

Reparationsmetoder för betongkonstruktioner i vattenverk

Mikael Jacobsson

Åsa Laurell Lyne

Alexander Herlin



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området.

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 14057
167 14 Bromma
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Reparationsmetoder för betongkonstruktioner i vattenverk
Title of the report:	Repair of concrete structures in waterworks
Författare:	Mikael Jacobsson, Åsa Laurell Lyne och Alexander Herlin
Rapportnummer:	2019-16
Antal sidor:	66
Sammandrag:	Inom en snar framtid kommer omfattande renoveringar av betongkonstruktioner att behöva göras på många vattenverk. Det är viktigt att reparationerna utförs så att de håller över tid. Projektet har identifierat, kartlagt och utvärderat de cementbaserade material och metoder som bör användas vid reparation av betongkonstruktioner i vattenverk.
Abstract:	The project has identified, mapped and evaluated methods and cement based materials that should be used in the repair of concrete structures in waterworks.
Sökord:	Betong, betongkonstruktion, reparation, vattenverk
Keywords:	Concrete, concrete structure, repair, waterworks
Målgrupper:	Vattenverkspersonal, ägare, driftspersonal, underhållspersonal, entreprenörer
Omslagsbild:	Reparation av vattenverksbassäng pågå, Mikael Jacobsson, RISE
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens webbplats www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2019
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	17-115
Projektets namn:	Underlag för bedömning av reparation av vattenverks betongkonstruktioner
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, RISE

Förord

Betong är ett mycket hållfast och beständigt material som lämpar sig bra i kontakt med dricksvatten. Därför är ungefär 85 procent av de svenska vattenverkens bassänger byggda i betong. Tidigare ansågs betong vara ett material som inte nämnvärt påverkades med tiden, men idag vet vi att även dricksvatten bryter ned betong. Om nedbrytningen fortgår kommer den ingjutna armeringen att rosta vilket riskerar att betongkonstruktionens hållbarhet och därmed även dricksvattenproduktionens kontinuitet äventyras.

Tidigare undersökningar, exempelvis Jacobsson (2016), har visat att många av vattenverkens betongkonstruktioner idag är gamla och ofta i relativt dåligt skick. Därför kommer inom en snar framtid omfattande renoveringar behöva utföras på de svenska vattenverken. Det är viktigt att reparationerna blir hållbara över tid och för att uppnå detta krävs att rätt material används och att reparationerna utförs på rätt sätt.

Det är tänkt att rapporten ska vara hjälpmedel för vattenverkspersonal att kunna ställa höga krav vid beställandet av betongundersökningar, entreprenad och kontroll av utförda betongarbeten.

Rapporten är skriven av Åsa Laurell Lyne, Alexander Herlin och Mikael Jacobsson på RISE. RISE är ett oberoende forskningsinstitut som ägs av svenska staten. RISE arbetar med näringslivet, akademier och den offentliga sektorn för att utveckla tjänster, produkter, teknologier, processer och material. RISE arbetar bland annat med forskning, utveckling, konsultverksamhet och teknikspridning inom betong, ballast, cement och natursten.

Delar av reparationskapitlen i rapporten har författats av Johan Landin i ett examensarbete vid Malmö Universitet. Handledare för honom var Mats Persson vid Malmö Universitet och Mikael Jacobsson vid RISE. Vi tackar Elisabeth Helsing RISE för sammanställning av regler, standarder och handböcker.

Svenskt Vatten har också gett ut rapporterna Betongskador i vattenverk (SVU-rapport 2016-18) och Underhållsplanering för betongkonstruktioner i vattenverk (SVU-rapport 2019-15).

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
Summary	7
1 Bakgrund	8
2 Syfte	9
3 Metoder	10
4 Betong	11
4.1 Betongtyper	13
4.2 Betongens egenskaper.....	16
4.3 Betongtillverkning	20
4.4 Betongens beståndsdelar	21
5 Betongskador i vattenverk	32
5.1 Ytliga skador.....	32
5.2 Interna skador	32
5.3 Orsak till betongskador	33
6 Exponeringsklasser	34
7 Armering	36
8 Livslängden för vattenverkskonstruktioner	38
9 Reparationsmetoder vid underhåll av vattenverk	40
9.1 Bedömning av konstruktionens tillstånd	40
9.2 Målsättningen för skydd och reparation.....	41
9.3 Val av princip för skydd och reparation	41
9.4 Förberedande arbeten inför reparation	41
9.5 Återlagning.....	45
9.6 Principiellt förfarande	48
9.7 Mindre lämpliga reparationsmetoder.....	49
9.8 Livslängd för reparationer	51
10 Standarder, handböcker och rapporter	52
10.1 SS-EN 1504 Betongkonstruktioner - Produkter och system för skydd och reparation	52
10.2 Standarder för ballast i betong	53
10.4 Viktiga betongstandarder.....	53
10.5 Myndighetsföreskrifter.....	54
10.6 Handböcker och rapporter	54

11	Kommentarer om eventuella skadliga ämnen i dricksvatten	55
11.1	Utspädningseffekten	55
11.2	Ballast	55
11.3	Cement	55
11.4	Tillsatsmaterial	56
11.5	Vatten	56
11.6	Tillsatsmedel	56
12	Fortsatt forskning.....	58
13	Referenser och förslag på litteratur	59
14	Definitioner.....	61

Sammanfattning

Inom en snar framtid kommer omfattande renoveringar av betongkonstruktioner att behöva göras på många vattenverk. Det är viktigt att reparationerna utförs så att de håller över tid. Projektet har identifierat, kartlagt och utvärderat de cementbaserade material och metoder som bör användas vid reparation av betongkonstruktioner i vattenverk.

Betong är ett mycket hållfast material som lämpar sig bra i kontakt med dricksvatten, och ungefär 85 procent av de svenska vattenverkens basängar är byggda i betong. Tidigare ansågs betong vara ett material som inte nämnvärt påverkas med tiden, men i dag vet vi att även dricksvatten bryter ner betong. Många av vattenverkens betongkonstruktioner är i dag gamla och ofta i relativt dåligt skick. För att kommande reparationer ska bli hållbara över tid krävs det att de utförs med rätt material och metoder. Rapporten är skriven av forskare på forskningsinstitutet RISE. Den ska hjälpa vattenverkspersonal att ställa höga krav vid beställning av betongundersökningar, entreprenader och kontroll av utförda betongarbeten. Svenskt Vatten har också gett ut rapporterna *Betongskador i vattenverk* (SVU-rapport 2016-18) och *Underhållsplanering för betongkonstruktioner i vattenverk* (SVU-rapport 2019-15).

Betong består till största delen av sten och sand med olika kornstorlekar. Det som får betongen att hålla ihop kallas för cementpasta och består av cement och vatten. Armeringsjärn används i betongen för att ta upp dragspänningar och kompletterar betongen som annars lätt går sönder vid dragpåkänningar. I den färska betongen tillsätts olika tillsatsmedel som förbättrar betongens arbetbarhet, stabilitet och beständighet. En del material får betongen att flyta ut lättare, andra material bildar små luftbubblor vars syfte är att få betongen att motstå frysning om vintern. Cementtillverkningen står för omkring 3–4 procent av världens koldioxidutsläpp; därför ersätts delar av cementen med exempelvis flygaska.

Med rätt betongrecept kan betongens beständighet mot den omgivande miljön optimeras och därmed uppnå den livslängd som konstruktionen har dimensionerats för. Svensk Standard har definierat exponeringsklasser för betong som anger gränser och regler för betongrecepten i olika miljöer.

Det går att reparera betongskador av de allra flesta slag. RISE förespråkar reparationer som åtgärdar orsaken till skadorna i stället för att dölja symptomen. Att dölja symptomen kan ibland vara farligt eftersom den ned-satta bärigheten blir svårare att upptäcka vid en tillståndsbedömning. Vid reparation av korroderat armeringsjärn bör all skadad betong avlägsnas, rengöras och eventuellt kompletteras. Därefter appliceras betongen genom antingen gjutning eller sprutning. Sprutbetong fungerar väl på undersidan av bjälklag/tak samt vertikala ytor. Gjutning lämpar sig bättre för golv och vertikala ytor. Svensk Standard anger krav på kompetens vid reparation av betongkonstruktioner. Kompetensnivån beror på vilken typ av reparation det är och vilken betong som används.

Summary

Concrete is a robust and durable material well suited for drinking waterworks and about 85 percent of the basins are built in concrete. Previously, concrete was regarded as a material not significantly affected over time. However, today we know that even clean water disintegrates concrete and causes corrosion of rebars. If the degradation may proceed unhindered, the durability of the concrete structures and the continuity of the drinking water production will be at risk.

Studies have shown that many of the concrete structures of today's drinking water treatment plants are old and often in relatively poor condition. Therefore, extensive renovations will soon be necessary to be carried out in Swedish waterworks. It is important that such repairs are durable over time. To achieve this, ones must use the right materials and the repairs must be performed properly.

This project consists of literature studies as well as compilation, evaluation and presentation of knowledge from RISE, regarding concrete repairs performed in Swedish waterworks and other similar concrete structures.

In the current report, both concrete and ingredients are presented together with their possible impact on the drinking water quality. Furthermore, relevant repair materials and methods to be used for repairing waterworks concrete structures are presented.

This report should be considered as a tool to help personnel that is working at waterworks to achieve high standards when ordering concrete investigations, construction repairs and inspection of concrete repairs.

The project was carried out by RISE, an independent research institute which is owned by the Swedish government.

1 Bakgrund

Eftersom betong är ett hållfast och beständigt material som lämpar det sig bra i kontakt med dricksvatten är ungefär 85 procent av de svenska vattenverkens bassänger byggda i betong. Tidigare såg man på betong som ett material som inte nämnvärt påverkades med tiden. Idag vet vi dock att även dricksvatten bryter ned betongen. Dessutom får detta den ingjutna armeringen att rosta. Om nedbrytningen får fortgå obehindrat riskeras betongkonstruktionernas hållbarhet och därmed dricksvattenproduktionens kontinuitet. Tidigare undersökningar, Jacobsson (2016) har visat att många av de Svenska vattenverkens betongkonstruktioner idag är gamla och ofta i relativt dåligt skick. Därför kommer inom snar framtid omfattande renoveringar behövas utföras på svenska vattenverk. Det är då också viktigt att reparationerna är hållbara över tid och anpassade för situationen. För att uppnå detta krävs att rätt material används och att reparationerna utförs på rätt sätt. Exempelvis kan fel rivningsmetoder och alltför kraftig bilning skapa problem med mikrosprickor i den oskadade konstruktionen, Fagerlund (1992).

2 Syfte

Syftet med denna rapport är att öka kunskapsnivån hos vattenverkspersonal avseende betong i allmänhet och reparation av betongskador på vattenanläggningar. Med rapporten som grund är det tänkt att personalen skall kunna ställa höga krav vid beställandet av betongundersökningarna, entreprenad och kontroll av utförda arbeten.

3 Metoder

Projektarbetet består av litteraturstudier samt sammanställning, utvärdering och presentation av RISE:s kunskap gällande betongreparationer utförda på svenska vattenverk och andra likartade betongkonstruktioner.

4 Betong

Betong är ett byggmaterial som enklast kan beskrivas som ”en av människan designad och skapad sten”. Det som är speciellt är att man på ett relativt enkelt sätt kan styra sammansättningen så att önskade egenskaper fås. All betong är inte beständig i alla miljöer, därför är det viktigt att välja en betongsammansättning som ger önskade egenskaper utifrån den miljö där konstruktionen skall stå. I dag finns stor kunskap om betongens beständighet för olika miljöer och genom att följa de standarder som reglerar dagens betongbyggnation är det möjligt att bygga betongkonstruktioner med mycket lång livslängd.

Betong består av cirka 80 procent ballast och 20 procent cementpasta, se Figur 4.1. Ballasten består av sand och grus medan cementpastan består av cement, vatten, tillsatsmaterial och tillsatsmedel.

Ballasten är själva byggstenarna i betong medan cementpastan är till för att binda samman ballasten till en homogen massa. De olika tillsatsmedlens och tillsatsmaterialens uppgift är att ge betongen de egenskaper som önskas. När samtliga material blandas fås en formbar massa som relativt snabbt härdar (stelnar) och blir hållfast. I den färdiga betongen ingår dessutom alltid en viss mängd luft.



Figur 4.1 För att tillverka en kubikmeter färdig betong behövs ungefär 300 kg cement, 200 kg vatten, 1800 kg ballast och ett par kilo tillsatsmedel.

Betongens hållfasthet och täthet bestäms till övervägande del av mängden vatten i förhållande till mängden bindemedel i betongen, det så kallade vattencementtalet (vct).

Ett lågt vct ger en liten utspädning av bindemedlet vilket är gynnsamt ur hållfasthets- och täthetssynpunkt. Det går dock inte att använda hur lite vatten som helst i en betong eftersom mängden vätska också påverkar hur gjutbar betongmassan blir. Ju lägre vatteninnehåll, desto styvare är betongmassan. I Ekvation 4.1 anges hur vattencementtalet beräknas i ett betongrecept. När tillsatsmaterial blandas in i betong används en effektivitetsfaktor (k) vilken reglerar hur stor mängd cement som ersätts vid beräkningen av betongens vattenbindemedeltal. Detta är avgörande för betongens beständighet. Effektivitetsfaktorn baseras på tillsatsmaterialets förmåga att skapa hållfasthet hos betong, och Tabell 4.1 anger effektivitetsfaktorn k för några olika tillsatsmaterial.

$$vct = \frac{\text{vatten}}{\text{cement} + \text{tillsatsmaterial} \cdot k} \quad \text{Ekvation 4.1}$$

Tabell 4.1 Effektivitetsfaktorn k för tillsatsmaterial.

Tillsatsmaterial	Effektivitetsfaktor (k)
Slagg	0,6
Silikastoft	2,0
Flygaska	0,2 eller 0,4
Kalkmjöl	0

Betong har i jämförelse med de flesta andra konstruktionsmaterial en mycket lång livslängd vilket gör materialet miljövänligt. Detta trots att tillverkningen av cementet svarar för runt 3–4 procent av världens totala koldioxidutsläpp. Positivt är dock att den färdiga betongen binder luftens koldioxid till sig (betongen karbonatiserar) när den med tiden omvandlas till kalksten. För att minska betongens påverkan på miljön försöker man idag minska andelen cement i betong genom att byta ut delar av cementet mot andra bindemedel. För att ytterligare kunna minska cementinnehållet tillsätts även olika tillsatsmedel som gör att betongen får önskade egenskaper trots det lägre cementinnehållet.

Användningsområdena för betong är idag otroligt många. Detta har gjort att idag är stålärmerad betong världens mest använda konstruktionsmaterial.

Betongens historia sträcker sig 2 500 år tillbaka då etruskerna i Italien använde betongliknande material. För 2 000 år sedan användes dessa material som byggnadsmaterial i amfiteatrar, broar, hamnar och bostadshus. Många av dessa byggnadsverk finns ännu kvar, se Figur 4.2.

Med tiden upphörde gradvis användandet av betong och det var först på 1700-talet som materialet åter igen började användas i större skala. Efter hand experimenterades det med olika blandningar för att ge betongen mer specificerade egenskaper. Bland annat testades olika sätt att armera betong för att uppnå en bättre draghållfasthet.



Figur 4.2 Pantheon i Rom från 127 e.Kr.

De betongkonstruktioner som idag uppförs är betydligt mer avancerade än de som byggdes under antiken eftersom material-, konstruktions- och produktionstekniken har utvecklats enormt på senare tid. Idag produceras stora broar, skysrapor och milslånga tunnlar i betong, men betong används även vid tillverkning av mindre föremål så som möbler, skulpturer och krukor.

4.1 Betongtyper

Beroende på hur de olika komponenterna kombineras i ett betongrecept kan en betong med helt olika egenskaper produceras. Det finns därför ett flertal typer av betong vilka är specialframställda för att ha specifika egenskaper och därför kan användas vid unika användningsområden. Tidigare levererades de olika komponenterna separat till byggarbetsplatserna där de blandades på plats. Idag levereras prefabricerade element eller färdigblandad betong direkt till arbetsplatsen för montering/gjutning.

Nedan följer exempel på vanliga betongtyper:

Standardbetong är lämplig för de allra flesta konstruktioner, så som bostäder och industrier. Standardbetong benämns oftast med hjälp av dess hållfasthetsklass (C-värdet) eller dess vattencementtal (vct).

Anläggningsbetong används främst vid byggandet av broar och andra större anläggningar vilka kan vara utsatta för utomhusklimat, kemisk påfrestning eller frätande ämnen. Anläggningsbetong innehåller anläggningscement och används främst vid gjutningsarbeten och betonglagning där det krävs en högkvalitativ och beständig betong.

Stålfiberbetong är en färdigarmrad betong vilket gör den lämpad för golv-gjutning, se Figur 4.3. Armeringen är fördelad i hela konstruktionen och stålfibrerna ökar därför golvets förmåga att ta upp laster. Stålfiberarmering

kan även ersätta konventionell armering helt vid exempelvis gjutning av industrigolv.



Figur 4.3 Stålfiberbetong är betong vilken är armerad med stålfiber.

Reparationsbetong används vid betonglagningar och gjutningsarbeten, se Figur 4.4. Oftast är betongen ett torrbruk som blandas på plats med endast vatten för att få en användningsbar betongmassa.



Figur 4.4 Reparationsbetong används vid betonglagningar och gjutningsarbeten.

Sprutbetong är betong som appliceras genom sprutning och används därför för att stabilisera berg vid exempelvis tunnelbyggen och vid reparation av diverse betongkonstruktioner, se Figur 4.5. Det finns två typer av betongsprutning: torr- och våtsprutning.

Självkompakterande betong (SKB) innehåller tillsatsmedel vilka gör att betongen flyter ut av sig själv och omsluter armeringsjärn och armerings-



Figur 4.5 Sprutbetong är betong som appliceras genom sprutning och används vid exempelvis vid reparation av betongkonstruktioner. Foto: BESAB.

nät på ett effektivt sätt, samtidigt som den förblir homogen, se Figur 4.6. Självkompakterande betong behöver oftast inte vibreras.

Skumbetong är ett poröst och värmeisolerande fyllnadsmaterial som används vid grundläggning av vägarbeten, stödutfyllnad vid broanslutningar och vid ledningsrenovering, se Figur 4.7. Skumbetong är lättflytande och kräver liksom självkompakterande betong inte någon vibrering. Den låga vikten gjorde tidigare att skumbetongen användes vid isolering av vindsbjälklag. Skumbetong används idag i väggkonstruktioner (sandwich-typ) för dess goda isolerande egenskaper.



Figur 4.7 Skumbetong är ett poröst och värmeisolerande fyllnadsmaterial.



Figur 4.6 Självkompakterande betong behöver inte vibreras utan packar sig själv.

Undervattensbetong används vid gjutning av betongkonstruktioner under vatten. Exempel är kajer och fundament till vattenkonstruktioner. Undervattensbetong gjuts normalt med betongpump. Det krävs speciell kompetens för att utföra undervattensgjutningar.

Vältbetong eller *platsgjuten* markbetong är en oarmerad beläggning av jordfuktig betong som packas med en vibrerande vält. Den är mycket tålig mot nötning, tunga laster, oljespill och kemiska ämnen.

Grovbeton och *finbetong* är två torrbetongprodukter med i stort sett samma egenskaper. Det som skiljer dem åt är ballastdimensionen vilken i sig avgör skiktjocklek och användningsområde.

Snabbtorkande betong innehåller tillsatsmedel som gör att fuktnivån sjunker snabbare än i konventionell betong. Syftet med detta är att kunna applicera ytskikt på betongytan i ett tidigare skede än vad som annars hade varit möjligt. Snabbtorkande betong lämpar sig för betonggolv och bjälklag.

4.2 Betongens egenskaper

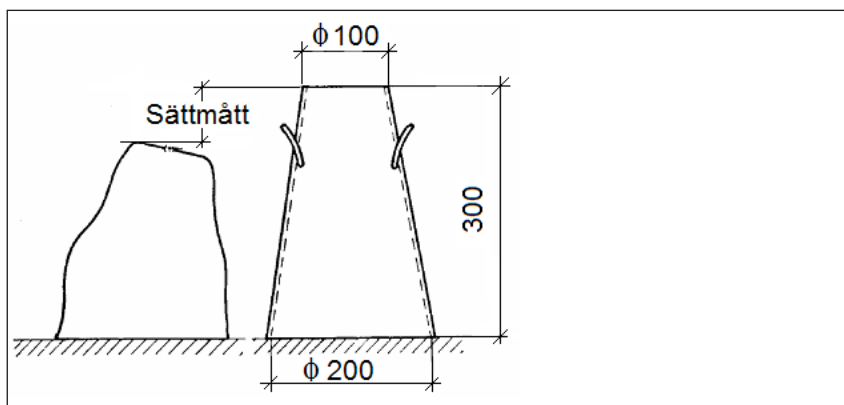
Betongens egenskaper hänger starkt ihop med hur mycket den har stelnat. Nedan presenteras egenskaperna för betongens tre olika stadier; färsk, härdande och härdad betong.

4.2.1 Färsk betong

Den färska betongen skall vara sammansatt på ett sätt så att den uppfyller de egenskaper som krävs. Det vill säga att den kan transporteras, gjutas och bearbetas och ändå uppnå ett tillfredsställande gjutresultat.

En betongs gjutegenskaper karaktäriseras ofta med begreppet arbetbarhet. I detta ord ryms begrepp som betongmassans konsistens, rörlighet och flytbarhet.

När man mäter betongens arbetbarhet tar man hjälp av olika metoder. Det vanligaste sättet är att man använder ett sättmått, se Figur 4.8. Detta görs genom att fylla en kon med betong. Betongen komprimeras och konen lyfts därefter upp, vilket gör att betongen flyter ut (sätter sig) och därefter mäts sättningen.



Figur 4.8 För att mäta en betongs arbetbarhet används ett sättmått.

Det är viktigt att betongmassan förblir homogen under blandning, transport och hantering. Man brukar tala om risk för:

- Bruksseparation
- Stenseparation
- Vattenseparation

Bruks och stenseparation kan orsakas av att betongen har för hög vattenhalt eller att betongen har utsatts för kraftig vibrering vilket kan medföra att stenen sjunker ner och cementpastan stiger uppåt i den nygjutna betongen.

Vattenseparation uppstår om den totala mängden finmaterial är så liten att den inte förmår hålla kvar blandningsvattnet i betongmassan. De större partiklarna sjunker därför nedåt samtidigt som finmaterialet pressas upp. Vätskan samlas på betongens yta, lokalt under större stenar och under den ingjutna armeringen. Betong med stor vattenseparation kan ge upphov till sprickor till följd av sättningsrörelser, så kallade sättsprickor, se Figur 4.9.

Betongmassan innehåller oftast luftfickor när den placerats i sin slutgiltiga form. Dessa luftfickor förblir håligheter i betongkonstruktionen om inte luften tas bort. Detta sker oftast genom att betongen vibreras, vilket utförs genom att en vibreringsstav sänks ned i betongmassan se Figur 4.10. Den innesluta luften vandrar uppåt mot ytan samtidigt som betongmassan kompakteras och homogeniseras.



Figur 4.9

Vattenseparation kan ge upphov till så kallade sättsprickor.



Figur 4.10 Vibrering av betong gör att luft försvinner ur betongen samt att massan homogeniseras.

4.2.2 Hårdnande betong

Betongens hårdnandeprocess startar i samma ögonblick som cemen- tet kommer i kontakt med blandningsvattnet. Det första tecknet på att betongen börjar härda är en temperaturhöjning och viss tillstyvnad.

Betongens luftporsystem måste vara stabilt under hela transporten, gjutningen och komprimeringen. Detta är viktigt för både arbetbarheten av betongmassan och för dess stabilitet. En vanlig betong har en lufthalt på ungefär 2 procent vilket är tillräckligt för en betong i en inomhuskonstruktion. Genom att tillsätta luftporbildande tillsatser kan betongens lufthalt höjas och den hårda betongen får en ökad frostbeständighet.

Förutom att vara svårbearbetad kan en betong med styv konsistens ge upphov till sänkt sluthållfasthet men även minskad täthet. Dessa negativa egenskaper beror oftast på bristande kompaktering eller störd härdning. Även för tidig eller för sen bearbetning av betongytan kan leda till att betongens yta skadas.

Betongens konsistens påverkas i första hand av mängden vatten i cementblandningen. Mer vatten ger en mer lättflytande och därmed mer lättarbetad betong. Men eftersom en betong med mycket vatten (høgt vct) även ger den härdade betongen många sämre egenskaper har det utvecklats tillsatsmedel för att ersätta vattnet samtidigt som en hög betongkvalité vidmakthålls.

För att få en stabil härdning vid olika yttertemperaturer kan man laborera med faktorer som cementtyp och tillsatsmedel. Generellt ger högre temperatur snabbare härdningsprocess medan lägre temperaturer ger långsammare härdning.

Från 4 timmar från gjutningen kommer betongen ha styvnat så pass mycket att den inte längre kan återvibreras. Denna process är irreversibel vilket gör att betongen då är mycket känslig. Den får under denna fas inte utsättas för rörelser eller andra påkänningar. Sättningar eller andra rörelser uppstår då lätt och kan ge upphov till så kallade sättningssprickor.

Fukthärdningen under de första timmarna efter gjutningen är också en mycket viktig parameter. För att skador inte skall uppstå i betongen, vattnas den nygjutna betongen eller så täcks ytan med något fuktkvarhållande material.

Betongens hållfasthet kan börja mätas en kort tid efter gjutningen, där hållfasthetsutvecklingen beror på flera faktorer, exempelvis ingående komponenter och den lufttemperatur som gäller vid gjutningen.

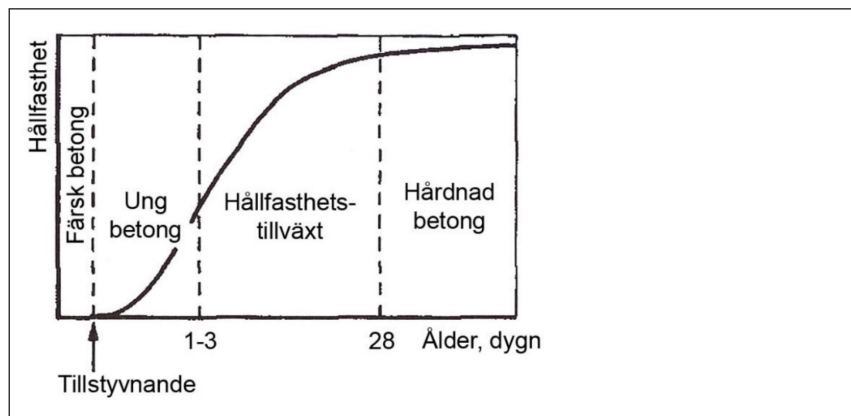
Snabbt härdnande cement i kombination med hög betongtemperatur ger hög hållfasthet på kort tid, medan låg betongtemperatur och långsamt härdnande cement ger låg korttidshållfasthet. Det är exempelvis viktigt att känna till hållfasthetstillväxten för att kunna ta beslut om när gjutformarna skall kunna rivas.

4.2.3 Härdad betong

Nedan presenteras några av den härdade betongens fysikaliska egenskaper.

Fysikalisk egenskap	Värde	Enhet
Densitet	2 300-2 400	kg/m ³
Tryckhållfasthet	10-130	MPa
Draghållfasthet	1-10	MPa

Cementets reaktion med vattnet är i början snabb vilket ger en snabb hållfasthetstillväxt. Reaktionen avtar med tiden men fortgår under mycket lång tid vilket ger en långsam hållfasthetstillväxt. Även i mycket gammal betong finns icke reagerad cement som i kontakt med vatten kan reagera. Även om hållfastheten förändras med tiden är det normalt 28 dygns-hållfastheten som används i produktionen. Hållfasthetstillväxten efter ca en månad efter gjutning är överlag långsam, se exempel i Figur 4.11. Olika bindemedel (cementtyper och tillsatsmaterial) ger dock olika hållfasthetsutveckling och det finns bindemedel som har en betydande hållfasthetstillväxt även efter 28 dygn.



Figur 4.11 Efter 28 dygn efter en gjutning är betongens hållfasthetsökning liten (Burström, 2007).

Avgörande för den härdade betongens egenskaper är hur porös den är och hur porerna fördelar sig i betongen. Mellan 12 och 20 procent av den härdade betongen består av porer. Man brukar dela upp porerna i cementpastan i gelporer, kapillärporer och luftporer.

Cementgel bildas under hydratiseringen där utrymmet mellan cementkornen fylls ut med cementgel. Dock finns det alltid utrymmen kvar mellan cementkornen som cementgelen inte lyckas fylla ut. Där bildas istället kapillärporer. Ju längre tiden går, desto större andel av cementkornen hydratiserar, vilket i sin tur leder till att fler av hålrummen fylls ut, vilket gör betongen tätare.

Kapillärporerna är större än gelporerna och fylls lätt med vatten vid tillgång av fritt vatten.

Luftporer är större än både kapillärporerna och gelporer. Luftporer bildas i betongen när den blandas ett luftporbildande medel. För att luftporerna ska kunna verka som skydd mot frostsador måste de vara jämnt utspridda i pastan och med ett visst avstånd emellan sig.

Betongens slitstyrka och tålighet är hög vilket gör att den ofta används för ytor som utsätts för högt slitage och mekanisk påverkan. Vid höga krav på slitstyrka är det viktigt att ha rätt materialsammansättning och rätt metod för utförandet. En slitstark betong med hög hållfasthet kräver exempelvis en större mängd armering för att inte spricka under härdningen.

4.3 Betongtillverkning

Tillverkning av fabriksbetong skall alltid ske under kontrollerade former och produktionen skall därför vara övervakad av något certifieringsorgan.

Huvudparten av betongfabrikerna i Sverige är tillverkningskontrollerade så att köparen av betong alltid skall erhålla en produkt med önskade egenskaper. Tillvekningskontrollerade betongfabriker har standardiserade recept som de kontinuerligt provar så att produktens egenskaper skall vara desamma över tid.

Det finns två huvudgrupper av produktionssätt vid byggnation med betong: platsgjuten och prefabricerad betong. Båda alternativen fungerar utmärkt i det industriella byggandet med färdiga lösningar/produkter bestående av exempelvis väggar eller bjälklag.

4.3.1 Platsgjuten betong

Platsgjuten betong innebär att en färsk betong tillverkas på betongfabrik och körs ut till byggarbetsplatsen där den pumpas i rationella formsystem eller kvarsittande formar med prefabricerade armeringsenheter och nät, se Figur 4.12.



Figur 4.12 Formsättning inför gjutandet av en platsgjuten betongkonstruktion.

4.3.2 Prefabricerad betong

Prefabricerad betong innebär att färdiga byggnadsdelar, till exempel väggar, se Figur 4.13, och bjälklag förtillverkas på fabrik. Byggnadsdelarna transporteras sedan med lastbil till byggarbetsplatsen där de monteras ihop.

I många projekt används kombinationer av de olika produktionssätten.

4.3.3 Miljöpåverkan

Tillverkning av cement innebär utsläpp av koldioxid vilket idag utgör omkring 3–4 procent av världens totala utsläpp. Utsläppen från cementindustrin uppstår dels från förbränning av de bränslen som krävs för tillverkningen, dels från kalcineringsprocessen där koldioxiden som finns bunden i kalkstenen avgår vid upphettning. Betongens utsläpp av koldioxid



Figur 4.13 Prefabricerade betongelement som lyfts på plats med hjälp av lyftkran.

bestäms till största delen av utsläppen vid cementtillverkningen varför det är viktigt att minska utsläppen. Mellan 1990 och 2013 minskade utsläppen med 12 procent.

Betong kan återanvändas. Såväl vid tillverkning av ny betong som fyllnads-material.

4.4 Betongens beståndsdelar

I nästan all betong ingår cement, ballast, vatten, tillsatsmaterial och tillsats-medel, se Tabell 4.2. För att få den betong som önskas kan man laborera med de olika komponenterna i ett betongrecept.

Tabell 4.2 Uppdelning av betongens beståndsdelar.

Cementpasta 20 %	Cement	Bindemedel
	Tillsatsmaterial (fasta)	
	Tillsatsmedel (flytande)	
	Vatten	
Ballast 80 %	Sand	
	Grus	

Nedan följer beskrivningar av de material som oftast ingår i betong.

4.4.1 Ballast

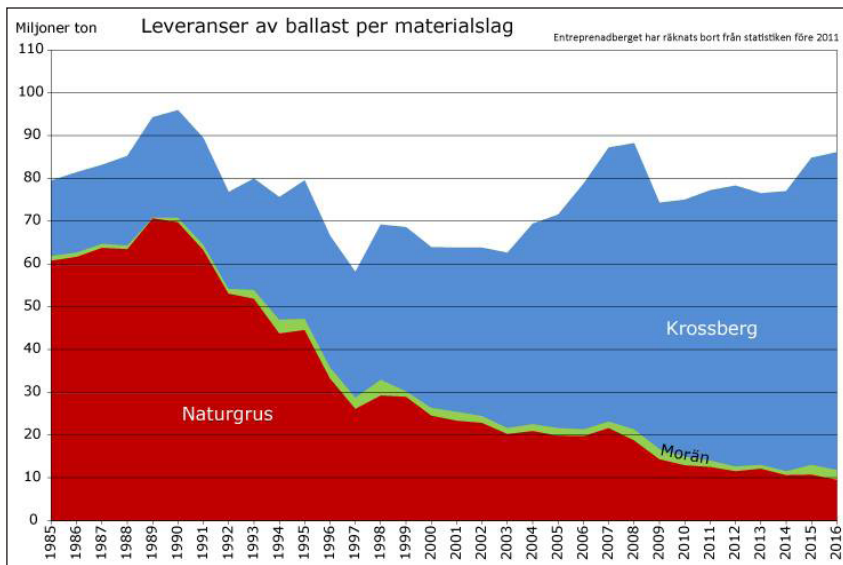
Ballast är samlingsnamnet för de bergartsmaterial som ingår i exempelvis betong. Mängden ballast i en normalbetong är ungefär 80 volymprocent.

Oftast delas ballast upp efter deras ursprung:

- Naturballast: sand- och grusmaterial taget direkt ur naturen
- Krossballast: material som tillverkas vid krossning av bergartartsmineral
- Återvunnen ballast: ballast utvunnen från tidigare tillverkad betong

I Sverige finns det gott om bra bergartsmineral som kan användas till betongtillverkning där de vanligaste formerna är naturgrus- och krossma-

terial. Förr användes oftast naturgrus till betong men eftersom de största grundvattentillgångarna finns i naturgrusområden har man idag styrt över till att använda krossmaterial och återvunna material i betong, se Figur 4.14.



Figur 4.14 Naturgrus är en ändlig resurs med stor betydelse för bland annat vattenförsörjningen. Leveranserna av naturgrus från tillståndsgivna täkter minskar i Sverige. SGUs årliga publikation "Grus, sand och krossberg" 2017.

Ballast används i alla typer av betongkonstruktioner men är även en av huvudingredienserna i murbruk och asfalt. Dessutom används ballast i obunden form under exempelvis järnvägsspår.

Naturballast

Naturgrus bildades under istiden då materialet transporterades runt av stora mängder vatten. Naturgrus är naturligt rundad vilket gör att den får betongen att flyta ut bättre än betong med krossad ballast, se Figur 4.15. Merparten av naturgruset kommer från de svenska rullstensåsar.



Figur 4.15 Naturgrus har en naturligt rundad form.

Krossballast

Formen på krossballast avviker från naturgrus då strukturen är sträv och ojämn samtidigt som kornens former är avlånga och vassa, se Figur 4.16. Krossmaterialens ojämna yta gör dock att betongreceptet kräver mer cement och vatten för att betongmassan ska få liknande egenskaper som en betong som innehåller naturgrus.



Figur 4.16 Krossmaterial har oftast en kantig form.

Det går idag att tillverka en betong med helkrossballast som ger lika goda egenskaper som en betong med naturgrus. För att göra detta krävs det istället större andelar tillsatsmaterial och tillsatsmedel i betongen.

Återvunnen ballast

Ballast kan även bestå av återvunnen betong som krossats. Det är främst de grövre stenarna i betongen som återanvänds. Återvunnen ballast kan också komma från färsk restbetong vilken tvättats ur färsk betong.

Klassificering av bergarter

En bergart består av olika mineral. Exempelvis består merparten av en granit av kvarts, fältspat, biotit och muskovit.

Det finns i princip tre klasser av bergarter.

- Sedimentära bergarter
- Metamorfa bergarter
- Magmatiska bergarter

Sedimentära bergarter bildas vanligtvis vid jordytan genom att sediment avsätts i vatten vilka sedan förstelnas. Typiska sedimentära bergarter är kalksten, sandsten, lerskiffer och gråvackor. Dessa är i de flesta fall olämpliga som betongballast eftersom de ofta är porösa och flakiga samt kan innehålla olämpliga lermineral.

Metamorfa bergarter bildas genom att sedimentära bergarter utsätts för höga tryck och temperaturer. Typiska metamorfa bergarter är marmor som bildas ur kalksten och kvartsit som bildas ur sandsten. Vissa av dessa bergarter går bra att använda till betong.

Magmatiska bergarter bildas genom att olika mineral kristalliserar långt ned i jordens skorpa. Typexempel är granit, granodiorit och gabbro. Dessa bergarter är mycket olika, men är oftast lämpliga som betongballast. Magmatiska bergarter är de bergarter som förekommande mest i Sverige.

Petrografisk analys

Ballasten i en betong får inte påverka betongens beständighet negativt och den skall vara beskriven på ett sådant sätt att man med utgångspunkt från beskrivningen kan proportionera betong. Olika tester och metoder beskriver beständighet av betongballast (SS-EN 12620). En petrografisk analys utförs bland annat genom mikroskopi för att identifiera bergarter och mineral. Detta görs genom att man studerar textur och mineralogi hos bergarten (RILEM AAR1). I tabell 4.3 visas kornstorleksgränser för de ballastbeteckningar som används inom betongindustrin.

Tabell 4.3 Kornstorleksgränser för olika ballastmaterial.

Beteckning	Kornfraktion (mm)*
Grovballast/Sten	Singel (naturballast) Makadam (krossballast)
Finballast/Sand	0-4
Finmaterial	0-25
Filler	0- 0,125

* Kornfraktionen definieras av en övre och en undre kornstorleksgräns. Ett exempel är 8–16 mm, där det förekommer ballast med kornstorlekar mellan 8 mm och 16 mm.

Ballast som kan påverka betongens egenskaper negativt

I ballast kan det förekomma material som kan påverka betongens egenskaper negativt. Det gäller såväl i färskt tillstånd som i härdat tillstånd. Nedan följer några exempel på sådana material och hur de kan påverka betongens beständighet.

Det finns lermineral som sväller och om dessa används i betong kan de skapa intern expansion vilket i sin tur gör att betongen spricker. Lermine-
ral skall alltid undvikas i betong. *Humus* är organiska ämnen som härstam-
mar från jordarter och förmultnade växter. Humus kan fördröja cementets
bindning och hårdnande. Dessutom kan humus vara grogrund för biolo-
gisk tillväxt i och på en betongkonstruktion. Humus skall alltid undvikas i
betong. *Finmaterialet* är de allra finaste partiklarna i en ballast. En mindre
mängd partiklar finns i alla ballastmaterial och kan i allmänhet betraktas
som gynnsam. Men om halten är för hög kan det ge en svårbehandlad
betongmassa. *Klorider* är vattenlösliga salter som om de finns i betongen
kan ge korrosionsskador på den ingjutna armeringen. Klorider kan exem-
pelvis förekomma i ballastmaterial som tagits från havsbotten. *Sulfater* och
sulfiter är också salter som kan finnas i bergarter. Beroende på vilket salt
som angriper betongen får man olika sorters skador. Svavel i olika former
är mer vanligt som organiska föreningar i avloppsvatten vilka istället kan
leda till angrepp på exempelvis betongrör. *Sulfider* som exponeras för vat-
ten och syre vittrar genom oxidation och kan genom lakvattnet läcka ut
sitt metallinnehåll. Dessutom innebär oxidation av sulfider att en sur miljö

bildas vilket i sin tur kan leda till en ökad vittring och urlakning. I Sverige är det områden där det finns eller har funnits gruvdrift som i Bergslagen, Norrland och i Västsverige som kan pekas ut som riskområden med förhöjda svavelhalter i berget. *Lösa porösa, skiffrika, glimmerrika* och *vittrade* bergarter ska undvikas som ballast till betong då dessa kan innebära risk för dålig vidhäftning och sänkt hållfasthet. *Lågmetamorf kalksten* och sandsten är ofta porös och ger betong med dålig vidhäftning och därmed ökad porositet, vilket i sin tur kan ge upphov till dålig frostbeständighet. Kemiska reaktioner kan ge upphov till dålig vidhäftning, intern volymsutvidgning eller kan på andra sätt försämra betongens hållfasthet. Samma sak gäller ballast som innehåller alkalilöslig kiselsyra vilken kan leda till sprängande ballastreaktioner, så som *alkalikiselsyrareaktioner* (AKSR). Finporös ballast i frostbelastade konstruktioner kan leda till ökade inre spänningar i betongen och därmed till frostsprängning.

Krav på ballast i vattenverkskonstruktioner

För ballast som skall användas i betongkonstruktioner i vattenverk måste dessa krav ställas:

- Ballasten ska i sig själv vara beständig.
- Skadliga reaktioner mellan cementpasta och ballast får inte ske.
- Ballasten får inte innehålla föroreningar som påverkar cementpastans härdning, hållfasthet eller beständighet.
- Ballasten får inte vara radioaktiv.
- Ballasten får inte innehålla föroreningar som i sig kan påverka dricksvattnets kvalitet negativt.
- Återvinningsballast bör inte användas till betongkonstruktioner i direktkontakt med dricksvatten.
- Om återvinningsballast används är det extra viktigt att utföra lakningsförsök.

4.4.2 Cementpasta

Cement

Cement utgör en typ av bindemedel som kan användas i betong. Cement är ett så kallat hydrauliskt bindemedel vilket innebär att det härdar genom att det reagerar med vatten, där reaktionen bildar cementgel och kalciumhydroxid. Cementgelen medför tillstyvnandet och hållfastheten medan kalciumhydroxiden bidrar till att betongen blir basisk. Att betongen är basisk är viktigt då det är detta som gör att den ingjutna armeringen skyddas från att börja korrodera.

Cement framställs genom upphettning av kalksten och kiselhaltig lera. Vid bränningen bildas klinker vilken sedan mals ner tillsammans med en mindre mängd tillsatser. Den färdiga produkten kallas för portlandcement. Portlandcement är den cement som i de flesta fall avses då man talar om cement. Namnet är kopplat till den engelska halvön Portland där en välkänd byggnadssten finns vilken har samma färg som cementet.

Partikelstorleken av cementpartiklarna är en del i vad som skiljer olika cementsorter åt. Mindre cementpartiklar reagerar fortare vilket medför snabbare hållfasthetstillväxt och högre värmeutveckling.

En typisk sammansättning för portlandcement ges i Tabell 4.4.

Tabell 4.4 Typisk sammansättning för portlandcement.
Källa: Betonghandboken.

Kemisk beteckning	Benämning	Andel i %
CaO	Kalciumoxid	60-70
SiO ₂	Kiseldioxid	17-25
Al ₂ O ₃	Aluminiumoxid	2-8
Fe ₂ O ₃	Järnoxid	0-6
MgO	Magnesiumoxid	0-4
SO ₃	Svaveltrioxid	1-4
K ₂ O	Kaliumoxid	0,2-1,5
Na ₂ O	Natriumoxid	

Framställningen av klinker är en energikrävande process. På senare år har delar av den malda klinkern ersatts mot andra typer av bindemedel som också bidrar till betongens tillstyvnande och hållfasthetstillväxt, så kallade puzzolaner, exempelvis slagg och flygaska.

Vanliga cementsorter i Sverige är:

- Bascement (tidigare Byggcement)
- Snabbhårdnande cement (SH)
- Anläggningscement

Bascement används vid de flesta betongarbeten och har idag ersatt det tidigare byggcementet. I det nya bascementet har delar av klinkern ersatts med flygaska och en liten del kalksten.

Snabbhårdnande cement består av finmalen klinker. Den finmalda klinkern reagerar snabbare vilket medför högre korttidshållfasthet men också högre värmeutveckling jämfört med bascementet. Snabbhårdnande cement kan vara lämpligt då tidig formrivning är prioriterad eller vid gjutning under vintertid.

Anläggningscement består av mer grovmalen klinker, vilket medför en långsammare hållfasthetsutveckling och en lägre värmeutveckling. Anläggningscement används exempelvis vid gjutning av grövre konstruktioner där man vill hålla nere värmeutvecklingen som annars kan ge upphov till sprickproblem som i sin tur kan ge problem med bärigheten så väl som beständigheten.

Cement och tillsatsmaterial kan innehålla mindre mängder tungmetaller. I Tabell 4.5 visas exempel på innehåll av spårämnen i cement, flygaska och slagg.

Tabell 4.5 Exempel på innehåll av spårämnen i cement, flygaska och slagg.
Källa: VDZ, sammanställt av Achternbosch et al (2003).

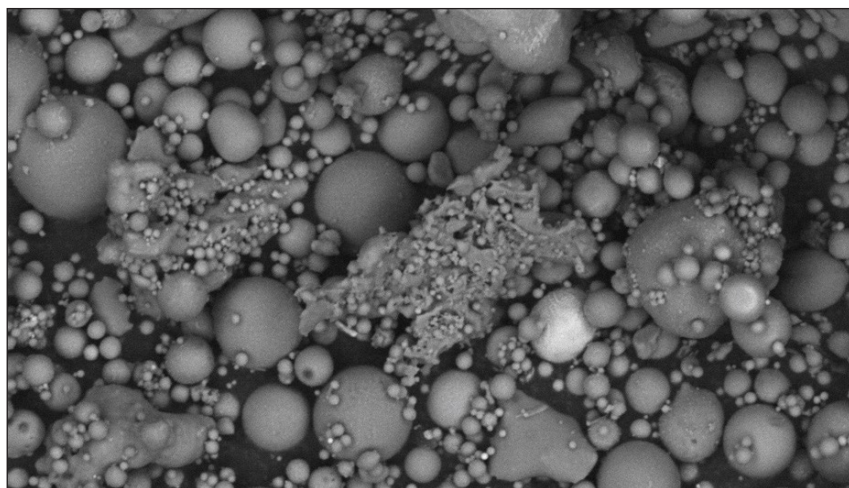
Kemisk beteckning	Benämning	Cement [mg/kg]	Flygaska [mg/kg]	Slagg [mg/kg]
As	Arsenik	8	79	0,8
Cd	Kadmium	0,6	2,6	0,7
Co	Kobolt	11	74	4
Cr	Krom	40	172	25
Cu	Koppar	25	247	5,2
Hg	Kviksilver	0,3	0,3	0,6
Mn	Mangan	680	484	3 500
Ni	Nickel	24	196	5
Pb	Bly	27	257	6
Sb	Antimon	6	14	2
Sn	Tenn	4,6	10	5
Tl	Tallium	0,6	4	0,7
V	Vanadin	56	345	30
Zn	Zink	140	504	38

4.4.3 Tillsatsmaterial

För att cementen ska erhålla de egenskaper som önskas tillsätts ofta olika typer av tillsatsmaterial. Tillsatsmaterialen kan utgöras av både reaktiva och inerta partiklar. Exempel på reaktiva partiklar är silikastoft och flygaska (puzzolana material) eller latent hydrauliska material såsom mald granulerad masugnsslagg. Inerta tillsatsmaterial kan exempelvis vara kalkstensfiller eller pigment.

Flygaska

Flygaska är en restprodukt från industrin där flygaskan separeras från den rök som uppstår vid exempelvis kolförbränning. Flygaska är mycket små runda partiklar, se Figur 4.17.



Figur 4.17 Flygaska är mycket små helt rundade partiklar av olika oxider.

Flygaska är ett puzzolant material vilket reagerar med vatten och den kalciumhydroxid som finns i en betongs porvatten. Vid en inblandning

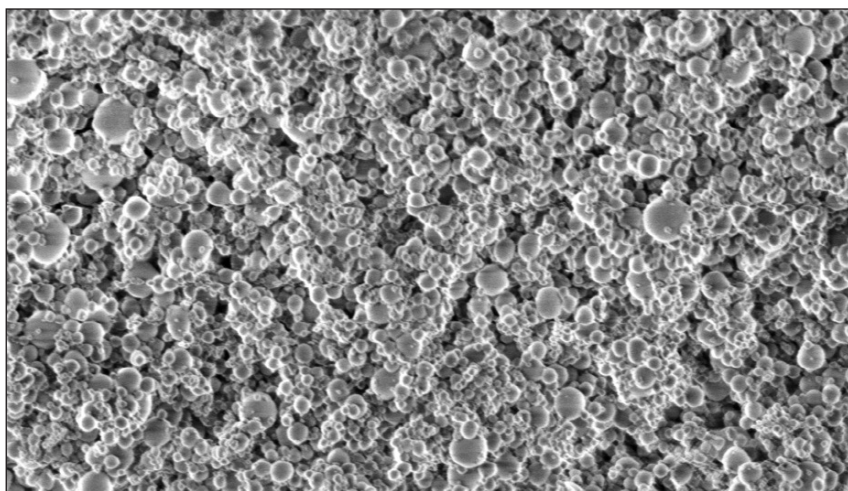
av flygaska kan betongen få en ökad täthet och hållfasthet, samtidigt som cementhalten bibehålls. Vanlig dosering av flygaska är 10–40 procent av cementmängden. Exempel på kemisk sammansättning av flygaska ges i Tabell 4.6.

Tabell 4.6 Kemisk sammansättning av flygaska. Källa: Betonghandboken.

Kemisk beteckning	Benämning	Andel (%)
SiO ₂	Kiseldioxid	40–55
Al ₂ O ₃	Aluminiumoxid	20–30
Fe ₂ O ₃	Järnoxid	5–10
CaO	Kalciumoxid	3–7
MgO	Magnesiumoxid	1–4
SO ₃	Svaveltrioxid	0,4–2
K ₂ O	Kaliumoxid	1–5
Na ₂ O	Natriumoxid	

Flygaska som används för betongtillverkning regleras i standarden SS-EN 450-1. Det är enbart den flygaska som kommer från kolpulvereldade kraft- och värmeverk och som avskiljs med elektrostatiska filter som får användas i betongtillverkning. Den kemiska sammansättningen av stenkolsflygaska varierar beroende på kolets sammansättning, men i huvudsak består stenkolsflygaska av aluminiumsilikatglas. Det kan även förekomma tungmetaller i de halter som ges i Tabell 4.5.

Silikastoft utvinns ur rökgasen vid framställning av kiselmetall och ferro-kisel. Silikastoft är ett starkt reaktivt puzzolant material vilket innebär att det reagerar med kalciumhydroxiden i betong och bildar kalciumsilikat-hydrat. Vanlig dosering av silikastoft är 4–10 procent av cementmängden. Ett silikastoftkorn är 1/100 av ett cementkornens storlek, se Figur 4.18.



Figur 4.18 Ett silikastoftkorn är 1/100 av ett cementkorns storlek.

Inblandning av silikastoft förbättrar den färska betongens arbetbarhet. De fina partiklarna medför en bättre sammanhållning och stabilitet i den färska betongen, vilket i sin tur minskar risken för vattenseparation.

Silikastoft består huvudsakligen av kiseldioxid men mindre mängder av andra ämnen kan förekomma, se exempel på kemisk sammansättning i Tabell 4.7.

Tabell 4.7 Kemisk sammansättning hos silikastoft från produktion av kisel-metall och ferrokisel.
Källa: Betonghandboken.

Mineralkomponent	Benämning	Vid framställning av kiselmetall [%]	Vid framställning av ferrokisel [%]
SiO ₂	Kiseldioxid	94-98	86-90
C	Kol	0,2-1,3	0,8-23
Fe ₂ O ₃	Järnoxid	0,02-0,15	0,3-1,0
Al ₂ O ₃	Aluminiumoxid	0,1-0,4	0,2-0,6
CaO	Kalciumoxid	0,08-0,3	0,2-0,6
MgO	Magnesiumoxid	0,3-0,9	1,0-3,5
Na ₂ O	Natriumoxid	0,1-0,4	0,8-1,8
K ₂ O	Kaliumoxid	0,2-0,7	1,5-3,5
S	Svavel	0,1-0,3	0,2-0,4
Organiskt material	Glödförlust*	0,8-1,5	2,0-4,0

* Glödförlust används till exempel inom cementindustrin som en kvalitetsparameter vid uppskattning av mängden oförbränt kol och andra möjliga beståndsdelar i förbränningsrester.

Slagg

Mald granulerad masugnsslagg är en restprodukt från järnframställning, se Figur 4.19. Masugnsslagg är en latent hydraulisk produkt som aktiveras av kalciumhydroxid, alkali och sulfater. Inblandning av slagg i cement medför exempelvis fördröjd härdning och lägre initial värmeutveckling. Vanlig dosering av slagg är ca 5–50 procent av cementmängden. Exempel på kemisk sammansättning ges i Tabell 4.8.



Figur 4.19 Slagg från masugn med oregelbunden kornform.

Tabell 4.8 Exempel på sammansättning av europeiska slagg.
Det kan även förekomma tungmetaller i de halter som anges.
Källa: Betonghandboken.

Kemisk beteckning	Benämning	Andel [%]
CaO	Kalciumoxid	30-50
SiO ₂	Kiseldioxid	28-38
Al ₂ O ₃	Aluminiumoxid	8-24
MgO	Magnesiumoxid	1-18
S	Svavel	1-2,5

4.4.4 Vatten

Lämpliga vatten för betongtillverkning är i allmänhet drickbart vatten så som kommunalt dricksvatten, icke förorenat brunnsvatten, vatten i insjöar med låg humushalt.

Olämpligt vatten för betongtillverkning är avloppsvatten, havsvatten och vatten i mossar och kärr. Vatten som innehåller klorider, sulfater, alkali, socker, fosfater och nitrater skall inte heller användas.

4.4.5 Tillsatsmedel

Tillsatsmedel är kemiska produkter som tillsätts betongen för att förbättra betongens såväl färska som hårdnade egenskaper. En del av tillsatsmedlen som används påverkar betongens egenskaper på flera sätt än bara det tilltänka, vilket kan liknas som bieffekter. Det är vanligt att blanda i flera olika tillsatsmedel för att kompensera för dessa bieffekter. Dessa effekter ökar komplexiteten av att producera högpresterande betong med specifika egenskaper.

Flyttillsatsmedel

Flyttillsatsmedel ger färsk betong en lösare konsistens utan att mer vatten behöver tillsättas. I betongens färska tillstånd kan flyttillsatsmedel reducera mängden vatten i betongreceptet med bibehållen arbetbarhet och på så sätt erhålls lägre vct. Typiska flyttillsatsmedel är Lignosulfonat, Naftalen, Melamin och Polykarboxylat. Flyttillsatsmedel har funnits i många olika varianter genom åren och de benämns ofta första, andra och tredje generationens flyttillsatsmedel på grund av hur de utvecklats med åren.

Första generationens flyttillsatsmedel baseras på lignosulfonat som är en restprodukt från pappersmassaindustrin. Det är dock inte vanligt förekommande som tillsatsmedel i Sverige idag. Tredje generationens flyttillsatsmedel kallas för polykarboxylater (PCE) och baseras på polykarboxylsyraester. Polykarboxylater har en högre vattenreducerande effekt än tidigare generationers flyttillsatsmedel och har möjliggjort utvecklingen av självkompakterande och högpresterande betong. Polykarboxylater har en luftindragande effekt och behöver därför skumdämpas. Polykarboxylater är idag de mest vanligt förekommande tillsatsmedlen i Sverige.

Luftporbildande tillsatsmedel

Luftporbildande tillsatsmedel används för att öka lufthalten i betong och därmed ge betongen en ökad frostbeständighet. När vatten fryser sker

en volymökning med 9 procent vilket skapar ett hydrauliskt tryck inuti betongens porsystem. För att kunna ta hand om det expanderande vattnet i betongens kapillärporer krävs en kontrollerad luftinblandning där luftporernas storlek och avstånd till varandra är avgörande.

Luftbubblor bildas naturligt när betongen blandas men om ingen luftporbildare tillsätts blir luftbubblorna instabila och slås ihop till större bubblor. För att stabilisera luftbubblorna tillsätts tensider till betongen. De vanligaste förekommande lufttillsatsmedlen är syntetiska tensider, vinsolharts, förtvålade tallolja och vegetabilisk oljesyra.

Accelererande tillsatsmedel

Accelererande tillsatsmedel används för att påskynda cementreaktionerna och därmed få en snabbare hållfasthetstillväxt i betongen under hydratiseringen. Accelererande tillsatsmedel används ofta vintertid för att påskynda betongens värmeutveckling eller för att förkorta tiden till formrivning.

Acceleratorer som tidigare använts i betong är olika former av klorider exempelvis kalciumklorid. Dessa klorider är mycket effektiva acceleratorer men bör inte användas i armerade betongkonstruktioner då de kan initiera armeringskorrosion. Därför finns sedan länge även ett förbud mot att använda dessa ämnen i betong. Istället används olika former av nitrater exempelvis kalciumnitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) och natriumnitrat (NaNO_3) som acceleratorer. Nitraterna kombineras vanligtvis med andra ämnen som tiocyanater, aminer eller monokarboxylsyra för att erhålla en snabbare hållfasthetstillväxt.

På senare tid har även ultrafina partiklar exempelvis kalciumkarbonat, kolloidal silika och syntetisk C-S-H börjat användas som accelererande tillsatsmedel. De vanligaste förekommande acceleratorerna är nitrater, tiocyanater, aminer och ultrafina partiklar.

Retarderande tillsatsmedel

Retarderande tillsatsmedel används för att förlänga tiden innan betongen tillstyvnar. Detta måste ske utan att det påverkar betongens slutliga hållfasthet eller hastigheten för hållfasthetstillväxten när den väl tar fart. Retarderande tillsatsmedel används vanligtvis när transporttiden från betongfabriken till byggarbetsplatsen är lång eller gjutningar vid sommartid.

Retarderande tillsatsmedel kan bestå av såväl organiska som oorganiska kemikalier.

De vanligaste förekommande retarderande tillsatsmedlen är socker (sackaros, glukos, fruktos, maltos, laktos), lignosulfonat och hydroxykarboxylsyror.

5 Betongskador i vattenverk

Betongskador i vattenverks betongkonstruktioner har beskrivits av Jacobsson (2016). Vidare finns det fler referenser i slutet av denna rapport.

5.1 Ytliga skador

Med ytliga skador menas skador på betongen som syns på en betongkonstruktions yta. För att kategorisera dessa skador behövs en tillståndsbedömning utföras av utbildad person. Nedan följer tecken på vanliga ytliga skador som ofta kan ses på en betongkonstruktion:

- Fuktbläckar
- Läckage
- Saltutfällningar
- Kalkavlagringar
- Rostfläckar
- Spjälkningar
- Delaminering
- Svartrost
- Sprickor
- Avskalade betongskikt
- Eroderade ytor
- Porös och otät betong

5.2 Interna skador

Interna skador är oftast svåra att upptäcka, varför en särskild inspektion av betongkonstruktionerna bör låta utföras med regelbundna intervall. Vid en sådan inspektion undersöks konstruktionerna visuellt, prover tas i betongen vilka analyseras kemisk. Undersökningen kompletteras med att borrhärlor tas så att man ska få en bra bild av konstruktionens tillstånd. Det finns idag även bra icke-förstörande metoder för att undersöka en betongkonstruktions inre status. Bland dessa förekommer ultraljudsteknik och georadarteknik.

Nedan följer några vanliga interna skador som kan finnas i en betongkonstruktion.

- Interna sprickor
- Nedbruten betong
- Hålrum
- Inneslutningar

5.3 Orsak till betongskador

Orsaken till de vanligaste skadorna på inomhus belägna betongkonstruktioner i vattenverk är att den ingjutna armeringen korroderar. På utomhus belägna betongkonstruktioner är istället den vanligaste skadeorsaken att betongen fryser sönder. Betongkonstruktioner i kontakt med vatten kan urlakas på cementpasta (bindemedel och finpartiklar i betongen. Betongkonstruktioner kan också skadas på grund av att olämpliga material har använts vid tillverkningen av betongen eller att betongen har hanterats på ett felaktigt sätt i samband med gjutningen. Genomgående för de flesta betongskadorna är att de uppstår direkt eller indirekt i kontakt med någon form av vatten. Nedan redovisas några orsaker till att betongskador finns i vattenverk:

- Armeringskorrosion
- Urlakning
- Yterrosion
- Expansion av material i betongens inre
- Expansion av betongens yta
- Fuktrörelser och temperaturrörelser i betong
- Påkörning vid underhållsarbete
- Överbastning och felkonstruktion

6 Exponeringsklasser

Betongens fysikaliska och kemiska egenskaper, och därmed dess beständighet i en specifik miljö, styrs av de ingående delmaterialen och deras sammansättning. Det är alltså möjligt att välja en betong utifrån den miljöpåverkan som konstruktionen förväntas befinna sig i. Begreppet ”Exponeringsklass” har därför införts av Svensk Standard (SIS) för att klassificera hur aggressiv omgivningen är för en betongkonstruktion utifrån den miljö den skall exponeras för. Klasserna tillämpas med andra ord för att rätt betong används i aktuell miljö och anges i standarden SS EN 206:2013.

Det finns i den omgivande miljön faktorer som kan skada betongen eller betongkonstruktionen, såsom frost, armeringskorrosion, brand och kemiska angrepp. Betongens täthet och betongens täcksikt, förekomsten av skadliga ämnen så som klorider och sulfater samt vattnets pH och alkalinitet är de viktigaste faktorerna att beakta när man designar ett vattenverks betongkonstruktion.

Det är i allmänhet konstruktören som ska ange rätt exponeringsklass på ritningen, i förfrågningsunderlaget eller kontraktshandlingarna. Att välja rätt klass med vägledning bara av standarden blir ganska svårt och för att underlätta för projektören, har olika hjälpmedel getts ut. Svenska Betongföreningen har sammanställt ”Vägledning för val av exponeringsklass enligt SS-EN 206, Betongrapport nr 11” och Svensk Betong har gett ut broschyren ”Europastandard för Betong SS EN 206-1”.

Exponeringsklasserna är grupperade efter angreppsmekanismer, exempelvis påverkan av havsvatten eller frysning. Under varje angreppsmekanism finns tre eller fyra klasser. Totalt rör det sig om 18 exponeringsklasser. Ofta finns det flera exponeringsklasser för varje miljö. Valet av exponeringsklass avgör kravet på vilken betongkvalitet och täcksikt som skall användas. Nedan följer förklaring och kommentarer av exponeringsklasser enligt SS EN 206:2013.

X0 – inga angrepp

Ingen förväntad nedbrytning sker.

XC – karbonatisering

Vid höga eller mycket låga fuktnivåer är risken för karbonatiseringsinitierad korrosion liten. Antigen är betongen för torr eller så är porerna vattenfyllda så att ingen koldioxid kan tränga in. För att korrosion ska kunna ske behöver därför betongen vara så pass våt att korrosion kan uppstå samt att den är så torr att den karbonatiseras. Exponeringsklasserna för korrosion orsakad av karbonatisering är uppdelade från XC1 till XC4, där XC4 är den mest ogynnsamma.

XD – korrosion orsakad av tösalt

Armeringskorrosion som orsakas av klorider kräver att klorider kan tränga in till armeringen och att det finns syre till korrosionsprocessen. Störst risk för korrosion uppkommer då betongen är cykliskt våt och torr. Exponeringsklasserna är uppdelade från XD1 till XD3, där XD3 utgör den minst gynnsamma miljön.

XS – korrosion orsakad av havssalt

För exponeringsklass XS gäller samma förutsättningar som för XD. Skillnaden är att kloriderna kommer från havsvattnet.

XF – frostangrepp

Med ökad fuktnivå och exponering för klorider blir risken för frostsador större. För att konstruktioner ska vara beständiga mot frostsador krävs att vattnet i betongen kan expandera när det fryser.

Det finns två typer av frostsador; yttre skador (avflagning) som oftast uppkommer som ett resultat av att det finns tillgång till saltvatten på betongytan och inre frostsador som kan uppkomma främst vid exponering mot vatten utan salt. Genom att tillsätta luftporbildande medel i betongen får vattnet vid frysning utrymme att expandera. Betong med lågt vct resulterar generellt i bättre frostbeständighet än betong med högre vct.

Exponeringsklasserna är uppdelade i XF1 till XF4. XF1 och XF3 är miljöer där betongen är exponerad för vatten utan salt. XF2 och XF4 är miljöer där betongen är exponerad för vatten innehållande salter.

XA – kemiskt angrepp

Exponeringsklasserna *avser* kemiskt utsatta miljöer i naturlig jord och grundvatten där temperaturen är mellan 5 °C och 25 °C och vattnets hastighet är så låg att den kan försummas. Exponeringsklass väljs beroende på hur stor mängd av den skadliga kemiska komponenten som finns. Vid dimensionering av betongkonstruktioner för exponeringsklass XA krävs att kemikalier inte bryter ner betongen eller orsakar armeringskorrosion. Genom att öka täcksiktet och välja en tätare betong kan konstruktioner skyddas mot kemiskt angrepp.

7 Armering

Betong är ett hårt och hållbart material. Det behöver dock oftast förstärkas genom att armering gjuts in i konstruktionen. Detta för att ta upp dragkrafter som kan uppstå. Tillsammans kan dessa material stå emot både tryckkrafter och dragkrafter utan att spricka eller gå till brott. Armering förekommer i en mängd olika typer, såsom stång, nät, tråd och lina. Det dominerande materialet är vanligt stål, men det finns även armering av rostfritt stål, plastfiber, textil och kolfiber. Beroende på geometri och material kan armering ha vitt skilda egenskaper ifråga om hållfasthet, duktilitet, vidhäftning, svetsbarhet, bockbarhet och så vidare.

Armeringen skall ha sådana egenskaper att den i samverkan med betongen ger den färdiga konstruktionen ett segt beteende vid brott. Armering för betongkonstruktioner har alltså en förstärkande funktion men den tar också upp sträck-, tryck- och skärkrafter samt minskar sprickbildning i en betong.

Armering för betong finns i form av stänger, nät och fibrer, se Figur 7.1.



Figur 7.1 Till vänster syns armeringsstänger, till höger armeringsnät.

En annan viktig skiljelinje går mellan slakarmerad och förspänd armering.

Förspänd armering har i förhållande till betongen givits en förspänning eller förtöjning som gör att den har en hög spänning redan innan betongen spricker. Detta gör att man kan utnyttja höga spänningar i armeringen utan att man får problem med sprickor och deformationer. Detta på grund av att man för in tryckkrafter i betongen. För att kunna ta höga spänningar har konstruktioner med spännarmering betydligt högre hållfasthet än slakarmerade konstruktioner. Beroende på var i konstruktionen armeringen placeras benämns den på olika sätt enligt nedan:

- Dragarmering tar upp krafter av böjande moment och normalkraft.
- Armeringsnät är försvetsad armering för exempelvis gjutning av betongplattor.
- Sprickarmering är avsedd att fördela sprickor och motverka kraftig sprickbildning.
- Tryckarmering: huvudarmering som tar upp tryckkrafter.
- Skjuvarmering: armering som tar upp tvärkrafter.

I Sverige används armeringsstål enligt standarden SS-EN 10080 och tillämpningsstandard SS 212540. Vanligaste lagerförda armeringstyperna i Sverige är K500C-T för stänger och NK500AB-W för nät.

8 Livslängden för vattenverkskonstruktioner

En konstruktions livslängd kan definieras på olika sätt, exempelvis med avseende på dess funktionsduglighet eller dess ekonomiska livslängd. Vid projektering enligt gällande standard (Eurokod) så definieras livslängden (kallad teknisk livslängd i rapporten) för ett bärverk (pelare, reglar, fackverk, balkar och så vidare) som;

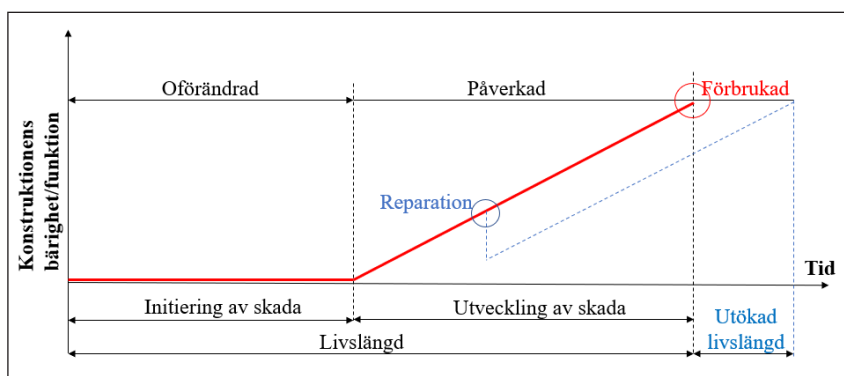
”antagen tidsperiod för vilken ett bärverk eller en del av det ska användas för sitt avsedda ändamål med förväntat underhåll men utan att större reparationer är nödvändiga”.

För att uppnå konstruktionens dimensionerade och förväntade livslängd kan det därför vara nödvändigt att utföra både löpande underhåll och mindre reparationer.

Vid projekteringen är det främst bärförmågan, beständigheten och brukbarheten som behandlas. Bärverk skall dimensioneras så att nedbrytningen under den avsedda livslängden inte försämrar funktionen mer än vad som kan förväntas när det gäller miljöbetingelser och nivån på underhåll.

Bärförmågan i en konstruktion beräknas med olika säkerhetsfaktorer. Exempelvis baseras dessa på de laster konstruktionen utsätts för, men också den eventuella risken för personskador. Dessa säkerhetsfaktorer resulterar i att bärverk ofta kan hantera betydligt mer last än vad som de är dimensionerade för.

En konstruktions livslängd kan beskrivas med hänsyn till armeringskorrosionen i en initieringsfas av nedbrytningsmekanismer och en propageringsfas, Tuutti (1982). Modellen kan appliceras för exempelvis ett bärverk där en viss reduktion av bärförmåga tillåts, se Figur 8.1.



Figur 8.1 Schematisk modell av livslängd, fritt efter Tuutti (1982). Med tiden försämrar konstruktionens funktion för att till slut vara förbrukad, vilket visas i rött. Om reparation utförs på konstruktionen kan dess livslängd förlängas, vilket visas i blått.

Med andra ord; livslängd är den vid dimensioneringen förväntade tid då konstruktionen med normalt underhåll uppvisar erforderlig funktionsduglighet.

För byggnadsverksdelar som är åtkomliga för inspektion och underhåll skall den dimensionerande livslängden vara 50 år.

För byggnadsverksdelar som inte är åtkomliga för inspektion och underhåll skall den dimensionerande livslängden vara 100 år eller mer.

Idag prospekteras för att bygga vattenverkskonstruktioner med en dimensionerande livslängd på minst 150 år.

9 Reparationsmetoder vid underhåll av vattenverk

I vattenverk renas och behandlas råvatten till dricksvatten. De vanligaste behandlingsstegen för ytvatten är silning, kemisk fällning, filtrering, alkalisering och uv-bestrålning. De huvudsakliga filtreringsstegen består av snabbfilter och långsamfilter, där snabbfilter oftast är placerade inomhus medan långsamfilter är placerade utomhus. Reningsprocessen för grundvatten är enklare där filtrering för avskiljning av järn och mangan samt uv-bestrålning är de vanligaste reningstegen.

I vattenverk samlas vattnet i bassänger, nästan uteslutande tillverkade av betong. Betong är ett mycket beständigt material och har det tillverkats enligt gällande standarder kan materialet hålla under många decennier i ett vattenverk. I vattenreningsprocessen finns det dock ett antal faktorer som med tiden kan bryta ned betongmaterialet. Dessa faktorer som bland annat beror på vattenreningsprocessen kan vara kemiska, mekaniska såväl som fysikaliska.

Det är viktigt att bassängen är tät, dels för att bevara funktionen som vattencistern, dels för att inte tillåta vatten att tränga genom konstruktionen. Detta kan leda till ytterligare skador vilka kan påverka vattenverkets avsedda funktion och bärförmåga. För att säkerställa vattenverkets funktion och krav på beständighet är det därför viktigt att begränsa sprickbildning, urlakning och andra typer av angrepp vilka då kan orsaka ytterligare skador.

En tidigare SVU-rapport beskriver de betongskador som kan uppstå i vattenverk (Jacobsson, 2016). Arbetet går igenom de skador som förekommer på betongen längs med vattenreningsprocessen i vattenverk.

Den europeiska standarden SS-EN 1504 Betongkonstruktioner – Produkter och system för skydd och reparation, består av 10 delar där varje specifik del omfattas av ett separat dokument. SS-EN 1504 hjälper ingenjörer, entreprenörer och materialproducerande företag som ansvarar för specifikationerna. Den ger även beställare och byggherrar ökad trygghet i alla frågor som rör reparation och skydd av betong. Del 9: Allmänna principer för val av produkter och system behandlar de övergripande huvudmomenten i reparationsprocessen.

9.1 *Bedömning av konstruktionens tillstånd*

En bedömning av en konstruktions tillstånd kallas för tillståndsbedömning och beskrivs ingående i SVU-rapporten Underhållsplan för betongkonstruktioner i vattenverk (Jacobsson et al., 2019).

Syftet med en tillståndsbedömning är dels att utreda orsakerna till skadorna som uppstått, dels att fastställa den nuvarande statusen för att lättare kunna välja lämpliga reparationsmetoder för konstruktionen.

Det första steget i en tillståndsbedömning syftar till att få en översiktlig utvärdering av skadans/skadornas omfattning. Här görs anteckningar om skadetyper, omfattning och uttag av prover. Det är även lämpligt att dokumentera observationerna med fotografier. Därefter kompletteras undersökningen med en mera ingående besiktning samt provtagning. Det är viktigt att bedömningen av det funktionella tillståndet alltid utvärderas av en utbildad utredare som har kunskaper och erfarenhet gällande nedbrytningsmekanismer, typiska skadetyper och reparationsmetoder.

9.2 Målsättningen för skydd och reparation

Målet med att skydda och reparera en vattenverksbassäng bör tydliggöras. Målsättningen kan exempelvis vara att säkerställa funktionen för vattenverket i ytterligare 20 år och därmed skjuta upp byggnation av ett nytt vattenverk. Se kapitel 8 och 9.8 om livslängd.

9.3 Val av princip för skydd och reparation

Valet av reparationsmaterial och reparationsmetod kommer att bero på valet av princip för skydd och reparation. I standarden SS 1504-9:2008 anges allmänna principer för användning av produkter och system vid nedbrytning av betong:

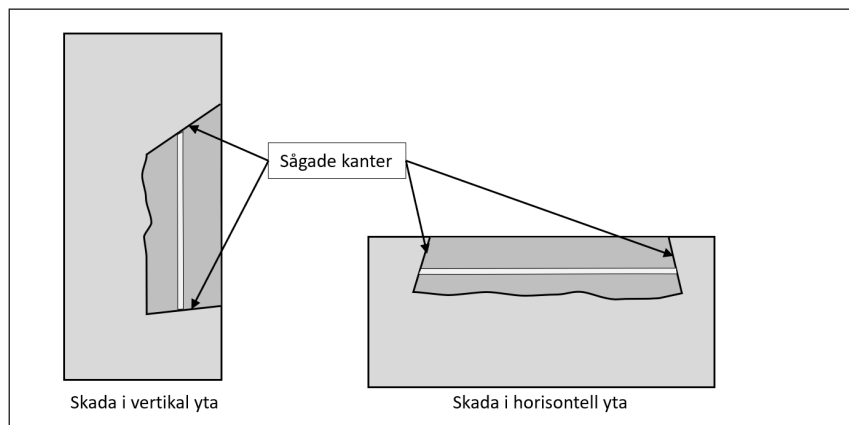
- *Skydd mot inträngning* – motverkan av inträngning av vatten och biologiska ämnen i betongen.
- *Fuktkontroll* – justering och upprätthållande av fukthalten i betongen inom specificerade värden.
- *Reparation av betong* – Renovering av den ursprungliga betongen på en konstruktion till den form och funktion som från början specificerats. Renovering av betongkonstruktionen genom att byta ut delar av den.
- *Förstärkning* – ökning eller återställning av bärförmågan hos ett element i betongkonstruktionen.

9.4 Förberedande arbeten inför reparation

Det är viktigt att all skadad betong avlägsnas innan reparation påbörjas. Anledningarna till detta är flera. Betong med förhöjd porositet (exempelvis urlakad betong) kan inte längre motverka inträngning av vatten. Genomgående sprickor i betong kan leda vatten genom konstruktionen. Skadad betong kan leda till nedsatt bärförmåga. Skadad betong med hög kloridhalt, betong som karbonatiserat och betong som har varit utsatt för frost bör ses som skadad betong och skall alltid avlägsnas och där efter repareras.

Hur mycket betong som ska tas bort kan beroende på skadans omfattning och art bedömas okulärt eller genom bomknackning. Bomknackning är en mekanisk metod där man med hjälp av en hammare lokaliserar håligheter och defekter i betong. I andra fall måste mer avancerade undersökningar utföras.

När den skadade betongen innehåller armeringsjärn bör även betongen bakom armeringen avlägsnas, se Figur 9.1. Detta är speciellt viktigt för att tillgodose att armeringen blir helt kringgjuten så att erforderlig vidhäftning samt att bra korrosionsskydd uppnås. Normalt avverkningsdjup bakom armering är minst 20 mm eller max stenstorlek + 5 mm.



Figur 9.1 Principfigur för utseende efter sågning och bilning i konstruktion. Vinklarna för de sågade ytorna är starkt överdrivna.

Lös och skadad betong avlägsnas bäst genom vattenbilning alternativt med lätt handbilning in till den icke skadade betongen. För att säkerställa att all skadad betong har avlägsnats samt för att ge reparationsmaterialet nödvändig mekanisk förankring mot befintlig konstruktion är viktigt att avlägsna mer betong än vad skadorna utgör.

Reparationsområden skall begränsas med sågade lagningsgränser som är minst 25 mm djupa. Lagningsgränserna ska lutas något inåt mot skadan så att reparationen får extra mekanisk infästning, se Figur 9.1. Dock är det viktigt att inte luft fångas inuti lagningen. Vid lagningar av vertikalt lig-gande ytor skall sågning göras så att kanten istället lutar utåt så att eventu-ell luft i reparationsbetongen kan leta sig ut. Luftbubblor inne i en lagning försämrar både vidhäftning och beständighet.

Innan skadad betongen avlägsnas ska arbetsområdet spärras av så att betongrester inte kan kontaminera vattenproduktionen.

9.4.1 Vattenbilning

Vattenbilning är en metod som används för att ta bort skadad betong. Med tryck på över 1 000 bar pumpas vatten till en specialkonstruerad robot, se Figur 9.2. Roboten omvandlar vattentrycket till en precisions-stråle som träffar betongens yta som då bilar då bort den skadade betongen. Kvar blir en ren, skrovlig betongyta som medger god vidhäft-ning till materialet som gjuts mot ytan. Fördelen med vattenbilning är att metoden selektivt tar bort skadat material och samtidigt rengör arme-ringen från rost. Vattenbilning orsakar inte heller mikrosprickor i den friska betongen. Nackdelen är att vattenbilning ger mycket spillvatten och slam som enligt lag måste tas omhand.

Mindre områden kan bilas bort med hjälp av handhållen enhet, se Figur 9.3.



Figur 9.2 Vattenbilning med robot.



Figur 9.3
Vattenbilning som utförs för hand.

9.4.2 Mekanisk bilning

Mekanisk bilning sker ofta med kraftfulla maskiner vilka orsakar mycket mikrosprickor i den kvarvarande friska betongen, vilket inte är önskvärt vid reparationer. Vid större rivningsarbete då den närliggande betong inte ska återanvändas, är metoden tillsammans med sågning effektiv, se Figur 9.4. För mindre reparationer kan mekanisk handbilning med lätta maskiner användas då dessa inte orsakar lika mycket mikrosprickor, se specifikationer i TK Bro 2004 avsnitt 101.521.



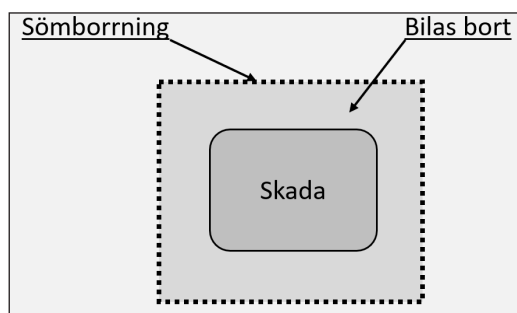
Figur 9.4 Mekanisk bilning kan användas vid rivning.

9.4.3 Sågning

Sågning är en effektiv metod för att avverka betong. Vid rivning kan med fördel de skadade delarna sågas av, vilka sedan kan lyftas bort. Sågsnitt kring lagningsområden gör även en avdelning så att mikrosprickor inte sprider sig till de friska konstruktionsdelarna som ska bevaras, se Figur 9.1.

9.4.4 Sömborring

Sömborring är ett alternativ till sågning och innebär att flertalet hål borras tätt efter varandra så att relativt skarpa och avgränsade ytor erhålls, se Figur 9.5. Därefter kan den skadade betongen innanför ”sömmarna” avlägsnas genom bilning.



Figur 9.5 Sömborring innebär att flertalet hål borras tätt efter varandra runt det skadade området.

9.4.5 Rivning av väggdel

Om konstruktionen bedöms som så dålig att den inte kan lagas lokalt, kan den översta delen avlägsnas genom sågning. Sågning rekommenderas för att undvika mikrosprickor samt för att skydda den befintliga armeringen i den kvarvarande konstruktionen.

9.4.6 Rengöring av betongyta

Underlaget skall vara fritt från damm, löst material, föroreningar och andra material som kan reducera vidhäftningen eller förhindra reparationsmaterialens sugning eller vätning. Metoder som rengör är sugning, högtryckstvätt eller blästring.

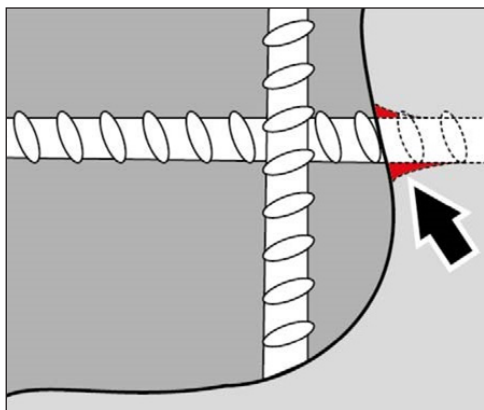
Om inte rengöringen sker omedelbart före appliceringen av skydd- och reparationsmaterialen ska det rengjorda underlaget skyddas mot ny nedsmutsning.

9.4.7 Rengöring och komplettering av armering

När skadad betong är avlägsnad skall armeringen kontrolleras. All armeringskorrosion skall avlägsnas. De rengjorda järnen ska minst uppfylla kraven för Sa 2 ½ enligt Rostgradsboken ISO 8501-1:2007.

Armering där tvärsnittsytan har minskat med mer än 20 procent kompletteras eller byts ut med erforderlig skarvlängd. Skarvlängden kan bli ganska lång för grova armeringsjärn (32 mm). Upp mot ca 1,5 m på varje sida av skarven kan behöva avverkas. Detta medför att mycket mer betong behöver avlägsnas än vad den ursprungliga skadan omfattade. Vidare är det

viktigt att säkerställa att den befintlig armeringen inte har vibrerat loss från konstruktionens kvarvarande betong, se Figur 9.6.



Figur 9.6 Förstöring av dolt utrymme kring armeringsjärn som vibrerats loss vid betongborttagning. Figur från Landin 2019.

9.4.8 Konditionering av lagningsytan

Före lagning med betong eller lagningsbruk ska den motgjutna betongen vattnas. Vattenbehandlingen avbryts när betongen inte längre absorberar vatten. Fritt vatten får inte förekomma på ytan när gjutning sker. Konditionering innebär förutom vattning, att konstruktionens temperatur konditioneras till lägst +5 °C.

Vidhäftning mellan underlaget och den påförda betongen är mycket viktig. De ytor som kommer i kontakt med lagningsbruket måste vara rena (fria från partiklar), ytråa och utan synliga sprickor. Dålig vidhäftning kan leda till att bompartier (luftfickor i betongen) uppstår. För att få god vidhäftning mellan befintlig betong och reparationsbruk är det viktigt att följa den tekniska beskrivningen för det aktuella projektet.

Vidhäftningen kan ibland förbättras med hjälp av inslamning av kontaktytan med hjälp av en slamma med blandningsförhållande 1:1 à 1:2. Vct skall då vara högst samma som för pågjutningsbetongen. Inslamningsbruket arbetas in i underlaget genom kraftig borstning. Pågjutningen ska utföras innan bruket har torkat ut. Om pågjutningsbetongen är armerad kan det dock vara svårt att slamma in ytan på ett tillfredsställande sätt.

9.4.9 Säkerhet och hygienkrav

Eftersom vatten är ett livsmedel krävs alltid god hygien vid betongarbeten. Förorenade verktyg och redskap får inte användas på området utan särskild tillåtelse. Särskild aktsamhet krävs vid hantering av kemikalier eller andra vätskor som kan krävas för att utföra vissa arbetsmoment.

9.5 Återlagning

Det är viktigt att använda reparationsbetong som fungerar väl tillsammans med den befintliga betongen. Exempelvis bör tryckhållfasthetsklassen för de båda betongerna vara ungefär desamma. Reparationsmaterialet måste vara frostbeständigt, ha låg krympning, vara lättarbetat, slitstarkt och ha bra sammanhållning.

Det är också viktigt att vidhäftningen mellan reparationsmaterialet och den gamla betongytan har låg vattenpermeabilitet. Den gamla betongen skall vara färdigkrympt medan den nya inte får ha påbörjat sin krympning. Därför är det viktigt att reparationsbruket har så liten krympning som möjligt. Exempel på betong som krymper minimalt är expanderbetong.

I de fall genomgående hål finns i vägg fästs lämpligen ett svällband på den befintliga betongen innan återgjutning sker, se Figur 9.7. Svällband är tänkta att minimera uppkomsten av läckage i gjutskarvar.



Figur 9.7 Svällband monterat på nygjuten och genomgående betongskarv. Här fäst med montagenät och expanderspik.

Återlagning i område där skadad betong har avlägsnats sker antingen genom formgjutning eller genom påförandet av sprutbetong. Enskilda sprickor återfylls genom injektering. Nedan följer översiktlig beskrivning på rekommenderade reparationsmetoder.

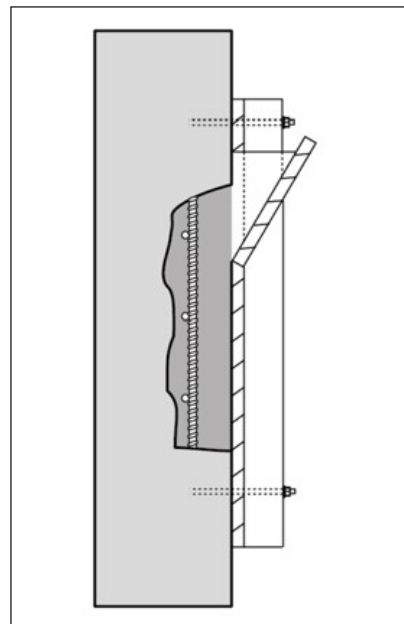
9.5.1 Formgjutning

En del lagningar kräver formsättning. Användning av formar specifikt för lagning av betongkonstruktioner innebär att arbetet måste planeras noggrant samt att mer arbete och material erfordras än vid ordinär formsättning. Formen ska ansluta till befintlig betong så att lagningsgränserna blir utseende- och funktionsmässigt godtagbara, se Figur 9.8. Formen måste vara tillräckligt styv så att den inte deformeras på grund av formtrycket.

Den tillsatta betongens konsistens bör vara lättflytande och lös eftersom möjligheter för ifyllnad och bearbetningsmöjligheterna i formen är begränsade. Ett lågt vct bör samtidigt eftersträvas då det ger en tätare betong som i sin tur ger reparationen en längre livslängd. Andra egenskaper som bör eftersträvas på betongen är minimal krympning och så liten vattenseparation som möjligt. Därför är tillsatsmedel ofta nödvändiga vid formgjutning.

Stenstorleken får väljas efter gjutningsmöjligheterna, men i regel kan denna väljas till $\frac{1}{4}$ av lagnings tjocklek.

Eftersom väder och temperatur har effekt på gjutresultatet får betongkonstruktionen inte vara för kall. Om så är fallet riskerar den nygjutna



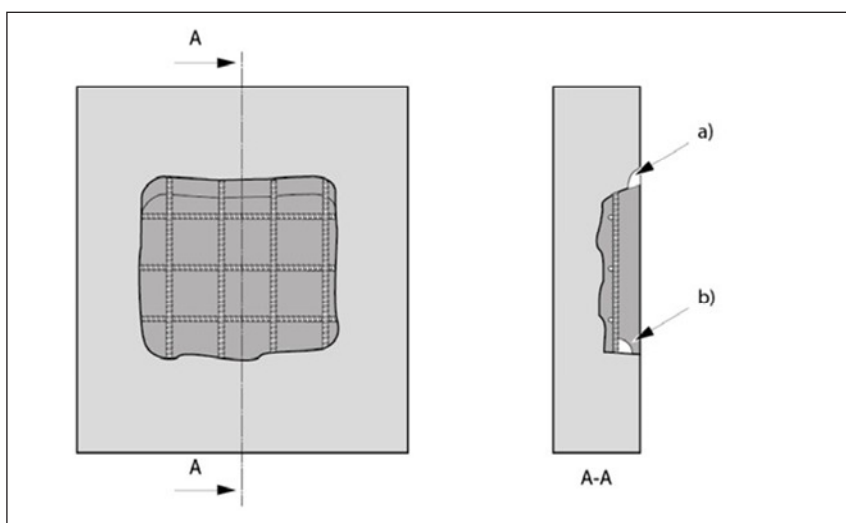
Figur 9.8
Exempel på formsättning med påfyllningstratt för gjutning av hål i vägg.

betongen kylas ner för fort och skador kan uppstå i den nya betongen. Likaså kan gjutning vid varmt väder torka ut betongen för snabbt, varför den ursprungliga ytan bör skuggas eller kylas innan gjutning.

9.5.2 Sprutbetong

Sprutbetong används idag ofta vid betongreparationer efter att skadad betong har avlägsnats. Ballasten brukar vara 0–8/11 mm. Betong som ska sprutas kan dock inte proportioneras med vanlig metod.

Ska hålet återfyllas med sprutbetong är inte kanterna så känsliga som vid formgjutning, då sprutbetong oftast förs på i tunnare skikt och med högt tryck. Kanterna på hålet ska dock eftersträva en lutning på 60–90 grader mot armeringen, se Figur 9.9. Vid applicering av sprutbetong i övrigt se Sprutbetonghandboken (Elforsk).



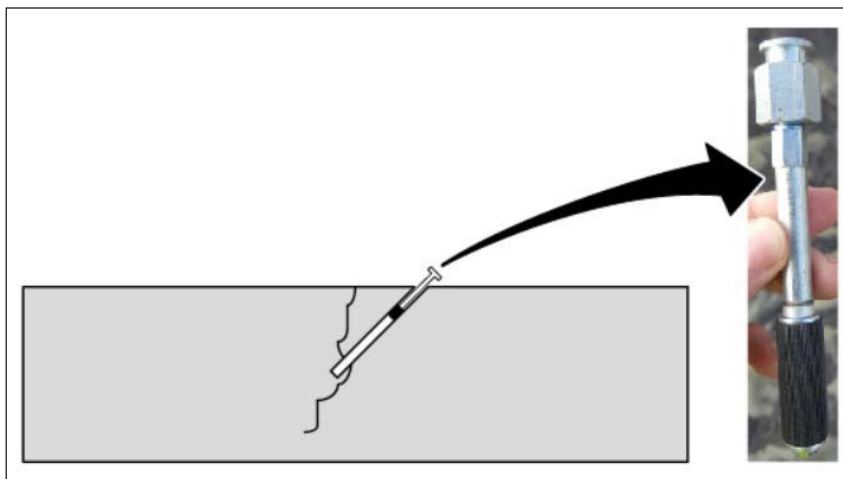
Figur 9.9 Hål i en vertikal vägg. Till vänster: Hål framifrån. Till höger: Sektion på hål. Vinkel $a = 90\text{--}135^\circ$. Vinkel $b = \sim 90^\circ$.

9.5.3 Spricklagning

Om en mindre spricka finns i en betongkonstruktion, vilken för övrigt är i gott skick, kan en sådan tätas genom injektering med en livsmedelgodkänd plast- eller cementlösning. Viktigt är att sprickan har avstannat i sin vandring. I annat fall kommer fortsatta rörelser spräcka upp lagningen och sprickan återkommer.

Vid injektering pumpas injekteringsmassan in i sprickan med hjälp av en injekteringsnippel som borrar in i konstruktionen med ett avstånd på 100–500 mm, se Figur 9.10. Vid sprickor med en sprickvidd på 0,2–3 mm används lämpligen en livsmedelsgodkänd plastinjektering. Vid sprickvidder på 3–10 mm används lämpligen cementinjektering. Sprickor med större brädd än 10 mm tätas med cementbruk.

Observera att injekteringsarbete i betong kräver stor erfarenhet och bör därför endast utföras av injekteringsspecialist.



Figur 9.10 Injekteringsnippel placerad i borrar hål genom sprickan i betongen.

9.5.4 Ytreparation

Ytreparation av sprickor bör inte utföras om sprickan är genomgående. Sprickor bör endast lagas genom ytreparation från den trycksatta sidan och om sprickans rörelse har avstannat. Likaså bör metoden endast användas om säkerheten gällande livsmedelkrav är uppfyllda.

9.6 Principiellt förfarande

Val av reparationsmetod beror på skadans typ och dess omfattning. I Tabell 9.1 presenteras de vanligaste skadetyperna och rekommenderade åtgärder.

Tabell 9.1 Principiellt reparationsförfarande utifrån skadetyper.

Skadetyper	Principiellt förfarande
Urlakning	1. Vattenbila bort dålig betong 2a. Skapa nytt ytskikt med sprutbetong - Alternativt 2b. Formsättning om täcksiktet är lågt 3b. Gjutning
Delaminering, spjälkning	1a. Knacka bort dålig betong - Alternativt 1b. Vattenbila bort dålig betong 2a. Formsättning om så behövs 3a. Gjutning - Alternativt 2b. Skapa nytt ytskikt med sprutbetong
Horisontella sprickor	1. Fräsning av spår vid sprickan 2a. Liten horisontell spricka - fyll sprickan med slurry 2b. Större horisontell spricka - fyll sprickan med betong
Vertikala sprickor	1. Fräsning av spår vid sprickan 2. Formsättning 3a. Liten vertikal spricka - fyll formen så att sprickan fylls med slurry 3b. Stor vertikal spricka - fyll formen så att sprickan fylls med betong

9.6.1 Härdning och skydd

Härdning och skydd enligt härdningsklass 4, enligt SS EN 13670:2009. Använd plastskydd eller vattendimma.

Vattenhärdning är normalt viktigare vid reparation jämfört med vanlig gjutning. Vid användning av gjutform ges ett naturligt skydd mot uttorkning. I annat fall bör en folie läggas över eller så ska någon form av bevattning ske på ytan.

Membranhärdning innebär att betongytan påstryks eller sprayas med en vätska vilken sluter betongytan så att avdunstning inte kan ske. Membranhärdning ska inte användas för betong som kommer att vara i kontakt med dricksvatten då dessa kemikalier kan kontaminera dricksvattnet.

9.6.2 Slitskikt

Beroende på vilken säkerhet som vill uppnås på reparationen och på hur tjockt täckskiktet är utifrån vald exponeringsklass så kan ytterligare ett lager av cementslamma med lågt vct appliceras och/eller impregnering i form av ett slitskikt. Detta skikt gör även att bassängväggen får en jämnare yta så att eventuell biologisk påväxt motverkas.

9.6.3 Noggranna instruktioner

Innan reparation påbörjas är det viktigt att det finns noggranna bruksanvisningar och att dessa följs. Det är också viktigt att förvissa sig om att den personal som ska utföra arbetet har rätt kompetens samt att de har förstått tillvägagångssättet för den aktuella reparationen.

9.6.4 Krav på kompetens

I SS-EN 1504 - A9.1 anges att ”Personal som utför skydds- och reparationsarbeten bör ha lämplig erfarenhet och om möjligt ha skriftliga bevis på sin kompetens”. Detta realiseras med utbildning i Betong klass I och II enligt SS-EN 13670:2009 och SS 137006:2015. Klass I är den högsta klassen och krävs för bland annat vid gjutning och reparation med vattentät betong, sprutbetong och betong som ska vara frostresistent.

9.6.5 Kontroll

Utöver den egenkontroll som entreprenören gör bör även kontroll av reparationsarbeten utföras av extern expert. Med extern kontrollant kan kvalitén på reparationen höjas avsevärt. Särskilt viktigt är att kontroll utförs av:

- Tillräcklig avverkning av skadad betong
- Rengöring innan gjutning med betong eller sprutbetong
- Skarvlängder armering

9.7 Mindre lämpliga reparationsmetoder

Livslängden på en renovering påverkas av dess omgivning, valet av reparationsprodukt och inte minst av reparationsmetod, underlaget, utformningen och det hantverksmässiga utförandet. Om det hantverksmässiga utförandet är undermåligt eller om felaktiga reparationsmaterial används finns det stor risk för att lagningen inte blir hållbar, vilket kan leda till nya och kostsamma reparationer. Se Tabell 9.2 för åtgärder vid problem under reparationsfasen.

Tabell 9.2 Schematisk tabell för problematik kring reparationsåtgärder för betongkonstruktionen.

Problematik	Orsak	Principiellt förfarande	
Tätskikt som applicerats vid reparation har släppt.	-Dålig vidhäftning. -Fel tätskikt. OBS! Det är mycket svårt att fästa icke-cementbaserade tätskikt permanent på betong som är i kontakt med vatten.	1. Avlägsna icke fungerande tätskikt.	2. Applicera nytt cementbaserat material (tätskikt, betong, täcksikt, puts) baserat på • momenten i SS-EN 1504-9:2008, • materialtillverkarens råd och riktlinjer, och • anvisningar för reparationsmetoden.
Betong som applicerats vid reparation har släppt.	-Dålig vidhäftning. -Felaktig betong/fel i sammansättningen.	1. Avlägsna felaktig betong.	
Täckskikt, puts som applicerats vid reparation har släppt.	-Dålig vidhäftning. -Fel täcksikt, puts.	1. Avlägsna icke fungerande täcksikt.	

Det har blivit allt vanligare att applicera olika sorters tätskikt på betong i vattenverk. Denna typ av tätning fungerar normalt inte som permanent lösning, då det är svårt att få ett tätskikt att fästa ordentligt på ett betongunderlag. Ofta beror detta på att det finns vatten inuti betongen, som på sikt skapar ett bakomliggande tryck vilket kan få tätskiktet att släppa från den befintliga ytan. Sådana skador uppstår ofta fläckvis, se Figur 9.11.



Figur 9.11 Applicering av tätskikt på befintliga betongkonstruktioner kan leda till att tätskiktet lossnar. Ofta sker detta i form av vattenfyllda blåsor.



Figur 9.12 Vid rivning kan betong krossas med gripklor. Metoden är dock inte lämplig om delar av konstruktionen skall renoveras.

Avverkning med pneumatiska gripklor som krossar betongen, se Figur 9.12, är inte en lämplig metod att avlägsna betong, då metoden orsakar nya sprickor i den befintliga betongen, vilket i sin tur förkortar den repareerade konstruktionens livslängd avsevärt.

9.8 Livslängd för reparationer

Livslängden för olika typer av reparationer går att uppskatta utifrån erfarenhet och kunskap. Det är viktigt att bestämma målet med en reparation redan i planeringsstadiet i form av vilken livslängd som krävs för konstruktionen. Tabell 9.3 är en sammanställning av RISE:s erfarenheter där uppskattade livslängder för respektive reparationstyp redovisas.

Tabell 9.3 Uppskattad livslängd för respektive åtgärd.

Åtgärdsprincip	Åtgärd	Uppskattad livslängd
Lagning	Genom att "lappa och laga" betongskador, kan en konstruktions livslängd påverkas negativt	1-5 år
Reparation	Förlänga livslängden temporärt genom reparation av enstaka konstruktionsdelar	15-20 år
Renovering	Återställa till nyskick genom att gjuta om flera konstruktionsdelar	~50 år
Nybyggnation	Riva konstruktionen och bygga ny	~100 år

10 Standarder, handböcker och rapporter

Det finns en stor mängd standarder inom området anläggningsmaterial. De spelar en viktig roll för tillverkning, hantering och användning av olika material. Dessa har utvecklats genom samarbete mellan producenter, konsumenter och myndigheter över lång tid.

Det svenska standardiseringsarbetet leds av SIS, Swedish Standards Institute, som också ger ut de svenska standarderna. SIS representerar Sverige i det internationella standardiseringsarbetet som drivs av ISO, International Organization for standardization och den europeiska motsvarigheten CEN, Comité Européen de Normalisation.

En europastandard (EN xxxxx) blir automatiskt en nationell standard i alla EU:s medlemsländer. I Sverige blir beteckningen SS-EN xxxxx.

Europastandarderna för bärverksdimensionering (eurokoderna) samordnar de europeiska ländernas beräkningsregler och kravnivåer. De är en förutsättning för en effektivt fungerande internationell byggmarknad och ett medel för att nå ett framgångsrikt konstruktionsarbete.

Standardiseringsarbetet och standarderna är indelade i ämnesområden där varje område utgör ett projekt som drivs av en teknisk kommitté. Kommitténs arbete utförs av intresserade parter som tillsammans tar fram standardens text och även genomför regelbundna uppdateringar av texten. Inom europastandardiseringen benämns kommittén CEN/TC yyy och i de olika EU-länderna finns nationella s.k. spegelkommittéer (exempelvis SIS/TK yyy)

10.1 **SS-EN 1504 Betongkonstruktioner - Produkter och system för skydd och reparation**

Den europeiska standarden SS-EN 1504 består av 10 delar där varje specifik del omfattas av ett separat dokument. SS-EN 1504 är en resurs för ingenjörer, entreprenörer och materialproducerande företag som ansvarar för specifikationerna. Den ger även beställare och byggherrar ökad trygghet i frågor som rör reparation och skydd av betong.

- SS-EN 1504 - 1 Formuleringar och definitioner i standarden
- SS-EN 1504 - 2 Specifikationer för ytskyddsprodukter och -system för betong
- SS-EN 1504 - 3 Specifikationer för konstruktiva och estetiska reparationer
- SS-EN 1504 - 4 Specifikationer för konstruktiv förstärkning
- SS-EN 1504 - 5 Specifikationer för betonginjektering
- SS-EN 1504 - 6 Specifikationer för förankringsprodukter
- SS-EN 1504 - 7 Specifikationer för skydd mot armeringskorrosion

- SS-EN 1504 - 8 Kvalitetsstyrning och utvärdering av överensstämmelse för producenterna
- SS-EN 1504 - 9 Allmänna principer för användning av material och system för reparation och skydd av betong
- SS-EN 1504 - 10 Information om användningen av produkter och system samt kvalitetskontroll av utfört arbete

10.2 Standarder för ballast i betong

Inom ballastområdet finns ett 70-tal produktstandarder och metodstandarder vilka klassificerar ballastmaterial efter ursprung. Dessutom finns diverse undergrupper för varje ursprung. Produktstandard är en standard som beskriver vilka krav som en viss produkt eller ett visst material ska uppfylla för ett visst användningsområde. Metodstandard är en standardiserad testmetod som används för att bestämma eller verifiera egenskaperna hos en produkt eller ett material.

För standarderna ansvarar European Committee for Standardization (CEN/TC 154). I Sverige finns SIS/TK 187 Ballast.

Egenskaperna hos ballast och filler exempelvis geometri och fysiska egenskaper behandlas i SS-EN 12620+A1:2008, som också är den viktigaste standarden för ballast i betong.

Ämnesområden relevanta för vattenverkskonstruktioner i betong

- CEN/TC 351; SIS/TK 497 - Avgivning av farliga ämnen från bygg- och anläggningsprodukter
- CEN/TC 154; SIS/TK 187 - Ballast
- ISO/TC 71; CEN/TC 104; SIS/TK 190 - Betong
- ISO/TC 71; CEN/TC 250; SIS/TK 556 - Betongkonstruktioner
- ISO/TC 71; CEN/TC 104; SIS/TK 192 - Betongreparationer
- CEN/TC104; SIS TK/190 - Tillsatsmedel i betong
- CEN/TC 51; SIS/TK 185 - Cement och byggkalk
- CEN/TC 229; SIS/TK 191 - Förtillverkade betongprodukter
- CEN/TC 292 + 308 + 345; SIS/TK 535 - Karakterisering av avfall, mark och slam
- CEN/TC 178; SIS/TK 201 - Markbeläggingsprodukter
- ISO/TC 179; CEN/TC 125 + 177 + 250; SIS/TK 180 - Murverk och puts
- CEN/TC 178 + 246; SIS/TK 158 - Natursten
- CEN/TC165; SIS/TK198 - Vatten-och avloppsystem

10.4 Viktiga betongstandarder

- SS-EN 206, Betong - fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse, senaste utg. 2013
- SS137003 *Användning av EN 206 i Sverige*, senaste utgåva 2015

- SS-EN 1992 Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner, senaste utg. 2005
- SS-EN 13670 *Betongkonstruktioner - Utförande*, senaste utgåva 2009
- SS137006 Betongkonstruktioner - Utförande - Tillämpning av SS-EN 13670:2009 i Sverige, senaste utg. 2015

10.5 Myndighetsföreskrifter

- Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder); senaste utgåva BFS 2015:6-EKS10 (EKS)
- Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av eurokoder, TSFS 2018:57

10.6 Handböcker och rapporter

Titel	Utgivare	Utgiven	Kommentar
Betonghandboken Del 1	Svensk byggtjänst	2017	Material
Betonghandboken Del 2	Svensk byggtjänst	1997	Arbetsutförande
Betonghandboken	Svensk byggtjänst	1990	Konstruktion
Betonghandbok.	Svensk byggtjänst	1988	Reparation
Vägledning för val av exponeringsklass enligt SS-EN 206 Betongrapport nr 11	Svenska Betongföreningen	2016	17 rapporter om olika aspekter av betong.

11 Kommentarer om eventuella skadliga ämnen i dricksvatten

11.1 *Utspädningseffekten*

I ett vattenverk flödar stora mängder vatten kontinuerligt igenom bassänger av betong. Mängden flygaska, slagg eller tillsatsmedel i betong, i förhållande till betongkonstruktionens vikt och volym är normalt väldigt liten. Kontaminering av vattnet som rinner genom betongkonstruktionen med eventuellt skadliga ämnen från betongen kan ske genom att betongen urlakas och eroderar i vattnet. I en tät betong sker denna erosion och urlakning mycket långsamt. Med det stora flöde som förekommer i vattenverk blir den möjliga kontamineringen av ett eventuellt skadligt ämne mycket liten.

Nedan följer dock en genomgång av betongens beståndsdelar med fokus på ämnen som teoretiskt skulle kunna innebära en skada på vattenkvalitén.

11.2 *Ballast*

För strålning från ballast har det tagits fram ett antal tekniska rapporter vilka troligen kommer att bli standarder. Dessa rapporter handlar om mätningen av strålning på byggprodukter i labb samt definition av ett ”modellrum” för mätning av strålning inomhus.

För att undvika att skadlig ballast används skall alltid standardiserade tester utföras på den ballast som skall användas i en betongkonstruktion i ett vattenverk. Vidare bör ballastens ursprung jämföras med kända geografiska områden där skadliga mineral kan förekomma.

Bästa sättet att undvika att farlig ballast används är att följa rådande standarder och tester innan man tar beslut om vilken ballast som skall användas.

Om ovanstående råd/lagar följs och man beaktar de stora vattenvolymer som passerar genom en vattenverksbassäng och det minimala slitaget som uppstår i form av erosion och lakning över tid, bedöms den negativa påverkan som en eventuellt skadlig ballast skulle kunna ha på ett dricksvatten, vara försumbar.

11.3 *Cement*

Cement hydratiserar och binder hårt mot de andra materialen i betong. För att dessa bindningar skall lösas krävs låga pH-värden och låg alkalinitet. I vattenverk används sura fällningsmedel vilka i kombination med vattenrörelsernas erosion, på lång sikt löser och transporterar bort cementet ur betongen. Alkaliniteten i vattnet beror till största delen på råvattnets ursprungliga kemi.

Erfarenhetsmässigt vet vi att en betongyta med hög betongkvalitet tillverkad av en tät betong med lågt vct kan motstå upplösning i åtskilliga decennier. Urlakningen av cementpasta i ett vattenverks betongväggar är mycket långsam, vidare är mängden farliga ämnena i den ursprungliga cementpastan mycket liten, jämför tabeller 4.5 och 11.1. Samtidigt är mängden vatten som rinner genom ett vattenverk mycket stor. Det bör därför vara osannolikt att i det färdiga dricksvattnet ens kunna detektera något av de ämnen som härrör från den ursprungliga betongkonstruktionens cementpasta (Neville, 2001).

Tabell 11.1 Begränsande värden för några ämnen i dricksvatten.
Källa: Neville (2001).

Kemisk beteckning	Benämning	Riktvärde (ppm)	Maxvärde (ppm)
Al	Aluminium	0,05	0,2
K	Kalium	10	12
Na	Natrium	20	150
Ca	Calcium	100	
NO ₃ ¹⁻	Nitrat	25	50
SO ₄ ²⁻	Sulfat	25	250
As	Arsenik		0,05
Hg	Kvicksilver		0,001

11.4 Tillsatsmaterial

Generellt sett innehåller både flygaska och slagg resthalter av metaller och en mängd komplexa restprodukter från förbränning/tillverkningen. Därför borde flygaska så väl som slagg bedömas vara olämpliga i betongkonstruktioner för dricksvatten. Men som kan ses i Tabell 4.5 är mängden av dessa ämnen likartad och i vissa fall även lägre än de i cementet. Vidare får inte all slagg och flygaska användas som tillsatsmaterial i betong. Sammantaget bör den ökade tillsättandet av flygaska och slagg inte öka mängderna av dessa ämnen mer än vad det ursprungliga cementet gör.

11.5 Vatten

Vatten från de flesta rena vattentäkter kan användas för betongtillverkning. Dock skall alltid kontroll av vattnets kvalitet utföras innan det används för betongtillverkning.

11.6 Tillsatsmedel

Det finns en stor mängd olika tillsatsmedel på marknaden vilka består av olika substanser. Nedan följer en översiktlig genomgång av några av de substanserna i tillsatsmedel för betong som eventuellt kan ha en negativ inverkan på vattenkvaliteten om kontaminering skulle ske.

Flyttillsatsmedel kan innehålla bland annat naftalen och melamin. Naftalen är klassat som ett cancerframkallande ämne. Melamin är ett ämne som brukar ses som problematiskt i kombination med mat, vilket bland annat spjälkar formaldehyd. Tiocyanater som förekommer i vissa accelererande

tillsatsmedel kan genom sitt innehåll av cyanidjon vara problematiska, bland annat varierar giftigheten och stabiliteten med vilken mot-jon som används. Vissa retarderande tillsatsmedel innehåller borat i form av borax eller borsyra. Såväl borax som borsyra har reproduktionshämmande egenskaper och är klassade som utfasningsämnen.

För vissa grupper är det inte ämnena i sig som används utan det är sulfonerade melaminpolymerer eller dito naftalen och polykarboxylat, vilket innebär att det är olika plastpolymerer som tillsätts. Giftigheten i klassisk bemärkelse är annorlunda (och förmodligen lägre) än de olika utgångsämnen men kan eventuellt medföra andra problematiska miljö- och hälsoeffekter. Bidraget av micro/nanoplaster från denna källa torde dock vara försumbar.

Som framgår av resonemangen ovan finns det ämnen i vanligt förekommande tillsatsmedel som behöver undersökas närmare i avseende på lämplighet för betong i kontakt med dricksvatten. Det bör dock poängteras att eftersom halten tillsatsmedel är relativt låg i betong samt att vattenflödet genom betongkonstruktionerna i vattenverk är mycket högt så blir en eventuell kontaminering av dricksvattnet troligtvis väldigt låg.

12 Fortsatt forskning

Betong är ett välkänt och beprövat material med långsamt och litet sönderfall. I och med senare års inblandning av nya och mer specialiserade tillsatsmedel och tillsatsmaterial har dock osäkerheten ökat när det gäller dessa produkters inverkan på dricksvattenkvalitén. Hur nya tillsatsämnen och additiv påverkar livslängd och emissioner är inte heller undersökta.

Betongtillsatser innehåller såväl organiska som oorganiska ämnen. Detta gör att denna ämnesgrupp är mycket heterogen med avseende på ämnenas fysikaliska och kemiska egenskaper samt deras toxicitet och ekotoxicitet. Detta innebär att det är svårt att generalisera deras egenskaper med avseende på dess skadlighet mot vattenkvalitet.

RISE driver ett pågående forskningsprojekt som undersöker material i kontakt med dricksvatten. Resultat från denna studie är inte presenterade vid denna rapportens färdigställande. Naturvårdsverket har undersökt betongtillsatser för att hitta nya miljögifter. Konsultfirman Sweco gjorde en genomgång 2007 där det framkom att formaldehyd och några aminer (som etanolamin) var de mest problematiska ämnena.

Den fortsatta forskningen bör innefatta sammanställandet av de konstruktionsmaterial, reparationsprodukter, ytskikt och ytbehandlingar som används i direkt kontakt med dricksvatten.

Konsekvenserna av att använda syntetiska kompositer och plaster istället för cementbaserade material ur såväl hälso-, miljö- och livscykelperspektiv bör också utredas.

Vidare bör ett större och branschöverskridande projekt startas där vilka metoder som bäst lämpar sig för att renovera och vidmakthålla vattenverkskonstruktioner, både avseende konstruktionens bärförmåga och dess beständighet samtidigt som dricksvattnets kvalitet och säkerhet beaktas.

13 Referenser och förslag på litteratur

Admixtures.

<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB8505.pdf>

Dransfield, J.M. Leaching of admixtures from concrete.

<https://anfah.org/wp-content/uploads/pdf/articulo-tecnico-aes-9-leaching-of-admixture.pdf>

Fagerlund, Göran (1992). Betongkonstruktioners beständighet: en översikt (3:e upplagan) Cementa. <https://lucris.lub.lu.se/ws/files/5491335/4174176.pdf>

Betongreparation.se.

<http://www.betongreparation.se/>

Burström, Per Gunnar (2007). Byggnadsmaterial – Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper. Studentlitteratur AB. Lund.

Gälli, Mäder; Assessment of the Environmental Compatibility of Concrete VDZ, sammanställt av Achternbosch et al (2003).

Jacobsson, Mikael (2016). Betongskador i vattenverk. SVU-rapport 2016-18. http://www.svensktvatten.se/contentassets/cf8e0963f3a842cf834f-5824991b3c3c/svu-rapport_2016-18.pdf

Jacobsson, Mikael; Persson, Adam; Johansson, Gabriel; Herlin, Alexander; Yngvesson, Johan (2019). Underhållsplan för betongkonstruktioner i vattenverk. SVU-rapport 2019-15

Johansson, Lisen; Rod, Olivier; Elfström Broo, Ann; Berghult, Bo; Engdahl, Mats (2016). Underlag för val av material i kontakt med dricks-vatten. SVU-rapport 2015-24.

http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2015-24rev.pdf

Landin, Johan (2019). Renovering av betongkonstruktioner i vattenverk. Malmö universitet/Teknik och samhälle. <http://muep.mau.se/bitstream/handle/2043/28429/Johan%20Landin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Löfgren, Ingemar; Lindvall, Anders; Esping, Oskar (2017) STEN-FYLLNADSBETONG Mekaniska och beständighetsegenskaper - Etapp II. SBUF-projekt 12822 <http://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/71d6f57d-a7ae-4bae-ae60-8cb7f4ebe1fe/FinalReport/SBUF%2012822%20Slutrapport%20-%20Mekaniska-%20och%20best%C3%A4ndighetsegenskaper%20f%C3%B6r%20stenfyllnadsbetong%20Etapp%20II.pdf>

Naturvårdsverket, Miljöövervakningsenheten, Litteraturstudie om kemiska ämnen och nanopartiklar inför screening. 2007.

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:781907/FULLTEXT01.pdf>

SGUs årliga publikation ”Grus, sand och krossberg” 2017.

<http://resource.sgu.se/produkter/pp/pp2018-2-rapport.pdf>

Sprutbetonghandboken, Reparation (2009). Elforsk rapport 09:74. https://www.researchgate.net/profile/Erik_Nordstroem2/publication/312384188_Sprutbetonghandboken_in_Swedish/links/587ce15c08ae9a860ff0cfc5.pdf

Tuutti, Kyösti (1982). Corrosion of steel in concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm.

<https://lucris.lub.lu.se/ws/files/4709458/3173290.pdf>

14 Definitioner

Bärighet – ett tekniskt begrepp som anger den högsta last som kan accepteras med hänsyn till uppkomst av sprickor eller deformationer. En alternativ benämning är bärförmåga.

Bjälklag – en bärande byggnadsdel som från antingen över- eller undersidan avgränsar olika våningar i en byggnad.

Duktilitet – ett mått på ett materials förmåga att utsättas för plastisk deformation utan att sprickbildning uppstår.



Box 14057 • 167 14 Bromma

Tfn 08 506 002 00

Fax 08 506 002 10

svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se