



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



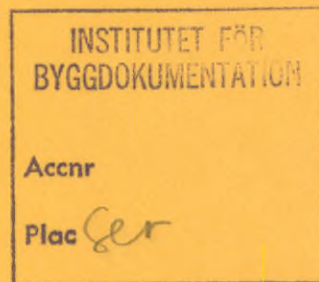
Rapport

R17:1986

**Optimering av betong-
egenskaper med hänsyn till
vintergjutning**

**Gunnar Fredriksson
Paul Samuelsson**

R
AW



Byggeforskningsrådet

R17:1986

OPTIMERING AV BETONGEGENSKAPER
MED HÄNSYN TILL VINTERGJUTNING

Gunnar Fredriksson
Paul Samuelsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 821670-0
från Statens råd för byggnadsforskning till BPA Bygg-
produktion AB, Stockholm.

REFERAT

Syftet har varit att optimera vintergjutning av betong, d v s klarlägga ekonomi och effekt för olika metoder att uppnå formrivningshållfasthet och bra gjutresultat. I samband härmed har ett samband mellan omformningstal och vibreringsinsats å ena sidan samt frekvens av ytporer å andra sidan klarlagts.

Den kostnadsinsats som krävs för att erhålla betongytor, som inte fordrar efterlagning, är måttlig. Vi har försökt att fastställa ungefärliga kostnadsrelationer mellan olika metoder att uppnå erforderlig formrivningshållfasthet.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R17:1986

ISBN 91-540-4532-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

FÖRORD

Det i denna rapport redovisade arbetet avser att vara ett bidrag till kunskaperna om betong vad det gäller bearbetbarhet och vinterarbeten. Skriften ger resultat från fältundersökningar, kompletterade med beräkningar. För att bli lättillgänglig borde rapporten kondenseras till en mera kortfattad handledning.

Vi vill här framföra vårt tack till arbetsledning och personal på de olika arbetsplatser där fältundersökningar har genomförts:

Kvarteret Saxen, Helsingborg
AB Hälsingborgs Byggbetong och Göran Bengtsson AB

Arbetsplats Oxbacken, Västerås
BPA Byggproduktion AB

Kvarteret Mältaren, Örebro
BPA Byggproduktion AB och betongleverantören
Ekebro AB, Örebro

Skarpnäck, Stockholm
Upplandsbetong AB och Diös

Märsta
Systembetong AB

Bengt Horn, Blomberg K-Å Byggprojekt, har ritat figurerna och Ulla Jardinger, Cementa AB, har gjort ordbehandlingsarbetet.

Jan-Erik Jonasson, CBI, har utfört databeräkningar.

Projektet har genomförts gemensamt av BPA Byggproduktion AB och Cementa AB.

Västerås, november 1985

Gunnar Fredriksson

INNEHÅLL

	<u>Sid</u>	
1	SAMMANFATTNING	7
2	BAKGRUND	9
3	OLIKA FAKTORER, SOM PÅVERKAR BETONGENS EGENSKAPER, SÄRSKILT HÅLLFASTHETSUTVECK- LING OCH BEARBETBARHET	11
4	MÄTMETODER	13
4.1	Mätningarnas syfte och omfattning	13
4.2	Hållfasthet	13
4.2.1	Studs-mätning	13
4.2.2	TNS-mätning	13
4.2.3	Ultraljudsmätning	15
4.2.4	Tuutti-metermätning	15
4.2.5	Coma-metermätning	16
4.2.6	Temperaturmätning	17
4.2.7	Jämförelse mellan mätmetoderna	17
4.3	Ytporer - arbetbarhet - vibrering	18
5	FÄLTMÄTNINGAR	21
5.1	Omfattning och utförande	21
5.2	Hållfasthet i väggar	21
5.2.1	Oxbacken, Västerås	21
5.2.2	Kv Mältaren, Örebro	22
5.2.3	Kv Sachsen, Helsingborg	22
5.2.4	Kommentarer till väggförsöken	22
5.3	Hållfasthet i bärlag	54
5.3.1	Kv Mältaren, Örebro	54
5.3.2	Kommentarer till bärlagsförsöken	54
5.4	Ytporer	62
6	TEORETISKA BERÄKNINGAR	65
6.1	Avsikt	65
6.2	Omfattning	65
6.3	Resultat	65
6.3.1	Jämförelse mellan uppmätta och beräknade hållfastheter	65
6.3.2	Inverkan av den tidiga hållfastheten av olika åtgärder	75
6.3.3	Användning och behov av datorberäkningar	82
7	PRAKTISK TILLÄMPNING AV VUNNA ERFAREN- HETER	83
8	OLIKA UPPVÄRMNINGSSYSTEM ELLER ANDRA SÄTT ATT UPPNÅ TILLRÄCKLIG HÅLLFASTHET INOM FASTSTÄLLD TIDSRAM	85
9	EKONOMI	93
	LITTERATUR	95
	BILAGOR	97

OPTIMERING AV BETONGEGENSKAPER, SÄRSKILT MED HÄNSYN TILL VINTERGJUTNING

1 SAMMANFATTNING

Avsikten med projektet har varit att ta fram aktuella data beträffande betongens hållfasthetsutveckling vid tidig ålder och under vinterförhållanden.

Dessutom har bearbetbarheten och dess effekt på frekvensen av ytporer undersökts. Härvid har även ekonomin beaktats.

Både formrivningshållfastheten och mängden ytporer påverkar starkt totalkostnaden för betongarbeten, den förra genom att styra formrivningstiden och den senare genom att påverka lagningskostnaderna.

Fältmätningarna har ofta gjorts under relativt besvärliga väderleksförhållanden. De utfördes därför med flera olika mätmetoder för att få så tillförlitliga resultat som möjligt. Mätningarna synes ha gett en relativt god bild av uppnådd hållfasthet, framför allt med de olika mätmetoderna sammantagna.

De olika mätmetoderna har värderats, främst beträffande möjligheten att mäta hållfastheten i kritiska tvärsnitt före rivning av formen och utan att göra åverkan på denna.

Den tidiga hållfastheten studerades med exempel i olika klimat från mild höstväder till strängt vinterväder. Inverkan av cementmängd, betongtemperatur, uppvärmning etc undersöktes. Åtgärder måste vidtas vintertid för att nå en tillfredsställande avformningshållfasthet. Tekniskt kan det ske på flera sätt genom val av betong och arbetsmetod. Ut kostnadssynpunkt skiljer sig emellertid de olika kombinationerna betong/arbetsmetod väsentligt.

Vid gjutning mot kallt underlag får man stora värme- och hållfasthetsförluster. I väggar sker detta, där hållfastheten bäst behövs. Speciella åtgärder vidtas sällan mot dessa förluster, och det vore därför önskvärt med praktiska rekommendationer för att säkerställa tillräcklig hållfasthet överallt i en vägg.

Teoretiska beräkningar har genomförts för väggarna och bärlagen i fältmätningarna och en relativt god överensstämmelse mellan beräknade och uppmätta värden erhöles. För en del utvalda väggar och bjälklag i fältmätningarna har den tidiga hållfastheten beräknats under andra förutsättningar. Därigenom har inverkan på formrivningstiden av olika åtgärder åskådliggjorts.

Man saknar datorprogram, som beräknar hållfastheten i de delar av väggar, där värmeförluster sker till underlaget. Ett sådant program skulle vara värdefullt genom att visa inverkan av olika åtgärder för att kompensera förlusterna. Därefter kunde den metod väljas som gav lägst kostnad.

En rad olika metoder att värma betong beskrivs. Kostnaderna för de olika metoderna redovisas. Energiförbehovet dvs den

energimängd som behövs för att nå formrivningshållfasthet har kalkylerats och redovisas i tabellform. Det är att märka att det som redovisas inte alltid är absorberad energi utan avgiven (= tillförd) energi. I de fall då energin produceras i betongen blir avgiven energi = absorberad. Detta gäller metoder som användning av ingjutna termoelement och cementhaltsökning.

Det är omöjligt att generellt rekommendera metoder för uppvärmning. Denna fråga måste lösas fall för fall.

Undersökningarna angående sambandet mellan bearbetbarhet och ytporer har resulterat i ett empiriskt samband mellan förekomsten av ytporer och kombinationen vibreringstid/omformningstal. Kännedom om detta förhållande borde kunna vara ett styrmedel för såväl betongtillverkare som entreprenörer vid bedömningen av den verkliga kostnaden för ett betongarbete. Det är fullt möjligt att eliminera den kostsamma efterlagningen om våra erfarenheter används på rätt sätt.

2 BAKGRUND

Utvecklingen inom cement- och betongindustrin samt tillkomsten av nya tillsatsmaterial och tillsatsmedel har medfört, att de erfarenheter beträffande vintergjutning och bearbetningsegenskaper, som fanns tidigare, inte längre gäller. Detta projekt är ett bidrag till en riktig bild av den aktuella situationen.

För att klara föreskrivna formrivningshållfastheter kan byggarbetaren välja mellan ett flertal metoder;

- 1 att isolera formarna och täcka betongytor
- 2 att öka cementhalten (ändrad hållfasthetsklass)
- 3 att tillföra värme
 - a) genom att betongen uppvärms extra (s k varmbetong eller hetbetong)
 - b) genom ingjutning av elkablar
 - c) genom infraröd strålning
 - d) genom gasolvärmare eller byggtorkar
- 4 byte av cementtyp
- 5 tillsats av acceleratorer
- 6 genom kombination av två eller flera av dessa metoder.

Det intressanta för byggare är till vilken kostnad kraven på hållfasthet kan uppfyllas. Hållfasthetskraven i förening med krav på gjutresultat i form av släta och porfria ytor ger särskilt under vinterförhållanden en viss merkostnad. Denna merkostnad skall vägas mot resultatet och de eventuella merkostnader av annat slag, som kan orsakas av att resultatet inte har blivit tillfredsställande. Den metod som har lägsta kostnad och ger tillfredsställande resultat är att betrakta som optimal.

3 OLIKA FAKTORER, SOM PÅVERKAR BETONGENS EGENSKAPER, SÄRSKILT HÅLLFASTHETSUTVECKLING OCH BEARBETBARHET

Cementtyp och cementkvalitet påverkar hållfasthetsuppgången och även bearbetbarheten. Betongens utgångstemperatur har givetvis stor betydelse för hållfasthetsutvecklingen samtidigt som en hög temperatur har en negativ effekt på bearbetbarheten. Enligt erfarenheter får man påtagliga negativa effekter vid temperaturer $>22^{\circ}\text{C}$. Genom att arbeta med tillsatsmedel i höga doseringar kan betong göras bearbetbar ända upp till $50-60^{\circ}\text{C}$. Sluthållfastheten reduceras dock avsevärt, varför detta måste kompenseras med cementhaltsökning. Beträffande inverkan på beständigheten går åsikterna något isär men allt tyder på att hetbetong inte bör användas för konstruktioner som utsätts för frost, salt och vatten.

Lufttemperatur och väderleksförhållanden i Sverige, såsom vindstyrka, nederbörd m m påverkar hållfasthetsutvecklingen kraftigt. Under riktiga vinterförhållanden är isolering och täckning absolut nödvändiga, i annat fall blir alla andra åtgärder mer eller mindre betydelselösa.

Bearbetbarheten bestäms till största delen av ballastsammansättning och cementhalt eller total finkornhalt. Figuren nedan visar sambandet mellan konsistens och arbetbarhet, mätt med standardiserad omformningsmätare.

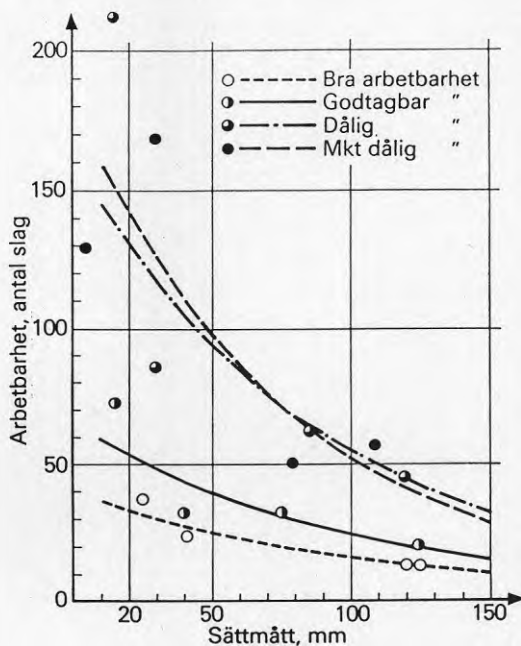


FIG 1 Samband mellan konsistens och arbetbarhet. K25, maximal stenstorlek 32 mm, singel. Markeringarna visar erhållna laboratorieresultat. Ysberg /1978/, återgiven i Betonghandbok Material /1982/.

Tillsatsmedel, som flyttillsatser av olika slag, har, rätt använda, stor betydelse för bearbetbarheten.

Kornformen hos ballasten har även stor betydelse för bearbetbarheten.

Konsistensen är ett grovt mått på bearbetbarheten men är inte entydig. Olika betongtyper med samma konsistens, kan ge helt olika bearbetbarhet.

4 MÄTMETODER

4.1 Mätningarnas syfte och omfattning

Målet med mätningarna var främst att

uppskatta avformningshållfastheten och hållfasthetsutvecklingen. Vidare skulle hållfasthetens variation utefter väggarna i höjddled fastställas, liksom skillnader mellan överdelen och underdelen i bärlagen.

skaffa utgångsvärden för datorberäkning av formrivningshållfastheten och erforderlig tid för att uppnå vissa förutbestämda hållfastheter.

fastställa ett eventuellt samband mellan arbetbarhet, vibreringsinsats och antalet porer i betongytan.

Formrivningshållfastheten bestämdes dels genom direkt mätning med studsmätare, TNS-mätare, ultraljudsmätare och Tuuttimeter, dels indirekt genom mätning av mognadsgrad (t_{ekv}) med Coma-meter och temperatur med termoelement.

Utgångsvärden för datorberäkningen av främst formrivningshållfastheten fastställdes genom mätning eller uppskattning av betongens temperatur omedelbart efter färdig gjutning samt anskaffning av uppgifter om lufttemperatur och vindhastighet under den tid betongen befann sig i form. Uppgifter om form, isolering och tillförd värme samt verklig 28-dygns hållfasthet erhöles från entreprenören respektive betongleverantören.

4.2 Hållfasthet

4.2.1 Studsmätning

Två olika studsmätare användes. Den ena angav resultaten ett i taget, FIG 2a, medan den andra, FIG 2b-c, hade automatisk registrering av studsvärden med en skrivare. Den senare var avsevärt lättare att hantera, eftersom studsvärdena ej behövde noteras efter varje slag. Minst 10 slag genomfördes vid varje mätpunkt. Båda mätarna kalibrerades för de hållfastheter som var aktuella i undersökningen. För väggarna låg dessa oftast under 5 MPa. Kalibreringen utfördes i laboratorium mot 150 mm kuber som efter slagprovet trycktes till brott. Vid kalibreringen var kuberna inspända till ett tryck som ungefär motsvarade trycket i underdelen av en våningshöjdg vägg.

4.2.2 TNS-mätning

En TNS-mätare, FIG 3, användes för uppskattning av hållfastheten i överytan på väggar och bärlag. Mätaren och dess användning är beskriven i Betonghandbok Material /1982/. Där finns även det samband mellan manometertryck och tryckhållfasthet, som användes för bestämning av hållfastheten i väggar och bärlagen.

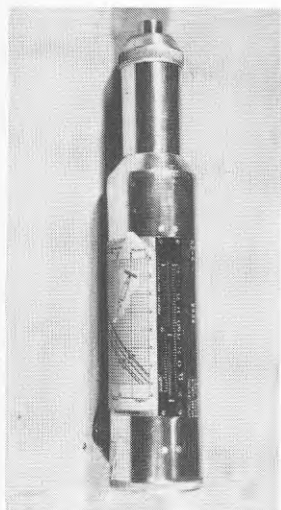


FIG 2a Studsmätare. Avläsning måste ske för varje slag

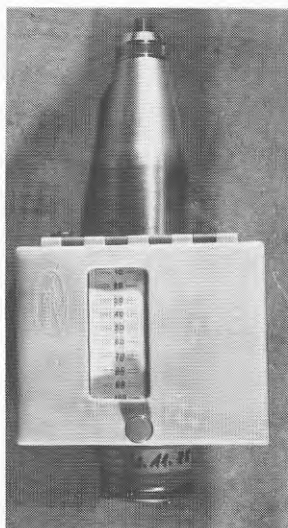


FIG 2b Studsmätare med automatisk registrering av mätvärdena

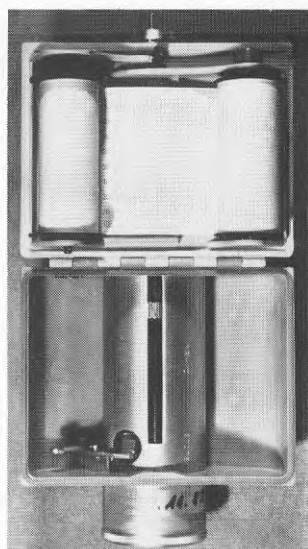


FIG 2c Locket till registreringsdelen på studsmätaren i FIG 2b nedfällt. Mätvärden registreras i form av staplar på pappersremsan. Avläsning sker i efterhand, t ex när en slagserie är avslutad.



FIG 3 TNS-mätare. Beskrivning finns i Betonghandbok Material (1982). Plasthylsan under bilden gjuts in i betongen och bildar den ursparing som behövs för att anbringa mätarens lastcell.

4.2.3 Ultraljudsmätning

I några väggar uppmättes hållfastheten även genom bestämning av ultraljudshastigheten, FIG 4. Översättning av ultraljudshastighet till hållfasthet gjordes med det samband som anges i Betonghandbok Material (1982).

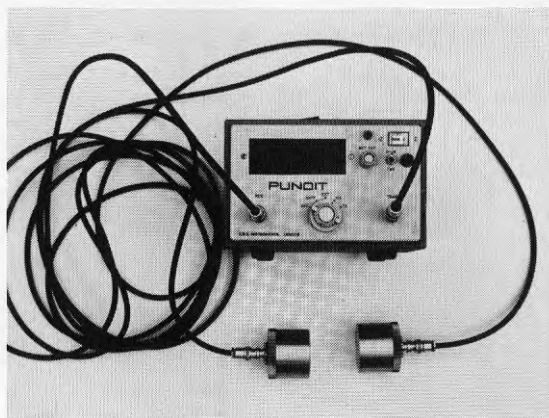


FIG 4 Ultraljudsmätare. De båda metallcylindrarna anbringas mot två punkter på betongen, t ex två punkter mitt emot varandra på en vägg. Tiden för ultraljudet att gå igenom betongen mäts och hastigheten beräknas. För god anläggning mot betongen används vaselin, diskmedel etc som konsistensgivare.

4.2.4 Tuutti-metermätning

I en vägg och ett bärlag i Örebro mättes hållfastheten med Tuutti-meter, FIG 5, som är ett patentsökt mätinstrument för bestämning av hållfasthet, mognadsgrad (t_{ekv}) samt högsta och lägsta temperatur under tiden i form. Ett termoelement av typ J (järn-konstantan) gjuts in på önskad plats i betongen och förbinds med en mätenhet utanför formen. Vid start- och avläsningstillfällena kopplas en kommando-enhet till mätenheten för val av cementsort och hållfasthetsklass respektive avläsning av resultat i form av hållfasthet, mognadsgrad (t_{ekv}) och temperaturer. Tuutti-metern, som beskrivs närmare i BILAGA 1, användes här huvudsakligen i studiesyfte. Mätaren är inställd efter principen att vid många hållfasthetsbestämningar skall endast 5% falla under nominellt hållfasthetsvärde. Endast hela MPa anges och alla värden är avrundade nedåt.

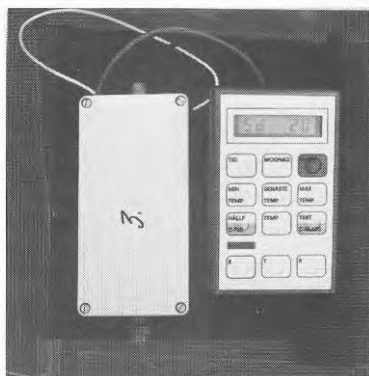


FIG 5 Tuutti-meter, se BILAGA 1.

Efter avslutad mätning klipps tråden till termoelementet av.

4.2.5 Coma-metermätning

För bestämning av mognadsgraden i form av t_{ekv} användes Coma-metern, FIG 6. Denna mätare, som varit i marknaden under några år, består av ett genomskinligt skyddsrör innehållande ett kapillärrör med en vätska, vars avdunstning bestäms av tid och temperatur, samt en skala som anger t_{ekv} . Mätaren sätts igång genom att locket skruvas av, kapillärröret bryts och locket skruvas på. Avläsning kan ske när som helst under härdningstiden. Metoden beskrivs närmare i BILAGA 1.

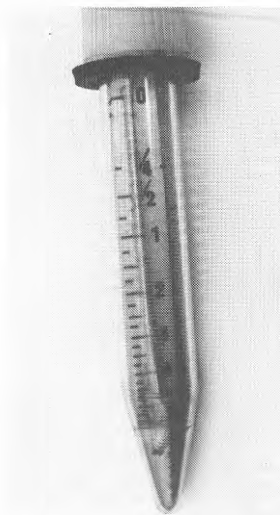


FIG 6 Coma-meter, se BILAGA 1.

Uppskattningen av uppnådd hållfasthet har gjorts med tendenskurvor ur Tuutti /1984/, vilka extrapolerats mot lägre t_{ekv} enligt BILAGA 1. Det har antagits, att hållfasthetstillväxten börjar vid $t_{ekv} \approx 0,17$, dvs 4 timmar efter gjutning vid härdning i 20°C . Detta gäller självklart ej exakt, men att antagandet är acceptabelt visar dels Betonghandbok Material kap 8.2-3 /1982/ dels provtryckningen i samband med den ovan nämnda kalibreringen av studsmätarna. Där erhöles exempelvis $0,12\text{ MPa}$ efter härdning i 4 timmar vid 20°C .

4.2.6 Temperaturmätning.

Direkt temperaturmätning gjordes i några väggar för att registrera temperaturskillnader inom en och samma vägg. I väggar 1 och 2 Västerås och väggar 8 och 14 i Örebro skedde det med termoelement kopplade till en skrivare, så att temperaturändringen under härdningsförloppet i form registrerades. I väggar 9 och 15 i Örebro mättes temperaturen också med termoelement men endast vid några enskilda tidpunkter. Sedan t_{ekv} beräknats, har hållfastheten erhållits ur tendenskurvorna i Tuutti /1984/ på samma sätt som för Coma-metern ovan.

4.2.7 Jämförelse mellan mätmetoderna

Samtliga metoder synes acceptabla med hänsyn till mätnoggrannhet under förutsättning att anvisningarna för de olika mätarna följs och att tillräcklig antal mätningar utförs, t ex enligt Betonghandbok Material (1982). För de enskilda instrumenten gäller:

Studsmätning kräver jämna ytor. Sådana finns ej på fria ytor, dvs överytor, i väggar och bärlag. För kontroll om erforderlig avformningshållfasthet är uppnådd måste sådana ytor slipas. Att ta hål i formen eller ha lucka i denna för studsmätning synes orealistiskt. Den enkla studsmätaren är dessutom tidsödande att använda, speciellt för en person. Med den automatiskt registrerande studsmätaren gör en person mätningar snabbt om inget eller ringa förarbete av ytan behövs.

TNS-mätaren liksom den modernare varianten BO-mätaren är relativt enkel och snabb att handha. För bestämning av formrivningshållfasthet lämpar den sig bäst på fria ytor liksom studsmätaren. Den kan fästas på formytan och gjutas in, men den är då oåtkomlig eller åtminstone svåråtkomlig före avformning.

Ultraljudsmätaren kräver två släta ytor, dvs ytor gjutna mot form. Den är därför svår att använda för formrivning. De sladdar som går från instrumentet till de två mätställena på betongen har ibland för kort längd.

Tuutti-metern är ett bekvämt, oförstörande provningsinstrument, som inte lämnar andra spår efter sig än en avklippt trådände. Vissa åtgärder synes dock behöva vidtas för att höja driftsäkerheten och underlätta det praktiska handhavandet. Arbete med detta pågår. Ett visst arbete ligger i att fästa trådarna med termoelementen vid armering, form etc.

Coma-metern är enkel att handha både vid placering i form och vid avläsning. Den ger mindre lagning i efterhand än TNS-mätaren. Liksom övriga metoder ovan exklusive Tuutti-metern lämpar den sig bäst för fria ytor. Genom att borra ca 15 mm hål i formen kan Coma-metern även användas i stort sett var som helst i en konstruktion. Alltför många sådana håltagningar är knappast önskvärda och dessutom blir Coma-metern svårare att placera i en formyta än i en fri överyta.

Temperaturmätning med termoelement synes arbetsmässigt likvärdig med Tuutti-metermätning. Den senare ger dock mognadsgrad och hållfasthet direkt och i klartext.

4.3 Ytporer - arbetbarhet - vibrering

På flertalet väggar mättes den färskas betongens arbetbarhet med Powers omformningsmätare i den av Cement- och Betonginstitutet modifierade utformningen, FIG 7. Under gjutningen registrerades den effektiva vibreringen per volymsenhet (s/m^3). Med effektiv vibrering avses här den tid vibratorn befann sig i betongen. Slutligen mättes antalet ytporer i den avformade ytan och angavs i st/m^2 . Av tidsskäl kunde inte alla ytporer mätas på samtliga väggar. Dock mättes - med något undantag - minst en 1,0 m bred strimla med full vägghöjd på ett för väggen representativt parti (okulärt bedömt). Samtliga ytporer med $d_{max} \geq 5$ mm, FIG 8, registrerades.

Avsikten med dessa mätningar var att finna ett samband mellan å ena sidan antalet ytporer och å andra sidan vibreringsinsats och arbetbarhet.

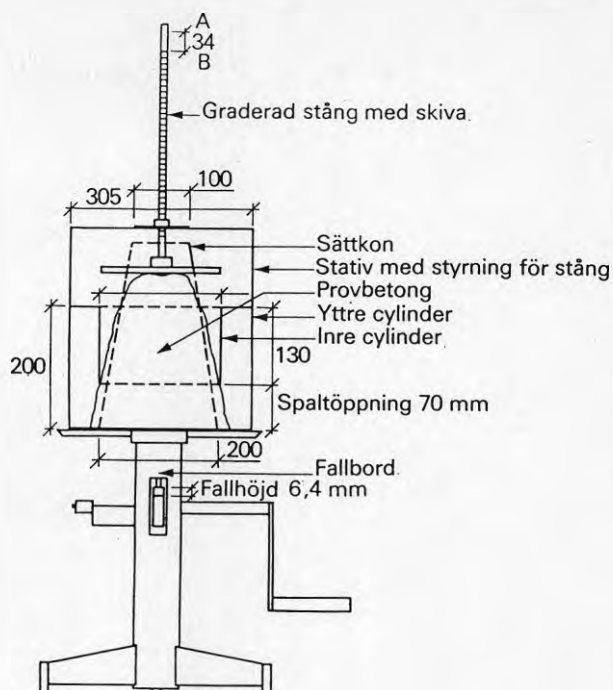


FIG 7 Omformningsmätare och fallbord. Hård /1975/, återgiven i Betonghandbok Material /1982/.

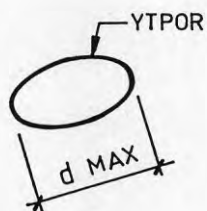


FIG 8 Vid studiet av porer i betongytan räknades porer med $d_{\max} \geq 5$ mm.

5 FÄLTMÄTNINGAR

5.1 Omfattning och utförande

Fältmätningar har utförts på två av BPA's byggplatser, nämligen Oxbacken i Västerås 1983 och kv Mältaren i Örebro 1984-85. Mätningarna omfattade såväl hållfasthet i tidig ålder i väggar och bärlag som porer i väggytor. Den tidiga hållfasthetsutvecklingen är väsentlig, eftersom den påverkar avformningstiden, medan antal och storlek av porer i sin tur inverkar på lagningsarbetet. Både den tidiga hållfastheten och ytkvaliteten påverkar således ekonomin.

Utöver nämnda fältmätningar har resultaten från en serie väggmätningar, som Cementa AB utförde i oktober 1984 tillsammans med AB Hälsingborgs Byggbetong, använts.

Omfattningen av mätningarna i väggar framgår av Tabell 1-2 och i bärlag av Tabell 3.

Härutöver har ett par undersökningar om ytporer i Stockholms-trakten utnyttjats.

Undersökningarna har med få undantag genomförts på arbetsplatsernas villkor, dvs ingen påverkan har skett beträffande metod- eller materialval. Undantagen har utgjorts av höjd hållfasthetsklass i några fall. Likaså har vibreringstiden vid några tillfällen valts längre än normalt.

Resultaten dokumenteras nedan i tabeller men visas även mera åskådligt i figurer.

Använda mätmetoder framgår av kap 4 MÄTMETODER.

5.2 Hållfasthet i väggar

5.2.1 Oxbacken, Västerås

Hållfasthetsmätningar gjordes i två väggar och resultaten av dem framgår av Tabell 4-5 och FIG 9-10. I dessa anger mät-punkternas (t ex $M_{1,20}$) index mät-punkternas läge i meter under väggens överyta. M_o betecknar en mät-punkt belägen 50-100 mm från väggens överyta och M_u en mät-punkt i gränsytan vägg - underliggande bärlag.

Med betongtemperatur avses betongens temperatur omedelbart efter gjutning - uppmätt eller uppskattad med ledning av betongtemperaturen vid fabrik.

Vägg 2 göts med sin ena sida mot en tidigare gjuten vägg. För övrigt användes normalisolerad form, dvs 12 mm formplywood isolerad med 100 mm cellplast och med formbalkarna i direkt termisk kontakt med formyten.

5.2.2 Kv Mältaren, Örebro

Hållfasthetsmätningar utfördes i 7 väggar och resultaten av dem framgår av Tabell 6-11 och FIG 11-16. För betongtemperatur och beteckningar på mätpunkter se 5.2.1.

Vägg 9 göts mot en isolerad form av 22 mm plywood, medan övriga väggar producerades i 12 mm plywoodform isolerad med 100 mm cellplast och med formbalkarna i direkt termisk kontakt med formytan (normaliserad form).

5.2.3 Kv Sachsen, Helsingborg

Hållfasthetsmätningar utfördes på 7 väggar och resultaten av dem framgår av Tabell 12-18 och FIG 17a och b. För betongtemperatur och beteckningar på mätpunkter se 5.2.1.

Väggarna var 180 mm tjocka och göts mot isolerad plywoodform.

5.2.4 Kommentarer till väggförsöken

Öxbacken, Västerås

Resultaten med de olika mätmetoderna visar god överensstämmelse sinsemellan för vägg 1, bortsett från ultraljudsmätningen. Denna visade betydligt högre hållfasthet än övriga metoder.

För vägg 2 mättes högst hållfasthet med studsmätaren och lägst med Coma-metern. En trolig förklaring till detta är kyleffekten från den motgjutna äldre väggen, som låg längre från mätpunkterna för studsmätaren än från mätpunkterna för Coma-metrarna och termoelementen.

Såväl i vägg 1 som 2 mättes temperaturen i betongen dels 25 mm från formytan dels 75 mm från denna, dvs i väggmitt. Vid uppskattningen av hållfastheten med hjälp av t_{ekv} användes medelvärdena av dessa temperaturer. FIG 18-19^{ekv} visar temperaturutvecklingen i väggarnas nedre halva. Ingen mätning har skett i $M_{1,80}$, men denna har valts som brytpunkt för temperaturkurvorna. Andra mätningar tyder på att det ovanför denna punkt endast är en ringa om ens någon kyleffekt från bärlaget, FIG 23 och 27.

Man konstaterar vidare, att i väggens mittparti stiger temperaturen något under det första dygnet efter en viss nedgång strax efter gjutningen. I väggens undre del däremot sjunker temperaturen hela tiden, FIG 20-21. Effekten av detta är stor på hållfastheten, Tabell 4-5 och FIG 18-19 och den visar klart dels isoleringens betydelse dels behovet av ett effektivt skydd mot avkylning från bärlaget. Ur säkerhetssynpunkt behövs hållfastheten bäst i väggens nedre del, BILAGA 2.

Begynnelsestemperaturerna i betongen i FIG 20-21 avser gjutningens början, medan de i Tabell 4-5 anger avslutad gjutning.

Cementhaltens inverkan på den tidiga tryckhållfastheten framgår av en sammanställning i FIG 29.

Kv Mältaren, Örebro

Vägg 1 och 2 var likadana och göts samtidigt med betong ur samma betongleverans. De bör därför ha haft samma hållfasthetsutveckling. Man konstaterar, att hållfastheten i överkant vägg ökar ganska markant från 3 MPa efter 24 timmar till ca 9 MPa efter 48 timmar. Detta kan bero på en relativt hög lufttemperatur (ca 9°C) dagen efter gjutningen. Lufttemperaturen låg för övrigt under mättiden på 4 dygn någon grad över nollpunkten. I M_{20} var däremot hållfastheten efter 4 dygn endast ca 5 MPa. Detta beror på kyleffekten från bärlaget, som är avsevärt större än luftens vid väggens överkant. Vid själva övergången vägg - bärlag bör hållfastheten varit märkbart lägre än i M_{20} . Samtidigt konstaterar man att väggen i övrigt uppnått avsevärt högre hållfastheter, 16-18 MPa. Frånvaron av åtgärder mot värmeavgång till underliggande bärlag har således en uppenbart negativ effekt på hållfasthetstillväxten, där denna bäst behövs, BILAGA 2.

I vägg 8 visar de olika mätmetoderna - med undantag för ultraljudsmätningarna - god överensstämmelse. Ultraljudsmätaren gav mycket högre värden än övriga mätare, Tabell 7 och FIG 12. Själva mätaren syntes för tillfället fungera bristfälligt och den användes därför ej i fortsättningen. FIG 22-23 illustrerar klart inverkan på hållfasthetstillväxten av värmeförlusten till omgivningen - luften vid väggens överdel och bärlaget vid dess underdel. Temperaturmätningen med termoelement skedde dels 25 mm från formsidan dels 75 mm från denna, dvs i väggmitt. Ingen eller ringa skillnad observerades, FIG 12. Av figurerna framgår att såväl temperatur som hållfasthet är konstant utom i väggens övre och undre delar. De gjorda mätningarna ger ej besked om var värme- och hållfasthetsförlusterna i vertikalled blir försumbara. En approximativ uppfattning av detta borde man få genom att beräkna den sträcka betong som i värmeledningshänseende motsvarar den isolerade formväggen.

Vägg nr 9 göts mot oisolerade 22 mm plywoodformar vid en temperatur av ca -10°C och dygnsmedeltemperaturen låg under de följande 19 dyggen med några få undantag mellan -15°C och -20°C. Trots detta låg temperaturen ett stycke ned i betongen på ca 10°C och strax under överytan på -3°C efter 17 timmar, FIG 24. De därur beräknade hållfastheterna var ca 5 respektive 2,5 MPa, FIG 13. Bidragande orsaker till den gynnsamma temperatur- och hållfasthetsutvecklingen var väggens tjocklek (200 mm), hög gjuttemperatur (21°C), hög 28-dygnshållfasthet (ca 40 MPa) och ingjutna elvärmekablar (4 st à 30 W/m), FIG 25.

Efter avformning fanns vissa frostsador (iskrystaller) i ytorna vid överkant vägg, FIG 26. Å andra sidan konstaterades genom hållfasthetsprovning av de kärnor som erhöles vid TNS-mätningen en potentiell hållfasthet på mellan 31 och 40 MPa.

Vägg 13 avformades vid låg hållfasthet, FIG 14. Skenbart visade Tutti-metern ingen hållfasthet utom i väggmitt. Orsaken till detta är dels att mätaren avlästes för K25 dels att mätaren

endast anger hållfastheten i hela MPa, avrundade nedåt. Hållfasthetsvärdena på Tuutti-metern ligger normalt på säkra sidan, eftersom de bygger på tendenskurvor, som anger den nedre 5%-fraktilen.

Räknar man fram hållfastheten med utgångspunkt från avläst t_{eky} på Tuutti-metern och $f_{28}^{\text{CC}} = 42$ MPa, får man värdena enligt tabellen nedan. Där är även värdena från övriga mätare inlagda för jämförelse. Överensstämmelsen blir då bättre.

	$M_{0,10}$	$M_{0,20}$	$M_{1,20}$	$M_{1,90}$	$M_{2,20}$
Tuutti-meter	1,0	-	2,3	2,1	1,0
Studsmätare	-	1	2	1,5	1
Coma-meter	1,1	-	-	-	-
TNS-mätare	2	-	-	-	-

Det kan tyckas, att väggen avformades vid alltför låg hållfasthet. Säkerheten var dock knappast åsidosatt i detta speciella fall, eftersom väggen var kort och göts samman med två redan färdigställda väggar. Med dessa var den dessutom väl förbunden genom armering. Hade väggen varit fristående, skulle den ej kunnat avformas vid denna låga hållfasthet med tillfredsställande säkerhet. Med hänsyn till risken för ytskador i över- och underdel där hållfastheten låg under 2 MPa var dock formrivningshållfastheten alltför låg, Samuelsson (1983).

Vägg 14 var 350 mm tjock, vilket medförde en avsevärt större värmeutveckling än de 150 mm tjocka väggarna. Betongens temperatur under det första dygnet, FIG 27, blev därigenom högre och hållfastheten växte snabbare än den skulle gjort i en tunnare vägg, FIG 15. Man ser av temperaturutvecklingen i figuren, att en viss värmeförlust skett 0,4 m upp i väggen ($M_{1,80}$) på grund av underlagets kyleffekt. Formen revs först efter 24 timmar. Avformningen var planerad till 17-18 timmar efter gjutning, men då verkade betongen i väggens överkant lös och syntes ej ha nått tillräcklig hållfasthet. Detta berodde sannolikt på att samlats ymnigt med snö på den oskyddade överytan, som dels kylde denna dels smälte på den. På ett djup av 50-100 mm registrerades dock hållfastheten till 2-4 MPa, FIG 15.

Studsmätningen visade något lägre värden än de som räknats fram ur temperaturmätningarna. Detta kan åtminstone delvis förklaras med att studsmätaren ger ythållfastheter, medan temperaturmätningen skedde 100 mm från formytan, där temperaturen var högre. Man noterar, att betongarbetarna observerade den till synes låga hållfastheten i väggens överkant och sköt upp avformningen. Det är självfallet bra att man på arbetsplatsen är uppmärksam och tar konsekvensen av en misstänkt låg hållfasthet som i detta fall genom att uppskjuta formrivningen. Å andra sidan har betongarbetarna knappast någon möjlighet att avgöra om hållfastheten i väggens underdel är tillräcklig. De torde ibland omedvetet leva farligt. Hållfasthetskontroll i de viktigaste punkterna borde krävas, liksom att formrivningshållfastheten anges på ritning.

Även vägg 15, som göts samtidigt med vägg 14, visade en gynnsam temperatur- och hållfasthetsutveckling, FIG 16 och 28.

En viss effekt har självfallet väggtjockleken (200 mm) haft, men en ännu större verkan synes dock den ökade cementhalten (325 kg/m³) givit. På halva höjden var hållfastheten mer än dubbelt så hög som i den tjockare vägg 14.

Cementhaltens inverkan på den tidiga tryckhållfastheten framgår av en sammanställning i FIG 29. För de lägre cementhalterna användes i Örebroförsöken accelerator. De streckade linjerna i figuren avser att korrigera för inverkan av denna. Reduktionen av hållfastheten har gjorts för normaldosering och med uppgifter från tillverkaren av acceleratoren. I verkligheten överskreds normaldoseringen. Effekten av ökad cementhalt blir således större utan accelerator än med.

Kv Sachsen, Helsingborg

Coma-metervärdena har liksom vid Västerås- och Örebroförsöken översatts till hållfasthet med tendenskurvor för verklig hållfasthet, dvs uppmätt f_{cc}^{28} . Man konstaterar en god överensstämmelse mellan hållfastheter mätta med studsmätare på halva vägghöjden och hållfastheter baserade på Coma-metervärden mätta i överkant vägg, FIG 17a. Förklaringen till detta är att skillnaden mellan betongens gjuttemperatur och lufttemperatur var relativt måttlig. Jämför kyleffekten i väggarnas övre och nedre delar vid vintergjutning, 5.2.1 och 5.2.2.

Hållfasthetsklassen för samtliga väggar i Helsingborg var K30. I flera väggar var dock hållfastheten avsevärt högre än vad hållfasthetsklassen anger. Detta berodde på att ökad cementmängd och ibland tillsatsmaterial användes för att förbättra arbetbarheten.

De uppmätta hållfastheterna efter ca 18 timmar var 3-6 MPa, FIG 17a och b. Det lägre värdet är enligt BBK 79 ej tillräckligt för formrivning, om det ej har angivits i bygghandlingarna. De aktuella väggarna var emellertid dels relativt tjocka dels dubbelarmerade. Säkerheten var sannolikt tillräcklig, men man kan samtidigt konstatera att det var tid att vidta åtgärder för vintergjutning.

I FIG 29 har en sammanställning gjorts över cementhaltens inverkan på den tidiga tryckhållfastheten vid de tre arbetsplatserna. Alla mätvärdena har omräknats till 17 timmar. En klar tendens till ökad hållfasthet med stigande cementhalt synes föreligga, detta trots att ingen hänsyn tagits till andra faktorer. Även Helsingborgsförsöken, som utfördes vid annan årstid (höst) och utan isolerad form, faller väl in i bilden. Förklaringen till detta är att lufttemperaturen ganska väl överensstämde med betongtemperaturen. Figuren visar även den starka inverkan på hållfastheten som en ökning av väggtjockleken har. Hydratationsvärmen tillvaratas då på ett helt annat sätt än i tunnare väggar.

Tabell 1 Sammanställningar av utförda mätningar på väggar i Västerås och Örebro. Väg 9 göts i oisolerad form, övriga väggar i normalisolerad form dvs 12 mm plywood med 100 mm cellplast och med formbalkarna i direkt termisk kontakt med formen. Väg 1 och 2 samt 7 och 8 i Örebro göts samtidigt och med samma betongsort, K25 respektive K30.

Ort	Vägg nr	Hållfasthetsklass	Hållfasthet Mog- 1) nads-grad	Studs- mätning	Ultra- ljud	TNS mätning	Tuutti- meter	Yt- porer
Västerås	1	K25	X	X	X			X
	2	K30	X	X				X
Örebro	1	K25	X	X				
	2	"	X					
	3	"						X
	4	"						X
	5	"						X
	7	K30						X
	8	"	X	X	X	X		X
	9	K25	X 2)	X			X	X
	10	"						X
	11	"						X
	12	"						X
	13	"	X	X			X	X
	14	"	X	X			X	X
	15	K40	X	X			X	X

1) Coma-meter, Coma-meter + termoelement eller termometer

2) I kuber på betongfabrik

Tabell 2 Sammanställning av utförda mätningar på 180 mm väggar i Helsingborg. Väggarna göts mot oisolerad 12 mm formplywood. Hållfasthetsklassen var formellt K30. Hållfastheten var dock ofta högre än vad som behövdes på grund av hög cementhalt.

Vägg nr	Hållfastheten bestämd med			Ytporer
	Coma-meter	Studs-mätare	Ultraljuds-mätare	
1	X	X		X
2	X	X		X
2b				X
3	X	X		X
5	X	X		X
5a				X
6		X		X
8	X	X	X	X
10		X		X
10a				X

Tabell 3 Sammanställning av utförda mätningar på bärlag i Örebro.

Bär- lag- nr	Håll- fast- hets- klass	Mog- 1) nads- grad	Hållfasthet Studs- mät- ning	TNS mät- ning	Tuutti- meter	Anmärkning
1	K25	X	X	X		Fribärande bärlag
2a/b	K30/K25	X	X	X		"-
3	K25			X		"-
4	K25	X			X	Grundplatta på isolering

1) Coma-meter

Tabell 4	Uppmätta hållfastheter i vägg 1 (Västerås).
	Hållfasthetsklass K25
	Cement 280 kg/m ³
	Betongtemperatur 14°C
	Lufttemperatur -3°C
	Vind ~ 0 m/s
	Väggjocklek 150 mm
	Normaliserad form, se text
	Värdena inom parentes är avlästa på tendenskurva för K25, medan övriga värden för mognadsgrad har avlästs på tendenskurva för K30.

Mätställe enligt FIG 9	Ålder h	Hållfasthet enligt Mognadsgrad			
		Termo- element MPa	Coma- meter MPa	Studs- mätare MPa	Ultra- ljud
M _{0,15}	20	-	-	3,5	5,5
M _{1,20}	20	4,3 (3,2)	4,0 (3,0)	4,5	6,0
M _{2,25}	20	2,5 (2,1)	2,5 (2,1)	2,5	5,5

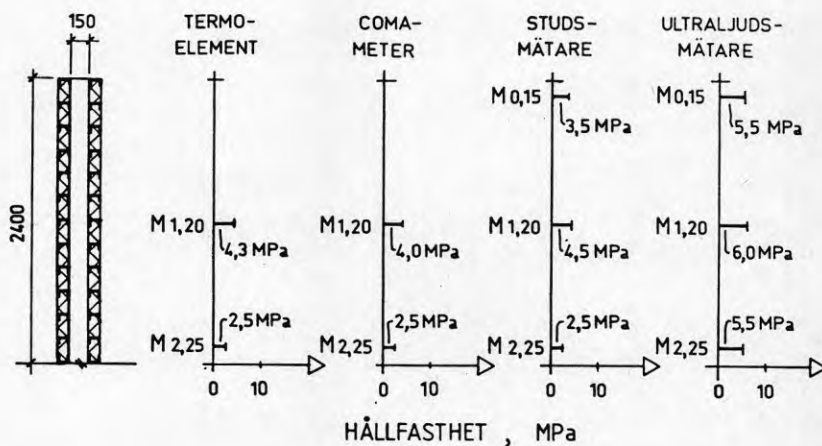


FIG 9 Vägg 1 (Västerås). Uppmätta hållfastheter. Data enligt Tabell 4.

Tabell 5 Uppmätta hållfastheter i vägg 2 (Västerås).

Hållfasthetsklass K30

 f_{cc}^{28} 39 MPaCement 310 kg/m³

Betongtemperatur 17°C

Lufttemperatur -3°C

Vind ~ 0 m/s

Väggjocklek 150 mm

Normaliserad form, se text

Värdena inom parentes är avlästa på tendenskurva för K30, medan övriga värden för mognadsgrad har avläst på tendenskurva för K39.

Mätställe enligt FIG 10	Ålder h	Hållfasthet enligt Mognadsgrad		
		Termo-element MPa	Coma-meter MPa	Studs-mätare MPa
M _{0,15}	16	-	-	3
M _{1,20}	16	5,9 (4,9)	4,2 (3,0)	7
M _{2,25}	16	2,9 (2,1)	2,8 (2,0)	5

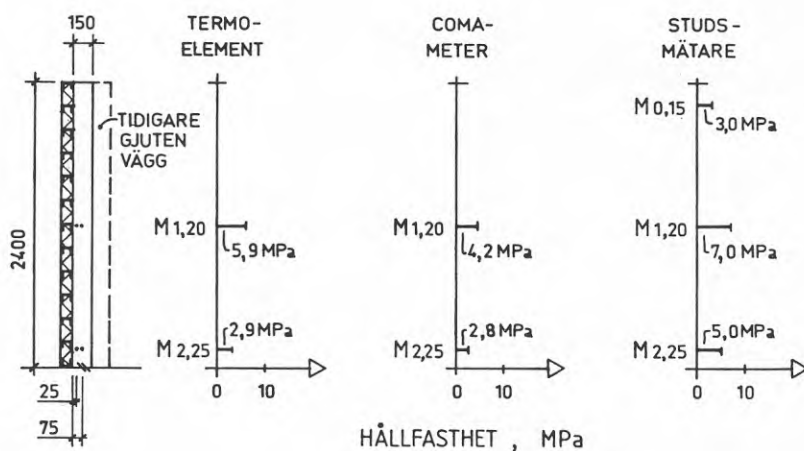


FIG 10 Vägg 2 (Västerås). Uppmätta hållfastheter. Data enligt Tabell 5.

Tabell 6 Uppmätta hållfastheter i vägg 1 och 2 i Örebro.

Hållfasthetsklass K25.

$f_{cc}^{28} = 34 \text{ MPa}$

Cementhalt = 264 kg/m^3 Flygaska = 38 kg/m^3 Betongtemperatur 16°C Lufttemperatur $0-9^\circ\text{C}$ Vind $0-7 \text{ m/s}$ Vägg tjocklek 150 mm

Normaliserad form, se text

Värdena inom parentes är avlästa på tendenskurva för K25, medan övriga värden för Coma-meter har avlästs på tendenskurva för K34.

Vägg Nr	Mätställe enligt FIG 11	Ålder h d	Hållfasthet enligt Coma-meter MPa	Studs-mätare MPa
1	$M_{\bar{o}}$	24	3,2 (2,4)	
	$M_{0,50}$	4		18
	$M_{1,20}$	4		16
	$M_{2,20}$	4		5,2
2	$M_{\bar{o}}$	48	9,3 (5,2)	

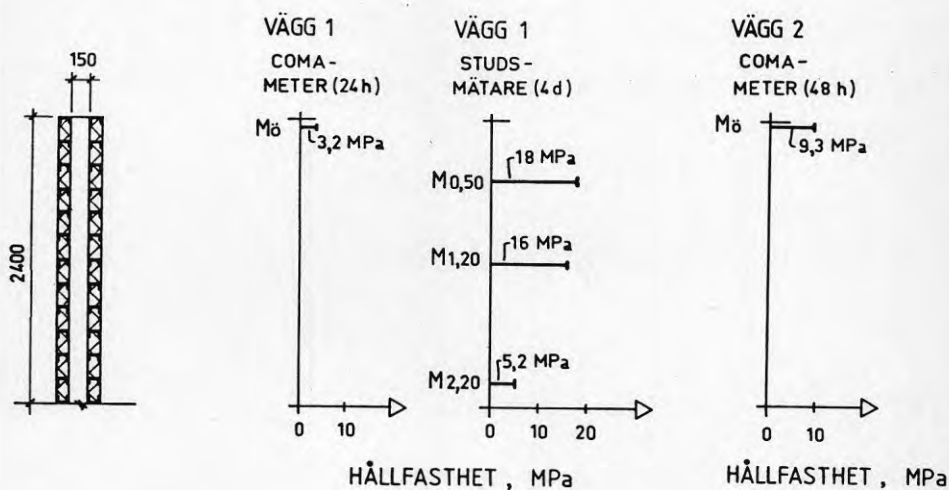


FIG 11 Vägg 1 och 2 (Örebro) Uppmätta hållfastheter. Data enligt Tabell 6.

Tabell 7 Uppmätta hållfastheter i vägg 8 i Örebro
Hållfasthetsklass K30

$f_{cc}^{28} = 39 \text{ MPa}$ (uppskattad)
Cementhalt 291 kg/m^3
Betongtemperatur 16°C (uppmätt)
Lufttemperatur $-1^{\circ}\text{C} - -5^{\circ}\text{C}$
Vind 0 m/s
Vägg tjocklek 150 mm
Normaliserad form, se text

I beteckningen för mätställe anger a 25 mm från formyta och b formmitt.

Värdena inom parentes är avlästa på en tendenskurva för K30, medan övriga värden har avlästs på tendenskurva för K39.

Mät- ställe enligt FIG 12	Ålder h	Hållfasthet enligt Mognadsgrad		Studs- mätare MPa	Ultra- ljuds- mätare MPa	TNS mätare MPa
		Termo- element MPa	Coma- meter MPa			
M ₀	17		1,8 (1,4)			
M _{2,20}	17		2,6 (1,9)			
M ₀	17					1,5
M _{0,20}	21			1,8		
M _{1,20}	21			3		
M _{2,20}	21			1,8		
M _{0,20}	21				6	
M _{1,20}	21				5	
M _{2,20}	21				4	
M ₀	17	2,2 (1,6)				
M _{0,60} ^a	17	3,8 (2,7)				
M _{0,60} ^b	17	3,8 (2,7)				
M _{1,15} ^a	17	3,6 (2,6)				
M _{1,15} ^b	17	3,6 (2,6)				
M _{1,30}	17	3,6 (2,6)				
M _{2,20} ^a	17	2,6 (1,9)				
M _{2,20} ^b	17	2,4 (1,7)				

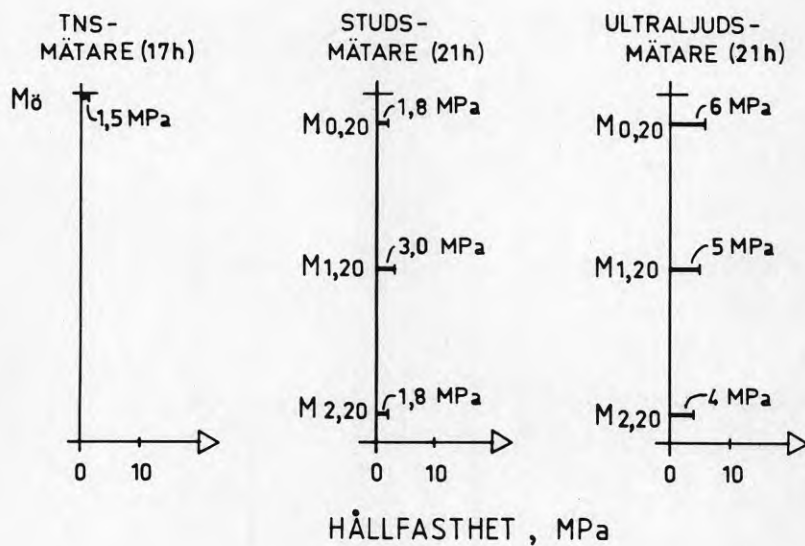
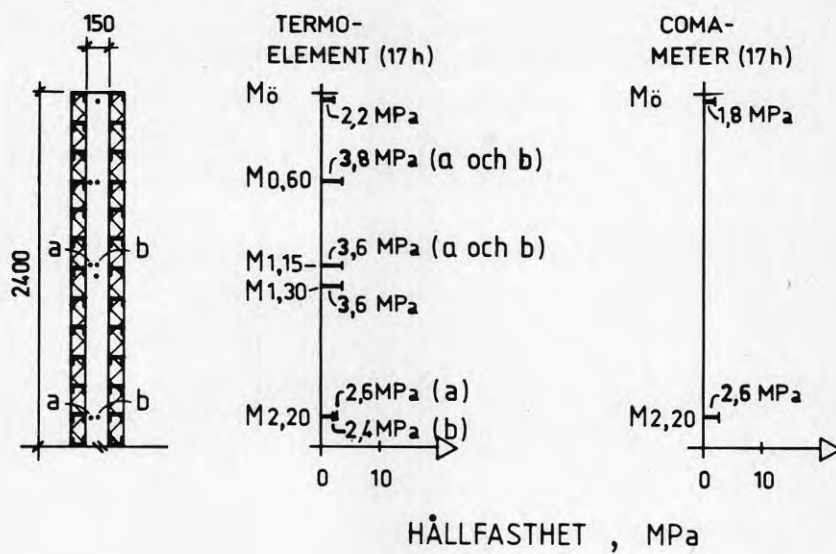


FIG 12 Vegg 8 (Örebro). Uppmätta hållfastheter. Data enligt Tabell 7.

Tabell 8

Uppmätta hållfastheter i vägg 9 i Örebro.

Hållfasthetsklass K25.

$$f_{cc}^{28} = 40 \text{ MPa}$$

Cementhalt = 245 kg/m³.

Betongtemperatur 21°C

Lufttemperatur -7°C - -21°C

Vind 0-4 m/s

Väggjocklek 200 mm

22 mm oisolerad form

Värmekablar, 4 st à 130 W/m

Värdena inom parentes är avlästa på tendenskurva för K25, medan övriga värden för termoelement har avlästs på tendenskurva för K40.

Den stora skillnaden i hållfasthet för TNS beror på de enskilda mätpunkternas avstånd från värmekablarna.

Mätställe enligt FIG 13	Ålder		Hållfasthet enligt Termo- element MPa	Studs- mätare MPa	TNS- mätare MPa
	h	d			
M _{0,10}	17		2,6 (1,5)		
M _{0,60}	17		4,8 (2,6)		
M _{1,12}	17		4,5 (2,6)		
M _{1,15}	17		5,2 (2,7)		
M _{0,20}		5		10	
M _{1,57}		5		13	
M _{2,95}		5		11	
M _{0,20}		19		18	
M _{1,57}		19		18	
M _{2,95}		19		16	
M _ö		19			6-17

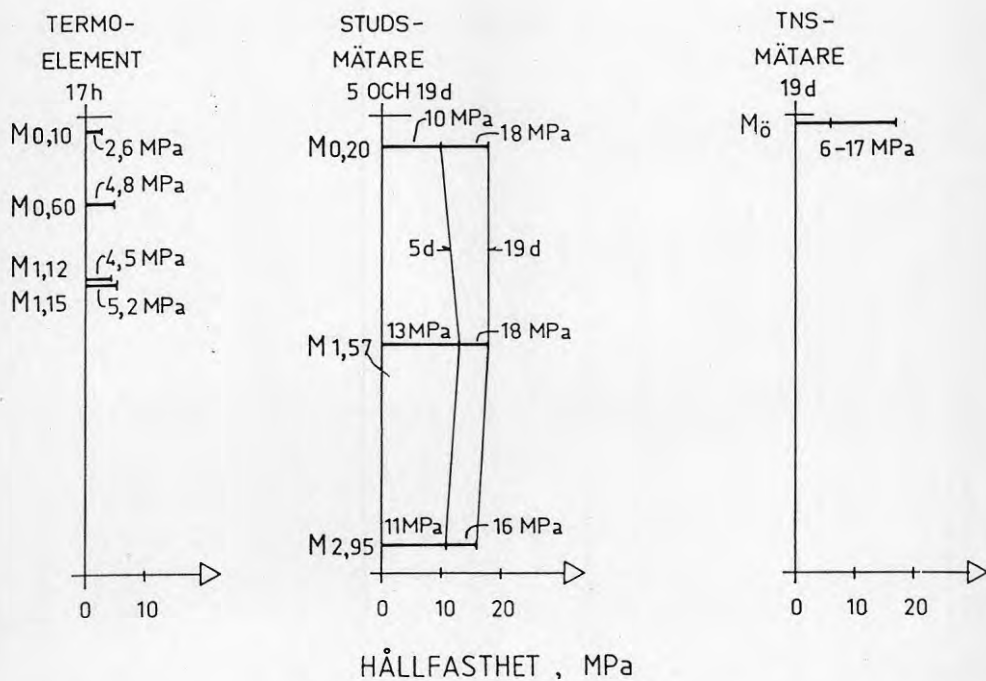
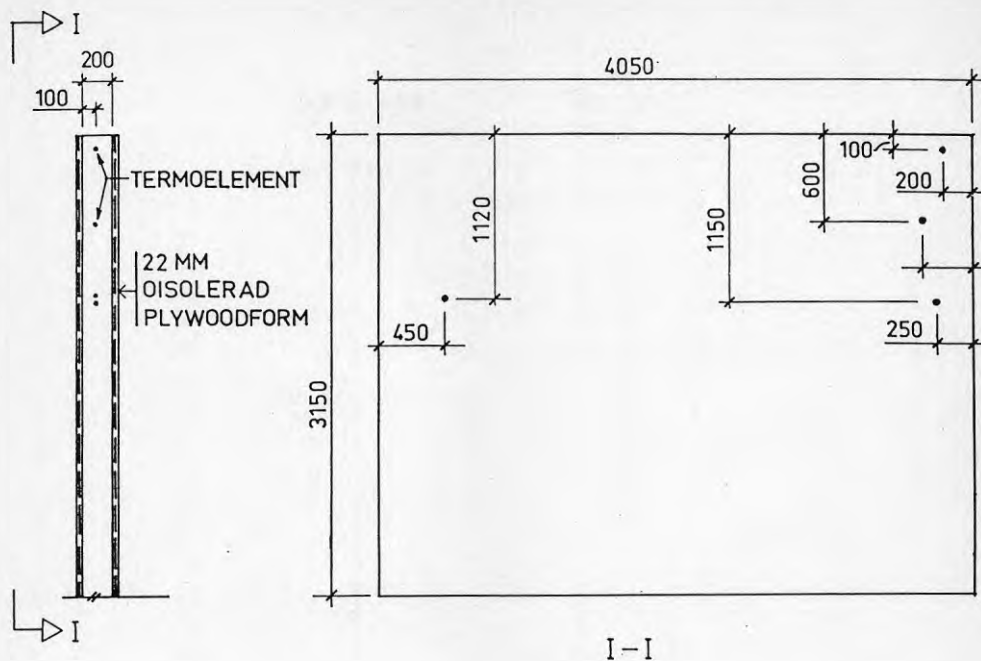


FIG 13 Vegg 9 (Örebro). Uppmätta hållfastheter. Data enligt Tabell 8.

Tabell 9

Uppmätta hållfastheter i vägg 13 i Örebro

Hållfasthetsklass K25.

 $f_{cc}^{28} = 42 \text{ MPa}$ Cement 242 kg/m^3 .Betongtemperatur 14°C (uppmätt)Lufttemperatur $0 - -8^{\circ}\text{C}$ Vind $1-5 \text{ m/s}$ Vägg tjocklek 150 mm

Normaliserad form, se text

Värdena inom parentes är avlästa på tendenskurva för K25, medan övriga värden för Comameter har avlästs på tendenskurva för K42.

Mätställe enligt FIG 14	Ålder h	Hållfasthet enligt Comameter MPa	enligt Studsmätare MPa	TNS-mätare MPa	Tuuttimeter MPa
$M_{\ddot{o}}$	16	1,1 (0,7)			
$M_{\ddot{o}}$	16			2	
$M_{0,10}$	16				0
$M_{1,20}$	16				1
$M_{1,90}$	16				0
M_u	16				0
$M_{0,20}$	17		1		
$M_{1,20}$	17		2		
$M_{1,90}$	17		1,5		
$M_{2,20}$	17		1		

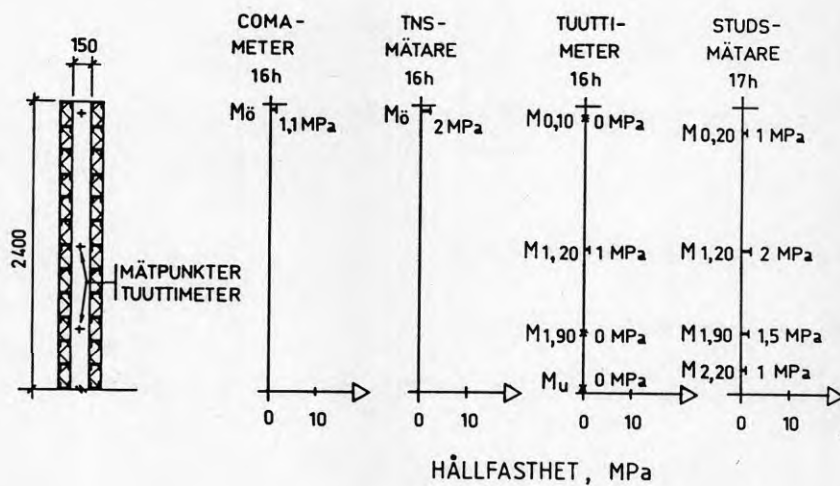


FIG 14 Väg 13 (Örebro). Uppmätta hållfastheter. Data enligt Tabell 9.

Tabell 10 Uppmätta hållfastheter i vägg 14 i Örebro.

Hållfasthetsklass K25.

 $f_{cc}^{28} = 40 \text{ MPa}$ (uppskattad)Cement 245 kg/m^3 Betongtemperatur 14°C (uppmätt)Lufttemperatur $1^\circ\text{C} - -2^\circ\text{C}$ Vind 5 m/s Vägg tjocklek 350 mm

Normaliserad form, se text

Värdena inom parentes är avlästa på tendenskurva för K25, medan övriga värden för Comameter och termoelement har avlästs på tendenskurva för K40.

Mätställe enligt FIG 15	Ålder h	Hållfasthet enligt Comameter MPa	Termoelement MPa	Studs- mätare MPa	TNS- mätare MPa
M _ö	16	2,3(1,3)			
	22	2,7(1,6)			
M _ö (1)	18		4,2(2,4)		
M _ö (2)	18		3,0(1,7)		
M _{0,80}	18		7,8(3,7)		
M _{1,00}	18		7,8(3,7)		
M _{1,80}	18		7,7(3,6)		
M _u	18		4,8(2,6)		
M _ö	22				2,0
M _{0,20}	24			2	
M _{1,20}	24			4,5	
M _{1,70}	24			6	
M _{2,00}	24			4	

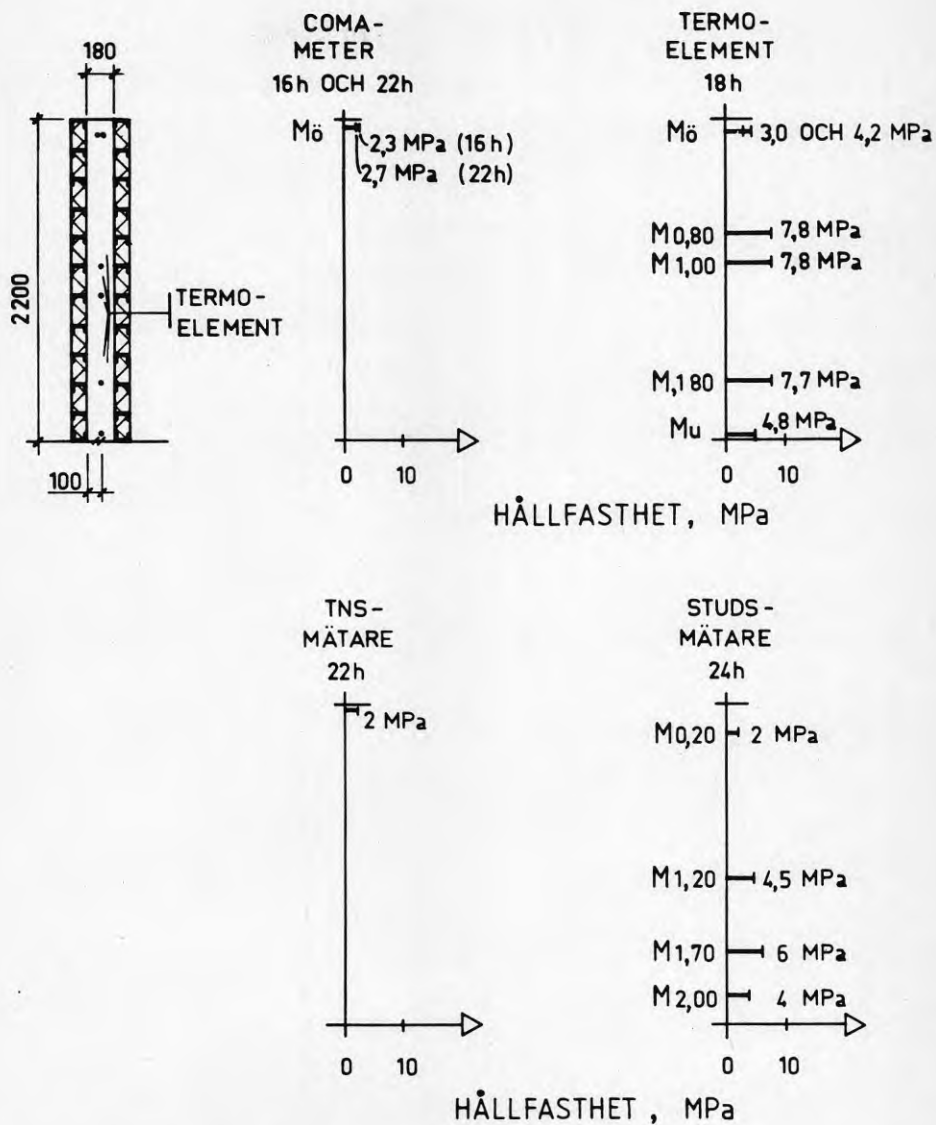


FIG 15 Väg 14 (Örebro). Uppmätta hållfastheter. Data enligt Tabell 10.

Tabell 11 Uppmätta hållfastheter i vägg 15 i Örebro.

Hållfasthetsklass K40.

$$f_{cc}^{28} = 54 \text{ MPa}$$

Cement 325 kg/m³

Betongtemperatur 14°C

Lufttemperatur 1°C - -2°C

Vind 5 m/s

Väggjocklek 200 mm

Normaliserad form, se text

Värdena inom parentes är avlästa på tendenskurva för K40, medan övriga värden för Coma-meter och termoelement har avlästs på tendenskurva för K54.

Mätställe enligt FIG 16	Ålder h	Hållfasthet enligt Coma-meter MPa	Termoelement MPa	Studs-mätare MPa	TNS-mätare MPa
M ₀	18		6,5(3,7)		
M _{1,20}	18		16,0(9,0)		
M _u	18		6,1(3,5)		
M ₀	20		9,0(5,0)		
M _{1,20}	20		18,8(10,8)		
M _u	20		7,5(4,3)		
M ₀ (1)	21	5,4(3,1)			
M ₀ (2)	21	5,9(3,4)			
M _{0,20}	21			2,5	
M _{1,20}	21			17	
M _{1,90}	21			12	
M _{2,20}	21			7	
M ₀	21				2,5

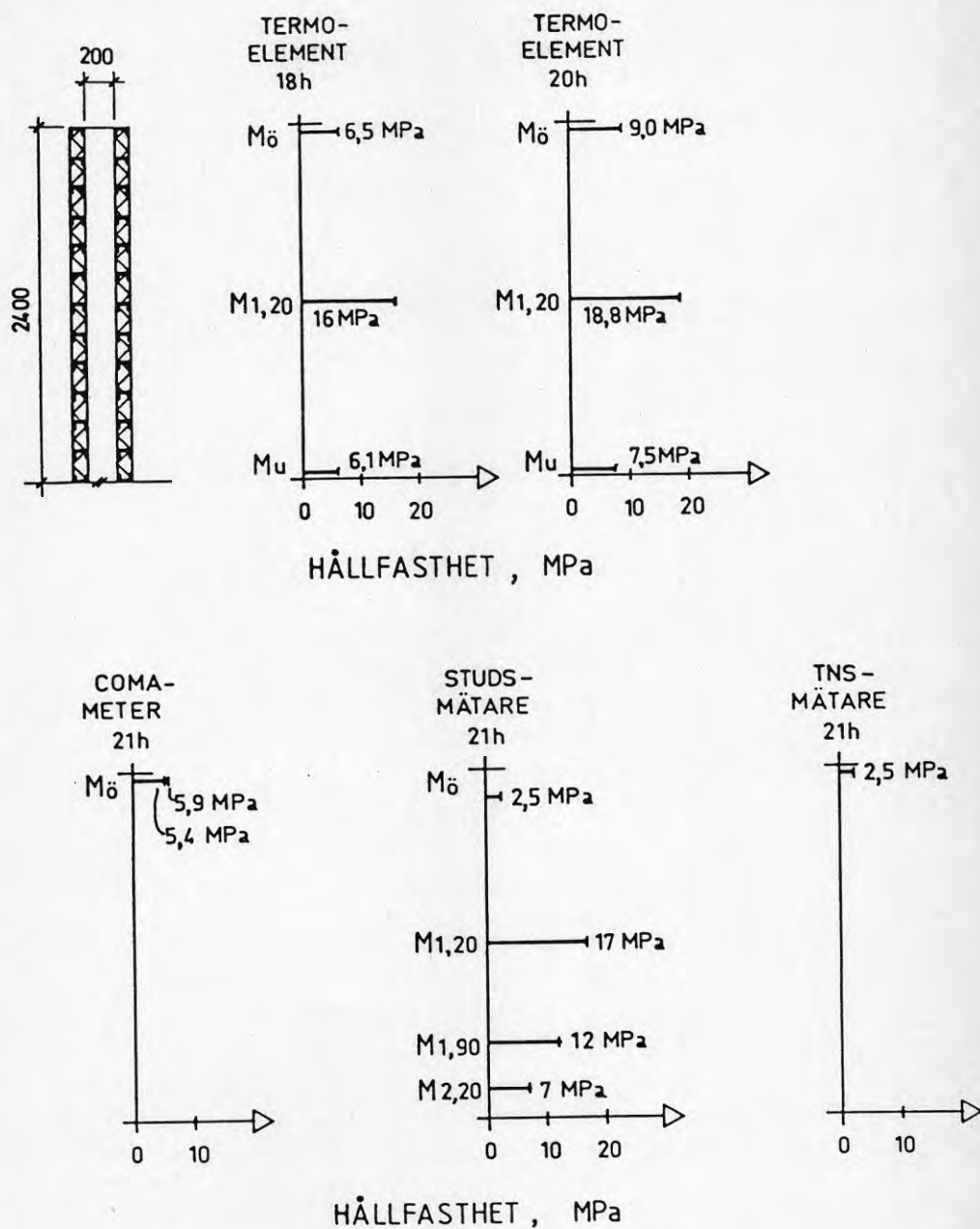


FIG 16 Väg 15 (Örebro). Uppmätta hållfastheter. Data enligt Tabell 11.

Tabell 12 Uppmätta hållfastheter i vägg 1 (Helsingborg).

Hållfasthetsklass K30
 $f_{cc}^{28} = 41 \text{ MPa}$
 Cement 300 kg/m^3
 Betongtemperatur 14°C
 Lufttemperatur 12°C
 Vind 8 m/s
 Väggtjocklek 180 mm
 Oisolerad plywoodform

Mätpunkter enligt FIG 17a	Ålder h	Hållfasthet enligt Coma-meter MPa	Studsmätare MPa
M _ö	18	3	
M _{1.20}	18		3,5

Tabell 13 Uppmätta hållfastheter i vägg 2 (Helsingborg).

Hållfasthetsklass K30
 $f_{cc}^{28} = 43 \text{ MPa}$
 Cement 300 kg/m^3
 Betongtemperatur 14°C
 Lufttemperatur 12°C
 Vind 8 m/s
 Väggtjocklek 180 mm
 Oisolerad plywoodform

Mätpunkter enligt FIG 17a	Ålder h	Hållfasthet enligt Coma-meter MPa	Studsmätare MPa
M _ö	18	3	
M _{1.20}	18		3

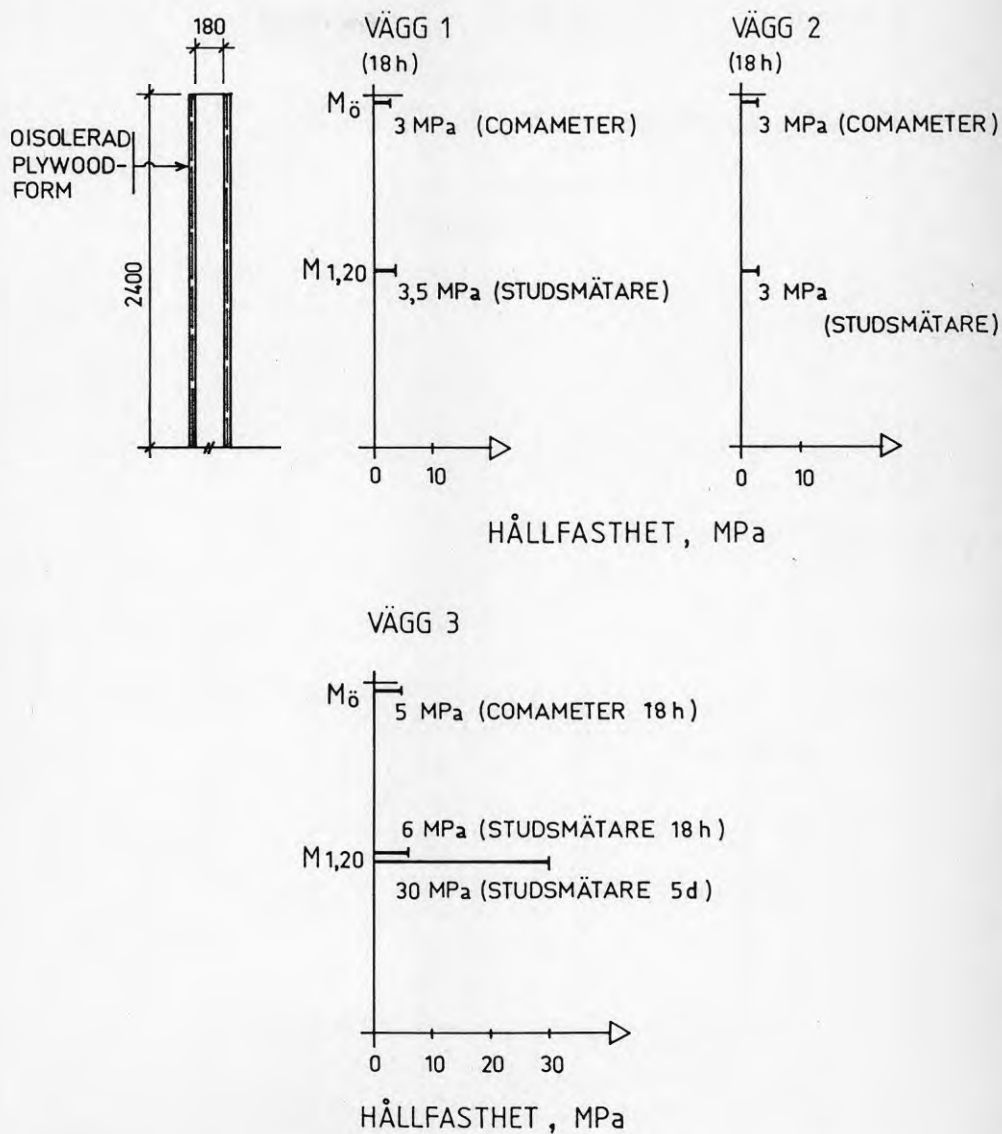


FIG 17a Väggar 1-3 (Helsingborg). Uppmätta hållfastheter. Data enligt Tabeller 12-14.

Tabell 14 Uppmätta hållfastheter i vägg 3 (Helsingborg).
 Hållfasthetsklass K30
 $f_{cc}^{28} = 43 \text{ MPa}$
 Cement 300 kg/m^3
 Betongtemperatur 14°C
 Lufttemperatur $10\text{-}12^\circ\text{C}$
 Vind $7\text{-}15 \text{ m/s}$
 Väggtjocklek 180 mm
 Oisolerad plywoodform

Mätpunkter enligt FIG 17a	Ålder		Hållfasthet enligt	
	h	d	Coma-meter MPa	Studsmätare MPa
M ₀	18		5	
M _{1.20}	18			6
M _{1.20}		5		30

Tabell 15 Uppmätta hållfastheter i vägg 5 (Helsingborg).
 Hållfasthetsklass K30
 $f_{cc}^{28} = 47 \text{ MPa}$
 Cement 300 kg/m^3
 Flygaska 50 kg/m^3
 Betongtemperatur 16°C
 Lufttemperatur $10\text{-}12^\circ\text{C}$
 Vind $7\text{-}15 \text{ m/s}$
 Väggtjocklek 180 mm
 Oisolerad plywoodform

Mätpunkter enligt FIG 17b	Ålder		Hållfasthet enligt	
	h	d	Coma-meter MPa	Studsmätare MPa
M ₀	18		3,5	
M _{1.20}	18			3
M _{1.20}		5		27,5

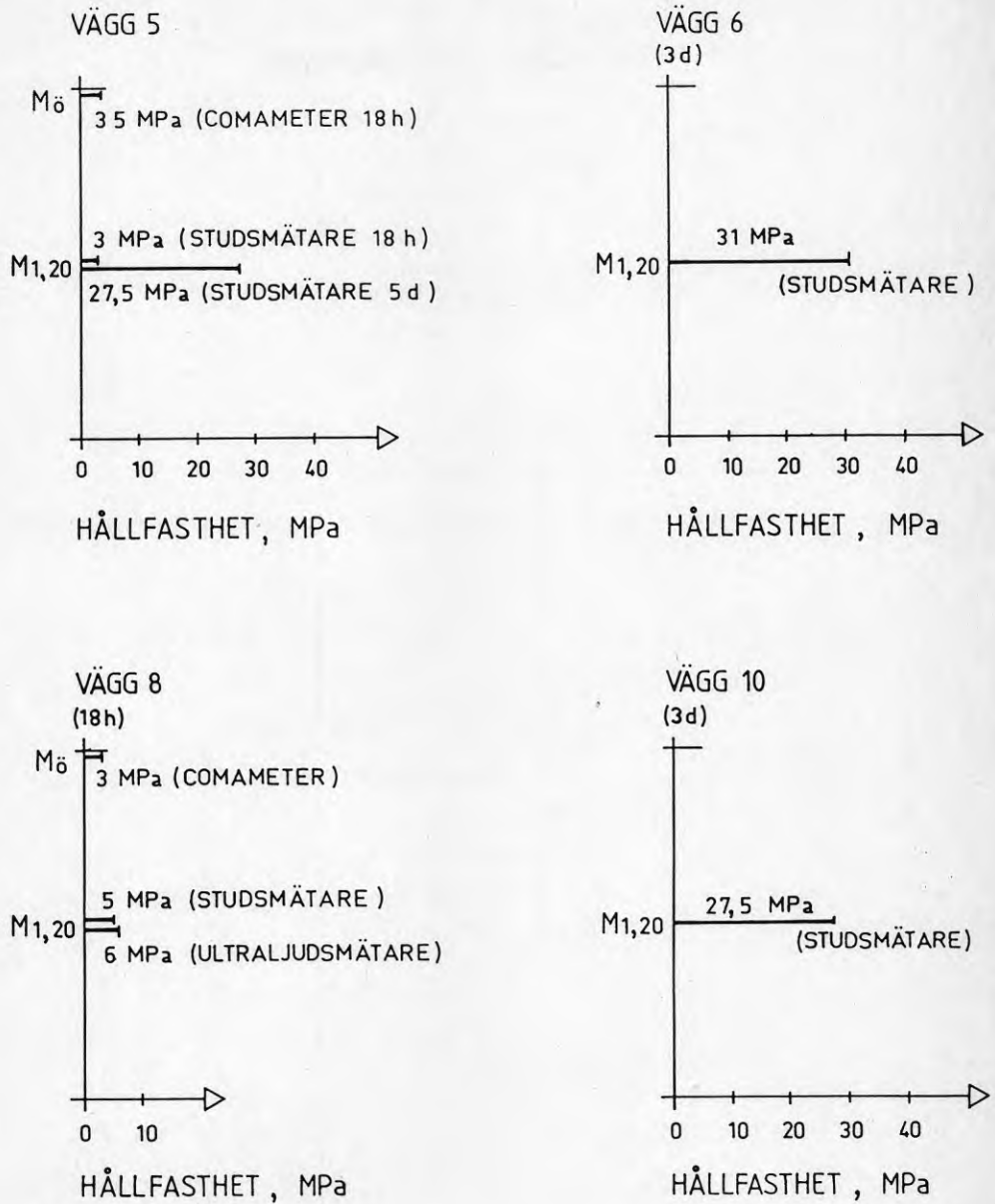


FIG 17b Väggar 5-6, 8 och 10 (Helsingborg). Uppmätta hållfastheter. Data enligt Tabeller 15-18.

Tabell 16 Uppmätt hållfasthet i vägg 6 (Helsingborg).

Hållfasthetsklass K30
 $f_{cc}^{28} = 58 \text{ MPa}$
 Cement 340 kg/m^3
 Flygaska 50 kg/m^3
 Betongtemperatur 16°C
 Lufttemperatur $10\text{--}12^\circ\text{C}$
 Vind $7\text{--}15 \text{ m/s}$
 Väggtjocklek 180 mm
 Oisolerad plywoodform

Mätpunkt enligt FIG 17b	Ålder d	Hållfasthet enligt Studsmätare MPa
M _{1.20}	3	31

Tabell 17 Uppmätta hållfastheter i vägg 8 (Helsingborg)

Hållfasthetsklass K30
 $f_{cc}^{28} = 43 \text{ MPa}$
 Cement 315 kg/m^3
 Betongtemperatur 17°C
 Lufttemperatur $10\text{--}12^\circ\text{C}$
 Vind $7\text{--}15 \text{ m/s}$
 Väggtjocklek 180 mm
 Oisolerad plywoodform

Mätpunkt enligt FIG 17b	Ålder h d	Hållfasthet enligt Coma-meter MPa	Studsmätare MPa	Ultraljudsmätare MPa
M _ö	18	3		
M _{1.20}	18		5	6

Tabell 18 Uppmätt hållfasthet i vägg 10 (Helsingborg).

Hållfasthetsklass K30

 $f_{cc}^{28} = 60 \text{ MPa}$ Cement 340 kg/m^3 Flygaska 50 kg/m^3 Betongtemperatur 16°C Lufttemperatur $10 - 12^\circ\text{C}$ Vind $7 - 15 \text{ m/s}$ Vägg tjocklek 180 mm

Oisolerad plywoodform

Mät punkt enligt FIG 17b	Ålder d	Hållfasthet enligt Studsmätare MPa
M _{1.20}	3	27,5

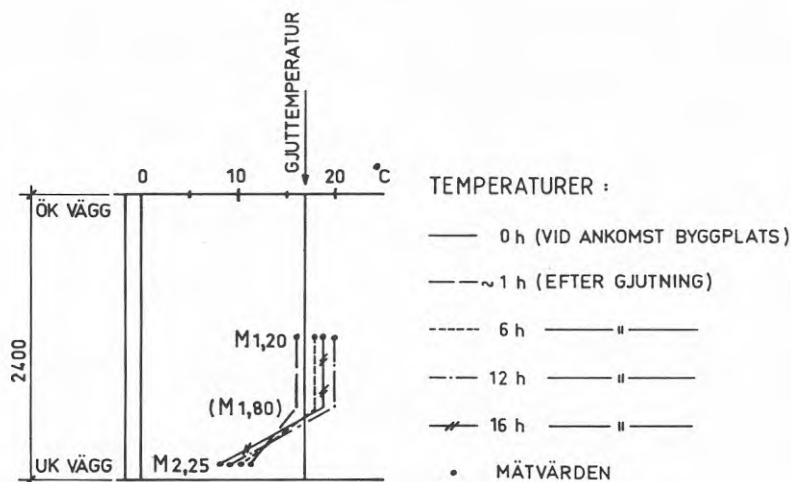


FIG 18

Vägg 1 (Västerås). Temperaturutveckling i väggmitt från gjutning till avformning. I punkt $M_{1,80}$ har ingen mätning skett, men det har antagits, att ingen kyleffekt från bärlaget finns ovanför denna punkt.

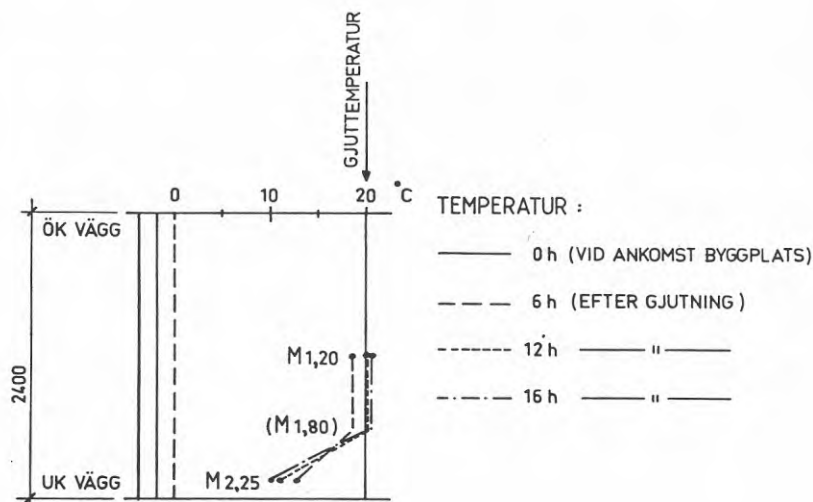


FIG 19

Vägg 2 (Västerås). Temperaturutveckling i väggmitt från gjutning till avformning. I punkt $M_{1,80}$ har ingen mätning skett, men det har antagits, att ingen kyleffekt från bärlaget finns ovanför denna punkt.

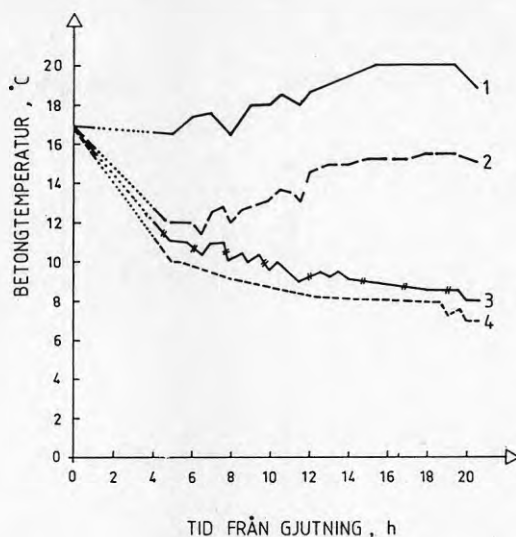


FIG 20 Vvägg 1 (Västerås) Temperaturutveckling.
 1 75 mm från formytta (=väggmitt) på halva vägg-
 höjden.
 2 25 mm från formytta på halva vägghöjden
 3 75 mm från formytta 150 mm över bärlag
 4 25 mm från formytta 150 mm över bärlag

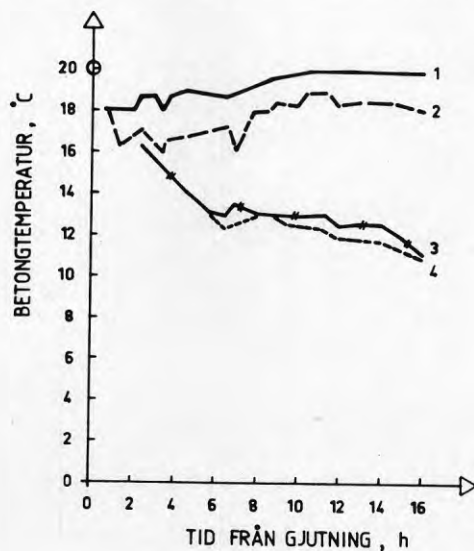


FIG 21 Vvägg 2 (Västerås) Temperaturutveckling.
 1 75 mm från formytta (=väggmitt) på halva vägg-
 höjden.
 2 25 mm från formytta på halva vägghöjden
 3 75 mm från formytta 150 mm över bärlag
 4 25 mm från formytta 150 mm över bärlag

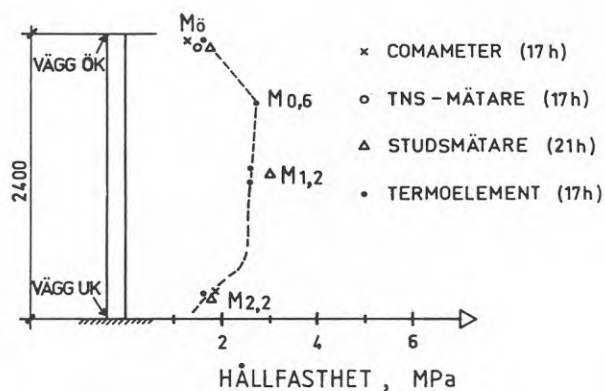


FIG 22 Väg 8 (Örebro). Hållfastheten mätt med olika metoder och hållfasthetens variation i höjdd.

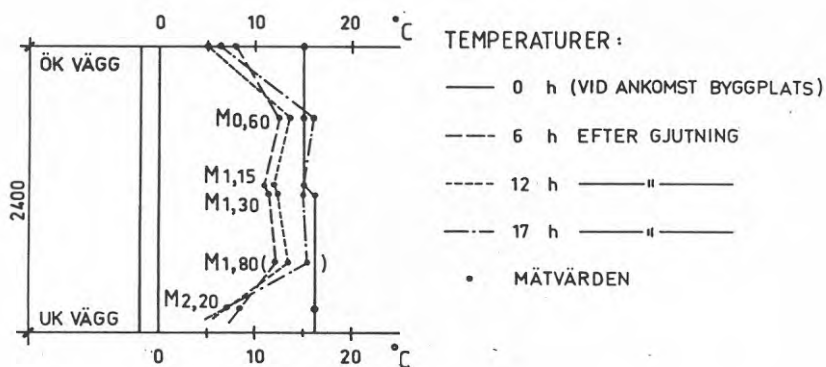


FIG 23 Väg 8 (Örebro). Temperaturutvecklingen i väggmitt från gjutning till avformning. I punkt $M_{1,80}$ har ingen mätning skett, men temperaturen där har antagits vara densamma som i den symmetriskt belägna $M_{0,60}$.

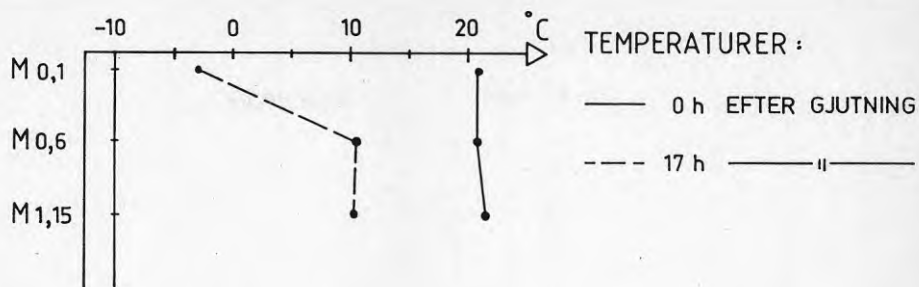


FIG 24 Väg 9 (Örebro). Temperaturutveckling i väggmitt i väggens överdel.

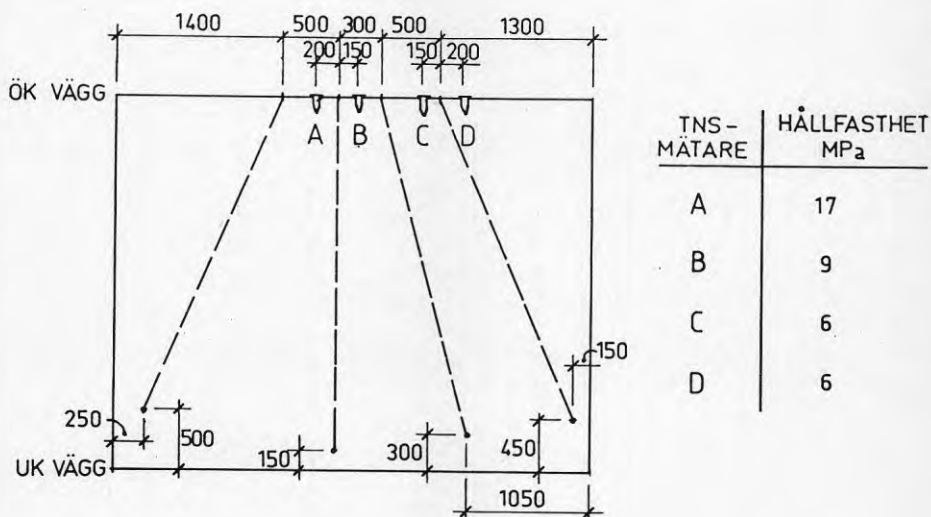


FIG 25 Väg 9 (Örebro). Elvärmekablar (streckade) och TNS-mätning.

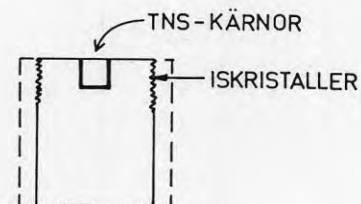


FIG 26 Väg 9 (Örebro). Ytliga frostsador i väggens överdel. TNS-kärnorna togs tillvara för kontroll av potentiell hållfasthet.

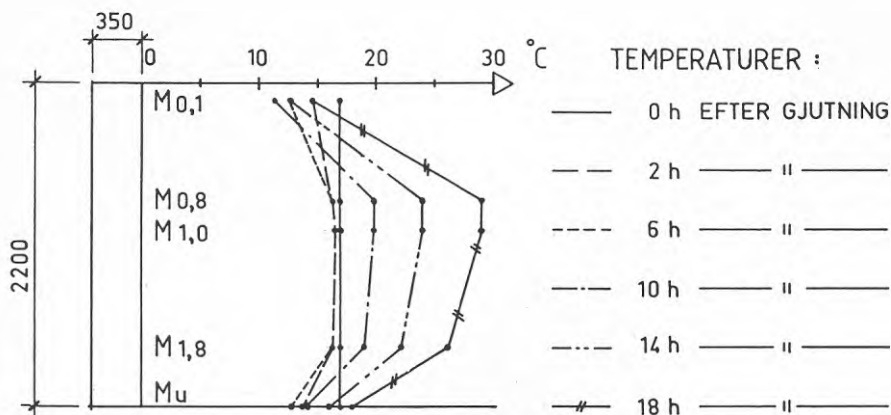


FIG 27 Väggtjocklek 350 mm. Väggtjocklek 350 mm. Temperaturutveckling 100 mm från formyta, Väggtjocklek 350 mm.

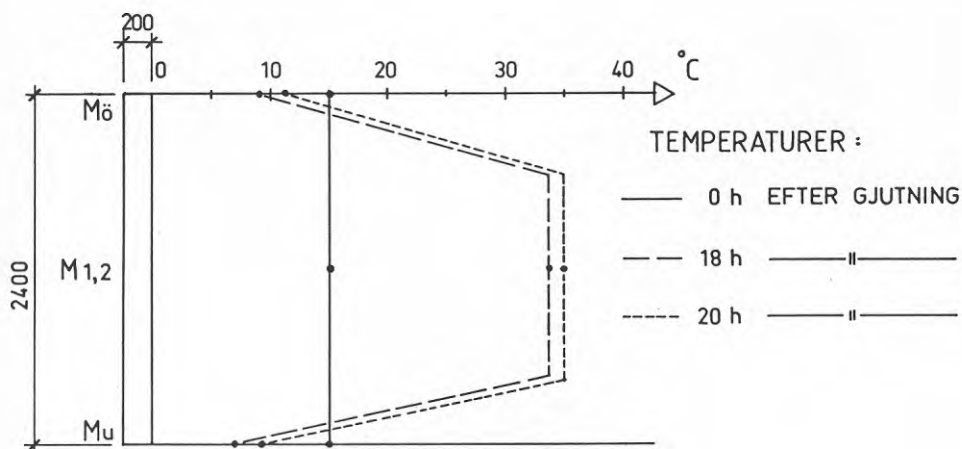


FIG 28 Väggtjocklek 350 mm. Väggtjocklek 350 mm. Temperaturutveckling i väggmitt. Det har antagits, att kyleffekten från luft och underlag sträcker sig 0,5 m in från överkant respektive underkant vägg.

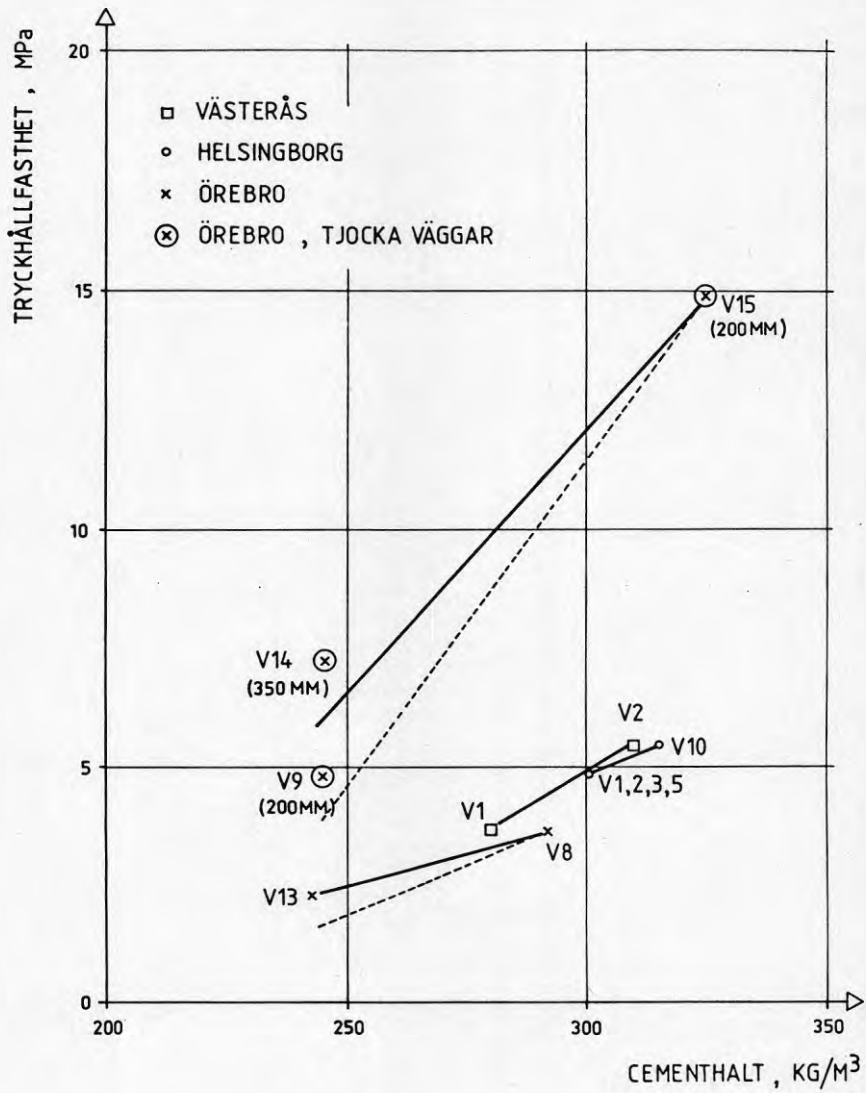


FIG 29

Cementhaltens inverkan på den tidiga hållfasthetsutvecklingen i väggarna. Mätresultaten från de olika byggplatserna är omräknade till 17 timmar. De streckade linjerna avser inverkan i betong utan accelerator (gäller väggar i Örebro).

5.3 Hållfasthet i bärlag

5.3.1 Kv Mältaren, Örebro

Hållfasthetsmätningar utfördes på tre fribärande bärlag och på en platta på mark, Tabell 3.

Resultaten av hållfasthetsmätningarna visas i Tabell 19-23 och FIG 30-33. Mätpunkterna har betecknas med M_{O} , M_{M} och M_{U} för bärlagets överdel, mitt respektive underdel. Mätningarna i överdelen har gjorts med Coma-meter och TNS-mätare, vilket innebär att resultatet gäller 50-100 mm från överytan. I underdelen har hållfasthetsbestämningarna skett med studsmätare och avser således själva underytan.

5.3.2 Kommentarer till bärlagsförsöken

28-dygns hållfastheterna f_{cc}^{28} i tabellerna är uppskattade för bärlagen 2a och 2b. För övriga bärlag gäller uppmätta värden på f_{cc}^{28} .

Betongtemperaturerna är uppmätta på fabrik eller byggnadsplats och med ledning därav har temperaturen efter färdig gjutning uppskattats. I bärlag 4 mättes dock temperaturen direkt i den nygjutna betongen.

För lufttemperatur och vindhastighet anges i tabellerna endast högsta och lägsta värde.

Bärlag 1 har uppnått avformningshållfastheten 17,5 MPa - 70% av 28-dygns hållfastheten - efter ca 4 dygn, FIG 30. Hållfastheten i bärlagets underdel är högre än i överdelen. Detta är att vänta med värmestillförsel underifrån och med värmeavgång uppåt, där ingen isolering och ingen eller ringa täckning fanns. Coma-meter- och studsvärden överensstämmer ganska väl.

Bärlag 2a och 2b uppnådde formrivningshållfastheten 17,5 MPa efter ca 3 dygn, FIG 31. Coma-metrarna visade avsevärt lägre hållfasthet än TNS-mätaren och studsmätaren. Det kan tänkas bero på att de förra råkade bli placerade, där effekten av strålningsvärmen var ringa. Liksom i bärlag 1 uppmättes lägre hållfasthet i överdelen än i underdelen. Den ena delen av bärlaget, 2a, göts med betong K30 (cementhalt 245 kg/m³) och den andra delen med betong K25 (cementhalt 222 kg/m³). Den ökade cementhalten har givit en något ökad hållfasthet.

Bärlag 3 visar avsevärt lägre hållfasthet än bärlagen 1-2, FIG 32. Efter 4 dygn visade TNS-mätaren ingen hållfasthetstillväxt. I detta bärlag var spridningen mellan de enskilda TNS-mätarna stor, vilket kan ha berott på olika tillgång på värme från gasvärmarna. En mätare gav ca 7 MPa och en annan ca 12 MPa efter 12 dygn. En bidragande orsak till den låga hållfastheten är troligen den låga cementhalten (215 kg/m³).

Även i bärlag 4 var cementhalten låg (217 kg/m³) och här blev hållfastheten efter 5 dygn 8 - 9 MPa, FIG 33. I detta bärlag - platta på mark - tillfördes ingen värme och behovet av tidig hållfasthet var mindre eftersom ingen avformning var aktuell. Överensstämmelsen mellan Coma-metrarna och Tuutti-metern var

god. Under de första dagarna hade mittdelen av plattan högst hållfasthet på grund av isolering från över- och underdel, men redan efter 5 dygn hade en utjämning skett.

Om bärlagsförsöken sammantagna kan sägas, att bärlagens överdel fick märkbart lägre hållfasthet än underdelen. Vidare ökade hållfastheten med stigande cementshalt, FIG 34. Formar och klimatförhållande var någorlunda lika för bärlagen 1, 2a, 2b och 3 och därför kan en jämförelse mellan dem vara berättigad för att se tendensen. En åtgärd som ligger nära till hands för att höja hållfastheten och minska formrivningstiden är täckning eller täckning och isolering av bärlagets översida. Utom en högre hållfasthetsnivå i tidigt skede skulle man få en jämnare hållfasthetsfördelning över betongtvärsnittet. Det senare skulle bidra till mindre deformationer.

Vid de lägsta cementshaltarna användes ett accelererande tillsatsmedel. Med ledning av tillsatsmedelsleverantörens information har hållfastheterna uppskattats för motsvarande betong utan tillsatsmedel. Resultatet framgår av de streckade linjerna i FIG 34. Jämför med motsvarande reduktion för väggar i FIG 29.

Flygaska ($32-37 \text{ kg/m}^3$) fanns i betongen till alla bärlag utom 2b. Någon påtaglig effekt av den är svår att upptäcka, jämför t ex bärlag 1 och 2b, och är knappast att vänta i så tidig ålder.

Tabell 19

Uppmätta hållfastheter i bärlag 1.

K25, $f_{cc}^{28} = 34$ MPaCement 215 kg/m^3 , Flygaska $33 \text{ kg/m}^3 \text{ h}$ Betongtemperatur 14°C Lufttemperatur $8 - -3^\circ\text{C}$, Vind $1 - 6 \text{ m/s}$ Bärlagets tjocklek 190 mm Oisolerad 22 mm plywoodform.

Ingen täckning eller isolering på överytan de 4 första dyggen. Därefter täckning med presening. Intäckning i våningen under bärlaget. Strålningsvärme, gasvärme, mot bärlagets underyta efter 4 dygn.

Mät-punkt	Ålder		Hållfasthet enligt Coma-meter MPa	Studs-mätare MPa	TNS-mätare MPa
	h	d			
$M_{\text{ö}}$	30		4,5		
$M_{\text{ö}}$	54		14		
$M_{\text{ö}}$		4	17		
$M_{\text{ö}}$		4			15
M_{u}		4		21	
M_{u}		6		25	
M_{u}		6		20	

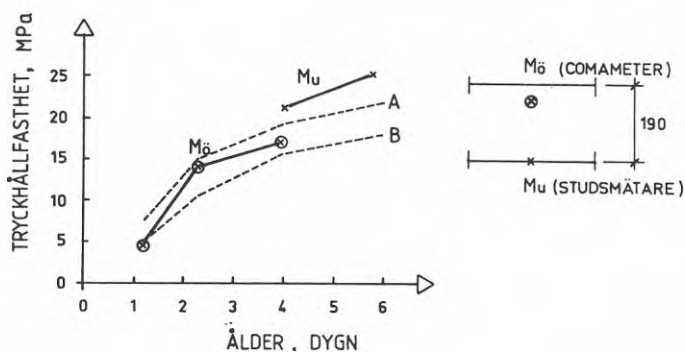


FIG 30

Bärlag 1. Uppmätta hållfastheter i överdel $M_{\text{ö}}$ och underdel M_{u}

A Beräknade maximihållfastheter, Kap 6

B Beräknade minimihållfastheter, Kap 6

De beräknade värdena är reducerade med hänsyn till lägre hållfasthet i färdig konstruktion. Data enligt Tabell 19

Tabell 20

Uppmätta hållfastheter i bärlag 2a

K30, $f_{cc}^{28} = 35 \text{ MPa}$ Cement 245 kg/m^3 , Flygaska 37 kg/m^3 Betongtemperatur 12°C Lufttemperatur $-1 - -5^\circ\text{C}$, Vind $0 - 7 \text{ m/s}$ Bärlagets tjocklek $160 - 190 \text{ mm}$ Oisolerad 22 mm plywoodform.

Ingen täckning eller isolering på överytan. In-
täckning i våningen under bärlaget. Strålnings-
värme, gasvärme, mot bärlagets underyta.

Mät- punkt	Ålder	Hållfasthet enligt		
	d	Coma- meter MPa	Studs- mätare MPa	TNS- mätning MPa
$M_{\bar{o}}$	1	3		
$M_{\bar{o}}$	5	10		
$M_{\bar{o}}$	5			25
M_u	5		30	

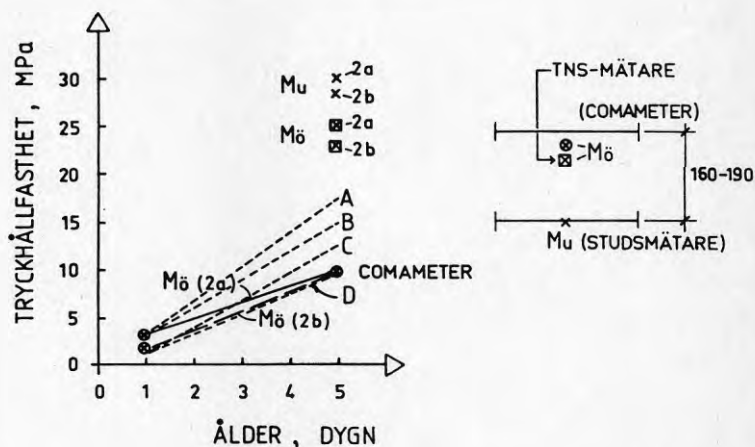


FIG 31

Bärlag 2a och 2b. Uppmätta hållfastheter i överdel $M_{\bar{o}}$ och underdel M_u .

- A: Beräknade maximihållfastheter för K30, Kap 6
- B: Beräknade maximihållfastheter för K25, Kap 6
- C: Beräknade minimihållfastheter för K30, Kap 6
- D: Beräknade minimihållfastheter för K25, Kap 6

De beräknade hållfastheterna är reducerade med hänsyn till lägre hållfasthet i färdig konstruktion. Data enligt Tabell 20-21.

Tabell 21

Uppmätta hållfastheter i bärlag 2b

K25, $f_{cc}^{28} = 30$ MPaCement 222 kg/m³

Betongtemperatur 12°C

Lufttemperatur -1 - -5°C, Vind 0 - 7 m/s

Bärlagets tjocklek 160 - 190 mm

Oisolerad 22 mm plywoodform.

Ingen täckning eller isolering på överytan. In-
täckning i våningen under bärlaget. Strålnings-
värme, gasvärme, mot bärlagets underyta.

Mät- punkt	Ålder	Hållfasthet enligt		
	d	Coma- meter MPa	Studs- mätare MPa	TNS- mätare MPa
M _ö	1	2		
M _ö	5	10		
M _ö	5			23
M _u	5		29	

Tabell 22

Uppmätta hållfastheter i bärlag 3

K25, $f_{cc}^{28} = 40$ MPaCement 215 kg/m^3 , Flygaska 32 kg/m^3 Betongtemperatur 12°C Lufttemperatur $0 - 5^\circ\text{C}$, Vind $0 - 6 \text{ m/s}$ Bärlagets tjocklek 190 mm Oisolerad 22 mm plywoodform.

Ingen täckning eller isolering på överytan. In-täckning i våningen under bärlaget. Strålningsvärme, gasvärme, mot bärlagets underyta.

Mät-punkt	Ålder d	Hållfasthet enligt TNS- mätning MPa
$M_{\bar{o}}$	3	6
$M_{\bar{o}}$	4	10
$M_{\bar{o}}$	12	9

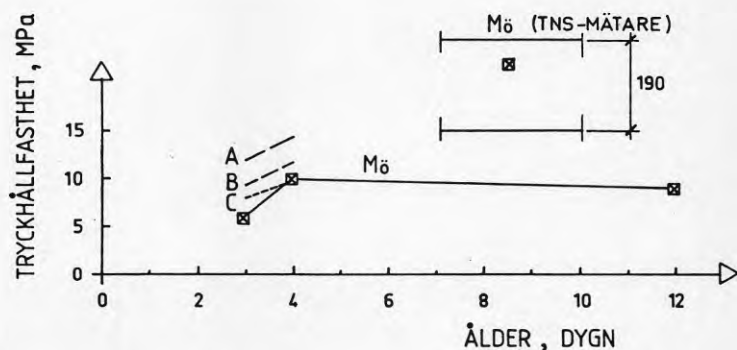


FIG 32

Bärlag 3. Uppmätta hållfastheter i bärlagets överdel $M_{\bar{o}}$.

A: Beräknade minimihållfastheter för K40, Kap 6

B: Beräknade minimihållfastheter för K30, Kap 6

C: Beräknade minimihållfastheter för K25, Kap 6

De beräknade hållfastheterna är reducerade med hänsyn till lägre hållfasthet i färdig konstruktion. Data enligt Tabell 22.

Tabell 23

Uppmätta hållfastheter i bärlag 4 (platta på isolerad mark)

K25, $f_{cc}^{28} = 43 \text{ MPa}$

Cement 217 kg/m^3 , Flygaska 32 kg/m^3

Betongtemperatur 12°C

Lufttemperatur $4 - -9^\circ\text{C}$, Vind $0 - 7 \text{ m/s}$

Tjocklek 200 mm

Isolering 50 mm markplatta

Ingen täckning eller isolering på överytan

Mät- punkt	Ålder d	Hållfasthet enligt Coma- meter MPa	Tuutti- meter MPa
$M_{\bar{o}}$	5	9	
$M_{\bar{o}}$	3		5
M_m	3		6
M_u	3		4
$M_{\bar{o}}$	4		7
M_m	4		7
M_u	4		6
$M_{\bar{o}}$	5		8
M_u	5		8

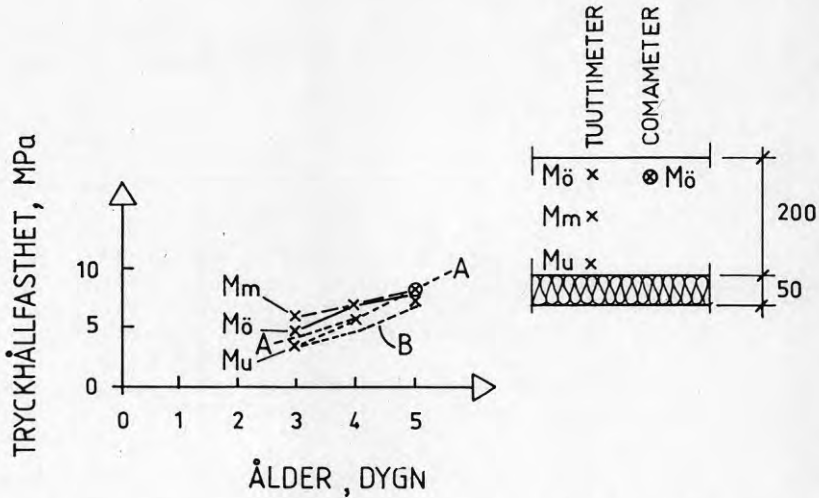


FIG 33

Bärlag 4. Uppmätta hållfastheter i överdel $M_{\text{ö}}$, mitt M_{m} och underdel M_{u} .

A: Beräknade minimihållfastheter för $f_{cc}^{28} = 43$ MPa, Kap 6

B: Beräknade minimihållfastheter för $f_{cc}^{28} = 30$ MPa, Kap 6

De beräknade hållfastheterna är reducerade med hänsyn till lägre hållfasthet i färdig konstruktion. Data enligt Tabell 23.

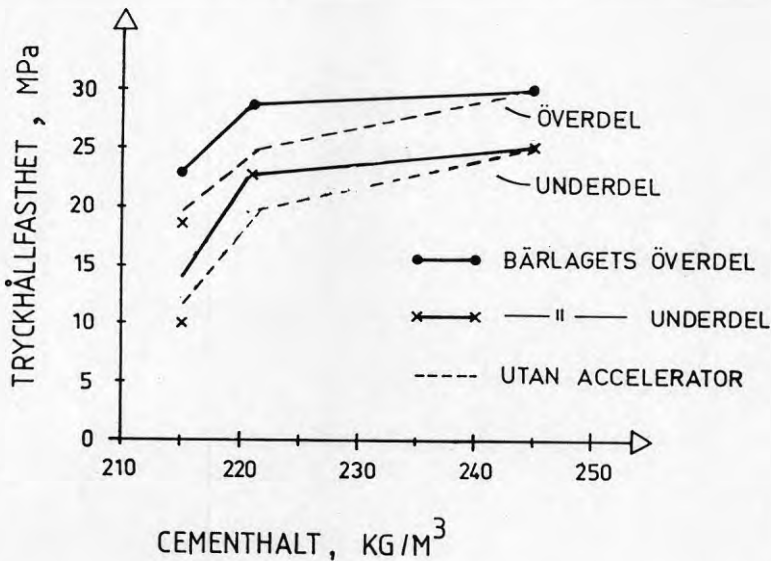


FIG 34

Cementhaltens inverkan på den tidiga hållfastheten i bärlagen. Mätvärdena avser 5 dygns ålder. Om man räknar bort det accelererande tillsatsmedlets verkan - enligt tillverkarens uppgifter - blir cementhaltens inverkan större, vilket framgår av de streckade linjerna.

5.4 Ytporer

Pormätningar gjordes i 12 väggar i Örebro samt i 11 väggar i Helsingborg. Därutöver har resultaten från en byggplats och en elementfabrik i Stockholmsområdet utnyttjats. Utöver antalet porer per ytenhet uppmättes betongens cementhalt, sättmått och omformningstal samt vibreringsinsats per volymenhet. Omformningstalet, som är ett mått på betongens arbetbarhet, bestäms med en särskild omformningsmätare, FIG 7. Mätresultaten och en analys av dessa finns i BILAGA 3. Det konstaterades där,

att om ingen hänsyn tas till övriga parametrar, tycks ett samband - om än svagt - råda mellan antalet ytporer och sättmättet eller omformningstalet. En lösare konsistens eller en bättre arbetbarhet synes ge färre ytporer än en styvare konsistens respektive sämre arbetbarhet.

att om ingen hänsyn tas till övriga parametrar råder ett visst samband mellan antalet ytporer och vibreringsinsatsen.

att om hänsyn tas till såväl vibreringsinsats som till arbetbarhet (eventuellt konsistens) fås ett mera påtagligt samband mellan antalet ytporer och vibration/arbetbarhet.

FIG 35 kan ses som en sammanfattning av BILAGA 3. Antalet ytporer har där₃ getts som en funktion av t/o , där t är vibreringstiden i s/m^3 och o är omformningstalet i antal slag.

I Tabell 24-25 ges några sammanhörande värden på minsta vibreringstid och högsta omformningstal för att antalet porer per ytenhet ej skall överstiga ett visst givet tal.

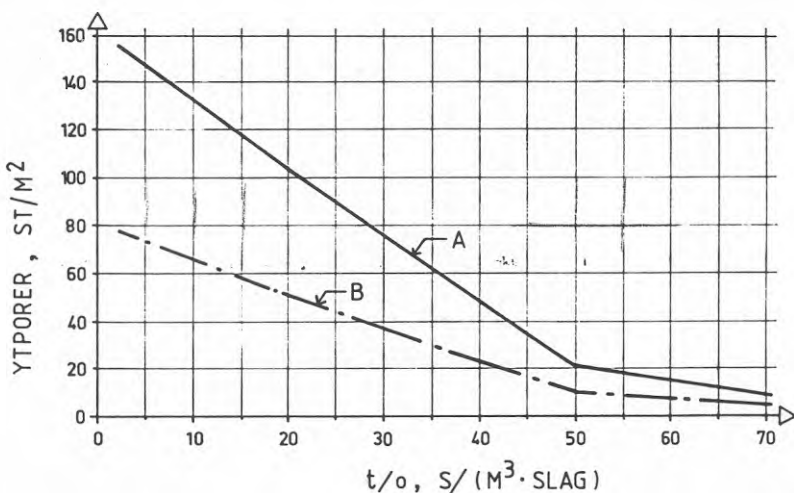


FIG 35 Samband mellan antalet ytporer y (≥ 5 mm), vibreringstiden t och omformningstalet o .
Avståndet mellan nedsticken och vibratören
A: 10 x stavvibratören
B: 5 x stavvibratören

Tabell 24 Erforderlig vibreringstid i s/m^3 vid olika omformningstal och olika krav på mängden ytporer. Antaget avstånd mellan nedsticken ca 10 x stavdiametern.

Ytporer st/ m^2	Omformningstal o			
	5	10	20	40
15	300	600	1200	2400
30	235	470	940	1880
50	200	400	800	1600

Det är orealistiskt, att i normala fall tänka sig en vibreringstid på mer än 400-500 s/m^3 . En åtgärd för att förkorta vibreringstiden är att vibrera med tätare nedstick. Resultatet därav skulle bli enligt Tabell 25.

Tabell 25 Erforderlig vibreringstid i s/m^3 vid olika omformningstal och olika krav på mängden ytporer. Antaget avstånd mellan nedsticken ca 5 x stavdiametern.

Ytporer st/ m^2	Omformningstal o			
	5	10	20	40
15	230	460	920	1040
30	175	350	700	1400
50	100	200	400	800

Tabellerna ovan gäller för alla arbetsplatserna sammantagna och innebär ofta värden på säkra sidan för den enskilda arbetsplatsen. Det kan därför finnas skäl, att studera denna särskilt för att nå optimalt resultat. För arbetsplatsen i Örebro skulle tabellvärdena ovan kunna halveras.

6 TEORETISKA BERÄKNINGAR

6.1 Avsikt

Parallellt med fältmätningarna har de i dessa ingående väggarna och bärlagen hållfasthetsberäknats. Beräkningarna har genomförts med dator av Jan-Erik Jonasson vid Cement- och Betonginstitutet.

Avsikten med beräkningarna var att studera överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta hållfastheter. Som framgår av kap 5 gjordes mätningarna vid olika tidpunkter på året - höst och vinter - och betongen producerades av tre olika betongfabriker och göts på tre olika arbetsplatser. Om en acceptabel överensstämmelse uppnåddes, skulle datorberäkningar kunna användas för en studie av inverkan på den tidiga hållfastheten av olika åtgärder. Resultaten skulle då kunna utgöra ett visst underlag för kostnadsberäkningar, där mätningar saknades eller var ofullständiga.

6.2 Omfattning

För alla väggar och bärlag i kap 5, där hållfastheten uppmättes på arbetsplatsen, beräknades hållfastheten. Beräkningarna gjordes för samtliga de tider, då mätningar ägde rum. Dessutom har erforderlig tid för att uppnå viss hållfasthet, 3-6 MPa, beräknats för de olika väggarna.

På grund av normala variationer i cement förekommer motsvarande förskjutningar i starttid för betongens hållfasthetstillväxt. För flera väggar har därför även räknats med viss fördröjning, R timmar, av den tidiga hållfasthetstillväxten.

Ovannämnda beräkningar är genomförda med utgångspunkt från uppmätt 28-dygnshållfasthet. I de fall denna ej uppmätts separat, har uppskattade medelvärden från betongfabriken använts.

I några fall låg de uppmätta hållfastheterna lägre än de beräknade även om hänsyn togs till att hållfastheten i färdig konstruktion är lägre än motsvarande kubhållfastheter. Då beräknades hållfastheterna med utgångspunkt från hållfasthetsklassens nominella värde, dvs den undre 5%-fraktilen.

För några väggar och ett par bärlag från fältmätningarna i kap 5 har den tidiga hållfastheten räknats fram under olika förutsättningar beträffande klimat, formisolering etc.

6.3 Resultat

6.3.1 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade hållfastheter

De beräknade hållfastheterna är dels dokumenterade i Tabell 26-28 dels mera överskådligt visade i FIG 36-40. Där är för jämförelsens skull även de uppmätta hållfastheterna från kap 5 medtagna. Jämsides med de direkt beräknade värdena redovisas

även värden reducerade med hänsyn till hållfastheten i färdig konstruktion.

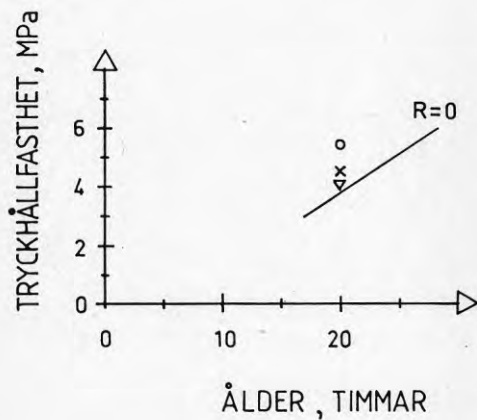
Tabell 26 Uppmätta och beräknade hållfastheter i väggar vid Västeråsförsöken. Hållfastheten i färdig konstruktion - sista kolumnen och värdena inom parentes - har reducerats enligt FIG 41. R anger antagen fördröjning i timmar.

Vägg nr	Ålder h	Hållfasthet Uppmätt		Metod ²⁾	Beräknad	Beräknad i färdig kon- struktion
		MPa ¹⁾			R=0	R=0
1	20	4,3	(4,1)	Te	3,9	3,7
	20	4,0	(3,8)	Co	3,9	3,7
	20	4,5		S	3,9	3,7
	20	5,5		U	3,9	3,7
2	16	5,9	(5,3)	Te	1,8	1,6
	16	4,2	(3,8)	Co	1,8	1,6
	16	7		S	1,8	1,6

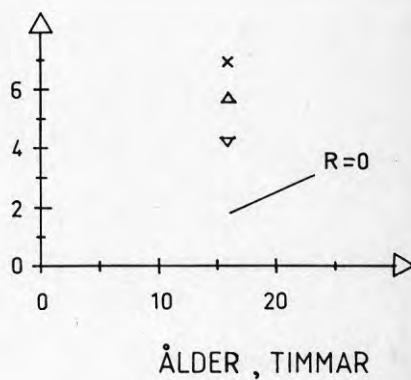
1 Värdena inom parentes reducerade med hänsyn till färdig konstruktion

2 S = studsmätning Te = termoelementmätning
U = ultraljudsmätning Co = Coma-metermätning

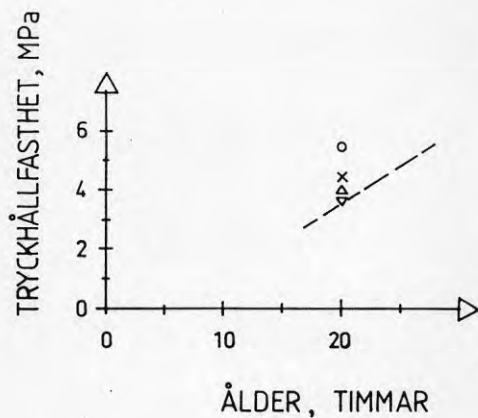
× STUDSMÄTNING ○ ULTRALJUDSMÄTNING ▲ TERMOELEMENT ▼ COMAMETER



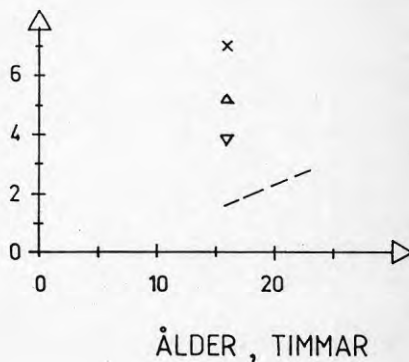
A



B



C



D

FIG 36 Väggar 1 och 2 (Västerås). Uppmätta och beräknade hållfastheter. Ingen fördröjning vid beräkningen, $R=0$.

A: Vägg 1

B: Vägg 2

C: Vägg 1, reduktion med hänsyn till färdig konstruktion

D: Vägg 2, reduktion med hänsyn till färdig konstruktion

Data enligt Tabell 4-5.

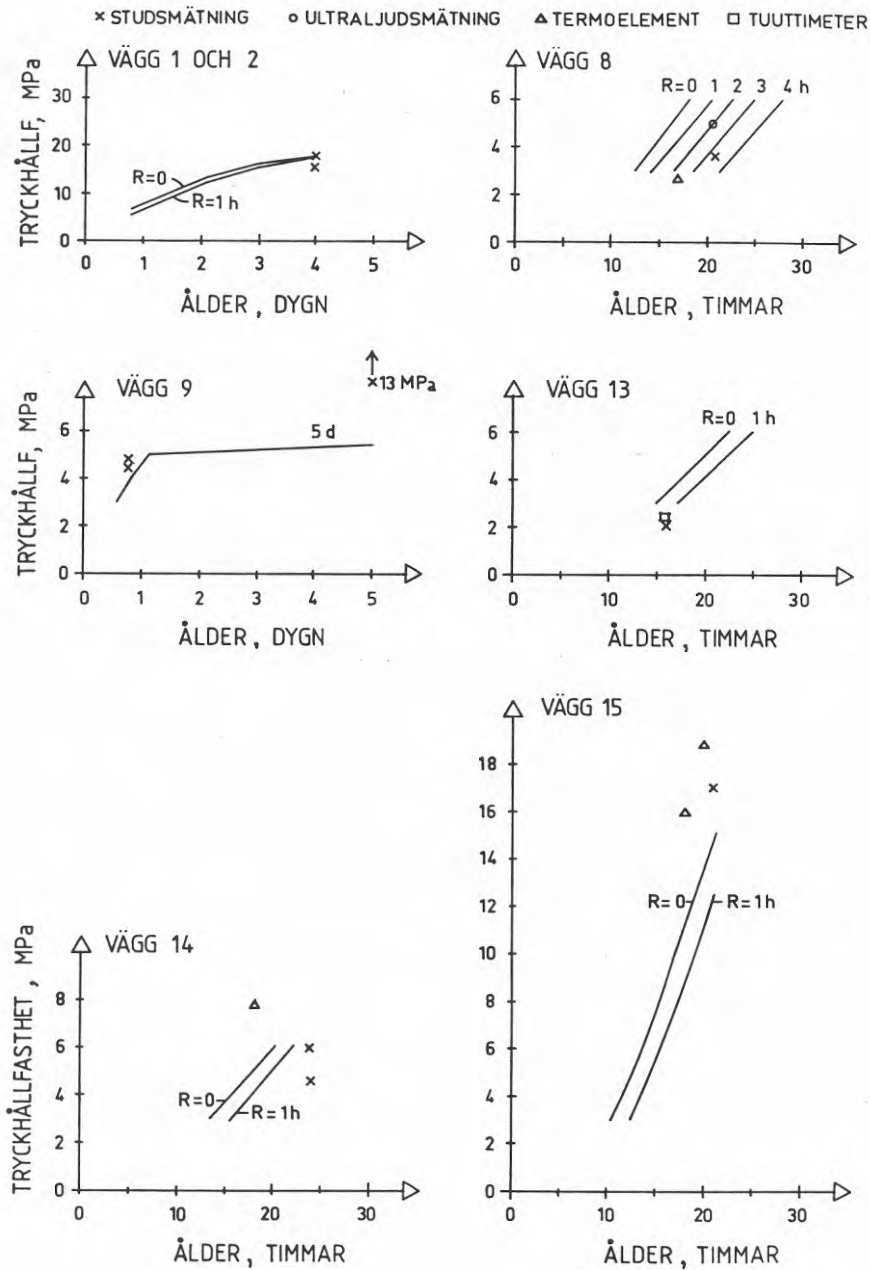


FIG 37 Väggar (Örebro). Uppmätta och beräknade hållfastheter. R anger fördröjning i timmar vid beräkningen. Data enligt Tabell 6-11.

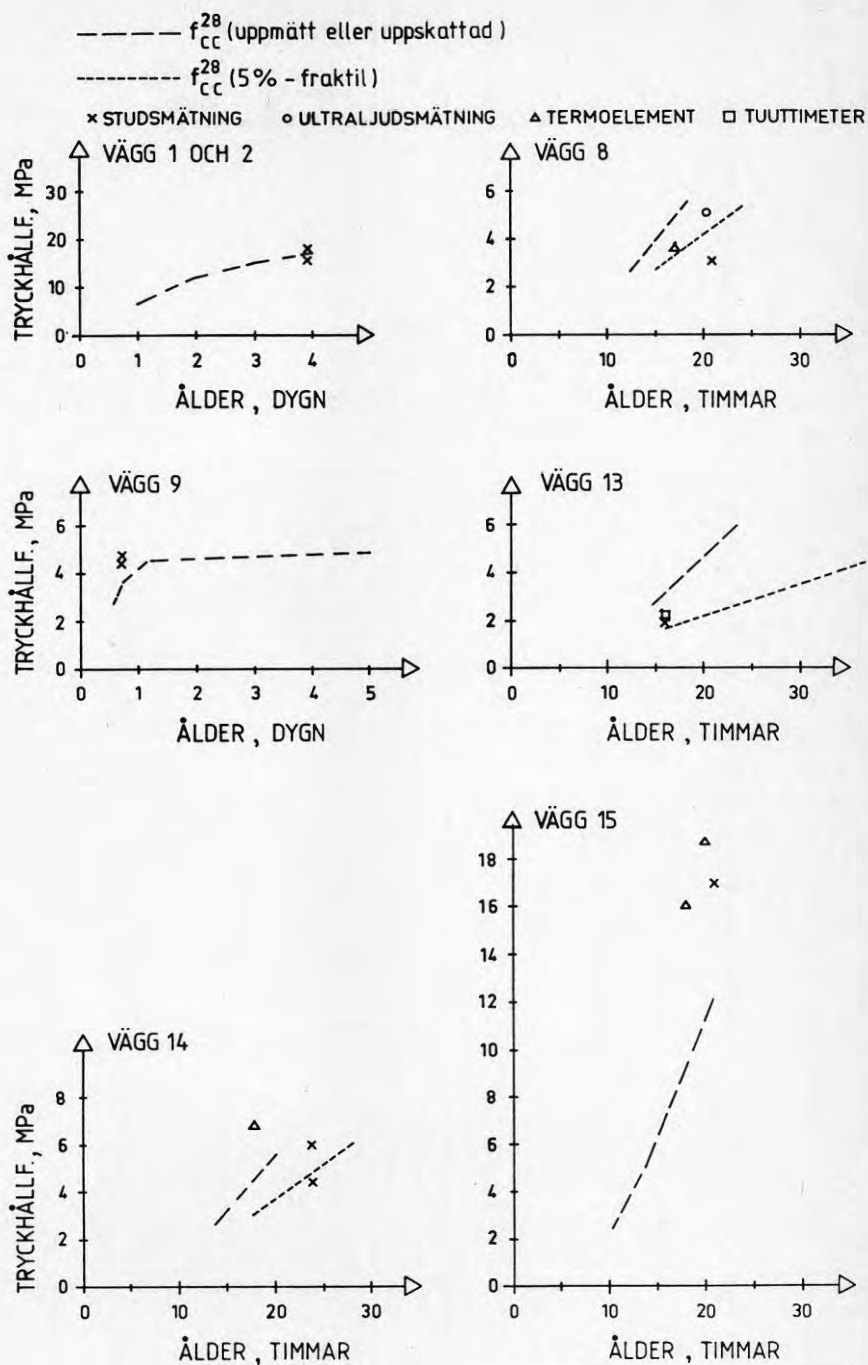


FIG 38 Väggar (Örebro). Uppmätta och beräknade hållfastheter. Ingen fördröjning vid beräkningen, $R=0$. De beräknade hållfastheterna reducerade med hänsyn till lägre hållfasthet i färdig konstruktion. Data enligt Tabell 6-11.

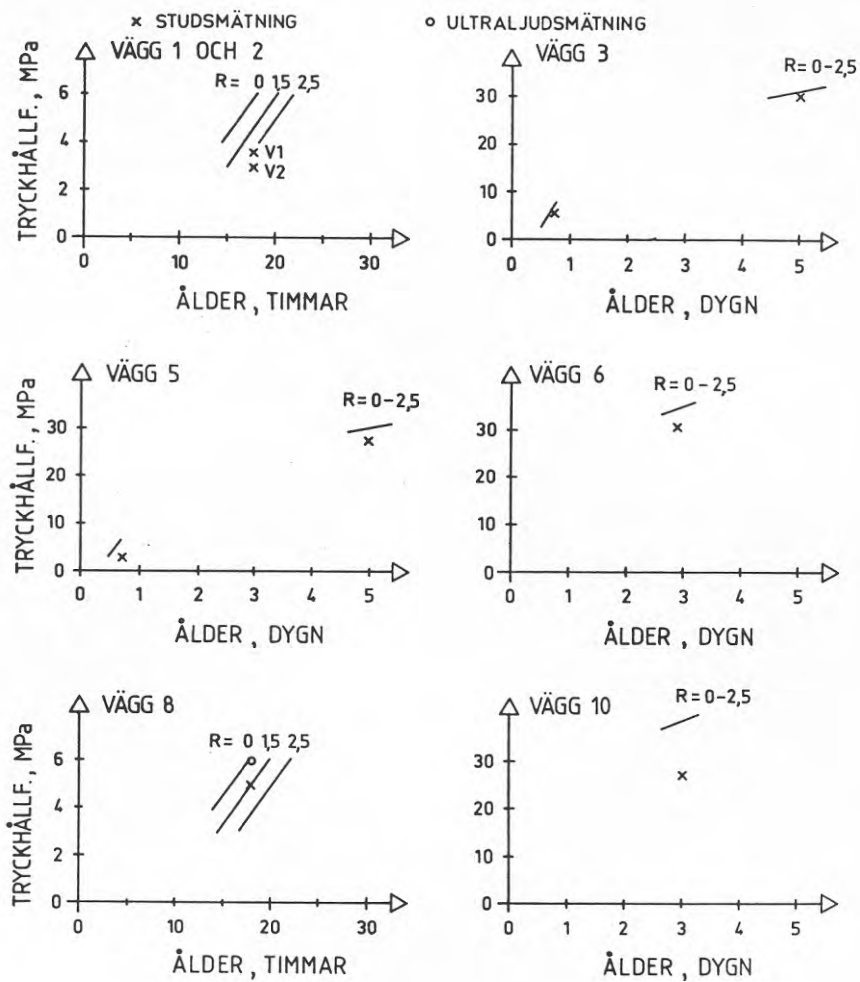


FIG 39

Väggar (Helsingborg). Uppmätta och beräknade hållfastheter. R anger fördröjning i timmar vid beräkningen. Data enligt Tabell 12-18.

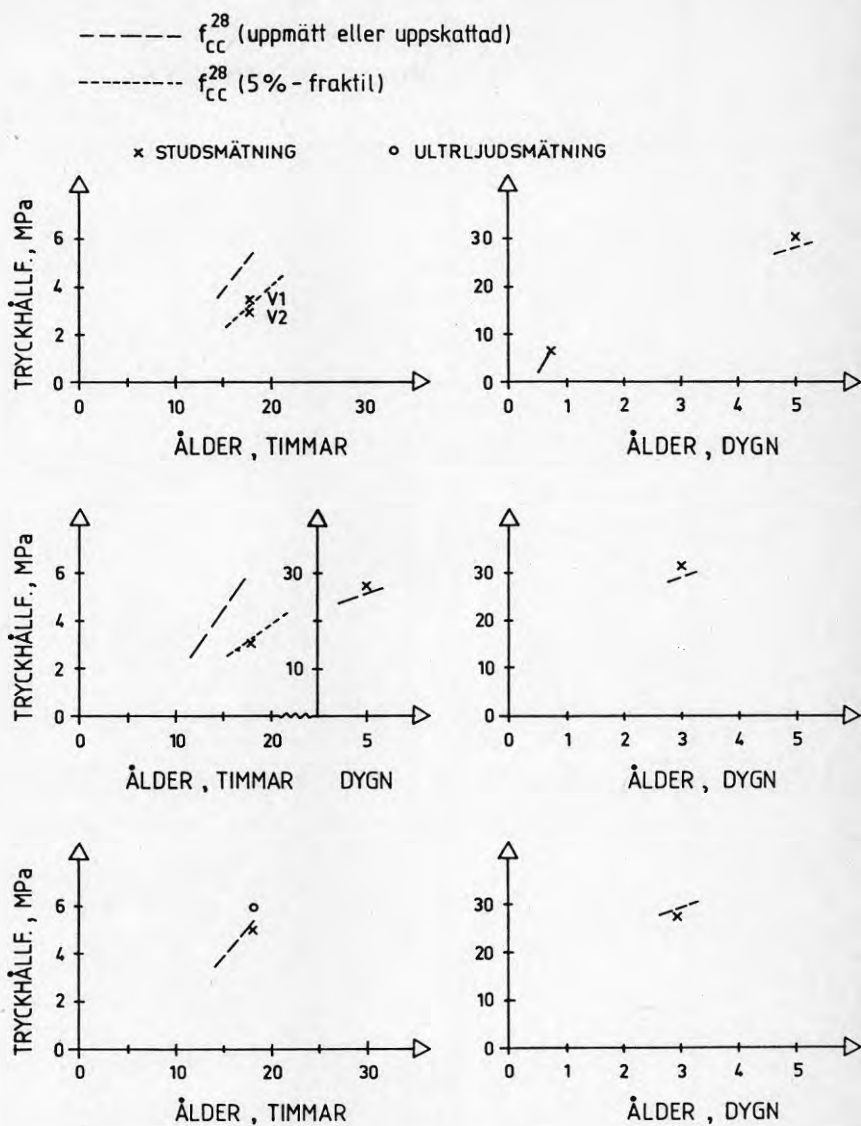


FIG 40

Väggar (Helsingborg). Uppmätta och beräknade hållfastheter. Ingen fördröjning vid beräkningen, $R=0$. De beräknade hållfastheterna reducerade med hänsyn till lägre hållfasthet i färdig konstruktion. Data enligt Tabell 12-18.

Tabell 28 Uppmätta och beräknade hållfastheter i väggar i Helsingborgsförsöken. Hållfastheten i färdig konstruktion - sista kolumnen - har reducerats enligt FIG 41. R anger antagen fördröjning i timmar.

Vägg nr	Ålder		Hållfasthet i MPa Uppmätt		Beräknad med			Beräknad i färdig konstruktion R=0
	h	d	MPa	Metod ¹⁾	R=0	R=1,5	R=2,5	
1	18		3,5	S	6,0	4,6	3,7	5,3
2	18		3	S	6,0	4,6	3,7	5,3
3	18	5	6	S	8,0	6,0	4,8	7,0
			30	S	31,2	31,0	31,0	27,1
5	18	5	3	S	7,3	5,5	4,3	6,1
			27,5	S	30,6	30,5	30,3	25,7
6		3	31	S	35,3	34,9	34,6	27,2
8	18		5	S	6,0	4,8	3,8	5,2
	18		6	U	6,0	4,8	3,8	5,2
10		3	27,5	S	39,2	38,8	38,5	29,7

1) S = studsmätning

U = ultraljudsmätning

Kommentarer

Man konstaterar först, att det idag endast finns färdiga datorprogram för endimensionell värmeström i väggar. Detta medför att temperaturer och hållfastheter endast kan beräknas i de delar, där inga störningar - främst från väggens överkant och underkant - finns, se exempelvis FIG 22-23. Det vore värdefullt om man kunde beräkna hållfastheten, där den bäst behövs ur säkerhetsynpunkt dvs i väggens underdel, BILAGA 2. Vidare vore det värdefullt om man kunde beräkna inverkan av olika åtgärder för att nå tillräcklig hållfasthet där inom önskad tid. Enligt uppgift kommer datorprogram, som klarar nyssnämnda beräkningar, att finnas inom överskådlig tid. Självfallet är redan existerande datorprogram mycket värdefulla, eftersom de kvantifierar inverkan av olika variabler, t ex isolering, betongtemperatur, klimat, hållfasthetsklass.

Överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta värden var ibland god ibland mindre god och i vissa fall dålig. Det senare exemplifieras av vägg 2 i Västerås, FIG 36, där uppgifterna om den motgjutna, kalla väggen sannolikt har varit missvisande. Ett exempel på god överensstämmelse är vägg 1 i Västerås, FIG 36.

De datorberäknade hållfastheterna avser kubhållfastheten, medan mätningarna gäller färdig konstruktion. I Tabell 26-28 och FIG 36,38 och 40 har de beräknade hållfastheterna reducerats enligt FIG 41. Enligt denna ökar reduktionen med hållfastheten. Samma procentuella hållfasthetsreduktion som vid 28 dygn har förutsatts även vid lägre åldrar. Motsvarande reduktion har gjorts för hållfastheter erhållna med hjälp av termoelement, Coma-meter och Tuutti-meter, eftersom dessa bygger på tendenskurvor för kuber. Värdena från studsmatrare och ultraljudsmätare har ej reducerats, då de mäter hållfastheten direkt.

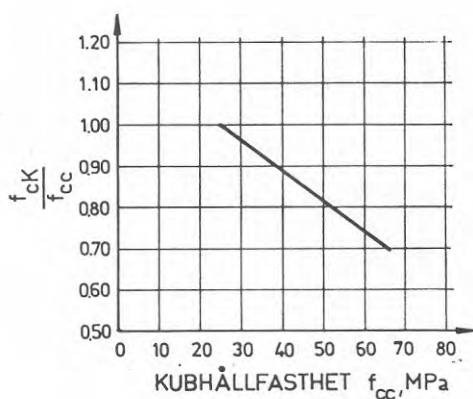


FIG 41 Variation av förhållandet mellan konstruktionens betonghållfasthet och hållfastheten hos standardprovkroppar, kuber, som funktion av hållfasthetsnivå. Petersons /1969/, återgiven i Betonghandbok Material /1982/.

I Tabell 27-28 och FIG 37 och 39 har i vissa fall hållfastheten beräknats vid olika fördröjning, R i timmar, av hållfasthetsutvecklingen i tidig ålder.

Genom att reducera de beräknade hållfastheterna med hänsyn till färdig konstruktion blir överensstämmelsen med uppmätta hållfastheter bättre i några fall. I en del andra fall blir säkerheten högre för de beräknade värdena. Kvar står dock en del fall, där de beräknade hållfastheterna är högre än de uppmätta, t ex vägg 8 i Örebro. En förklaring kan vara försenad start av hållfasthetstillväxten. I Örebroväggen 8 uppnår man exempelvis överensstämmelse mellan beräknade och uppmätta värden, om man räknar med en fördröjning av R=2-3 timmar, FIG 37. Sådana fördröjningar synes oundvikliga ibland med tanke på de variationer som finns i cementets bindetider och betongens hållfasthet i tidig ålder. Oftast krävs en mindre fördröjning än ovan för överensstämmelse mellan beräknade och uppmätta värden.

Som nämnts tidigare har datorberäkningarna baserats på den använda betongens verkliga 28-dygnshållfasthet eller uppskattas ur betongstationens statistik. Några väggar har i efterhand räknats om med hållfastheten i den undre 5%-fraktilen för aktuell hållfasthetsklass, linjerna med korta streck i figurerna. Om man utgår från 5%-fraktilen i beräkningarna, får man att döma av denna undersökning endast ett fåtal undertramp. Självfallet kan det vara motiverat att uppskatta verklig hållfasthet och avformningstid med ledning av tidigare resultat. Lika självfallet bör det vara, att man kontrollerar uppnådd hållfasthet före formrivning.

6.3.2 Inverkan på den tidiga hållfastheten av olika åtgärder

Väggar

Hållfastheten i några av väggarna i fältundersökningen, kap 5, har beräknats med olika förutsättningar beträffande klimat och formarnas isolering.

Vägg 1 i Västerås har genomräknats enligt följande förutsättningar för lufttemperatur och vind.

0°C	vindstill
0°C	vind
-10°C	vindstill
-10°C	vind

För övrigt gällde förutsättningarna i Tabell 4, bl a med normalisolerad form. En kompletterande beräkning gjordes därutöver för -10°C och vindstill med välisolerad form. Med välisolerad form menas att formreglarna är så placerade, att de ej blir köldbryggor.

Resultaten framgår av FIG 42-43. Den förra visar klimatets inverkan, den senare isoleringens. Den välisolerade formen är här den enda möjligheten att klara BBK's krav på 6 MPa vid formrivning redan dagen efter gjutning om temperaturen är så låg som i exemplet, -10°C. I den mån konstruktören visar, att lägre hållfasthet är tillräcklig på grund av armering, tvär-

gående väggar etc, borde man även med den normaliserade formen kunna avforma dagen efter gjutning.

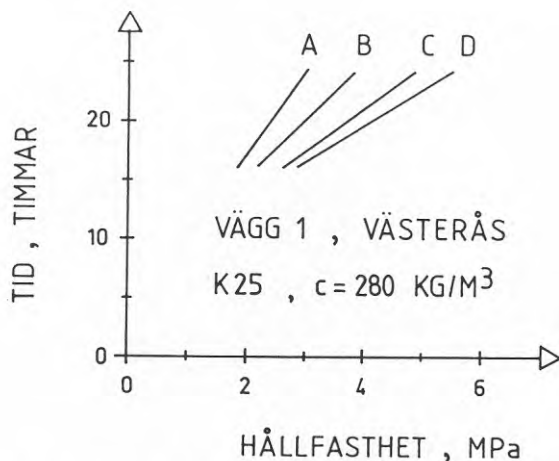


FIG 42 Beräknad erforderlig tid för viss tryckhållfasthet i olika klimat för normaliserad form.

- A = lufttemperatur -10°C , vind
- B = lufttemperatur -10°C , vindstill
- C = lufttemperatur 0°C , vind
- D = lufttemperatur 0°C , vindstill

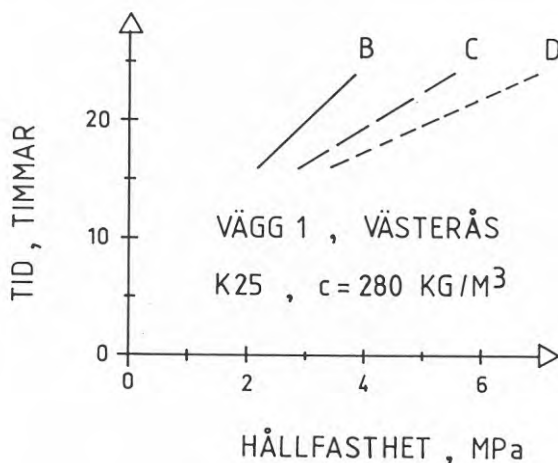


FIG 43 Beräknad erforderlig tid för viss tryckhållfasthet vid normaliserad och välisolerad form.

- Lufttemperatur -10°C , vindstill
- B = normaliserad form 100 mm
- C = välisolerad form 50 mm
- D = välisolerad form 100 mm

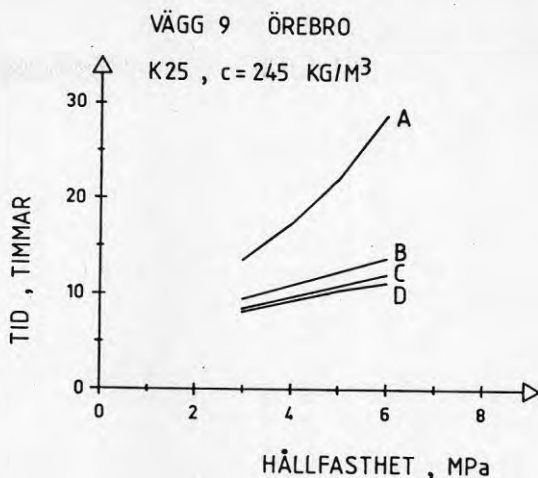


FIG 44 Beräknad erforderlig tid för viss tryckhållfasthet vid olika grad av formisolering.

- A = oisolerad 22 mm formplywood
 B = normalisolerad form 100 mm
 C = välisolerad form 50 mm
 D = välisolerad form 100 mm

Lufttemperatur -15°C , vind 0-4 m/s. Betongtemperatur 21°C . Se även Tabell 8.

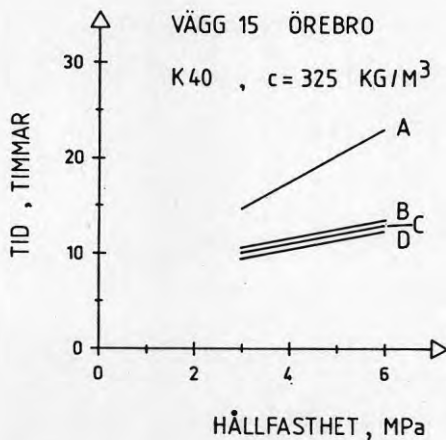


FIG 45 Beräknad erforderlig tid för viss tryckhållfasthet vid olika grad av formisolering.

- A = oisolerad 12 mm formplywood
 B = normalisolerad form 100 mm
 C = välisolerad form 50 mm
 D = välisolerad form 100 mm

Lufttemperatur 0°C , vind 5 m/s. Betongtemperatur 14°C . Se även Tabell 11.

Vägg 9 i Örebro var oisolerad, men hade viss värmeförsel genom värmekablar, FIG 44 åskådliggör effekten av olika slags isolering. Där framgår tydligt isoleringens förmåga att tillvarata den värme betongen har från början och den som utvecklas under hydratiseringen. I detta speciella fall klarade sig väggen utan isolering i den stränga kylan på grund av väggjockleken, som var 200 mm och den höga betongtemperaturen 21°C . En mindre, lokal frostska (frostkristaller) fanns i väggens överdel, FIG 26.

Vägg 15 i Örebro hade normalisolering. Den har här även beräknats med oisolerad och välisolerad form men för övrigt med samma förutsättningar som tidigare, Tabell 11. Skillnaden mellan oisolerad form och isolerad är markant, FIG 45. Däremot blir verkan av de olika isoleringarna obetydlig i detta fall. Det beror liksom i vägg 9 ovan på relativt stor väggjocklek. En jämförelse mellan den oisolerade väggen 9 med 245 kg/m^3 cement och den normaliserade väggen 15 med 325 kg/m^3 cement visar ingen större skillnad. Isoleringseffekten upphävs här framför allt av betongtemperaturen efter färdig gjutning, som i vägg 9 var 21°C gentemot 14°C i vägg 15.

Vägg 13 i Örebro med cementhalten 242 kg/m^3 har räknats om för samma betong som användes i vägg 15, dvs med cementhalten 325 kg/m^3 ($f_{cc}^{28} = 54\text{ MPa}$). Dessutom har samma vägg räknats om för cementhalten 285 kg/m^3 ($f_{cc}^{28} = 48\text{ MPa}$), FIG 46. Beräkningen visar klart den gynnsamma inverkan en ökad cementhalt har på den tidiga hållfasthetsutvecklingen. Cementhaltsökning är en åtgärd, som kan sättas in med kort varsel, eftersom den ej kräver förberedelser eller anskaffning av kompletterande utrustning.

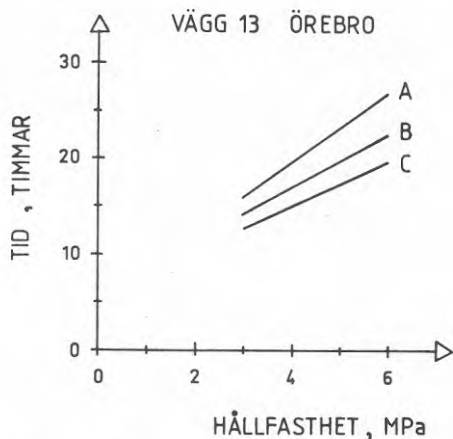


FIG 46 Beräknad tid för viss tryckhållfasthet vid olika cementhalter med normaliserad form.

A = cementhalt 242 kg/m^3 ($f_{cc}^{28} = 42\text{ MPa}$)

B = cementhalt 285 kg/m^3 ($f_{cc}^{28} = 48\text{ MPa}$)

C = cementhalt 325 kg/m^3 ($f_{cc}^{28} = 54\text{ MPa}$)

Lufttemperatur $0 - -8^{\circ}\text{C}$, vind $0 - 5\text{ m/s}$
Betongtemperatur 14°C . Se även Tabell 9

Man ser av exemplen ovan, att det går att avforma dagen efter gjutningen även med BBK's krav, om lämpliga åtgärder vidtas, t ex i form av isolering, ökad cementhalt och förhöjd betongtemperatur. Detta är möjligt även vid låg temperatur och vind. En mycket viktig reservation måste dock göras. Man måste ordna skydd mot värmeförluster i väggens över- och underdel, framför allt i den senare. Där kan t ex värmetillförsel bli aktuell, om formrivningen skall ske med tillfredsställande säkerhet.

Med ledning av resultaten från beräkningarna har en uppskattning gjorts av erforderlig energitillförsel för att uppnå 6 MPa efter 15 h för en vägg gjuten av betong K25 med cementhalt 245 kg/m³. Energittillskotten redovisas i Tabell 29. Där är dels räknat med hållfasthetsvärdet $f_{cc}^{28} = 25$ MPa, dvs den undre 5%-kvartilen, dels med $f_{cc}^{28} = 30$ MPa, som närmast motsvarar medelvärdet för K25. Det senare värdet kräver avsevärt mindre energitillförsel än det förra. Överensstämmelsen med motsvarande värden i Tabell 32 i kap 8 är ganska god. Den grova uppskattningen motiverar egentligen ej de i tabellen använda decimalerna. Dessa har tagits med för att något skilja på inverkan av olika klimat.

Energittillförseln måste ske så tidigt under 15-timmarsperioden att man hinner dra nytta av den.

Tabell 29 Uppskattat behov av energitillförsel för att uppnå 6 MPa efter 15 h i en vägg av K25 med 245 kg cement/m³. Värdena inom parentes avser 4 MPa efter samma tid.

Klimat	Temp °C	Vind m/s	Erforderligt energitillskott vid	
			$f_{cc}^{28} = 30$ MPa kWh	$f_{cc}^{28} = 25$ MPa kWh
	0	0	4 (2,0)	6,8 (4,0)
	0	7	4,2	7
	-10	0	4,7	7,3
	-10	7	5	7,6

Bärlag

Med utgångspunkt från de båda bärlagen 2a och 2b har tiden för att uppnå en viss bestämd hållfasthet beräknats vid en rad olika åtgärder. Dessa två bärlag har valts för jämförelsen, dels därför att de göts samtidigt dels därför att de utgjorde var sin del av ett och samma större bärlag.

FIG 47 visar skillnaden i hållfasthetstillväxt utan intäckning och med god intäckning. Med god intäckning menas här sådan intäckning av utrymmet under bärlaget, att temperaturen där blir 10°C högre än utan intäckning.

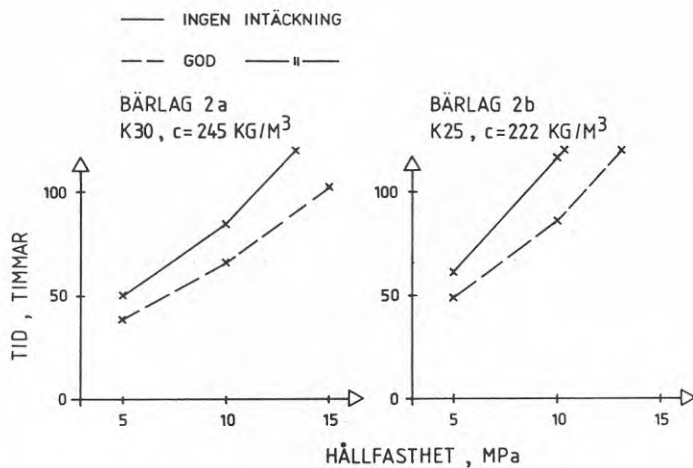


FIG 47 Beräknad erforderlig tid för en viss tryckhållfasthet med och utan intäckning . Tillförd värme 130 w/m^2 , varav 65 w/m^2 förutsätts komma bjälklaget till godo. Data enligt Tabeller 20-21.

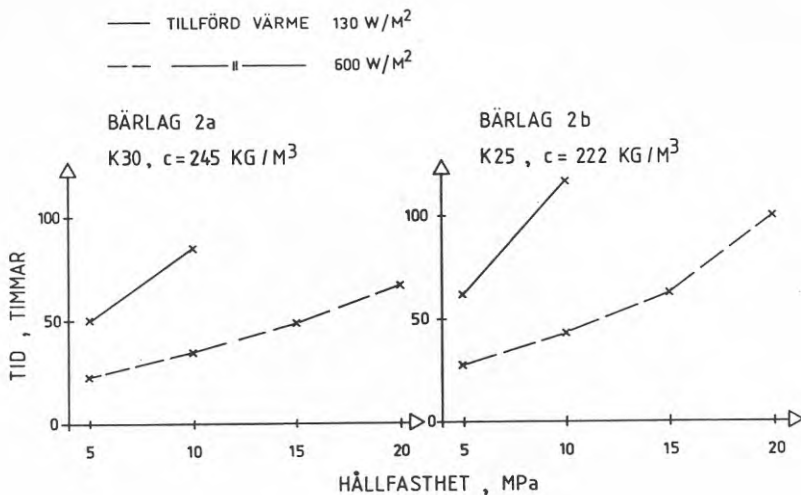


FIG 48 Beräknad erforderlig tid för att uppnå en viss tryckhållfasthet vid olika värmeförsel. Av den i figuren angivna effekten antas hälften komma bärlaget tillgodo. Ingen intäckning eller täckning har förutsatts. Data enligt Tabeller 20-21.

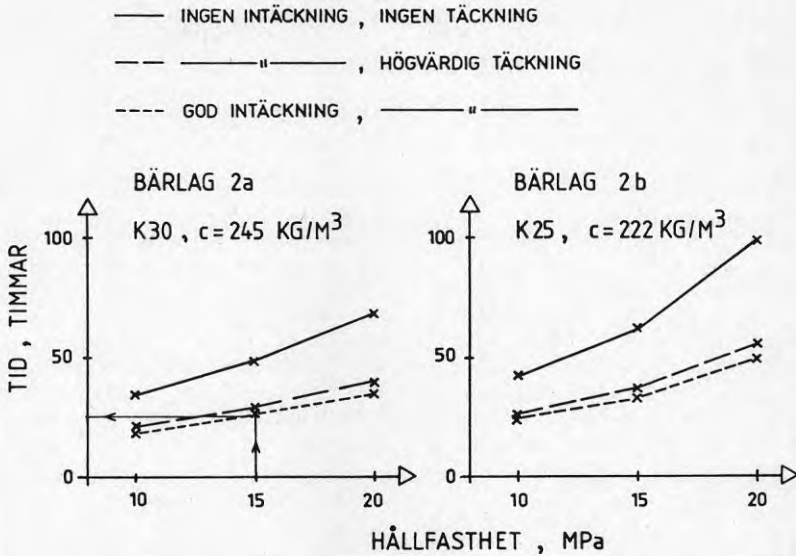


FIG 49 Beräknad erforderlig tid i timmar för att uppnå en viss hållfasthet med olika åtgärder. Tillförd värme 600 w/m^2 , varav 300 w/m^2 förutsätts komma bärlaget tillgodo. Data enligt Tabeller 20-21.

Inverkan av olika värmertilförsel exemplifieras i FIG 48. Värmen tillförs i form av gasuppvärmning. Av den installerade värmen, som anges i figuren, förutsätts att hälften kommer bärlaget till godo.

Betydelsen av täckning och intäckning framgår av exemplet i FIG 49. Med högvärdig täckning menas minst 10 mm expanderad polyeten eller likvärdigt.

Tillsammans visar exemplen, att man utan speciella åtgärder måste vänta med formrivningen i mer än en vecka för att nå BBK's 70% av en normal bärlagshållfasthet, 17,5 MPa vid K25, FIG 46. Å andra sidan uppnås önskad hållfasthet inom ett par dygn med lämpliga åtgärder, t ex ökad cementhalt, värme, intäckning och täckning, FIG 49. BBK medger lägre avformningshållfasthet än 70% av den nominella sluthållfastheten, om man kan visa, att den lägre hållfastheten är tillräcklig. Vid ett bärlag med liten spännvidd synes en avformningshållfasthet av 15 MPa möjlig. Detta måste dock avgöras av konstruktören. Med åtgärderna i FIG 49 skulle en formrivningstid på ett dygn vara möjlig, se pilarna i figuren. Å andra sidan kan en stor spännvidd eller extra last motivera en högre formrivningshållfasthet och därmed längre väntetid före avformning. Ett samarbete mellan byggsplats och konstruktör ökar möjligheten till optimal ekonomi med tillräcklig säkerhet.

För bärlag bestämmer ofta deformationerna snarare än brottrisk- en erforderlig hållfasthet, Samuelsson (1983).

6.3.3 Användning och behov av datorberäkningar

Beräkningarna visar en relativt god överenskommelse med mätresultaten. Att på förhand beräkna hållfastheten med stor noggrannhet i ett enskilt fall synes ej möjligt. Detta beror mindre på brister i beräkningsmetoden än på variationer, som ej kan förutses, i betongmaterial och i klimat. Väljer man tendenskurvor som bygger på hållfasthetsklassens nedre 5-procentsfraktil bör säkerheten bli tillfredsställande.

Datorberäkningarnas största värde synes vara vid studier av olika åtgärders inverkan på hållfastheten. Omfattande sådana beräkningar redovisas av Jonasson (1985). Vad man för tillfället saknar är program, som anvisar skyddsåtgärder vid gjutning mot nedkyllt underlag. Fältmätningarna vittnar om behovet av sådana skyddsåtgärder.

Datorundersökningar ersätter inte kontroll av formrivningshållfastheten. De kan däremot bidra till ett ekonomiskt material- och metodval med hållfasthetskontroll på byggplatsen som en säkerhetsventil.

7 PRAKTISK TILLÄMPNING AV VUNNA ERFARENHETER

Ett allmänt intryck från byggarbetsplatsen är att ekonomin i samband med betongarbeten i allmänhet och vinterarbeten i synnerhet icke beaktas på rätt sätt.

Man förväxlar ofta summan av delkostnader för betongarbetet i sig med totalekonomin, vilket ibland kan vara en källa till felaktigheter. Det som i stor utsträckning avgör slutkostnaden är kostnaden för att uppnå ett visst slutresultat, varvid eventuella efterarbeten måste beaktas. Tidsaspekten, t ex i form av kortare formrivningstider måste också vägas in i slutkostnaden.

Det visar sig också, att konstruktören har en viktig roll vad det gäller ekonomin. För bärlag t ex tillämpas 0,7 • fordrat K-värde som formrivningshållfasthet. I många fall torde ett lägre värde kunna tillämpas. Detta gäller för korta spännvidder där nedböjningen till följd av egenvikt inte blir särskilt stor. Att i ett sådant fall kunna minska tiden mellan gjutning och formrivning med en dag torde ligga inom möjligheternas gräns.

Det omvända förhållandet gäller också. Konstruktören bör i dylika fall ange formrivningshållfasthet vid ökad last eller stora spännvidder. Om inte dessa uppgifter anges på ritningen händer det ofta att byggaren tar till tid i överkant.

För väggjutningar gäller vanligen 6 MPa som formrivningshållfasthet. För väggar som ansluter till föregående väggar eller till dimensionerna avviker från det normala torde 6 MPa vara en onödigt hög hållfasthet. Beräkningar visar att 4 MPa i många fall skulle vara tillräckligt. I dylika fall bör konstruktören ange detta på ritningen. Observera att vid risk för tidig frysning gäller under alla omständigheter 5 MPa.

Betongens mognadsgrad vid formrivningstillfället bör kontrolleras på byggarbetsplatsen. Härvid beaktas särskilt farliga tvärsnitt i konstruktionen. För att kontrollera mognadsgraden finns ett stort antal metoder, direkta och indirekta, kap 4. Vid användning av indirekta metoder kan betongleverantörens hållfasthetsstatistik användas.

I tabellerna 32 och 33 finns en del uppgifter om det energitillskott som fordras för att uppnå en viss mognadsgrad. Cementhalten i de båda tabellerna har baserats på erfarenheter från byggplatsen. I den mån tabellerna inte täcker det område som gäller i ett visst praktiskt fall kan med fördel skriften Vinterbetong användas, Jonasson /1985/.

Tabellerna är baserade på den hållfasthetsutveckling som man normalt kan förvänta i Sverige. För avvikelser från normalfallen har inga tillägg gjorts. Avsikten är inte att tabellerna skall användas okritiskt, utan de skall tjäna som en fingervisning för att byggaren skall kunna uppskatta energibehov och val av metod.

8 OLIKA UPPVÄRMNINGSSYSTEM ELLER ANDRA SÄTT ATT UPPNÅ TILLRÄCKLIG HÅLLFASTHET INOM FASTSTÄLLD TIDSRAM

De vanligen använda metoderna är följande:

- o Höjning av betongens hållfasthetsklass (ökning av cementhalten).
- o Byte av cementtyp.
- o Användning av acceleratorer.
- o Hetbetong (50-60°C).
- o Uppvärmning med byggtork eller liknande utrustning.
- o Uppvärmning medelst infraröd strålning.
- o Uppvärmning med ingjutna termoelement.

Isolering måste alltid användas under verkliga vinterförhållanden annars blir de ovan redovisade metoderna mer eller mindre verkningslösa.

Av tabellerna framgår att en av de billigaste metoderna att åstadkomma en snabbare hållfasthetsuppgång är att öka cementhalten (höja hållfasthetsklassen).

Denna metod har, förutom att den är relativt billig, den fördelen att det inte krävs några investeringar i utrustning, som måste användas i viss omfattning, i de flesta fall på mer än ett objekt, för att de redovisade priserna skall gälla.

Genom att höja hållfasthetsklassen till K40, får man, som framgår av försöksresultaten, goda korttidshållfastheter.

Kostnaderna för olika metoder att uppnå formrivningshållfasthet har bedömts efter uppgifter från firmor, som tillhandahåller utrustning, från arbetsplatser och i viss mån egna kontrollkalkyler. De relativt stora spridningarna hänför sig till olikheter i objektens storlek och andra faktorer som inverkar på kostnaderna. Omräkning har även gjorts till respektive från kubikmeter från respektive till kvadratmeter. Detta betyder dock inte att de angivna kostnaderna gäller för vilken konstruktion som helst; de är endast tillämpbara för normala bärlags- och väggkonstruktioner.

De angivna kostnaderna för hetbetong är osäkra eftersom erfarenheterna i Sverige inte är tillräckliga. Kapitalkostnaderna per volymenhet betong beror i hög grad på utnyttjandegraden och denna faktor känner vi inte alls. En del erfarenheter från Finland borde dock kunna tillämpas även i Sverige.

I Finland är hetbetong i några fall prissatt i vissa betongfabrikers officiella prislista.

När det gäller kostnadsskillnaderna mellan olika hållfasthetsklasser har priser inhämtats från ett antal betongleverantörer, huvudsakligen i mellersta och västra Sverige.

I tabellerna 32 och 33 anges effekterna av olika åtgärder. Genom att gå in i dessa tabeller bestäms erforderlig åtgärd, varefter den ungefärliga kostnaden för åtgärden kan fås ur tabellerna 30 och 31.

Vid beräkning av kostnader med olika metoder för att uppnå formrivningshållfasthet har de i praktiken vanligen förekommande formrivningstiderna använts, dvs för väggar 15-20 timmar och för bärlag 3-4 dygn.

Tabell 30 Jämförelse mellan olika sätt att klara formrivningshållfasthet för väggar (K25). Isolerad form.

Metod	Kostnad kr/m ²	Kostnad kr/m ³
1 Höjning av hållfasthetsklass till K30	3 - 5	25 - 30
2 Dito, K40	6 - 9	50 - 65
3 Hetbetong 50-60°C	8 - 15	80 - 100
4 Uppvärmning med byggtork	15 - 20	120 - 143
5 Uppvärmning med infraröd strålning *)	9 - 11	70 - 90
6 Ingjutna termo-element	12 - 22	95 - 110

*) Värmning med infraröd strålning används huvudsakligen för uppvärmning av bärlag. Den ger en mycket stor temperaturgradient genom plattan vid ensidig uppvärmning och bristfällig täckning.

Tabell 31 Jämförelse mellan olika sätt att uppnå formrivningshållfasthet för bärlagsplattor (K25) under kalla förhållanden

Metod	Kostnad kr/m ²	Kostnad kr/m ³
1 Höjning av hållfasthetsklass till K30	4 - 6	25 - 30
2 Dito, K40	7 - 13	50 - 65
3 Hetbetong 50-60°C	11 - 25	80 - 100
4 Uppvärmning med byggtork	17 - 28	120 - 143
5 Uppvärmning med infraröd strålning	10 - 18	70 - 90
6 Ingjutna termo-element	11 - 20	80 - 100

Under energislöseriets dagar var användningen av byggtork den vanligaste metoden att värma husstommar under uppförandeperioden och en tid därefter.

Denna metod ger stora energiförluster och är följaktligen mycket dyr. En ganska vanlig metod numera är att man uppvärmer nygjutna bjälklag på undersidan med gasolvärmare eller med eldrivna element med infraröd strålning.

Uppvärmning genom ingjutna motståndstrådar är en metod som synes vara effektiv och inte allt för kostsam.

En jämförelse mellan denna metod och traditionell uppvärmning med byggtork finns redovisad i figuren nedan. I de redovisade fallen har man av vissa skäl använt båda metoderna för uppvärmning av byggnaderna under en längre period.

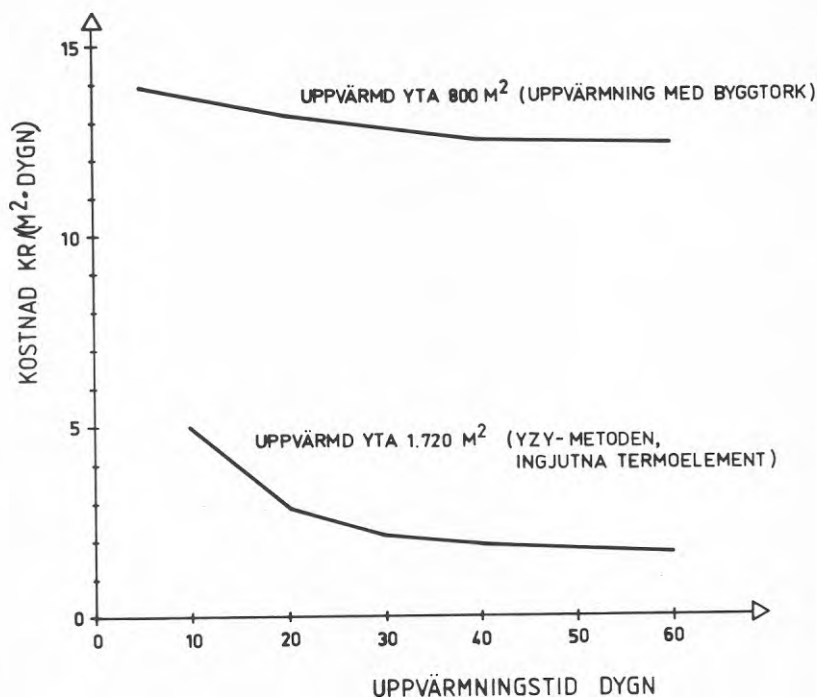


FIG 50

Uppvärmningskostnaden som funktion av tiden (priser från 1981)

Tabell 32 Konstruktionstyp väggar. Normalisolerad form. De olika uppvärmningssystemens beteckning, se Tabell 30.

Tid till av- formning timmar	Hållfast- hetskrav MPa	Utomhus- temperatur °C	Vind- styrka m/s	Betongtemp vid gjutning °C	Cementhalt kg/m ³	Energi som måste till- föras kWh/m ²	Metod att tillföra energi
15	6	0	0	15	245	-	2
15	6	0	0	15	245	4	2+6
15	6	0	0	-	-	-	3
15	6	0	0	15	245	4	6
15	6	0	7	15	245	6	2+6
15	6	0	7	-	-	-	3
15	6	0	7	15	245	6	6
15	6	-10	0	15	245	5	2+6
15	6	-10	0	-	-	-	3
15	6	-10	0	15	245	5	6
15	6	-10	7	15	245	7	2+6
15	6	-10	7	-	-	-	3
15	6	-10	7	15	245	7	6
15	4	0	0	15	245	~ 1	2
15	4	0	0	15	245	~ 1	6

Kommentarer till Tabell 32 som gäller väggjutningar

Tabellen skall användas så att man bedömer temperatur och vindstyrka och utifrån dessa data bestämmer metod för värmetillförsel. Kravet 6 MPa gäller normalt om inget annat anges på ritningen. Dessutom gäller kravet på frostsäkerhet, lägsta hållfasthet 5 MPa.

Ungefärliga kostnader för olika metoder anges i Tabell 30. Bland de billigaste metoderna är cementhaltshöjning (uppflyttning i högre hållfasthetsklass). Här fordras inga investeringar. Tyvärr räcker inte det energitillskott man får på detta sätt för de svårare fallen. Man kan naturligtvis tänka sig kombinationer av cementhaltshöjning och andra uppvärmningsmetoder. För att få ett tillskott på 4 kWh/m^2 i en väggkonstruktion under de 15 första timmarna efter gjutning skulle en höjning till K40 i kombination med termoelement som ger effekten 30 W/m betyda att 7 m värmetråd per m^2 skulle behövas. Detta motsvarar c/c 300–350 mm. Värmetråden kan appliceras i ingjutna rör så att den kan återanvändas.

Ett annat sätt är givetvis att höja ingångstemperaturen eventuellt i kombination med höjd cementhalt.

En höjning till 30°C i kombination med hållfasthetsklass K40 motsvarar ungefär $2,5 \text{ kWh/m}^2$ i energitillskott. Vid så hög betongtemperatur och tillämpning av vanlig betongteknologi (dvs ej hetbetong) uppkommer dock gjuttekniska problem som är svåra att bemästra.

För hetbetong har varken cementhalt, energitillskott eller temperatur angivits. Cementhalten måste vara avsevärt förhöjd för att kompensera hållfasthetsbortfallet, temperaturen torde i allmänhet vara $50\text{--}60^\circ\text{C}$.

Konstruktören kan ange annat krav på formrivningshållfasthet än 6 MPa som gäller enligt BBK 79.

Beräkningar visar att 4 MPa skulle vara tillräckligt i många fall. För att visa detta har vi tagit med ett sådant fall. Här måste dock följande villkor gälla.

- a) Konstruktören har angivit 4 MPa på ritningen.
- b) Konstruktionen får inte utsättas för frostrisk under de första timmarna. Om frostrisk finns gäller värdet 5 MPa.

Lägg märke till att här räcker det med att höja hållfasthetsklassen till K40 för att klara kravet under exempelvis en kall natt på hösten eller våren. Förutsättningen är givetvis att formen är normalisolerad.

Tabell 33 Konstruktionstyp bärlag. Täckning med mineralullsmatta eller liknande. De olika metodernas beteckning, se Tabell 31.

Tid till av- formning timmar	Hållfast- hetskrav MPa	Utomhus- temperatur °C	Vind- styrka m/s	Betongtemp vid gjutning °C	Cementhalt kg/m ³	Energi som måste till- föras ² kWh/m ²	Metod att tillföra energi
72	17,5	0	0	15	215	6	2+6
72	17,5	0	0	15	215	11	2+5
72	17,5	0	0	-	-	-	3
72	17,5	0	0	15	215	12	5
72	17,5	0	0	15	215	6	6
72	17,5	0	7	15	215	9	2+6
72	17,5	0	7	15	215	17	2+5
72	17,5	0	7	-	-	-	3
72	17,5	0	7	15	215	18	5
72	17,5	0	7	15	215	9	6
72	17,5	-10	0	15	215	9	2+6
72	17,5	-10	0	15	215	17	2+5
72	17,5	-10	0	-	-	-	3
72	17,5	-10	0	15	215	18	5
72	17,5	-10	0	15	215	9	6
72	17,5	-10	7	15	215	11	2+6
72	17,5	-10	7	15	215	21	2+5
72	17,5	-10	7	-	-	-	3
72	17,5	-10	7	15	215	22	5
72	17,5	-10	7	15	215	11	6

Kommentarer till Tabell 33 avseende konstruktionstyp bärlag

I tabellen redovisas några fall vid gjutning av bärlag K25 som enligt ritning skall uppnå 17,5 MPa innan formrivning får ske. Som önskvärd formrivningstid har valts tre dygn, vilket gör att för en gjutning som utförs på fredagen kan formrivning ske på måndagen.

Man frågar sig kanske varför olika energitillskott anges för olika metoder med i övrigt samma villkor. Förklaringen är att undersökningar har visat att vid uppvärmning med strålningsvärme endast ca hälften av energin absorberas. Detta är förklaringen till att metod 5 har högre energivärden än t ex metod 6.

Den energi som tillförs är ganska billig, varför det ofta är andra faktorer som påverkar kostnaderna mera, t ex avskrivningar, montering m m.

Energikostnaden för uppvärmning med termoelement är t ex för fallet -10°C och vind 7 m/s, $11 \cdot 0,33 = 3,63 \text{ kr/m}^2$. Eftersom enligt Tabell 31 totalkostnaden (exklusive administration, vinst och risk) vanligen pendlar runt 15-16 kr/m² förstår man därav att avskrivningar, montering och nedmontering dominerar kostnaderna.

9 EKONOMI

Våra undersökningar har klarlagt ett samband mellan bearbetbarhet, mätt som omformningstal, vibreringstid och frekvens av ytporer i betongen.

Eftersom utlagning av väggar kostar ca $8-9 \text{ kr/m}^2$ inklusive material, dock exklusive administration, vinst och risk, kan ganska stora inbesparingar göras genom att välja rätt betongtyp och vibrera i den omfattning och på det sätt som erfordras.

En vägg med mindre än 20 ytporer/m^2 kan lämnas utan åtgärd. Genom att välja en lämplig betong (omformningstal < 20) och vibrera minst 850 sekunder per m^3 betong erhålls enligt våra erfarenheter en yta som inte behöver efterbehandlas. Avståndet mellan nedsticken bör då vara $5 \times$ stavdiametern. Merkostnaden för denna åtgärd uppskattas till 35 kr/m^3 eller ca $2:50 \text{ kr per m}^2$ vägg om båda sidorna medräknas.

Kostnaden för att åtgärda väggens båda sidor, ca $18 \text{ kr}/2 \cdot \text{m}^2$, skall alltså jämföras med åtgärder för att minska ytporerna som kostar $5 \text{ kr}/2 \cdot \text{m}^2$.

Med den betongteknologi som många avancerade betongfabriker använder idag, kan entreprenören ofta erhålla en betong med omformningstal ≤ 10 utan någon särskild merkostnad. Den enda merkostnad som behövs för att uppnå $< 20 \text{ ytporer/m}^2$ i ett sådant fall är kostnaden för den ökade vibreringsinsatsen. Studiet av ytporer och deras orsaker visar att en högre cementhalt i väggbetong normalt ger ett lägre omformningstal, dvs minskat vibreringsbehov. Den ökade cementhalten minskar dessutom separationsrisken vid förlängd vibrering.

Vid avstånd mellan nedsticken $5 \times$ stavdiametern blir vibreringstiden vid det ovan nämnda omformningstalet 440 s/m^3 , vilket erfarenhetsmässigt är ungefär den dubbla vibreringstiden mot normalt, motsvarande en merkostnad av ca $1:10 \text{ kr}/2 \cdot \text{m}^2$. Inbesparingen blir här ca $17:-/2 \cdot \text{m}^2$.

Här finns alltså stora kostnadsinbesparingar att göra.

När det gäller kostnaderna för att klara korta formrivningstider och skydda betongen mot kyla kan följande sägas:

En nödvändig åtgärd är att isolera väggformar och täcka nygjutna plattor med lämpligt isoleringsmaterial. Därutöver används de åtgärder som bedöms nödvändiga. Med hjälp av våra tabeller 30 och 31 i kap 8 kan grova kostnadsbedömningar för olika åtgärder göras. Tabellerna 32 och 33 visar de energimängder som under olika förhållanden måste tillföras för att klara angivna formrivningstider. Här kan byggaren väga kostnaden för åtgärder mot vinsten i form av kortare formrivningstider. Det är knappast möjligt att finna generellt tillämpliga beräkningsmetoder.

LITTERATUR

- Bellander, U & Gregorsson, M, 1980. Betongytans porighet - symptom och medicin. Cement- och Betonginstitutet, Rekommendationer 4:80. Stockholm.
- Byfors, J. Plain Concrete at early ages. Cement- och Betonginstitutet, Fo 3:1980. Stockholm
- Cementa AB, 1982. Betonghandbok Material. (Svensk Byggtjänst). Andra upplagan. Stockholm.
- Fredriksson, G, Holzmänn, P & Kjellström, T, 1981. Flytbetong - anpassning av produktionsmetoder. (Statens Råd för Byggnadsforskning) R83:1981. Stockholm.
- Hård, R, 1975. Betongs gjutbarhet - en provningsmetod. (Cement- och Betonginstitutet) Rapport 8:75. Stockholm
- Jonasson, J-E, 1985. Vinterbetong. (Cement- och Betonginstitutet) CBI-information 3.85. Stockholm.
- Nilsson, I. Härdning av betong med elektrisk värmetråd. Byggmästaren 1982:9.
- Nordfeldt, L, Nyman, B & Persson, P E, 1985. Het betong - försök med en metod för gjutning vintertid. (Cement- och Betonginstitutet) Rapport nr 8540. Stockholm.
- Pawlowski, H, 1984. Accelererad härdning av betong medelst elektriska infravärmare. Vintergjutning av betongbjälklag för mässhotellet i Göteborg. Chalmers Tekniska Högskola, avd för Byggnadsmaterial. Intern skrift 84:6. Göteborg.
- Petersons, N, 1969. Should standard cubetest specimens be replaced by test specimens taken from structures? (Cement- och Betonginstitutet) Särtryck nr 54. Stockholm.
- RILEM, Technical committee on winter concreting (39-BH), 1985. Recommendations for concreting in cold weather. Statens Tekniska Forskningscentral, VTT. Espoo, Finland
- Samuelsson, P, 1968. Gjutblåsor i betongytor. Delrapport ur Nordisk Vibreringskonferens, Kungälv, 14-15 november 1968. Svenska Cementföreningen. Malmö.
- Samuelsson, P, 1983. Byggplatsens behov av korttidshållfasthet hos betong. (Statens Råd för Byggnadsforskning) R101:1983. Stockholm.
- Statens Tekniska Forskningscentral, VTT, 1985. Third international RILEM symposium on winter concreting. Espoo, Finland.
- Tuutti, K, 1984. Betongteknik. (Byggförlaget) Fjärde upplagan. Stockholm.
- Ysberg, G, 1978. Metod att klassificera betongs arbetbarhet och ytseparation. (Cement- och Betonginstitutet) Forskning Fo 8:78. Stockholm.

BESKRIVNING AV MÄTMETODER

Nedan ges en något mer utförlig beskrivning av Tuutti-metern och av Coma-metern, den senare i form av ett utdrag ur en informationsskrift från Cementa AB. Vidare ges tendenskurvor, som extrapolerats av Tuutti (1984).

Tuutti-metern

Tuutti-Metern (TM) är en mikroprocessbaserad mognadsgradsmätare för betong. Den används för att efter gjutning få ett mått på betongens mognad och hållfasthet, speciellt i tidig ålder. Naturliga användningsområden blir därför kontroll av formrivningshållfastheten på byggplatser och elementfabriker liksom kontroll av uppspännings- och avspänningshållfasthet hos spännbetong.

TM mäter temperatur och tid och beräknar härur mognadsgraden för betongen. Som temperaturavkännare används ett utbytbart termoelement av typ Järn-Konstantan, amerikansk standard.

TM består av två delar som kan kopplas ihop med en kabel, FIG 1. Det är dels en mätenhet som används för själva mätningarna dels en kommando-enhet som används för att styra mätenheten och avläsa resultat.

Termoelementet gjuts in i betongen på det ställe där temperatur, mognadsgrad eller hållfasthet skall mätas, FIG 1. När mätningen skall starta ansluts mätenheten till termoelementet och placeras intill byggnadsdelen, som skall mätas. Kommando-enheten kopplas i sin tur till mätenheten och aktuell cementsort och hållfasthetsklass ställs in. Efter starten kan kommando-enheten tas bort och förvaras inomhus. När själva mätningen skall ske, kopplas kommando-enheten ånyo till mätenheten och avläsning sker. Det finns två kommandomoder, nämligen en inställningsmod och en mätmod. Övergången från den ena till den andra sker genom en enkel omkoppling (tryckning på knapp). En och samma kommando-enhet kan betjäna flera mätenheter.

Vid mätningen kan man avläsa tid, temperatur och hållfasthet enligt exempel i FIG 2.

Den automatska bestämningen i TM sker på följande sätt:

Temperaturen i betongen mäts var 15:e minut med hjälp av ett termoelement som gjuts in i betongen.

Genomsnittstemperaturen de senaste 15 min beräknas och används för att uppdatera en ekvivalent tid för betongens mognad. Den ekvivalenta tiden är ett mått på hur mognaden hos betongen fortskrider jämfört med om dess temperatur hade varit 20°C. Den ekvivalenta tiden flyter långsammare än den normala tiden vid temperaturer under 20°C.

Med hjälp av den ekvivalenta tiden kan betongens hållfasthet sedan beräknas vid varje tidpunkt.

Mätenheten drivs av 6 st alkaliska batterier och kommando-enheten försörjs från mätenheten.

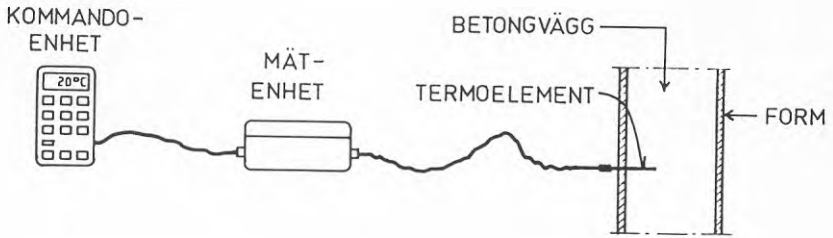
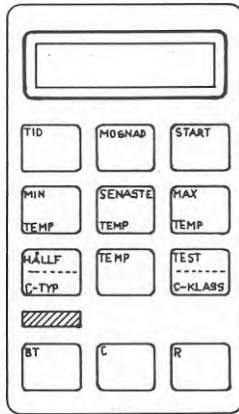


FIG 1 Tutti-meter



Exempel på displayer:

Tid från start	03:18:10
Mognad, t_{ekv}	02:09:58
Start 1	-
2	00:00:00
Min temp	10°C
Senaste temp	L 18°C
Max temp	38°C
Hållf (MPa)	HF: 01
Temp	18°C
Test	FE:00:00
Inställningsmetod	SH 55

Fig 2 Tangentbordet och exempel på svar vid olika kommandon

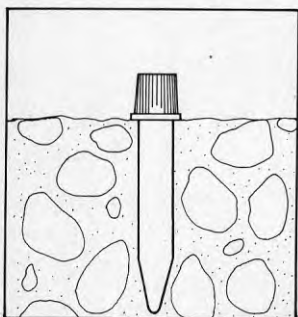
DEN ENKLA METODEN —

COMA-METER består av ett kapillärrör med skala, graderad i antal dygn vid $+20^{\circ}\text{C}$ (M_{20}).

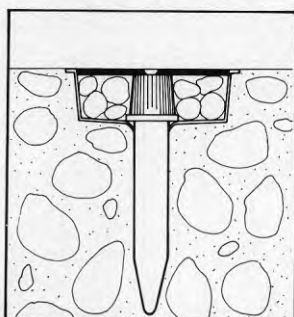
Skala och rör är inskruvade i en plastcylinder, som sticks in i den färska betongen.

Sedan betongen hårdnat, kan mätanordningen skruvas ur och avläsas upprepade gånger.

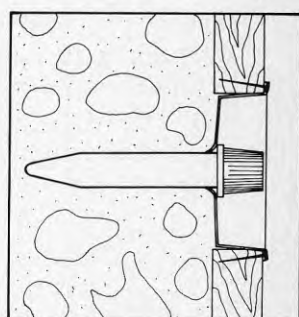
MONTERINGSSÄTT: Mätaren sticks in i betongen med eller utan kopp.



Överyta

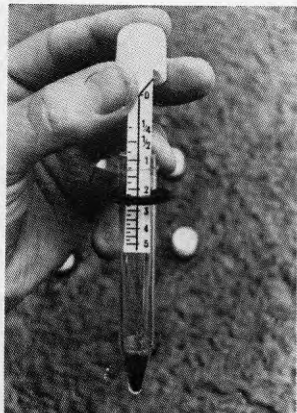


Om slät överyta önskas, använd kopp och lock.

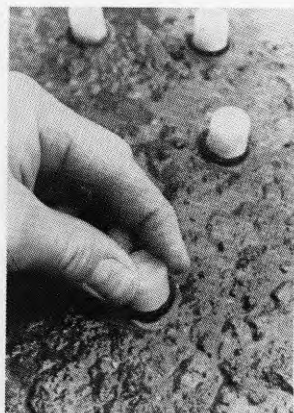


För sidform och undersida används kopp i 75 mm håll.

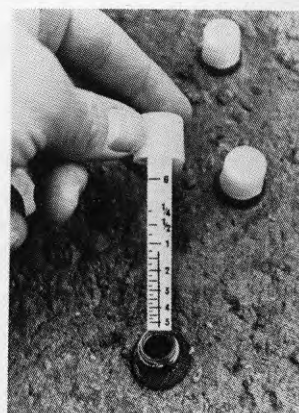
ANVÄNDNINGSSÄTT: Avläs vid lämpliga tidpunkter och skruva in mätaren igen.



Bryt kapillärröret vid 0-punkten.



Skruva ihop, stick in mätaren i betongen.



Avläs M_{20} . Om värde: $\dot{\iota}$ för lågt, stick in mätaren igen, avvakta senare tidpunkt.

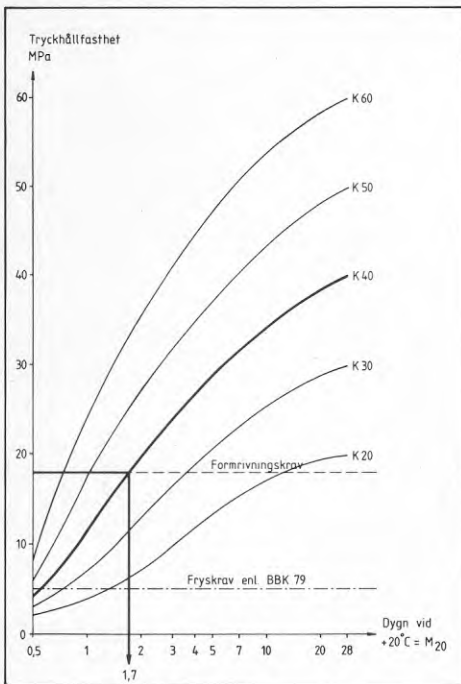
TEKNISKA DATA: Mätområde: 0-5 M_{20} -dygn (dygn vid $+20^{\circ}\text{C}$). Noggrannhet: 10%. Temperatur: -5 — $+60^{\circ}\text{C}$. Lagringstemperatur: Max $+25^{\circ}\text{C}$.

COMA-METER !

Kapillärröret i COMA-METER innehåller en speciell vätska, som avdunstar sedan röret brutits. Avdunstningen sker i en takt, som bestäms av tid och temperatur. COMA-METER sammanfattar på så sätt tid- och temperaturmätning i en färsk betong. Den anger mognadsgrad i antal dygn vid +20°C genom vätskeytans läge.

Känner man sambandet mellan mognad och hållfasthetstillväxt vid +20°C för en given betongblandning, t ex K 40 T från din betongfabrik, kan hållfastheten vid andra (och varierande) temperaturer bedömas direkt efter avläsning av en COMA-METER.

Du som tillverkar betong kan för dina kunders räkning enkelt skaffa fram de samband, som behövs genom att vid tillverkning av dina ordinarie betongkuber gjuta några extra för varje blandning och trycka dem vid 1, 3, och 7 dygn, komplettera med 28-dygnsvärdet och rita in i diagram av nedanstående typ.



Labororiemässigt fastställt samband mellan mognad (M_{20}) och hållfasthetstillväxt för aktuell betongblandning medger kontroll av frysrisk och härdningskrav i betongbestämmelserna samt avformningstidpunkt och belastningsmöjligheter.

OBS att laboratorieundersökningen vid +20°C måste avse samma blandning som den i konstruktionen, dvs ha samma vct, cementinnehåll, ev tillsatser etc.

Vidstående figur visar exempel på laboratoriekurvor för några blandningar.

COMA-METER är ett praktiskt hjälpmedel och kan aldrig ersätta ordinarie betongprovning.

Litteratur: "COMA-METER - the mini maturity meter", A. J. Hansen, nordisk betong 4:1981.

COMA-METER levereras i polystyrenförpackning, innehållande 5 st mätare. Som tillbehör finns även plastkopp och lock, som ger släta ytor, medger montering i formvirke och ger ett enklare handhavande i vissa lägen.

Tendenskurvor vid tidig ålder.

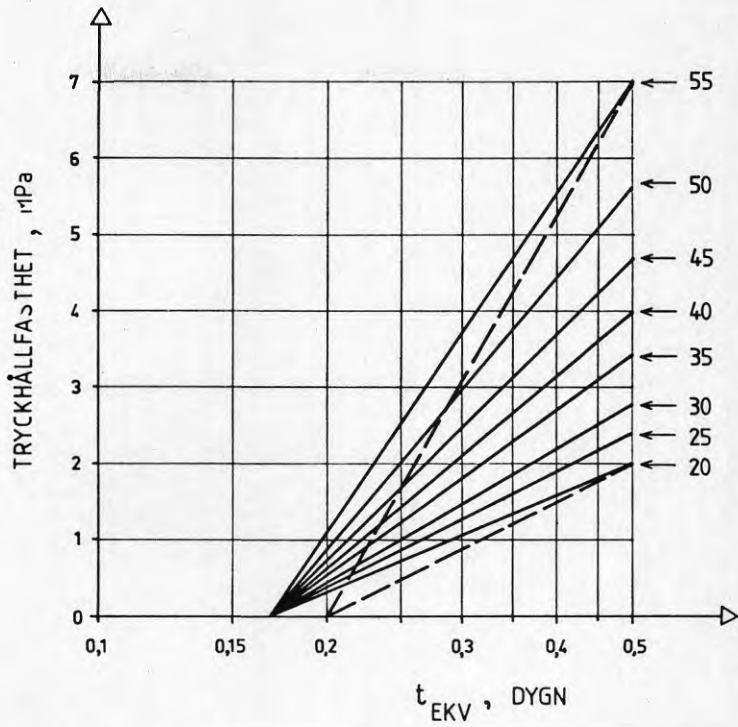


FIG 3 Tendenskurvor extrapolerade för $t_{ekv} < 0,5$ dygn ur Tuutti /1984/. Heldragna linjer förutsätter, att hållfasthetsutvecklingen startar 4 timmar efter gjutning och streckade att den startar efter 5 timmar.

VILKEN AVFORMNINGSHÅLLFASTHET BEHÖVS - VAR BEHÖVS DEN?

I betongbestämmelserna, B5, av Statens Betongkommitté (1973) sägs att erforderlig betonghållfasthet för formrivning skall anges på konstruktionsritning. Fixerade värden på avformningshållfasthet eller formrivningstid ges ej. Däremot ger B5 vissa allmänna anvisningar om säkerhetsgrad, vidhäftning, risk för spjälkning m m. Vidare nämns en rad faktorer som påverkar den tid som behövs för att nå erforderlig hållfasthet vid formrivning. B5 hänvisar också arbetsledaren till temperaturmätningar för att kunna avgöra om erforderlig hållfasthet nås. I tveksamma fall hänvisar B5 till prov uttagna ur betongen eller annan form av undersökning. Slutligen ger B5 vissa regler för själva avformningen innebärande partiell avformning och avlastning.

Kommentarerna, KB5 av Statens Betongkommitté (1966), till ovannämnda betongbestämmelser, utvecklar problemen i anslutning till formrivningen mera detaljerat. De framhåller, att det är mycket svårt att ange en generell formrivningstidpunkt och B5 kräver därför istället att formrivningshållfastheten utsätts på konstruktionsritningarna. Därigenom ålägger man konstruktören att tänka igenom formrivningsproblemet. Vid enkla konstruktioner av rutinkaraktär rekommenderas en enkel schablonregel.

I de nya betongbestämmelserna, BBK 79, av Statens Betongkommitté (1979) anges att formrivning skall utföras enligt bygghandling. Den ansvarige arbetsledaren skall före formrivning kontrollera att betongen nått erforderlig hållfasthet.

Om formrivningshållfastheten ej är angiven i bygghandling bör enligt BBK 79 tryckhållfastheten vid rivning av bärande form vara minst 70% av fordrad hållfasthet. Vid vertikal eller icke bärande form anger BBK 79 en medelhållfasthet av minst 6 MPa. Formrivning vid lägre hållfasthet godtas, om man visar att konstruktionen ej skadas.

Betongbestämmelserna kräver således en viss lägsta hållfasthet vid formrivning. Denna minimihållfasthet bestäms av konstruktören och anges på bygghandling. Om uppgift saknas för formrivningshållfastheten skall de värden användas som BBK anger.

Fältförsöken visar entydigt, att man vid formrivning utan extra åtgärder vintertid får avsevärt lägre hållfasthet i överdelen och underdelen av en vägg jämfört med mittpartiet. På samma sätt blir hållfastheten lägre i ett bärlags översida än i dess undersida. Hållfasthetssänkningarna elimineras eller reduceras väsentligt om skyddsåtgärder vidtas för att hindra värmeavgång från den färska betongen. Vid framförallt husbyggnader försummar man ofta sådana skyddsåtgärder.

För väggar är ur säkerhetssynpunkt underdelen, dvs anslutningen mot bärlaget, den farligaste delen. Förutom att man där får en gjutfog, blir påkänningen av horisontalkraft (vind, stötar) störst. Följaktligen är det där man behöver nå upp till föreskriven formrivningshållfasthet, FIG 1. Ett sätt att kompensera värmeförlusterna till underlag är inläggning av värmekabel.

Vid väggar med enbart skyddsarmering finns det med hänsyn till formrivning två farliga tvärsnitt. Dessa är övergången

vägg-bärlag (position 1) och där bygeln från underliggande bärlag slutar (position 2), FIG 1. Vilket tvärsnitt som blir farligast i det enskilda fallet avgörs av aktuellt belastningsfall och aktuell hållfasthet.

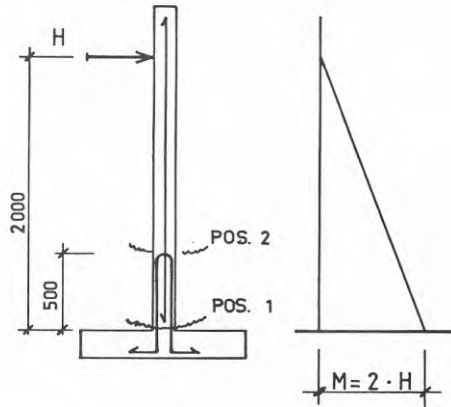


FIG 1 Horisontalbelastning av väggar med säkerhetsarmering. Väggen har två kritiska tvärsnitt.

Pos 1 som har störst moment
Pos 2 som har minst effektiv höjd

Stöt, t ex av formflak, ger ett rätlinjigt momentdiagram. Då blir position 2 farligast på grund av den betydligt mindre effektiva höjden. En lägre hållfasthet - orsakad av värmeförlust i position 1 kan dock göra denna farligare än position 2.

Vind mot den avformade ytan ger ett parabelformat momentdiagram, vilket ger ungefär samma påkänningar i position 1 som position 2. Värmeförlust efter gjutningen ger större hållfasthetsreduktion i position 1 än i position 2. Den förra blir då farligare.

Uteblivet skydd mot värmeavgång vid överytan av ett bärlag ger värme- och hållfasthetsförluster där relativt underytan och mittpartiet. Den sänkta hållfastheten och därmed lägre E-modulen i överytan ökar nedböjningen i fält och risken för sprickbildning över stöd. Ofta vill man vid bärlag uppnå en viss minsta hållfasthet för att begränsa nedböjningen.

Med tanke på ovanstående är det väsentligt att krävd minimihållfasthet kontrolleras i mest kritiska tvärsnitt. Konstruktören bör ange detta tillsammans med formrivningshållfastheten. I praktiken avformas ofta under BBK's allmänna krav på 6 MPa för väggar. Detta torde ej heller vara realistiskt i vissa fall, t ex vid väggar, som ej är fristående eller som har tillräcklig dubbelsidig armering. Den lämpligaste att bestämma korrekt formrivningshållfasthet är konstruktören. Ett absolut lägsta värde är 2 MPa, vilket krävs för att med rimlig säkerhet undvika ytskador, Samuelsson /1983/. I de flesta fall, bl a vid fristående väggar krävs betydligt högre hållfasthet.

För att nå erforderlig formrivningshållfasthet vintertid i väggar är det nödvändigt att vidta åtgärder för att hindra stora värmeförluster i betongen till underliggande bärlag.

INVERKAN AV VIBRERING OCH ARBETBARHET PÅ ANTALET YTPORER I BETONGVÄGGAR.

Problemställning

Ytporer vållar en hel del bekymmer vid väggjutningar. Alltför många ytporer i synliga betongytor med krav på utseendet, innebär ett misslyckande och i väggar som skall målas eller tapetseras, medför de stora lagningskostnader.

Det är svårt - för att inte säga omöjligt - att få helt porfria ytor i betongväggar. Väljer man emellertid betong och vibreringsinsats med omsorg kan man uppnå så goda resultat, att efterlagningar blir ringa eller helt kan uteslutas. Det har ingått som en del i projektet att studera om den ökade kostnaden för mer eller mindre lagningsfria betongytor kompenseras av minskade lagningskostnader.

Omfattning

Såväl i Örebro som Helsingborg studerades ett flertal väggar med ovannämnda målsättning. För att få ett större jämförelsematerial tas dessutom med studier från en byggsplats och en elementfabrik, båda i Stockholmsområdet. Vid studierna har främst följande faktorer beaktats, cementmängd, sättmått, omformningsstal, vibrering och antal ytporer. Omformningstalet har bestämts med Powers' omformningsmätare enligt en av Cement- och Betonginstitutet modifierad metod, Betonghandbok Material (1982). Porer med en största diameter > 5 mm har registrerats. På grund av väggstorleken har det oftast ej varit möjligt att mäta porerna i hela väggytan. I stället har representativa ytpartier - okulärt sett - utvalts och porantalet mätts på dessa. Mätområdena har valts i form av våningshöga skivor, vars bredd endast i undantagsfall varit mindre än 1 m.

Resultat

Data om betongen och uppmätta värden på vibrering och ytporer redovisas i TABELL 1-4 och i FIG 1-5 har sambandet mellan ytporer och olika faktorer redovisats.

Bearbetning av resultaten

Nedan studeras hur sättmått, omformningstal och vibrering var för sig påverkar mängden ytporer. Därvid tas ingen hänsyn till övriga parametrar. Därefter studeras den samtidiga inverkan av omformningstal och vibrering på antalet ytporer.

I FIG 1 redovisas sambandet mellan sättmått och antalet ytporer. Om man bortser från en del ytterlighetsvärden, som delvis är förklarliga, se figurtexten, skönjer man ett visst samband mellan sättmått och antalet ytporer. Lösare konsistens ger färre porer. Spridningen härrör sannolikt främst från olika vibrering.

Tabell 1 Data och resultat från pormätningar i väggar i Örebro.

Vägg nr	Cement- halt kg/m ³	Sätt- mått mm	Omform- ningstal slag	Vibrering		Ytporer st/m ²
				s/m ³	s/(m ³ ·slag)	
3	264	170	9	158	17,5	31
4	"	"	"	142	15,7	30
5	"	"	"	169	18,7	82
7	291	120	14	317	22,6	21
8	"	"	"	177	12,6	41
9	245	135	18	145	6,6	35
10	"	"	"	319	14,5	12
11	"	145	14	142	8,9	13
12	"	"	"	209	14,9	20
13	242	135	28	261	9,3	23
14	245	"	23	85	3,8	61
15	325	160	14	114	8,1	7

Tabell 2 Data och resultat från pormätningar i Helsingborg. Värdena inom parentes gäller betongytor gjutna mot form, där eventuellt formoljeöverskott har torkats bort före gjutningen.

Vägg nr	Cement- halt kg/m ³	Sätt- mått mm	Omform- ningstal slag	Vibrering		Ytporer	
				s/m ³	s/(m ³ ·slag)	st/m ²	
1	300	120-145	8	246	30,8	11	(9)
2	300	120-145	8	284	35,5	16	(7)
2 B	300	120-130	19-26	355	15,8	50	
3	300+100 ¹⁾	130-135	8	256	32,0	37	(35)
5	300+50 ²⁾	135-140	7-8	160	21,3	33	(20)
5 A	300+50 ²⁾	140	8	227	28,4	108	
6	340+50 ²⁾	130-140	14-22	250	13,9	7	
8	315	120-130	15-17	266	16,6	33	(26)
8 A	315	120-130	15-17	266	16,6	19	
10	340+50 ²⁾	90-100	38	550	14,5	8	
10 A	340+50 ²⁾	90-100	38	~550	14,5	11	

1) Kalkstensmjöl 2) Flygaska

Tabell 3 Data och resultat från pormätningar på byggplats i Stockholmsområdet.

Vägg nr	Cement-halt kg/m^3	Sätt-mått mm	Omform-ningstal slag	Vibrering		Ytporer st/m^2
				s/m^3	$\text{s}/(\text{m}^3 \cdot \text{slag})$	
1	367	185	5	177	35,4	29
2	367	175	5	221	44,2	39
4	262	90	22	205	9,7	41
5	267	80	36	203	5,6	145
6	258 ¹⁾	140	12	204	17,0	101
7	285 ¹⁾	130	13	244	18,8	106

1) + 20 kg/m^3 SiO_2

Tabell 4 Data och resultat från pormätningar vid element-fabrik i Stockholmsområdet

Vägg nr	Cement-halt kg/m^3	Sätt-mått mm	Omform-ningstal slag	Vibrering		Ytporer st/m^2
				s/m^3	$\text{s}/(\text{m}^3 \cdot \text{slag})$	
1	380	85	12	550	48,8	33
2	380	85	12	523	51,9	20
3	470	110	7	648	94,6	17
4	470	110	7	536	76,6	25

FIG 2 ger sambandet mellan omformningstal och antalet ytporer. Liksom för sättmättet kan man se ett visst samband mellan omformningstalet och mängden ytporer. Betong med bättre arbetbarhet ger ett mindre antal ytporer. Orsaken till spridningen ligger som för sättmättet ovan i huvudsak i vibreringen.

Sambandet mellan vibrering och mängden ytporer framgår av FIG 3. Där vibreringstiden varierat inom vida gränser, ser man att ökad vibreringstid minskar antalet ytporer. Vid byggplatsen i Stockholm hölls en ganska konstant vibreringstid (177-244 s/m³). Där finner man ingen tendens till samband vibrering-ytporer men däremot en mycket stor spridning i antalet ytporer. En vibreringsinsats av storleksordningen 200 s/m³ synes vanlig på svenska arbetsplatser idag. Den måste anses alltför låg om man önskar betongytor med få porer. Vid liten men konstant vibreringsinsats måste man räkna med stor spridning i antalet ytporer, FIG 6.

I FIG 4 har hänsyn tagits såväl till vibreringstiden t som till betongens arbetbarhet uttryckt genom omformningstalet o . Antalet ytporer y har satts i relation till förhållandet t/o . Utesluter man en del extrema värden, som i en del fall är förklarliga, t ex vid fönsteröppningar och röranhopningar, synes ett rätlinjigt förhållande mellan ytporerna y och kvoten t/o tänkbart. Man har således

$$y = k \cdot t/o + l$$

- y = antalet ytporer, st₃/m²
 t = vibreringstid, s/m³
 o = omformningstal, slag
 k = konstant; ett negativt tal
 l = konstant; ett positivt tal

Detta innebär att för konstant arbetbarhet o avtar antalet ytporer rätlinjigt med ökad vibrering. Exempel som ger visst stöd åt detta är väggparen 7-8 och 10-9 i Örebro samt 2-1 i Helsingborg. För konstant vibrering t ökar däremot antalet ytporer utefter en krökt kurva med minskad arbetbarhet. FIG 7 visar exempel från undersökningen som i stort bekräftar detta. Ett mätvärde i figuren avviker märkbart från de övriga, men det härrör från en liten vägg, som sannolikt haft andra vibreringsförhållanden.

Av FIG 4 framgår, att de olika produktionsplatserna i stort avviker från varandra. Det kan bero på speciella förutsättningar i form av armering, väggjocklek, vibrator, avstånd mellan nedstick etc. Varje enskild byggplats eller elementfabrik kan genom att prova några olika kombinationer vibrering-omformningstal vid i övrigt lika förhållanden skaffa sig en egen linje enligt FIG 4 för den egna produktionen. Kurvorna möjliggör en optimering av kombinationen vibrering-omformningstal (betong) vid ett bestämt krav på antalet ytporer, t ex det som gör efterlagning onödig. För att få erforderlig säkerhetsmarginal skall ej medelkurvan - streckad i FIG 4 - användas utan en som ligger strax utanför mätvärdena, se den heldragna linjen i Örebroför-söken.

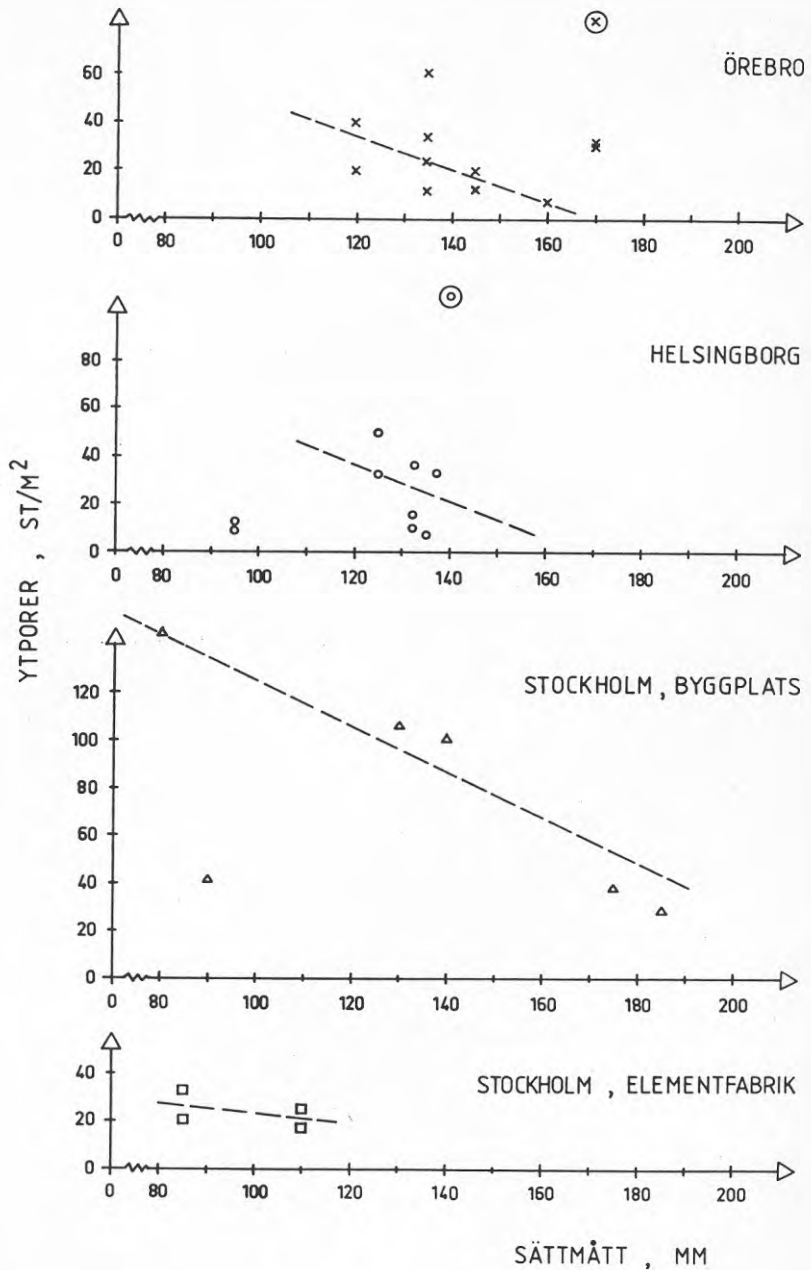


FIG 1 Sambandet mellan ytporer (> 5 mm) och betongens sättmått. De inringade mätvärdena i Örebro och Helsingborg representerar väggar med mycket rörledningar respektive fönster.

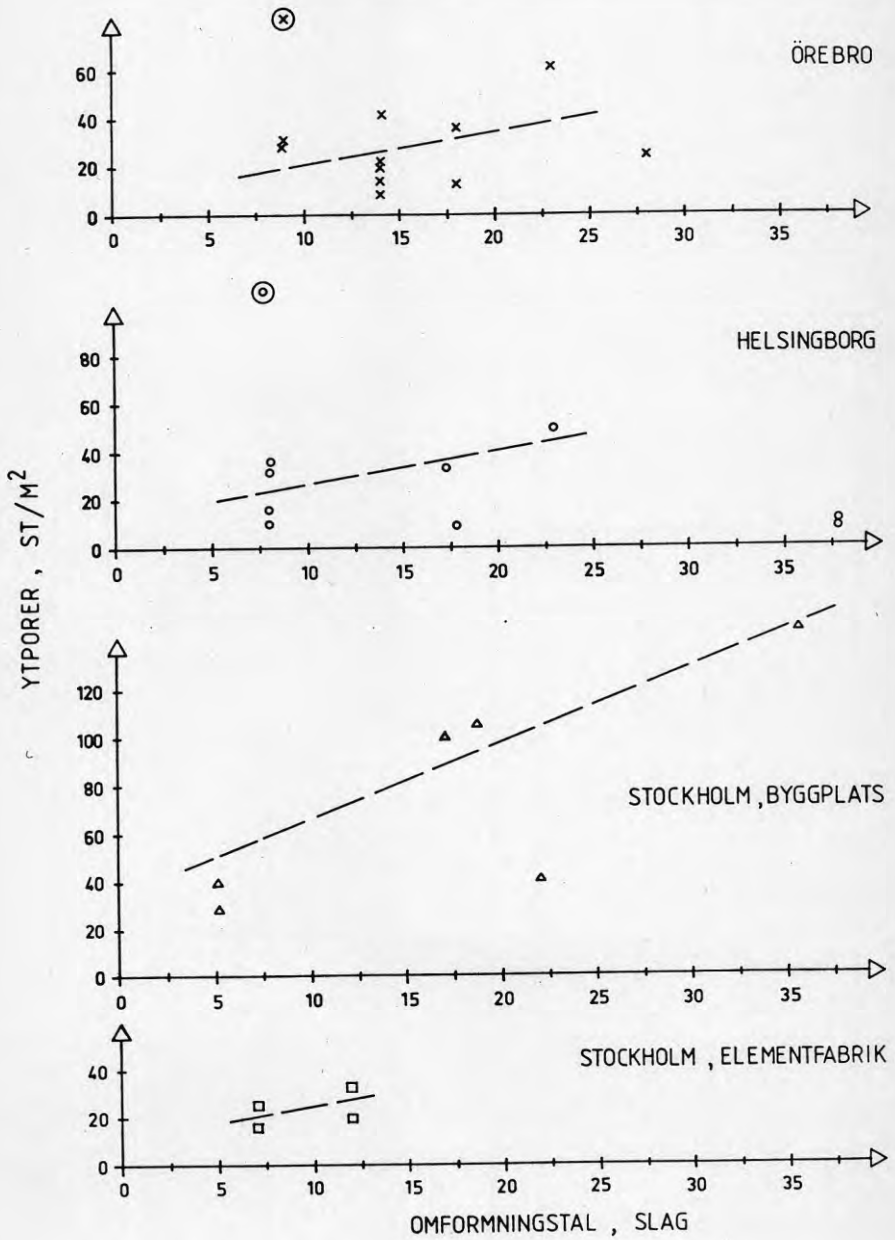


FIG 2 Sambandet mellan ytporer (≥ 5 mm) och betongens omformningstal. För inringade mätvärden se FIG 1.

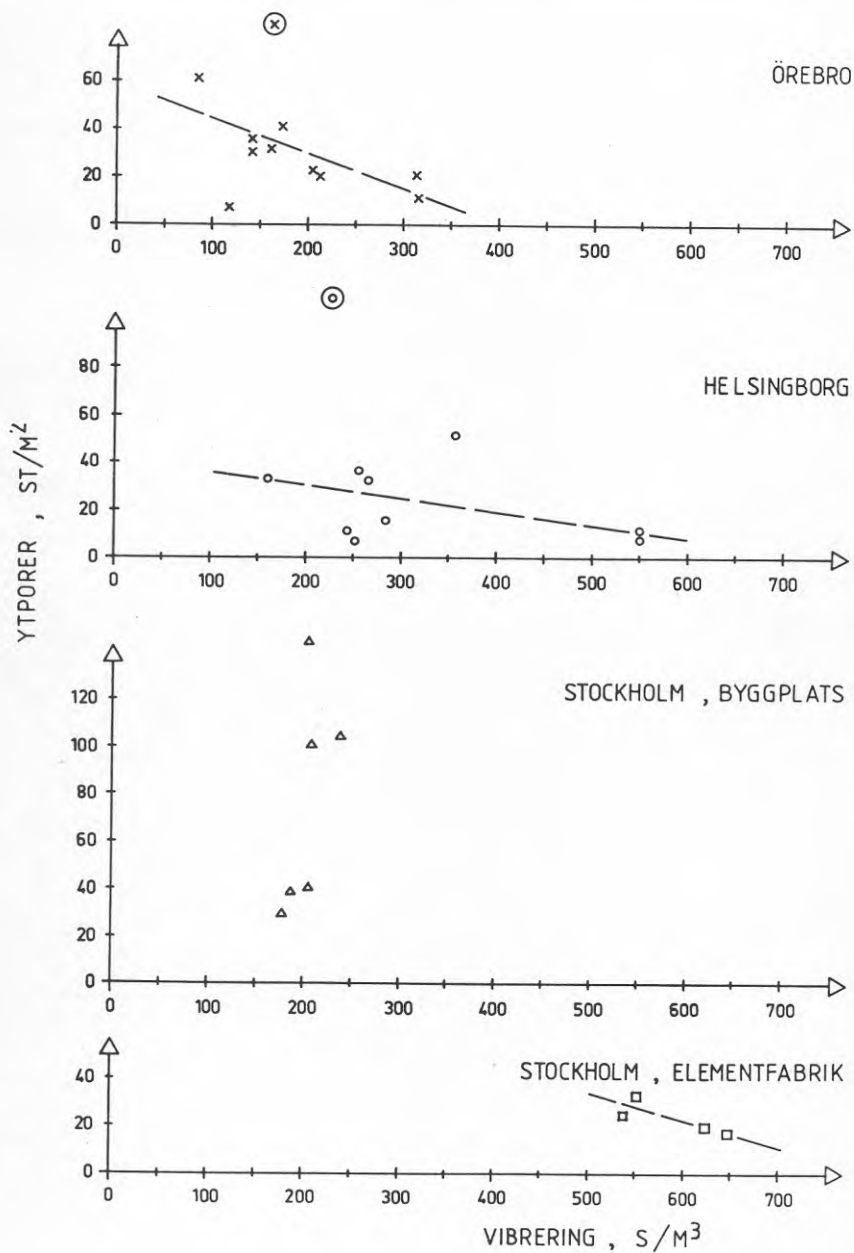


FIG 3 Sambandet mellan ytporer (> 5 mm) och vibreringsinsats. För inringade mätvärden se FIG 1.

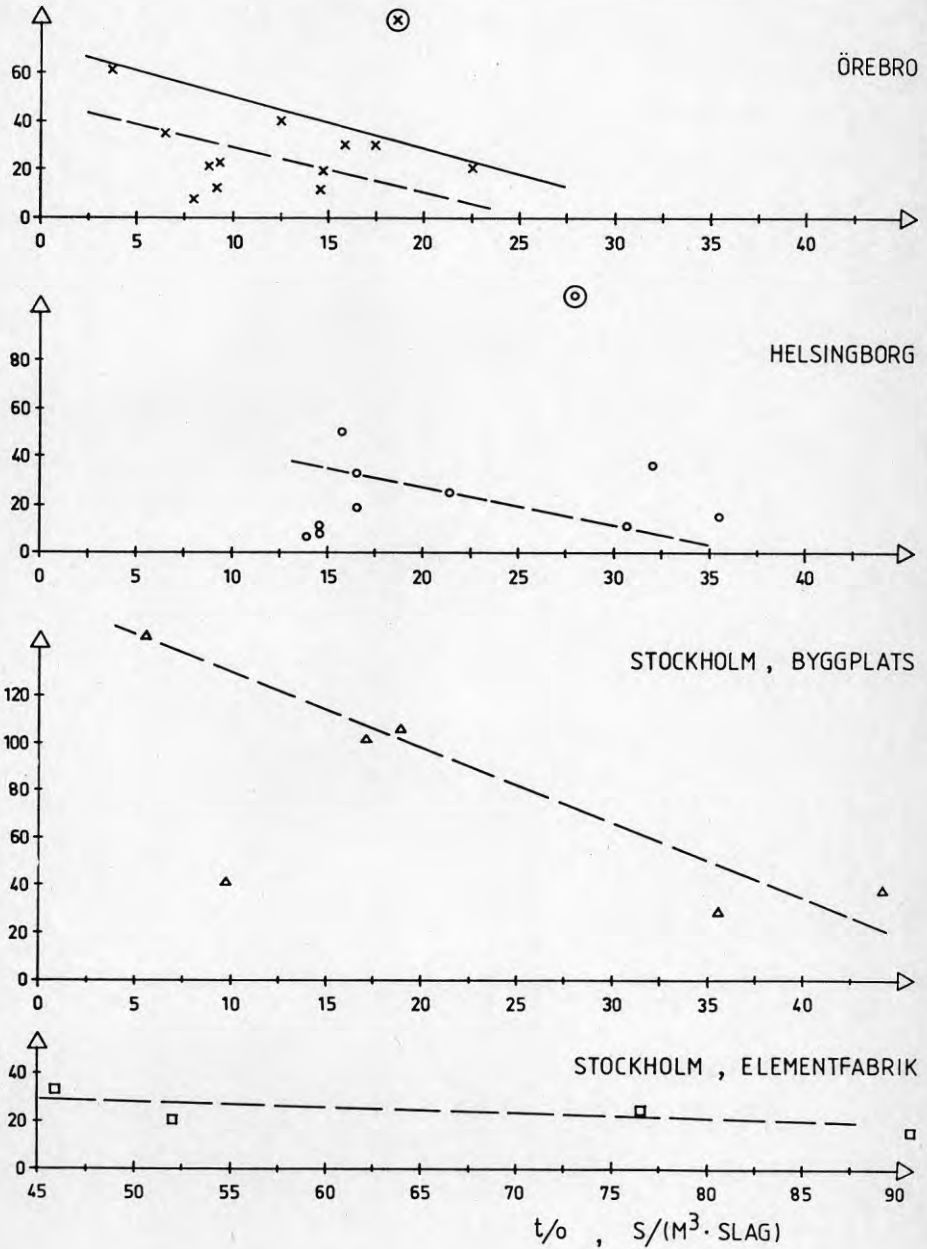


FIG 4 Sambandet mellan ytporer ($> 5 \text{ mm}$) vibreringstid t (s/m^3) och omformningstal o (slag). För inringade värden se FIG 1.

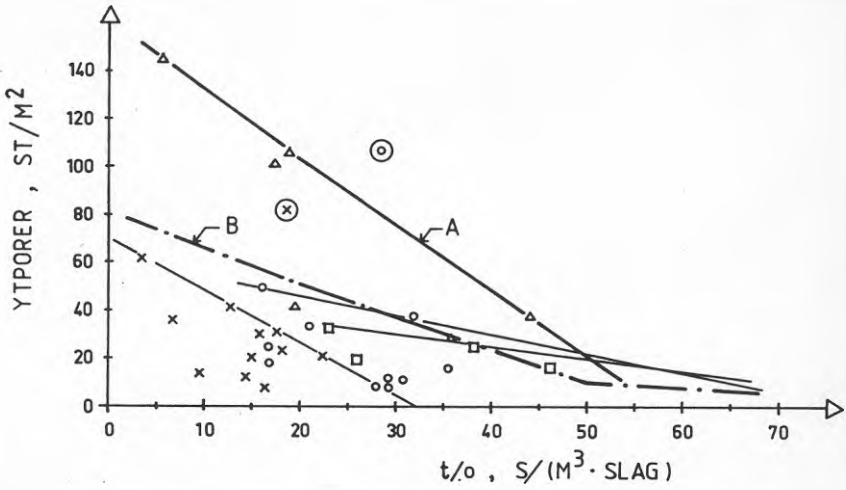


FIG 5 Sambandet mellan ytporer (> 5 mm), vibreringstiden t (s/m^3) och omformningstal o (slag). Korrektion gjord för olika avstånd mellan nedsticken. För inringade värden se FIG 1.

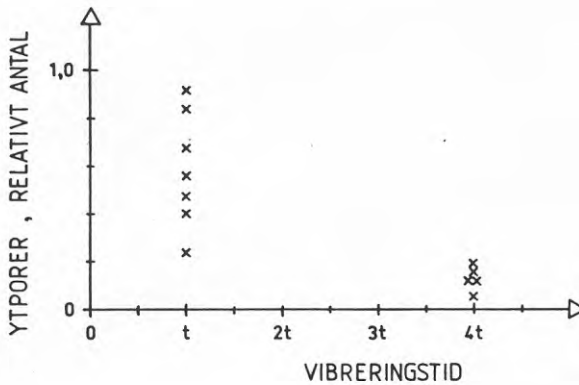


FIG 6 Relativ jämförelse mellan mängden ytporer vid olika vibreringstider. Ökningen i vibreringsinsats, inklusive tätare nedstick, minskade spridningen i mätvärden radikalt. Material hämtat ur Samuelsson /1968/.

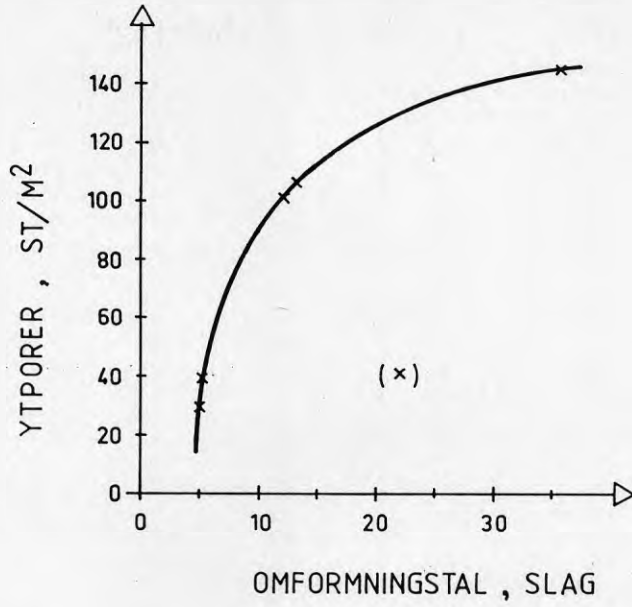


FIG 7 Sambandet mellan ytporer (> 5 mm) och omformnings-
talet vid nästan konstant vibrering, ca 200 s/m³.

En sammanfattning av samtliga försök är gjord i FIG 5, där även en del korrekationer gjorts för avståndet mellan nedsticken med vibratorn. Korrektion är gjord för mätningarna vid elementfabriken i Stockholm, där avståndet är större än normalt på byggplatser och för några korta väggar, där avståndet mellan nedsticken sannolikt varit mindre än normalt. I figuren har en heldragen, övre begränsningslinje dragits för var och en av de fyra försöksställena. Genom att för varje värde t/o välja den översta linjen får man en sammansatt linje A, som torde innefatta de allra flesta betonggjutningar. Här har förutsatts ett avstånd mellan nedsticken av ca 10 x stavdiametern. Minskas avståndet mellan dessa reduceras antalet ytporer. Antar man, att antalet ytporer är direkt proportionellt mot avståndet mellan nedsticken får man kurvor B för ett avstånd av 5 x stavdiametern mellan nedsticken, FIG 5. Antagandet om direkt proportionalitet mellan nedsticken synes rimligt och sannolikt på säkra sidan. Kurvorna A och B ger således för ett bestämt avformningstal - dvs en viss betong - minsta erforderliga vibreringsinsats för att klara aktuellt krav på antalet ytporer. I huvuddelen av rapporten har gjorts en sammanställning av sammanhörande värden på vibrering-omformningstal och ytporer.

FIG 6 visar, att spridningen i antalet ytporer minskar med ökad vibreringsinsats.

När arbetbarheten blir sämre, ökar antalet porer vid konstant vibrering, FIG 7.

I FIG 8 redovisas sammanhörande värden på omformningstal och cementmängd. Även om man kan uppnå en god arbetbarhet med relativt låg cementhalt, synes arbetbarheten öka med växande cementhalt. En tillräckligt hög bindemedelshalt behövs för att hindra vattenseparation vid ökad vibrering. En längre vibrering än som normalt sker, behövs om man vill minska antalet porer i ytan väsentligt.

I vissa undantagsfall kan man ej räkna med att kurvorna A och B ovan är giltiga. Det gäller väggar med mycken rördragning och fönsteröppningar, t ex vägg 5 i Örebro och vägg 5 A i Helsingborg, Tabell 1 och 2. Tät armering ökar då svårigheterna. En möjlig åtgärd i dessa fall är att använda flytbetong, Fredriksson, Holzmann & Kjellström /1981/.

Ibland sprayas formoljan på formarna i stor mängd, vilket dels ger missfärgning dels ökar antalet ytporer. Det är framförallt mängden små porer som ökar. Vid Helsingborgsförsöken jämfördes flödigt sprayade ytor med ytor, som torkats efter det att formoljan sprayats på formen. Resultaten från dessa försök framgår av Tabell 6.

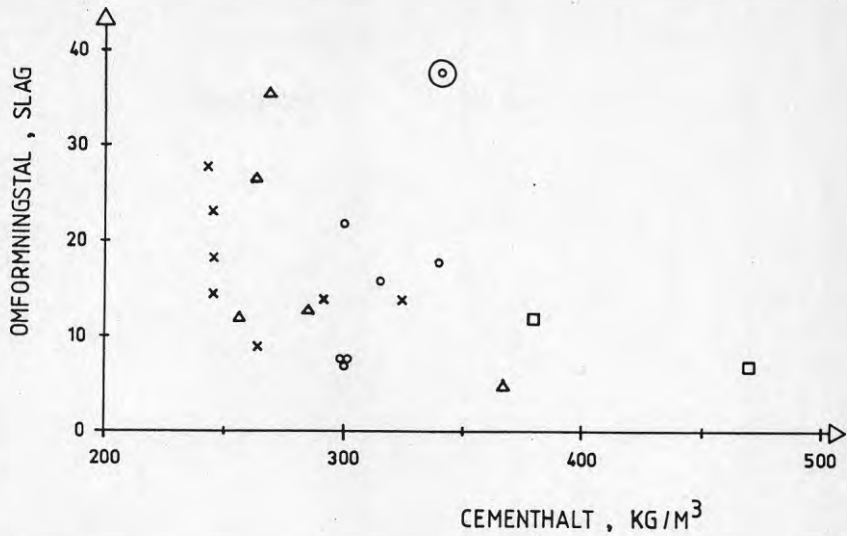
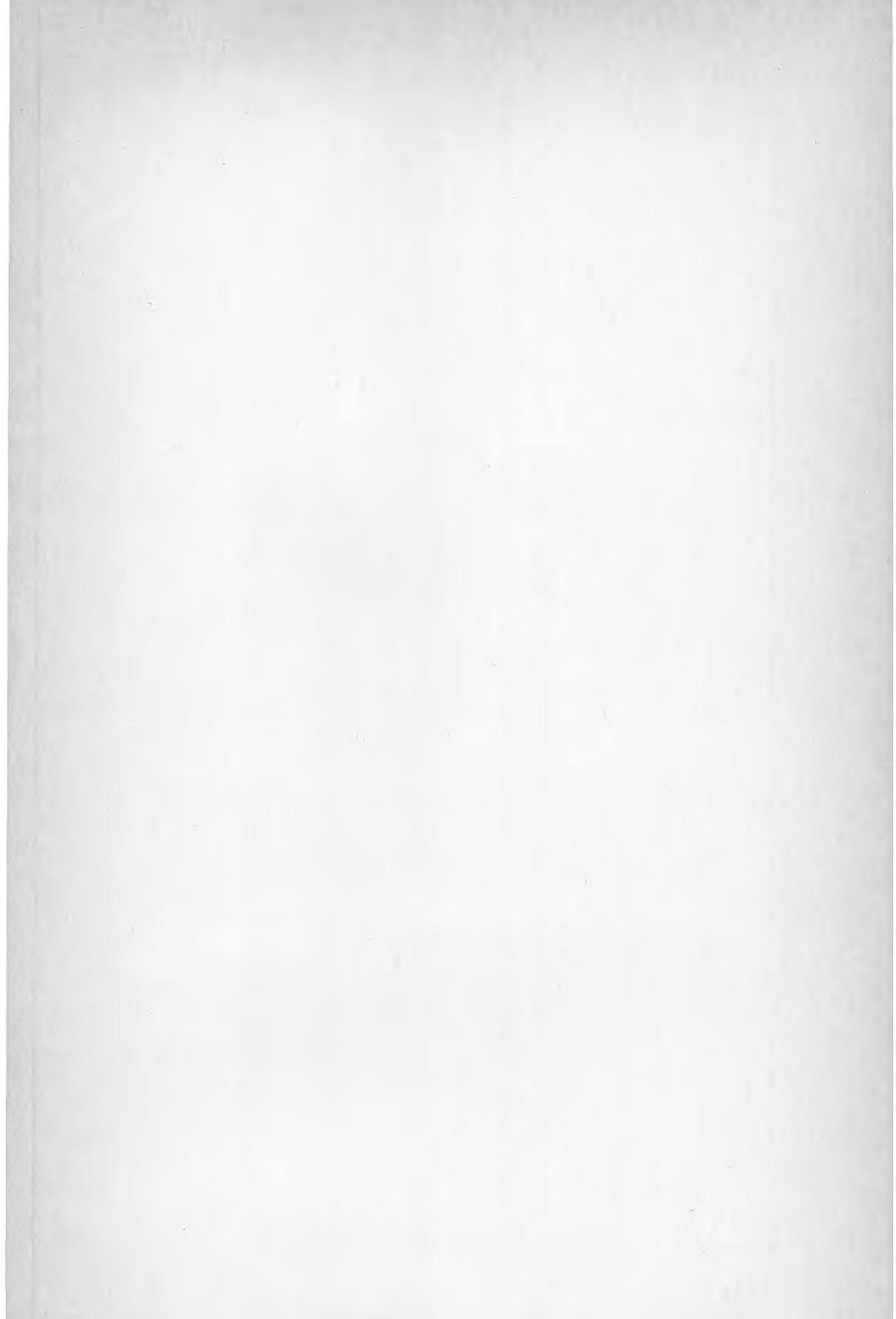


FIG 8 Sammanhörande värden på omformningstal och cementhalt vid väggförsöken. Det synes något lättare att uppnå bättre arbetbarhet med ökad cementhalt. Beteckningar på mätpunkter enligt FIG 1. Det inringade värdet avser en mycket stenrik betong (ej väggbetong).

Tabell 6 Jämförelse mellan antalet ytporer i väggar vid Helsingborgsförsöken. Flödigt med olja innebär så mycket att oljan runnit utefter formen. Tunt med olja innebär, att formen torkats väl sedan oljan påförts.

Vägg nr	Antal ytporer i st/m ²		Differens 1 - 2
	1 Flödigt med formolja	2 Tunt med formolja	
1	17	9	+ 8
	8	9	- 1
2	25	8	+ 17
	25	6	+ 19
3	33	26	+ 7
	44	43	+ 1
5	65	15	+ 50
	24	26	- 2
8	40	26	+ 14



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 821670-0
från Statens råd för byggnadsforskning till BPA Bygg-
produktion AB, Stockholm.**

R17: 1986

ISBN 91-540-4532-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6706017

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 40 kr exkl moms