

CEMENT
BETONG
BETONGPRODUKTER
ARMERAD BETONG

3.5 CEMENT, BETONG, BETONGPRODUKTER OCH ARMERAD BETONG

V Sjölin

Statens räddningsverk, Karlstad

Beställningsnr U29-007/87

3.5 CEMENT. BETONG. BETONGPRODUKTER OCH ARMERAD BETONG

3.5.01 Allmänt

Cement definieras som ett finmalet bindemedel som efter tillsats av vatten kan hårdna både i luft och i vatten. Definitionen täcker väl cementets väsentliga egenskaper - att kunna bilda en hård och motståndskraftig stenliknande massa.

Betong är en blandning av cement, vatten, grus, sten och eventuella tillsatsmedel. Massan hårdnar mer eller mindre snabbt beroende på cementtyp, temperatur m m. Betongen kan inte annat än i ringa utsträckning uppta dragkrafter.

Armering i form av armeringsstål eller armeringsnät monteras därför i betongformen innan betongmassan hälls ner i formen.

Betongmaterialet är känt sedan lång tid. Romarna använde t ex betong. Armerad betong är däremot relativt ny och introducerades först under 1800-talet.

3.5.02 Cement

Portland-cementet är den i Sverige helt dominerande cementtypen. Den tillverkas vid flera fabriker inom landet och dess kemiska sammansättning varierar därför något. Vid-

stående tabell anger representativa ungefärliga värden. De väsentliga egenskaperna hållfasthet och binde-tid är emellertid fullt likvärd. Kvalitetskraven på cementet anges i de statliga cementbestämmelserna utfärdade av statens betongkommitté.

<u>Portlandcementets beståndsdelar</u>	
CaO	~ 65 %
SiO ₂	20 - 25 %
Al ₂ O ₃	~ 5 %
Fe ₂ O ₃	~ 3 %
Mg O	~ 3 %

Hållfasthetskraven är högre än i något annat land.

Tre olika slag av portlandcement finns. Standard är den vanligaste typen och förekommer i mer än 90 % av alla betongarbeten. Snabbt hårdnande cement används där hög hållfasthet erfordras redan efter mycket kort tid.

Vid vintergjutning kan denna cementtyp förhindra frostbildning i betongen innan tillräcklig hållfasthet uppnåts. Långsamt hårdnande cement används i grova konstruktioner där värmeavledningen är dålig och i sådana fall där risken för deformationer kräver en långsam tillväxt av hållfastheten. Vitt cement importeras. Det är dyrbart och används främst till förtillverkade fasadelement. Hållfasthetsegenskaperna överensstämmer med standardcementets.

Ibland tillsätter man acceleratorer till cementet för att påskynda hårdnandet. Ofta används kalcium- eller natriumklorid. Sådan tillsats måste ske med försiktighet för att inte hårdnandet skall ske så snabbt att betonggjutningen inte hinner avslutas. I sällsynta fall tillsätts soda eller vattenglas. Hårdnandet sker då praktiskt taget momentant. Hållfastheten hos den färdiga betongen nedsätts dock påtagligt.

Aluminatcement är en cementsort som skiljer sig från portlandcementet genom att aluminathalten är hög och silikathalten låg. Genom bränning vid hög temperatur kan aluminatcement övergå till eldbeständigt keramiskt material. Aluminatcementet är tre gånger så dyrt som portlandcementet. Blandcement förekommer i form av slaggcement - innehållande portlandcement och masugnsslagg - samt puzzolacement. Det sistnämnda innehåller vulkanisk aska.

3.5.03 Tillverkning av cement

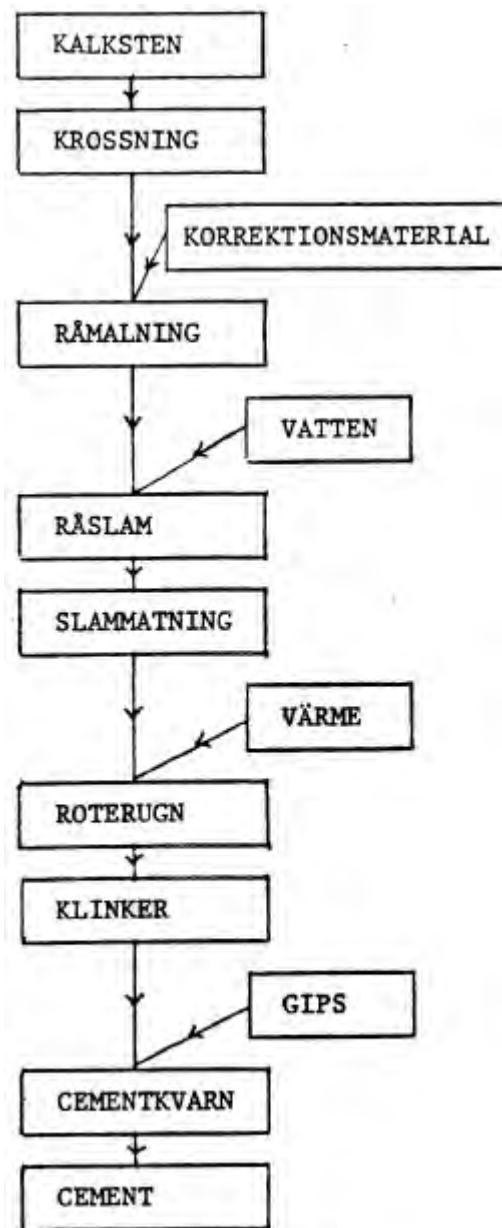
Lämplig råvara förekommer över hela världen. Kalksten är det vanligaste utgångsmaterialet. Ibland måste korrektionsmaterial i form av lera, sand eller kis tillsättas.

Tillverkningsgången består av finmalning och homogenisering av råmaterialen, bränning av råmaterialet till klinker samt finmalning av klinker till cement.

Finmalning av råmaterialen sker antingen med ett helt torrt material eller också tillsätts vatten och råmaterialet mals till ett slam. Man talar om torrmetoden resp. våmetoden. Måningen sker i rörkvarn. Bränningen utförs vanligen i roterugn. I slutfasen av bränningen vid en temperatur av mer än 1400 C sintrar materialet dvs. kalciumoxiden smälter samman med kiseldioxiden och vissa andra oxider.

Den såbildade klinkern finmals i rörkvarn efter avkyllning. Vid måningen

tillsätts 4-7 % gips. Långsamt hårdnande cement (LH -cement) mals grövre och snabbcementet (SH-cement) finare än standardcement.



Framställning av cement

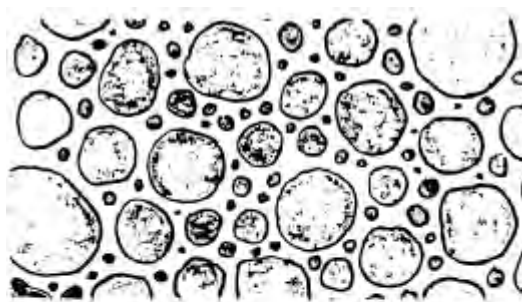
3.5.04 Betongmassans beståndsdelar

Betongmassan består av cement, vatten, sand och sten. Cement och vatten benämns tillsammans cementlim eller cementpasta. Sand och sten utgör tillsammans ballastmaterialet. Cementet är utförligt behandlat i föregående avsnitt.

Vatten till betong får inte innehålla sådana föroreningar som menligt inverkar på bindning, hållfasthet och beständighet. Dricksvatten duger nästan alltid liksom i regel naturligt yt- och grundvatten. Saltvatten kan användas men hänsyn måste tas till kloridhalten. Havsvatten får ej användas till spännbetong. Avloppsvatten får ej användas till betongframställning. Sand och fingrus har en största kornstorlek av 4 resp. 8 mm. Materialet skall vara beständigt och får ej innehålla skadliga mängder av ämnen som menligt inverkar på betongens bindning, hållfasthet och beständighet. Klumpar av lera, mjåla och matjord får ej förekomma. Påstenmaterialet ställs motsvarande krav.

Det är av fundamental betydelse att ballastmaterialet är graderat - dvs innehåller partiklar av olika storlek och i lämpligt inbördes förhållande. Härigenom skapas förutsättningar för en tät och hållfast betong. Som hjälpmedel vid betongberedning - betongproportionering - används siktcurvor av olika slag. I den färdiga betongen skall varje ballastpartikel vara omgiven av ett lager av cementlim och dessutom skall alla mellanrum mellan ballastpartiklarna vara utfyllda med cementlim.

Luftporbildande medel tillsätts ofta för att öka den färdiga betongens motståndsförmåga mot frostsprängning. Dessa medel försvårar också separation av betongen (jfr följande).



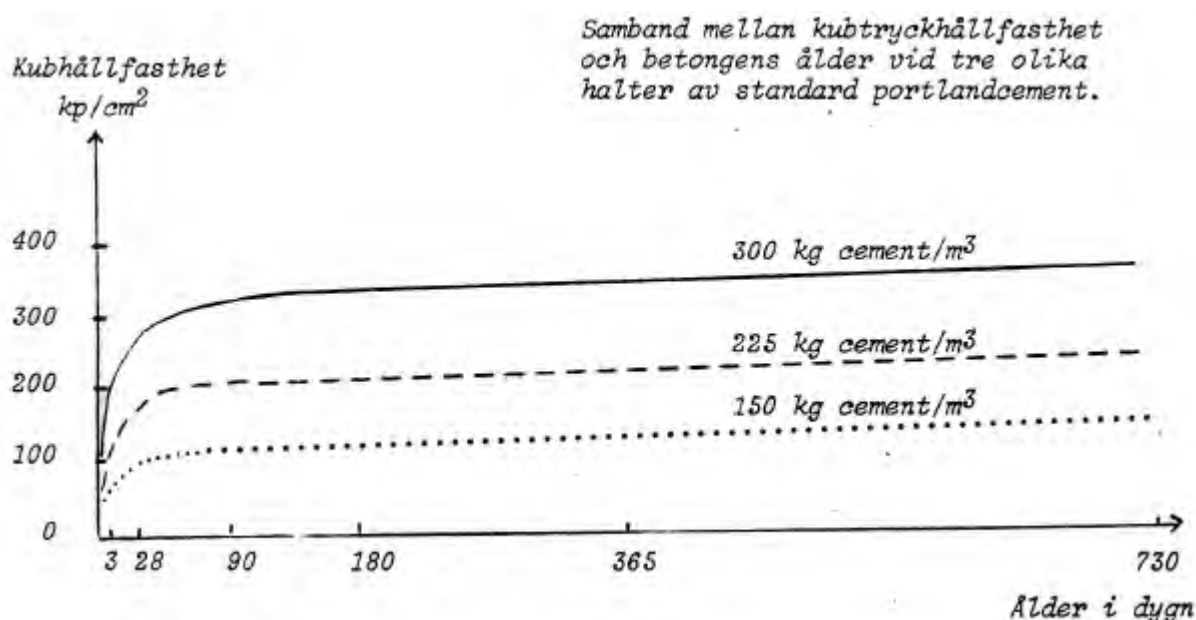
Principen för betongens uppbyggnad. Mörka partier betecknar ballast av olika gradering. Varje korn skall ha ett lager cementlim omkring sig och alla håligheter skall vara utfyllda.

3.5.05. Hållfasthet, bearbetbarhet, klassificering och provning

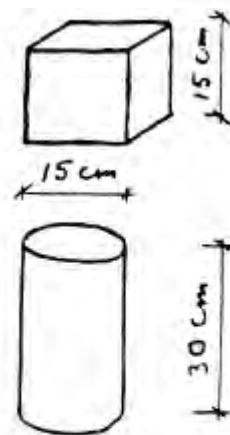
Hållfasthetsklassen hos betong betecknas med bokstaven K och ett värde för tryckhållfastheten vid normalprov.

I Sverige har man standardiserat vissa hållfasthetsklasser. Högre hållfasthetsklass än K 350 får användas endast under speciella förhållanden. För klasserna K 450 - K 600 krävs särskilda tillstånd. Sådana lämnas endast om betongen tillverkas med Särskild noggrannhet och med större krav på provningens utförande. I en och samma konstruktion t ex.	K 600	K 350
	K 550	K 300
	K 500	K 250
	K 450	K 200
	K 400	K 150
	Standardiserade	betongkvaliteter

vägg, pelare, balk, platta etc. får endast en hållfasthetsklass förekomma. Tillväxten i hållfasthet sker snabbt i början och avtar senare. Provning brukar utföras efter 28 dygn. Formrivning får ej ske förrän tillfredsställande hållfasthet uppnåtts. Tiden är beroende av cementtyp, eventuella tillsatser, temperatur och belastning. Frost i betongmassan innan den hårdnat medför iskristaller i betongen. Därmed kan hållfastheten nedsättas så att ras uppkommer. Vid vintergjutning måste särskilda åtgärder vidtas. Betongproportionering med snabbt hårdnande cement, tillsats av acceleratorer, uppvärmning med ånga eller byggtork samt täckning med värmeisolerande material tillgrips ofta.

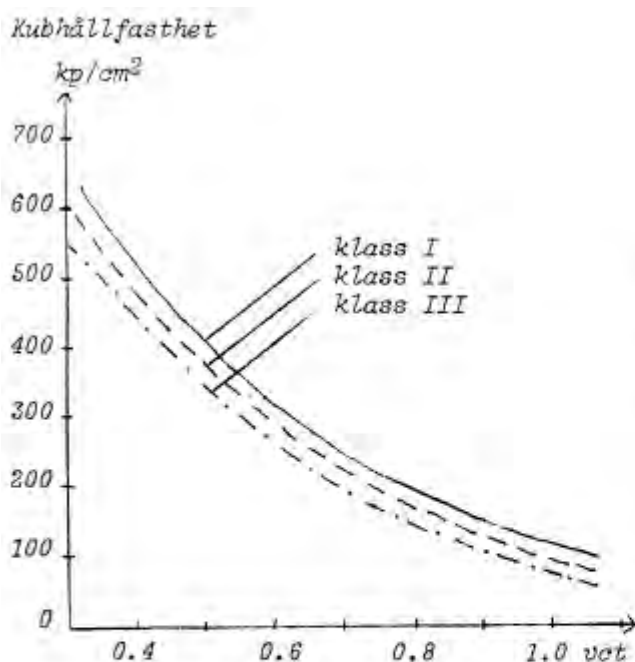


Hållfastheten hos den färdiga betongen är främst en funktion av det så kallade vattencementtalet (vct). Detta representerar förhållandet mellan vatten och cement i betongmassan och brukar anges i liter vatten/kg cement. I ett visst fall erhöles en kubhållfasthet efter 28 dygn av 100 kp/cm² vid ett vct av 1.0. Under identiskt lika förhållanden i övrigt erhöles man en hållfasthet av 500 kp/cm² då vattencementtalet ändrades till 0.4. För mycket vatten ger således låg hållfasthet. Samtidigt kan separation inträda dvs ballastmaterialet sjunker till botten varvid betongmassan är förstörd. För mycket cement dvs för lågt vct leder å andra sidan till att betongen blir dyr och svårbehandlad.

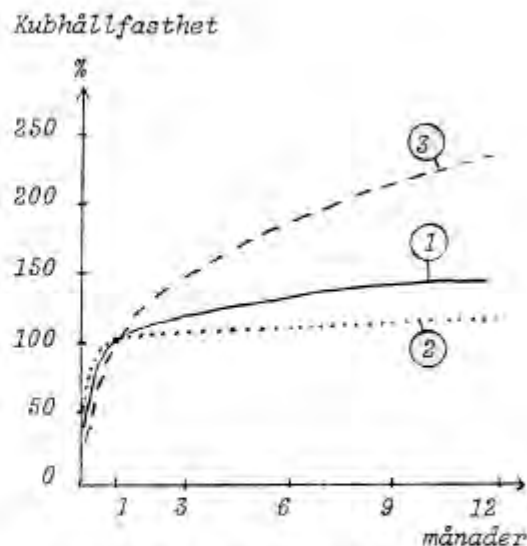


Provkroppar av betong

Tryckhållfastheten hos betongen provas genom att särskilda provkroppar trycks till brott i tryckpress efter ett speciellt förfarande. Medeltryckhållfastheten anges i form av medelkubhållfasthet. Värderna från cylinderverkningar omräknas därför. Kubhållfastheten anges i kp/cm^2 .



Samband mellan kubtryckhållfasthet efter 20 dygn och vattencementtal för betong med snabbt hårdnande portlandcement av utförandeklass I, II och III.



Samband mellan kubtryckhållfasthet och ålder för betong med ① standard, ② snabbt hårdnande och ③ långsamt hårdnande portlandcement. Vattencementtalet var i alla tre fallen 0.6 och kubhållfastheten efter 28 dygn anpassades till 100 %.

För att en god betong skall erhållas krävs ovillkorligen närvaro av vatten. Omedelbart efter att betongmassan börjat hårdna måste i regel därför vatten tillföras. Vattenbegjutningen bör pågå under minst 3 dygn vid användning av SH-cement, minst 5 dygn vid användning av standardcement och minst 14 dygn för betong med LH-cement.

Med hänsyn till vad som förut sagts om vattencementtalets inverkan på betongens hållfasthet kan följande fastslås. För att erhålla bästa möjliga färdiga betong bör sparsamhet med vatten iakttas vid betongproportioneringen och mycket vatten tillföras efter det att betongmassan börjat hårdna.

För att ange betongmassans konsistens, som är avgörande för bearbetbarheten vid gjutningen, används bokstavs-beteckningar. J markerar jordfuktig, SS mycket styv, S medelstyv, P plastisk, T trögflytande och L lättflytande.

Genom vibrering kan betongmassan göras mera lättflytande. För hård vibration medför risk för separation.

Där större mängder betongmassa behövs används i regel fabrikstillverkad betong som körs ut till byggplatsen med bilar. Vid mycket stora byggen kan med fördel uppföras en betongstation intill byggplatsen. Betongmassa tillverkad på en vanlig byggplats är i allmänhet inte av samma höga kvalitet som fabrikstillverkad vara.

3.5.06 Betongarbeten

För utförandet av själva betonggjutningen finns utförandeklasserna I, II och III.

Klass I avser den högsta noggrannheten och jämnheten. I denna klass får betongarbete konstrueras endast efter tillstånd av myndighet - dvs byggnadsnämnden eller statlig beställare. Sådant betongarbete får endast utföras av byggföretag med tillräckliga resurser i fråga om arbetsledare, övrig personal och utrustning. Arbetet skall ledas av ansvarig arbetsledare som skall utöva ständig tillsyn av formar, armering, betongmaterial, betongtillverkning, transport, gjutning och efterbehandling av betongen. Särskild betongkontrollant skall vara närvarande vid pågående gjutning. Byggnadsnämndens kontroll är extra noggrann.

Klass II är den vanligaste utförandeklassen vid arbeten utförda av byggföretag. Myndigheterna prövar om företagets resurser är tillräckliga. Betongarbetet skall ledas av ansvarig arbetsledare. Särskild betongkontrollant kan påfordras av byggnadsnämnden. Därvid övertar kontrollanten helt eller delvis myndighetens kontroll.

Klass III är den lägsta utförandeklassen. Här krävs endast att arbetet leds av ansvarig arbetsledare med erfarenhet av betongarbeten. Byggnadsnämnden utövar tillsyn av arbetet.

För fabrikstillverkad betong gäller speciella föreskrifter. Bl a skall dagbok föras över betongtillverkningen och följesedel med tekniska uppgifter om betongmassan skall åtfölja varje leverans.

3.5.07 Den armerade betongens uppbyggnad och verkningssätt

Eftersom betongen endast i ringa grad förmår uppta dragkrafter måste betongkonstruktioner där dragkrafter uppstår armeras. Beträffande armeringsmaterialet hänvisas till kapitlet JÄRN, STÅL och METALLER. Oftast är den armerade betongkonstruktionen "slakarmerad" dvs ingen förspänning eller efterspänning förekommer. Ur hållfasthetssynpunkt kännetecknas all armerad betong av en samverkan mellan betongen och armeringen. Armeringen placeras givetvis i det snitt av konstruktionen där dragkraften är störst vid en fritt upplagd balk på två stöd och likformigt belastad enligt vidstående figur uppkommer tryckkrafter i balkens överkant och

dragkrafter i dess underkant. Beroende på belastningens storlek kan härvid tre olika slag av verkningssätt tänkas hos balken.

Stadium I kännetecknas av att lasten är så liten att betongens böjdrags-hållfasthet är tillräcklig för att

uppta dragkraften. Någon uppsprickning av betongen förekommer då ej.

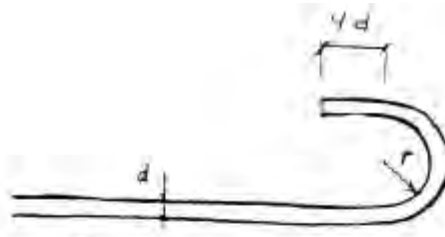
Stadium II är det normala brukstadiet. Härvid är lasten så stor att dragkraften överstiger betongens böjhållfasthet. Härvid sker en uppsprickning i balkens dragkraftzon - dvs på dess underkant och upp till centrallagret - den nivå i snittet där dragkraften övergår till tryckkraft. Detta stadium kännetecknas alltså av samverkan mellan en dragen armering och en tryckt betongzon.

Stadium III utgörs av brottstadiet.

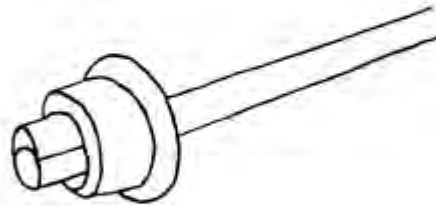
När lasten blivit så stor att brott inträffar blir händelseförloppet beroende av balkens armering. Vid normalarmering inleds brottet genom att sträckgränsen uppnås i armeringen. Därefter kommer brottet genom att betongen krossas i tryckzonen. Är däremot balken överarmerad sker brottet direkt som krossning i betongzonen. En förutsättning för att konstruktionen skall fungera på rätt sätt är gi-

vetvis att betong och armering samverkar. Denna samverkan kan upphöra genom vidhäftningsbrott - dvs armeringsjärnen dras loss från den omgivande betongen. Vid armering med grova slätstål förses dessa därför med ändförankring i form av s k Considere-krok. Samverkan sker då genom såväl vidhäftning som ändförankring. Vid klena slätstålsdimensioner och vid användning av olika slags kamstål - se kapitlet JÄRN, STÅL och METALLER - är vidhäftningen i regel tillräcklig. Vidhäftningen vid vissa typer av kamstål är tre gånger så stor som vid motsvarande dimension av slätstål.

Rostangripna armeringsjärn medför ökad vidhäftning.



Ändförankring av slätstål med s k Considere-krok. Radien r får ej understiga $2d$ vid stål St 37 och 44 och ej $3d$ vid St 52.



Förankringsring typ Forsell. Ankarplattan är försedd med en ring i vilken armeringsstången fästes med en kil. Stångens stål-kvalitet är Ss 70. Det förekommer också en dansk konstruktion av förankringesplatta. Denna har en kvadratisk ankarplatta till vilken armeringsstången svetsas fast via en L-profil.

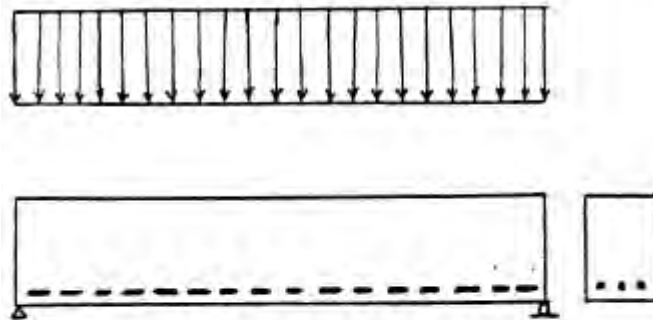
3.5.09 Förspänd och efterspana betong

Eftersom kännetecknet på bruksstadiet är en uppsprickning i- betongens dragkraftutsatta zon kan skador på betongytan uppnås långt före brott. Det ligger då nära till hands att påföra vissa tryckkrafter även på konstruktionens dragkraftupptagande zon. Detta kan ske genom förspänning eller efterspanning - dvs armeringen sträcks innan lasten förs på bruksstadiet. Vid förspänning sträcks armeringen innan betonggjutning sker. Sedan betongmassan hårdnat avlägsnas sträckkraften på armeringen. Denna strävar då att dra ihop sig varvid den omgivande betongen utsätts för tryckkrafter. Samverkan mellan armeringen och betongen sker här genom vidhäftning och ibland dessutom genom ändförankring. Vid efterspänd betong gjuter man in rör i betongkonstruktionen. Sedan betongmassan hårdnat dras kablar av stål genom rören, spänns och ändförankras. Sträckning av armeringen sker alltså i detta fall senare men innan konstruktionen belastas. Det väsentliga utbytet av förspänning och efterspanning är en förhöjd spricklast. Dessutom kan utböjningen minskas i förhållande till motsvarande "slakarmerade" konstruktion. Även en större vattentäthet och minskad risk för korrosionsskador på armeringen kan påräknas. Någon ökning av brottlasten erhålls däremot ej.

Den förspända och efterspända betongens statiska verkningssätt framgår av följande tänkta exempel. När balken läggs upp på sina stöd ger egenvikten

upphov till dragkraften i underkanten. Den genom förspänning eller efterspanning påförda tryckkraften i armeringszonen minskas härvid men är fortfarande tillräcklig för att kompensera dragkrafterna orsakade av egenvikten. När ytterligare last påförs - i form av last från byggnadsdelar, människor, maskiner, varor etc - finns alltså fortfarande en från för- eller efterspanningen kvarstående av balkens egenvikt reducerad tryckkraft även i armeringszonen. Allteftersom ytterligare last påförs minskar tryckkraften och i ett visst belastningsmoment övergår tryckkraften till dragkraft i balkens underkant. I detta moment påbörjas sprickbildningen. Vinsten med för- eller efterspanningen består alltså i möjligheten att påföra egenvikt och viss nyttig last utan att sprickor uppstår.

Strängbetong är en fabriks tillverkad, förspänd betong med armering bestående av knippen av tunna trådar. Samverkan med betongen sker genom vid-



Böjning av fritt upplagd balk likformigt belastad i hela sin längd. Härvid uppstår dragkrafter i balkens undre zon och som upptas av armeringen. I balksektionens övre del uppkommer då en tryckt betongzon.

häftning (system Freyssinet).

Kabelbetong kännetecknas av att armeringen läggs i rör och spänns efter gjutningen. Armeringen består antingen av knippen av tunna trådar (system Freysinet, Magnel, BBRV) eller av grövre armeringsstänger. (system Dywidag).

3.5.10 Skydd av armeringen

För såväl slakarmerade som spända betongkonstruktioner gäller att armeringen måste skyddas mot temperaturpåverkan och korrosion. Skydd mot temperaturpåverkan i form av brand behandlas i ett särskilt avsnitt. Skyddet mot korrosion är dels en fråga om armeringens naturliga omgivning dvs betongen omedelbart intill armeringen dels inverkan av aggressiv miljö möjliggjord genom sprickbildning. Jfr avsnitten 3.5.08 och 3.5.09.

Såsom tidigare omtalats används ibland kemiska tillsatser till betongmassan. Ett sådant ämne är kalciumklorid. I sådana fall måste ovillkorligen armeringsjärnen skyddas av ett täcksikt. Är detta poröst, för tunt eller försett med sprickor rostar armeringsjärnen lätt. Vid förspänd betong bör tillsats av kalciumklorid ej förekomma.

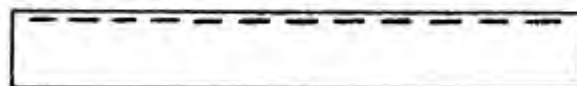
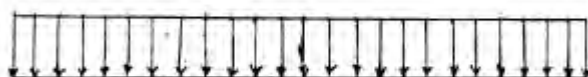
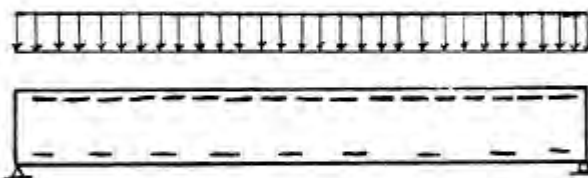
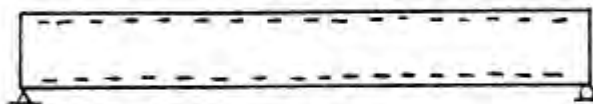
3.5.11 Bjälklag av betong

Det finns ett stort antal olika bjälklagstyper av armerad betong. Ibland består den bärande delen av stålkar och betongens egenskaper är då av sekundärt intresse.

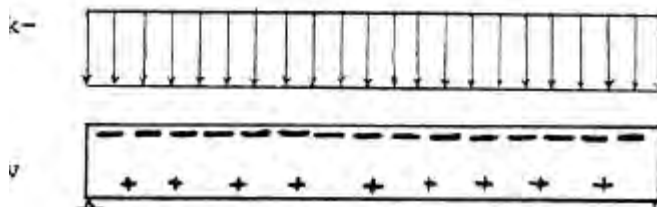


Det statiska verkningsättet hos en förspänd betongbalk. Vid förspänningen påförs balken tryckkrafter i figuren markerade med tecknet både i balkens under- och överkant.

När balken läggs upp på två stöd kommer egenvikten att söka påföra dragkrafter i balksektionens undre del och förstora tryckkrafterna i den övre delen. De genom förspänningen befintliga tryckkrafterna släcker emellertid ut dragkrafterna så att det fortfarande endast existerar tryckkrafter i balksektionen. Belastas balken sedan måttligt minskar tryckkraften i underkanten ytterligare för att vid en viss last vara 0 (nedanstående figurer).



När lasten sedan ökas ytterligare uppstår dragkrafter i balksektionens undre del. Samtidigt har vid varje ökning av lasten tryckkrafterna ökat i balkens övre del. I samtliga figurer betecknas tryckkrafterna med tecknet -.



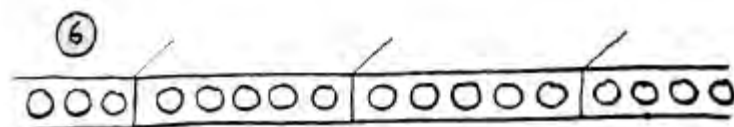
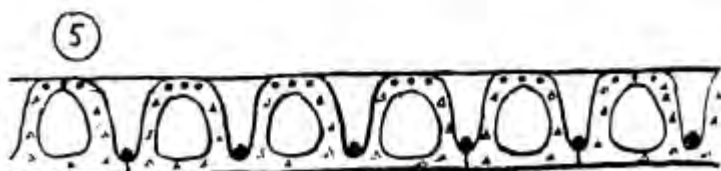
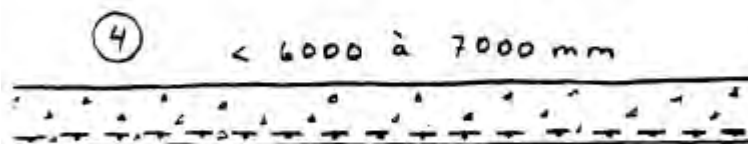
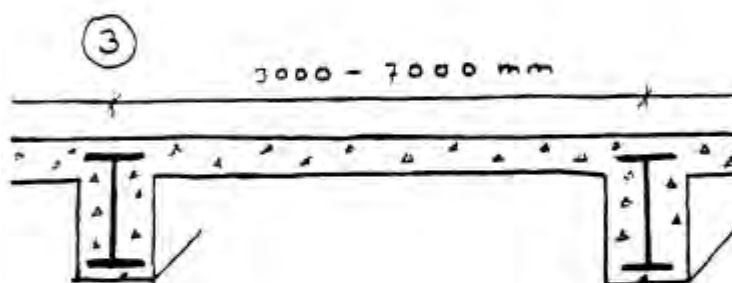
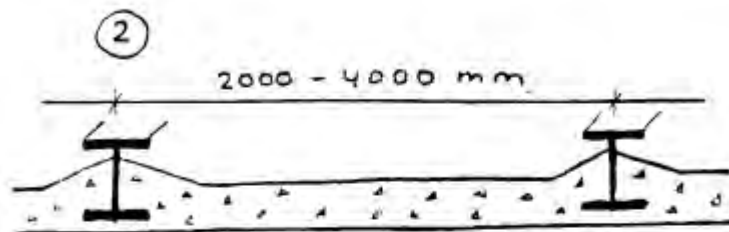
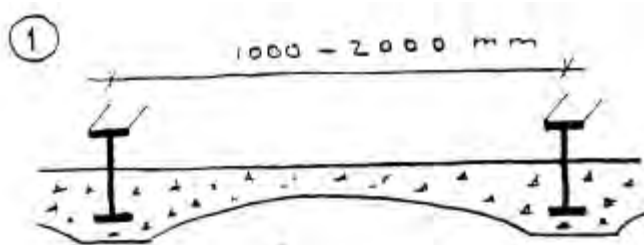
Betongbjälklagen - eller kanske riktigare balklagen - kan indelas i tre huvudtyper. Den första kännetecknas av att den primära bärkonstruktionen utgörs av stålbalkar helt eller delvis ingjutna i betong - figur 1, 2 och 3. Dessa bjälklag är plastgjutna.

Den andra gruppen utgörs av betongplattor - plastgjutna eller förtillverkade - med armering av lösa armeringsståll eller av armeringsnät (figur 4). Tjockleken i bostadshus är minst 16 cm - betingat av ljudisoleringskäl. Dessa betongplattor är alltid slakarmerade.

Den tredje huvudtypen utgörs av olika slags förtillverkade, monteringsfärdiga betongbjälklag - figur 5 och 6. Dessa är i stor utsträckning förspänt armerade och monteras i en bärande stomme av stål eller armerad betong.

Eftersom det är svårt att få betongens översida tillräckligt slät som underlag för limoleum påläggs ofta 4 cm överbetong som stålglättas.

Olika typer av flytande golv förekommer också. Härvid läggs ett lager av sand, lera eller dylikt på betongbjälklaget och på denna fyllning läggs sedan golvet - parkett, spånskivor eller speciella träfiberskivor - s k "duo-floor".



I åskilliga fall läggs ock-sågolven på stegljudsmatta av mineralull. Även överbetong läggs ibland såsom flytande golvet framgår av fig 7.



3.5.12 Väggar

Inre väggar av betong kan behöva utformas med hänsyn både till hållfasthet och ljudisolerering. Den lägenhetsskiljande väggen blir därför vid måttliga laster dimensionerad med hänsyn

till ljudisoleringen. Detta innebär en vägg tjocklek av minst 14 cm. Denna vägg saknar vanligen armering. Vid höga byggnader kan hållfasthetskraven medföra att väggen i husets lägre delar blir tjockare. För rumsskiljande väggar - här är ljudisoleringen ingen primär fråga - blir möjligheterna att föra ned lasterna bestämmande för väggens tjocklek.

Ytterväggar av betong utgörs i regel av flerskiktsväggar - s k sandwich-element. Eftersom betongen är en dålig värmeisolering utförs ett av skikten av en högvärdig värmeisolering av mineralullsskiva eller cellplast.

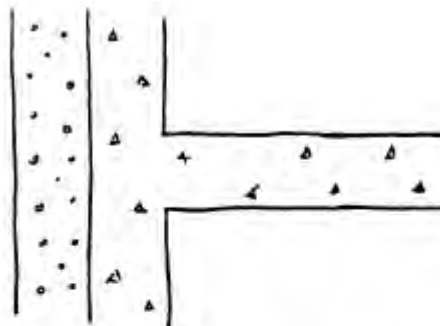
Infästningen av ytterväggselementet, eller utfackningsväggen, som den ofta kallas erbjuder stora problem. Tyngden innebär hållfasthetsproblem, fogningen ljud- och fuktisoleringsproblem. Härtill kommer att elementet genom sin storlek kommer att röra sig vid uppvärmning och avsvälning. En typ av infästning som medger tillräckliga värmerörelser är det s k allbetongsystemet som utvecklats av Skånska Cementgjuteriet. Utfackningsväggen placeras här på en klack med ett mellanlägg av plast och elementet gjuts fast i stommen med hjälp av gummislangklädda öglor av släta armeringsstål.

Gummit innebär tillräcklig rörelsemöjlighet för elementet.

En vanlig typ av bärande yttervägg visas i vidstående figur. Konstruktionen används även i mycket höga hus. Betongen är den bärande delen medan lättbetongen endast tjänstgör som värmeisolering.

Grundmurar av betong liksom källarbjälklag har ofta värmeisolering av träullsskivor på insidan. Dessa tjänstgör som form vid gjutningen. Även kork och lättbetong förekommer som invändig värmeisolering. Invändig isolering av ytterväggar medför dock i regel mera problem med köldbryggor jämfört med utvändigt isolering.

Principen för flytande golv. A markerar den bärande betongplattan. B markerar den fyllning av sand, lera, stegljudsmatta etc på vilken golvelläggningen C "flyter". Den sistnämnda kan utgöras av parkett, "duo-floor" eller överbetong. Eventuella regler och eventuell fuktspärr är inte inritade på figuren.



Yttervägg av betong med utvändigt värmeisolering av lättbetong. Den senare sätts direkt i formen och gjuts fast i betongen. 15 cm betong och 15 cm lättbetong ($\delta = 0.4$) ger ett k-värde om 0.65.

3.5.13 Pelare och balkar

Vid konstruktion av pelare kommer knäckrisken ofta att vara dimensionerade. Materialets hållfasthetsegenskaper kan därför inte helt utnyttjas (se huvuddelen BYGGNADSFYSIK). Pelaren blir därför i regel överstark i förhållande till de tryckkrafter den utsätts för. Oarmerade betongpelare får inte ha mindre diameter än 30 cm.

Armerade betongpelare har längsgående armeringsstål som monteras med byglar för att förhindra utknäckning. Cirkulära och åttakantiga pelare har ofta spiralarmering i stället för byglar.

Förspända, monteringsfärdiga betongpelare är vanliga i industribyggnader. Pelaren gjuts då vanligen fast i grundplinten.

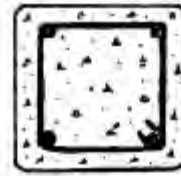
Betongpelarens anslutning till betongplattan utformas vanligen som vot för att förhindra genomstansning (se figur nederst).

Balkar av betong har i regel rektangulär eller T-formad sektion. Mycket stora balkar utformas med I-sektion. Vid brobyggen är lådsektioner vanliga. TT-kassetter är förtillverkade, förspända bjälklagselement av betong vanliga i industri- och lagerbyggnader.

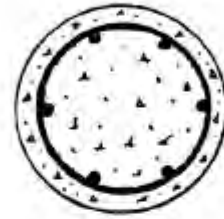
3.5.14 Cement- och betongvaror

Massiva murblock och håblock av betong används till murverk i grundmurar. Hållfastheten är hög medan värmeisoleringsförmågan är dålig. Tilläggsisolering erfordras därför ofta.

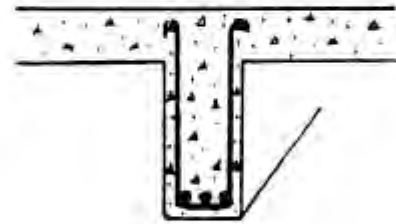
Asbestbetongskivor - varunamn t ex "eternit" - består av en finkornig betongmassa med tillsats av asbestfibrer. Fibrerna tjänstgör som armering och ger därvid skivan förhöjd motståndsförmåga mot böjbrott. Både plana och korrugerade skivor förekommer. De används som beklädnad (se även huvuddelen TAKKONSTRUKTIONER OCH TAKTÄCKNING). Asbestcellulosabetong har fibrer både av asbest och cellulosa. Varunamn t ex "internit".



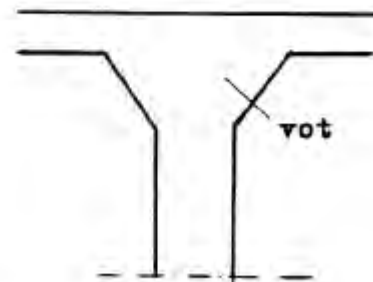
Sektion av kvadratisk betongpelare. Bygeln runt stålen förhindrar utknäckning och håller armeringen på plats vid gjutningen.



Sektion av cirkulär betongpelare. Längsgående armeringsstål med spiral.



Sektion av rektangulär balk med betongplatta.



Vot eller med ett äldre namn kapital används för att förhindra genomstansning vid pelarens anslutning till betongplattan.

Betongmosaik - s k terrazzo - har speciellt utvald ballast av t ex marmor. Ytan slipas och får då ett mosaikliknande utseende. Materialet används på gångbanor, trappor, vilplan och trapplan.

Betongelement med frilagd ballast används till ytterväggar och gångbanor. Friläggningen kan ske genom att gjutformen stryks med en vätska som förhindrar att betongen hårdnar i ytskiktet. När elementet tas ut ur formen spolats ytan med vatten. Cement limmet försvinner då till ett djup av några mm och ballasten är frilagd. I andra fall sandblästras betongytan varvid det mjukare cementlimmet gröps ur och det hårdare ballastmaterialet framträder. Som ballast används vit marmor, annan vit eller färgad natursten, krossat glas etc. Ytan kan också huggas. Genom val av olika slags ballastmaterial, olika behandling av ytan och färgning av betongmassan kan ett stort antal varianter åstadkommas.

Betongtakpannor behandlas i huvuddelen TAKKONSTRUKTIONER OCH TAKTÄCKNING.

3.5.15 Betongmaterialets brandtekniska egenskaper

Antändbarhet: Betong kan inte antändas ens i syreberikad atmosfär.

Brännbarhet: Betong är helt obrännbar.

Rökbildning: Materialet avger vid upphettning endast vattenånga. Pyrolytiska produkter saknas helt.

Flamspridning: Själva betongmaterialet saknar flamspridningsförmåga eftersom det inte kan antändas.

Temperaturbeständighet: Betongens beteende vid brand aktualiserar två väsentliga frågor: sönderdelning av ballastmaterialet vid hög temperatur under pågående

brand och nedsatt resthållfasthet i betongen efter branden. Sönderdelning av betongen vid förhöjd temperatur är i hög grad beroende av ballastmaterialet. Redan vid 500°C sker en omkristallisering i granit. Granitbetong förlorar därför praktiskt taget all hållfasthet redan vid 600°C. Kalkstensbetong förstörs först vid 800°C, då koldioxiden drivs ut ur kalkstenen. Innehåller sanden i betongen järnföreningar, vilket vanligen är fallet med natursand, medför upphettning färgförändring hos betongen. Vid 250 - 300°C övergår betongens färg från grått till rött.

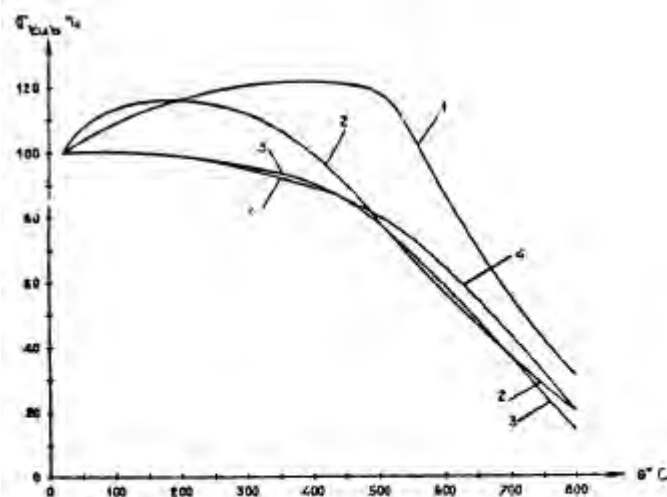


Fig 6.5. På 7 cm kuber bestämd variation med temperaturen Θ av värntryckhållfastheten σ_{kub} för under uppvärmningen obelastade provkroppar av betong med standard-portlandcement och med ballast av vit jurakalksten (kurva 1), basalt (kurva 2), Rhensand (kurva 3) och klinkergrus (kurva 4). Provkropparna stabiliserade vid respektive förhöjningstemperatur under 8 h.

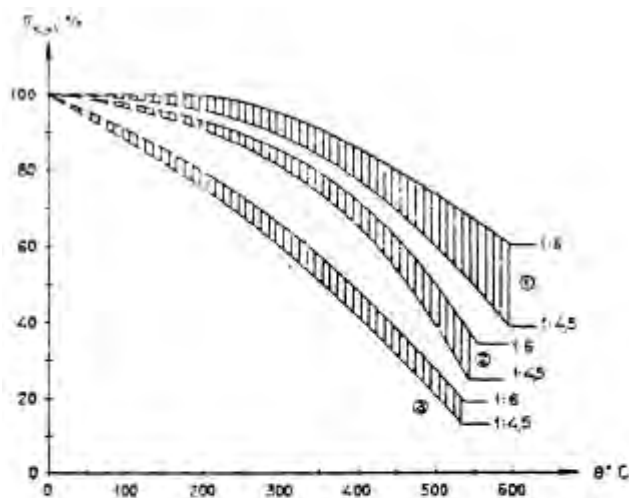


Fig. 6a. På cylindrar med diametern 5 cm och höjden 10 cm bestämd variation av tryckhållfastheten σ_{pr} med temperaturen θ för betong med standard-portlandcement och ballast bestående av flodsand och sten av i huvudsak flinta, och med blandningsförhållanden cement: ballast inom området 1:6–1:4,5. Uppvärmningshastighet för betongen 5–6° C/min. Kurvområde (1) gäller för under uppvärmningen med spänningen $n=73$ kp/cm² tryckbelastade och i varmt tillstånd till brott provade cylindrar, kurvområde (2) för under uppvärmningen obelastade och i varmt tillstånd till brott provade cylindrar samt kurvområde (3) för under uppvärmningen obelastade och efter långsam avsvälning till 20° C till brott provade cylindrar.

Färgändring indikerar alltså att betongen har utsatts för hög temperatur att avsevärd nedsättning av hållfastheten kan befaras. Till en del förorsakas nedsatt hållfasthet av inre sprickbildning i betongen. Sprickbildning kan uppstå även utan att själva betongmassans hållfasthet nedsätts. Resthållfastheten hos konstruktionen påverkas emellertid starkt främst till följd av nedsatt draghållfasthet i betongen. Tryckhållfastheten påverkas mindre av sprickbildningen. Genom uttagning av borrkärnor och spräckprov på dessa kan resthållfastheten fastställas. Därefter kan man ta ställning till frågan om en brandskadad betongkonstruktion skall repareras eller rivras. Det bör observeras att den vid brandpåverkan uppkommande spänningsfördelningen är utomordentligt komplicerad. Den påverkas både av konstruktionens statiska verkningssätt - som kan förändras under brandförloppet till följd

av spänningsomlagring - armeringen och betongmassan. (Beträffande armeringen hänvisas till huvuddelen JÄRN, STÅL OCH METALLER).

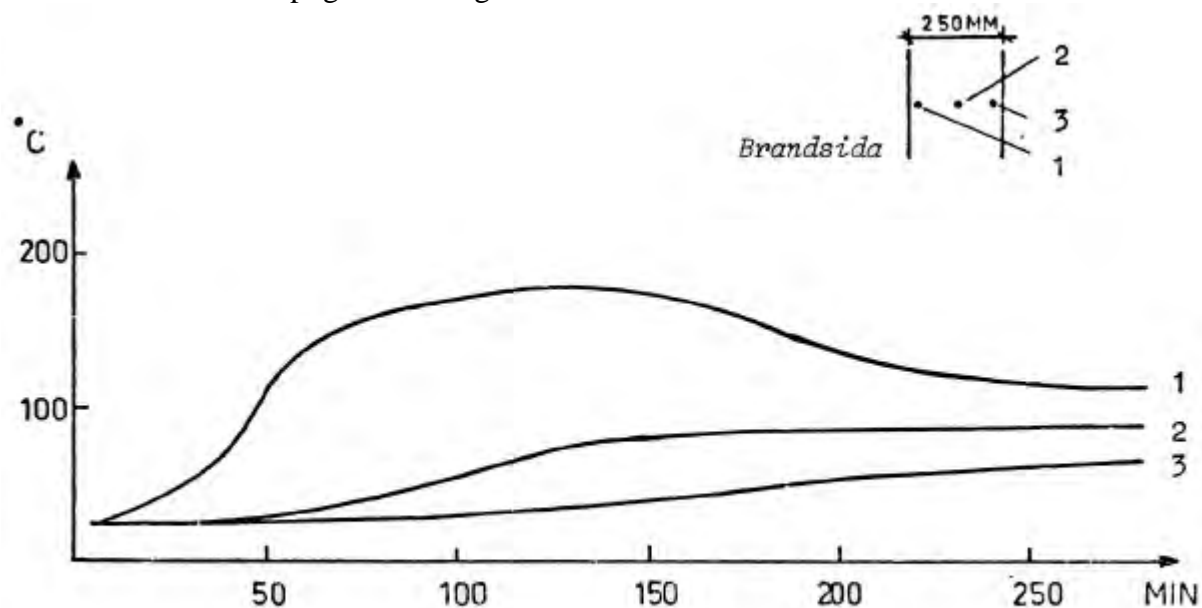
Ytavspjälkning är vanlig vid snabb temperaturstegring i fuktig betong. I regel är det fråga om täckskiktsnedfall. Orsaken är sannolikt en samverkan mellan ångsprängning i betongen och sprickbildning till följd av temperaturrelser. Risken ökar med stigande betongkvalitet eftersom en tät betong försvårar ångavgången. Ytavspjälkning sker ofta med kraftiga knallar. De avsprängda bitarna är i regel mindre än en hand i storlek och är mera otrevliga än farliga för släckningspersonalen. Ytavspjälkningen saknar omedelbareffekt på konstruktionens bärförmåga och innebär på intet sätt en förestående kollaps. Genom friläggning av armeringen kan avspjälkning av täckskiktet dock påskynda uppkomsten av allvarliga skador.

3.5.16 Betongkonstruktionemas brandtekniska egenskaper

Temperaturledningen i en brandutsatt betongkonstruktion underlättas av att betongen är en förhållandevis god värmeledare. Å andra sidan är värmekapaciteten ($\delta \times c$) hög, varför mycket värmeenergi åtgår även för en måttlig uppvärmning. En grov betongkonstruktion måste därför utsättas för en mycket intensiv och långvarig brand innan temperaturstegringen i konstruktionen

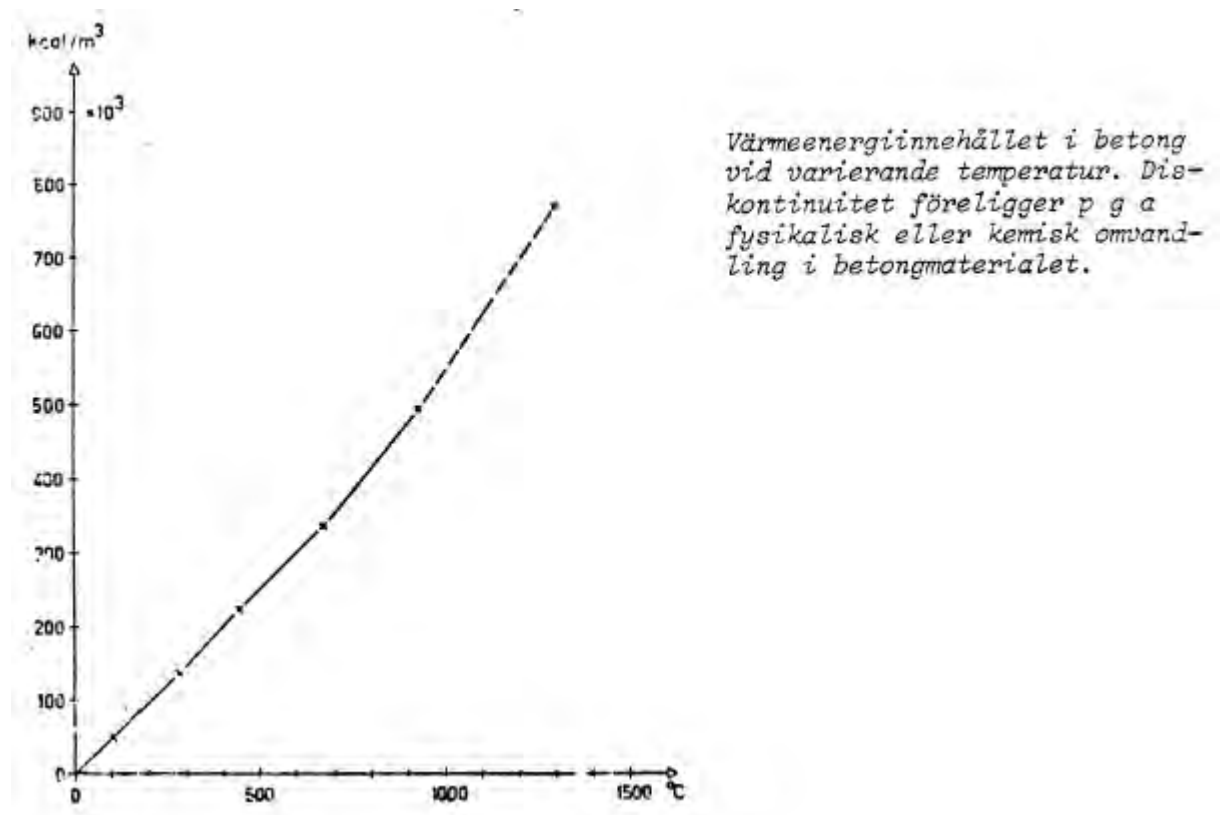
blir påtaglig. Om betongen har värmeisolering påverkas uppvärmningsförloppet härav så att i vissa fall en långsammare och i andra fall en snabbare uppvärmning äger rum.

Förloppet vid uppvärmning av en betongkonstruktion framgår bäst av ett exempel. En 25 cm tjock bärande vägg av armerad betong utsattes för ett brandförsök bestående av övertändning i ett autentiskt möblerat vardagsrum. Övertändningen skedde 36 minuter efter antändning. Temperaturen i betongväggen - som gränsade mot brandrummet - uppmättes med termoelement placerade i väggen på ett djup av 2.5, 12.5 respektive 22.5 cm från väggens yta mot brandrummet. Som väntat uppvisade termoelementet närmast branden den högsta temperaturen. Temperaturstegringen var dock långsam och temperaturen överskred 100°C först 15 minuter efter övertändning i rummet. Maximivärdet i mätpunkten - 180°C - uppnåddes först 100 minuter efter Övertändningen. Sedan började temperaturen i mätpunkten långsamt avta. Ännu 300 minuter efter övertändning uppvisade mätpunkten en temperatur av mer än 110°C . Som väntat var temperaturen i mätpunkten 12.5 cm från väggens brandutsatta yta lägre och dessutom tidsförskjuten i förhållande till den närmast branden belägna mätpunkten. Maximivärdet 85°C uppnåddes omkring 150 minuter efter maximivärdet för mätpunkten närmare branden. I den längst från branden belägna mätpunkten var temperaturen oavbrutet stigande till dess mätningen avbröts omkring 300 minuter efter Övertändningen i rummet. Temperaturen i mätpunkten var då inte högre än omkring 65°C och kunde förväntas avta kort därefter. Brandbelastningen i rummet var 25 Mcal/m^2 omslutningsyta. Försöket visar hur påtaglig värme tröghet en är hos en grov betongkonstruktion. För att allvarliga skador skall uppstå krävs en intensiv och långvarig brand. Bränder med hög brandbelastning och stor öppningsfaktor medför dock ofta skador även på grova betongkonstruktioner.

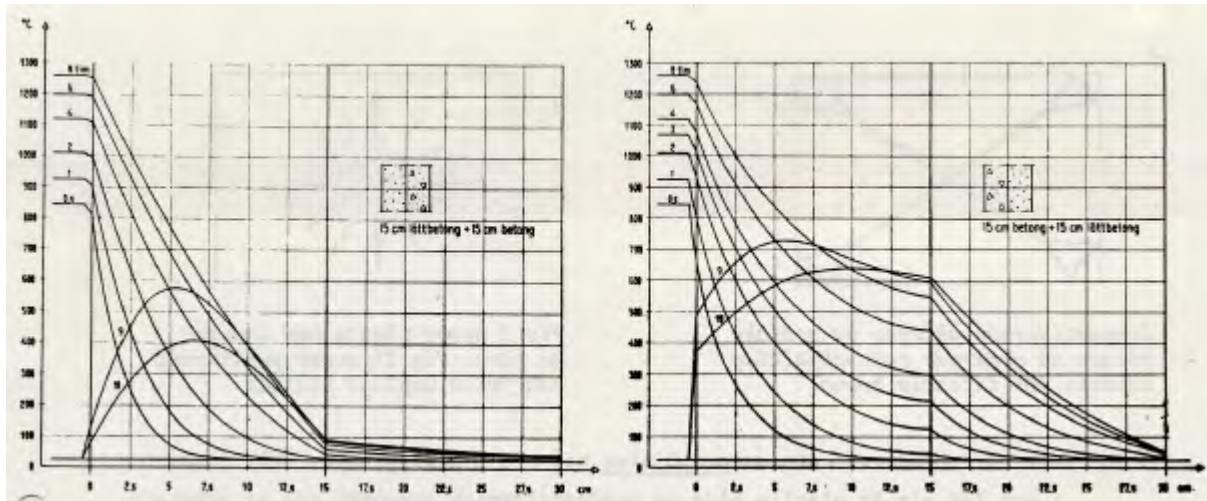


Temperaturstegring i betongvägg vid brandförsök. (Sjölin)

Den långsamma uppvärmningen av en betongkonstruktion även vid en häftig brand beror alltså - förutom på konstruktionens storlek - på betongens höga värmekapacitet. Den är något beroende av vilket slags betong det är fråga om. Med ballast av granit eller gnejs och med cement av portlandtyp kan värmekapaciteten $\delta \times c$ anges till omkring $500 \text{ kcal/m}^3 \cdot \text{C}$. En noggrannare beskrivning återfinns i nedanstående figur.



En för brandpåverkan utsatt betongkonstruktion kan vara försedd med värmeisolering som sitter kvar på betongen under hela brandförloppet. Inverkan av värmeisoleringen kan leda till såväl högre som lägre temperatur på betongen jämfört med samma brandpåverkan utan värmeisoleringen. Isolering på den brandutsatta ytan av en betongvägg innebär att betongens temperatur blir lägre. Är däremot värmeisoleringen placerad på brandens framsida blir betongens temperatur däremot högre än vad som blivit fallet utan värmeisolering. En jämförelse av temperaturen i två sådana fall - båda vid en åtta timmar lång brandpåverkan - återfinns i nästa sidas figur. (Ödeen).

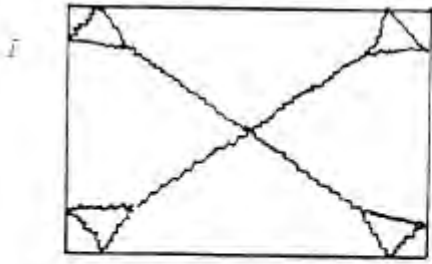


Belastade pelare och väggar av armerad betong får i regel små deformationer vid en brand. Så t ex kan förlängningen hos en pelare med kvadratisk tvärsnitt och utsatt för brand på alla fyra sidorna uppskattas till 1 mm/m efter en timmes intensiv brand.

En ensidigt brandpåverkad konstruktion kan däremot få en betydande deformation. En tvåsidigt fritt upplagd 16 cm tjock bjälklagsplatta av betong med 10 mm täcksikt på armeringen får efter en timmes brandprov en nedböjning av omkring 25 cm. Ökas täcksiktet över armeringen till 25 mm inskränker sig nedböjningen till 10 cm. Fyrsidigt uppläggning av betongplattan ökar bärförmågan vid brand. En fyrsidigt upplagd platta uthärdar brandprovning ungefär dubbelt så länge som en på samma sätt utförd tvåsidigt upplagd platta.

Deformationen hos en brandpåverkad betongkonstruktion beror huvudsakligen på värmeutvidgning hos armeringen. Förhindras deformationen genom inspänning i upplagen uppkommer där mycket stora krafter och moment. Härigenom kan en kraftig sprickbildning uppstå men å andra sidan ökar bärförmågan genom inspänningen.

Vid bränder där betongbjälklag blivit utsatta för intensiv brand underifrån inträffar ofta sprickbildning i bjälklaget. Skadan blir först märkbar genom att sprickor slår upp efter ett för varje typ av uppläggning karaktäristiskt mönster. Därefter "lyfter" bjälklaget i hörnen. Medger inte infästningen vid väggarna tillräcklig deformation uppstår ytterligare sprickbildning nu lokaliserad till hörnen av betongplattan. En bjälklagsplatta med så kraftig sprickbildning kan betraktas som totalt skadad. Den utgör dock i regel varken under eller efter branden någon utpräglad risk. Föreligger sådan orsakas den av andra byggnadsdelar än bjälklagsplattan.



Schematiserade skisser av sprickbildningen då armerade betongbjälklag utsatts för intensiv brand.

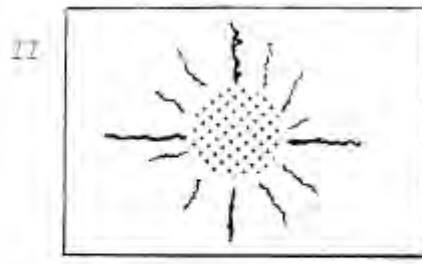


Fig I avser platta med inspända hörn. Fig II avser punktbrand och fritt upplagd platta.

Det bör observeras att en nedböjning hos ett bjälklag eller balk - som i och för sig är ofarlig både ur byggnadsteknisk synpunkt och ur arbetarskyddssynpunkt - kan leda till allvarliga skador på underliggande byggnadsdelar. Brandavskiljande väggar av lättbetong eller tegelmurverk kan sålunda skadas och deras brandavskiljande funktion därmed nedsättas eller upphöra. Brandspridning kan därigenom ske genom konstruktioner som eljest skulle ha förhindrat brandspridning. Frågan om en byggnadskonstruktions förmåga att under brandförloppet inte bara motstå brandpåverkan utan också uppträda på ett sådant sätt att dess eget och angränsande konstruktioners skyddsvärde bibehålls intakta är en ur byggnadstekniskt brandskydds synpunkt utomordentligt väsentlig fråga.

Bortsett från armeringens värmeutvidgning beror den armerade betongens beteende vid brand också på andra faktorer. Inverkan på ballast och cement - lim har behandlats i avsnittet 3.5.15. I den armerade konstruktionen tillkommer alltså problemet med avvikande värmeutvidgning gentemot armeringen. Upp till en temperatur av omkring 100°C är värmeutvidgningen för cementlim, ballast och armeringsstål ungefär densamma. Under brandförloppets första skede uppkommer därför inga spänningar på grund av olikheter i de ingående materialens värmeutvidgning. Redan vid drygt 100°C börjar emellertid cementlimmet att krympa medan granitballast och armering fortsätter att utvidga sig likformigt till omkring 400°C. Därefter utvidgar sig granitballasten snabbare än armeringsstålet. Krympningen hos cementlimmet pågår till omkring 500°C då det åter börjar utvidga sig. Vid omkring 800°C har cementlimmet återfått den ursprungliga volymen. Den olika längdutvidgningen hos den armerade betongens delmaterial ger tydligen upphov till temperaturspänningar och risk för sprickbildning redan vid måttlig brandpåverkan.

3.5.17 Betongkonstruktionernas brandtekniska klassificering

A. Allmänt:

Måten i följande tabeller avser mm. I måten inräknas ej eventuell puts. Det bör observeras att vanligen förekommande dimensioner på betongkonstruktioner inte över-


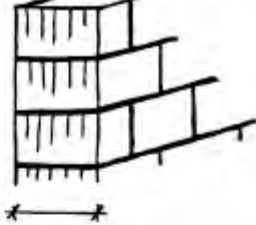
konstruktionerna av andra skäl - knäckrisk, ljudisoler-
ring, nedböjning etc - grövre än vad som brandklassifi-
ceringen kräver. Det förutsätts att gällande föreskrifter
för täckskikt över armeringen följs.

I sammanställningen har endast medtagits vanliga och spe-
ciellt intressanta konstruktioner. I övrigt hänvisas till
publikationer från statens planverk.


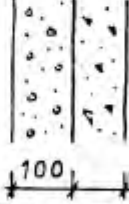

B. Icke bäran-
de väggar:

I tabell på nästa sida anges minimimåten för avskiljande,
icke bärande vägg av betong resp vägg av betongblock eller
betonghåblock.

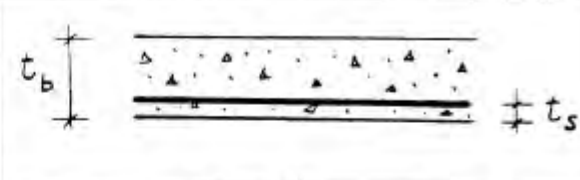
Beträffande murverkskonstruktioner måste observeras att
vägg med fogar utan bruk inte godtas i brandmurskonstruk-
tioner.

Klass	Betong	Betongblock
		
A 30	50	200
A 60	70	200
A 90	85	200
A 120	100	200
A 180	125	200
A 240	150	200

C. Bärande väg-
gar:

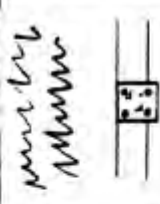
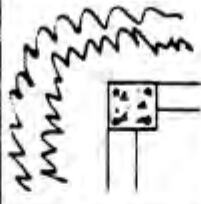

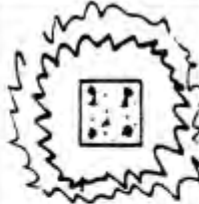
Brand:	på en sida		på två sidor
Klass			
A 30	60		100
A 60	80		130
A 90	100		160
A 120	120		190
A 180	140	60	230
A 240	160	80	280

D. Betongbjälk-
lag med ospänd
armering:

Klass		
	$t_b \geq$	$t_s \geq$
A 30	60	10
A 60	80	16
A 90	100	26
A 120	120	32
A 180	140	45
A 240	160	55

E. Betongpelare
med ospänd
armering:

Antalet sidor av pelaren som den är exponerad mot branden är i hög grad avgörande för brandmotståndsförmågan. Påverkan kan ske på en, två, tre eller fyra sidor av en kvadratisk eller rektangulär pelare. I resonemanget förutsätts att pelarens övriga sidor skyddas mot brandpåverkan genom avskiljande väggar i minst samma klass som pelaren. Sidyta som endast är delvis utsatt för brandpåverkan räknas som helt utsatt.

Klass				
A 30	d_1 60	d_2 100	d_3 120	d_4 150
A 60	80	130	160	200
A 90	100	160	200	250
A 120	120	190	240	300
A 180	140	230	300	380
A 240	160	280	360	450

Ur brandteknisk synpunkt faller pelare med rektangulärt tvärsnitt under två huvudtyper. Har tvärsnittet sidlängdsförhållandet $s > 5$ behandlas pelaren som vägg. Är $1 < s < 5$ beräknas minsta tvärmått med resp formel i nästa sidas tabell. Värden på d_1 , d_2 , d_3 och d_4 hämtas ur närmast föregående tabell. Vid brandpåverkan på två parallella

sidor eller mot endast en sida används tillämpliga värden för enkla, bärande väggar.

$d = d_4 - \frac{s-1}{4} (d_4 - d_2)$	$d = d_3 - \frac{s-1}{4} (d_3 - d_1)$	$d = d_3 - \frac{s-1}{4} (d_3 - d_2)$	$d = d_2 - \frac{s-1}{4} (d_2 - d_1)$

För pelare med cirkulärt tvärsnitt erhålles minsta diameter genom att resp värden för kvadratisk tvärsnitt multipliceras med faktorn $2/\sqrt{\pi}$. Faktorns numeriska värde är ungefär 1,13.

F. Betongpelare utan armering:

Saknas armering blir konstruktionerna avsevärt grövre. Dimensionerna framgår av vidstående tabell. Det bör observeras att oarmerade betongkonstruktioner förutom i pelare också förekommer i centriskt belastade väggar. Lägenhetsskiljande väggar i bostadshus av platsgjuten betong är ofta oarmerade.

Klass	
A 30	250
A 60	300
A 90	350
A 120	400

G. Betongbalkar med ospänd armering:

Minsta sidan t_b kan också avse balkens horisontella sida. Observera av värdena i tabellen att kravet på ökning av täcksiktet växer snabbare än kravet på ökning av minsta sidmått.

Klass		
	$t_b \geq$	$t_s \geq$
A 30	150	10
A 60	200	16
A 90	250	27
A 120	300	38
A 180	350	53
A 240	400	65

H. Betongkonstruktioner med förspänd eller efterspänd armering: Olikheterna ifråga om uppträdandet vid brand mellan icke spända och spända betongkonstruktioner hänför sig främst till armeringsstålets egenskaper (se huvuddelen JÄRN, STÅL OCH METALLER). Hittills utförda undersökningar om brandtekniska egenskaper hos betongkonstruktioner med förspänd eller efterspänd armering har avsett vissa speciella konstruktioner t ex TT-kassetter. Mera generellt syftande undersökningar har kommit till stånd i begränsad omfattning.

3.5.18 Reparation av brandskadad betong

Omfattningen och arten av skadan avgör vilka åtgärder som är nödvändiga.

Som ett alternativ till andra åtgärder kan en minskning av den tillåtna lasten ibland bli aktuell. Härigenom kan i speciella fall omfattande reparationer av stommen ersättas av lastbegränsning.

Rivning kan bli aktuell då konstruktionen är totalskadad eller innebär risk för ras. Sandblästring tillgrips för att rengöra sotskadad betong.

Bilning används för att få bort ytskadad betong. Armeringen renblästras och stålborstas. Statisk armering kompletteras. Friläggning måste ske så att normenliga skarvlängder erhålls. Pågjutning kan därefter ske. Oftast tillgrips då betongsprutning varvid två metoder förekommer - torrbruksmetoden och våbruksmetoden.