LUND UNIVERSITY

Vinterbetong : en översikt (2:a uppl.)

Fagerlund, Göran

1992

Link to publication

Citation for published version (APA):
Fagerlund, G. (1992). *Vinterbetong : en översikt (2:a uppl.)*. Cementa.

Total number of authors:
1

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

B9

Göran Fagerlund

Vinterbetong

En översikt

Göran Fagerlund

Vinterbetong
En översikt

AW Grafiska Uppsala 1992
ISBN 91-87334-09-7

INNEHÅLL

FÖRORD 7

KAPITEL 1: SKADOR–PROBLEM 9
Formrivningsskador 10
Väggras vid formrivning 11
Nedböjning eller ras av bjälklag 12
Försenad färdigbehandling av golv 13
Tidig frysning 14

KAPITEL 2: EXTRA SVÅRIGHETER VID LÅGA UTETEMPERATURER 17
Långsammare cementreaktion 18
Förlängd bindetid – tillstyvnadstid 18
Snabb avkylning av oskyddad betong 19
Försenad hållfasthetstillväxt 20
Lokal avkylning vid gjutning mot kallt underlag 22
Negativ effekt av vattenreducerare och flyttillsatser 23
Negativ effekt av silikastoft 24

KAPITEL 3: VINTERBETONGÅTGÄRDER 25
Definitioner – Förutsättningar 26
Obligatoriskt – Snabb täckning av bjälklag 27
Obligatoriskt – Isolerade vägg- och pelarformar 29
Obligatoriskt – Värmning av underdelen av väggar 30
Obligatoriskt – Täckning av vägg- och pelartoppar 31
Obligatoriskt – Isolering eller värmning av bjälklagskanter 31
Obligatoriskt – Inga retarderande tillsatsmedel skall användas 32
Alternativt – Välisolerad väggform 32
Alternativt – Värmeisolerad bjälklagsform 34
Alternativt – Höjd betongkvalitet 36
Alternativt – SH-cement 38
Alternativt – Accelererande tillsatsmedel 40
Alternativt – Strålningsvärme under bjälklag 41
Alternativt – Bjälklagsuppvärmning med ingjutna värmetrådar 44
Alternativt – Värmning under bjälklag med byggtork 46
Alternativt – Varmskjul 47
Alternativt – Höjd gjuttemperatur upp till +30°C 48
Alternativt – "Hetbetong" – Betongtemperatur över +30°C 50
Sammanfattning av vinterbetongåtgärder 54

KAPITEL 4: MÄTNING AV FORMRIVNINGSHÅLLFASTHETEN 55
Normkrav 56
Översikt över mätmetoder 57
Brytprov ("BO-TEST") 58
Utdragsprov ("LOKTEST") 59
Mognadsgrad–Mognadsålder, princip 60
Mognadsålder. Alt 1: Fortlöpande mätning av betongtemperaturen 61
Mognadsålder. Alt 2: Direkt mätning av mognadsåldern 63
Mognadsgrad – TT-faktorn. Alt 3: TT-faktorn 65
Tendenskurvor 66

KAPITEL 5: VINTERBETONGPLANERING MED HJÄLP AV DATOR ____ 75
Datorprogrammet "Hett5" ____ 76

KAPITEL 6: FORMRIVNINGSDIAGRAM – HJÄLPMEDEL FÖR BESTÄLLNING AV BETONG ____ 77
16 cm Väggar ____ 78
16 cm Bjälklag ____ 83

KAPITEL 7: LITTERATURREFERENSER ____ 95

BILAGA – Data över svenska cement ____ 97

FÖRORD

Förord till första upplagan

Betonggjutning vintertid ställer stora krav på entreprenören; risken för skador på betongkonstruktionen genom tidig frysning eller i samband med formrivning är stor; risken för olycksfall förorsakade av väggar som välter vid formrivning eller bjälklag som rasar, är högre än vid gjutning under den varma årstiden.

På senare år har ett antal nya tekniker införts, vilka avses underlätta vintergjutningar. Dit hör infravärmning, värmning genom ingjutna elkablar, hetbetong dvs betong med blandningstemperatur överstigande +30°C, nya kloridfria acceleratorer och tillgång till snabbhårdnande cement – SH-cement – över hela landet.

Samtidigt har den klassiska vinterbetongmetoden att blanda in kalciumklorid i betongen med all rätt ifrågasatts. Risken för kloridinitierad korrosion ökar nämligen även hos betong i relativt torr miljö. Ett fullgott, och helst bättre, alternativ till kalciumkloriden är därför av nöden.

I rapporten nedan beskrivs de olika alternativen med sina för- och nackdelar. Det påvisas att en god värmeisolering av vägg- och bjälklagsformar samt en tidig täckning av fria betongytor är absolut nödvändiga åtgärder oavsett vilka metoder man i övrigt använder – höjd betongkvalitet, SH-cement eller varmare betong.

Genom ett riktigt val av betongkvalitet och formisolering kan man få i stort sett samma säkerhet och formrivningstider som vid sommargjutningar. Ett flertal exempel på detta visas i rapporten.

I rapporten presenteras även olika metoder för bestämning av betongens hållfasthet före formrivning.

Genom den moderna datortekniken ges möjlighet till en snabb förhandsberäkning av hållfasthets- och värmeutveckling hos den planerade betongkonstruktionen. Ett mycket avancerat men lättanvänt sådant program har tagits fram i Sverige. Programmet, vars namn är "HETT" presenteras kortfattat. Det är mycket användbart vid planering av vinterbetonggjutningar.

Rapporten avslutas med ett antal formrivningsdiagram för vanliga bjälklag och väggar. Med deras hjälp kan betongkvaliteten, betongtemperaturen och isoleringsgraden av formen väljas så att tillräcklig säkerhet vid den önskade formrivningstidpunkten erhålls även vid låga utetemperaturer.

Rapporten är resultatet av ett samarbete. Jag vill i första hand tacka följande kollegor som trots ett mycket pressat tidsprogram gjort ett mästerligt arbete: Sten-Åke Hammarstedt som genomfört ca tusen datorberäkningar, Anders Jonsson som sammanställt beräkningarna, Ann Winberg och Hans Sandqvist som producerat allt illustrationsmaterialet, Ulla Jardinger som skrivit ut texten samt Gerdt Lundeberg som redigerat och producerat boken. Slutligen vill jag tacka Jan-Erik Jonasson vid Tekniska Högskolan i Luleå som ställt datorprogrammet HETT till förfogande. Förutan detta hade denna rapport knappast varit praktiskt möjlig att producera i den form den nu föreligger.

Cementa AB Juni 1988 Göran Fagerlund

Förord till andra upplagan

I den nu tryckta andra upplagan av denna skrift har vissa förändringar gjorts. Dessa föranleds främst av att nya, säkrare tendenskurvor för hållfasthetstillväxt tagits fram. Dessa nya kurvor visar bättre än de tidigare använda hur hållfastheten tillväxer under det viktiga första dygnet. Vissa justeringar har även gjorts av cementkvaliteternas temperaturkänslighet och värmeutveckling.

Formrivningsprogrammen för bjälklag har nu utformats på ett nytt mera lättanvänt sätt. I skriften har dessutom inarbetats vissa försöksdata från en större vinterbetongsundersökning som bedrivits vid Statens Provningsanstalt som ett samarbetsprojekt mellan Cementa och Skanska i Danderyd /24/.

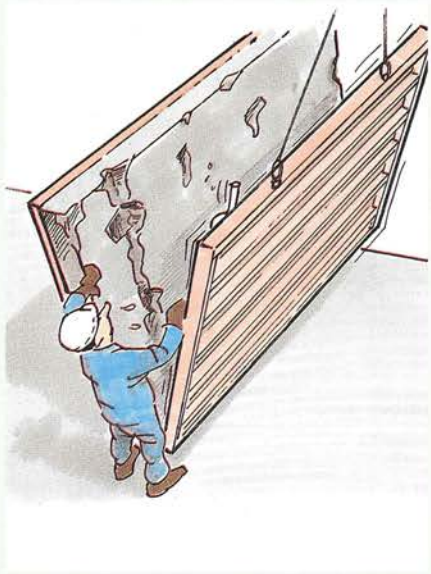
I revideringsarbetet har en ny ännu mera lättanvänd version av datorprogrammet HETT utnyttjats. Allt beräkningsarbete har utförts av Arne Retelius vid Cementa. I revideringsarbetet har även Christer Ljungkrantz vid Cementa deltagit. Skriv-, rit- och redigeringsarbetet har liksom tidigare gjorts av respektive Ulla Jardinger, Ann Winberg och Gerdt Lundeberg. Till samtliga som deltagit i arbetet framförs ett varmt tack.

November 1991 Göran Fagerlund

KAPITEL 1

Skador–problem

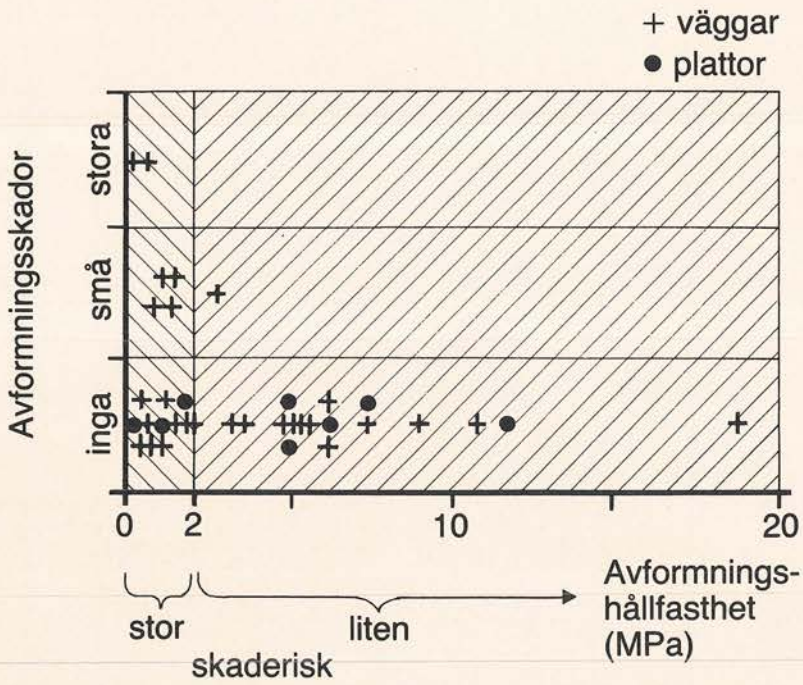
FORMRIVNINGSSKADOR



Lossnande ingjutningsgods, kant- och hörnskador, lösa ytskikt (ytskador).

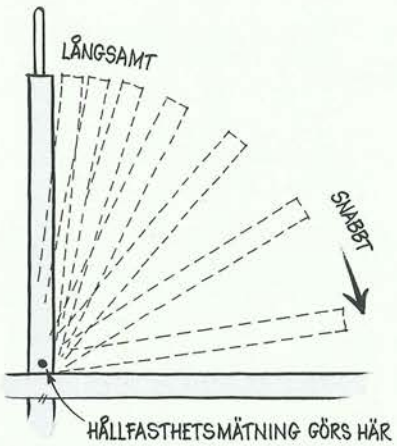
OBS!
Denna typ av skador visar att betonghållfastheten är mycket låg.
Risken för väggras är överhängande!
Vidtag åtgärder inför fortsatta gjutningar!

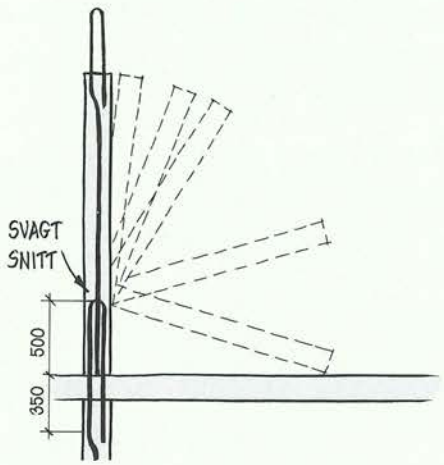
Fältobservationer av Samuelsson /1/.



Risken för avformrivningsskador är liten om avformningshållfastheten överstiger 2 à 3 MPa.

VÄGGRAS VID FORMRIVNING

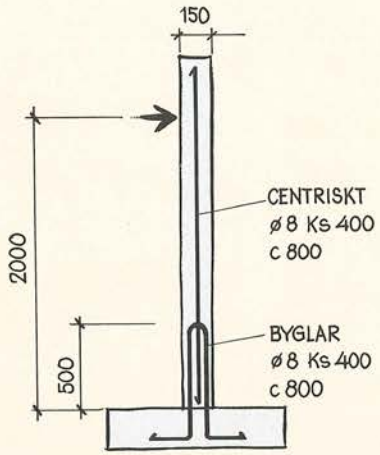


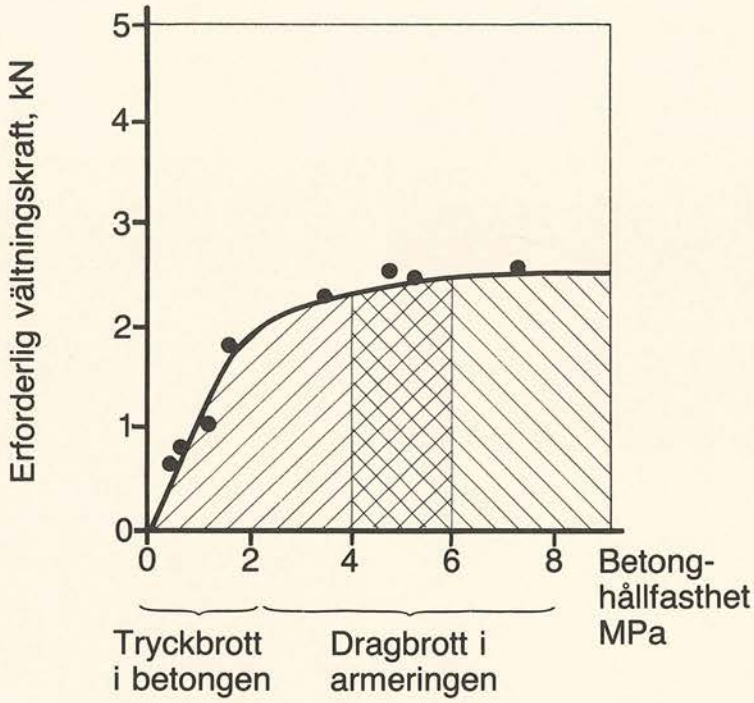


- En fallande vägg är livsfarlig.
- Ett begynnande fall är svårt att se eftersom hastigheten är låg i början och det är svårt att hålla uppsikt över alla nyavformade väggar.

Mät hållfastheten i väggens **nederdel** före formrivning! Ta inga risker!

Fullskaletester av Samuelsson /1/.

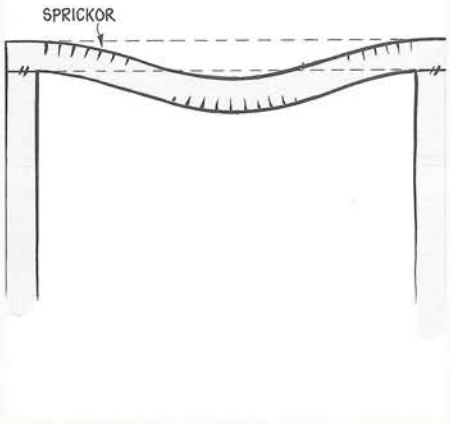




Vid betonghållfastheter lägre än 2 à 3 MPa är risken för väggras mycket stor. Ökning av säkerhetsarmeringen hjälper inte mycket eftersom rasrisken avgörs av betongens hållfasthet.

En rimlig säkerhet mot ras kräver därför att formrivningshållfastheten överstiger 4 à 5 MPa (BBK-anvisningen är 6 MPa).

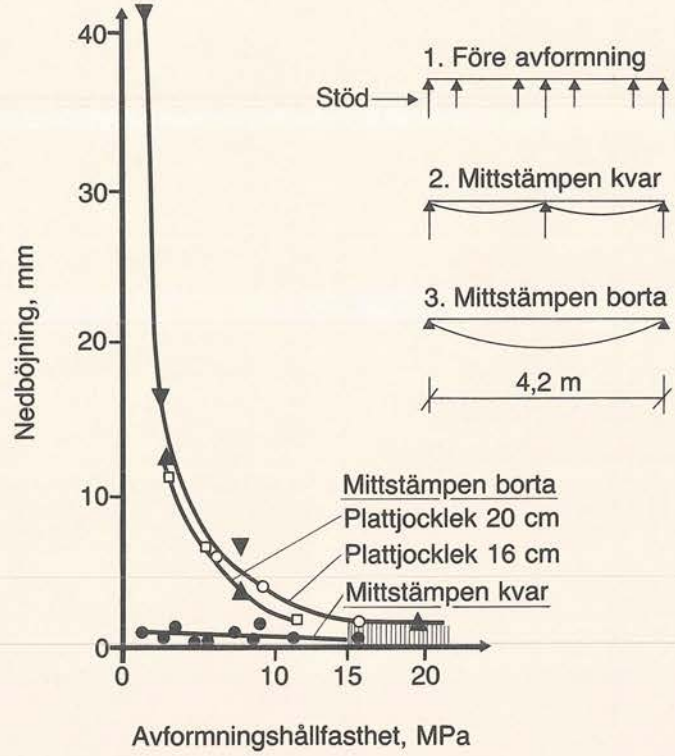
NEDBÖJNING ELLER RAS AV BJÄLKLAG



- Ras i samband med formrivning beror normalt på att betongen frusit mycket kort tid efter gjutningen, se avsnittet TIDIG FRYSNING nedan.
- Stora nedböjningar medför sprickbildning och risk för bristfällig beständighet.
- Stora nedböjningar medför ökade spacklingskostnader.

Vid osäkerhet, låt konstruktören avgöra vilken formrivningshållfasthet som erfordras!
Mät hållfastheten innan valvformen rivs!
Låt om möjligt mittstämpen stå kvar.

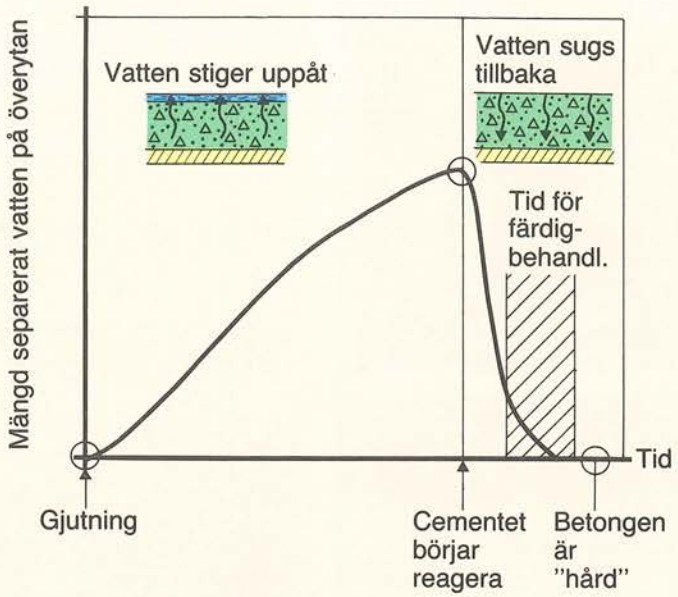
Fullskaletester av Samuelsson /1/.



Om mittstämpen tas bort i samband med formrivning erfordras en formrivningshållfasthet av ca 15 MPa för en normal lägenhetsplatta.

Vid större spännvidder eller större belastning erfordras högre avformningshållfastheter. Om mittstämpen står kvar kan något lägre formrivningshållfastheter ibland accepteras. BBK-anvisningen är 70 % av erforderlig kubhållfasthet.

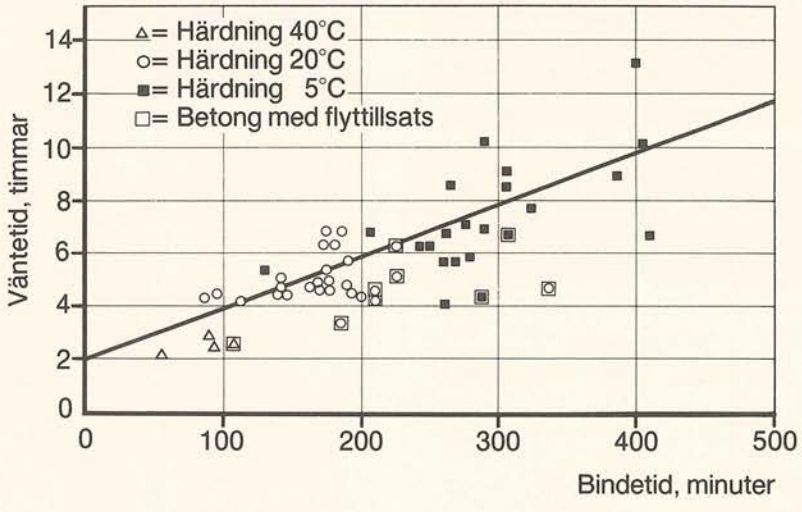
FÖRSENAD FÄRDIGBEHANDLING AV GOLV



När cementet börjar reagera efter några timmar sugs separationsvattnet snabbt tillbaka in i betongen. Detta är bästa tiden för färdigbehandling.

Betonghållfastheten bör vara ca 0,12 MPa för grovglättning och ca 0,25 MPa för finglättning. (Petersson, Johansson /22/.)

Fältmätningar av Fredriksson & Samuelsson /2/.



Ju längre cementets bindetid är desto längre tid måste man vänta före färdigbehandling.

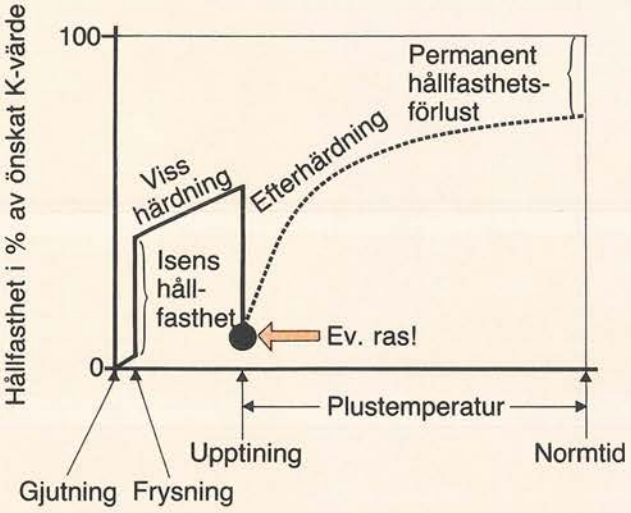
Cementets bindetid förlängs kraftigt vid låg temperatur. Den förlängs också när vissa typer av vattenreducerande tillsatsmedel används; t ex lignosulfonater eller naftalenbaserade flyttillsatser.

Se till att cementreaktionen kommer igång snabbt efter gjutningen! Då kan färdigbehandling också ske tidigt.

Skydda därför betongytan mot nedkylning i ett tidigt skede!

TIDIG FRYSNING

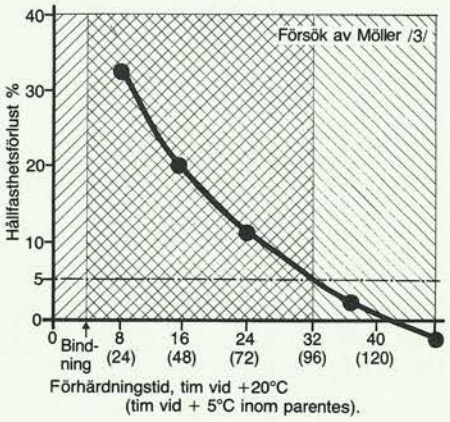
Tidig frysning kan medföra ras av väggar eller av bjälklag i samband med formrivning.



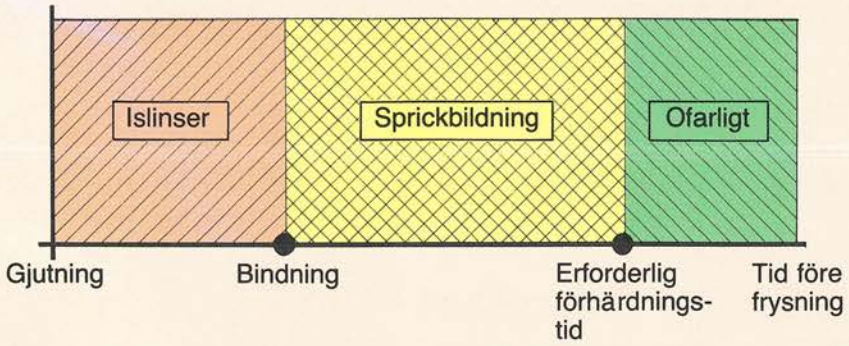
Tidigt frusen betong har mycket låg hållfasthet direkt efter upptining. Viss hållfasthetstillväxt sker dock efter upptining.

Avtryck av islinser i den hårdnade betongen avslöjar att frysning skett i mycket tidigt stadium. Hållfasthetsförlusten är ofta mycket stor.

Exempel på erforderlig förhärdningstid.



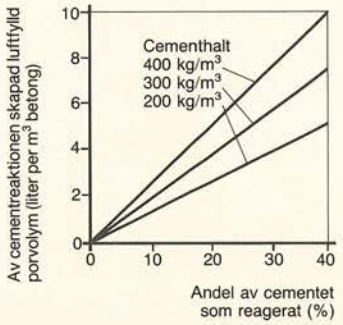
För att skador helt skall undvikas krävs ofta flera dygns förhärdningstid.



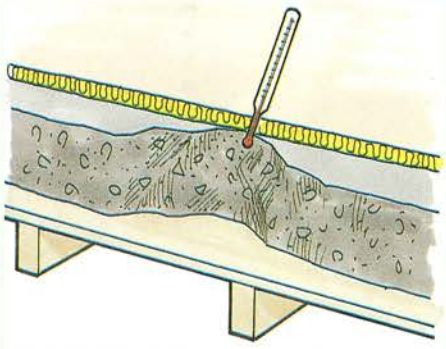
- Om betongen fryser **innan cementet bundit** bildas lätt stora islinser (iskristaller). Dessa leder till ökad porositet, minskad vidhäftning till ballastkorn och armering samt sprickor i betongen.
- Om betongen fryser efter cementets bindning uppstår sprickbildning vars omfattning minskar med ökande härdningstid före frysningen.
- Efter tillräckligt lång förhärdningstid är skaderisken liten. Förutsatt att ingen fukt tillförts betongen efter det att gjutning skett.

För att skador av tidig frysning ej skall ske måste cementreaktionen torka ur betongen så mycket att porvattnets volymexpansion vid frysning kan tas om hand.

Fukthärda därför aldrig en betong som riskerar att frysa tidigt!
Membranhärda på ett fullgott sätt med ett högvärdigt membranhärdningsmaterial.



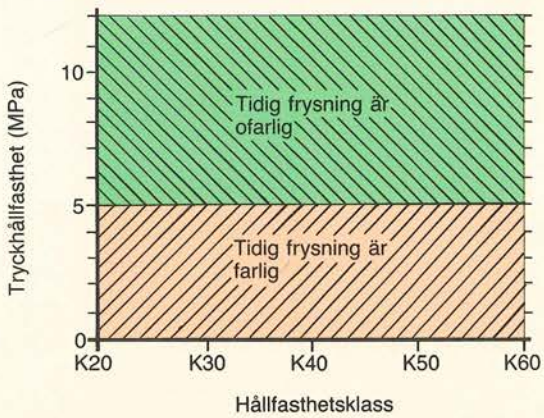
Cementreaktionen medför en inre uttorkning av betongen, dvs en viss andel av porerna töms på vatten. Uttorkningen ökar med ökande cementhalt och ökande härdningstid.



Mät hållfasthet och temperatur i konstruktionen! Detta krävs i BBK.
Mät i de mest utsatta punkterna (t ex i hörn och kanter)!

Skydda betongen mot tidig frysning tills dess tryckhållfastheten uppnått minst 5 MPa!

Försök av Möller /3/. Teoretiska beräkningar av Fagerlund /4/.

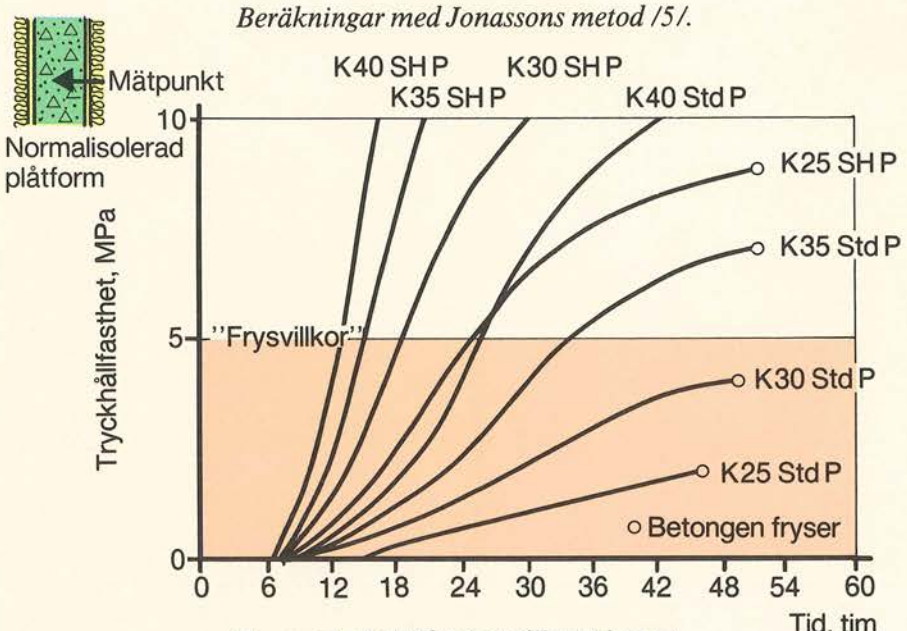


Experiment och teoretiska beräkningar visar att betongen är skyddad mot tidig frysning om tryckhållfastheten överstiger ca 5 MPa. Detta gäller oavsett betongens hållfasthetsklass eller cementtyp.

Den erforderliga tiden innan betongen får frysa minskar med höjd hållfasthetsklass och med snabbare cement.

En höjd betongkvalitet eller övergång till SH-cement ger därför ett ökat skydd mot tidig frysning.

Beräkningar med Jonassons metod /5/.



Exempel på hållfasthetstillväxt hos en väggbetong. Betongens gjuttemperatur är +15°C. Utetemperaturen är −7,5°C.

KAPITEL 2

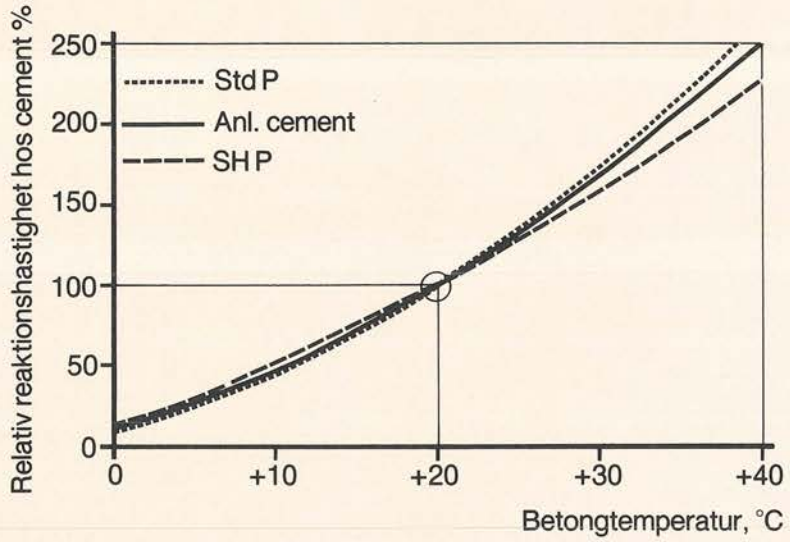
Extra svårigheter vid låga utetemperaturer

LÅNGSAMMARE CEMENTREAKTION

- Vid låg betongtemperatur sker cementreaktionen mycket långsamt.

Låg betongtemperatur innebär därför en kraftig förlängning av den erforderliga förhärdningstiden innan betongen får frysa eller innan formarna får rivas.

Reaktionshastigheten hos Std-, SH- och Anläggningscement vid olika temperaturer. Referenstemperaturen är +20°C. Mätningar vid Lu TH /23/ /26/. (Se även Bilaga 1.)

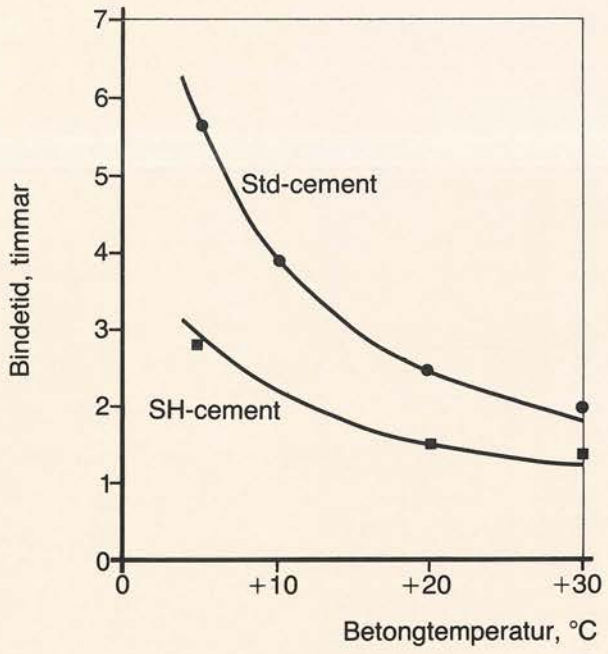


FÖRLÄNGD BINDETID – TILLSTYVNADSTID

- Vid låg betongtemperatur förlängs bindetiden kraftigt.
- Den negativa effekten av låg betongtemperatur blir mindre hos betong med SH-cement.

Låg betongtemperatur innebär ofta en kraftig försening av färdigbehandlingen av betonggolv.

Bindetid hos rena cement utan tillsatsmedel eller tillsatsmaterial. Mätningar vid CEMLAB, Slite.

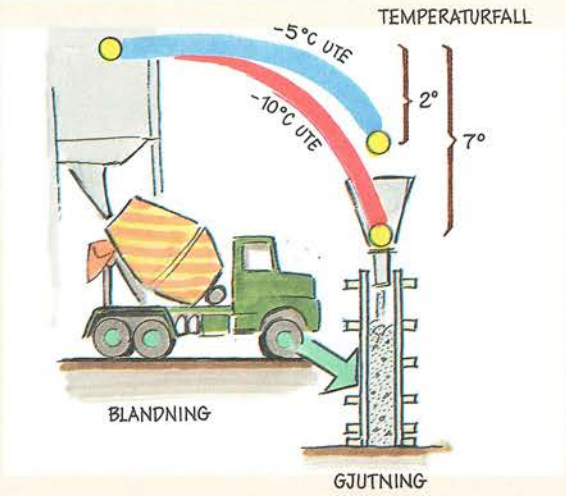


SNABB AVKYLNING AV OSKYDDAD BETONG

Avkylning under transport och hantering på byggplatsen.

Även om betongmassan omhändertas snabbt på byggplatsen blir temperaturminskningen ofta upp till 7°C när utetemperaturen är låg. Vid slarv blir temperaturminskningen ännu större.

Hänsyn måste tas till denna temperaturminskning vid beställning av betong!

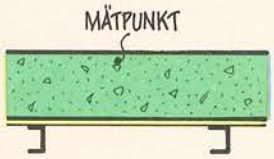


Avkylning av betongen i formen.

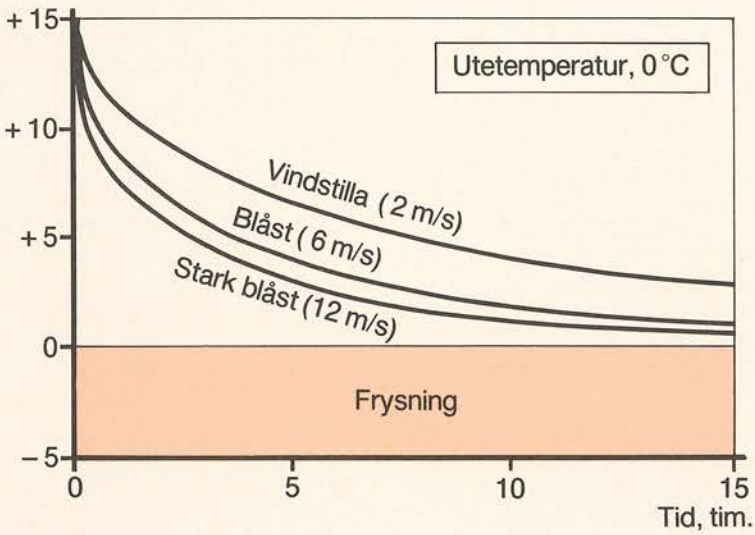
- Redan vid utetemperaturen 0°C blir avkylningen snabb hos en oskyddad betongyta.
- Blåst medför ännu snabbare avkylning.
- Avkylda betongytor innebär att tillstyvnadstiden förlängs kraftigt och att cementreaktionen och därmed hållfasthetstillväxten blir långsammare.

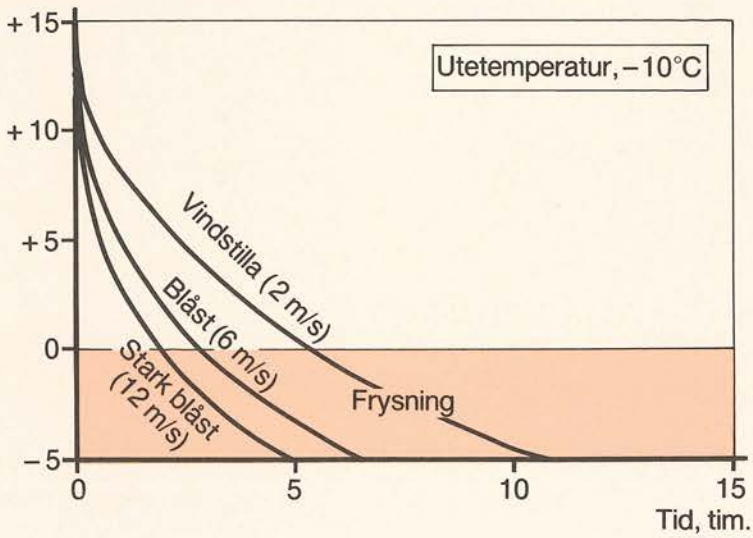
Avkylda betongytor medför därför
- försenad färdigbehandling av golv
- större risk för skador av tidig frysning
- försenad avformning eller större risk för skador eller ras i samband med formrivning.

Beräkningar enligt Jonassons metod /5/.



Betong 16 cm
Hållfasthetsklass K25 Std P
Gjuttemperatur +15°C
Oisolerad plywoodform





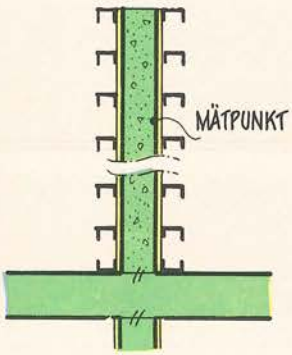
FÖRSENAD HÅLLFASTHETSTILLVÄXT

Ökade väggproblem.

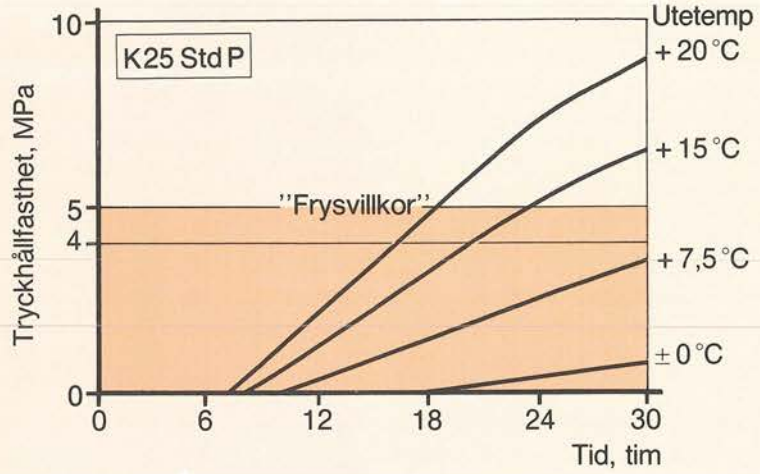
- Låg utetemperatur medför starkt ökad risk för väggras i samband med formrivning.
- Om inga vinterbetongåtgärder vidtas kan **väggbetong** förväntas frysa innan den erforderliga hållfastheten 5 MPa uppnåtts.

Vidta vinterbetongåtgärder vid väggjutning redan vid ca +5°C à +10°C!

Beräkningar enligt Jonassons metod /5/.



Betong 16 cm
Oisolerad plywoodform
Gjuttemperatur +15°C
Vindstilla <2 m/s

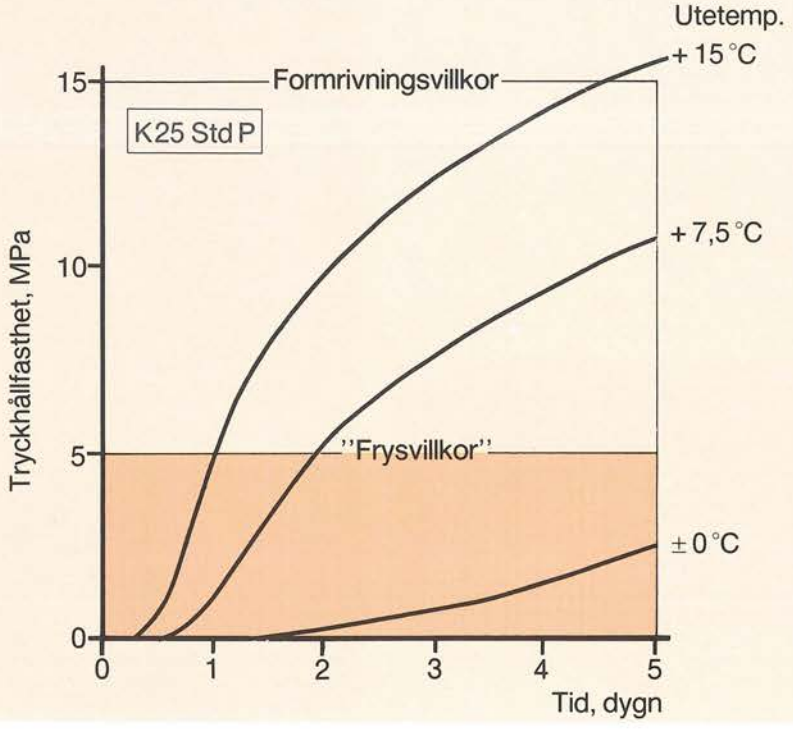


Ökade bjälklagsproblem.

- Låg utetemperatur medför mycket förlängd tid innan rivning av valvform kan ske.
- Om inga vinterbetongåtgärder vidtas kan **bjälklagsbetong** förväntas frysa innan den erforderliga hållfastheten av 5 MPa uppnåtts.

Beräkningar enligt Jonassons metod /5/.

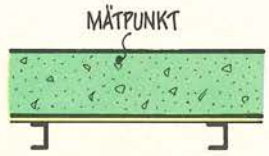
Betong 16 cm
Oisolerad plywoodform
Gjuttemperatur +15°C
Icke täckt betongöveryta
Ingen värmning
Vindstilla <2 m/s



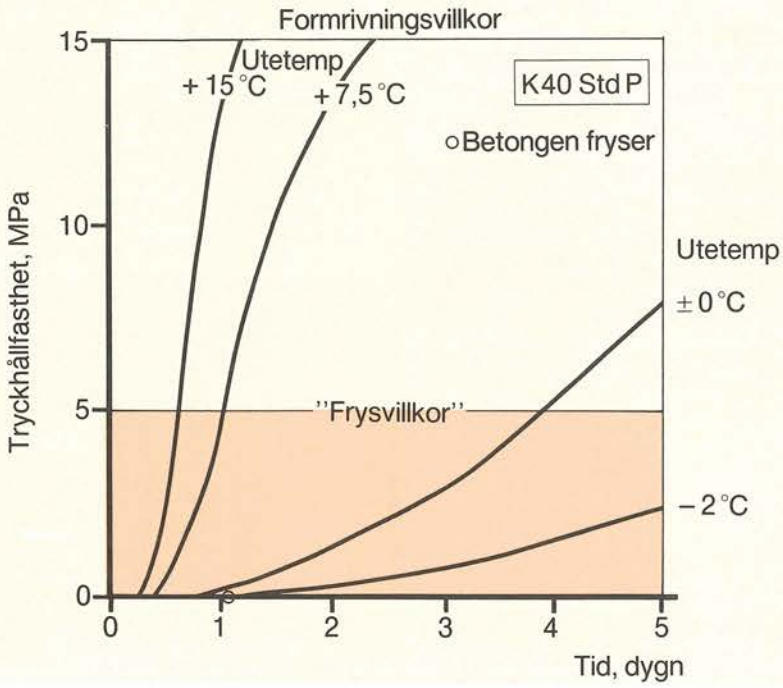
- Höjd betongkvalitet minskar problemen men den måste kompletteras med andra åtgärder, t ex isolerad form, när det är minustemperaturer utomhus.

Vidta vinterbetongåtgärder vid bjälklagsgjutning redan vid ca +5°C à +10°C!

Beräkningar enligt Jonassons metod /5/.



Betong 16 cm
Oisolerad plywoodform
Gjuttemperatur +15°C
Icke täckt betongöveryta
Ingen värmning
Vindstilla <2 m/s

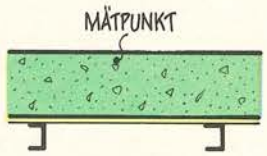


Blåst förstärker problemen.

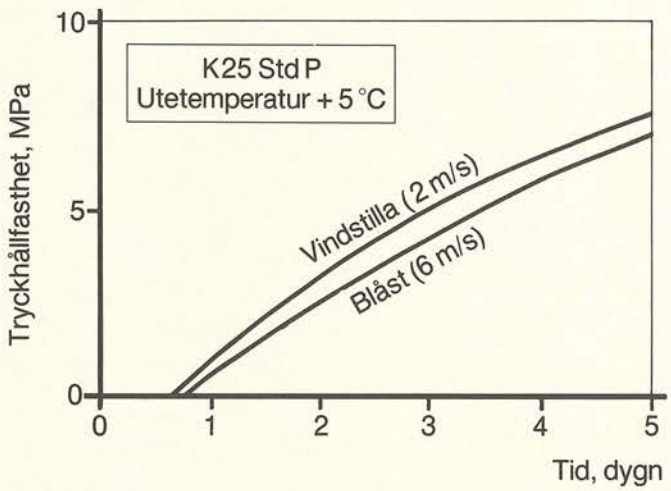
- Blåst medför en mycket kraftig nedkylningseffekt.
- Risken för ras, stora nedböjningar och tidig frysning ökar därför vid blåst.

Vidta extra kraftiga vinterbetongåtgärder vid låga temperaturer i kombination med blåst!

Beräkningar enligt Jonassons metod /5/.



Betong 16 cm
Oisolerad plywoodform
Gjuttemperatur +15°C
Icke täckt betongöveryta
Ingen värmning



LOKAL AVKYLNING VID GJUTNING MOT KALLT UNDERLAG

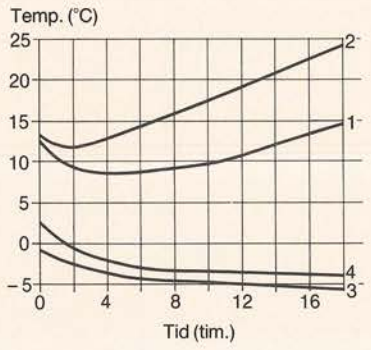
Väggar

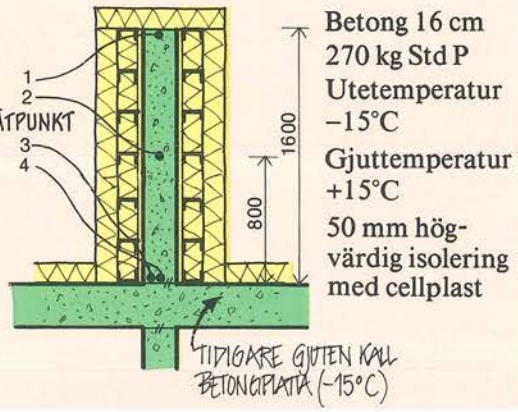
Betongen i underkanten av en **vägg** som gjuts mot ett tidigare gjutet bjälklag blir alltid betydligt kallare än i väggens mitt. Vid gjutning mot fruset bjälklag är frysrisken mycket stor.

Risken för skador av tidig frysning är därför störst i väggens underkant. Samtidigt avgörs risken för väggras vid formrivning av hållfastheten i väggens underkant.

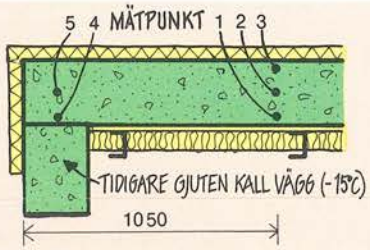
OBS! Även i väggens överdel kyls betongen om betongytan inte värmeisoleras.

Mätningar av Retelius & Nyqvist /24/.





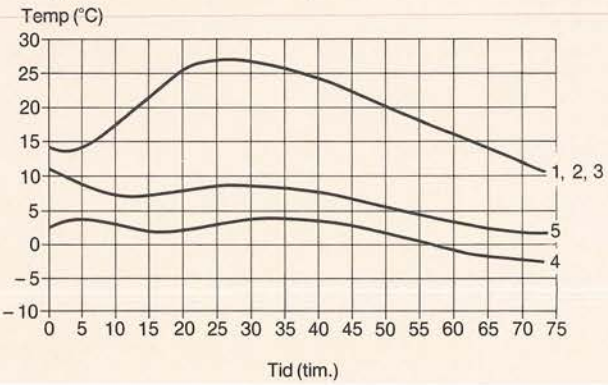
Betong 16 cm
270 kg Std P
Utetemperatur −15°C
Gjuttemperatur +15°C
50 mm högvärdig isolering med cellplast



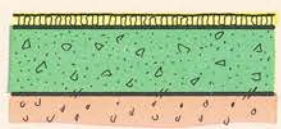
Betong 18 cm
240 kg Std P
Utetemperatur −15°C
Gjuttemperatur +15°C
50 mm högvärdig isolering med cellplast av alla bjälklagsytor

Bjälklag

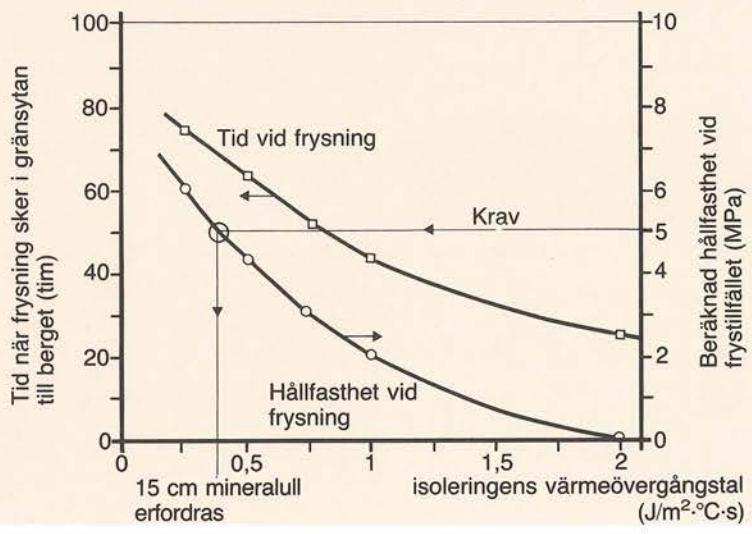
Bjälklagsändar gjutna mot frusna väggar får kraftig avkylning trots god värmeisolering av bjälklagskant, bjälklagsform och bjälklagsöveryta. Utan isolering är frysrisken mycket stor.



Beräkningar av Claesson /7/



Lufttemperatur −15°C
Vindstilla
Isolering av betongytan
Betong K30, 25 cm
Gjuttemperatur +20°C
Berg med temperaturen −15°C



Plattor mot kallt underlag

- Vid gjutning av **plattor** mot kallt underlag – t ex tidigare gjuten betong eller berg – fås en snabb avkylning av betongen. Stor frysrisk föreligger!
- Risken för frysning blir större ju tunnare betongplattan är.
- I princip kan frysskador undvikas såvida plattan är någorlunda tjock, utförs med varm betong och täcks med en mycket tjock högvärdig värmeisolering (ca 15 à 20 cm mineralull).

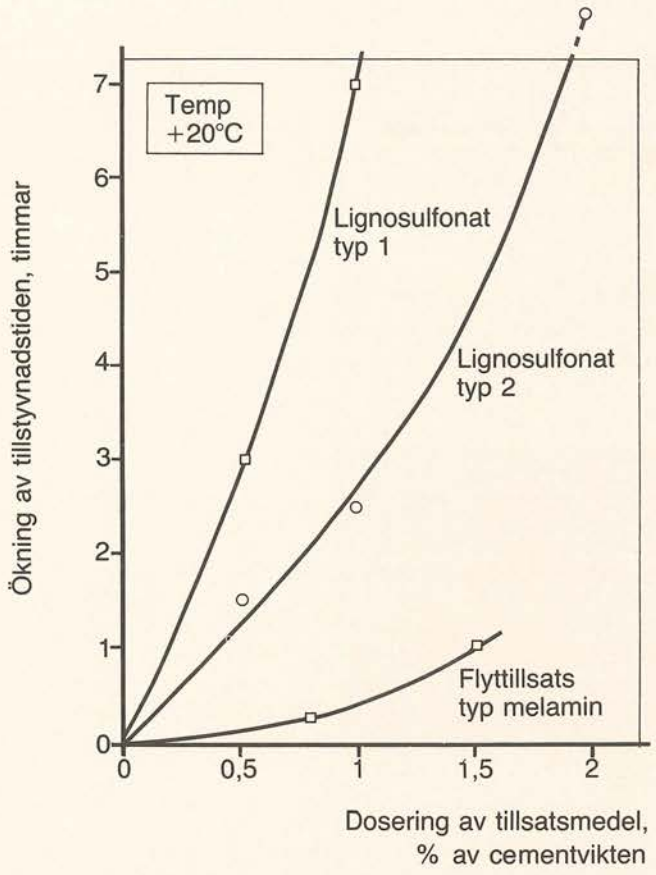
Normalt skall underlaget värmas före gjutningen.

NEGATIV EFFEKT AV VATTENREDUCERARE OCH FLYTTILLSATSER

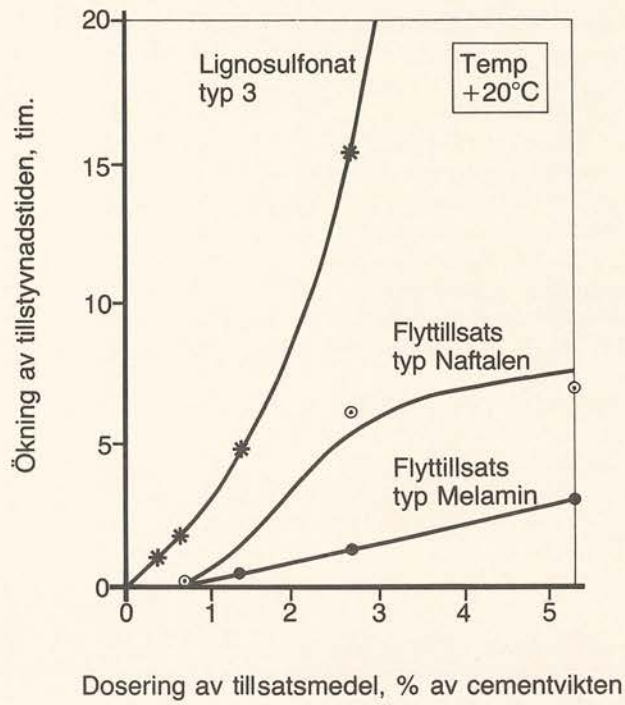
- Vissa vattenreducerande tillsatsmedel ger en kraftig fördröjning av tillstyvnandet. Detta gäller vid alla betongtemperaturer.
- Vattenreducerare och flyttillsatser av lignosulfonattyp ger oftast en kraftig fördröjning.
- Flyttillsatser av naftalentyp ger en påtaglig fördröjning.
- Flyttillsatser av melamintyp ger en liten eller ingen fördröjning.

Vattenreducerare och flyttillsatser som fördröjer betongens tillstyvnande skall undvikas i vinterbetong eftersom de kraftigt ökar risken för skador av tidig frysning eller skador vid formrivning.

a) Försök med cement typ Slite Std P; 300 kg/m³.



b) Försök med norsk cement typ SH P; 300 kg/m³ /8/.

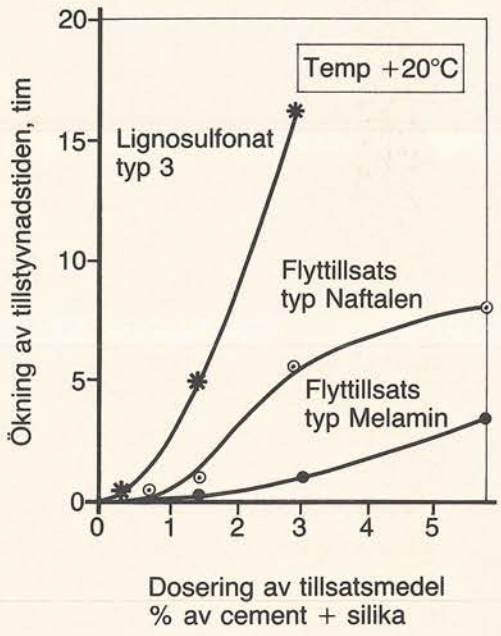


NEGATIV EFFEKT AV SILIKASTOFT

- En effektiv användning av silikastoft förutsätter att man även använder ett vattenreducerande medel.
- Vattenreducerare (och flyttillsatser) har i stort sett samma fördröjande effekt i en betong med silikastoft som i en normal betong utan silikastoft.
- Silikastoft har en mycket långsam reaktion vid låg temperatur. Samtidigt är cementhalten i de flesta fall lägre i en betong med silikastoft. Den negativa effekten av låg temperatur förstärks därför kraftigt i betong med silikastoft.

Silikastoft skall därför undvikas i vinterbetong såvida man inte kan använda måttliga doseringar av en vattenreducerare som har ingen eller svagt fördröjande effekt (t ex melaminbaserat tillsatsmedel). Dessutom bör hållfasthetsklassen höjas så att cementhalten bibehålls på samma nivå som i en betong som saknar silikastoft.

Tillstyvnadsmätningar utförda av Geir Haram /8/.

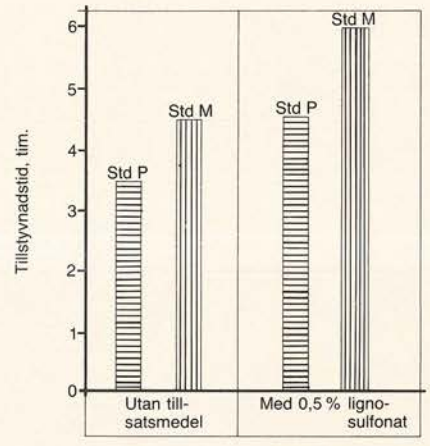


- Cement: Norskt cement typ SH P, 250 kg/m^3
- Silikastoft, 25 kg/m^3 (10% av cementet)
- Temperatur +20°C

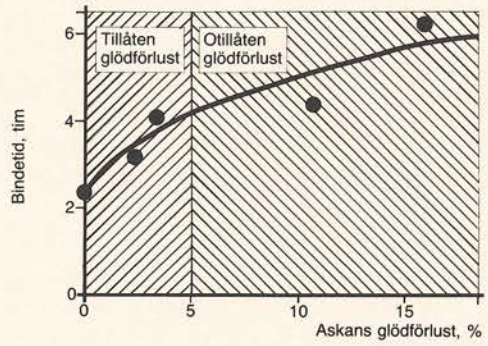
NEGATIV EFFEKT AV FLYGASKA

- Inblandning av flygaska i betong eller användning av flygaskacement (typ Std M) medför en påtaglig förlängning av tillstyvnadstiden.
- Även små inblandade flygaskamängder (ca 5%) medför en påtaglig förlängning av tillstyvnadstiden.
- Ju högre glödförlust flygaskan har desto större blir förlängningen av tillstyvnadstiden. Enbart typgodkänd flygaska med glödförlust understigande 5% får användas i betong och cement.
- Vid användning av vattenreducerande tillsatsmedel i betong som innehåller flygaska eller flygaskacement fås en ytterligare förlängning av bindetiden utöver vad som fås i en Std P-betong.

Flygaskainblandning eller Std M-cement skall därför undvikas i vinterbetong såvida inte förlängningen av tillstyvnadstiden kan kompenseras med värmetillförsel eller på annat sätt.



a) Försök med svenskt flygaskacement; Std M innehållande 23% flygaska.



b) Försök med flygaska som tillsats direkt till betongen. Flygaskahalt 38% av total bindemedelshalt.

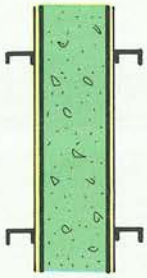
KAPITEL 3

Vinterbetongåtgärder

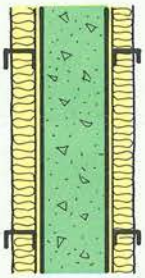
DEFINITIONER – FÖRUTSÄTTNINGAR

Isolering av väggformar

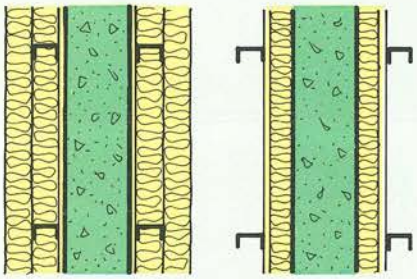
(k-värdena gäller vid vindstyrka 2 m/s)*



Oisolerad (k = 6,26)
Plywood eller stål på stålreglar.



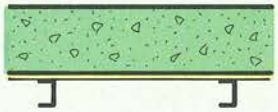
Normalisolerad (k = 2,32)
Skivor av 50 mm mineralull eller cellplast instuckna mellan stålreglar.



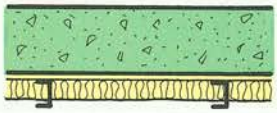
Välisolerad (k = 1,02)
Skivor av 50 mm mineralull eller cellplast placerade utanför stålreglarna eller innanför formytan så att **köldbryggor bryts.**

Isolering av bjälklagsformar

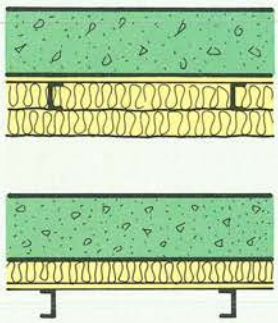
(k-värdena gäller vid vindstyrka 2 m/s)*



Oisolerad (k = 6,26)
Plywood eller stål på stålreglar.



Normalisolerad (k = 2,32)
Skivor av 50 mm mineralull eller cellplast instuckna mellan stålreglar.



Välisolerad (k = 1,02)
Skivor av 50 mm mineralull eller cellplast placerade utanför stålreglarna eller innanför formytan så att **köldbryggor bryts.**

Gjuttemperatur

"Gjuttemperaturen" är temperaturen hos den nygjutna betongmassan.

"Blandningstemperaturen" måste ofta vara 2 à 7°C högre än gjuttemperaturen beroende på förluster under transport och hantering av betongmassan.

Tillförd värme

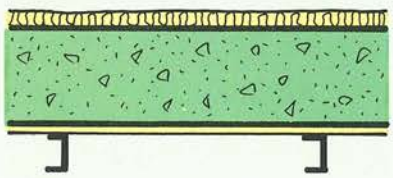
"Verkningsgraden", dvs den andel av tillförd värme som verkligen når betongen, antas vara:

- 100% för ingjutna värmekablar eller motståndstrådar
- 33% för strålningsvärme riktad mot oisolerad plywoodform.

Täckning av nygjutna bjälklag

(k-värdena gäller vid vindstyrka 2 m/s)*

Alt 1: Presenning (k = 9,31)



Alt 2: Högvärdig täckning (k = 2,65)

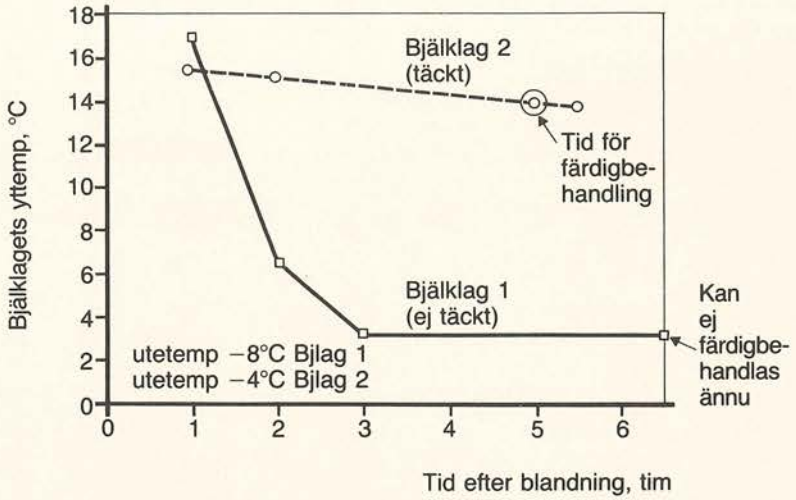
Minst 10 mm expanderad polyeten

$$* k = \frac{W}{m^2 \cdot K}$$ (W = värmegenomgångstalet)

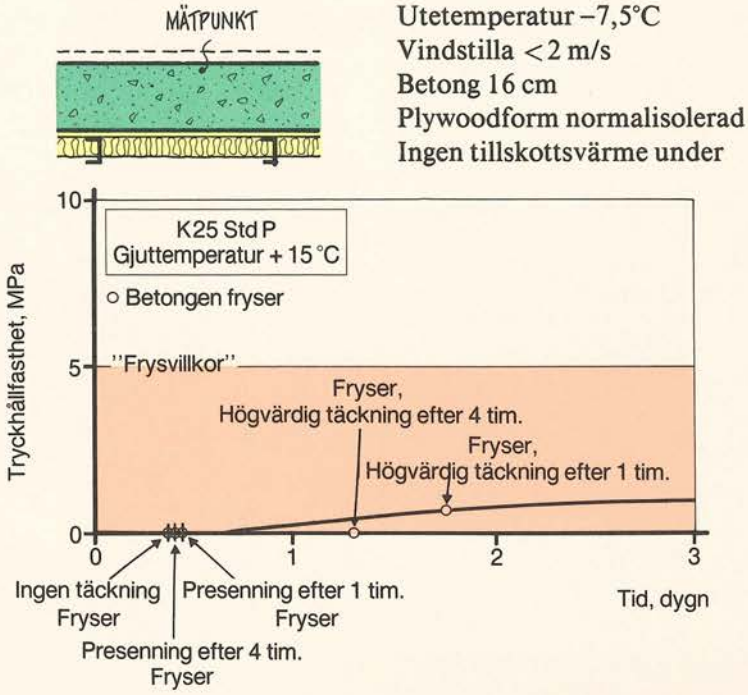
OBLIGATORISKT – SNABB TÄCKNING AV BJÄLKLAG

- Om betongytan inte täcks snabbt efter det att betongen gjutits kyls betongen i ytan ner så snabbt att sannolikheten för frysskador är mycket stor.
  Dessutom ökar tillstyvnadstiden dvs tiden innan färdigbehandling av ytan kan göras.
  Dessutom ökar den erforderliga härdningstiden före formrivning och risken för formrivningsskador.
- Täckning bör ske med högvärdigt material och ej med presenning.

a) Fältmätningar av Fredriksson & Samuelsson /2/.



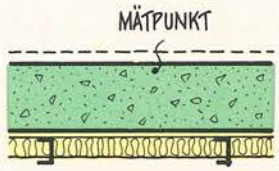
b) Beräkningar enligt Jonassons metod /5/.



- Vid alltför låg betongkvalitet och låg utetemperatur fryser betongen trots tidig täckning.

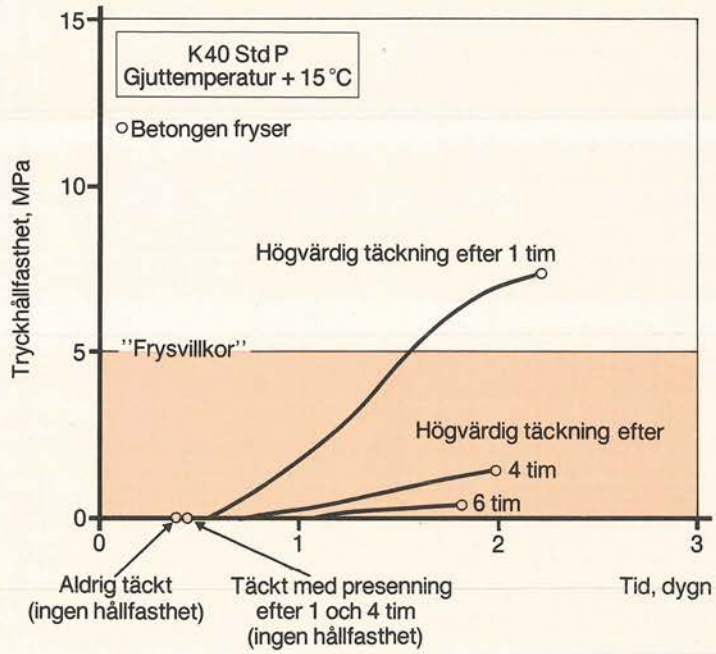
Problem vid täckning

- Tidig täckning kan medföra problem; omöjligt att gå på betongen, intryck av isoleringen i den färska betongytan.
- Goda täckningsmetoder har utvecklats där dessa problem undviks.
- Vakuumbehandling ger möjlighet till tidig glättning och täckning.
- För att underlätta täckning kan uppstickande armeringsjärn ersättas med wire.

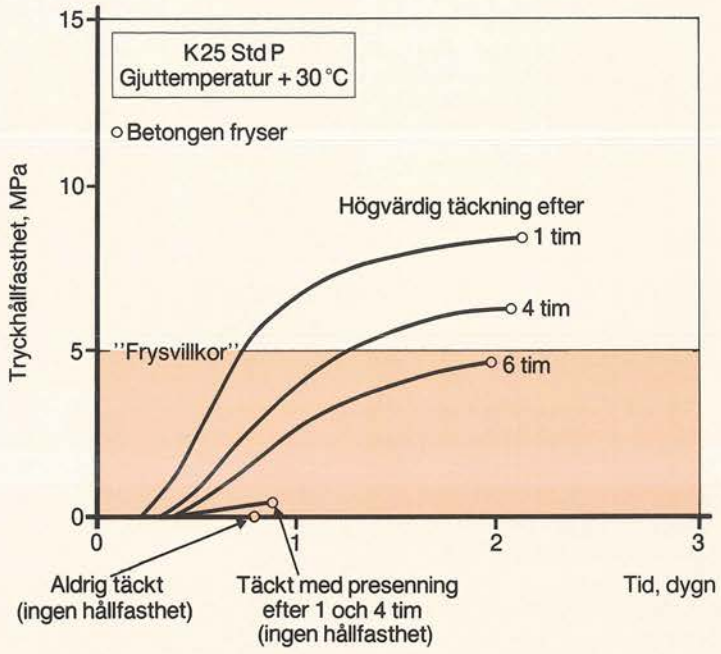


Utetemperatur –7,5°C
Vindstilla < 2 m/s
Betong 16 cm
Plywoodform normalisolerad
Ingen tillskottsvärme under

- Höjd betongkvalitet – t ex från K25 till K40 – ger liten effekt om betongöverytan inte täcks tidigt.
  Om ytan täcks tidigt är däremot en höjd betongkvalitet mycket effektiv.



- Höjd gjuttemperatur hos betongmassan har liten effekt om betongöverytan inte täcks tidigt. Om ytan täcks tidigt är däremot en höjd betongtemperatur mycket effektiv.



Vid minustemperaturer utomhus är en snabb högvärdig täckning (värmeisolering) av betongöverytan alltid nödvändig för att

- frysskador skall undvikas i bjälklagets övre del
- tiden till färdigbehandling skall bli acceptabelt kort
- tiden till formrivning skall bli acceptabelt kort (alternativt; för att risken för formrivningsskador skall bli acceptabelt låg).

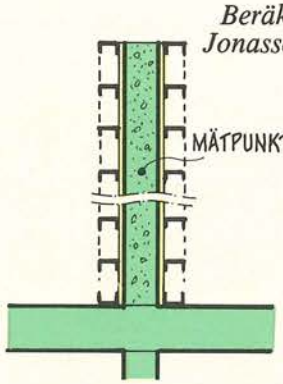
OBS!
Tidig täckning är av mycket stort värde även vid utomhustemperaturer över 0°C.

Hållfastheten tillväxer något även hos en frusen betong. Detta sammanhänger med att en viss andel av vattnet i betongen är så hårt bundet att det inte fryser vid 0°C utan först vid låga temperaturer. Denna hållfasthetstillväxt är dock osäker och bör inte utnyttjas; framförallt inte när betongen frusit redan innan den kritiska gränsen 5 MPa uppnåtts.

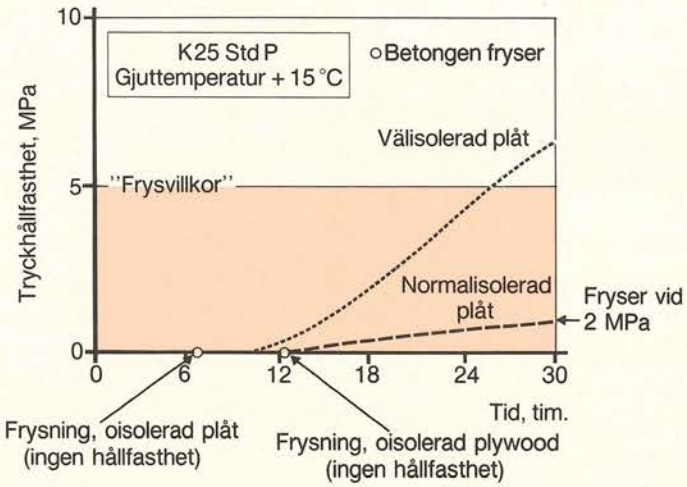
OBLIGATORISKT – ISOLERADE VÄGG- OCH PELARFORMAR

- Om man använder oisolerad form när det är kallt ute kyls betongen ner så snabbt att risken för frysskador är överhängande.
  Dessutom ökar den erforderliga tiden för formrivning kraftigt.
  Skulle man riva formen efter normal tid – dvs efter 16 till 18 timmar – är risken för väggras mycket stor.
- Plywoodform är något bättre än stålform, men även en plywoodform måste värmeisoleras.
- Välisolerad form – dvs en isolering som tar bort alla köldbryggor vid stålreglarna – är ett mycket effektivt sätt att hålla kvar värmen och få en snabb hållfasthetstillväxt.

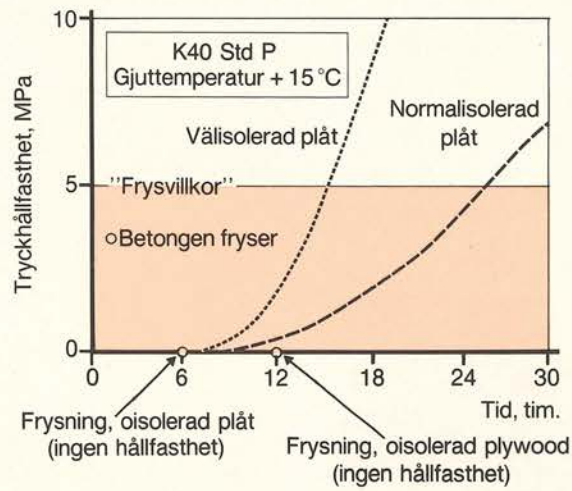
Beräkningar enligt Jonassons metod /5/.



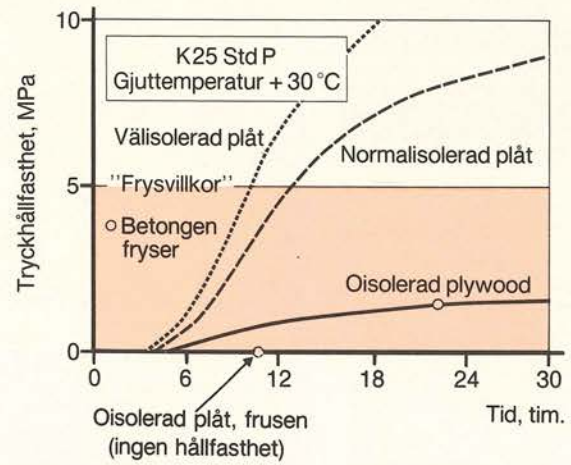
Betong 16 cm
Utetemperatur –7,5°C
Vindstilla < 2 m/s



- Höjd betongkvalitet – t ex från K25 till K40 – ger liten effekt om inte väggformen isoleras.



- Höjd gjuttemperatur hos betongmassan har liten effekt om inte väggformen isoleras.



Vid låga temperaturer utomhus är isolerade vägg- och pelarformar nödvändiga för att
- frysskador skall undvikas
- risken för väggras eller formrivningsskador skall bli acceptabelt låg.

OBLIGATORISKT – VÄRMNING AV UNDERDELEN AV VÄGGAR

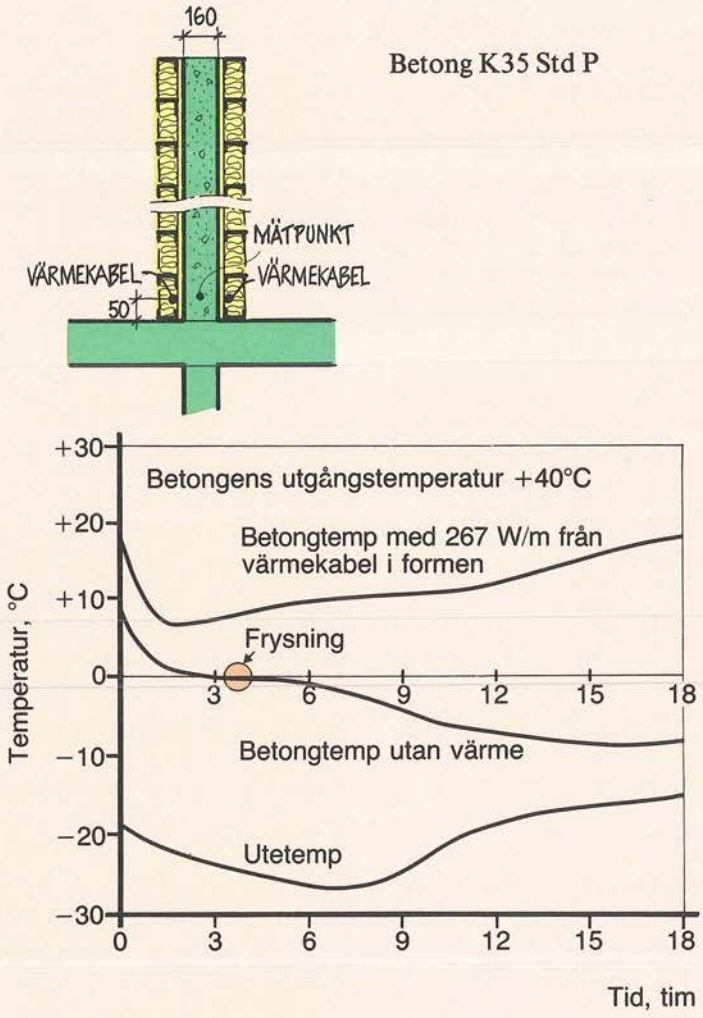
- Underdelen av väggar och pelare kyls kraftigt av underliggande bjälklag. Detta gäller även när väggformen är välisolerad och betongens gjuttemperatur är hög.

När utetemperaturen är låg är risken för frysskador mycket stor om ingen extra värme tillförs.

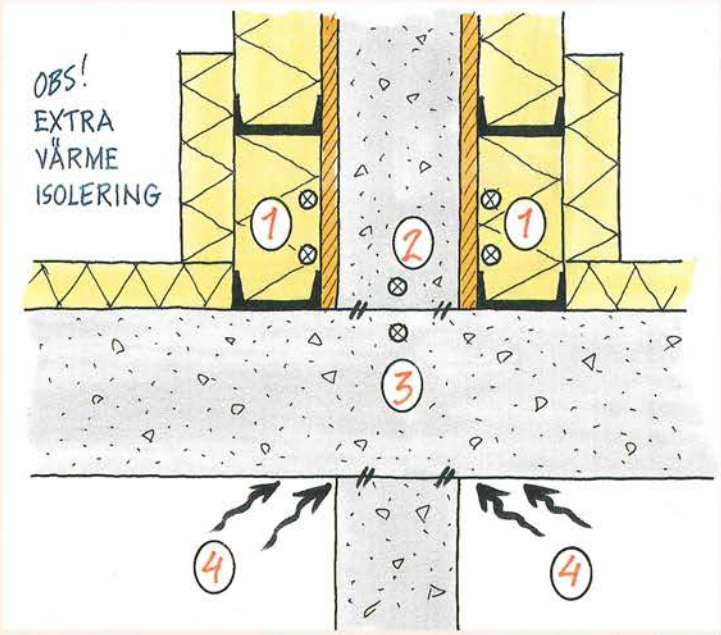
Extra värme måste alltid tillföras i underkanten av väggar och pelare. Detta kan ske med hjälp av en kraftig värmekabel som monteras på formen innanför formisoleringen eller som gjuts in i betongen. Värmetillförseln kan även ske med infravärme som riktas mot bjälklagsplattan direkt under väggen.
Dessutom måste alltid bjälklagets överyta värmeisoleras på minst 1/2 m bredd vid sidan av väggen.

Den erforderliga effektiva energitillförseln till betongen beror på yttre temperaturen och på formrivningstidpunkten.
Normalt erfordras en installerad effekt av 150 à 300 W per löpmeter vägg om formrivning skall kunna ske efter 18 timmar.

Fältmätningar av Nordfelth m fl /9/.



Alternativa uppvärmningsanordningar.



Alt 1: Värmekablar monterade på formen
Alt 2: Värmekablar ingjutna i väggen
Alt 3: Värmekablar ingjutna i bjälklaget
Alt 4: Infravärmning under bjälklaget

OBLIGATORISKT – TÄCKNING AV VÄGG- OCH PELARTOPPAR

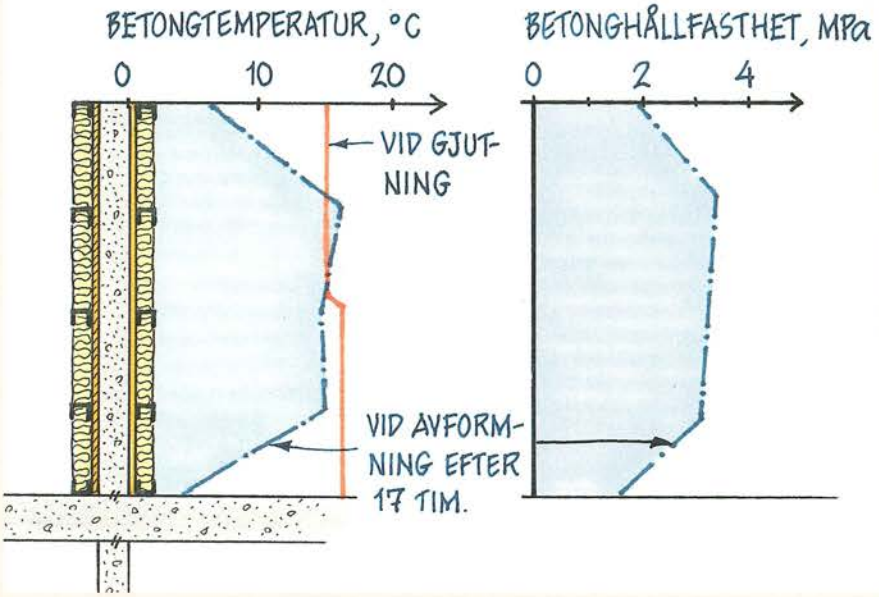
- Om vägg- och pelartoppar inte isoleras snabbt efter det att betongen gjutits kyls betongen ner så snabbt att risken för frysskador är överhängande.
- Dessutom blir hållfasthetstillväxten i övre delen så långsam att det är stor risk för formrivningsskador – lossnande ingjutningsgods, kant- och hörnskador etc.

Värmeisolera därför alltid vägg- och pelartoppar direkt efter avslutad gjutning. Använd minst 100 mm mineralull eller motsvarande.

Fältmätningar av Fredriksson & Samuelsson /6/.

15 cm normalisolerad vägg.
Betong K30 Std P

Gjuttemperatur +16°C
Utetemperatur –1 à –5°C
Vindstilla



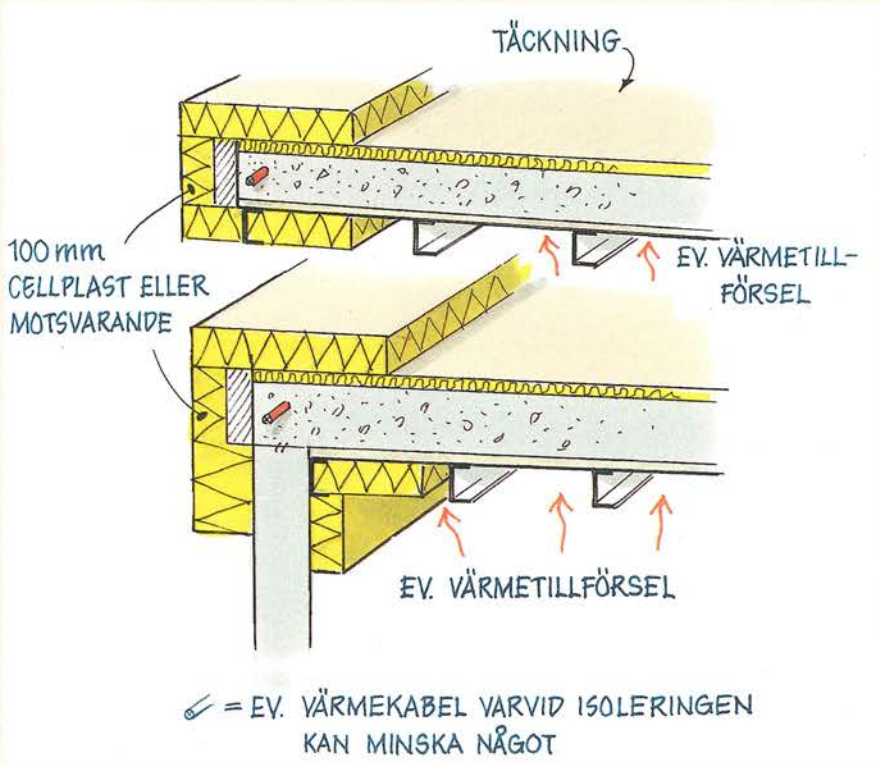
OBLIGATORISKT – ISOLERING ELLER VÄRMNING AV BJÄLKLAGSKANTER

Vid fria bjälklagskanter fås en stark avkylning med risk för frysskador.

Fria bjälklagskanter måste alltid skyddas mot snabb nedkylning. Detta kan ske på två sätt

Alt 1: Kraftig isolering av bjälklagskanter och viss tilläggsisolering av anslutande ytor.

Alt 2: Ingjuten värmekabel längs kanten kompletterat med en viss isolering av anslutande ytor.

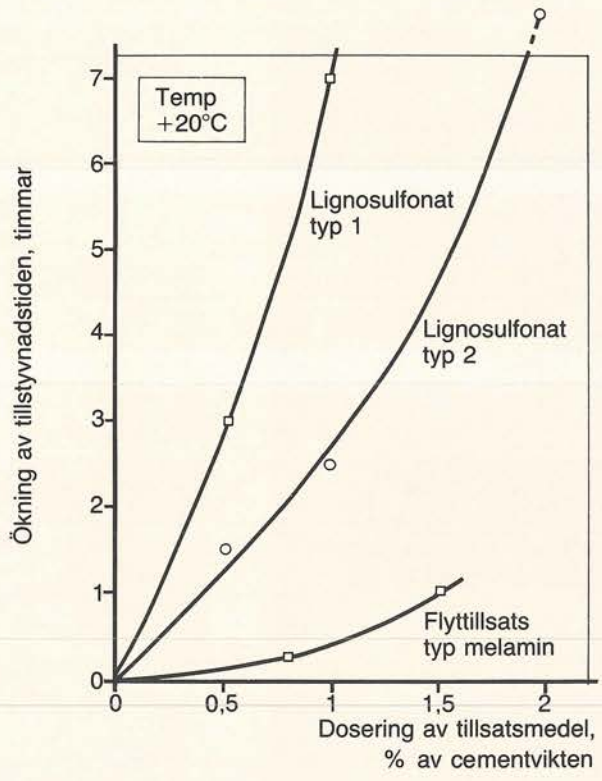


OBLIGATORISKT – INGA RETARDERANDE TILLSATSMEDEL SKALL ANVÄNDAS

Vissa vattenreducerande medel har en starkt fördröjande effekt på betongens härdning. Sådana medel skall aldrig användas vintertid.
Speciellt bör medel baserade på lignosulfonat och naftalenharts undvikas.

I "hetbetong" är det ibland befogat att använda retarderande medel för att förhindra ett alltför snabbt tillstyvnande.

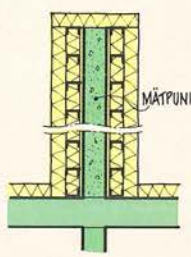
Exempel på att vattenreducerare fördröjer betongens tillstyvnadstid /8/.

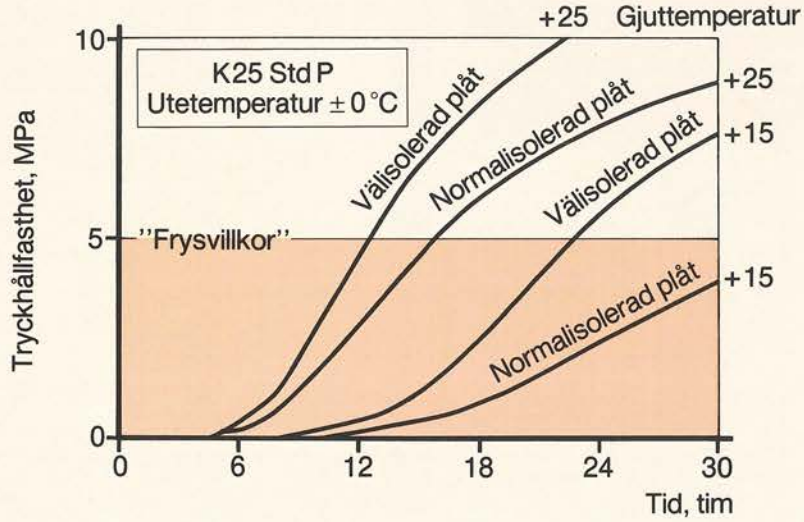


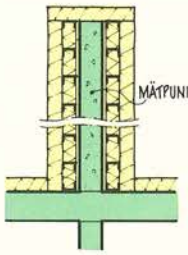
ALTERNATIVT – VÄLISOLERAD VÄGGFORM

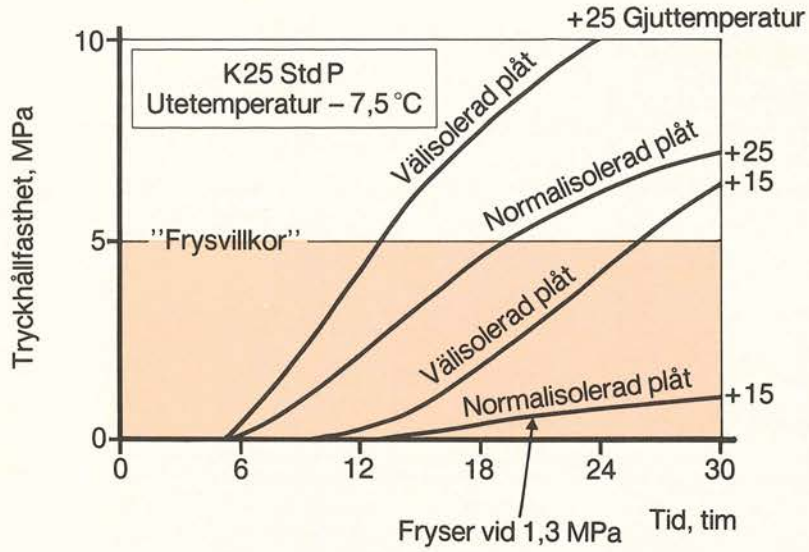
- Normalisolering av väggformar är obligatorisk om frysskador skall kunna undvikas och säkerheten mot väggras skall vara tillfredsställande.
- Välisolerad form som gör att alla köldbryggor elimineras, ger en ännu snabbare hållfasthetstillväxt genom att cementreaktionens värme tillvaratas bättre.

Exempel på beräkningar med Jonassons metod /5/.

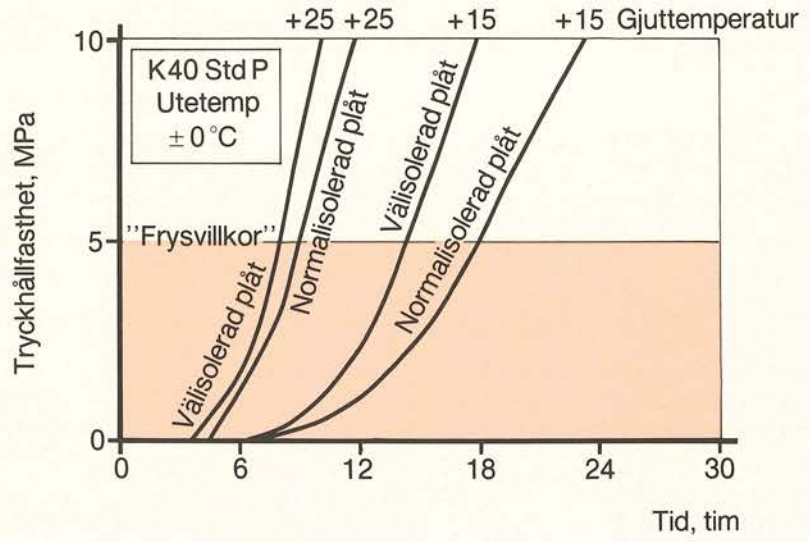






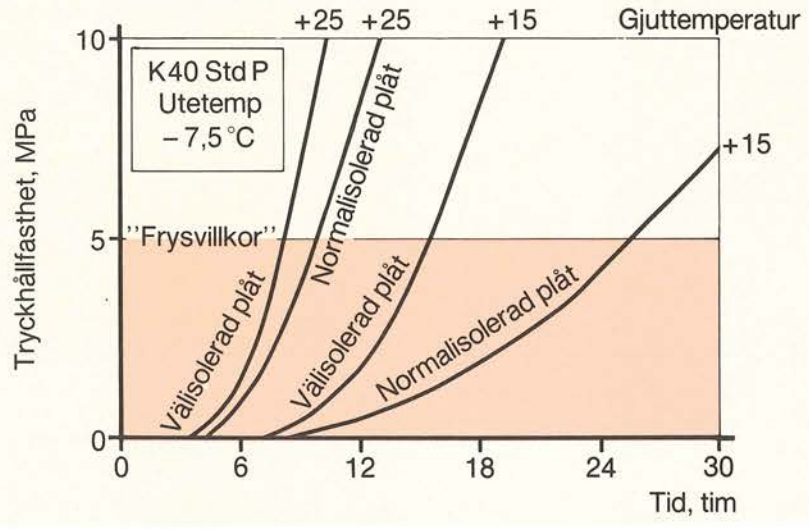


- I kombination med höjd betongkvalitet eller SH-cement ger välisolerade formar stor säkerhet mot skador även vid mycket låga utetemperaturer. Se även rapport /24/.



Fördelar
Välisolerade väggformar är ett rationellt sätt att öka säkerheten vid betonggjutningar.
Välisolerade väggformar kan lämpligen kombineras med höjd betongkvalitet (2 hållfasthetsklasser) eller SH-cement. Därvid kan hög gjuttemperatur eller extra värmetillförsel undvikas.
Inga extra installationer på byggplatsen erfordras.

Nackdelar
Metoden har små betongtekniska nackdelar. Sprickproblem eller problem med förlorad hållfasthet på grund av hög temperatur är normalt mindre vanliga än om hetbetong eller strålningsvärme används.
Välisolerade formar har hittills inte använts i någon större omfattning men börjar nu finnas att tillgå.

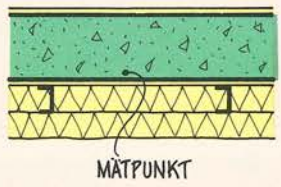


OBS! Extra värmetillförsel i underkanten av tunna väggar är obligatorisk liksom värmeisolering av väggtoppar.

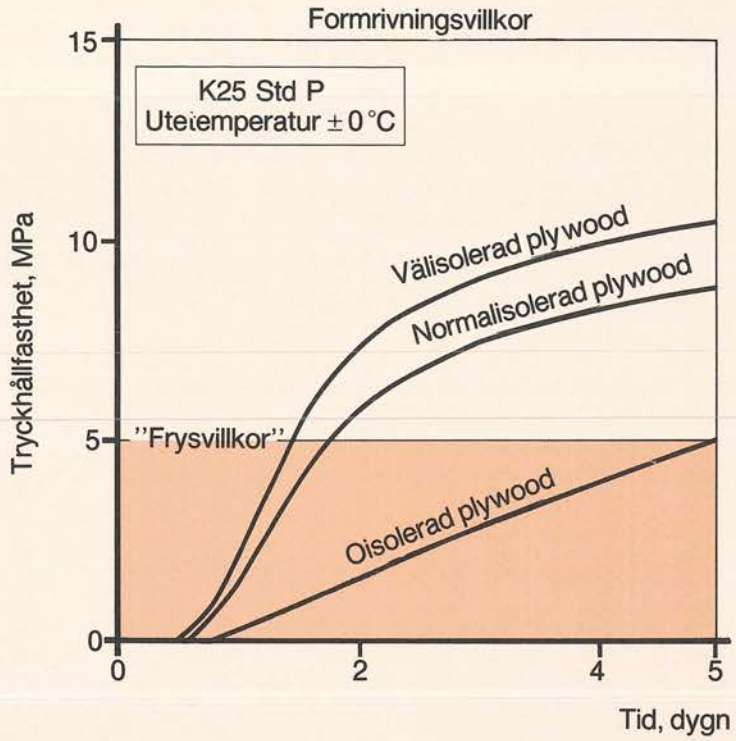
ALTERNATIVT – VÄRMEISOLERAD BJÄLKLAGSFORM

- **Oisolerade** bjälklagsformar utan tillskott av värme underifrån medför stor risk för tidiga frysskador. Detta gäller även vid höjd betongkvalitet.
- Genom **isolering** av bjälklagsformarna tillvaratas cementets värmeutveckling och man får en mycket snabbare hållfasthetstillväxt. Risken för frysskador och formrivningsskador minskar.

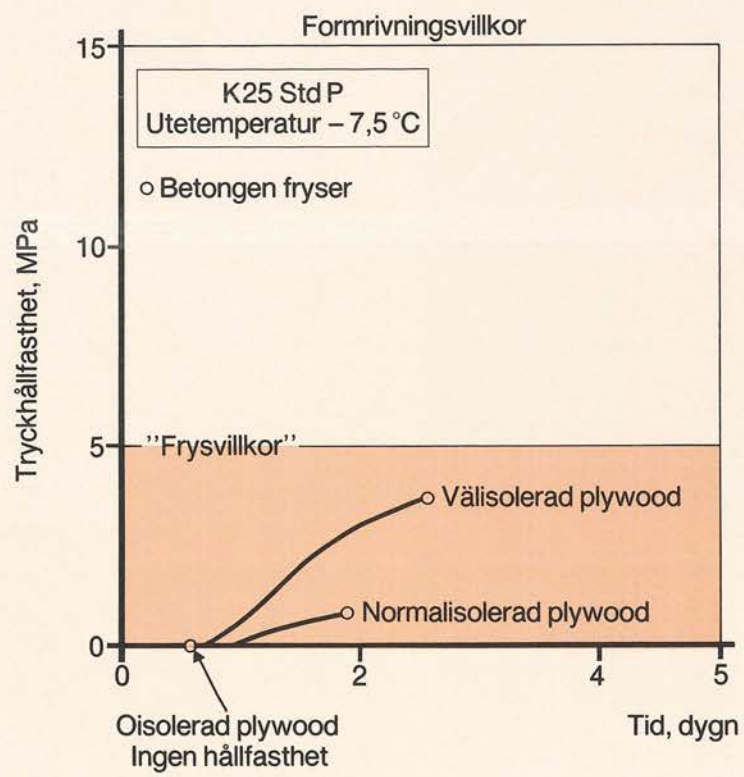
Exempel på beräkningar med Jonassons metod /5/.



Högvärdig täckning 1 timme efter gjutning
Betong 16 cm
Gjuttemperatur +15°C
Plywoodform på stålreglar
Ingen tillskottsvärme under bjälklaget eller genom ingjutna trådar.



- Vid alltför låg betongkvalitet och låg utetemperatur räcker det inte ens med välisolerade formar.

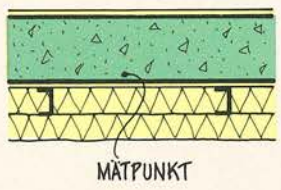


- **Välisolerade formar**, dvs formar där alla köldbryggor eliminerats, är mycket effektiva särskilt i kombination med höjd betongkvalitet eller användning av SH-cement. Se även rapport /24/.

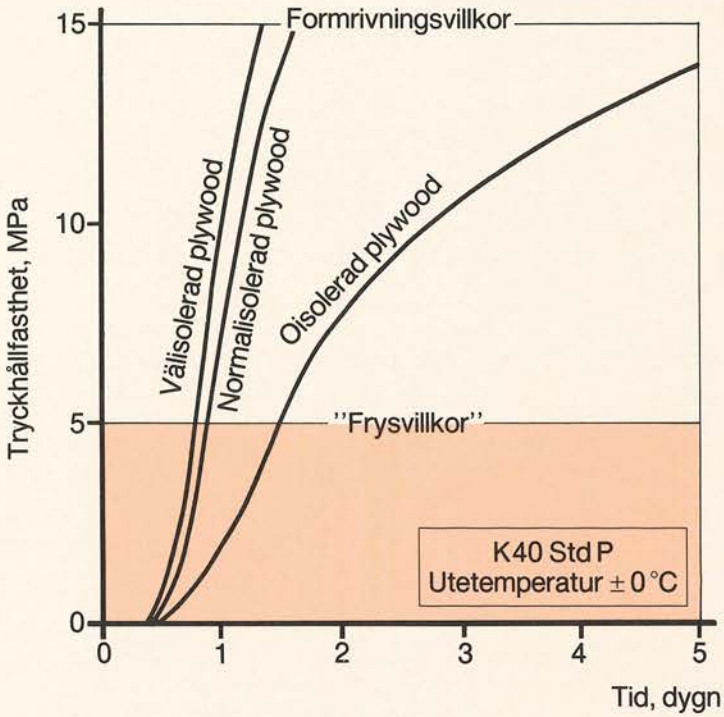
Fördelar
Isolerade bjälklagsformar är ett rationellt sätt att öka säkerheten vid vintergjutningar.
Välisolerade formar kombinerade med höjd betongkvalitet (2 hållfasthetsklasser) eller användning av SH-cement medför snabb hållfasthetstillväxt även vid låg utetemperatur utan att extra värme eller hög betongtemperatur behöver användas.
Inga extra installationer på byggplatsen erfordras.

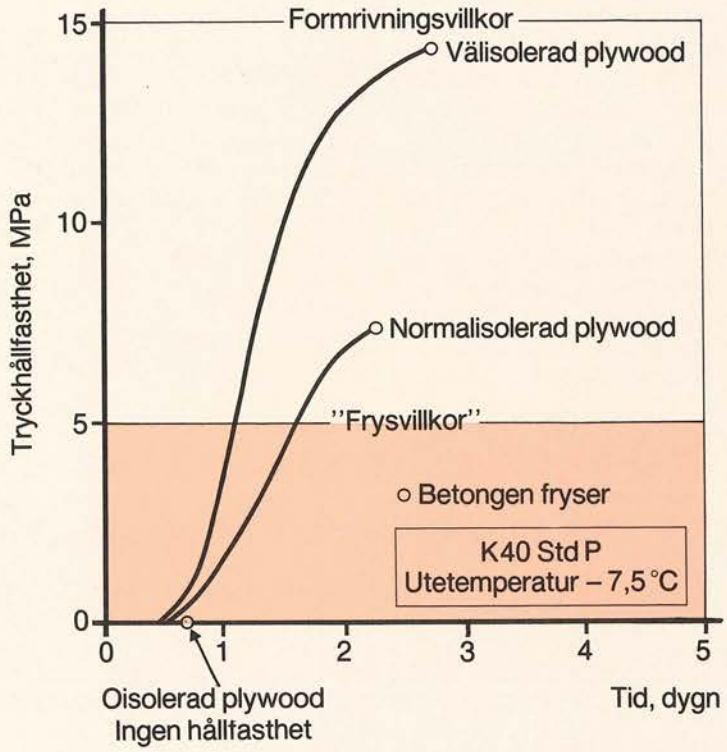
Nackdelar
Metoden har små betongtekniska nackdelar. Sprickproblem eller problem med förlorad hållfasthet på grund av hög temperatur är normalt mindre vanliga än om hetbetong eller strålningsvärme används.
Välisolerade formar har hittills inte använts i någon större omfattning men börjar nu finnas att tillgå.

OBS! Extra värmeisolering av fria bjälklagskanter eller tillskottsvärme till dessa är nödvändig.



Högvärdig täckning 1 timme efter gjutning
Betong 16 cm
Gjuttemperatur +15°C
Plywoodform på stålreglar
Ingen tillskottsvärme under bjälklaget eller genom ingjutna trådar.



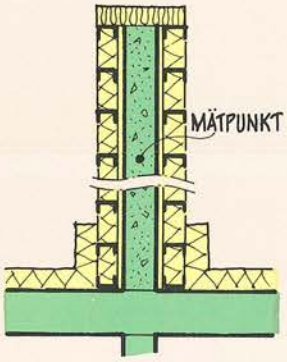


ALTERNATIVT – HÖJD BETONGKVALITET

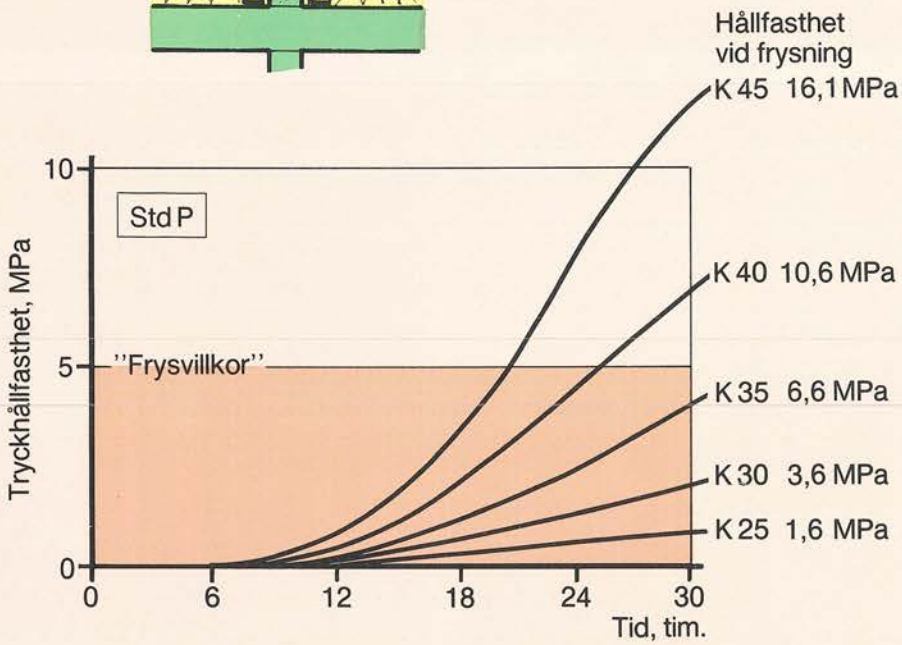
- Ökad betonghållfasthet åtföljs automatiskt av höjd cementhalt och sänkt vattencementtal. Detta ger tre positiva effekter.
  1: Värmeutvecklingen i betongen per tidsenhet ökar. Ökningen är högre än vad som motsvarar cementhaltsökningen.
  2: Hållfasthetstillväxten sker snabbare varför risken för frysskador och formrivningsskador minskar.
  3: Tillstyvnadstiden förkortas varför färdigbehandling av golv kan ske tidigare.
- För att effekten av kvalitetshöjningen skall tillvaratas på bästa sätt måste formarna vara **väl isolerade** och fria betongytor snabbt täckas med högvärdigt material.

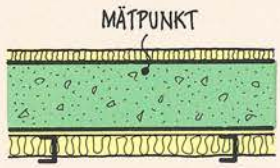
OBS! Tillskottsvärme i väggars underkant är obligatorisk.

a) Exempel på beräknade kurvor enligt Jonassons metod /5/.

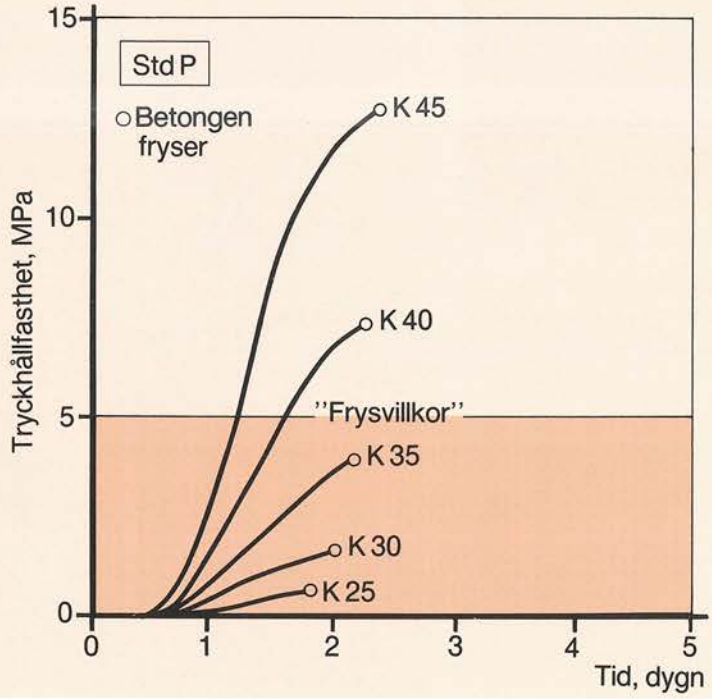


Betong 16 cm
Normalisolerad plåt
Tillskottsvärme i underkant
Isolerad överyta
Utetemperatur –7,5°C
Vindstilla <2 m/s
Gjuttemperatur +15°C





Normalisolerad plywoodform
Ingen värmetillförsel
Högvärdig täckning 1 tim efter gjutning
Utetemperatur –7,5°C
Vindstilla <2 m/s
Gjuttemperatur +15°C

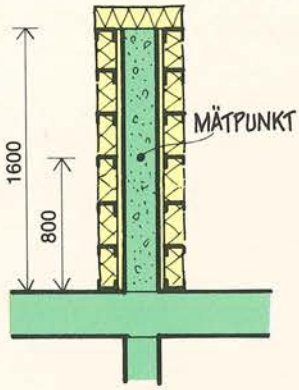


Fördelar
Höjning av betongkvaliteten med 2 eller helst 3 klasser (t ex från K25 till K35 à K40) kombinerat med välisolerade formar och betongytor är en mycket rationell metod att öka säkerheten vid vintergjutningar.
Inga extra installationer på byggplatsen erfordras.

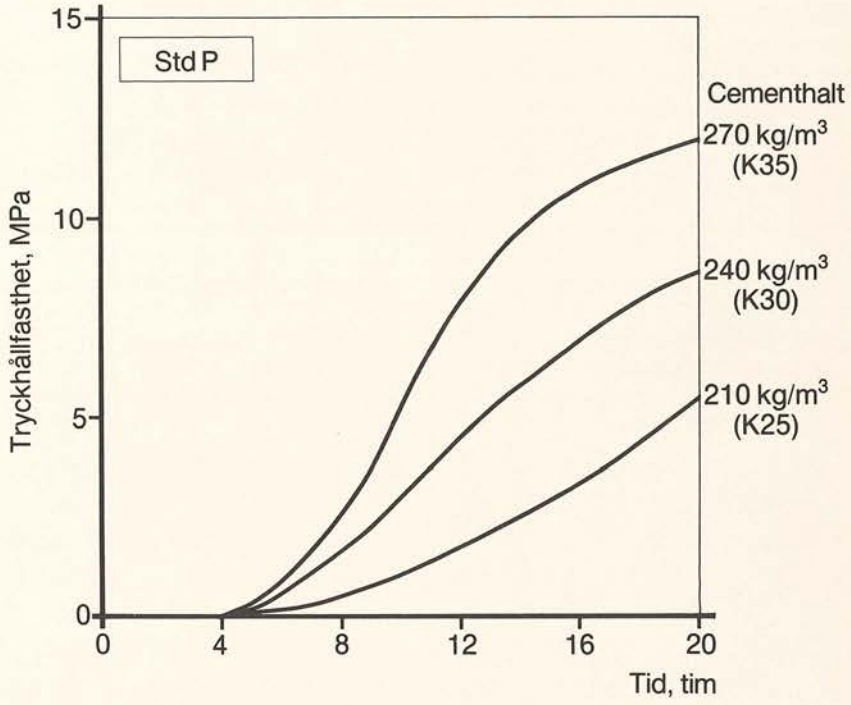
Nackdelar
Metoden har små betongtekniska nackdelar. Sprickproblem eller problem med förlorad hållfasthet på grund av hög temperatur är normalt mindre vanliga än om hetbetong eller strålningsvärme används.

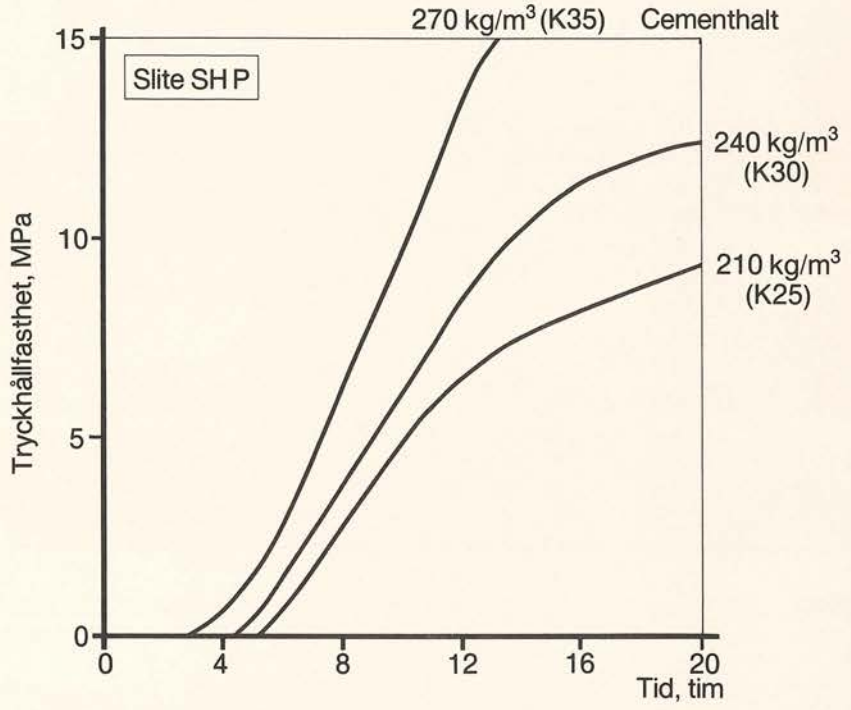
OBS!
En höjning av betonghållfastheten innebär dessutom att man får ett byggnadsverk med avsevärt högre allmän kvalitet.

b) Beräknad hållfasthet baserad på temperaturmätningar. Retelius & Nyqvist /24/.



Betong 16 cm
Utetemperatur –15°C
Gjuttemperatur +20°C
50 mm högvärdig cellplastisolering





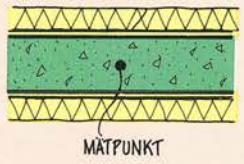
ALTERNATIVT – SH-CEMENT

- Hållfasthetstillväxten vid tidig ålder blir avsevärt snabbare om Std-cementet byts mot SH-cement.
  SH-cement är därför ett bra alternativ framförallt vid väggjutning med krav på tidig formrivning men även vid bjälklagsgjutning.

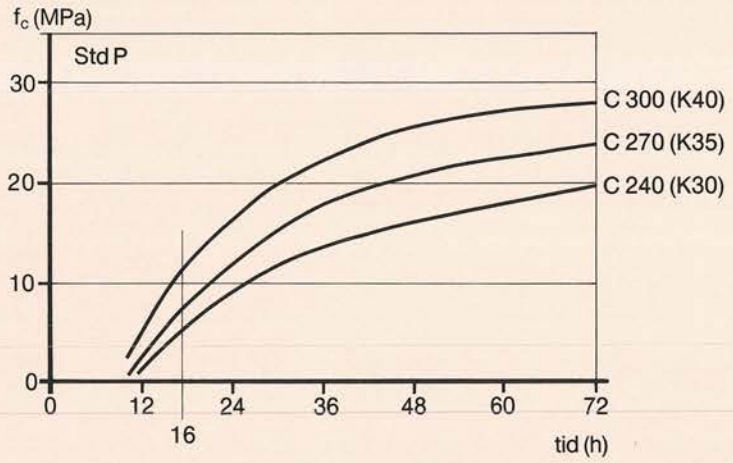
- När korttidshållfastheten (16 à 18 tim) är av intresse motsvarar övergång till SH-cement minst en höjning med två hållfasthetsklasser.

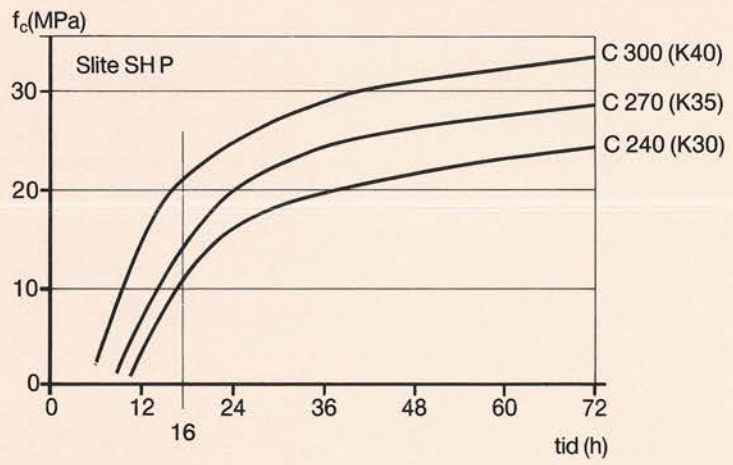
- SH-cementet har dessutom ca 30% kortare bindetid vilket minskar tidsfördröjningen före färdigbehandling av betongytan.

a) Mätningar av Retelius & Nykvist /24/.

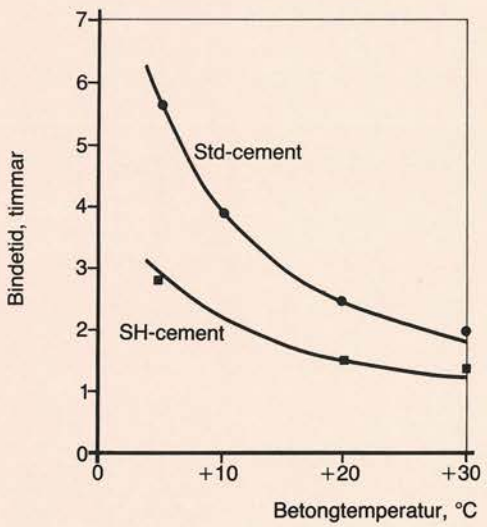


Betong 18 cm
Utetemperatur –15°C
Gjuttemperatur +14°C
50 mm högvärdig cellplastisolering på båda sidor





b) Bindetid hos rena cement utan tillsatsmedel eller tillsatsmaterial. Mätningar vid CEMLAB, Slite.



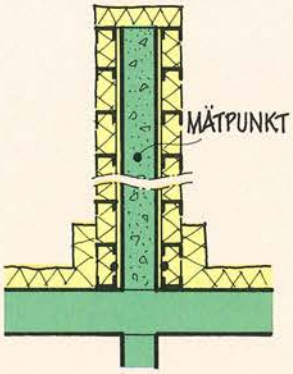
- För att effekten av SH-cementet skall kunna utnyttjas på bästa sätt måste formarna vara **väl isolerade** och fria betongytor snabbt täckas med högvärdigt material.

Fördelar
Användning av SH-cement är en mycket rationell metod att öka säkerheten vid vintergjutningar.
Säkerheten ökar ytterligare om även betongkvaliteten ökas med 1 hållfasthetsklass.
Inga extra installationer på byggplatsen erfordras.

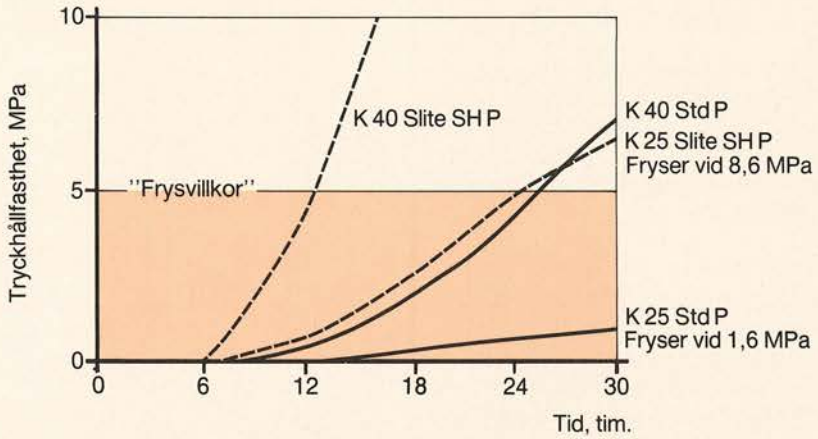
Nackdelar
Metoden har små betongtekniska nackdelar. Sprickproblem eller problem med förlorad hållfasthet på grund av hög temperatur är normalt mindre vanliga än om hetbetong eller strålningsvärme använts.

OBS! Tillskottsvärme i väggens underkant är obligatorisk.

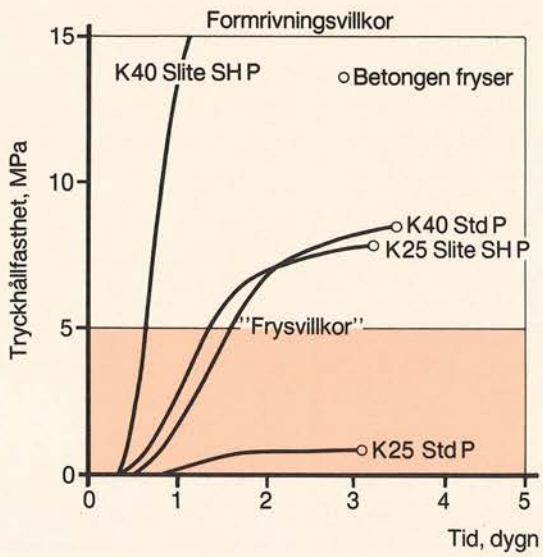
c) Exempel på beräknade kurvor enligt Jonassons metod /5/.



Betong 16 cm
Normalisolerad plåt
Utetemperatur –7,5°C
Vindstilla < 2 m/s
Gjuttemperatur +15°C



Betong 16 cm
Normalisolerad plywood
Ingen värmetillförsel
Högvärdig täckning 1 tim efter gjutning
Utetemperatur -7,5°C
Vindstilla < 2 m/s
Gjuttemperatur +15°C



ALTERNATIVT – ACCELERERANDE TILLSATSMEDEL

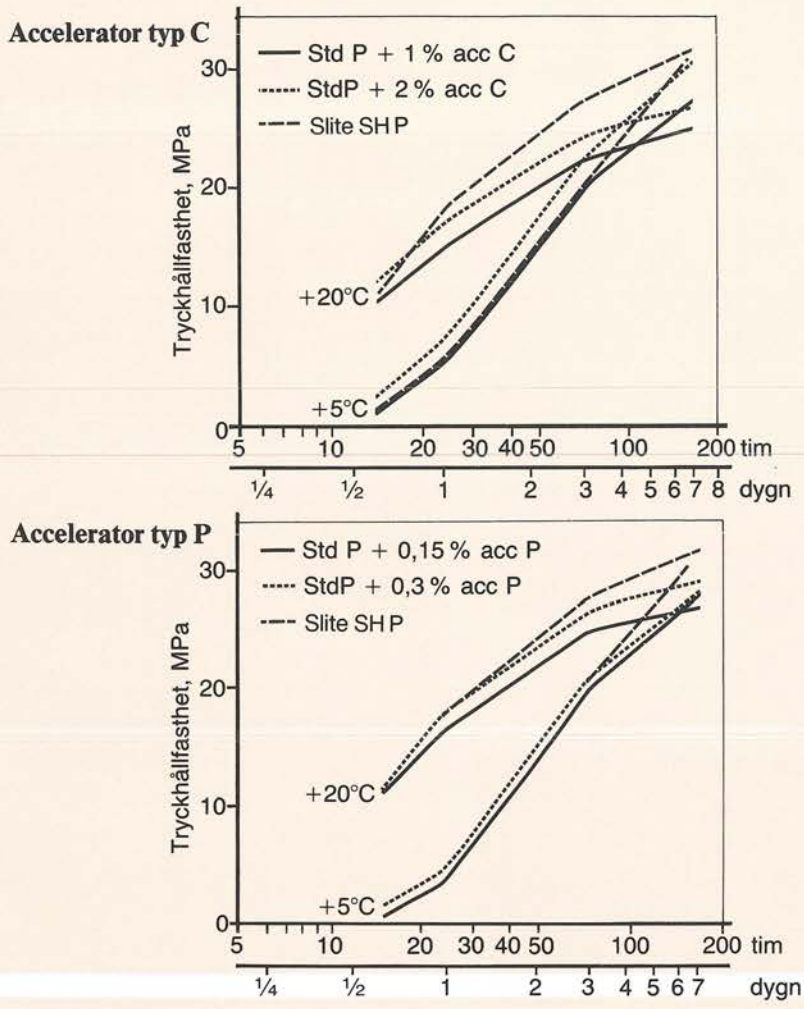
a) Kalciumklorid – skall aldrig användas i armerad betong på grund av den stora korrosionsrisken /10/.

b) Kloridfria acceleratorer.

Den stora risken för armeringskorrosion vid användning av kalciumklorid har medfört att ett antal **kloridfria** acceleratorer utvecklats. Dessa består ofta av salter av **nitriter, nitrater eller tiocyanater**.

- I allra bästa fall ger dessa kloridfria acceleratorer samma effekt som användning av SH-cement.
- Till skillnad från kalciumklorid förefaller kloridfria acceleratorer ofta medföra en minskning av 28-dygnshållfastheten.

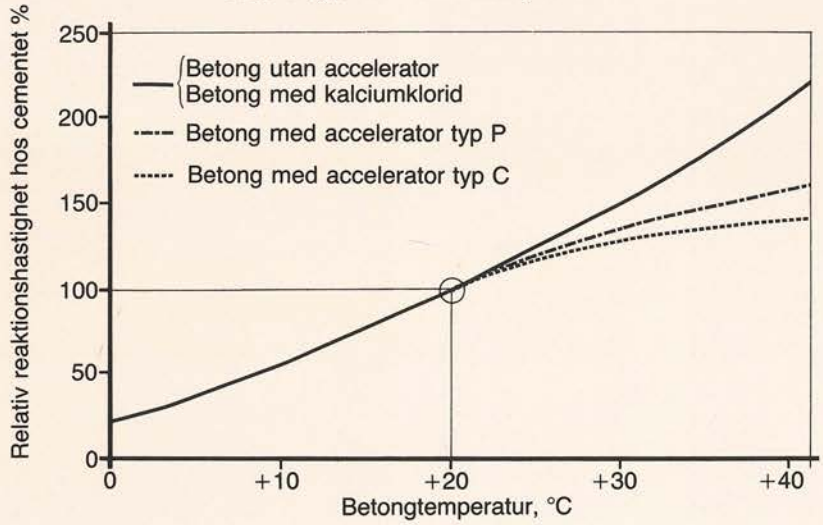
Exempel på effekten av två kloridfria acceleratorer. Mätningar vid CEMLAB, Slite. Cementhalten i alla betonger är 250 kg/m³.



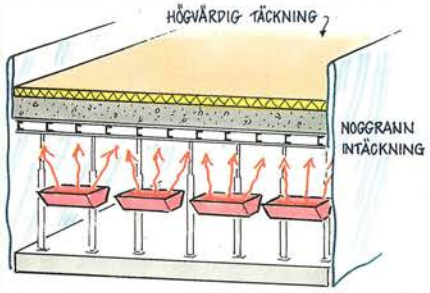
- Kloridfria acceleratorer förefaller ofta att retardera eller rentav försvåra hållfasthetstillväxten vid betongtemperaturer överstigande ca 25 à 30°C. Orsaken till detta är inte klarlagd.

VARNING!
Flertalet kloridfria acceleratorer innehåller ämnen som har stark korrosionseffekt på armeringen. Den maximalt tillåtna doseringen av dessa tillsatsmedel är bristfälligt känd.
Kloridfria acceleratorer bör därför undvikas tills dess mera kunskap om deras korrosionseffekt och deras effekt på betongens långtidsegenskaper kommit fram.

Mätningar av betongens reaktionshastighet vid olika temperaturer. Mätningar vid CEMLAB, Slite.



ALTERNATIVT – STRÅLNINGSVÄRME UNDER BJÄLKLAG



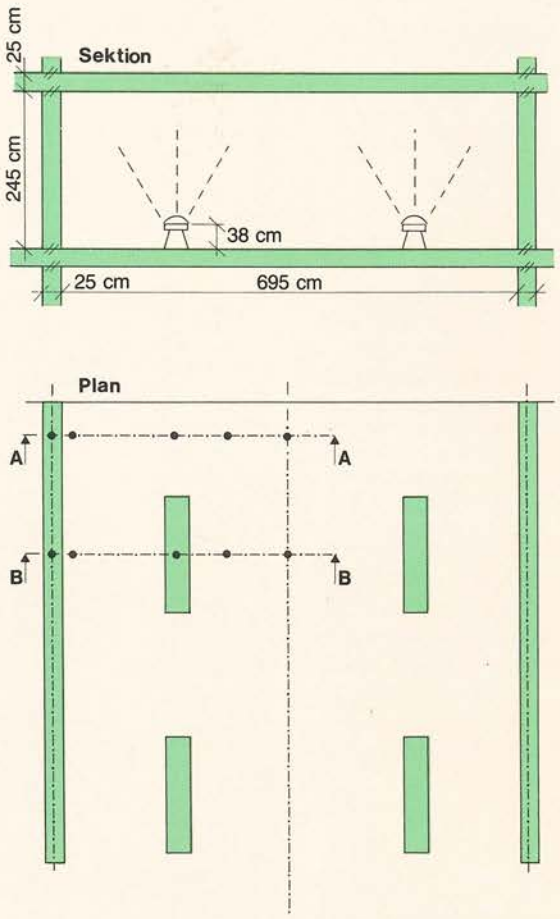
Strålningsvärmare kan vara eldrivna eller gasoldrivna. Installerad effekt kan uppgå till 1000 W/m^2 eller mer. Ofta används lägre effekt. Lämplig effekt beräknas teoretiskt eller ställs in på basis av fortlöpande mätningar av verklig betongtemperatur. Värmningen bör vara jämnt fördelad över bjälklagsytan.

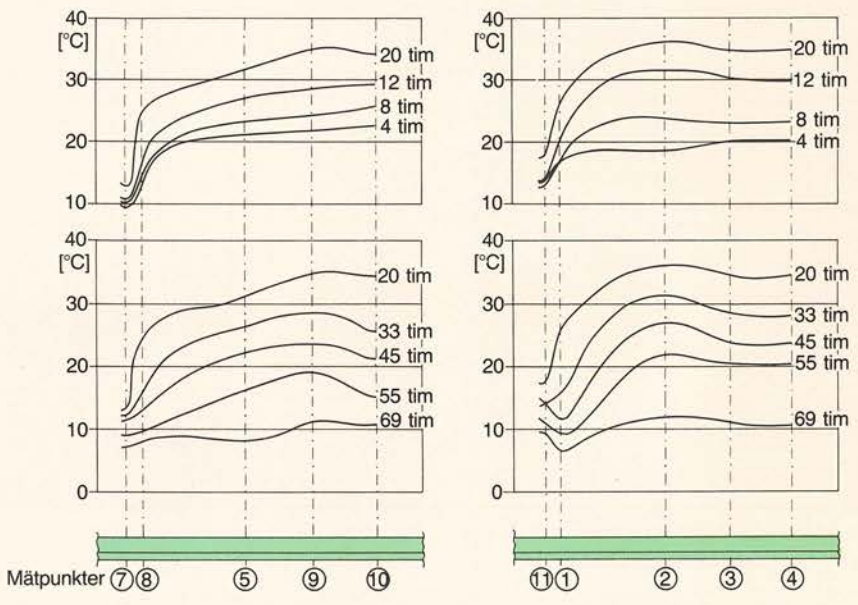
- Strålningsvärme kombinerad med högvärdig täckning av betongöverytan ger en snabb värmestegring i betongen, som därvid härdar snabbt.
- För att strålningsvärme skall ha bästa effekt måste utrymmet under plattan täckas så väl att blåst och drag under plattan undviks. Därvid kan även temperaturhöjningen av luften under plattan utnyttjas. Höjningen är av storleksordningen 10°C.

a) Strålningsvärme under bjälklaget. Fältobservation av Nilsson /11/.

Överytan täckt efter 7 tim
Installerad effekt 270 W/m^2 under 2,5 dygn
16 m^2 bjälklagsyta per strålningsvärmare

25 cm betongbjälklag K35
15 mm plywoodform
Gjuttemperatur +22°C
Utetemperatur i medeltal –1°C



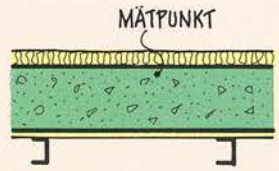


- Vid alltför hög tillförd effekt kan mycket höga betongtemperaturer uppnås även i betongens överyta. Detta gäller framförallt i högvärdiga betonger.

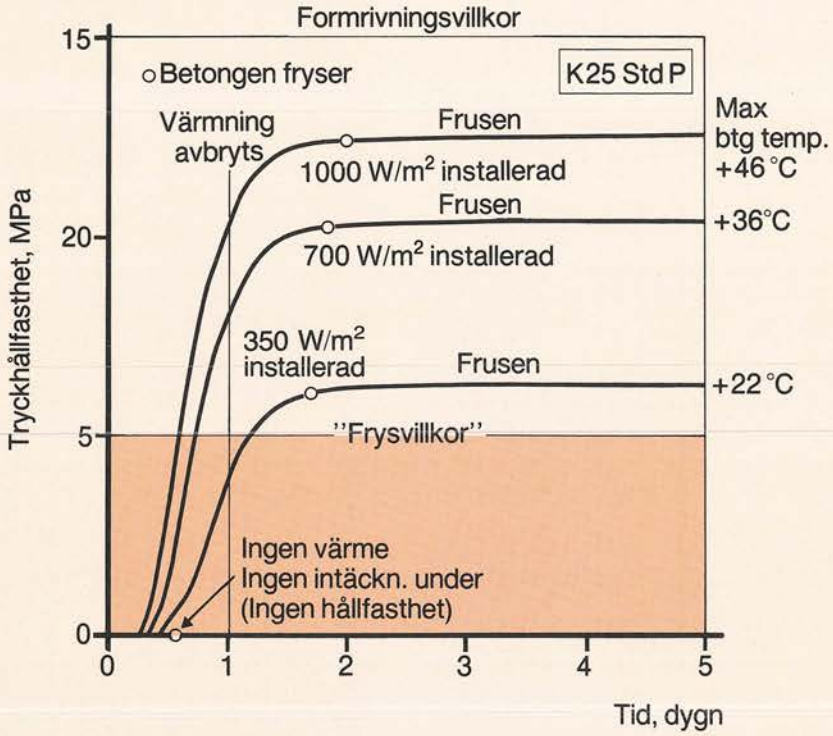
- När betongtemperaturen överstiger 30°C börjar permanenta minskningar av sluthållfastheten uppstå. Vid 40°C och däröver är hållfasthetsminskningen påtaglig – se avsnittet om "hetbetong". Hållfasthetsförlusten bör kompenseras med en höjning av betongkvaliteten med 1 à 2 hållfasthetsklasser.

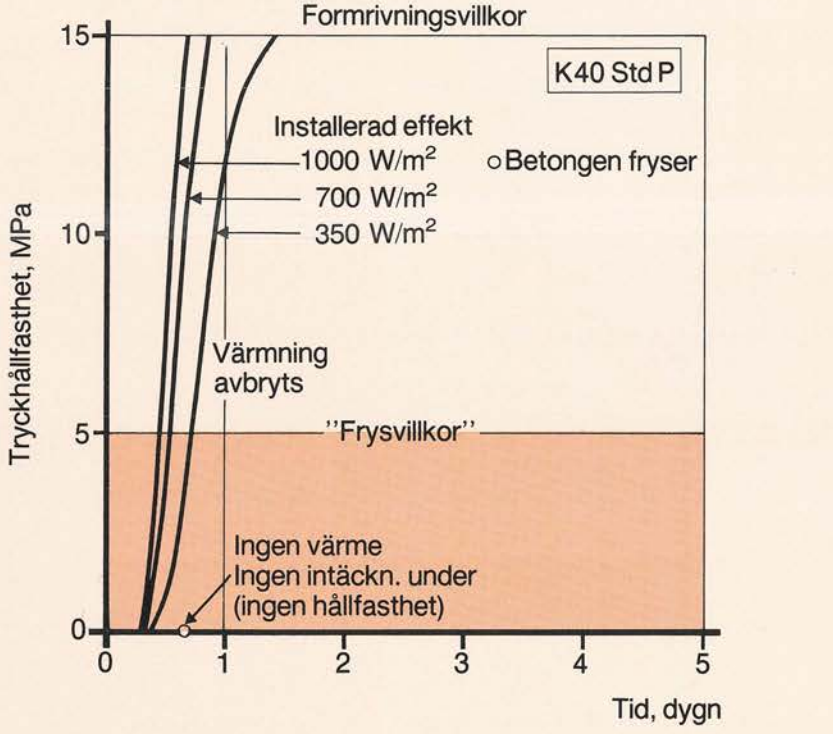
- Eftersom gjuttemperaturen normalt är relativt låg vid användning av strålningsvärme (+10 à +20°C) får man en negativ s k "värmehärdningseffekt". Denna innebär att luften inne i betongens komprimeringsporer expanderar under uppvärmningen varvid den färska betongen kan spricka med hållfasthetsförluster som följd. Fenomenet beskrivs av Alexandersson /12/. I princip måste man följa anvisningarna för värmehärdning av betongelement, se /13/. Detta innebär att betongen måste förhärdas vid normal temperatur under en viss tid innan strålningsvärmen startas. Men därvid riskerar man att betongtemperaturen sänks så pass att effekten av strålningsvärmen kraftigt reduceras.

b) Exempel på beräkningar med Jonassons metod /5/.



Utetemperatur –7,5°C
Vindstilla < 2 m/s
Högvärdig täckning 1 tim efter gjutning
Betong 16 cm
Plywoodform, oisolerad
Betongtemperatur +15°C
Strålningsvärmning
Verkningsgrad 33%
Intäckning under bjälklaget





- Strålningsvärmare ger kraftiga temperaturskillnader över betongtvärsnittet. Detta gäller i särskilt hög grad när överytan är bristfälligt isolerad.

  Temperaturskillnaderna kan leda till sprickbildning i två skeden:

  Skede 1: Under uppvärmningsfasen när temperaturen ökar snabbt i underkanten av bjälklaget. Dragspänningar uppstår då i betongens mittparti eller i ena kanten beroende på bjälklagets inspänningsförhållanden.

  Skede 2: Under avsvalningen ner till omgivande temperatur. Dragspänningar uppstår då antingen i bägge ytpartierna eller enbart i undre partiet.

Fördelar

Strålningsvärmning i kombination med högvärdig täckning är en metod som ger snabb temperaturstegring och hållfasthetstillväxt i betongen.

Risken för frysskador och formrivningsskador blir liten.

Nackdelar

Strålningsvärmning ger stora temperaturdifferenser över tvärsnittet och därmed risk för sprickbildning i betongens inre eller i dess ytor.

Strålningsvärmning ger lätt så höga betongtemperaturer (30–70°C) att avsevärda hållfasthetsförluster uppkommer. Detta kan dock kompenseras med en höjning av betongens hållfasthetsklass.

En alltför tidig start av strålningsvärmen innebär stor risk för värmehärdningsskador. Betongen måste förhärdas innan värmningen startar. Därvid riskeras dock kraftig avkylning av betongmassan.

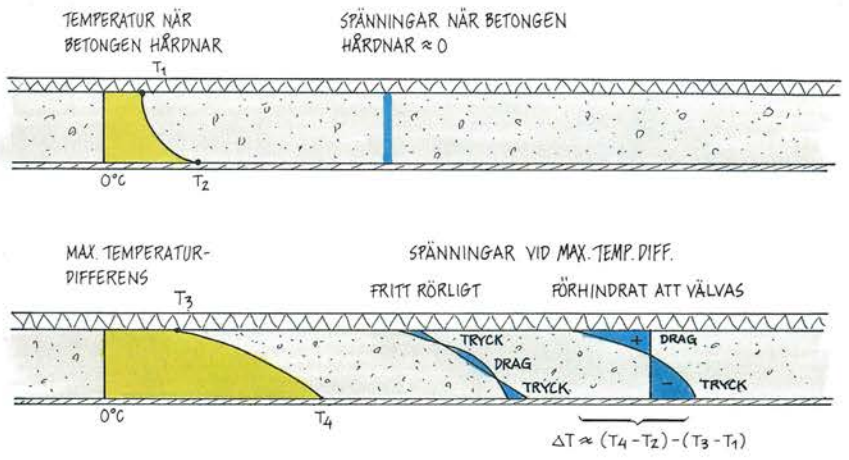
Effekten av strålningsvärme på betongens beständighet är outredd.

Metoden kräver extra installationsarbete.

Utrymmet under bjälklaget måste täckas in noggrannt.

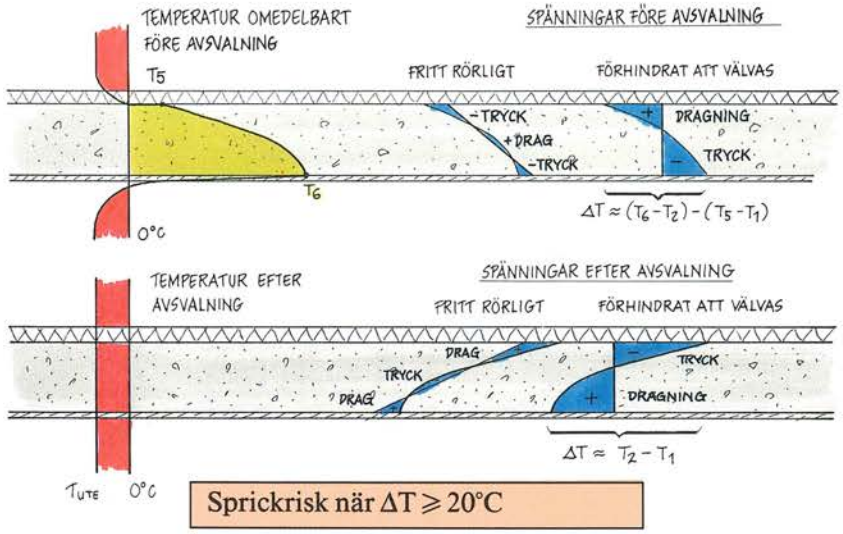
Brandrisk föreligger.

c) Sprickbildning under betongens hårdnande – schematiskt.



Sprickrisk när $\Delta T \geq 20°C$

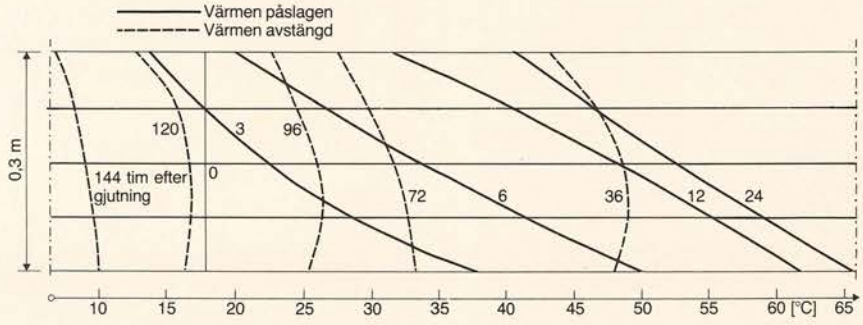
d) Ytsprickbildning efter avsvalning – schematiskt.



Sprickrisk när $\Delta T \geq 20°C$

OBS! Om formrivning sker så tidigt att stora temperaturgradienter finns över tvärsnittet kan ytorna krackelera. Villkoret för detta visas på sidan 52.

e) Mätning av temperaturgradienter över ett strålningsvärmt bjälklag. Nilsson /11/.



Antag att betongen tillstyvnar efter 3 tim. Max temperaturdifferens inträffar efter 12 tim. Då gäller

Före avsvalning

$\Delta T \approx (62-37)-(32-14)=7°C$ (inga sprickor)

Efter avsvalning

$\Delta T \approx 37-14=23°C$ (viss sprickrisk)

OBS! Temperaturen är så hög kort tid efter gjutningen att en avsevärd risk för värmehärdningssprickor föreligger.

Dessutom är temperaturen i underytan så hög (+65°C) att sluthållfastheten torde minskas.

ALTERNATIVT – BJÄLKLAGSUPPVÄRMNING MED INGJUTNA VÄRMETRÅDAR

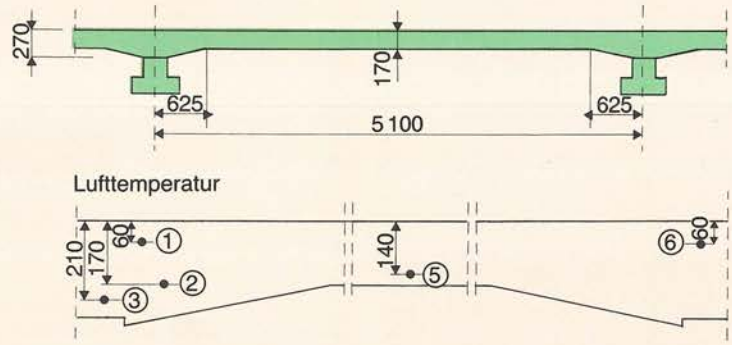
Värmetråden kan bestå av en ca 2 mm plastingjuten järntråd som kan najas fast i underkantsarmeringen med c/c-avstånd av storleksordningen 250 mm.

Installerad effekt är ofta av storleksordningen 100–300 W/m^2. Lämplig effekt beräknas teoretiskt eller ställs in på basis av fortlöpande mätning av den aktuella betongtemperaturen.

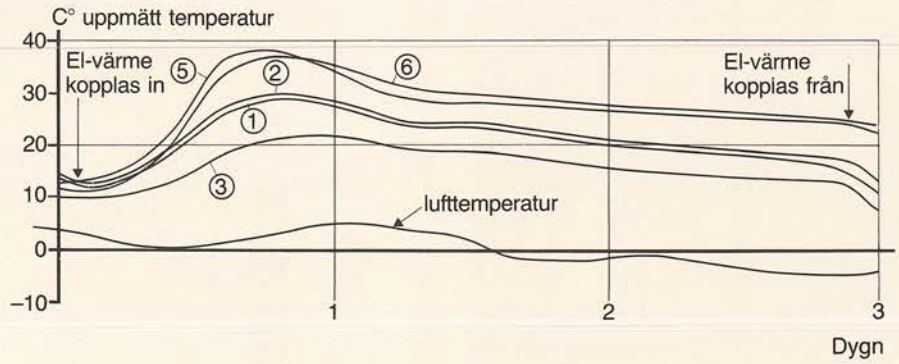
Metodens praktiska användning har beskrivits av Nilsson /14/.

a) Värmning med ingjutna värmetrådar. Fältobservationer av Nilsson /14/.

17 cm betongbjälklag K35
Gjuttemperatur 14°C
Direkt täckning med 10 mm expanderad polyeten
12 mm oisolerad plywoodform
Tillförd effekt 140 W/m^2 genom värmetråd c/c 230 mm



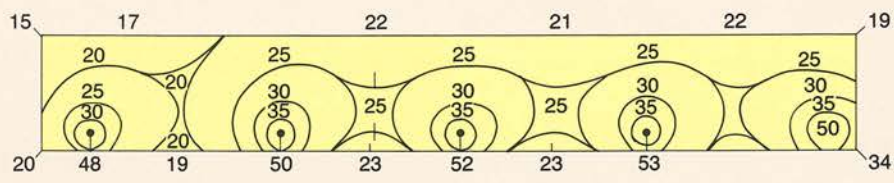
- Värmetillförsel genom ingjutna värmetrådar kombinerad med högvärdig täckning av betongöverytan möjliggör en snabb härdning av betongen.



b) Uppmätt temperaturfördelning i en platta uppvärmd med värmetråd. Nikkanen /15/.

Tillförd effekt 270 W/m^2
Plattjocklek 15 cm
Täckningens värmeledningstal motsvarar 10 mm expanderad polyeten
20 mm träform

- Temperaturstegringen kan bli hög lokalt runt trådarna men i övrigt blir temperaturdifferenserna över tvärsnittet små och betongtemperaturen inte alltför hög om en noggrann övervakning sker.

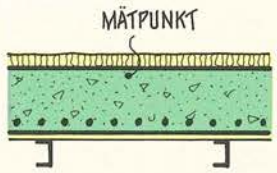


- I kombination med höjd betongkvalitet ger även små tillförda värmemängder mycket stor effekt.

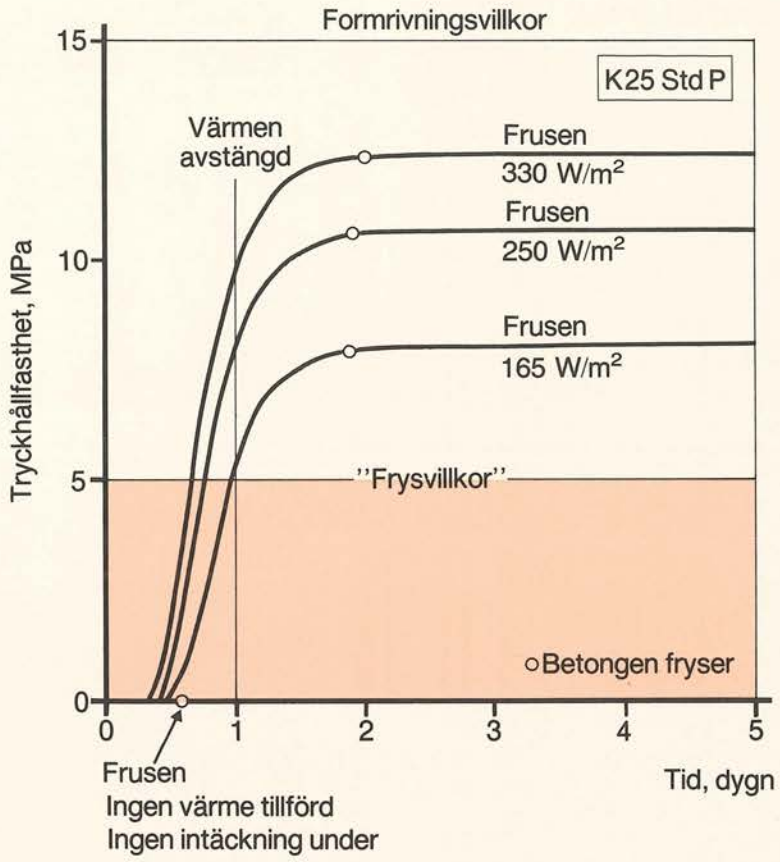
Fördelar
Värmning genom ingjutna eltrådar kombinerad med högvärdig täckning är en metod som ger en god hållfasthetstillväxt. Vid en riktig styrning av värmetillförseln blir risken för frysskador och formrivningsskador liten.

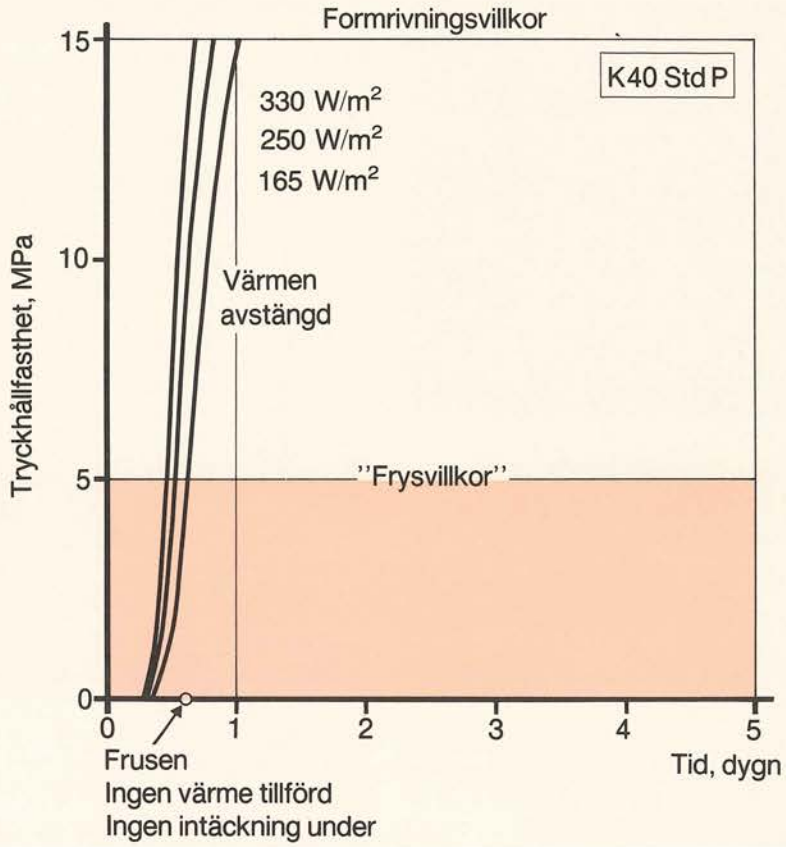
Nackdelar
Metoden kräver rätt stort installationsarbete.
Effekttillförseln måste övervakas så att inte alltför höga betongtemperaturer uppkommer. Detta bör kunna ske med hjälp av en automatiserad reglering baserad på fortlöpande mätning av betongtemperaturen. Tillförlitliga sådana automatiska regleringssystem bör utvecklas.

c) Exempel på beräkningar med Jonassons metod /5/.

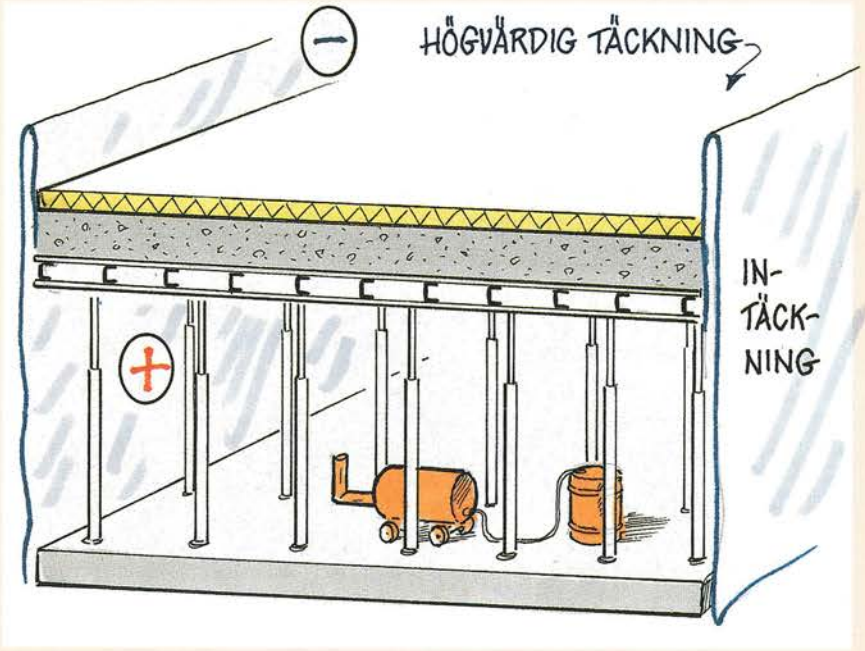


Utetemperatur –7,5°C
Vindstilla <2 m/s
Högvärdig täckning 1 tim efter gjutning
Betong 16 cm
Gjuttemperatur +15°C
Oisolerad plywoodform

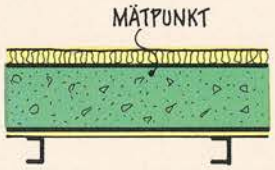




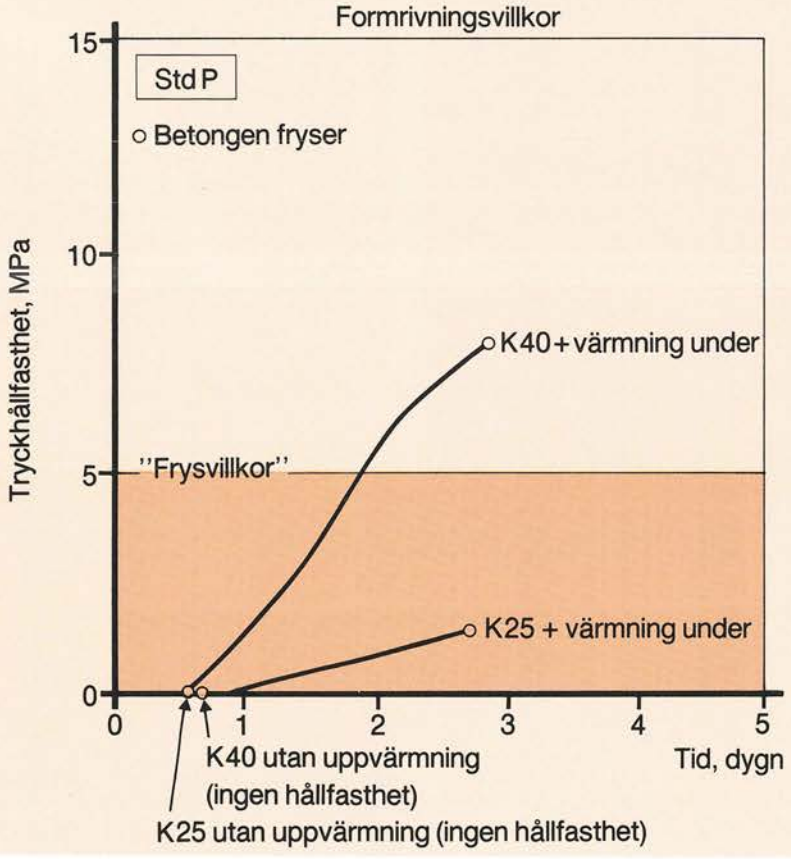
ALTERNATIVT – VÄRMNING UNDER BJÄLKLAG MED BYGGTORK



Exempel på beräkningar med Jonassons metod /5/.



Utetemperatur –7,5°C
Vindstilla < 2 m/s
Högvärdig täckning 1 tim efter gjutning
Betong 16 cm
Gjuttemperatur +15°C
Oisolerad plywoodform
Värmning med byggtork
Lufttemperatur vid underytan +2,5°C (10°C högre än överytan)

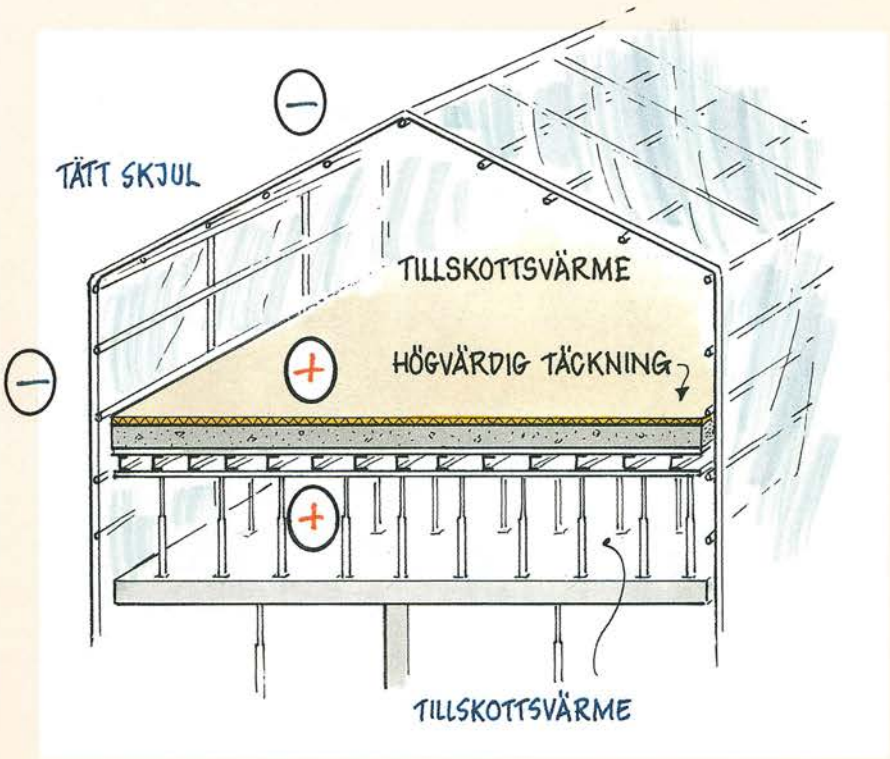


Fördelar
Metoden är förhållandevis enkel och väl beprövad. Vid tillräckligt stor värmetillförsel, god intäckning och väl isolerad betongöveryta fås ofta goda resultat.

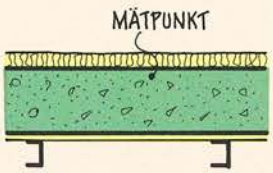
Nackdelar
Metoden är mycket energikrävande och därmed dyrbar. Ett omfattande intäckningsarbete erfordras. Erforderlig värmetillförsel kan ibland vara svårbedömd och svårreglerad.

OBS! Betongöverytan måste täckas högvärdigt kort tid efter gjutning.

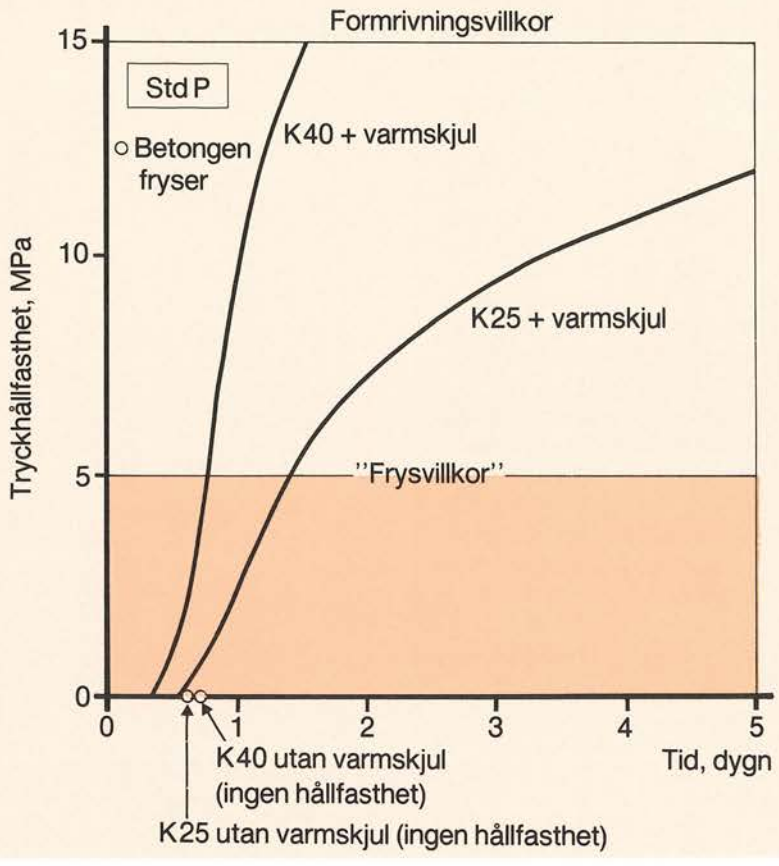
ALTERNATIVT – VARMSKJUL



Exempel på beräkningar med Jonassons metod /5/.



Utetemperatur –7,5°C
Varmskjul +7,5°C
Högvärdig täckning 1 tim efter gjutning
Betong 16 cm
Gjuttemperatur +15°C
Oisolerad plywoodform



Fördelar
Ett tätt varmskjul är en mycket god metod eftersom den i bästa fall motsvarar bygge under vår- eller höstförhållanden. Vissa kompletterande vinterbetongåtgärder kan ibland behövas såsom högvärdig täckning, höjd betongkvalitet, SH-cement, någorlunda varm betong.
Övriga positiva effekter är en bra arbetsmiljö, minskat behov av snöskottning etc.

Nackdelar
Metoden är förmodligen mera kostsam än andra metoder.

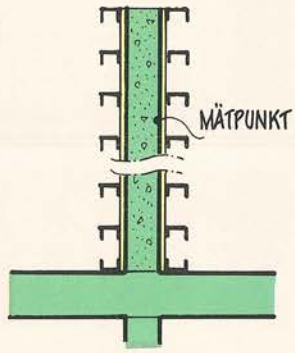
ALTERNATIVT – HÖJD GJUTTEMPERATUR UPP TILL +30°C

Enligt BBK 79 är högsta generellt tillåtna betongtemperatur omedelbart efter blandning +30°C. (Vid kort tid mellan tillverkning och gjutning accepteras +40°C. Med "kort tid" avses enligt BBK de tidrymder som är aktuella vid elementtillverkning och torde sällan förekomma vid platsbygge.)

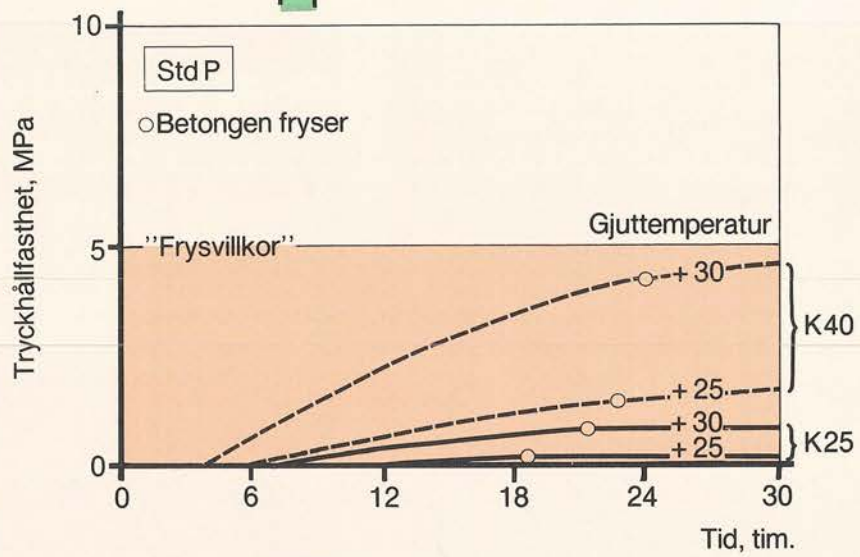
OBS! Om temperaturförlusten under transport och gjutning är +5°C blir högsta tillåtna **gjut**temperatur +25°C, etc.

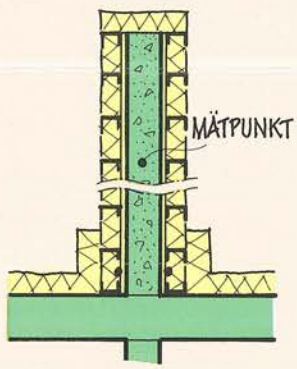
- Vid oisolerade formar räcker inte höjd betongtemperatur.
- Höjning av gjuttemperaturen förutsätter väl isolerade formar för att vara effektiv.

Exempel på beräknade kurvor enligt Jonassons metod /5/.



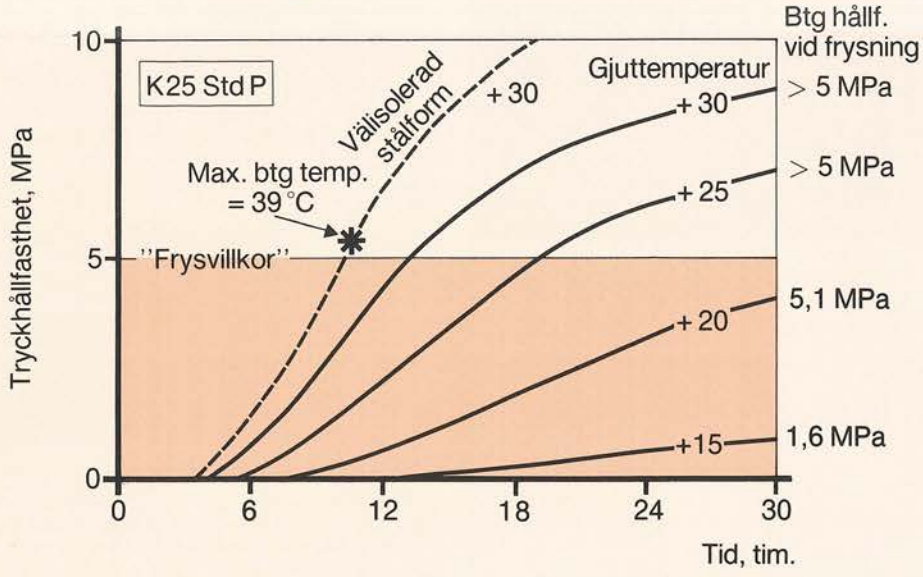
Betong 16 cm
Oisolerad plywood
Utetemperatur –7,5°C
Vindstilla <2 m/s





Betong 16 cm
Normalisolerad stål
Utetemperatur –7,5°C
Vindstilla <2 m/s

- Höjning av gjuttemperaturen i kombination med god isolering av formarna och högvärdig täckning av överytor medför att
  - * Värmeutvecklingen och därmed hållfasthetstillväxten sker snabbare varför risken för frysskador och formrivningsskador minskar.
  - * Tillstyvnadstiden förkortas varför färdigbehandling av golv kan ske tidigare.



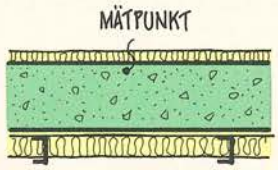
Vid betongtemperaturer som ej överstiger +30°C får man maximalt en ca 10-procentig minskning av 28-dygnshållfastheten. Detta kan i normalfallet accepteras /16/.

Vid användning av 30-gradig betong i välisolerade formar kan betongtemperaturer över +40°C uppnås. Hänsyn bör då tas till de hållfasthetsförluster som kan uppstå, se nästa avsnitt.

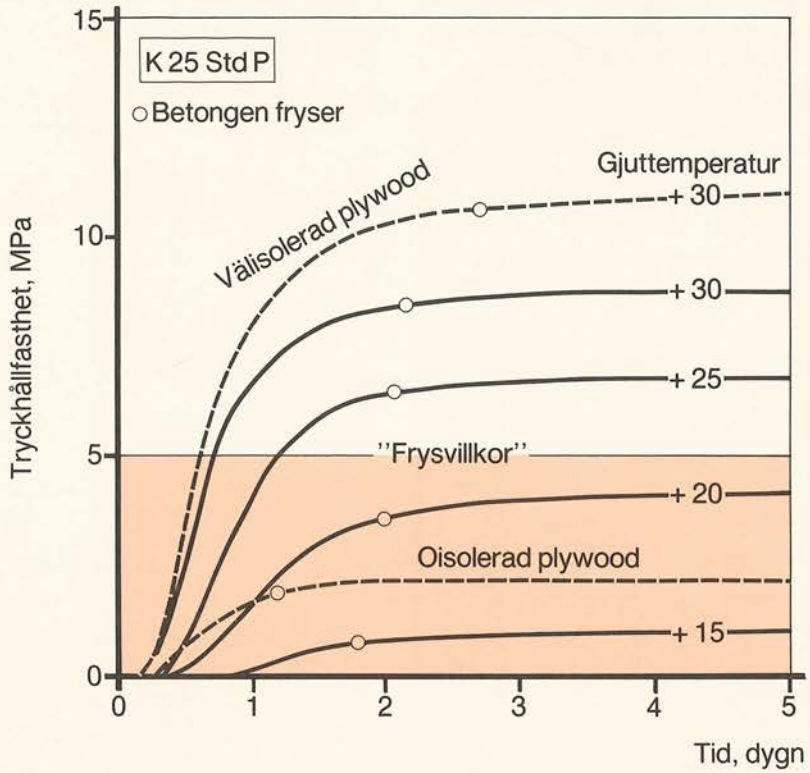
Fördelar
Höjning av gjuttemperaturen upp till max +30°C i kombination med välisolerade formar och täckta betongytor är en rationell metod att öka säkerheten vid vintergjutningar. Metoden kombineras lämpligen med en höjning av betonghållfastheten med någon hållfasthetsklass.
Inga extra installationer på byggplatsen erfordras.

Nackdelar
En viss permanent hållfasthetsförlust kan förväntas när betongtemperaturen under längre tid ligger mellan +30 och +40°C. Detta kan kompenseras genom höjning av betongkvaliteten med 1 hållfasthetsklass.
Betongen måste skyddas mot avkylning under transport och hantering på byggplatsen för att bästa effekt skall kunna uppnås. I normalfallet innebär temperaturförlusten att gjuttemperaturer över +25°C inte är aktuella.

OBS! Hög betongtemperatur kan medföra att betongens konsistens och bearbetbarhet minskar kraftigt under transporten.



Betong 16 cm
Normalisolerad plywood
Ingen värmetillförsel
Högvärdig täckning 1 tim efter gjutning
Utetemperatur −7,5°C
Vindstilla < 2 m/s



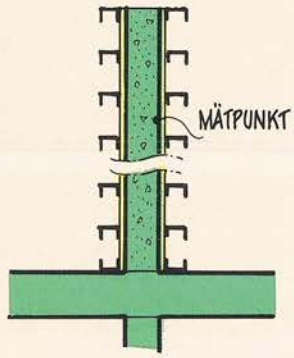
ALTERNATIVT – ”HETBETONG” – BETONGTEMPERATUR ÖVER +30°C

Enligt BBK 79 är högsta generellt tillåtna betongtemperatur omedelbart efter blandning +30°C. Temperaturer upp till +40°C tillåts under förutsättning att det är kort tid mellan blandning och gjutning. Som exempel nämns i BBK elementtillverkning. Vid övrig användning av betongtemperatur över +30°C och generellt vid betongtemperaturer över +40°C krävs tillstånd av statlig myndighet.

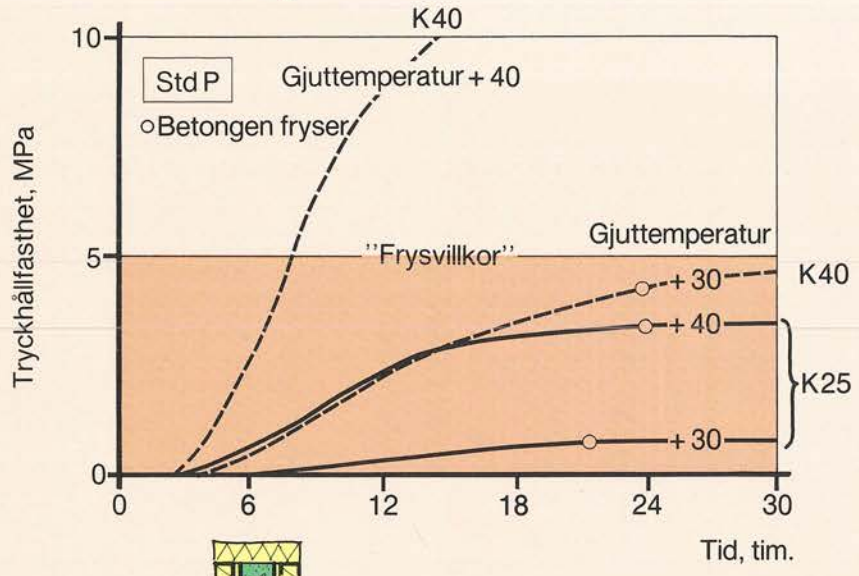
- Vid låg betongkvalitet och oisolerade formar räcker inte ens hetbetong.

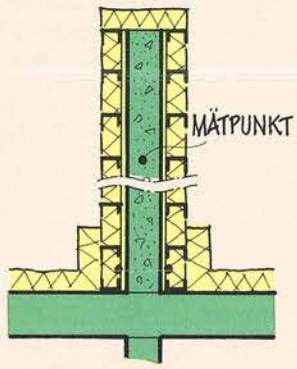
- Hetbetong medför en snabb värmeutveckling och hållfasthetsstegring under det första dygnet. För att ge tillräcklig effekt måste hetbetong kombineras med väl isolerade formar och högvärdig täckning.
- Hetbetong ger därför goda möjligheter till tidig rivning av väggformar.

a) Exempel på beräknade hållfasthetskurvor enligt Jonassons metod /5/.

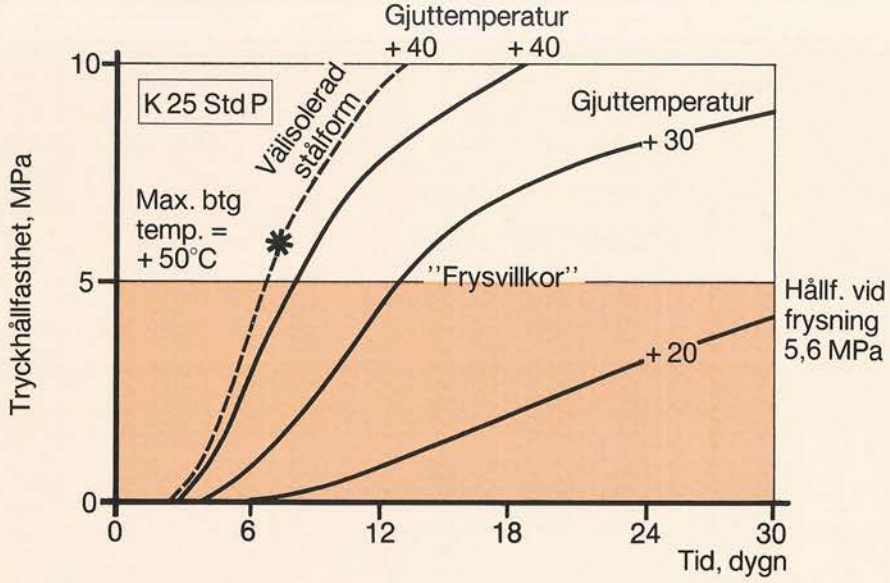


Betong 16 cm
Oisolerad plywood
Utetemperatur –7,5°C
Vindstilla < 2 m/s

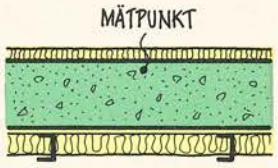




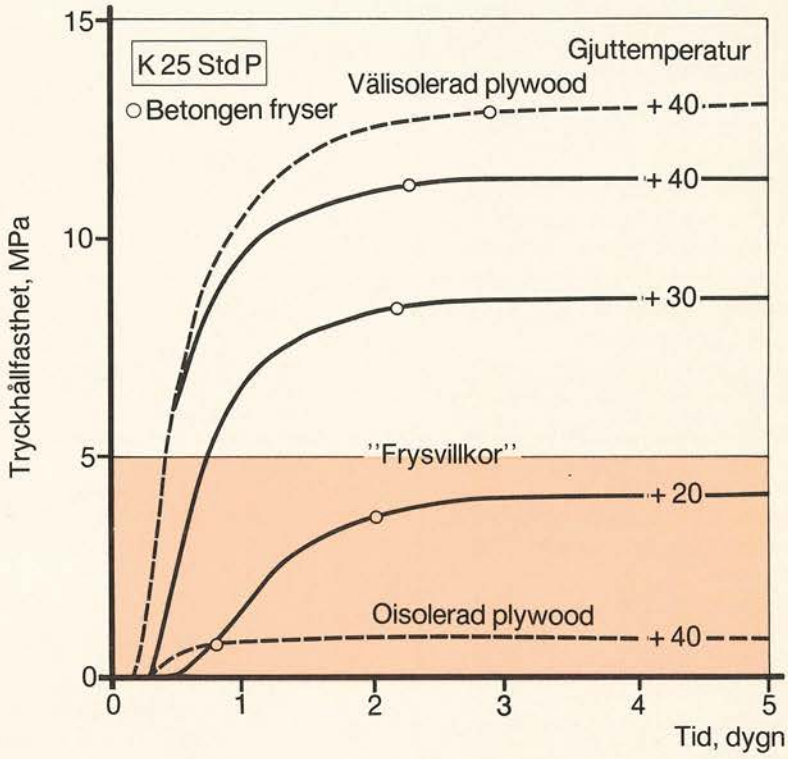
Betong 16 cm
Normalisolerad stål
Utetemperatur –7,5°C
Vindstilla < 2 m/s



- Hetbetong ger också möjlighet till tidig färdigbehandling av golv och tidig rivning av bjälklagsformar.



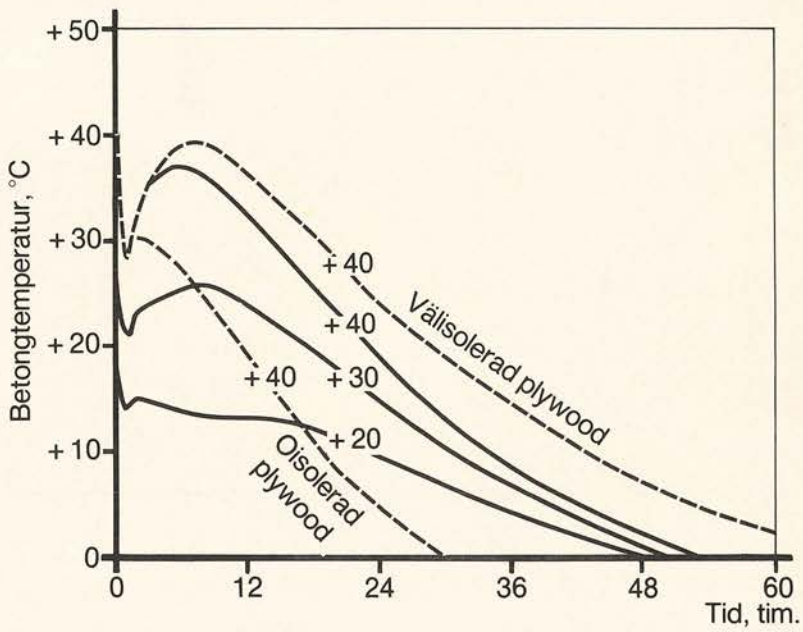
Betong 16 cm
Normalisolerad plywood
Ingen värmetillförsel
Högvärdig täckning 1 tim efter gjutning
Utetemperatur –7,5°C
Vindstilla < 2 m/s



b) Exempel på beräknade temperaturkurvor enligt Jonassons metod /5/.

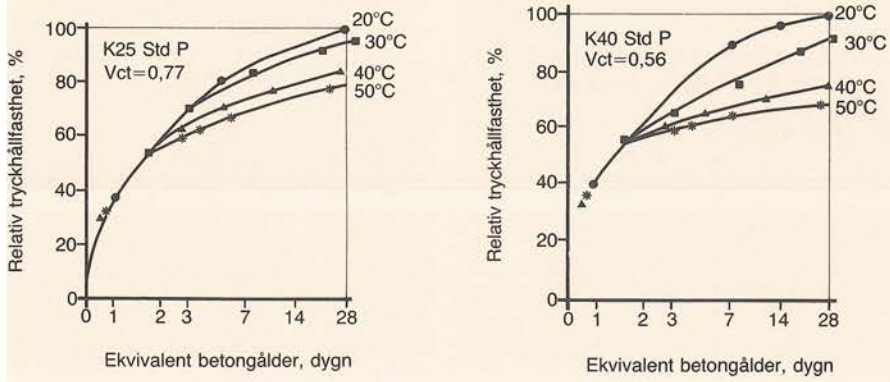
Bjälklaget enligt ovan

- Hetbetong använd i väl isolerade formar kommer att ha en hög temperatur under relativt lång tid.



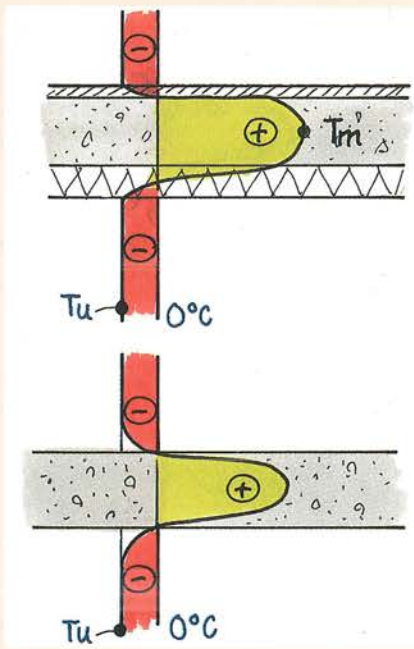
- Hetbetong medför i normalfallet en minskning av 28-dygnshållfastheten. Hållfasthetsförluster av storleksordningen 15% för en K25 och 25% för en K40 har uppmätts vid betongtemperaturen +40°C. Vid +50°C är hållfasthetsförlusten ännu större – ca 20% respektive 30%.
- Hållfasthetsförlusten måste kompenseras med en höjning av betongkvaliteten med 1 eller 2 hållfasthetsklasser.
- Orsaken till hållfasthetsförlusten vid härdning i hög temperatur är inte klarlagd. Tänkbara orsaker är
  * grövre struktur hos cementets reaktionsprodukter – grövre kristaller, grövre porer
  * inre mikrosprickbildning på grund av ogynnsammare mikrostruktur eller förorsakad av avkylning från den höga temperaturen
  * ogynnsamma reaktioner mellan cementklinkern och gipsen i cementet
- Inverkan av den höga härdningstemperaturen på betongens långtidsegenskaper, t ex beständigheten, är bristfälligt klarlagd.
- Den höga betongtemperaturen medför stor risk för kraftig ytsprickbildning i samband med en tidig avformning. För att minska sprickrisken bör formen och täckningen vara kvar längre tid än vad som erfordras ur hållfasthetssynpunkt.

c) Exempel på hållfasthetskurvor hos betong som härdats i vatten vid olika temperaturer. Mätningar av Jonasson /17/.



(Med "ekvivalent härdningsålder" avses den ålder som enligt vanliga mognadsgradsberäkningar skulle gälla om temperaturen hela tiden varit +20°C; se avsnittet "MÄTNING AV FORMRIVNINGSHÅLLFASTHETEN" nedan).

d) Ytsprickbildningrisk vid formrivning enligt Buö /18/.



Temperaturfördelning omedelbart före formrivning

Temperaturfördelning "omedelbart" efter formrivning

Risk för ytsprickor föreligger normalt när

$$T_m - T_u > 21\left(1+\frac{1}{2{,}5\cdot t}\right)$$

där t = plattjockleken i meter.

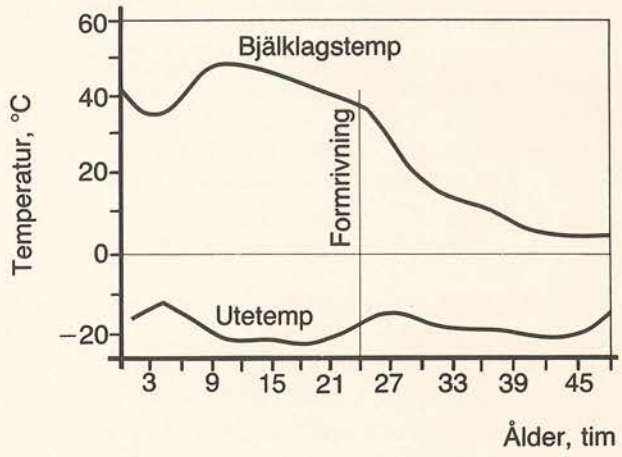
Exempelvis; vid en plattjocklek av 20 cm kan enbart en temperaturdifferens av ca 60°C mellan plattmitt och utetemperatur accepteras i samband med avformningen.
Vid kraftig blåst sker sprickbildning redan vid lägre temperaturskillnader.

Fördelar
Hetbetong i kombination med väl isolerade formar och högvärdig täckning medger en tidig färdigbehandling av betongytor och en tidig och säker formrivning.
Inga extra installationer erfordras på byggplatsen.

Nackdelar
Hetbetong ger normalt en påtaglig hållfasthetsminskning som måste kompenseras genom en kvalitetshöjning motsvarande ca 2 hållfasthetsklasser.
Inverkan på betongens beständighet och övriga långtidsegenskaper är osäker. Hetbetong bör därför inte användas för utomhuskonstruktioner eller för konstruktioner i aggressiv miljö.
Risken för sprickbildning i samband med avformning är stor. Ofta kan därför inte möjligheten till snabb avformning utnyttjas fullt ut.
Betongens tillstyvnadstid är mycket kort och ofta svårstyrd. Bearbetbarheten minskar dessutom snabbt. Ofta krävs därför tillsats av retarder.

e) Exempel på temperaturmätningar i ett hetbetongbjälklag som sprack; Nordfelth m fl /9/.

Gjuttemperatur ca +40 à 45°C
Normalisolerad form
Högvärdig täckning
Avformning efter 24 tim



Temperaturdifferensen mellan betong och uteluft var ca 60°C i samband med avformningen. Risken för sprickbildning var därför mycket stor.

SAMMANFATTNING AV VINTERBETONGÅTGÄRDER

Obligatoriska åtgärder

(Erfordras alltid oavsett vilka alternativa åtgärder man väljer.)

- Betongmassan måste gjutas snabbt efter ankomsten till bygget.
- Bjälklag måste snabbt efter gjutning täckas med värmeisolerande material.
- Pelar- och väggformar måste vara värmeisolerade. (Gäller även vid varm eller het betong).
- Underdelen av väggar och pelare måste värmas.
- Vägg- och pelartoppar måste värmeisoleras.
- Fria bjälklagskanter måste värmeisoleras och helst värmas.
- Retarderande tillsatsmedel skall undvikas.
- Mineraliska tillsatsmaterial (silikastoft och flygaska) skall undvikas.

Alternativa åtgärder

- Höjd betongkvalitet
- Övergång till SH-cement
- Välisolerade vägg- och pelarformar
- Värmeisolerade bjälklagsformar
- Accelererande tillsatsmedel
- Strålningsvärmare
- Ingjutna värmetrådar
- Värmning med byggtork
- Varmskjul
- "Varmbetong" – höjd betongtemperatur upp till +30°C
- "Hetbetong" – höjd betongtemperatur över +30°C

(I flertalet fall erfordras två eller flera alternativa åtgärder samtidigt – t ex höjd betongkvalitet i ett bjälklag eller övergång till SH-cement i ett bjälklag måste ofta kombineras med isolering av formen.)

Vid valet av metod måste man ta hänsyn inte bara till byggkostnaden utan också till metodens inverkan på den färdiga byggnadens kvalitet.

Temperatur- och hållfasthetstillväxt måste mätas på farligaste ställe.

KAPITEL 4

Mätning av form-rivningshållfastheten

CITAT UR BBK 79, utgåva 2 (paragraf 8.5)

"Formrivning skall utföras enligt bygghandling och i övrigt så att konstruktionen inte överbelastas eller skadligt deformeras.

Ansvarig arbetsledare bör före formrivning förvissa sig om att betongen uppnått erforderlig hållfasthet. Hållfastheten får uppskattas med hjälp av diagram över hållfasthetstillväxten vid förevarande betongsammansättning och temperaturförhållanden.

Om erforderlig betonghållfasthet vid formrivning inte anges i bygghandling bör normalt tryckhållfastheten vid rivning av bärande form vara minst 70% av fordrad hållfasthet och vid vertikal eller icke bärande form minst 6 MPa."

CITAT UR BBK 79, utgåva 2 (paragraf 8.4.2.4)

"Skydd mot frysning fordras till dess att betongen uppnått en tryckhållfasthet av 5 MPa."

I kapitlet "SKADOR – PROBLEM" ovan visas att dessa hållfasthetsnivåer är rimliga. En viss reduktion kan dock ibland göras utan större risk för skador. Hållfastheten bör emellertid aldrig understiga (12 à) 15 MPa resp 4 MPa vid bärande form respektive vertikal eller icke bärande form.

Den ansvarige arbetsledaren måste alltså enligt BBK se till att betonghållfastheten mäts medan betongen fortfarande befinner sig i formen.

Hållfasthetsmätningarna måste ske i "de farligaste snitten" dvs i

- de punkter av konstruktionen där sannolikheten för tidiga frysskador är som högst. Detta är de punkter där betongtemperaturen under härdningsförloppet förväntas vara lägst.
- de punkter (snitt) som blir mest belastade i samband med formrivning och som därför avgör risken för formrivningsskador. Dessa punkter är underdelen hos väggar och pelare samt i fältmitt och över upplag hos bjälklag.

OBS! Frusen betong kan ha en avsevärd hållfasthet, som sedan försvinner vid upptining. Hänsyn måste tas till detta vid alla metoder som mäter hållfastheten direkt. Vid mognadsgradsmätning undviks detta problem.

ÖVERSIKT ÖVER MÄTMETODER

Metod	Fördelar	Nackdelar
Mognadsgrad – Mognadsålder (Ej standardiserad)	• Lätt att mäta i alla punkter av konstruktionen; även sådana som är täckta av formen. • Liten arbetsinsats om automatiska mätare används. • Tillförlitliga resultat när riktig tendenskurva används. • Ingen efterlagning krävs.	• Mätningen är indirekt, dvs man mäter inte hållfasthet. • Osäkerheten i metoden ökar starkt med ökande betongtemperatur (>+30°C) och ökad betongålder. • Kurvor över hållfasthetstillväxten (tendenskurvor) måste vara kända för den aktuella betongen. • Mätpunkterna måste utväljas redan vid gjutningen.
Brytprov (BO-test) (Metod SS 13 72 39)	• Direkt hållfasthetstest. • Relativt tillförlitliga resultat vid alla hållfasthetsnivåer. • Liten arbetsinsats om mätpunkterna arrangeras redan vid gjutningen. • Kompletteringar av mätpunkter kan göras efteråt. Borrning erfordras då.	• Svårt att mäta i punkter som är täckta av formen. Håltagning i form erfordras. • Mätpunkterna måste utväljas redan vid gjutningen om borrning skall kunna undvikas. • Efterlagning erfordras.
Utdragsprov (LOK-test) (Metod SS 13 72 38)	• Direkt hållfasthetstest. • Liten arbetsinsats.	• Stor resultatspridning gör mätningar vid låg hållfasthet osäkra. • Svårt att mäta i punkter som är täckta av formen. Håltagning i formen erfordras. • Mätpunkterna måste utväljas redan vid gjutningen. • Viss efterlagning erfordras.
Studsvärde (Metoder SS 13 72 37 och SS 13 72 50)	• Liten arbetsinsats. • Enkel metod. • Mätpunkten kan väljas fritt (dock ej i formtäckta ytor).	• Mycker osäker metod framför allt vid låg hållfasthetsnivå. • Omöjligt att mäta i punkter som är täckta av formen. • Ojämna betongytor måste slipas av före mätningen. • Karbonatisering stör mätvärdet.
Ultraljudhastighet (Metod SS 13 72 40)	• Mätpunkten kan väljas fritt.	• Mycket osäker metod. • Dyrbar utrustning. • Håltagning i form är en förutsättning för mätning. • Metoden kräver stor erfarenhet hos operatören.
Kombinerad mätning av ultraljud och studsvärde (Metod SS 13 72 52)	I övrigt se metoderna "Studsvärde" och "Ultraljudhastighet" ovan.	• Osäker metod framför allt vid låga hållfasthetsnivåer. Dock säkrare än studsvärde och ultraljudhastighet var för sig.

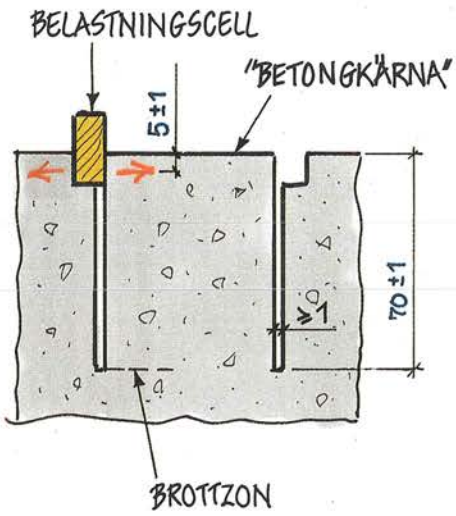
De tre första metoderna beskrivs mera utförligt nedan.

BRYTPROV (”BO-TEST”)

Metoden beskrivs i Svensk Standard SS 13 72 39

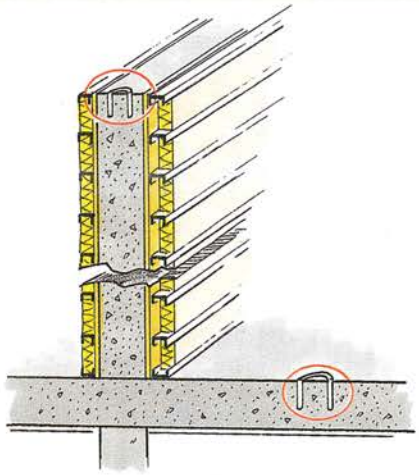
Mätprincip:
Metoden innebär att man bryter av en cylindrisk ”betongkärna” som frilagts genom borrning i den hårdnade betongen eller genom ursparing i den färska betongen. Den erforderliga brytkraften är ett mått på betongens tryckhållfasthet.

Mätprincip

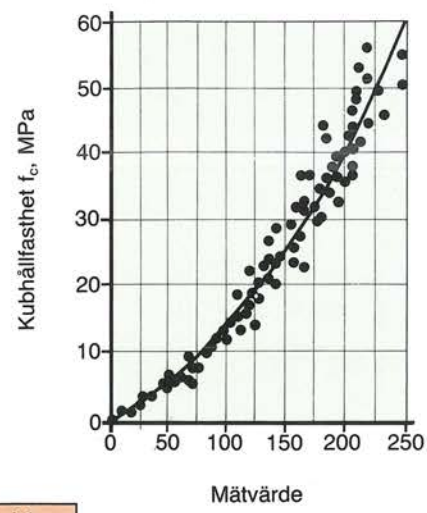


Mätning utförs

Lätt åtkomliga mätpunkter



Kurva för uppskattning av tryckhållfasthet. Johansen /19/.



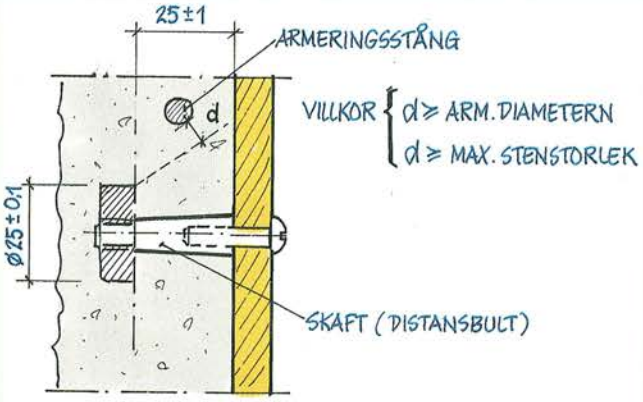
- Metoden ger tämligen låg spridning.
- Metoden lämpar sig även för låga betonghållfastheter.
- Vid frusen betong överskattas hållfastheten.

UTDRAGSPROV ("LOKTEST")

Metoden beskrivs i Svensk Standard SS 13 72 38

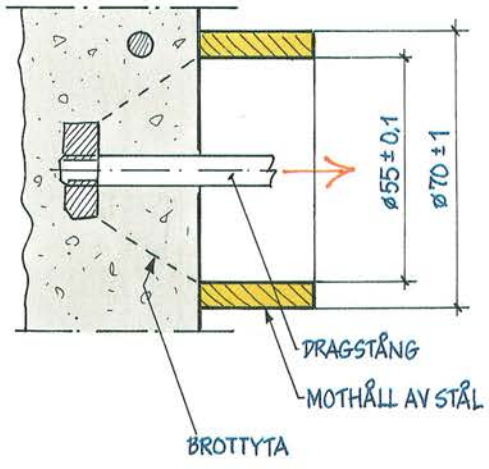
Mätprincip:
Metoden innebär att man drar ut en stålplatta som gjutits in på 25 mm djup i betongens ytskikt. Den erforderliga dragkraften är ett mått på betongens tryckhållfasthet.

Montering i formen

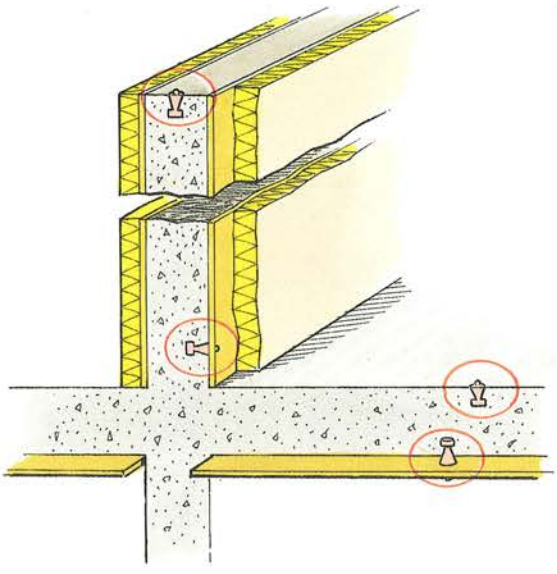


Villkor: d ≥ armeringsdiameter
d ≥ max stenstorlek

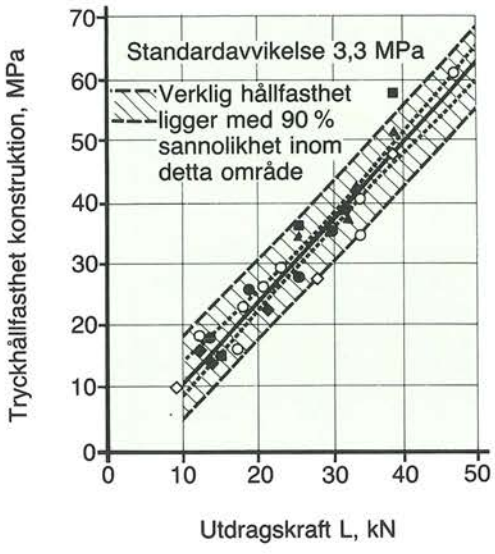
Testning



Exempel på placeringen av utdragsprover



Samband mellan utdragskraft och kubhållfasthet. Bellander /29/.



OBS 1! Spridningen är stor.
OBS 2! Metoden oprövad vid riktigt låga hållfasthetsnivåer.

MOGNADSGRAD – MOGNADSÅLDER PRINCIP*

Mätprincip:

Metoden innebär att man fortlöpande mäter betongtemperaturen i det aktuella snittet. Ur mätdata beräknas en mognadsgrad eller en mognadsålder. Man förutsätter sedan att en och samma betong har samma hållfasthet vid samma mognadsgrad eller mognadsålder oavsett hur denna har uppnåtts; det kan ha skett genom lång tid vid låg temperatur eller genom kort tid vid hög temperatur.

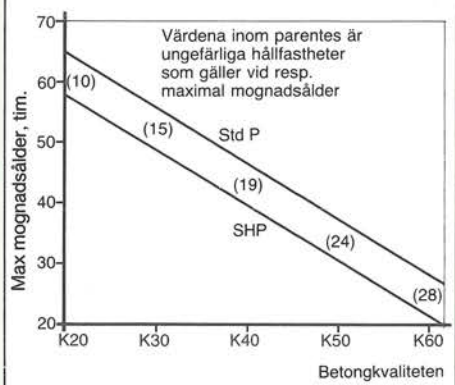
Metoden förutsätter också att sambandet mellan hållfasthet och mognadsgrad (mognadsålder) för den aktuella betongen är känt.

OBS!

Mognadsmetoden blir otillförlitlig när betongtemperaturen överstiger ca +30°C samtidigt som mättiden är alltför lång.

Metoden kan emellertid användas ända upp till betongtemperaturen +40°C i medeltal under hela mättiden förutsatt att mognadsåldern begränsas uppåt till de värden som anges i figuren nedan.

Detta innebär att de högsta mätbara hållfastheterna blir ca 13 MPa hos en K25 och ca 20 MPa hos en K40.

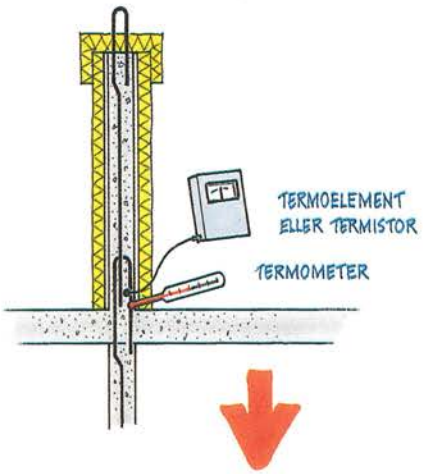


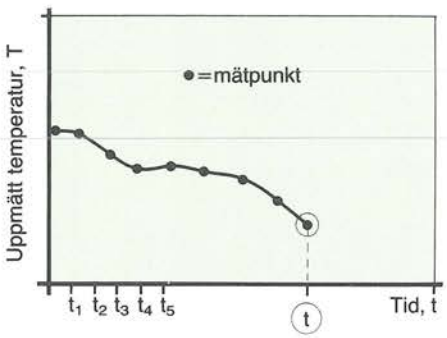
När betongtemperaturen understiger 20 à 25°C behöver inga begränsningar i användningen av mognadsålder göras såvida inte betongåldern blir mycket hög (av storleksordningen 14 d eller mer).

* Här används begreppet mognads*grad* synonymt med TT-faktorn, se sidan 65. Mognads*åldern* definieras på sidan 61.

Alt 1

Fortlöpande avläsning eller registrering av betongtemperatur.

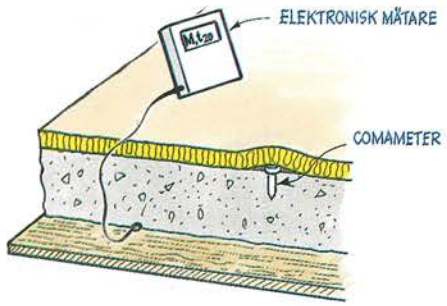




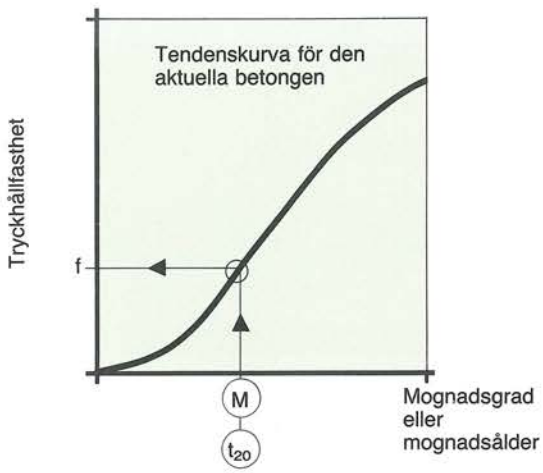
Beräkning ger mognadsgraden M eller mognadsåldern t_{20} vid den aktuella tiden t.

Alt 2

Automatisk mätning av aktuell mognadsgrad eller mognadsålder.



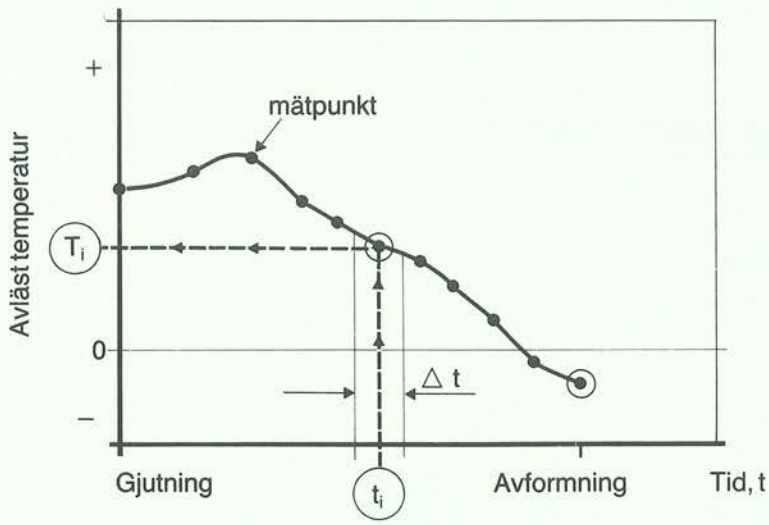
Direkt avläsning av mätaren ger mognadsgraden M eller mognadsåldern t_{20} vid den aktuella tiden t.



Alt 1: Fortlöpande mätning av betongtemperaturen

A: Temperaturkurvan för betongen.

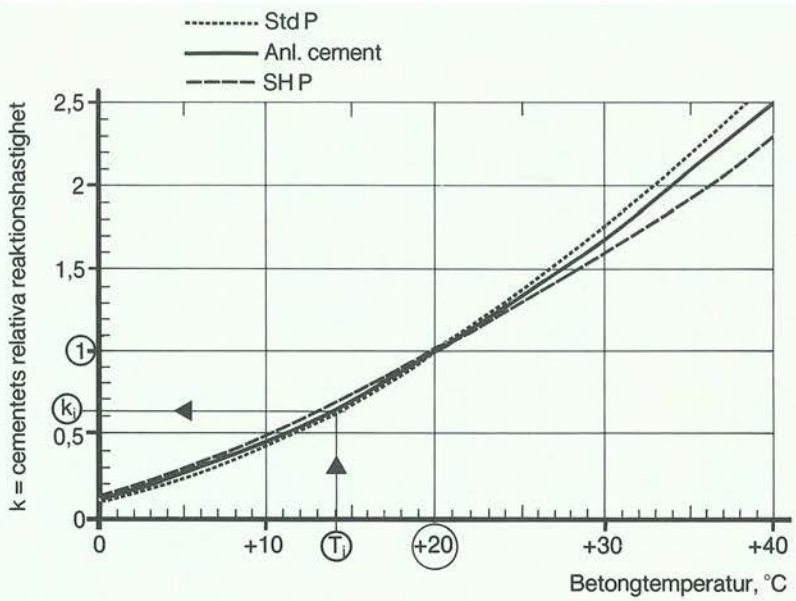
- Termometeravläsning.
- Avläsning av termoelement eller termistor.
- Automatisk registrering av temperaturen på en skrivare eller dylikt.



B: Cementreaktionens temperaturberoende

- Kurvorna intill är giltiga för svensktillverkade cement och är oberoende av vct.
- Kurvorna är osäkra när betongen innehåller silikastoft, flygaska eller tillsatsmedel som är accelererande eller retarderande.

(Mätningar vid LuTH /23/ /26/. Se även Bilaga 1.)



C: Beräkning av mognadsåldern t_{20}

Mognadsåldern t_{20} är den härdningstid som skulle ha erfordrats vid härdningstemperaturen +20°C för att hållfastheten skulle ha blivit exakt lika hög som den aktuella hållfastheten.

Tiden från gjutningen delas in i n stycken tidsintervall Δt, som är ca 3–6 tim långa. Under intervallet nummer i råder temperaturen T_i och därmed reaktionshastigheten k_i.

Mognadsåldern t_{20} fås genom summering av bidragen från varje tidsintervall.

$$t_{20} = \sum_{i}^{n} t_{20} = \Sigma k_i \cdot \Delta t$$

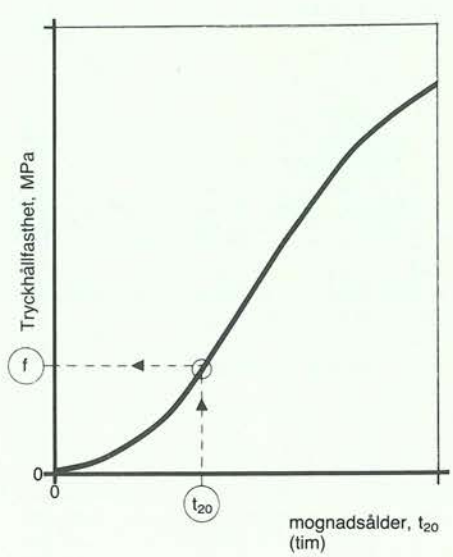
D: Bestämning av tryckhållfastheten

Den s k tendenskurvan, dvs hållfasthetskurvan för den aktuella betongen härdad vid +20°C, måste vara känd.

Genom att gå in med den aktuella mognadsåldern t_{20} i tendenskurvan fås den aktuella hållfastheten.

OBS! I princip bör varje betongfabrik bestämma tendenskurvor för just sina betonger.

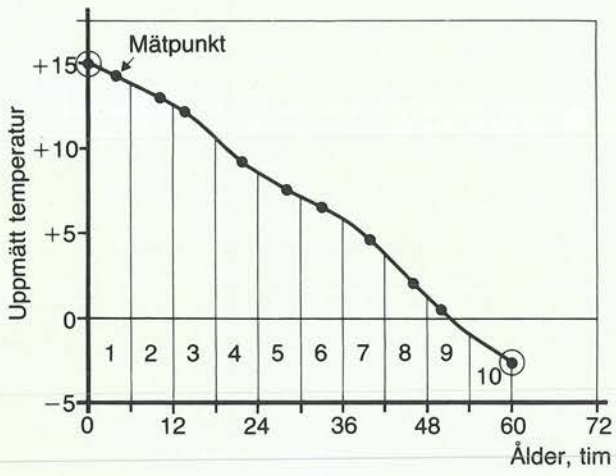
För betonger som saknar inblandning av silikastoft och flygaska eller som inte innehåller accelererande eller retarderande tillsatsmedel kan de generella tendenskurvor, som ges längre fram, användas.



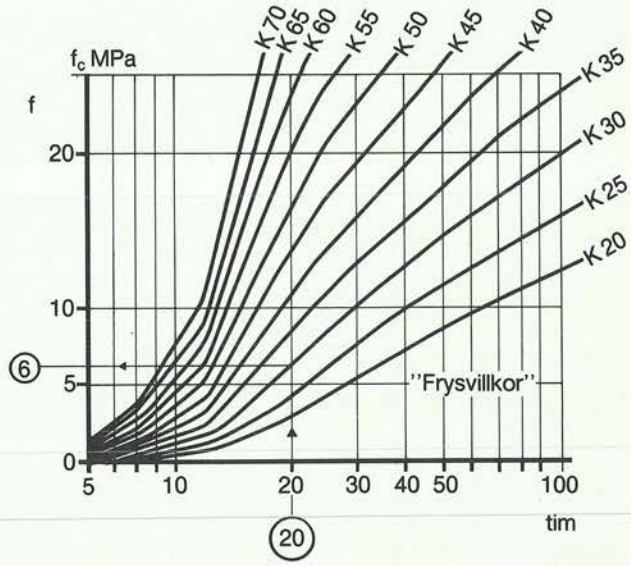
Exempel K30

Betongbjälklag K30, Std P
Formrivningskrav 15 MPa

a) Uppmätt temperaturkurva i farligaste snitt.



c) Bestämning av tryckhållfastheten.



b) Beräkning av mognadsåldern t_{20}.

Tidsintervall i	Medeltemperatur T_i	k_i	Bidraget $\Delta t = k_i \cdot \Delta_t i$
1: 0–6 tim	14,5	0,66	4,0 tim
2: 6–12 "	13,2	0,61	3,7
3: 12–18 "	12,0	0,54	3,2
4: 18–24 "	9,5	0,42	2,5
5: 24–30 "	8,0	0,35	2,1
6: 30–36 "	6,8	0,30	1,8
7: 36–42 "	5,0	0,23	1,4
8: 42–48 "	2,5	0,15	0,9
9: 48–54 "	0	0,09	0,5
10: 54–60 "	−2	0	0 OBS!
		t_{20}=	20 tim

Verklig ålder är 60 tim. Mognadsåldern är enbart 20 tim.

- Aktuell hållfasthet är enbart 6 MPa. För att klara formrivningskravet skulle en K45 ha erfordrats. (En K45 skulle nämligen ha gett en något högre betongtemperatur.) Det fordras en temperaturhöjning av min 10°C i genomsnitt för att den erforderliga mognadsåldern 56 tim, vilket gäller för en K30, skulle ha uppnåtts.
- Någon frysskaderisk föreligger inte. Betonghållfastheten är nämligen 6 MPa när betongen fryser.

OBS!
Mognadsmetoden har begränsad användbarhet vid höga betongtemperaturer eller höga betongåldrar; se sidan 60 ovan.

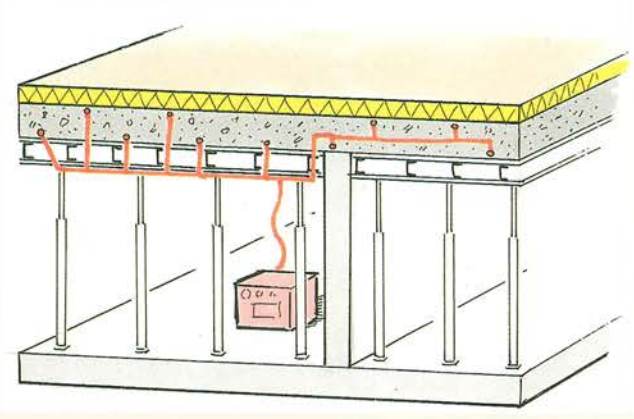
Alt 2: Direkt mätning av mognadsåldern

Det saluförs automatiska mognadsmätare vilka automatiskt registrerar betongtemperaturen och fortlöpande beräknar den aktuella mognadsåldern.

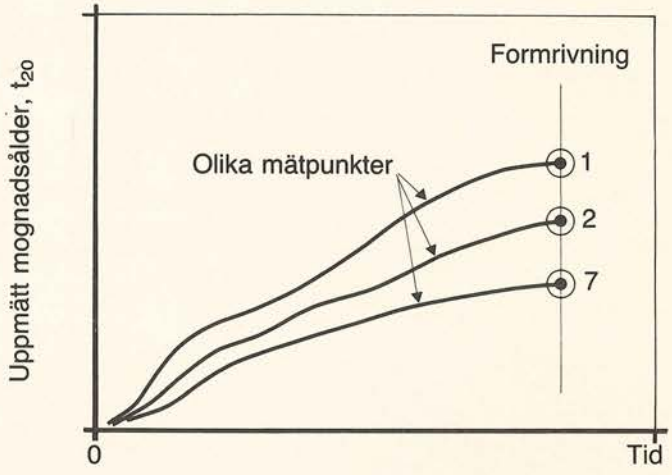
Vissa av dessa mätare baserar sig på den s k TT-faktorn (mognadsgraden), vilken förutsätter att cementets reaktionshastighet ökar i direkt proportion till ökande betongtemperatur. Mätvärden från sådana mognadsmätare måste korrigeras innan hållfastheten kan beräknas.

Andra mognadsmätare tar hänsyn till att cementets reaktionshastighet ökar mer än proportionellt mot ökande betongtemperatur. Man får därför direkt den rätta mognadsåldern utan korrektioner.

Elektroniska mognadsmätare



En eller flera mätpunkter registreras samtidigt.



Som temperaturgivare används normalt billiga termoelement som klipps av efter avslutad mätning.

Om mätaren är kalibrerad för aktuell cement- och betongsort kan uppmätt mognadsålder användas direkt i tendenskurvan över hållfasthetstillväxt; se Alt 1 ovan.

Mognadsmätare modell 4101

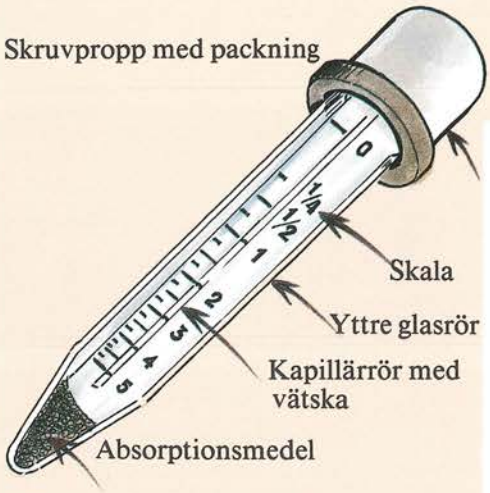
På marknaden finns en mognadsmätare som direkt anger mognadsåldern i timmar. Mätaren kan enkelt anpassas till det aktuella cementets temperaturberoende. En eventuellt felaktig inställning kan korrigeras i efterhand; se /25/.

Fyra olika mätpunkter kan registreras samtidigt.

Mätaren är fältmässig och kan användas vid yttertemperaturer mellan −20°C och +60°C.

Mätaren är anpassningsbar till reaktionsegenskaper hos svenska cement.

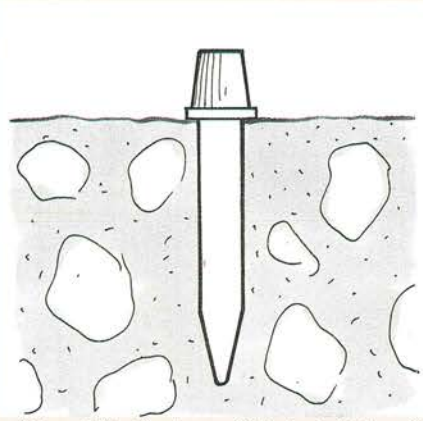
Comametern

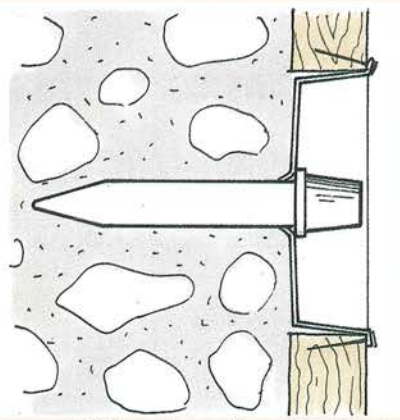


Mätprincip

Comametern innehåller ett i övre änden förseglat kapillärrör fyllt med en vätska. I botten av det yttre glasröret finns ett absorptionsmedel. När mätaren installeras i betongen bryts toppen på kapillärröret av. Vätska börjar då avdunsta med en hastighet som avgörs av temperaturen hos absorptionsmedlet, dvs temperaturen hos betongen.

Installering av mätaren.

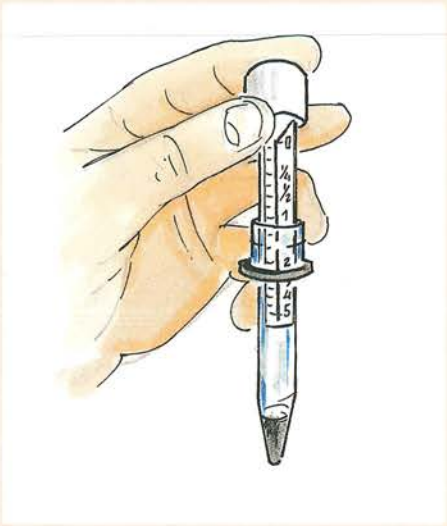




Mognadsåldern t_{20} avläses direkt på skalan.
Maximalt mätområde är 0 till 5 dygn. (Maximal mognadsålder t_{20} är 120 tim.)

Användningssätt

Nygjuten betong



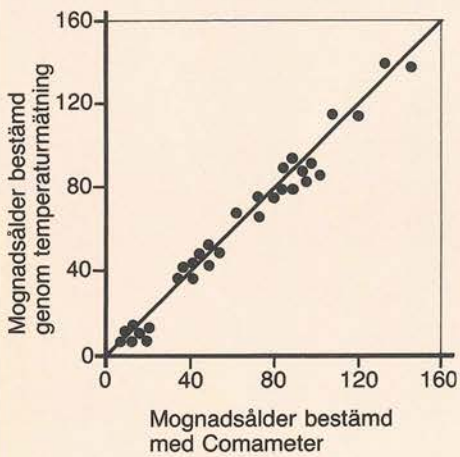
Skruva upp mätaren. Bryt kapillärröret vid 0-punkten.

Skruva ihop. Stick in mätaren i betongen.

Hård betong

Avläs t_{20}. Om värdet är för lågt, stick in mätaren igen, avvakta senare tidpunkt.

Kalibrering av Comametern vid CBI; Möller /21/.



Som synes ger Comametern nästan identiskt samma mognadsålder som den som fås genom direkt temperaturmätning.

Uppmätt mognadsålder kan användas direkt i tendenskurvan över hållfasthetstillväxt; se Alt 1 ovan.

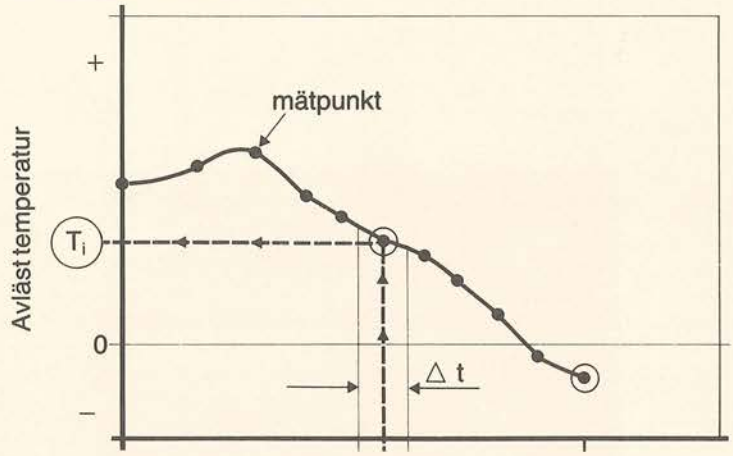
Alt 3: TT-faktorn

Ibland används fortfarande den s k TT-faktorn (Tid-Temperatur-faktorn) som mått på betongens mognadsgrad. TT-faktorn förutsätter att cementets reaktionshastighet ökar i direkt proportion till betongtemperaturen. Detta ger ett visst fel som bör korrigeras innan hållfastheten avläses i tendenskurvan.

Om korrektionen inte görs kommer hållfastheten vid lägre betongtemperatur än +20°C att överskattas. Vid högre betongtemperatur än +20°C kommer hållfastheten att underskattas.

- Termometeravläsning.
- Avläsning av termoelement eller termistor.
- Automatisk registrering av temperaturen på en skrivare eller liknande.

A: Temperaturkurvan för betongen



B: Beräkning av TT-faktor

Tiden från gjutningen delas in i n stycken intervall Δt, som är ca 3–6 tim långa. Under intervallet nummer i råder temperaturen T_i. Cementreaktionen antas helt avstanna först vid –10°C och sedan öka i direkt proportion till höjningen av temperaturen. "Mognadstillskottet" antas vara proportionellt mot produkten av tid och "effektiv" temperatur. Under intervallet nummer i fås då ett tillskott av storleken $\Delta TT=(T_i+10)\cdot\Delta t$.

Enbart tidsperioder med temperatur högre än 0°C bör beaktas.

TT-faktorn fås genom summering av bidragen från alla tidsintervallen

$$TT=\sum\Delta TT=\sum_{1}^{n}(T_i+10)\cdot\Delta t$$

Den okorrigerade mognadsåldern t'_{20}, dvs den härdningstid som vid den konstanta temperaturen +20°C skulle ha gett samma TT-faktor, beräknas ur följande ekvation:

$$t'_{20}=\frac{TT}{30}$$

C: Korrigering av mognadsålder

Den ur TT-faktorn beräknade okorrigerade mognadsåldern t_{20}' innehåller ett visst fel. Detta kan till stor del elimineras genom att följande ekvation används för beräkning av den verkliga mognadsåldern t_{20}.

$$t_{20}=\frac{TT-(10+a)\cdot t_{mätt}}{20-a}$$

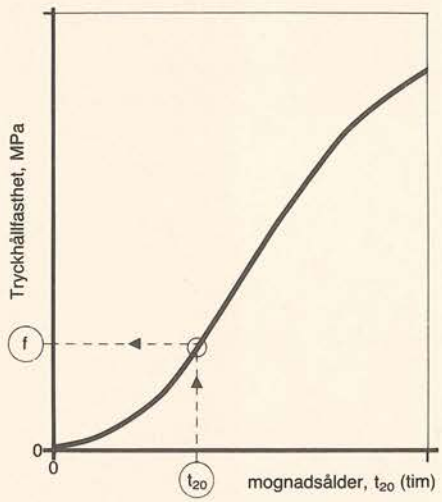
där TT är uppmätt TT-faktor och $t_{mätt}$ är den totala mättiden uttryckt i timmar. (Perioder med minustemperaturer räknas bort.)

a är en konstant som beror på det aktuella temperaturområdet och på cementsorten. Värden enligt tabellen kan användas.

Cement-sort	Medeltemp. under mättiden	
	<20 °C	>20 °C
Std P	a = 0,40	a = 7,7
Anläggn. cement	a = 0	a = 6,8
SH P	a = –0,8	a = 3,5

D: Bestämning av tryckhållfastheten

Den korrigerade mognadsåldern t_{20} används i aktuell tendenskurva.



TENDENSKURVOR

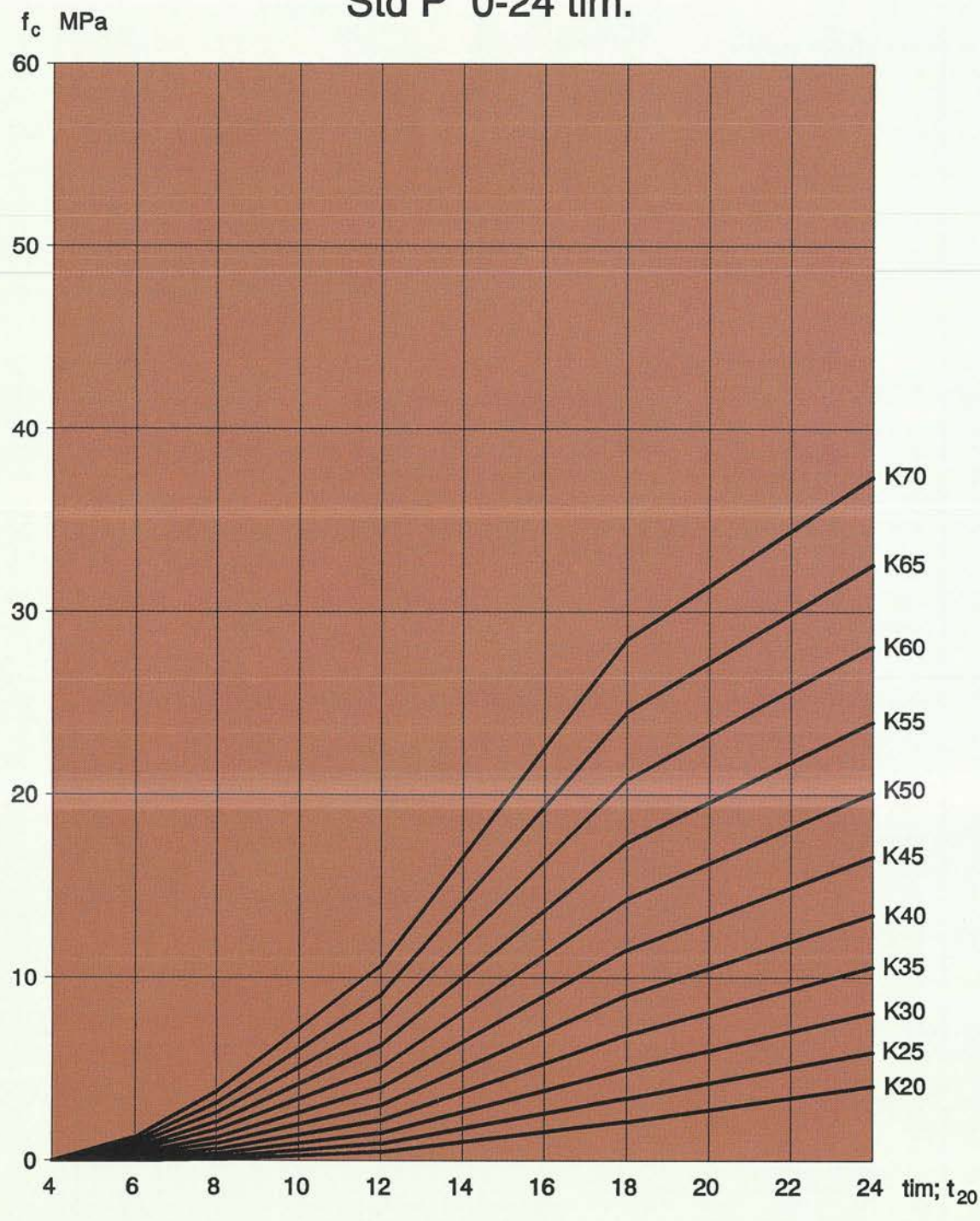
För betonger som inte innehåller silikastoft, flygaska, accelererande tillsatsmedel eller retarderande tillsatsmedel kan tendenskurvorna nedan användas.

Kurvorna baserar sig på att enbart 5% av alla betonger skall ha hållfasthet som understiger det nominella K-värdet.

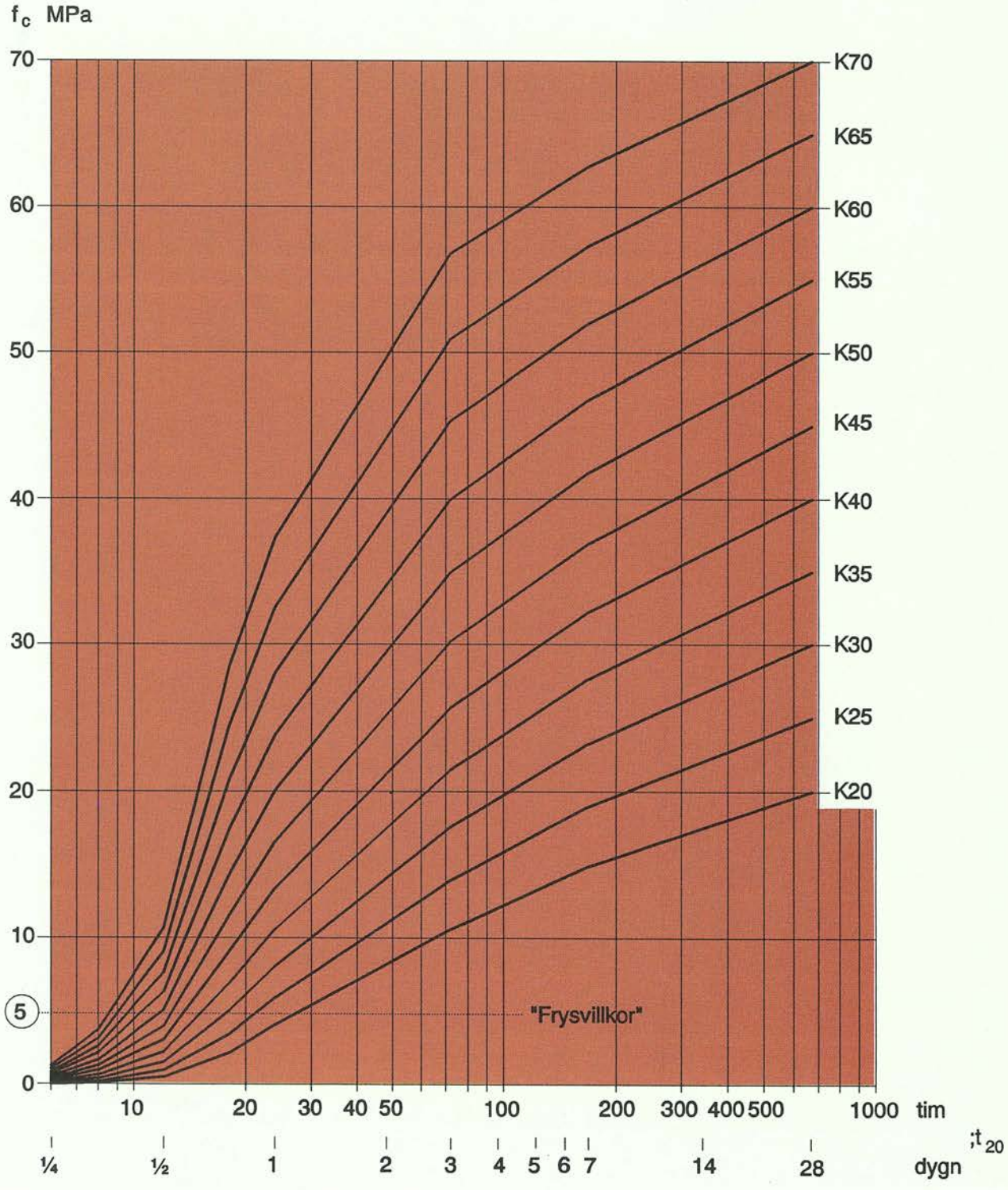
För betonger med restmaterial eller med tillsatsmedel som påverkar cementreaktionen bör särskilda tendenskurvor tas fram av respektive betongtillverkare.

OBS! Tendenskurvor kan *inte* användas för att *i förväg* bedöma hållfastheten hos en given konstruktion efter en given ålder. Detta beror på att man inte vet i förväg vilken temperaturutveckling och därmed mognadsåldersutveckling man kommer att få i konstruktionen.

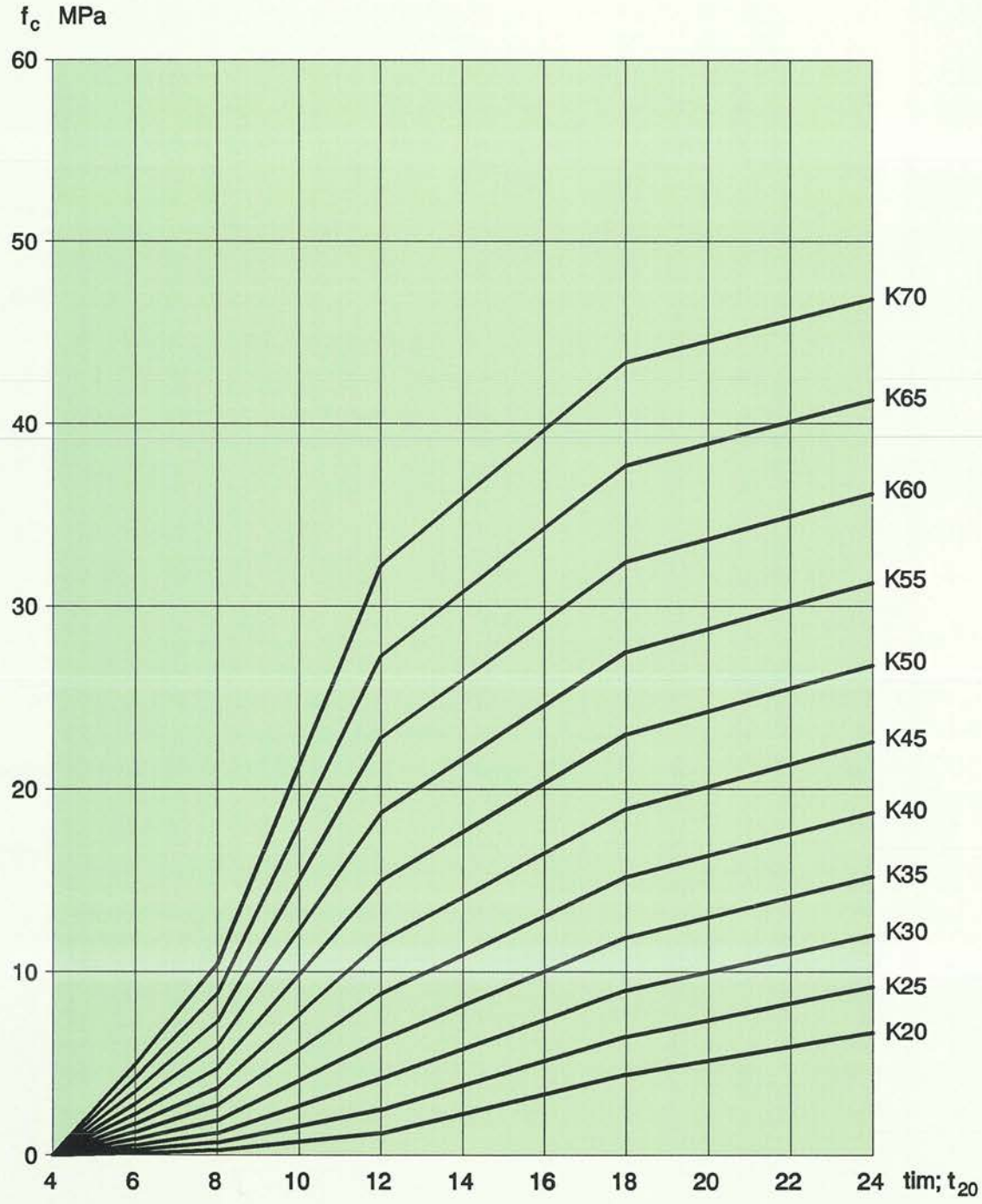
Skillnaden mellan Std P och SHP cementen blir således betydligt större i verkligheten än vad som framgår av tendenskurvorna helt enkelt därför att den högre värmeutvecklingen vid SHP-cement innebär att mognadsåldern blir betydligt högre vid samma betongålder.



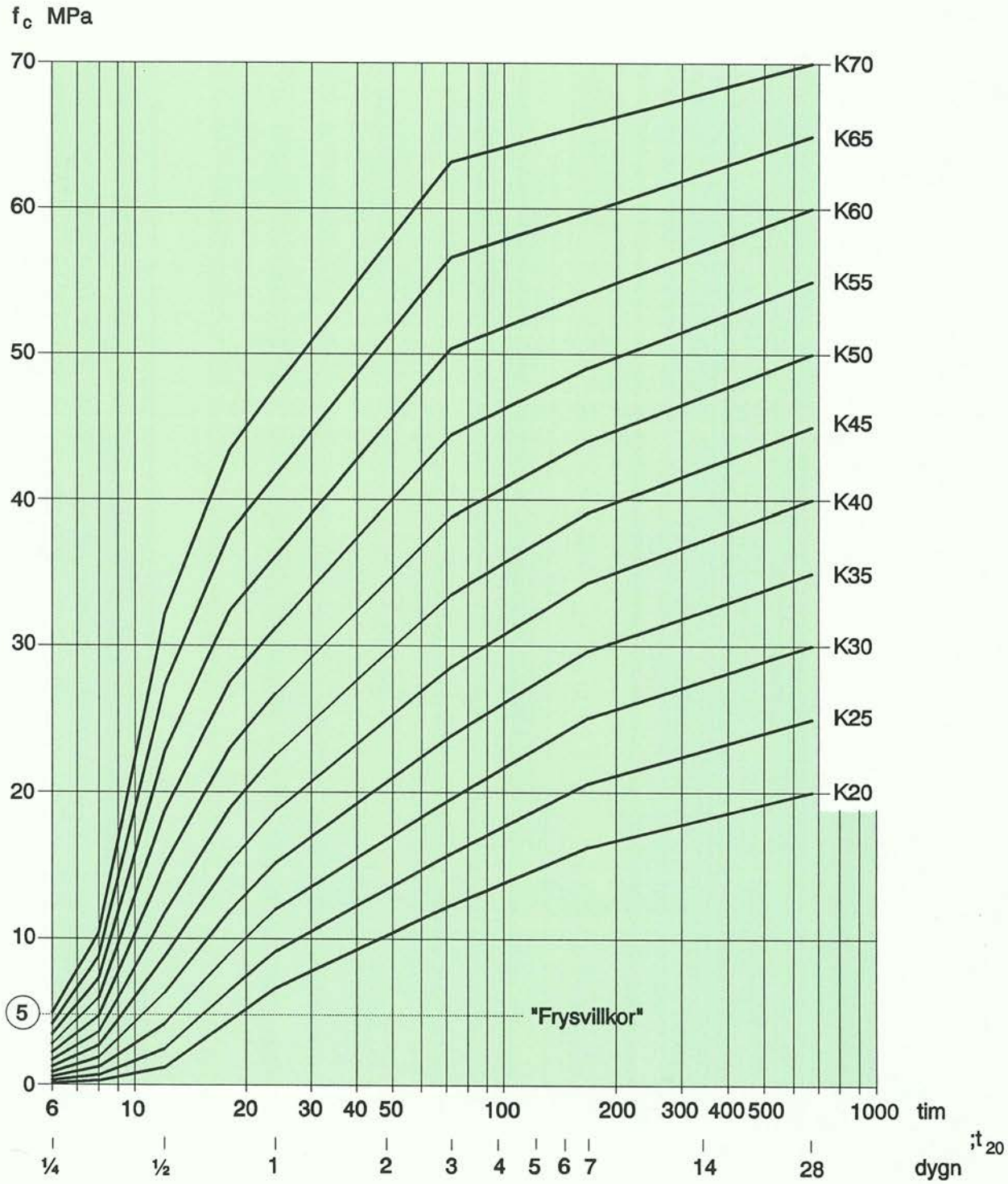
Std P 0-28 dygn



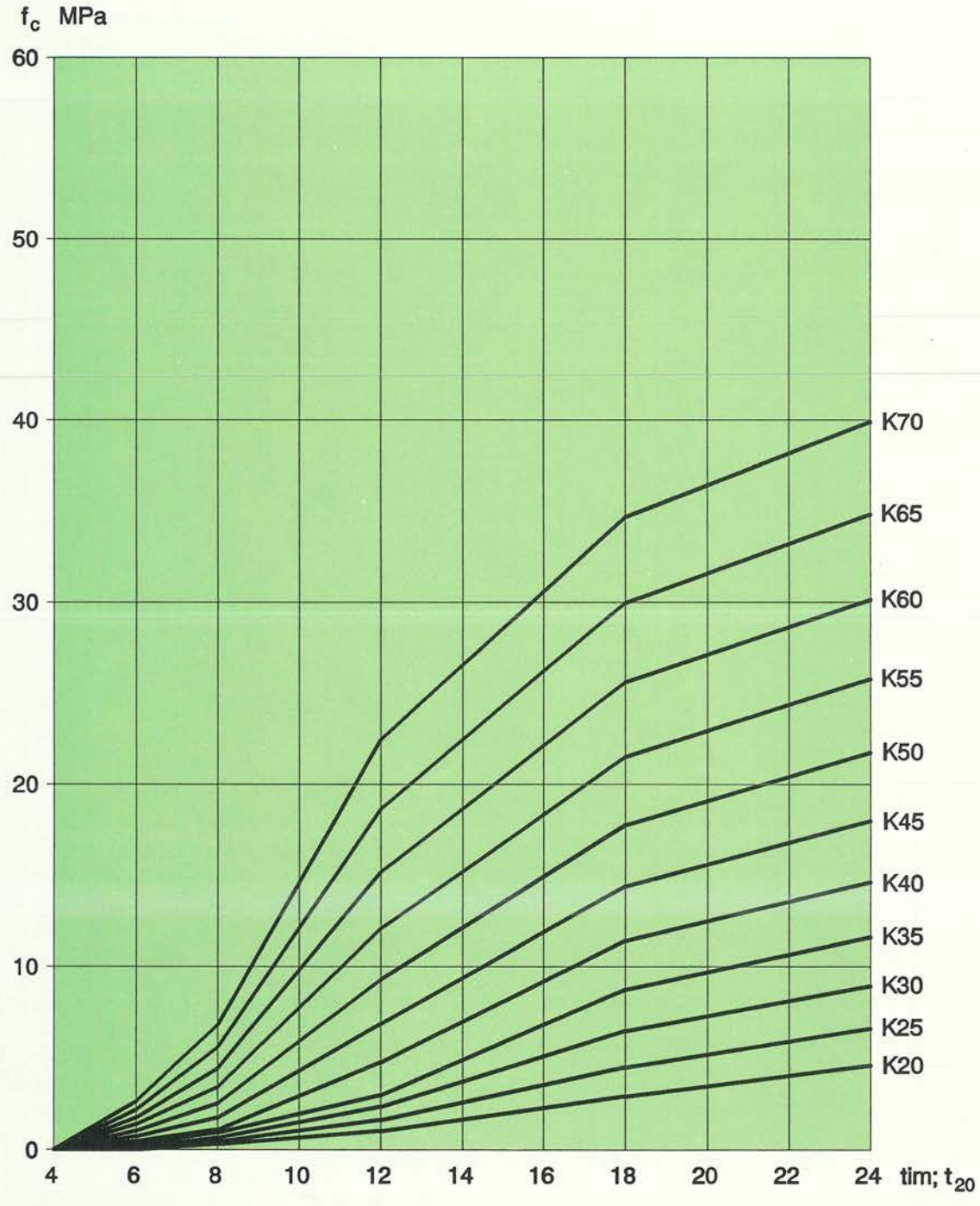
Slite SH P 0-24 tim.



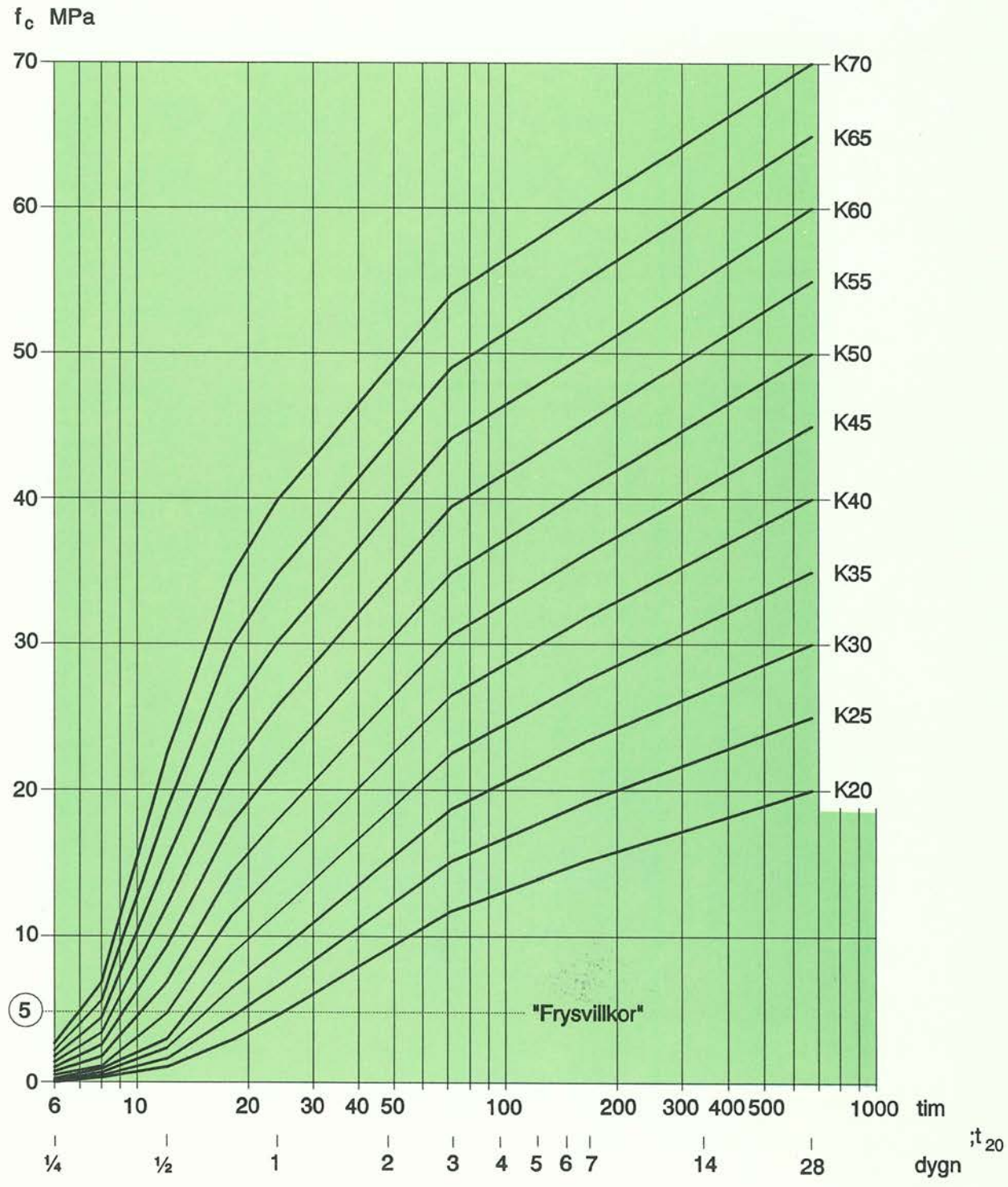
Slite SH P 0-28 dygn



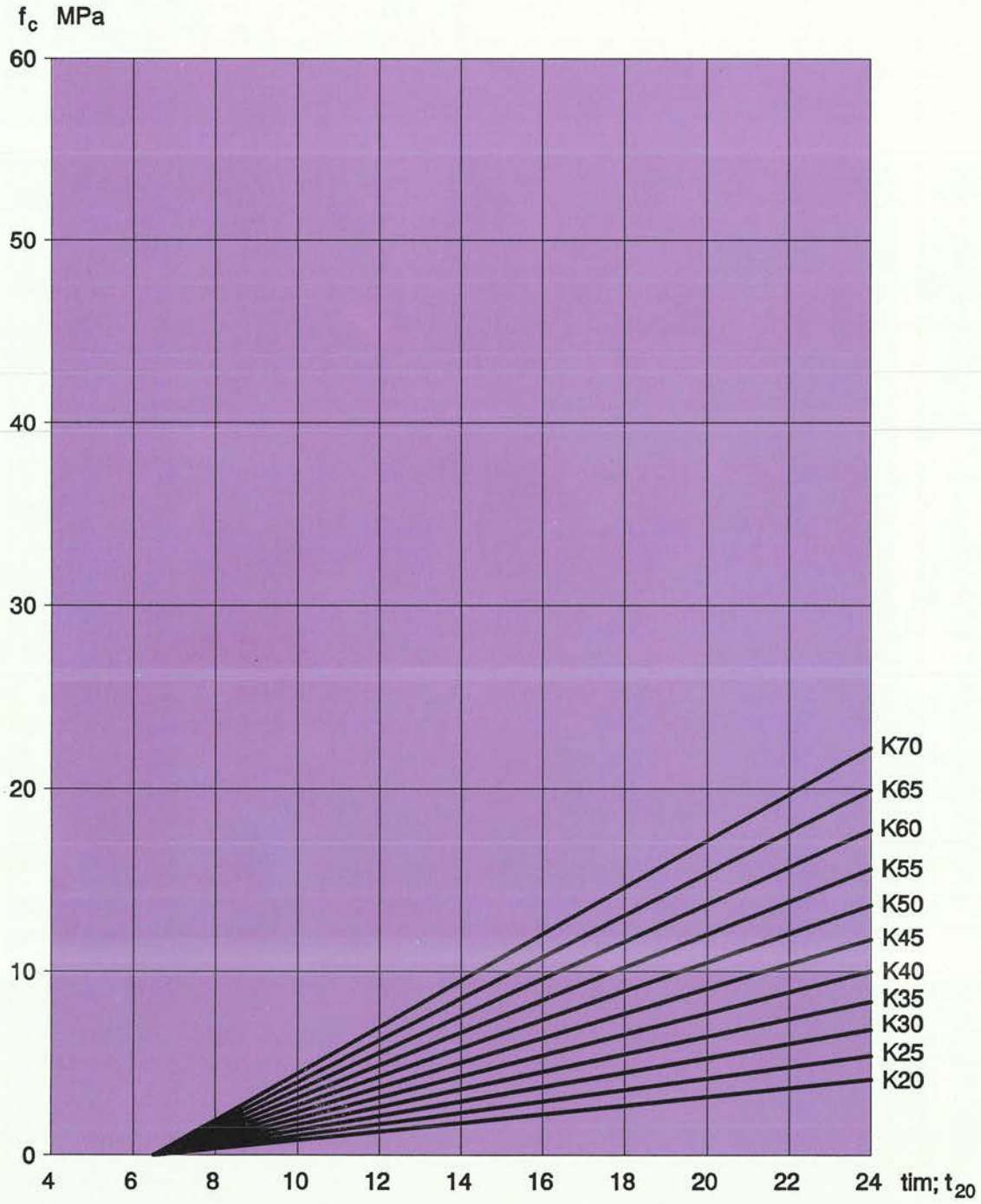
Skövde SH P 0-24 tim.



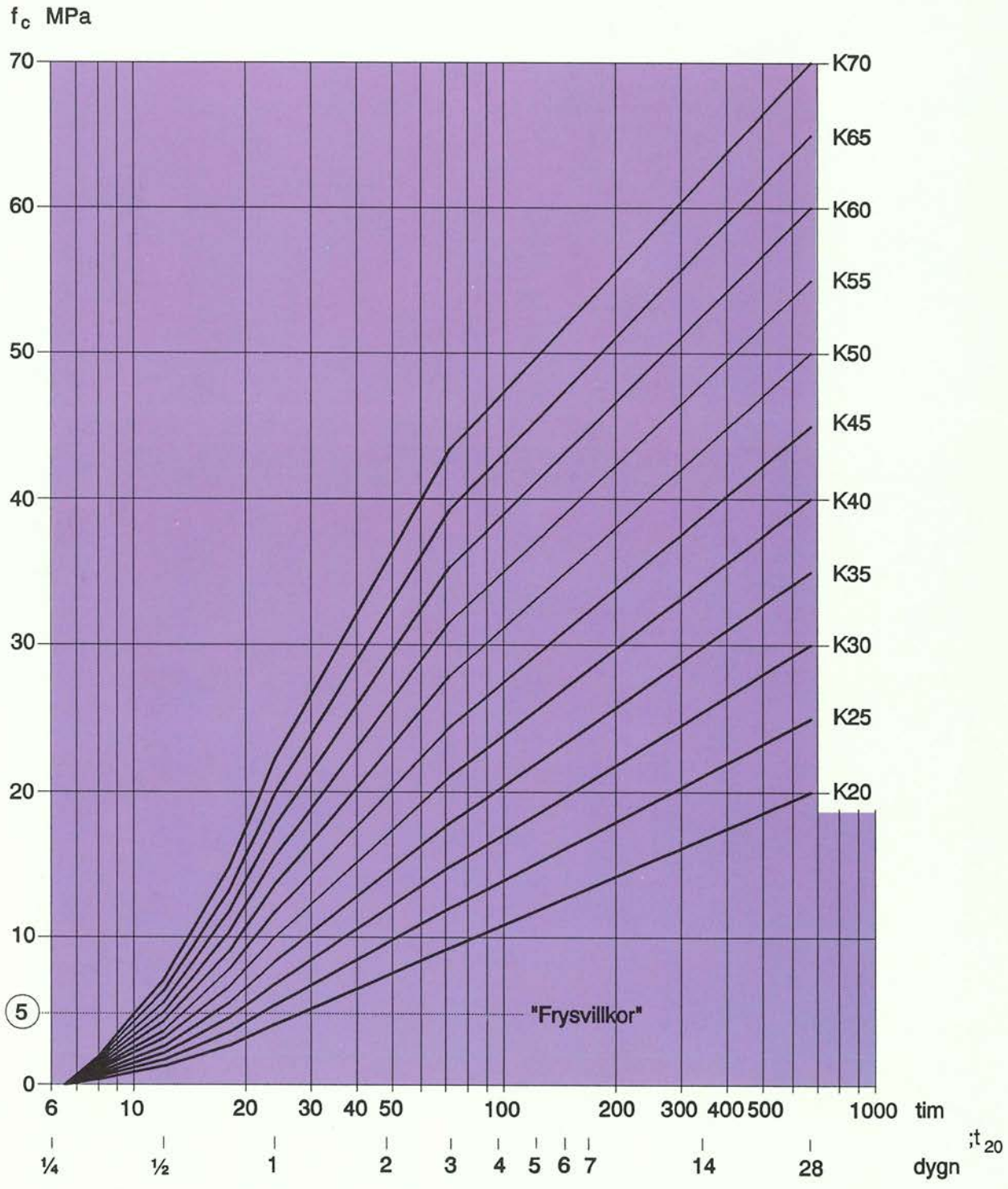
Skövde SH P 0-28 dygn



Anläggningscement 0-24 tim.

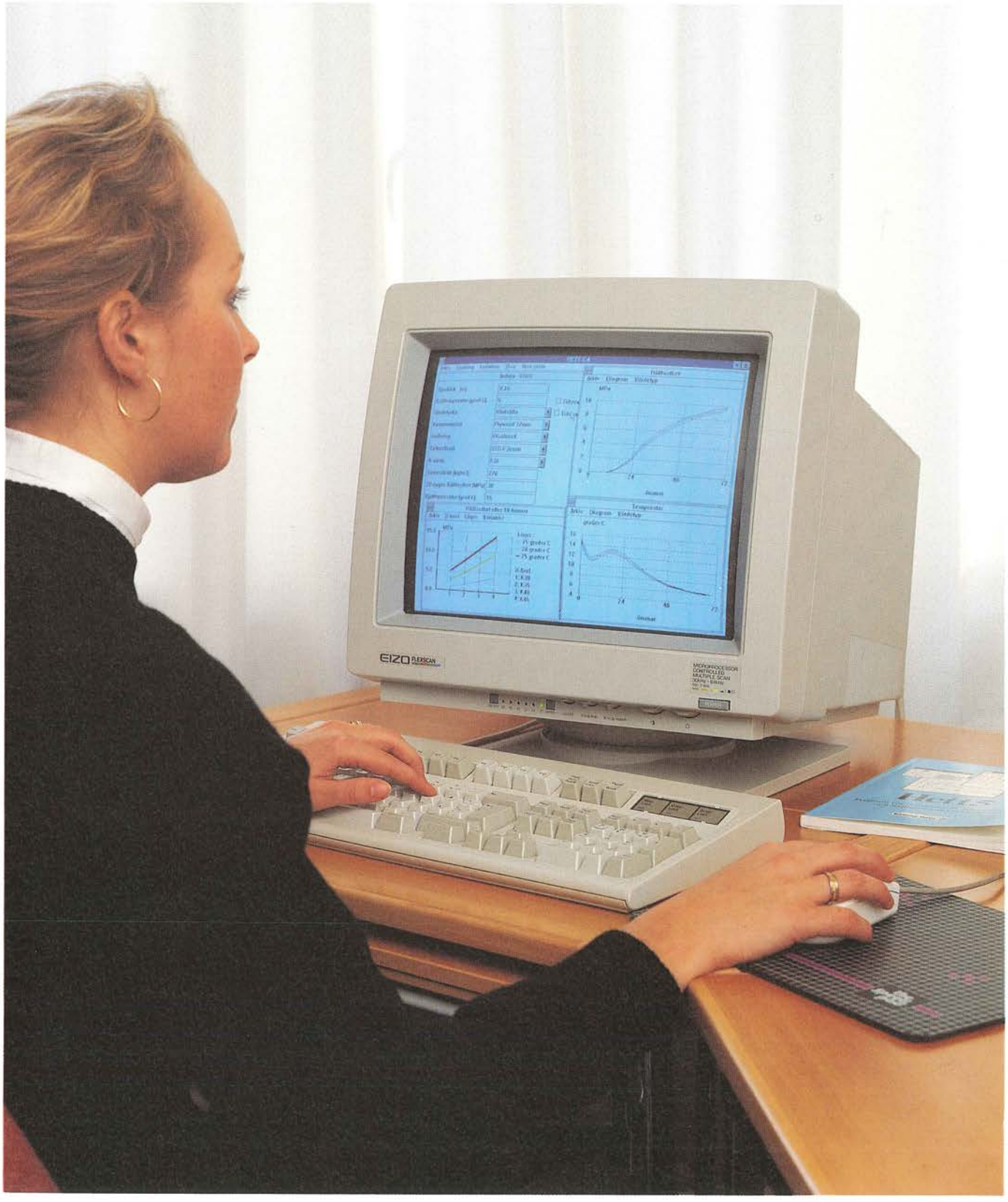


Anläggningscement 0-28 dygn



KAPITEL 5

Vinterbetongplanering med hjälp av dator



DATORPROGRAMMET "HETT5"

Vinterbetonggjutningar underlättas avsevärt om man i förväg har möjlighet att beräkna behovet av hållfasthetsklass, cementsort, betongtemperatur, tillsatsvärme, formisolering etc. Man kan då i varje enskilt fall gå in med exakt de åtgärder som erfordras för att riskerna för alltför tidig frysning och formrivningsskador skall bli godtagbart små.

I dag finns ett nytt mycket rationellt och lättanvänt datorprogram för sådan planering. Programmet, som har utarbetats av Jan-Erik Jonasson och Marcin Stelmarczyk /5/, har namnet "HETT5" och arbetar under Windows 3,0. Som resultat erhålls temperaturutveckling, hållfasthetsutveckling och tillväxt i mognadsålder hos konstruktionen. Såväl medelvärde som maximi- och minimivärden över tvärsnittet redovisas.

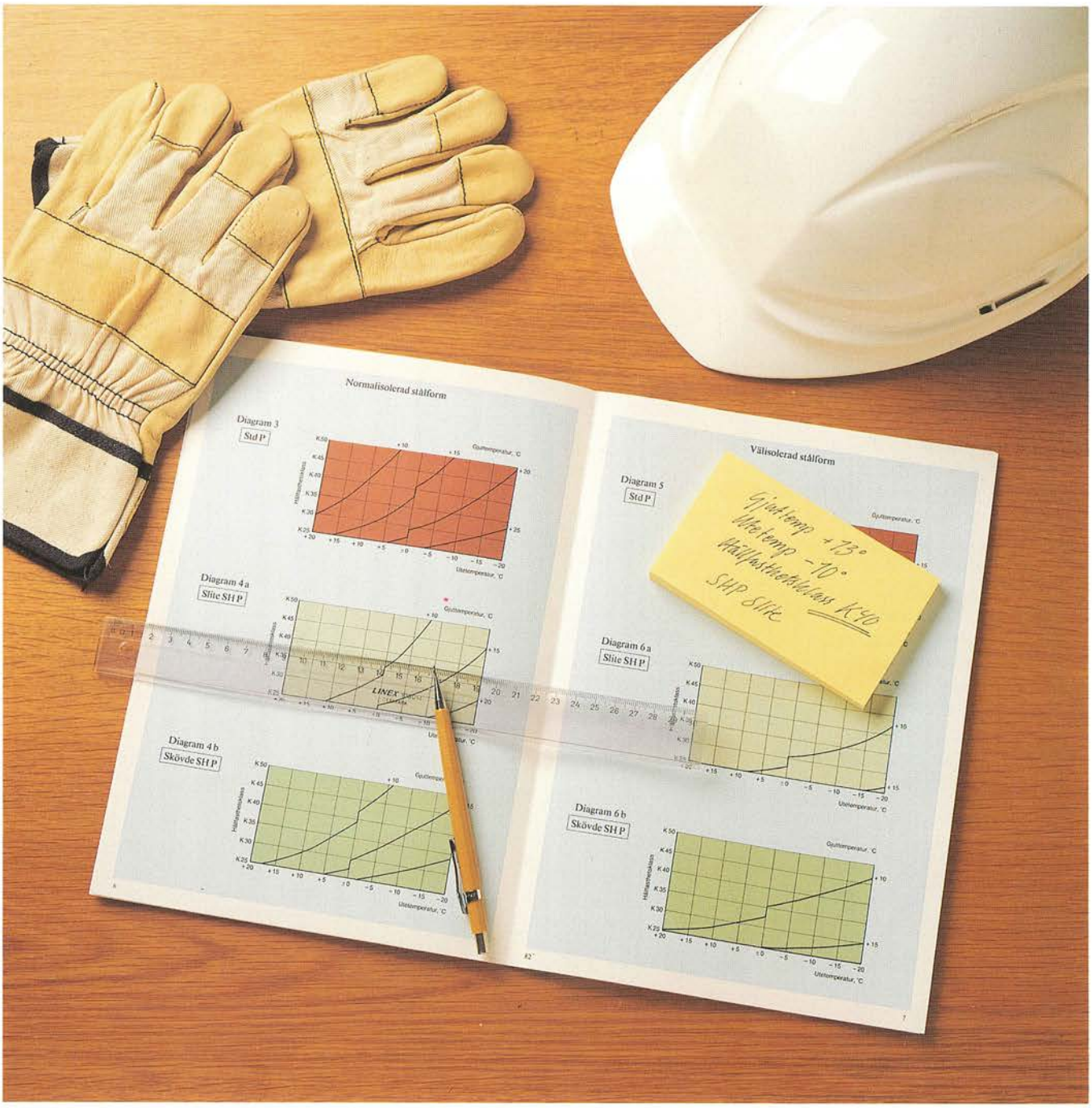
Programmet "HETT 5" förutsätter att värmetransporten genom konstruktionen är 1-dimensionell. Man kan därför enbart beräkna plana plattor och väggar.

Möjliga variationer i indata.

- **Betongålder när beräkningen skall avbrytas**
- **Konstruktionstyp**
  - Platta, vägg, platta på mark, pelare
  - Plattjocklek, väggtjocklek
- **Yttre klimatförhållanden**
  - Temperatur vid gjutning
  - Temperaturvariationer under betongens härdning
  - Vindstyrka vid gjutning
  - Variationer i vindstyrka under betongens härdning
- **Formtyp**
  - Stålform, 12 mm plywoodform eller 25 mm träform
  - Isoleringsgrad: oisolerad, normalisolerad eller välisolerad
- **Tillförd värme till bjälklagsplattor**
  - Verkningsgraden, dvs andel värme som kommer betongen till del
  - Installerad effekt
  - Intäckning under plattan i samband med strålningsvärmare eller ej
  - Variation i tillförd värme under betongens härdning
- **Täckning av betongplattors översida**
  - Ingen täckning, presenning eller högvärdig täckning
  - Täckningstidpunkten
- **Betongdata**
  - Cementsort; Std P, Slite SH P, Skövde SH P och Anläggningscement
  - 28 dygns hållfasthet
  - K-värde
  - Cementhalt
  - Gjuttemperatur
- Övrigt: Möjlighet finns att lägga in egna indata som är anpassade till egna behov.

OBS!
"HETT5" reducerar automatiskt hållfastheten när höga temperaturer förekommer, se sidan 52.

Formrivningsdiagram – hjälpmedel för beställning av betong



(Diagrammen kan utan större fel användas för väggtjocklekar upp till 25 cm. De ger då resultat på säkra sidan.)

Förutsättningar för att diagrammen skall gälla

Kravnivåer för formrivning och tidig frysning

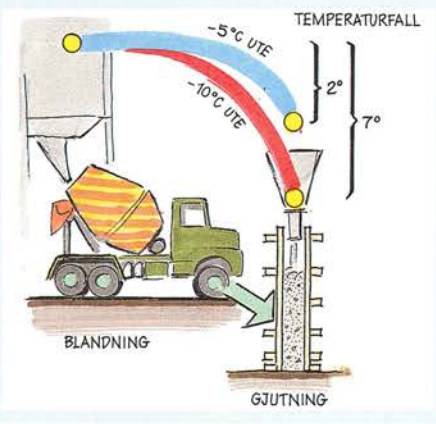
- **Formrivningstid**: 18 tim efter gjutning.
- **Formrivningshållfasthet**: 4 MPa vid plustemperaturer och 5 MPa vid minustemperatur utomhus. (Kravet är mildrat i förhållande till BBK-anvisningen som generellt är 6 MPa).
- **Hållfasthet vid tidig frysning**: Minst 5 MPa (samma krav som enligt BBK).

Betongsammansättning

- Betongen skall bara innehålla rent portlandcement (Std P eller SH P). Dock inte Anläggningscement.
- Betongen innehåller inte retarderande tillsatsmedel (t ex lignosulfonatbaserade vattenreducerare).
- Cementhalten antas öka med ca 30 kg/m^3 för varje högre hållfasthetsklass. (Cementhalten antas vara 215 kg/m^3 för K25 och 375 kg/m^3 för K50.)

Betongtemperaturer

- Diagrammen anger **gjuttemperaturer**, dvs betongtemperaturen direkt efter gjutning.
- **Gjuttemperaturen** antas inte överstiga +25°C för att alltför hög blandningstemperatur skall undvikas.
- **Blandningstemperaturen**, dvs betongtemperaturen direkt efter blandning, måste vara högre än gjuttemperaturen. Ofta förloras upp till 7°C under transport och gjutning.
- **Lägsta tillåtna gjuttemperatur** är +10°C. Kallare betong bör förkastas.

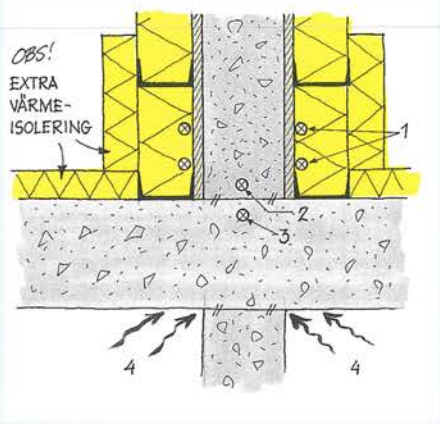


Isolering av väggens överyta

- Den fria betongytan i väggens överkant skall isoleras inom 1 tim från gjutning med minst 10 cm mineralull som viks ner över väggsidorna. Därvid försvåras lokal avkylning och frysning av väggtoppen.

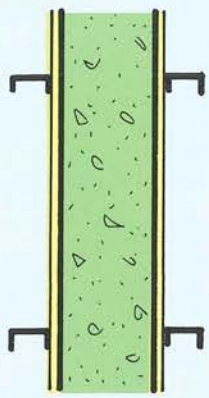
Tillskottsvärme till väggens underdel

- Lokal värme skall tillföras till väggens underdel så att temperaturen i detta farliga snitt blir minst lika hög som i väggens mittparti. Värmen kan tillföras genom värmekabel på formens utsida, genom ingjuten värmetråd eller genom yttre infravärme.

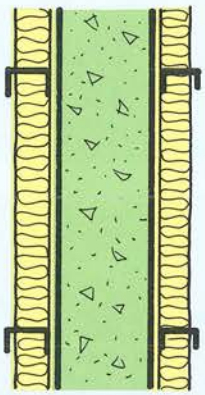


Alt 1: Värmekablar monterade på formen
Alt 2: Värmekablar ingjutna i väggen
Alt 3: Värmekablar ingjutna i bjälklaget
Alt 4: Infravärmning under bjälklaget

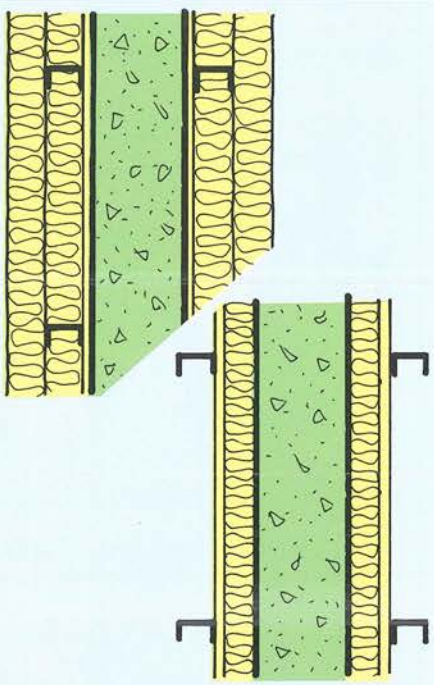
Formtyper



- Oisolerad 12 mm plywoodform på stålreglar.



- Normalisolerad stålform. Skivor av 50 mm cellplast eller mineralull instuckna mellan stålreglar.



- Välisolerad stålform. Skivor av 50 mm cellplast eller mineralull placerade utanför stålreglarna eller innanför formen så att köldbryggor bryts.

Ytterklimat

- Utetemperaturen antas vara konstant under de 18 tim som är aktuella. Medeltemperaturen under de 18 timmarna används.
- Vindstilla (mindre än 2 m/s). Vid blåst upp till ca 6 m/s kan diagrammen för oisolerad form användas om verklig utetemperatur sänks med 5°C. För isolerade formar görs ingen korrektion.

Användningssätt 1

Val av betongkvalitet när gjuttemperaturen är given

Exempel:
Std P; normalisolerad form
(Diagram 3)
Utetemperatur; –7,5°C
Gjuttemperatur; +19°C

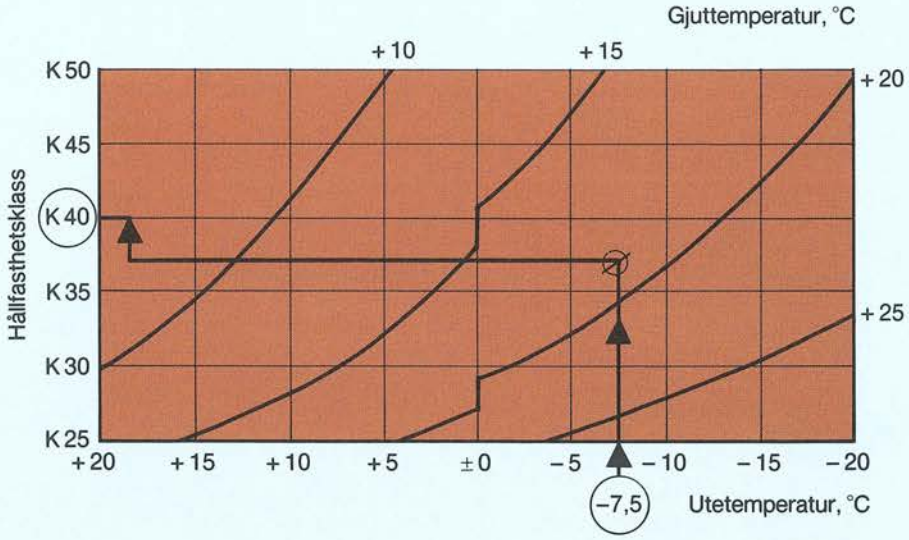
I diagrammet avläses kravet 37 MPa, dvs hållfasthetsklassen **K40**.

Alternativ enligt andra diagram

Diagram 4:
- Vid byte till Slite SH P skulle det ha räckt med **K25**.

Diagram 5:
- Vid byte till välisolerad form skulle det ha räckt med **K30**.

Diagram 3



Användningssätt 2

Val av gjuttemperatur när hållfasthetsklassen är given.

Exempel:
Std P; normalisolerad form
(Diagram 3)
Utetemperatur; -7,5°C
Betongkvalitet; K30

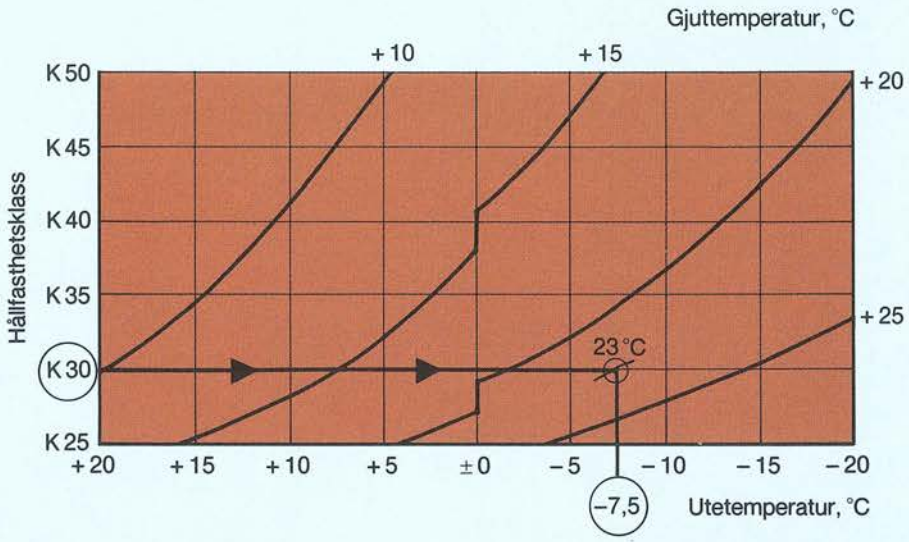
I diagrammet avläses gjuttemperaturen 23°C.

Alternativ enligt andra diagram

Diagram 4:
- Vid byte till Slite SH P skulle det ha räckt med 15,5°C.

Diagram 5:
- Vid byte till välisolerad form skulle det ha räckt med 17°C.

Diagram 3



OBS!
Hållfastheten och temperaturen i farliga snitt måste alltid mätas i varje konstruktion, t ex genom användning av mognadsåldern.
Användning av diagrammen ersätter inte sådana direkta mätningar.

Oisolerad 12 mm plywoodform

Vid blåst upp till ca 6 m/s antas utetemperaturen vara 5°C lägre än verklig temperatur.

Diagram 1

Std P

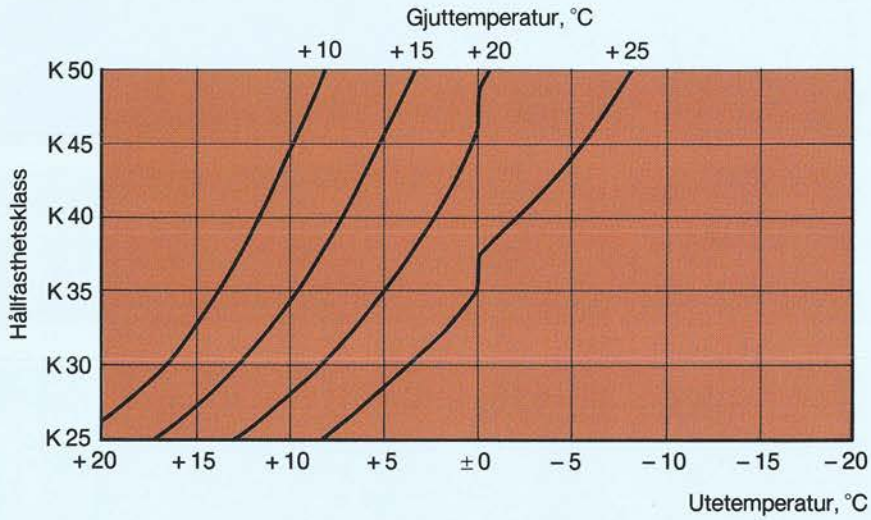


Diagram 2 a

Slite SH P

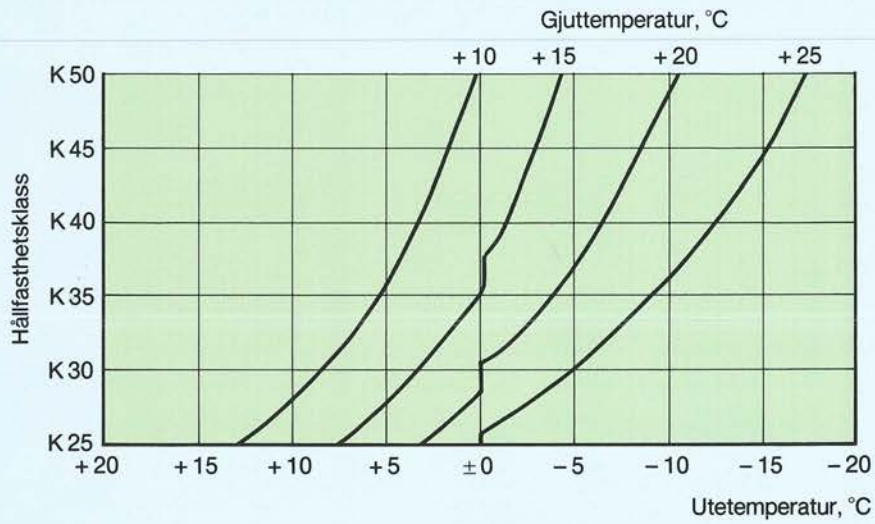
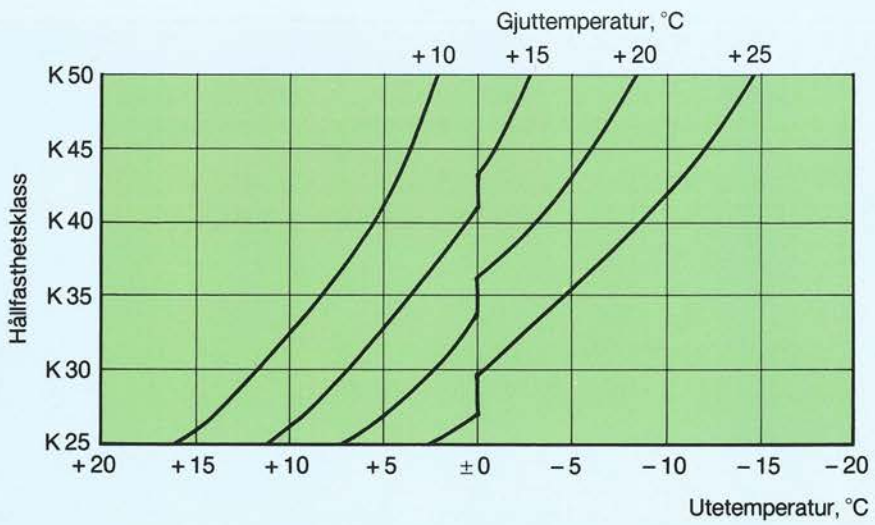


Diagram 2 b

Skövde SH P



Normalisolerad stålform

Diagram 3

Std P

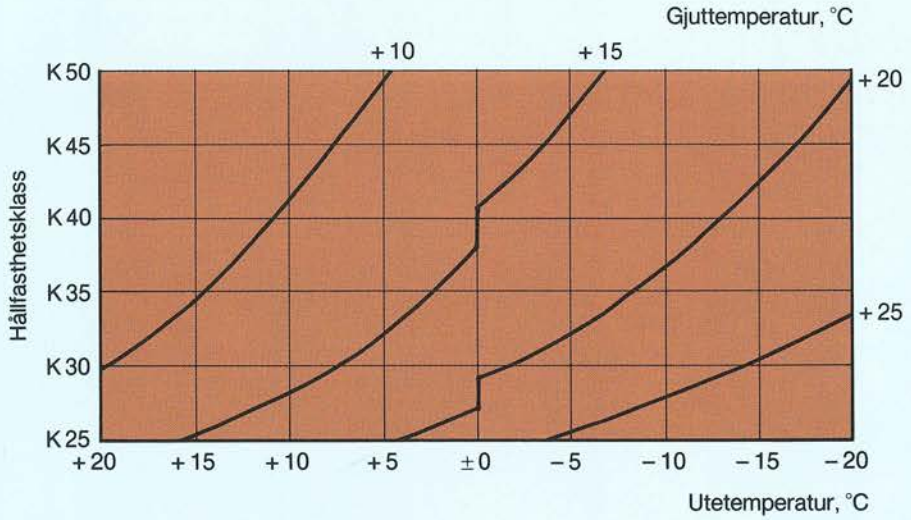


Diagram 4 a

Slite SH P

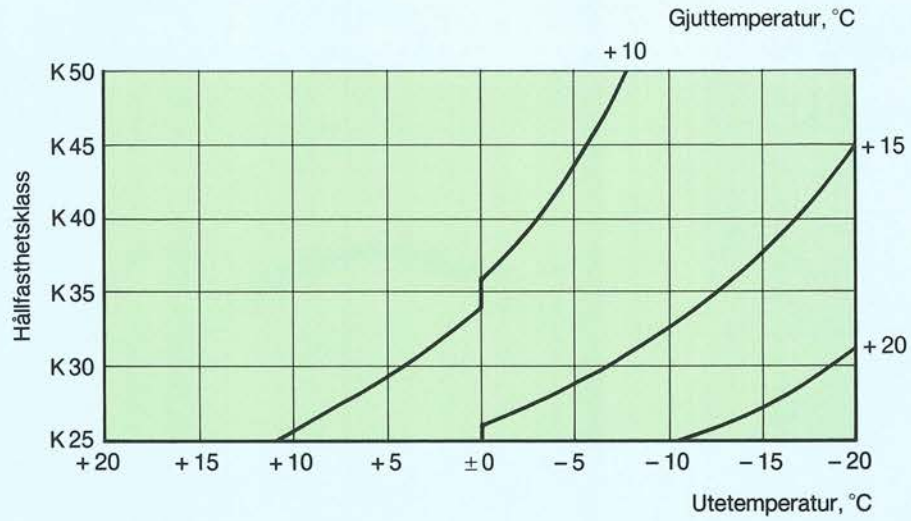
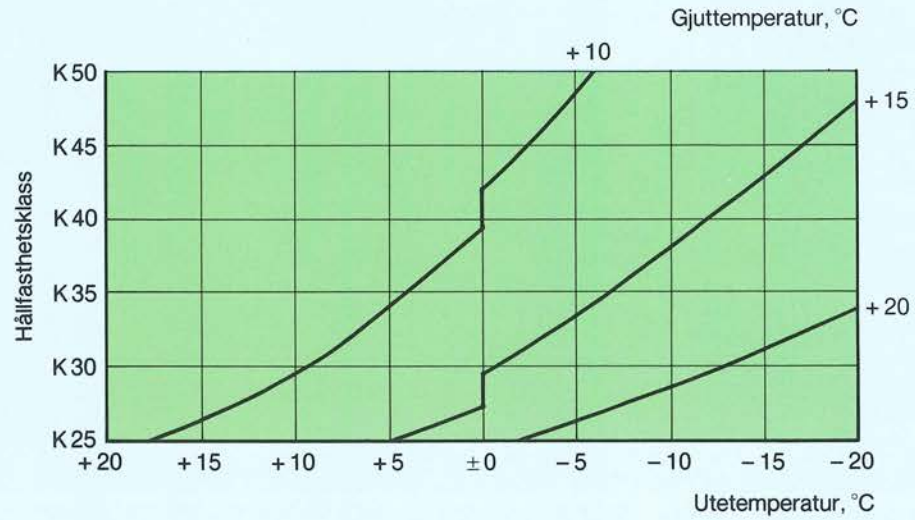


Diagram 4 b

Skövde SH P



Välisolerad stålform

Diagram 5

Std P

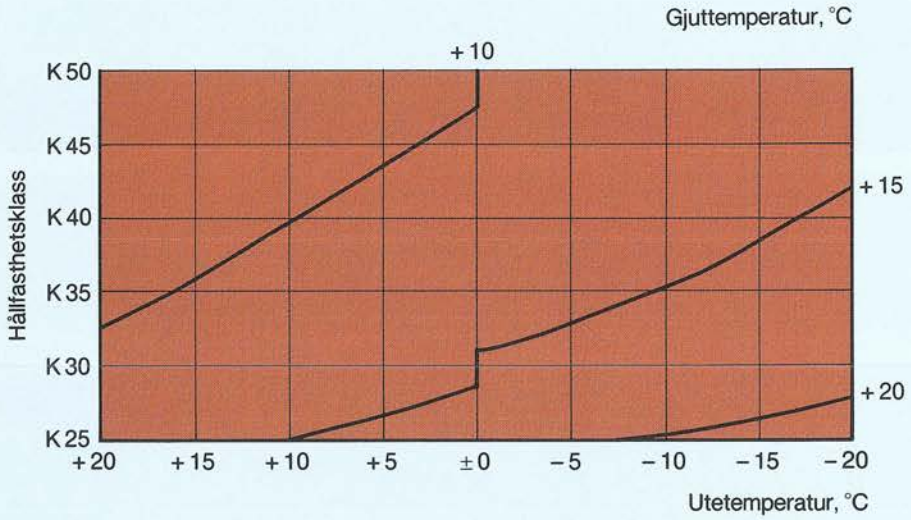
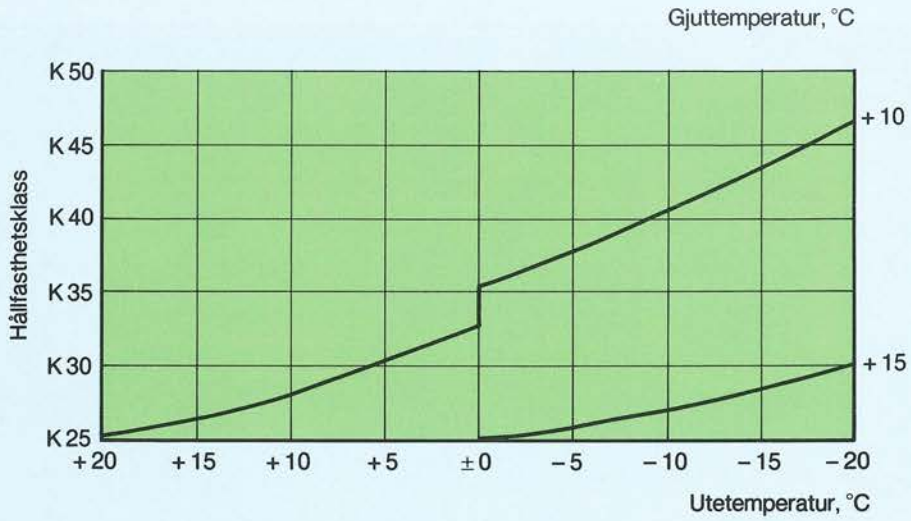


Diagram 6 a

Slite SH P

Diagram 6 b

Skövde SH P



16 cm bjälklag

(Diagrammen kan utan större fel användas för bjälklagstjocklekar upp till 20 cm. De ger då resultat på säkra sidan.)

Förutsättningar för att diagrammen skall gälla

Kravnivåer för formrivning och tidig frysning

- **Formrivningstid**: 3 dygn och 5 dygn.
- **Formrivningshållfasthet**: 15 MPa. 15 MPa är en rimlig nivå för vanliga obelastade bjälklagsplattor (spännvidd ca 4 m).

Vid större spännvidder eller större rörlig last på bjälklaget behöver hållfastheten ibland vara högre. Kontakta alltid konstruktören vid osäkerhet!

(BBK-anvisningen är 70 % av k-värdet, dvs 17,5 MPa för K25.)

OBS!
Om mätningar visar att hållfastheten är för låg vid den tänkta formrivningstidpunkten och betongen redan har frusit måste i princip skyddsstämpning ske ända tills dess betongen tinat upp och hållfastheten därefter nått det erforderliga värdet.

- **Hållfasthet vid tidig frysning**: Minst 5 MPa.(Samma krav som enligt BBK).

Betongsammansättning

- Betongen skall bara innehålla rent portlandcement (Std P eller SH P). Dock inte Anläggningscement.
- Betongen innehåller inga retarderande tillsatsmedel (t ex lignosulfonatbaserade vattenreducerare).
- Cementhalten antas öka med ca 30 kg/m^3 för varje högre hållfasthetsklass. (Cementhalten antas vara 215 kg/m^3 för K25 och 435 kg/m^3 för K60).

Betongtemperaturen

- I diagrammen anges **gjuttemperaturen** dvs betongtemperaturen direkt efter gjutning.
- Gjuttemperaturen antas inte överstiga +25°C för att alltför hög blandningstemperatur skall undvikas.
- Blandningstemperaturen, dvs betongtemperaturen direkt efter blandning, måste vara högre än gjuttemperaturen. Ofta förloras 2 à 7°C under transport och gjutning.
- **Lägsta tillåtna gjuttemperatur** är +10°C. Kallare betong bör förkastas.

Täckning av betongens överyta

- Betongen måste täckas med en högvärdig isolering, t ex 10 mm polyetenmatta, **inom 1 timme** från gjutningen. Isoleringsmattan skall vara kvar ända till formrivning sker. **OBS! Detta är en absolut nödvändig åtgärd för att diagrammen skall gälla.**

Isolering av fria bjälklagskanter

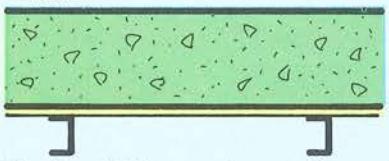
- Alla fria bjälklagskanter – även vid håltagningar – isoleras med minst 100 mm mineralull eller liknande. Eventuellt kan värme tillföras lokalt genom värmekabel i form, genom ingjuten värmetråd eller genom infravärme utifrån.

Tillskottsvärme

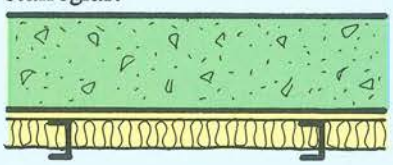
- Tillskottsvärme i form av ingjutna värmetrådar eller genom infravärme under bjälklaget antas **inte** användas. Visar diagrammen att erforderlig hållfasthet inte kan nås inom önskad tid blir tillskottsvärme nödvändig. I så fall är värmning genom ingjutna trådar att föredra ur betongteknisk synpunkt.

OBS!
Hållfastheten och temperaturen i farliga snitt måste alltid mätas i varje konstruktion, t ex genom användning av mognadsåldern.
Användning av diagrammen ersätter inte sådana direkta mätningar.

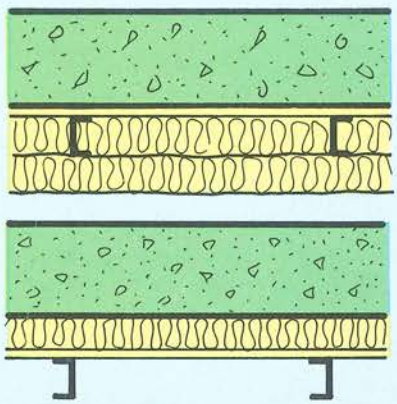
Formtyper



- Oisolerad 12 mm plywoodform på stålreglar.



- Normalisolerad stål på stålreglar. Skivor av 50 mm cellplast eller mineralull instuckna mellan stålreglarna.



- Välisolerad stål på stålreglar. Skivor av 50 mm cellplast eller mineralull placerade utanför stålreglarna eller innanför formytan så att köldbryggor bryts.

Ytterklimat

- Utetemperaturen antas vara konstant under hela tiden fram till formrivning. Medeltemperaturen används.
- Vindstilla (mindre än 2 m/s). Vid blåst upp till 6 m/s kan diagrammen för oisolerad form användas om verklig utetemperatur sänks med 5°C. För isolerade formar görs ingen korrektion.

Användningssätt 1

Val av betongkvalitet när gjuttemperaturen är given

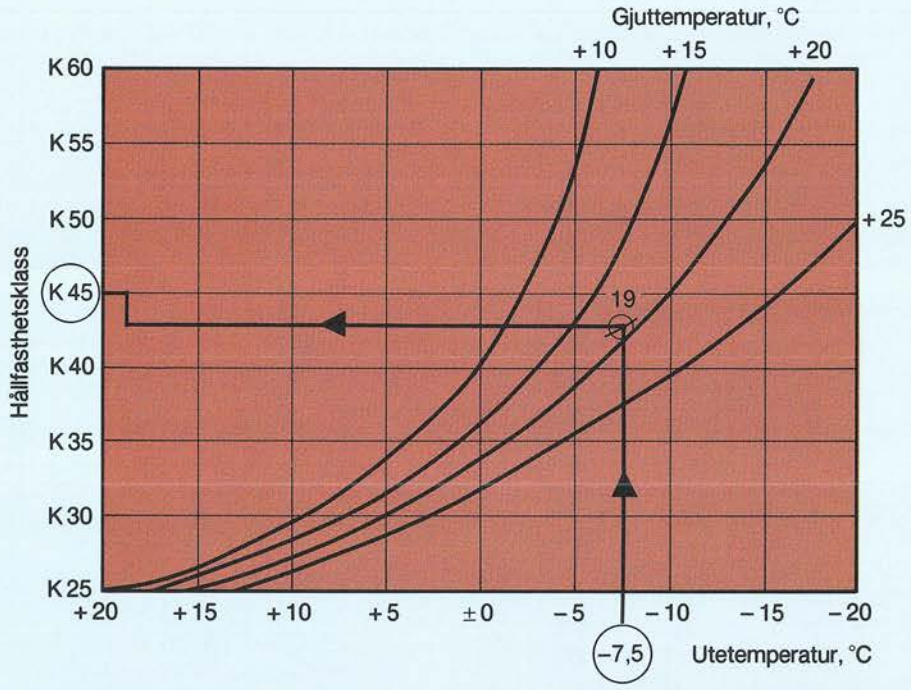
Exempel:
Std P; normalisolerad form (Diagram 4a)
Utetemperatur; –7,5°C
Gjuttemperatur; +19°C
Formrivningstid; 3 dygn
I diagrammet avläses kravet 43 MPa, dvs hållfasthetsklassen **K45**.

Alternativ enligt andra diagram

Diagram 5a:
- Vid byte till Slite SH P skulle det ha räckt med **K35**.

Diagram 7a:
- Vid byte till välisolerad form skulle det ha räckt med **K40**.

Diagram 4 a



Användningssätt 2

Val av gjuttemperatur när hållfasthetsklassen är given.

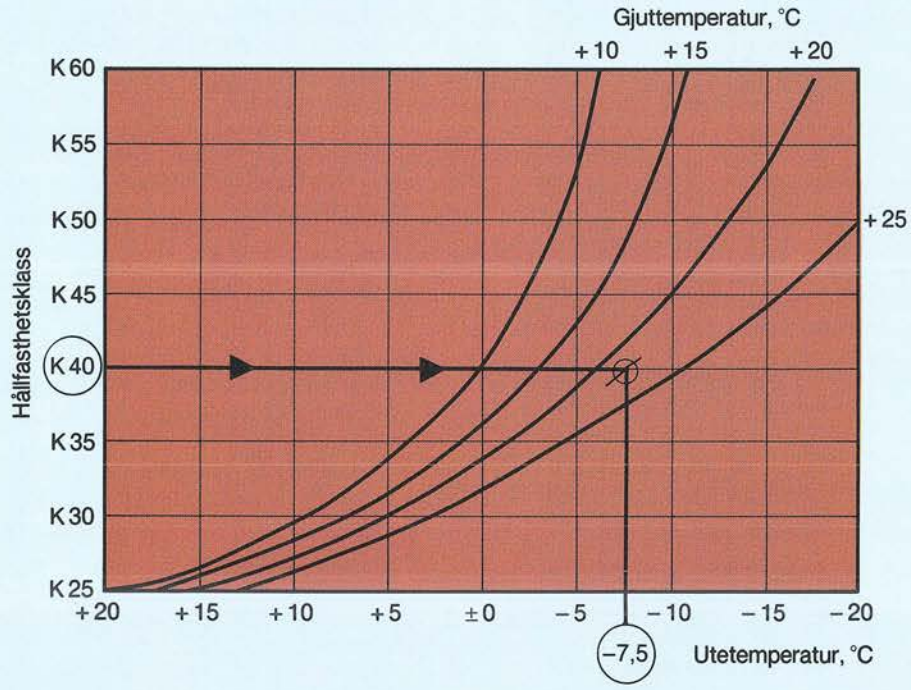
Exempel:
Std P; normalisolerad form (Diagram 4a)
Utetemperatur; –7,5°C
Betongkvalitet; K40
Formrivningstid; 3 dygn
I diagrammet avläses gjuttemperaturen 22°C.

Alternativ enligt andra diagram

Diagram 5a:
- Vid byte till Slite SH P skulle det ha räckt med 11°C.

Diagram 7a:
- Vid byte till välisolerad form skulle det ha räckt med 14,5°C.

Diagram 4 a



Oisolerad plywoodform

Diagram 1 a

Std P

Formrivningstid 3 dygn

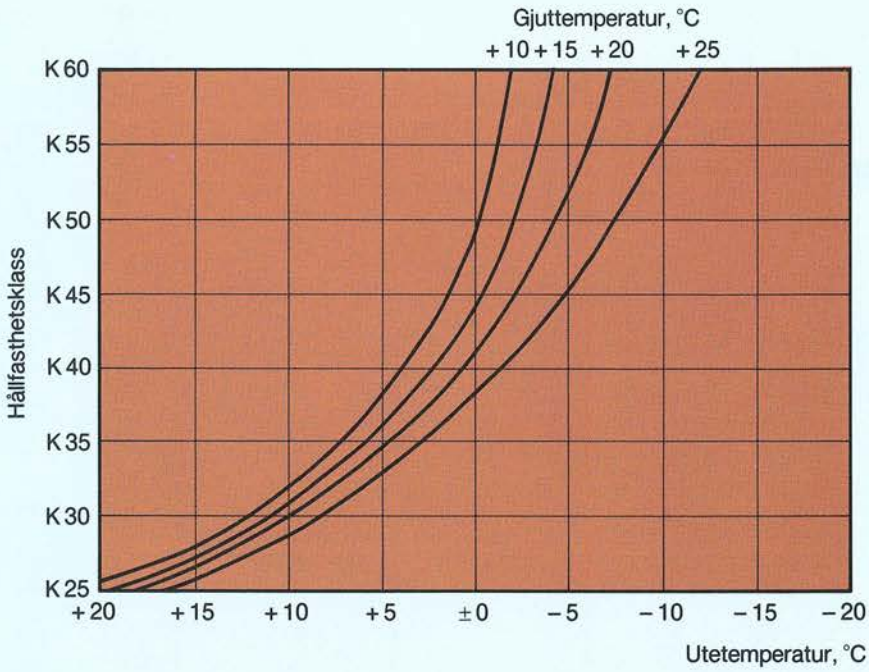
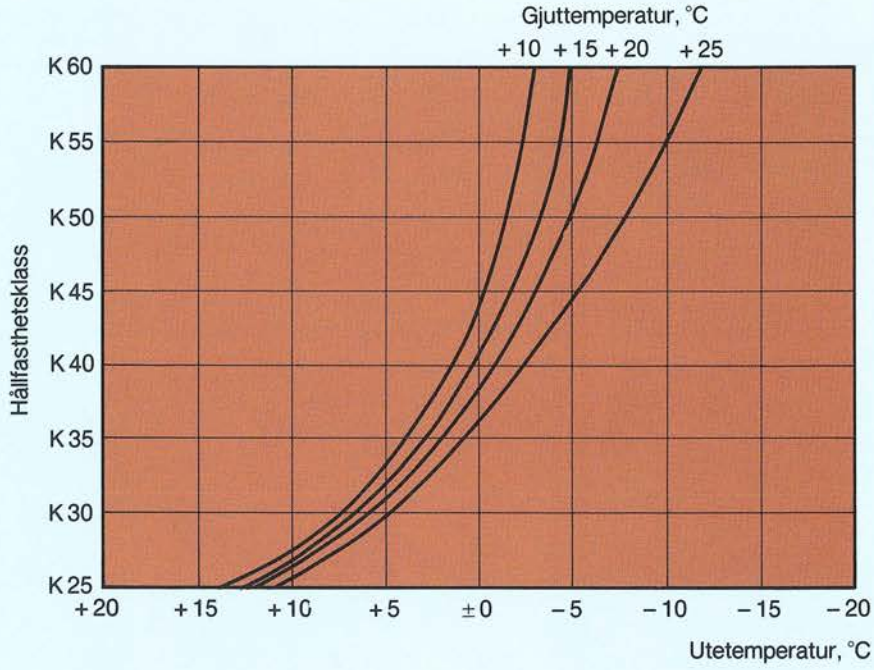


Diagram 1 b

Std P

Formrivningstid 5 dygn



Oisolerad plywoodform

Diagram 2 a

Slite SH P

Formrivningstid 3 dygn

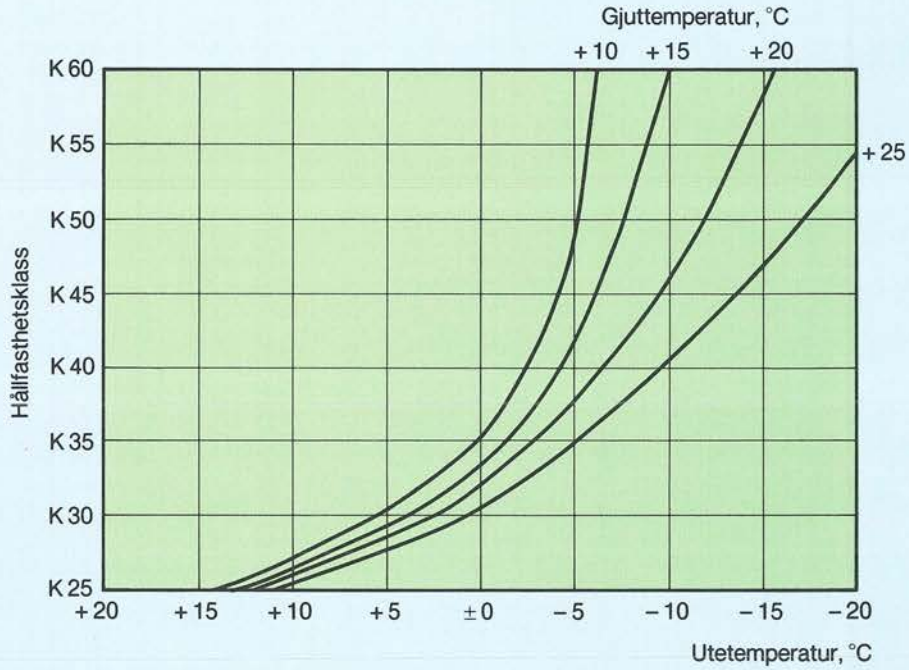
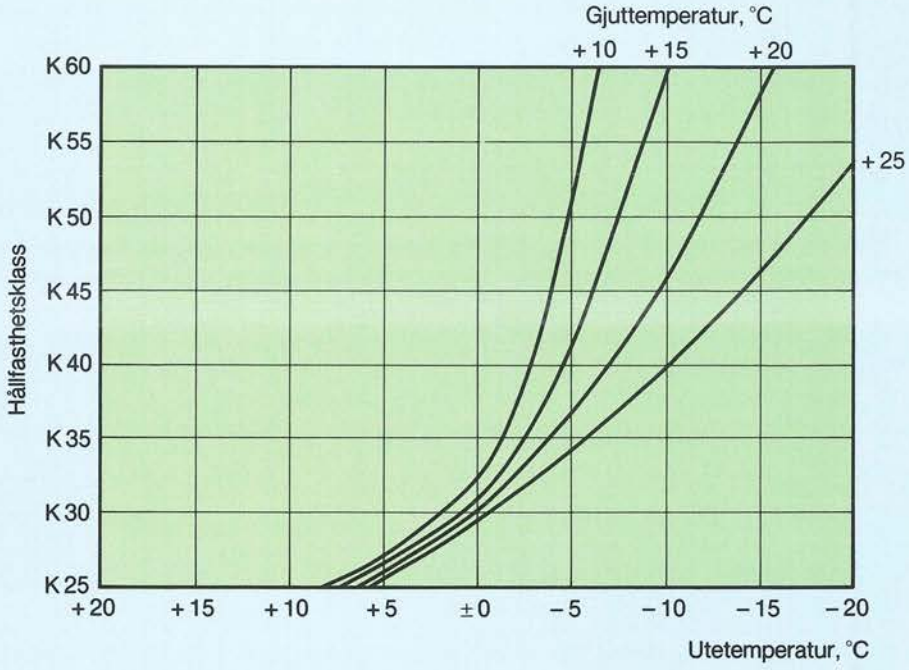


Diagram 2 b

Slite SH P

Formrivningstid 5 dygn



Oisolerad plywoodform

Diagram 3 a

Skövde SH P

Formrivningstid 3 dygn

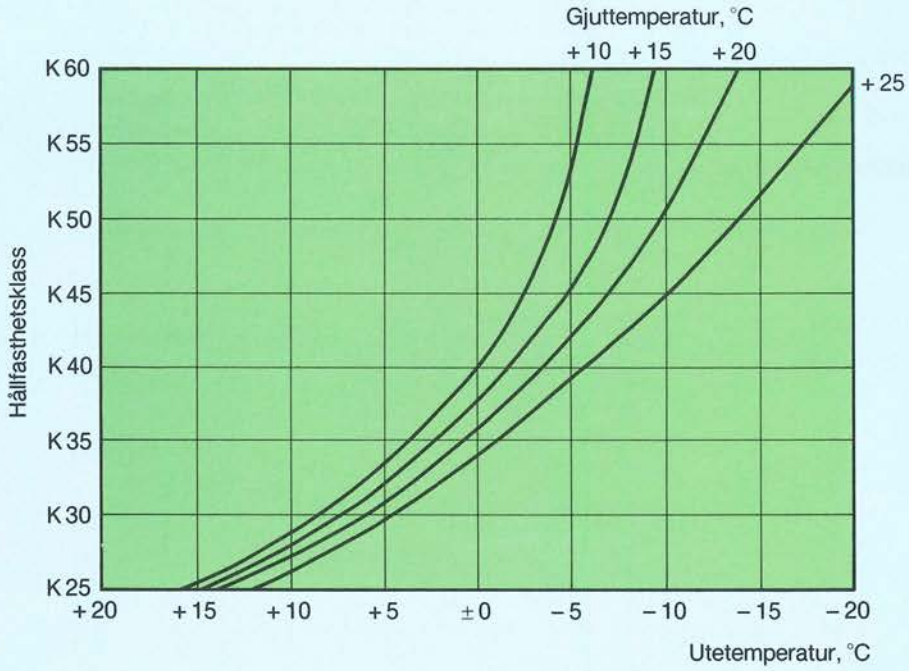
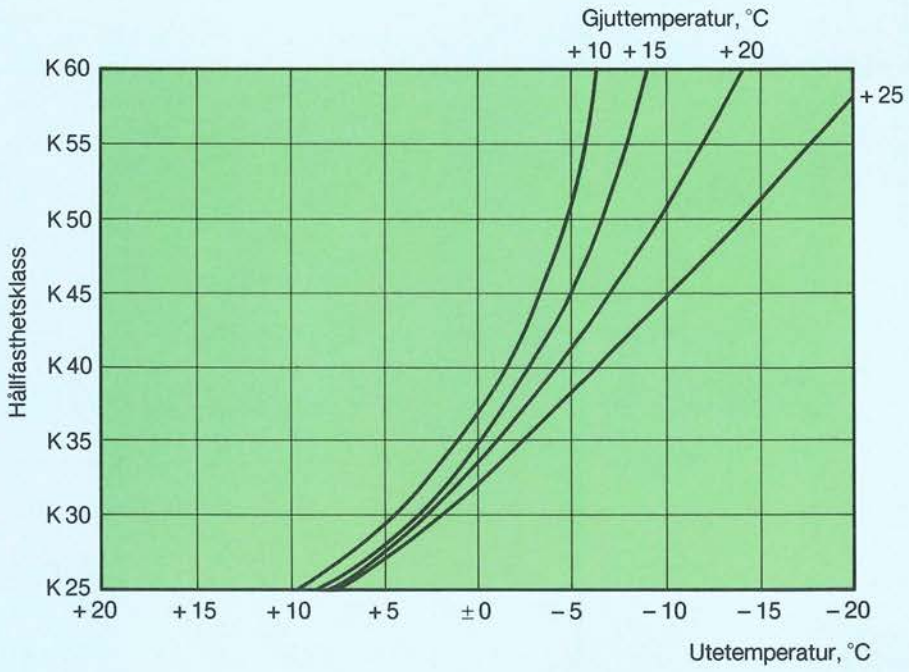


Diagram 3 b

Skövde SH P

Formrivningstid 5 dygn



Normalisolerad stålform

Diagram 4 a

Std P

Formrivningstid 3 dygn

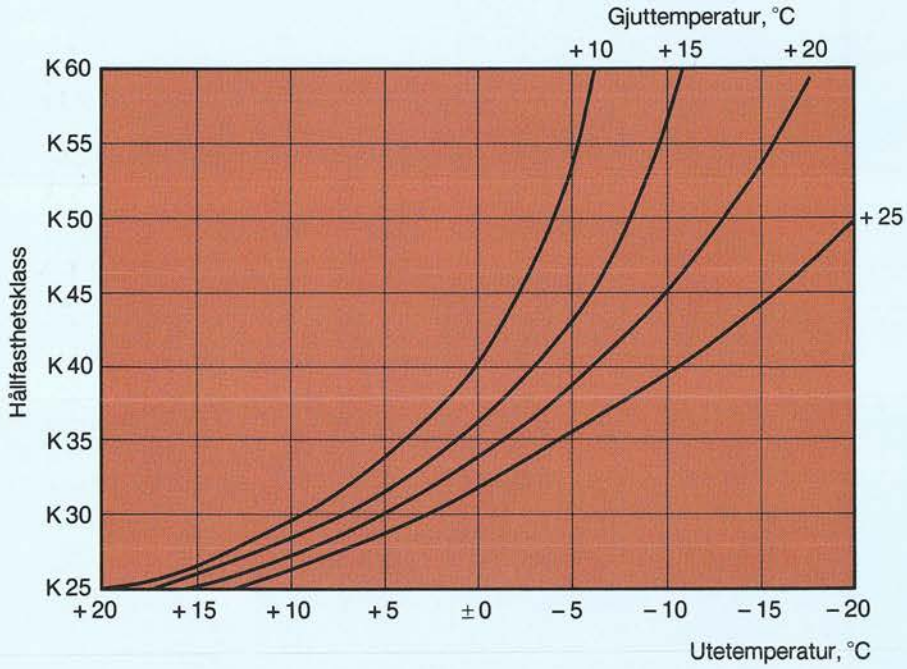
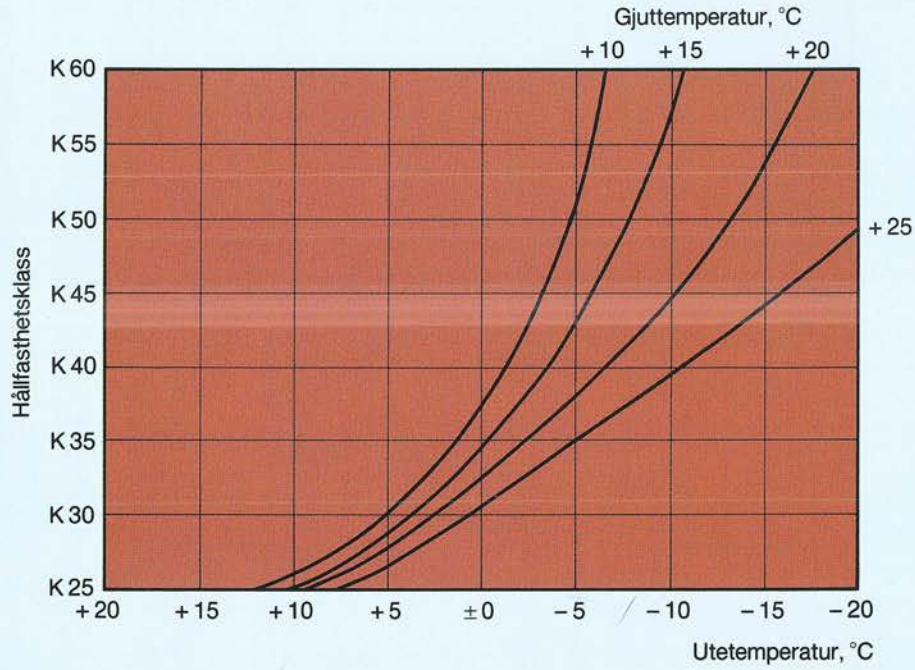


Diagram 4 b

Std P

Formrivningstid 5 dygn



Normalisolerad stålform

Diagram 5 a

Slite SH P

Formrivningstid 3 dygn

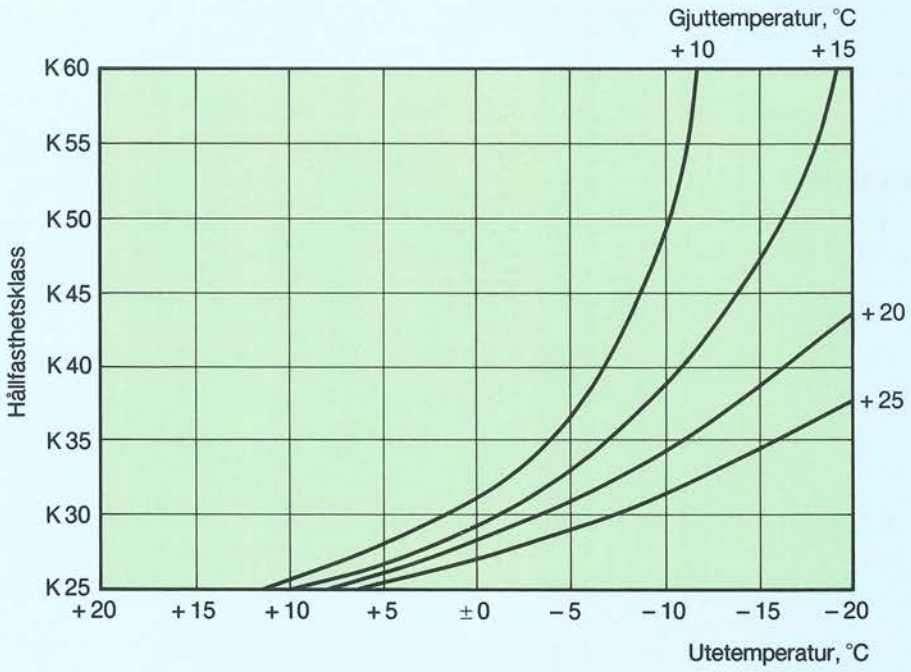
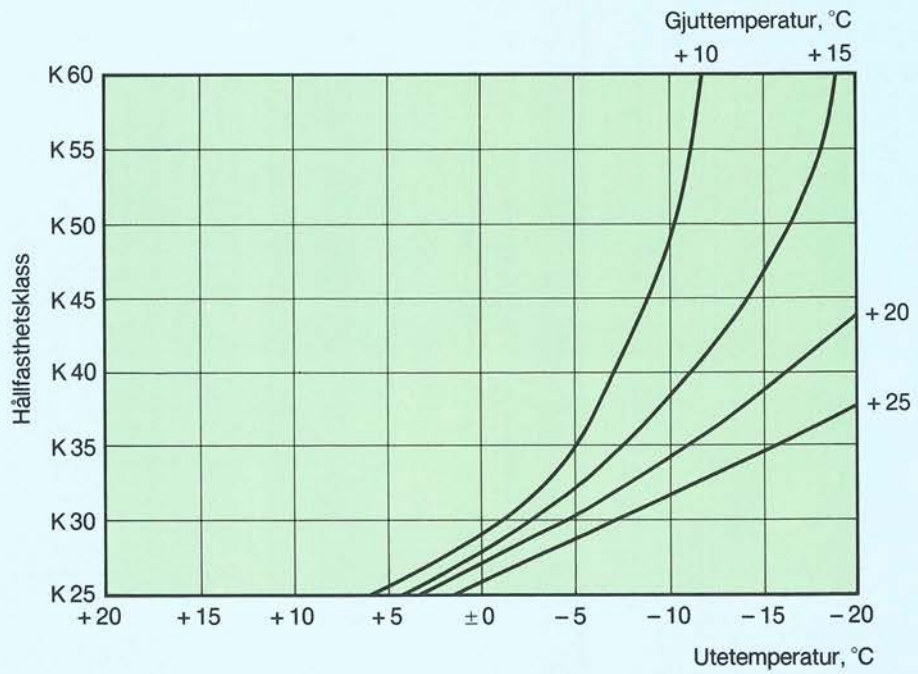


Diagram 5 b

Slite SH P

Formrivningstid 5 dygn



Normalisolerad stålform

Diagram 6 a

Skövde SH P

Formrivningstid 3 dygn

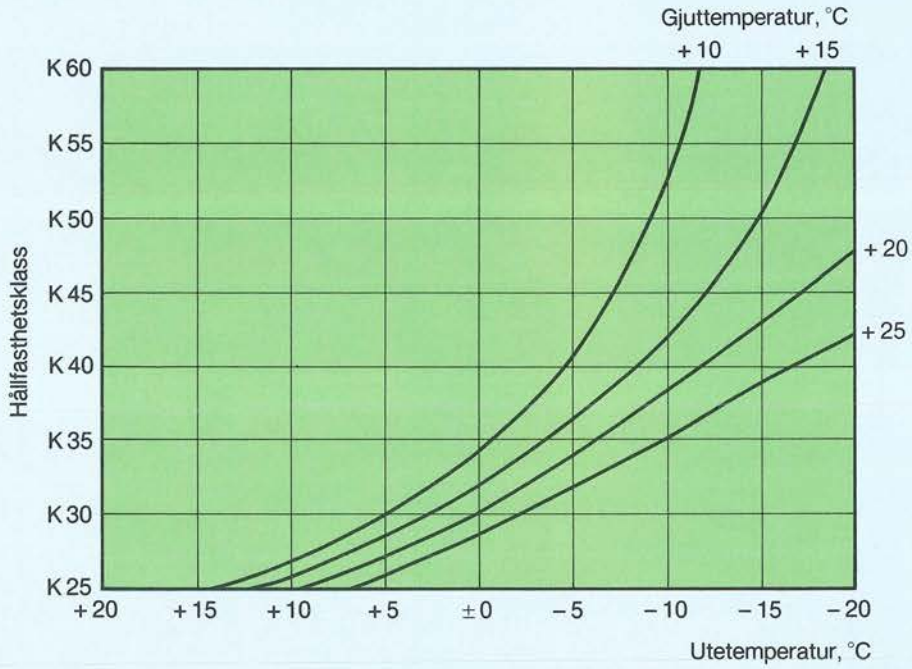
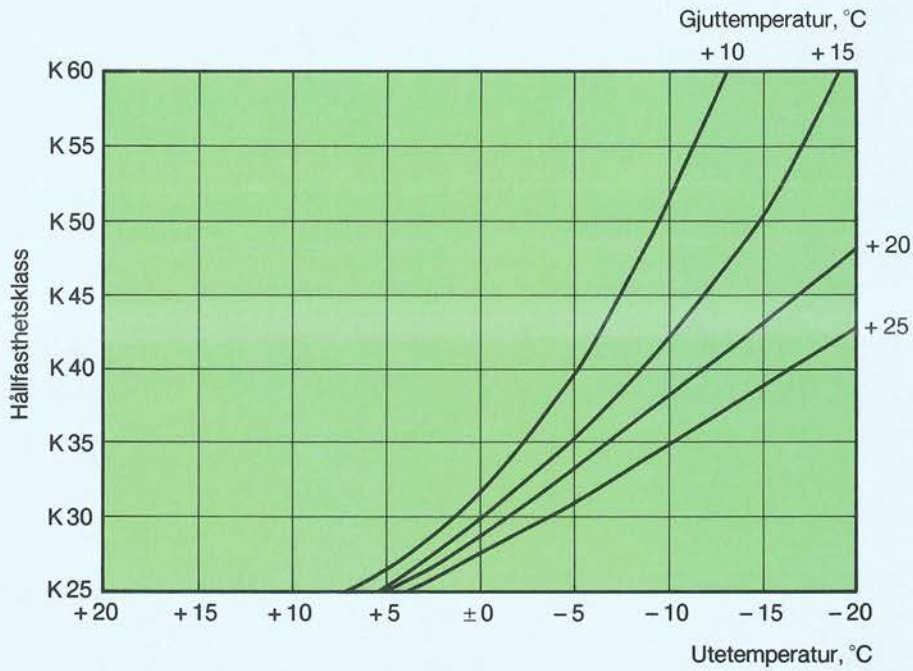


Diagram 6 b

Skövde SH P

Formrivningstid 5 dygn



Välisolerad stålform

Diagram 7 a

Std P

Formrivningstid 3 dygn

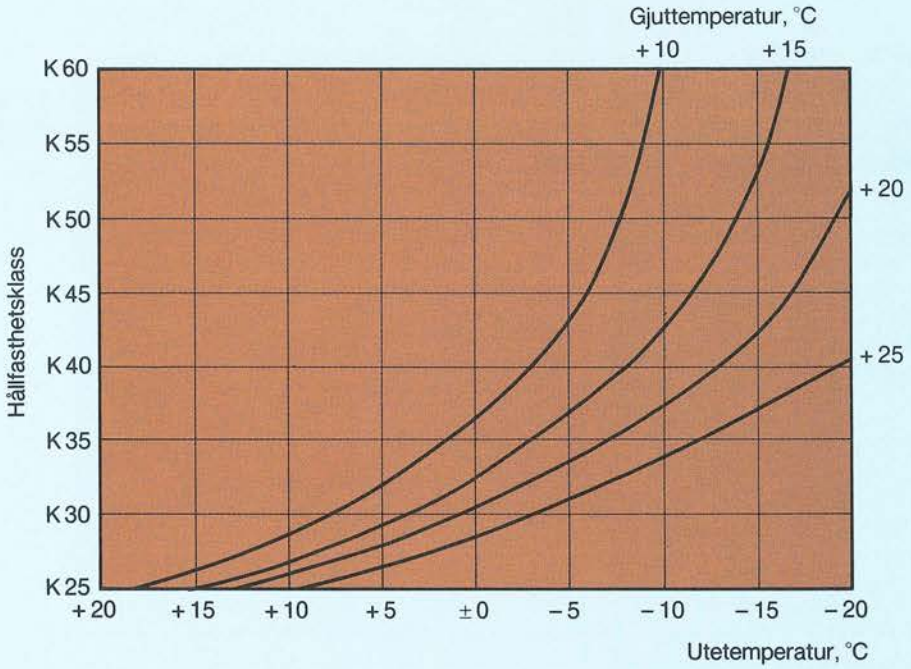
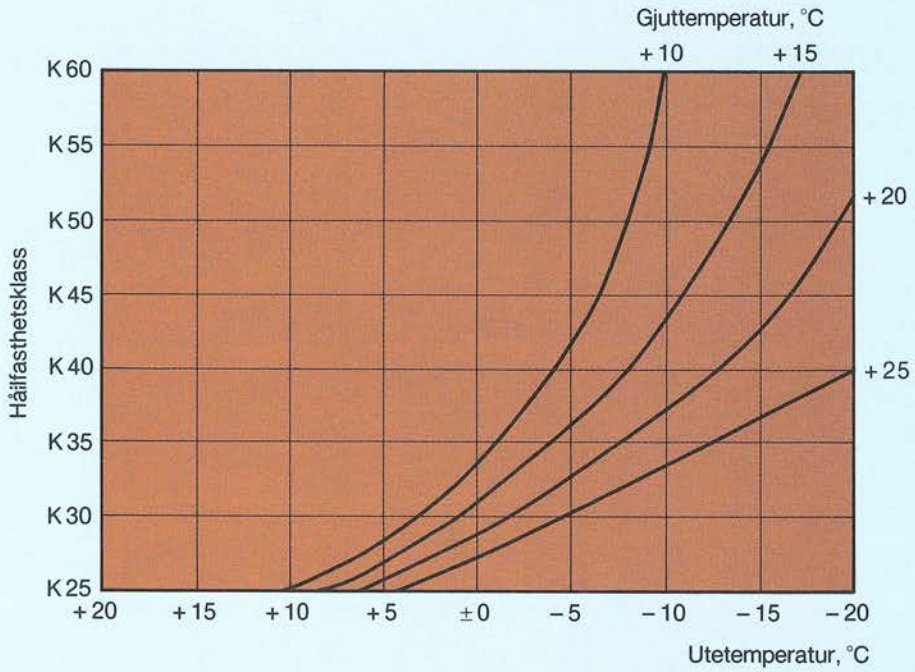


Diagram 7 b

Std P

Formrivningstid 5 dygn



Välisolerad stålform

Diagram 8 a

Slite SH P

Formrivningstid 3 dygn

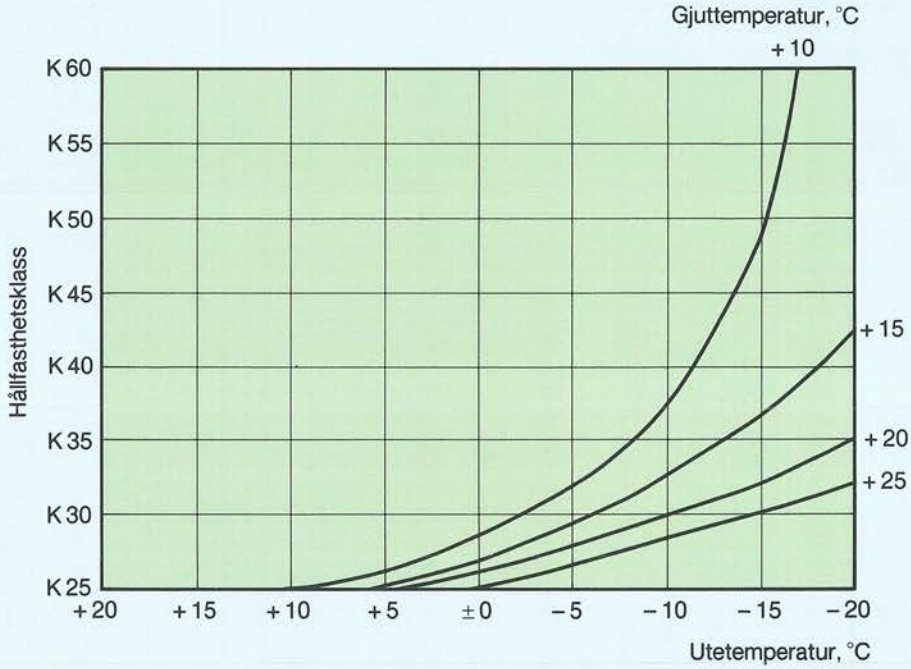
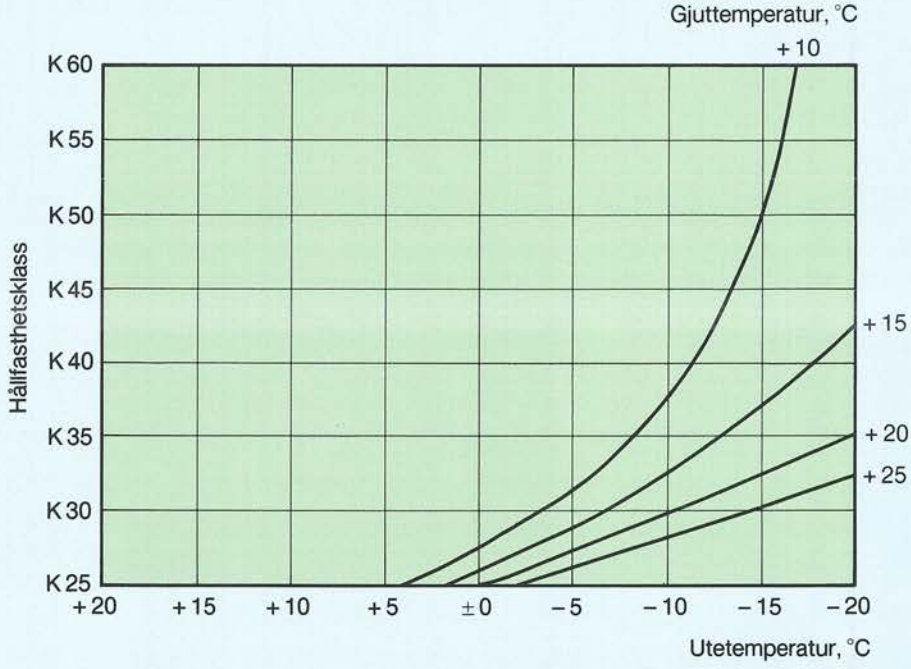


Diagram 8 b

Slite SH P

Formrivningstid 5 dygn



Välisolerad stålform

Diagram 9 a

Skövde SH P

Formrivningstid 3 dygn

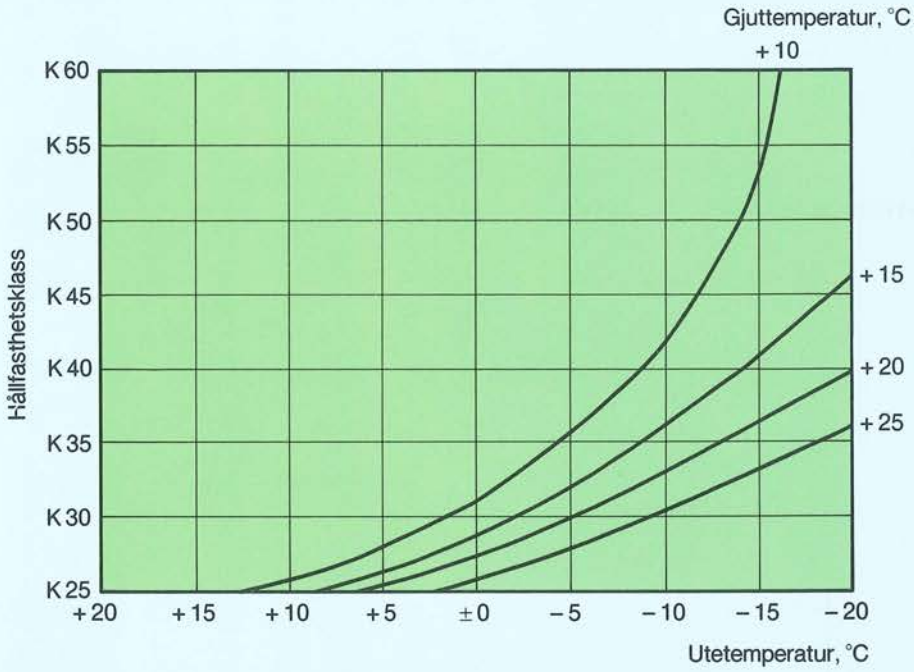
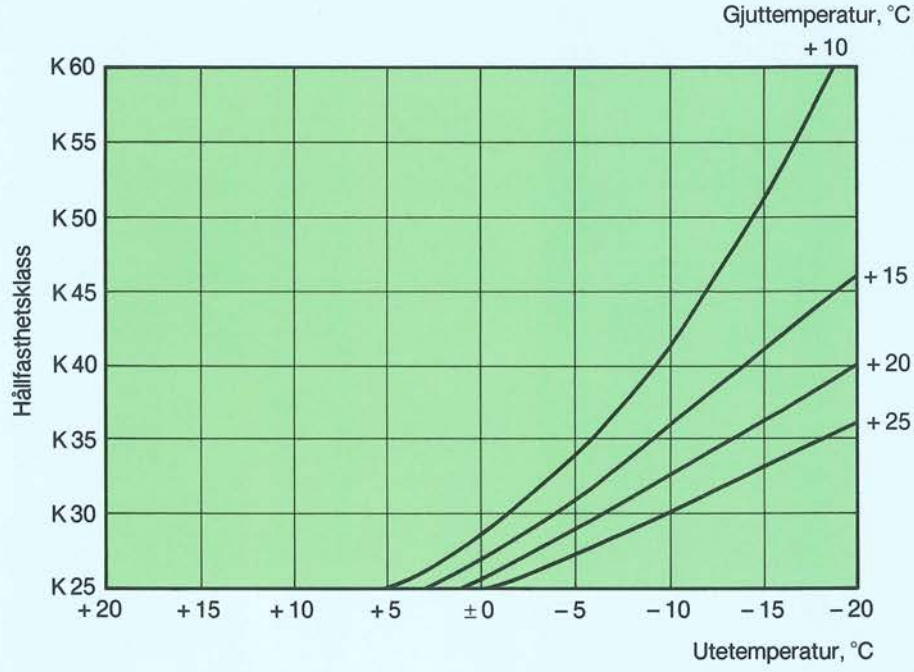


Diagram 9 b

Skövde SH P

Formrivningstid 5 dygn



KAPITEL 7

Litteraturreferenser

LITTERATURREFERENSER

En omfattande samling av diagram som kan användas vid val av lämplig betongkvalitet och övriga vinterbetongåtgärder återfinns i följande skrift:

Jan-Erik Jonasson: Vinterbetong. CBI Informerar 3.85, 1985.

Viktiga byggtekniska råd ges även i skriften:

Sten Jacobsson, Björn Magnusson, Kurt Wennmark: Energibesparande metoder vid vintergjutning. Byggforskningsrådet Rapport R16:1981. (Rapporten har sammanfattats i lätttillgänglig form i häftet "Effektivitet i betongbyggandet" utgiven av Byggförbundet och Byggforskningsrådet 1981).

Övriga litteraturreferenser är

/1/ *Paul Samuelsson*: Byggplatsens behov av korttidshållfasthet hos betong. Byggforskningsrådet Rapport R101:1983.

/2/ *Gunnar Fredriksson, Paul Samuelsson*: Glättning av betonggolv. Cementa 1989.

/3/ *Göran Möller*: Early freezing of concrete. CBI, Applied Studies No 5, 1962.

/4/ *Göran Fagerlund*: Influence of slag cement on the frost resistance of concrete – a theoretical analysis. CBI Research Fo 1:80, 1980.

/5/ *Jan-Erik Jonasson, Marcin Stelmarczyk*: HETT5. Program för beräkning av temperatur och hållfasthetsutveckling. Betong Data, 1991.

/6/ *Gunnar Fredriksson, Paul Samuelsson*: Optimering av betongegenskaper med hänsyn till vintergjutning. Byggforskningsrådet. Rapport R17:1985.

/7/ *Johan Claesson*: Teoretisk beräkning av temperaturförlopp i hårdnande betong vid gjutning vintertid på kallt underlag. Nordisk Betong Nr 1, 1972.

/8/ *Geir Haram*: Control of setting time by plasticizers. Nordisk Betong Nr 1-2, 1986.

/9/ *Lars Nordfelth, Bertil Nyman, Per-Erik Persson*: Het betong – en metod för betonggjutning vintertid. CBI Rapport Ra 1.87, 1987.

/10/ *Kyösti Tuutti*: Corrosion of steel in concrete. CBI Research Fo 4.82, 1982.

/11/ *Ingvar Nilsson*: Härdning av betongkonstruktioner med infraröd strålningsvärme. Byggforskningsrådet Rapport R107:1986.

/12/ *Johan Alexandersson*: Strength losses in heat cured concrete. CBI Handlingar Nr 43, 1972.

/13/ BBK 79: Avsnitt 8.6.7. Statens Betongkommitté 1979.

/14/ *Ingvar Nilsson*: Härdning av betong med elektrisk värmetråd. Byggmästaren Nr 9 1982.

/15/ *Pauli Nikkanen*: Electric wire heating of concrete. Statens Tekniska Forskningsanstalt, Otnäs 1970 (på finska med engelsk sammanfattning).

/16/ KB5: Kommentarer till 1965 års Material- och Utförandebestämmelser för Betong. Statens Betongkommitté 1966.

/17/ *Jan-Erik Jonasson*: Early strength growth in concrete – preliminary test results concerning hardening at elevated temperatures.Ingår i boken VTT Symposium 61 "Third International RILEM symposium on Winter Concreting" Otnäs, Finland, 1985. (Denna skrift innehåller även annan information om olika vinterbetongfrågor).

/18/ *Finn Olav Buö*: Sprickbildning i betongväggar till följd av cementets hydratationsvärmeutveckling. CBI Särtryck 68, 1973.

/19/ *Randulf Johansen*: En praktisk prøvningsmetod for in situ bestemmelse av byggverksfasthet. Nordisk Betong 1977:4.

/20/ *Ulf Bellander*: Hållfasthet i färdig konstruktion. Del 3: Oförstörande metoder. Laboratorie- och fältförsök. CBI Forskning Fo 3:77, 1977.

/21/ *Göran Möller*: Utvärdering av COMA-test. CBI Uppdragsfunktionen Rapport Nr 8335, 1983.

/22/ *Örjan Petersson, Arne Johansson*: Styrning av glättningshårdhet. CBI Rapport 1:91, 1991.

/23/ *Björn Täljsten*: Temperatur- och mognadsutvecling för Anläggningscement. Tekniska Högskolan i Luleå, Avd. för Konstruktionsteknik 1987:035 E.

/24/ *Arne Retelius, Håkan Nyqvist*: FoU Vinterbetong – vägg- och bjälklagsgjutningar. Halvskaletest – Resultatredovisning. Cementa, CM Rapport T 89009, 1989.

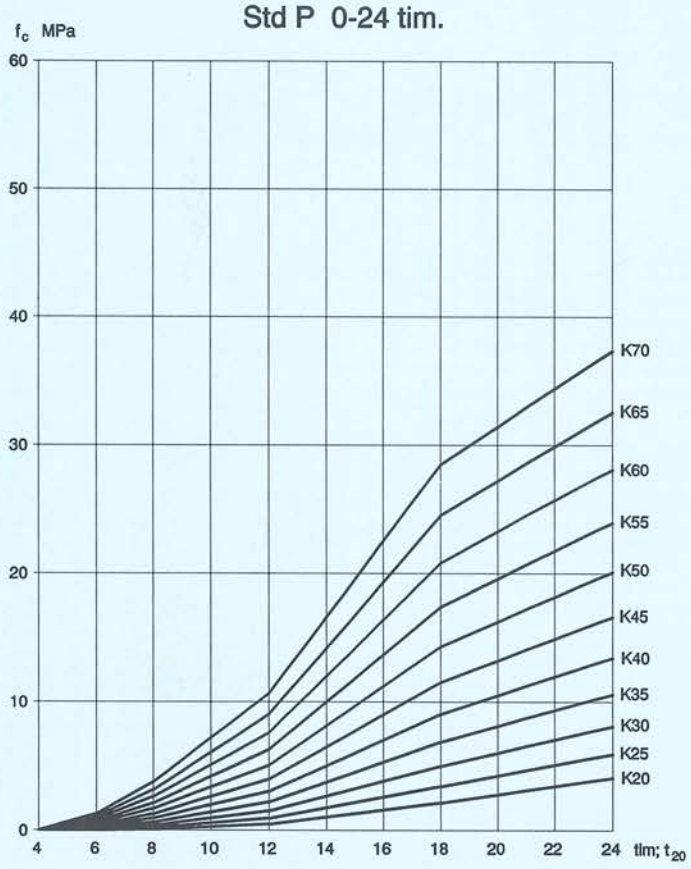
/25/ *Göran Fagerlund*: Olika sätt att definiera mognadsgrad – En jämförelse. Cementabroschyr.

/26/ *Marie Lindell, Jan Röring*: Mognadsutveckling för nya svenska Std och SH cement. Tekniska Högskolan i Luleå, Avd. för Konstruktionsteknik, 1987:044 E.

BILAGA 1 – DATA ÖVER SVENSKA CEMENT

Nomogram och diagram i denna skrift baseras på följande data över svenska cement:

1: Tendenskurvor enligt figurer på sidorna 66–73 (kurvorna förutsätter att betongen saknar tillsatsmedel och tillsatsmaterial).



2: Temperaturberoende hos cementreaktionen enligt diagram på nästa sida (förutsätter att tillsatsmedel och tillsatsmaterial saknas).

Temperaturberoendet kan även uttryckas med följande samband

$$T_0 = a \cdot \left(\frac{30}{T+10} \right)^b$$

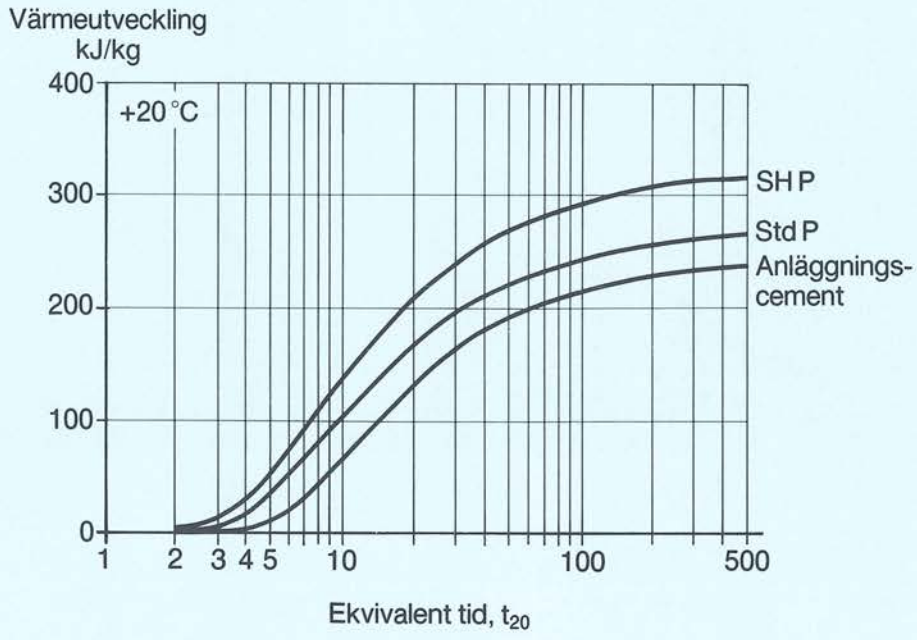
$$k = e^{T_0 \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273+T} \right)}$$

där k är reaktionshastigheten vid temperaturen T°C relativt hastigheten vid +20°C.

a och b är konstanter vilka har följande värden för olika cementtyper.

Cementtyp	a	b
Std P	5660	0,48
Anläggnings-cement	5400	0,48
SH P	4790	0,54

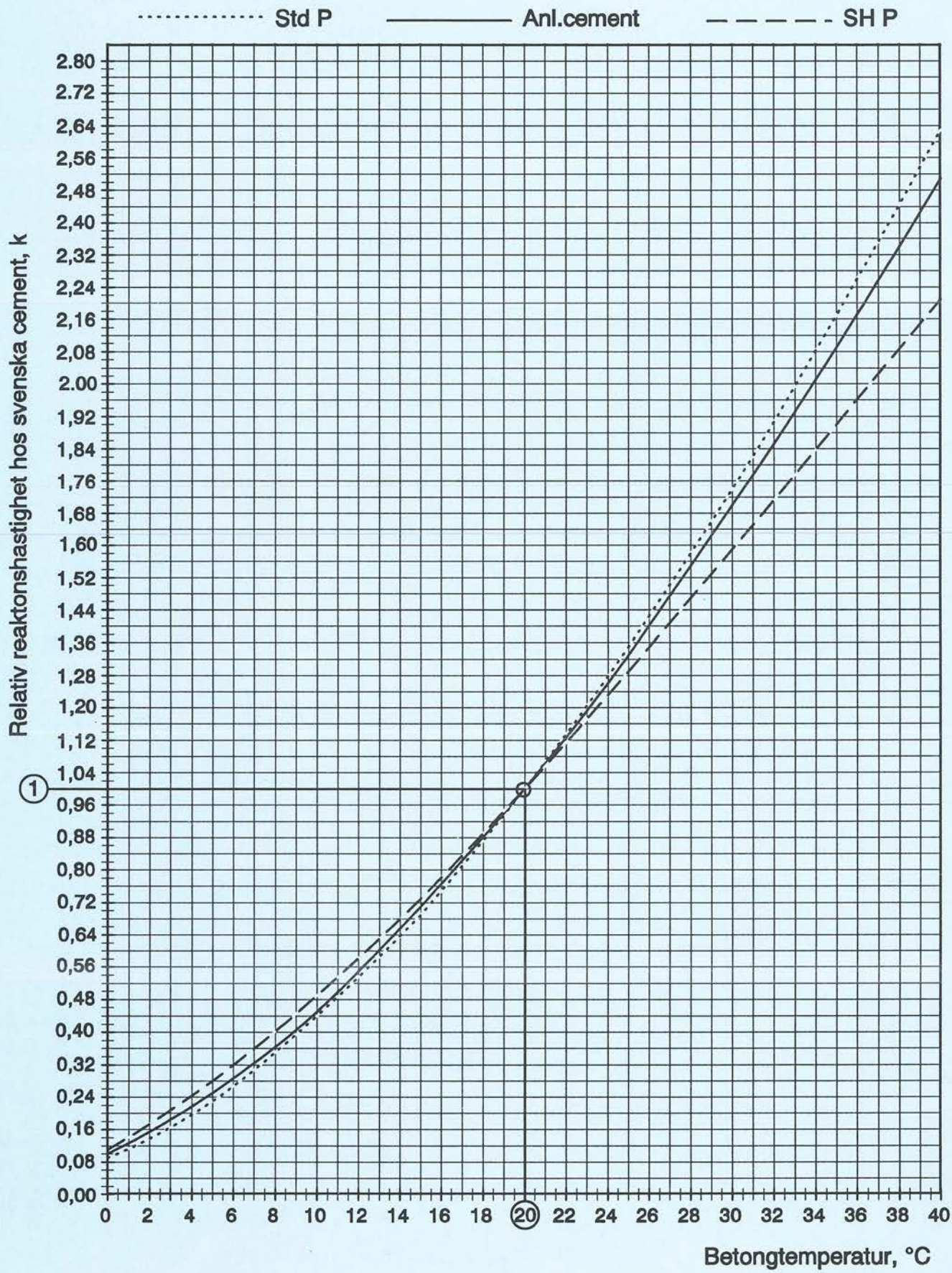
3: Värmeutveckling vid konstant temperatur +20°C enligt följande diagram.



Diagrammet gäller för K30. Vid högre hållfastheter ligger kurvorna på en lägre nivå, från ca 15 timmar och uppåt.

Diagrammet baseras på mätningar av värmeutvecklingen med svenska cement hos Euroc Research (f. d. Cemlab), Luleå Tekniska Högskola och Statens Provningsanstalt.

Cementreaktionens temperaturberoende



CEMENTA
EUROC

Cementa AB, Box 144, 182 12 Danderyd, Tfn 08-753 01 60