



Gunnar Fredriksson  
Paul Samuelsson

# Glättning av betonggolv

Projektet har utförts av BPA TERREX i samarbete med  
CEMENTA AB med anslag från SBUF.

Gunnar Fredriksson  
Paul Samuelsson

# Glättning av betonggolv

# Innehåll

Förord .....	5
Sammanfattning .....	7
Bakgrund och syfte .....	8
Problemställning .....	8
Syfte och mål .....	10
Laboratorieundersökningar .....	11
Avsikt .....	11
Omfattning .....	12
Utförande .....	14
Resultat .....	15
Referensplattor .....	15
Resultatredovisning .....	15
Cementfabrikat .....	15
Cementmängd .....	19
Tillsatsmedel .....	22
Cementets bindetid .....	23
Betongens temperatur vid gjutning .....	26
Härdning .....	26
Vattenhalt .....	28
Kommentarer .....	30
Praktisk användning av laboratorieförsöken .....	36
Sammanfattning av laboratorieförsöken .....	39
Fältförsök .....	43
Metoder .....	43
Försök på arbetsplatser .....	44
Ekonomi .....	50
Slutsatser och rekommendationer .....	52
Litteratur .....	58

# Förord

Det i denna rapport redovisade projektet – Glättning av betonggolv – har haft en klart praktisk inriktning. Målsättningen har varit att ge kvantitativa anvisningar för så korta väntetider före glättning, att denna kan utföras under samma arbetsskift som betonggjutningen.

För att begränsa försökskostnaderna förlades en stor del av projektarbetet i laboratorium. Försöken där utfördes i två omgångar. Den första utgjorde bl a underlag för fältförsöken, medan den andra innebar en komplettering av och en jämförelse med dessa. Trots den rent praktiska målsättningen med projektet har redovisningen av laboratorieundersökningen gjorts relativt utförlig. Därigenom har praktikern, om han så vill, en möjlighet att mera ingående bilda sig en uppfattning om olika parametrars inflytande på väntetiden. Förhoppningsvis kan laboratieförsöken även utgöra en grund för framtida undersökningar.

Fältförsöken har utförts vid BPA:s arbetsplatser, konsortiet Kraftverksbyggarnas arbetsplats i Örebro och vid en av Hantverkarn Byggs arbetsplatser i Västerås. Laboratieförsöken genomfördes vid Cementas laboratorium i Slite – CEMLAB. Vi tackar all personal vid dessa företag, som har varit oss till stor hjälp. Likaså tackar vi Anne-Marie Fagerlund och Ulla Jarding, som har ritat figurerna respektive svarat för ordbehandlingen.

# Sammanfattning

Det här redovisade projektet är praktiskt inriktat. Det avser att vara ett hjälpmedel för entreprenören och betongleverantören för att lösa de problem som kan uppstå med alltför långa väntetider i samband med glättning av betongplattor.

Det har emellertid varit nödvändigt att genomföra ganska omfattande laboratorieundersökningar för att kartlägga de olika parametrarnas inverkan på väntetiden.

För att en betongplatta skall kunna färdigställas inom ett arbetsskift får väntetiden innan glättning kan påbörjas i allmänhet inte vara över 4 timmar. Denna korta väntetid uppnås ej utan kraftfulla åtgärder.

De utförda laboratorieundersökningarna och fältförsöken ger data för att med olika betongtekniska hjälpmedel minska väntetiden före glättning. Resultaten av de förra gör det möjligt att förutsäga en ungefärlig väntetid vid givna förutsättningar. Överensstämmelsen mellan laboratieförsöken och fältförsöken är tillfredsställande.

Normala åtgärder såsom förhöjd temperatur, ökad cementhalt, lågt vct och val av cementklass (Std P eller SH) med kort bindetid ger goda möjligheter att styra tillstyvnadsförloppet hos betongen. Dessa åtgärders effekt är dock begränsad, särskilt vid låga lufttemperaturer. Här visar sig metoder med vattenreducing, antingen detta sker i form av vakuumbehandling eller med hjälp av tillsatsmedel, vara effektiva och inte lika temperaturberoende som andra metoder.

Inbyggnad av arbetsplatsen, vilket har praktiserats på vissa håll, skulle minska väntetiden före glättning radikalt under den kalla årstiden.

I rapporten ges uppgifter om kostnader för vissa åtgärder och under vilka yttre förhållanden en viss åtgärd beräknas ha önskad effekt.

För val av rätt åtgärd och uppföljning av resultat är det nödvändigt med ett samarbete mellan betongleverantör och entreprenör.

Eftersom glättningen måste påbörjas innan betongen har hunnit utveckla någon egentlig hållfasthet, men ändå måste ha en bärighet, som gör att arbetaren kan beträda ytan utan att några skador uppstår, bestäms tidpunkten när glättningen kan påbörjas framför allt av cementets bindetid i kombination med temperatur, cementhalt och eventuell vattenreducering i form av t ex vakuumbehandling eller vattenreducering genom tillsatsmedel och tillsatsmaterial.

Eftersom man normalt inte kan påbörja glättningen förrän efter 3 timmar, ger detta en klar begränsning av hur stor yta, som kan utföras under ett arbetsskift med ett arbetslag.

En van betongarbetare kan glätta 15–20 m<sup>2</sup>/timme, vilket gör att högst 100 m<sup>2</sup> kan färdigställas; om 2 arbetare insätts kan dubbla ytan utföras. Det är att märka att gjutningen måste avslutas 3,5–4 timmar före arbetsskiftets slut.

Gjutkapaciteten är oftast ingen dimensionerande faktor, utan mängden färdigställd yta per arbetsskift bestäms av glättningskapaciteten och de åtgärder som möjliggör denna.

Det är mycket dyrt att genomföra fältundersökningar i tillräcklig omfattning. Betongens tillstyvnande vid olika temperaturer har därför först studerats i laboratorium. På basis av dessa förberedande undersökningar har fältundersökningar genomförts och har då icke varit alltför omfattande.

# Laboratorieunder- sökningar

## Avsikt

En stor del av projektet genomfördes i form av laboratorieförsök. Skälet till detta var önskemålet att kunna renodla inverkan av en rad olika parametrar med en måttlig ekonomisk insats. På en arbetsplats är detta ofta svårt, ibland omöjligt. Å ena sidan finns i regel en viss minimikvalitet, som ej får underskridas, och å andra sidan kostar en överkvalitet, som är önskvärd ur försökssynpunkt orimligt mycket. Ändrad kvalitet stör lätt byggplatsens planering och arbete. Ett enskilt försök på arbetsplatsen blir dessutom ofta onödigt stort, t ex en hel bjälklagsplatta.

Temperatur	19–20°C	}	Sommarklimat
Relativ fuktighet	36–48 %		
Temperatur	40°C	}	Värmehärdning
Relativ fuktighet	50 %		

*Isolering:*

Gjutning mot värmeisolering.

Täckning med isoleringsmatta.

För mera detaljerade uppgifter se Tabell 7.



# Resultat

## Referensplattor

Ur materialsynpunkt har fyra referensplattor (nr R 1–R 4) använts, varav två härdades i 20°C och två i 5°C. De göts vid olika tillfällen, dvs ur olika betongsatser. Avsikten med detta var att få en bild av reproducerbarheten.

Man konstaterar, att de båda plattorna i 20°C krävde nästan exakt samma väntetid före glättning, nämligen 5.05 timmar respektive 5.00 timmar. Skillnaden i väntetid mellan de båda plattorna i 5°C var större. Väntetiderna för dessa registrerades till 5.55 timmar respektive 6.50 timmar.

Vid jämförelse med referensplattorna i fortsättningen har i regel ett medeltal av R 1 och R 3 använts för 20°C (R 20) och av R 2 och R 4 för 5°C (R 5).

Ur utförandesynpunkt användes två referensplattor (nr 5–6) för att bestämma rätt väntetid före glättning, se kapitel ”Utförande”.

## Resultatredovisning

I Tabell 7 redovisas utöver försöksvillkoren även resultat i form av väntetider, tillstyvnad och aktuell bindetid i betongens ytskikt.

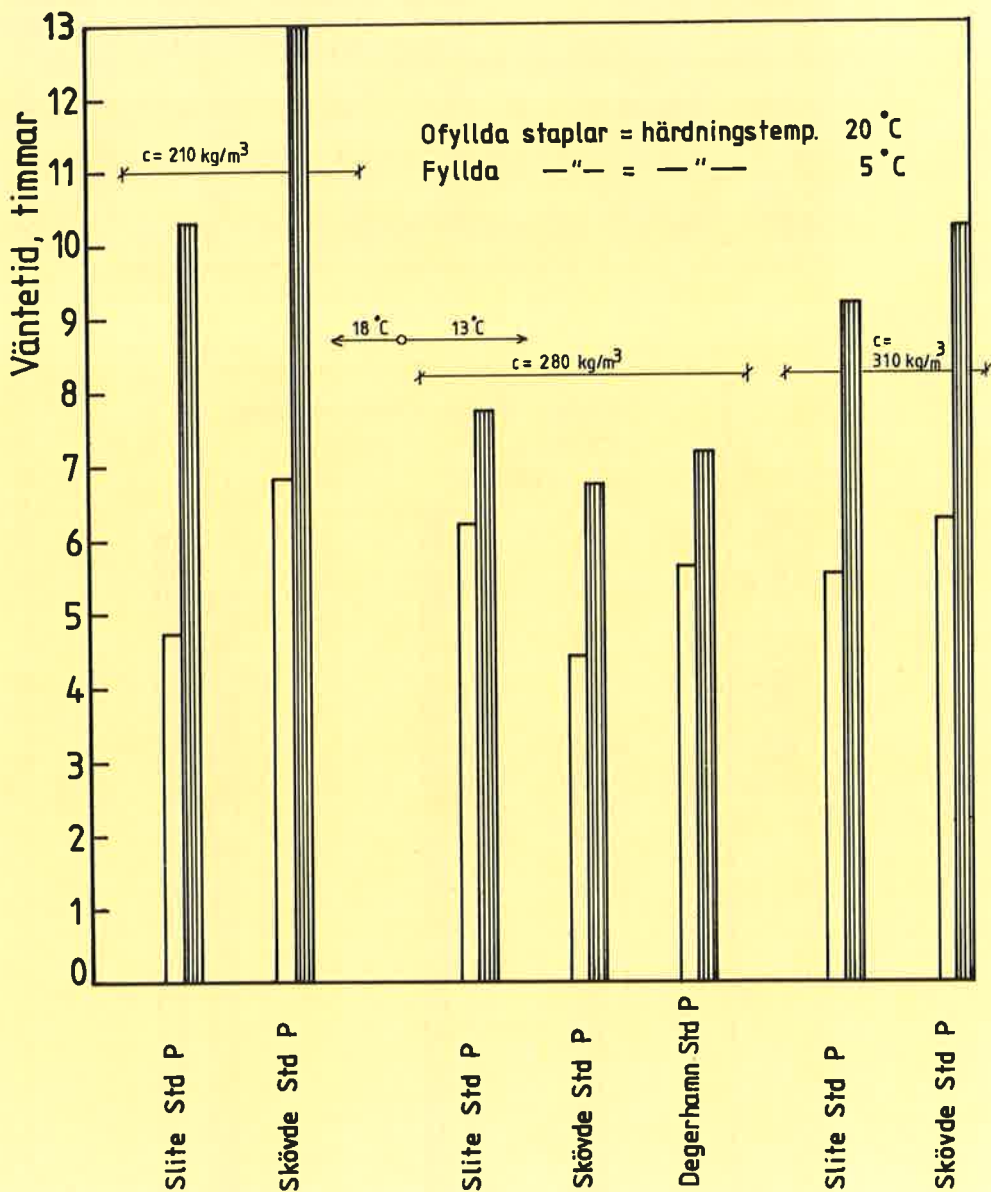
- I Figur 8–9 och 12–13 redovisas sammanhörande värden på väntetid – aktuell bindetid i betongens ytskikt (härdningstemperatur 5–40°C)
- wäntetid – aktuell bindetid i betongens ytskikt, korrigerad för cementmängd och vatteninnehåll, dvs i form av vct (härdningstemperatur 5–40°C)
- wäntetid – aktuell bindetid för cementet i betongens ytskikt, korrigerad för cementmängd och vattenhalt, dvs i form av vct (härdningstemperatur 20–40°C)
- wäntetid – tillstyvnande (härdningstemperatur 5–40°C)

Regressionslinjer för mätvärdena i de fyra figurerna har beräknats.

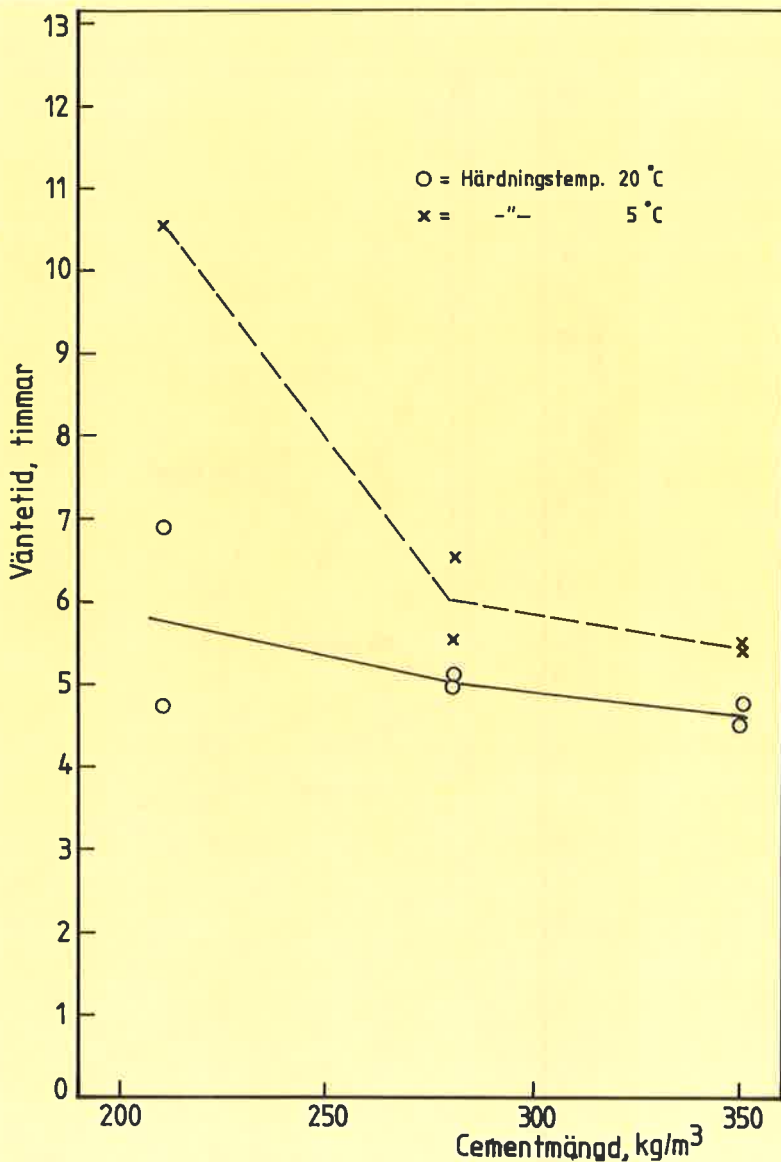
## Cementfabrikat

Jämförelser har gjorts mellan olika cementfabrikat: Slite Std P, Skövde Std P, Degerhamn Std P (Anläggningscement) och mellan cementklass: Std P, SH.

Trots lika betongsammansättning och lika försöksvillkor i



**Figur 2.** Väntetiden före glättning av betonggolv vid olika standardcement. Någon säker rangordning kan ej göras mellan de olika fabrikaten. Härdning i lägre temperatur (5°C) ger avsevärt längre väntetid än i högre (20°C).



**Figur 4.** Ökad cementmängd ger kortare väntetid, speciellt vid låg härdningstemperatur.

## Cementmängd

Man konstaterar, att den högsta cementhalten 350 kg/m<sup>3</sup> (nr 25–28), ger kortast väntetid och spridningen mellan de dubblerade plattorna 25 och 27 samt 26 och 28 vid 20°C respektive 5°C var liten. Den höga cementhalten hade en klart gynnsam inverkan på väntetiden vid låg härdningstemperatur, 5°C, se Figur 4–5. Väntetiden var ungefär hälften av den som

**Tabell 3. Inverkan av cementmängd.**

Försök nr	Cement-fabrikat	Mängd kg/m <sup>3</sup>	Utgångs-temp. btg °C	Härdsn.-temp. luft °C	Väntetid tim min
7	Slite Std P	210	19	20	4 45
8	Slite Std P	210	18	5	10 15
9	Skövde Std P	210	18	20	6 50
10	Skövde Std P	210	18	5	13 00
25	Slite Std P	350	21	20	4 45
26	Slite Std P	350	21	5	5 40
27	Slite Std P	350	23	20	4 30
28	Slite Std P	350	22	5	5 45
R 20*	Slite Std P	280	21	20	5 00
R 5*	Slite Std P	280	21	5	6 15

\* Referensvärde, se Kapitel "Laboratorieundersökningar" avsnitt "Referensplattor".

**Tabell 4. Inverkan av cementmängd.**

Försök nr	Cement-fabrikat	Mängd kg/m <sup>3</sup>	Utgångs-temp. btg °C	Härdsn.-temp. luft °C	Väntetid tim min
5	Slite Std P	280	13	20	6 15
6	Slite Std P	280	13	5	7 45
11	Skövde Std P	280	13	20	4 25
12	Skövde Std P	280	13	5	6 45
13	Degerhamn Std P	280	13	20	5 40
14	Degerhamn Std P	280	13	5	8 50
19	Slite Std P	310	13	20	5 30
29	Slite Std P	310	13	5	9 10
21	Skövde Std P	310	13	20	6 15
22	Skövde Std P	310	13	5	10 10
R 20*	Slite Std P	280	21	20	5 00
R 5*	Slite Std P	280	21	5	6 15

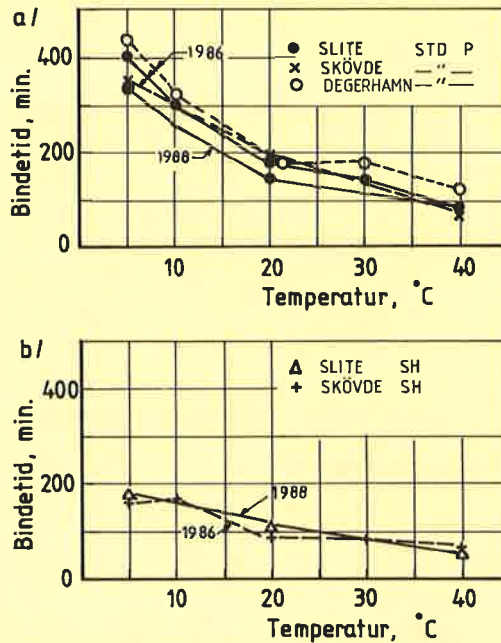
\* Referensvärde, se Kapitel "Laboratorieundersökningar" avsnitt "Referensplattor".

fordrades vid den lägsta cementhalten 210 kg/m<sup>3</sup>. Se Tabell 3–4. Den högre cementhalten förkortar väntetiden genom sin större värmeutveckling, vilket bidrar till en högre temperatur i ytskiktet och därmed en kortare binde- och tillstyvnadstid.

Vid lägre utgångstemperatur på betongen, 13°C, inverkade en höjning av cementhalten från 280 till 310 kg/m<sup>3</sup> inte förkortande på väntetiden. 310 kg/m<sup>3</sup> borde ha givit kortare väntetid än 280 kg/m<sup>3</sup>, Tabell 4. Förklaringen till det bättre resultatet med lägre cementhalt kan vara en slumpmässigt kortare bindetid i plattorna med den lägre cementhalten.

Flera försök gav kortare väntetid än referensproven med ca 7°C högre utgångstemperatur. Vid härdning i 5°C gav emellertid utgångstemperaturen kraftigt utslag och väntetiden för referensproven blev kortare. Se Tabell 3–4.

Mera detaljerade uppgifter finns i Tabell 7.



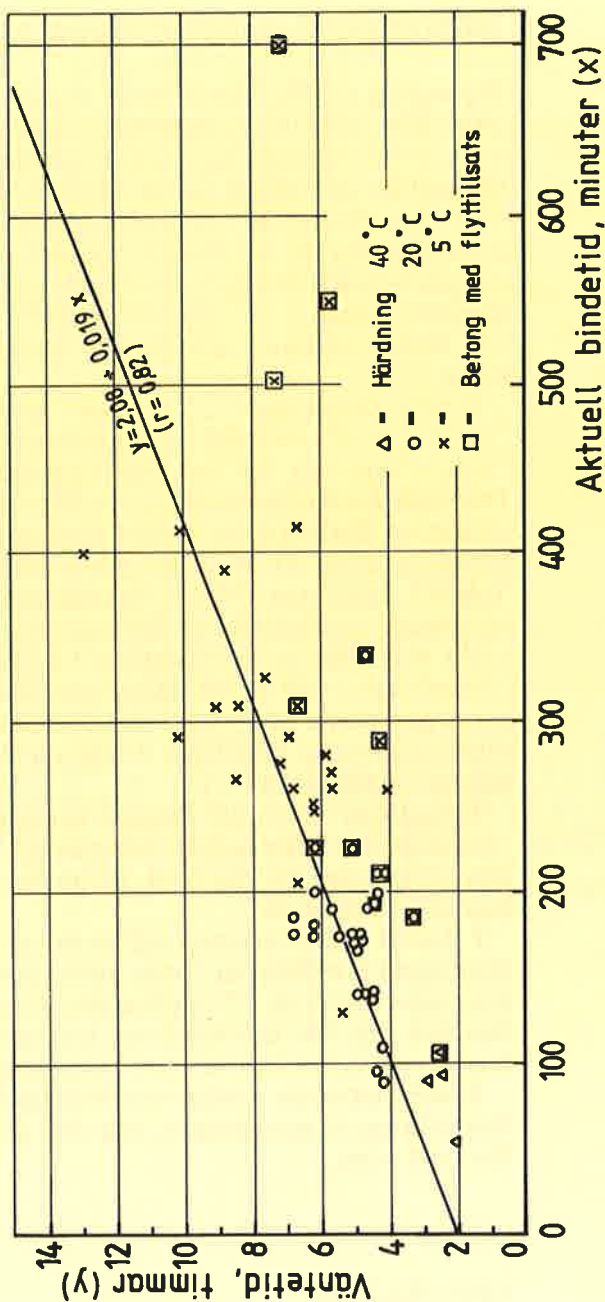
**Figur 6.** Bindetider för använda cement. En del försök gjordes 1986, övriga 1988.

## Cementets bindetid

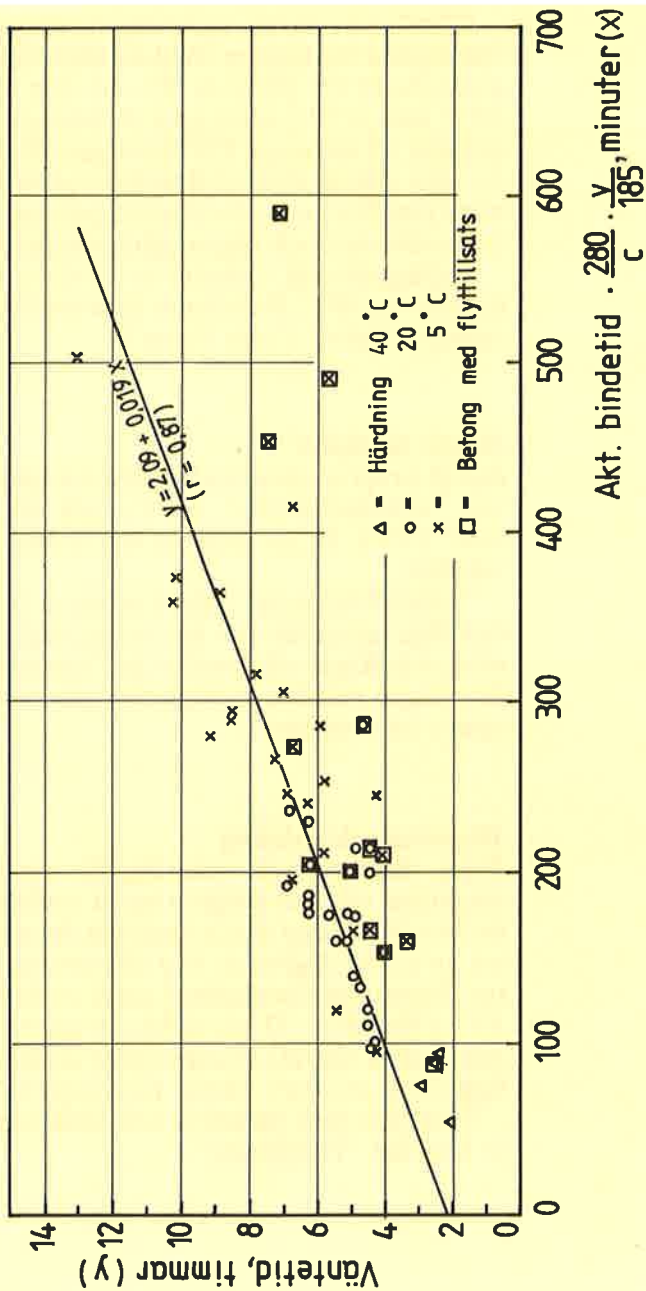
Vid laboratorieförsökens början förutsattes, att cementets bindetid skulle ha en väsentlig inverkan på väntetiden före glättning. Därför bestämdes bindetiden vid olika temperaturer – i regel 5°C och 20°C – på samtliga cement som användes i undersökningen. Cementen till bindetidsproven togs ur samma cementuttag som till provplattorna. Detta gjordes för att undvika de (normala) variationer som finns i cementproduktionen. För några cement utfördes bindetidsprov även vid andra temperaturer än 5°C och 20°C. Likaså gjordes bindetidsmätningar på alla använda kombinationer av cement+tillsatsmedel (exklusive plattorna med förtjockningsmedel, nr 43–44). Resultaten visas i Figur 6–7. Det framgår klart, att bindetiden förlängs med sjunkande temperatur. De använda tillsatsmedlen ökade bindetiden mer eller mindre. De kortaste bindetiderna har SH-cementen.

Korta väntetider uppvisar plattorna nr 37–38 med 1,2% V33 – 3 tim 20 min respektive 4 tim 25 min gentemot referensplattornas 5 tim. De förra hade dock hjälp av en hög utgångstemperatur (29°C) i betongen. Platta nr 37 var dessutom tillverkad med snabbcement, Skövde SH.

För alla plattor mättes såväl temperaturen i ytskiktet (20 mm under ytan) som lufttemperaturen. Med hjälp av dessa tempera-



**Figur 8.** Väntetid – aktuell bindetid i betongens ytskikt för använt cement. Flyttillsats på melaminbasis, använd som vattenreducerare, synes minska väntetiden väsentligt. Försöken med flyttillsats är ej medtagna i regressionslinjen. Vid bestämning av aktuell bindetid har Figur 7 använts för provplattor med flyttillsats, vilket sannolikt ger alltför höga bindetidsvärden, se kapitel "Kommentarer".



**Figur 9.** Väntetid – aktuell bindetid i betongens ytskikt för använt cement. Bindetiden är korrigerad för cementhalt  $c$  och vatteninnehåll  $v$ , dvs för  $vct$  relativt referensplattorna. Försöken med flyttillsats är ej medtagna i regressionslinjen. Vid bestämning av aktuell bindetid har Figur 7 använts för provplattor med flyttillsats, vilket sannolikt ger alltför höga bindetidsvärden, se kapitel "Kommentarer".

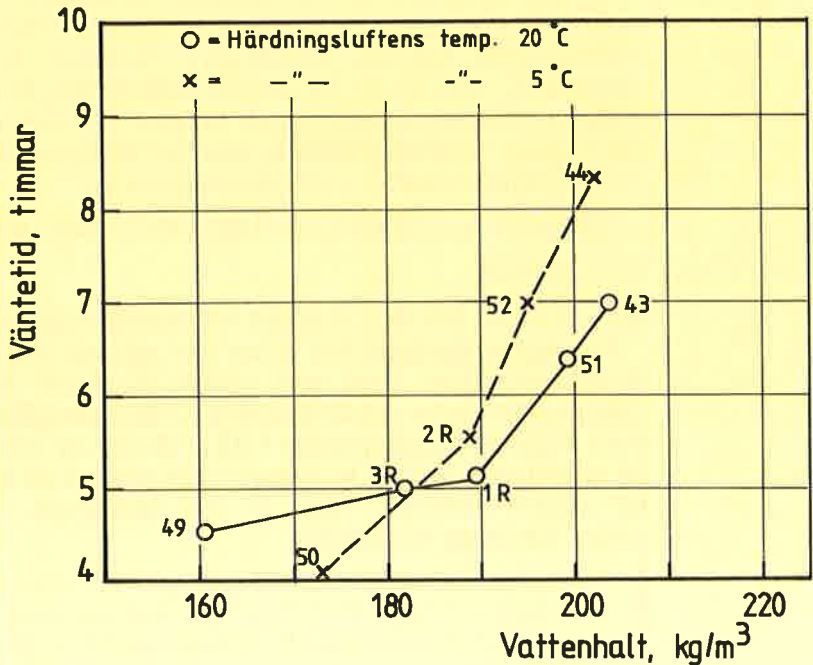


**Tabell 6. Inverkan av vattenhalt. Cement: Slite Std, 280 kg/m<sup>3</sup>.**

Försök nr	Utgångs-temp. btg °C	Vattenhalt kg/m <sup>3</sup>	Vct	Sättmätt mm	Härdnings-temp. luft °C	Väntetid tim min
49	21	160	0,57	30	20	4 30
50	22	173	0,62	20	5	4 10
51	16	198	0,71	105	20	6 20
52	19	195	0,70	100	5	7 00
43	19	204	0,73	75*	20	6 55
44	19	202	0,72	85*	5	8 35
R 1**	21	188	0,67	95	20	5 05
R 2	21	189	0,68	85	5	5 55
R 3	20	182	0,65	95	20	5 00
R 4	22	175	0,62	125	5	6 50

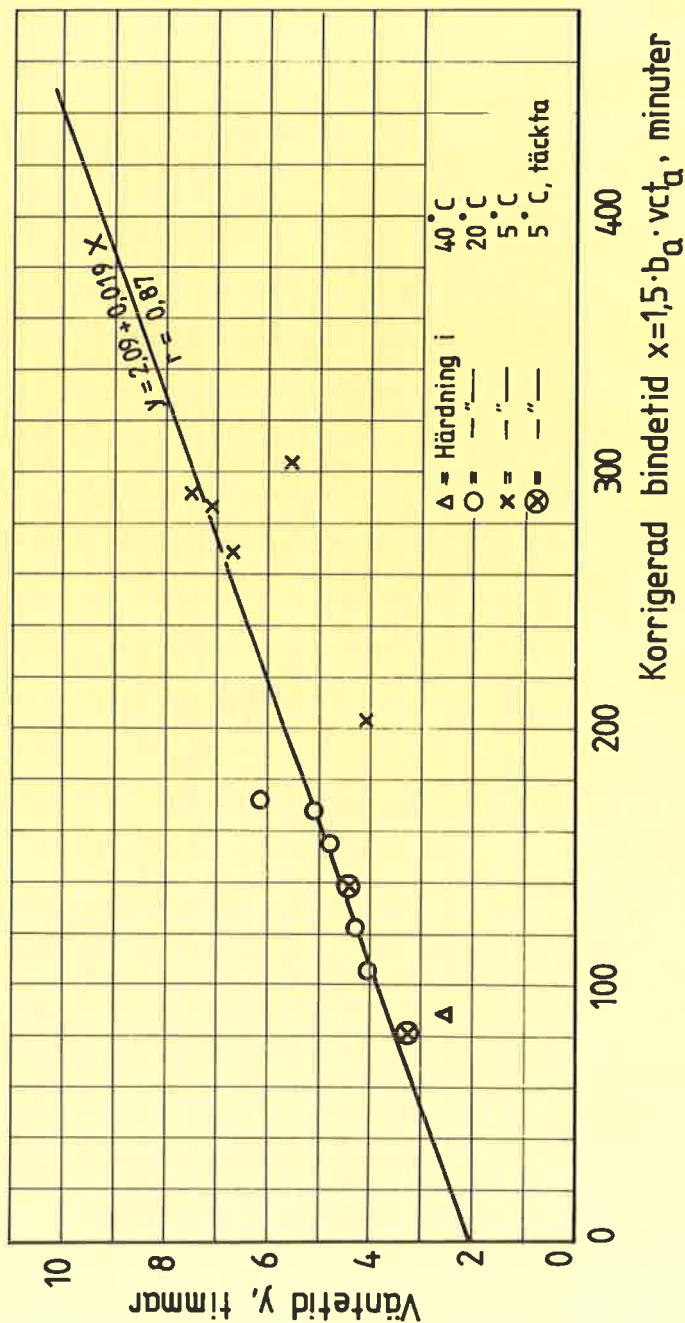
\* Med förtjockningsmedel

\*\* Referensvärde, se Kapitel "Laboratorieundersökningar" avsnitt "Referensplattor".

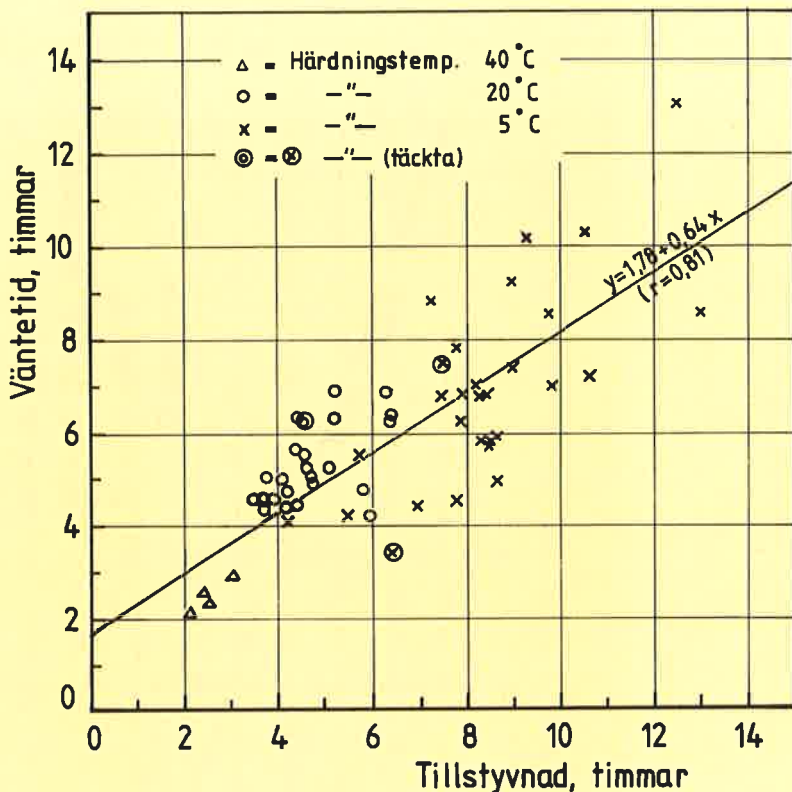


**Figur 10. Inverkan av betongens vattenhalt på väntetiden.**





**Figur 11.** Provplasser med flyttillsats anpassar sig väl till övriga provplasser, om man endast tar hänsyn till den vattenreducerande effekten. Regressionslinjen är hämtad från Figur 9.



Figur 13. Väntetid – tillstyvnande enligt SS 13 71 26.

ning. Fördelen med vattenreduktion kvarstår dock permanent och kan vara väsentlig, speciellt vid låg härdningstemperatur. I Figur 11 har regressionslinjen i Figur 9 lagts in tillsammans med mätvärdena (väntetid-korrigerad bindetid) för de tretton plattorna med flyttillsats. Bindetiderna har tagits från Figur 6 för Std P respektive SH. Man ser då, att även försöksplattorna med flyttillsats ganska väl anpassar sig till övriga resultat. Regressionslinjen i Figur 11 innefattar ej de tretton plattorna med flyttillsats. Tar man med dessa får man en regressionslinje ( $y = 2,01 + 0,019X$ ,  $r = 0,87$ ) som är i stort sett identisk med den i Figur 11.

Försöken har otvetydigt visat, att om inte betongytan skyddas mot väremlörlust vid kyla, blir väntetiden före glättning lång. I Figur 12 har endast tagits med försöksresultat, där härdning har skett i 20°C eller mer. Vid kyla innebär detta, att betongytan skyddas genom täckning på ett eller annat sätt. Punktskaran är här ganska väl samlad.

Tillstyvnadstiden mätt enligt SS 13 71 26 har också mätts under försöken vid 20°C och 5°C. I Figur 13 har väntetiden före maskinglättning avbildats mot tillstyvnadstiderna. En linjär re-

gressionslinje har räknats fram. Sambandet är och kan väntas vara sämre än i Figur 8, 9 och 12 eftersom tillstyvnadstiden ej beaktar de verkliga förhållandena i ytskiktet lika väl som bindetid-temperatur.

Resultaten av fältförsöken, som inlagts i Figur 14, motsäger ej laboratorieförsöken. Det tycks som om väntetiderna i praktiken är något kortare än vid laboretoieförsöken, dvs på säkra sidan. För de vakuumbehandlade betongytorna i Örebro och Göteborg motsvarar de kortaste korrigerade bindetiderna ett  $v_{ct}=0,30$  i ytskiktet.

Regressionslinjerna borde kunna användas, så att man går in med en accepterad väntetid från y-axeln och ser efter på x-axeln, vilka värden på aktuell bindetid, eventuellt korrigerad för cement- och vattenhalt, som behövs. Se vidare kapitel "Praktisk användning av laboratorieförsöken".

Man konstaterar då, att härdning av fri betongyta vid låg temperatur ger alltför långa väntetider för ett arbetsskift. Genom att vidta åtgärder i fråga om material och utförande kan dock korta väntetider erhållas. Speciellt gäller det att ge betongen i ytskiktet tillräckligt hög temperatur och bevara denna genom snabb täckning och isolering. Under de senaste åren har i vissa fall arbetsplatserna byggts in för att underlätta byggandet, t ex i Kanada. En sådan inbyggnad gör det självfallet lättare att förkorta väntetiden före maskinglättning.

$t_a$  = aktuell temperatur i betongens ytskikt (ca 5 mm under ytan), °C.

$vct_a$  = aktuellt (krävt) vattencementtal.

$x$  =  $1,5 \cdot vct \cdot b_a$  = aktuell bindetid  $b_a$  korrigerad med hänsyn till aktuellt vattencementtal, minuter.

$y$  = väntetid före maskinglättning, timmar.

*Krav:*

Väntetid före maskinglättning  $y=4$  timmar. Aktuellt vattencementtal  $vct_a=0,60$ . Standardcement.

*Lösning:*

Gå in med väntetiden  $y=4$  timmar i Figur 15 och avläs motsvarande  $x$ -värde på horisontalaxeln.

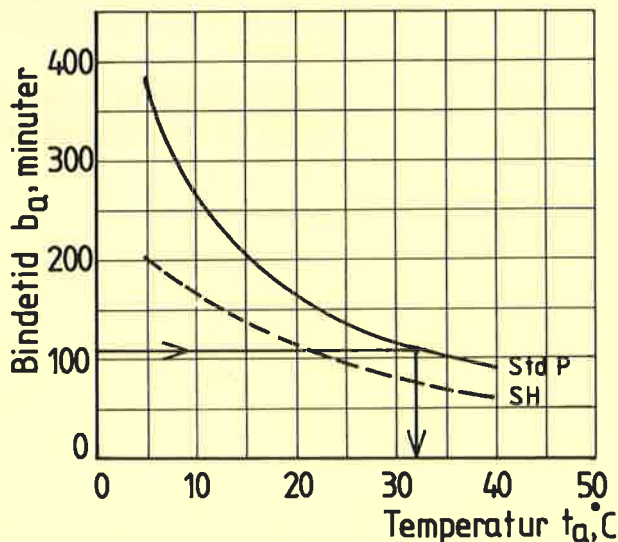
$$x = 1,5 \cdot vct_a \cdot b_a = 1,5 \cdot 0,60 \cdot b_a = 100$$

b) Lös ut  $b_a$  ur ekvationen ovan

$$b_a = \frac{100}{1,5 \cdot 0,6} = 111$$

c) Gå in med  $b_a=111$  i Figur 16 och avläs motsvarande temperatur  $t_a$  på horisontalaxeln

$$t_a = 32^\circ\text{C}$$



**Figur 16.** Bindetid – temperatur i betongens ytskikt.

# Sammanfattning av laboratorieförsöken

Laboratorieförsöken visar, att temperaturen i ytskiktet måste vara tillräcklig för att ge betongen en kort bindetid. Till en sådan bidrar

- cement med kort bindetid (SH-cement)
- hög cementhalt
- låg vattenhalt (flyttillsats eller annan vattenreducerare med ingen eller svag fördröjande effekt)
- hög utgångstemperatur på betongen
- härdning i hög temperatur
- täckning och isolering av betongytan

Även vid låg härdningstemperatur är kort väntetid möjlig med någon eller några av ovanstående åtgärder.

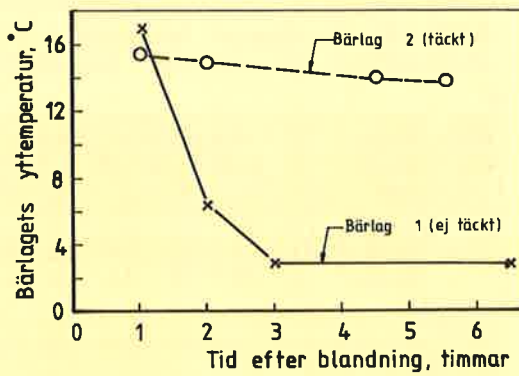
Väntetiderna före maskinglättning kan i stort sett förutses kvantitativt.

**Fortsättning på Tabell 7.**

För- sök nr	Cement sort	Cement mängd kg/m <sup>3</sup>	temp. °C	Betongblandning vatten vct l/m <sup>3</sup>	luft- halt <sup>1</sup> %	sätt- mått <sup>2</sup> mm	Tillsatsmedel <sup>3</sup> sort	mängd %	Härdn.klimat temp °C	RH %	Binde- tid <sup>4</sup> min	Tillstyvnande 3,5 MPa <sup>5</sup> tim	min	Väntetid före maskinglätt. tim	min
29	Slite Std P	280	21	157	0,56	2,1	110	V33	1,2	20	40-50	4	10	4	20
30	Slite Std P	280	21	165	0,59	2,2	90	V33	1,2	6	65-70	7	30	6	45
31	Slite Std P	280	20	165	0,59	(1,5)	75	V33	1,2	19	38-44	5	05	5	10
32	Slite Std P	280	21	165	0,59	(1,5)	65	V33	1,2	5-6	68-71	8	45	5	40
33 <sup>7</sup>	Slite Std P	280	19	168	0,60	(1,5)	90	V33	1,2	19	36-40	4	45	6	15
34 <sup>7</sup>	Slite Std P	280	19	168	0,60	(1,5)	75	V33	1,2	5-6	80-85	7	30	7	25
35	Slite Std P	280	18	156	0,56	2,6	90	V33	2,4	20	40-50	5	50	4	45
36	Slite Std P	280	18	157	0,56	2,7	80	V33	2,4	5-6	75-82	10	40	7	05
37 <sup>8</sup>	Skövde SH	280	29	158	0,56	2,8	65	V33	1,2	5-6	78-85	6	25	3	20
38	Slite Std P	280	29	159	0,57	3,4	70	V33	1,2	5-6	78-85	7	55	4	25
39	Slite Std P	280	20	170	0,61	4,0	100	V	0,5	20	40-50	4	35	5	10
40	Slite Std P	280	20	179	0,64	3,0	80	V	0,5	6	65-70	9	00	7	20
41	Slite Std P	280	21	172	0,61	4,6	120	V	1,0	20	40-50	6	25	6	15
42	Slite Std P	280	20	175	0,62	6	115	V	1,0	6	60-65	13	00	8	30
43	Slite Std P	280	19	204	0,73	2,6	75	F	0,08	20	40-50	5	10	6	55
44	Slite Std P	280	19	202	0,72	3,3	85	F	0,08	5-6	71-82	9	50	8	35
45	Slite Std P	280	27	188	0,67	(1,5)	100	-	-	20	42-43	4	40	5	00
46	Slite Std P	280	28	183	0,65	(1,5)	80	-	-	5-6	68-71	7	50	6	15
47	Slite Std P	280	31	176	0,63	2,9	70	-	-	5-6	76-85	8	40	4	55
48	Skövde SH	280	31	185	0,66	2,4	70	-	-	5-6	76-85	7	00	4	20
49	Slite Std P	280	21	160	0,57	2,4	30	-	-	20	40-50	3	30	4	30
50	Slite Std P	280	22	173	0,62	3,0	20	-	-	6-9	6590	5	30	4	10
51	Slite Std P	280	16	198	0,71	(1,5)	105	-	-	19	36-40	6	20	6	20
52 <sup>9</sup>	Slite Std P	280	19	195	0,70	(1,5)	100	-	-	5-6	80-85	9	45	7	00
53	Slite Std P	280	40	181	0,65	1,9	75	-	-	35-40	50	2	30	2	25
54	Slite Std P	280	40	156	0,56	2,6	85	V33	1,2	35-40	50	2	30	2	35
55	Slite SH	280	42	179	0,53	2,1	85	-	-	35-40	50	2	05	2	05
56	Slite Std P	350	44	187	0,64	1,7	105	-	-	35-40	50	3	00	2	55

*Anmärkingar efter tabellen.*

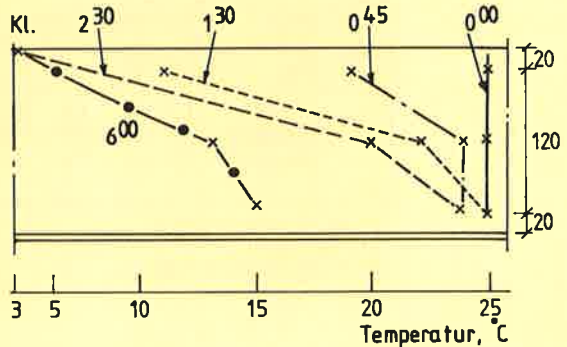




**Figur 18.** Yttertemperaturen i bärlagen 1 och 2 från blandning till glättning. Effekten av täckning i bärlag 2 är påtaglig.

**BÄRLAG 1**

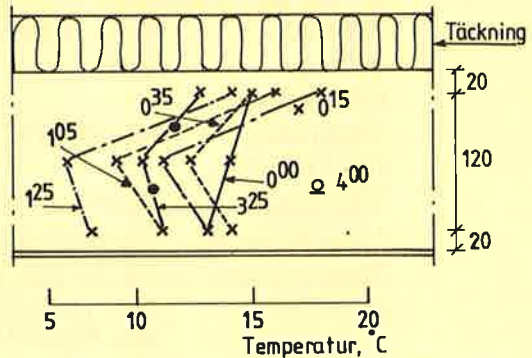
(Lufttemp. -8 - -9°C)



(Lufttemp. under bärlag ca 15°C)

**BÄRLAG 2**

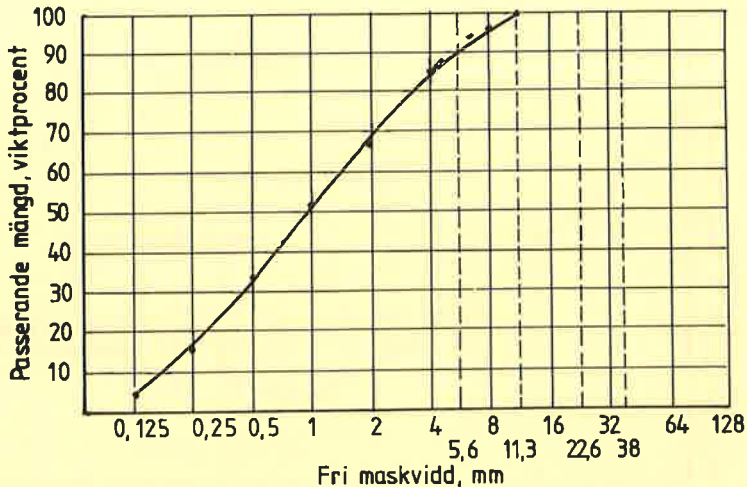
(Lufttemp. -6 - +1°C)



(Lufttemp. under bärlag ca 5°C)

**Figur 19.** Temperaturfördelningen i bärlagen timmarna efter blandning. Den höga utgångstemperaturen och värmeförseln underifrån får ingen märkbar effekt i den oskyddade överytan, bärlag 1. Tiden 0<sup>00</sup> avser blandningstillfället.

Siktdiagram



**Figur 20.** Siktkurva för tvättat grus använt i receptet för vakuumbetong.

### Försök 2

Göteborg

Arbetsplats: 52041, Volvo, Torslanda

Entreprenör: BPA Bygg Södra AB

Vakuumbehandlade golv. Plattor på mark med underliggande isolering.

Betong: K30 enligt speciellt recept, levererad från ESS-Betong, Angered

Betongtemperatur: ca 20°C vid leverans, 8–10°C i ytan efter hantering

Väderleksförhållanden: 0–8°C, vindstill

Gjutning påbörjades kl 07.15 med pump och sk målandare.

Vakuumsugning startade kl 8.15. Utsugen vattenmängd 5–6 l/m<sup>2</sup>.

Recept för vakuumbetong, K30, vid Torslanda

Cement: Skövde Std P	300 kg
Tvättat grus 0–8 mm	945 kg
Ärtsingel 8–16 mm	950 kg
Vatten	185 kg

2 380 kg ≈ 1 m<sup>3</sup>

Denna betong ger normalt en 7-dygnshållfasthet av ca 27 MPa.

Glättning kunde påbörjas kl 11.00, dvs 3.45 timmar efter gjutning eller ca 4.15 timmar efter betongens blandning.



Betong:	K40 med vattenreducering. Vct $\approx 0,43$
Betong-temperatur:	15–20°C
Väderleksförhållanden:	5–12°C

### Recept för vattenreducerad betong

Cement, Slite Std P	335 kg
Grus 0–8 mm	710 kg
Finsingel 16–32 mm	1 050 kg
Silicastoft	25 kg
Flyttillsats, V33	4 kg
Vatten	148 kg
	2 272 kg $\approx 1 \text{ m}^3$

Försöket utfördes med en betongtyp där utgångskonsistensen var styv (S) och genom tillsatsmedel förändrades till trögflytande.

Betong av ovanstående sammansättning har givit en 28-dygnshållfasthet av ca 56 MPa.

Konsistensförändringen skedde relativt snabbt efter gjutningen, vilket innebär att glättning kunde utföras efter högst 4 timmar från gjutning motsvarande 4.10 timmar från blandning även vid tämligen låga lufttemperaturer.

**Tabell 9. Sammanfattning av erfarenheter från fältförsök.**

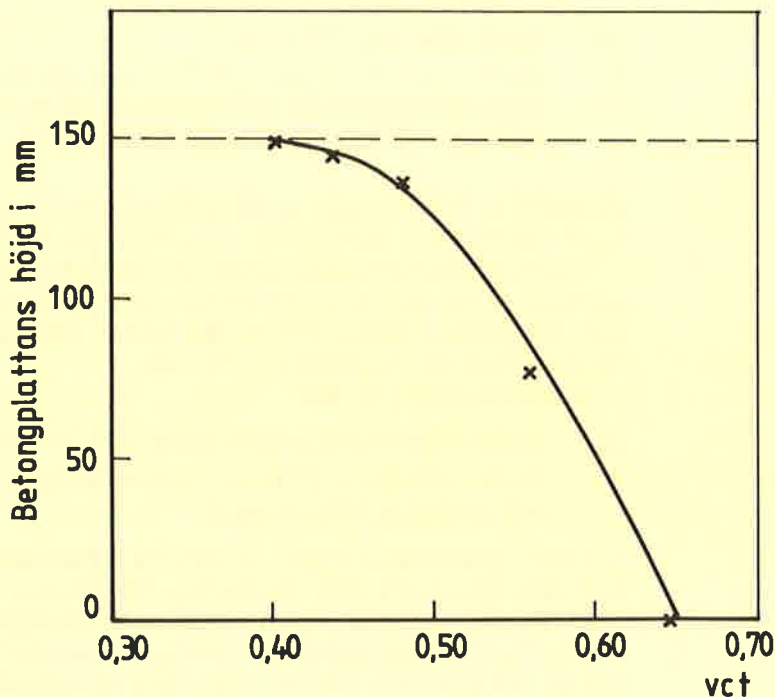
Fall	Åtgärd	Väntetid
Lufttemperatur 20–30°C	Ingen	utan åtgärd ca 5 timmar
Lufttemperatur 0–10°C	Ingen	utan åtgärd ca 6 timmar
	a) Vattenreducerad betong K40 b) Höjning av cementhalt c) Vakuumbehandling	med åtgärd 4–5 timmar
Lufttemperatur –5–0°C	Ingen	utan åtgärd ca 7 timmar
	a) Höjning av cementhalt, förhöjd temp. 25°C och täckning b) Vakuumbehandling	med åtgärd ca 4 timmar
Lufttemperatur omkring –10°C	Ingen	utan åtgärd > 8 timmar
	a) Höjning av cementhalt, förhöjd temp. samt täckning b) Vakuumbehandling	med åtgärd 4–5 timmar

Förutsättningar för utgångsfall utan åtgärd; Betongtemperatur +15°C, cementets bindetid ca 150 minuter, cementhalt 210 kg/m<sup>3</sup> (K25).

**Tabell 10. Kostnader för olika åtgärder för att nedbringa väntetider.**

Åtgärd	Kostnad	
	kr/m <sup>3</sup>	kr/m <sup>2</sup>
Höjning av hållfasthetsklass från K25 till K40	60–70	7–14
Höjning av hållfasthetsklass från K30 till K40	40–50	5–10
Användning av vattenreducerare. K40 med vattenreducering jämfört med K30 utan vattenreducering	40–50	5–12
Höjning av betongtemperaturen till 20°C	30–35	4–7
Höjning av betongtemperaturen till 25°C	35–40	4–8
Höjning av betongtemperaturen till ca 35°C	50–55	6–11
Vakuumbehandling	–	13–17*
Uppvärmning under formen med infravärme	–	10–18
Användning av SH-cement i stället för Std-cement	30–50	4–11

\* I de fall då betongens genom vakuumbehandlingen förbättrade hållfasthet får utnyttjas i konstruktionen, minskar merkostnaden med 5–10 kr/m<sup>2</sup>, dvs den verkliga merkostnaden blir i ett dylikt fall 7–10 kr/m<sup>2</sup>. I de flesta fall är detta inte möjligt att utnyttja. Kraven på dokumentation är ganska stora.



**Figur 22.** Exempel på fördelning av vattenhalt i en vakuumsugen betong. Plattans tjocklek 150 mm.

halten densamma i hela skiktet, vid vakuumbehandling däremot erhålls stora skillnader mellan övre och undre skikt i betongen. Som en grov tumregel kan sägas att av den utsugna vattenmängden kan 50 % föras till de översta 50 mm.

**Exempel 3.** Betongytor i ett bostadshus skall vara glättade. Föreskriven hållfasthetsklass är K30. Varje etapp är 150 m<sup>2</sup> som skall färdigställas inom ett arbetsskift. Bygget startar på eftermiddagen hösten och fortsätter över vintern.

Temperaturen under hösten beräknas till 5–10°C. Under vintern måste man räkna med temperaturer ner till –10°C.

Under hösten väljs att använda betong med 25°C utgångstemperatur. Man bör då klara att börja glättningen inom 4,5 timmar och kan med två glättningsmaskiner färdigställa 150 m<sup>2</sup> per arbetsskift utan större svårighet.

Under vinterperioden måste man vidta ännu kraftigare åtgärder. För det första måste överytan täckas eller inbyggas med tält eller liknande. Tillförs värme från bärlagets undersida är detta ytterligare en fördel. Betongtemperaturen kan vara densamma som under hösten, möjligen kan man höja den till 30–35°C.

*Lösning:* Gå in horisontellt med  $t_a = 15^\circ\text{C}$  i Figur 24 till  $vct = 0,5$  och sedan vertikalt till den sneda linjen. Avläs väntetiden på den övre delen av vertikalaxeln.

Nomogrammet ger  $y = 4$  timmar.

**Exempel 7 (trippelpil  $\rightarrow\rightarrow\rightarrow$ )**

*Beteckningar som i exempel 3.*

*Krav:* Väntetiden får vara högst 3,5 timmar. Temperaturen får ej överstiga  $20^\circ\text{C}$  i ytskiktet. SH-cement.

*Sökt:* Erforderligt  $vct_a$ .

*Lösning:* Gå in horisontellt med  $y = 3,5$  timmar i Figur 24 till den sneda linjen och därefter vertikalt tills den skär den horisontella linjen  $t_a = 20^\circ$ . Skärningspunkten ger maximalt  $vct_a$ .

*Svar:*  $vct_a \leq 0,45$

*Anmärkning:* För att hålla tillräcklig temperatur i ytskiktet vid kyla måste betongen täckas snarast möjligt efter hand som gjutningen fortskrider.

Varm betong och värmeförsel underifrån blir verkningslös, om man ej hindrar värmeavgång från ytan.

Dessutom får betongen ej frysa förrän den uppnått 5 MPa – oavsett vilken metod man använder.

*Vi ger i det följande några exempel på användning av nomogrammen i Figur 23 och 24.*

**Exempel 8**

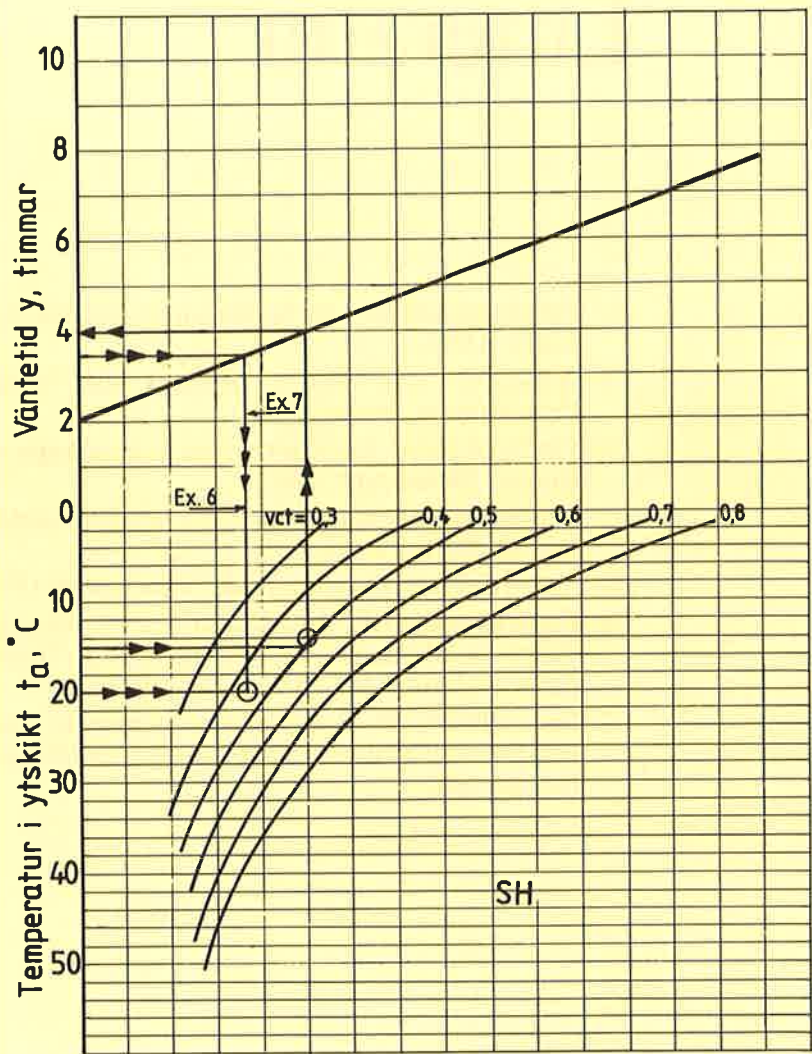
Betong med temperaturen  $10^\circ\text{C}$  i överytan måste ha  $vct \leq 0,4$  och vara tillverkad med SH-cement för att klara väntetiden  $\leq 4$  timmar.

**Exempel 9**

Betong med temperaturen  $15^\circ\text{C}$  i överytan måste ha  $vct \leq 0,4$  för att klara 4,5 timmars väntetid med Std-cement under det att den med SH-cement med  $vct 0,5$  klarar väntetiden  $\leq 4$  timmar.

**Exempel 10**

Betong med temperaturen  $20^\circ\text{C}$  i överytan klarar 4 timmar vid  $vct 0,4$  om Std-cement används, väntetiden blir 5 timmar om



### Samband väntetid-temperatur och vct i ytskiktet

**Figur 24.** Diagram för bestämning av erforderlig betongtemperatur i ytskiktet vid viss förutbestämd väntetid eller omvänt för SH-cement.

Man kan alltså med hjälp av nomogrammen ganska väl planera de åtgärder, som måste vidtas för att klara produktion inom fastställd tid.

Vct kan uppnås dels genom att betongen proportioneras efter önskat vct men även genom vakuumbehandling varvid vct i ytan oftast blir  $\leq 0,4$ .