LUND UNIVERSITY

Produktionsekonomi och betongval

Fagerlund, Göran

1990

Link to publication

Citation for published version (APA):
Fagerlund, G. (1990). *Produktionsekonomi och betongval*. 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

Download date: 18. Dec. 2025

Produktionsekonomi och Betongval

Göran Fagerlund

Produktionsekonomi och Betongval

Göran Fagerlund

ISBN 91-87334-05-4
AW Grafiska, Uppsala 1990

INNEHÅLL

Förord 7

Kostnadspress innebär risker 8

Produktionsanpassa betongen! 9

Översikt över produktionsproblem 10

Gjutbarhet 15
- Gjutbarhet - Definition 16
- Gjutbarhet - Konsistens - Mätmetoder 17
- Konsistens som mått på gjutbarhet 19
- Omformningstalet som mått på gjutbarhet 21
- God gjutbarhet - En proportioneringsfråga 24
- Gjutbarhet och vattenhalt 26
- Gjutbarhet och cementhalt 28
- Gjutbarhet och vattenreducerande tillsatsmedel 30
- Gjutbarhet hos flytbetong 32
- Gjutbarhet och luftporbildare 33
- Gjutbarhet och cementsort, SH-cement 34
- Gjutbarhet och cementsort, Anläggningscement 35
- Gjutbarhet och ballastgradering 36
- Gjutbarhet och tillsatsmaterial, silikastoft 39
- Gjutbarhet och tillsatsmaterial, flygaska 40
- Gjutbarhet och produktionsekonomi 41

Övriga byggtekniska problem 43
- Förlängd formrivningstid - vinterbetongproblem 44
- Konsistensförluster före gjutning 48
- Försenad golvglättning 50
- Separation 51
- Plastiska krympsprickor 52
- Temperatursprickbildning 53
- Förlängd uttorkningstid 55
- Krympsprickbildning 57
- Komplicerad efterhärdning 59

Problem hos den färdiga konstruktionen 61
- För låg hållfasthet hos konstruktionen 62
- För låg beständighet hos konstruktionen 64
  - Frostbeständighet 65
  - Armeringskorrosion 67

Litteraturreferenser 69

FÖRORD

Vid entreprenörens beställning av betong får inte enbart stenstorleken, konsistensen och den av konstruktören krävda kubhållfastheten vara avgörande. Risken är då mycket stor att man gör en kraftig s. k. suboptimering; d.v.s. betongmassan blir billig men problemen på byggplatsen blir så stora att den totala produktionskostnaden blir onödigt hög. Till detta kommer att problem vid gjutningen ofta medför att byggnadsverket får sänkt kvalitet: sänkt hållfasthet, låg beständighet, sprickbildning, svaga ytor etc.

I denna skrift vill vi visa att en stor andel av alla de problem man har på arbetsplatsen kan lösas eller i varje fall kraftigt minskas genom ett mera nyanserat val av betong. Tyngdpunkten i skriften läggs på *gjutbarheten* eftersom mycket stora besparingar i efterlagningskostnaden kan göras genom relativt små förändringar i betongsammansättningen. Även med tanke på arbetsmiljön är det viktigt att använda betong som kräver liten efterlagning trots begränsade vibreringstider.

Andra frågor som kan uppkomma under produktionsskedet berörs mera översiktligt. Dit hör vinterbetongproblem, tillstyvnadsproblem, uttorkningsproblem, samt sådana beständighetsproblem som egentligen hänför sig till felaktigt materialval men som ofta kommer att belasta entreprenören.

Dessa senare frågor har behandlats mera utförligt i andra skrifter utgivna av Cementa, t. ex.:

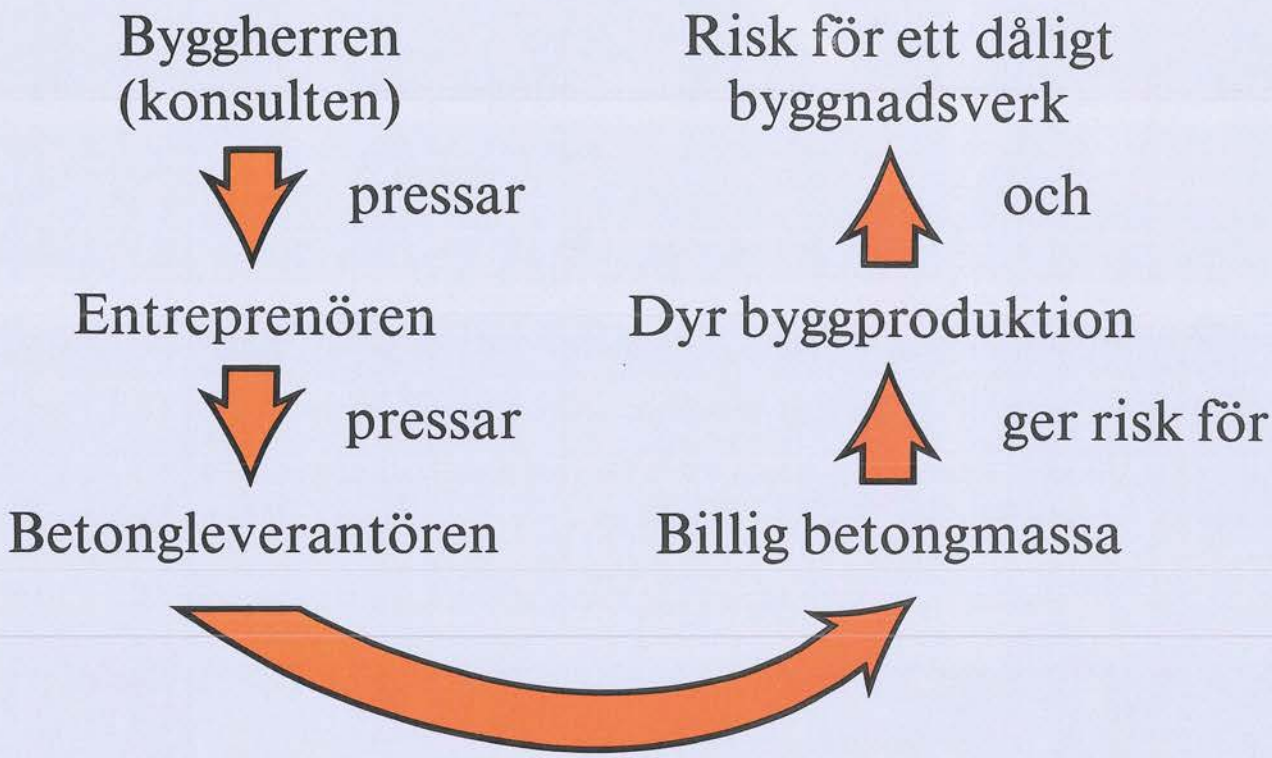
- Vinterbetong; en översikt (1988)
- Glättning av betonggolv (1989)
- Uttorkningstider hos betongkonstruktioner (1988)
- Vattenbyggnadsbetong (1989)
- Anläggningscement för beständiga konstruktioner (1989)
- Betongkonstruktioners beständighet – en översikt (1990)

Skriftens avsnitt om gjutbarhet baseras till stor del på en omfattande undersökning som nyligen slutförts vid Betongcentrum i Malmö. Projektet planerades av Christer Ljungkrantz vid Cementa och det praktiska arbetet genomfördes av Lars Hansson vid Betongcentrum. Till dessa båda herrar framförs ett varmt tack.

Jag vill även tacka Ulla Jardinger, Cementa, som maskinskrivit texten, Ann Winberg som färdigställt allt illustrationsmaterial samt Gerdt Lundeberg, Cementa, som redigerat skriften.

Lund
Juni 1990
Göran Fagerlund

KOSTNADSPRESS INNEBÄR RISKER

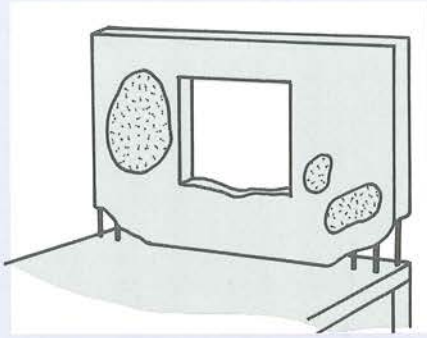


- Beräkna totalekonomin av olika alternativ att klara såväl betongarbetet som byggnadens kvalitet.
- Väg betongkostnaden mot övriga produktionskostnader.
- Väg betongkostnaden mot risken att få ett dåligt byggnadsverk på grund av ökade produktionssvårigheter.
- Instruera inköpare att ta hänsyn till total produktionskostnad.

Undvik suboptimering!

PRODUKTIONSANPASSA BETONGEN!

Exempel ytterväggsgjutning höst–vår.



- Ofullständig gjutning
- Ytporer
- Formlossningsskador
- Rasrisk vid formlossning

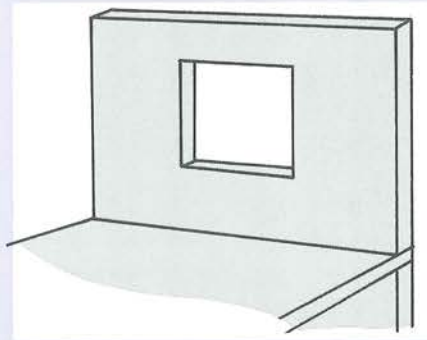
Dyr efterlagning.

Låg byggnadskvalitet.

Felaktigt agerande

Aktör	Krav	Leverans
Byggherre (konsult)	K25	
Entreprenör	K25L 32 mm	
Betongtillverkare		K25L 32 mm

Billig betong men dyr produktion och låg byggnadskvalitet.



- Säker formrivning
- Små (inga) ytskador

Billig efterlagning.

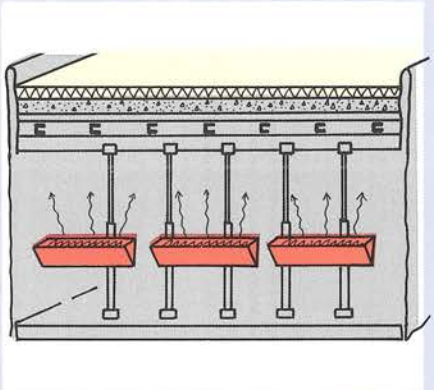
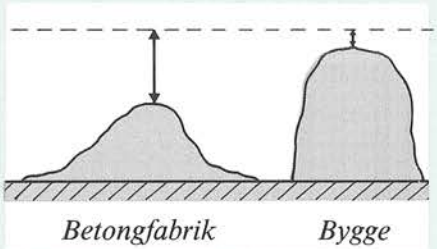
Hög byggnadskvalitet.

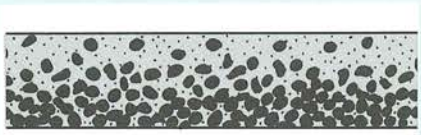
Riktigt agerande

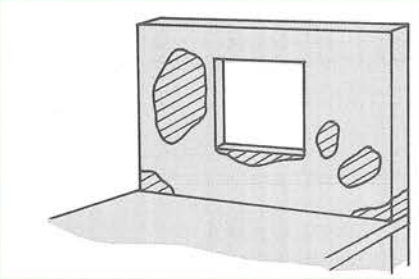
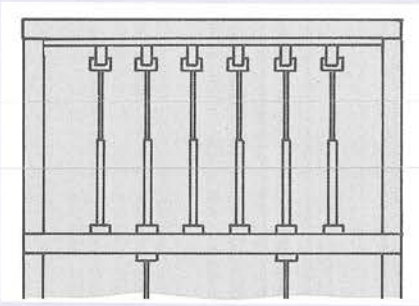
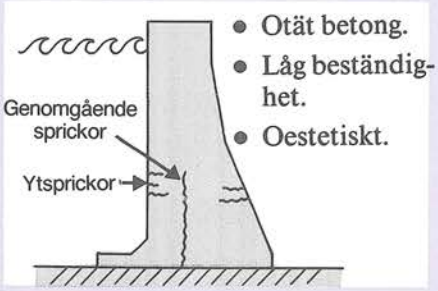
Aktör	Krav	Leverans
Byggherre (konsult)	K25	
Entreprenör	– Min K25 – Hållfasthet min 5 MPa efter 16 tim i oisolerad form – Extra hög gjutbarhet	
Betongtillverkare		– K35 – SH-cement – Leveranstemperatur 20 °C – Omformningstal 10 – Sättmått 150 – Inget retarderande tillsatsmedel – Inget tillsatsmaterial

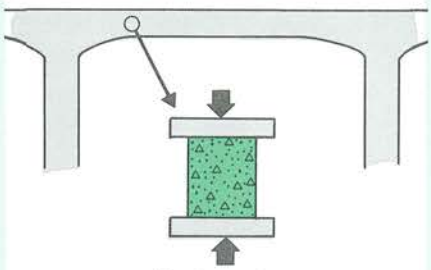
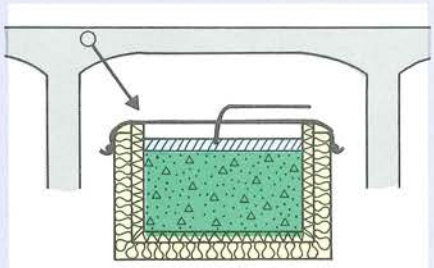
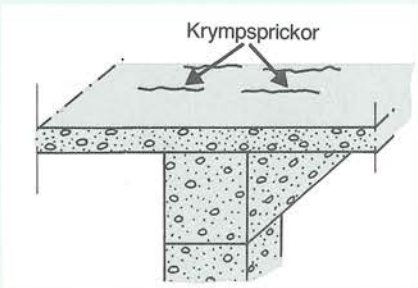
Utnyttja betongtekniska möjligheter att klara produktionsproblem och därmed hög byggnadskvalitet!

ÖVERSIKT ÖVER PRODUKTIONSPROBLEM

Problem	Betongorsak	Konsekvenser/ Merkostnader
Omfattande vinterbetongåtgärder på byggplatsen.  • Ingjutna värmekablar. • Strålningsvärme. • Varmskjul. • Oljedriven byggtork.	• Betong med för låg egen värmeutveckling – för låg hållfasthetsklass, – för långsamt cement, – för låg gjuttemperatur, – silikastoft eller flygaska, – retarderande (vattenreducerande) tillsatsmedel.	• Kostnaderna på byggplatsen kan bli mycket höga (ungefärliga siffror) – infravärme 100:–/m^3, – ingjutna värmetrådar 120:–/m^3, – varmskjul: oklar totalkostnad, – byggtork 150:–/m^3.
Stora konsistensförluster före gjutning.  • Sättmåttsförlust. • Förlust av gjutbarhet.	• För låg vattenhalt. • Varm (het) betong. • Felaktiga tillsatsmedel (för starkt vattenreducerande, accelererande). • För lång tid efter tillsats av flyttillsats. • Dålig gjutbarhet.	• Kassering av betong och ny leverans. • Dåligt komprimerad betong kan ge låg hållfasthet i konstruktionen: förstärkningskostnader. • Låg ytfinish: lagningskostnader.
Försenad golvglättning. • Svag betongyta. • Risk för frysning av överytan (täckning försenas).	• För låg reaktivitet – cement med för lång bindetid, – retarderande tillsatsmedel (t. ex. vattenreducerare), – silikastoft eller flygaska. • För låg gjuttemperatur.	• Övertidsersättning. • Försenad formrivning ger kostnader för produktionsstörning. • Extra lagningskostnader – spacklingskostnader.

Problem	Betongorsak	Konsekvenser/ Merkostnader
Separation.  • Låg slitstyrka. • Krympsprickor i ytan.	• Ostabil betong – för låg finpartikelhalt i förhållande till konsistens och vibreringsmetod, – för lös konsistens.	• Kostnader för försvårad glättning. • Svårt att ytbehandla. • Beställaren accepterar inte ytan (avdrag för låg kvalitet).
Besvärlig vakuumbehandling. • Svag betongyta. • K-värdeshöjning enligt BBK kan ej utnyttjas.	• För hög finpartikelhalt – silikastoft, – SH-cement, – fillerrik betong. • Vattenreducerad betong	• Kostnader för förlängd vakuumsugning. • Dålig golvkvalitet, eventuellt slipning eller bilning och pågjutning.
Plastisk krympning. • Genomgående sprickbildning. • Låg beständighet. • Låg ythållfasthet.	• Betong med låg vattenseparation – silikastoft, – hög finpartikelhalt, – starkt vattenreducerad betong.	• Efterlagningskostnaderna kan bli mycket höga (bl. a. injektering av stort antal sprickor). • Ibland rivning och ombyggnad. • Avdrag för låg kvalitet.
Problem vid pumpning. • Stort pumptryck. • Låg pumpkapacitet. • Stopp.	• Dålig gjutbarhet.	• Kostnader för produktionsstörning. • Kassering av betong och ny leverans.

Problem	Betongorsak	Konsekvenser/ Merkostnader
Stor efterlagning.  • Gjutsår. • Ytporer. • Formlossningsskador. • Tidiga frysskador.	• Dålig gjutbarhet. • Långsam hållfasthetstillväxt – för låg hållfasthetsklass, – för långsamt cement, – för låg gjuttemperatur, – silikastoft eller flygaska, – retarderande (vattenreducerande) tillsatsmedel.	• Stora efterlagningskostnader (ungefärliga siffror) – utlagning av väggar, 50 – 200:–/m^3 – spackling av valvundersida före målning, 50:–/m^3 – extra spackling av golv, 100 – 150:–/m^3 – i värsta fall omgjutning av frusen konstruktionsdel.
Förlängd formrivningstid.  • Långvarig stämpning. • Försenad formlossning.	• Långsam hållfasthetstillväxt (t. ex. frysning av valv innan erforderlig formrivningshållfasthet uppnåtts) – för låg hållfasthetsklass, – för långsamt cement, – för låg gjuttemperatur, – silikastoft eller flygaska, – retarderande (vattenreducerande) tillsatsmedel.	• Kostnader för produktionsstörning. • Extra formkostnader.
Förlängd uttorkningstid (särskilt vid tjocka bjälklag, samverkansbjälklag, golv på mark). • Lossnande golvmattor. • Fuktskadade undergolv (spånskivor). • Blåsiga färgskikt.	• För hög byggfukthalt – högt vct. • För långsam uttorkningshastighet – betong utan luft.	• Kostnader för försenad golvläggning (eller annan ytbehandling). • Stor risk för kommande byggfuktskador. Stora reparationskostnader. • Kostsam torkning (t. ex. byggtork under lång tid).
Temperatursprickbildning.  • Otät betong. • Låg beständighet. • Oestetiskt.	• Cement med för hög värmeutveckling. • Mycket hög cementhalt. • För hög gjuttemperatur.	• Höga kostnader för injektering (tätning). • Avdrag för låg kvalitet; Sänkt livslängd.

Problem	Betongorsak	Konsekvenser/ Merkostnader
För låg betonghållfasthet i konstruktionen.  • För låg bärförmåga och säkerhet mot brott.	• Utebliven fukthärdning har ej kompenserats med höjt K-värde enligt BBK's regler. • Alltför hög lufthalt. • Silikastoft, flygaska, slagg utan att förstärkt fukthärdning använts. • Ostabil betong – separation ger låg hållfasthet i överytor.	• Kostnader för förstärkning. • Avdrag för låg kvalitet.
För låg beständighet hos konstruktionen (särskilt saltfrostbeständigheten).  • Minskad livslängd.	**För låg frostbeständighet vid test.** • Olämplig luftporbildare (ostabilt luftporsystem). • Olämplig vattenreducerare. • För kort blandningstid. • Olämpligt bindemedel t. ex. flygaska. • Olämplig ballast (porös, förorenad, slamhaltig). **För lågt skydd av armering.** • Svårhärdad betong (t. ex. silikastoft, flygaska, slagg). • Kloridförorenad betong (kloridhaltigt tillsatsmedel, havsvatten).	• Kostnader för extra förstärkning eller skydd av konstruktionen. • Avdrag för att avsedd kvalitet och livslängd inte nåtts. • I allvarliga fall rivning och ombyggnad.
Krympsprickor under byggtiden (t. ex. vid övergång mellan tjock och tunn betong).  • Otät betong. • Låg beständighet.	• För stor fri krympning – hög vattenhalt, – hög cementpastahalt. • Ostabil betong – ytseparation ger krympsprickor i ytan. • För dålig gjutbarhet.	• Kostnader för injektering. • Avdrag för låg kvalitet.

Gjutbarhet

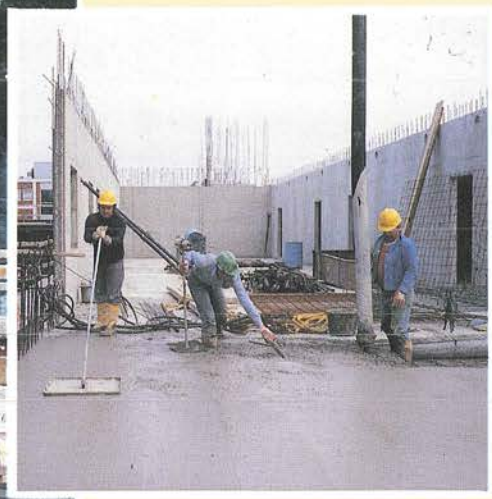
GJUTBARHET – DEFINITION

GJUTBARHETEN eller ARBETBARHETEN är ett mått på den arbetsinsats – maskinell eller manuell – som krävs för att överföra den färska, ogjutna betongmassan till en byggnadskomponent av önskad kvalitet.

God gjutbarhet = låg arbetsinsats (energiåtgång)

Kraven på gjutbarhet varierar beroende på tillverkningsobjekt och sätt att komprimera betongen.

- Vid maskinell betongvaruproduktion med fasta vibratorer ställs rätt små krav. Det är också en annan typ av "gjutbarhet" än vid platsgjutning som gäller, eftersom andra komprimeringsmetoder används.
- Vid platsgjutning med vibratorstav ställs ofta mycket stora krav av följande skäl
  - av arbetsmiljöskäl vill man använda små, lätta stavar,
  - av kostnadsskäl vill man ha korta vibreringstider.



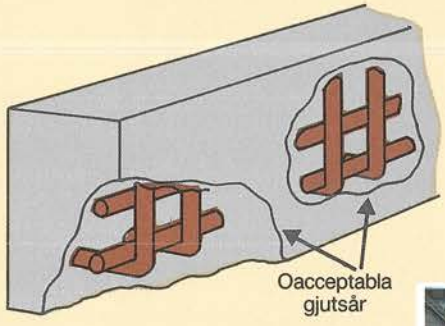
Kraven på gjutbarhet varierar beroende på vilken egenskap hos byggnadskomponenten som efterfrågas.

Generella krav:

- Inga gjutsår (råttbon).
- Fullgod kringgjutning av armering.
- Låg separation av sten och vatten.

Krav ibland:

- Porfria ytor. Ställer mycket stora krav på god gjutbarhet om inte arbetsinsatsen skall bli orimligt stor.
- Hög packningsgrad på grund av krav på täthet och beständighet.



Länsförsäkringars hus, Kungsgatan Stockholm.
Entreprenör Skanska AB.
Foto Stefan Rickne.

Hög gjutbarhet ger snabb gjutning med små skador, goda ytor och god arbetsmiljö.

— GJUTBARHET - KONSISTENS - MÄTMETODER —

Begreppet gjutbarhet innebär mycket varierande krav på betongen beroende på vilken produktionsmetod som används. Gjutbar betong vid extrudering av håldäcksplattor är t. ex. något helt annat än gjutbar betong vid platsgjutning av trånga väggar. När det gäller betong för vanliga gjutningar, som skall komprimeras med begränsad arbetsinsats och konventionella vibratorer, kan man finna relativt entydiga samband mellan gjutbarhet och betongsammansättning. Det är denna typ av konventionell betong som behandlas i avsnitten om gjutbarhet i denna bok. En svaghet är dock att det inte existerar något riktigt bra sätt att mäta gjutbarheten. Den bästa "mätmetoden" är ofta den enskilde betongarbetarens uppfattning.

Gjutbarhet - arbetbarhet - ersätts oftast med begreppet "konsistens".

Ett stort antal konsistensmätare finns. Samtliga mäter på det på ena eller andra sättet energibehovet för att deformera betongmassan i något avseende.

a) Sättkon → sättmått, (mm)

b) Vebemätare → vebe, (sek)

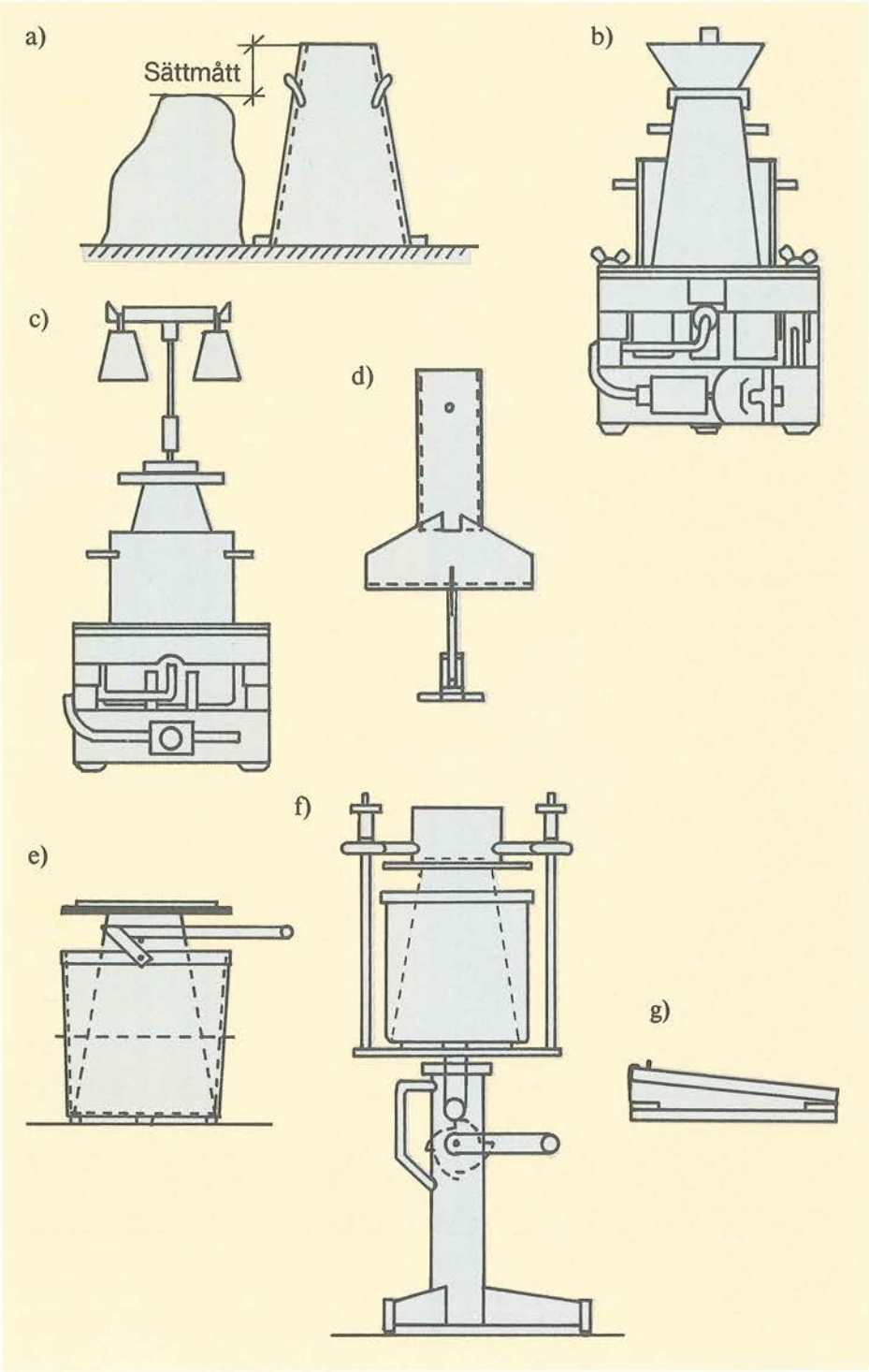
c) Modifierad vebemätare → vebe(m), (sek)

d) Momätare → motal (slag)

e) Thaulowmätare med slaghank → Thaulowmått (slag)

f) Thaulowmätare med fallbord → Thaulowmått (slag)

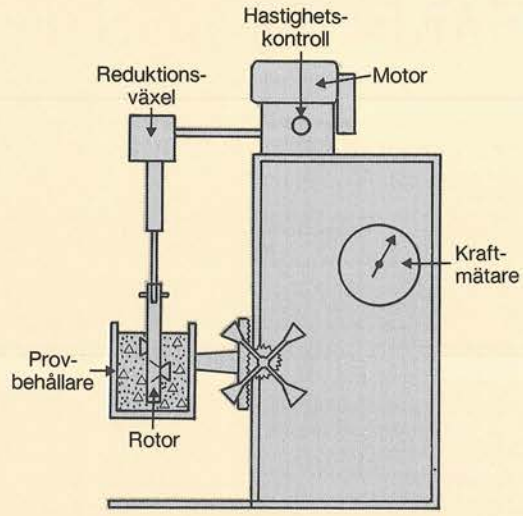
g) Skakbord → utbredningsmått (mm)

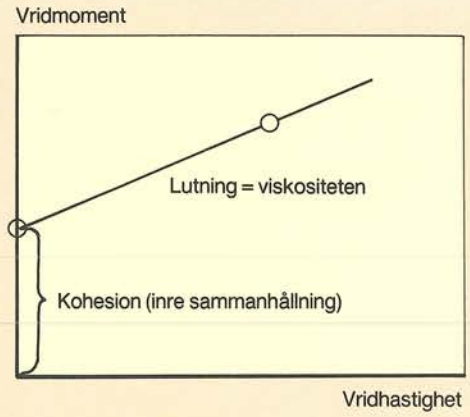


Man har försökt utveckla bättre mätmetoder som bygger på betongens *viskositet* och *inre sammanhållning* (kohesion).

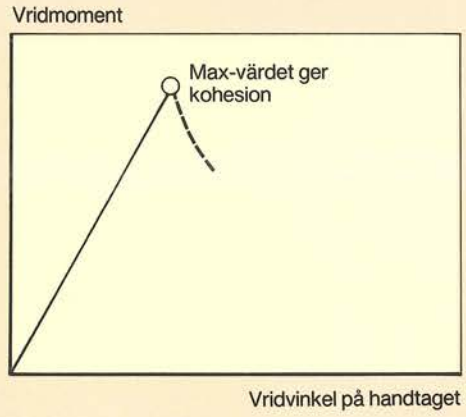
Tattersalls tvåpunktstest/1/
Man mäter vridmotståndet vid olika varvtal för att vrida runt en "visp" som är nedsänkt i betongen. Mätaren ger kohesion och viskositet.

Tvåpunktstestet har vid laboratorieförsök visat sig ge god information om betongens gjutegenskaper, t. ex. inverkan av tillsatsmedel och tillsatsmaterial. Metoden kan därför användas för utprovning av betongrecept men är dock inte användbar i fält.





Rapide-test /2/
Man mäter vid vilket vridmoment en fjäderbelastad vinge som förts ner i betongen "släpper" och börjar vrida sig. Mätaren ger enbart kohesion. Fördelen är att mätaren kan användas i fält.



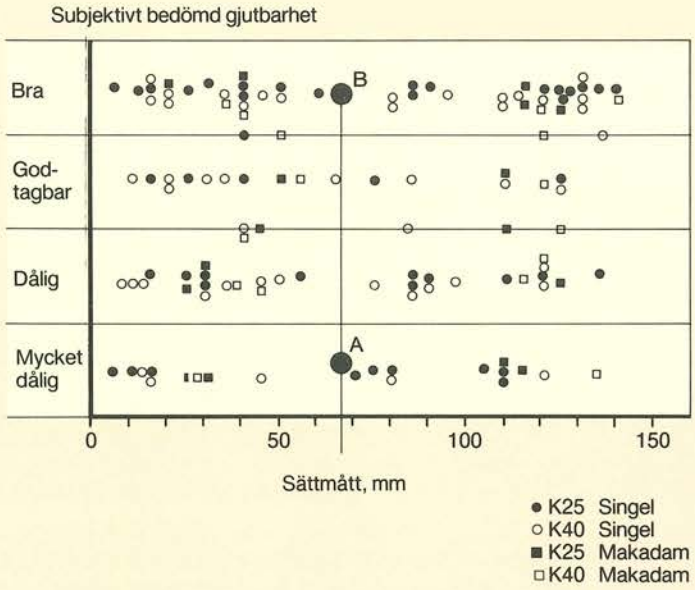
I princip borde man ha en mätare som så realistiskt som möjligt återger betongens rörelsemönster vid gjutningen och därvid även energiåtgången för fullständig packning.

KONSISTENS SOM MÅTT PÅ GJUTBARHET

Sättmåttet är ett dåligt mått på gjutbarheten.

- Två betonger (A och B) med samma sättmått kan ha helt olika gjutbarhet bedömd okulärt/subjektivt.
- Låga sättmått kan ge god gjutbarhet.
- Höga sättmått kan ge dålig gjutbarhet.

Mätningar vid CBI; Ysberg /3/.

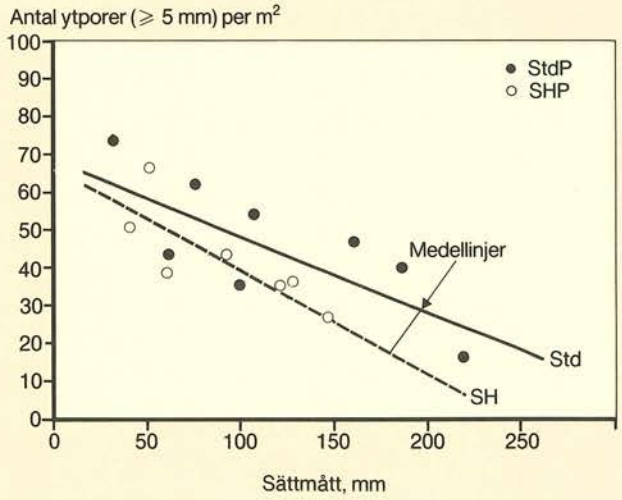


Ökat sättmått ger dock normalt färre ytporer.

SH-cement ger mindre antal ytporer än Std-cement vid samma sättmått.

Laboratorieundersökningar vid Betongcentrum Malmö /4/.

Std P-cement och SH P-cement
Vibreringsinsats 300 s/m^3

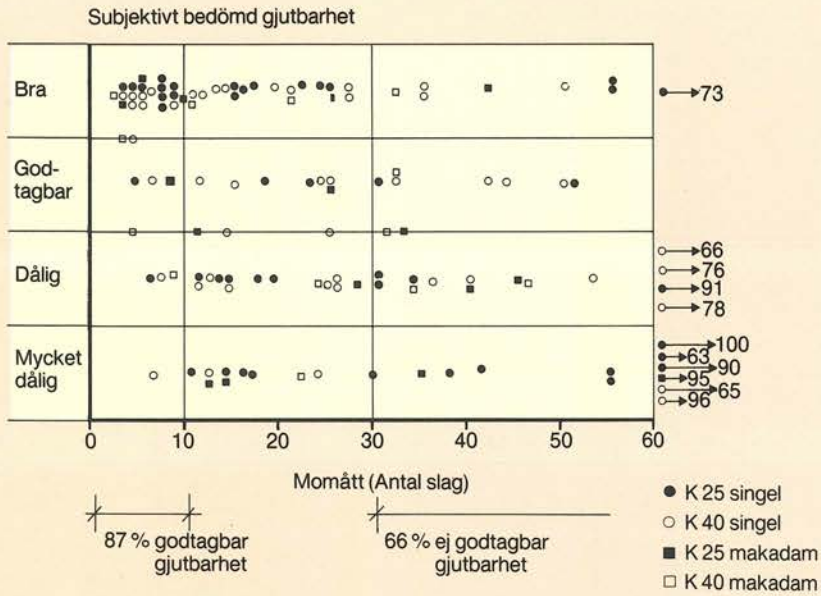


Momåttet är ett något bättre mått på gjutbarheten.

Vid momått under ca 10 slag har huvudparten av alla betonger bra eller godtagbar gjutbarhet bedömd rent subjektivt.

Vid momått över 30 slag har huvudparten av alla betonger inte godtagbar gjutbarhet.

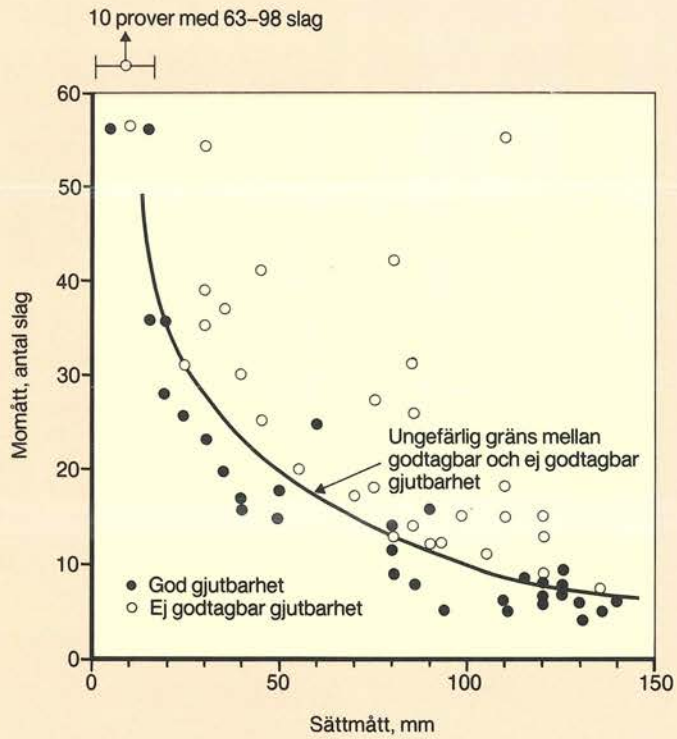
Mätningar vid CBI; Ysberg /3/.
Std P-cement



Kombination av momått och sättmått ger en tämligen god bild av gjutbarheten.

Ju lägre sättmåttet är desto högre momått kan accepteras. Metodens känslighet ökar med minskande sättmått.

Mätningar vid CBI; Ysberg /3/.
Std P-cement



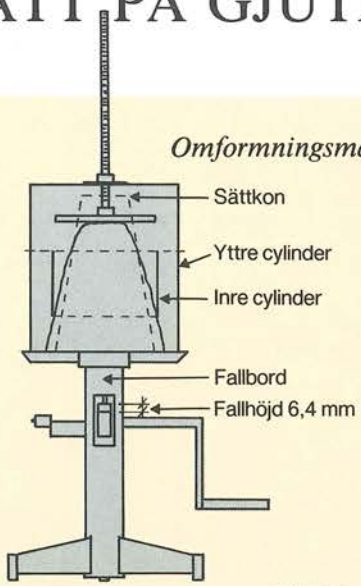
Kombinerat momått och sättmått ger en god bild av gjutbarheten och är ett alternativ till omformningstalet.

OMFORMNINGSTALET SOM MÅTT PÅ GJUTBARHET

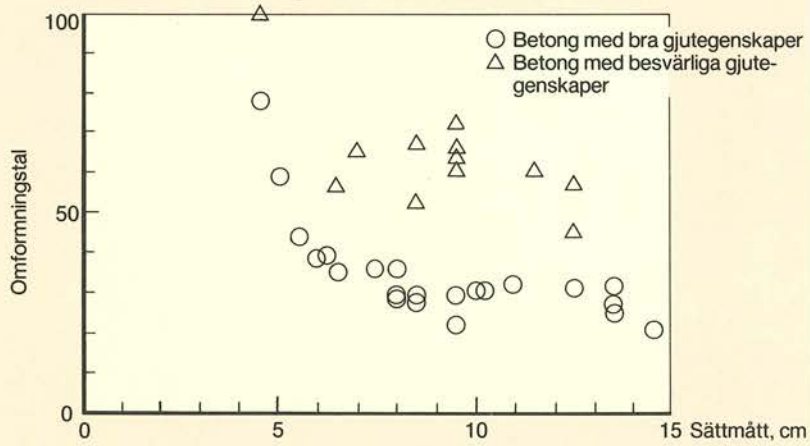
Omformningsmätaren ger ofta ett bra mått på gjutbarheten.

Varje slag medför en viss konstant energitillförsel. Antalet slag är därför direkt proportionellt mot totala energiåtgången för att omforma betongen från en kon till en cylinder. Vid omformningen tvingas betongen "rinna runt" under kanten på den inre cylindern vilket är svårt för en betong med dåliga gjutegenskaper. Bestämning av omformningstalet är standardiserad (SS 13 71 30). Omformningsmätaren saluförs i Sverige.

Omformningsmätare



Mätningar vid CBI; Hård /5/.

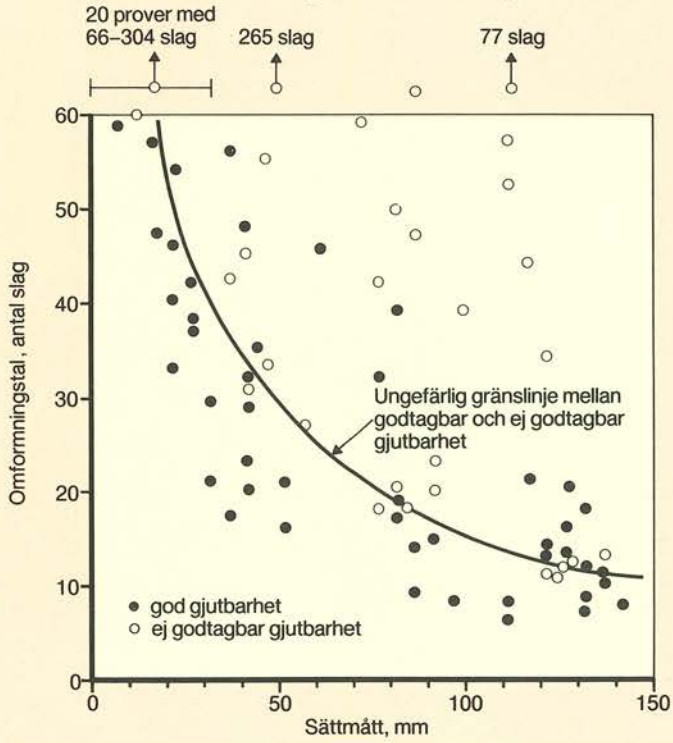


Kombination av omformningstal och sättmått.

En kombination av omformningstal och sättmått ger en ännu bättre bild av gjutegenskaperna.

Helt olämpliga betonger avslöjas lätt genom orimligt höga omformningstal.

Mätningar vid CBI; Ysberg /3/; ca 100 betongsatser.
Std P-cement utan tillsatsmedel.
Singel 8, 16, 32 mm. Starkt varierande betongsammansättning.



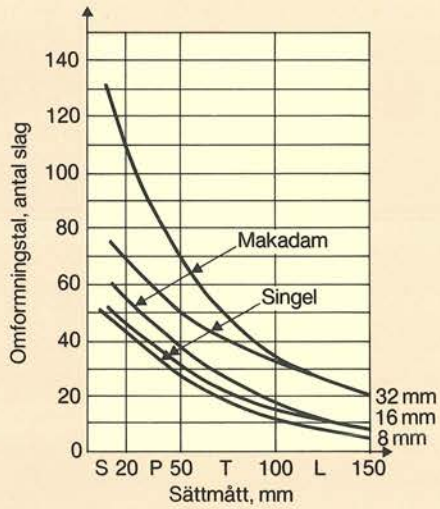
Bilden till höger visar klassificeringsgränser enligt Ysberg /3/ för godtagbar betong vid normal stavvibrering.

Gränserna har inlagts efter en subjektiv/okulär bedömning av gjutegenskaperna.

Kurvorna ger *övre gränsvärden* för vad som är acceptabelt. Som synes kan högre omformningstal accepteras när sättmåttet sjunker. (Jämför sambandet mellan momått och sättmått i föregående avsnitt.)

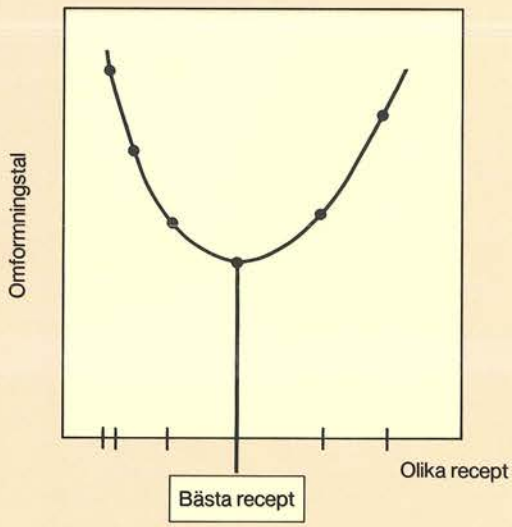
Man kan emellertid ha mycket olika gjutbarhet för olika betonger som alla hamnar inom området "bra betong" d.v.s. inom området under gränskurvan.

Ysbergs klassificeringsgränser /3/.
Std P-cement



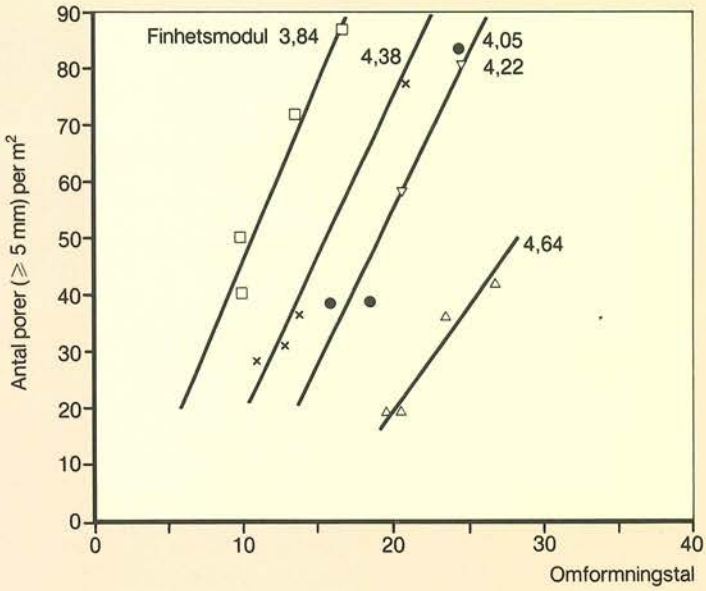
För konstant sättmått torde man få optimal gjutbarhet hos en betong som har lägsta möjliga omformningstal.

Framtagning av bästa recept.
(Konstant sättmått)



Bilden till höger visar att antalet ytporer minskar när omformningstalet minskar. Sambandet mellan gjutbarhet (mängd ytporer) och omformningstal är dock olika för olika ballastgraderingar. Se vidare avsnittet "GJUTBARHET OCH BALLASTGRADERING".

Laboratorieprovningar vid Betongcentrum i Malmö /4/.
Vibreringsinsats 300 s/m^3
Std P utan tillsatsmedel

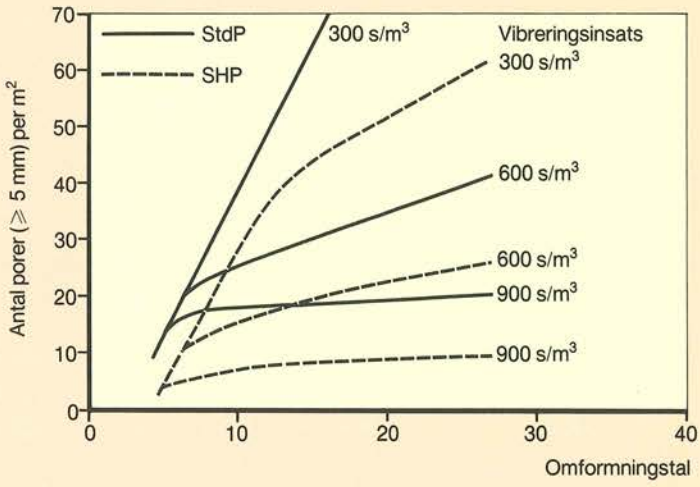


Bilden till höger visar att sambandet mellan omformningstal och antalet ytporer beror på cementsorten. Vid SH-cement kan ett högre omformningstal accepteras, se vidare avsnittet "GJUTBARHET OCH CEMENTSORT".

Genom att minska betongens omformningstal kan man göra mycket stora reduktioner i erforderlig vibreringsinsats.

Låga omformningstal medför därför god produktionsekonomi.

Laboratorieprovningar vid Betongcentrum i Malmö /4/.
Vibreringsinsats 300 s/m^3
Std P och SH P utan tillsatsmedel



Omformningstalet är idag det bästa sättet att avslöja betong med dålig gjutbarhet. Genom att proportionera betong till lågt omformningstal kan vibreringsinsatsen, alternativt efterlagningskostnaden, minskas.

GOD GJUTBARHET, EN PROPORTIONERINGSFRÅGA

Här nedan ges exempel på effekten av variationer i total mängd ballast och effekten av relativ mängd grov och fin ballast på gjutbarheten (= omformningstalet) /6/.

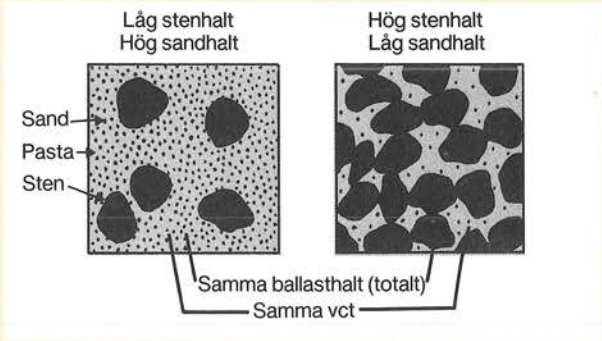
Kurvorna togs fram av amerikanen T C Powers som uppfann omformningsmätaren men som använde den på ett något annat sätt än vad som görs i Sverige. Se artikel av Hård /5/.

Gjutbarheten är starkt beroende även av små variationer i betongsammansättningen.

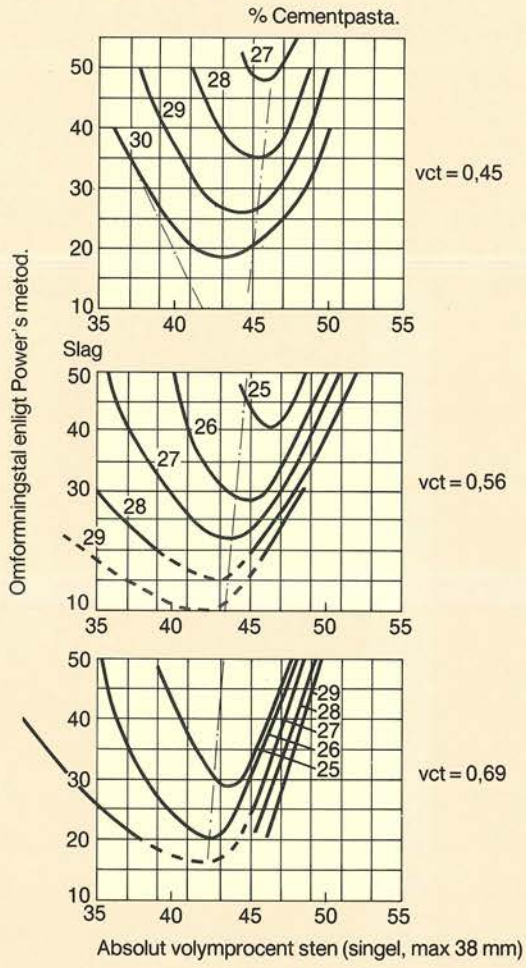
I bilderna till höger är totala ballastmängden konstant för varje kurva. Ökad stenhalt innebär därför att sandhalten minskar, se översta bilden.

Bilderna till höger visar att:

- För varje vct och cementpastahalt finns det en optimal gjutbarhet vars värde beror på stenhalten.
  - Alltför hög stenhalt innebär att bruket blir så löst att stenarna inte kan bäras upp utan får kontakt och låser varandra; betongen blir sträv.
  - Alltför låg stenhalt innebär att sandhalten är så hög att betongen blir "seg" och mera orörlig.
- Ju högre cementpastahalten är vid givet vct och stenhalt desto högre gjutbarhet får betongen. En högre pastahalt innebär nämligen mindre risk för att stenarna skall låsa varandra.
- Ju högre vct är desto lägre stenhalt kan accepteras. Vid högre vct blir nämligen cementbruket lösare och förmår därför inte bära upp stenarna lika lätt.



Omformningstal enligt Powers.



OBS! Kurvorna ovan är inte generellt giltiga. De gäller för ett visst givet cement och en viss typ av fin respektive grov ballast.

Liknande optimala blandningar bör emellertid gå att ta fram vid varje betongfabrik med dess cement och ballast.

Varje betongfabrik bör utprova och optimera sina egna betonger. Detta kan lämpligen ske med hjälp av omformningsmätaren.

Betongfabrikerna kan därvid behöva se över sin ballasthantering, t. ex. använda ballast som är uppdelad i flera fraktioner.

Det kan också bli aktuellt att gå över till mera finmald cement (SH-cement) för att förbättra gjutbarheten.

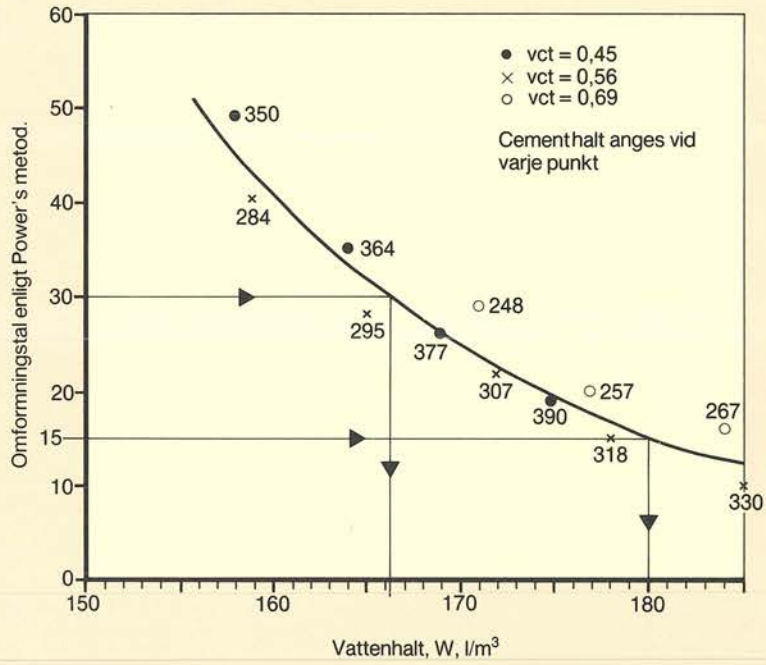
Merkostnaden för betongen torde ofta mer än väl tjänas in av entreprenören genom lägre produktionskostnader.

GJUTBARHET OCH VATTENHALT

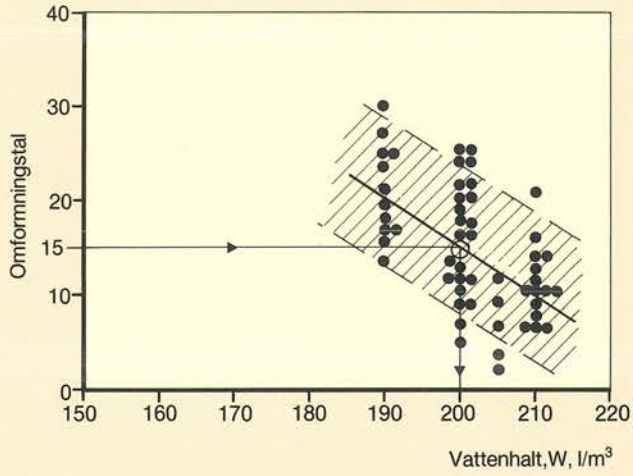
Minimipunkterna i diagrammet i föregående avsnitt ger den optimala gjutbarheten för varje kurva. Dessa värden utritas till höger som funktion av den vattenhalt som fanns i den optimala blandningen.

Ökad vattenhalt medför ökad gjutbarhet.

Effekten är lika stor oavsett cementhaltens storlek.
Exempel: Ökning av vattenhalten med 15 l/m³ från 165 l till 180 l/m³ halverar omformningstalet.



Mätningar vid Betongcentrum i Malmö /4/.
Std P-cement, utan tillsatsmedel. Stenmax 16 mm.

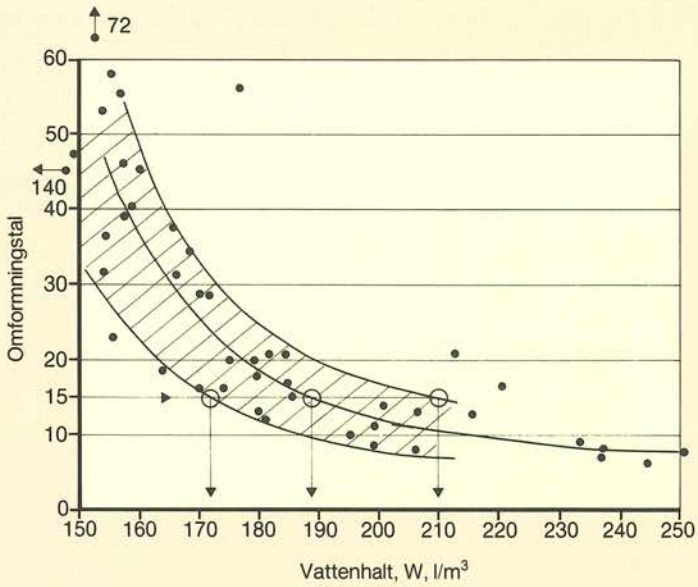


Ett omformningstal av 15 slag kräver i genomsnitt en vattenhalt av storleksordningen 190 l/m³ vid stenmax 32 mm och 200 l/m³ vid stenmax 16 mm.

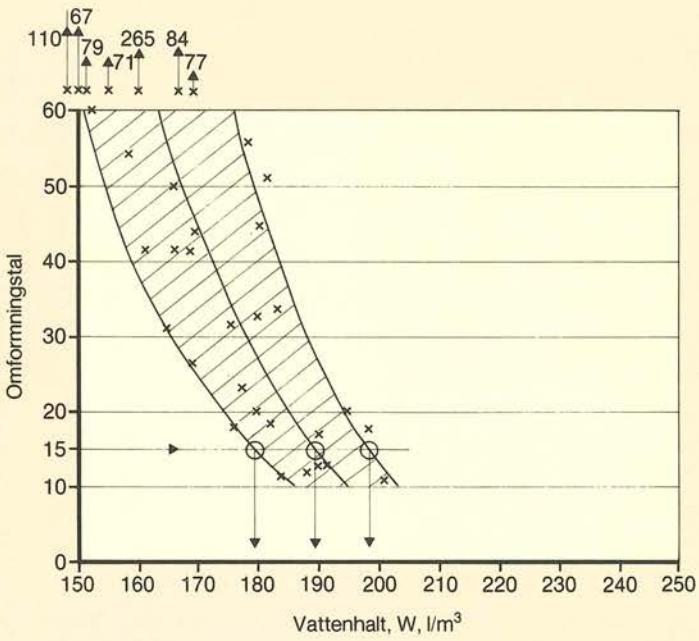
OBS! Värdet är inte generellt giltigt; dels därför att högre omformningstal ibland kan accepteras, t. ex. vid låga sättmått, dels därför att gynnsam ballastkurva och andra cement (SH-cement) kan ge betong med hög gjutbarhet vid lägre vattenhalt.

Mätningar på ca 100 betonger av starkt varierande sammansättning (Std P, utan tillsatsmedel); Ysberg /3/.

(a) God grusgradering, normal cementhalt



(b) Dålig grusgradering, låg cementhalt



Vid dålig grusgradering eller låg cementhalt får små förändringar i vattenhalten mycket stor effekt på gjutbarheten.

Hög gjutbarhet förutsätter tämligen höga vattenhalter i betongen.

OBS! En höjd vattenhalt åtföljs av hållfasthetsskäl av en höjd cementhalt. Detta ger ett ytterligare positivt bidrag till gjutbarheten – se nästa sida.

OBS! Alltför höga vattenhalter kan ha vissa negativa effekter, t. ex. större uttorkningskrympning eller ytseparation.

GJUTBARHET OCH CEMENTHALT

Minimipunkterna i diagrammen i avsnittet "GOD GJUTBARHET – EN PROPORTIONERINGSFRÅGA" ger den optimala gjutbarheten för varje kurva. Dessa värden utritas till höger som funktion av värdet på faktorn vattenhalt × cementhalt hos den optimala blandningen.

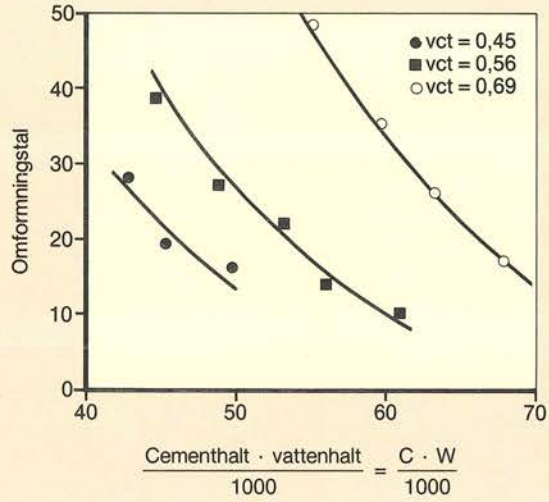
> För varje konstant vct, d.v.s. konstant hållfasthet, ökar gjutbarheten med ökat värde på talet $C \cdot W = C^2 \cdot vct$.

Exempel: En betong med vct = 0,56

Omformningstal 10 erhålls vid

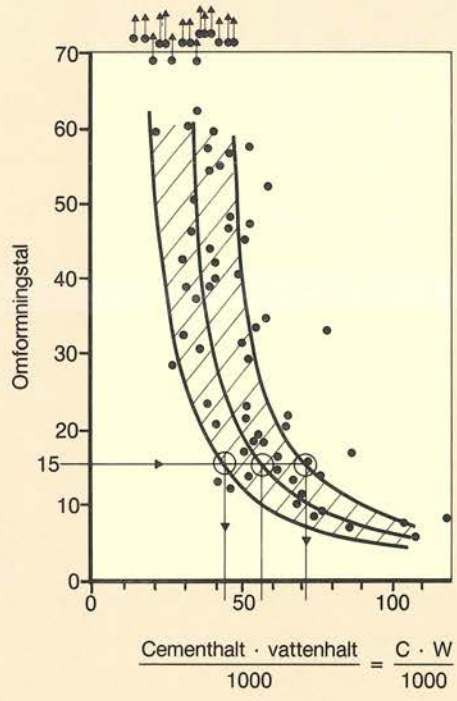
$$\frac{C \cdot W}{1000} = 60 \quad \text{d.v.s.} \quad \frac{C^2 \cdot 0{,}56}{1000} = 60$$

Detta ger
C 327 kg/m³
W 183 l/m³



Mätningar på ca 100 betonger av starkt varierande sammansättning (Std P, utan tillsatsmedel); Ysberg /3/.

Figuren till höger visar att omformningstalet 15 kräver att faktorn C · W/1000 hos normala svenska betonger är lägst ca 55.
En sänkning av värdet C · W/1000 under ca 45 innebär en snabb försämring av gjutbarheten.



En betong som skall ha god gjutbarhet bör alltså inte vattenreduceras eftersom ett vattenreducerande medel vid konstant K-värde innebär att

- vattenhalten minskar
- cementhalten minskar
- d.v.s. faktorn C · W minskar kraftigt

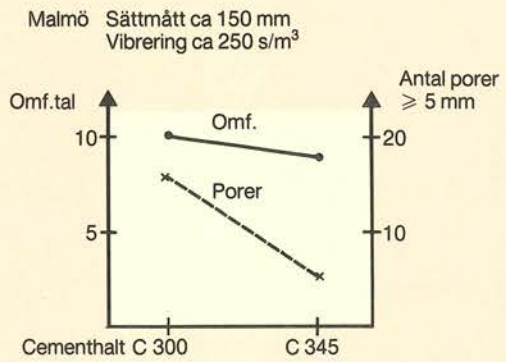
Exempel:
Före vattenreduktion
C = 320; W = 190
C · W = 61000
Omformningstal 13

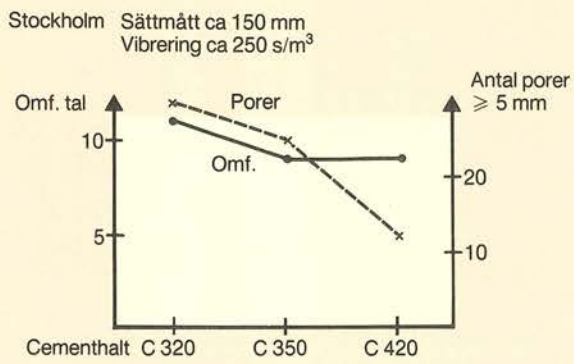
Efter vattenreduktion med 15%
C = 275; W = 162
C · W = 45 000
Omformningstal 23

Detta är den ökning i omformningstal man får vid vattenreduktion *utan* tillsatsmedel. Till viss del kommer denna att kompenseras genom vattenreducerarens plasticerande effekt, men inte fullt ut, jämför nästa avsnitt.

Fältundersökningar vid byggen i Malmö och Stockholm bekräftar att en höjd cementhalt ökar gjutbarheten och minskar antalet ytporer.

Mätningar från fältförsöken i Malmö och Stockholm i anslutning till undersökning vid Betongcentrum /4/.



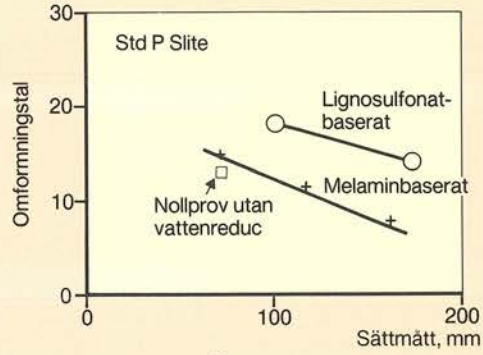


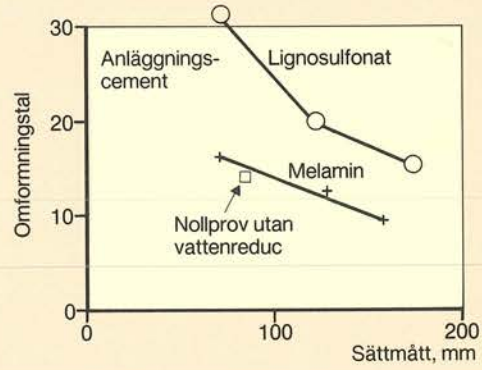
— GJUTBARHET OCH VATTENREDUCERANDE — TILLSATSMEDEL

Sambandet mellan omformningstal och sättmått kan ändras i negativ riktning vid användning av vattenreducerande medel av typ lignosulfonat. Orsaken torde vara att vattenhalten i betongen och därmed även cementhalten minskar, d.v.s. storheten C · W minskar; se föregående sida.

Vattenreducerande medel kan därför medföra att gjutbarheten minskar trots att konsistensen mätt med sättmått är oförändrad.

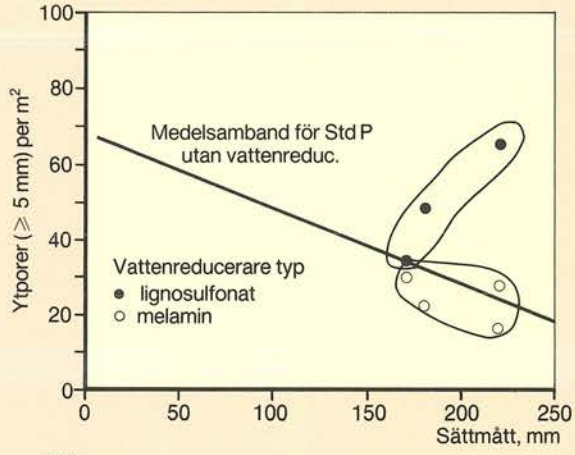
Laboratorieförsök vid Cemlab.
Betonger med luftinblandning ca 5,5 % (Vinsol Resin).

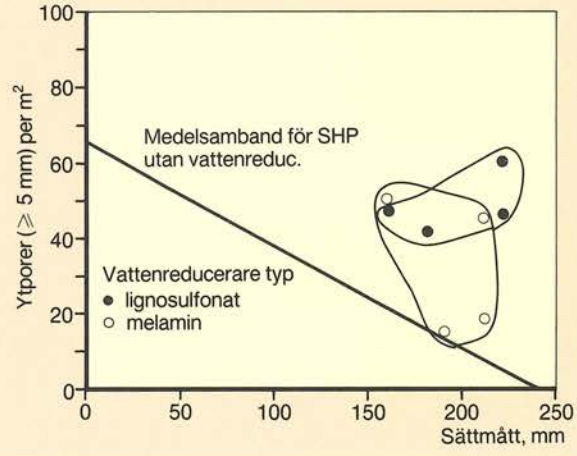




Bilderna till höger visar exempel på hur mängden ytporer ökar när vattenreducerande medel används jämfört med betong utan sådana medel (heldragen linje).

Laboratorieförsök vid Betongcentrum i Malmö /4/.
Vibreringstid 300 s/m^3



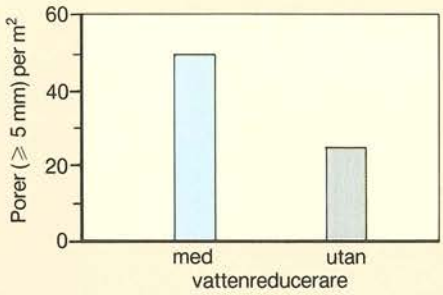


Betonger med och utan flyttillsats, men med ungefär samma omformningstal och sättmått, har provats i väggar.

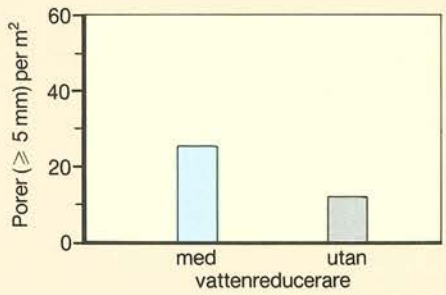
Ungefär samma betonger undersöktes såväl i laboratoriet som i full skala vid ett verkligt bygge. Vibreringsinsatsen var vid labförsöken ca 300 s/m^3 och vid bygget ca 200 s/m^3.

I samtliga fall ökade mängden ytporer när betongen vattenreducerades.

Laboratorieförsök vid Betongcentrum i Malmö /4/.
K30 SH P
Sättmått ca 150
Omformningstal ca 10

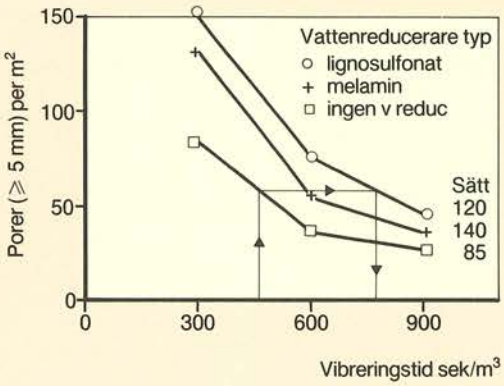


Fältförsök i Malmö /4/.
K30 SH P
Sättmått ca 150
Omformningstal ca 8



Om mängden ytporer skall kunna begränsas kan vibreringsinsatsen behöva förlängas trots att sättmåttet hos betongen med vattenreducerare är högre än hos betongen utan vattenreducerare.

Laboratorietester vid Cemlab.
Betonger med Anläggningscement och luftporbildare

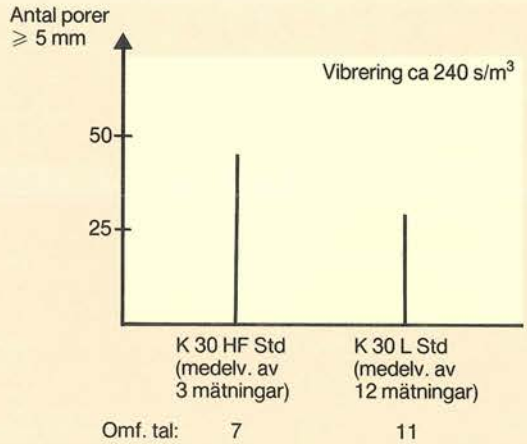


Vattenreducerande medel innebär en kostnadsbesparing vid tillverkning av betongmassa. Denna besparing kan dock mer än väl ätas upp av kostnadsökningar vid betonggjutningen.

Även om omformningstalet är lägre och vibreringsinsatsen oförändrad kan flytbetong ge fler ytporer än lättflytande utan flyttillsats.

För att en betong med flyttillsats skall få samma gjutbarhet som en konventionell lättflytande betong utan flyttillsats krävs normalt att sättmåttet – utbredningsmåttet – är högre.

Fältförsök i Stockholm i anslutning till undersökningar vid Betongcentrum /4/.



Vattenhalten bör alltså inte reduceras om flyttillsatta betonger skall få hög gjutbarhet.

GJUTBARHET OCH LUFTPORBILDARE

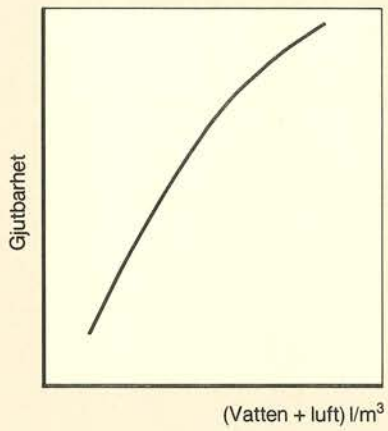
Vad avser gjutbarhet torde luftporvolymen motsvara samma volym blandningsvatten.

D.v.s. 1 % extra luft motsvarar 10 l/m^3 extra blandningsvatten.

En ökad lufthalt vid konstant vattenhalt innebär därför, liksom en ökad vattenhalt, att gjutbarheten ökar.

Mätningar vid Betongcentrum /4/ visar att tillsats av 4,5 % luft ökar sättmåttet från ca 50 till 80 mm eller från 80 till 140 mm. Omformningstalet och antalet ytporer 5 mm minskar med ca 30–40 %.

Principiellt samband mellan gjutbarhet och vattenhalt + lufthalt.



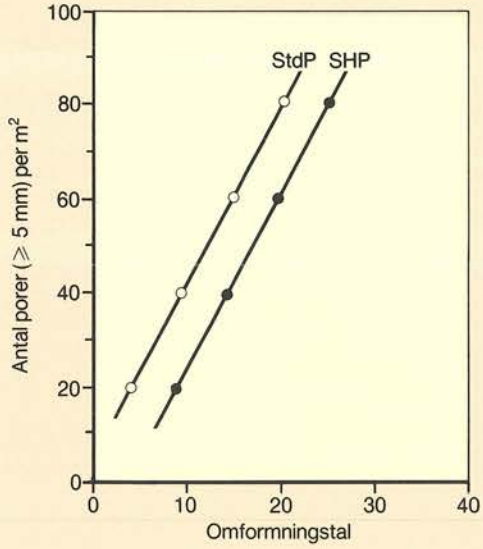
OBS! Olämpliga luftporbildare eller olämpliga kombinationer av luftporbildare och vattenreducerande medel kan ge ostabila luftporsystem. Den bortdrivna luften kan ansamlas vid formytan och ge kraftig ytporbildning. Sådana tillsatsmedel bör undvikas även av beständighetsskäl.

GJUTBARHET OCH CEMENTSORT
SH-CEMENT

Med SH-cement erhålls god gjutbarhet, uttryckt som antalet ytporer, vid högre omformningstal än med Std-cement.

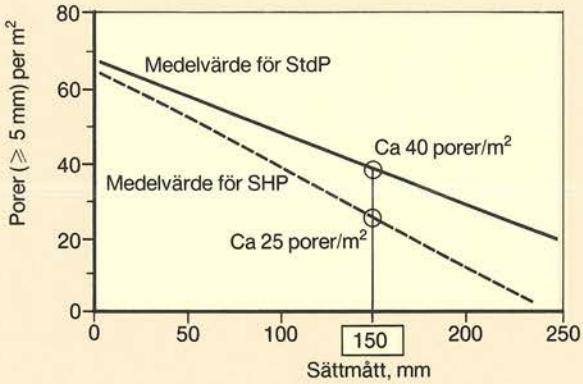
Detta innebär att ballastgraderingen blir en mindre kritisk faktor vid användning av SH-cement.

Laboratorietester vid Betongcentrum i Malmö /4/.
Samband mellan omformningstal och antal ytporer vid vibreringsinsats 300 s/m^3. Ballast med optimal finhetsmodul.



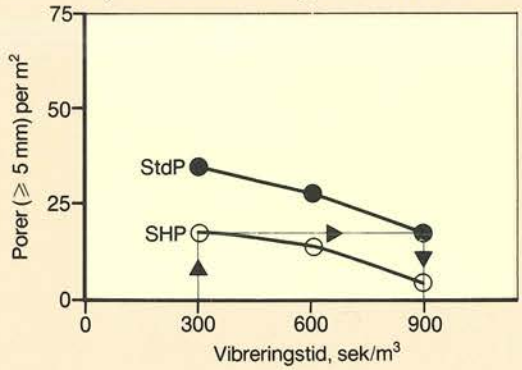
SH-cement ger vid samma konsistens uttryckt som sättmått en påtagligt bättre gjutbarhet.

Laboratorieförsök vid Betongcentrum i Malmö /4/.
Utan tillsatsmedel



Vibreringsinsatsen kan minskas när SH-cement används.

Laboratorieförsök vid Betongcentrum i Malmö /4/.

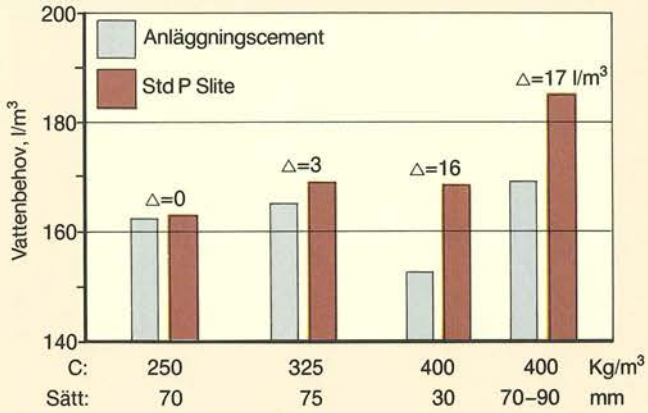


SH-cement torde därför kunna ge god produktionsekonomi i de fall där porfria ytor är av vikt.

GJUTBARHET OCH CEMENTSORT
ANLÄGGNINGSCEMENT

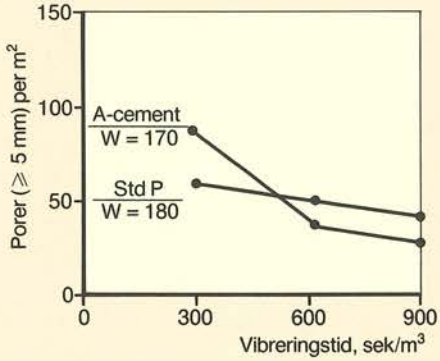
Anläggningscement kräver mindre vattenhalt än vanligt Std P-cement för att uppnå samma sättmått.

Vattenbehov hos betong med Anläggningscement eller Std P Slite. Mätningar vid Cemlab.

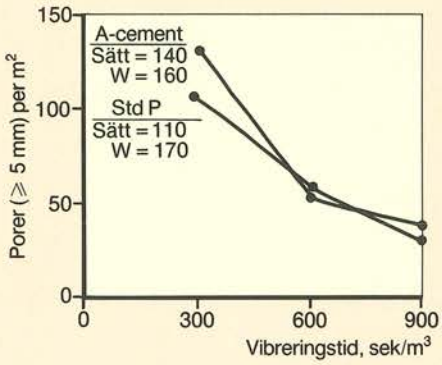


Vid samma sättmått kan man därför förvänta sig att Anläggningscement ger något sämre gjutbarhet än andra Std P-cement.

Laboratorieförsök vid Cemlab.
Utan vattenreducerare, lufthalt 5,5 %
Sättmått 75 mm



Med vattenreducerare, lufthalt 5,5 %
Sättmått 110 à 140 mm



För att ge samma gjutbarhet bör vattenhalten i betong med Anläggningscement ökas till samma nivå som gäller för andra Std P-cement, d.v.s. sättmåttet skall göras högre i betong med Anläggningscement.

En ökad mängd finmaterial i betongen ger en ökad gjutbarhet.

Förenklat kan man säga att gjutbarheten ökar med ökande storlek på följande uttryck:

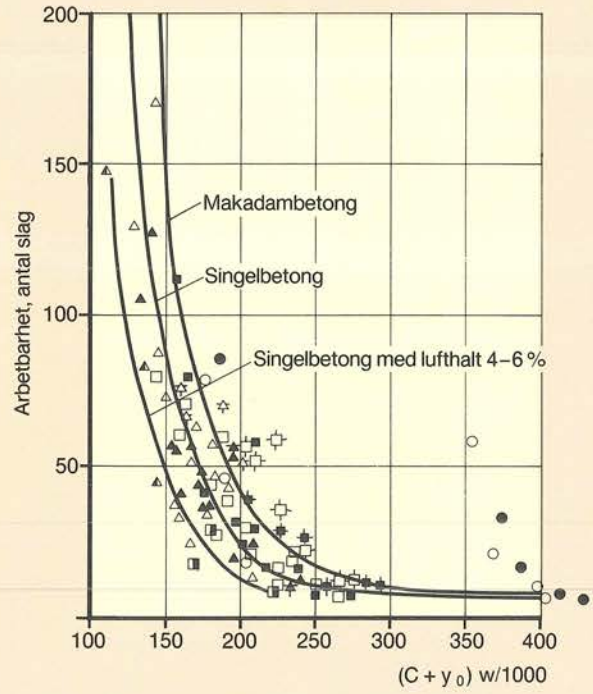
$(c + y_o) \cdot W$

där C = cementhalt, kg/m^3

y_o = mängd ballast < 4 mm, kg/m^3

W = vattenhalten, kg/m^3

Mätningar på ca 100 betonger av starkt varierande sammansättning, Std P utan tillsatsmedel; Ysberg /3/.

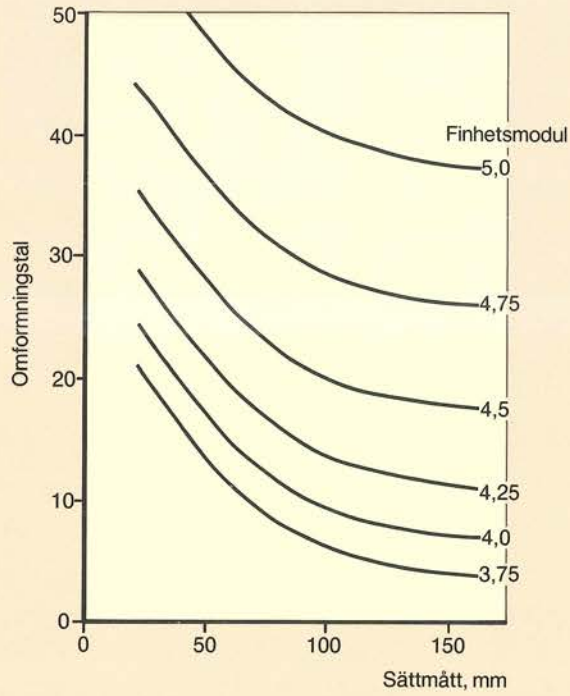


Enligt uttrycket ovan skulle sand vara likvärdigt med cement när det gäller effekten på gjutbarhet. Detta är inte rätt eftersom ett material får större effekt ju finkornigare det är. Extremt finkornigt material, t. ex. silikastoft, kan dock ge problem med kletighet, se nästa avsnitt.

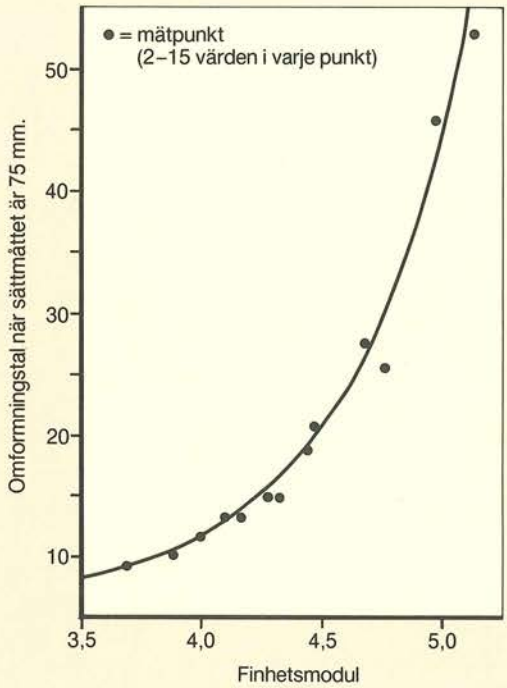
- Cement har således större effekt än sand.
- Finmald cement (t. ex. SH) har större effekt än cement med normal finhet: se avsnittet "GJUTBARHET OCH CEMENTSORT SH-CEMENT".
- En sand har större effekt ju finare den är, d.v.s. ju lägre finhetsmodul ballasten har. Se figuren till höger och på nästa sida.

(OBS! En alltför fin sand kan dock minska gjutbarheten genom att "kletigheten" ökar; se figurerna på sidan 38 .)

Mätningar vid Betongcentrum i Malmö /4/.
Betong utan tillsatsmedel, Std P, 16 mm stenstorlek



I figuren till höger har omformningstalet enligt undre figuren på föregående sida vid konstant sättmått 75 mm utritats. Den starkt positiva effekten av att sänka finhetsmodulen framgår klart.

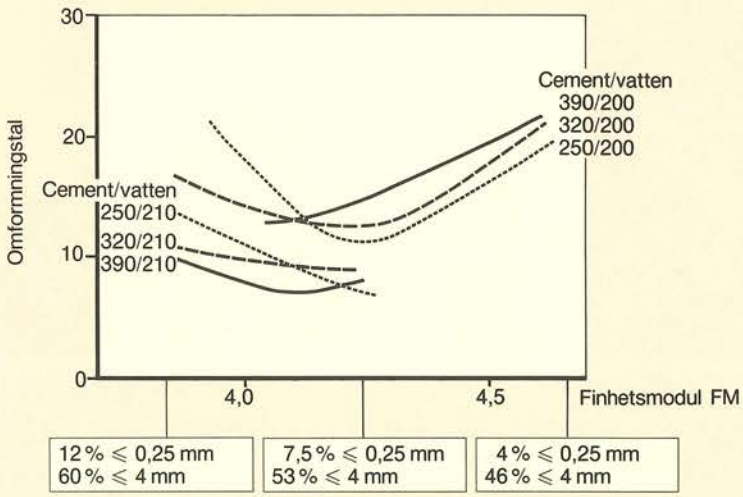


Den optimala finhetsmodulen sammanhänger med mängden cement och vatten i betongen; ju mera vatten och cement betongen innehåller, desto lägre förefaller den optimala finhetsmodulen bli.

En minskning av FM åtföljt av en ökning av cement- och vattenhalten så att sättmåttet och vct bibehålls, kan därför ge gynnsamma gjutegenskaper.

Vid låg FM ger en ökning av enbart cementhalten ett lägre omformningstal. Detta kan förefalla egendomligt men hänger sannolikt ihop med att i detta fall en gynnsam kornfördelningskurva för delen cement + finmaterial < 0,25 mm erhålls.

Mätningar vid Betongcentrum i Malmö /4/.
Betong utan tillsatsmedel, Std P, 16 mm stenstorlek

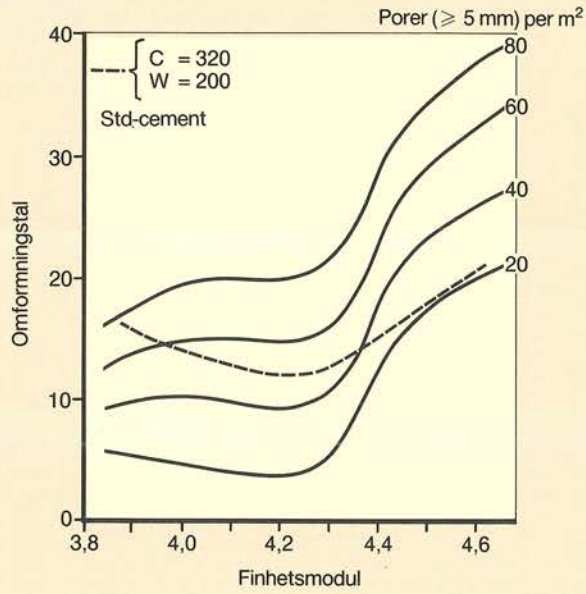


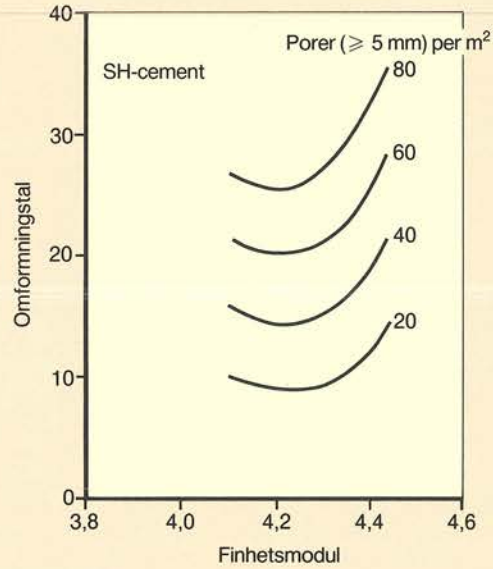
Av figurerna till höger framgår att:

- Vid konstant finhetsmodul ökar gjutbarheten, uttryckt i antalet ytporer, med minskande omformningstal.
- Den optimala gjutbarheten erhålls vid en viss finhetsmodul (i försöken ca 4,3). Såväl högre som lägre finhetsmodul ger sämre gjutbarhet.
- Vid SH-cement kan ett högre omformningstal accepteras utan att ge fler ytporer.

Den streckade linjen i figuren visar hur omformningstal och antal porer varierar för en viss betong med konstant cement och vattenhalt då ballastens finhetsmodul (FM) varieras (stenmax 16 mm). Lägst omformningstal erhålls med FM ≈ 4,25. En ökning av FM (mer sten, mindre grus) ger en mer svårbearbetbar betong men färre ytporer. En minskning av FM (mindre sten, mer grus) ger en ökning av såväl omformningstal som antal ytporer.

Mätningar vid Betongcentrum i Malmö /4/.
Konstant vibreringsinsats, 300 s/m^3





Högsta gjutbarhet erhålls med SH-cement och med en ballast med "lagom" mängd finpartiklar. Optimal ballastkurva tas fram i varje enskilt fall med hjälp av omformningsmätaren.

GJUTBARHET OCH TILLSATSMATERIAL SILIKASTOFT

Silikastoft utan tillsats av vattenreducerande medel eller flyttillsats medför en kraftig ökning av vattenbehovet.

Med hjälp av vattenreducerande medel kan vattenhalten i en betong med silikastoft bibehållas oförändrad vid oförändrat sättmått.

Silikastoft medför alltid en kraftig reduktion av cementhalten när K-värdet är oförändrat. I stort sett ersätter 1 kg silikastoft 2,5 à 3 kg cement. Detta innebär att en betong med silikastoft normalt har en lägre total bindemedelshalt. Uttrycket $(C + S) \cdot W$ minskar därför. (S = mängd silikastoft, kg/m^3).

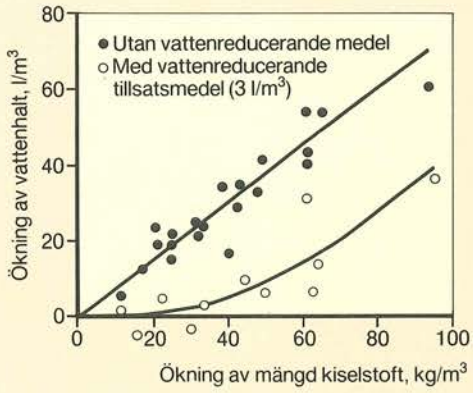
Försök vid Betongcentrum (4) visar att betong där 10 % av cementet bytts ut mot silikastoft vid oförändrad vattenhalt får ca dubbelt så stort omformningstal och 50–100 % fler ytporer. Om vattenhalten ökas med ca 10–12 kg/m^3 så att samma sättmått erhålls blir såväl omformningstalet som antalet ytporer emellertid lika stora hos betong med som hos betong utan silikastoft.

Effekten av silikastoft på gjutbarheten och vibreringsbehovet bör utprovas i varje enskilt fall, t. ex. genom mätningar av sambandet mellan vibreringstid och antalet ytporer.

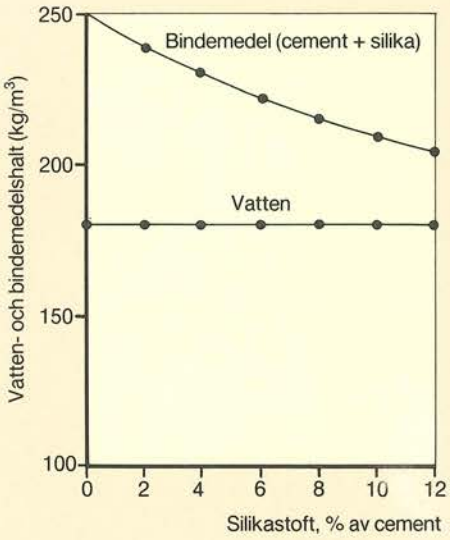
OBS! Silikastoft kan medföra en del betongtekniska problem, t. ex.

- Minskad beständighet, se ref /10/.
- Ökad risk för plastisk krympning; se avsnittet "PLASTISKA KRYMPSPRICKOR".
- Minskad reaktivitet hos betong vid låg temperatur, d.v.s. vinterbetongproblem; se ref /11/.
- Ökad känslighet för utebliven fukthärdning; se ref /8/.

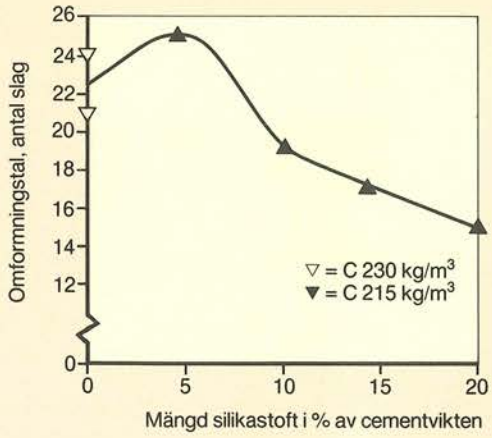
Vattenbehov hos betong med silikastoft. Analys av norska försök /8/.



Beräknad total bindemedelsmängd i betong med silikastoft vid konstant hållfasthet och konsistens. 1 kg silikastoft antas ersätta 3 kg cement.



Inverkan av silikastoft på gjutbarheten /24/.



GJUTBARHET OCH TILLSATSMATERIAL FLYGASKA

Korn av flygaska är av samma storleksordning som cementkorn. De torde därför i stort sett ha samma effekt på gjutbarheten som cement.

I princip borde man därför vid konstant ballasttyp och hållfasthet kunna uttrycka gjutbarheten med uttrycket (C + FA) · W (FA = mängd flygaska, kg/m^3).

Flygaska kan bara ersätta en mindre del av cementet vid bibehållen hållfasthet. Normalt ersätter 1 kg flygaska ca 0,25 kg cement. Användning av flygaska innebär därför att den totala mängden bindemedel ökas.

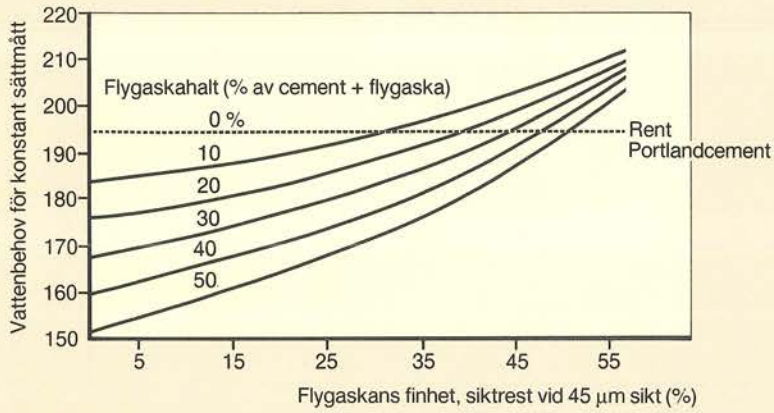
Å andra sidan medför flygaska att vattenhalten kan sänkas med bibehållet sättmått. Den vattenreducerande förmågan ökar med ökad finhet hos askan och med minskande glödförlust (denna skall alltid understiga 5 % och helst vara lägre än 3 %).

Nettoeffekten av flygaska på gjutbarheten är därför inte helt klar. Normalt torde flygaska inte medföra någon försämring.

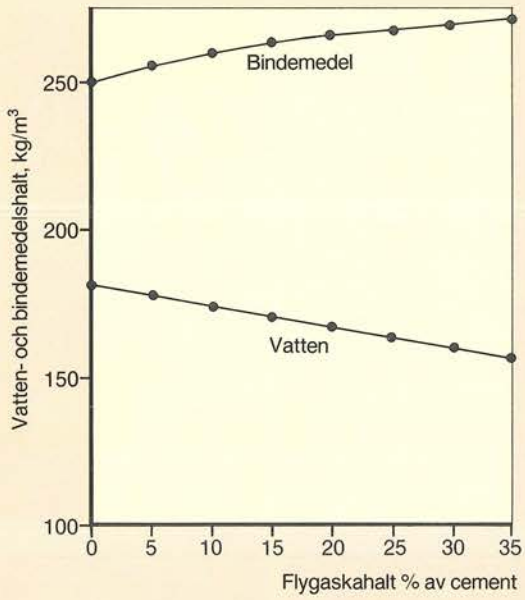
OBS! Flygaska kan ge en del betongtekniska problem /12/, t. ex.

- Missfärgning av ytor.
- Osäker frostbeständighet.
- Stora och ojämna doseringar av tillsatsmedel.

Vattenreduktion när en del av cementet byts mot flygaska
Cement + flygaska = 300 kg/m^3. Engelska försök /9/.



Beräknad total bindemedelsmängd i betong med flygaska vid konstant hållfasthet och konsistens. 1 kg flygaska antas ersätta 0,25 kg cement.



Tillsatsmaterial har en kraftig effekt på såväl gjutbarheten som på andra betongegenskaper. Effekten beror på typ och kvalitet av materialet. Effekten på gjutbarheten måste utprovas i varje enskilt fall.

— GJUTBARHET OCH PRODUKTIONSEKONOMI —

Genom enkla förändringar i betongsammansättningen kan stora förbättringar i betongens gjutbarhet åstadkommas.

Exempel på sådana förändringar är:

- övergå till SH-cement,
- undvik vattenreduktion,
- optimera ballastkurvan genom att sammansätta en optimal kurva ur fraktionerad ballast.

Dessa åtgärder medför vissa merkostnader. Dessa måste vägas mot vinster på byggplatsen i form av

- minskat vibreringsbehov,
- förbättrad arbetsmiljö,
- minskad efterlagning,
- högre kvalitet hos byggnaden.

Följande kostnadsanalys kan göras baserad på fältstudier som gjorts i Malmö av Betongcentrum /4/.

De redovisade betongkostnaderna gäller nettomerkostnaden för cement. Den ökade betongkostnad som faktureras från en betongfabrik blir större, uppemot 30–40:–/m^3 för alt 2. Trots detta är vinsten tydlig vid en inbesparing av ca 50:–/m^3 för minskad efterlagning.

Till dessa vinster kommer mindre risk för gjutsår och bättre arbetsmiljö.

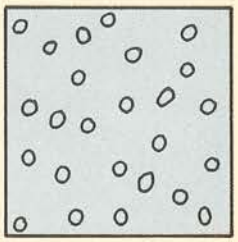
Uppgifter om olika arbetsplatsers efterlagningskostnader varierar mycket kraftigt. Kostnader i intervallet 100–200:–/m^3 är vanliga för utlagning och spackling, vari ingår även andra defekter än ytporer, t. ex. formskarvar.

Vid en fältstudie i Stockholm i anslutning till /4/ erhölls efterlagningstider som överlag var mycket små och som endast något ökade med mängden ytporer > 5 mm. Kostnaden var ca 25–40:–/m^3 för 10–50 ytporer/m^2. Orsaken torde vara att ingen ispackling utan endast bredspackling gjordes inför färdigbehandlingen i form av limning, vävklistring och målning.

Vägg till bostadshus

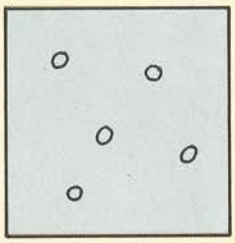
Utgångsbetong K30 L med vattenreducerare

Utgångsbetong
20 porer/m^2



Lagningstid
40 min/m^3

"Modifierad" betong
5 porer/m^2



Lagningstid
20 min/m^3

Lagningskostnad	Lagningskostnad	Kostnadsändring	Total vinst
100:–/m^3	**50:–/m^3**	–50:–/m^3	
Ökade betongkostnader "Modifierad" betong			
Alt 1, ej vattenreducerad Mer cement +15:–/m^3 ej vattenreducerare -5:–/m^3		+10:–/m^3	40:–/m^3
Alt 2, SH-cement Dyrare cement +20:–/m^3		+20:–/m^3	30:–/m^3

Övriga byggtekniska problem

FÖRLÄNGD FORMRIVNINGSTID, VINTERBETONGPROBLEM

En omfattande genomgång av problemen kring formrivning och vinterbetong ges i skriften "Vinterbetong – en översikt" /11/. Där visas att de allra flesta produktionsstörningsproblem vintertid kan lösas genom att man väljer en mera reaktiv betong (högre K-värde, SH-cement) kombinerat med välisolerade formar.

Innan formrivning sker måste betongen ha uppnått en viss formrivningshållfasthet. I BBK 79 ges vissa schablonregler vilka är rätt stränga. För vanligt byggande kan något lägre värden användas *förutsatt att man verkligen mäter formrivningshållfastheten, t. ex. genom mognadsgradsmätning innan formen rivs.*

Ansvarig arbetsledare är ansvarig för att hållfastheten mäts före formrivning.

Erforderlig formrivningshållfasthet enligt /11/.

	Vägg	Bjälklag
Enligt BBK	6 MPa	70 % av K-värdet
Normal byggnadsproduktion	4 à 5 MPa 5 MPa*	15 MPa **

*) när frysrisk föreligger
**) för en normal bjälklagsplatta. Högre värde vid längre spännvidd eller vid last på plattan.

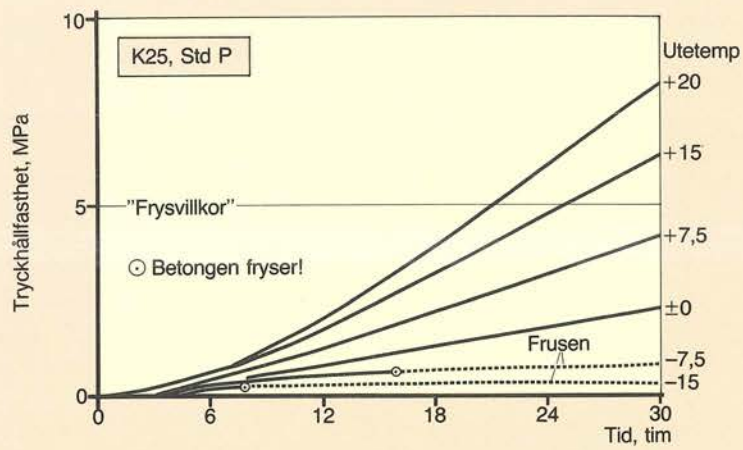
Formrivningstiden förlängs kraftigt när utetemperaturen sjunker under +10 °C om man inte vidtar extra åtgärder t. ex.

- höjd betongkvalitet,
- SH-cement,
- isolerade formar.

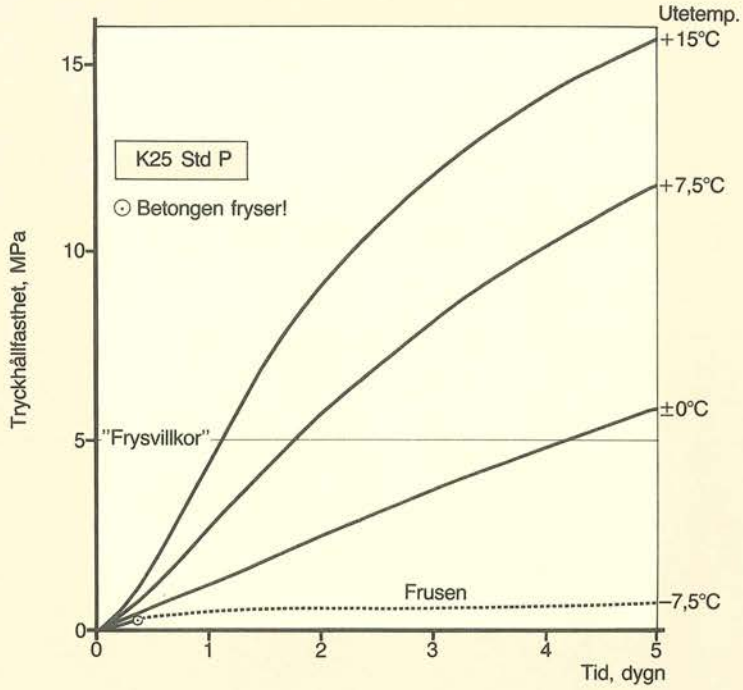
Vid minusgrader ute fryser betongen innan 5 MPa uppnås om ej extra åtgärder vidtas.

Beräknade hållfasthetskurvor /11/.

(a) 16 cm vägg, oisolerad plywoodform, gjuttemperatur +15 °C



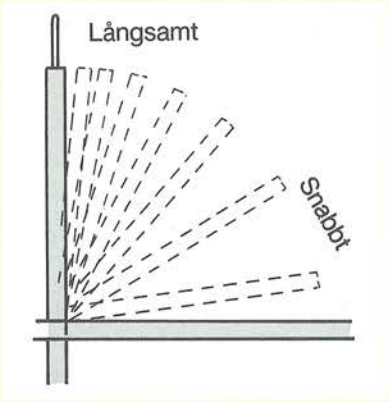
(b) 16 cm bjälklag, oisolerad plywoodform, gjuttemperatur +15 °C



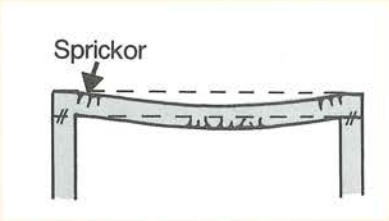
Alltför tidig formrivning medför många risker och stora kostnader:

- väggras,
- formlossningsskador,
- stora nedböjningar.

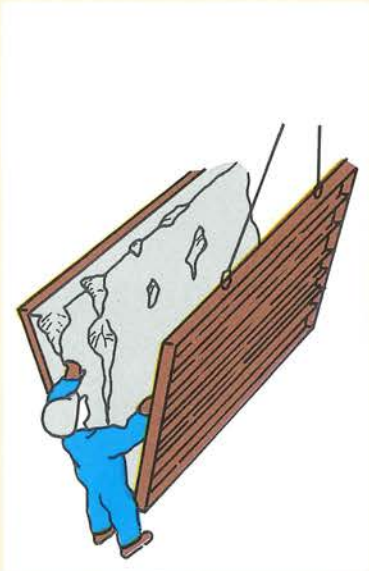
Uppfyller man formrivningskraven kan man å andra sidan drabbas av förlängda produktionstider såvida inte extra åtgärder vidtas.



Väggras



Nedböjning av bjälklag



Formrivningsskador

I skriften "Vinterbetong – en översikt" /11/ ges ett stort antal s. k. formrivningsdiagram med vars hjälp man kan välja betongkvalitet, betongtemperatur och formtyp vid olika yttertemperaturer.

Diagrammen gäller dels vanliga 16 cm väggar, dels 16–20 cm bjälklag. Diagrammen förutsätter att betongytan täcks kort tid efter gjutning och att extra värme tillförs vid anslutningen mellan vägg och tidigare gjutet bjälklag.

Nedan ges några exempel på användning av diagrammen.

Väggar: Oisolerad plywoodform. Utetemperatur +5 °C (höst och vår).

Bjälklag: Oisolerad plywoodform. Utetemperatur +7,5 °C (höst och vår).

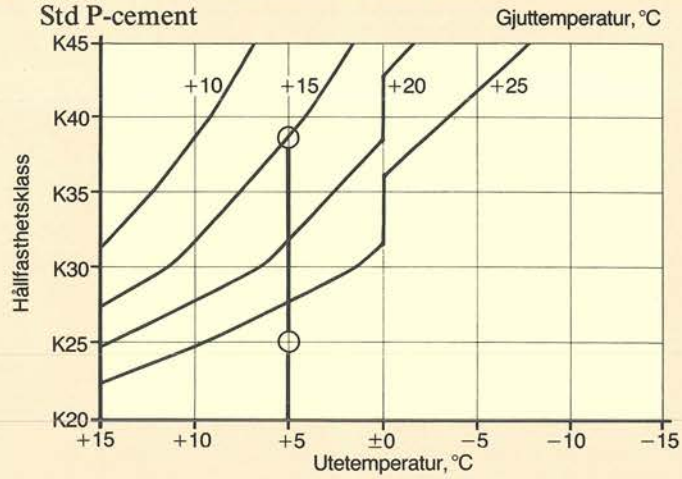
Diagrammet visar den stora effekten av höjd hållfasthetsklass och/eller övergång till SH-cement.

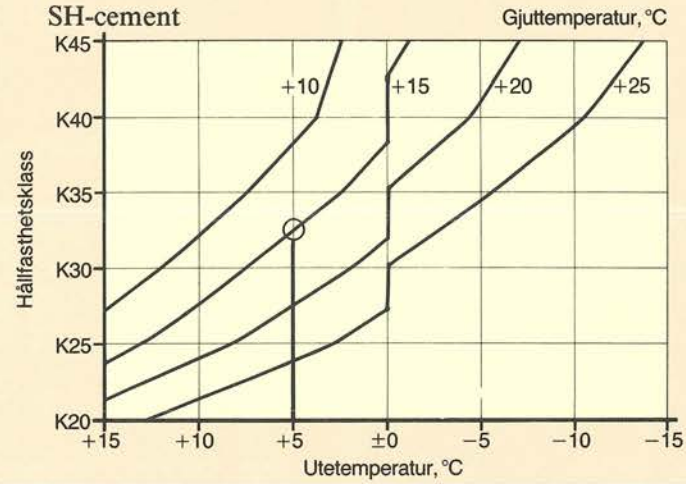
Ex: Gjuttemperatur +15 °C, utetemperatur +5 °C.

- En vanlig K25 Std P räcker inte för säker formrivning.
- Följande betonger krävs
  - K40 Std P
  - K30 (à K35) SH P.

Med SH-cement och K40 kan man klara temperaturer ända ner till −10 °C vid en gjuttemperatur av +25 °C trots att formarna är oisolerade.

Väggar: Oisolerad plywoodform. Utetemperatur +5 °C (höst och vår).



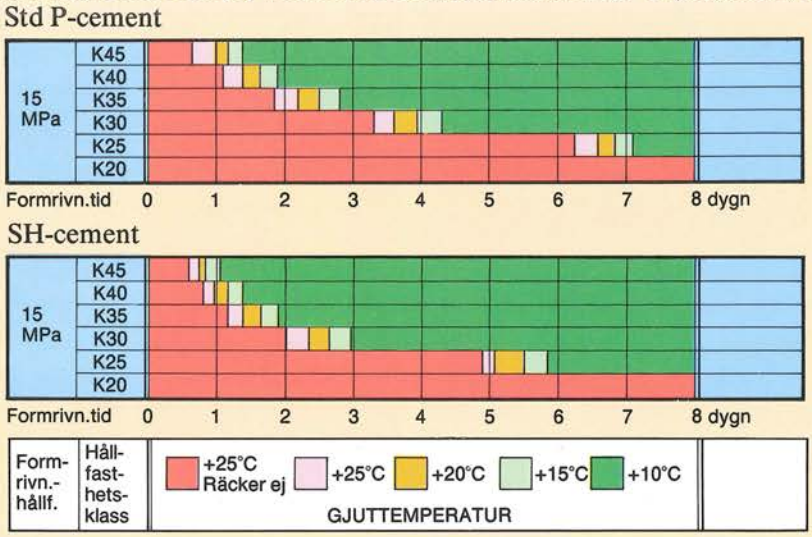


Även för bjälklag är höjd hållfasthetsklass och/eller övergång till SH-cement mycket effektivt.

Ex: Gjuttemperatur +15 °C, utetemperatur +7,5 °C.

- En vanlig K25 Std P ger en formrivningstid av ca 7 dygn.
- Mer än en halvering av formrivningstiden erhålls om man övergår till följande betonger
  - K35 Std P (formrivningstid 2,5 d),
  - K30 SH P (formrivningstid 2,5 d).

Bjälklag: Oisolerad plywoodform. Utetemperatur +7,5 °C (höst och vår).



Redan under höst och vår kan formrivningstiden bli kraftigt förlängd om man vill undvika olycksrisker och extra lagningskostnader för formrivningsskador.

Enkla förändringar i betongkvalitet – högre K-värde, SH-cement – gör det möjligt att bibehålla normala formrivningstider.

Merkostnaden för betongen blir troligen lägre än besparingen på byggplatsen.

Många vanliga vinterbetongåtgärder, såsom infravärme, byggtork, hetbetong, ingjutna värmekablar etc. är ofta onödiga och kan ersättas med höjd betongkvalitet och SH-cement förutsatt att formarna isoleras väl.

KONSISTENSFÖRLUSTER FÖRE GJUTNING

I vissa fall uppträder stor förlust i gjutbarhet från det betongen lämnar betongstationen tills dess den gjuts. Ibland är konsistensförlusten så stor att betongen måste kasseras. I andra fall använder man betongen men får dålig komprimering och/eller dålig ytfinish. Problemet kan bemästras genom ändring i betongsammansättningen.

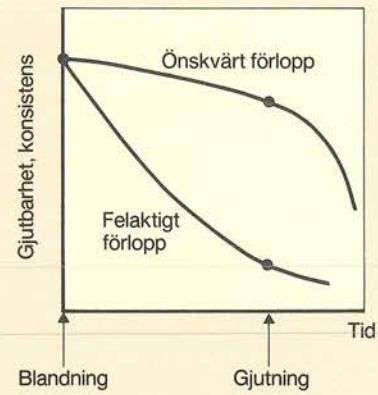
Betong med lågt vatteninnehåll – t. ex. starkt vattenreducerad betong – kan få en kraftig sättmåttsförlust tämligen kort tid efter blandning.

Detta beror på att den cementreaktion, som trots allt sker under den första tiden, drar undan ytterligare vatten varefter resterande vattenhalt kan bli för låg för att betongen skall ha god gjutbarhet, se avsnittet "GJUTBARHET OCH VATTENHALT".

Problemet ökar när betongen är varm (varmt väder, varm betong) eftersom cementreaktionen då blir snabbare.

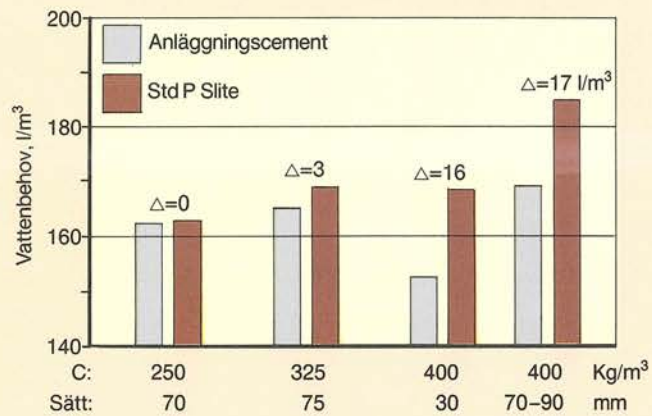
Stor avdunstning från betonglasset ger också ökade problem.

Olika tillstyvnadsförlopp mellan blandning och gjutning.



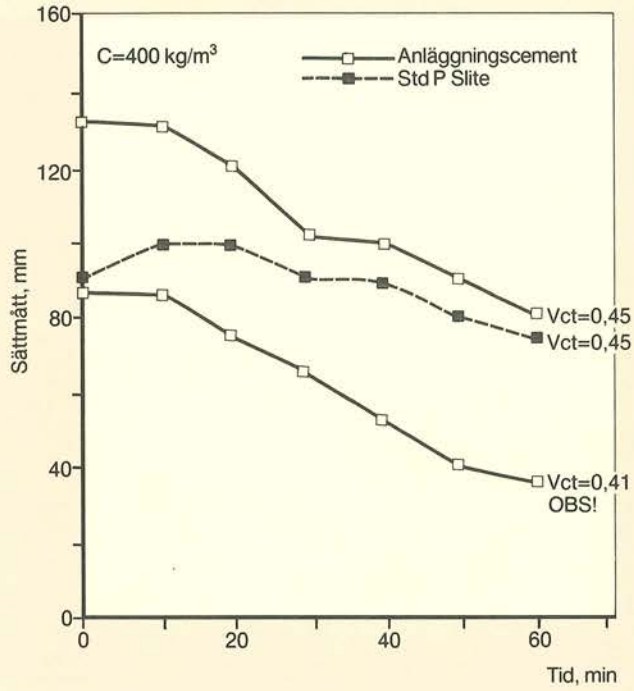
Betong med *Anläggningscement* kräver en lägre vattenhalt än annan betong även när vattenreducerande medel ej används. Detta leder till snabbare förlust av gjutbarheten hos betong med Anläggningscement.

Vattenbehov hos betong med Anläggningscement respektive Std P Slite



Betong med Anläggningscement bör därför ha en lösare utgångskonsistens, d.v.s. faktorn C · W skall vara lika hög som hos betong med vanligt Std P-cement. Man får då i stort sett samma tillstyvnadsförlopp.

Mätning av sättmåttsförlust hos betong med Anläggningscement eller Std P Slite (400 kg cement/m³).



Undvik att vattenreducera betong vid lång tid mellan blandning och gjutning. Detta gäller särskilt betong med Anläggningscement.

FÖRSENAD GOLVGLÄTTNING

Den bästa tidpunkten att glätta ett golv inträffar i samband med cementets bindning, d.v.s. när betongen tillstyvnar. Denna tidpunkt fördröjs kraftigt när betongen blir kall eller om betongen innehåller retarderande tillsatsmedel eller tillsatsmaterial.
Genom lämpligt val av vct och cementsort kan man påverka glättningstidpunkten.

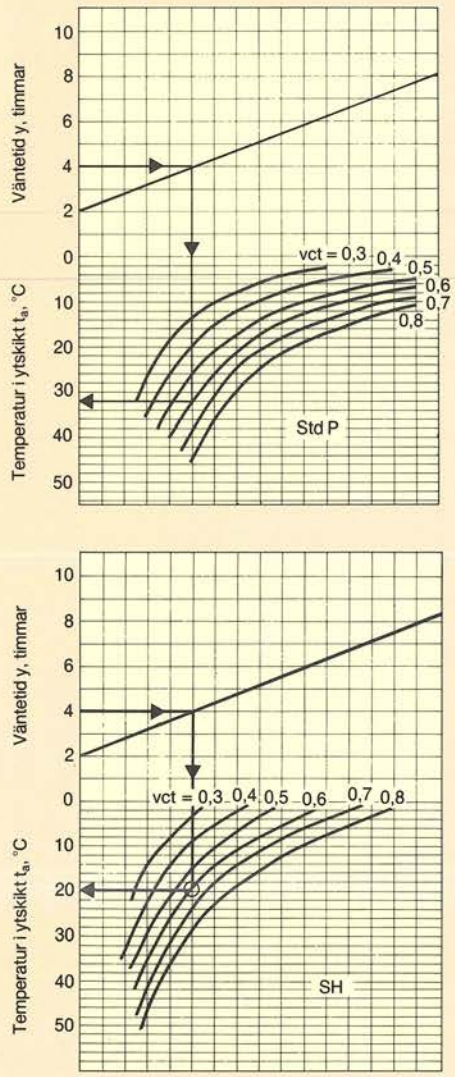
Golvglättning kan påbörjas tidigare om man använder en mer reaktiv betong d.v.s. en betong som

- har SH-cement,
- har högt K-värde,
- saknar retarderande tillsatsmedel (t. ex. vattenreducerande tillsatsmedel av typ lignosulfonat),
- som inte innehåller silikastoft eller flygaska,
- som har en rimligt hög gjuttemperatur.

Som bjälklagsbetong används ofta starkt vattenreducerad betong som gjorts gjutbar med hjälp av flyttillsats. Sådan måste vara av icke retarderande typ. Lämpligast är att använda melaminbaserad flyttillsats medan lignosulfonatbaserad eller naftalenbaserad bör undvikas.
Diagrammen till höger ger en god uppfattning om vilka faktorer som påverkar glättningstidpunkten, nämligen betongtemperatur, vct och cementsort.

OBS! Vid kall väderlek är det viktigt att täcka ytan snabbt. Annars kyls den av och glättningstidpunkten blir kraftigt fördröjd.

Nomogram för uppskattning av väntetid innan golvglättning /13/. Betong utan tillsatsmaterial eller tillsatsmedel.



SH-cement och/eller höjd betongkvalitet möjliggör tidigare golvglättning.

Vakuumbehandling är en mycket rationell metod att producera betonggolv. Man är då inte beroende av cementreaktionen. Slutkvaliteten blir också hög.

SEPARATION

Stenseparation leder till:

- Svaga ytor med låg slitstyrka och låg beständighet – se avsnitten "FÖR LÅG HÅLLFASTHET I KONSTRUKTIONEN" och "FÖR LÅG BESTÄNDIGHET I KONSTRUKTIONEN".
- Stor ytkrympning – se avsnittet "KRYMPSPRICKBILDNING".
- Hos lättballastbetong fås omvänd stenseparation d.v.s. porösa stenar flyter upp vilket leder till exakt samma problem.

Vattenseparation leder till:

- Svaga ytskikt – laitanceskikt – vilka är dammande och svåra att ytbehandla.
- Separationsfickor under stenar och armeringsjärn. Ger beständighetsproblem.

All form av separation kan undvikas genom en riktig betongsammansättning.

Stenseparation beror på densitetsskillnaden mellan sten och cementbruk.

Tendensen till stenseparation kan testas genom att ett betongprov vibreras under olika lång tid (t. ex. i ett lufthaltskärl). Tjockleken hos helt stenfritt skikt är ett mått på separationstendensen vid den aktuella vibreringstiden.

Stenseparationen ökar med ökande vattenhalt i betongen och med ökande sättmått.

Kontinuerlig ballastgradering minskar tendensen till stenseparation. Partikelsprång ökar tendensen.

Vattenseparation beror på densitetsskillnaden mellan vatten och cement respektive ballast.

Tendensen till vattenseparation avtar med ökande finpartikelhalt och med ökande finhet hos bindemedlet.

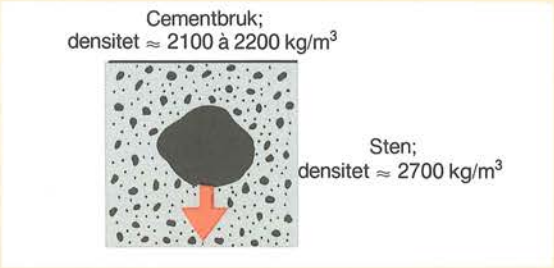
Normalkrav för låg vattenseparation är

$$\frac{W}{C+F} \leqslant 0{,}5$$

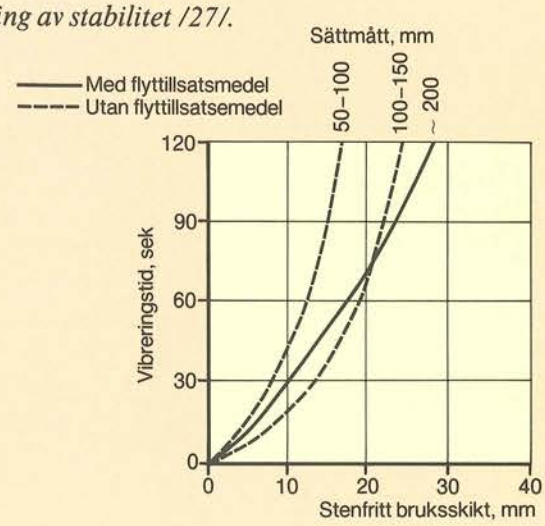
F = filler $\leqslant$ 0,125 mm

OBS! SH-cement eller inblandning av silikastoft ger oftast låg vattenseparation.

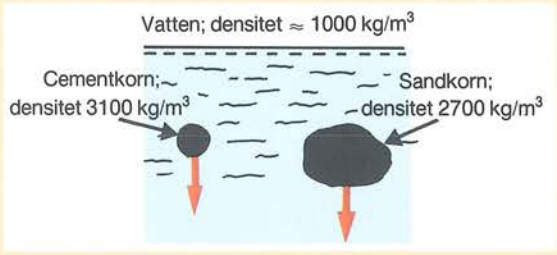
Stenseparation



Testning av stabilitet /27/.



Vattenseparation



Lös betong och/eller hård vibrering ställer stora krav på betongmassans stabilitet. Denna måste utprovas i förväg.

PLASTISKA KRYMPSPRICKOR

Plastiska krympsprickor uppkommer lätt under det första dygnet. De beror på en kraftig uttorkning av den nygjutna betongen. Sprickorna är ofta genomgående och reparationskostnaderna blir höga. Sprickrisken minskar vid lämpligt betongval.

I samband med tillstyvnandet och några timmar därefter är betongen extremt känslig för uttorkning. Dess dragtöjningsförmåga är då mycket låg. När ytan blir torr uppstår dessutom krökta vattenytor mellan cement- och ballastkornen. Detta innebär att hela betongvolymen utsätts för dragspänningar.

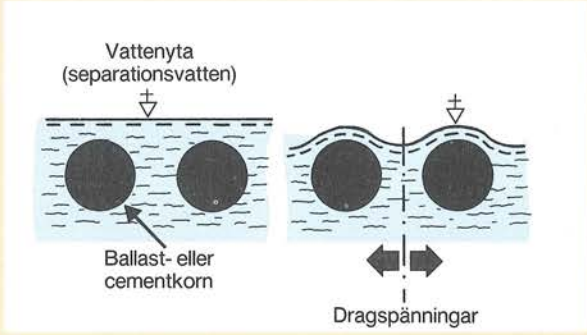
Risken är stor att hela betongtvärsnittet spricker upp. Sprickorna påminner i värsta fall om sprickorna i en torkad leråker och är genomgående.

Fenomenet kallas "plastisk krympning".

Betong med låg vattenseparation är särskilt känslig. Risken ökar därför med ökande finpartikelhalt i betongen.

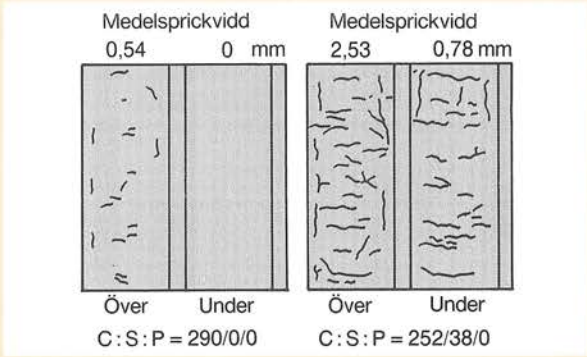
Betong med silikastoft är mycket känslig för plastisk krympning.

Mekanismen bakom plastisk krympning.



Plastiska krympsprickor.

Norsk undersökning av plastisk krympning, refererad i /8/. Bilden visar sprickbildning på över- och undersida av plattorna.



Betong utan silikastoft	Betong med silikastoft
C = 290 kg/m^3	C = 252 kg/m^3
	S = 38 kg/m^3

TEMPERATURSPRICKBILDNING

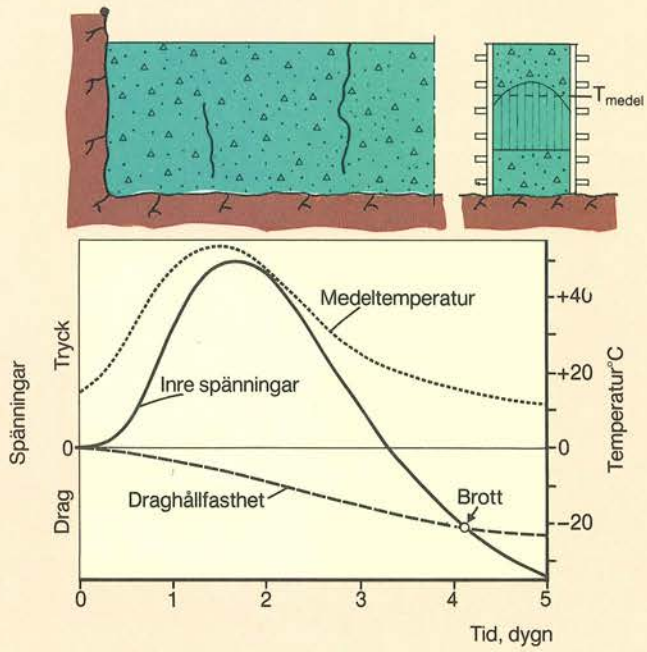
Cementets värmeutveckling skapar temperaturspänningar vilka, speciellt i tjocka eller halvtjocka konstruktioner, kan leda till genomgående sprickbildning eller ytkrackelering. Problemet angrips genom lämpligt val av cementsort och gjuttemperatur.

Cementreaktionen ger en värmeutveckling som höjer betongmassans temperatur. Ju högre cementhalt, ju snabbare cement och ju grövre konstruktioner desto större blir temperaturstegringen.

Vid avsvalningen drar konstruktionen ihop sig och så småningom uppstår dragspänningar.

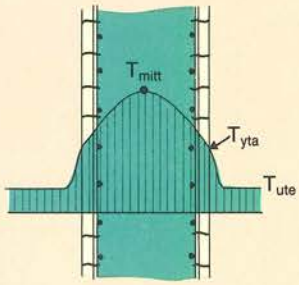
I fastlåsta konstruktioner står hela tvärsnittet under dragspänning och man kan få genomgående sprickor. Maximalt tillåten temperaturstegring hos konstruktionen utöver omgivningens temperatur är av storleksordningen 20 à 25 °C. Det exakta värdet beror på cementsort, klimatförhållanden under gjutningen, avsvalningshastighet etc.

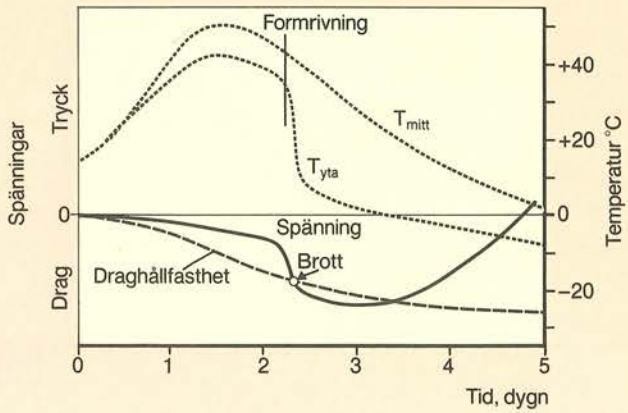
Genomgående sprickbildning.



Även i klenare konstruktioner (liksom i massiva) kan man få stora dragspänningar i ytan i samband med avformningen när ytan kyls medan det inre av konstruktionen fortfarande är varmt. Man får då en ytkrackelering som går in till armeringsjärnen.

Ytsprickbildning.



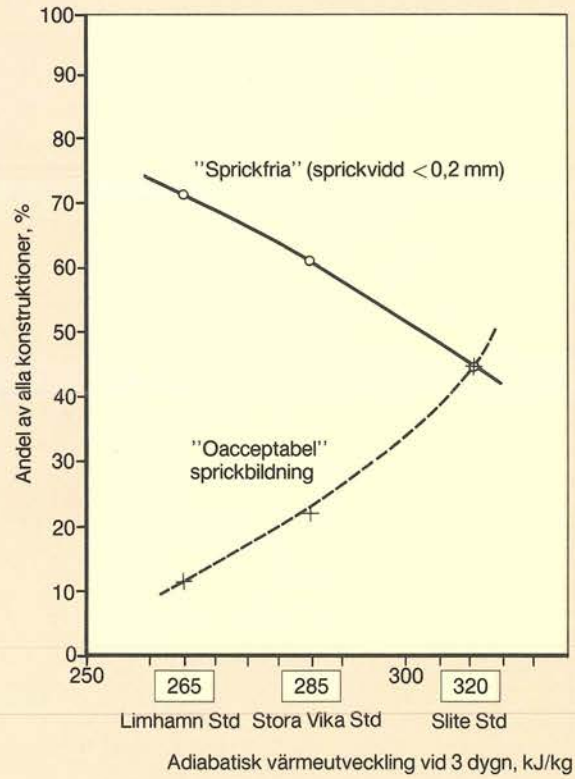


För att sprickor skall undvikas bör temperaturskillnaden mellan mitt och yta understiga ca 20 °C.

(Mer information om dessa sprickproblem ges i /16/.)

Sprickrisken minskar kraftigt när cementets värmeutveckling minskar.

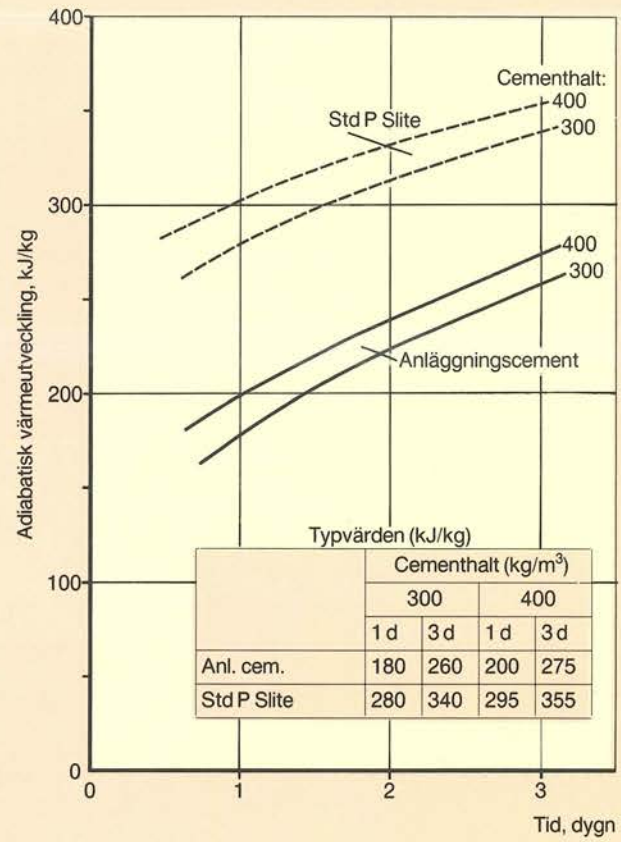
Fältundersökning av sprickbildning i frontmurar till plattrambroar /17/.



Anläggningscementet har lägst värmeutveckling och ger därför mindre sprickrisk.

Vid mycket massiva konstruktioner kan det bli nödvändigt att kyla betongmassan med krossad is eller flytande kväve. Alternativt kyls konstruktionen genom ingjutna kylrör; se /18/.

Värmeutveckling hos Anläggningscement och Std P Slite.



Typvärden (kJ/kg)

	Cementhalt (kg/m³)			
	300		400	
	1 d	3 d	1 d	3 d
Anl. cem.	180	260	200	275
Std P Slite	280	340	295	355

FÖRLÄNGD UTTORKNINGSTID

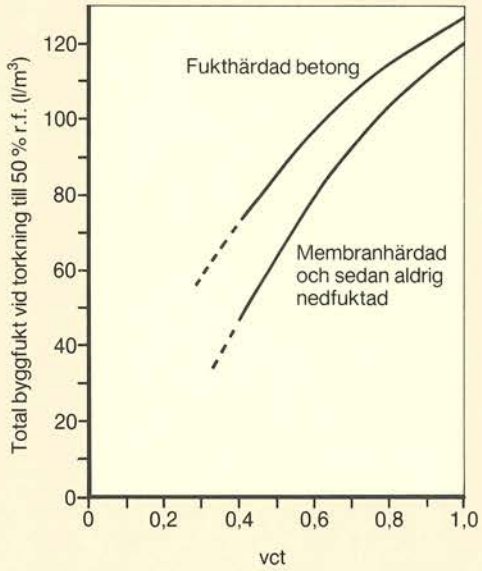
Uttorkning av betongens byggfukt är en mycket långsam process. Alltför hög byggfukt i betongstommen är orsak till många byggproblem; lossnande golvmattor, blåsbildning i färg, röta och mögel i organiska material som står i kontakt med betongen, avgång av skadliga, illaluktande ämnen ("sjuka hus") m. m.

Genom att radikalt höja betongkvaliteten kan mycket stora minskningar av mängden byggfukt göras samtidigt som uttorkningstiden förkortas kraftigt.

Totala mängden byggfukt minskar kraftigt med sänkt vct. Den ökade betongkostnaden kompenseras helt eller till stor del av minskat torkbehov.

Genom membranhärdning, d.v.s. härdning utan fukttillskott, fås en självuttorkning på grund av cementets reaktion vilken ytterligare sänker byggfukthalten.

Total byggfukt vid torkning till 50 % relativ fukt (normalt inomhusklimat). (Kurvorna gäller för en betongålder av ca 28 dygn.)



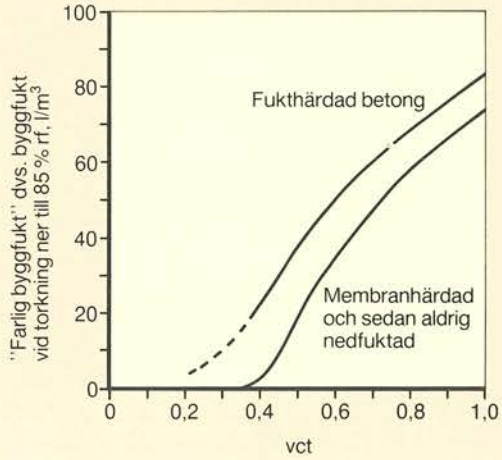
Enligt HusAMA måste betonggolv torka till en nivå som motsvarar ca 85 à 90 % relativ fukt innan täta golvmattor kan läggas (eller tät målning utföras).

Genom att membranhärda en betong med vct = 0,40 kommer cementet att i stort sett utföra hela torkarbetet.

En höjd betongkvalitet möjliggör därför tidigare golvläggning. Se även /19/.

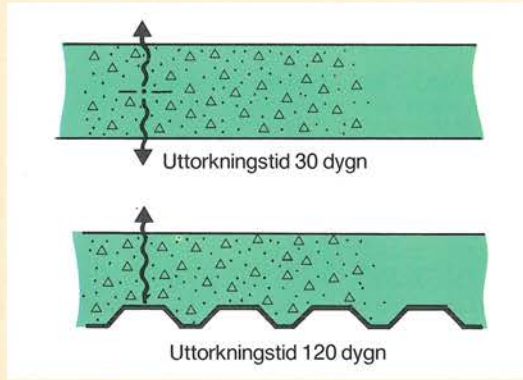
"Farlig" byggfukt, d.v.s. mängd fukt som avgår vid torkning ner till 85 % relativ fukt. (Kurvorna gäller för en betongålder av ca 28 dygn.)

Normalt bjälklag – uttorkningstid 30 dygn
Samverkansbjälklag – uttorkningstid 120 dygn



Vid samverkansbjälklag med kvarsittande stålform fyrdubblas uttorkningstiden eftersom uttorkningen blir ensidig.

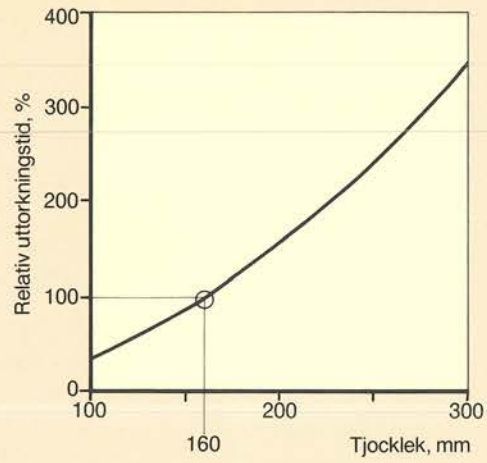
Risken för byggfuktskador är stor. Höjd betongkvalitet minskar risken kraftigt.



Ökad ljudisolering kan erhållas med tjockare väggar och bjälklag. Därmed ökar risken för byggfuktskador.

Genom att öka betongkvaliteten minskar risken kraftigt.

Samband mellan tjocklek och erforderlig uttorkningstid. (Torktiden vid 16 cm tjocklek sätts till 100 %.)



Höjd betongkvalitet och membranhärdning ger låg byggfukthalt och därmed snabb uttorkning.

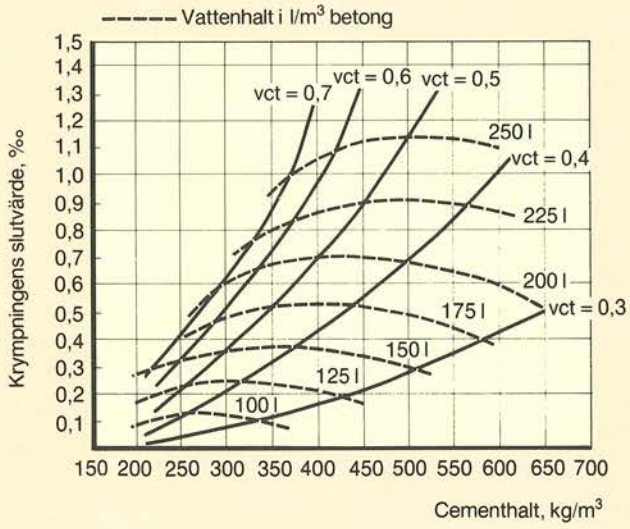
Ytterligare förkortning av uttorkningstiden fås om betongen förses med luftinblandning.

KRYMPSPRICKBILDNING

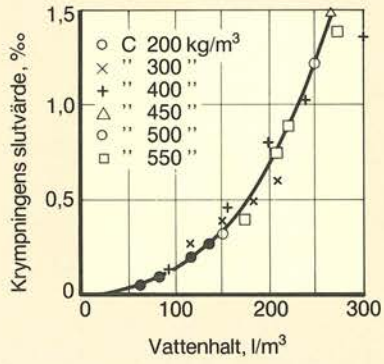
Uttorkning av betong leder till krymprörelser som kan vara upp till 8 gånger högre än betongens dragtöjningsförmåga. Konstruktioner som inte är helt fritt rörliga får därför krympsprickor, vilka kan bli grova om inte en kraftig armering läggs in. Hopgjutna konstruktionsdelar med mycket olika tjocklek får skillnader i krympning vilka kan leda till sprickbildning i den tunnare konstruktionsdelen.
Sprickrisken och sprickvidderna kan påverkas kraftigt genom lämpligt val av betongsammansättning.

Betongens uttorkningskrympning beror i stort sett enbart på mängden blandningsvatten. Vid konstant vattenhalt spelar cementhalten i stort sett ingen roll för krympningen.

Krympning vid 50 % relativ fukt som funktion av betongens sammansättning /20/.

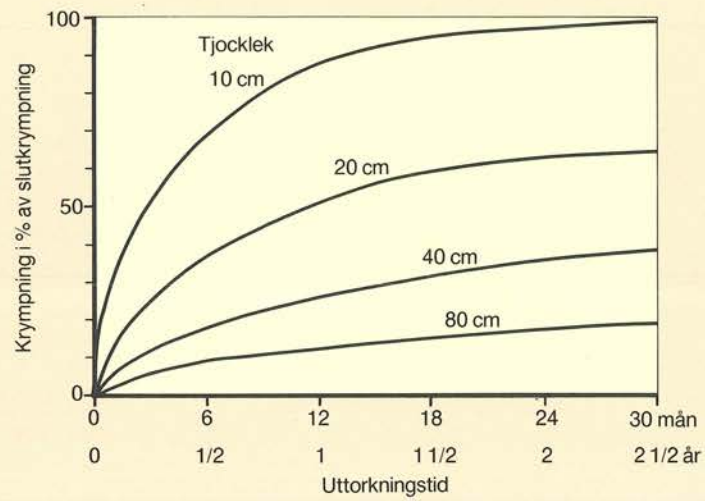


Samband mellan krympning vid 50 % relativ fukt och mängden blandningsvatten /21/.



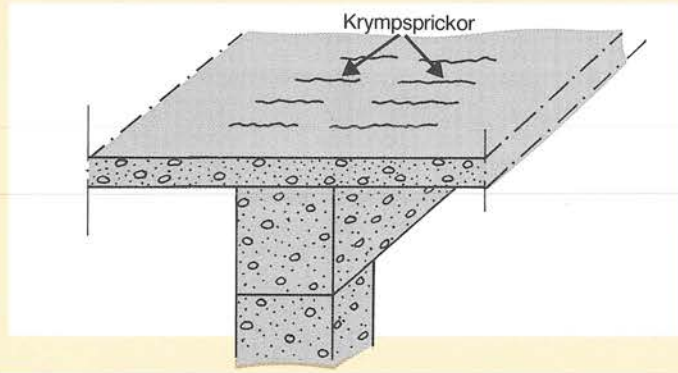
Ju tjockare konstruktionen är desto långsammare torkar den och desto långsammare krymper den därför.

Samband mellan konstruktionstjocklek och uttorkningskrympning.



Sammangjutning av en tunn konstruktion med en tjock kan därför skapa så stora dragspänningar i den tunna konstruktionen att den spricker. I princip kan skadorna undvikas om den tunna konstruktionen görs av betong med mycket låg krympning – starkt vattenreducerad.

Sammangjutning av tunn och tjock konstruktion ger sprickor.



Betongens krympning ökar med ökande cementpastahalt.

$\varepsilon_{krymp} = \varepsilon_o \cdot V_P^{1,7}$

ε_o = cementpastans krympning

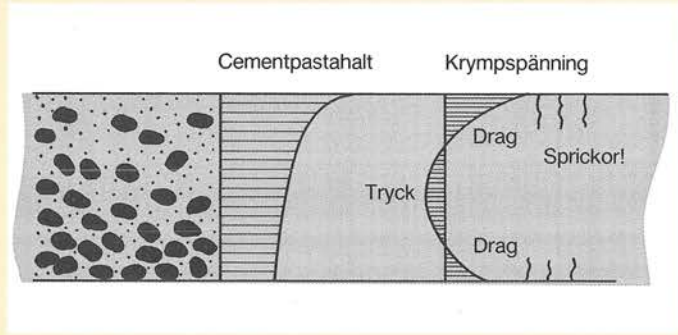
V_P = volymandel pasta.

Ex: En övergång från stenmax 32 mm till stenmax 16 mm ökar vattenhalten och cementpastahalten Därmed ökar krympningen.

Ex: En stenseparation som ökar pastahalten i betongens överyta från 25 till 35 % ökar den fria krympningen i överytan med 75 %.

Ballastseparation leder därför till stora krympspänningar i betongöverytan.

Stenseparation kan medföra ytsprickbildning.



Låg uttorkningskrympning förutsätter låg halt blandningsvatten.

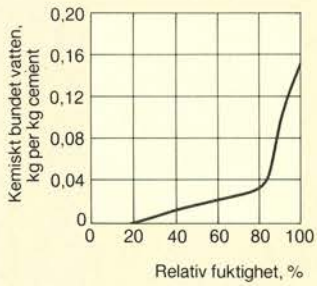
KOMPLICERAD EFTERHÄRDNING

Enligt BBK 79 tillåter man i vissa fall att fukthärdning byts mot membranhärdning eller ingen efterhärdning alls. Detta förutsätter att hållfasthetsklassen ökas.

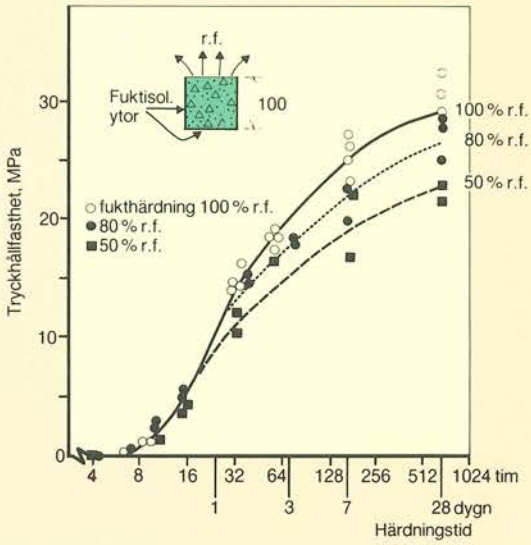
Cementreaktionen kräver ett överskott av vatten för att kunna ske ostört. Redan vid en relativ fuktighet av 90 % inne i betongen har cementreaktionen saktat av kraftigt. Vid 80 % relativ fukt upphör den i stort sett helt.

Utebliven fukthärdning innebär därför att hållfastheten minskar med 1 à 2 hållfasthetsklasser beroende på hur torrt det yttre klimatet är.

Inverkan av relativa fuktigheten på cementets hydratation /14/.



Inverkan av yttre relativa fuktigheten på hållfasthetstillväxten hos betong /15/.
Std P, vct = 0,58



För att kompensera för en utebliven fukthärdning måste man höja betongkvaliteten. Enligt BBK 79 måste man i princip öka med 1 hållfasthetsklass om man membranhärdar eller med 2 hållfasthetsklasser om man helt utelämnar fukthärdningen

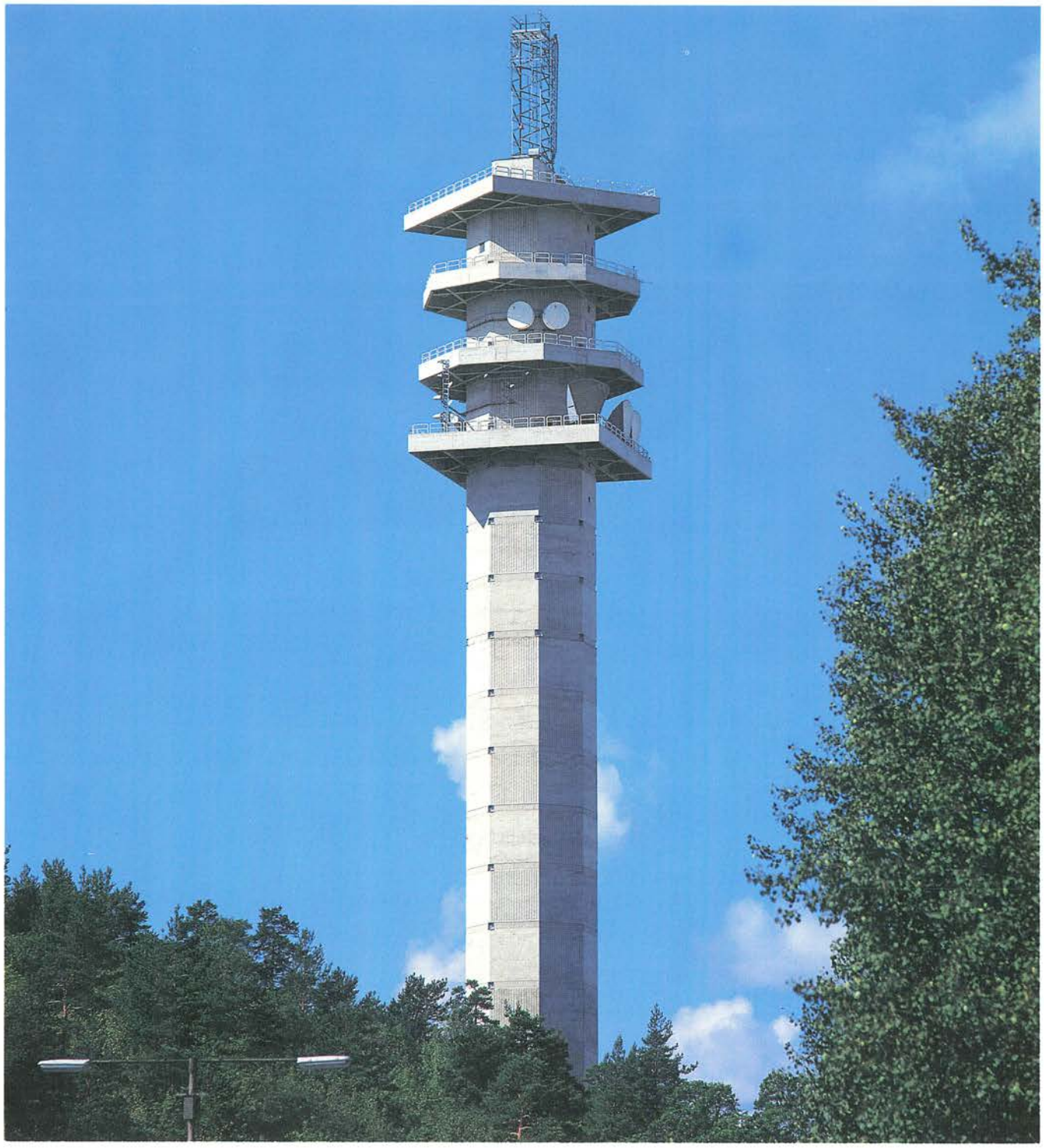
Krav på hållfasthetsklass enligt BBK 79 beroende på sättet att fukthärda.
(Normalhärdning är fukthärdning upp till 45 % av fordrat K-värde.)

Hållfasthetsklass enligt byggnhandling, K_0	Krav på hållfasthetsklass: Fullgod membranhärding > 5 °C	Krav på hållfasthetsklass: Fullgod membranhärding < 5 °C	Krav på hållfasthetsklass: Ingen härdning*
$K_0 \leqslant K35$	K_0*	K_0	$K_0 + 5$ MPa
$K_0 \geqslant K40$	$K_0 + 5$ MPa*	$K_0 + 5$ MPa	$K_0 + 10$ MPa

*) Godkänns enbart i miljö som är såväl obetydligt betongaggressiv som obetydligt armeringsaggressiv.

OBS! Utebliven fukthärdning innebär att betongytans kvalitet blir låg vilket sänker betongens beständighet. Betong med hög beständighet måste därför alltid fukthärdas. Enbart när det är risk för tidig frysning måste man avstå från fukthärdning. Men då måste membranhärdningen vara "perfekt".

Problem hos den färdiga konstruktionen



FÖR LÅG HÅLLFASTHET HOS KONSTRUKTIONEN

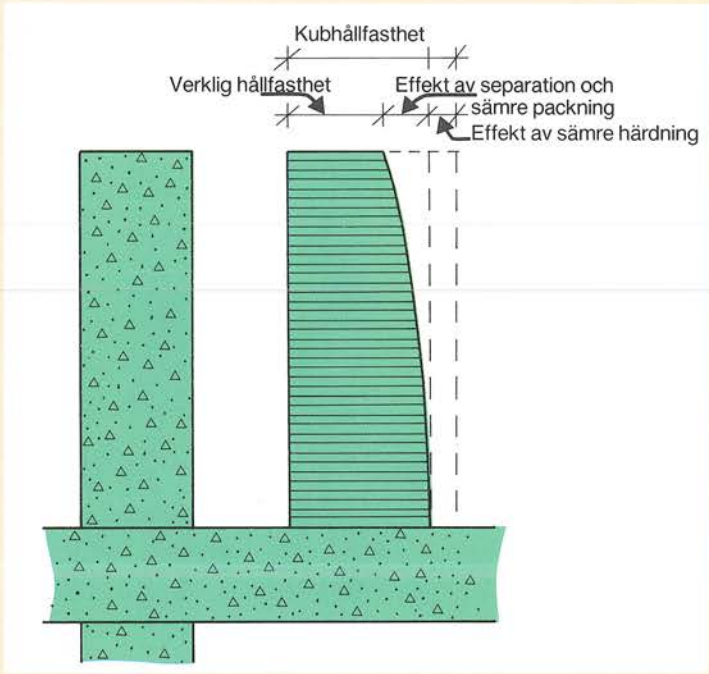
Det blir alltmer vanligt att betongbyggnadens kvalitet inte bara bedöms på basis av separattillverkade prover (t. ex. kuber och lufthaltsprov) utan även på direkt mätning i den färdiga konstruktionen.

Det är därför viktigt att man i största möjliga utsträckning kan vara säker på att den färdiga konstruktionen får avsedd hållfasthet. Man bör därför välja en betong som är "lätthärdad", d.v.s. som inte alltför mycket påverkas av bristfälliga härdningsförhållanden, som har en stabil lufthalt och som inte är separationsbenägen.

Hållfastheten i en färdig konstruktion är normalt lägre än kubhållfastheten. Orsaken är att härdningsförhållanden och komprimering alltid är något sämre i en konstruktion än i kuben.

På grund av separation får man dessutom normalt lägst hållfasthet i toppen av konstruktionen.

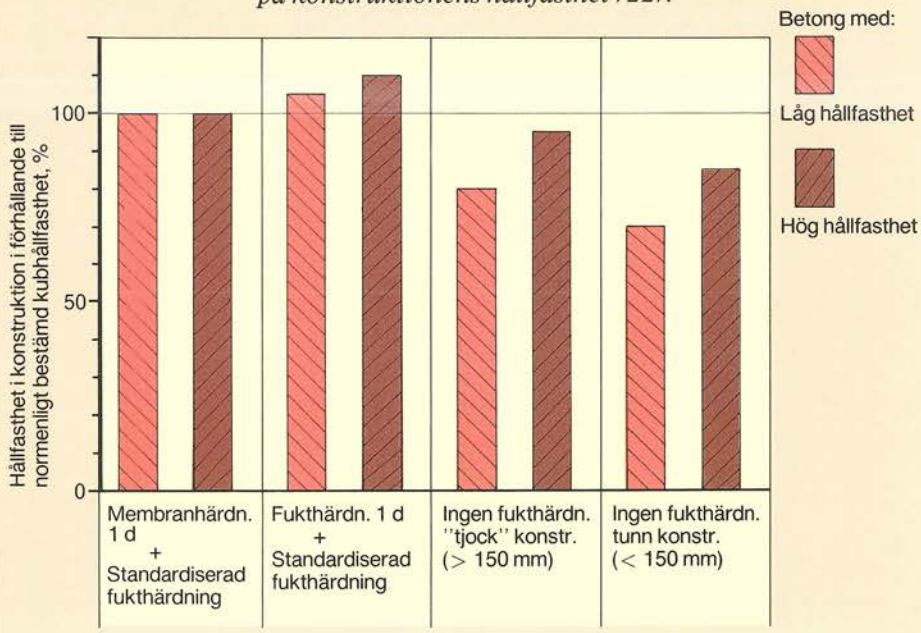
Hållfastheten på olika nivå från överytan i en vägg eller pelare.



Om konstruktionen är sådan att fukthärdning inte kan genomföras kan man förvänta sig en hållfasthetsminskning av 15 à 30 %.

Av säkerhetsskäl bör K-värdet höjas i en sådan konstruktion.

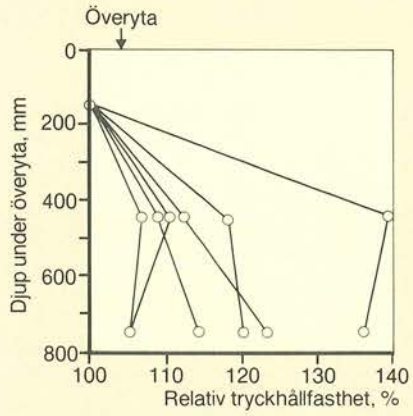
Exempel på inverkan av olika fukthärdningssätt på konstruktionens hållfasthet /22/.



Hållfastheten i toppen av en vägg eller pelare kan vara upp till 30 à 40 % lägre än medelhållfastheten.

Separationsbenägen betong måste undvikas när alla delar av konstruktionen skall ha hög hållfasthet.

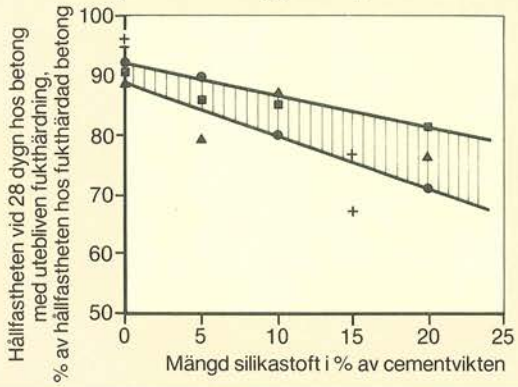
Exempel på inverkan av avståndet från en pelartopp på hållfastheten /23/.



Betong med restmaterial – särskilt silikastoft – är mycket känslig för dåliga härdningsbetingelser.

Kan man inte fukthärda en sådan betong på fullgott sätt bör man alltid höja hållfasthetsklassen.

Inverkan av utebliven fukthärdning på hållfastheten vid 28 dygn /25/.



En varierande lufthalt ger stor hållfasthetsspridning. Följande samband gäller överslagsmässigt

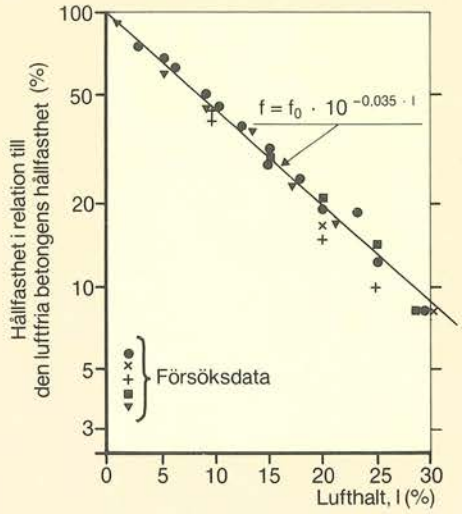
$f = f_o \cdot 10^{-0,035 \cdot \delta l}$

f_o = normal hållfasthet

δl = ökning av lufthalt (procenteheter)

Ex: Vid en genomsnittlig hållfasthetsnivå av 45 MPa ger ± 1 % i lufthaltsvariation en hållfasthetsvariation av ± 4 MPa d.v.s. nästan ± 1 hållfasthetsklass.

Samband mellan lufthalt och betonghållfasthet /26/.



När det är av särskilt stor vikt att hållfastheten i den färdiga konstruktionen inte någonstans underskrider föreskrivet K-värde, samtidigt som gjutförhållandena är svåra, bör entreprenören överväga att välja en högre hållfasthetsklass.

Separationsbenägen betong – t. ex. mycket lös betong – skall undvikas. Betong med stora lufthaltsvariationer och ostabila luftporsystem skall undvikas.

FÖR LÅG BESTÄNDIGHET HOS KONSTRUKTIONEN

Betongbyggnadsverkets goda beständighet grundläggs av projektörens arbete. Han skall värdera de aktuella klimatförutsättningarna på ett riktigt sätt och vid osäkerhet alltid hänföra byggnadsdelen till en hårdare miljöklass. Därefter skall han göra ett riktigt materialval (vct, cementtyp, lufthalt, etc), göra en riktig konstruktionsutformning (täckskikt, geometrisk utformning etc) och utforma ett förnuftigt kontrollprogram.

Trots ett riktigt projekteringsarbete kan byggnadsverket få alltför låg beständighet genom rena missar under byggnadsskedet (t. ex. utebliven härdning eller felaktiga täckskikt). Lika vanligt är emellertid att den levererade betongen inte är tillräckligt "robust" utan ligger för nära gränsen mellan "beständighet" och "obeständighet". Små, naturliga variationer på byggplatsen (t. ex. i vibrering och annan hantering) gör att byggnadsverkets beständighet inte blir den förväntade.

Det blir alltmera vanligt att man kontrollerar det färdiga byggnadsverkets kvalitet, t. ex. genom att man tar ut prover för frystestning eller för analys av strukturen (luftporer, vct etc). Därför är det viktigt att den betong som tas emot av entreprenören har en rimlig förmåga att ge beständig betong med den på byggnadsplatsen använda tekniken.

Nedan ges några exempel på faktorer i betongsammansättningen som påverkar beständigheten. En fylligare beskrivning ges i rapport /10/.

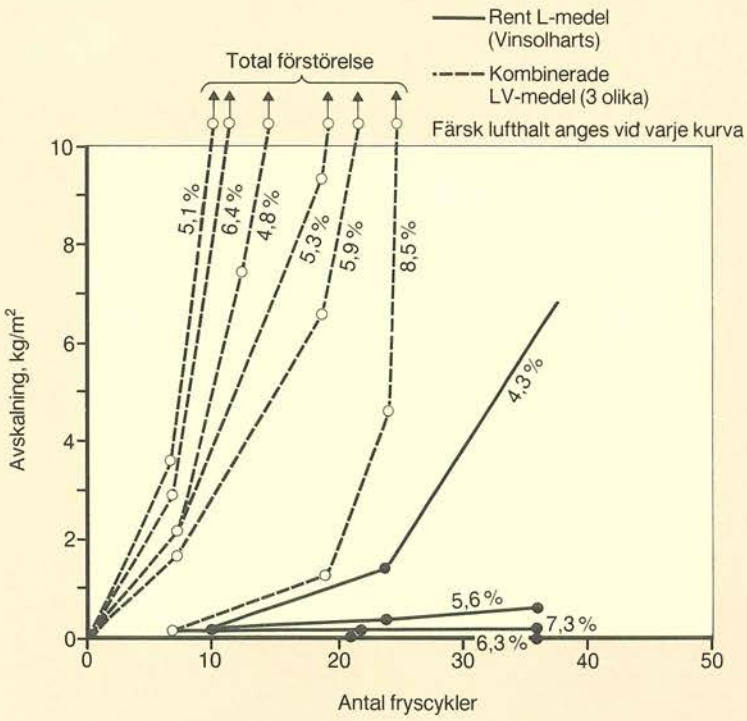
Det är helt klart att rena L-medel, d.v.s. tillsatsmedel med enbart luftporbildande effekt, är överlägsna s. k. LV-medel med kombinerad luftporbildande och vattenreducerande effekt.

Rena L-medel av god kvalitet (t. ex. neutraliserad Vinsolharts) ger i de flesta fall hög saltfrostbeständighet vid lufthalter av ca 5 à 6 % förutsatt att Anläggningscement används.

LV-medel ger ofta osäker saltfrostbeständighet även vid mycket höga lufthalter; se bilden till höger.

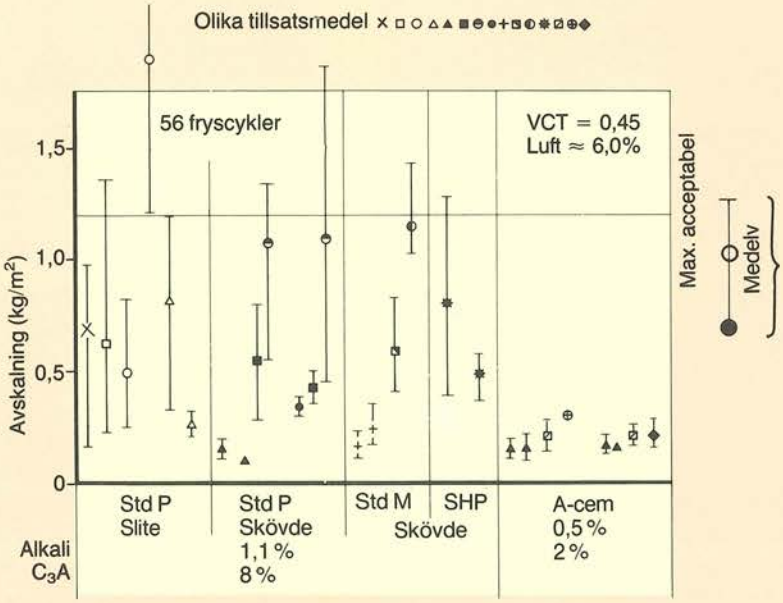
Även luftporstabiliteten är oftast högre i betong med rena L-medel.

Inverkan av olika luftporbildare och lufthalt på saltfrostbeständigheten (Std P Skövde)/10/.



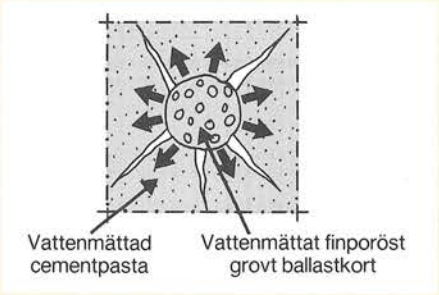
Anläggningscement ger betydligt högre och säkrare saltfrostbeständighet än övriga cementsorter.

Inverkan av cementsorten på saltfrostbeständigheten /10/. (vct = 0,45 och lufthalten = 6 % i alla betonger.)

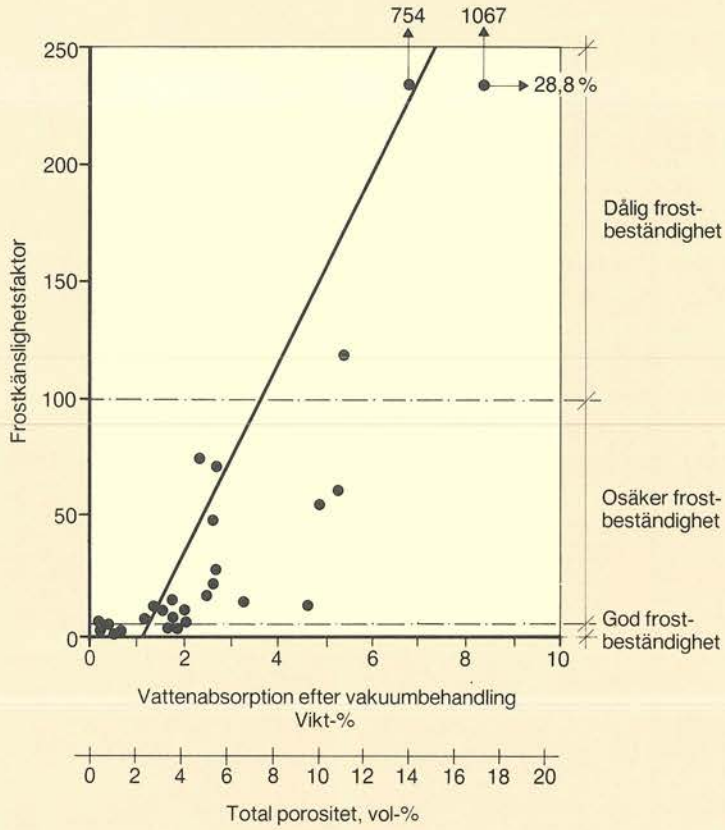


Finporös naturballast (t. ex. skiffer, kalksten) kan vattenfyllas helt när den är ingjuten i betong. Är ballastkornet tillräckligt stort räcker inte ens luftinblandning för att hindra skador. Även en mycket låg porositet hos ballasten räcker för att spränga sönder betongen.

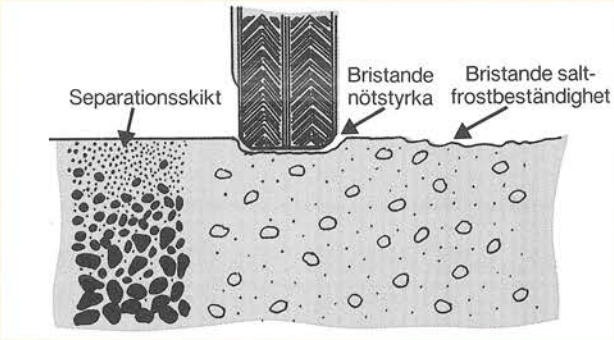
Vattenmättat ballastkorn spränger sönder betongen.



Samband mellan ballastens porositet och frostskaderisken /28/.



Separationsbenägen betong ger låg slitstyrka och stark "frostavskalning". Använd betong med så styv konsistens som möjligt.

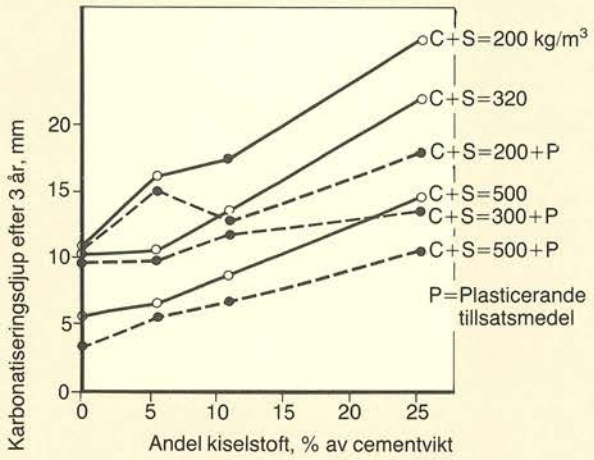


Hög saltfrostbeständighet fås säkrast genom rena luftporbildare, Anläggningscement, högvärdig (tät) ballast och styvast möjliga konsistens.

Betonger med **silikastoft, flygaska och slagg** är betydligt mera svårhärdade än vanlig betong med rent portlandcement. De kräver därför betydligt mera omfattande fukthärdning för att ge samma armeringsskydd.

Gör man ingen fukthärdning ökar karbonatiseringen snabbt med ökande halt silikastoft.

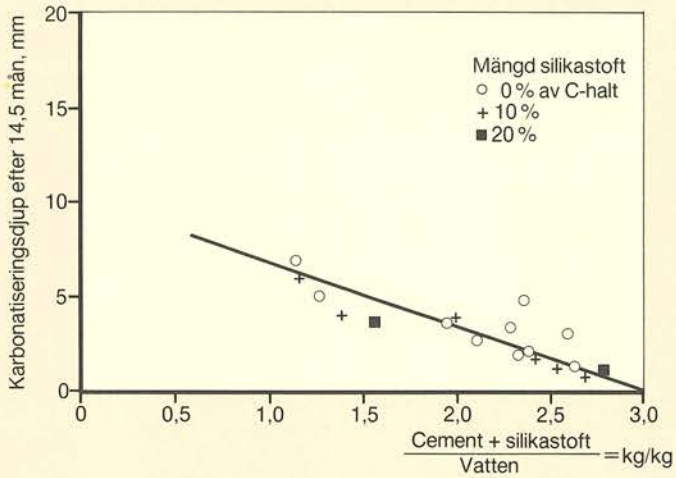
Inverkan av silikastoft på betongytans karbonatisering /29/. Ingen fukthärdning efter formrivning.



Fukthärdar man väl spelar silikastoft (och andra tillsatsmaterial) mindre roll för karbonatiseringen.

(OBS! Konstant $\frac{C+S}{W}$ innebär att betong med silikastoft (S) har högre hållfasthet, d.v.s. vid **konstant hållfasthet** karbonatiserar enligt figuren till höger en betong med silikastoft snabbare.)

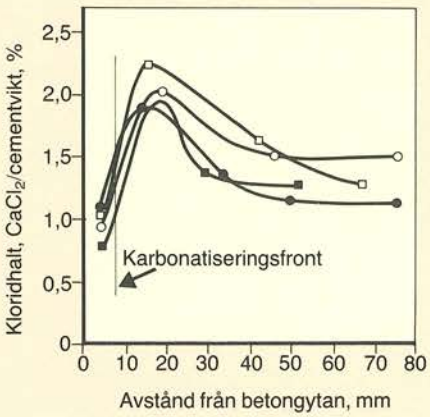
Inverkan av silikastoft på betongytans karbonatisering /30/. Fukthärdning de första 7 dygnen efter formrivning.



Om **kloridhaltiga delmaterial** används i betong (t.ex. kalciumklorid, havsvatten, kloridhaltig ballast) kan så höga kloridhalter uppstå i täckskiktet när detta karbonatiserar att korrosion startar.

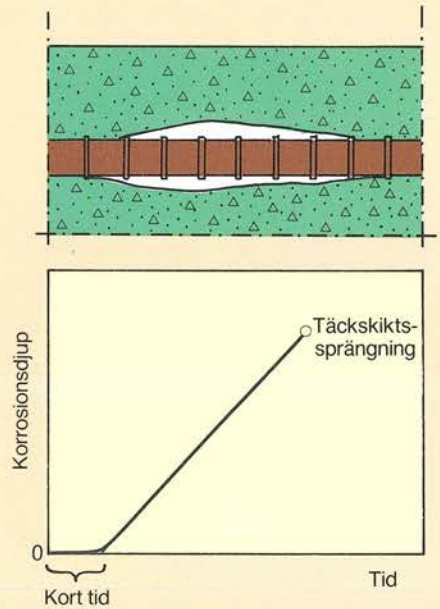
Använd därför aldrig klorider i betong.

Karbonatisering av betong frisätter klorid som tidigare varit bunden /31/.



Dålig gjutbarhet liksom stor vattenseparation kan medföra att man får dålig kringgjutning av armeringsjärnen. Man får då inget skydd av armeringen vilken börjar rosta ganska kort tid efter gjutningen.

Dålig gjutbarhet eller stor separation kan därför ge låg livslängd.

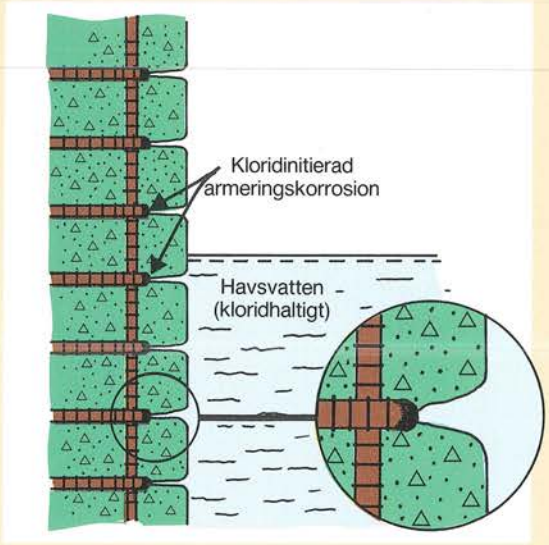


I betong med dålig gjutbarhet kan man få eftersättning om inte mycket lång vibreringstid används. I vertikala, höga konstruktioner kan denna bli mycket stor.

Förhindrad sättning, t. ex. vid byglar, ger sättsprickor vilka i kloridhaltig miljö medför snabb armeringskorrosion.

(Temperatursprickor ger liknande problem; se avsnitt "TEMPERATURSPRICKBILDNING".)

Vertikal, hög konstruktion med sättsprickor (och/eller ytkrackelering på grund av temperaturutveckling).



Högt korrosionsskydd fås säkrast genom betong som inte är så känslig för eventuella brister i efterhärdningen samt genom betong med hög gjutbarhet och låg separationstendens.

LITTERATURREFERENSER

/1/ G H Tattersall, P F G Banfill. The rheology of fresh concrete. Pitman, London, 1983.

/2/ Företaget Maurice Perrier et Cie. Broschyr över konsistensmätaren "Rap-Act Plasticity Meter" 1986.

/3/ G Ysberg. Metod att klassificera betongs arbetbarhet och ytseparation. CBI Forskning Fo 8:78, 1978.

/4/ Betongcentrum i Malmö. Mätningar genomförda 1988/89 av Lars Hansson. (Projektledare Christer Ljungkrantz, Cementa.)

/5/ R Hård. Betongs gjutbarhet – en provningsmetod. CBI Rapport 8:75, 1975.

/6/ T C Powers. Studies of workability of concrete. ACI Proceedings 1932.

/7/ U Bellander, M Gregorson. Betongytors porighet – symptom och medicin. CBI Rapporter Ra 6:80. 1980.

/8/ S G Bergström, B Warris. Kiselstoft för betong. CBI Rapport 1.83. 1983.

/9/ P L Owens. Fly ash and its usage in concrete. Concrete, July 1979.

/10/ G Fagerlund. Betongkonstruktioners beständighet. Cementa 1987.

/11/ G Fagerlund. Vinterbetong – en översikt. Cementa 1988.

/12/ G Fagerlund. Betong med flygaska. CBI Kursverksamheten. Rapport Kiselstoft och flygaska, 1983.

/13/ G Fredriksson, P Samuelsson. Glättning av betonggolv. Cementa 1989.

/14/ T C Powers. A discussion of cement hydration in relation to the curing of concrete. Highw. Res. Board. Proc. 27(1947)

/15/ J Byfors. Plain concrete at early ages. CBI Research 3:80, 1980.

/16/ G Fagerlund. Vattenbyggnadsbetong. Cementa 1989.

/17/ H Ingvarsson. Sprickbildning i frontmurar till plattrambroar. Nordisk Betong Nr 6, 1981.

/18/ S Bernander. Massivbetong. Kapitel i Betonghandbok ARBETSUTFÖRANDE. Svensk Byggtjänst 1982.

/19/ Uttorkningstider hos betongkonstruktioner. Cementa, 1988.

/20/ Bureau of Reclamation. Concrete Manual, 4th Edition, Denver 1942.

/21/ U Bjuggren. Krympning hos betong. Nordisk Betong Nr 4, 1941.

/22/ N Petersons. Recommendations for estimation of quality of concrete in finished structures. CBI Reprint 65, 1972.

/23/ N Petersons. Strength of concrete in finished structures. CBI Särtryck Nr 26, 1964.

/24/ Betongindustri AB. Arbetsmaterial i samband med utarbetande av Planverkets typgodkännande för mineraliska restmaterial. 1981.

/25/ R Johansen. Silikastöv i fabrikkbetong. Langtidseffekter. FCB 79019, Trondheim 1979 (se även ref /8/).

/26/ S Popovics. Effect of porosity on the strength of concrete. Journal of Materials vol 4, No 2, June 1969.

/27/ A Johansson, N Petersons. Färsk betong, kapitel i Betonghandbok MATERIAL. Svensk Byggtjänst, 1982.

/28/ T D Larson, P D Cady. Identification of frost susceptible particles in concrete aggregates. Nat. Coop. Highway Research Program. Report 66, 1969.

/29/ R Johansen. Silika i betong. Delrapport Nr 6. Langtidseffekter. FCB 81031. Trondheim 1981 (se även ref /25/ och /8/).

/30/ Ö Vennesland. Silika i betong. Delrapport Nr 3. Korrosjonsegenskaper. FCB 81031. Trondheim 1981 (se även ref /8/).

/31/ K Tuutti. Corrosion of steel in concrete. CBI Research 4:82, 1982.

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