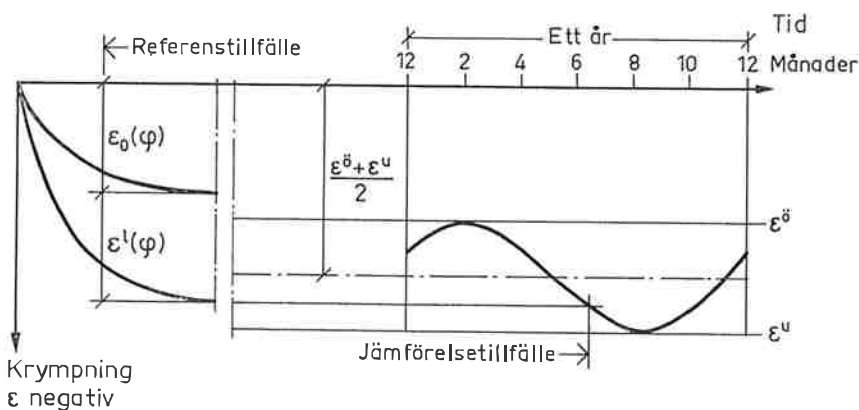


8
Relativa fuktighetens årsvariation

The annual variations in relative humidity

9
Fuktrörelser efter några år i förhållande till referenstillfället

Movements caused by humidity after several years compared with the reference period



Bestämning av i

Enligt resultat från undersökningarna uppträder maximum av fuktrörelse med en viss tidsförskjutning i förhållande till maximum av den relativa fuktigheten. Tidsförskjutningen synes uppgå till en å två månader, vilket innebär att fuktrörelsen har maximum under januari eller februari. Detta innebär $i=1$ eller $i=2$.

Bestämning av $\epsilon_0(\varphi)$

Följande föreslås när det gäller att avgöra rörelse vid referenstillfället: Månadsmedelvärdet för utomhusluftens relativa fuktighet vid referenstillfället bestäms med hjälp av normalårskurvor i bild 8. (Härvid har förutsatts att fasadelementen lagrats utomhus.) Om referenstillfället infaller under vintermånaderna föreslås $\varphi=95\%$ som utgångsvärde. Därefter beräknas slutlig krympning för denna relativa fuktighet. Med hjälp av bild 6 och kännedom om elementens ålder vid referenstillfället kan värdet på $\epsilon_0(\varphi)$ bestämmas.

Sedan dessa värden bestämts kan fuktrörelsernas årsvariation, i förhållande till referenstillståndet, uppgrävas i diagramform.

Temperaturrörelser

Långtidsvarierande temperaturrörelser

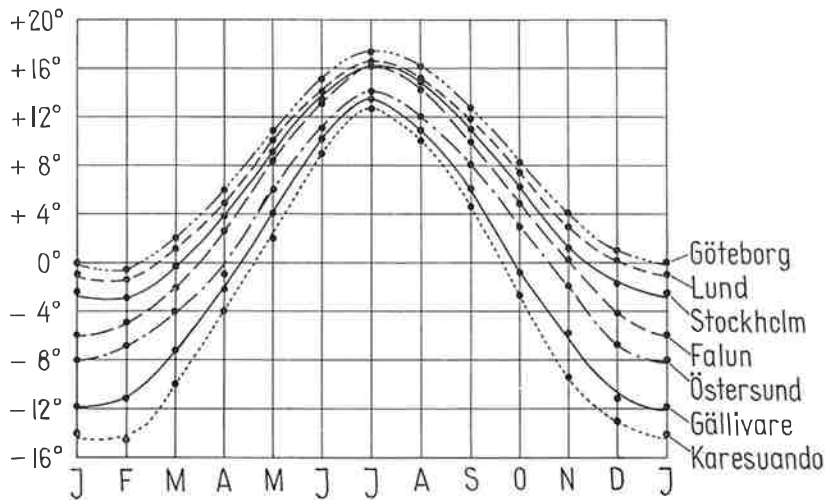
I bild 10 visas medeltemperaturens normalårsvariation för ett antal orter i landet. Dessa kurvor ansluter sig mycket nära till sinusfunktioner. Under förutsättning att fasadelement på insidan är försedda med en ansevärd värmeisolering, vilket är fallet i till exempel bostadshus, kan långtidsvarierande temperaturrörelser relateras direkt till årsmedeltemperaturen. Härvid gäller följande samband:

$$\epsilon^I(\theta) = \alpha \cdot \left[\frac{\theta_1^{\delta} + \theta_1^u}{2} + \frac{\theta_1^{\delta} - \theta_1^u}{2} \cdot \cos \frac{\pi}{6} \cdot (j - m) - \theta_0 \right] \quad (10)$$

Värden för θ_1^{δ} , θ_1^u och j kan bestämmas ur diagrammet i bild 10. Värdet för θ_0 , det vill säga temperaturen vid referenstillfället, kan bestämmas med kännedom om tidpunkten och med hjälp av bild 10.

Korttidsvarierande temperaturrörelser

De korttidsvarierande temperaturrörelserna överlagras de långtidsvarierande vid uppritning i diagram. De omfattar dels rörelser på grund av att lufttemperaturen avviker från årsmedelvärdet, dels rörelser på grund av strålningens inverkan på betongens temperatur. Då det skulle föra för långt att här gå in i detalj på dessa rörelser, begränsas redogörelsen till ett ungefärligt angivande av temperaturgränser och därmed sammanhängande rörelser. I övrigt hänvisas till [14].



10

Medeltemperaturens årsvariation

The annual variations in average temperature

Bearbetning av resultat från en av de utförda undersökningarna visar att temperaturen, varmed här avses elementets medeltemperatur, uppvisar dagliga variationer från ett lägsta värde av omkring 5° under medeltemperaturen till ett högsta värde som ligger omkring 35°C .

Under vintern är de dagliga temperaturvariationerna mindre och försummas i det följande.

Ovan angivna värden kan tjäna som riktlinje vid bedömning av korttidsvarierande temperaturrörelser. Detta innebär att elementen under dagen utvidgas med ett värde som motsvarar $\alpha \cdot (35 - \vartheta_1)$ och under natten minskar i längd med ett värde motsvarande $\alpha \cdot 5^\circ$.

Denna rörelse motsvarar de vertikala linjerna i bild 2. Med hänsyn till systematiken uttrycks de korttidsvarierande rörelserna med följande symboliska beteckningssätt.

$$\varepsilon^l(\vartheta) = \alpha \cdot \left[\frac{+ (35^\circ - \vartheta_1)}{-5^\circ} \right] \quad (11)$$

Det horisontella strecket är inte ett bråkstreck. Det avser att motsvara läget av långtidsvarierande rörelse vid uppritning i diagramform. Till denna rörelse skall adderas den korttidsvarierande på så sätt att i den positiva riktningen avsätts en rörelse motsvarande $\alpha \cdot (35^\circ - \vartheta_1)$ och i den negativa en rörelse av $\alpha \cdot 5^\circ$.

Sammanställning av fukt- och temperaturrörelser

Genom sammanställning av tidigare samband (9), (10) och (11) samt om hänsyn tas till rörelser i punkter som inte ligger på elementets mittplan fås följande uttryck:

$$\varepsilon_e^{lb}(\vartheta, \varphi) = \frac{\varepsilon^{\delta} + \varepsilon^u}{2} + \frac{\varepsilon^{\delta} - \varepsilon^u}{2} \cdot \cos \frac{\pi}{6} \cdot (i - m) - \varepsilon_0(\varphi) +$$

(Fuktrörelser $\varepsilon^l(\varphi)$, långtidsvarierande)

$$+ \alpha \cdot \left[\frac{\vartheta_1^{\delta} + \vartheta_1^u}{2} + \frac{\vartheta_1^{\delta} - \vartheta_1^u}{2} \cdot \cos \frac{\pi}{6} \cdot (j - m) - \vartheta_0 \right] +$$

(Långtidsvarierande temperaturrörelser $\varepsilon^l(\vartheta)$)

$$+ \frac{(35^\circ - \vartheta_1)}{-5^\circ} + \varepsilon_e^b(\vartheta, \varphi). \quad (12)$$

(Korttidsvarierande temperaturrörelser $\varepsilon^l(\vartheta)$.)
(Rörelse på grund av böjning.)

Beräkningen av fuktrörelser $\varepsilon^l(\varphi)$ och temperaturrörelser $\varepsilon^l(\vartheta)$ har beskrivits i det föregående. När det gäller inverkan av böjning ger inte resultaten från utförda undersökningar någon möjlighet att beräkna böjning på grund av temperaturrörelse eller böjning på grund av fuktrörelse. (Endast under speciella förhållanden är det möjligt att beräkna temperaturberoende böjning.) För att något belysa storleken av böjning skall resultat från en av de gjorda undersökningarna redovisas.

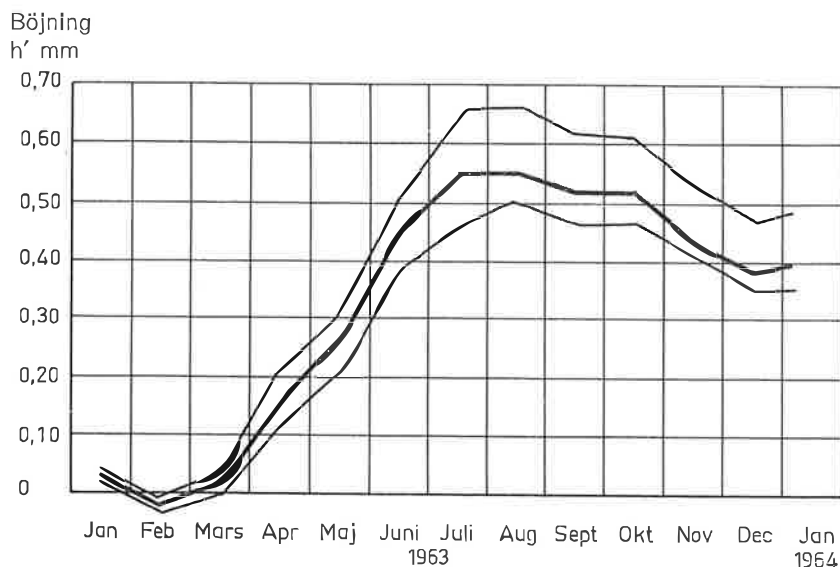
Rörelse på grund av böjning $\varepsilon_e^b(\vartheta, \varphi)$

I bild 11 redovisas uppmätta värden för böjning av ett fasadelement. Diagrammet avser pilhöjd h' per längdmeter (h' motsvaras i bild 1 av h). Mellan februari och juli har elementet böjts utåt motsvarande $h' = 0,5$ mm/m. Kurvans form antyder att det efter en tid uppträder en årsperiodisk variation möjligen av omkring $h' = 0,2$ mm. Det bör betonas att resultaten inte medger någon tillnärmelsevis säker grund för bedömning av detaljer.

Förhållandet att elementet efter montering erhåller en utböjning som inte återgår till begynnelsevärdet kan iaktas på många byggnader. Den är i regel synbar för blotta ögat vid hushörn där fasadelement från två vinkelrätt orienterade fasader gränsar till varandra.

För att möjliggöra en försiktig användning av resultatet i bild 11 skall ytterligare några samband tillfogas. Mellan h' och h råder följande samband:

$$h = \frac{L^2}{1000^2} \cdot h'. \quad (13)$$



11

Förändring i böjningstillstånd vid undersökning i Stockholm

Changes in the conditions in bending from an investigation in Stockholm

En utböjning av 0,5 mm/m, enligt bild 11, motsvaras vid ett 3 m högt element av ett värde på h som är nio gånger större, det vill säga 4,5 mm. Detta innebär en ansevärd utböjning, som kan förorsaka problem speciellt för fogar vid hushörn.

Mellan h och ρ råder följande samband:

$$\rho = \frac{L^2}{8 \cdot h} \quad (14)$$

Ur (2) och (14) fås:

$$\epsilon_e^b = -\frac{8 \cdot h}{L^2} \cdot e. \quad (15)$$

I och med detta har samtliga rörelseandelar som sammanfattas i (12) kommenterats.

Rörelser hos stommen

Rörelser hos stommen kan beräknas på samma sätt som för elementen. Beräkningen blir emellertid enklare. Sålunda är variationerna i inomhusluftens relativa fuktighet mindre än motsvarande variationer för ytterluften. Vidare är stommens dimensioner i regel större i »uttorkningsriktningen», vilket ger en dämpning av fuktrörelserna. De periodiskt varierande fuktrörelserna hos stommen torde i många fall kunna försummas.

Eftersom variationer av inomhusluftens temperatur inte förekommer — i varje fall inte i någon i detta sammanhang nämnvärd omfattning — kan även periodiskt varierande temperaturrörelser försummas. Dessutom torde man i de flesta fall kunna bortse från böjning, utåt eller inåt, hos stommen.

Med dessa förenklingar erhålls för stommen:

$$\epsilon^l(\theta, \varphi) = \frac{-\bar{\epsilon}^o + \bar{\epsilon}^u}{2} - \bar{\epsilon}_0(\varphi) + \bar{\alpha} \cdot (\bar{\theta}_1 - \bar{\theta}_0) \quad (16)$$

(Fuktrörelser) (Temperaturrörelser)

För stommens del kan övre och undre gränsvärden för fuktrörelser baseras på månadsmedelvärden av högsta relativa fuktighet respektive lägsta relativa fuktighet hos inomhusluften.

Förutom dessa rörelser förekommer i stommen rörelser på grund av elastisk och plastisk deformation av last. För bedömning av dessa rörelser hänvisas till litteraturen.

Sammanfattning

För att möjliggöra beräkning av påfrestningar på fasadfogar och på infästningsbeslag för fasadelement har det länge funnits behov av metoder för beräkning av elementens rörelser.

I föreliggande uppsats har författaren avsett att bidra med underlag för att möjliggöra sådana beräkningar eller bedömningar.

De uppgifter som redovisas i uppsatsen är baserade på resultat från mätningar av rörelser på fasadelement av betong.

Vid teoretisk behandling av rörelser har det visat sig lämpligt att betrakta de totala rörelserna som sammansatta av ett antal rörelseandelar. Dessa rörelseandelar belyses med resultat från de utförda undersökningarna. På några punkter — några rörelseandelar — ger inte undersökningsresultaten underlag för säkra slutsatser eller analytisk behandling. För fullständighetens skull har emellertid även på dessa punkter redovisats uppgifter som visserligen ger avsnitten en något spekulativ karaktär men som ändå kan tjäna som riktlinjer vid en försiktig bedömning av rörelsens storlek.

English summary

Movements in concrete facing units

By P O Nylund

There has been a need for methods for the calculation of outer wall elements' movements for the calculation of stresses on outer wall jointing and holding details for the facing elements.

The author endeavours to give the basic data in order that such calculations or determinations shall be made easier.

The data described in the article are the results of recordings of the movements on concrete outer wall elements.

In the theoretical treatment of movements it has been found practicable to regard the total movements as made up of a number of partial movements. These partial movements are illustrated with the results from the tests. For some partial movements the test results do not give any foundation for confident conclusions or for analytic treatment. For the sake of completeness data has been given even for these points, and they can serve as guides in the calculations of movements.

Beteckningar

- δ^l = Förskjutning på grund av längdändring
 δ^b = Förskjutning på grund av böjning
 δ_e^b = Förskjutning på grund av böjning för punkter på avståndet e från elementets mittplan
 ρ = Krökningsradie vid böjning
 h = Pilhöjd vid böjning
 h' = Pilhöjd vid böjning per längdmeter
 L = Elementlängd
 ε^l = Relativvärde av förskjutning på grund av längdändring; positiv vid längdökning
 ε^b = Relativvärde av förskjutning på grund av längdböjning; positiv vid längdökning
 ε_e^b = Relativvärde av förskjutning på grund av längdböjning för punkter på avståndet e från elementets mittplan; positiv vid längdökning
 e = Avstånd från elementets mittplan; positivt i riktning mot krökningscentrum
 ε^{lb} = Relativvärde av förskjutning på grund av längdändring och böjning
 B = Fogbredd
 ΔB = Ändring av fogbredd; positiv vid breddökning
 ϑ = Temperatur
 φ = Relativ fuktighet
 $\varepsilon(\vartheta)$ = Relativvärde av förskjutning på grund av temperaturberoende rörelse
 $\varepsilon(\varphi)$ = Relativvärde av förskjutning på grund av fuktberoende rörelse

Litteratur

- [1] Leonhardt, F: *Spannbeton für die Praxis*. Berlin 1955.
- [2] Carlson, R W: *Drying shrinkage of concrete as affected by many factors*. American Society for Testing Materials. Proc. 38 II, 1938.
- [3] Ros, M: *Die materialtechnischen Grundlagen und Probleme des Eisenbetons im Hinblick auf die zukünftige Gestaltung der Stahlbeton-Bauweise*. EMPA. Bericht Nr 162, Zürich 1950.
- [4] Lyse, I: *Shrinkage of concrete*. American Society for Testing Materials. Proc 35, 11. 1935.
- [5] Gause, G R & Tucker, J: *Method of determining the moisture condition in hardened concrete*. Journal of Research. National Bureau of Standards, Vol. 25, Oct 1940.
- [6] Swayze, M A: *Early concrete volume changes and their control*. American Concrete Institute, Proc. 38, 1942.
- [7] Anger, D: *Tranebergsbro*. Cement och Betong 1932–1934.
- [8] Rodrigues, F P: *Contribution for knowing the influence of a plasticizing agent on the creep and shrinkage of concrete*. Rilem Bulletin, mars 1960.
- [9] Graf, O: *Die Eigenschaften des Betons*. Versuchsergebnisse und Erfahrungen zur Herstellung und Beurteilung des Betons. Springer-Verlag, Berlin 1950.
- [10] Wischers, G: *Einfluss einer Temperaturänderung auf die Festigkeit von Zementstein und Zementmörtel mit Zuschlagstoffen verschiedener Wärmedehnung*. Verein Deutscher Zementwerke. Heft 28. Schriftreihe der Zementindustrie.
- [11] L'Hermite: *Volume changes of concrete*. Proc. of the 1960 Symposium in Washington. US Department of Commerce. National Bureau of Standards. Monograph 43. Volume II.
- [12] Pettersson, O: *Kompendium i Konstruktionslära vid KTH*.
- [13] Nepper-Christensen, P & Skovgaard, P: *Svind af Betonelementer*. Nordisk Betong 11 (1967): 1.
- [14] Höglund, I, Mitalas, G R & Stephenson, D G: *Surface temperatures and heat fluxes for flat roofs*. Building Science, vol 2 No 1. Jan. 1967.
- [15] Nylund, P O: *Movements in joints*. Norwegian Building Research Institute. Rapport 51 A.

Beteckningssystematik för förskjutningar (eller rörelser)

$\varepsilon_e^{lb}(\vartheta, \varphi)$ = Relativ förskjutning – eller rörelse – för en punkt på avståndet e från elementets mittplan förorsakad av längdändring l och böjning b som uppkommit på grund av temperaturberoende deformation och fuktberoende deformation.

Beteckningar vid beräkning av fuktrörelser och temperaturrörelser

- ε^{δ} = Övre gräns för periodisk fuktrörelse
 ε^u = Undre gräns för periodisk fuktrörelse
 m = Månads nummer
 i = Nummer för månad då maximum av fuktrörelse uppträder
 j = Nummer för månad då medeltemperaturen har sitt högsta värde (enligt bild 10)
 $\varepsilon_0(\varphi)$ = Rörelse vid referenstillstånd
 ϑ_1 = Lufttemperatur enligt medeltemperaturens normalårskurva
 ϑ_1^{δ} = Högsta lufttemperatur enligt normalårskurvan
 ϑ_1^u = Lägsta lufttemperatur enligt normalårskurvan
 ϑ_0 = Lufttemperatur vid referenstillfället

Beteckningar vid beräkning av rörelser hos stommen

För att ange förhållanden som avser stommen används beteckningar ε , ϑ etc.