



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

R16:1981

Energibesparande metoder vid betonggjutning

**Sten Jacobsson
Björn Magnusson
Kurt Wennmark**

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	81-0271
Plac	Ser

R
AND

Byggforskningsrådet

R16:1981

ENERGIBESPARANDE METODER
VID BETONGGJUTNING

Sten Jacobsson
Björn Magnusson
Kurt Wennmark

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
771428-0 från Statens råd för byggnadsforskning
till John Mattson Byggnads AB, Stockholm.

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

R16:1981

ISBN 91-540-3439-6
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1981 150474

FÖRORD

Energiinsatsen under själva byggproduktionsfasen kan lätt bli förbisedd i ett energihushållningsprogram. Detta framförallt om energiinsatsen ställs i relation till energiinsats för byggmaterialframställning och sedermera driften av den färdiga byggnaden. FoU-projekt, som redovisat omfattningen och arbeten av energiinsats under byggnadsskedet, ger emellertid underlag för ekonomiska kalkyler vars besparingspotential är intressanta såväl ur energibesparings- som kostnadsbesparingssynpunkt. Det ligger i sakens natur att förutsättningarna att snabbt och på bred front få genomslag för ett energisnålare byggande blir avsevärt större om kostnaderna i byggproduktionskedet direkt påverkas.

Denna rapport redovisar ett FoU-projekt med inriktning att utveckla energibesparande metoder vid betonggjutning. Intresset att utveckla vinterbyggnadsmetoderna har under lång tid varit koncentrerat till att medge kontinuerligt byggande med så få negativa effekter på sysselsättningen som möjligt. Energikostnaderna har härvid kommit i skymundan. Till detta har givetvis bidragit att energin i alla användningsformer varit billig. Med dagens energipriser, den fortsatta prisutvecklingen och ett nödvändigt engagemang i en medveten energihushållning, har situationen radikalt förändrats.

De resultat från utvecklingsarbetet som presenteras är påtagligt praktiska och lätta att applicera. Varje platschef och arbetsledare har därför anledning att närmare sätta sig in i föreslagna lösningar. Inte minst tankeväckande bör vara att få kostnadsbilden klarlagd för vintermerkostnaderna. Därutöver får förloppet för betong i tidig ålder en ingående belysning genom mångfalden praktiska försök med alternativ betongtäckning, fasadintäckning och uppvärmning.

Försöken har genomförts under vinterperioderna 78/79 och 79/80 på arbetsplatser i Stockholmsområdet. Direkt ansvariga för utredningsarbetet har varit ing Kurt Wennmark, civ ing Björn Magnusson samt civ ing Sten Jacobsson. Ett mycket aktivt stöd för utveckling av metoder och hjälpmedel har lämnats av platsledning och anställda inom John Mattson Byggnads AB på berörda arbetsplatser.

En referensgrupp bestående av Ulf Bellander, CBI; numera Betongindustri AB, Stockholm Jan Byfors, CBI; numera Cements AB, Danderyd och Sten Ola Wiklund, Betongindustri AB, Stockholm har varit en stor tillgång vid projektets genomförande. Inte minst värdefulla har varit tillgången till sakkunskap vid behandlingen av de betongtekniska frågorna som är av central betydelse för att rätt utforma energisnål betonggjutning.

Berörda leverantörer för material och utrustning har varit lyhörda för förbättringsförslag och därför är i rapporten angivna lösningar inte bara idéer i ett tidigt stadium, utan utprovade, praktiskt fungerande alternativ.

Stockholm i november 1980.

Sten Jacobsson

Kurt Wennmark

Björn Magnusson

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	9
1. UTMANING OCH UTVECKLING	15
1.1 Byggarbetskraften	15
1.2 Arbetsmiljön	19
1.3 Produktiviteten	22
1.4 Ytfinish	24
1.5 Vintergjutning	26
1.6 Utveckling	28
1.7 Energisnål betonggjutning	33
2. BETONG I TIDIG ÅLDER	41
2.1 Hållfastheten hos betong	43
2.2 Mätteknik	44
2.3 Överensstämmelse mellan provmetoder	51
2.4 Rivningshållfasthet	53
2.5 Vilka avformningstider används i praktiken	55
3. PROVSERIE 1978	57
Prov A - Valvgjutning olika täckningsmaterial	61
Prov B - Valvgjutning traditionell fasadintäckning och upp- värmning under valv	64
Prov C - Betongtäckning Ethafoam och uppvärmning under valv ..	66
Prov D - Jämförelse gasolkanoner - infrastrålarare	68
Prov E - Fasadintäckning utan upp- värmning under valv	71
Prov F - Fasadintäckning och upp- värmning under valv	72
Prov G - Jämförelse olika fasadin- täckningar med och utan uppvärmning under valv ..	73
Prov H - Infrastrålarare med och utan termostatstyrning	74

4.	PROVSERIE 1979	77
	Prov 1 - Betong med och utan CaCl ₂ - tillsats; Ethafoamtäckning.	80
	Prov 2 - SH-betong med och utan täckning	83
	Prov 4 - Jämförelse hållfasthets- beräkning och TNS-test ...	85
	Prov 6 - Uppvärmning med olika starttidpunkt	87
	Prov 8 - Fasadintäckning och olika uppvärmningsförutsättningar	89
	Prov 10 - Uppvärmning med full resp- ektive reducerad effekt ...	92
	Prov 12 - Kort och lång uppvärmnings- tid	94
	Prov 15 - Strålningsvärmare vid ply- woodform	96
	Prov 16 - Välisolerat formbord och plywoodbord	98
	Prov 17 - Välisolerat formbord, ply- woodbord och plåtbord	100
	Prov 19 - Platta på mark	102
	Prov 20 - Vägghform med hel respektive defekt isolering	104
	Prov 22 - Temperaturförlopp i olika delar av en vägg	105
	Prov 23 - Vaggjutning utan värmning vid mycket kall väderlek ..	106
5.	KOSTNADER FÖR VINTERGJUTNING	107
5.1	Betongkostnader	119
5.2	Materialsammanställning	120
5.3	Formbord	121
5.4	Energiåtgång för "normalbetong" respektive varmbetong	122
5.5	Värmningstid och pris för viss hållfasthet	124
5.6	Kostnadssammanställning	126
5.7	Kostnadsjämförelse	128

6.	SAMMANSTÄLLNING AV PRAKTISKA RÖN	131
6.1	Hållfasthetsutveckling	136
6.2	Strålningsvärmare	136
6.3	Betongvalv	138
6.4	Isolerat valvbord	140
6.5	Betongvägg	141
6.6	Några rekommendationer	145
	LITTERATURFÖRTECKNING	147

SAMMANFATTNING

Betonggjutning vintertid tillhör byggproduktionens mest energikrävande inslag. Energiinsatsen har med tidigare energipriser inte motiverat särskilda ansträngningar och vinterbyggnadsmetoderna har i första hand varit inriktade på att tillåta året-runtbyggande. Den radikalt ändrade energisituationen kräver energihushållning både av oljebesparings- och kostnadsbesparings-skäl. En total kostnads-kalkyl för vintermerkostnader vid betongbyggande pekar på en överraskande hög siffra för vinterkostnaderna, nämligen 9.000 kr/dag (1980-års prisnivå). Det bör samtidigt noteras att i mellansverige är antalet vinterdagar i denna bemärkelse 110. Med utnyttjande av de lösningar, som det här redovisade forskningsprojektet anvisar, kan kostnaden utan särskilt stora insatser reduceras till 6.200 kr/dag. Kostnadsbesparingarna ligger till en del i lägre energikostnader genom klart bättre hushållning, men minskade hanteringskostnader är också en stor post.

Prov har utförts i full skala under två vintersäsonger, med huvudsaklig inriktning på valvgjutning, men även väggjutning och gjutning av platta på mark har studerats. Energibesparande metoder vid valvgjutning inriktas på täckning av betongen, fasadintäckning och uppvärmning. Den teknik som traditionellt användes för att täcka nygjutna valv är ur flera synpunkter helt otillfredsställande. Normalt användes betongtäckmattor d v s mineralull med ett plastöverdrag som säkras genom att belastas med träreglar. Mattorna täcker ofta dåligt, blåser undan och det blir lätt en pumpeffekt vid hörn och avslutningar. Ännu allvarligare är att ytterhöljet lätt punkteras varvid mineralullen suger upp vatten och isoleringseffekten helt går förlorad. Kostnaden för täckningen blir stor också genom att mattorna har hög kassation. Genom att täckningen sker sent, i regel först när valvet är färdiggjutet, hinner

den nygjutna betongen kylas ner. Prov med olika material visar att ett material av expanderad polyeten som levereras i rullar med två meters bredd har flera påtagliga fördelar. Isoleringseffekten är god och materialet är okänsligt för småskador. Materialet tar inte upp vatten och har ringa vidhäftning mot betongen. Hanteringen vid utläggning är enkel och täckningen sker snabbt. Erfarenheterna visar inte bara att täckningen sker snabbare, metoden får också ett klart arbetsmiljöplus.

Inte heller intäckningen av fasad under valvet är särskilt väl genomtänkt på många arbetsplatser. De presenningar som används för ändamålet har helt andra format än de öppningar som skall täckas. Följden blir dålig täckning med många draghål. Uppsättningen av presenningarna är dessutom besvärlig och tidsödande. Proven visar att tät fasadintäckning har stor betydelse då uppvärmning under valvet behöver tillgripas. Det rekommenderas att specialsyddas presenningar användes. Dessa presenningar har dessutom fastsättningsanordningar som medger att presenningarna kan följa valvbordet och därmed i hög grad förenkla fasadintäckningen.

Traditionell uppvärmning med oljedrivna torkar är mycket energikrävande och har nackdelar i en hantering som är tidsödande och tung.

Av de uppvärmningsmetoder som provats, har infrastrålning, d v s riktad värme, klara fördelar. Tillsammans med en tillverkare har den praktiska utformningen av infrastrålare med försörjningssystem vidareutvecklats. Gasolflaskorna har placerats i ställ på lastpallar, sex på varje pall, och två sådana ställ har kopplats samman med en automatisk omkopplare. Omkopplaren byter ställ när det första batteriet flaskor är tömt. Till systemet hör också en reduceringsventil som sänker trycket på gasolen. Hela anläggningen styrs av en mekanisk timer, som också utvecklats i vår provserie. Det är

viktigt att uppvärmningen tidsstyrs, så att när erforderlig hållfasthet på betongen uppnåtts, uppvärmningen kan avbrytas. Att systemet är helt mekaniskt är en fördel eftersom det blir driftsäkrare än ett elmekaniskt system.

Hanteringen av täckningsmaterial och uppvärmningsutrustning är ett område där enkla metodförbättringar kan underlägga arbetet och spara tid och pengar. Täckningsmaterialet förvaras och transporteras lämpligen i stora nätkassar och om gasolflaskorna placeras i ställ monterade på lastpallar, kan de flyttas mellan användningsställena med kran eller traktor.

För att man skall vara säker på att tillräcklig hållfasthet uppnåtts, måste betongen provtryckas på ett eller annat sätt. En mätare som heter TNS är enkel att använda och ger snabbt information om betongens styrka. Provmetoden innebär att i det nygjutna valvet trycks ned ett plaströr. När hållfastheten hos betongen skall bestämmas provtrycks den betongcylinder som är innesluten i röret. Kraften som erfordras för brott registreras. Genom en så enkel metod att följa upp betonggjutningen kan den betongansvarige skaffa sig en mycket ingående kunskap om betongens egenskaper och hur olika yttre påverkande faktorer påverkar betongkvaliteten på aktuellt bygge.

En jämförelse mellan alternativa varmhållningsmetoder vid valvgjutning ger följande resultat (angivna kostnader är ungefärliga):

Varmhållningsmetod	För-resp nackdelar	Totalkostnad per vinter	Energikostnad per etapp 200 m ² , tjockl. 20 cm
Strålningsvärme + täckning	Effektiv värmekälla Låg hant. kostn. Låg driftkostnad	57.000	160
Oljeeldad byggtork + täckning	Dyr i inköp o drift Hög hant. kostnad Problem m olja o sot på valv Kräver elström	153.000	800
Gasolkanon + täckning	Kräver noggrann in-täckning Hög hant. kostnad Dyr i inköp o drift Kräver elström	166.000 2/fack 86.000 1/fack	960 480
Motståndstrådar ingjutna i betongen + täckning	Kräver elström Hög hant. kostnad	94.000	
Varmbetong + täckning	Mycket låg hant.-kostnad Kräver snabb täckn. Kräver träform el. isolerad valvform	52.000	125
Varmbetong + täckning o isolerad valvform	Kan bli ekonomiskt vid ökade energipriser	73.000	125

För att betongen skall uppnå tillräcklig hållfasthet, 10 MPa, under de 20 timmar som står till buds innan täckningen i regel tas bort, krävs det att temperaturen i betongen kan hållas på en tillräckligt hög nivå. Betongtemperatur och uppmätt tryckhållfasthet i betongen efter 20 timmar vid olika uppvärmningsmetoder och en utomhustemperatur av -5°C , visar att det enda alternativet som uppfyller ställda hållfasthetskrav (10 MPa) är uppvärmning med strålningsvärmare. Alternativet med isolerat valvbord kan klara hållfasthetskraven om man använder varmbetong.

Orsaken till att 20 timmar valts som gräns är, att man normalt efter den tidsrymden vill börja med väggformsättningen på det nygjutna valvet. Då måste täckningen tas bort från valvet och då är det inte heller någon mening med fortsatt uppvärmning. Att låta uppvärmningen pågå ytterligare ett dygn är att elda för kråkorna visar utförda prov.

Med strålningsvärmare, god fasadintäckning och en betongtäckning med Ethafoam betyder att valvgjutning när utetemperaturen sjunker ner mot -20°C ändå kan ge en temperatur i betongen av $+50^{\circ}\text{C}$.

Väggjutning är strängt taget ett större problem än valvgjutning. Det finns inga bra metoder för att behålla värmen i betongen vid väggjutning. Isolering av väggformarna med cellplast och liknande har nackdelen att isoleringen ganska snart blir skadad och effekten reduceras påtagligt. Den tryckhållfasthet en gjuten vägg har efter 20 timmar när yttemperaturen legat kring och under nollstrecket är mycket liten. Sådana väggar kan utan svårighet knuffas omkull och utgör därmed latent riskmoment.

1. UTMANING OCH UTVECKLING

Betong är ett omistligt byggnadsmaterial. När arbetskraftsbrist, rekryteringssvårigheter, produktivitetssnedgång och arbetskostnadsgenomslag ytterligare accentueras för betongarbetet måste det utlösa ett självklart intensivt utvecklingsarbete. Den platsgjutna betongens konkurrenskraft är en funktion av effektiviteten vid formsättning, armering och gjutning som hänger samman med maskinprestanda, byggarbetarnas arbetsinsatser och uppnådd kvalitet.

5 miljoner m³ platsgjuten betong är storleksordningen för 1980 års byggande. Beräkningen baseras på en andel av 56% av den totala cementförbrukningen 2,3 miljoner ton. Enligt en utredning av Cementa fördelas den platsgjutna betongen med 27% på vertikala bärverk, 28% på horisontella bärverk och 45% på grundkonstruktioner. Siffrorna gäller 1976 års byggproduktion. Fördelade på typ av byggobjekt tar industribyggnader största betongmängden med 27,5%, anläggningar 17,5%, småhus 17%, flerbostadshus 15%, övriga byggnader 16,5% och övrigt 6,5%.

1.1 Byggarbetskraften

Perioden från krigsslutet 1945 till början av 70-talet kännetecknades av ett ständigt ökat byggande. Trots 50-talets omvandling av byggandet genom mekaniseringen och en under 60-talet lika markerad vidareutveckling genom prefabricering och produktionsstyrning dröjde det till mitten av 60-talet innan produktiviteten balanserade byggvolymökningen. Under en lång period ökade byggnadsarbetarkåren för att svara mot anspråken på ökat byggande. Som framgår av medlemsutvecklingen i Byggnadsarbetarförbundet (fig 1) kunde byggarbetarkåren minskas mot slutet av 60-talet även om byggvolymen fortfarande ökade. Produktivitetstillväxten var genom en rad samverkande faktorer mycket hög. När byggvolymen drastiskt reducerades några år in på 70-talet betydde detta att byggarbetarkåren måste minskas kraftigt. Byggnadsindustrins speciella kännetecken att vara mycket flexibel visade sig gälla

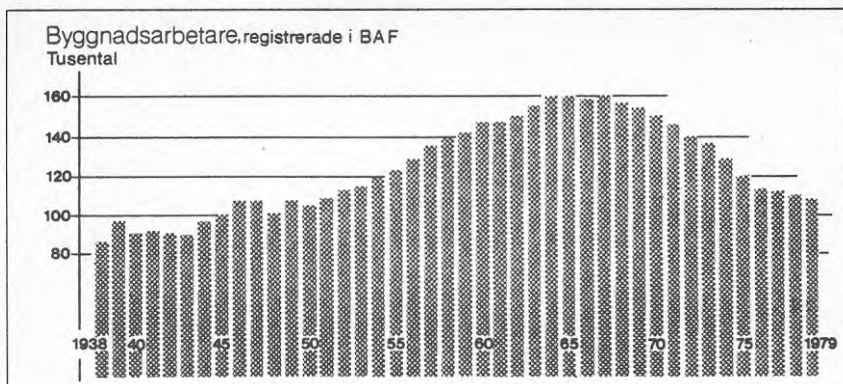


Fig. 1. Byggnadsarbetarförbundets medlemsantal under perioden 1938 - 1979.

även under dessa specifika förhållanden. Byggnadsarbetarkåren har emellertid fortsatt minska under resten av 70-talet vilket ställt oss inför en betydande arbetskraftsbrist på många håll i landet.

Självfallet lämnade den stora avgången av byggarbetare inte rekryteringen till byggyrkesutbildningen opåverkad. 1974 och 1975 kunde inte tillgängliga utbildningsplatser för byggyrkena i gymnasieskolan på långt när utnyttjas. En brett upplagd rekryteringskampanj har emellertid haft gynnsam effekt och antalet första-handssökande till byggyrkesutbildningen överstiger nu klart antalet utbildningsplatser.

Den positiva utbildningsbilden gäller dock inte betongarbetarutbildningen. Betongarbetarkåren har fortsatt sjunka från 21.115 man 1975 till 17.288 man 1979. Intagningen till betongutbildningen för ungdomar var 1975 inte mer än 517 elever och 1979 togs 622 elever in. Då skall dock noteras att man lyckades få 791 nya elever 1977 men att attraktionskraften inte är tillräckligt hög. Därtill kommer dock en viss AMU-utbildning. Samtidigt kan jämföras med träarbetarutbildningen där antalet intagna 1975 var 2.063 elever. 1979 hade intagningen nått upp till 3.159 med en jämn ökning år efter år.

Träarbetarkåren har också varit praktiskt taget densamma under hela femårsperioden 1975 - 1979, drygt 39.000 man.

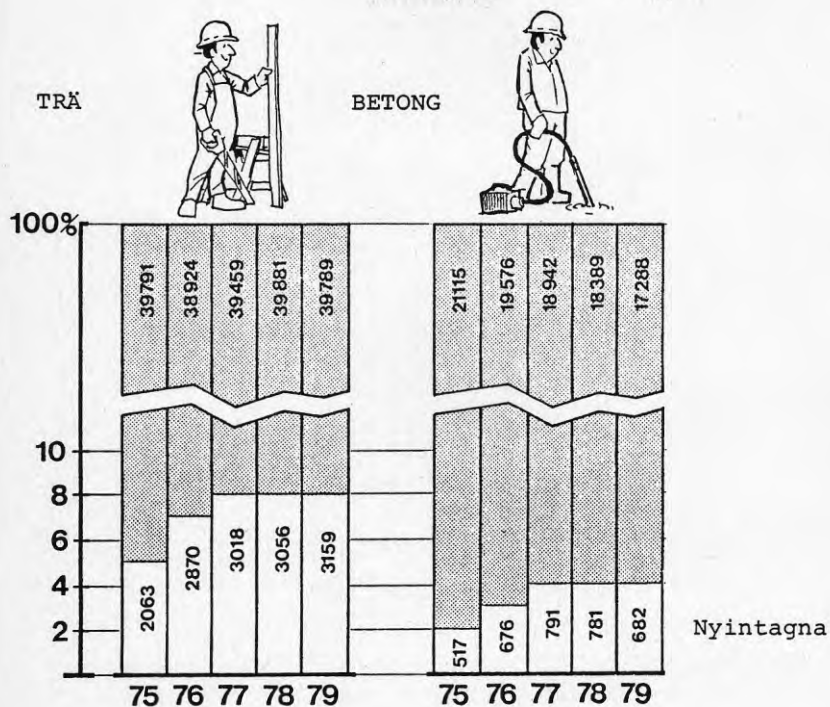
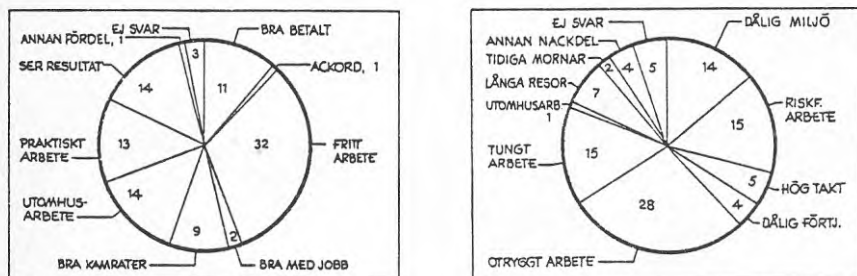


Fig. 2. Trä- och betongarbetarkårens storlek samt den årliga nyintagningen under senare delen av 70-talet.

Träarbetarutbildningen är i särklass den mest attraktiva byggyrkesutbildningen och för att något balansera underskottet för betongarbetarutbildningen får på vissa håll träarbetareeleverna en betongutbildning under en fjärdedel av sin utbildningstid. Det är främst betongarbetsmiljön som påverkat rekryteringssituationen för betongutbildningen, men även bristen på lämpliga övningsobjekt för kvalificerat betongarbete har på sina håll i landet hållit igen utbildningen. Det går också igen i synpunkten på byggyrket från yrkesverksamma betongarbetare.

Ungdomar i byggrykesutbildning har uttalat sig om byggrykets fördelar och nackdelar.



Fördelar

Nackdelar

Fig. 3. Synpunkter på byggryket från ungdomar i byggrykesutbildning.

Enkäten poängterar ytterligare hur negativt dålig arbetsmiljö och tungt arbete upplevs. Betongarbetet måste göras mer attraktivt genom att det blir fysiskt lättare och intressantare. Det kan bara ske genom förbättrade maskiner och flera tekniska hjälpmedel. Betongarbetaren måste i högre grad bli maskinoperatör vilket höjer yrkets status och fångar intresset både för utbildningen och arbetsuppgifterna.

Minskningen av betongarbetarkåren och den dåliga rekryteringen har också inverkat på åldersfördelningen bland betongarbetarna. Medelåldern ligger högt och slagsidan i åldersfördelningen är alarmerande. Det är en avsevärd skillnad gentemot träarbetargruppen vilket också kan tänkas få konsekvenser i öppenhet för nya produktionsprocesser, material, maskiner och arbetsuppläggning.

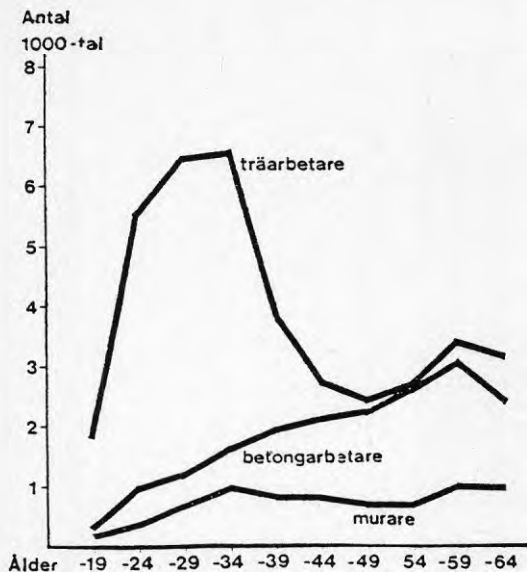


Fig. 4. Åldersfördelningen hos byggnadsarbetare.

1.2 Arbetsmiljön

Tunga, svåra, riskfyllda, smutsiga och tråkiga arbetsuppgifter ger tillsammans en mer eller mindre oacceptabel arbetsmiljö. Platsgjuten betong har i ökande grad belastats av sin arbetsmiljö. Det markeras ytterligare av den genomgående förbättrade byggarbetsmiljön för snart sagt alla andra arbetsuppgifter.



Fig. 5. Ett arbetsmoment för betongarbetaren.

Arbetsmiljöansträngningarna för betongarbetet måste inriktas i första hand på att eliminera otillfredsställande arbetsmoment och därefter att göra arbetena lättare, tystare, renare och ofarligare. Att tömma en viss typ av bask fordrar att man rycker upp luckan. Den som gör detta står ofta också med dålig balans. Påfrestningarna på rygg och axlar blir för stora. Det är i hög grad motiverat med utveckling av en bask vars tömningsanordning är avbalanserad för minsta arbetsansträngning.

De betongfickor som töms med automatik är också ett inslag i en arbetsvänligare betonghantering. Genom automatisk fyllning av basken när denna kommer under fickan elimineras ett tungt arbetsmoment.

Vid väggjutningar ser man ofta två man som tar emot, styr och tömmer basken och vibrerar betongen. Med en hydrauliskt öppningsbar lucka skulle tömningen kunna ske säkrare och snabbare.

Hur går vibreringen till vid gjutning av väggar? Stavvibratorn med slang väger 23 kg och ska sänkas ned och tas upp ett antal gånger i en betong som i början ligger på cirka 2,5 m djup. Den som utför jobbet har en framåtböjd ställning och utsätts för en förslitning av rygg och axlar. Man får därför anta att vibreringsarbetet i praktiken skiljer sig från rekommenderat utförande. Man bör alltså utveckla en vibreringsutrustning som höjer och sänker staven efter vibratorskötarens styrning eller ha enbart formvibratorer.

Valvgjutningar sysselsätter en del folk som tömmer basken på några ställen och sedan sidoflyttas betongen genom skyffling och vibrering innan den egentliga vibreringen sätts in. Att dra i en vibrobalk för avjämning av ytan betyder påfrestningar för bl a ryggen. För valvgjutningar borde utvecklas en maskin som arbetar efter samma princip som när man gjuter betongfarbanor. Den skulle ta emot och fördela betongen, vibrera ned och packa den samt dra av och utvibrera betongytan. Den kunde göras självgående och rulla på skenor eller på formsidorna.

Vissa problem är förknippade med formoljan, som kan framkalla eksem hos den som applicerar oljan genom t ex sprutning. När formarna avisas vintertid genom ångblåsning så försvinner olja ofta på ett flertal fläckar, vilket gör att betongen eller formen skadas vid rivningen. På detta område behövs en utveckling av material och metoder.

Just genom utveckling av maskiner och apparatur kan arbetsmiljön förbättras.

1.3 Produktivitet

Ur kapacitets- och kostnadssynpunkt är det av vital betydelse att det ständigt pågår ett utvecklingsarbete på alla områden som inverkar på byggandet. Konstruktion, produktion, byggmaterialtillverkning, normer, utbildning som exempel pekar på det stora fältet för utvecklingsinsatser som kan ge fortsatt produktivitetsökning. Krav på förbättrad arbetsmiljö skulle kunna uppfattas som negativa produktivitetsfaktorer men preciseringar av de arbetsmoment som är otillfredsställande betyder att rationaliseringen blir i än högre grad effektivitetsinriktad.

Sedan mitten av 60-talet har Byggförbundet regelbundet gjort omfattande produktivitetmätningar. Dessa mätningar avser arbetsproduktiviteten mätt som producerad byggvolym (m^3) för olika hustyper per arbetad timme på byggplatsen. Arbetstimmarna redovisas både för traditionella byggarbetare (träarbetare, betongarbetare och murare) och sido- eller underentreprenörer (rör, el, måleri etc). Ett sådant produktivitetmått har naturligtvis brister i att arbetsproduktiviteten endast blir ett summamått av alla olika åtgärder som påverkar arbetsinsatsen på byggplatserna. Om arbetsinsatserna flyttas från byggplats till fabrik genom ökad prefabricering ökar således produktiviteten utan hänsyn till vilka resurser som prefabriceringen tar i anspråk. Regelbundna produktivitetmätningar tillsammans med en kunskap om byggandets karaktär och tekniska, administrativa och ekonomiska förändringar ger ett betydligt säkrare mått på utvecklingstrenden.

Det som måste betecknas som mycket alarmerande är att inte sedan arbetsproduktiviteten började registreras i mitten av 60-talet har vi förrän i senare delen av 70-talet fått en negativ produktivitetsutveckling. På goda grunder finns det anledning att tala om en obruten produktivitetstillväxt från 50-talet till mitten av 70-talet.

En negativ arbetsproduktivitetsutveckling får mycket snabbt kostnadsgenomslag eftersom lönekostnaderna stiger obrutet.

	1967	1971	1975	1977	1978	1979
Arbetsproduktivitet (m ³ /tim)	0,530	0,716	0,932	0,912	0,819	0,791
Timförtjänst (m ³ /tim)	12,74	17,00	25,43	33,00	35,38	38,08

I förenklad diagramform kan situationen med det kritiska kostnadsgapet åskådliggöras på följande sätt

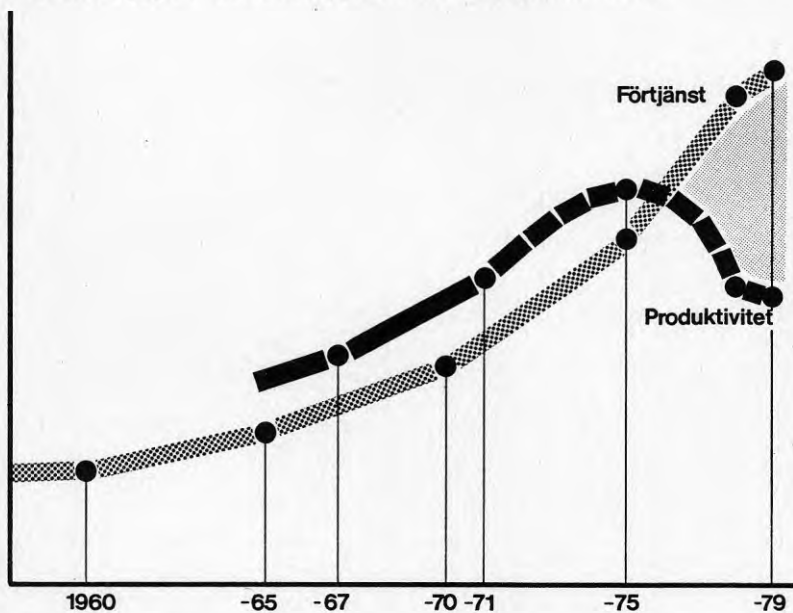


Fig. 6. Det kritiska kostnadsgapet. Förtjänstutveckling och produktivitetsutveckling under 60- och 70-talet.

1.4 Ytfinish

Ett stort problem i platsgjutningen är att skapa betongytor med stor planhet och släta ytor. En byggare ser det som en del i systemet platsgjuten betong att få en produkt som lämpar sig direkt för målning, tapetsering eller golvläggning.

Hur ser det ut i dag? Förhållandena kan beskrivas bildmässigt, men studier av arbetstider för utlagning, golvspackling, skrotning, slipning och bilning visar att de inte står i rimligt förhållande till övriga tider för platsgjutning. Vid ett studium av ett större objekt med flerfamiljsbostäder tog det ca 23 timmar för valvet och ca 18 timmar för väggarna, medan efterlagningen tog ca 30 timmar per lägenhet.

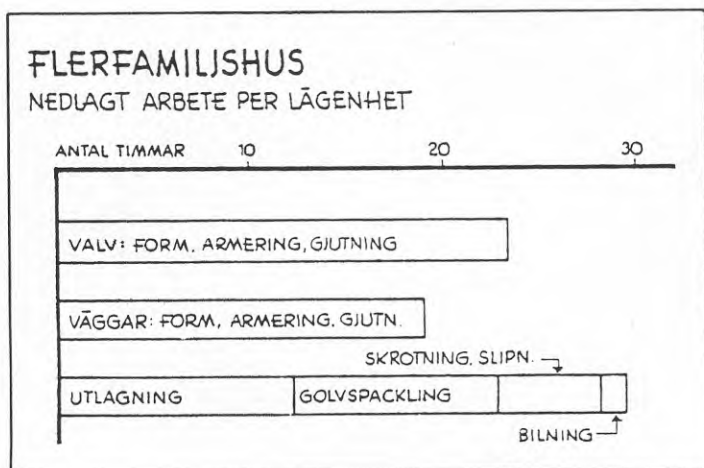


Fig. 7. Andelen efterarbeten vid betongarbete står inte i rimligt förhållande till den primära arbetsinsatsen.

Det behövs med andra ord en bättre teknik för att producera nära nog perfekta betongytor. Om utlagningskostnader helt kunde elimineras så skulle material och maskiner absorbera ökade kostnader:

VÄGGAR: 15 - 20 kr/m²/sida
 motsvarande + 200 kr/m³ betong
 eller
 + 1.000 kr/m² på formpriset
 eller
 + 500.000 kr i maskininvestering.

VALV: undersida 5 - 6 kr/m² eller
 översida 20 kr/m² (golvspackel)
 motsvarande + 130 kr/m³ betong
 eller
 + 500.000 kr i maskininvestering.

Investeringarna i maskiner kan tillåtas vara högre om lönekostnaderna för stommen samtidigt kan reduceras.

Siffrorna ovan visar på ett område där produktionsteknisk forskning skulle kunna leda till metoder som väsentligt skulle nedbringa kostnader för platsgjuten betong.

1.5 Vintergjutning

Under hälften eller mer av året bygger vi med betong i vinterklimat i mellersta och norra Sverige. Vintermerkostnaderna är väl kända men ändå ger en av energikrisen aktualiserad studie av energihushållning vid betonggjutning överraskande resultat. Byggproduktionens energiprofil (SBEF-rapport) visar att uppvärmning vid betonggjutning under vintern tillhör de mest energikrävande byggmomenten. Möjligheterna att t o m avsevärt reducera energiåtgången genom omsorgsfull täckning av gjutna betongvalv med speciella isolermattor, bättre intäckning mellan valven i fasadlivet och uppvärmning med infravärmare är enkla att uppnå.

Denna forskningsrapport behandlar i detalj dessa typer av åtgärder för att minska energiåtgången i följande kapitel.

Det som frapperar är att besparingsmöjligheterna är så stora om alla de speciella vintermerkostnaderna angrips. Nedanstående diagram visar hur man genom en systematisk analys kan nedbringa vinterkostnaderna på ett betongbygge från 6.600 kr per byggdag till 4.600 kr/byggdag; (1977 års priser), vilket i 1980 års priser betyder att ca 9.000 kr per byggdag kan reduceras till ca 6.100 kr per byggdag.

Se fig. 8 nästa sida.

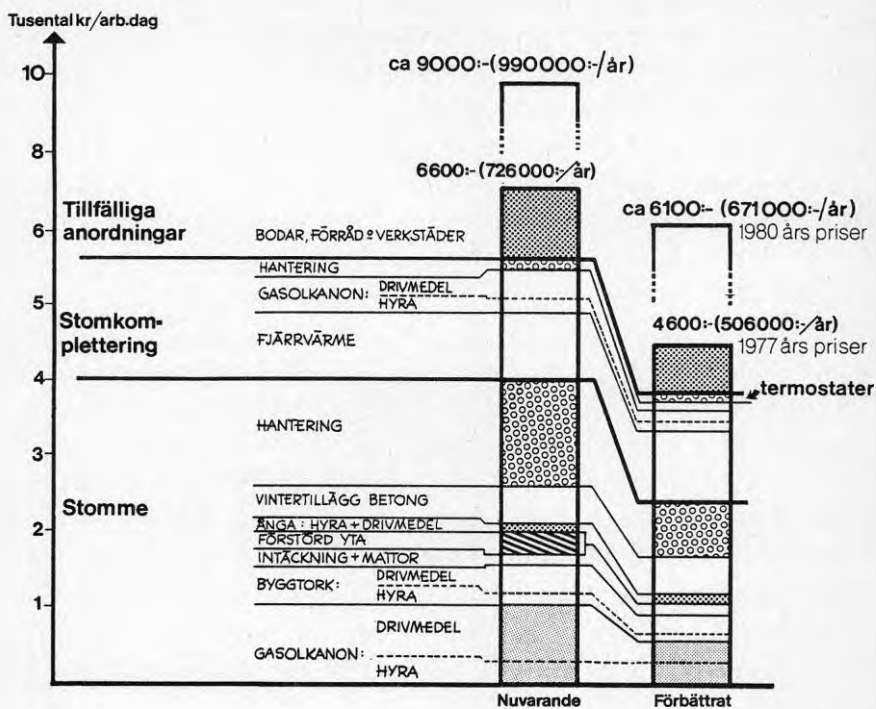


Fig. 8. Vintermerkostnaderna per vinterdag i nuvarande nivå och med systematiska förbättringsåtgärder.

Kostnadsnivå 1977 och uppskattning av totalkostnadsnivån 1980.

De energibesparingsåtgärder som föreslås i denna rapport är med hänsyn till den samlade kostnadsbilden utformade för att också minimera hanteringskostnader.

1.6 Utveckling

Bättre arbetsmiljö, ökad kapacitet, högre kvalitet och lägre kostnader är riktlinjerna för en angelägen utveckling av betonggjutningen. I många fall är det t o m så att lösningarna finns färdiga för applicering men det behövs en anpassning till våra arbetsförutsättningar. Ibland kanske det bara är ovanan som lägger hinder ivägen eller möjligen normer och bestämmelser som inte passar till en ny verklighet.

En provkarta på tillgängliga metoder, maskiner, material etc med reflexioner om lämplig svensk tillämpning kanske bättre än principresonemang ger utvecklingspotentialer för betongarbete den rätta dimensionen. Högt upp på önskelistan för svensk byggnadsindustri kommer betongbilar med doseringsutrustning för flyttillsatser, acceleratorer m m som blandas in i betongen strax innan tömning. Kan man dessutom få betongen uppvärmd till önskad temperatur med hjälp av t ex ett ångaggregat som är monterat på betongbilen kan vintergjutning göras med en mycket låg energiåtgång och till ett lågt pris. Det här kan innebära en match med myndigheterna som är väl värd att ta.

Bilarna ska också förses med så lång ränna som möjligt och den ska kunna svängas runt i horisontalled minst 180°.

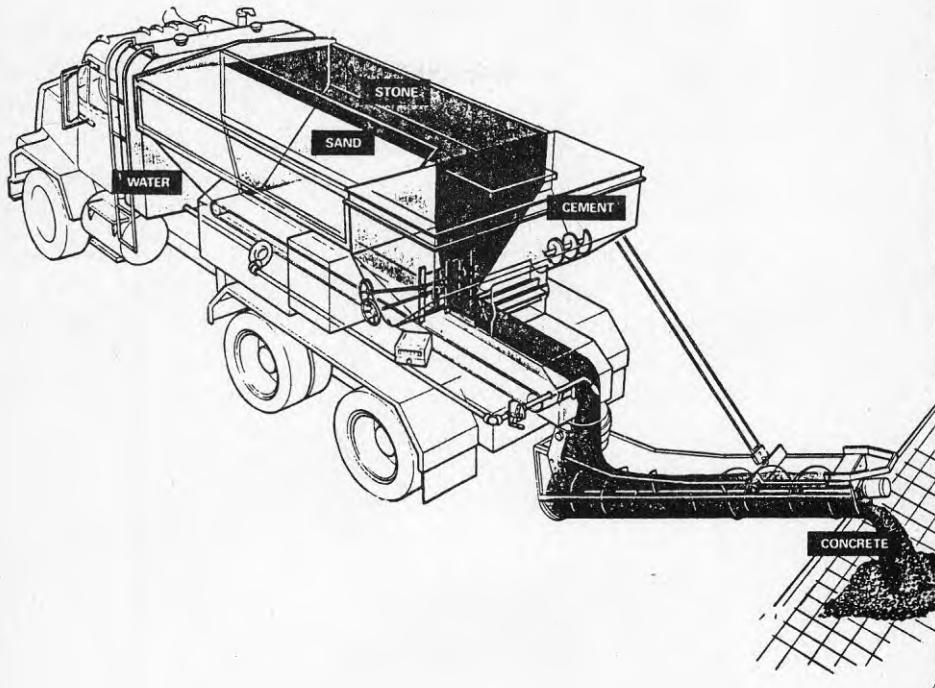


Fig. 9. Den här betongbilen är t o m sin egen betongstation.

Transportband används på många håll i världen. Vid längre sidoförflyttningar förekommer det att man seriekopplar ända upp till tiotalet transportband. Vid gjutning av platta på mark, väggjutningar upp till tio meters höjd och en- till tvåvåningshus med väggar och valv i betong klarar ett standard transportband all betongtransport. Kompletteras bandet med ytterligare ett band kan 3- till 4 våningshus gutas utan kran och ficka. Dessutom sparas ett par betongarbetare vid gjutningen.

Om vi som form har vinkel- eller tunnelform gjuter vi alltså vägg och valv samtidigt med hjälp av två transportband och 3 - 4 man.

Vågar vi dessutom ta ett utvecklingssteg till monterar vi höj- och sänkbara vibratorer på transportbandet eller sätter formvibratorer på formen för att klara vibreringen. På samma räls på valvet som transportbandet går på lyfter vi upp en maskinell avdragare och vi får ett mycket plant valv, med en brädriven yta. Idealisk som underlag för självutjämnande spackel. Ändå billigare är en stålglättad yta som är så bra att den inte behöver spacklas alls.

En "glättningsmoped" ger en avsevärt förbättrad arbetsmiljö och kapaciteten 1.200 m²/dag tål all jämförelse med gängse metoder.

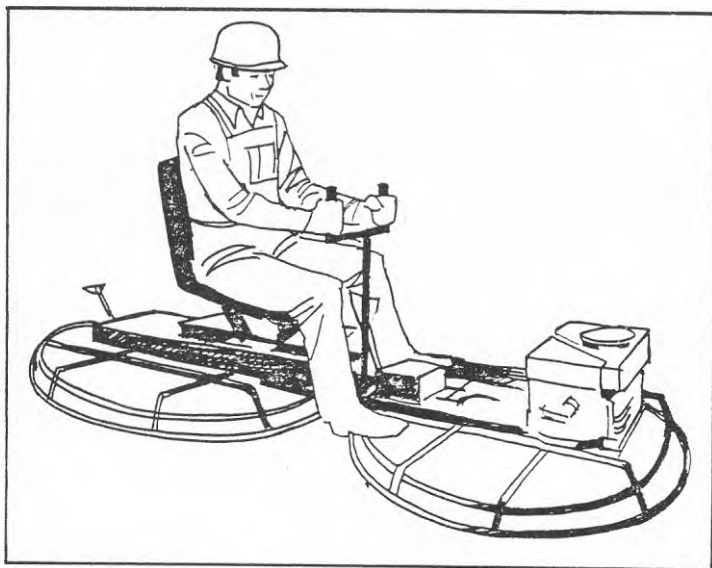


Fig. 10. Slipmoped - bra och produktiv arbetsmiljö.

Vad har vi eventuellt uppnått om dessa vilda idéer fungerar och är ekonomiskt riktiga lösningar?

Vi har en man på glättningsmopeden, en man på avdragningsmaskinen, en man vid transportband på valvet, en man vid transportband på marken. Ingen av dessa fyra betongarbetare rör vid betongen, vibratorerna eller behöver kämpa med avdragsbryggor, baskar eller skyffling. De har däremot ett stimulerande maskinskötarjobb.

Kan vi dessutom bygga ihop glättaren, avdragsmaskinen och de två transportbanden med varann, kan den skötas av 1 - 2 man. Nu har vi en ekonomiskt och miljömässigt oslagbar lösning som vi givetvis även ska sälja på bl a USA-marknaden!

Flytbetong, d v s betong med sättmått större än 20 cm är ett material med intressanta egenskaper. Försök i Sverige syns indikera att ett sättmått på 24 cm bör eftersträvas. Flytbetong har en stor andel av den platsgjutna betongen runt om i världen men i Sverige lägger normerna hinder i vägen. Kostnadstillägget för flyttillsatsen har naturligtvis samband med användningsfrekvensen men är än så länge ändå omotiverat högt. Ännu mer så i betraktande av att betongarbetsmiljön är byggnadsindustrins mest angelägna utvecklingsområde. Alla intressenter i betongbyggande måste ta tillvara varje möjlighet som bjuds att underlätta betongarbetet.

Arbetsmiljön, kapaciteten och kostnaderna pekar alla i högsta grad på flytbetong. Ett exempel från en valvgjutning (40 m³ betong) ger onekligen förbluffande siffror.

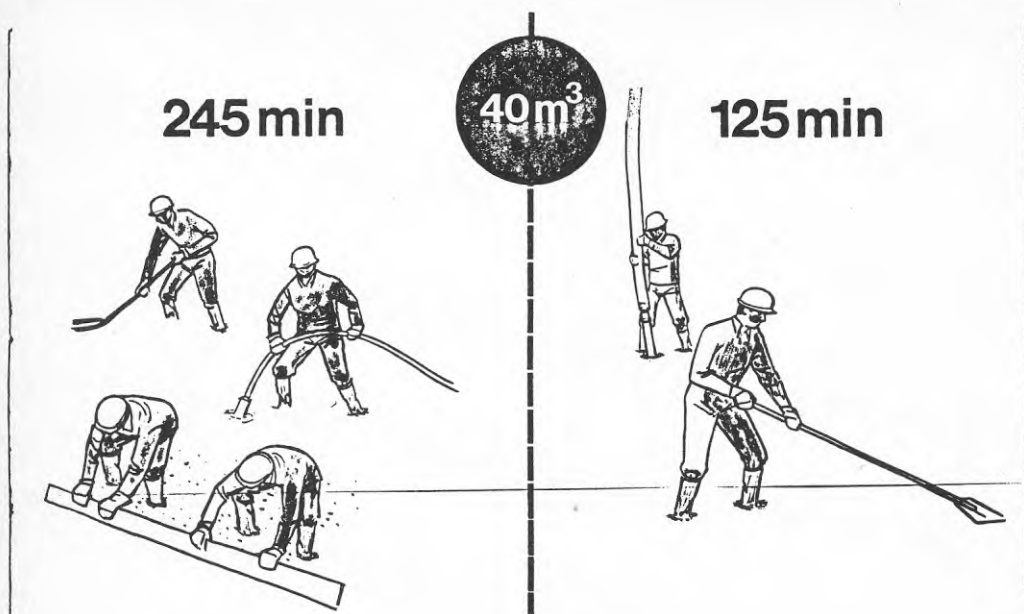


Fig. 11. Valvgjutning med "vanlig" betong respektive flyt-
betong. Totala arbetsinsatsen 980 manmin resp. 250 manmin.
Fyra man i drygt fyra timmar har mycket mera ansträngande
arbete enligt traditionell gjutmetod än de två betongarbe-
tarna som på drygt två timmar gör samma valv med flytbetong.

1.7 Energisnål betonggjutning

De energikrävande momenten i husbyggnadsproduktionen är uppvärmning och uttorkning av byggobjektet, tillfällig belysning på byggplatsen, uppvärmning av bodar och förråd samt maskinarbete och transporter inom arbetsplatsen. Uppvärmning, uttorkning och belysning är i stor utsträckning att hänföra till vinterperioden.

Vinterbyggnadsmetoderna har ägnats stor uppmärksamhet och intresset har koncentrerats till att medge kontinuerligt byggande med så få negativa effekter på sysselsättningen som möjligt. Energiinsats och energikostnader har kommit helt i skymundan. Till detta har givetvis bidragit att energi i alla användningsformer varit billig. Kravet på en medveten energihushållning och dagens energipriser med en sannolik fortsatt kraftig prisutveckling har ändrat situationen radikalt.

Betonggjutning på vintern

Direkt och indirekt energiinsats under byggproduktionskedet som har samband med betonggjutning är en dominerande energipost. Som framgår av studien Byggproduktionens energiprofil (Rapport nr 19 från Svenska Byggnadsentreprenörföreningen, forskningsanslag från BFR).

För uttorkningen är den dominerande metoden uppvärmning och ventilation. Fukten i byggmaterialen transporteras bort genom uppvärmning av luften och samtidig, kraftig ventilation. En energikrävande metod med låg verkningsgrad.

På senare år har avfuktare börjat användas i större omfattning. Det har visat sig innebära både energisnålare, därmed billigare, och effektivare uttorkning. Samma förhållande gäller då varmhållning av den nygjutna betongen erfordras för att undvika frysning under vinterperioden. Det beror på att intäckningen av byggnaden och täckningen av betongen betraktas som en provisorisk åtgärd och därför ägnas föga uppmärksamhet.

Betongen måste skyddas för frysrisk vintertid. Med hänsyn till betongens härdning finns det anledning att tala om vintergjutning redan när temperaturen går under $+5^{\circ}\text{C}$. Den kritiska perioden kan anses passerad då betongen uppnått en hållfasthet på ca 5 MPa.

Det finns ofta ett preciserat krav på att tillräcklig betonghållfasthet skall uppnås för att tillåta formrivning i samma takt på vintern som under sommarmånaderna. Man eftersträvar självfallet hög och jämn produktionstakt året om och man vill om möjligt undvika att behöva sätta in större formpark under vintern för att därigenom säkerställa oförändrad produktionstakt.

Under perioder på året då yttertemperaturen och övriga klimatbetingelser kan innebära frysrisker för nygjuten betong, står en rad olika åtgärder till buds. I princip har man ett temperaturområde där det räcker med isolering av betongen och formen. Sjunker temperaturen ytterligare, krävs uppvärmning. Gränserna mellan temperaturområdena kan emellertid förskjutas genom olika åtgärder med betongen.

Om den nygjutna betongens temperatur kan ökas genom användning av varm betong (enl normen högst 30°C), förskjutes gränsen där uppvärmning erfordras. Liknande effekt kan uppnås genom inblandning av 1 å 1 1/2% kalciumklorid i betongen. Om standardcement utbyts mot snabbcement, minskar också det temperaturområde inom vilket uppvärmning erfordras. Av samma skäl kan det också vid vinterarbeten vara en fördel att höja cementhalten något.

Traditionell täckning, intäckning och uppvärmning

Tekniken att täcka nygjutna valv är i allmänhet mycket otillfredsställande. Det vanligaste förfarandet är att



Fig. 12. Traditionell betongtäckning.

använda betongtäckmattor av mineralull med ett plastöverdrag. Mattorna hålls på plats med träreglar. Det finns flera svagheter med den här metoden. Mattorna blåser lätt bort, även om de är belastade, och i vart fall får man lätt pumpeffekt vid hörn och avslutningar.

Ytterhöljet punkteras lätt, varefter mineralullen suger upp vatten och tappar isoleringseffekt. Dessutom täcker man i regel först när hela gjutetappen är klar och betongen redan kylts ner.

Inte heller tekniken att täcka in fasaden under det nygjutna valvet är speciellt bra genomtänkt. De presenningar man använder för detta ändamål har helt andra format än de öppningar som skall täppas till och följderna blir en dålig täckning med många draghål.



Fig. 13. Den vanliga metoden med presenningar för intäckning av fasaden.

Den vanligaste metoden för uppvärmning vid platsgjutning under vintern är att använda oljedrivna byggtorkar. En mycket energikrävande metod som därmed idag också är kostsam. Uppvärmningen sker genom att den under valvet inneslutna luften uppvärms och i sin tur värmer valvformen som överför värme till betongen. En lång och störningskänslig kedja som genom bristfällig täckning och intäckning får dålig verkningsgrad.

Nya metoder

Utgångspunkten för att uppnå en verkligt energisnål betonggjutning måste vara att dels ägna täcknings- och intäckningsförfarandet stor omsorg dels söka ett effektivare uppvärmningssystem.

Täckningsförfarande

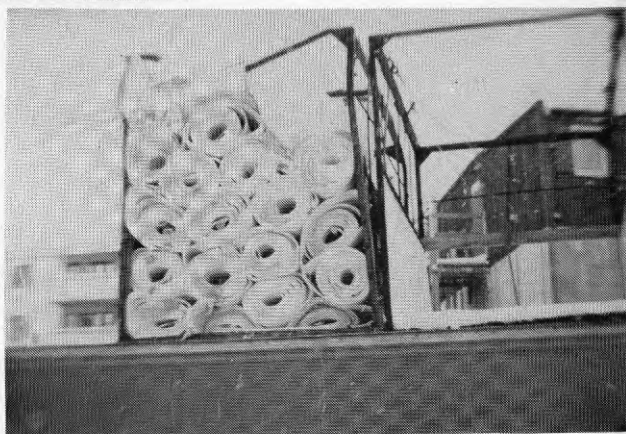
Vad gäller täckningsförfarandet eftersträvas ett material som har mycket goda isoleringsegenskaper, tål hanteringssituationen på en byggarbetsplats och tillåter en rationell utläggning. Två material har utvalts enligt de uppställda kriterierna. Ethafoam respektive Alveolit.

Ethafoam är en expanderad polyeten som levereras i rullar om 75 m med 2 m bredd. Tjocklek 7 mm, 10 mm och 15 mm. I provserierna har 7 mm och 10 mm Ethafoam använts men hållfastheten i den omilda behandlingen är inte helt tillfredsställande varför 15 mm tjocklek rekommenderas. En fördel är att isoleringen kan läggas ut direkt på den nygjutna betongen, lätt avlägsnas efter härdningen och betongytan lämnas utan skador av täckningen. Det har stor betydelse att täckningen kan göras så snart som möjligt efter gjutning och inte görs först sedan hela gjutetappen är klar. Både materialets egenskaper och den snabba utläggningen som kan åstadkommas genom att i vårt fall i ett moment rulla ut 20 m² medverkar till att betongens härdning får ett säkrare förlopp och ett förlopp som minimerar energiinsatser. Metoden ger också en låg lönekostnad.



Fig. 14. Snabb utrullning av isolermatta på nygjutet betongvalv.

Fig. 15. Genomtänkta arrangemang för hantering av isolermattor i rullar.



Alveolit tillhör samma materialgrupp som Ethafoam, men är slätare och något starkare. Den släta ytan gör att det går lätt att tejpa ihop materialet till önskad bredd. En nackdel är dock att Alveolit inte kan fås med större bredd än 1,6 m. Med tanke på hanteringshållfastheten förordas 10 mm tjock Alveolit.

Fasadintäckning

För att få en tillfredsställande intäckning i fasad måste presenningar, figursydda för ändamålet, användas. Presenningen måste helt sluta till öppningen i fasaden och dessutom ha sådan fästinsättning att en säker uppsättning sker snabbt och enkelt så att fasadintäckningen inte av tidsskäl görs slarvigt. Det är uppenbart att värmning under valvet inte blir effektivt och optimalt energisnål om fasadintäckningen är dålig. En fasadintäckning som är genomtänkt och inte betraktas som ett provisorium betyder att specialsydda presenningar är en investering som snabbt betalar sig i lägre lönekostnader. En specialsydd presenning i rätt utformning skall sitta kvar på formen, vilket dels säkerställer en god intäckning dels ger ytterligt kort hanteringstid. Nästa steg är att formtillverkarna från början utformar lämplig infästning på formarna.

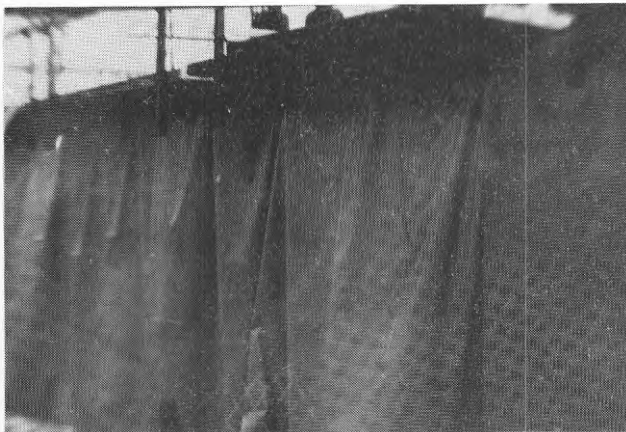


Fig. 16. Skräddarsydda presenningar med permanenta infästningsanordningar formborden.

Uppvärmning

Traditionella uppvärmningsmetoder är oljeeldade byggtorkar eller gasolkanoner. Kostnaderna står i direkt proportion till energiförbrukningen och är därmed förhållandevis höga. Oljeeldade byggtorkar har i allmänhet stor kapacitet med en oljeförbrukning på 8 kg/tim. I många fall är uppvärmningskapaciteten inte särskilt väl avpassad till uppvärmningsbehovet för ett fack i byggnaden. Gasolkanonerna ligger i storlek 2 kg gasol per tim, vilket visar sig vara lättare att anpassa till uppvärmningsbehovet i flerbostadsproduktion.

Med tanke på den höga oljeförbrukningen och låga verkningsgraden, finns det all anledning att söka efter nya uppvärmningsalternativ. Av de uppvärmningsmetoder som provats har gasoldrivna strålningsvärmare visat sig innebära en drastisk sänkning av energiåtgång och kostnader. Strålningsvärmarna har tagit 0,5 kg gasol per tim. Strålningsvärmarna är renare och mycket lättare att handskas med, vilket ger låga lönekostnader. Strålningsvärmarna kan med fördel monteras fast på formbord, vinkelform och tunnelform.

Studieobjekt

Utvecklingsprojektet har genomförts under två vintersäsonger i Stockholmsområdet. Under vintern 1978, huvudsakligen perioden januari - mars, gjordes provserierna i Nacka på ett bostadsobjekt omfattande 115 lägenheter fördelade på tio tvåvåningsradhus. Våningsytan var totalt 10.680 m². Byggtakt 85 m² våningsyta per dag. Valvtjocklek 18 cm men i enstaka fall också 16 cm.

I den första provserien koncentrerades proven till att mäta effekten av betongtäckning och fasadintäckning. Som uppvärmningsanordning användes gasolkanoner. Vartefter proven fortskred aktualiserades också en metod med infravärmare för att finna radikalt bättre alternativ till uppvärmning.

Under vintern 1979 gjordes proven i Sollentuna på ett objekt bestående av 163 tvåvånings radhus. Våningsytan var totalt 27.113 m². Byggtakt 67 m² våningsyta per dag. Valvtjocklek 16 cm och 20 cm. Den andra provserien koncentrerades på att vidareutveckla metoden med infravärmare som i de första primitiva försöken visat mycket lovande resultat. Under den andra provserien kompletterades också mätningarna med hållfasthetskontroll med tanke på de praktiska konsekvenserna. De energiinriktade mätningarna och åtgärderna visade sig leda in på komplexet betong i tidig ålder som har stor praktisk betydelse för riktig hantering av betong på byggarbetsplatserna. Under den andra provperioden gjordes också mätningar vid väggjutning.

2. BETONG I TIDIG ÅLDER

Det skede som kan betecknas som betong i tidig ålder visar sig vara svårt att exakt precisera. Under betongens första stadium efter tillverkningen sker ingen nämnvärd tillstyvning. Betongen säges då vara färsk. Tidig ålder inträder när betongen börjar hårdna och inte längre betraktas som färsk. Det sker normalt 3 - 5 timmar efter tillverkning, fig.17.

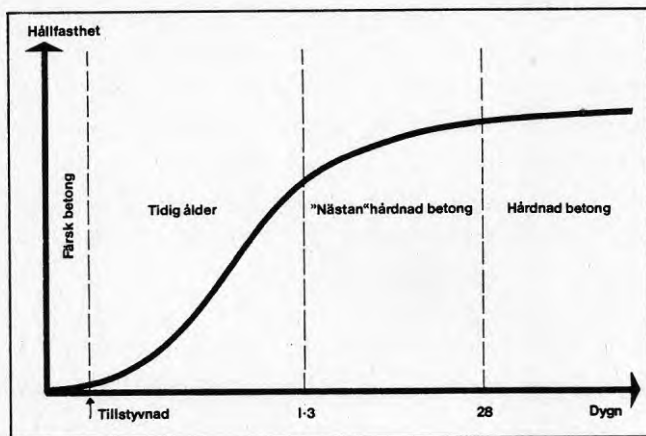


Fig. 17. Olika stadier under betongens hårdnande.

Betong i tidig ålder karaktäriseras av snabb tillstyvning och därmed snabb hållfasthetstillväxt. Ett till tre dygn efter tillverkningen börjar normalt tillstyvnandet att avta. Betongen är då nästan hårdnad. Efter 28 dygn kan man tala om hårdnad betong och därefter sker ingen nämnvärd tillstyvning eller hållfasthetsökning.

Som figuren visar händer det mesta med betongen i tidig ålder. Eftersom osäkerheten ännu är stor om betongens egenskaper i tidig ålder finns det anledning att bättre följa förloppet ute på arbetsplatserna. Detta bl a för att kunna utnyttja betongen rationellt ex genom att minska tiden innan formen kan rivas.

De faktorer som främst påverkar betongens egenskaper i tidig ålder är:

- temperatur
- cement (mängd, typ och fabrikat)
- vattencementtal (vct)
- tillsatsmedel

En ökad kunskap och kontroll av betongens hårdnande de första dyggen kan korta tiden till formrivning betydligt. Speciellt gäller detta vintertid då olika metoder förekommer för att påskynda hårdnandet. Om formarna binds kortare tid kan formparken minskas och även en högre produktivitet uppnås, vilket leder till bättre ekonomi. I detta sammanhang bör också nämnas risk för olycksfall och ekonomiska bakslag som förorsakas av för tidig formrivning. Känner man betongens härdningsförlopp och planerar produktionen därefter elimineras många felgrepp.

Betongen har helt naturligt stor deformationsförmåga i tidig ålder. Denna deformation är övervägande icke-elastisk fig.18. Har t ex ett valv deformerats i tidig ålder är det omöjligt att rätta till efteråt.

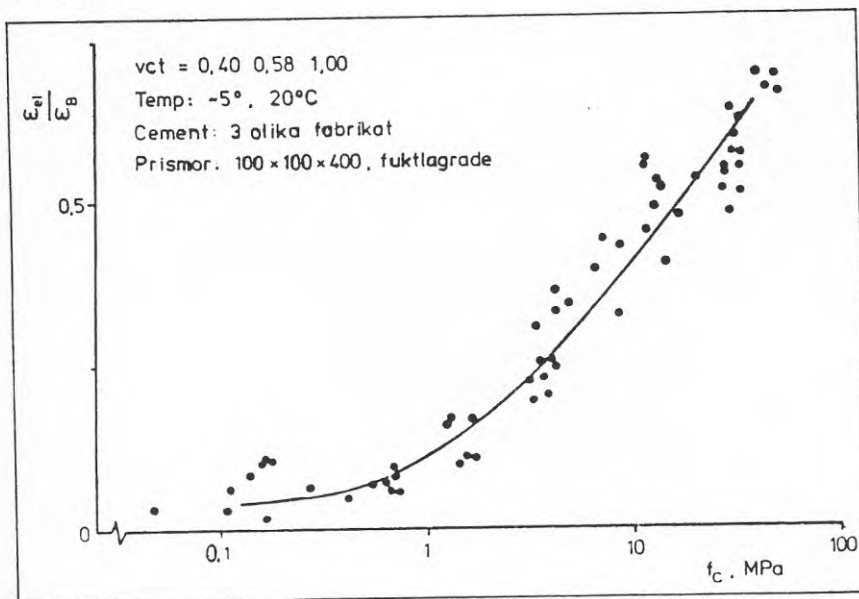


Fig. 18. Andelen elastisk deformation av brottstukningen vid olika tryckhållfastheter.

2.1 Hållfastheten hos betong

Hållfastheten tilltar snabbast i tidig ålder och är viktig att känna till för att kunna uppskatta formrivningstiden eller hastigheten vid glidformsgjutning.

För att öka tillväxthastigheten kan man öka temperaturen som framgår av fig. Lägre vattencementtal, användning av tillsatsmedel eller "snabbare" cement ökar också tillväxthastigheten. Nu hävdas dock att om tillväxthastigheten blir för stark kan det inverka menligt på långtidshållfastheten och även öka sprickbildningen. Våra erfarenheter pekar på att sprickbildningsbenägenheten helt kan elimineras genom att betongytan täcks med ett diffusionstätt material. Både ethafoam och alveolit har sådana egenskaper.

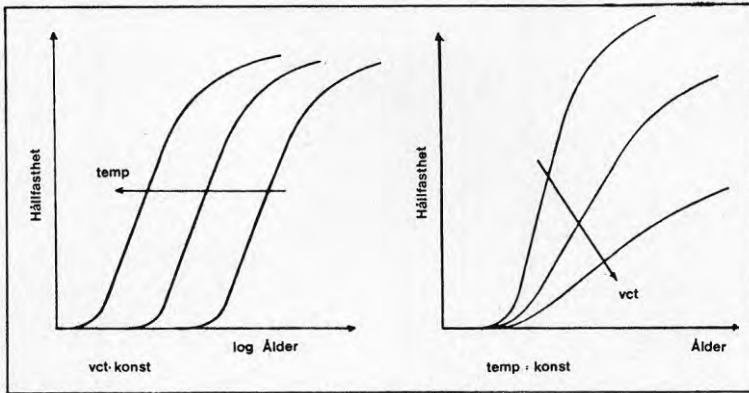


Fig. 19. Principskiss över inverkan av temperatur och vct på hållfasthetstillväxten.

Vid användande av tillsatsmedel måste även dess negativa effekter beaktas. Som accelererande medel används vanligen kalciumklorid CaCl_2 . I för stora mängder ger det upphov till korrosionsskador på armeringen och är därför förbjudna i konstruktion som utsätts för fuktig miljö t ex broar. Mycket accelererande medel gör också att betongen börjar hårdna kort tid efter tillverkningen och den ställer då speciella krav på hanteringen.

2.2 Mätteknik

För att uppskatta betongens hållfasthet finns ett flertal olika metoder.

1. Teoretisk beräkning baserad på lagringstid och temperatur.

Betongtemperaturen läses av med vissa tidsintervall. Som temperaturgivare används lämpligen motståndstråd. Mognadsgraden beräknas med hjälp av TT- eller Arrhenius-funktionen. Tendenskurvor ger sedan tryckhållfastheter för aktuell betong.

Exempel. Betong K 250 Std lagras i 48 timmar vid 20°C.

TT-faktorn blir: $2(20 + 10) = 60$

Tendenskurvor ger $\sigma_t = 6,5$ MPa ca.

Arrhenius M_{20} -faktor blir enligt sid 38: 24

Tendenskurvor ger $\sigma_t = 6,9$ MPa ca.

Pris ca 1 000 kr för bärbar temperaturmätare.

2. Maturity meter

Mäter temperaturen och räknar ut mognadsgraden baserad på Arrhenius M_{20} -funktion.

Pris ca 20 000 kr.

3. Windsor sondprovningssystem.

Stift skjuts ned i betongen. Nedträngningsdjupet är mått på tryckhållfastheten enligt uppgjord tabell. Speciell skjutladdning för låga hållfastheter.

Provserie på tre skott är lämpligt.

Pris 6 300 kr plus 50 kr per provserie.

4. Studsmätare

En fjäder spänns och slår en metallstav mot betongytan. Studsen mot betongytan omräknas till tryckhållfasthet. Speciell för lägre hållfasthet.

Pris ca 2 500 kr.

5. Ultraljud

Sändare och mottagare för mätning av ultraljudets transport genom betongen.

Pris ca 10 000 kr.

6. TNS - metoden

I samband med gjutningen förs cirkulära hylsor ned i betongen. Detta tas sedan bort och kärnan som bildats böjs av med en kraft i toppen. Böj- draghållfastheten översätts sedan till tryckhållfasthet.

Pris ca 4.500 kr.

7. LOK - metoden

Metallbrickor på en distansbult gjuts in i betongen.

Bulten skruvas ur och ersätts med en krok. Kraften som drar ut brickan omräknas till tryckhållfasthet.

Pris ca 20 000 kr.

För praktisk tillämpning ute på byggarbetsplatserna är det främst temperaturmätning med teoretisk beräkning och TNS-provning som syns vara billiga, enkla och tillförlitliga. Vi har i det följande valt att basera hållfasthetsberäkningarna på Arrhenius-funktion som har visat sig vara betydligt mer tillförlitlig än den i dag vanligaste metoden med tid-temperaturfaktorn (TT-faktorn) fig.

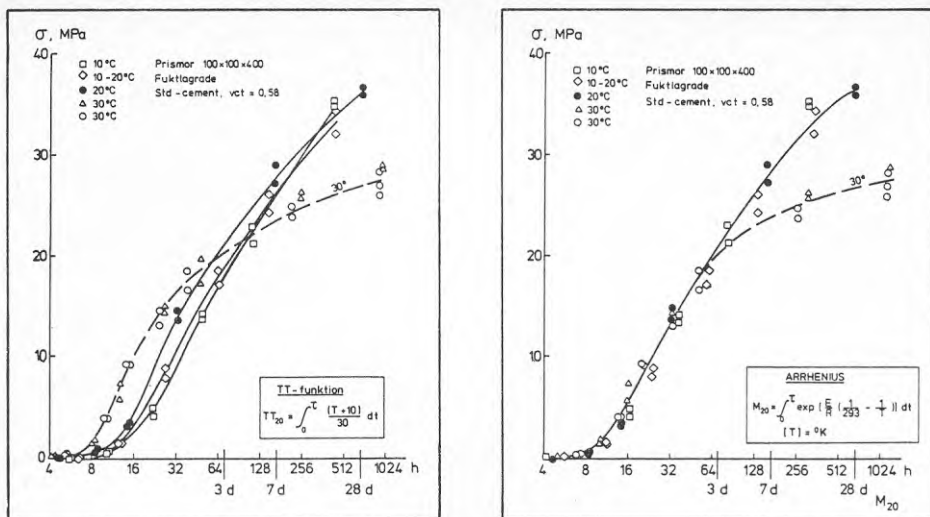


Fig. 20. Mognadsfunktioner enligt TT-metoden och Arrhenius-metoden.

Som framgår av figuren sammanfaller hållfasthetsvärdena vid olika temperaturer vid Arrhenius funktion betydligt bättre än TT-funktionen. Arrhenius funktionen beaktar bättre hållfasthetsutvecklingen vid olika temperaturer. Framförallt är detta viktigt i tidig ålder där hållfasthetstillväxten är mycket snabb.

För att kunna använda sig av mognadsfunktioner måste temperaturen vara känd samt hållfasthetsutvecklingen för åtminstone ett temperaturförlopp. Vanligen väljs 20°C som referens. Med hjälp av mognadsfunktionerna uppskattas betongens mognadsgrad i graddygn.

TT-faktorn (tid - temperaturfaktorn)

$$TT = a(t + 10) \quad a = \text{tid i dygn} \\ t = \text{betongtemp i } ^\circ C$$

Varierar temperaturen under dygnet delas tiden upp i kortare intervaller som adderas så att slutligen antalet graddygn erhålls. Tendenskurvor för sambandet mellan tryckhållfasthet och mognadsgrad ger betongens förväntade hållfasthet. Tendenskurvorna är baserade på erfarenhetsvärden och kan också användas för att beräkna tiden till formrivning vid viss temperatur och betongkvalitet.

Arrhenius funktion:

$$M_{20} = \int \exp \left(\frac{E}{R} \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{T} \right) \right) dt \text{ görs om till}$$

$$M_{20} = \sum \exp \left(\frac{E}{R} \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{T} \right) \right) dt$$

där M_{20} = ekvivalent ålder vid 20°C

E = materialkonstant beroende på btgtemp (0)

$$0 \text{ } 20^{\circ}\text{C} \quad E = 33,5$$

$$0 \text{ } 20^{\circ}\text{C} \quad E = 33,5 + 1,47 (20-0)$$

R = allmänna gaskonstanten

T = betongtemperatur i °K

t = tiden

Summan adderas med olika tidsintervall beroende på temperaturändring. Den uttrycks i graddygn och tendenskurvor för aktuell betongkvalitet ger förväntad hållfasthet. Kurvorna används för att uppskatta hållfastheten vid visst temperaturförlopp och tid. Därmed erhålls formrivningstiden.

I tabellen har nästa sida har M_{20} räknats fram för betong lagrad i en timme vid olika temperaturer. Det framräknade värdet på M_{20} kombineras sedan med tendenskurva för aktuell betongkvalitet, fig.

Exempel: Betong K 250 std lagras 10 tim i 30°C.

Vilken hållfasthet har den då?

Ur tabell på nästa sida fås för 30°C $M_{20} = 1,57$

10 tim x 1,57 = 15,7.

Ur tendenskurvor fig. 21 fås tryckhållfastheten 3,2 MPa.

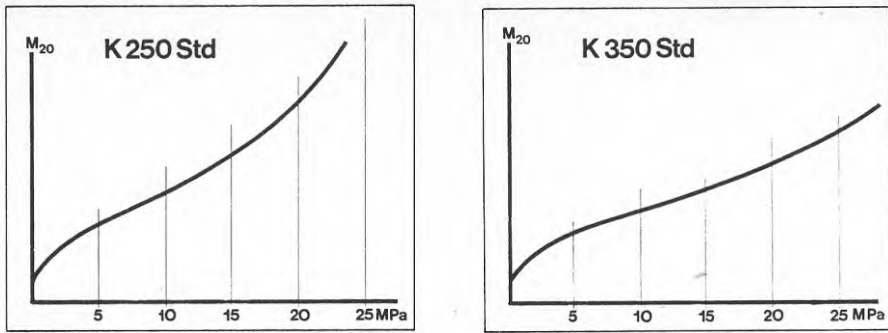


Fig. 21. Tendenskurvor för betong K 250 std och K 350 std.

Betong- temp °C	M ₂₀	Betong- temp °C	M ₂₀	Betong- temp °C	M ₂₀
50	3,59	29	1,51	8	0,41
49	3,45	28	1,44	7	0,37
48	3,32	27	1,38	6	0,33
47	3,19	26	1,32	5	0,29
46	3,07	25	1,26	4	0,26
45	2,95	24	1,20	3	0,23
44	2,83	23	1,15	2	0,20
43	2,72	22	1,10	+ 1	0,17
42	2,61	21	1,05	+ 0	0,15
41	2,51	20	1,00	- 1	0,13
40	2,41	19	0,95	- 2	0,11
39	2,31	18	0,90	- 3	0,10
38	2,22	17	0,85	- 4	0,08
37	2,13	16	0,80	- 5	0,07
36	2,04	15	0,75	- 6	0,06
35	1,95	14	0,70	- 7	0,05
34	1,87	13	0,64	- 8	0,04
33	1,79	12	0,59	- 9	0,03
32	1,72	11	0,54	-10	0,02
31	1,64	10	0,50		
30	1,57	9	0,45		

M₂₀ för olika temperaturer vid 1 timmes lagring.

Lämplig utrustning för temperaturmätning i betongen på byggarbetsplatsen är trådar med termoelement som fästes i betongen. Till trådarna kopplas ett avläsningsinstrument och eventuellt även en skrivare. Medeltemperaturen för varje eller varannan timme beräknas och baserat på detta fås M_{20} och sedan hållfastheten som beskrivits tidigare.

En annan lämplig metod att uppskatta betongens hållfasthet på arbetsplatsen är TNS-prov, fig. 22 - 24. Den är enkel och lätt att använda. Metoden går till så att rörformade plasthylsor förs ned i den färska betongen. Vid provtillfället lyfts hylsan upp och den betongstav som bildats böjs av genom en påförd horisontell kraft i stavens topp. Laboratorieförsök visar att metoden lämpar sig väl för hållfastheter från ca 1 MPa.

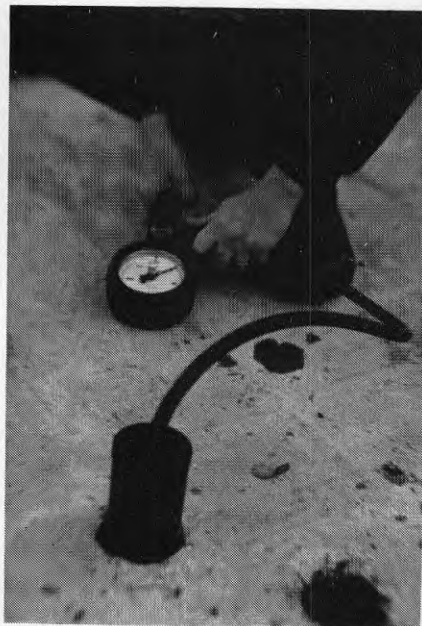
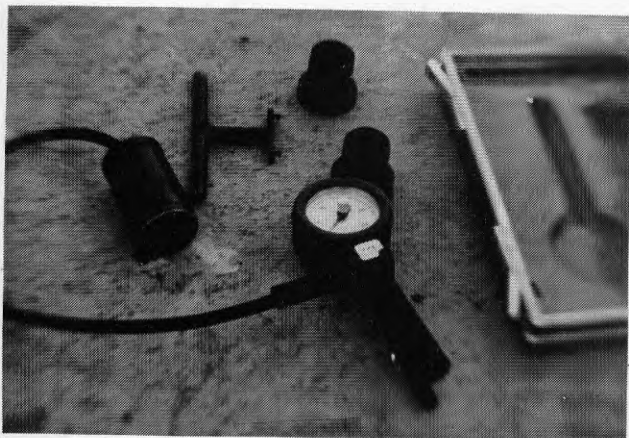


Fig. 22, 23. Provutrustning för TNS-prov.

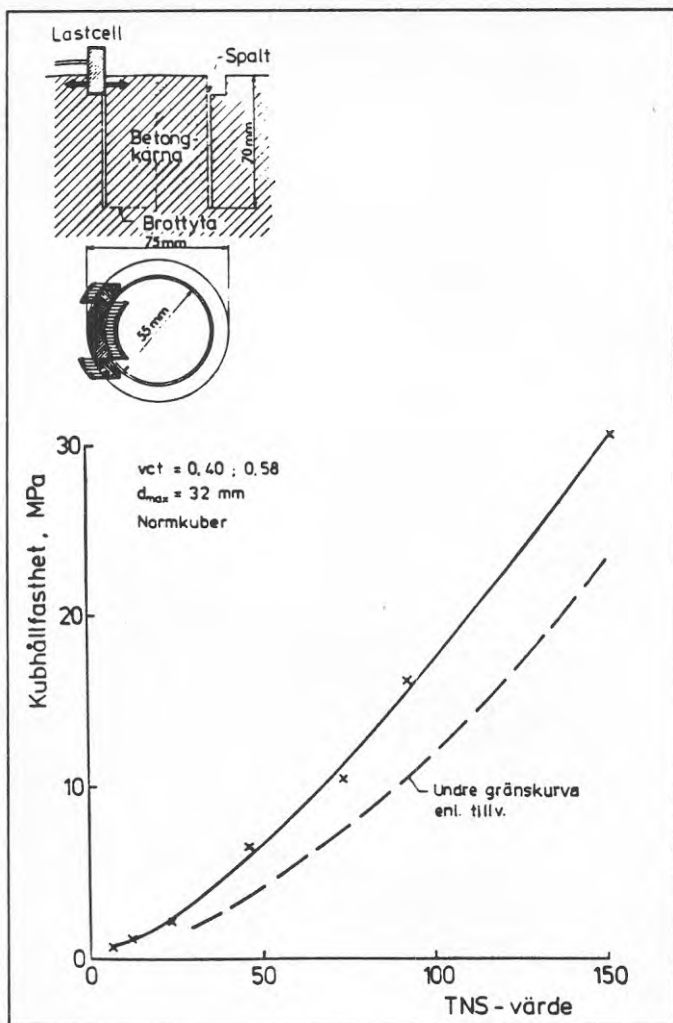


Fig. 24. Resultatkurvor för TNS-prov.

2.3 Överensstämmelse mellan provmetoder

En serie betongprov har gjorts för att undersöka överensstämmelsen mellan olika provmetoder. I samband med gjutningen på arbetsplatsen har provkroppar gjutits. De har sedan lagrats i ett dygn vid olika temperaturer innan tryckning till brott. Resultatet redovisas i tabell.

Genomsnittstemp (°C)	TT (MPa)	M ₂₀ (MPa)	Provtryck (MPa)	TNS (MPa)	Betong
4,3	1,8 (360%)	0,2 (40%)	0,5	--	K 250 Std ÄL 1,5% CaCl ₂
6,0	2,0 (154%)	0,4 (31%)	1,3	--	K 250 Std FÄT 1% Betokem A
6,5	4,0 (100%)	0,6 (15%)	4,0	--	K 350 Std FÄT
7,9		1,8		2,2	K 250 SH
12,0	2,5 (61%)	1,9 (46%)	4,1	--	K 250 Std FÄT 1,5% CaCl ₂
12,5	2,7 (67%)	2,3 (51%)	4,5	2,5 (56%)	K 250 Std FÄT 1,5% CaCl ₂
16,2	4,8 (59%)	7,3 (89%)	8,2	--	K 300 Std ÄL 1% CaCl ₂
17,0	5,3 (58%)	7,9 (87%)	9,1	--	K 300 Std ÄL 1,5% CaCl ₂
18,0	4,8 (56%)	7,5 (87%)	8,6	9,5 (110%)	K 300 Std ÄL 1,5% CaCl ₂
27,3	6,5 (44%)	13,7 (92%)	14,9	--	K 300 Std ÄL 1% CaCl ₂
38,0	8,0 (51%)	16,9 (107%)	15,8	--	K 300 Std ÄL 1,5% CaCl ₂

ÄL - ärt, lätt

FÄT - finärt, trög

SH - snabbhårdnande

Std - standard

% anger del av provtryckningsresultat

De teoretiska värdena grundar sig på temperaturen som uppmätts i betongkuben. Något ytterligare tillägg till hållfastheten, utöver den som temperaturhöjningen ger vid CaCl_2 -tillsatsen, har inte gjorts.

Med M_{20} -metoden underskattas hållfastheten vid låga betongtemperaturer. Tillförlitligheten ökar med ökad temperatur.

TT-metoden överskattar hållfastheten vid låga temperaturer och underskattar den vid höga temperaturer. Tillförlitligheten minskar med ökad temperatur.

2.4 Rivningshållfasthet

För att höja byggtakten och minska formparken vid stomgjutning är man intresserad av att minimera tiden från gjutning av avformning. Konstruktionen måste då kunna bära sig själv plus viss last utan att deformationerna blir för stora.

Vid väggjutning är det risken för frysning och att väggen skall välta som är styrande för avformningstiden. När det gäller valvgjutning är det deformationen som är avgörande.

Laboratorieundersökningar som bedrivits av Paul Samuelsson Cementa AB visar att väggens farliga snitt är i anslutning till bottenplattan eller vid övergången från säkerhetsbyglarna till centrumstängerna. Väggar kunde uppta vertikala krafter redan vid hållfasthetsvärden $0,5 - 1 \text{ MPa}$ ($5 - 10 \text{ kp/cm}^2$). De var känsligare för horisontella krafter. En vägg med höjden $2,5 \text{ m}$, bredden 90 cm och tjockleken 15 cm kunde lätt vältras för hand vid hållfastheter 1 MPa (10 kp/cm^2). Effekten blir förödande om någon kommer ivägen för en fallande vägg.

Försök har också gjorts på betongvalv med spännvidden $4,2 \text{ m}$. Valvet har avformats med olika tryckhållfasthet i betongen och nedböjningen mättes med och utan hjälpstämp. fig. 25.

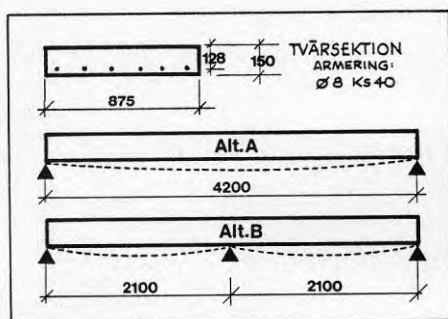


Fig. 25. Förutsättningar för provning av valv i Cementas försök.

Med denna, för husbyggnad, vanliga spännvidd sker mycket stora deformationer om hållfastheten understiger 2 - 3 MPa (20 - 30 kp/cm²). För att klara en momentan deformation på maximalt 10 mm fordras 4 resp 5 MPa (40 resp 50 kp/cm²) utan stämp. Med stämp reduceras deformationen avsevärt (fig 26). Efter den momentana nedböjningen sker en krypning som enligt försöken uppgår till mellan 3 och 8 mm efter 26 dygn. Nedböjningen på grund av krypning är mindre beroende av rivningshållfastheten än vad den momentana deformationen är.

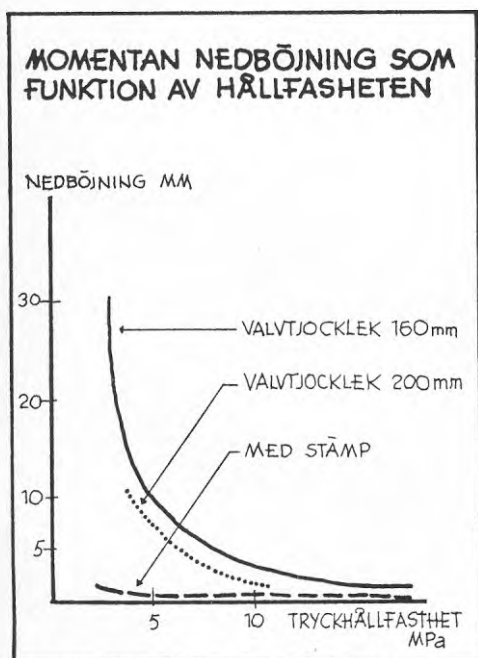


Fig. 26. Momentan nedböjning som funktion av hållfasthet vid avformning enligt Cementas prov.

Vilken nedböjning man kan acceptera bestäms inte enbart av nedböjningens storlek. Man måste även ta hänsyn till vilken tolerans som gäller för de infackningspartier som skall in i öppningen. Man bör lämna ordentligt med plats runt utfackningspartierna, speciellt om fogen skall fyllas med fogskum. För att fogskummet skall fungera krävs att fogen inte blir för tunn.

2.5 Vilka avformningstider används i praktiken?

Ett antal platschefer som representerade olika byggnadstyper (bostäder, industrier etc) och olika delar av landet intervjuades om de avformningstider som tillämpades på aktuella objekt.

Resultatet visade att avformningstiden för väggar genomgående var ett dygn medan tiden för bjälklag varierade kraftigt.

Husbyggen, bjälklag

<u>Objekt</u>	<u>Avformningstid</u>
1	3 - 7 dygn
2	5
3	7
4	7 - 14
5	2 - 3
6	3
7	3
8	3,5 - 4

Vid anläggningsarbeten var avformningstiderna längre än vid husbyggen.

Undersökningen visade, att avformningstiderna i stort sett fastläggs på förhand. För att kunna hålla dem vidtar man olika åtgärder i form av isolerade formar, uppvärmning, tillsats av kalciumklorid, uppvärmd betong, förhöjd hållfasthetsklass etc. Avformningstiderna bestäms således i grund och botten via en tidplan som utgår från beställarens krav på att byggnaden skall vara färdig vid viss tidpunkt.

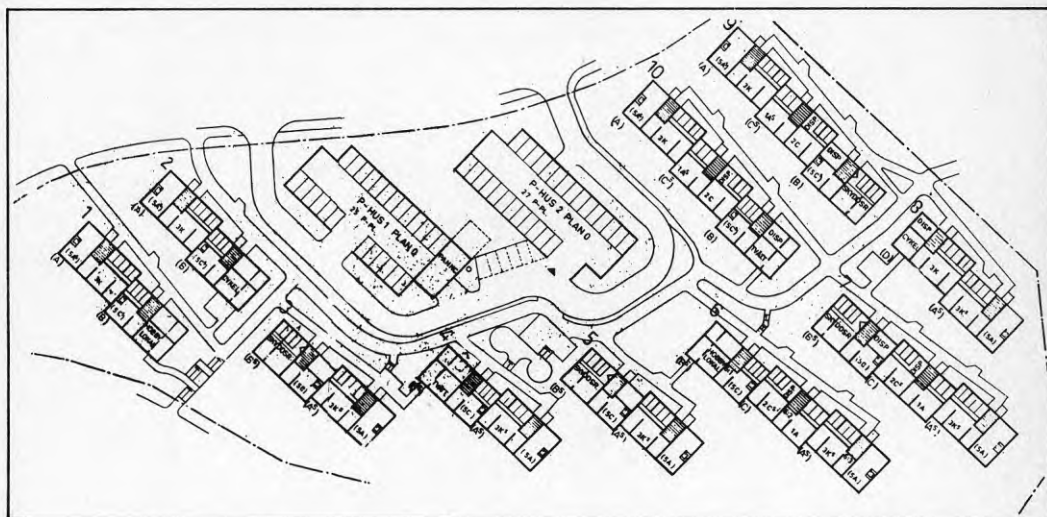
3. PROVSERIE 1978

Fig. 27.

115 radhuslägenheter i 10 huskroppar.

Lägenhetsyta 8.790 m²

Våningsyta 10.680 m²

Byggtakt 85 m² våningsyta/dag

Mätutrustning

För mätning av betongtemperaturen användes två temperaturskrivare. Den ena skrivaren hade 6 mätpunkter med en skala mellan -5°C och +50°C. Den andra skrivaren hade 16 mätpunkter med en skala mellan -25°C och +75°C.

Mätvärdena redovisas för samtliga mätpunkter under de första 24 timmarna. Som framgår av tabellen är det endast mätpunkterna 1 och 9, enligt fig. 28 nedan, som faller utanför det gemensamma, relativt snäva temperaturområdet.

Dessa mätpunkter är placerade över väggar där täckningen inte kan ske lika väl.

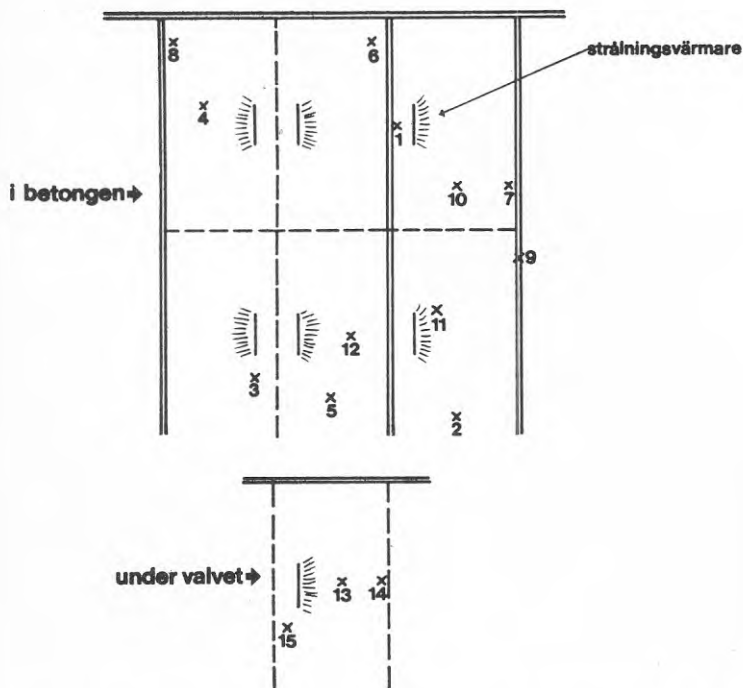


Fig. 28. Mätpunkternas placering i betongen och under valvet.

En serie prov har utförts som redovisas närmare i det följande. För en närmare presentation av provuppläggningsen ges här data från prov F.

Mätpunkternas värden vid prov F

TEMPERATUR

TID (TIM)	I BETONGEN											UNDER VALVET			OMGIV- NINGEN	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	14	17	20	20	29	UTGÅR (MÄTTRÅDEN HAMNAT UR LÅGE)	UTGÅR (MÄTTRÅDEN HAMNAT UR LÅGE)	17	12	18	18	UTGÅR (MÄTTRÅDEN HAMNAT UR LÅGE)	35	32	30	7
2	15	20	23	25	24			20	11	21	23		43	41	39	8
3	16	24	30	29	29			25	12	25	28		45	42	40	9
4	17	27	37	34	34			29	12	30	33		45	43	41	9
5	18	33	42	39	39			33	13	35	37		47	44	42	10
6	19	38	48	45	44			36	13	39	42		47	45	42	12
7	20	43	50	49	48			40	14	44	47		47	46	43	13
8	21	47	53	53	52			44	15	48	51		48	47	44	14
9	22	48	55	56	55			46	15	50	54		49	48	45	15
10	23	49	57	57	57			48	16	52	55		49	49	46	15
11	23	50	57	57	58			50	17	53	56		50	49	46	15
12	24	49	57	58	58			50	17	54	57		50	50	46	16
13	24	50	57	58	59			50	18	54	57		50	50	47	16
14	25	51	57	59	59			50	19	54	57		50	50	47	17
15	26	51	57	59	60			50	20	54	57		50	50	47	18
16	27	49	57	58	60			50	21	53	57		50	50	47	19
17	27	50	56	58	60			49	21	53	57		50	49	46	19
18	27	51	56	58	59			49	21	52	56		50	49	46	20
19	27	51	55	57	58			49	20	50	56		50	49	46	12
20	26	50	55	56	57			48	20	50	55		51	49	46	10
21	26	50	53	54	55			49	20	48	54		51	50	47	10
22	26	50	53	54	55			47	20	48	53		51	51	48	10
23	26	49	53	54	55			48	20	48	53		52	52	49	10
24	26	49	53	54	55			49	20	47	53		52	52	49	10

Provserie 1978

Prov	Betongkvalitet	Betongtäckning	Fasadintäckning	Uppvärmning under valv
A	K250	Utan täckning Polytenmatta Ethafoam 7 mm Plastfolie med luft- bubblor Aluminiumpapp	Utan intäckning " " " "	Utan värmning " " " "
	CaCl ₂ 1,0%	Tetofol	"	"
B	K250	Utan täckning Polytenmatta Ethafoam 10 mm	Trad. intäckning " "	Gasolkanon " "
	CaCl ₂ 1,5%			
C	K250	Ethafoam 7 mm " 10 mm	Trad. intäckning Tät intäckning	Gasolkanon "
	CaCl ₂ 1,0%			
D	K250	Ethafoam 10 mm " "	Tät intäckning "	Gasolkanon Infrastrålar
	CaCl ₂ 1,5%			
E	K250	Ethafoam 10 mm	Specialsydd intäckning	Utan värmning
	CaCl ₂ 1,0%			
F	K250	Ethafoam 10 mm	Specialsydd intäckning	Infrastrålar
	CaCl ₂ 1,5%			
G	K250	Utan täckning Ethafoam 10 mm " "	Utan intäckning Specialsydd intäckning "	Utan värmning " Infrastrålar
H	K250	Ethafoam 10 mm " "	Specialsydd intäckning "	Infrastrålar utan termo- stat Infrastrålar med termo- stat
	CaCl ₂ 1,0%			

PROV A - VALVGJUTNING OLIKA TÄCKNINGSMATERIAL

Under likartade yttre temperaturförhållanden prövades utfallet av fem olika täckningsmaterial vid valvgjutning. Som jämförelse gjordes också gjutning utan någon täckning. Syftet med detta prov var att få ett mått på olika täckningsmaterials förmåga att bevara betongens egenvärme. Ingen intäckning av fasaden eller uppvärmning under valvborden förekom under denna provserie. Valvbordens överyta bestod av plyfa. De material som provades var:

Polytenmatta (d v s den vanliga betongtäckmattan)

Ethafoam 7 mm

Plastfolie med luftbubblor

Aluminiumpapp

Tetofol vindspärr

För enkelhetens skull har ovanstående förenklade beteckningar använts.

Enligt uppgift skulle plastfolien inte tåla lägre temperatur än -10°C . Samtliga material förvarades därför under cirka 1 dygn i -26°C . Inget tydde emellertid på att materialen tog skada.

Ethafoam är en lätt, strängsprutad flexibel polyetylencellplast. Materialet anges hålla sin flexibilitet inom temperaturområdet -40°C till $+70^{\circ}\text{C}$.

Tetofol vindspärr är ett högtöjbart våtstarkt kraftpapper, nätarmerat med 0,25 mm massiv HF-polyeten tråd belagd med svart LD-polyeten och perforerat med små hål för ånggenomsläpplighet.

Proven utfördes på följande sätt:

Direkt efter gjutningen täcktes betongen med de olika materia-
len bredvid varandra och med lite överlapp. Ett elrör placera-

des i betongen under varje del. En känselkropp som var kopplad till en temperaturmätare stoppades i elrören. Elrörens längd var så anpassade att känselkroppen skulle komma centriskt i betongen. Temperaturskrivaren fungerade så att den för var 20:e sekund registrerade temperaturen i betongen under varje täckningsmaterial. Med sex olika färger - en för varje känselkropp - ritade skrivaren kurvor över temperaturförloppet.

Från det att gjutningen avslutats till det att temperaturskrivaren startades hade det förflutit cirka en timme. Vid leverans hade betongen en temperatur av $+14^{\circ}\text{C}$ och vid täckningstillfället $+10^{\circ}\text{C}$.

Betongen som användes var K 250 std fin/ärt med tillsats av 1,0% CaCl_2 . Vinden var under båda dagarna svag.

Med hjälp av Arrhenius funktion har mognadsgraden hos betongen beräknats för de olika täckningsmaterialen vilket gav följande cirkavärden efter 21 timmar.

Polytenmatta	2,3 MPa
Ethafoam 7 mm	1,6 -"-
Plastfolie	1,0 -"-
Aluminiumpapp	0,7 -"-
Tetofol vindspärr	0,6 -"-
Utan täckning	0,5 -"-

Vid betong utan täckning sjönk temperaturen från $+11^{\circ}\text{C}$ till $+8^{\circ}\text{C}$ på cirka 4 timmar.

Betongens överyta blev bäst vid användande av Ethafoam. Användning av Ethafoam som täckningsmaterial avpassad efter rumsbredden kan således vara ett sätt att få ner efterbehandlingskostnaderna för betongytan.

Kostnaderna för täckningsmaterialet blir till stor del beroende av antalet möjliga användningsgångar. Aluminiumpappen och Tetofol vindspärr kan ej användas flera gånger i det utförande de hade i provserien.

Betongtemperaturen under de första 21 timmarna för de fem undersökta täckningsmaterialen och betongen utan täckning redovisas i nedanstående figur.

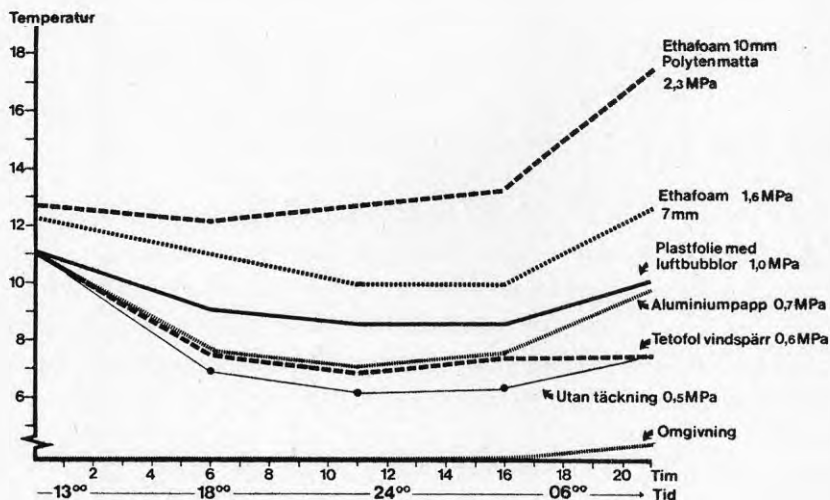


Fig. 29. Betongens temperatur de första 21 timmarna efter gjutning. Valvgjutning med olika täckningsmaterial (och som jämförelse också utan täckning) men utan vare sig fasad-intäckning eller uppvärmning under valv.

PROV B - VALVGJUTNING TRADITIONELL FASADINTÄCKNING OCH
UPPVÄRMNING UNDER VALV

Effekten av traditionell fasadintäckning och uppvärmning under valvet studeras närmare i provserie B för den vanligen använda betongtäckmatta, polytenmattan, och 10 mm Ethafoam liksom betong utan täckning. Intäckningen skedde med vanliga presenningar fastbundna i valvborden. För uppvärmningen under valvet användes fyra gasolkanoner. Varje gasolkanon var kopplad till två stycken 45 kg gasoltuber. Gasolförbrukningen per gasolkanon var ca 2 kg/timme.

Betongkvaliteten K250 fin/ärt T med en tillsats av 1% CaCl_2 .

I fig redovisas temperaturdata från provserien.

Betongen hade en temperatur av $+16^\circ\text{C}$ vid leveransen. Från gjutningen till täckningen av betongen tog det cirka en timme. Gasolkanonerna hade termostat som kände av temperaturen under valvet. Den dåliga intäckningen som kännetecknar dagens traditionella intäckning innebar emellertid att gasolkanonerna gick för fullt trots att betongtemperaturen var $+35^\circ\text{C}$.

Polytenmattan har god isoleringsförmåga när den är ny som var fallet vid våra prov. Den är dock känslig för skador av uppstickande armeringsjärn och liknande. Skadorna gör att mattan suger upp vatten och den förlorar då mycket av sin isoleringsförmåga. Mattans format 1 x 2 m gör den besvärlig och tidskrävande att lägga ut och dessutom skadar den betongytan. Det finns därför all anledning att söka finna ett täckningsmaterial med god isoleringsförmåga som är lätthanterligt och inte skadar betongytan. Helst skall materialet tåla hanteringen på byggsplatsen så väl att antalet användningsgångar kan hålla priset nere.

Isolering med 10 mm Ethafoam visade sig ge samma effekt som en ny polytenmatta. Ethafoam som levereras i rullar är lätt att snabbt lägga ut och är mycket oöm. Den behåller sin goda isoleringsförmåga även efter ett flertal användningsgångar. Ethafoam visar sig vara skonsam mot betongytan som redan visade sig i provserie A.

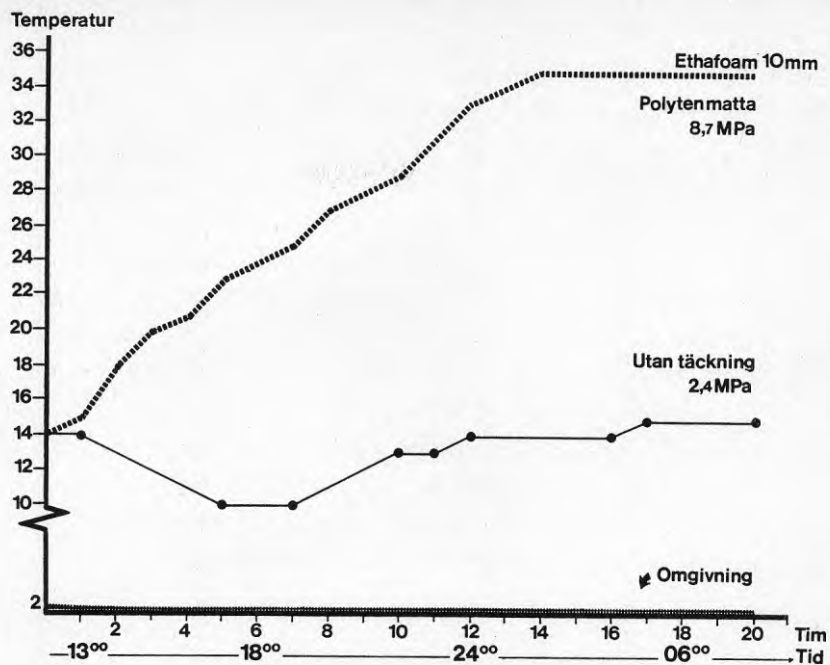


Fig. 30. Betongens temperatur vid valvgjutning med traditionell fasadintäckning och uppvärmning under valvet.

PROV C - BETONGTÄCKNING ETHAFOAM OCH UPPVÄRMNING UNDER VALV

Den traditionella intäckningen av fasaden vid användning av byggtork görs mycket provisoriskt.

För bättre energihushållning borde en tätare intäckning vara en angelägen åtgärd. I provserie C jämfördes traditionell och tät intäckning. Denna tätare intäckning utfördes i de första försöken utan hänsyn till hanterbarhet och snabbhet vid uppställningen. Syftet var att få en uppfattning om hur mycket en så tät fasadintäckning som möjligt betyder för energihushållningen. Mätningarna utsträcktes till 90 timmar. Resultaten är dock inte helt jämförbara eftersom betongtäckningen vid den tätare fasadintäckningen utgjordes av 10 mm Ethafoam och vid den traditionella täckningen av 7 mm Ethafoam. Proven visar dock alldeles påtagligt hur stor betydelse en riktig fasadintäckning har för betongens temperaturförlopp.

Uppvärmning under valvet med fyra gasolkanoner.

Gasolförbrukningen per gasolkanon var ca 2 kg/timme.

Betongkvalitet K 250 fin/ärt L med en tillsats av 1% CaCl_2 .

Betongen hade en temperatur av $+16^{\circ}\text{C}$ vid leveransen.

Från gjutningen till täckningen av betongen tog det ca en timme.

Temperaturen under valvet vid traditionell täckning var 18°C .

Vid den omsorgsfulla, täta täckningen var temperaturen under valvet $+30^{\circ}\text{C}$. Gjutetappen var 170 m^2 .

Av temperaturkurvorna enligt fig framgår vilken effekt som uppnås med den täta fasadtäckningen. Det framgår också klart hur snabbt betongtemperaturen sjunker när betongytan avtäckes trots att uppvärmningen under valvet bibehålles. Det bör således uppmärksammas att om valvet täcks av bör också uppvärmningen under valvet upphöra.

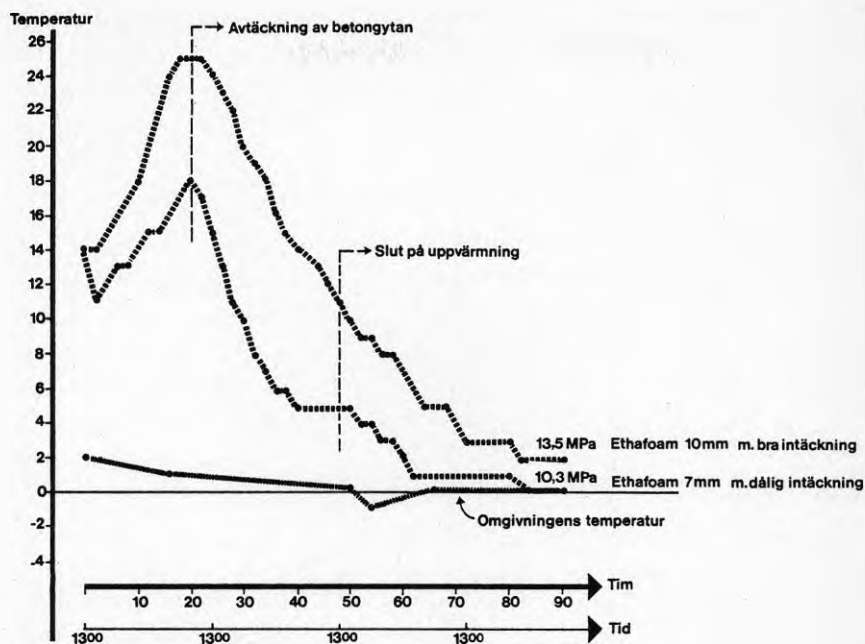


Fig. 31. Jämförelse mellan traditionell och tät fasadtäckning. Betongtäckning med Ethafoam och uppvärmning under valv med gasolkanon.

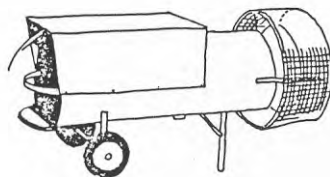
PROV D - JÄMFÖRELSE GASOLKANONER - INFRASTRÅLARE

Tidigare prov har inriktats på att finna alternativa metoder att täcka betongen och göra en fasadintäckning samt utvärdera effekterna av olika lösningar. Ur energibesparingssynpunkt är det också mycket näraliggande att utvärdera olika uppvärmningsalternativ.

Den traditionella byggtorken, den oljeeldade luftvärmaren, har inte tagits med i provserien då tidigare tillämpningserfarenheter gett gasolkanonen företräde.



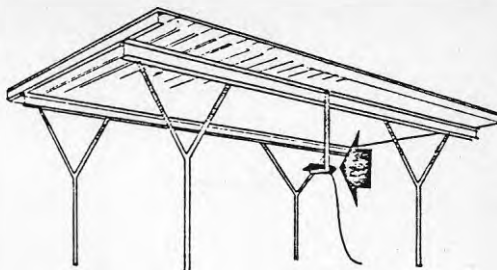
Gasolkanonen i det använda utförandet har inbyggd fläkt, termoelektrisk tändsäkring som stänger gastillförseln om gaslågan slocknar, magnetventil som stänger gastillförseln om den elektriska strömmen bryts och termostat till skydd för överhettning. Gasolkanonen har också drifttermostat som automatiskt reglerar rumstemperaturen till önskad nivå. Effekt 5 000 - 22 000 kcal/tim, luftkapacitet 1 200 m³/tim.



Ett mera oprövat uppvärmningsalternativ vid betonggjutning är strålningsvärmare som arbetar med infraröd strålning. Vid proven användes en gasol driven infrastrålarare.



En strållare per valvbord eller på var 15:e m² har vid prov med utetemperaturer ned till - 20°C visat sig fullt tillräcklig. Strålaren placeras ca 1 m från formens underkant och riktas mot centrum på ytan, som skall värmas.



För att minska hanteringen av strålarna syns det vara lämpligt med montering på formen. Strålaren kräver ingen elström och har i jämförelse med traditionella gasolkanoner visat god effekt, stor driftsäkerhet, lägre gasolförbrukning samt mindre hanteringskostnader.

Gasolförbrukningen var 0,5 kg/timme.

Intäckningen under valvet måste vara tät, eftersom ca 30 % av strålarens värmeenergi avges i form av avgasvärme. Specialsydda presenningar som kan sitta kvar på formen vid flyttning är att föredra. Jämför med den täta intäckning som gjordes i prov C. Här har en praktiskt hanterbar modell provats.

Prov D avser en jämförelse mellan gasolkanoner och infrastrålarare. Täckningen av betongen gjordes med 10 mm Ethafoam, fasadintäckning med täckplast för att få så tät intäckning som möjligt.

Uppvärmningen skedde med två gasolkanoner respektive sex infrastrålarare. Valvytan var i bägge fallen 85 m^2 . Under provet drog infrastrålararna tillsammans 3 kg gasol/timme och gasolkanonerna tillsammans 4 kg gasol/timme.

Betongkvaliteten K 250 fin/ärt L 1,5% CaCl_2 .
Betongtemperaturen vid leveransen var 16°C .

Temperaturen närmast under valvformen understeg inte på någon punkt $+20^\circ\text{C}$ vid uppvärmning med infrastrålarare. Med gasolkanon höll sig också temperaturen kring 20°C .
Provresultaten redovisas i fig. 32.

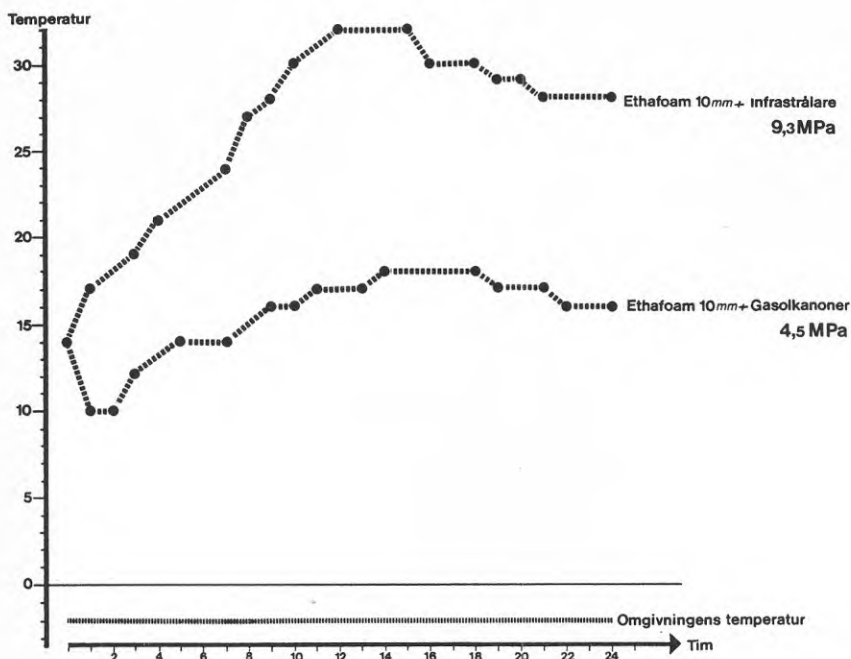


Fig. 32. Jämförelse mellan uppvärmning med infrastrålarare och gasolkanon. Betongtäckning med 10 mm Ethafoam i bägge fallen och tät fasadintäckning.

PROV E - FASADINTÄCKNING UTAN UPPVÄRMNING UNDER VALV

Värdet av tät fasadintäckning har framkommit vid de tidigare proven. För att speciellt studera effekten av omsorgsfull fasadintäckning gjordes en gjutning utan uppvärmning under valvet. Intäckningen gjordes med för provet specialsydd presenteringar och betongytan täcktes med 10 mm Ethafoam. Yttertemperaturen höll sig under provet kring 0°C , svag vind och mulet. Betongkvalitet K 250 fin/ärt L 1% CaCl_2 .

I fig. 33 visas betongtemperaturen vid mätpunkt mitt i valvet samt vid vägg och valvkant. Betongvintern börjar i princip redan vid en yttertemperatur av $+5^{\circ}\text{C}$. En bra täckning av den nygjutna betongen och en omsorgsfull fasadintäckning ökar i hög grad säkerheten då temperaturen kryper mot nollgradigt. Behovet av uppvärmning inträder då senare och blir energisnålare när yttertemperaturen kräver extra uppvärmning.

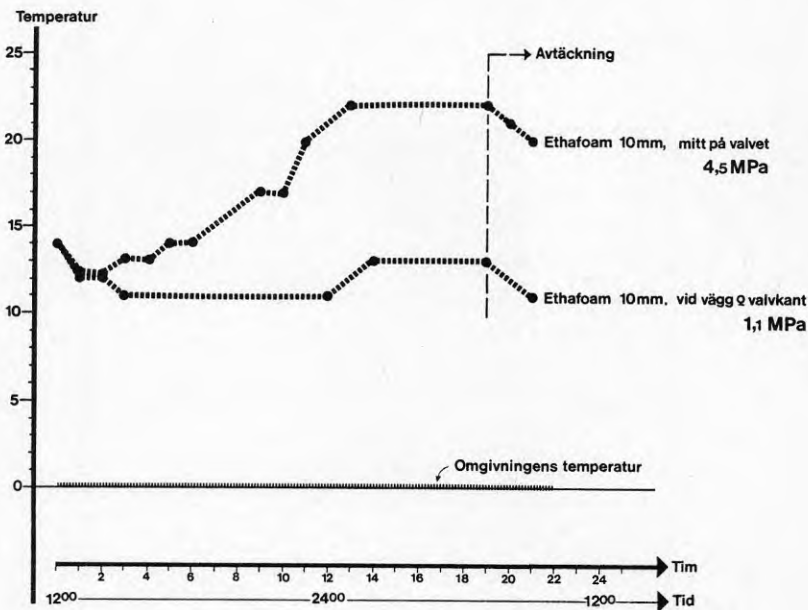


Fig. 33. Betongtemperaturen vid omsorgsfull fasadintäckning (specialsydd presenteringar) men utan uppvärmning under valvet.

PROV F - FASADINTÄCKNING OCH UPPVÄRMNING UNDER VALV

Detta prov avsåg att visa effekten av optimala förutsättningar vad avser fasadintäckning, betongtäckning och uppvärmning under valv vid låg yttertemperatur. För fasadintäckningen användes den specialsydda presenningen som utöver god tätning var utformad för att medge snabb och enkel täckning så att en god täckning verkligen kommer till stånd under vanliga arbetsplatsförhållanden.

Betongen täcktes med 10 mm Ethafoam.

För uppvärmningen användes för gjutetappen (170 m²) tolv infrastrålar. Sammanlagd gasolförbrukning 6 kg/timme. Betongkvalitet K 250 fin/ärt L 1,5% CaCl₂. Temperaturen närmast under valvet var ca 50°C.

Som framgår av temperaturkurvorna som visas i fig. 34, har betongen redan efter ett dygn en hållfasthet som tillåter formrivning.

Observera den stora skillnaden mellan betongtemperaturen och omgivningens temperatur i detta prov.

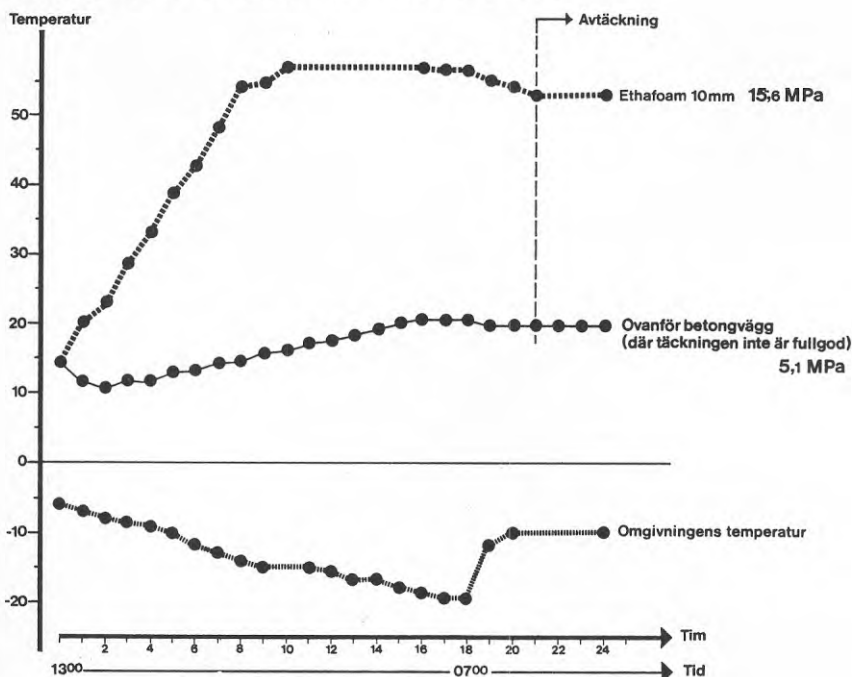


Fig. 34. Betongtemperatur vid tät fasadintäckning (specialsydd presenning) och uppvärmning med infrastrålar.

PROV G - JÄMFÖRELSE OLIKA FASADINTÄCKNINGAR MED OCH UTAN
UPPVÄRMNING UNDER VALV

Under en gjutetapp jämfördes alternativ god fasadintäckning med specialpresenningar, betongtäckning med 10 mm Ethafoam med respektive utan uppvärmning under valvet. Samtidigt gjordes också mätningar på betong utan någon täckning.

Uppvärmningen skedde med infrastrålare, två stycken per 30 m². Betongkvalitet K 250 fin/ärt men ingen inblandning av CaCl₂. Temperaturkurvorna som visas i fig. 35 nedan, ger en åskådlig bild av betongtemperaturförloppet och illustrerar tydligt hur olika grad av varmhållning påverkar härdningsförloppet. God intäckning och betongtäckning ger bra effekt. Vid jämförelse med tidigare provserier framgår att en kalciumklorid tillsats i betongen skulle ha gett en betydligt ökad betongtemperatur.

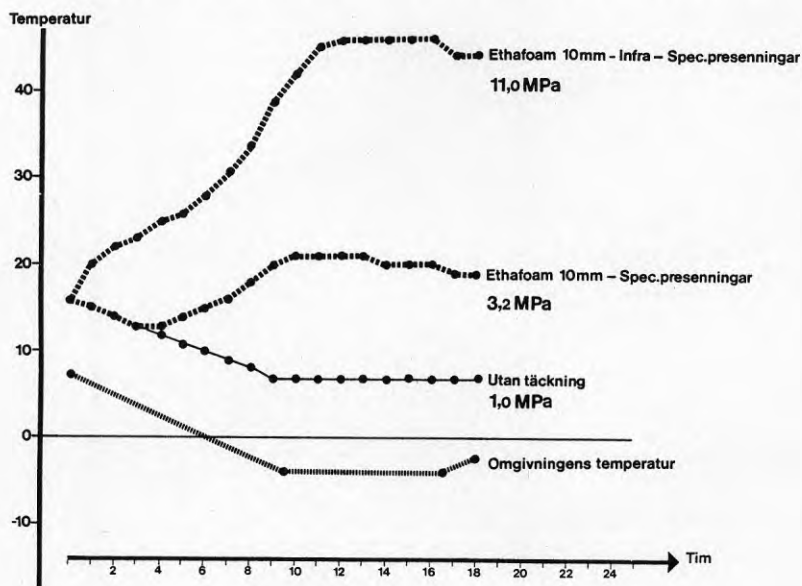


Fig. 35. Jämförelse av temperaturförloppet med och utan uppvärmning under valvet vid tät fasadintäckning och god betongtäckning. I provserien ingick också betong utan täckning och samtidigt ingen fasadintäckning och ingen uppvärmning under valvet.

PROV H - INFRASTRÅLARE MED OCH UTAN TERMOSTATSTYRNING

Infrastrålarare har i de tidigare proven visat sig ge låg gasolförbrukning och effektiv betonguppvärmning.

Sannolikt skulle ännu lägre energiförbrukning kunna uppnås om strålarna kunde styras direkt efter betongens temperatur. I prov H jämfördes infrastrålarare med och utan termostatsstyrning. Termostaten, som placerades i betongen, var inställd på +20°C. Intäckningen under provet gjordes med de specialsydda presenningarna.

Betongen täcktes med 10 mm Ethafoam.

Betongkvalitet K 250 fin/ärt L med 1,0% CaCl₂.

Betongens leveranstemperatur +16°C.

Tid från gjutning till täckning ca 2 timmar.

Betongtemperaturen redovisas i fig. 36.

		utan termo- stat	med termo- stat
Vikt på 3 st gasoltuber vid provets början	kg	256,3	249,3
Vikt på 3 st gasoltuber vid provets slut	kg	181,3	199,7
<u>Gasolförbrukning</u>	kg	<u>75,0</u>	<u>49,6</u>
Förbrukning per timme för 6 strålarare	kg	3,6	2,4
En strålares förbrukning	kg	<u>0,6</u>	<u>0,4</u>

Möjligheten att styra infrastrålaren med termostat vållar inga svårigheter

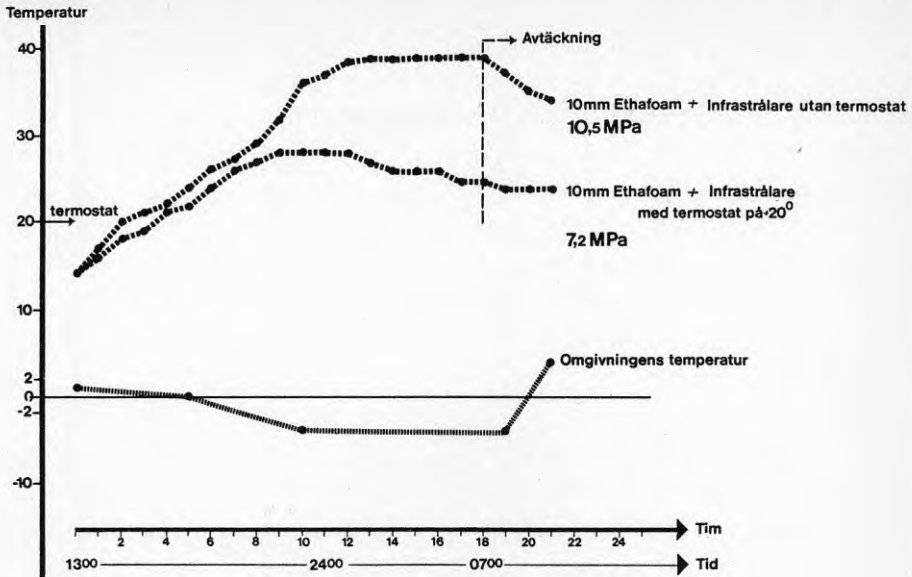


Fig. 36. Infrastrålare med och utan termostatstyrning.

Vid studium av temperatureffekten finns det anledning konstatera att termostatreglering enligt den tankegång som motiverade provet inte är en fördel. Även om energiåtgången kan minskas står det klart att den viktiga hållfasthetstillväxten hos betongen reduceras i allför hög grad.

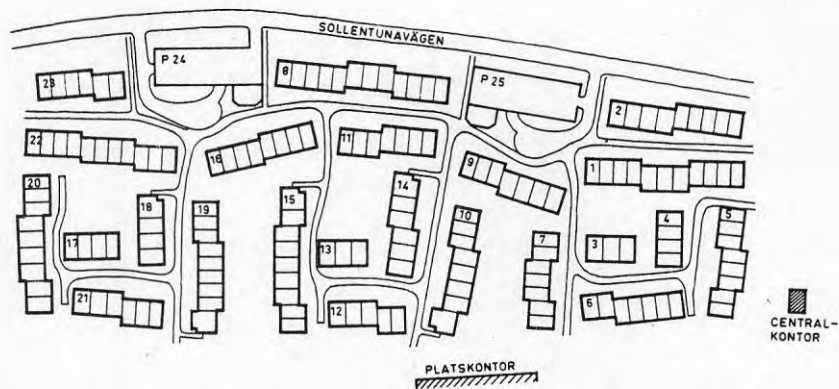
4. PROVSERIE 1979

Fig. 37. Områdesplanen för bebyggelsen i provserie 1979.
 163 radhuslägenheter i 23 huskroppar. Lägenhetsyta 25.160 m².
 Våningsyta 27.113 m² och byggtakt 67 m² våningsyta/dag.

Mätutrustning

Utrustningen som användes var en temperaturskrivare typ Honeywell med 16 mätpunkter.

Temperaturintervallet var -25°C till $+75^{\circ}\text{C}$.

Trådarna drogs upp underifrån genom hål i valvborden och fästes med tejp i armeringen.

Tjock tejp isolerade järnet. Trådarna kom att ligga ungefär 4 mm ovanför valvytan. Se fig. 38 nedan.

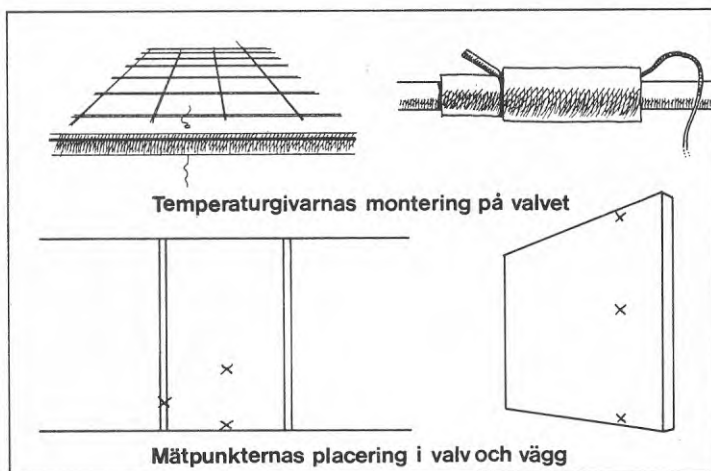


Fig. 38. Temperaturgivarnas montering och mätpunkternas placering.

Provserie 1979

Prov	Betongkvalitet	Betongtäckning	Fasadintäckning	Uppvärmning under valv
1	K 250 CaCl ₂ 1%	Ethafoam 10 mm utan täckning	Utan intäckning	Utan värmning
2	K 250 SH	Ethafoam 10 mm utan täckning	Utan intäckning	Utan värmning
4	K 250 SH	Utan täckning	Utan intäckning	Utan värmning
6	K 250 SH	Ethafoam 10 mm	Utan intäckning	Strålningsvärmare
8	K 250 1,5% CaCl ₂	Ethafoam 10 mm	Utan intäckning specialsydda presenningar	Utan värmning Strålningsvärmare
10	K 250 1% Betokem A	Ethafoam 10 mm	Specialsydda presenningar	Strålningsvärmare
12	K 250 1,5% CaCl ₂	Ethafoam 10 mm	Specialsydda presenningar	Strålningsvärmare
15	K 250 1% Betokem A	Betongtäck- mattor	Utan intäckning	Strålningsvärmare
16	K 250 1% Betokem A	Ethafoam 10 mm	Utan intäckning	Utan värmning
17	K 250 1% CaCl ₂	Ethafoam 10 mm	Utan intäckning	Utan värmning

Prov	Betongkvalitet	Betongtäckning	Provobjekt
19	K 250	Ethafoam 10 mm	Isolerad platta på mark
20	K 200 SH	Cellplastiso- lering	Betongvägg
22	K 250	Cellplastiso- lering	Betongvägg
23	K 250 1,5% CaCl ₂	Cellplastiso- lering	Betongvägg

PROV 1 - BETONG MED OCH UTAN CaCl_2 -TILLSATS; ETHAFOAMTÄCKNING

Under en och samma gjutetapp uppmättes betongtemperaturens variation vid täckning med 10 mm Ethafoam samt vid tillsats av 1% Kalciumklorid (CaCl_2). Vid försöket användes valvbord av plåt. Ingen intäckning av fasaden eller uppvärmning under valvborden förekom. Betongkvaliteten vid försöket var K 250 med och utan CaCl_2 . Valvtjockleken var 200 mm och betongtemperaturen vid leverans 10°C .

Provet genomfördes på fyra fack som göts i samma gjutetapp. Fack 1 hade varken täckning eller CaCl_2 -tillsats. Fack 2 hade täckning med 10 mm Ethafoam men ingen CaCl_2 -tillsats i betongen. Fack 3 hade såväl täckning med 10 mm Ethafoam som tillsats av 1% CaCl_2 och Fack 4 ingen täckning men tillsats av 1% CaCl_2 . Tiden mellan gjutning och täckning var 1,5 timme. Utetemperaturen var omkring 3°C de första 24 timmarna. I övrigt var det kraftigt vind och mulet. Avtäckning skedde efter 22 timmar.

I början sjönk temperaturen kraftigt beroende på att form och armering höll samma temperatur som omgivningen. Med täckning och tillsats av 1% CaCl_2 var temperaturen (mitt i fack) de första 24 timmarna i genomsnitt 6.2°C högre än utan täckning och CaCl_2 -tillsats.

Genomsnittstemperatur $^\circ\text{C}$ (mitt i fack) under 24 timmar

Omgivning	Utan täckning utan tillsats	Utan täckning tillsats 1% CaCl_2	Täckning utan tillsats	Täckning tillsats 1% CaCl_2
2.9	4.8	7.1	7.3	11.0

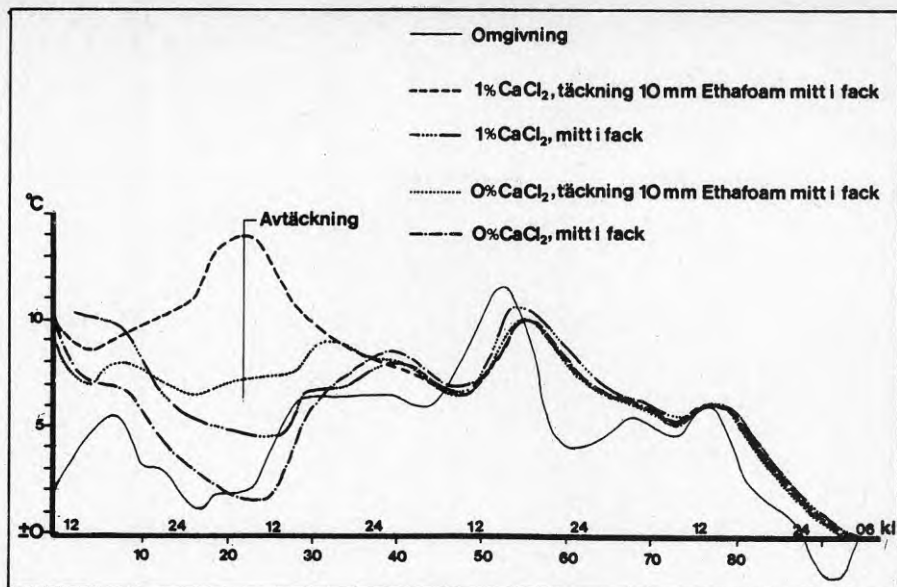


Fig. 39. Temperaturutvecklingen under 90 timmar vid olika täckningsförfaranden och CaCl₂-tillsats.

Efter ungefär 40 timmar följer betongtemperaturen omgivningens temperatur med viss förskjutning i tiden. I kanten ansluter sig betongtemperaturen snabbare till omgivningens temperatur. (Ungefär 12 timmar). Med täckning och 1% CaCl₂-tillsats fås en markant temperaturtopp efter 22 timmar. Sprickor förekom då CaCl₂-tillsats användes utan att betongen täcktes. Täckningen av betongen visade sig ge ett fördelaktigare temperaturförlopp än betong med 1% CaCl₂-tillsats. Bästa förlopp uppnåddes med både täckning och CaCl₂-tillsats och klart ogynnsammaste temperaturförlopp visade betong utan täckning och CaCl₂-tillsats. Se fig. 40 nästa sida.

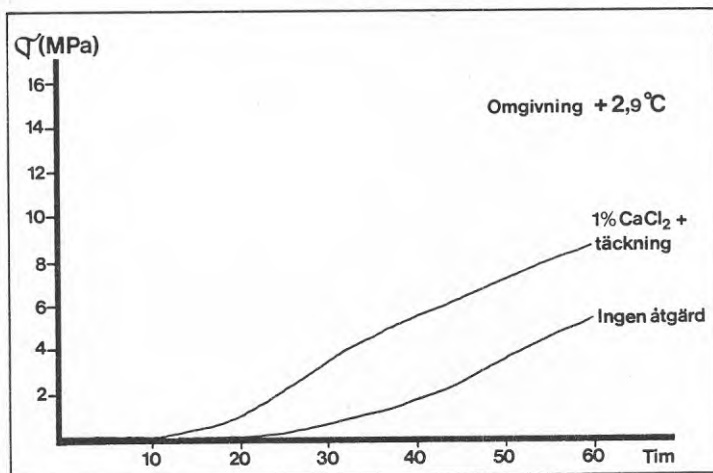


Fig. 40. Hållfasthetstillväxten för alternativ 1: 1% CaCl₂-tillsats och täckning med 10 mm Ethafoam respektive utan tillsats och utan täckning.

PROV 2 - SH BETONG MED OCH UTAN TÄCKNING

För att undersöka effekten av täckning med 10 mm Ethafoam vid gjutning med SH-betong mättes temperaturutvecklingen med och utan täckning. Vid försöket användes valvbord av plåt. Ingen intäckning av fasaden eller uppvärmning under valvborden förekom. Betongkvaliteten var K 250 SH och betongens temperatur vid leverans 10.5°C. Valvtjockleken var 200 mm.

Provet genomfördes på två fack. Ena facket täcktes med 10 mm Ethafoam 30 minuter efter gjutning. På det andra facket vidtogs ingen åtgärd. Utetemperaturen var omkring 9°C. Vädret var i övrigt soligt och det var nästan vindstilla.

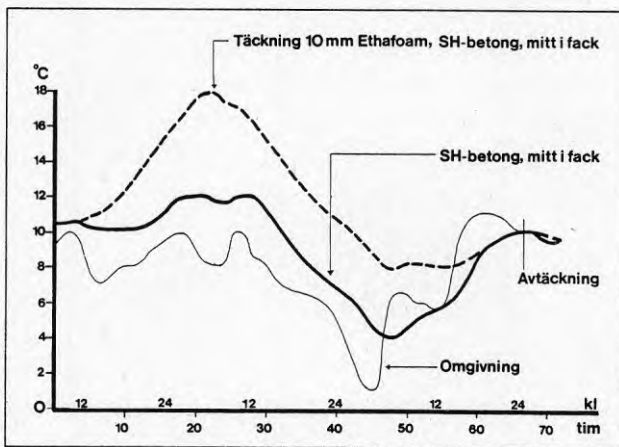


Fig. 41. Temperaturutvecklingen under 70 timmar för SH-betong utan täckning respektive täckning med 10 mm Ethafoam.

Ingen markant avkylning av betongen under de första timmarna har skett. Anledningen är att utetemperaturen, och därmed valvtans temperatur, var relativt hög. Betongen som var täckt med Ethafoam har i genomsnitt haft 3° högre temperatur under de två första dygnet.

Genomsnittstemperatur under 24 timmar (°C).

omgivning		utan täckning	täckning med 10 mm Ethafoam
8.7	mitt i fack	10.8	13.8
	kant	9.8	10.9

Med täckning fås en jämnare betongtemperatur än utan täckning. Temperaturen steg till ett max. värde efter knappt 25 timmar. Därefter sjönk temperaturen igen trots att täckningen låg kvar. Betongväggen magasinerar värme och ger därmed upphov till en jämnare temperatur ovanför väggen.

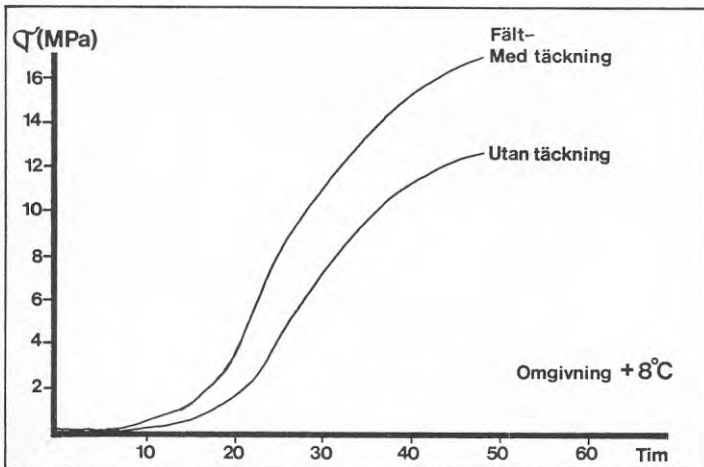


Fig. 42. Hållfasthetstillväxten med och utan täckning av betongen.

PROV 4 - JÄMFÖRELSE HÅLLFASTHETSBERÄKNING OCH TNS-TEST

Provet utfördes för att undersöka överensstämmelser mellan teoretisk hållfasthetsberäkning och TNS-test. Samtidigt erhöles ytterligare prov på temperaturförloppet i betongen utan täckning eller värme.

Betongkvaliteten var K 250 SH och betongtemperaturen vid leverans var 11°C . Valvtjocklek 200 mm.

I samband med gjutningen placerades provcylindrar i betongen. Temperaturen mättes som tidigare. Vädret var regnigt och det var mycket blåsigt. Yttertemperaturen var $+10^{\circ}\text{C}$. Hållfasthetsprov utfördes efter 24 och 96 timmar.

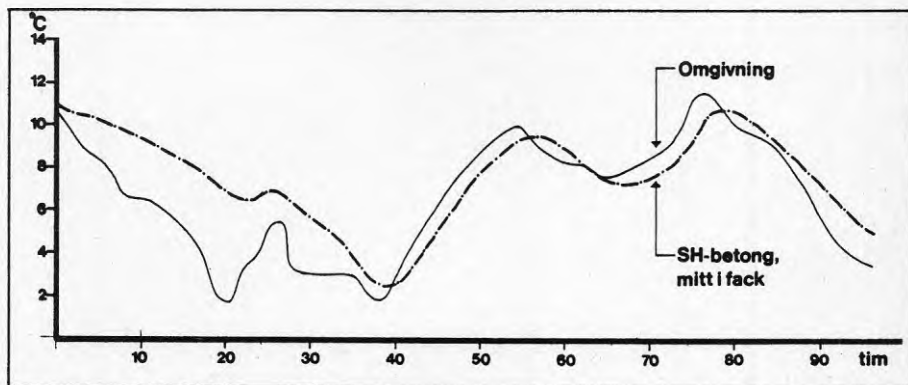


Fig. 43. Betongtemperaturen under 90 timmar. Ingen täckning, värmning eller CaCl_2 -tillsats.

Betongtemperaturen sjunker nästan rätlinjigt ner mot omgivningens temperatur de första 40 timmarna. Därefter följer betongen i stort omgivningens temperatur. Mitt i fack är temperaturen ungefär $1,5^{\circ}\text{C}$ högre än i kanten.

Efter 24 timmar hade betongen enligt TT-faktor en hållfasthet av 5 MPa och enligt Arrhenius metod ca 1,8 MPa. Hållfasthetsprovet enligt TNS visade 2,2 MPa. Efter 96 timmar gav beräkning enligt TT-faktor 13 MPa, enligt Arrhenius metod 17,5 MPa och med TNS provet 18,6 MPa.

TNS-prov och beräkning enligt Arrhenius-funktion visar god överensstämmelse. TT-funktionen överskattar kraftigt hållfasthetsutvecklingen till en början för att efter de första dygnen istället underskatta hållfastheten.

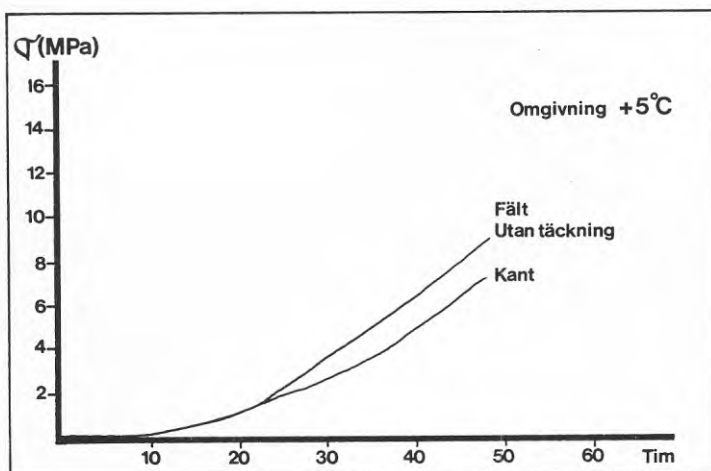


Fig. 44. Hållfasthetstillväxten mitt i fack respektive kant.

PROV 6 - UPPVÄRMNING MED OLIKA STARTTIDPUNKT

En jämförelse har gjorts mellan två valv med uppvärmning under formborden. Värmen har slagits på vid olika tidpunkter. Betongkvaliteten var K 250 SH, valvtjocklek 200 och 160 mm. Betongtemperatur vid leverans 10°C .

Under fack 1 sattes värmen på innan gjutning. Täckningen var på efter 1 timme. Betongen i fack 2 låg utan åtgärd i 4 timmar innan den täcktes. Efter ytterligare 1 timme sattes värmen på under formbordet. Värmarna var placerade nära de fyra hörnen på 75 cm:s avstånd från valvbordet. Ingen fasadintäckning förekom. Vädret var mulet med måttlig vind och temperaturen var -1°C .

I fack 1 har temperaturen varierat mycket. Över värmarna steg betongtemperaturen till 50°C . Efter avtäckning och avstängning av värmen sjönk temperaturen lika snabbt som den stigit. I kanten och över betongväggen uppgick temperaturen till 13°C respektive 11°C som mest. Vita fläckar bildades ovanför värmarna. I fack 2 sjönk temperaturen snabbt efter gjutningen och steg sedan inte alls i likhet med fack 1.

Resultatet visar vikten av att värmen sätts på innan gjutningen så att formen är varm när betongen kommer. De vita fläckarna lokalt över värmarna tyder på att de sitter för nära valvbordet.

Genomsnittstemperaturen de första 24 timmarna ($^{\circ}\text{C}$).

	Fack 1	Fack 2
Över värmare	37,5	8,3
i kant	8,8	4,1

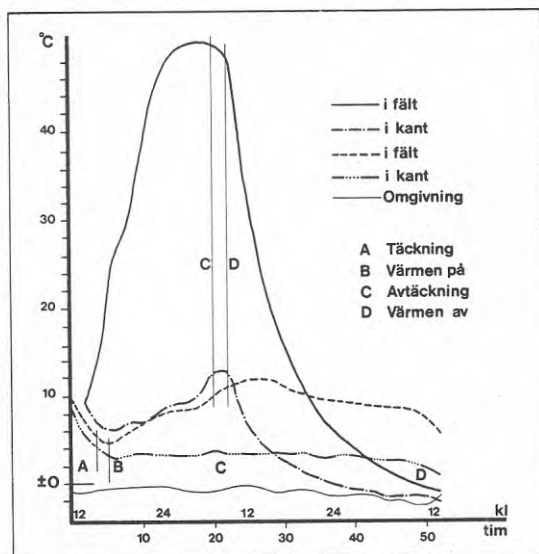


Fig. 45. Temperaturförloppet vid olika starttidpunkt för strålningsvärmarna.

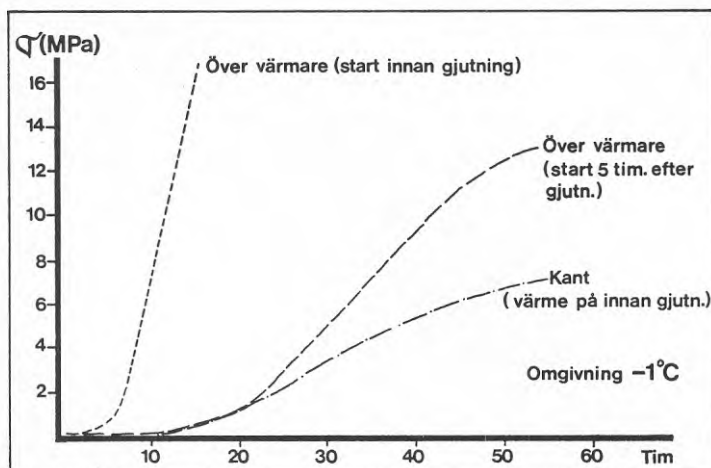


Fig. 46. Hållfasthetstillväxten vid olika starttillfällen för värmarna och på olika ställen i valvet.

PROV 8 - FASADINTÄCKNING OCH OLIKA UPPVÄRMNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

En provserie på tre fack utfördes för att närmare studera effekten av fasadintäckning och olika uppvärmningsförutsättningar. Vid samtliga prov täcktes betongen med 10 mm Ethafoam.

Betongkvalitet K 250 Std med 1,5% CaCl_2 . Betongtemperatur vid leverans 18 - 20°C. Valvtjocklek 160 mm. Vädet var mulet med svag vind och temperaturen låg kring 0°C.

Fack 1 hade ingen fasadintäckning men uppvärmning med full effekt på strålningsvärmarna. Fack 2 hade fasadintäckning men lägre effekt på värmarna. Fack 3 hade fasadintäckning men ingen uppvärmning. Värmen sattes på 15 minuter före gjutning i förekommande fall. I fack 1 stängdes värmen av redan efter knappa 20 timmar medan värmarna i fack 2 inte stängdes av förrän efter två dygn.

Genomsnittstemperatur efter de första 24 timmarna (°C).

	Utan värme med fasad- intäckning	Värme utan fasad- intäckning	Värme och fasad- intäckning
i fält	10,8	18,1	22,2

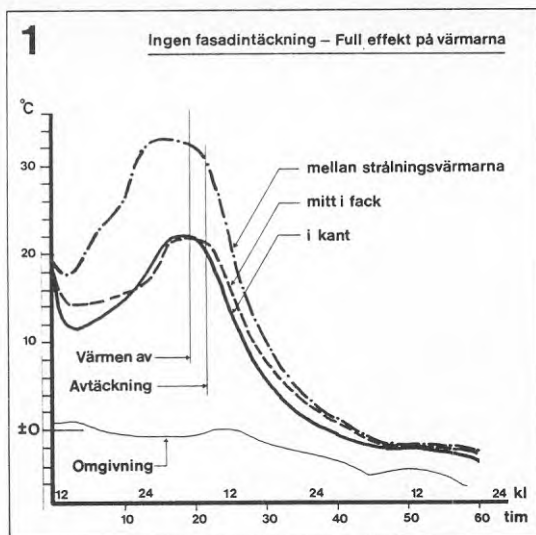


Fig. 47. Temperaturförloppet under 60 timmar i fack 1. Utan fasadintäckning men med full effekt på värmarna.

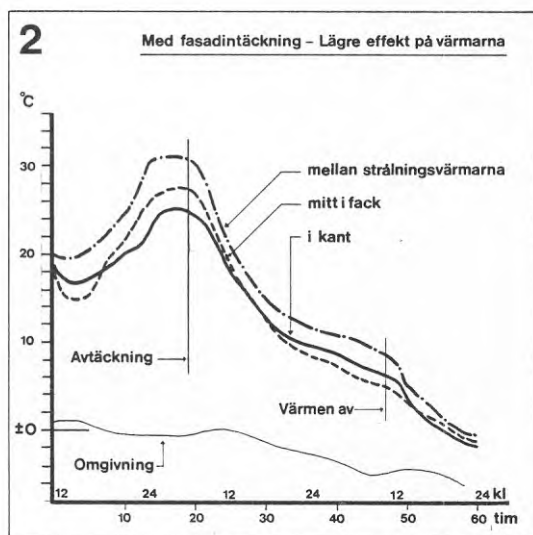


Fig. 48. Temperaturförloppet under 60 timmar i fack 2. Fasadintäckning men lägre effekt på värmarna.

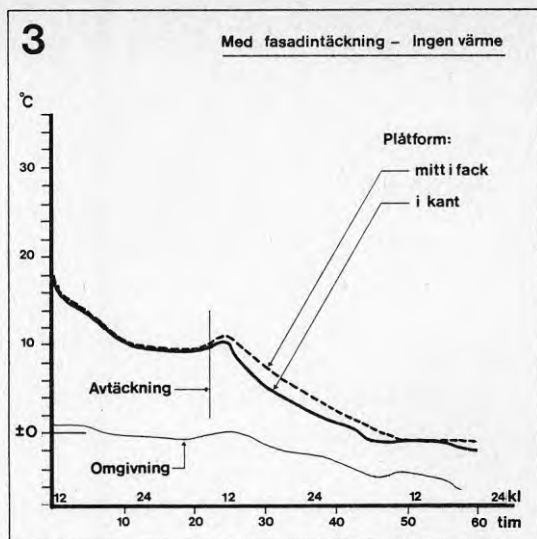


Fig. 49. Temperaturförloppet under 60 timmar i fack 3. Fasadintäckning men utan värme.

Med fasadintäckning uppnås samma temperaturförlopp med lägre effekt på strålningsvärmarna. Fasadintäckningen minskar temperaturskillnaderna mellan fält och kant. Det kan också noteras att fortsatt uppvärmning efter avtäckning av betongen har mycket liten effekt och således närmast kan betecknas som energislöseri och en onödig kostnad.

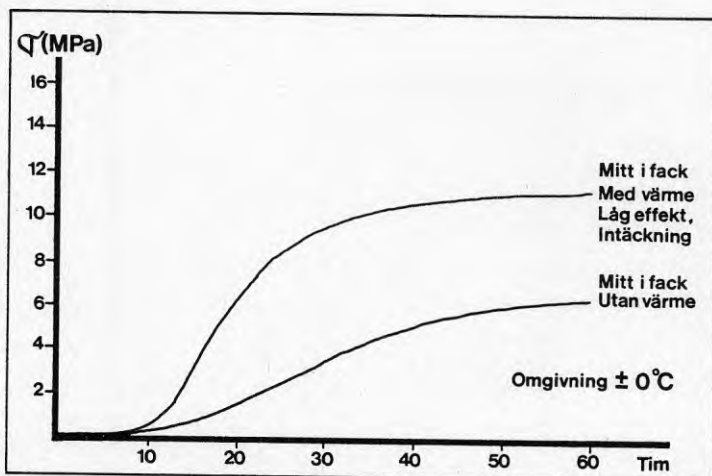


Fig. 50. Hållfasthetstillsväxten med värmare och fasadintäckning resp. utan värmning men med fasadintäckning.

PROV 10 - UPPVÄRMNING MED FULL RESP. REDUCERAD EFFEKT

Undersökning av olika effekt på strålningsvärmare samt olika värmingstider.

Betongkvalitet K 250 Std med tillsats av 1% Betokem A. Betongtemperaturen var vid leveransen 18,5 - 20°C. Valvtjocklek 160 mm.

Två valv har jämförts. Det ena med full effekt på värmarna och det andra med reducerad effekt. Värmen under fack 1 stängdes av först. Avtäckning av båda facken efter 23 timmar. Vädret var växlande med måttlig vind och temperaturen omkring 0°C.

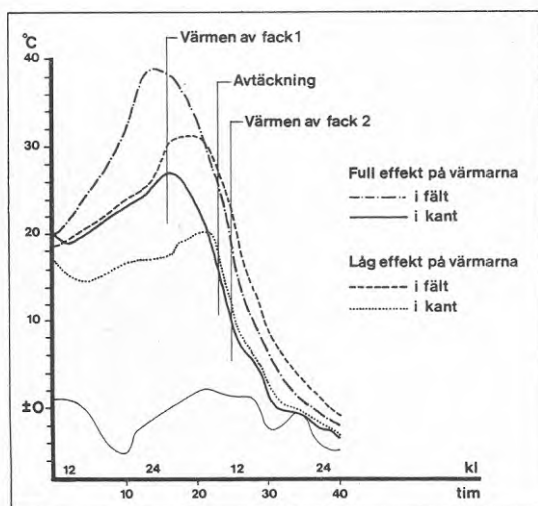


Fig. 51. Temperaturförlopp vid olika effekt på värmarna.

Högst temperatur i betongen blev det med full effekt på värmarna. Maximum kom efter 14 timmar varefter temperaturen började sjunka. Temperaturen sjönk snabbt när värmningen upphörde. I det andra facket kom maximum efter 20 timmar. När värmen stängdes av sjönk temperaturen kraftigt även här. Ungefär på samma sätt som när täckningen togs bort.

Hög betongtemperatur vid gjutningen gör att temperaturmaximum uppnås snabbare.

Betongtemperaturen mättes vid avgång från betongstation och när betongen var utlagd på valvet.

<u>Uppvärmningssätt</u>	<u>betongstation</u>	<u>valv</u>
varmvatten	27	20
varmvatten + ånga på ballasten	21	20

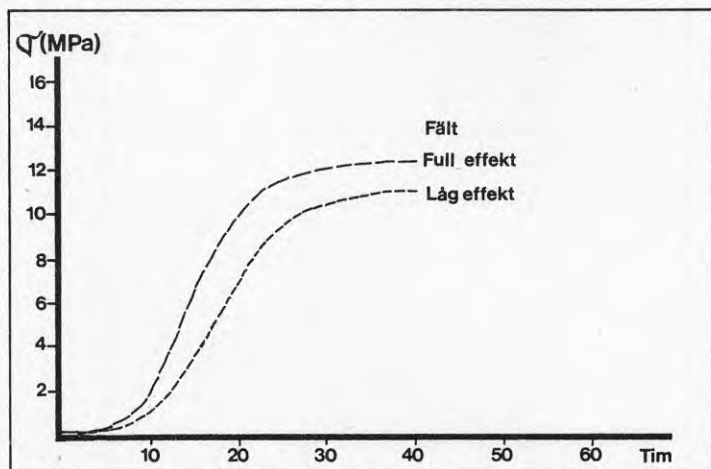


Fig. 52. Hållfasthetstillväxten vid full effekt respektive låg effekt på strålningsvärmarna.

PROV 12 - KORT OCH LÅNG VÄRMNINGSTID

Provet gjordes för att belysa temperaturutvecklingen vid olika värmningstider samt i betongkuber som placerades under valvet.

Betongkvalitet K 250 Std med 1,5% CaCl_2 -tillsats. Betongtemperatur vid leverans var 20°C . Valvtjocklek 200 mm.

Värmen sattes på två timmar före gjutning. I det ena fallet stängdes den av redan efter 6 timmar och i det andra fallet efter 57 timmar. Täckningen låg kvar i båda fallen. Vädret var mulet, utan vind och temperaturen var -3°C .

När värmen stängdes av efter 6 timmar steg temperaturen i ytterligare 6 timmar innan den började sjunka mot omgivningstemperaturen. Längre tids värme ger drygt 5 graders högre maximum och en något långsammare avsväning. Temperaturen i betongkuben var mycket lägre än i valvet.

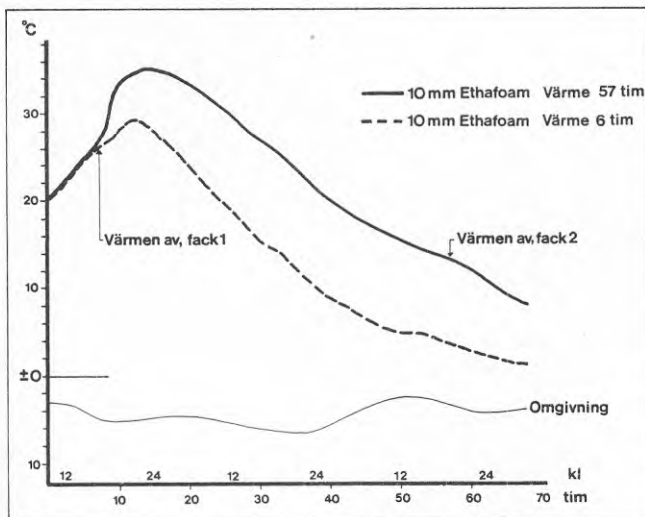


Fig. 53. Temperaturutvecklingen vid 6 respektive 57 timmar uppvärmningstid.

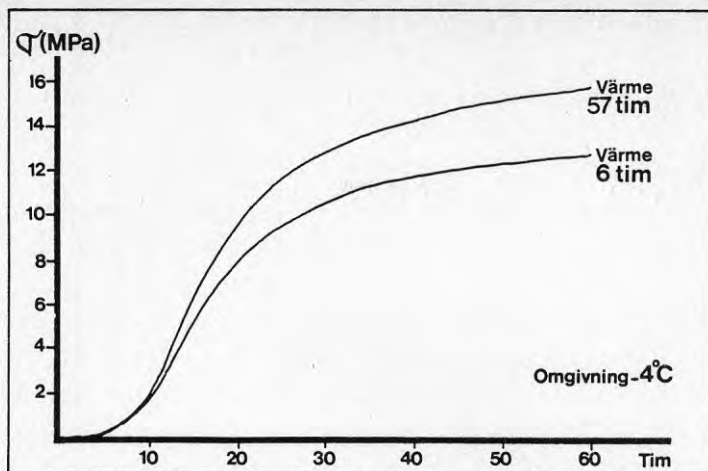


Fig. 54. Hållfasthetstillväxten vid 6 respektive 57 timmars uppvärmningstid.

För att uppnå hållfastheten 5 MPa skiljer 1 timme mellan de båda alternativen. För 10 MPa skiljer den 6 timmar. Gasolåtgången och därmed uppvärmningskostnaden skiljer sig kraftigt åt. (10 kg resp. 90 kg för 4 st värmare). Provtäckning av betongkuben som förvarats under valvet ger dålig uppskattning av hållfastheten i valvet.

PROV 15 - STRÅLNINGSVÄRMARE VID PLYWOODFORM

Undersökning av strålningsvärmarens effekt vid användning av plywoodform.

Betongkvaliteten var K 250 Std med 1% Betokem A. Betongtemperaturen vid leverans var 18°C . Valvtjockleken var 190 mm.

Mätning gjordes i valv med värme under och jämfördes med valv utan värmetillskott. Täckning med vanliga betongtäckmattor. Vädret var soligt, svag vind och temperaturen var -3°C .

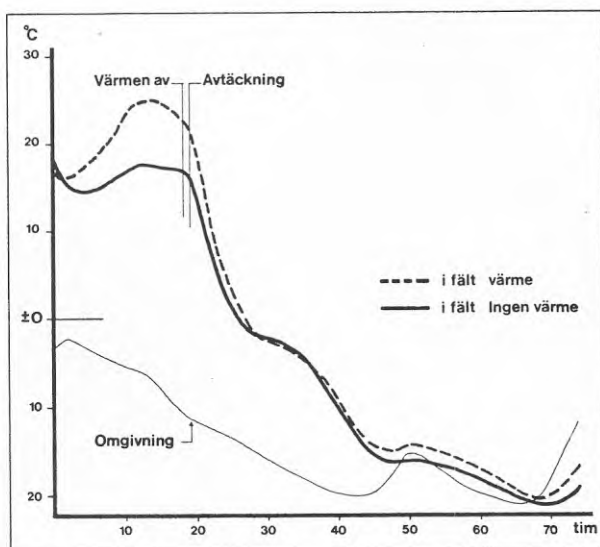


Fig. 55. Temperaturförlopp med och utan uppvärmning vid användning av plywoodform.

I valvet med värmning stiger temperaturen i fält till 9°C över betongens starttemperatur. I det andra valvet uppnås efter ca 15 timmar max. temperatur vilket är ungefär samma temperatur som vid gjutningens start.

Strålningsvärme på plywoodform visar sig fungera lika väl som på plåtform.

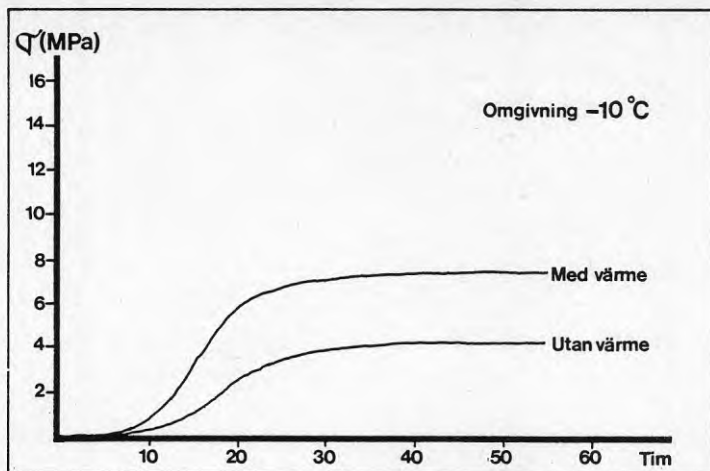


Fig. 56. Hållfasthetstillväxten med och utan uppvärmning.

PROV 16 - VÄLISOLERAT FORMBORD OCH PLYWOODBORD

Ett isolerat valvbord med K-värde $0.27 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ har jämförts med plywoodbord.

Betongkvalitet K 250 Std med tillsats av 1% Betokem A. Betongtemperaturen vid leverans var $21 - 23^\circ\text{C}$. Valvtjockleken var 160 mm.

Täckning utfördes med 10 mm Ethafoam och ingen värme tillfördes. Vädret var växlande med svag vind och temperaturen var $+1^\circ\text{C}$.

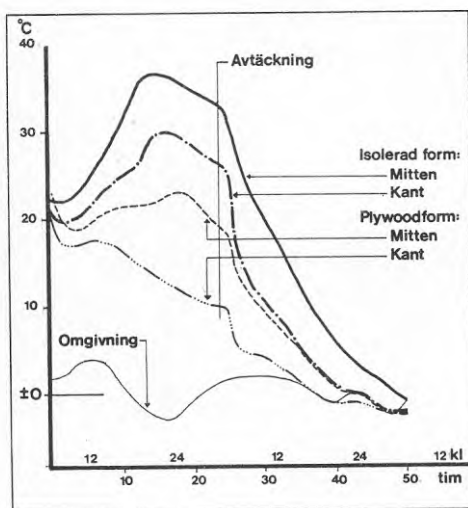


Fig. 57. Temperaturförloppet i betongen vid isolerat formbord och form av plywood.

Temperaturförloppet skiljde sig markant i de bägge fallen. På det isolerade valvbordet höjs temperaturen i likhet med plåtbord med värme under. Temperaturen steg 15°C från begynnelse-temperaturen. På plywoodbordet når temperaturen i mitten ungefär upp till startvärdet medan den i kanten sjunker kraftigt mot omgivningstemperaturen.

Isolerat valvbord torde klara även mycket kallare väderlek om betongen håller hög temperatur vid ankomsten.

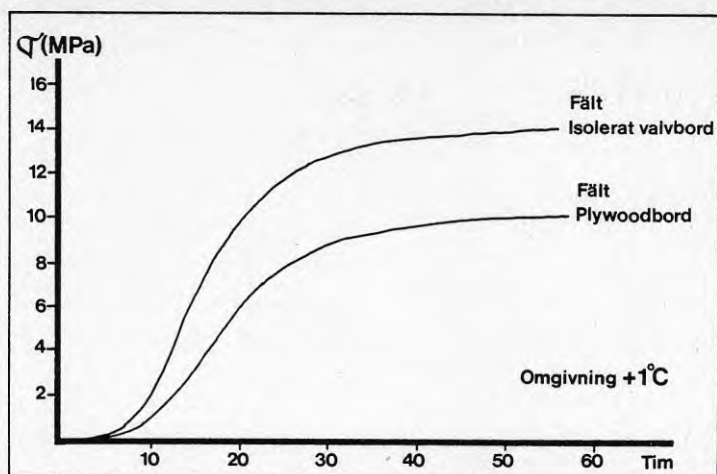


Fig. 58. Hållfasthetsutvecklingen vid isolerat valvbord och plywoodbord.

PROV 17 - VÄLISOLERAT FORMBORD, PLYWOODBORD OCH PLÅTFORM

Detta prov genomfördes som prov 16 men dessutom tillfördes plåtform.

Betongkvalitet K 250 Std med tillsats av 1% CaCl_2 . Betongtemperaturen vid leverans var 14°C . Valvtjockleken var 160 mm.

Täckning med 10 mm Ethafoam och ingen värmertilförsel. Vädret var mulet med måttlig vind och temperaturen var nära 0°C .

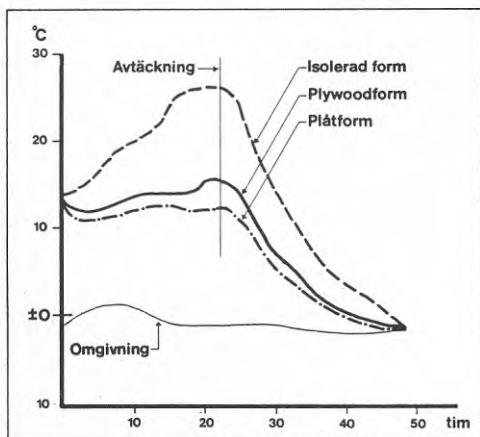


Fig. 59. Temperaturförlopp vid isolerad form plywoodform och plåtform. Ingen värmning.

Med isolerat formbord höjdes temperaturen 12°C från startvärdet. Plywoodform och plåtform visade samma temperaturförlopp i betongen med några graders högre temperatur för plywoodformen.

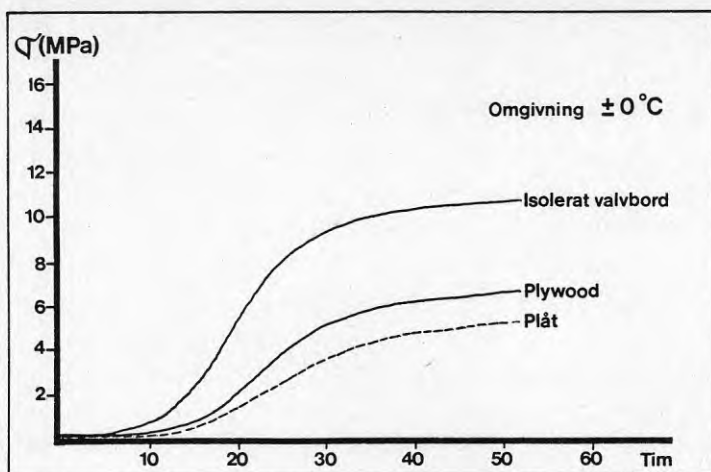


Fig. 60. Hållfasthetstillväxten vid jämförelse mellan isolerat valvbord, plywoodform och plåtform.

PROV 19 - PLATTA PÅ MARK

Temperaturen har mätts i olika delar på en grundplatta på mark. I mitten var plattan 80 mm tjock och i kanten 450 mm. Under betongen låg 80 mm cellplast som också dragits upp runt kantbalken.

Betongkvalitet K 250 Std med tillsats av 1,5% CaCl_2 . Betongtemperaturen vid leverans var mellan 17 och 24°C.

Innan gjutningen värmdes armering och isolering med Kocoverk. Efterhand täcktes betongen med 10 mm Ethafoam. Ingen värmeförlust förekom efter gjutningen. Vädret var mulet, svag vind och temperaturen kring -2°C. Avtäckning efter 68 timmar. Efter 71 timmar togs TNS-prov.

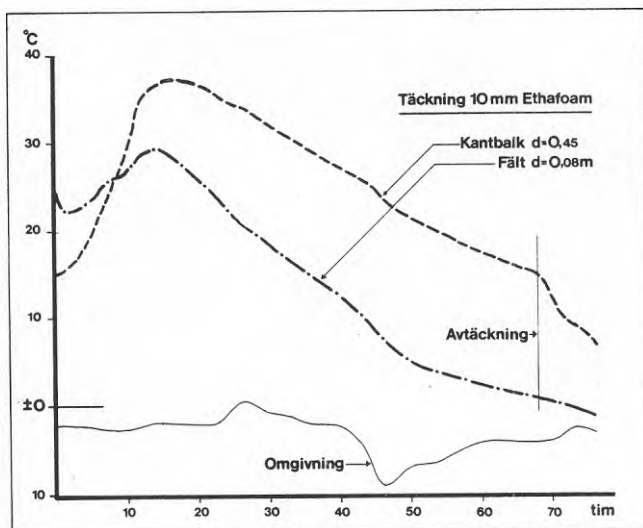


Fig. 61. Temperaturförloppet i isolerad platta på mark.

Temperaturen var högst i kantbalken. De högsta temperaturerna inträffade efter ungefär 15 timmar.

Den höga genomsnittstemperaturen i fält beror till stor del på hög begynnelsestemperatur (24°C). Den är ändå anmärkningsvärd eftersom tjockleken inte är mer än 80 mm.

Mätningarna på en isolerad platta på mark som gjuts på tjälfri mark visar att någon extra uppvärmning inte krävs vid temperaturer kring 0°C . Det bör dock observeras att täckningen skall ske så snart som möjligt. Om betongens leveranstemperatur höjs kan gjutning utan tillskottsvärme ske vid flera minusgrader.

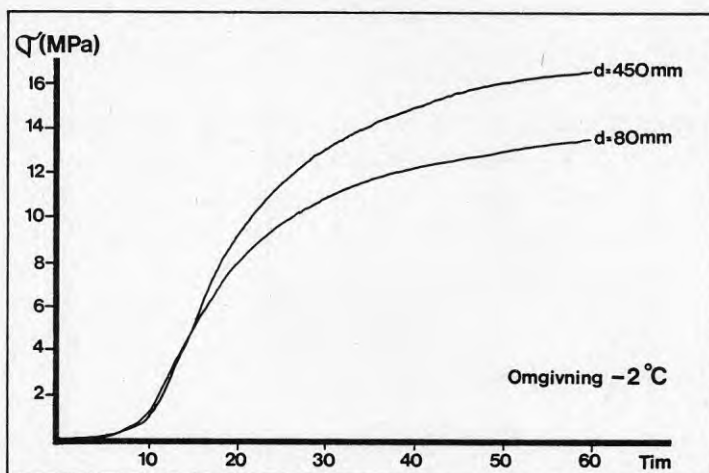


Fig. 62. Hållfasthetstillväxten i platta och kantbalk för en isolerad platta på mark.

Teoretisk hållfasthetsberäkning ger efter 71 timmar enligt TT-faktor 10.2 MPa och enligt Arrhenius funktion 17.2 MPa. Enligt TNS-prov uppmäts hållfastheten till 15 MPa.

PROV 20 - VÄGGFORM MED HEL RESP: DEFJEKT ISOLERING

Det visar sig att isoleringen på väggformar ofta är defekta. För att utröna vilken betydelse väggisoleringens utformning har gjordes mätningar på väggformar av plåt med fullödig isolering och defekt sådan. Ingen uppvärmning förekom vid provet.

Betongkvaliteten var K 200 SH. Betongtemperatur vid leverans $9,5^{\circ}\text{C}$. Väggtjocklek 220 mm.

Givare monterades i en vägg där isoleringen var defekt i en vägg med god isolering. Vid gjuttillfället var vädret soligt med svag vind och temperaturen var $+4^{\circ}\text{C}$. Omgivningens temperatur under det första dygnet var i genomsnitt $-0,8^{\circ}\text{C}$.

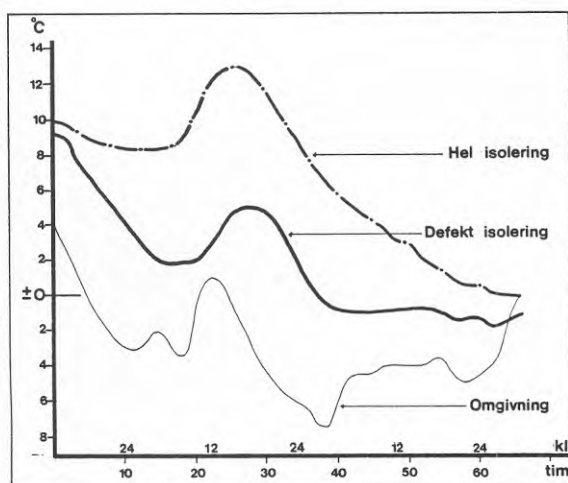


Fig. 63. Temperaturförloppet i betongväggar med hel respektive defekt formisolering.

Högsta temperaturen uppmättes i mitten och den lägsta i överkanten på respektive vägg. I väggen med hel isolering har temperaturen ($9,6^{\circ}\text{C}$) i genomsnitt under det första dygnet varit $5,1^{\circ}\text{C}$ högre än i den med defekt isolering ($4,5^{\circ}\text{C}$).

Den defekta isoleringen ger mycket klart påvisbar temperatur-sänkning och pekar på att speciell observans på formisoleringen är i hög grad motiverad och betalar sig väl.

PROV 22 - TEMPERATURFÖRLOPP I OLIKA DELAR AV EN VÄGG

Undersökning av temperaturen i olika delar av en vägg.

Betongkavlitet K 250. Betongtemperaturen vid leverans 16°C . Väggtjockleken var 120 mm.

Givare placerades på olika höjd i en vägg med hel cellplastisolering. Vädret var mulet med svag vind och temperaturen var -2°C .

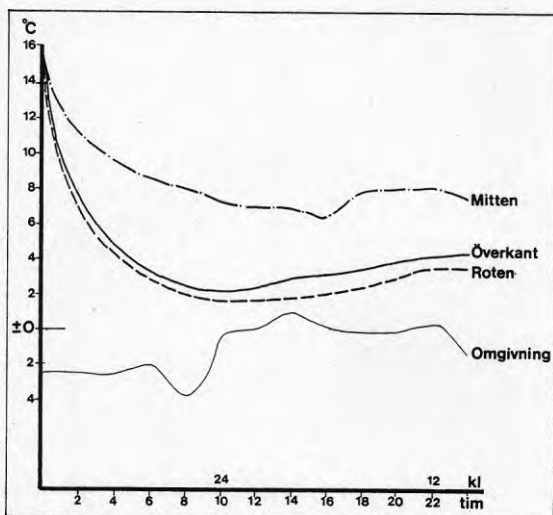


Fig. 64. Temperaturförloppet i olika delar av en betongvägg.

Temperaturen var högst i mitten på väggen. I överkant och underkant är temperaturförloppet ungefär likvärdigt. Genomsnittstemperaturen under de första 24 timmarna var i

<u>mitten</u>	<u>överkanten</u>	<u>roten</u>
8.5°C	4.6°C	4.0°C

PROV 23 - VÄGGJUTNING UTAN VÄRMNING VID MYCKET KALL VÄDERLEK

Gjutning av väggar utan värmning vid mycket kall väderlek.

Betongkvaliteten K 250 Std med tillsats av 1,5% CaCl_2 . Betongtemperatur vid leverans var 14°C . Väggtjocklek 200 och 220 mm.

Temperaturen har mätts i två väggar med vanligen förekommande, något defekt isolering. Vädret var klart med svag vind och temperatur -10°C .

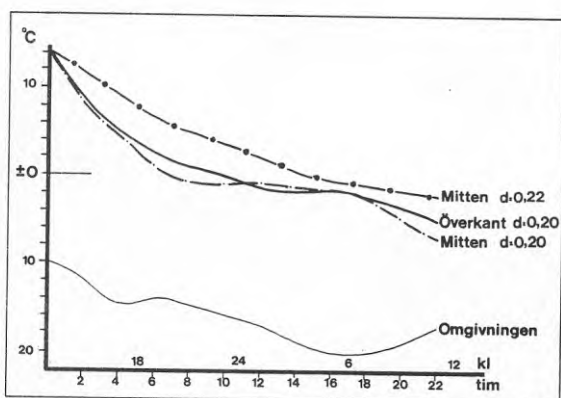


Fig. 65. Temperaturförloppet i betongväggar vid kall väderlek.

Temperaturen gick snabbt ner till 0°C . Lägst temperatur uppmättes i den tunna väggen och ingen större temperaturskillnad mellan mitt och överkant. Efter 20 timmar togs hållfasthetsprov i överkanten som visade att betongen frusit.

Låg omgivningstemperatur vid gjuttillfället gör att betongen kyls snabbt och temperaturen faller hela tiden.

5. KOSTNADER FÖR VINTERGJUTNING

Som framhållits vid diskussionen av erfarenheter från provserierna finns påtagliga kostnadsbesparingsmöjligheter vid vintergjutning inte bara genom bättre energihushållning. Merkostnaderna för en vinterdag är betydande och utgörs inte minst av hanteringskostnader som till en del är att hänföra till att många arbetsmoment betraktas som provisorier och därför ägnas liten uppmärksamhet.

I detta kapitel görs en mera detaljerad kostnadsgenomgång baserad på kostnadsnivån i mitten av 1979. Den första kostnadssammanställningen är baserad på en gjuttakt 100 m² valv/dag och behandlar betongtäckning, fasadintäckning och uppvärmning enligt förekommande och prövade metoder. Kostnaderna har också beräknats för en gjuttakt om 50 m² valv/dag. Kostnad för olika betongkvaliteter och tillsatsmedel har sammanställts liksom uppgifter om täckningsmaterial och fasadintäckning.

Varm betong - leveranstemperatur kring 30°C - har intressanta egenskaper vid vintergjutning. En särskild kalkyl över uppvärmningskostnaderna är därför av intresse vid diskussion av den totala energi- och kostnadseffekten vid alternativ varm betong.

Vilken betongtäckning, fasadintäckning och uppvärmningsinsats som erfordras vid vintergjutning beror på produktionstakten och tillgänglig formpark. Ytterst är det fråga om när betongen uppnått tillräcklig hållfasthet så att formen kan rivas. Värmtid och kostnad för att uppnå viss hållfasthet har beräknats för olika leveranstemperatur för betongen och en omgivningstemperatur på -5°C redovisas även i detta kapitel.

Gjuttakt 100 m² per dag

Gjuttakten är 100 m² per dag med valvtjockleken 200 mm.
Vid varje gjuttillfälle gjuts i genomsnitt 200 m². Objektet sträcker sig över en vinter vilket motsvarar 110 byggdagar. Formparken uppgår till 600 m². Varje fack är 50 m².

Vintertillägg

Betong 6:63 kr/m³ 1:32 kr/m²

Täckning

Materialet håller hela byggtiden.

Förstörd yta 1:- kr/m²

10 mm Ethafoam

Kapital 250 m² x 9:45 = 2.363:-

2.363

110 x 100

0:21 kr/m²

Hantering 1,0 persontimme/gjuttill-

fälle 1 x 82:-

200

0:41 kr/m²

Returvärde 30% på 2.363 kr.

(+) 0:06 kr/m²

1:56 kr/m²

Täckmattor typ Metzler

Kapital 250 m² x 8:- = 2.000:-

2.000

110 x 100

0:18 kr/m²

Hantering 1,5 persontimmar/gjuttill-

fälle 1,5 x 82:-

200

0:62 kr/m²

1:80 kr/m²

Ethafoam är minst känsligt för åverkan eftersom de slutna cellerna omöjliggör fuktvandring inom materialet. Isoleringens förmågan bibehålls därmed trots eventuella repor och hål och har efter användning ett visst restvärde jämfört med täckmattorna.

Fasadintäckning

Materialet håller hela byggtiden

Traditionell presenning 425 m²

Kapital 425 m ² x 14:50 = 6.162:-	
<u>6.162</u>	0:56 kr/m ²
110 x 100	

Hantering 2 persontimmar/gjuttillfälle <u>2 x 82:-</u>	
200	0:82 kr/m ²

Krantransport 2 timmar/gjuttillfälle <u>2 x 125:-</u>	
200	1:25 kr/m ²

Restvärde 30% på 6.162:-	(+) <u>0:17</u> kr/m ²
	<u>2:46</u> kr/m ²

Specialsyddade presenningar följer formen vid flyttning

Kapital 425 m ² x 15:30 = 6.502:-	
<u>6.502</u>	0:59 kr/m ²
110 x 100	

Hantering 1 persontimme/gjuttillfälle <u>1 x 82:-</u>	
200	0:41 kr/m ²

Restvärde 30% på 6.502:-	(+) <u>0:18</u> kr/m ²
	<u>0:82</u> kr/m ²

<u>Uppvärmning</u>	<u>Bränslemängd per gjuttill- fälle</u>	<u>Kostnad</u>
<p>A. Strålningsvärmare. 8 timmars brinntid vid varje gjuttillfälle. 4 värmare per fack à 50 m². I genomsnitt gjuts 4 fack samtidigt. En värmare drar 0,5 kg gasol per tim. Den här metoden kräver en mekanisk klocka som stänger av värmarna. Fast montering på valvborden. Totalt 34 värmare till 8 fack och 2 i reserv.</p>		
<p>Kapital <u>34 x 350:-</u> 110 x 100</p>		1:08 kr/m ²
<p>Kapital restvärde 50% på 1:08:- Hantering 2 persontimmar/gjuttill- fälle <u>2 x 82:-</u> 200</p>		(+) 0:54 kr/m ²
<p>1 traktortimme/gjuttillfälle <u>1 x 95:-</u> 200</p>		0:48 kr/m ²
<p>Drivmedel <u>8 tim x 4 st x 4 fack x 0,5 kg x 3:-</u> 200</p>	64 kg	<u>0:96</u> kr/m ² <u>2:80</u> kr/m ²

<u>Uppvärmning</u>	<u>Bränslemängd per gjuttill- fälle</u>	<u>Kostnad</u>
B. Värmarna flyttas av varje gjuttillfälle, i övrigt lika A.		
Totalt 18 värmare till 4 fack och 2 i reserv.		
Kapital $\frac{18 \times 350:-}{110 \times 100}$		0:57 kr/m ²
Kapital restvärde 50% på 0:57 Hantering 6 persontimmar/gjuttillfälle $\frac{6 \times 82:-}{200}$		(+) 0:29 kr/m ² 2:46 kr/m ²
2 traktortimmar/gjuttillfälle $\frac{2 \times 95:-}{200}$		0:95 kr/m ²
Drivmedel	64 kg	$\frac{0:96}{2:65}$ kr/m ²
C. Gasolkanon 24 timmar brinntid vid varje gjuttillfälle. En kanon per fack à 50 m ² och 2 i reserv. I genomsnitt gjuts 4 fack samtidigt. En kanon drar 2 kg gasol per tim.		
Hyra $\frac{6 \times 13:30}{100}$		0:80 kr/m ²
Hantering 4 persontimmar/gjuttillfälle $\frac{4 \times 82:-}{200}$		1:64 kr/m ²
2 traktortimmar per gjuttillfälle $\frac{2 \times 95:-}{200}$		0:95 kr/m ²

<u>Uppvärmning</u>	<u>Bränslemängd per gjuttill- fälle</u>	<u>Kostnad</u>
Drivmedel <u>24 tim x 4 st x 2 kg x 3:-</u> 200	192 kg	<u>2:88 kr/m²</u> 6:27 kr/m²
D. Oljeeldad byggtork. En byggtork per 50 m ² och 2 i re- serv. En oljetork drar 200 l olja per dygn.		
Hyra <u>6 x 41:-</u> 100		2:46 kr/m ²
Hantering 6 persontimmar/gjuttill- fälle <u>6 x 82:-</u> 200		2:46 kr/m ²
2 traktortimmar/gjuttillfälle <u>2 x 95:-</u> 200		0:95 kr/m ²
Drivmedel 200 l (dygnet/st) <u>200 l x 4 st x 0:95</u> 200	800 l	<u>3:80 kr/m²</u> 9:67 kr/m²
Ovanstående metod med byggtork ger en högre betongtemperatur än övriga. Byggtorkarna skulle egentligen kun- na stängas av efter 12 timmar och därmed betongens tillväxt vara rela- tivt lika i jämförda alternativ. Eftersom avstängningen i så fall skall ske någon gång på natten sker		

<u>Uppvärmning</u>	<u>Bränslemängd per gjuttill- fälle</u>	<u>Kostnader</u>
<p>sällan avstängning vid mest ekonomiska tidpunkt. Men anser man att det klarar vi av på vårt bygge kan bränsleåtgången och därmed kostnaden reduceras med</p>	400 l	<u>1:90 kr/m²</u> <u>7:77 kr/m²</u>
<p>Vid större byggen byts traktortimmar mot krantimmar i samma storleksordning.</p>		
<p>Driftsäkrast har strålningsvärmarna varit under våra prov bl a därför att de inte kräver elström.</p>		

På ett bygge med angiven byggtakt beläget från Mälardalen och norrut är det anledning att räkna med 100 uppvärmningsdagar per år. Kostnadsskillnaden mellan den vidareutvecklade metoden med strålningsvärmare och t ex oljeeldade byggtorkar för ett bygge under en vintersäsong blir 100 dgr x 100 m²/dag x (9:67-2:80), vilket gör totalt ca 69.000:-

Kostnadsskillnaden mellan betongtäckning och Ethafoam för täckning av valvet är 100 dgr x 100 m²/dag x (1:93-1:56), vilket gör totalt ca 4.000:-

Kostnadsskillnaden i fasadintäckning med specialsydda presenningar jämfört med vanliga presenningar är 100 dgr x 100 m²/dag x (2:46-0:82), vilket gör totalt ca 16.000:-

Sammanlagt blir kostnadsbesparingen med föreslagna metoder jämfört med de nu vanligen förekommande metoderna ca 89.000:-

I norra Sverige blir kostnadsbesparingen ännu större.

Allt tyder idag på att kostnaderna för energi kommer att öka mer än för övriga kostnader i angivna metoder. Ett energipris som ökar till det dubbla skulle i dagens penningvärde öka kostnaderna med vilket ger en total kostnadsbesparing för föreslagna energisnåla metoder på

ca 28.000:-

ca 117.000:-

Den mest intressanta metoden är naturligtvis att helt eliminera uppvärmningen genom att isolera formborden mycket väl och under gjutningen täcka in valvet mycket noga. Metoden kräver dock en rätt hög leveranstemperatur på betongen vid låga yttemperaturer. De prov på välisolerade formbord utan någon uppvärmning som utförts pekar på intressanta möjligheter och bör studeras närmare.

Metoden kan kombineras med t ex varm betong. Då klarar man säkert även mycket sträng kyla utan uppvärmning på byggplatsen.

E. Extra välisolerat valvbord
k-värde $0.27 \text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$
 polyuretanskumelement

Kapital tillägg $68\text{-}/\text{m}^2$ form
 $68\text{-} \times 600$
 110×100

= $3:71 \text{ kr/m}^2$

F. Isolering på platsen av plywoodbord med cellplast 14 cm

Kapital tillägg $35\text{-}/\text{m}^2$ form
 $35\text{-} \times 600$
 110×100

= $1:91 \text{ kr/m}^2$

Dessa metoder kräver ingen intäckning av fasaden jämfört med metoden A - B.

G. Varm betong på oisolerade plywoodformar med intäckning av fasad
 $15:85/m^3 \times 0.20 \text{ m valvtjockelk}$

= 3:17 kr/m²

Fasadintäckning med specialsydda presenningar

0:82 kr/m²

3:99 kr/m²

En metod som är ekonomiskt riktig vid all traditionell formsättning.

Kostnadsskillnaden under en vintersäsong mellan oljeeldade byggtorkar och platsisolerat valvbord blir

100 dgr x 100 m²/dag x (9:67-1:91), således totalt ca 78.000:-

Kostnadsskillnaden mellan täckningsmetoder av valvet

100 dgr x 100 m²/dag x (1:93-1:56), vilket gör totalt ca 4.000:-

Kostnadsskillnaden i fasadintäckning med vanliga presenningar och ingen täckning

100 dgr x 100 m²/dag x (2:46-0), gör totalt ca 25.000:-

tillsammans ca 107.000:-

Med en fördubbling av energipriset ökar skillnaden med

ca 47.000:-

tillsammans ca 154.000:-

Med varm betong blir skillnaden totalt

ca 74.000:-

och med fördubblade energipriser

ca 81.000:-

Gjuttakt 50 m² valv per dag.

Gjuttakten halverad till 50 m² valv per dag, i övrigt samma förutsättningar som tidigare.

Täckning

10 mm Ethafoam

förstörd yta		1:-- kr/m ²
kapital		0:42 --"
hantering		0:41 --"
restvärde	(+)	<u>0:13 --"</u>
		1:70 kr/m ²

Täckmattor typ Metzler

förstörd yta		1:-- kr/m ²
kapital		0:36 --"
hantering		<u>0:62 --"</u>
		1:98 kr/m ²

Fasadintäckning

Traditionell intäckning med presenning

kapital		1:12 kr/m ²
hantering och krantransport		2:07 --"
restvärde 30%	(+)	<u>0:34 --"</u>
		2:85 kr/m ²

Specialsyddade presenningar som följer formen vid flyttningen

kapital		1:18 kr/m ²
hantering		0:41 --"
restvärde 30%	(+)	<u>0:35</u>
		1:24 kr/m ²

Uppvärmning

Strålningsvärmare (fast montering)

kapital		2:16 kr/m ²
hantering och traktortransport		1:30 -"-
drivmedel		0:96 -"-
restvärde 50%	(+)	<u>1:08 -"-</u>
		3:34 kr/m ²

Strålningsvärmare (flyttas vid varje gjutning)

kapital		1:14 kr/m ²
hantering och traktortransport		3:41 -"-
drivmedel		0:96 -"-
restvärde 50%	(+)	<u>0:57 -"-</u>
		4:94 kr/m ²

Gasolkanon

hyra		1:60 kr/m ²
hantering och traktortransport		2:59 -"-
drivmedel		<u>2:88 -"-</u>
		7:07 kr/m ²

oljeeldad byggtork

hyra		4:92 kr/m ²
hantering och traktortransport		3:41 -"-
drivmedel		<u>3:80 -"-</u>
		12:13 kr/m ²

Extra välisolerat valvbord
k-värde 0.27 W/m²°C

Polyuretanskumelement 7 cm

kapital

7:40 kr/m²

isolering på platsen av plywoodbord
med cellplast 14 cm

kapital

3:82 kr/m²

5.1 Betongkostnader

Merkostnad jämfört med K 250 Std fin/ärt trög
 190,80 kr/m³ (enligt Betongindustrins prislista nr 70)

valvtjocklek 20 cm

K 300	9:20 kr/m ³	=	1.84 kr/m ²
K 350	19:50 kr/m ³	=	3.90 kr/m ²

1,5% CaCl₂

K 250	4:50 kr/m ³	=	0,9 kr/m ²
K 300	14:50 kr/m ³	=	2,9 kr/m ²
K 350	25:65 kr/m ³	=	5,13 kr/m ²

1% Betokem A

K 250	7:55 kr/m ³	=	1,51 kr/m ²
K 300	17:90 kr/m ³	=	3,58 kr/m ²
K 350	29:10 kr/m ³	=	5,82 kr/m ²

Varmbetong 25°C

K 250	1% Betokem A	15:85 kr/m ³	=	3,17 kr/m ²
	1,5% -"-	18:25 kr/m ³	=	3,65 kr/m ²

SH-cement

K 250		13:60 kr/m ³	=	2,72 kr/m ²
K 300	(9.20+15:50)	24:70 kr/m ³	=	4,94 kr/m ²

Vintertillägg		6:60 kr/m ³	=	1,32 kr/m ²
---------------	--	------------------------	---	------------------------

5.2 Materialsammanställning

Täckningsmaterial

Material	λ - värde (W/m ⁰ C)	tjocklek (mm)	K-värde (W/m ² ⁰ C)	Cirka-pris (kr/m ²)
Ethafoam	0,043	10	4,30	9:50
		15	2,87	13:75
Alveolit	0,035	12	2,92	16:--
		15	2,33	20:--
Traditionella betongtäck- mattor				13:85
Metzler				8:--

Alveolit är slätare och något starkare än Ethafoam. Den släta ytan gör att det går lätt att tejpa ihop till valfri bredd. Nackdelar är att det bara kan fås i 1,6 m:s bredd medan Ethafoam kan fås i 2 m:s bredd. Erfarenheten visar att 10 mm Ethafoam är något för klen i hanteringen och därför rekommenderas 15 mm Ethafoam eller 12 mm Alveolit.

Betongtäckmattan ger i praktiken ett lägre praktiskt k-värde eftersom mattorna snabbt blir trasiga och blöta, inte ligger kant i kant och ger "pumpning" i hörnen.

Presenningar för intäckning av fasaden

vanlig presenning 4,5 x 7 m	14:40 kr/m ²
specialsydd presenning i varierande storlek	15:30 kr/m ²

Uppvärmning

Strålningsvärmare	350 kr/st avskrivn. 3 år = 1,06 kr/byggsdag (330 vinterbyggsdagar)
Gasolkanon	13:30 kr/byggsdag
<u>Gasol</u>	3 kr/kg

5.3 Formbord

Material- och arbetskostnad anges för delarna ovanför bockryggarna. Underredena antas lika och fränses därmed i nedanstående prisjämförelser.

Formbord med polyuretanisolering (d=95 mm, k-värde $0.27 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$) formflaket levereras från fabrik.

Material plywood	25:-	kr/m ²
skum	15:75	""-
reglar	30:--	""-
board	4:75	""-
	<u>65:50</u>	kr/m ²

arbetskostnad

0,75 x 82:- 60:-- kr TOTALT 135:- kr/m² form

Formbord av plywood med 150 mm cellplastisolering (d=170 mm, k-värde $0,27 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$) formbordet tillverkas på platsen.

Material plywood	25:-	kr/m ²
reglar	30:-	
isolering	17:-	<u> </u>
	72:-	

arbetskostnad

0,37 x 82 = 30:- TOTALT 102:- kr/m² form

Dito utan isolering

material plywood	25:-	kr/m ²
reglar	30:-	<u> </u>
	55:-	

arbetskostnad

0,14 x 82 = 11:50 TOTALT 67:- kr/m² form

5.4 Energiåtgång för "normalbetong" respektive varmbetong

För att erhålla en betongtemperatur av 30°C (varmbetong) på arbetsplatsen bör delmaterialen värmas till $+40^{\circ}\text{C}$ med hänsyn till tillverknings- och transportförluster.

Motsvarande "normalbetong" $+20^{\circ}\text{C}$.

	Mängd kg/m ³	Spec. värme kcal/kg	Ingångstemperatur °C
Cement	300	0.22	+ 25
Grus	1030	0.22	+ 3
Sten	840	0.22	- 3
Fukt 3,5%	40	1.0	- 3
Tillsatt vatten	140	1.0	+ 6

Produktion: $25 \text{ m}^3/\text{tim}$

Uppvärmning av ballast till $+5^{\circ}\text{C}$

Spec. värme is 80 kcal/kg
isvatten 0,5--

Smältning is			= 80×40	= 3200 kcal
Uppvärmning smältvatten	- 3°	-	$\pm 0^{\circ} = 3 \times 0,5 \times 40$	= 60 --
- " - vatten	$\pm 0^{\circ}$	-	$+ 5^{\circ} = 5 \times 1,0 \times 40$	= 200 --
- " - grus	- 3°	-	$+ 5^{\circ} = 8 \times 0.22 \times 1030$	= 1820 --
- " - sten	- 3°	-	$+ 5^{\circ} = 8 \times 0.22 \times 840$	= 1480 --
				6760 kcal

Uppvärmning av delmaterial med vatten:

"Normalbetong"

	Mängd kg/m ³	Värme kcal/°C	Uppvärmning °C	Värmemängd kcal
Cement	300	66	-	-
Grus	1030	227	15	3410
Sten	840	185	15	2780
Fukt	40	40	15	600
Vatten	140	-	-	-
				6790 kcal

Varmbetong

	Mängd kg/m ³	Värme kcal/°C	Uppvärmning °C	Värmemängd kcal
Cement	300	66	15	990
Grus	1030	227	35	7950
Sten	840	185	35	6840
Fukt	40	40	35	1400
Vatten	140	-	-	-
				16820 kcal

	Värmemängd kcal	Värmemängd kcal/tim	W
"Normalbetong"	13340	333500	387860
Varmbetong	23370	584250	679480
			} OBS! för 25m ³ /tim

Värmeinnehållet i 1 kg eldningsolja I motsvarar 10200 kcal/kg.
Densiteten 0,84 kg/dm³ ger 12100 kcal/lit.

Med en totalverkningsgrad av 90% hos värmeanläggningen erhålles
10900 kcal/lit.

5.5 Värmningstid och pris för viss hållfasthet

Avtäckning antas ske efter 20 timmar för att möjliggöra utsättning av väggar. Gjuttakten är 100 m² per dag.

Betong K 250 Std med tillsats av 1,5% CaCl₂

Betongtemperatur +20°C

Omgivningstemperatur -5°C

20 timmar efter gjutning

	5 MPa		10 MPa		15 MPa	
	Tid	Pris	Tid	Pris	Tid	Pris
Strålningsvärme, plåtbord	3 tim	6:80 kr/m ²	8 tim	7:40 kr/m ²	-	-
Gaslokanon, plåtbord	5 "	7:76 "	-	-	-	-
Isolerat valvbord, k-värde 0,3 W/m ² °C		7:49 "	-	-	-	-
Plywoodbord		3:78 "	-	-	-	-

44 timmar efter gjutning

	5 MPa		10 MPa		15 MPa	
	Tid	Pris	Tid	Pris	Tid	Pris
Strålningsvärme, plåtbord	ingen	värme krävs	5 tim	7:04 kr/m ²	24 tim	9:32 kr/m ²
Gaslokanon, plåtbord	"	" "	20 "	9:53 "	-	-
Isolerat valvbord, k-värde 0.3 W/m ² °C		7:49		7:49	-	-
Plywoodbord		3:78	-	-	-	-

15 MPa uppnås endast med strålningsvärmare under angivna förutsättningar. Med de andra metoderna fordras längre täckningstid och högre betongkvalitet.

Betongtemperatur +10°C
 Omgivningstemperatur -5°C

20 timmar efter gjutning

	5 MPa		10 MPa		15 MPa	
	Tid	Pris	Tid	Pris	Tid	Pris
Strålningsvärme, plåtbord	8 tim	7:40 kr/m ²	-	-	-	-
Gasolkanon, plåtborg	20 "	9:54 " "				
Isolerat valvbord, k-värde 0,3 W/m ² °C	-	-	-	-	-	-
Plywoodbord	-	-	-	-	-	-

44 timmar efter gjutning

	5 MPa		10 MPa		15 MPa	
	Tid	Pris	Tid	Pris	Tid	Pris
Strålningsvärme, plåtbord	3 tim	6:80 kr/m ²	10 tim	7:64 kr/m ²	-	-
Gasolkanon, plåtbord	7 "	7:99 " "	35 "	11:30 " "	-	-
Isolerat valvbord, k-värde 0,3 W/m ² °C		7:49 " "	-	-	-	-
Plywoodbord		3:78 " "	-	-	-	-

I priserna ingår inte något pristillägg för 20-gradig betong jämfört med 10-gradig.

5.6 Kostnadssammanställning

Som utgångspunkt har valts Betong K 250 Std fin/ärt trög.

Exklusive ångning, snöskottning, förstörd betongyta över uppvärmning.

	Gjuttakt	
	100 m ² /dag	50 m ² /dag
1. Täckning 10 mm Ethafoam	2.88 kr/m ²	3.02 kr/m ²
a. 1,5% CaCl ₂	3.78 "	3.92 "
b. K 300	4.72 "	4.86 "
c. SH-cement	5.60 "	5.74 "
2. Varmbetong (25° C) inkl. 1% Betokem A och täckning	6.05 kr/m ²	6.19 kr/m ²
3A Strålningsvärmare (min. temp. ca 10°C), täckning och intäck- ning (fast montering)	6.50 kr/m ²	7.60 kr/m ²
a. 1,5% CaCl ₂	7.40 "	8.50 "
b. K 300	8.34 "	9.44 "
c. SH-cement	9.22 "	10.32 "
3B Löst monterade värmare	8.35 kr/m ²	9.20 kr/m ²
a. 1,5% CaCl ₂	9.25 "	10.10 "
b. K 300	10.19 "	11.04 "
c. SH-cement	11.07 "	11.92 "
4. Gasolkanon, täckning o intäckn	9.10 kr/m ²	10.46 kr/m ²
a. 1,5% CaCl ₂	10.00 "	11.36 "
b. K 300	10.94 "	12.20 "
c. SH-cement	11.82 "	13.18 "
5A Isolerat valvbord (min. temp. ca 20°C) typ polyuretenscum- element o täckning	6.59 kr/m ²	10.42 kr/m ²
a. 1,5% CaCl ₂	7.49 "	11.32 "
b. K 300	8.43 "	12.26 "
c. SH-cement	9.31 "	13.24 "
d. Varmbetong o 1% Betokem A	9.76 "	13.59 "

5B Isolering med cellplast på
arbetsplatsen o täckning

a. 1,5% CaCl₂

b. K 300

c. SH-cement

d. Varmbetong och 1% Betokem A

		Gjuttakt	
		100 m ² /dag	50 m ² /dag
	5.61 kr/m ²		6.84 kr/m ²
	6.51 "		7.74 "
	7.45 "		8.68 "
	8.33 "		9.56 "
	8.78 "		10.01 "

5.7 Kostnadsjämförelse

För att belysa kostnadssambanden för olika värmningstider under olika täckningsförhållanden har fyra kostnadsdiagram sammanställts. Det första diagrammet baseras på värmningstidens inverkan och samtidigt har kostnaderna för olika isoleringsalternativ, men utan uppvärmning, tagits in. De följande diagrammen är beräknade efter uppnådd 2-dygnshållfasthet med olika omgivnings- och betongleveranstemperatur.

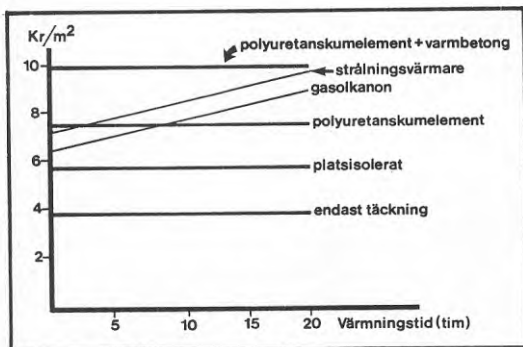


Fig. 66. Kostnad som funktion av värmningstider jämfört med metoder utan uppvärmning. Gjuttakt 100 m^2 per dag.

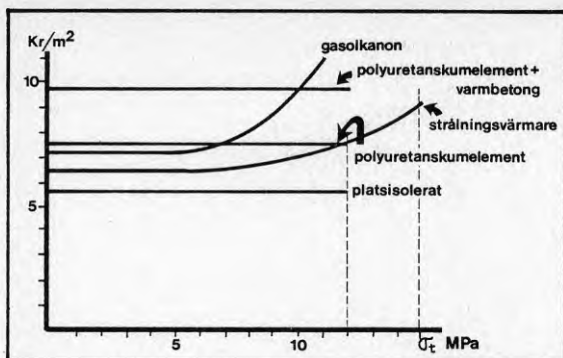


Fig. 67. Kostnad som funktion av 2-dygnshållfastheten. Gjuttakten 100 m^2 per dag och betong K 250 Std med $1,5\%$ CaCl_2 . Betongtemperatur vid start 20°C . Omgivningens temperatur -5°C .

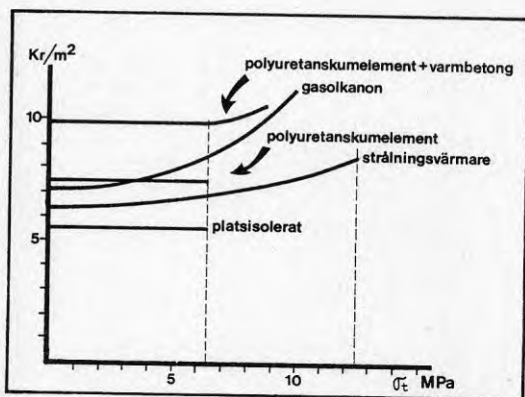


Fig. 68. Kostnad som funktion av 2-dygnshållfasthet. Gjuttakten 100 m^2 per dag och betong K 250 Std med $1,5\%$ CaCl_2 . Betongtemperatur vid start 10°C . Omgivningens temperatur -5°C .

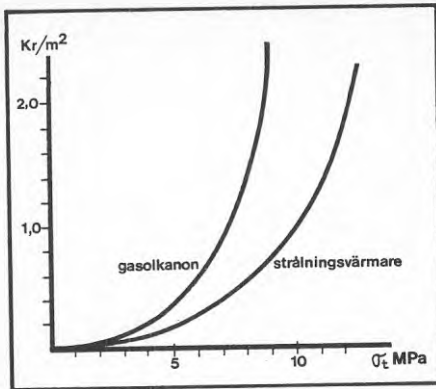


Fig. 69. Energikostnad som funktion av 2-dygnshållfasthet. Betong K 250 Std med 1,5% CaCl_2 och temperatur $+10^\circ\text{C}$. En strålningsvärmare per 13 m^2 form. Gasolförbrukning 0,5 kg/h. En gasolkanon per 50 m^2 form. Gasolförbrukning 2 kg/h. Gasolpris 3 kr/kg. Avtäckning efter 20 timmar.

	4	6	8	10	MPa
Strålningsvärme	0.15	0.3	0.55	0.97	Kr/m ²
Gasolkanon	0.23	0.6	1.29	-	Kr/m ²

6. SAMMANSTÄLLNING AV PRAKTISKA RÖN

6.1 Hållfasthetsutveckling

Fem olika alternativ har jämförts

- A Strålningsvärmare, täckning, fasadintäckning och plåtform
- B Gasolkanon, täckning, fasadintäckning och plåtform
- C Täckning och isolerat valvbord, K-värde $0.27\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$
- D Täckning och plåtform
- E Plåtform

Betong K 250 Std med 1,5% CaCl_2

I förekommande fall har täckning och värme varit på i 20 timmar efter gjutningen. Temperaturutvecklingen har baserats på de prov som utförts och hållfastheten har uppskattats med hjälp av M_{20} - funktionen. CaCl_2 - tillsats ger en ökning av temperaturen. Någon eventuell ytterligare hållfasthetsökning, förutom den som temperaturhöjningen ger, har inte beaktats.

Metoderna A och B är minst känsliga för variation i omgivnings- och betongtemperatur.

Utan täckning ansluter sig betongtemperaturen snabbt till omgivningens temperatur. Vid låga temperaturer sker därför ingen nämnvärd hållfasthetsökning i betongen. Frysrisk föreligger.

Vanlig rivningshållfasthet ligger omkring 9 MPa (90 kp/cm^2). Enligt kurvorna är det bara alternativ A och B som klarar detta värde i samtliga fall. Om starttemperaturen i betongen kan hållas närmare 20°C klarar även alternativ C en låg utetemperatur. Tryckförsök tyder på att M_{20} -funktionen underskattar hållfastheten vid lägre betongtemperatur än 15°C .

Omgivningstemperatur $+5^\circ\text{C}$ och -5°C .

Betongens starttemperatur $+10^\circ\text{C}$ och $+20^\circ\text{C}$.

Hållfasthetstillväxten som funktion av tiden redovisas för de fyra valda temperaturförutsättningarna i fig. 70 - 73.

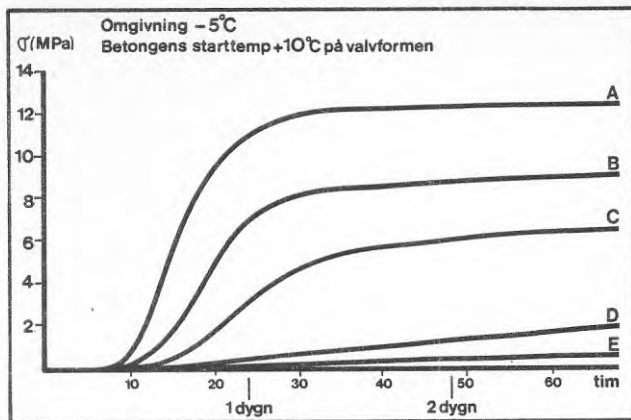


Fig. 70. Omgivning -5°C . Betongens starttemperatur $+10^{\circ}\text{C}$.

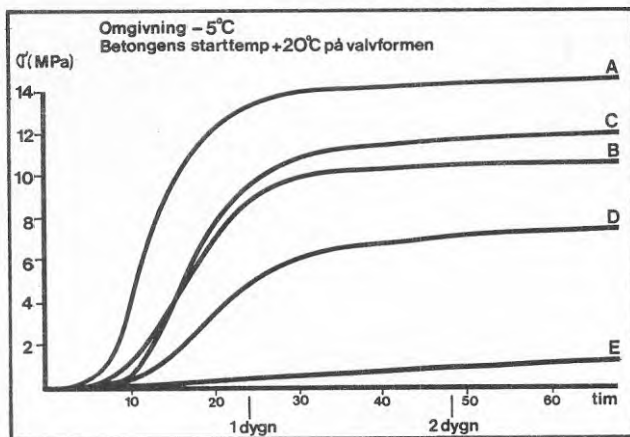


Fig. 71. Omgivning -5°C . Betongens starttemperatur $+20^{\circ}\text{C}$.

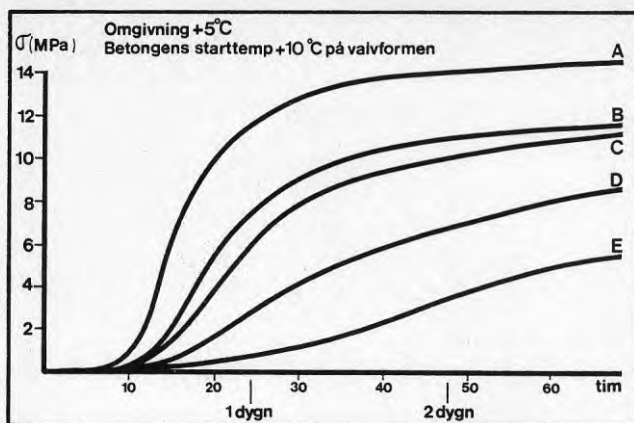


Fig. 72. Omgivning +5°C. Betongens starttemperatur +10°C.

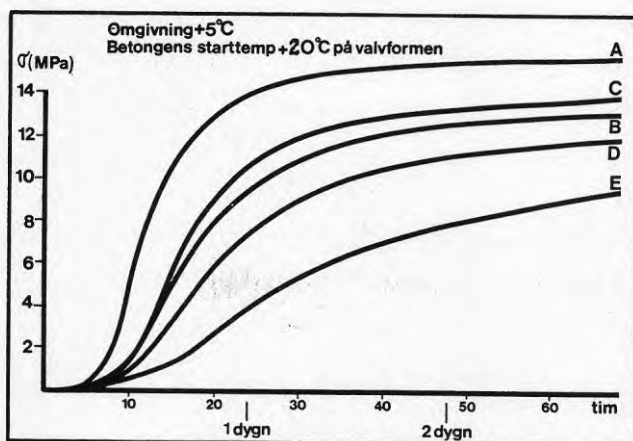


Fig. 73. Omgivning +5°C. Betongens starttemperatur +20°C.

Tid för att uppnå viss hållfasthet

Betong K 250 med 1,5% CaCl₂. I förekommande fall är värmen och täckningen på i 20 timmar efter gjutning.

Gjuten valvyta 54 m².

Omgivningstemperatur - 5°C (konstant)

Starttemperatur för betongen	20°C	10°C
<u>5 MPa</u>		
Strålningsvärme, full effekt 4 st	10 timmar	15 timmar
" reducerad effekt 4 st	14 "	19 "
Gasolkanon 1 st	16 "	20 "
Isolerat valvbord utan värme	16 "	32 "
Plywoodbord -- --	22 "	uppnås ej
Stålbord -- --	24 "	- " -
 <u>10 MPa</u>		
Strålningsvärme, full effekt 4 st	16 timmar	22 timmar
" reducerad effekt 4 st	22 "	uppnås ej
Gasolkanon 1 st	31 "	- " -
Isolerat valvbord utan värme	26 "	- " -
Stålbord -- --	uppnås ej	- " -
 <u>15 MPa</u>		
Strålningsvärme, full effekt 4 st	80 timmar	uppnås ej
Övriga	uppnås ej	- " -

Omgivningstemperatur +5°C (konstant)

Starttemperatur för betongen	20°C	10°C
<u>5 Mpa</u>		
Strålningsvärme, full effekt 4 st	10 timmar	14 timmar
" reducerad effekt 4 st	12 "	"
Gasolkanon 1 st	15 "	19 "
Isolerat valvbord utan värme	15 "	22 "
Plywoodbord -"- -"-	18 "	31 "
Stålbord -"- -"-	19 "	36 "
<u>10 MPa</u>		
Strålningsvärme, full effekt 4 st	15 timmar	20 timmar
" reducerad effekt 4 st	20 "	28 "
Gasolkanon 1 st	25 "	36 "
Isolerat valvbord utan värme	22 "	44 "
Plywoodbord -"- -"-	32 "	70 "
Stålbord -"- -"-	36 "	uppnås ej
<u>15 MPa</u>		
Strålningsvärme, full effekt 4 st	35 timmar	72 timmar
övriga	uppnås ej	uppnås ej

6.2 Strålningsvärmare

En strålningsvärmare (typ PRIMUS GM-12SR) per 15:e m² valvform har visat sig ge gott resultat. Betydligt högre betongtemperatur än med gasolkanon har uppnåtts. Strålningsvärmarna är driftsäkra och kräver ingen elström, vilket gör dem flexibla. Det är lämpligt med permanent montering på formen så att hanteringskostnaden och därmed totalkostnaden kan hållas nere.

Värmaren bör placeras på 1,25 meters avstånd från valvytan och 1,5 m från vägg respektive från fasadliv och riktas snett inåt. Den täcker då in betongens känsligaste ställen över vägg och i kant. Om värme och täckning är på i 20 timmar nås en hållfasthet av ungefär 11 MPa (110 kp/cm²) med K 250 Std, 1,5% CaCl₂ redan efter 24 timmar. Det förutsättes då att värmarna haft full effekt och att täckningen varit 10 mm Ethafoam som lagts på i samband med gjutningen.

Täckning av betongen bör göras så fort som möjligt för att ta vara på den värme betongen har vid leverans. På valvet svalnar den fort utan täckning.

Intäckning av valvet är viktigt. Den höjer effekten av värmarna samtidigt som den utjämnar temperaturvariationerna. Presenningar som specialsyst och sitter kvar på formen vid flyttning minskar hanteringskostnaden.

Tillsammans med tillverkaren har metoden vidareutvecklats. Ett praktiskt system består av två ställ gasolflaskor (6 flaskor i vardera). Mellan ställen finns en automatisk omkastare som skiftar ställ när ett batteri flaskor tömts. En reduceringsventil sänker trycket på gasolen. Detta för att få lämplig takt på gasuttaget så att all gasol i flaskorna kan tas ut. Anläggningen styrs av en mekanisk timer som tagits fram för ändamålet. Det är viktigt att uppvärmningen tidstyrs så att den kan avbrytas direkt när betongen uppnått behövlig hållfasthet.

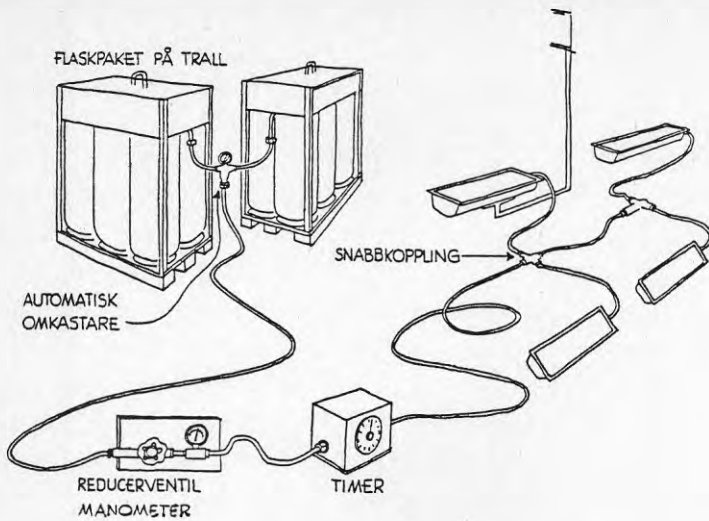


Fig. 74. Komplet arrangement för strålningsvärmare.

- Gasoltryck** Högt tryck i ledningarna ger ökad gasolförbrukning. Gasen kan övergå i vätska vid för högt tryck. Lämpligt tryck är 2 kp/cm^2 och ledningen bör dimensioneras därefter. Butan ger sämre tryck vid kyla.
- Förbrukning** Värmarna drar $0,5 \text{ kg/timme}$ vid rätt tryck. Uttaget ur flaskorna får inte gå för fort, 1 kg/tim , annars blir det gas kvar i flaskorna. 12 värmare per flaskpaket är därför lämpligt.
- Ledningar** Färdiga längder som skarvas är lämpligt.

6.3 Betongvalv

En serie prov har gjorts vid varierande omgivningstemperatur. Begynnelsestemperaturen hos betongen har varit mellan 15° - 20° C. Antalet värmare och effekten på dem har varierat. Täckningsmaterialet har varit 10 mm Ethafoam. När intäckning av fasaden förekommit har specialsydda presenningar använts.

4 st karaktäristiska kurvor redovisas i fig. För att komma fram till detta resultat har en del antaganden gjorts. Omgivningstemperaturen är konstant -5° C. Betongens begynnelse-temperatur är 20° C. Mätpunkten ligger enligt fig.38. Värmen sätts på 2 timmar innan gjutning, så att formen hinner värmas upp. Avtäckning och stopp av värmen efter 20 timmar.

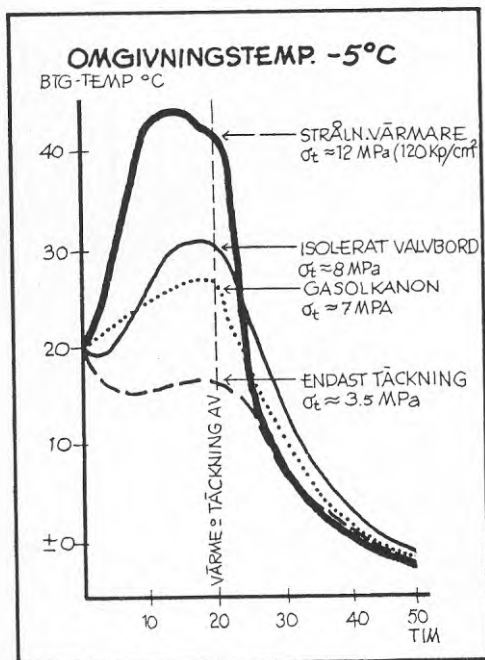


Fig. 75. Karaktäristiska temperaturkurvor vid olika täcknings- och uppvärmningsalternativ.

Sänks begynnelsestemperaturen på betongen erhålls ungefär samma temperaturförlopp, men med viss förskjutning i tiden. Omgivningstemperaturen har endast betydelse efter avtäckning och avstängning av värmen samt innan täckningen kommer på. Med mycket omsorgsfull täckning av betongen och bra fasadintäckning samt en värmare per 13 m² kan temperaturen fås att stiga till över 50° C.

Effektivare värme gör att max-temperaturen i betongen höjs och uppnås på kortare tid. Efter denna tidpunkt sjunker temperaturen även om värmen och täckningen fortfarande är på. Tiden för temperaturmaximum varierar mellan 12 och 20 timmar efter gjutning.

Temperaturen har maximum ovanför värmaren och avtar sedan med avståndet från denna. Minskas avståndet mellan valv och värmare ökar temperaturen precis ovanför värmaren, men minskar vid sidan om. Den kritiska punkten ligger i valvets ytterkant. För att höja temperaturen i kanten kan avstängaren isoleras och täckningsmaterialet läggas över. Helst gjuts en kantisolering av t ex lättbetong. Avtäcks valvet sjunker temperaturen drastiskt, även om värmen är på. Det lönar sig därför inte att värma utan att ha täckning på betongens ovansida. En bra intäckning av fasaden ökar temperaturen överlag och utjämnar samtidigt temperaturvariationerna i valvet.

6.4 Isolerat valvbord

Begynnelsestemperaturen hos betongen har varit olika. Det samma gäller omgivningstemperaturen. Valvtjocklek 160 mm. Tyvärr har inget prov genomförts vid riktigt kall väderlek. Betongen har täckts med 10 mm Ethafoam. Formens k-värde var $0.27 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

Temperaturkurvor i fig. 76 visar skillnaden mellan form av plåt, plywood och polyuretanisolerad form. Resultatet är vägt och grundar sig på de två försöken samt en del antaganden. Betongens begynnelsestemperatur har valts till 20°C . Omgivningstemperaturen är konstant -5°C . Avtäckning har skett efter 20 timmar. Dessa antaganden har gjorts för att möjliggöra en jämförelse med andra metoder.

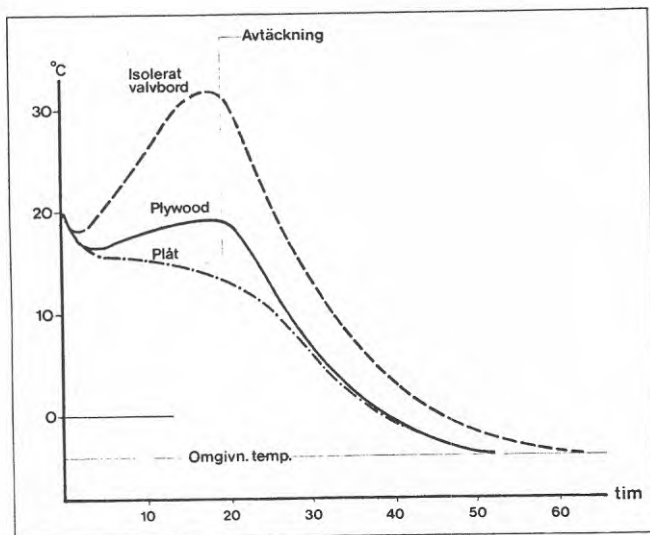


Fig. 76. Temperaturförlopp vid tre olika valvbord. Det isolerade valvbordet har k-värde $0.27 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Plywoodbord k-värde $1,5 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Betong K 250 1% Betokem A.

6.5 Betongvägg

En serie prov har gjorts med olika variabler. Betongkvalitet, tillsatsmedel, omgivningstemperatur, väggjocklek och begynnelsestemperatur.

Formarna som använts har varit isolerade med 20 mm cellplast. Isoleringen har varit något defekt, vilket är vanligt.

Temperaturförlopp enligt fig. 76. De väggar som göts vid -10°C har efter 22 timmar lägre hållfasthet än 1 MPa. De övriga mellan 1 och 2 MPa enligt Arrhenius m_{20} - funktion.

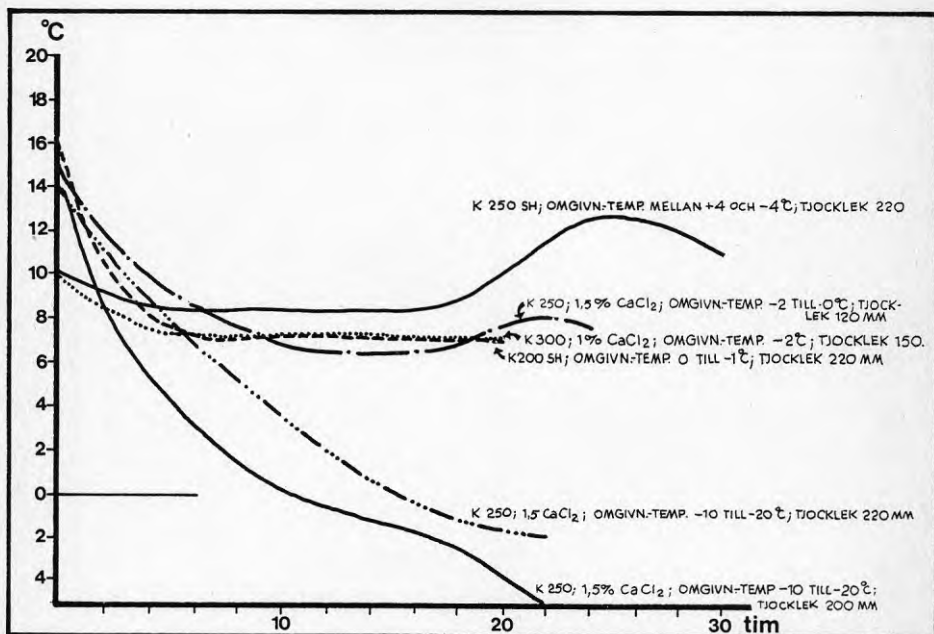


Fig. 76. Temperaturförlopp vid olika alternativ för väggjutning.

De faktorer som styr temperaturförloppet är främst omgivningstemperaturen och betongens begynnelsestemperatur. Låg omgivningstemperatur gör att form och armering kyler betongen mer. För att kompensera detta fordras högre betongtemperatur från början. Provresultaten visar att temperaturen stiger ungefär 12°C från startvärdet. Tiden för maximum varierar mellan 15 och 20 timmar och är kortast vid högre temperaturer. Fig.70-72 visar hållfasthetstillväxten i några speciella fall.

Resultatet visar att temperaturförloppet är ungefär detsamma som med värme under plåtform. Ökad valvtjocklek ger ändå bättre resultat. Metoden är känsligare och kräver god täckning. Beaktas bör också att betongväggen inte tillförs någon värme förrän den permanenta värmen sätts på. Problem med hållfastheten kan därmed uppstå.

Betongvägg

En serie prov har gjorts med olika variabler. Betongkvalitet, tillsatsmedel, omgivningstemperatur, vägg tjocklek och begynnelsestemperatur.

Formarna som använts har varit isolerade med 20 mm cellplast. Isoleringen har varit något defekt, vilket är vanligt.

Temperaturförlopp enligt fig. 76. De väggar som göts vid -10°C har efter 22 timmar lägre hållfasthet än 1 MPa. De övriga mellan 1 och 2 MPa enligt Arrhenius m_{20} - funktion.

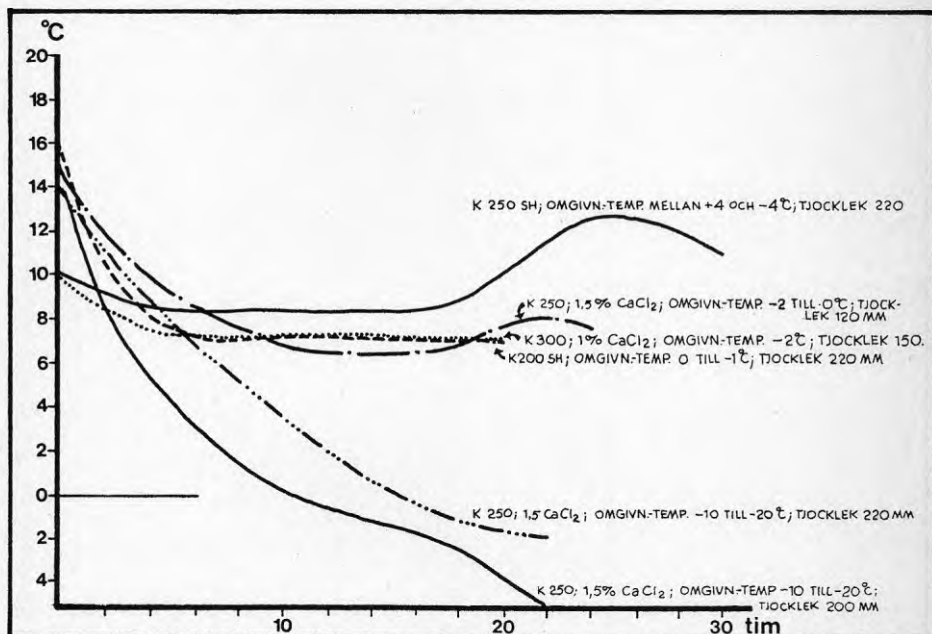


Fig. 77. Temperaturförlopp vid olika alternativ för väggjutning.

Låg temperatur i omgivningen vid gjutningen gör att formen kyler betongen hastigt. Betongens förmåga att själv utveckla värme vid den kemiska processen minskas därmed. Detta leder i sin tur till långsam hållfasthetstillväxt. Avformningen sker ofta efter kortare tid än 20 timmar. Någon större hållfasthet finns då inte i väggen. Fortsätter sedan den kalla väderleken dröjer det lång tid innan någon nämnvärd hållfasthet fås. Ingen tendens till deformation har iakttagits trots de låga hållfasthetsvärdena. Vaggarna får ett extra värmestillskott om uppvärmning sker vid den efterföljande valvgjutningen.

NÅGRA REKOMMENDATIONER

Väggjutning

12 - 20 cm tjocka Bättre isolering än vad som är brukligt idag. Vid sträng kyla görs gjutningen med så varm betong som möjligt. Tunna väggar måste man vara extra försiktig med. CaCl_2 tillsats bör alltid användas vid kall väderlek.

Valvgjutning
med form

16 - 20 cm

I första hand täcks valven successivt, var-
efter gjutningen framskrider. Täck alltid
om det är risk för köldgrader och blåst inom
de närmaste 2 dygnen.

Uppstickande järn kan ofta vara ekonomiskt
riktigt att ersätta med wire eller liknande
lösningar som genom att möjliggöra bättre
täckning innebär att uppvärmningen kan minskas.

Om det är risk för köldgrader och blåst, slå
på värme. Billigast och driftsäkrast är då
strålningsvärmare.

Vid stålbord måste värme slås på även vid
några plusgrader.

När värmen slås på skall alltid fasaden och
valvet vara väl intäckt t ex med specialsydd
presenningar och Ethafoammattor på valv.

Om betongstationen kan ge en leveranstempera-
tur på $+20^{\circ}$ - 25° varm betong är ett väliso-
lerat plywoodbord ett ekonomiskt intressant
alternativ. CaCl_2 används alltid vid kall vä-
derlek.

Valvgjutning med
traditionell
formsättning

20 - 30 cm tjocka

En bra täckning av valvet görs alltid vid kall väderlek. I första hand används betong med en leveranstemperatur på ca +25°C vid köldgrader. Fasaden täcks in väl. Måste uppvärmning ske används löst monterade strålningsvärmare. CaCl₂ används alltid vid kall väderlek.

LITTERATURFÖRTECKNING

Akhonov, V S, 1972, Beton; Zhelezobeton (no 12)

Bennett, F, 1977, Temporary protection of cold weather construction, Alaska, USA.

Building research and practice, 1977, Using hot-mixed concrete, 1977:5.

Byfors, Jan, 1979, Betong i tidig ålder, CBI:s informationsdag 1979.

Hansen, P. Freiesleben & Petersen, Erik J., 1977, måleinstrument til kontrol af betons haerdning, Nordisk betong, 1 - 1977.

Jonson, J-Å & Lennartsson P-A, 1979, Vinterbygge. Betongarbete, Byggeforskningen Informationsblad 1979:B 1, Stockholm.

Jonson J-Å & Lennartsson P-A, 1979, Vintergjutning av betong. Cement & Betong (1971), Stockholm.

Mattson John, Byggnadsaktiebolag byggforskningen 1978, Energibesparande metoder vid betonggjutning, Stockholm.

Penttala, Vesa, 1977, Infraröduppvärmning av betongkonstruktioner under arbetsplatsförhållanden, Nordisk Betong, 5 - 1977.

Roethig, Horst, 1978, Winterbaustellen - richtig beheizt? Tiefbau 20, nr 10 - 1978.

Rumpf, 1977, Tips und Hinweise für den Winterbau, Baugewerbe 57, nr 18.

Samuelsson, Paul, 1979, Vilken korttidshållfasthet behövs i Sverige?

Schönberg, Günter; Dobler, Manfred; Werthwein, Heinz, 1978, Vergleichende Untersuchung alternativ möglicher Winterbauschutzmassnahmen bei verschiedenen Witterungsbedingungen, Bonn.

Statens tekniska forskningscentral, 1978, Seminarium för uppvärmning och värmebehandling av färsk betong under arbetsplatsförhållanden, Espoo.

Svenska Cementföreningen, 1971, Materialet Betong, Halmstad.

Teschke, Frank, 1978, Differenzierter Vergleich von Bauverfahren unter Berücksichtigung stochastischer Einflussgrössen - dargestellt am Vergleich von Winterbauverfahren, Braunschweig.

Vaulamo, R, 1977, Transport av färdigblandad betong i kyla, Byggmästaren 1977, nr 12.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 771428-0
från Statens råd för byggnadsforskning till John Mattson
Byggnads AB, Stockholm**

R16:1981

ISBN 91-540-3439-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700316

**Abonnemangsgrupp:
V. Anläggningsteknik**

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

Cirkapris: 35 kr exkl moms