

Sprickor i anläggnings- konstruktioner av betong

- Bakomliggande orsaker, bedömning
och möjliga åtgärder

Åsa Axén

ISRN: LUTVDG/TVBM--14/5096--SE (96)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola
Byggnadsmaterial
Box 118 221 00 LUND

www.byggnadsmaterial.lth.se

Sammanfattning

- Titel:** Sprickor i anläggningskonstruktioner av betong –
Bakomliggande orsaker, bedömning och möjliga åtgärder
- Författare:** Åsa Axén
- Handledare:** Katja Fridh - *Universitetslektor, Tekn. Dr., Inst. Bygg och miljöteknologi, avdelning Byggnadsmaterial, LTH*
Anders Aldefors - *Teknisk specialist, avdelning Anläggning Skåne, NCC Construction Sweden*
- Examinator:** Magnus Åhs - *Universitetslektor, Tekn. Dr., Inst. Bygg och miljöteknologi, avdelning Byggnadsmaterial, LTH*
- Problemställning:** Inom den Svenska byggindustrin har Betonghandboken Material länge tjänat som ett naturligt val av hjälpmedel för ingenjörer som har stött på ett betongtekniskt problem. Den senaste utgåvan av Betonghandboken material publicerades 1994. Detta gör att många av de kunskaper vi har idag inom betongområdet går outnyttjade då man använder sig av Betonghandboken. Det finns ett behov att sammanfatta de kunskaper som finns gällande sprickorsaker, bedömning och reparation och presentera dem på ett överskådligt sätt.
- Syfte:** Att beskriva orsaker, bedömning och möjliga åtgärder till sprickbildning i anläggningskonstruktioner av betong samt utreda för och nackdelar med de olika reparationsmetoder och material som finns tillgängliga på dagens marknad. Resultatet är tänkt att tjäna som en hjälp till entreprenörer vid bedömning av sprickor och val av reparationsmetoder.
- Metod:** Arbetet inleddes med en omfattande litteraturstudie. Denna kom sedan att kompletteras med intervjuer med personer med expertkompetens inom rapportens område samt en fallstudie som genomfördes genom deltagande på en tillståndsbedömning av en betongkonstruktion. Slutligen utfördes en kvalitativ analys av materialet vilket utmynnade i en modell för hantering av sprickreparation.
- Slutsatser:** Litteraturstudien tillsammans med empirin beskriver gällande kunskapsläge på ett överskådligt sätt. Modellen som presenteras är användbar som ett hjälpmedel vid reparation av sprickor i anläggningskonstruktioner av betong även om det slutgiltiga valet av reparationsmetod och material bör göras i samråd med en materialleverantör.
- Nyckelord:** Spricktyper, tillståndsbedömning, reparationsmetoder, reparationsmaterial, tätning

Abstract

- Title:** Cracks in civil engineering structures of concrete – Causes, evaluation and potential repairs
- Author:** Åsa Axén
- Supervisors:** Katja Fridh- *Senior Lecturer, Faculty of engineering, division of Building Materials, LTH*
Anders Aldefors- *Technical Specialist, division of civil works, NCC Construction Sweden*
- Examiner:** Magnus Åhs- *PhD. Senior Lecturer, Faculty of engineering, division of Building Materials, LTH*
- Problem:** Within the Swedish construction business the book "Betonghandboken Material" for long has served as the first hand choice when engineers have encountered a technical problem with concrete constructions. The latest edition of the book was published in 1994. This means that a lot of the new knowledge of today is untapped when the book is used. There is a need to summarize the knowledge of today concerning causes, evaluation and repair of cracks in concrete and to present it in an orderly manner.
- Purpose:** To describe the causes, evaluation and repair of cracks in civil engineering structures of concrete and to investigate the advantages and disadvantages with various repair techniques and materials available on today's market. The result is supposed to serve as a means to contractors for evaluation of cracks and choice of repair techniques.
- Method:** The work was initiated with a comprehensive literature review. This was then complemented by interviews with experts within the area of the study and a case study that was carried out through participation in a condition assessment of a concrete construction. Finally a qualitative analysis of the material collected resulted in a method for management of crack repair.
- Conclusions:** The literature study along with the empirical study describes the knowledge of today. The method presented is useful as guidance when cracks in underground constructions of concrete are to be repaired, although the final choice of repair method and materials should be made in consultation with a material supplier.
- Keywords:** Crack types, condition assessment, repair techniques, repair material, sealing

Förord

Jag skulle vilja rikta ett tack till mina handledare Katja Fridh och Anders Aldefors för deras värdefulla åsikter under arbetets gång. Även min examinator Magnus Åhs har varit väldigt hjälpsam, tack Magnus.

Ett riktigt stort tack även till de som ställde upp på intervjuer. Det har varit en värdefull tillgång för mig i mitt arbete.

Tack även till avdelningen kalkyl anläggning på NCC i Malmö som har undvarat ett skrivbord till mig och arbetskamrater som kommit med tips och funderingar.

Nu lider mina civilingenjörstudier mot sitt slut och tack vare er alla kan jag avsluta med flaggan i topp och presentera ett arbete som jag är stolt över.

Tack!

Åsa Axén
Malmö, september 2014

Innehållsförteckning

1	Inledning	10
1.1	Bakgrund.....	10
1.2	Syfte	11
1.3	Frågeställningar.....	11
2	Metod	12
2.1	Litteraturstudie	12
2.2	Empiri	13
2.3	Analys	14
3	Introduktion till betong och sprickor	15
3.1	Betong; ett kompositmaterial	15
3.2	Sprickors betydelse	17
3.3	Miljöklasser, sprickbegränsning och täckskikt	18
4	Spricktyper	22
4.1	Materialtekniska sprickor.....	24
4.1.1	Temperatursprickor.....	24
4.1.2	Sprickor av fysikalisk-kemisk inverkan.....	27
4.1.3	Krympsprickor	28
4.1.4	Sprickor av volymökning av material inneslutna i betongen.....	31
4.2	Sprickor av belastning.....	34
4.2.1	Sprickor av dimensionerande last	34
4.2.2	Sprickor på grund av överbelastning.....	34
4.2.3	Krypsprickor	35
4.2.4	Sprickor på grund av sättning i grund	35
4.3	Sprickor orsakade av bristande arbetsutförande.....	36
4.3.1	Plastiska sättsprickor.....	36
4.3.2	Plastiska krympsprickor	37
4.3.3	Rörelsesprickor	38
4.3.4	Värmehärdningssprickor	38
4.3.5	Sprickor på grund av lastkoncentrationer	39
4.3.6	Sprickor i gjutfogar	40
4.3.7	Oönskade sprickor kring rörelsefogar.....	40
4.4	Armeringens inverkan.....	41
5	Bedömning av betongkonstruktioner i bruksskedet	42
5.1	Indikatorer på sprickorsak.....	43
5.2	Betonghandboken.....	45
5.3	BaTMan	45
5.4	American Concrete Institute	47
5.5	Beräkningsmodell	48
5.6	Europeiska projekt	48
5.6.1	CONTECVET	49
5.6.2	REHABCON.....	50
5.7	Sammanfattad modell för tillståndsbedömning	52
6	Reparation av sprickor	53
6.1	Reparationsmetoder	54
6.1.1	Injektering	54
6.1.2	Tätning med kristalliseringsteknik.....	59
6.1.3	Ytterligare armering.....	61

6.1.4	Borra och plugga.....	63
6.1.5	Vidga och försegla	63
6.1.6	Torrpackning.....	64
6.1.7	Ytförsegling med tätskikt.....	65
6.1.8	Polymerimpregnering.....	66
6.1.9	Självläkning	67
6.1.10	Avlägsning och pågjutning	68
6.1.11	Hävning av sprickbildning på grund av armeringskorrosion	69
6.2	Reparationsmaterial	69
7	Empiri	71
7.1	Intervjuer.....	71
7.1.1	Kristian Tammo, CBI Betonginstitutet AB.....	71
7.1.2	Anders Aldefors, NCC.....	72
7.1.3	Hossein Khodaverdian, Mapei.....	74
7.1.4	Peter Cederholm och Roger Mårtenszon, Sto Scandinavia AB.....	75
7.2	Fallstudie.....	79
7.2.1	Tillståndsbedömning, CBI Betonginstitutet AB	79
8	Sammanfattad modell för sprickreparation.....	82
9	Diskussion	90
9.1	Reflektioner.....	90
9.2	Användbarhet.....	90
9.3	Förbättringspotential för branschen	91
10	Fortsatta studier.....	91
11	Referenser.....	92
11.1	Artiklar.....	92
11.2	Broschyrer.....	92
11.3	Internet	92
11.4	Litteratur	94
11.5	Rapporter.....	95
11.6	Standarder och författningar	96

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Att åstadkomma en helt sprickfri betongkonstruktion är något som i princip är omöjligt och det är inte heller nödvändigt. Dock kan en konstruktion påverkas negativt av oönskad sprickbildning (Petersons, 1994). Många av de stora konstruktionerna i vårt samhälle där en kollaps skulle innebära en katastrof, exempelvis dammar, kärnkraftverk, tunnlar och broar är byggda av armerad betong (Tailhan et al, 2010). Många av dessa konstruktioner är dimensionerade med livslängder som sträcker sig över flera generationer (EU-Project REHABCON, 2004). Beskrivningen och förståelsen av sprickbildning i betong är avgörande när man ska hantera frågor gällande den kvarvarande livslängden hos dessa befintliga betongkonstruktioner (Tailhan et al, 2010). Sprickor kan ge en indikation på betongens skick och på hela konstruktionens strukturella tillstånd (Farhidzadeh et al, 2013).

Inom dagens globaliserade samhälle är tillgången till nya kunskaper mycket stor. Detta innebär att det skapas ett behov att sammanställa dessa kunskaper för att kunna överblicka relevanta fakta, tydliggöra samband och göra informationen hanterbar och förståelig (Eriksson & Wiedersheim-Paul, 2011). Inom betongområdet har mycket forskning behandlat sprickutvecklingen i betong. Dock är sprickbildningen något som påverkas av flertalet olika interagerande faktorer och denna komplexitet gör att dagens projektörer får förlita sig på empiriska erfarenheter (Xianglin et al, 2011). Dagens entreprenörer och ägare saknar tillgång till en lättillgänglig, översiktlig information om reparation av betongkonstruktioner och behovet av utbildning är stort (Hassanzadeh, 2014).

Inom den Svenska byggindustrin har Betonghandboken Material länge tjänat som ett naturligt val av hjälpmedel för ingenjörer som har stött på ett betongtekniskt problem. Den senaste utgåvan av Betonghandboken material publicerades 1994. Detta gör att många av de kunskaper vi har idag inom betongområdet går outnyttjade då man använder sig av Betonghandboken, vilket gör att detta verktyg inte längre har samma applicerbarhet och genomslagskraft. Fagerlund (2010) beskriver hur de Svenska lagarna gällande betongbyggande har utvecklats med åren och sedan 2004 gäller Europeiska standarder som är mer omfattade än det tidigare svenska regelverket som betonghandboken följer. Rebet (ett nätverk för betongreparationer) har på internet gett ut en reparationshandbok som baseras på Betonghandboken Reparation kompletterad med nya rön inom området (Betongreparation.se, 2013). Trots det menar Hassanzadeh (2014) att kunskapen på betongområdet håller på att eroderas och att de nya standarderna tillåter material som är obeprövade eller har tveksam beständighet. Detta tror Hassanzadeh (2014) beror på att de nya standarderna i större utsträckning än det äldre svenska statliga regelverket styrs av kommersiella intressen. Denna olyckliga utveckling förespår Hassanzadeh (2014) kommer leda till ett framtida ökat reparationsbehov.

Betongföreningen har bestämt sig för att man mellan 2013 och 2019 succesivt ska uppdatera Betonghandboken Material (Betongföreningen, 2013). Var ska då dagens

betongbyggare och förvaltare hitta stöd för bedömning av sprickor i anläggningskonstruktioner av betong och lämpliga reparationsmetoder? Vid en sökning på Google får man över 43 000 träffar med sökorden *Sprickor betong*. Använder man istället sökorden *Cracking concrete* får man 9 500 000 träffar.

1.2 Syfte

Att beskriva orsaker och möjliga åtgärder till sprickbildning i anläggningskonstruktioner av betong samt utreda för och nackdelar med de olika reparationsmetoderna som finns tillgängliga på dagens marknad. Resultatet är tänkt att tjäna som en hjälp till entreprenörer vid bedömning av sprickor och val av reparationsmetoder.

1.3 Frågeställningar

- Varför uppkommer sprickor i anläggningskonstruktioner av betong?
- Hur kan man bedöma orsak till sprickor i en anläggningskonstruktion av betong?
- Hur kan man på bästa sätt enligt gällande lagar och regler täta olika typer av sprickor i en anläggningskonstruktion av betong?

2 Metod

”För att komma dit man vill, måste man veta vart man ska”

- Abraham Lincoln

(Citerat Eriksson & Wiedersheim-Paul, 2011, s. 18)

Enligt denna devis inleds studien med en noggrann utvärdering gällande målet med frågeställningen. Intressentgruppen för studien och projektets tänkta bidrag fastställs för att ge rapporten en tydlig inriktning och relevans. Därefter formuleras syfte och frågeställningar. En tidplan upprättas varpå metod för litteratursökning, insamling av empirisk data samt analys fastställs.

Arbetet bedrivs som en kombinatorisk¹ forskningsöversikt. Forskningsöversikten beskrivs enligt Backman (1998) som en studie med målet att sammanfatta gällande forskning samt integrera empiri. Metoden lämpar sig väl för områden där översikt saknas och nya kunskaper har uppkommit de senaste åren (Backman, 1998).

Genom arbetet hålls ett traditionellt perspektiv där författaren förhåller sig objektivt till insamlat material. Den traditionella forskningen utmärks enligt Backman (1998) av att det yttersta målet är att studera casualitet, det vill säga orsak-verkan-samband, vilket stämmer överrens med rapportens syfte och frågeställning.

Då rapporten är tänkt att tjäna som ett hjälpmedel för bedömning och reparation av sprickor är det viktigt att strukturen är tydlig så att man lätt kan hitta det man söker. För att underlätta översikten av rapporten ges under varje huvudrubrik en beskrivning om vad kommande avsnitt kommer att behandla. Begrepp som behöver förklaras närmare presenteras med en fotnot istället för en begreppslista för att underlätta läsningen.

2.1 Litteraturstudie

Samlad litteratur granskas med ledorden aktualitet, generaliserbarhet och tillförlitlighet.

Då betonghandboken är ett självklart hjälpmedel för entreprenörer i branschen används den som grund för studien. Då den är något föråldrad kompletteras uppgifterna därifrån med fakta från nya artiklar och rapporter inom området. Valet av sökmotorer för att finna dessa artiklar och rapporter baseras på råd från avdelning byggnadsmaterial och v-husets bibliotek vid Lunds tekniska högskola. Sökmotorer som använts är LUBsearch, LIBRIS och Sciencedirect. Fakta har även sökts hos branschorganisationer som betongföreningen och American Concrete Institute. För att finna information gällande reparationsmaterial har materialtillverkarnas hemsidor besökts. Här har författaren strävat efter att vara objektiv och medveten om reklam och marknadsföringsstrategier.

¹Kombinatorisk Med syfte att samla och integrera gällande forskning (Backman, 1998)

2.2 Empiri

För att ytterligare stärka de teorier som litteraturstudien utmynnar i genomförs öppna intervjuer med personer som har specialistkompetens inom området. Detta anses berika studien då ämnesområdet mycket baseras på erfarenhet. Intervjuerna hölls mycket öppna då varje individ som intervjuades besitter en unik kompetens vilket lade en grund för varierade intervjufrågor.

CBI är den största samlade forskningsmiljön inom betong- och bergmaterialområdet i Sverige idag (CBI, 2014b). De arbetar bland mycket annat med utredningar gällande skadade betongkonstruktioner varav det ansågs lämpligt att kontakta dem. CBI har kontor i Stockholm, Borås och Lund. Genom hemsidan kontaktades kontoret i Lund och Kristian Tammo var villig att låta sig intervjuas. En närmare presentation av Tammo och hans arbetsuppgifter ges i empiriavsnittet.

En intervju genomfördes även med Anders Aldefors som är teknisk specialist på anläggningsavdelningen på NCC. Den intervjun anses berika arbetet med åsikter och erfarenheter från entreprenörssidan.

Fyra tillverkare av tätningsmedel för sprickor i betong kontaktades. Utav dessa ställde två upp på intervjuer. Dessa företag kontaktades då de enligt SBUF:s rapport *Tätning av läckande sprickor i betong med kristalliseringsteknik* är de enda företag i Sverige som tillhandahåller mer än en typ av tätningsmaterial.

Ett av de företag som representeras i empiriavsnittet är Mapei. Då de är baserade i Stockholm hölls intervjun via mailkorrespondens. Svaren var uttömmande och intervjun anses ha samma kvalitet som de intervjuer som genomfördes genom personliga möten.

En intervju hölls även med representanter från Sto Scandinavia AB. De höll en presentation och presenterade produkter samtidigt som frågor ställdes.

Enligt Eriksson och Wiedersheim-Paul (2011) är fallstudier ett bra verktyg för att illustrera de teorier som arbetats fram samt ett explorativt sätt att ge de uppställda hypoteserna understöd. Författaren fick möjligheten att följa med CBI på en tillståndsbedömning av vägbroar av armerad betong över en å.

Fallstudien behandlas enligt den kvalitativa metodiken genom fallbeskrivningar där observationer presenteras vilket anses lämpligt enligt Eriksson & Wiedersheim-Paul (2011).

2.3 Analys

Analysen sker genom den kvalitativa metodiken. Backman (1998) beskriver denna metod som att analysen resulterar i verbala formuleringar till skillnad från den kvantitativa analysen som resulterar i numeriska observationer.

Reflektioner och funderingar antecknas i en ”dagbok” under arbetets gång. Detta kan enligt Eriksson och Wiedersheim-Paul (2011) underlätta den tidskrävande analysprocessen och ger en överblick över materialet.

Analysen utmynnar i rekommendationer kring hur sprickor i anläggningskonstruktioner av betong bör behandlas och presenteras i avsnitt 8 Sammanfattad modell för sprickreparation.

3 Introduktion till betong och sprickor

Här ges en kort introduktion till materialet betong och dess beståndsdelar samt en beskrivning kring sprickbildning i betong och hur den bör begränsas.

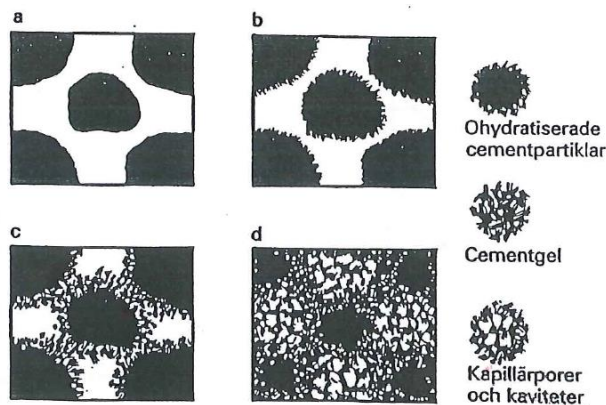
3.1 Betong; ett kompositmaterial

Betong består av flertalet olika komponenter; cement, vatten, ballast, tillsatsmedel och tillsatsmaterial (von Olnhausen, 1994). Förhållandet mellan betongens ingående mängd vatten och mängd cement brukar benämnas vct, vatten-cement-tal (Fagerlund, 1999, Kapitel 6). Då betongen har en mycket begränsad draghållfasthet armeras ofta betongkonstruktioner så att stålet kan ta hand om dragspänningarna (von Olnhausen, 1994).

Cement är ett hydrauliskt bindemedel. Det innebär att då cementet kommer i kontakt med vatten reagerar dessa två komponenter och bildar en hård massa som är beständig mot vatten; betongen genomgår hydratation (Johansson, 1994).

Den härdade betongen har två huvudfaser; ballast och cementpasta. Mellan dessa två faser finns ett gränsområde som kallas fasgräns (Fagerlund, 1999, Kapitel 6).

Cementpastan bildas genom cementets hydratation. Vid blandning av betongen hålls cementkornen svävande i vattnet då de är mycket små (se bild a i Figur 1 nedan). Avståndet mellan kornen beror på vct. Ett lågt vct innebär en stor andel cement och därmed kortare avstånd mellan cementkornen. I bild b ses hur ytorna på cementkornen börjar reagera med vattnet (hydratationen startar) och forma cementgel som består av kalciumsilikathydrater och kalciumhydroxid. Allt eftersom hydratationen fortskrider reagerar större och större del av cementkornet med vattnet och bildar mer cementgel (bild c och d). När gelpartiklarna från olika cementkorn når varandra börjar hållfastheten hos betongen att byggas upp. Mellan gelpartiklarna bildas ett fint system av kapillärporer. Beroende på det initiala avståndet mellan cementkornen blir porsystemet tätare eller luftigare (Fagerlund, 1999, Kapitel 6).



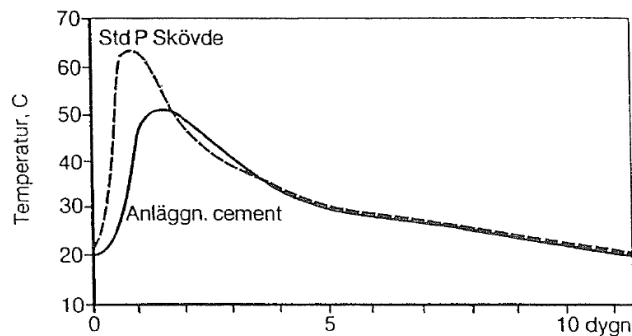
Figur 2:1. Strukturutveckling hos cementpasta enligt Powers' (1962a) modell.
 a) Direkt efter blandning
 b) Efter några minuter
 c) Vid bindning
 d) Efter några månader

Figur 1: Beskrivning av hydratationsförloppet (Powers, 1962 refererad av Fagerlund, 1999, Kapitel 6).

Hydratationsprocessen är en exoterm reaktion som avger värme. Därav kommer den nygjutna betongens temperatur öka med ökad hydratation och avta då

hydratationsprocesserna avtar. Reaktionshastigheten är bland annat beroende av temperaturen vilket medför att hållfasthetstillväxten är snabbare i varmt klimat än i kallt (Fagerlund, 1999, Kapitel 8).

Det finns flertalet olika cementtyper som karaktäriseras efter sin kemiska sammansättning. Portlandcement är en finmald blandning av den portlandklinker som bildas vid cementtillverkningen och gips (Johansson, 1994). Klinkern består av ett antal komponenter med olika påverkan på den härdade betongens egenskaper. Komponenterna har olika snabb hållfasthetstillväxt, sluthållfasthet och känslighet mot vissa typer av kemiska angrepp vilket gör att man genom att variera mängderna av de olika komponenterna kan man få betong med olika karaktär. Till portlandklinkern kan även olika mängder av latent hydrauliska eller puzzolanska restmaterial tillsättas. Dessa material kräver en viss tillsats av kalk för att reagera (Fagerlund, 1999, Kapitel 4). När en puzzolan reagerar med kalciumhydroxid (bildas vid klinkermineralens reaktion med vatten) i betongen bildas reaktionsprodukter med liknande egenskaper som de som bildas vid cementreaktionen (Johansson, 1994). Syftet med att tillsätta dessa material är att minska behovet av den energikrävande och koldioxidproducerande cementutvinningen samt nyttigöra restprodukter från andra industrier som annars hade deponerats (Fagerlund, 1999, Kapitel 4).



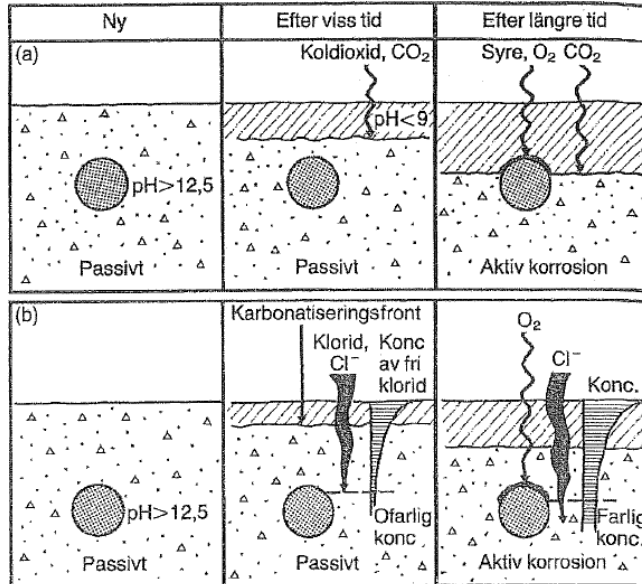
Figur 2: På grund av skillnader i fördelningen av ingående klinkermineral kan cement ha olika temperaturutveckling och därmed olika snabb hållfasthetsutveckling (Fagerlund, 1999, Kapitel 9).

De alkaliska restprodukterna från cementreaktionen såsom kalciumhydroxid gör att betong är starkt basiskt. Detta innebär att det ingjutna armeringsstålet passiveras; det vill säga, det kan inte korrodera. Passiveringen kan brytas av två olika anledningar, att karbonatiseringen eller kloridinträngningen tränger igenom täcksiktet (Fagerlund, 1992). Tjockleken på det skyddande betongskiktet, täcksiktet, bestäms därav beroende på hur aggressiv den omgivande miljön är (Se avsnitt 3.3).

Karbonatisering innebär att koldioxid från luften tränger in i betongen och reagerar med de pH-höjande alkaliska föreningarna. Karbonatiseringen kryper långsamt inåt i betongen med en väldefinierad front. När denna front når armeringsstålet bryts passiveringen och armeringen börjar korrodera (Fagerlund, 1992).

Klorider förekommer i havsvatten och tölsalter. Dessa tränger gradvis in i betongkonstruktionen. Då kloridhalten på armeringens nivå når ett tröskelvärde bryts passiveringen av armeringen. Tröskelvärdet beror av halten av fria hydroxidjoner i porvattnet samt betongens porositet. Korrosionshastigheten kan vara mycket stor och

korrosionen uppträder oftast som lokal gropfrätning vilket är särskilt ogynnsamt för spännstål (Fagerlund, 1992).



Figur 3: a) Korrosion initierad av karbonatisering, b) korrosion initierad av kloridinträngning (Fagerlund, 1992).

Korrosionsprocessen kräver syre och fukt vilket gör att tillgången på syre och fuktighetsnivån avgör korrosionshastigheten (Fagerlund, 1992).

3.2 Sprickors betydelse

I de svenska konstruktionsreglerna (Eurokod) finns det två olika gränsvärden som en konstruktion ska uppfylla, brottgränstillståndet och bruksgränstillståndet. Det förra är relaterat till konstruktionens säkerhet och det senare är relaterat till konstruktionens funktion. Även om säkerhetskraven traditionellt sett ges större vikt kan funktionsfel få allvarliga konsekvenser i form av dyra kostnader för reparationer. Många gånger är det funktionskraven som reglerar utformningen då för stora deformationer, vibrationer eller synlig sprickbildning kan orsaka problem eller obehag vid nyttjandet av konstruktionen (Honfi, 2013). Studier har visat att sprickbredder över 0,3 mm kan uppfattas som oroväckande hos allmänheten men detta mått påverkas även av avståndet mellan betraktaren och betongytan (Petersons, 1994).

Sprickor i konstruktioner av armerad betong är något man inte kan förhindra och något helt naturligt (Petersons, 1994). Sprickor spelar en stor roll gällande betongens respons på laster (ACI Committee 224, 2008). Det är inte förrän betongen spricker som armeringen börjar bära last. Detta innebär att armerade betongkonstruktioner dimensioneras för att spricka (Isaksson et al, 2010). Sprickor kan även påverka konstruktionen negativt. De kan försämra konstruktionens estetiska uttryck och kan också indikera hållfasthets- eller hållbarhetsproblem. Sprickorna kan i vissa fall måla upp en tydlig bild av konstruktionens skador men kan i andra fall endast synliggöra en bråkdel av problemet. Sprickornas betydelse beror på typen av konstruktion men

också på orsakerna bakom sprickorna (ACI Committee 224, 2007). Ur säkerhetssynpunkt är det önskvärt att en tydlig sprickbildning uppstår innan konstruktionen går till brott som en tydlig varningsklocka för vad som är på väg att ske (Petersons, 1994).

Sprickor uppkommer då spänningen i betongen överstiger betongens draghållfasthet. Detta kan ske av flera olika anledningar. Spänningar kan uppstå av betongens egen rörelse, expansion av material som finns inneslutna i betongen, av yttre påverkan såsom tvång eller last eller av brister i arbetsutförandet (Petersons, 1994). Eurokod kräver att sprickbildningen begränsas till en nivå som inte försämrar konstruktionens funktion eller leder till ett oacceptabelt utseende (ACI Committee 224, 2008). Med funktion avses konstruktionens beständighet, hållfasthet, täthet och akustik (Tammo, 2009). Vissa menar även att sprickor ger en snabbare initiering av armeringskorrosion (Honfi, 2013).

Eurokod anger att sprickbredden inte behöver begränsas då sprickorna inte försämrar konstruktionens funktion. Däremot anges att den beräknade sprickbredden bör begränsas (SS-EN 1992-1-1:2005).

3.3 Miljöklasser, sprickbegränsning och täcksikt

Eurokod ställer krav som alla projektörer i länder anslutna till CEN (European Committee for Standardization) måste följa vid dimensionering av konstruktioner. Eurokod tillåter dock ett antal nationella val. De specifika svenska valen presenteras i författningar utgivna av Boverket och Trafikverket för var myndighets specifika ansvarsområde. Till dessa nationella val hör bland annat exponeringsklasser kopplat till minsta tillåtna täcksikt och begränsning av beräknad sprickbredd (SS-EN 1992-1-1:2005).

Maximal tillåten beräknad sprickbredd och tjocklek på täcksiktet för en armerad betongkonstruktion beror på i vilken exponeringsklass konstruktionen befinner sig. Exponeringsklasserna i Eurokod definieras enligt följande (SS-EN 1992-1-1:2005):

Sprickor i anläggningskonstruktioner av betong

Tabell 1: Tabell som beskriver exponeringsklasser enligt SS-EN 1992-1-1:2005

Typ av angrepp		Klass	Beskrivning
Ingen risk		X0	Oarmerat utan frost, eller armerat i mycket torr miljö
Korrosion föranledd av karbonatisering		XC1	Torr eller ständigt våt
		XC2	Våt, sällan torr
		XC3	Måttlig fuktighet
		XC4	Cykliskt våt och torr
Korrosion orsakad av klorider	Andra klorider än från havsvatten	XD1	Måttlig fuktighet
		XD2	Våt, sällan torr
		XD3	Cykliskt våt och torr
	Havsvatten	XS1	Luftburet salt
		XS2	Ständigt under vatten
		XS3	Tidvatten-, skvalp- och stänkzon
Frostangrepp		XF1	Inte vattenmättad, utan avisningsmedel
		XF2	Inte vattenmättad, med avisningsmedel
		XF3	Nära vattenmättad, utan avisningsmedel
		XF4	Nära vattenmättad med avisningsmedel eller havsvatten
Kemiskt angrepp		XA1	Något aggressiv kemisk miljö
		XA2	Måttligt aggressiv kemisk miljö
		XA3	Mycket aggressiv kemisk miljö

Boverket presenterar nationella val i ”Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)”. Där anges i första paragrafen tillämpningsområdet för föreskrifterna (BFS 2013:10 EKS 9).

Föreskrifterna gäller

1. vid uppförande av en ny byggnad,
2. när en byggnad byggs till för tillbyggda delar,
3. när en byggnad ändras för tillkommande byggnadsdelar, och
4. för mark- och rivningsarbeten.

Föreskrifterna gäller även på motsvarande sätt i tillämpliga delar vid uppförande, tillbyggnad och annan ändring av andra byggnadsverk än byggnader, där brister i byggnadsverkens bärformåga, stadga och beständighet kan förorsaka risk för oproportionerligt stora skador. Föreskrifterna gäller inte bergtunnlar och bergrum.

(Citerat 1§ BFS 2013:10 EKS 9)

Trafikverket föreskrifter gäller för byggnadsverk vid byggande på vägar och gator (TRVFS 2011:12).

Eurokod säger att ett maximalt värde på accepterad beräknad sprickbredd bör fastställas med hänsyn till bärverkets tänkta användning samt kostnaderna för att begränsa sprickbredden. Detta maximala värde anges i den nationella bilagan (SS-EN 1992-1-1:2005).

Sprickor i anläggningskonstruktioner av betong

Gällande maximal acceptabel beräknad sprickbredd skiljer sig de nationella råden väldigt lite från de olika myndigheterna, se tabellen nedan.

Den maximala tillåtna beräknade sprickbredden i TRVFS 2011:12 gäller såvida inte byggherren har föreskrivit något annat (TRVFS 2011:12). De i Boverkets föreskrifters angivna maximala beräknade sprickbredderna gäller såvida inget annat kan anses motiverat (BFS 2013:10 EKS 9).

Tabell 2: Till vänster ses Boverkets begränsning av beräknad sprickbredd enligt BFS 2013:10 EKS 9 och till höger ses motsvarande tabell ur Trafikverkets TRVFS 2011:12.

Tabell D-2 Acceptabel sprickbredd w_k (mm)

Exponeringsklass	Korrosionskänslig ¹			Föga korrosionskänslig ¹		
	L 100 ²	L 50	L 20	L 100	L 50	L 20
XC0	-	-	-	-	-	-
XC1	0,40	0,45	-	0,45	-	-
XC2	0,30	0,40	0,45	0,40	0,45	-
XC3, XC4	0,20	0,30	0,40	0,30	0,40	-
XS1, XS2 XD1, XD2	0,15	0,20	0,30	0,20	0,30	0,40
XS3, XD3	0,10	0,15	0,20	0,15	0,20	0,30

¹ Korrosionskänslig armering är all armering med diameter ≤ 4 mm, spännarmering eller kallbearbetad armering som permanent har en spänning över 400 MPa. Övrig armering är föga korrosionskänslig.

² Vid bestämning av acceptabel sprickbredd bör hänsyn tas till avsedd livslängd. Livslängdsklasserna L100, L50 och L20 avser byggnadsverk med en förväntad livslängd på 100, 50 respektive 20 år.

Tabell b Acceptabel sprickbredd

Exponeringsklass	Bärverksdelar med armering eller med icke vidhäftande spännarmering			Bärverksdelar med vidhäftande spännarmering		
	Kvasi-permanent lastkombination			Frekvent lastkombination		
	L 100	L 50	L 20	L 100	L 50	L 20
XC0, XC1	0,45 ¹⁾	0,45 ¹⁾	0,45 ¹⁾	0,40	0,45	-
XC2	0,40	0,45	-	0,30 ²⁾	0,40 ²⁾	0,45 ²⁾
XC3, XC4	0,30	0,40	-	0,20 ²⁾	0,30 ²⁾	0,40 ²⁾
XS1, XS2, XD1, XD2	0,20	0,30	0,40	Frånvaro av dragspänningar		
XS3, XD3	0,15	0,20	0,30			

¹⁾ För exponeringsklasserna XC0 och XC1 har sprickbredden ingen inverkan på beständigheten varför denna gräns är satt med hänsyn till utseende. Om utseendekrav saknas kan gränsen mildras.

²⁾ För dessa exponeringsklasser bör dessutom frånvaron av dragspänningar kontrolleras för kvasi-permanent lastkombination.

I Eurokod anges rekommenderade värden på det minsta täckande betongskiktet som krävs för olika exponeringsklasser men en möjlighet finns att istället använda sig av nationella parametrar (SS-EN 1992-1-1:2005). Både trafikverket och Boverket redovisar nationella val av minsta täckande betongskikt för betongkonstruktioner i de olika exponeringsklasserna. Den enda skillnaden myndigheterna emellan är vilken kloridkoncentration i havet som angivna värden anses gälla för (se tabell nedan).

Sprickor i anläggningskonstruktioner av betong

Tabell 3: Till vänster ses Boverkets tabell från BFS 2013:10 EKS 9 där minsta täckande betongskikt anges för de olika exponeringsklasserna. Till höger ses motsvarande tabell från Trafikverkets föreskrifter TRVFS 2011:12.

Tabell D-1 Minsta täckande betongskikt, $c_{\min, \text{dur}}$ med hänsyn till beständighet för armering

Exponeringsklass	Max $v_{\text{ef,kr}}$	L 100	L 50	L 20
X0	–	–	–	–
XC1	0,90	15	10	10
	0,60	10	10	10
XC2	0,60	25	20	15
	0,55	20	15	10
	0,50	15	10	10
XC3, XC4	0,55	25	20	15
	0,50	20	15	10
XS1, XD1	0,45	30	25	15
	0,40	25	20	15
XD2	0,45	40	30	25
	0,40	35	30	20
	0,35	30	25	20
XD3	0,40	45	35	25
	0,35	40	30	25
XS2 ¹	0,45	50	40	30
	0,40	45	35	25
	0,35	40	30	25
XS3 ¹	0,40	45	35	25
	0,35	40	30	25

¹ Angivna täckande betongskikt gäller för en kloridkoncentration i havet av högst 0,4 % (ostkusten). För högre kloridkoncentrationer kan särskilda värden på minsta täckande betongskikt anges i varje enskilt fall. (BFS 2013:10).

Tabell a Täckande betongskikt

Exponeringsklass	Max $v_{\text{ef,kr}}$	$c_{\min, \text{dur}}$ i livslängdsklass		
		L 100	L 50	L 20
X0	–	–	–	–
XC1	0,90	15	10	10
	0,60	10	10	10
XC2	0,60	25	20	15
	0,55	20	15	10
	0,50	15	10	10
XC3, XC4	0,55	25	20	15
	0,50	20	15	10
XS1, XD1	0,45	30	25	15
	0,40	25	20	15
XD2	0,45	40	30	25
	0,40	35	30	20
	0,35	30	25	20
XD3	0,40	45	35	25
	0,35	40	30	25
XS2 ¹⁾	0,45	50	40	30
	0,40	45	35	25
	0,35	40	30	25
XS3 ¹⁾	0,40	45	35	25
	0,35	40	30	25

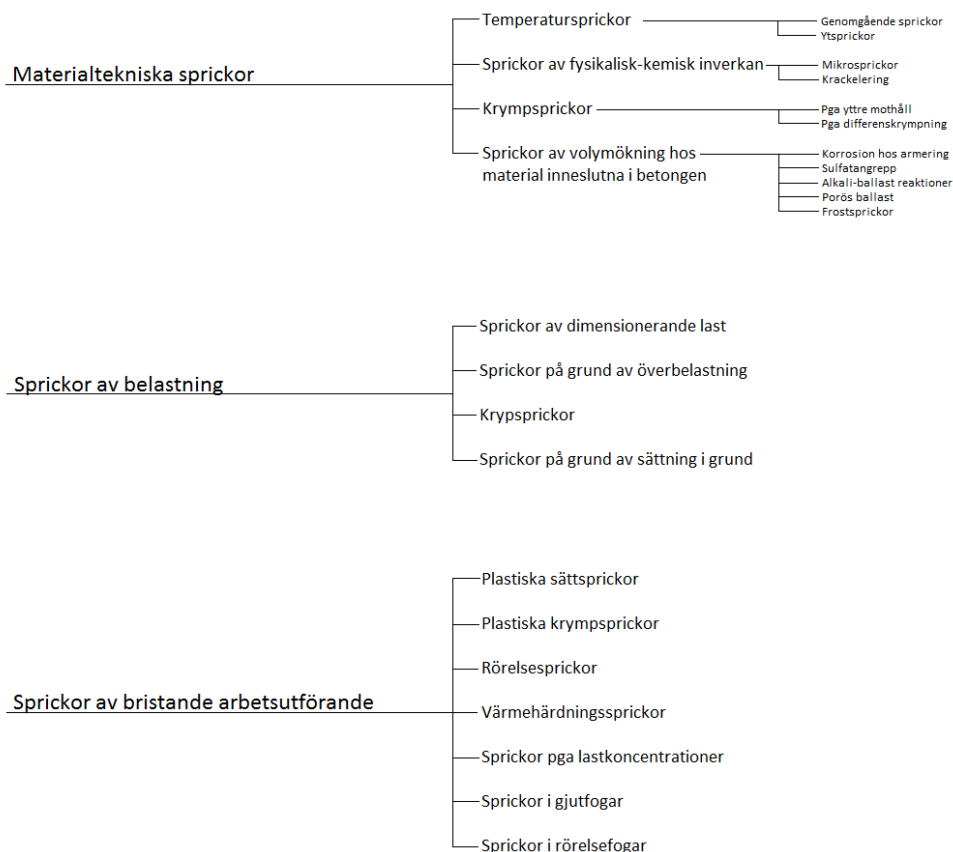
¹⁾ Angivna täckande betongskikt gäller för en kloridkoncentration i havet av högst 1,0 % (ostkusten). För högre kloridkoncentrationer kan byggherren ange ett större värde på $c_{\min, \text{dur}}$ för aktuellt projekt.

4 Spricktyper

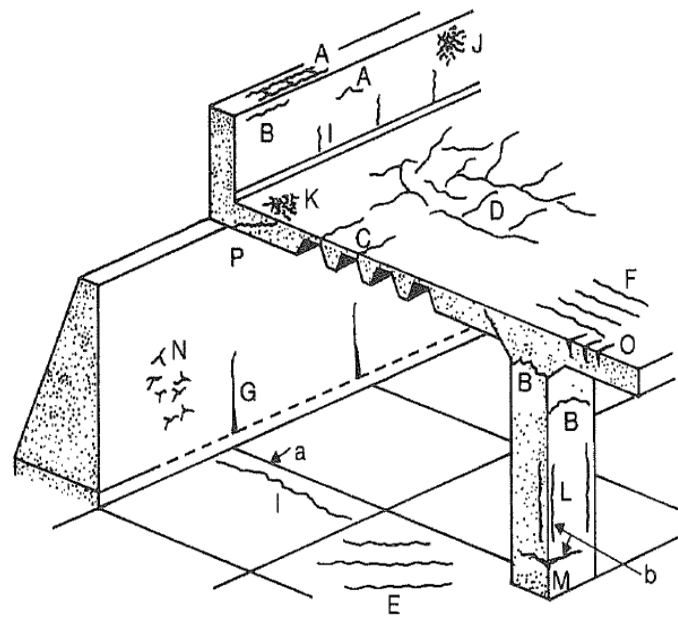
Som tidigare nämnt kan sprickor uppstå av betongens egen rörelse, expansion av material som finns inneslutna i betongen, av yttre påverkan såsom tvång eller last eller av brister i arbetsutförandet (Petersons, 1994). Utifrån detta har tre olika typer av sprickor definierats. Materialtekniska sprickor som orsakas av kemiska reaktioner och volymförändringar, både i betongens egen härdningsprocess samt mellan betongen och material inneslutna i betongen eller tillförda utifrån. Sprickor av belastning som beror på den last som betongkonstruktionen utsätts för samt sprickor som beror av bristande arbetsutförande. Spricktyperna gäller alla konstruktioner av armerad betong.

Figur 4 nedan visar en noggrannare indelning av de spricktyper som kommer att presenteras i detta avsnitt. Spricktyperna beskrivs med grund i följande frågor:

- När uppstår sprickorna och varför?
- Hur går sprickbildningen till?
- Var uppstår sprickorna och hur ser de ut?
- Hur kan man förhindra sprickbildningen?



Figur 4: Översikt över indelningen av olika spricktyper



a. Ej fungerande fog. b. Spricka samt missfärgning av rost

Figur 5: Exempel på olika spricktyper och sprickmönster i en fiktiv betongkonstruktion (Petersons, 1994).

- A- Plastisk sättspricka, över armering
- B- Plastisk sättspricka, vid valvbildning
- C- Plastisk sättspricka, vid tjockleksändring
- D- Plastisk krympspricka, oregelbunden
- E- Plastisk krympspricka, parallell
- F- Plastisk krympspricka, över armering
- G- Temperaturspricka, genomgående
- H- Saknas
- I- Krympspricka, pga. yttre mothåll
- J- Krackelering, mot formyta
- K- Krackelering, efter ytbearbetning
- L- Sprickor av korrosion hos armering, pga. karbonatisering
- M- Sprickor av korrosion hos armering, pga. klorider
- N- Alkaliballastreaktioner
- O- Sprickor av belastning, böjspricka
- P- Sprickor av belastning, skjuvspricka

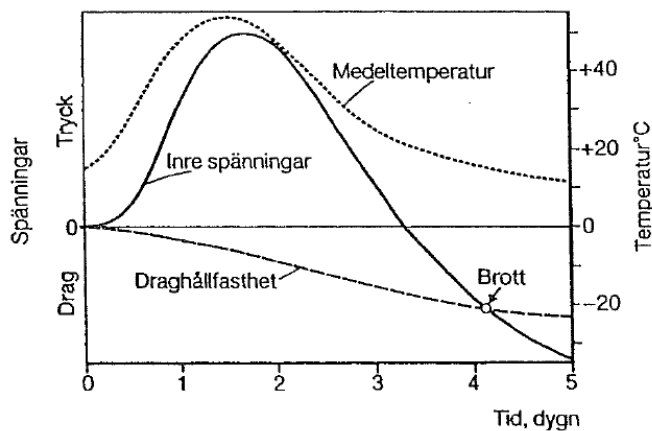
4.1 Materialtekniska sprickor

4.1.1 Temperatursprickor

4.1.1.1 Genomgående sprickor

Genomgående temperatursprickor kan uppstå av olika anledningar vid olika tidpunkter under konstruktionens livstid. Vid avsvälning efter betongens hårdnande (när hydratationen avtar) kan sprickor uppstå. Eftersom avsvälningen tar tid kan sprickorna uppstå allt ifrån några dagar till några veckor efter gjutning. Sprickor kan även uppstå efter konstruktionens färdigställande på grund av en temperatursänkning av omgivningen (ACI Committee 224, 2007; Petersons, 1994).

När betongen härdar avger cementreaktionen värme och mellan 12 och 48 timmar efter gjutningen har betongen oftast nått temperaturmaximum och börjat svalna av. Med ökad temperatur vill betongen utvidgas vilket förhindras av närliggande konstruktionsdelar. Detta gör att tryckspänningar byggs upp i betongen. I detta stadie är betongen ännu inte fullt härdad vilket gör att deformationerna blir plastiska och trycksänkningarna små. När sedan betongen svalnar drar den ihop sig. Den nu ökade härdningsgraden gör att deformationerna blir elastiska och att sammandragningen av betongen förhindras. Våldigt snart övergår tryckspänningarna till dragspänningar och då betongens draghållfasthet överskrids bildas en genomgående spricka i betongen (Petersons, 1994).



Figur 6: Schematisk figur över hur en genomgående spricka uppstår i en betongkonstruktion (Fagerlund, 1999, Kapitel 9)

Genomgående sprickor uppstår i tjocka konstruktioner som har en stor värmeutveckling och därmed stor temperaturrörelse men även i tunnare konstruktioner där betongens temperaturrörelse förhindras av inspänningar, exempelvis väggar och stödmurar (Petersons, 1994) eller vid tvärsnittförändringar på grund av olika avsvälningshastighet (ACI Committee 224, 2008). Sprickorna uppstår med långt inbördes avstånd vilket leder till att sprickbredden blir stor. Mellan de genomgående sprickorna uppstår ofta kortare sprickor (Petersons, 1994). Se spricktyp G i Figur 5 ovan.

Genomgående sprickor kan även uppstå vid en temperatursänkning i det omgivande klimatet (ACI Committee 224, 2007; Petersons, 1994). Om temperaturen i omgivningen sänks vill betongen dra ihop sig. Om detta förhindras, exempelvis av inspänning, så uppstår dragspänningar. Då temperaturförändringen är långsam reduceras dragspänningarna genom relaxation men om temperaturförändringen och därmed sammandragningen är snabb så uppstår en genomgående spricka. Dessa sprickor är vinkelräta mot rörelseriktningen och har en varierande bredd eftersom temperaturrörelser är reversibla (Petersons, 1994). Om betongen har en låg draghållfasthet, hög elasticitetsmodul och en hög värmeutvidningskoefficient kan betongen spricka vid så låga temperaturskillnader som 3°C om förändringen av det omgivande klimatet sker snabbt (ACI Committee 224, 2008).



Figur 7: Genomgående sprickor kan även uppstå i tunnare konstruktioner om betongens hopdragning vid avsvalning förhindras av inspänningar

Genomgående temperatursprickor kan förhindras genom två olika metoder. Den första innebär att man modifierar betongsammansättningen för att minimera den maximala skillnaden mellan betongens och omgivningens temperatur samt höja draghållfastheten. Detta kan exempelvis göras genom att använda lägre cementhalt, cement med låg värmeutveckling eller en låg gjuttemperatur hos betongen (ACI Committee 224, 2008; Johansson, Bernander & Emborg, 1994), byta ut viss del av cementet mot en puzzolan samt att välja en betong med hög draghållfasthet. Draghållfastheten beror bland annat på ballasten. Genom att minimera den maximala kornfraktionen och välja ett krossmaterial med låg värmeexpansion samt låg elasticitetsmodul fås en mer draghållfast betong (ACI Committee 224, 2008).

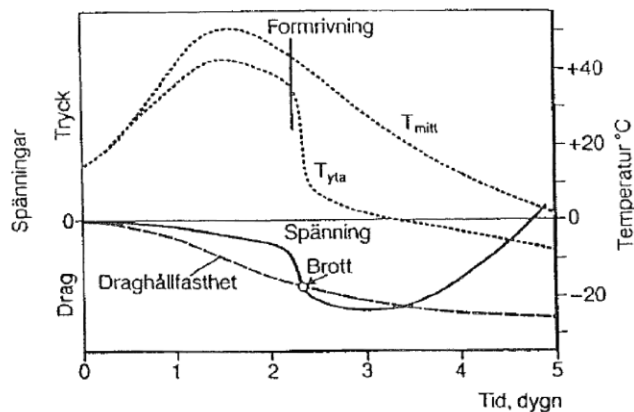
Den andra metoden för att förhindra genomgående temperatursprickbildning innebär en reduktion av de parametrar som ger upphov till dragspänningar (ACI Committee

224, 2008). Detta bör man ta hänsyn till vid projekteringen och ge konstruktionen lämplig utformning för att stå emot sprickbildning orsakade av temperaturförändringar (Petersons, 1994). Exempelvis kan man dela upp gjutningen i flera gjutetapper eller använda olika metoder för att kyla betongen under och strax efter gjutning (ACI Committee 224, 2008) eller värma motgjutna delar med elektriska värmekablar, infraröd strålning eller vattenånga (Petersons, Ljungkrantz & Möller, 1992).

4.1.1.2 Ytsprickor

Då betongen svalnar av efter betongens hårdnande kan ytsprickor uppstå en till några dagar efter gjutning (Petersons, 1994).

Som tidigare nämnt avger cementreaktionen mycket värme då betong hårdnar. Denna värme blir maximal i betongens mitt där ingen värme kan avgå till omgivningen. Detta leder till att det kan vara stora temperaturvariationer över ett tvärsnitt då det är en stor värmeavgång vid ytan (exempelvis vid formrivning) (ACI Committee 224, 2008; Petersons, 1994). Detta fenomen genererar tryckspänningar i mitten av betongkonstruktionen och dragspänningar vid ytan. Om temperaturskillnaden över tvärsnittet blir för hög så bildas ytsprickor. Denna stora temperaturdifferens uppstår vanligen i tjocka konstruktioner, över 0,7-1m, varvid det oftast är i dessa konstruktioner som ytsprickor uppstår (ACI Committee 224, 2007; Petersons, 1994).



Figur 8: Illustration av sprickbildning uppkommen på grund av stora temperaturvariationer över tvärsnittet (Fagerlund, 1999, Kapitel 9).

Ytsprickor orsakade av temperaturskillnader över tvärsnittet är oftast både grunda (<50 mm) och har liten bredd (0,01-0,1 mm) (Petersons, 1994). Dock kan denna oregelbundna sprickbildning verka som en anvisning till genomgående sprickor (ACI Committee 224, 2008; Petersons, 1994).

Sprickbildningen kan till viss del förhindras genom isolering av den fria betongytan då gjutningen sker i kallt klimat (ACI Committee 224, 2008).

4.1.2 Sprickor av fysikalisk-kemisk inverkan

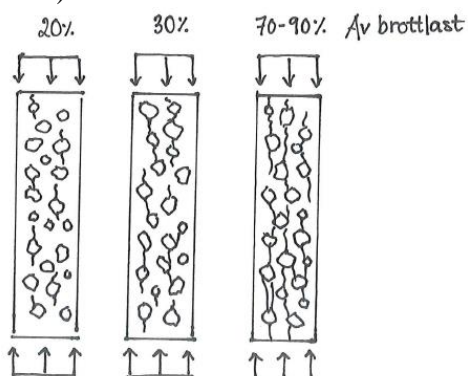
4.1.2.1 Mikrosprickor

Mikrosprickor uppstår innan konstruktionen belastas, närmare bestämt redan vid betongens hårdnande. Denna sprickbildning uppstår i fasgränsen mellan cementpasta och ballastkorn och i cementpastan (ACI Committee 224, 2008; Petersons, 1994) och beror på att ballasten och cementpastan har olika volymändring vid påverkan av temperatur, krympning och vattenseparation (Petersons, 1994).



Figur 9: Mikrosprickor uppstår i fasgränsen mellan ballastkorn och cementpastan. Denna figur visar betong i obelastat tillstånd (Petersons, 1994).

Mikrosprickbildningen ökar med ökad belastning (ACI Committee 224, 2008; Petersons, 1994). Innan konstruktionen utsätts för belastning finns mikrosprickorna i fasgränsen med förlängningar ut i cementpastan vinkelrät mot fasgränssprickorna. Dessa mikrosprickor har generellt liten effekt på betongens hållfasthet (ACI Committee 224, 2008). Antagligen beror detta på att mikrosprickorna inte utbildar kontinuerliga spricksystem vid normal belastning (Fagerlund, 1999, Kapitel 6). När lasten ökas vidgas fasgränssprickorna och vid ca 20 % av brottlasten börjar de propageras och sprida sig i betongen. När belastningen når 30 % av brottlasten börjar fasgränssprickorna sammanlänkas och vid 45 % är i princip alla sammanlänkade (ACI Committee 224, 2008). Denna deformation är huvudsakligen elastisk men över ca 70-90 % av brottlasten bildas ett kontinuerligt sprickmönster, sprickpropageringen är snabb och deformationerna är plastiska (Petersons, 1994). Här är det mikrosprickorna i cementpastan som sammanlänkas. Vid denna lastnivå kommer konstruktionen med tiden att gå till brott (ACI Committee 224, 2008; Petersons, 1994).



Figur 10: Propagering av mikrosprickor då belastningen ökas

Den totala mängden mikrosprickor beror på tryckbelastningen och är oberoende av vilken typ av belastning konstruktionen utsätts för (ACI Committee 224, 2008).

Sprickbildningen genom betongkroppen utvecklas parallellt med tryckbelastningen. Sprickorna är mycket små. De har vanligen en bredd mellan 0,2 och 0,7 μm och en längd från 10 till över 200 μm (ACI Committee 224, 2008). Denna sprickbildning är mycket diskret vilket gör den svår att uppfatta med ögat (Fagerlund, 1999, Kapitel 6).

Sprickmängden ökar med minskat vct och större andel inblandat silikastoft (Fagerlund, 1999, Kapitel 6).

4.1.2.2 Krackelering

Krackelering är ett sprickmönster som kan orsakas av flera olika spricktyper. Dock presenteras fenomenet under en egen rubrik på grund av sin speciella karaktär.

Mot formytor eller efter ytbearbetning kan det uppstå krackelering. Detta sprickmönster uppstår oftast inom en till sju dagar efter gjutning men kan även uppstå mycket senare (Petersons, 1994).

Krackelering uppkommer av temperaturvariationer och differenskrämpning (olika stor krämpning hos olika delar av betongen) som genererar dragspänningar vid betongens yta (temperatursprickor behandlades noggrannare i ett avsnitt ovan och krympsprickor beskrivs nedan). Krackelering kan även uppträda vid sulfatangrepp (Petersons, 1994).

Om betongens draghållfasthet uppnås spricker betongen. Draghållfastheten kan sänkas genom karbonatisering då reaktionens restprodukter gör ytskiktet sprödare (Petersons, 1994).

Krackelering uppträder som ett oregelbundet sprickmönster med en kantbredd på 5-75 mm (Petersons, 1994). Sprickorna har väldigt liten bredd och är mycket ytliga (ACI Committee 224, 2007; Petersons, 1994). Se spricktyp J och K i Figur 5 ovan.

Det finns många sätt att minska krackeleringen, bl. a. låg cementhalt, lågt vct, bearbetning av ytan samt att inte använda släta och täta formar (Petersons, 1994).

4.1.3 Krympsprickor

Krympsprickor uppstår en till flera månader efter gjutning då konstruktionens krämpning förhindras exempelvis genom yttre mothåll eller differenskrämpning (ACI Committee 224, 2008; Petersons, 1994). Uttorkningskrämpning av betong uppkommer då betongen torkar eftersom vattenförlusten leder till en volymminskning hos materialet. Krämpning uppstår också genom karboniseringskrämpning och autogen krämpning (ACI Committee 224, 2008).

Karbonatisering är en reaktion som kräver vatten. Koldioxid från luften reagerar med kalciumhydroxid i betongen vilket torkar ut porer genom att avlägsna absorberat vatten vilket leder till att betongen krymper. För att koldioxiden ska tränga djupt in i betongen krävs speciella förutsättningar gällande relativ fuktighet samt lång tid vilket

gör att det i praktiken oftast bara den ytliga betongen som påverkas av karbonatisering. Därmed har denna krympning oftast en mindre betydelse. Den autogena krympningen, även kallad självuttorkningskrympning, beror på att reaktionsprodukterna efter hydratationen upptar en mindre volym än vad komponenterna cement och vatten gjorde innan reaktionen. Denna krympning brukar vara av storleksordningen $40 \cdot 10^{-6}$ till $100 \cdot 10^{-6}$. Ett typiskt värde för den totala slutkrympningen är $600 \cdot 10^{-6}$. Betongens låga dragbrottöjning gör att en krympning större än $150 \cdot 10^{-6}$ ofta inte kan hanteras vilket leder till sprickor i betongen (ACI Committee 224, 2008).

Det finns många faktorer som påverkar krympningen; betongsammansättning, ballasttyp (absorptionskapacitet, kompressionsmodul), omgivningens relativa fuktighet, konstruktionens geometri samt andelen yta med möjlighet till uttorkning. Dessa faktorer sammanslaget med att krympningen utvecklas med tiden gör att det finns vissa osäkerheter vid beräkningar av slutkrympningen, variationer kring 20 % eller mer är inte ovanligt. Dragspänningarna som uppkommer på grund av krympning reduceras med krympning och relaxation hos betongen vilket ökar motståndet mot sprickbildning. Krympningen minskar dock med tiden vilket gör att risken för krympsprickor blir större med tiden (ACI Committee 224, 2008).

Eftersom betongens krympning i stort sätt alltid förhindras på något sätt kan krympsprickor alltid förväntas om inte den relativa fuktigheten är nära 100 % (ACI Committee 224, 2008). Enligt rapporten från ACI Committee 224 (2008) består arbetet med att förhindra krympsprickor i att minimera spricktendensen hos betongen genom att välja lämplig betongsammansättning samt att använda lämplig armeringsmängd och kontraktionsfogar (ACI Committee 224, 2008). En lämplig betongsammansättning innebär enligt Petersons (1994) en låg vattenhalt för minskad slutkrympning och/eller fördröjd uttorkning och på så vis sänkt krympningshastighet (Petersons, 1994). En lägre vattenhalt är möjligt om väl sorterad ballast med minimalt sandinnehåll och så stor största kornstorlek som är praktiskt möjligt används och styvare koncistens tillåts. En låg gjuttemperatur är också fördelaktigt för en långsammare uttorkning (ACI Committee 224, 2008).

Betongen klarar av en högre belastning om lasten ökas långsamt då betongen ges tid att härda och därmed utveckla sin draghållfasthet innan den belastas fullt ut. Därav bör betongen hindras från snabb uttorkning (ACI Committee 224, 2008).

4.1.3.1 Krympsprickor på grund av yttre mothåll

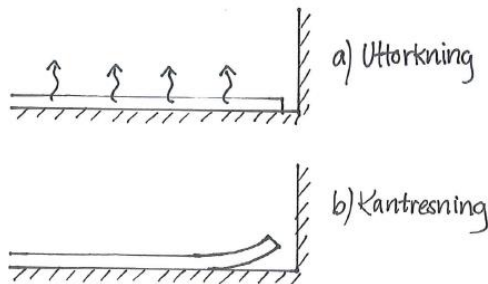
En betongkonstruktion utsätts så gott som alltid av någon form av mothåll; antingen från grunden, en annan del av konstruktionen eller från armeringen innesluten i betongen (ACI Committee 224, 2008).

Då krympningen förhindras av yttre mothåll uppstår sprickor vinkelrätt rörelseriktningen. Dessa sprickor är oftast genomgående och har väldigt varierande bredd. Dessa krympsprickor har många likheter med genomgående temperatursprickor och ofta är sprickbildningen i en konstruktion orsakad av dessa två sprickfenomen kombinerade (Petersons, 1994). Se spricktyp I i Figur 5.

4.1.3.2 Krymsprickor på grund av differenskrämpning

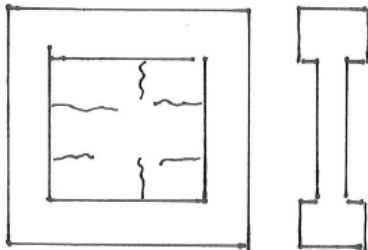
Differenskrämpning kan uppkomma genom ensidig uttorkning, olika krämpningshastighet eller olika slutkrämpning i en betongkonstruktion (Petersons, 1994).

Vid ensidig uttorkning krymper den frilagda ytan fortare än resterande del av konstruktionen. Detta genererar dragspänningar i ytan som om de blir tillräckligt höga leder till sprickbildning i form av krackelering. Dragspänningarna i ytan kan även göra att konstruktionen vill kröka sig. Detta är ett vanligt problem vid flytande betonggolv där krökningen av ytan ger upphov till kantresning (ACI Committee 224, 2008; Petersons, 1994).



Figur 11: Illustration över problemet med kantresning av flytande betonggolv

Olika krämpningshastighet hos olika delar av konstruktionen leder till tvångskrafter i anslutningen mellan dessa delar vilket kan orsaka sprickbildning. Den största anledningen till skillnader i krämpningshastigheter är tjockleksdifferenser; en tunn konstruktion krymper snabbare än en tjock. Därav kan denna typ av sprickor förhindras genom tjockleksutjämning (Petersons, 1994).



Figur 12: Sprickbildning där olika delar av konstruktionen har olika krämpningshastigheter

Olika krämpningshastigheter kan även uppkomma på grund av fuktgradienter över tvärsnittet då ytan torkar snabbare än mitten av konstruktionen. Detta kan ge upphov till dragspänningar i ytan och tryckspänningar i det inre. Dragspänningarna i ytan kan leda till ytsprickor som vid vidare uttorkning av betongens inre kan utvecklas djupare ner i betongen (ACI Committee 224, 2007; ACI Committee 224, 2008).

Varje betongsammansättning har sitt specifika värde på slutkrämpningen. Gjuter man ihop två delar med stor skillnad i kvarvarande slutkrämpning kommer tvångskrafter uppstå i fogen och betongen kan spricka. Denna sprickrisk elimineras genom att välja betongsammansättning efter angränsande konstruktionselement och eventuellt fukta den betong som man ska gjuta emot (Petersons, 1994).

4.1.4 Sprickor av volymökning av material inneslutna i betongen

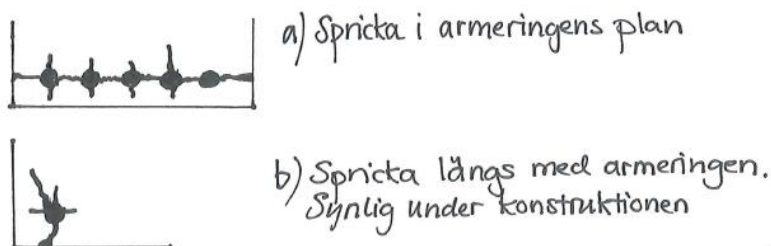
4.1.4.1 Sprickor av korrosion hos armering

Armeringen i en betongkonstruktion kan utsättas för korrosion av två olika anledningar, karbonatisering eller kloridinträngning (Fagerlund, 1992). Korrosionsprodukterna upptar 2-3 gånger så stor volym som det korroderade stålet vilket gör att betongen spricker (ACI Committee 224, 2007; Petersons, 1994). Sprickbildning på grund av kloridinitierad armeringskorrosion uppträder mer än 1-2år efter gjutning. Den karbonatiseringsinitierade korrosionen orsakar sprickbildning först efter över 5-10år (Petersons, 1994).

Korrosion hos armering är en elektrokemisk process som kräver närvaro av syre, fukt samt ett flöde av elektroner i stålet. Detta gör att armering i betong normalt inte rostar då den starkt alkaliska miljön i betongen gör att ett hårt bundet hydroxidjon-skikt täcker armeringen och skyddar den från rostangrepp, armeringen är passiverad. Armeringens passivering kan brytas av att alkaliniteten reduceras genom karbonatisering eller genom jonangrepp av till exempel klorider vilket innebär att armeringen kan rosta (ACI Committee 224, 2007). Med hänsyn tagen till sprickbildning bör inte kalciumklorider tillåtas i betongen. Dessa klorider förekommer bland annat i vissa accelererande tillsatsmedel (ACI Committee 224, 2008).

Sprickor i betongen möjliggör att syre, fukt och klorider lättare kan nå armeringen och verkar på så sätt accelererande på korrosionsprocessen (ACI Committee 224, 2007).

Sprickor orsakade av armeringskorrosion uppträder längs med armeringen (ACI Committee 224, 2007; Petersons, 1994). När korrosionen nått tillräckligt långt kan täcksiktet sprängas bort och armeringen friläggas (Petersons, 1994). Sprickbildning på grund av karbonatiseringsinitierad armeringskorrosion illustreras som L i Figur 5 ovan och sprickbildning av kloridinitierad armeringskorrosion illustreras som M i samma figur.



Figur 13: Sprickbildning orsakad av armeringskorrosion

För att förhindra korrosionen av armeringen kan man stoppa eller vända den kemiska reaktionen genom att antingen förhindra tillgången till syre eller fukt eller förse anoden med överskottselektroner för att förhindra bildandet av metalljoner. Den bästa åtgärden för att förhindra sprickbildning på grund av armeringskorrosion är dock att använda en betong med låg permeabilitet och ett tillfredställande täcksikt (ACI Committee 224, 2007). Om stålet är dåligt ingjutet i betongen och det finns hålrum runt armeringen finns ingen passivering av armeringen ens från början. Detta gör att

korrosionen startar direkt och konstruktionens livslängd blir mycket kort. Av denna anledning är det mycket viktigt att betongen komprimeras tillfredställande vid gjutning (Fagerlund, 1992).

4.1.4.2 Sulfatangrepp

Sulfatangrepp kan generera sprickbildning några år efter gjutning (Petersons, 1994).

Sulfater som förekommer i omgivningen kring en betongkonstruktion kan tränga in i betongen och reagera med de kalcium- och aluminiumföreningar som förekommer som klinkermineral i cementet. Vid reaktionen bildas ettringit eller thaumasit beroende på vilken komponent sulfatet reagerar med. Dessa ämnen sväller kraftigt då de tar upp fukt vilket gör att betongen kan spricka (Rombén, 1994).

Betonghandboken beskriver att sprickbildningen startar i hörn och kanter och med tiden utbildas krackelering. Om krackeleringen fortgår vittrar betongen till slut sönder (Petersons, 1994). För mer fakta kring krackelering se avsnitt 4.1.2.2. Enligt Fagerlund (1992) leder sulfatangrepp ofta till totalt sönderfall och betonghandboken menar att dessa skador av svällningstyp leder till sprickbildning och hållfasthetsfall (Rombén, 1994).

I Sverige förekommer detta problem endast i undantagsfall i samband med kontakt med förorenat grundvatten men sprickfenomenet är vanligare utomlands (Petersons, 1994). Industriella processvatten och avloppsvatten kan även innehålla höga halter av sulfat (Fagerlund, 1992). För att skydda betongen mot sulfatangrepp bör betongen vara tät vilket kan åstadkommas genom tillsatser av vissa puzzolaner och/eller ett lågt vct (ACI Committee 224, 2007) samt inneha låga halter av klinkermineralet C_3A vilket sulfatet reagerar med (Fagerlund, 1992).

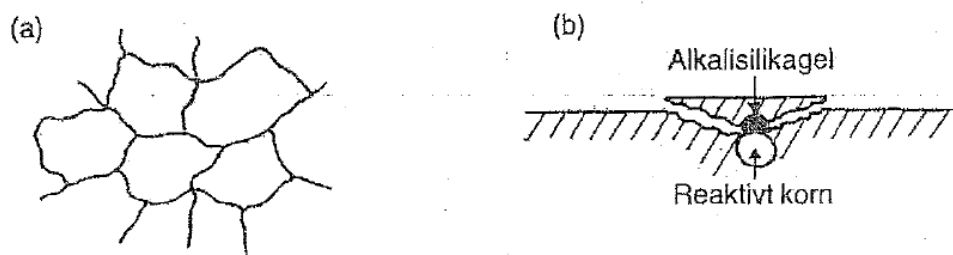
4.1.4.3 Alkaliballastreaktioner

Efter mer än 5 år efter gjutning kan sprickor uppkomma på grund av alkaliballastreaktioner (Petersons, 1994). Denna reaktion mellan alkalier i betongen och reaktiv kiselsyra i ballasten bildar en gel vilken sväller kraftigt i kontakt med fukt. Denna volymökning kan resultera i att betongen spricker och till och med kollapsar (ACI Committee 224, 2007). Det krävs dock en viss kombination av mängd reaktiv ballast, kornstorlek, alkalihalt och fuktnivå i betongen för att den skadliga svällningen ska uppstå. Dessa faktorer beror av varandra så att för en viss mängd reaktiv ballast av en speciell kornstorlek krävs en specifik alkalinitivå för maximal svällning, för en annan kornstorlek är förhållandena annorlunda (Rombén, 1994).

Alkalier kan finnas i cementet, tillsatsmedel eller tillföras utifrån exempelvis genom härdningsvatten, grundvatten eller genom att alkalihaltiga ämnen förvaras på den färdiga konstruktionen (ACI Committee 224, 2008).

Sprickbildningen uppstår först som ett regelbundet sprickmönster (ACI Committee 224, 2007). Sprickorna kan vara mer eller mindre djupa (Rombén, 1994) och ofta leder problemet till en omfattande uppsprickning av hela konstruktionen (Fagerlund, 1992). Alkaliballast reaktioner kan också ge upphov till så kallade popouts där en liten del av betongen sprängs loss från ytan (ACI Committee 224, 2008). Mörka fuktfläckar kan ses kring sprickorna och vissa fall kan droppar av gelen ses tränga ut

ur sprickorna likt en sirapsliknande vätska (Rombén, 1994). I Figur 5 ovan har sprickor på grund av alkaliballastreaktioner givits beteckningen N.



Figur 14: a) Typiskt sprickmönster vid ett inre angrepp, b) Popout (Fagerlund, 1992).

För att hindra dessa sprickor från att utvecklas finns begränsningar för hur reaktiv ballasten får vara (ACI Committee 224, 2008). I Sverige är vi relativt förskonade från denna typ av ballast, den förekommer endast lokalt i Skåne och fjällkedjan (Fagerlund, 1992). Även alkaliinnehållet i cementen är reglerat och det finns rekommendationer kring tillsatser av puzzolaner (ACI Committee 224, 2008).

4.1.4.4 Porös ballast

Somliga porösa ballastmaterial har en stor förmåga att suga upp fukt. Denna fuktabsorption leder till en volymökning hos ballasten och betongen kan sprängas sönder av expansionen. Denna typ av ballast har samtidigt en sämre frostbeständighet vilket ökar risken för sprickor orsakade av frost (Petersons, 1994).

4.1.4.5 Frostsprickor

Frost är skadligt för betongen genom att vatten i cementpastan som fryser tar upp en större volym än sin ursprungliga. Detta gör att det vatten som ännu inte hunnit frysa pressas genom porsystemet till större porer där det tillåts frysa och iskristaller växer. Betongen utsätts därmed för hydrauliskt tryck av vattnets förflyttning samt av tryck från de växande iskristallerna. Blir detta tryck för stort spricker betongen (ACI Committee 224, 2007).

Vatten kan även frysa i sprickor i betongen. Undersökningar har visat att betong med en lufthalt på 5% (dvs. med luftinblandning) klarar av att ta hand om volymökningen hos vatten som fryser i sprickor med upp till 0,6 mm bredd. Därefter är risken stor för spjälkskador såvida inte isen glider ut ur sprickan (Fagerlund, 1994).

Man skiljer på frostpåverkan där betongen utsätts för kontakt med rent vatten och där betongen utsätts för salthaltigt vatten. Vid frysning med rent vatten angrips betongens inre vilket visar sig på ytan som ett tätt sammanhängande mönster av relativt grova och djupa sprickor (Se Figur 33: Frostsprickor i skvalpzonen på vägbrons ramben. Figur 33 i fallstudien nedan). Då betongen utsätts för lätt salthaltigt vatten angrips istället ytorna och stora flagor skalas av (Fagerlund, 1994).

Då betongkonstruktioner befinner sig i kontakt med vatten kan vattnets cykliska frysning och upptining skada och försämra betongen med tiden. Konstruktioner i detta klimat bör ha ett lägre vct än vad som krävs ur hållfasthetssynpunkt. Ett vct runt 0,4 är lämpligt och luftinblandning krävs (ACI Committee 224, 2008). Det är också

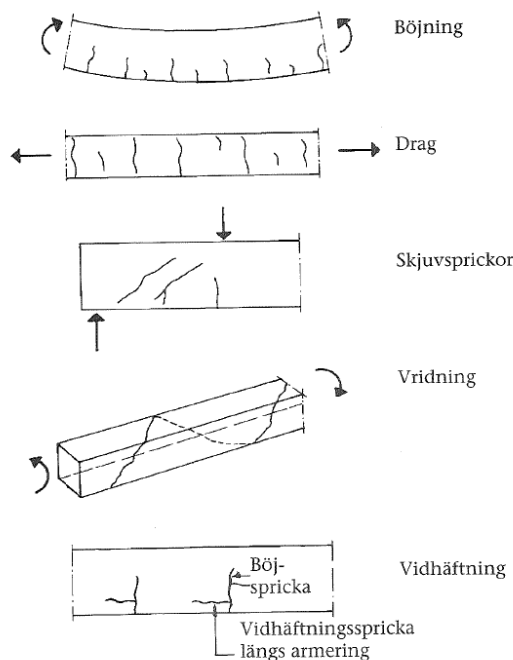
viktigt att betongen ges tid att härda innan den utsätts för frysning (ACI Committee 224, 2007).

4.2 Sprickor av belastning

4.2.1 Sprickor av dimensionerande last

Vid belastning uppstår vissa sprickor som konstruktören har dimensionerat konstruktionen för. Dessa är mikrosprickor, böjsprickor, skjuvsprickor vidhäftningssprickor, vridsprickor och dragsprickor (Petersons, 1994).

Böj- och dragsprickor uppkommer vanligtvis vinkelrätt mot armeringen förutsatt att armeringen är placerad i huvuddragriktningen (se markering O i Figur 5) (Petersons, 1994). De tre viktigaste parametrarna vid utvärdering av böjsprickor är spänning i armeringen, täcksiktets storlek och avstånd mellan armeringsjärn (ACI Committee 224, 2008). Skjuvsprickor uppkommer diagonalt mot armeringen (se markering P i Figur 5) och vidhäftningssprickor uppkommer längs med armeringen (Petersons, 1994). De sprickor som uppkommer av den dimensionerande lasten är i regel mindre än 0,3 mm (Petersons, 1994) och har litet djup om dimensioneringen är korrekt utförd (Isaksson et al, 2010). Om breda lastsprickor uppkommer under brukstiden indikerar det ett begynnande brott (Petersons, 1994).



Figur 15: Illustration av de olika spricktyper som kan uppkomma vid belastning (Isaksson et al, 2010).

4.2.2 Sprickor på grund av överbelastning

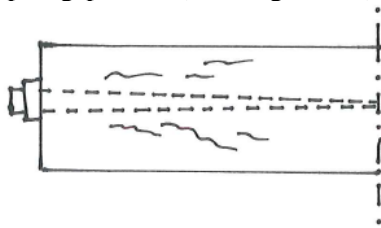
Sprickor på grund av överbelastning uppkommer då konstruktionen utsätts för en större last än den dimensionerats för. Detta kan uppstå direkt vid belastning eller någon gång under konstruktionens livslängd. Överbelastning orsakar sprickor relaterade till armeringen (Petersons, 1994).

Vid för höga vidhäftningsspänningar kan sprickbildning uppstå parallellt med armeringen. Detta är särskilt vanligt då konstruktionen har litet täcksikt. För att förhindra denna sprickbildning bör armering placeras vinkelrätt mot den armering som ger upphov till sprickan (Petersons, 1994).

Då en konstruktion är spännarmerad finns risk för överbelastning i förankringszonen (Petersons, 1994). Sprickor i denna zon kan leda till att konstruktionen kollapsar. Därav bör förstärkningar i form av tvärgående armering och/eller aktiv förstärkning i form spännarmering installeras (ACI Committee 224, 2008; Petersons, 1994).

I förespända spännbetongbalkar är det vanligt att höga spjälkkrafter uppstår vinkelrätt mot spännkraften vilket kan leda till längsgående spjälkningssprickor vid spänntrådens förankring och in mot balkens mitt (ACI Committee 224, 2008; Petersons, 1994). Sprickorna startar mellan armeringens förankringar och utvecklas parallellt med förspänningskrafterna vilket kan orsaka gradvis försvagning av konstruktionen. Detta är ett problem speciellt då förspänningskrafterna verkar nära en fri kant (ACI Committee 224, 2008).

I efterspända konstruktioner kan också sprickor uppstå i förankringszonen. Dessa brottsprickor går längs med spännarmeringen och beror också på spjälkkrafter (ACI Committee 224, 2008; Petersons, 1994) men sprickorna kan kategoriseras som sprängsprickor (bursting cracks) (ACI Committee 244, 2008).



Figur 16: Spjälksprickor i en spännarmerad betongbalk

4.2.3 Krypsprickor

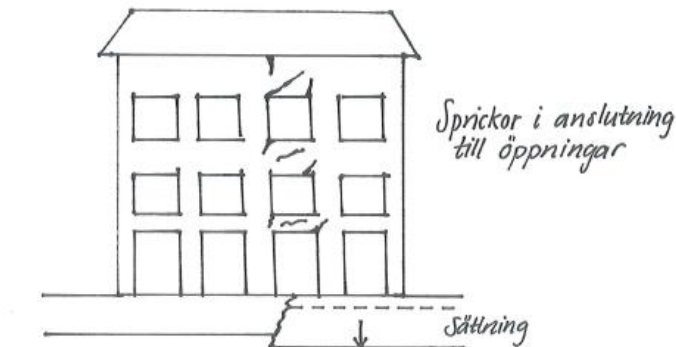
ACI Committee 224 (2008) definierar krypning som den fortsatta deformationen av betong under konstant belastning. Krypning är något som utbildas med tiden (Isaksson et al, 2010). Denna deformation är permanent och kan orsaka oförutsedd sprickbildning genom att överföra last till delar av konstruktionen som inte är dimensionerade för en ökad last. Sprickornas utseende kommer bero på den typ av lastökning som krypningen ger upphov till (ACI Committee 224, 2008). Se Figur 15: Illustration av de olika spricktyper som kan uppkomma vid belastning (Isaksson et al, 2010). Vanligast förekommande är böjsprickor då deformationen ofta visar sig som en nedböjning (Isaksson et al, 2010).

Krypningen påverkas av faktorer som betongens hållfasthet, cementpastans krypegenskaper samt fukthalts- och temperaturvariationer (Hillerborg, 1994).

4.2.4 Sprickor på grund av sättning i grund

Vid belastning av en konstruktion kan grunden sätta sig. Om sättningen hos en konstruktions grund är ojämn kan det leda till sprickbildning (Petersons, 1994).

Sprickor uppstår framförallt över och i anslutning till öppningar i konstruktionen såsom fönster och dörrar men kan även förekomma i sekundärkonstruktioner likt mellanväggar eller i tvärsnittsförändringar samt i inåtgående hörn (Petersons, 1994).



Figur 17: Vid ojämn sättning av en konstruktion kan sprickor bildas (Petersons, 1994).

Är differenssättningen liten har sprickorna endast en estetisk inverkan på konstruktionen. Om differenssättningen däremot är stor kan sprickbildningen leda till brott. Sättningarna är något som utbildas med tiden vilket gör att krypningen/relaxationen hos betongen kan reducera de spänningar som sättningen medför (ACI Committee 224, 2007).

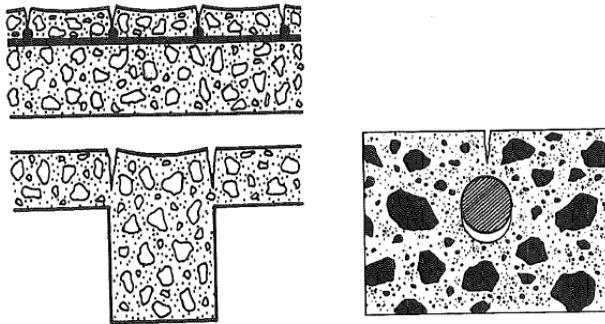
4.3 Sprickor orsakade av bristande arbetsutförande

4.3.1 Plastiska sättsprickor

Plastiska sättsprickor uppstår över armering (se markering A i Figur 5), vid valvbildning (exempelvis i brobanor, se markering B i Figur 5) och vid tjockleksförändringar (se markering C i Figur 5). Dessa sprickor uppträder i ett mycket tidigt stadium, oftast inom 1-3 timmar efter gjutning (ACI Committee 224, 2008; Petersons, 1994).

Sprickorna uppkommer då nygjuten betong sätter sig på grund av vattenseparation hos betongmassan, det vill säga de tyngre partiklarna i betongmassan sjunker mot formens botten. Om denna sättning förhindras av väl stöttade konstruktionselement, exempelvis armeringsjärn, kan sprickor uppstå (ACI Committee 224, 2008; Petersons, 1994).

Dessa sprickor har ofta ett regelbundet mönster och ett litet djup men sprickornas bredd vid ytan kan bli upp till 5 mm (Petersons, 1994). Då de plastiska sättsprickorna uppstår vid armeringen så ökar sprickbildningen med ökad storlek på armeringsjärnen och minskat täcksikt. Sprickmängden kan även öka om vibreringen av betongen är otillräcklig eller om formarna läcker eller inte är tillräckligt styva (ACI Committee 224, 2007).



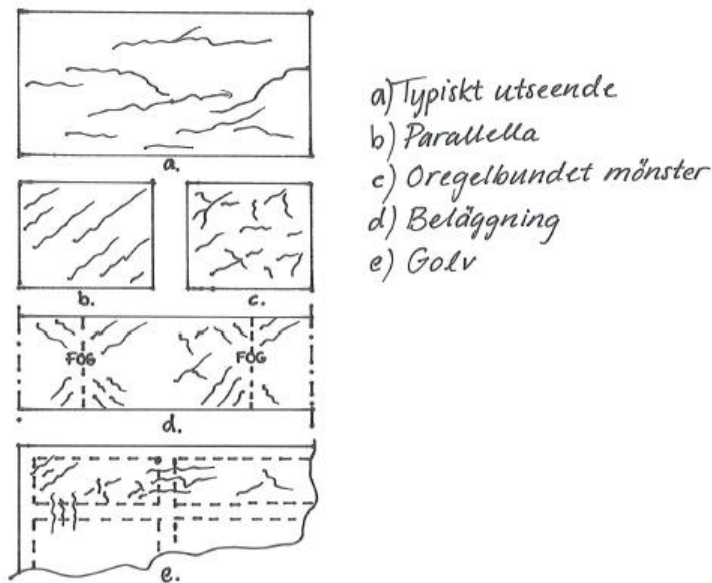
Figur 18: Plastiska sättsprickor över armering och vid tvärsnittförändringar (Petersons, 1994).

För att förhindra denna typ av sprickor så kan man gjuta med en betong med mindre vattenseparation, ha ett gjutuppehåll innan tjockleksförändringar i konstruktionen, vibrera betongen ytterligare efter att sättningen har uppstått eller efterbearbeta ytan (ACI Committee 224, 2008; Petersons, 1994). Efterbearbetningen kan till exempel göras genom stålglättning men denna åtgärd minskar sprickbredden vid ytan, inte längre in i konstruktionen (Petersons, 1994).

4.3.2 Plastiska krympsprickor

Denna typ av sprickor uppkommer eftersom betongens brottöjning minskar med betongens hårdnande samtidigt som krympningen ökar och när betongens plastiska krympning överstiger gränstöjningen uppstår sprickor (Petersons, 1994). Detta fenomen uppstår då fukten i den nygjutna betongens yta avgår snabbare än vad betongens blödning återför vatten till ytan (ACI Committee 224, 2008) det vill säga 1-3 timmar efter gjutning (Petersons, 1994). Den önskade blödningen är alltså positiv för hämmandet av plastiska krympsprickor. Sprickbildningen är även beroende av faktorer såsom låg relativ fuktighet i omgivningen, vindhastigheter vid ytan, yttemperaturen hos betongen och betongsammansättningen som alla påverkar hur fort fukten avgår från betongytan (ACI Committee 224, 2008).

Plastiska krympsprickor kan ha ett varierande utseende. Det kan vara ett oregelbundet mönster av sprickor (D i Figur 5), parallella sprickor (E i Figur 5) eller sprickor över armering (F i Figur 5) (Petersons, 1994; ACI Committee 244, 2007). De har ett inbördes avstånd som varierar mellan några millimeter till upp emot en meter (ACI Committee 224, 2008). Plastiska krympsprickor har även stora variationer i längd, från några millimeter till ett par meter. Sprickorna är ofta ytliga och har liten bredd men ibland uppkommer genomgående sprickor (ACI Committee 224, 2008; Petersons, 1994). Även de ytliga sprickorna kan utvecklas till genomgående sprickor senare under betongens livslängd (ACI Committee 224, 2007).



Figur 19: Olika varianter av plastiska krympsprickor

Plastiska krympsprickor kan förhindras om man direkt efter gjutning skyddar betongen mot uttorkning, membranhärdar eller fukthärdar betongen (ACI Committee 224, 2008; (Petersons, 1994). Om sprickorna uppkommer kan de i många fall arbetas bort genom efterbearbetning (glättning). Glättningen kan även utföras som en förebyggande åtgärd mot plastiska krympsprickor då detta arbetsmoment reducerar de spänningar som byggs upp i ytan (ACI Committee 224, 2008). Denna spricktyp uppkommer främst under våren och sommaren (Petersons, 1994).

4.3.3 Rörelsesprickor

Denna spricktyp uppkommer på grund av rörelser i formen eller sättningar i grunden under och just efter gjutning (Petersons, 1994). Sprickbildningen uppstår eftersom betongen i tidig ålder inte har hunnit utveckla tillräcklig hållfasthet för att bära sin egen vikt (ACI Committee 224, 2007).

Rörelsesprickor har många likheter med plastiska krympsprickor men är ofta mer systematiskt orienterade (Petersons, 1994).

För att förhindra rörelsesprickor bör formar och ställningar vara noggrant dimensionerade och kontrollerade (Petersons, 1994).

4.3.4 Värmehärdningssprickor

Vid värmehärdning utan förhärdning kan sprickor uppstå. Vid ökad temperatur utvidgas luften i betongen mer än resterande delar av betongen vilket ger ett ökat inre portryck som kan leda till sprickbildning. Denna sprickbildning reducerar konstruktionens hållfasthet (Petersons, 1994).

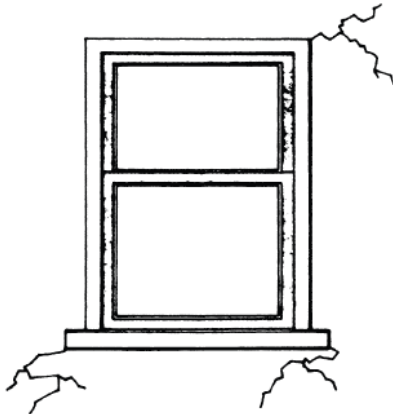
Sprickbildningen sker i betongens inre vilket gör den svår att upptäcka vid en visuell inspektion ((Petersons, 1994).

Vid förhärdning ökar betongens draghållfasthet innan den utsätts för det ökade portrycket vilket gör betongen mer hållfast. Andra åtgärder för att minska sprickor på grund av värmehärdning är att ha en styv sluten form så att betongen inte kan utvidgas eller använda en betong som är varm vid gjutning (Petersons, 1994).

4.3.5 Sprickor på grund av lastkoncentrationer

Dessa sprickor uppstår oftast i spännbetongkonstruktioner efter förspänningen (se avsnitt 4.2.2 om sprickor på grund av överbelastning). Sprickor kan även uppstå om efterspänningen av en spännbetongkonstruktion utförs på fel sätt, exempelvis genom fel ordning vid uppspanning eller vid val av betong med för låg hållfasthet (Petersons, 1994).

Lastkoncentrationer kan även uppstå då spänningar skapas i konstruktionen av en eller annan anledning. Lasten koncentreras då till inåtgående hörn i konstruktionen och oundvikliga sprickor kommer att formas i dörr- och fönsteröppningar och väl förankrad diagonal armering krävs för att hålla sprickorna begränsade. Om konstruktionen saknar den rätta armeringen kan dessa sprickor propageras och till och med leda till brott (ACI Committee 224, 2007).



Figur 20: Sprickor kring ett fönster på grund av lastkoncentrationer (ACI Committee 224, 2007).

4.3.6 Sprickor i gjutfogar

Då en konstruktion platsgjuts måste gjutfogar (arbetsfogar) utföras av arbetstekniska skäl, gjutingen delas in i gjutetapper (Molin, 1992). Om vidhäftningen vid ihopgjutning av angränsande konstruktionsdelar är dålig kan sprickbildning initieras (Petersons, 1994). Om gjutfogen placeras i en del av konstruktionen med höga spänningar ökar risken för att betongen spricker längs med fogen (ACI Committee 224, 2007).

Gjutfogar uppvisar ofta en högre permeabilitet än omgivande betong, ofta 10^1 - 10^4 gånger så stor. Studier har visat att permeabiliteten hos fogen kan reduceras om bindemedel stryks över fogen (Hyung-Mok et al, 2014).

För att öka vidhäftningen vid gjutfogar bör fogytan göras rå så att ballastmaterial framträder (Molin, 1992).

4.3.7 Önskade sprickor kring rörelsefogar

Betong är ett material som uppvisar viss rörelse under sin livstid. För att ta hand om denna rörelse på ett kontrollerat sätt används rörelsefogar i konstruktioner av betong (ACI Committee 224, 2007). Exempel på rörelsefogar är längdändringsfogar, tvärförskjutningsfogar, eller övergångskonstruktioner i broar. Man skiljer på isolationsfogar som tillåter rörelse i både horisontal- och vertikalled och därmed frikopplar byggnadsdelen helt och kontraktionsfogar som endast tillåter rörelseändring i planet och överför laster vertikalt (Molin, 1992). Om dessa inte utförs med lämpligt mellanrum (för väggar 1-3 gånger väggens höjd) kommer betongen att spricka (ACI Committee 224, 2007). Avståndet mellan rörelsefogar i betongkonstruktioner på mark beror på beskaffenheten hos grunden. Konstruktioner på jord behöver ett minsta avstånd på 30-40m mellan fogarna medan konstruktioner på berg behöver ett betydligt kortare avstånd mellan fogarna. Tvärförskjutningsfogar krävs där grundläggningen övergår mellan material av olika fasthet för att motverka eventuella differenssättningar (Molin, 1992).

Den enklaste formen av rörelsefog består av en asfaltspapp som avskiljer två delar av konstruktionen. Det finns andra modeller som tillåter avvattning, modeller med glidlager eller med elastiska mellanlägg som tillåter fri rörelse. Det finns även metoder där en foganvisning utförs genom sågning i den färska betongen eller placering av en trälist på underlaget. När fogen sen öppnas kan den fyllas igen med fogmassa (Molin, 1992). Dessa foganvisningar placeras på ett ställe där sprickan ger så liten påverkan som möjligt på konstruktionens hållfasthet och funktion. Studier har visat att dessa foganvisningar på ett effektivt sätt säkerställer att sprickbildningen sker på anvisad plats (Xianglin et al, 2011). För att föra över lasten genom fogen kan dymlingar försedda med en beläggning med låg friktion eller ett plaströr monteras i fogen (Molin, 1992).

För vissa rörelsefogar finns krav på täthet. Exempel på tätningsanordningar är ingjutna plåtar, fogband av gummi eller plast, gjutasfaltisolering, gummitätning samt asfalt. Fogbanden klarar till skillnad från ingjutna plåtar av att ta hand om skjuvning längs fogen och är lättare att skarva och forma. Dock är dessa mer känsliga för skador

och dislokalisering vid ingjutningen. Gummitätning och tätning med asfaltlösning fungerar även i fogar där rörelser sker i flera riktningar (Molin, 1992).

4.4 Armeringens inverkan

I armerad betong beror inte sprickbilden enbart på egenskaperna hos betongen. Den beror också på samverkan mellan betongen och armeringen (Xianglin et al, 2011). De grundläggande principerna för sprickkontroll av lastinducerade sprickor är välkända och en minskad spänning i armeringen genom en ökad armeringsmängd är det som främst reducerar sprickbredden (ACI Committee 224, 2007). Armeringen gör att spänningarna fördelas längs med armeringsjärnen genom vidhäftningsspänningar vilket gör att sprickorna fördelas till fler smalare sprickor istället för få breda. Minimiarmeringen som krävs enligt dimensioneringsstandarder är ofta inte tillräcklig för att kontrollera sprickbilden utan man behöver extra armering för det avseendet (ACI Committee 224, 2008).

5 Bedömning av betongkonstruktioner i bruksskedet

Att bedöma orsakerna bakom en uppkommen sprickbildning är nödvändigt för att kunna bedöma hur sprickan bör lagas. Inspektion och tillståndsbedömning ger grundförutsättningarna för den följande repareringen och är ett verktyg för att välja en korrekt, hållbar och funktionell reparationsmetod (ACI Committee 224, 2007). Erfarenheter har visat att reparerade betongkonstruktioner har fått en mycket kortare livslängd än förväntat på grund av en felaktig bedömning av konstruktionens tillstånd (EU-Project REHABCON, 2004). Världen över finns flertalet modeller för utvärdering av betongkonstruktioners beskaffenhet och reparationsbehov (Farhidzadeh et al, 2013).

I dagsläget utvärderas armerade betongkonstruktioners funktion och säkerhet genom rutinbaserade visuella inspektioner. Detta gör att bedömningen blir starkt beroende av erfarenheten, kuskapen och expertisen hos inspektören. Vid dessa tillståndsbedömningar används ofta för enkelhetens skull sprickbredden som ett mått på skadorna på konstruktionen (Farhidzadeh et al, 2013). Dock menar Farhidzadeh et al (2013) att även faktorer såsom sprickornas fördelning och mönster bör tas med vid utvärderingen för ett mer korrekt resultat.

Då man mäter sprickbredder är det vanligen sprickbredden vid ytan som åsyftas. Dock kan denna skilja sig mycket från sprickbredden vid armeringen (Petersons, 1994). Då en konstruktion dimensioneras enligt dagens normer påverkar tjockleken på täcksiktet sprickbredden vid ytan i stor grad. Däremot har forskning visat att sprickbredden vid armeringen endast påverkas i liten utsträckning (eller inte alls) av tjockleken på täcksiktet. Detta gör att stora sprickvidder vid ytan inte entydigt innebär en ökad risk för armeringskorrosion (Tammo, 2009).

Den visuella inspektionen kan utföras så att en sprucken betongyta fuktas och sedan tillåts torka. Då uppträder sprickor med en bredd mellan 0,05 mm och 0,1 mm som mörka ränder. Ibland kan även sprickor med mindre bredd ses på detta sätt. Sprickor med en bredd över 0,1 mm kan ses med blotta ögat och då sprickorna har en bredd som överstiger 0,5 mm kan sprickans båda kanter ses visuellt (Petersons, 1994).

Nedan presenteras några av de indikatorer som kan vara till hjälp vid bedömning av orsak till uppkomsten av en spricka i en betongkonstruktion samt en beskrivning av några av de modeller som finns för utvärdering av en armerad betongkonstruktion i bruksskedet.

5.1 Indikatorer på sprickorsak

Ytsprickor uppstår ofta i ett mönster och beror på att betongen nära ytan har minskat i volym och/eller att betongen under ytan har ökat i volym (ACI Committee 224, 2008).

Oregelbunden sprickbildning kan orsakas av materialrelaterade orsaker. Dessa sprickor kan tränga rakt igenom även massiva konstruktioner och sprickbredderna kan variera från trådsmala till breda (ACI Committee 224, 2008).

Sprickor som uppträder längs med armeringen kan vara orsakade av korrosion hos stålet, höga vidhäftningsspänningar, tvärgående spänningar (exempelvis i en platta med drag i två riktningar), krympning eller sättningar (ACI Committee 224, 2007).

Om grov sprickbildning uppstår är det ett tecken på ett dimensioneringsfel med antingen felkonstruktion eller överbelastning (Petersons, 1994).

Byggnadstekniska sprickor kan orsakas av en last eller kombinationer av olika laster. Dessa sprickor kan uppvisa mycket varierande bredder men generellt uppträder de i en byggnadstekniskt förutsägbar riktning. Vid geometriska förändringar hos konstruktionen finns en ökad risk för att denna typ av sprickor uppkommer. Förekomsten av en enskild bred spricka indikerar att huvuddragspänningarna i konstruktionen finns vinkelrät mot sprickan och att sprickan beror på byggnadstekniska aspekter (ACI Committee 224, 2008).

Förändringen av sprickbredden inåt i konstruktionen kan indikera orsak bakom sprickbildningen. För vissa spricktyper såsom plastiska krympsprickor och böjsprickor avtar sprickbredden snabbt från ytan in mot armeringen. För andra spricktyper såsom genomgående krympsprickor och temperatursprickor i en tunn konstruktion är sprickbredden i stort sett konstant. För sprickor orsakade av temperaturgradienter kan till och med sprickbredden öka inåt i konstruktionen (Petersons, 1994).

Om kalk fälls ut ur sprickan indikerar det på att sprickan är vattenförande och genomgående (Petersons, 1994).

Hassanzadeh (2014) listar ett antal metoder som är vanliga att använda vid kartläggning av tillståndet hos en betongkonstruktion och vad dessa kan konstatera om konstruktionens tillstånd:

- | | |
|--------------------------------|---|
| • Borrkärnor | Resterande hållfasthet och styvhet, fuktnivå |
| • Ultraljud | Inre kohesion |
| • Sprickmikroskop | Sprickvidd |
| • pH-indikatorvätska | Karbonatiseringsdjup |
| • Kemisk analys av prov | Kloridhalt |
| • Täcksiktmetare | Tjocklek på täcksikt |
| • Mineralanalys | Kemisk påverkan |
| • Mikroskopering | Alkalikiselsyraangrepp |
| • RF-sensorer i betongen | Fuktnivå |
| • Laborieprover | Frostbeständighet, alkalikiselsyresistens, Sulfatresistens, karboniseringshastighet, Salt-frostbeständighet, luftporsystem, vct, kloridhalt, m.m. |
| • Potentialkartering | Armeringskorrosion (detektering och hastighet) |
| • Fältmässig snabbmetod | Kloridprofil |
| • Tunnslipsteknik | Bedömning av vct mm. |
| • Impact Eco | Detektering av inre sprickbildning och defekter (osäker metod) |
| • Fiberoptik | Fortgående deformationer |
| • Modanalys | Svängningsmönster vid snabb påförd belastning |
| • Brottmekaniska analysmetoder | Risk för fortskridande sprickbildning och brott |

Dessa metoder kan inte anses helt säkra vilket gör att observationer av konstruktionens beskaffenhet då reparationsarbetet har startat spelar stor roll för utformningen av reparationsinsatsen (Hassanzadeh, 2014).

5.2 Betonghandboken

I detta avsnitt beskrivs Betonghandboken Materials metod för tillståndsbedömning av betongkonstruktioner. Såvida inte annat anses refereras till Petersons (1994).

Betonghandboken beskriver kartläggning av sprickbildning som en utredning av tre faktorer; sprickbredd, sprickdjup samt sprickutveckling. För lokalisering av sprickorna anges även två metoder man kan ta till sin hjälp; belysning med ficklampa från sidan och målning eller sprutning av ytan med en vätska fluorescerande egenskaper som sugts in i sprickan.

Sprickbredder kan mätas med hjälp av en speciell sprickmätsticka med linjer av olika bredd eller med ett sprickmikroskop. Sprickdjupet kan noggrant mätas om en liten cylinder borras ur betongen och borrhålet undersöks med ett endoskop. En annan metod är ultraljudsmätning där sändare och mottagare placeras på var sida av sprickan. Den senare metoden har vissa osäkerheter då förekomsten av vatten eller orenheter i sprickan kan påverka resultatet.

En uppskattning av sprickutvecklingen kräver upprepade inspektioner av konstruktionen. För att bedöma om sprickan är rörlig eller ej kan gipsförband placeras över sprickan. Om gipsförbandet sedermera spricker så har sprickan utvidgats. Mätdubar kan även placeras på var sida spricka så att avståndet dem emellan kan mätas kontinuerligt. Det finns även ledade mätstickor som kan monteras över sprickan för att registrera sprickutvecklingen i flera riktningar.

Denna kartläggning bör noteras skalenligt på en ritning. Variationer i bredd och djup bör noteras för att en så representativ bild som möjligt av sprickbilden ska förmedlas.

Som en extra säkerhet vid dimensionering av armerade betongkonstruktioner brukar sprickbredden begränsas. Betonghandboken föreslår 0,4 mm som den största acceptabla bredden. Vid speciella miljöer såsom konstruktioner med korrosionskänslig armering eller konstruktioner utsatta för avisningssalter bör sprickbredden begränsas ytterligare till maximalt 0,2 mm. För att konstruktionen ska anses som vattentät bör den maximala sprickbredden också understiga 0,2 mm. För konstruktioner i havsmiljö bör sprickbredden begränsas till 0,3 eller 0,4 mm i kombination med ett ökat täckande betongskikt samt gynnsamma egenskaper hos cementet.

5.3 BaTMan

Trafikverket har tagit fram ett hjälpmedel för effektiv förvaltning av broar, tunnlar och andra konstruktioner av betong. Detta verktyg kallas BaTMan som står för Bridge and Tunnel Management (Batman, 2014). BaTMan innehåller teknisk data om konstruktioner, rapporter, handböcker och publikationer mm samt ett IT-verktyg för att organisera och utföra aktiviteterna under förvaltningsprocessen (Trafikverket, 2014). Det är inte bara Trafikverket själva som använder systemet utan även Sveriges kommuner och landsting, Stockholms lokaltrafik, Stockholm stad och Göteborgs hamn (Batman, 2014).



Figur 21: Förvaltningsprocessen enligt BaTMan (Trafikverket, 2013).

Trafikverket ställer verksamhetskrav på förvaltningen av broar, tunnlar, bryggor, färjelägen, stödmurar och tråg. I BaTMan finns en portal där användaren kan se vilka aktiviteter som ska utföras under förvaltningsskedet för att dessa krav ska uppfyllas (Batman, 2011).

Den förvaltningsstrategi som definieras i BaTMan kräver regelbundna och systematiska inspektioner av konstruktionerna för att säkerställa att kraven på säkerhet och framkomlighet uppfylls. Vid inspektionerna ska konstruktionens fysiska och funktionella beskaffenhet utredas vilket ska utgöra underlag för planering och genomförande av underhållsåtgärder på kort och lång sikt (Batman, 2011). Enligt Kraven som Trafikverket ställer på förvaltningen skall fyra typer av inspektioner genomföras (Vägverket, 2007) där skadorna på konstruktionen klassificeras efter tillstånd vilket avgör tidsramen för ny inspektion, utredande och åtgärdande (Batman, 2011). Tillståndsklasserna definieras enligt nedan där indelningen baseras på konstruktionens funktionella egenskaper, funktionskraven, mätvärden och förväntad framtida nedbrytning (Vägverket, 2008).

TK 0	Bristfällig funktion bortom 10 år
TK 1	Bristfällig funktion inom 10 år
TK 2	Bristfällig funktion inom 3 år
TK 3	Bristfällig funktion vid inspektionstillfället

I förvaltningskraven ställs även kompetenskrav på den personal som ska utföra inspektionen där ett av kraven är en ingenjörutbildning (Vägverket, 2007).

En översiktlig inspektion ska utföras av underhållsentreprenören minst en gång per år där det ska säkerställas att kraven som ställs på speciella konstruktionsdelar i underhållsentreprenaden är uppfyllda. För denna inspektionstyp finns undantag från kompetenskraven där inspektören endast behöver besitta kunskap om förekommande mätmetoder och kännedom om konstruktionens uppbyggnad och verknings sätt (Vägverket, 2007).

Huvudinspektioner ska utföras minst vart sjätte år. Vid dessa tillfällen ska konstruktionen undersökas och brister som kan påverka konstruktionen inom en 10-årsperiod ska bedömas (Batman, 2011). Samtliga konstruktionselement samt anslutande delar ska inspekteras på handnära avstånd. Inspektionen kan ske visuellt men där så erfordras ska mätningar av sprickor samt vidhäftning av sprutbetong utföras (Vägverket, 2007).

Allmänna inspektioner utförs för att följa upp de vid huvudinspektionen framkomna bristerna som inte åtgärdats. Inspektionen kan utföras visuellt och alla konstruktionselement inklusive anslutande delar ska inspekteras såvida de inte befinner sig i vatten (Vägverket, 2007).

Särskilda inspektioner ska genomföras då det vid en regelbunden inspektion framkommit ett behov att närmare undersöka bristerna hos en viss konstruktionsdel (Vägverket, 2007).

Trafikverket ställer även krav på dokumentationen av dessa inspektioner. Det skall finnas allmänna inspektionsuppgifter som inspektionsdatum, inspektionsförrättare samt tid och typ för nästa inspektion. För eventuella skador ska bland annat skadetyper, skadeorsak, fysiskt tillstånd med mätmetoder, funktionellt tillstånd, fiktiv åtgärd med pris samt eventuella bilder och skisser presenteras (Vägverket, 2007). BaTMan erbjuder även en hjälp vid skadebedömning av broar för val av mätmetod baserat på skadans orsak och skadad konstruktionsdel. För dessa mätmetoder finns rekommenderade gränsvärden som inte bör överskridas. Dessa värden är dock bara riktvärden och det är upp till den enskilde inspektören att avgöra graden av skadan (Vägverket, 2008).

Alla konstruktioner ska ha en åtgärdsplan som kontinuerligt uppdateras. För konstruktioner som kräver en underhållsåtgärd inom 6 år ska en planering utföras där en tydlig huvudstrategi definieras (Batman, 2011).

5.4 American Concrete Institute

The American Concrete Institute presenterar i sin rapport ACI 224.1R-07 en metod för utvärdering av sprickbildning i betongkonstruktioner (ACI Committee 224, 2007). Där inte annat anges refereras till denna rapport.

ACI presenterar en modell för utvärdering av sprickor i fem steg:

- 1) Lokalisera och bedöm utbredningen av sprickbildningen
- 2) Avgör om sprickbildningen indikerar på ett nuvarande eller framtida konstruktionsfel
- 3) Bedöm orsaken till sprickbildningen med utgångspunkt i ritningar, specifikationer, drift- och underhållshandlingar samt fältobservationer.
- 4) Om punkt 3 inte gett tillräckligt med underlag ska en fältundersökning och strukturell analys genomföras
- 5) Välj reparationsmetod.

Genom direkt och indirekt observation bör lokalisering och bredd på sprickor föras in på ritningar över konstruktionen (gärna försedda med ett rutnät för att underlätta). Bredden på sprickorna kan bestämmas med hjälp av ett skalförsett mikroskop(lupp) som placeras mot betongytan eller med ett "sprick-kort" försett med linjer av olika bredd. Noteras bör även eventuella nivåskillnader över sprickan, spjälkning/flisning, synlig armering, ytskador och rostfläckar. Vill man inspektera djupare ner i sprickan kan man använda sig av ett fiberskop eller ett boroskop. Eventuella rörelser i sprickan kan övervakas med en mekanisk rörelseindikator.

Man kan också lokalisera och bedöma sprickbildningen genom oförstörande provning. Denna metod kan avgöra förekomsten av inre sprickbildning och hålrum samt djupet på de sprickor som är synliga vid ytan. Att knacka på betongytan med en hammare är en enkel metod för att bestämma laminär sprickbildning nära ytan. Ett ihålligt ljud indikerar att en eller flera sprickor finns under och parallellt med ytan. En

dyrare och metod är användandet av infraröd mätutrustning. Med ultraljudsutrustning kan betongens kvalitet mätas genom hastigheten hos signalen. Resultatet kan påverkas av många olika faktorer vilket gör det viktigt att kunnig personal utvärderar resultatet. Man kan även använda impact-echo tekniker, röntgen och ground-penetrating radar. Oförstörande provning är ett viktigt verktyg för att avgöra var mer omfattande provning såsom kärnprovning bör utföras.

Med utgångspunkt i konstruktionsritningar, armeringsplacering och andra ritningar bör det kontrolleras att konstruktionen är utförd enligt planen samt att de dimensionerande lasterna stämmer överrens med de laster som konstruktionen utsätts för. Här bör hänsyn även tas till inspänningsförhållanden, fogar samt betongens deformation.

Om man misstänker armeringskorrosion är det säkrast att avlägsna täcksiktet och observera stålet. Det finns elektropotentialinstrument som kan mäta korrosionspotentialen hos armeringen.

ACI rekommenderar att sprickbredden tillåts ha ett maximalt värde som baseras på den miljö konstruktionen befinner sig i (ACI Committee 224, 1989 citerad i Petersons, 1994).

Torr luft eller skyddande membran	0,4 mm
Fuktig miljö	0,3 mm
Utsatt för tölsalter	0,2 mm
I kontakt med havsvatten	0,15 mm
Vattentäta konstruktioner	0,1 mm

5.5 Beräkningsmodell

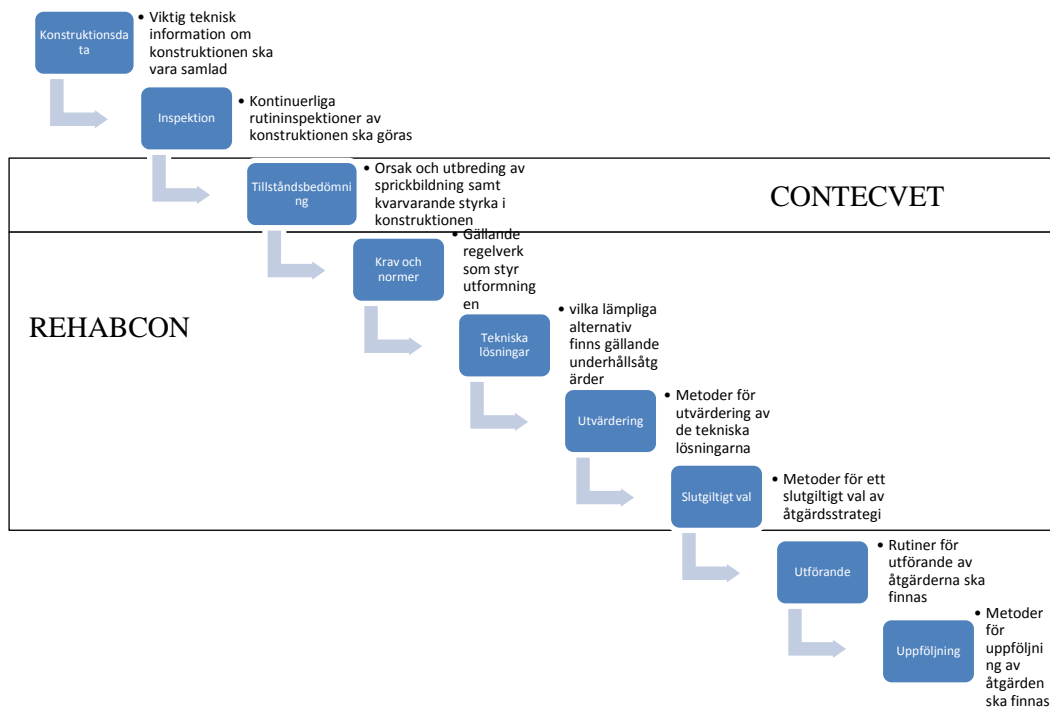
“Fractal Analysis of Residual Crack Patterns”

Dagens modeller för utvärdering av betongkonstruktioner i bruksgränstillståndet är alla baserade på visuella bedömningar. Farhidzadeh et al (2013) föreslår en ny modell för tillståndsbedömning av betongkonstruktioner där man vill minimera den subjektiva aspekten som en visuell inspektion innebär. Med införandet av ett ”Damage Index” (DI) vill författarna utveckla en mer kvantitativ beräkningsmodell med skadeklassificering. DI kan enligt studien även ge en uppskattning av styvhetsförlusten hos konstruktionen. Modellen är dock ännu inte testad fullt ut men förespås kunna bli en stor tillgång vid bedömning av den fortsatta livslängden hos betongkonstruktioner (Farhidzadeh et al, 2013).

5.6 Europeiska projekt

Mellan 1992 och 2004 utfördes tre Europeiska samarbetsprojekt inom området betongreparationer. Det första projektet kallades BRITE/EURAM och behandlade tillståndsbedömning av betongkonstruktioner. Som en vidareutveckling av detta uppkom projektet CONTECVET på samma ämne. Sedan startades projektet REHABCON som behandlar de senare faserna i förvaltningsskedet av en betongkonstruktion från val av optimal reparationsmetod till utförande av åtgärden och framtida underhåll (CBI, 2014a).

Nedan presenteras en schematisk figur som beskriver förvaltningsprocessen definierad enligt de två senare projekten samt de olika områdena för CONTECVET och REHABCON.



Figur 22: Presentation av arbetsgången i förvaltningsprocessen enligt de Europeiska projekten baserat på REHABCON-manualen (EU-Project REHABCON, 2004).

5.6.1 CONTECVET

"A Validated User's Manual for Assessing the Residual Service Life of Concrete Structures"

CONTECVET är ett EU-finansierat forskningsprojekt avslutat 2000 som syftade till att ta fram en metod och en manual för bedömning av kvarvarande livslängd hos skadade betongkonstruktioner. Metoden behandlar nedbrytning av fyra olika mekanismer; armeringskorrosion, alkaliskreaktioner, frostangrepp och urlakning där olika manualer är framarbetade för varje skademekanism. Dock är grundprincipen för utvärderingen den samma (EU-Project REHABCON, 2004).

Tillståndsbedömningen enligt CONTECVET sker i tre steg; Inspektion och provning på plats, diagnostisering av orsaken till skadan och dess effekt på konstruktionens hållfasthet samt förväntad utveckling av skadorna och dess konsekvenser för konstruktionen. Metoden är stegvis framskridande (progressiv) där undersökningen avslutas då tillräcklig information för en pålitlig bedömning har erhållits. Man skiljer på inledande tillståndsbedömning (Simplified Assessment) och en fördjupad undersökning (Detailed Investigation). Den inledande tillståndsbedömningen har en kvalitativ ansats och är baserad på skadeklassificeringsmetoder vilka ger ett värde på SISD (Simplified Index of Structural Damage). SISD-värdet används sedan för att

bedöma hur brådskande det är att åtgärda konstruktionen där skalan sträcker sig från omedelbar reparation till fortsatt periodvis inspektion. Den fördjupade bedömningen är kvantitativ och hållfasthetsbedömningar görs utifrån nedbrytningens påverkan på olika lasteffekter (EU-Project REHABCON, 2004). Följande punkter bör ingå i en detaljerad tillståndsbedömning (Hassanzadeh, 2010):

- Förståelse för konstruktionens form, beteende samt egenskaper
- Nedbrytningseffekterna uttryckta i konstruktionstekniska termer såsom tvärsnitts-/sektionsminskning
reduktion av hållfasthet, seghet och styvhet
förskjutningar och deformationer utöver de normala
- Beaktande av nedbrytningens effekt på var och en av konstruktionens egenskaper
- Bedömning av konstruktionens grad av överdimensionering dvs. känslighet mot nedbrytning

Tillståndsbedömningen ska beskriva typen av skador på konstruktionen och dess utbredning, orsaken till skadorna, medelgraden av skadorna samt tiden tills en åtgärd måste utföras. Detaljerad information om hur denna information ska samlas finns i manualerna gällande de fyra behandlade skademekanismerna (EU-Project REHABCON, 2004).

CONTECVET testades i ett pilotfall vid Porsi kraftverk för att utvärdera metodens tillämpbarhet. Där ansågs metoden logisk och som ett bra hjälpmedel vid tillståndsbedömningar. Dock framhölls problemet med att CONTECVET endast behandlar fyra olika nedbrytningsmekanismer och inte kan hantera samverkan mellan flera olika mekanismer. Det anses ändå att CONTECVET:s manualer och systematik med goda resultat kan användas som grund för utveckling av metoder för tillståndsbedömning där skadorna orsakas av fler mekanismer än de fyra definierade enligt CONTECVET (Hassanzadeh, 2010).

5.6.2 REHABCON

”Strategy for Maintenance and Rehabilitation in Concrete Structures”

REHABCON är en fortsättning på CONTECVET och syftar till att skapa ett praktiskt förvaltningssystem och en reparationsmanual för befintliga betongkonstruktioner. Utifrån de resultat som framkommit ur tillståndsbedömningen (typ, orsak och lokalisering av skadan) enligt CONTECVET kan arbetsmetoden enligt REHABCON användas. Projektet initierades då man ansåg att en etablerad metod för beslutsfattande i förvaltningsprocessen gällande reparationer saknades. I projektet ingick parter från Sverige, Spanien och Storbritannien (EU-Project REHABCON, 2004).

Manualen är främst relaterad till materialteknisk sprickbildning men kan även appliceras för sprickor av belastning samt bristande arbetsutförande. Manualen fokuserar på åtgärden att reparera konstruktionen. Dock bör tre alternativa åtgärder ha i åtanke; att inte göra någonting och fortsätta bevaka konstruktionen, att begränsa användningen av konstruktionen eller att riva och bygga nytt. REHABCON-

manualen beskriver behovet av att ha en förvaltningsprocess där både tekniska och ekonomiska parametrar ges utrymme för en optimal förvaltning. Utvärdering sker med hänsyn till följande parametrar (EU-Project REHABCON, 2004):

- Livslängd/hållbarhet
- Hållfasthet/säkerhet
- Utförande
- Miljöeffekter
- Kostnader

Manualen är mycket omfattande och innehåller en genomgång av de krav och normer som reglerar reparation av konstruktionen, möjliga tekniska lösningar, samt modeller för utvärdering av reparationsmetoder och slutgiltigt val av reparationsmetod. Jämför med Figur 22: Presentation av arbetsgången i förvaltningsprocessen enligt de Europeiska projekten baserat på REHABCON-manualen (EU-Project REHABCON, 2004).

5.7 Sammanfattad modell för tillståndsbedömning

Utifrån de ovan nämnda modellerna sammanfattas här de grundläggande delarna i en tillståndsbedömning av en betongkonstruktion.

En tillståndsbedömning bör inledas med en inspektion av konstruktionen. Hur inspektionen utförs beror på konstruktionen och den individ som utför inspektionen. Vilka hjälpmedel som används är individuellt. Ett populärt redskap är hammaren där laminär sprickbildning under ytan kan lokaliseras. Dock kan vissa grundpelare urskiljas som bör kartläggas vid inspektionen; sprickmönster, sprickdjup och sprickbredd bör antecknas på en ritning.

Den visuella inspektionen bör eventuellt kompletteras med provtagningar för att säkerställa och bekräfta den förmodade skadeorsaken. Provmeter bestäms därmed av förmodad skadeorsak och blir därav olika från fall till fall.

Därefter bör en skrivbordsundersökning genomföras där ritningar och dimensioneringsförutsättningar granskas för att utreda om konstruktionen är byggd enligt plan och utsätts för de laster som förmodats.

Slutligen bör alla resultat sammanfattas i en rapport.

Sammanfattad modell för tillståndsbedömning:

1. Visuell inspektion
2. Eventuell provtagning
3. Skrivbordsundersökning
4. Rapportskrivning

6 Reparation av sprickor

Sprickor i en betongkonstruktion behöver repareras om de reducerar konstruktionens hållfasthet, styvhet eller hållbarhet. Man kan också behöva reparera en konstruktion för att den ska bibehålla sin funktion eller för att utseendet ska fortsätta vara estetiskt tilltalande. Baserat på den fakta som framkommit i tillståndsbedömningen av betongkonstruktionen bör reparationsmetod väljas med hänsyn till orsaken bakom sprickan och med grund i ett eller flera av följande mål med reparationen (ACI Committee 224, 2007):

- Återställa eller höja hållfastheten
- Återställa eller höja styvheten
- Förbättra funktionen
- Upprätta vattentätethet
- Förbättra utseendet på betongytan
- Förbättra beständigheten
- Förhindra utvecklingen av korrosiv miljö vid armeringen

Lämplig reparationsmetod varierar beroende på sprickans karaktär såsom om sprickorna är passiva eller rörliga samt beroende på fuktillståndet i betongen. Exempelvis så är det inte lämpligt att injektera sprickor då armeringen korroderar eller om sprickbildningen är orsakad av korrosion (EU-Project REHABCON, 2004). De logiska principer för val av reparationsmetoder (exempelvis genom REHABCON) som finns att tillgå har traditionellt sett ofta frångåtts då reparationens påverkan på konstruktionens fortsatta livslängd förbisetts. Många gånger beror detta på att samverkan mellan den befintliga betongen och reparationen inte beaktats eller helt enkelt inte varit känd, och till viss del saknas fortfarande viss information på detta område. Bland annat är det fuktmekaniska sambandet mellan betong och reparationsmaterial inte fullt utrett vilket innebär ett problem då flertalet av de mekanismer som orsakar sprickbildning är relaterade till fukt. Denna kunskapslucka gör att de beräkningsmodeller för kvarvarande livslängd som tagits fram för betongkonstruktioner i bruksskedet är mycket osäkra och ännu inte praktiskt tillämpbara (Hassanzadeh, 2014).

Förutom den information kring hur en betongkonstruktion i bruksskedet kan utvärderas (Se avsnitt 0) finns ett antal publikationer kring reparationsmetoder för armerade betongkonstruktioner. Genom ett Nordforsksprojekt år 2004 togs NORECON fram där olika reparationsmetoder beskrivs och standarder presenteras. ACI har tillsammans med ICRI² gett ut ”Concrete Repair Manual – 3rd Edition” vilken presenterar omfattande information kring reparationsmetoder. EU har även tagit fram en standard för reparation av betongkonstruktioner som heter SS-EN 1504. Där presenteras ett stort antal metoder som materialtillverkare kan använda för provning av reparationsmaterialet vilket förenklar jämförelse produkter emellan (Hassanzadeh, 2014). På hemsidan betongreparation.se finns material från Betonghandbok Reparation som har uppdaterats med nya rön från bland annat REHABCON och SS-EN 1504. Där finns bland annat hjälp att finna gällande vilken

² ICRI International Concrete Repair Institute

reparationsmetod som kan vara lämplig vis en viss typ av skada (Betongreparation.se, 2014). Trots denna stora kunskapsbank finns det fortfarande oklarheter inom området betongreparation (Hassanzadeh, 2014).

Hassanzadeh (2014) har utrett dagens situation gällande reparation av betongkonstruktioner. Han menar att det idag är vanligare att stora beställare ställer krav på entreprenören gällande reparationsarbetet än vad det var förr. Kraven som ställs gäller vidhäftningshållfasthet, tryckhållfasthet och saltfrostbeständighet samt även på ytjämnhet och kulör. Dock är det ändå oftast så att entreprenören själv väljer reparationsmetod vilket brukar innebära den billigaste, men kanske inte lämpligaste, lösningen.

Det finns två huvudsakliga metoder för att reparera sprickor; injektering samt ytförsegling. Injektering används ofta i samband med förstärkning av konstruktionen även om metoden bara förbättrar draghållfastheten lokalt. Konstruktionens totala styvhet är bara marginellt påverkad då nya sprickor lätt kan formas mellan de reparerade sprickorna. Ytförseglingen utförs för att skydda betongen och armeringen från aggressiva material genom antingen applicering av ett membran eller genom fräsning av ett spår som fylls med lämpligt tätningsmedel. Den senare metoden används oftast vid rörliga sprickor (EU-Project REHABCON, 2004). Nedan beskrivs ett antal sådana reparationsmetoder och några alternativa lösningar.

Det finns även ett stort antal produkter för reparation av sprickor i betong och vissa välkända produkter presenteras för några reparationsmetoder.

6.1 Reparationsmetoder

6.1.1 Injektering

Injektering är en reparationsmetod som används för att skapa en impermeabel och vattentät konstruktion, för att hindra ännen som initierar armeringskorrosion att nå armeringsstålet och/eller att förstärka konstruktionens hållfasthet (SS-EN 1504-5:2013). Injekteringsmassan som används kan verka på tre olika sätt; en styv injektering verkar kraftöverförande, en elastisk tätning kan tätta konstruktionen även om sprickan uppvisar viss rörelse och en svällande tätning kan återkommande vid uppfuktning svälla för att tätta en spricka (SS-EN 1504-5:2013).

Injektering av epoxi, polyuretan eller mikrocement är de vanligaste metoderna för att laga sprickor i betong men på senare år har användningen av kristalliserings-tekniken ökat som en alternativ metod (Molin och Syvertsen, 2007), se mer i avsnitt 6.1.2 nedan.

6.1.1.1 Epoxiinjektion

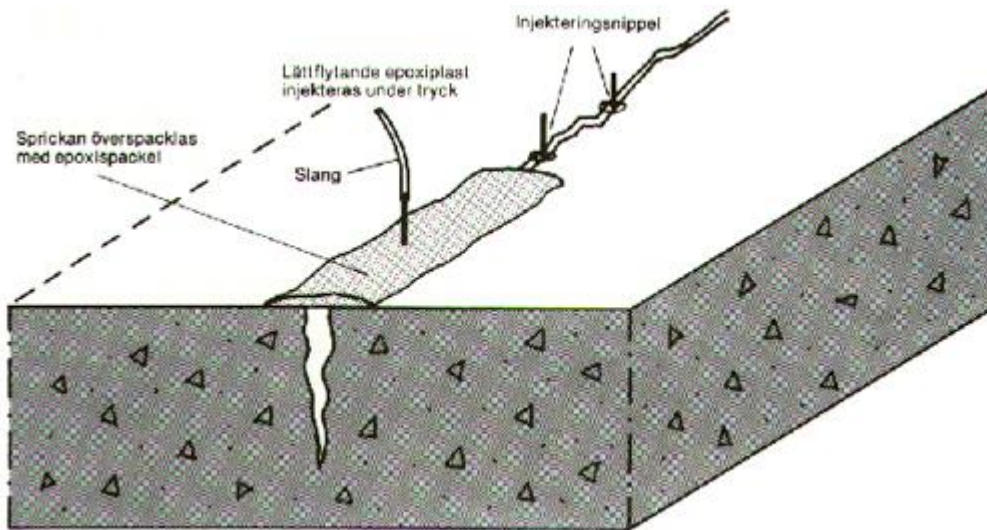
Sprickor så smala som 0,05 mm kan tätas med epoxiinjektion (ACI Committee 224, 2007) och metoden fungerar även väl för tätning av breda sprickor (Mapei, 2014). Sto (2014) rekommenderar att epoxiinjektering används för sprickor med en bredd mellan 0,2 och 3 mm och Betongreparation.se (2014) rekommenderar epoxi för sprickor mellan 0,05 och 0,6 mm. För läckande sprickor rekommenderas normalt inte tätning med epoxi (Molin och Syvertsen, 2007). Men det finns epoxityper som kan användas

även i vattenfyllda sprickor (Nils Malmgren, 2014). Effekten av dessa fukt-toleranta varianter av epoxi reduceras dock lätt av orenheter i sprickan (ex. silt och vatten). Epoxi har med gott resultat tätat sprickor i byggnader, broar, dammar och andra betongkonstruktioner (ACI Committee 224, 2007).

Epoxi har flera olika ingående komponenter; epoxiharts, härdare samt reaktiva spädmedel och övriga tillsatser. Beroende på proportionerna av dessa komponenter kan epoxin få vitt skilda egenskaper. Den typ av epoxi som används inom bygg- och anläggningsindustrin har en låg molekylvikt (lågmolekylär) vilket gör att hartsen ofta är flytande och detta är den mest reaktiva typen av epoxiharts. Det är även den typ av harts som har visat sig mest allergiframkallande och arbetsmiljön måste noga beaktas vid användande av epoxi. I AFS 2005:18 anges i 21 § med grund i hälsoaspekter att epoxi endast får användas på en tillfällig arbetsplats (till exempel en byggarbetsplats) om en utredning har gjorts och användningen är nödvändig för att säkerställa kraven på slutprodukten och alternativa tätningsmedel inte finns att tillgå. Den härdade epoxin är dock inte hälsofarligt (AFS 2005:18)

Härdning av epoxin sker då epoxiharts och härdare blandas (AFS 2005:18). Blandningen kan ske satsvis eller kontinuerligt. Då blandningen görs satsvis så rörs bindemedlen ihop enligt tillverkarens anvisningar. Det är viktigt att inte blanda mer epoxi än man hinner använda innan massan börjar härda. Epoxin blir då mycket mer trögflytande och det är inte längre möjligt att injektera massan. I den kontinuerliga blandningen blandas komponenterna i samband med injekteringen. De två flytande bindemedlen pumpas separat till en blandare där bindemedlen blandas och sedan pumpas epoxin direkt in i sprickan (ACI Committee 224, 2007).

Injekteringen går till så att sprickan förseglas och med täta intervall uppförs in- och utlopp (injekteringsnipplar) för massan längs med sprickan. Förseglingen kan utföras med exempelvis epoxi eller polyester som stryks över ytan och tillåts hårdna. Sedan injekteras epoxin under tryck. Om inte högt injekteringstryck krävs kan förseglingen utföras med en avtagbar plastfilm vilket ger en finare yta. Injekteringstrycket bör vara väl avvägt då ett för högt tryck kan propagera sprickan ytterligare och förvärra skadan (ACI Committee 224, 2007).



Figur 23: Principen för tätning av en spricka genom epoxiinjektering (Plast & Byggt teknik AB, 2007).

Vid epoxiinjektering limmas sprickan ihop och konstruktionen återfår mycket av sin ursprungliga massiva uppbyggnad (Mapei, 2014). Epoxi uppvisar en mycket god vidhäftningsförmåga, mekanisk styrka samt kemikalieresistens (Nationalencyklopedin, 2014). Även om epoxi återger betongen sin ursprungliga styrka är inte epoxiinjektering en lösning på sprickbildning orsakad av konstruktionsbrister. I dessa fall bör konstruktionsfelet utredas och åtgärdas (Basham, 2006). Epoxi är inte elastiskt och lämpar sig därmed inte för tätning av rörliga sprickor (Sika, 2009).

Vid injektering med epoxi är det viktigt att sprickan är ren då föroreningar försämrar penetrationen och vidhäftningen. Vidare behöver orsaken till sprickbildningen elimineras annars kommer nya sprickor formas bredvid sprickan som är tätad med epoxi. Om orsaken inte kan elimineras har man tre alternativ; vidga och försegla sprickan och därmed betrakta den som en rörelsefog (se mer detaljerat nedan), upprätta en ny rörelsefog nära sprickan som kan ta hand om betongens rörelse eller installera ytterligare stöd eller armering vid sprickan för att minimera rörelsen. Tätning med epoxi kräver skicklighet i utförandet för att fungera väl och användandet av tekniken kan begränsas av omgivningens temperatur (ACI Committee 224, 2007).

6.1.1.2 Injektering med cement

Vida sprickor, särskilt i dammar och tjocka betongväggar, tätas med fördel genom injektering av portlandcement (ACI Committee 224, 2007). Sto (2014) anser att sprickor mellan 3 och 10 mm lämpligen tätas med cementinjektering medan Berongreparation.se (2014) anger att sprickor över 0,2 mm kan tätas med cementbaserade injekteringsmedel. De cement som används för injektering är vanligen så kallade mikrocement. Det är ett lågalkaliskt portlandcement som finmalts för att lättare kunna penetrera även fina sprickor (Cementa, 2014). Mikrocementen kan kombineras med olika tillsatser som exempelvis korrosionsinhibitorer (Sika, 2009) och man har lyckats att injektera sprickor så små som 0,05 mm med speciella mikrocement (Betongreparation.se, 2014).

Vid injektering med cement ska först betongytan längs med sprickan rengöras. Därefter placeras injekteringsnipplar med jämna mellanrum tvärs över sprickan för att injektionsapparaturen ska få en trycktät anslutning till sprickan. Mellan munstyckena förseglas sprickan med antingen en cementbaserad färg, en ytförseglare eller murbruk. Därefter spolras sprickan för att rengöra den samt för att testa förseglingen. Sedan injekteras portlandcementet. Injekteringen kan antingen ske med en manuell injekteringspistol vid små volymer eller en pump vid större volymer. Ett visst tryck bör bibehållas en tid efter injekteringen för att säkerställa en god penetration av sprickan (ACI Committee 224, 2007). Enligt Hassanzadeh (2014) finns ett behov av att förfinas metodiken för denna typ av injektering för ett optimalt utförande.

Injektering med portlandcement stoppar effektivt vattenläckage men bidrar inte till en ökad hållfasthet i konstruktionen (ACI Committee 224, 2007). Injektering med cementbaserade produkter har andra fördelar såsom att materialet skyddar mot armeringskorrosion, har viss självläkande förmåga och kan injekteras i vattenförande sprickor. Nackdelar med materialet är en något begränsad inträngningsförmåga, lång bindetid och att det inte kan användas i rörliga sprickor (Betongreparation.se, 2014).

Beroende på sprickans storlek kan man välja att injektera med en blandning av portlandcement och vatten eller portlandcement, vatten och sand. Det är dock viktigt att alltid ha så lågt vct som möjligt för att maximera hållfastheten och minimera krympningen. För att uppnå detta och bibehålla en god bearbetbarhet hos bruket kan vattenreducerare och andra tillsatsmedel användas (ACI Committee 224, 2007). Förutom lågt vct ställs även krav på brukets saltfrostbeständighet, cementsort och reologiska egenskaper (Hassanzadeh, 2014).

6.1.1.3 Injektering med kemiska murbruk

Kemiska murbruk har injekterats i sprickor så tunna som 0,05 mm (ACI Committee 224, 2007) och kan injekteras i sprickor av samma storleksordning som för epoxi, dvs. 0,2-3 mm (Sto, 2014). Dessa murbruk kan användas även om en viss rörelse befaras i sprickan (Mapei, 2014).

Kemiska murbruk såsom vissa polyuretaner och polyakrylater aktiveras av katalysatorer eller vatten och bildar då en gel, en fast utfällning eller ett skum som fyller tomrum i betongen (ACI Committee 224, 2007). Polymer³baserade material som dessa kan ha bristande beständighet då de sätts i kontakt med högalkalisk betong eller direkt solljus. Åldrandet av materialet innebär ofta förändringar av molekylstrukturen vilket leder till gradvis, spontana eller fuktinducerade förändringar. Denna nedbrytningsprocess är något som bör studeras närmare (Hassanzadeh, 2014).

Reparationsmetoden används framförallt för att täta betongkonstruktioner från vattenläckage. Bindningarna är relativt svaga vilket innebär att injektering med kemiska murbruk inte kan användas då konstruktionens hållfasthet måste förbättras

³ Polymer En kedjeformig molekyl bestående av monomerer sammanlänkade med kovalenta bindningar som bildar en repeterande kedja (Nationalencyklopedin, 2014).

(ACI Committee 224, 2007). En fördel med de polymerbaserade injekteringsmedlen är den goda inträngningsförmågan (Betongreparation.se, 2014).

Denna typ av injektering kan användas i fuktiga miljöer vilket är en fördel med metoden. Dock ställer metoden höga krav på utförandet för att fungera korrekt vilket är negativt (ACI Committee 224, 2007).

Nedan beskrivs två av de vanligaste kemiska murbruken.

6.1.1.3.1 Polyuretan

Polyuretan är vanligt förekommande som tätningsmedel för sprickor i betong (Molin och Syvertsen, 2007) och kan användas för att tätta sprickor mellan 0,12 och 50 mm (Betongreparation.se, 2014). Materialet används med fördel vid tätning av våta eller läckande sprickor (Basham, 2006). Polyuretan består av diisocyanat, harts och tillsatser av olika slag. Materialet kan förekomma i många olika former; cellplast, polyester, gummimaterial med mera med då det injekteras i betong används polyuretanskum (AFS 2005:18) eller polyuretanharts (Sika, 2009).

Det finns både enkomponents polyuretan och tvåkomponents polyuretan. Enkomponents polyuretan framställs genom prepolymeriseringsteknik på fabrik. Till tätningsmedlet tillsätts en katalysator där mängden avgör reaktionstiden. Då injekteringsmedlet kommer i kontakt med fukt eller vatten bildas en gel vilken expanderar under gasbildning. CO₂-gasen som bildas tvingar oreagerad polyuretan vidare in i finare sprickor och tätar aktivt betongen. En tvåkomponents polyuretan reagerar mycket snabbt då de två komponenterna blandas samman och kräver inget vatten för att reagera. Beroende på vilka komponenter som används utöver diisocyanat expanderar injekteringen mellan 0-20 gånger vid reaktion med varierad hållfasthet som resultat (De Neef, 2014)

Vissa polyuretanharts bildar en permanent försegling som kan hantera begränsade rörelser i betongen. Materialet krymper inte då det blir torrt vilket gör att polyuretanharts kan tätta både torra, fuktiga och vattenfyllda sprickor och fogar (Sika, 2014). Andra produkter såsom enkomponentspolyuretanen Purgel sväller i kontakt med fukt och krymper då fukten avgår (Mapei, 2014).

Inandning av diisocyanat kan orsaka hälsoproblem såsom astma liknande symptom, försämrad lungfunktion samt hudirritation. I AFS 2005:18 ställs speciella krav på hantering av polyuretan och maximal tillåten halt av fri diisocyanat i produkten (AFS 2005:18).

Innan applicering ska sprickor rengöras från lösa partiklar, damm och liknande med hjälp av tryckluft (Sika, 2014).

Polyuretan används med fördel tillsammans med cement (De Neef, 2014; Mapei, 2014). Det finns två olika metoder. Polyuretanen kan injekteras först för att bilda en tät front då mottryck inte kan byggas upp vid cementinjektering. Detta problem kan till exempel uppstå vid injektering av sprickor i tunnlar. Polyuretan kan även användas som tillsatsmedel i bruket vilket bromsar cementströmmen in i

spricksystemet. Denna kombination av olika tätningsmedel förhindrar en överflödigt cementanvändning och är därmed ekonomiskt fördelaktigt (De Neef, 2014).

En tätning med polyuretan ökar inte hållfastheten hos konstruktionen men man får en hållbar vattentätning som klarar av rörelse (Betongreparation.se, 2014).

6.1.1.3.2 Polyakrylat

Polyakrylat kan användas för att täta sprickor mellan 0,12 och 6 mm (Betongreparation.se, 2014).

Polyakrylat består av ett vattenlösligt tvåkomponentssystem med låg viskositet (De Neef, 2014). Injektering med detta kemiska murbruk ger en beständig elastisk försegling som kan hantera begränsande rörelser genom att svälla eller krympa beroende på fuktnivå. Materialet uppvisar fördelar såsom cyklisk frostbeständighet, olöslig i vatten, resistent mot syror och alkalier, användbarhet i grundvattenskyddade zoner och justerbar reaktionstid (Sika, 2014). Reaktionshastigheten hos injekteringsmedlet beror på proportionerna av basmaterial, katalysator, initiator och decelerator (De Neef, 2014).

Till skillnad från polyuretan har polyakrylat vissa lastbärande egenskaper. En begränsning med detta material är att det bör injekteras i torrhet och att det ej klarar av vattentryck (Betongreparation.se, 2014). Sika (2014) anger dock i produktbladet för sin polyakrylatbaserade injekteringsmassa att materialet har god vidhäftning mot både torra och våta ytor.

6.1.2 Tätning med kristalliseringsteknik

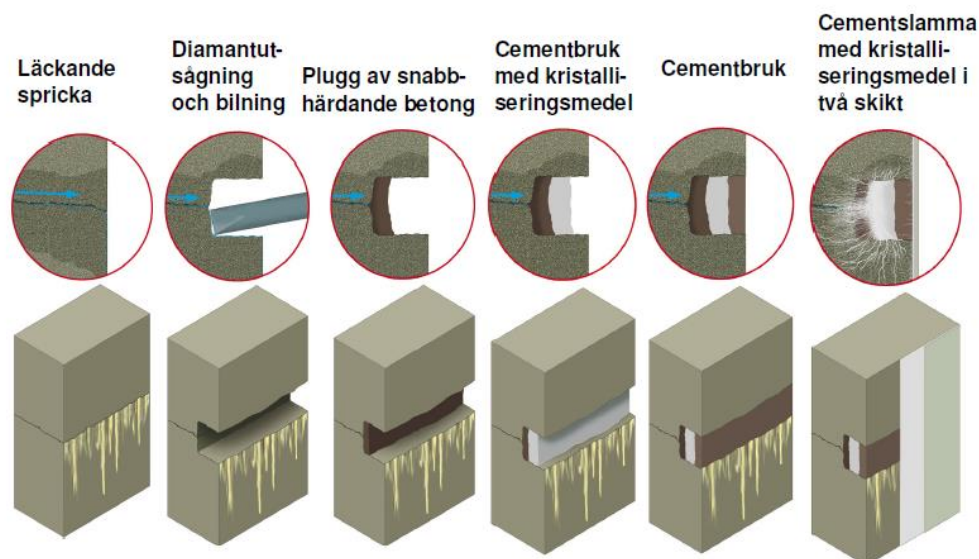
Tätningmaterialet som används vid kristalliseringstekniken består av portlandcement, finmald kvarts och speciella organiska tillsatser (Molin och Syvertsen, 2007).

Metoden är svårhanterlig då sprickor i tak ska tätas. Vid stora vattentryck kan kristalliseringstekniken behöva kompletteras med injektering av exempelvis polyuretan. I andra fall är kristalliseringstekniken effektiv mot tätning av läckande sprickor (Molin och Syvertsen, 2007).

Materialet kan strös över en nygjuten betongyta, blandas med vatten och appliceras på en hårdnad yta, eller blandas in i betongmassan innan gjutning. Det är vanligast att materialet appliceras på en hårdnad yta (Molin och Syvertsen, 2007) varvid denna metod behandlas nedan.

Då kristalliseringmaterialet appliceras på en yta migrerar organiska kemikalier och cementkomponenter in i betongens porsystem genom osmos. Denna transport av tätningsmaterial kan ske mot ett vattentryck. Inträngningsdjupet kan bli några decimeter då materialet appliceras på en betongyta. Då materialet kommer i kontakt med fukt startar ett hydrationsförlopp där kristaller fälls ut och tätar betongen. Betongen blir inte helt tät utan vattenånga och luft kan i viss utsträckning långsamt tränga igenom konstruktionen. Reaktionen fortsätter så länge det finns tillgång till fukt och startar igen om fukt tillförs (Molin och Syvertsen, 2007).

Vid vattenförande sprickor med en bredd över 0,5 mm sågas med diamantskär (eller bilas om armering förhindrar sågning) ett rektangulärt spår längs med sprickan. Spåret bör vara några centimeter brett och lite djupare. Om vattenflödet är stort bör snabbhärdande cementbruk appliceras i botten av spåret, med eller utan mekaniskt stöd. Därefter placeras kristalliseringsmaterial i spåret i flera steg. Material kan även placeras på området runt sprickan då vattenflödet kan finna nya vägar genom betongen (Molin och Syvertsen, 2007).



Figur 24: Principen för lagning av en spricka i en betongkonstruktion med kristalliseringsmetod (Molin och Syvertsen, 2007).

Den härdade lagningen kan antas ha samma egenskaper som omgivande betong då kristalliseringsmaterial till stor del består av Portlandcement; den kristallina strukturen är likartad betongens, dock något mindre (Molin och Syvertsen, 2007).

Metoden har använts länge med goda resultat i Kanada och USA vilket gör det anmärkningsvärt att inte metoden är väletablerad i Sverige. Användningen av kristalliseringsmetoden är inte dyrare än konventionella sprickinjekteringsmetoder. Likt Portlandcement är kristalliseringsmaterial irriterande vid hud och ögonkontakt men materialet kan anses miljövänligt och kan med hänsyn till hälsa och miljö användas i kontakt med dricksvatten (Molin och Syvertsen, 2007).

I Sverige finns idag två olika fabrikat av kristalliseringsmaterial tillgängliga för entreprenörer; Krystol och Penetron (Molin och Syvertsen, 2007). Krystol var det första kristalliseringsmedlet på marknaden då det började produceras av Kryton 1973 (Kryton, 2014) men idag är Penetron den ledande aktören på marknaden (Penetron, 2014b).

6.1.2.1 Penetron

Ett välanvänt kristalliseringsmaterial är Penetron. Materialet säljs i över 60 länder (Penetron, 2014b) och har bland mycket annat använts för restaurering av frihetsgudinnan och i det stora byggnadsprojektet som föranleddes av vinter OS i Sotji (Penetron, 2014c).

Penetron anges öka betongens tryckhållfasthet och genom förtätningen av betongen skyddar reparationsmetoden även mot kemikalieangrepp såsom från sulfater och klorider. Penetron tätar sprickor med upp till 0,4 mm bredd och då materialet repeterande tätar då det kommer i kontakt med fukt så tätas även sprickor som uppkommer senare under konstruktionens livstid (Penetron, 2014a).

Vid användande av Penetron har kristallin tillväxt påträffats ner till 1 m under betongytan där materialet applicerats. Önskas ännu djupare tätning kan hål borras, fyllas med Penetron och förseglas med cement (Penetron, 2014a).

6.1.3 Ytterligare armering

Befintliga konstruktioner kan förses med ytterligare armering på flera olika sätt. Den ökade armeringen kan användas för böjmomentförstärkning av balkar och plattor, tvärkraftförstärkning av balkar och som förstärkning av pelare (Hassanzadeh, 2014). Metoden kan även användas för att stabilisera en rörlig spricka. Denna åtgärd innebär dock att det finns en ökad risk för att betongen spricker på ett annat ställe (Basham, 2006).

6.1.3.1 Ytnära armering

Ytnära armering lämpar sig för reparation av relativt fina skjuvsprickor där injektering inte är möjlig (Hussein et al, 2013). Metoden används för att tillföra ytterligare dragarmering vinkelrät mot sprickan (ACI Committee 224, 2007).

Ett spår som är 3-6 mm bredare och djupare än den armeringen man har tänkt använda sågas ut ur betongen. Spåret rengörs och fylls med ett bindemedel som ska fungera som skydd för armeringen, det är vanligt att man använder epoxiharts. Därefter placeras armeringsjärnet i spåret. Armeringen kan antingen utgöras av böjd stålarmring eller förhärdade fiberkompositstänger (ACI Committee 224, 2007).

Armeringen kan även placeras på konstruktionens yta genom pålimning eller påskruvning av stålprofiler, stålplåtar, eller olika fiberförstärkta polymerer (FRP) såsom kolfiberband eller kolfiberväv (Hassanzadeh, 2014). Användandet av FRP har ökat på grund av reparationsmetodens enkla installation, lätta vikt, hög hållbarhet och draghållfasthet, elektromagnetiska neutralitet samt obegränsade variation i utformning (Hussein et al, 2013). Mapei (2014) anger reparation och uppgradering av bjälkar, reparation av brandskador, och förstärkning av brobeläggningar mm. som användningsområden för sina kolfiberarmerade profiler. Reparationsmetoden ökar konstruktionens hållfasthet genom att armeringen bidrar med ytterligare draghållfasthet som en förstärkning till den ursprungliga dragarmeringen (Hussein et al, 2013).

Då armeringen placeras på betongens yta kan problem uppstå med vidhäftningen. En skadad betongyta reducerar vidhäftningen kraftigt och armeringens fulla draghållfasthet kan inte utnyttjas. Därav bör den ytliga armeringen placeras på en grov yta reparerad från sprickor genom epoxiinjektion eller applicering av en tryckkraft som stänger sprickorna (Hussein et al, 2013). Beständigheten hos fiberkompositmaterial såsom kolfiberkomposit (ex. kolfiberväv) i kontakt med betong är inte fullt känd. Kolfiberkompositen byggs upp av polymerer vilka i många fall har

låg alkalibeständighet. Därav bör metoder för kvalitetskontroll utvecklas för tillverkningen och användandet av materialet utvecklas (Hassanzadeh, 2014). Tester har utförts där det visat sig att separering av materialen (betongen och den fiberförstärkta polymeren) var den först uppkomna skadan och att det var en hög relativ fuktighet som var den dominerande skadeorsaken (Grace, 2004). Även faktorer som UV-strålning, höga temperaturer och frost kan försämra vidhäftningen (Betongreparation.se, 2014).

6.1.3.2 Konventionell armering

Denna metod har framgångsrikt använts för att reparera spruckna armerade betongbalkar i broar (ACI Committee 224, 2007).

Metoden går till så att sprickan först förseglas. Därefter borrar man hål som skär sprickplanet i en rät vinkel. Sprickan och det borrhålet fylls sedan med epoxi med låg viskositet varefter armeringsjärnet placeras i det borrhålet. Epoxin sammanbinder armeringen till borrhålets väggar och fyller igen sprickan vilket återskapar betongens från början slutna struktur. Vanligtvis används armeringsjärn av dimensionen 13-16 mm och järnen bör sträcka sig åtminstone en halv meter ut i betongen från var sida sprickan (ACI Committee 224, 2007).

Vid placering av järnen bör man ta hänsyn till konstruktionens strukturella tillstånd och placeringen av befintliga järn (ACI Committee 224, 2007).

6.1.3.3 Spännarmering

Efterspänd armering är den bästa reparationsmetoden för armerad betong då en stor del av en konstruktion måste förstärkas eller då de uppkomna sprickorna måste stängas (ACI Committee 224, 2007). Spännarmeringen kan även verka som ersättning för korrosionsskadad armering (Betongreparation.se, 2014). Inom kraftindustrin görs ofta förstärkningar av dammar med nya installationer av spännarmering då konstruktionerna får förändrad belastning bland annat genom förändrade islaster. Som stöd i dimensioneringen har Svenska kraftverksföreningen arbetat fram riktlinjer som benämns RIDAS (Hassanzadeh, 2014).

Spännkablar eller stag används för att applicera en tryckkraft på konstruktionen (ACI Committee 224, 2007). Spännkablar anses vara mer tåliga mot korrosion än stag vilket har gjort att det är vanligare att spännkablar används (Hassanzadeh, 2014).

Då en tillräckligt stor tryckkraft appliceras kan uppkomna sprickor stängas (ACI Committee 224, 2007). Spännarmeringen ökar konstruktionens bärförmåga. Dock kan avlastning eller stämning vara nödvändigt under reparationsarbetet (Betongreparation.se, 2014).

Det är viktigt att spännstålet förses med adekvat förankring samt att hänsyn tas till att spänningen kan föra över laster till andra delar av konstruktionen och endast förflytta problemet (ACI Committee 224, 2007).

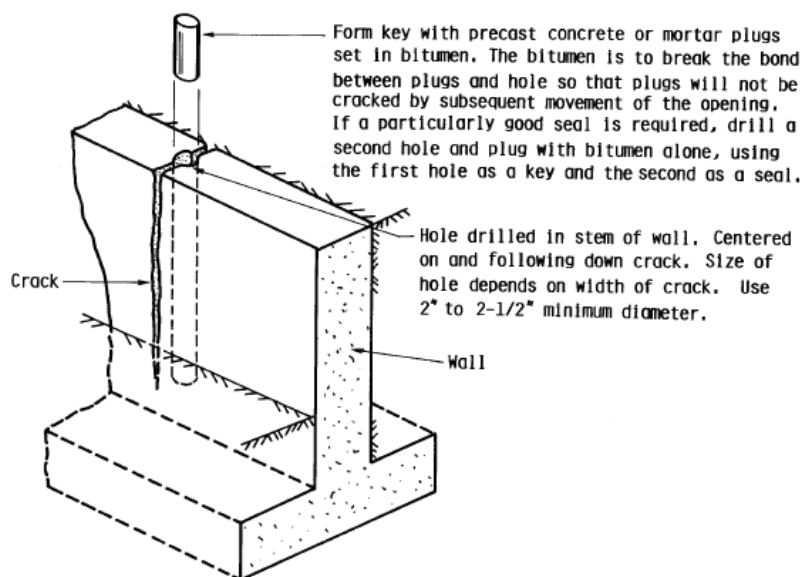
6.1.4 Borra och plugga

Denna reparationsteknik är endast applicerbar där sprickorna formar relativt rätta linjer och är tillgängliga från en sida. Ett typiskt exempel då dessa kriterier är uppfyllda är vid vertikala sprickor i stödmurar (ACI Committee 224, 2007).

Centrerat över sprickan borras ett hål längs med sprickans plan. Borrålet ska sedan rengöras innan det fylls med injekteringsbruk och pluggas igen med en plugg av förhårdad betong eller bruk. Pluggen bör täckas med bitumen för att förhindra bindning mellan pluggen och borrålets väggar och därmed undvika sprickbildning i pluggen vid rörelser i sprickan (ACI Committee 224, 2007).

Den cylinder som formas av injekteringsbruket och pluggen förhindrar tvärgående rörelser i sprickan. Cylindern reducerar också läckaget genom sprickan av så väl vatten som jord. Om vattentätet är viktigt hos konstruktionen kan borrålet fyllas med ett elastiskt material istället för injekteringsbruk. Man kan även välja att borra två hål varav det ena fylls med injekteringsbruk och det andra med ett elastiskt material för att få en både vattentät och hållfast konstruktion (ACI Committee 224, 2007).

Hållets diameter bör anpassas så att det skär sprickans plan längs hela dess längd och så att mängden reparationsmaterial är tillräcklig för de laster det kommer utsättas för (ACI Committee 224, 2007).



Figur 25: Principen för tätning av en spricka genom att borra och plugga (Figur 3.6, ACI Committee 224, 2007).

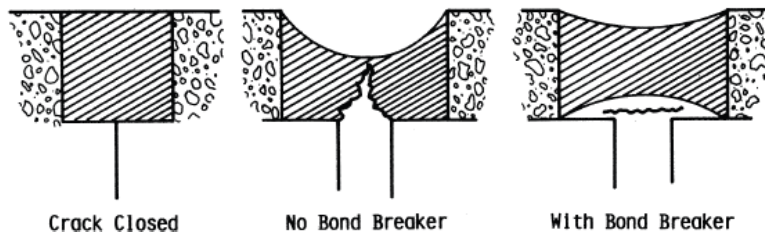
6.1.5 Vidga och försegla

Denna reparationsmetod lämpar sig då hållfastheten hos konstruktionen inte behöver förbättras. Ett vanligt användningsområde för vidgning och försegling är för tätning av sprickor i konstruktioner där det står vatten på betongytan heller där hydrostatiskt tryck förekommer. Metoden är både vanlig och relativt lätt att utföra och kan

användas till både tunna och breda sprickor. Reparationen används med fördel på plana horisontella ytor men kan även användas på vertikala och krökta ytor om rätt fogmassa väljs (ACI Committee 224, 2007). Förseglingen ska alltid utföras från den sida av konstruktionen som vattnet kommer ifrån (Betongreparation.se, 2014).

Först vidgas den längs med ytan exponerade sprickan med hjälp av en betongsåg eller en vinkelslip (ACI Committee 224, 2007). Bredden på spåret bör minst vara fyra gånger så stor som den förväntade rörelsen i sprickan. Vilket djup spåret bör ha beror av vilken fogmassa som ska komma att användas (EU-Project REHABCON, 2004) men är typiskt mellan 6 och 25 mm. Sedan rengörs den vidgade sprickan genom blästring med sand, luft eller vatten. Efter det förseglas spåret med en lämplig fogmassa, exempelvis epoxi, polyuretan, silikon, polysulfider, asfaltmaterial, polymurmbruk (ACI Committee 224, 2007) eller fogmassa baserad på polyakrylater (Mapei, 2014). De olika tätningsmassorna klarar av olika stora rörelser i sprickorna varvid denna aspekt bör beaktas vid valet av tätningsmassa. Även andra egenskaper varierar mellan tätningsmassorna. Exempelvis presenterar Mapei en produkt av silanmodifierad polymer som är mer lättapplicerad och UV-beständig än polyuretan och har högre hållfasthet än silikon men däremot inte är vattentät (Mapei, 2014). Cementputs bör undvikas då sannolikheten är stor för ny sprickbildning med den tätningsmassan (ACI Committee 224, 2007).

Vid reparation av golv måste hänsyn tas till den last tätningen kommer att utsättas för. För orörliga sprickor bör lastöverföringen säkerställas genom sammankoppling av ballast eller genom dymlingar för att undvika att den styva tätningen förlorar bindningen till betongen. För rörliga sprickor bör en bindingsbrytare placeras i botten på det gjorda spåret för att förhindra att tätningen spricker (ACI Committee 224, 2007). Detta kan exempelvis utföras med en bottningslist (Mapei, 2014).



Figur 26: Effekten av att placera en bindingsbrytare i botten på den vidgade sprickan (Figur 3.2, ACI Committee 224, 2007).

6.1.6 Torrpäckning

Torripäckning lämpar sig endast för orörliga sprickor med liten bredd (ACI Committee 224, 2007). Enligt Basham (2006) kan även vida sprickor tätas med denna metod. Basham (2006) menar även att metoden är ekonomiskt fördelaktig.

Denna metod har många likheter med vidga och försegla. Torripäckning innebär att man för hand placerar bruk med lågt vct i en spricka och packar och stöter bruket på plats. Denna metod genererar en nära kontakt mellan bruket och den ursprungliga betongen (ACI Committee 224, 2007).

Den del av sprickan som ligger närmast ytan vidgas till ett spår som är cirka 25 mm brett och 25 mm djupt, gärna något bredare i botten för att smalna av mot ytan. Efter detta bör spåret rengöras noggrant. Sedan placeras ett bindningsskikt av cementslurry, lika delar cement och sand blandat med vatten för en flytande konsistens, eller ett lämpligt bindemedel av latex. Därefter ska genast bruket fyllas i spåret och torrpäckningen av bruket startas. Bruket ska bestå av en del cement, en till tre delar sand samt tillräckligt med vatten för att bruket ska kunna formas till en sammanhållande boll med handen. Bruket appliceras i flera lager om 10 mm och varje lager packas med en trubbig pinne eller hammare. Ovanytan på varje lager bör repas innan nästa lager läggs på för att främja bindningen mellan lagren. Slutligen bör lagningen härdas genom vattenhärdning eller med hjälp av härdningsvätska. Den enklaste metoden är att placera en vikt blöt remsa säckväv längs med sprickan (ACI Committee 224, 2007).

På grund av brukets låga vct är det liten krympning hos bruket och lagningen förblir tät och har en god kvalitet med hänsyn till beständighet, hållfasthet och vattentätethet. För att ytterligare reducera krympningen bör bruket låtas stå och vila en halvtimme innan användning för att sedan blandas på nytt just innan applicering (ACI Committee 224, 2007).

Brukets färg kan anpassas till den befintliga betongens genom inblandning av vitcement (ACI Committee 224, 2007).



Figur 27: En spricka lagad genom torrpäckning (Basham, 2006).

6.1.7 Ytförsegling med tätskikt

Denna reparationsmetod reparerar inte sprickan utan används för att estetiskt förbättra uttrycket hos konstruktionen genom att sprickor döljs eller i kombination med exempelvis vidgning och försegling för att ytterligare säkerställa vattentätetheten (ACI Committee 224, 2007). Metoden är lämplig för ytliga orörliga sprickor men även rörliga sprickor kan hanteras om rätt material används för tätskiktet (Basham, 2006).

Metoden utförs så att ytan runt sprickan prepareras genom exempelvis sandblästring. Därefter appliceras ett tunt lager (1 till 2 mm) av en polymerbaserad tätningsmassa såsom polyuretan (ACI Committee 224, 2007), cementlatex (Mapei, 2014), polymermodifierade cement, cement med silikatillsats (Basham, 2006) eller fiberkomposit över området över och närmast sprickan (Hassanzadeh, 2014). Sika erbjuder även en lösning med flexibla plastmembran i vilka konstruktionen kläs in (Sika, 2008). Det är viktigt att vidhäftningen är god mellan betongen och det applicerade materialet (Betongreparation.se, 2014).

Tätskiktet kan appliceras över hela ytan då man vill ha ett skydd mot karbonatisering och kloridinträngning (även fuktinträngning med vissa material) (Mapei, 2014). Då tätskiktet som appliceras består av cementbaserade material kommer kloriderna i den gamla betongen att omfördela sig i det nya skiktet samt in mot armeringen. Därav krävs en noggrann undersökning innan appliceringen för att säkerställa att kloridnivåerna vid armeringen inte kommer öka (Betongreparation.se, 2014).

Då polymerskiktet hindrar vattenavdunstning kan fukt ansamlas under ytreparationen vid temperaturvariationer i ytan. Om denna fukt fryser finns en risk att betongen skadas och att reparationen lossnar (Hassanzadeh, 2014). Därav bör ytförseglingen utföras på den fuktiga sidan av konstruktionen (EU-Project REHABCON, 2004). Många ytförseglingar har inte heller någon koldioxidabsorberande eller kloridbindande förmåga vilket gör att reparationen inte kan förhindra armeringskorrosion utan endast i bästa fall endast fördröja den (Hassanzadeh, 2014). En ytterligare nackdel med ytförseglingen är att då den är placerad på betongens yta utsätts den för nötning vilket innebär en risk för att den genom mekanisk åverkan slits och förlorar sin vattentätande funktion (Flax, 2014).

6.1.8 Polymerimpregnering

Med denna metod repareras sprickor genom impregnering med ett monomersystem⁴ med väldigt låg viskositet som sedan polymeriseras på plats. Sprickor med en bredd inom intervallet 0,03-2 mm kan tätas med impregnering (ACI Committee 224, 2007).

Polymerimpregnering lämpar sig då målet med reparationen av en betongkonstruktion är att uppnå en yta med ökad hållbarhet samt täthet (ACI Committee 224, 2007). Metoden kan även dölja estetiska defekter samt bidra med en dämpande effekt på nedbrytningsprocesser genom att hindra transporten av ett skadligt ämne (Betongreparation.se, 2014). Även i hög grad uppspruckna balkar har lagats med polymerimpregnering (ACI Committee 224, 2007).

Ett monomersystem är en vätska som består av monomerer (av en och samma typ eller av olika typer) som polymeriseras till ett fast material med hjälp av en katalysator eller initiator. De monomerer som lämpar sig för användning har varierande flyktighet, giftighet och användbarhet och de kan inte blandas med vatten. Den vanligaste monomeren för detta ändamål är metylmetakrylat (ACI Committee 224, 2007). Studier har visat att impregnering baserad på epoxi ger bättre täthet och hållbarhet än de traditionella impregneringarna (Flax, 2014). Ju lägre viskositet tätningsmedlet har, ju finare sprickor kan tätas (ACI Committee 224, 2007).

Metoden går till så att betongytan först rengörs genom luftblästring, vattenblästring eller både och. Därefter hälls impregneringen på betongytan och sprids ut med kvastar, rollrar eller gummiskrapor (ACI Committee 224, 2007). Vissa material kan även sprayas på ytan (Mapei, 2014). Medlet bör arbetas fram och tillbaka över

⁴ Monomer Den repeterande delen i en polymer. Kan exempelvis vara en uretan- eller estergrupp (Nationalencyklopedin, 2014).

sprickan för att uppnå maximal fyllnadsgrad då monomeren sakta tränger in i sprickan (ACI Committee 224, 2007).



Figur 28: Tätning av sprickor med impregnering (Basham, 2006).

Då betongytan är våt bör den låtas torka innan impregneringen appliceras för att uppnå bästa resultat. Metoden har dålig verkningsgrad då mycket föroreningar finns i sprickorna. Vid dessa förutsättningar är det svårt för tätningsmedlet att tränga in i konstruktionen (ACI Committee 224, 2007).

Stora hålrum i kompressionszoner kan fyllas med ballast av varierad storlek innan de överöses med monomerer vilket ger en polymer/betong reparation. Om konstruktionen medger att monomervätskan rinner rakt igenom kan en tillfällig tätning av plåt behöva utföras på konstruktionen (ACI Committee 224, 2007).

Vissa typer av metakrylatimpregnering appliceras när betongen är nygjuten och tillräckligt med vatten avgått för att betongen ska ha en sugande effekt. Denna syftar till att membranhärda betongen och verka karbonatiseringsbromsande (Mapei, 2014).

6.1.9 Självläkning

Under vissa speciella förutsättningar kan orörliga sprickor täta sig själva vid närvaro av fukt (Petersons, 1994). Dessa förutsättningar kan exempelvis uppträda i tjocka betongkonstruktioner (ACI Committee 224, 2007). Detta sker genom att kalciumhydroxiden i cementpastan karbonatiseras av den koldioxid som finns i vattnet som strömmar genom sprickan eller i omgivande luft. Reaktionen innebär att kristaller av kalciumkarbonat fälls ut och sammanlänkas och binds kemiskt till närliggande kristaller samt till cementpastan och ballasten (Petersons, 1994). Detta gör att hålrum i betongen fylls och sprickytor sammanlänkas vilket ökar hållfastheten hos betongen. För att väsentligt styrka ska utvecklas kräver reaktionen en obegränsad tillgång till vatten. En enda cykel med torkning och uppfuktning reducerar hållfastheten hos tätningen avsevärt (ACI Committee 224, 2007).

Processen kräver att vattengenomströmningen inte är för stor så att urläkning istället sker samt att avdunstningen på luftsidan är tillräckligt stor så att kristallerna kan fällas ut. Ett överskott av fri kalk i betongen gynnar reaktionen (Petersons, 1994). Fullständig täthet kan uppnås genom självläkning vid sprickbredder upp till 0,1 mm men sprickor upp till 0,2 mm anses kunna erhålla en acceptabel täthet (Petersons, 1994).

Hur miljön i betongen påverkar självläkningen bör studeras noggrannare. Det kan misstänkas att alternativa bindemedel såsom flygaska, slagg och silikastoft försämrar självläkningsförmågan (Hassanzadeh, 2014).

2013 startades ett fyraårigt europeiskt forskningsprojekt, Helacon, som syftar till att utveckla metoder som kan förbättra självläkningen hos betongen. För att täta tidig sprickbildning arbetar man med två olika metoder för att förbättra självläkningen; bakterier och hydrogel. Bakterierna är tänkta att placeras i betongen som sporer. När sedan lämplig miljö uppträder i betongen kommer bakterierna aktiveras och metaboliseras vilket kan stimulera utfällningen av kalciumkarbonat i betongen. Produktionen av dessa bakterier är idag mycket dyr och man arbetar med en metod för att få dem att aktiveras i rätt tidpunkt. Om hydrogel istället placeras i betongen kommer den att svälla vid kontakt med vatten och därmed täta sprickan. För sprickor som uppkommer på grund av mekanisk påverkan utvecklas en metod med inkapslade elastiska polymerer eller biopolymerer. Då en spricka uppstår i betongen ska kapslarna brytas sönder och innehållet utvecklas till ett klisterliknande skum som tätar sprickan. Det svåra med denna metod är att kapslarna ska spricka vid rätt tillfälle och inte exempelvis vid blandningen av betongen. Nästa steg i projektet är att hitta fullskaliga konstruktioner där metoderna kan testas (Wiman, 2014).

Som ett alternativ till detta finns kristalliseringsstekniker där ett kristalliseringsmedel blandas i betongen innan gjutning, se avsnitt 6.1.2 ovan.

6.1.10 Avlägsning och pågjutning

Denna metod är lämplig att använda då den ytliga sprickbildningen är mycket utbredd, armeringen rostar eller om delar av täcksiktet har sprängts bort. Orsaker till detta kan vara frostangrepp, kemiskt angrepp, mekanisk belastning eller armeringskorrosion (Hassanzadeh, 2014). Då sprickorna är bredare än 10 mm bör de lagas med cementbruk istället för att injekteras (Sto, 2014).

Hassanzadeh (2014) hävdar att detta är den vanligaste reparationsmetoden i Sverige. Den skadade betongen avlägsnas och ny betong gjuts på uppepå. Borttagningen sker vanligen genom vattenbilning och även betong innanför armeringen kan avlägsnas med denna teknik. Pågjutningen kan göras med vanlig betong eller med sprutbetong med eller utan stålfiberinblandning. Vid behov kan ytterligare armering gjutas in i pågjutningen (Hassanzadeh, 2014).

En god vidhäftning och tvärkraftsöverföring är avgörande för hållbarheten hos denna reparationsmetod. Detta kan säkerställas genom förankringar med dymlingar och hög kompabilitet mellan den gamla och nya betongen (Betongreparation.se, 2014). I dagens läge saknas information gällande det fuktmekaniska samspelet mellan pågjutningen och den befintliga betongen, testmetoder för frostbeständigheten för den reparerade betongen samt högsta acceptabla kloridhalt och karbonatiseringsgrad i kvarvarande originalbetong. Forskning kring detta krävs innan livslängden för denna reparationsmetod kan bestämmas med säkerhet. En negativ aspekt med pågjutning av betong är den härdningstid som krävs innan konstruktionen kan belastas. Med grund i ordspråket ”tid är pengar” har mycket forskning (framförallt i Japan och Kina) inriktat sig på att utveckla ”ultrasnabba” cement (Hassanzadeh, 2014).

Inom kort kommer sprutbetonginklädnaderna som har byggts i flertalet tunnlar från 1990-talet och framåt att kräva reparation. Här har en ny metod tagits fram där ett cementbaserat snabbhärdande bruk används i kombination med ett kolfibernet. Materialet appliceras med roller och har en kort torktid vilket snabbt ger sprutbetongen sin ursprungliga hållfasthet tillbaka (Hassanzadeh, 2014).

6.1.11 Hävning av sprickbildning på grund av armeringskorrosion

Det har tagits fram flera metoder för att häva pågående korrosion hos armering i betong. Detta är en alternativ reparationsmetod till ovan nämnda avlägsning och pågjutning. Karbonatiserad eller kloridinfekterad betong kan realkaliseras, klorider kan drivas ut ur täcksiktet, ett katodiskt skydd kan appliceras och korrosionsinhibitorer kan användas. Dessa metoder är inte helt säkra vilket har gjort att användningen i Sverige är begränsad (Hassanzadeh, 2014). Katodiskt skydd är den mest sofistikerade metoden av de tidigare uppräknade men kunskapen om hur man dimensionerar och använder den metoden finns endast hos ett fåtal personer vilket gör även den metoden ovanlig (Betongreparation.se, 2014). En annan mer använd metod är applicering av ett tätande membran (ofta polymerbaserat) på betongytan. Detta kan sänka fuktnivån i betongen vilket kan leda till att korrosionen avstannar. Livslängden hos denna reparationsmetod är dock oklar. Även effektiviteten har vissa osäkerheter då fukt kan tränga in genom större sprickor och oskyddade ytor (Hassanzadeh, 2014).

6.2 Reparationsmaterial

Då valet av reparationsmetod står klart är det dags att välja reparationsmaterial. På dagens internationaliserade marknad uppkommer ett antal nya reparationsmaterial varje år. Funktionaliteten och egenskaperna hos dessa produkter kan vara svårt att avgöra då de ofta är oprövade i svenskt klimat (Hassanzadeh, 2014).

Nedan presenteras några viktiga egenskaper att beakta vid val av produkt och fabrikat.

Viskositet

Beroende på sprickans bredd bör en tätningsprodukt med olika viskositet väljas. En låg viskositet ger ett tätningsmaterial som lättare penetrerar fina sprickor vilket gör att en injektering kan utföras under lägre tryck (Sika, 2009).

Expansion

Ett expanderande material förseglar sprickan på ett bättre sätt då expansionen fyller ut sprickor och hålrum. Ett expanderande material medför också en lägre materialåtgång. Det är dock viktigt att expansionen är stabil och att ingen senare krympning sker. Dessa expansiva material består ofta av polyuretanskum vilka endast har en temporär förseglande effekt (Sika, 2009).

Reaktionstid

En snabb reaktionstid förhindrar att vatten som flödar i en spricka tvättar ur tätningen innan den hinner härda. Fördelen är även att väntetiden vid reparationsarbetet minimeras (Sika, 2009).

Öppethållandetid

För enkomponentsystem är denna tid samma som reaktionstiden. För tvåkomponentsystem handlar öppethållandetiden om hur länge materialet är pumpbart (Sika, 2009).

Flexibilitet

Materialets flexibilitet handlar om förmågan att hantera rörelser i betongen (Sika, 2009).

Vidhäftningsförmåga

En hög vidhäftningsförmåga medger konstruktiv reparation av betongkonstruktionen. Förseglingen blir även bättre. Det är dock viktigt att materialet inte uppvisar någon krympning (Sika, 2009).

Hållbarhet

Hållbarheten hos reparationsmaterialet är viktigt för hållbarheten hos hela konstruktionen och permanent vattentätning (Sika, 2009).

Beständighet

Det är viktigt att reparationer hos konstruktioner som utsätts för en aggressiv miljö har ett högt motstånd mot angripande kemikalier (Sika, 2009).

Miljövänlighet/giftighet

Vid applicering i känsliga miljöer (såsom i kontakt med grundvatten) är det viktigt att tillgodose att tätningen och dess ingående komponenter inte riskerar att skada miljön. Det är även viktigt att en god arbetsmiljö upprätthålls för de som ska utföra reparationen (Sika, 2009).

7 Empiri

7.1 Intervjuer

Nedan presenteras de intervjuer som har genomförts för att berika studien med kunskaper från experter på området för studien. Intervjuerna återges inte ordagrant utan det som anses vara av vikt för studien presenteras.

7.1.1 Kristian Tammo, CBI Betonginstitutet AB

På CBI:s hemsida beskrivs Kristian Tammo med följande text:

Kristian är specialiserad på betongskador och deras påverkan på funktion och säkerhet. Han arbetar främst med tillståndsbedömningar men deltar även i olika forskningsprojekt. Kristian har disputerat vid LTH med en avhandling om sprickors påverkan på korrosionsrisken (Citerat CBI, 2014b).

Tammo berättar att på CBI jobbar man självständigt med tillståndsbedömningar. Varje medarbetare som utför en tillståndsbedömning har sitt eget system att gå efter. När tillståndsbedömningen är färdig sammanfattas den i en rapport som godkänns av en överordnad, exempelvis Tammo. På så vis säkerställs en viss systematik och en kontroll av bedömningen görs. Tammo anser att det är lättare att arbeta efter en standardmetod då man har många tillståndsbedömningar av konstruktioner av liknande karaktär som till exempel Trafikverket har med sina broar.

Det viktigaste steget i tillståndsbedömningen är enligt Tammo okulärbesiktningen. Där kan hammare användas som hjälpmedel för att karaktärisera skadorna. De skador som man upptäckt vid okulärbesiktningen ges en förmodad skadeorsak vilken sedan bekräftas eller avfärdas med prover.

Tammo jobbar mer med skadeutredning än med tillståndsbedömningar. Där utreds specifika skador där skadeorsaken från början inte är helt klar.

På CBI kan man förutom tillståndsbedömning och skadeutredning även föreslå tekniska lösningar och åtgärder för skadan. Då Tammo har varit ansvarig för skadeutredningen brukar han även vara med vid reparationen för att kontrollera att utförandet blir korrekt.

Samtalet leddes in på sprickbredder. Tammo sa att de beräknade sprickbredderna som Trafikverket och Boverket presenterar i sina nationella standarder är karaktäristiska värden och han sa att BBK hade en säkerhetsfaktor för att skala upp dessa. Dessa värden används på CBI för begränsning av accepterade sprickbredder i befintliga konstruktioner. Tammo menade att regelverket är väldigt otydligt och många gånger blev diskussioner kring tillåtna sprickbredder en juridisk fråga där en beställare kan stämma en entreprenör. Då en tillståndsbedömning görs där CBI:s kund är ägare av konstruktionen menade Tammo att man kunde vara lite generösare vid begränsningen av sprickbredden. CBI:s uppdrag är ju då att skapa så mycket värde som möjligt till

kunden och det gör man inte genom att tvinga dem att täta varenda liten spricka. Istället tas hänsyn till konstruktionens ålder och funktion. I en ny konstruktion bör man kanske laga sprickor då den tidiga uppkomsten tyder på en brist i konstruktionen men i en äldre konstruktion är det rimligare med lite skönhetsfel. Konstruktionens säkerhet får dock aldrig vara i fara.

Då Tammo ger råd om reparationsmetoder beror valet i stor grad på vilken miljöbelastning konstruktionen utsätts för. Hänsyn tas även till hur långt skadeprocessen har kommit.

Den vanligaste reparationsmetoden för sprickor bedömer Tammo är injektering. Frågan gällande huruvida injektering är lämpligt vid armeringskorrosion tas upp. Tammo menar att injektering tätar sprickan men hindrar inte vidare armeringskorrosion såvida inte sprickan blir så pass tät att den relativa fuktigheten vid armeringen sänks under 50 %.

Då Tammo rekommenderar reparationsmetod brukar han även ange vilket ämne han föreslår, exempelvis injektering med epoxi. Han nämnde även att det finns många ”mirakelprodukter” på marknaden och att han brukar möta dessa med viss skepsis.

7.1.2 Anders Aldefors, NCC

Anders Aldefors är teknisk specialist på Anläggningsavdelningen på NCC i Malmö. Han har ansvarat för flertalet reparationer av sprickor genom åren och har stor erfarenhet inom området.

Intervjun inleds med frågor kring begränsningen av sprickbildning enligt Eurokod. Sprickor kan enligt Eurokod tillåtas då de inte försämrar konstruktionens funktion. Detta uppstår enligt Aldefors endast i ”perfekta” förhållanden i exempelvis ett fuktfrött bostadshus. I fallet anläggningskonstruktioner finns ofta ett vattentryck och krav på täthet vilket gör att sprickvidden måste begränsas. Begränsningen av beräknade sprickbredder görs i projekteringsstadiet. Det är inte helt ovanligt att beställaren, eller beställaren i samråd med entreprenören, ställer andra krav på begränsning av sprickbildning än de nationella standarder som finns angivna.

Beställaren kan även ställa krav på reparationernas utförande men Aldefors menar att det inte är så vanligt.

Aldefors berättar att en reparationprocess normalt startar med en inventering av sprickorna. För att utvärdera om en spricka är rörlig eller inte utförs ofta mätningar i kombination med en bedömning av sprickorsaken. En rapport upprättas där observationerna av sprickbildningen beskrivs, möjlig orsak presenteras och konstruktionens dimensioneringsförutsättningar anges vilket mynnar ut i ett eller flera åtgärdsförslag. Rapporten presenteras för beställaren varefter det beslutas om reparationsåtgärd.

I vissa fall upphandlas en tätningsentreprenad. Den tilldelas då vanligen en entreprenör som är kunnig på området och kan bidra med rekommendationer kring reparationsmetoder och produkter.

Det ställs flertalet frågor gällande olika reparationsmetoder och tätningsprodukter. Aldefors säger att man på NCC inte använder epoxi i sprickor där vatten förekommer. Materialet används inte heller vid rörliga sprickor då risken är stor att en ny spricka uppstår intill den tätade.

Extra armering kan användas för att begränsa sprickbredden men detta görs ofta då konstruktionen byggs, ej i efterhand.

Ytbehandling är en metod som sällan används. Den är främst till för att öka beständigheten och hållfastheten hos betongen och inte för att laga sprickor. Sprickor med en bredd under 0,1 mm självläker oftast och därav åtgärdas inte dessa.

Injektering är den absolut vanligaste reparationsmetoden för sprickor i betong. Oftast injekteras 2-komponents polyuretan. Detta material ger sprickan en elastisk tätning som kan hantera rörelser och ger en beständig vattentätning som enligt tillverkarna varar i 75 år. Material som inte reagerar direkt kan reagera senare då det kommer i kontakt med vatten och tätningen fortsätter därmed långt efter injekteringstillfället.

Vid armeringskorrosion vattenbilas den skadade betongen bort och ny armering placeras och betong gjuts på igen. Beroende på hur skadad den gamla armeringen är kan den låtas sitta kvar eller tas bort. Metoder för att häva armeringskorrosion såsom katodiskt skydd används inte som reparationsmetod. Däremot kan konstruktioner som anses befinna sig i riskzonen för dessa skador förses med detta redan i byggskedet.

Aldefors berättar även att man använder sig av Penetron, både för reparation vid sprickbildning samt inblandat i betongen. Då Penetron används för att tätta en spricka fräses ett spår längs med sprickan. En penetronlösning appliceras innan sprickan förseglas med bruk med penetroninblandning.

Mikrocement används endast för större sprickor eller i samband med tätning av berg.

NCC köper tätningsmaterial från flertalet olika leverantörer. Leverantören kallas vanligen till ett möte där de får presentera sina förslag på lösningar och vad det skulle kunna kosta. Detta är ett sätt att utnyttja materialleverantörens stora kunskaper på området då de ofta vet mer om vilka produkter som finns att tillgå samt hur de ska appliceras.

7.1.3 Hossein Khodaverdian, Mapei

Hossein Khodaverdian är ansvarig för teknisk assistans på Mapeis tunnel och anläggningsavdelning. Då Khodaverdian är hemmahörande i Stockholm sköttes intervjun via mailkontakt.

Khodaverdian börjar med att tydliggöra skillnaden mellan fogning och injektering. Injektering beskriver han som en metod där man pressar in olika material i hålrum som man önskar att täta. Detta används främst då konstruktionen i fråga befinner sig under grundvattennivå då det krävs ett visst övertryck för att kunna pressa in materialet i sprickor och hålrum. Fogning används istället då man vill sammanbinda konstruktionsdelar som av någon anledning har separerats, exempelvis genom en spricka. Khodaverdian menar att den största skillnaden mellan injektering och fogning är att injekteringen inte bara sammanbinder olika konstruktionsdelar, den tätar även sprickor och hålrum inne i konstruktionen.

Då Mapeis produktsortiment har gått igenom ställs vissa produktspecifika frågor. Mapei presenterar en typ av epoxi som ska kunna injektera stora sprickor. Hur stora framgår dock inte av produktbladet. Khodaverdian berättar att sprickor med en bredd på flera centimeter kan tätas med denna typ av epoxi. Normalt klassar han sprickor över 1-2 mm upp till 1,5-2 cm som stora sprickor.

Det ställs en fråga kring om akrylbaserade injekteringsmassor någonsin rekommenderas istället för polyuretan. Mapei har endast en akrylbaserad produkt i sitt sortiment och den används som fogmassa då det finns fogar med rörelse. Produkten används även som form vid epoxiinjektering så att inte epoxin ska läcka ut genom konstruktionen.

Khodaverdian ombes beskriva skillnaden mellan enkomponents- och tvåkomponents polyuretan. Tvåkomponents polyuretan härdar genom att de två komponenterna blandas med varandra. Enkomponents polyuretan härdas istället genom att materialet kommer i kontakt med t.ex. vatten eller fukt. Reaktionen för denna typ av polyuretan är ganska långsam vilket kan vara fördelaktigt då man vill täta sprickor djupt inne i konstruktionen och materialet ges tid att transporteras dit innan det härdar. Då stora vattenläckage förekommer kan man tillsätta en accelerator till vissa sorter av enkomponents polyuretan för att få en snabbare härdning.

Mapei har två olika typer av polyuretanprodukter, en som bildar en gel och en som bildar ett skum. Den skummande produkten finns som både enkomponents och tvåkomponents polyuretan medan gelprodukten endast förekommer som enkomponents polyuretan. Den produkt som vid härdning bildar en gel är mer flexibel än den skummande polyuretanen. Därav används den med fördel då rörelse förekommer i konstruktionen som ska tätas. Gelprodukten har efter härdning även en finare porstruktur vilket ger en tätare slutprodukt. Khodaverdian menar att de flesta andra polyuretan är porösa (i fri expansion utan tryck) och har en grov porstruktur. Gelprodukten härdar även långsammare vilket möjliggör en djupare inträngning i konstruktionen. Khodaverdian berättar även att det finns en möjlighet att blanda dessa två produkter då man vill dra fördel både av gelens högre elasticitet och skummets snabbare härdning. Man kan även injektera produkterna växelvis med cement då man vill täta stora sprickor med högt vattentryck. Detta möjliggör cementinjektering då

polyuretanen skapar en plugg som hindrar cementet att spolats bort av det flödande vattnet.

Det ställs en fråga om coating (ytförsegling med tätskikt), impregnering eller membranbärande någonsin används i samband med sprickor. Khodaverdian berättar att en flexibel coating ibland används i samband med rörliga sprickor där det finns en risk att sprickan kommer att vidga sig.

Carboplate som är en typ av yttlig armering används främst för att förstärka den befintliga konstruktionens bärförmåga, inte för att reparera sprickbildning.

Som teknisk ansvarig för tunnlar brukar Khodaverdian ordna kurser för Mapeis samarbetspartners. Detta har oftast varit för de som jobbar med tunnelprojekt där det största behovet för injektering finns. I de kurser som arrangeras tas injekteringstekniker i olika miljöer upp, t.ex. tunnelmiljö där vattenläckage är den största utmaningen, betongkonstruktioner vilka man vill förstärka genom att tätta sprickor samt vilka produkter som kan användas beroende på närvaron av vatten etc. Oftast står det i handlingarna för respektive byggprojekt vilka produkter som får användas för tätning och beroende av den funktion som produkten ska uppfylla rekommenderas lämpliga produkter. Det är ganska svårt (på förhand) att säga vilka produkter som generellt ska användas utan man får använda olika produkter från fall till fall. Personligen tycker Khodaverdian att ”tekniken är viktigare än produkten” då man kan ha de bästa produkterna men en bristfällig applicering ger ändå ett undermåligt resultat.

7.1.4 Peter Cederholm och Roger Mårtenzon, Sto Scandinavia AB

Peter Cederholm är produktchef för marknadsområdena golv och betong på Sto Scandinavia AB och Roger Mårtenzon är säljare på samma avdelning.

Cederholm gav en kort presentation av Sto som företag. De säljer byggnadsmaterial anknutet till fasader. De har inga återförsäljare utan sköter all försäljning själva. Deras affärsstrategi har beskrivits som att de säljer kunskap med produkter som bilaga. Detta innebär att deras säljare bistår med teknisk kompetens och rekommendationer kring helhetslösningar för kunden. Inom området sprickor i betong betyder detta att Mårtenzon vid ett projekt först inspekterar sprickan för att fastställa dess karaktär. Han undersöker faktorer såsom sprickans bredd, om den är genomgående samt om sprickan uppvisar rörelse. Rörelsen undersöks vanligen genom att ett gipsförband appliceras över sprickan. Sprickan inspekteras på nytt en tid senare och om det finns sprickor i gipsförbandet betyder det att sprickan rör sig. Finns det inte tid att utvärdera sprickans rörelse men man misstänker en viss rörelse kan en injektering göras med ett elastiskt material för säkerhets skull. Efter inspektionen rekommenderar Mårtenzon kunden ett antal åtgärdsförslag där de gemensamt kommer fram till vilken lösning som är den mest optimala. Mårtenzon kan inte uttala sig om konstruktionens strukturella tillstånd och vilka risker för brott som föreligger. I de fall en sådan utvärdering krävs kontaktas en konstruktör för rådgivning.

Mårtenzon presenterar de metoder och produkter han anser lämpliga för att tätta sprickor i anläggningskonstruktioner av betong. Han menar att injektering är

förstavalet men att impregnering även kan fungera om sprickorna har en bredd under 0,2 mm och slamma (anm. ytförsegling med tätskikt) kan fungera då inte vattentrycket är för stort.

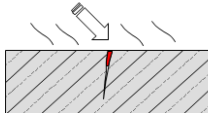
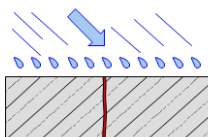
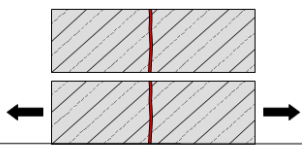

Mårtenzon menar att injektering är en lämplig metod då målet med reparationen av sprickan är en tät konstruktion, att skydda armeringen eller att öka konstruktionens hållfasthet. I tabellen nedan ses några av Sto:s produkter för injektering.

StoJet PU VH 100	Instant foam	SPUR		ZTV-RISS
StoJet PIH 100	highly elastic	PUR-I		ZTV-RISS
StoJet PIH NV	low-viscosity, slow	PUR-I	Hose injection	
StoJet IHS 93	normal hardening grade	EP-I	EP-T	ZTV-RISS
StoJet IHS	quick-hardening	EP-I		
StoCrete ZL	Cement paste	ZL-I		

Figur 29: Sto:s produkter för injektering, PUR står för polyuretan, EP Epoxi och ZL är en mikrocement kombinerad med akryl (PPT-presentation Sto)

Många gånger kombineras flera av dessa produkter vid en injektering. StoJet PU VH 100 (enkomponents polyuretan) injekteras först för att stoppa vattenflöde. Därefter kan antingen StoJet PIH NV (tvåkomponents polyuretan) eller StoJet IHS (epoxi) injekteras. Dock försvinner viss del av epoxins kraftöverförande egenskaper vid en kombinationsinjektering och injekteringen kan inte längre förutsättas höja konstruktionens hållfasthet. Epoxi kan inte injekteras i vattenförande sprickor då detta förhindrar den starka bindningen till sprickans sidor.

Sprickor i anläggningskonstruktioner av betong

Filling materials		dry	damp	pressure-less containing water	under pressure containing water
closing		StoJet IHS 93	StoJet PIH 100 or StoJet PIH NV	StoJet PIH 100 or StoJet PU VH 100 +PIH NV	StoJet PU VH 100 + PIH 100 or StoJet PU VH 100 + PIH NV
waterproofing		StoJet IHS or StoJet IHS 93	StoJet PIH 100 or StoJet PIH NV	StoJet PIH 100 or StoJet PU VH +PIH NV	StoJet PU VH 100 + PIH 100 or StoJet PU VH 100 +PIH NV
force-fit bonding		StoJet IHS or StoJet IHS 93	StoCrete ZL	StoCrete ZL	?
flexible bonding		StoJet PIH 100	StoJet PIH 100	StoJet PIH 100	StoJet PU VH 100 + StoJet PIH 100

Figur 30: Figur som visar vilken injekteringstyp som är lämplig beroende på sprickans art och fukttillstånd (PPT-presentation Sto).

Mårtenzon menar att såväl epoxi som mikrocement ger en konstruktiv reparation. Sprickor med en bredd över 0,4-0,5 mm bör injekteras med mikrocement. Den elasticitet som akrylinblandningen ger StoCrete ZL menar Mårtenzon är marginell och vanligt mikrocement kan lika väl användas. Mårtenzon säger även att injektering med epoxi skyddar mot korrosion då sprickan tätas så väl att klorider inte tillåts tränga in.

I Sverige är impregnering en välanvänd metod för att skydda betongkonstruktioner. Sprickor med en bredd upp till 0,2 mm tätas och betongen skyddas mot karbonatisering och kloridinträngning. Impregneringen mister dock sin funktion om sprickorna vidgas efter impregneringen.

I Norge är det vanligare att konstruktioner skyddas mot armeringskorrosion genom katodiskt skydd. Cederholm menar dock att denna metod är dyrare än impregnering som i förebyggande syfte fungerar minst lika bra. Han ser dock ett användningsområde för katodiskt skydd då en stor skadebild redan uppkommit och man vill skydda konstruktionen mot vidare korrosionsskador. Sto erbjuder produkter för katodiskt skydd på den norska marknaden men Cederholm anser att det är en metod på frammarsch och med mer information och utbildning om metoden tror han snart att den även blir väl använd på den svenska marknaden.

Ett problem med impregnering är att då det är en relativt ny produkt saknas kompletta undersökningar gällande dess livslängd. Sto har referensprojekt i Tyskland som är 25 år gamla men längre livslängd än så kan de inte garantera. Cederholm berättar att arbete pågår på detta område för att bekräfta den förmodat långa livslängden.

En slamma (anm. ytförsegling med tätskikt) kan hantera en viss rörlighet i sprickor. Det finns elastiska slammor som kan hantera en rörelse på upp till 2 mm. Då stora sprickor förekommer i en konstruktion kan dessa först injekteras innan slamman appliceras över ytan. Denna reparationsmetod skyddar konstruktionen mot karbonatisering och klorider.

Mårtenzon får frågan om han någonsin rekommenderar att vidga och försegla sprickan istället för att injektera. Han menar att metoden kan vara användbar då konstruktionen saknar adekvat mängd dilatationsfogar och genom att såga av armeringen och försegla sprickan skapas en ny dilatationsfog. I andra fall föredras injektering då en ny dilatationsfog kräver underhåll.

Det undras om Sto har någon produkt för kristalliseringsteknik. Mårtenzon meddelar att de inte har det. För detta ändamål har Sto impregnering som substitut. Han berättar att baserat på de projekt där han vet att Penetron har använts så verkar det fungera bra men han ställer sig frågande till varför så stora materialleverantörer som Sto och Sika inte har några kristalliseringsprodukter om metoden är så bra som det sägs.

För sprickor ser inte Mårtenzon någon anledning att avlägsna gammal betong och gjuta på ny. Han menar att det krävs större skador än en spricka för att den metoden ska vara lämplig.

Det ställs en fråga huruvida Sto:s produkter är godkända för dricksvattenkontakt. Cederholm berättar att det i Sverige saknas en harmoniserad standard som klargör vilka kriterier som krävs för att ett material ska vara godkänt för kontakt med dricksvatten. Reglerna är mycket oklara vilket gör att det finns stora variationer över landet gällande vilka tester och certifikat som accepteras.

7.2 Fallstudie

Genom deltagande på en tillståndsbedömning av en anläggningskonstruktion av betong samlades information gällande det praktiska arbetet med tillståndsbedömningar. Bilder från besöket presenteras i texten.

7.2.1 Tillståndsbedömning, CBI Betonginstitutet AB

Möjlighet gavs att följa med CBI på en tillståndsbedömning. Uppdraget gällde tillståndsbedömning av tre broar i Malmö. Två vägbroar och en gång- och cykelbro, alla över en å.

Kunden hade på förhand begärt en tillståndsbedömning då man befarade alkalikiselreaktioner (anm. alkaliballastreaktioner) eller frostsador. Kärnborrprover skulle till tunnslipsprover som utförs i laboratoriet. Genom Tunnslipsprover kan man bland annat analysera alkalikiselreaktioner, karbonatisering, kloridinträngning och ettringitbildning. Som underlag till bedömningen fanns kundens besiktningsutlåtande och bilder från BaTMan.

Väl på plats möttes beställaren upp och först gjordes en översiktlig visuell inspektion från land. Det noterades att det fanns ett regelbundet sprickmönster över alla vingmurar med varierad grad av uppsprickning. Då dessa ytor är mer utsatta för stänk av tössalter än rambenen och undersidan av farbanan misstänkte man att klorider var inblandade i sprickbildningen.



Figur 31: Tydlig sprickbildning på vingmuren på en vägbro förmodligen orsakat av alkaliballastreaktioner.

En flotte användes för att utföra en närmare inspektion av broarna samt markera var håltagaren skulle ta kärnborrproverna. En hammare användes för att knacka runt sprickbildningen för att hitta ”bom”. En bom innebär ett dovare ljud då man knackar på betongen vilket indikerar armeringskorrosion under ytan. Det hittades endast ett fåtal bom vilket gjorde att kloridangreppet uteslöts ganska snabbt. De bom som förekom kunde förklaras med att sprickorna har gett kloriderna en lättare passage in

till armeringen. Dock ansågs inte den grundläggande sprickbilden vara orsakad av armeringskorrosion.

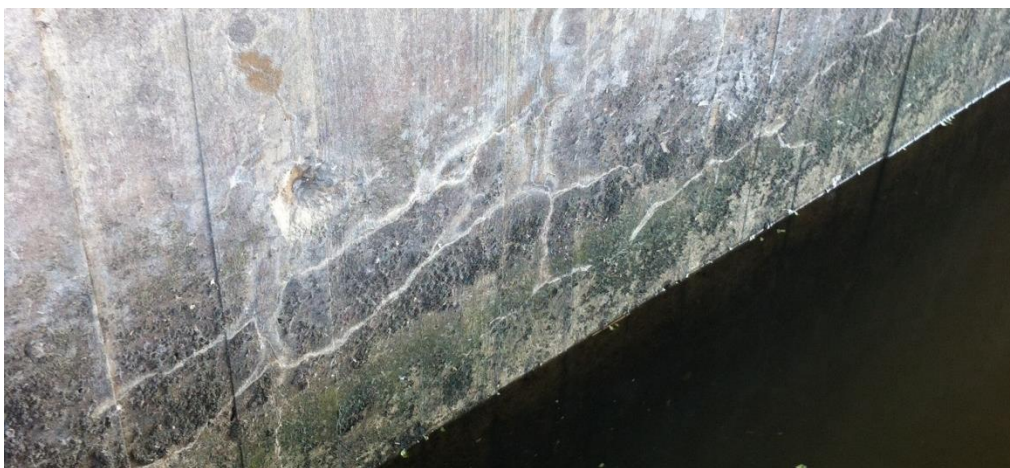
Att sprickorna mestadels förekom på vingmurarna trodde inspektörerna på CBI berodde på att det där förekom den speciella fuktnivå som alkalikiselreaktionerna kräver för att starta.

Utfällningarna kring sprickorna har en brunaktig färg. Inspektörerna förklarade att det berodde på de mineral som fanns i jorden kring konstruktionen och fördes med det vatten som tränger genom sprickan.

Under broarna påträffades några grundavlopp som var påtagligt påverkade av armeringskorrosion. Runt grundavloppen hade täcksiktet helt sprängts bort och den rostiga armeringen var blottad. I skvalpzonen på rambenen kunde även frostsprickor ses.



Figur 32: Armeringskorrosion kring ett grundavlopp under vägbrons farbana där täcksiktet har sprängts bort.



Figur 33: Frostsprickor i skvalpzonen på vägbrons ramben.

På en kantbalk hittade vi en längsgående spricka som sträckte sig längs med nästan hela kantbalken. Med en täcksiktetsmätare fick vi veta att ett armeringsjärn sträckte

sig längs med hela sprickan. Även om ingen bom hördes så antogs sprickan bero på armeringskorrosion då sprickmönstret är tydligt sammanhängande med armeringen. Inspektörerna förklarade att vid längsgående sprickor hörs inte en lika tydlig bom som vid andra korrosionssprickor. Avsaknande av bommen kan även bero på att sprickan är relativt nyuppkommen.



Figur 34: I högra delen av bilden syns den längsgående spricka som följer armeringen i kantbalken på cykelbron.

Det förekom även sprickor under farbanan. Sprickorna var utspridda men uppträdde tätare under mitten av brospannet. Det fanns ett antal längre sprickor med kortare sprickor mellan. Utseendet på sprickorna påminde mycket om böjsprickor men det kunde inte heller uteslutas att sprickorna berodde på korrosion. Förhoppningsvis kan laboratorieundersökningarna visa om bron är utsatt för en skadlig halt av klorider eller karbonatisering vilket visar vad sprickorna beror på.

Tillståndsbedömningen avslutades och borrkärnorna som borrats ut togs med till laboratoriet. Resultaten från laboratorieundersökningarna får senare komplettera observationerna och det totala resultatet utmynnar i en rapport som skickas till beställaren.

Inspektörerna som var relativt nytexaminerade civilingenjörer fick frågan om den låga graden av standardisering som finns gällande tillståndsbedömningar upplevdes som ett problem i början av deras anställning. De menade tvärt om att det var den delen av yrket som gjorde arbetet spännande och att det fanns många erfarna arbetskollegor att fråga om råd och hjälp då det behövdes.

8 Sammanfattad modell för sprickreparation

Baserat på den information som framkommit i litteraturstudien tillsammans med empirin sammanfattas här en modell för hur sprickreparation i anläggningskonstruktioner av betong bör hanteras.

Eurokod kräver inte att sprickbildning begränsas så länge konstruktionens funktion inte försämras. Att följa Trafikverkets och boverkets rekommendationer kring begränsning av beräknade sprickbredder är lämpligt även för faktiska sprickbredder då de är relaterade till den miljö som konstruktionen befinner sig i och därmed de påfrestningar konstruktionen utsätts för. Finns det fog att skärpa eller lätta på denna begränsning på grund av en konstruktions speciella karaktär kan det även göras. På anläggningskonstruktioner av betong finns ofta ett vattentryck. Vattenläckage är inte önskvärt och oftast inte heller tillåtet vilket gör att sprickbredden bör begränsas. För en konstruktion som har krav på vattentäthet bör sprickbredden begränsas till maximalt 0,1-0,2 mm.

Då sprickorsak ska fastställas har tabeller framtagits som hjälp. När i tiden sedan konstruktionens uppförande en spricka har uppkommit kan säga mycket om möjliga sprickmekanismer. Se tabellen på nästkommande sida. Med hjälp av denna tabell kan antalet möjliga sprickmekanismer reduceras.

Sprickor i anläggningskonstruktioner av betong

Tabell 4: Tabell över när i tiden olika spricktyper uppstår.

Materialtekniska sprickor		Direkt		Några dagar	Några veckor	Några månader	1 år	2 år	5 år	10 år	Längre tid	
		Några dagar	Några veckor									
Materialtekniska sprickor	Temperatursprickor	Genomgående sprickor										
		Ytsprickor										
	Sprickor av fysikalisk-kemisk inverkan	Milkrosprickor										
		Krackelering										
	Krypsprickor	Pga yttre mothåll										
		Pga differens krympling										
	Sprickor av volymökning hos material inneslutna i betongen	Korrosion, karbonatisering										
		Korrosion, klorider										
		Sulfatangrepp										
		Alkali-ballastreaktioner										
Porös ballast												
Frostsprickor												
Sprickor av belastning												
Sprickor av belastning	Sprickor av dim. Last											
	Sprickor pga överbelastning											
	Krypsprickor											
Sprickor av bristande arbetsutförande	Sprickor pga sättning i grund											
	Sprickor av bristande arbetsutförande											
	Plastiska sättsprickor											
	Plastiska krymsprickor											
	Rörelsesprickor											
	Värmehärdningssprickor											
	Sprickor pga lastkoncentrationer											
	Sprickor i glutfogar											
	Sprickor i rörelsefogar											

Huvudsaklig tid för uppkomst

Möjlig tid för uppkomst

Det är omöjligt att förutse orsaken bakom en sprickbildning i en anläggningskonstruktion utan att inspektera sprickan. Då varje individuell spricka har en specifik bakgrund och orsak är det svårt att utveckla ett standardiserat system för tillståndsbedömningen. Enligt vad som framkom i intervjuerna upplevs detta inte som något problem utan snarare en utmaning och det som gör jobbet med tillståndsbedömningar spännande och intressant. De undersökningsmetoder som används får anpassas till sprickans utseende. Dock finns ett antal grundpelare som alltid bör undersökas vid en tillståndsbedömning. Nedan presenteras tillståndsbedömningens ingående aktiviteter i fyra steg:

1. Visuell inspektion
2. Eventuell provtagning
3. Skrivbordsundersökning
4. Rapportskrivning

Vid inspektionen bör sprickans utseende och eventuella sprickmönster kartläggas. Sprickans bredd och djup bör mätas och eventuella övriga observationer bör noteras. När detta är gjort kan tabell 5 användas för att ytterligare förminska antalet troliga sprickmekanismer. Är inte resultatet entydigt eller för att öka säkerheten i sitt utlåtande bör undersökningen kompletteras med ytterligare prover. Se metoder presenterade i avsnitt 0. Metod väljs för att bekräfta eller dementera de teorier tillståndsbedömningen har utmynnat i. Därefter bör en skrivbordsundersökning genomföras där ritningar och dimensioneringsförutsättningar studeras för att se om konstruktionen avviker från vad som är förmodat. Slutligen utmynnar tillståndsbedömningen i en rapport där sprickorsaken definieras.

Sprickor i anläggningskonstruktioner av betong

Tabell 5: Egenskaper hos olika spricktyper.

Materialtekniska sprickor	SpricktYP		Sprickindivider	Sprickdjup	Sprickredd [mm]	Andra "egenskaper"	
	Temperatursprickor	Genomgående sprickor					
Materialtekniska sprickor	Sprickor av fysikalisk-kemisk inverkan	Ysprickor	stort inbuddes avstånd	genomgående	stor		
		Mikrosprickor	regelbundet	<50mm	0,01-0,1		
	Krympsprickor	Krackelering	oregelbundet	ylligt	0,0002-0,0007	våldigt liten	
		Påa ytre motfall	regelbundet	oftast genomgående	varierande	varierande	Likt genomgående temperatursprickor
	Sprickor av volymökning hos material inneslutna i betongen	Påa differenskrymning	Krackelering	krackelering	ylligt	våldigt liten	Sprickans bredd avtar snabbt med djupet
			Korrosion, karbonatisering	längs armeringen	skäckskiktet	varierande	Missfärgning av rost längs med sprickan
		Sulfatangrepp	krackelering	längs armeringen	>skäckskiktet	varierande	Missfärgning av rost längs med sprickan
			regelbundet	krackelering	ylligt	våldigt liten	Ibland även grov sprickbildning och totalt sönderfall
		Frostsprickor, rent vatten	vårt mönster	regelbundet	ylligt	intill ett små	kan uppträda popouts & mörka fläckar runt sprickan
			Frostsprickor, salthaltigt vatten	vårt mönster	dypt	relativt stor	
Sprickor av belastning	Sprickor av dimensionerande last, böjsprickor	Ytvärlagning	vårt mönster	ylligt	-		
		Winkelrätt armeringen	Winkelrätt armeringen	liten	<0,3	Sprickans bredd avtar snabbt med djupet	
	Sprickor av dimensionerande last, dragsprickor	Winkelrätt armeringen	Winkelrätt armeringen	genomgående	<0,3		
		diagonal armeringen	diagonal armeringen	liten	<0,3		
	Sprickor av dimensionerande last, skjuvsprickor	längs armeringen	längs armeringen	liten	<0,3		
		relaterat till armeringen	relaterat till armeringen	beror på grad av överlast	beror på grad av överlast		
	Sprickor pga överbelastning	relaterat till armeringen	relaterat till armeringen	beror på grad av överlast	beror på grad av överlast		
		som de från dim. last	som de från dim. last	beror på grad av krypning	beror på grad av krypning		
	Krypsprickor	relaterat till armeringen	relaterat till armeringen	beror på grad av överlast	beror på grad av överlast		
		relaterat till armeringen	relaterat till armeringen	beror på grad av krypning	beror på grad av krypning		
Sprickor av bristande arbetsutförande	Sprickor pga sättning i grund	regelbundet	regelbundet	liten	<5	Uppträder över armering, vid valvbildning & vid fjockleksförändringar	
		regelbundet	regelbundet	liten	<5		
	Plastisk sätspricka	regelbundet	regelbundet	liten	<5	Uppträder över armering, vid valvbildning & vid fjockleksförändringar	
		regelbundet	regelbundet	liten	<5		
	Plastisk krympspricka	regelbundet	regelbundet	liten	<5	Uppträder över armering, vid valvbildning & vid fjockleksförändringar	
		regelbundet	regelbundet	liten	<5		
	Rörelsesprickor	regelbundet	regelbundet	liten	<5	Uppträder över armering, vid valvbildning & vid fjockleksförändringar	
		regelbundet	regelbundet	liten	<5		
	Värmehållningssprickor	regelbundet	regelbundet	liten	<5	Uppträder över armering, vid valvbildning & vid fjockleksförändringar	
		regelbundet	regelbundet	liten	<5		
Sprickor av lastkoncentrationer	regelbundet	regelbundet	liten	<5	Uppträder över armering, vid valvbildning & vid fjockleksförändringar		
	regelbundet	regelbundet	liten	<5			
Sprickor i gjutfogar	regelbundet	regelbundet	liten	<5	Uppträder över armering, vid valvbildning & vid fjockleksförändringar		
	regelbundet	regelbundet	liten	<5			
Sprickor kring rörelsefogar	regelbundet	regelbundet	liten	<5	Uppträder över armering, vid valvbildning & vid fjockleksförändringar		
	regelbundet	regelbundet	liten	<5			

Även om man bestämt orsaken bakom sprickbildningen finns det några fler faktorer som måste kartläggas innan reparationsmetod kan bestämmas. Det bör avgöras om sprickan är rörlig eller inte, förslagsvis genom att en ledad mätsticka eller ett gipsförband monteras över sprickan. Det bör även undersökas huruvida sprickan är vattenförande eller inte. Vidare bör man fastställa vilka mål man har med reparationen utifrån de krav och normer som finns specificerade för konstruktionen. Målet bör vara ett eller flera av följande:

- Förhindra vidare sprickbildning
- Öka konstruktionens hållfasthet
- Försegla sprickan
- Stoppa vattenläckage
- Förbättrat utseende
- Förbättrad beständighet

Det finns inget entydigt svar på vilken metod som är den bästa. Metodvalet måste anpassas efter den specifika konstruktionen. Värt att notera är även att det finns möjlighet att kombinera flera metoder för att uppnå önskat resultat med reparationen. Se tabell på nästkommande sida.

Sprickor i anläggningskonstruktioner av betong

Tabell 6: Olika reparationsmetoder relaterat till vilket mål man har med reparationen samt om sprickan är rörlig.

Reparationsmetod	Förhindra vidare sprickbildning	Ökad hållfasthet	Förseglar sprickan	Stoppa vattenläckage	Förbättrat utseende	Förbättrad beständighet ¹	Hanterar rörliga sprickor	För sprickbredd [mm]
Epoxinjektering	-	X	X	-	-	X ²	-	0,05-3
Injektering med cement	-	-	X	X	X	X ²	-	0,2-10
Injektering med polyuret	-	-	X	X	-	-	X	0,12-50
Injektering med polyakrylat	-	-	X	-	-	X ²	X	0,12-6
Tätning med kristalliseringssteknik	X ⁸	-	X	X ⁴	-	X	X ⁸	≤0,4 ⁵
Ytterligare armering	X	X	X	-	-	-	(X)	alla belastnings-sprickor vertikala sprickor i stödmurar
Borra och plugga	-	-	X	X	-	-	X	
Vidga och försegla	X ³	-	X	X ⁹	-	-	X	alla
Torrpackning	-	-	X	X ⁹	X	X ²	-	alla
Ytförsegling med tätskikt	-	-	-	-	X	(X)	(X)	alla yttiga sprickor
Polymerimpregnering	-	-	X	-	X	X	-	0,03-2
Självläkning	X ⁸	X	X	X ⁶	X	X	X ⁸	≤0,2
Avlägsning och påglutning	-	X	X	-	X	X	-	>10
Hävning av korrosion	X ⁷	-	-	-	-	X ⁷	-	alla
X ja								
- nej								
(X) vissa produkter								
[X] Under speciella förutsättningar								
¹ Förhindrar korrosion och andra kemiska angrepp på konstruktionen								
² Lokalt i sprickan								
³ Fungerar som rörelsefog vilken kan ta upp betongens rörelser så att vidare närliggande sprickbildning kan elimineras								
⁴ Ej vid stora vattentryck								
⁵ Större i kombination med snabbhärdade cementbruk								
⁶ För självläkning krävs en optimal vattengenomströmning								
⁷ Av/mot armeringskorrosion								
⁸ Reparering vattentätande för små sprickor, ej elastisk								
⁹ Endast om tätningen appliceras från den vattenförande sidan av konstruktionen, svårt under jord								

Vid val av reparationsmetod och reparationsprodukt finns mycket hjälp att få av materialleverantörer. De har kunskap om nya produkter på marknaden och stor erfarenhet från tidigare projekt. Att föra en dialog med dem kan löna sig både ekonomiskt och kvalitetsmässigt.

Sammanfattat bör sprickreparation av underjordskonstruktioner hanteras enligt dessa 5 steg:

1. När i tiden uppkom sprickan?
→ Reducera möjliga sprickorsaker med hjälp av tabell 4.
2. Kartlägg sprickmönster, djup och bredd och andra visuella observationer.
→ Reducera antalet möjliga sprickorsaker ytterligare med hjälp av tabell 5.
3. Gör eventuella kompletterande undersökningar för att säkert fastställa sprickorsak
4. Bestäm om sprickan är rörlig och/eller vattenförande samt bestäm klargör målet med tätningen.
→ Välj reparationsmetod med hjälp av tabell 6.
5. Se tabell 7 och kontakta materialleverantör.
→ Välj reparationsprodukt.

9 Diskussion

I detta avsnitt förs en diskussion gällande studiens överrensstämmelse med syftet, reflektioner kring studien, användbarheten, problemområden där branschen har förbättringsmöjligheter samt förslag för fortsatta studier.

9.1 Reflektioner

Ett mål med arbetet var att utveckla en standardiserad modell för tillståndsbedömning. Områdets komplexitet och låga grad av standardisering medförde att det visade sig olämpligt att försöka skapa en sådan modell. Val av reparationsmetod och reparationsmaterial visade sig också ytters komplext och beroende av flertalet faktorer. Här lyckades dock tabeller skapas som en handledning i arbetet utifrån specifika mål med reparationen och sprickans karaktär. Tabellerna baseras på det som framkommit i litteratur och empiri.

Det finns många områden där studien kunde ha gått djupare men det anses inte tjäna till rapportens syfte. På andra områden har information varit svår att hitta. Innehållet i rapporten har därav balanserats för att åstadkomma en jämn informationsnivå i rapporten.

Det har på flertalet ställen förekommit motstridiga uppgifter, särskilt gällande egenskaper hos olika tätningsmaterial. Detta har hanterats genom att flera olika påståenden presenteras kring samma ämne. Källa för varje påstående har noggrant angivits. Denna variation kan bero på något skilda kemiska sammansättningar hos produkter i samma produktkategori men även på de olika företagens strategier för att marknadsföra sin produkt. Därav är det viktigt att noggrant kontrollera egenskaperna hos den specifika produkt man tänkt använda.

Det har även förekommit motstridiga uppgifter i intervjuerna med materialleverantörer gällande vilken reparationsmetod som lämpar sig i vilket sammanhang. Detta visar vikten av att entreprenören besitter egen kunskap gällande processerna för att kunna bedöma vilket råd som ska följas.

9.2 Användbarhet

Studien ger en god översikt över den kunskap som finns idag gällande orsak, bedömning och reparation av sprickor i underjordskonstruktioner av betong. För den som inte har stor erfarenhet av sprickreparation är rapporten användbar. Rapporten kan användas som stöd vid sprickreparation men materialleverantörers expertkompetens bör utnyttjas innan metod och material slutgiltigt fastställs för reparationen.

9.3 Förbättringspotential för branschen

Under arbetets gång har författaren stött på en viss skepsis då det talas om metoder och material som normalt inte används för reparationsarbeten. En god dialog mellan leverantörer och entreprenörer är viktigt för att nå acceptans för de nya produkter som når marknaden.

Det finns även ett behov av att utveckla harmoniseringen mellan olika standarder. Ett problemområde är vilka regler som gäller för att material ska vara godkända för kontakt med dricksvatten. För att ge nya internationella materialleverantörer möjligheter att etablera sig på den svenska marknaden bör regelverken vara tydliga. Det råder även en viss förvirring gällande acceptabla sprickbredder där standarden används på olika sätt av olika företag. Detta kan innebära problem då det uppstår tvist mellan entreprenör och byggherre om vad som är acceptabelt och enligt vad som framgår i intervjumaterialet får dessa konflikter ofta lösas i domstol. Hade regelverket varit tydligare hade detta kunnat undvikas.

Det finns dåligt med information i materialleverantörernas produktblad gällande livslängden hos de olika materialen. Detta är något som anses vara en brist då man vill säkerställa en beständig reparation av en konstruktion.

10 Fortsatta studier

Att undersöka beständigheten hos olika reparationsmetoder genom att inspektera referensprojekt hade kunnat bidra till att minska den kunskapslucka som finns gällande livslängder samt undanröja viss skepsis gällande vissa reparationsmetoder och material.

En större fallstudie med tillståndsbedömning och reparation av underjordskonstruktioner där tillvägagångssätt och metodval presenteras hade kunnat komplettera denna rapport väl.

Hassanzadeh beskriver att det saknas viss information gällande det fuktmekaniska sambandet mellan betong och reparationsmaterial. Detta kan vara ett problem då flertalet av de mekanismer som orsakar sprickbildning är relaterade till fukt. Därav kan detta samband vara intressant att utreda.

11 Referenser

11.1 Artiklar

EU-project REHABCON (2004). *REHABCON Manual*. EC DG ENTR-C-2, Innovation and SME Programme

Farhidzadeh, A., Dehghan-Niri, E., Moustafa, A., Salamone, S. och Whittaker, A. (2013). *Damage Assessment of Reinforced Concrete Structures Using Fractal Analysis of Residual Crack Patterns*. *Experimental Mechanics* (2013) 53:1607–1619

Flax, D. (2014). *The new generation of crack healers*. *Concrete repair bulletin*, maj/juni 2014

Grace, N. (2004). *Concrete repair with CFRP*. *Concrete International*, Maj 2004

Hyung-Mok, K., Yanick, L., Dong-Woo, R. och Won-Kyong, S. (2014). *Mock-up experiments on permeability measurement of concrete and construction joints for air tightness assessment*, *Materials and Structures* (2014) 47:127–140

Tailhan, J.-L., Dal Pont, S., Rossi, P. (2010). *From local to global probabilistic modeling of concrete cracking*. *Ann. Solid Struct. Mech.* (2010) 1:103-115

Tammo, K., Lundgren, K. och Thelandersson, S. (2009). *Nonlinear analysis of crack widths in reinforced concrete*. *Magazine of Concrete Research*, 2009, 61, No. 1, February, 23–34

Wiman, U. (2014). *Självläkande sprickor*. *Cementa* nr. 1, 2014

Xianglin, G., Xiaobin, S., Feng, L., Chao, L., och Xianyu, J. (2011), *Cracking behaviour of cast in situ reinforced slabs with control joints*, *Construction and Building Materials* 25 (2011) 1389-1406

11.2 Broschyrer

Sika (2009). *Sika Injection Systems for Concrete Structures*. Pfäffikon: Sika Services AG/ BU Contractors/ Injection Systems

Sika (2008). *Flexible Waterproofing of Basement Structures with Sikaplan Membraners*. Pfäffikon: Sika Services AG/ BU Contractors/ Waterproofing

11.3 Internet

Basham, K. (2006). *Concrete cracks*. L&M Construction Chemicals http://www.lmcc.com/concrete_news/0607/How-to-fix-concrete-cracking.asp [Hämtad 2014-08-01]

- Batman (2014). *Vad är BaTMan?*
https://batman.vv.se/batinfo/batman/VerksamhetsInfo/Info_Vadarbatman.htm
[Hämtad 2014-06-11]
- Batman (2011). *Handbok*. <https://batmanhandbok.vv.se/Wiki-sidor/Inledning.aspx>
[Hämtad 2014-06-11]
- Betongföreningen (2013). *Nyheter*.
<http://betongforeningen.se/2013/01/betongtekniken-tar-ett-kliv-framat-betonghandbok-material-revideras/> [Hämtad 2014-03-18]
- Betongreparation.se (2014). *Grundhandbok*.
<http://www.betongreparation.se/default.asp?pageId=3> [Hämtad 2014-08-11]
- Betongreparation.se (2013). *Förord*.
<http://www.betongreparation.se/default.asp?pageId=6> [Hämtad 2014-08-12]
- CBI (2014a). *Tidigare genomförda EU-projekt inom betongområdet*.
<http://www.cbi.se/viewText.do?textID=1028> [Hämtad 2014-06-10]
- CBI (2014b). *Om CBI*. <http://www.cbi.se/viewNavMenu.do?menuID=300&oid=166>
[Hämtad 2014-07-01]
- Cementa (2014). *Våra produkter*.
http://www.heidelbergcement.com/se/sv/cementa/produkter/ultrafin_16.htm [Hämtad 2014-06-25]
- De Neef (2014). *Produkter*. <http://www.deneef.se/produkter.aspx> [Hämtad 2014-07-02]
- Kryton (2014). *Since 1973*. <http://www.kryton.com/about/our-story/> [Hämtad 2014-06-24]
- Mapei (2014). *Produkter för Tunnel och Anläggning*. <http://www.mapei.eu/SE-SV/Produkter-för-Tunnel-och-Anläggning> [Hämtad 2014-06-23]
- Nationalencyklopedin (2014). <http://www.ne.se> [Hämtad 2014-06-25]
- Nils Malmgren (2014). *Datablad NM Injektering INP 32*.
<http://www.nilsmalmgren.se/Datablad/DB%20INP%2032.pdf> [Hämtad 2014-06-24]
- Penetron (2014a). *The Penetron Advantages*. <http://www.penetron.com/the-penetron-system/advantages> [Hämtad 2014-06-24]
- Penetron (2014b). *Company*. <http://www.penetron.com/company> [Hämtad 2014-06-24]
- Penetron (2014c). *Projects*. <http://www.penetron.com/projects/> [Hämtad 2014-06-24]

Plast och Byggteknik AB (2007). *Betongreparationer*.

<http://www.plastobygg.com/betongreparationer.html> [Hämtad 2014-08-01]

Sika (2014). *Produkter och lösningar*.

http://swe.sika.com/sv/solutions_products/02/02a008/02a008sa01a/02a008sa01a100/02a008sa01a1001.html [Hämtad 2014-06-25]

Sto (2014). *Produkter och system- typ av metod*.

http://www.sto.se/sv/produkter_system/betong/typ_av_metod/injektering.html
[Hämtad 2014-07-03]

Trafikverket (2014). *BaTMan*. [http://www.trafikverket.se/Foretag/Bygga-och-](http://www.trafikverket.se/Foretag/Bygga-och-underhalla/Vag/Bro-och-tunnel/BaTMan/)

[underhalla/Vag/Bro-och-tunnel/BaTMan/](http://www.trafikverket.se/Foretag/Bygga-och-underhalla/Vag/Bro-och-tunnel/BaTMan/) [Hämtad 2014-06-11]

Trafikverket (2013). *Informationsbroschyr BaTMan*.

<https://batman.vv.se/batinfo/batman/VerksamhetsInfo/pdf/Broschyr%20BaTMan.pdf>
[Hämtad 2014-06-11]

11.4 Litteratur

Backman, J. (1998). *Rapporter och uppsatser*. Lund: Studentlitteratur

Eriksson, L. T., Wiedersheim-Paul, F. (2011). *Att utreda forska och rapportera*.

Upplaga 9:1. Malmö: Liber AB

Fagerlund, G. (1999). *Betong i ett LivsCykelPerspektiv*. Lund: Byggnadsmaterial LTH

Fagerlund, G. (1994). *Betonghandbok Material*. Kapitel 21, utgåva 2. Solna: AB Svensk Byggtjänst

Fagerlund, G. (1992). *Betongkonstruktioners beständighet*. Tredje upplagan. Uppsala: A&W Grafiska

Isaksson, T., Mårtensson, A. och Thelandersson, S. (2010). *Byggkonstruktion*.

Upplaga 2:2, Lund: Studentlitteratur AB

Johansson, S-E. (1994). *Betonghandbok Material*. Kapitel 2, utgåva 2. Solna: AB

Svensk Byggtjänst

Johansson, J-E., Bernander, S. & Emborg, M. (1994). *Betonghandbok Material*.

Kapitel 16, utgåva 2. Solna: AB Svensk Byggtjänst

Molin, C. (1992). *Betonghandbok –Arbetsutförande*. Kapitel 14, utgåva 2. Stockholm:

AB Svensk Byggtjänst

Petersons, N. (1994). *Betonghandbok Material*. Kapitel 19, utgåva 2. Solna: AB

Svensk Byggtjänst

Petersons, N., Ljungkrantz, C. & Möller, G. (1994). *Betonghandbok Material*. Kapitel 22, utgåva 2. Solna: AB Svensk Byggtjänst

Rombén, L. (1994). *Betonghandbok Material*. Kapitel 23, utgåva 2. Solna: AB Svensk Byggtjänst

Von Olnhausen, W. (1994). *Betonghandbok Material*. Kapitel 1, utgåva 2. Solna: AB Svensk Byggtjänst

11.5 Rapporter

ACI Committee 224 (2008). *Control of Cracking in Concrete Structures*. ACI 224R-01, reapproved 2008. Farmington Hills: American Concrete Institute

ACI Committee 224 (2007). *Causes, evaluation, and repair of cracks in concrete structures*. ACI 224.1R-07. Farmington Hills: American Concrete Institute

Fagerlund, G. (2010). *Betongkonstruktioners beständighet -En genomgång av officiella svenska regler 1926-2010*. Rapport TVBM-3153, Lund: Lunds tekniska högskola, avd. för byggnadsmaterial

Hassanzadeh, M. (2014). *Reparation av betongkonstruktioner – skador och reparationsmetoder från 1970-talet och framåt*. Rapport TVBM-3176, Lund: Lunds tekniska högskola, avdelning byggnadsmaterial

Hassanzadeh, M. (2010). *Tillämpning av CONTECVET- Tillståndsbedömning av erosionsskador vid vattenlinjen i Porsi kraftverk*. Elforsk rapport 10:75, Stockholm: Elforsk AB

Honfi, D. (2013). *Design for Serviceability –A Probabilistic Approach*. Report TVBK-1044, Lund: Faculty of Engineering, Division of Structural Engineering

Hussein, M., Afefy, H. och Khalil, A. (2013). *Innovative Repair Technique for RC Beams Predamaged in Shear*. American Society of Civil Engineers

Molin, C. och Syvertsen, B. (2007). *Tätning av läckande sprickor i betong med kristalliseringsteknik*. SBUF Projekt nr 11673, Solna: SBUF

Tammo, K. (2009). *A new approach to crack control for reinforced concrete*. Report TVBK-1037, Lund: Division of Structural Engineering

Vägverket (2008). *Mätning och bedömning av broars tillstånd*. Borlänge: Vägverket, Sektionen för bro- & tunnelteknik

Vägverket (2007). *Krav på inspektion, planering av åtgärder och dokumentation av grunduppgifter gällande vid förvaltning av byggnadsverk*. Borlänge: Vägverket, Samhälle och trafik

11.6 Standarder och författningar

AFS 2005:18. *Arbetsmiljöverkets författningssamling - Hårdplaster*

BFS 2013:10 EKS 9. *Boverkets föreskrifter om ändring i verkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)*. Boverkets författningssamling

SS-EN 1504-5:2013. *Betongkonstruktioner – Produkter och system för skydd och reparation - Del 5: Injektering av betong*. Swedish Standards Institute

SS-EN 1992-1-1:2005. *Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner- Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader*. Swedish Standards Institute

TRVFS 2011:12. *Vägverkets föreskrifter om ändring i föreskrifterna (VVFS 2004:43) om tillämpningen av europeiska beräkningsstandarder*.