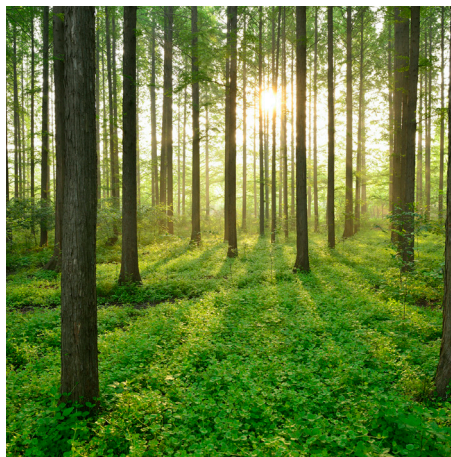


REPARATIONSMATERIAL FÖR YTSKADOR

RAPPORT 2024:1026



BETONGTEKNISKT PROGRAM
VATTENKRAFT



REPARATIONSMATERIAL FÖR YTSKADOR

Sammanställning för reparation av skador
i vattenkraftens betonganläggningar

MANOUCHEHR HASSANZADEH

ISBN 978-91-89919-26-6 | © Energiforsk juni 2024

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Vid inspektioner på betongkonstruktioner för vattenkraft så kan ofta ytliga skador noteras. Detta innebär att reparationer måste göras på betongen, varvid det finns en mängd främst cement-och polymerbaserade medel. Till detta följer dock att reparationsmaterialets beständighet i relation till omgivande miljö, och dess funktion för att reparera skadan i frågan är känt.

Projektet "Sammanställning för reparationsmaterial för ytskador" har som syfte att öka kunskapen om de ytskador som kan uppstå på dessa betongkonstruktioner och i förlängningen vilka krav som finns på olika typer av reparationsmaterial. Projektet har sammanställt dessa, för att tydligare redogöra för vilka alternativ som finns, för ett bredare beslutsunderlag vid reparationer.

Projektet har utförts av Manouchehr Hassanzadeh, en konsult med djup kompetens inom området, vid Sweco Sverige. Projektet har finansierats av Energiforsk genom FoU-programmet Betongtekniskt program vattenkraft, etapp 2019-2021. Programmets intressenter är Fortum Sverige, Jämtkraft, Karlstads Energi, Skellefteå Kraft, Statkraft Sverige, Svensk Kärnbränslehantering, Sydkraft Hydropower, Tekniska Verken i Linköping, Umeå Energi och Vattenfall Vattenkraft. Projektets referensgrupp har utgjorts av representanter från programmets styrgrupp, Per Fektenberg Fredrik Nilsson och Martin Rosenqvist, samt även Mathias Björk.

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Rätt genomförd reparation förlänger en betongkonstruktions livslängd och leder till större avkastning, bättre resurshushållning och mindre klimatavtryck. Däremot, kan en bristfällig reparation förkorta konstruktionens livslängd samt leda till ekonomiska förluster och ökat klimatavtryck.

Att basera valen av reparationsmetod och reparationsmaterial på resultatet av väl genomförd inspektion och tillståndsbedömning, normer och standarder samt erfarenheter från liknande objekt ökar sannolikheten att lyckas med reparationerna men räcker inte alltid för att uppnå tillfredställande resultat. Icke beständig samverkan mellan, var för sig beständiga, reparationsobjekt och reparationsmaterial samt inkompatibiliteten mellan reparationsobjektets material och reparationsmaterial är ytterligare två viktiga faktorer som man ska beakta för ett lyckat reparationsresultat. De nämnda faktorerna beaktas inte på ett tillfredställande sätt varken i normerna och standarderna eller av materialtillverkarna och de som väljer reparationsmetod och material. Anledningarna är bristande kunskaper, FoU-resurser samt insatser i form av förundersökningar och analyser i samband med val av reparationsmetod och material. Denna rapport tränger inte in i de ovannämnda frågeställningarna utan försöker beskriva den praktiska process som leder fram till valen av reparationsmetod och material.

Eftersom denna rapport behandlar reparation av ytskador i vattenkraftens anläggningar beskriver den allmänt de mekanismer som skadar betongkonstruktionerna och pekar ut de mekanismer som leder till ytskador. För att skilja mellan yt- och djupskador definieras även en gräns för skadans inträngningsdjup för att skilja mellan djupa respektive ytliga skador.

Rapportens tyngdpunkt är de praktiska och standardiserade procedurerna, varför val av reparationsmetod och material baseras på reparationsstandarderna SS-EN 1504 och AMA Anläggning. Sammanställning av de olika materialtyperna görs med hänsyn till de produkter som finns på marknaden – dock utan att nämna några produktnamn. Rapporten presenterar även val av reparationsmetod och material från några genomförda reparationsuppdrag inom vattenkraften.

Nyckelord

Betongreparation, impregnering, injektering, beläggning, pågjutning, förstärkning, ytskador.

Summary

Carefully designed and well carried out repairs extend the service life of the concrete structure and leads to greater returns, better resource management and a smaller climate footprint. On the other hand, defective repairs can shorten the service life of the structures as well as lead to financial losses and an increased climate footprint.

Basing the choice of repair method and repair material on the results of a well-conducted inspection, condition assessment, standards and experiences from similar objects increases the probability of success with the repair but is not always sufficient to achieve satisfactory results. Non-durable interaction between individually durable repair object and repair material, as well as the incompatibility between the repair object's material and the repair material are two more important factors that must be considered to achieve a successful repair result. The mentioned factors are not considered satisfactorily either in the norms and standards or by the material manufacturers and those who design the repair. The reasons are lack of knowledge, R&D resources, and efforts in the form of preliminary investigations and analyses in connection with the design of the repair. This report does not deal with the above-mentioned issues but tries to describe the practical process that leads to the choice of repair method and material.

This report deals with the repair of surface damages in hydropower facilities. Therefore, this report describes the mechanisms that damage concrete structures and points out the mechanisms that lead to surface damages. To distinguish between surface and deep damage, the report also defines a boundary between deep and superficial damages.

The emphasis of this report is on the practical and standardized procedures; hence, the design of the repair is based on the repair standards SS-EN 1504 and AMA Anläggning. Compilation of the different material types has been made with regard to the products available on the market, however without mentioning any product name. The report presents repair design of a few completed repair projects on hydropower facilities.

Innehåll

1	Inledning	8
1.1	Bakgrund	8
1.2	Syfte	9
1.3	Genomförande	9
1.4	Begränsningar	9
2	Ytskador	10
2.1	Betongytterskikt och dess funktion	10
2.2	Vad är en ytskada?	10
2.3	Ytskadans djupverkan	10
2.4	Mekanismer som orsakar ytskador	13
2.4.1	Mekaniska nedbrytningsmekanismer	13
2.4.2	Kemiska nedbrytningsmekanismer	15
2.4.3	Fysikaliska nedbrytningsmekanismer	17
2.4.4	Armeringskorrosion	20
3	Reparationsmetoder	23
3.1	Principer och metoder för skydd och reparation	23
3.2	Reparationsmetoder	25
3.2.1	Allmänt	25
3.2.2	Definition av skadetypfall	26
3.2.3	Borttagningsdjup	27
3.2.4	Reparationsmetodens utformning och delmoment	28
4	Krav på reparationssystem och material	31
4.1	Reparationsmaterial/produkt	31
4.2	Reparationssystem	31
4.3	Reparerad yta/konstruktion	31
5	Reparationsmaterial	33
5.1	Vattenavvisande (hydrofobisk) impregnering	33
5.1.1	Normer och standarder	33
5.1.2	Material till vattenavvisande impregnering	34
5.1.3	Val av material	34
5.1.4	Produktval	35
5.2	Impregnering av ytor	36
5.2.1	Normer och standarder	36
5.2.2	Material till impregnering	37
5.2.3	Val av material	38
5.3	Beläggning på ytor	38
5.3.1	Normer och standarder	38
5.3.2	Material till beläggningar	40
5.3.3	Val av material	40

5.4	Injektering av sprickor, hålrum eller springor	41
5.4.1	Normer och standarder	41
5.4.2	Material till injektering	46
5.4.3	Val av material	49
5.5	Bruk och betong för pågjutning	50
5.5.1	Normer och standarder	50
5.5.2	Material till pågjutning	54
5.5.3	Val av material	55
6	Exempel från praktiken	60
6.1	Exempel 8 – Kraftig urlakning av gjutfogens inre ytor och skibordsytor	60
6.1.1	Beskrivning	60
6.1.2	Reparationsmetod	60
6.1.3	Material	62
6.2	Exempel 9 - Betongavskalning har nått armeringen	62
6.2.1	Beskrivning	62
6.2.2	Reparationsmetod	63
6.2.3	Material	65
6.3	Exempel 10 – Mindre erosionsskador kring gjutfog	65
6.3.1	Beskrivning	65
6.3.2	Reparationsmetod	66
6.3.3	Material	67
6.4	Exempel 11 – Reparation av bomparti på utskovspelare	67
6.4.1	Beskrivning	67
6.4.2	Rivning av skadad betong och kontroll av armering	68
6.4.3	Pågjutning med reparationsbetong	69
6.4.4	Rekommendationer	69
7	Rekommendationer för val av metod och material	70
8	Referenslista	72

1 Inledning

En rätt genomförd reparation förlänger konstruktioner livslängd, vilket leder till lägre livscykelkostnad och bättre hushållning med naturresurser. Detta ger också mindre klimatavtryck.

1.1 BAKGRUND

Reparation av hårt belastade anläggningar i aggressiva exponeringsmiljöer är mycket komplex, vilken minst inkluderar

- bestämning av skadans orsaker, omfattning och djupverkan;
- nedbrytningsmekanismernas verkningssätt;
- den skadade konstruktionens/konstruktionselementets funktion och kravställning, förväntad livslängd vid byggandet samt förväntad livslängd efter reparationen;
- samverkan mellan reparationen och konstruktionen;
- inverkan av reparationsåtgärden på konstruktionens fysikaliska och mekaniska tillstånd;
- reparationsmaterialets beständighet och miljöpåverkan samt
- ekonomi och återbruk.

Vattenkraftens konstruktioner är utsatta för olika typer nedbrytningsmekanismer, varav några enbart påverkar konstruktionernas ytor – erosion, ytavskalning, urlakning, pop-outs orsakad av ASR (alkalisilikareaktioner), mm – medan andra påverkar konstruktionen på djupet, ASR, inre frostangrepp, sättningar mm. Den reparationsmetod och det reparationsmaterial som väljs beror naturligtvis på skadetyper och dess djupverkan. De reparationsmaterial som används i praktiken är vanligen anpassade till skadetyper, skadeorsaker samt skadans djupverkan. Produkternas egenskaper är även anpassade till (uppfyller) normernas och standardernas kravställning. Som exempel kan vattenavvisande impregnering av betongens ytskikt nämnas. Kloridinitierad armeringskorrosion skadar både det täckande betongskiktet och armeringen (skadetyper). Genom att behandla betongens yta med vattenavvisande impregnering minskas fukthalten hos betongens ytskikt och den kapillära fukttransporten. Detta leder till minskad kloridinträngning i betongen och förlänger tiden för att kloridhalten vid armeringens nivå överstiger kloridtröskelvärdet (skadeorsaker och djupverkan).

I denna rapport beskrivs de nedbrytningsmekanismer som förorsakar ytskador på betong. Lämpliga reparationsmetoder och reparationsmaterial beskrivs också, samt det ges exempel på genomförda ytreparationer. Denna rapport är baserad på standarderna inom SS-EN 1504 serien och AMA Anläggning, eftersom det är dessa dokument som styr dagens reparationsåtgärder. Inom ramen av detta projekt har produktbladet av ett stort antal produkter som förekommer i marknaden studerats. Produkterna namnges inte utan en del av materialbeskrivningarna är baserade på de i marknaden förekommande produkternas produktblad.

1.2 SYFTE

Uppdragets syfte är att framställa ett systematiskt tillvägagångssätt för val av reparationsmetod och material samt sprida kunskaperna inom området reparation av ytskador i vattenkraftens betongkonstruktioner – för att säkerställa att reparationerna genomförs på rätt sätt och uppnår förväntat resultat.

1.3 GENOMFÖRANDE

Detta arbete har genomförts med stöd av Energiforsks olika publikationer inom betongprogrammen; svenska handböcker och rapporter inom områden för betongens nedbrytning, beständighet och livslängd samt olika normer och standarder.

1.4 BEGRÄNSNINGAR

Reparationsområdet är ett stort område. Val av reparationsmetod och material är en begränsad del av området reparation av betongkonstruktioner. Utförandet av reparationsarbetet – som inkluderar etablering, ställningsbyggande, bilningsteknik, formbyggnad mm – har inte behandlats i denna rapport.

Reparationsprodukter saluförs av olika tillverkare. Produkternas sammansättning är i allmänhet företagshemlighet. Därför, har det inte varit möjligt att jämföra olika material inom samma materielgrupp, applicerade för samma typ av reparation, med varandra. Inverkan av olika beståndsdelar i ett material på dess olika egenskaper redovisas inte heller av materialtillverkarna.

I denna rapport redovisas inte olika reparationsmaterials och reparationssystemers livslängd, samt deras inverkan på reparationsobjektets livslängd.

2 Ytskador

2.1 BETONGYTTERSКИKT OCH DESS FUNKTION

Betongens yttre skikt är den del av betongen som skyddar dess inre inklusive ingjuten armering mot olika nedbrytningsmekanismer. I en armerad betongkonstruktion är betongens yttre skikt detsamma som det täckande betongskiktet eftersom det täckande betongskiktet dels skyddar armeringen mot korrosion, dels förankrar armeringen mot betongen. Utan det täckande betongskiktet kan armeringen inte fylla sin funktion samt uppnå den dimensionerade livslängden.

Betongens yttre skikt utgör en barriär mot olika mekaniska, fysikaliska och kemiska angrepp mot betongens inre delar.

Betongens yttre skikt bidrar till tvärsnittets form och geometri såsom tvärsnittets area och yttröghetsmoment som är viktiga för betongkonstruktionens bärförmåga och deformationsegenskaper.

Bortsett från den skyddande funktionen kan betongens yttre skikt ha en estetisk funktion. Det ställs vanligen krav på yttre skiktets planhet, råhet eller släthet/jämnhet. För att förhindra vattenansamling ställs även krav på ytterskiktets lutning.

2.2 VAD ÄR EN YTSKADA?

En ytskada är en förändring hos betongens yttre skikt som leder till att det inte längre uppfyller sin funktion. Skadan kan vara

- olika slags ytliga sprickbildningar, som slutar kort efter det innersta armeringslager, grundlagda vid betongens färska, hårdnande eller hårdnat tillstånd,
- avspjälkning,
- delaminering,
- avskalning,
- avflagning
- nötning och slitage,
- upplösning,
- erosion,
- utfällning,
- urlakning,
- sänkt pH-värde och karbonatisering,
- förhöjd koncentration av korrosiva och aggressiva ämnen.

2.3 YTSKADANS DJUPVERKAN

För att kunna vidta lämpliga förebyggande och avhjälpande åtgärder mot ytskador bör deras djupverkan (d_{skada}) bestämmas. Djupverkan är viktig för

- bestämning av tjockleken hos det betonglager som ska tas bort
- valet av borttagningsmetod
- valet av förbyggande eller reparationsmetod

Man bör även ange ett gränsvärde ($d_{djupskada}$) som avgör om de observerade skadorna är ytliga ($d_{skada} \leq d_{djupskada}$) eller djupa ($d_{skada} > d_{djupskada}$).

Det bör noteras att $d_{djupskada}$ är ett antaget värde avsett för att definiera ytskada och skilja ytskadorna från inre skador som orsakas av t.ex. inre sulfat-/frostangrepp, ASR, djupa och genomgående sprickbildningar mm. I denna rapport förutsätts det att $d_{djupskada} = 150 \text{ mm}$. d_{skada} bestäms däremot genom observationer och mätningar på konstruktionen. Det bör noteras att de flesta färdigblandade, torra, reparationsprodukter har ett rekommenderat appliceringstjocklek som är lägre än 120 mm. I denna rapport förutsätts det att ytskador inte tränger djupare än 150 mm, se avsnitt 3.2.1.

För de flesta praktiska skadefall gäller $d_{skada} \leq d_{g,ytskada}$. $d_{g,ytskada}$ är det maximala djupverkan som från ytan verkande nedbrytningsmekanismer kan åstadkomma i en konstruktion. Armeringskorrosion t.ex. spräcker det täckande betongskiktet och möjligen även skadar ett litet lager av den underliggande betongen.

$$d_{g,ytskada} = d_{täck} + d_{armlager} + d_{inre}$$

$$d_{g,ytskada} = \text{definition enligt ovan (mm)}$$

$$d_{täck} = \text{den ursprungliga, icke skadade täckande betongskiktets tjocklek (mm)}$$

$$d_{armlager} = \text{armeringslagrets tjocklek (mm)}$$

$$d_{armlager} = \sum_{i=1}^n (\phi_{arm,i} + \delta_i) + \phi_{bygel}$$

$$n = \text{antal armeringslager}$$

$$\phi_{arm,i} = \text{armeringens diameter i lager (mm)}$$

$$\delta_i = \text{mellanrummet (avståndet) mellan armeringslager } i \text{ och armeringslager } i+1 \text{ (mm)}$$

$$\phi_{bygel} = \text{bygelns diameter (mm)}$$

$$d_{inre} \leq D_{max}; \text{ skadans djup efter armeringslager } n; \text{ det här är ett antagande som görs i denna rapport, vilket vid varje reparationstillfälle bör verifieras genom provning, till exempel genom dragprovning vinkelrätt mot betongens yta.}$$

$$D_{max} = \text{maxpartikelstorlek (mm)}$$

Exempel 1:

$d_{g,ytskada}$ beräknas hos en skibordsplatta armerad med Ø20 mm stänger i två riktningar; 25 mm täckande betongskikt och $D_{max} = 22 \text{ mm}$.

$$d_{g,ytskada} = d_{täck} + (d_{armlager}) + d_{inre} = 25 + (20 + 20) + 22 = 87 \text{ mm}$$

Exempel 2:

Plattan i Exempel 1 skadas av armeringskorrosion och dess täckande betongskikt avspjälkas. Skadans djupverkan är sannolikt enligt nedan:

$$d_{skada} = d_{täck} + (d_{armlager}) + d_{inre} = 25 + (20 + 20) + 22 = 87 \text{ mm}$$

men ska verifieras genom mätningar. Mätningar kan sannolikt visa att $d_{skada} < 87 \text{ mm}$.

Det bör noteras att både $d_{g,ytskada}$ och d_{skada} styrs av antal armeringslager. I de fall där skadan inte nått armeringen kan ballastpartiklar och det täckande betongskiktet användas för bestämning av $d_{g,ytskada}$ och d_{skada} , notera följande exempel:

Exempel 3:

Erosion av betongens yta; inga ballastkorn grövre än 11 mm har lossnat; stenmax, $D_{max} = 22 \text{ mm}$.

$d_{g,ytskada}$ är sannolikt $< D_{max}$ och d_{skada} är sannolikt $< 11 \text{ mm}$, men bör verifieras till exempel genom dragprov som utförs vinkelrätt mot betongens yta.

Exempel 4:

Erosion av betongens yta; på några ställen är byglarnas ovansida synliga; inga bom eller armeringskorrosion har upptäckts.

$d_{g,ytskada}$ och även d_{skada} är sannolikt $= d_{täck}$, men bör verifieras genom dragprov som utförs vinkelrätt mot betongens yta.

I SS-EN 12620 "Ballast för betong" anges siktstorlekar för ballastsortering. Tabell 1 i samma standard presenterar tre serier: Grundserie, Grundserie plus serie 1 och Grundserie plus serie 2. Grundserie plus serie 1 består av följande siktar (mm):

0	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	45	63
				(5)		(11)		(22)	(32)		

Några av siktstorlekarna kan användas för att definiera skadedjupet samt anknyta det till en viss förebyggande eller reparationsåtgärd, förutsatt att skadedjupet är mindre än det täckande betongskiktet. Här rekommenderas följande indelningar:

$$d_{skada} \leq 2 \text{ mm}$$

Vanligen krävs inga åtgärder men vattenavvisande impregnering eller impregnering kan appliceras som förebyggande åtgärder.

$$d_{skada} \leq 5 \text{ mm}$$

Om skadan berör större ytor kan beläggning av ytor bli nödvändigt.

$$5 \text{ mm} < d_{skada} \leq d_{täck}$$

Beroende på skadans djup och utbredning kan pågjutning med reparationsbetong bli nödvändigt. Beroende på skadeorsaken och pågjutningens egenskaper kan även en beläggning som skyddar/tätar pågjutningen bli nödvändigt.

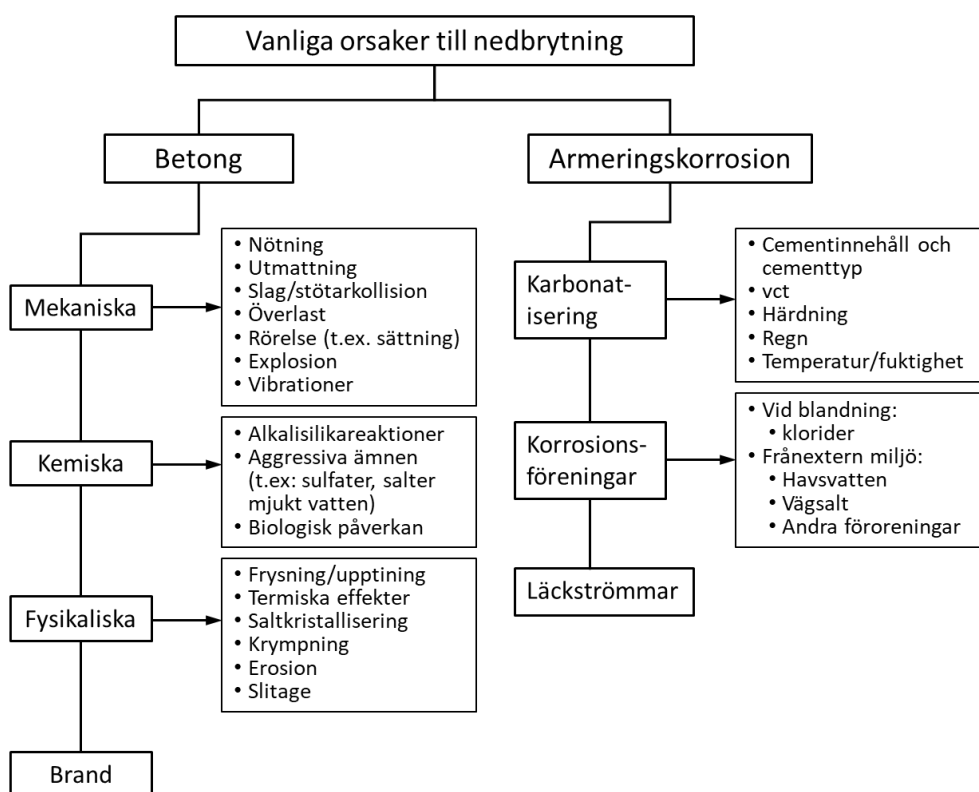
$$d_{täck} < d_{skada} \leq d_{g,ytskada}$$

Krävs vanligen strukturellt pågjutning.

2.4 MEKANISMER SOM ORSAKAR YTSKADOR

De vanliga orsakerna till nedbrytning av betongkonstruktioner framgår av Figur 2-1. SS-EN 1504-9 indelar betongkonstruktioners nedbrytningsmekanismer i två huvudgrupper. Den första gruppen avser mekanismer som direkt skadar betongen, medan den andra gruppen avser de mekanismer som skadar betongkonstruktionen genom att först angripa armeringen som p.g.a. korrosion expanderar och spräcker det täckande betongskiktet.

De mekanismer som angriper betongen indelas i fyra grupper: mekaniska, kemiska, fysikaliska och brand. Korrosion är en elektrokemisk nedbrytningsmekanism som angriper armeringen. Korrosion indelas i tre grupper: korrosion orsakad av betongens karbonatisering, korrosion orsakad av kloridinträngning samt galvanisk korrosion orsakad av läckströmmar.



Figur 2-1 – Vanliga orsaker till nedbrytning (SS-EN 1504-9).

2.4.1 Mekaniska nedbrytningsmekanismer

Bland de mekaniska mekanismer som presenteras i Figur 2-1 är det nötning som enbart medför ytskada. De övriga mekanismerna kan beroende på deras styrka medföra både ytliga och djupa skador, som även kan omfatta armeringen.

Nötning

Slitage och skavning som är synonymer till nötning orsakas av att ett externt föremål/fenomen genom friktion sliter bort ett tunt skikt av betongens ytterskikt. Det bortslitna skiktet kan vara mycket tunt och initialt omärkbart, men skadans omfattning ökar med tiden om processen får fortgå. Spårbildning på betongvägar, nötning av betongkonstruktioners ytor av is i sjöar och vattendrag, nötning av betongytor utsatta för vattenströmning och sandstormar samt betongytor i spännmålssilor är några exempel på nötning.

Nötningens djupverkan är begränsad, d.v.s. att den betong som finns under det skikt som nöts kan vara helt opåverkad.

Utmattning

Utmattning är försvagning av ett material genom upprepade belastning och avlastning med eller utan växlande spänningsriktning. Utmattning försvagar både betong och armeringsstål.

I en enkellarmerat tvärsnitt i böjning har betong till uppgift att ta upp tryckspänningarna medan armering tar hand om dragspänningarna. Båda materialen kan gå till brott p.g.a. utmattning. Utmattningsbrott i båda materialen är sprött och sker vid spänningar som är lägre än deras hållfasthet, som bestäms genom provning. Utmattningsbelastning kan leda till spänningar mellan betongen och armeringen som kan leda till avspjälkning av det täckande betongskiktet. Sprickbildning i, och avspjälkning av det täckande betongskiktet kan bli omfattande i de tryckta delarna av en konstruktion med tryckarmering, t.ex. i ett dubbelarmerat tvärsnitt utsatt för böjande utmattningsbelastning.

Utmattningsbelastningar i vattenkraftens anläggningar förekommer i kraftstationer och i sugrör.

I kraftstationen uppkommer utmattningsbelastning i turbin-, stator-/generatorfundament samt i kranbalkar.

I vattenvägar kan utmattningsbelastning uppstå p.g.a. vattnets uppbromsning och turbulens. När en yta bromsar eller ändrar ett vattenflödes riktning utsätts ytan för tryckkrafter från flödet. Krafterna är inte konstanta utan är pulserande och utsätter konstruktionen för utmattningsbelastning. Belastningsnivån beror på flödets storlek, hastighet och infallsvinkel. Konstruktionen utsätts omväxlande för tryck- och dragspänningar. Utmattningsbelastningarna kan medföra att betongkonstruktionen lossnar från det underlag som den har gjutits mot eller delaminera det täckande betongskiktet. Om konstruktionen är en mellanvägg i ett sugrör kan den pulserande belastningen sätta mellanväggen i svängning, som kan leda till brott, om den är klen.

Slag/stötarkollision

Inverkan av slag/stötar på en konstruktion styrs av slagets/stötens styrka och konstruktionens eftergivlighet. Om konstruktionen är i förhållande till slaget/stöten oeftergivlig och stark blir skadorna ytliga och berör det täckande betongskiktet. De skador som uppstår kan variera från ytliga sprickbildningar inom en begränsad

yta till avspjälkning och delaminering av det täckande betongskikt över en större yta.

Rörelser

Rörelser som sättningar leder ofta till genomgående sprickbildningar i konstruktionselementen. Det täckande betongskiktet i områden närmast de genomgående sprickorna kan spricka och spjälka av.

Explosion

Explosionens stötvåg inducerar rörelser och deformationer i konstruktionen. Stötvågen kan leda till att delar av eller hela konstruktionen går till brott. Svagare stötvågor kan inducera dragspänningar mellan konstruktionselementets olika materialskikt, bl.a. mellan det täckande betongskiktet och armeringslagret som det skyddar, vilket kan leda till sprickbildning i och avspjälkning av det täckande betongskiktet.

Vibrationer

Vibrationer inom det frekvensband som är nära konstruktionens och konstruktionselementens resonansfrekvens kan leda till stora spänningar i konstruktionen, konstruktionselementet och mellan konstruktionselementen. Ofullständig samverkan mellan betongyttersiktet och betongkonstruktionens inre delar leder till spänningar om vibrationsfrekvensen är lika med eller nära resonansfrekvensen.

2.4.2 Kemiska nedbrytningsmekanismer

Alkalisilikareaktioner (ASR)

Alkalisilikareaktion, ASR, är en kemisk reaktion mellan betongens alkali och ballastens alkalireaktiva mineraler som amorft kiseldioxid. Resultatet blir en gel som i fuktiga miljöer expanderar och utövar ett inre tryck i betongen, som på grund härav spricker.

Betongrapport nr 18 (2020) indelar ballast med hänsyn till alkalireaktivitet i fyra grupper: oskadlig ballast, långsamreaktiv ballast, medelreaktiv ballast och snabbreaktiv ballast. Indelningen görs med hänsyn till förekomst av olika bergartstyper, dess kvarts- eller kiselinnehåll och särskilt mineralkornstorlek.

Oskadlig ballast utgörs av ballast av granit och gnejs med en kornstorlek $> 0,063$ mm; kvartsit med en kornstorlek $> 0,12$ mm; basalt, gabbro, grönsten, amfibolit samt mafiska myloniter.

Långsamt reaktiv ballast utgörs vanligen av > 15 volym-% potentiellt långsamreaktiva komponenter. Bergarter som klassas som långsamreaktiva är kvartsrika, finkorniga bergarter som har en kornstorlek $< 0,063$ mm. Dessa innefattar bergarter såsom porfyr, ryolit, siltsten, finkorniga graniter samt finkorniga kvartsiter. Reaktions tid som leder till sprickbildning är mellan 15 och 20 år.

Medelreaktiva bergarter består av mycket finkorniga (flintlika) metavulkaniter, finkorniga myloniter som inte har omkristalliserats, deformerade kvartsiter,

sandstenar/sparagmiter, gråvackor och finkorniga kvartsrika metasediment. Reaktions-
ionstid som leder till sprickbildning är mellan 5 och 20 år.

Snabbt reaktiva bergarter: opal, flinta, lågmetamorfa sedimentära bergarter typ
gråvacka och opalsandsten. Reaktions-
ionstid som leder till sprickbildning är mellan 1
och 5 år.

ASR skador uppstår p.g.a. det inre tryck som de expanderande ballastkornen utö-
var inuti betongmassan. Betongmassan expanderar och spricker när betongens töj-
ning överstiger dess gränstöjning. Sprickorna framträder på betongens yta som
krackelering. Betongens armering och externt tvång påverkar sprickbildningen ef-
tersom armering och tvång förhindrar betongens expansion i armerings- och
tvångsriktningen. Tryckspänningar över 5 MPa minskar avsevärt expansionen och
sprickbredden i spänningens riktning. En kraftigt armerat betongtvärsnitt som
även innehåller byglar expanderar och spricker mycket mindre jämfört med en be-
tongvägg med låg armeringsandel.

ASR-skador kan också uppträda som pop-outs och kratrar på betongens yta. Pop-
outs uppstår när enskilda nära ytan belägna ballastkorn expanderar och trycker ut
betongen.

Det är svårt att utföra en beständig ytreparation på en ASR-skadad konstruktion.

Aggressiva ämnen

Ämnen som sulfater, salter och mjukt vatten tränger in betongen och reagerar med
cementet. Om betongytterskiktet är tätt och inte innehåller sprickor samt inte ut-
sätts för upprepade uppfuktning och uttorkning, som genom konvektion driver in
det aggressiva ämnet i betongen, fortskrider processen långsamt och skiktvis. Be-
tongens inre påverkas inte av nedbrytningsprocessen så länge det inträngande ag-
gressiva ämnet förbrukas i det skikt där nedbrytningen pågår.

Externa sulfater kan ge skador på betongkonstruktioner då vattenlösliga sulfater
som natrium-, kalium-, ammonium- och magnesiumsulfat tränger in i betongen
och reagerar med cementets kalciumhydroxid och trikalcialuminat. Reaktionen
med kalciumhydroxid leder till att gips bildas medan reaktionen med trikalciu-
maluminat leder till ettringitbildning. Båda reaktionsprodukterna är svällande och
kan ge upphov till sprickbildning. Gipsbildningen medför att cementpastan förlo-
rar sin kohesion och dess hållfasthet minskar. Ettringitbildningen medför att be-
tongen sprängs på grund av inre spänningar till följd av svällningen (Fagerlund
1990; Rombén 1994; Betongrapport nr 12 2007).

Syror reagerar med betongens cement och löser upp det. Bland syror kan aggressiv
koldioxid (kolsyra) nämnas.

Mjukt vatten, såsom regnvatten och vatten i norrländska älvar, som rinner över en
betongyta löser upp cementets kalciumhydroxid och därefter dess trikalciumsili-
kat. Det påverkade skiktet försvagas och till följd härav kan lättare eroderas.

Biologisk påverkan

Surt angrepp på avloppsrör av betong orsakat av svavelreducerande bakterier är
ett exempel på biologisk påverkan. Svavelreducerande bakterier i avloppens

bottenslam producerar svavelväte som därefter omvandlas av andra bakterier till svavelsyra som fräter på betongen (Fagerlund, 1990).

I havsvatten och vissa vattendrag finns organismer som förbrukar betongens kalciumhydroxid. Processen, är dock, långsam.

Bakterier, svampar och mögel bryter inte ner betongen, utan de har en estetisk inverkan på betongens yta eller ökar betongens fuktighet som kan gynna andra nedbrytningsmekanismer.

2.4.3 Fysikaliska nedbrytningsmekanismer

Frysning och upptining

Frysning och upptining i närvaro av ofruset vatten kan leda till skador. Det finns två typer av skadeutveckling i samband med frostangrepp:

1. Ytavskalning, som inträffar när ett tunt ytterskikt av betong vattenfylls och spricker i samband med frysning.
2. Inre frostangrepp, som uppstår när en större volym av betong uppnår en kritisk vattenmättnadsgrad. Vattnet i betongens (cementpastans) porer expanderar och utsätter betongen för relativt stora inre tryck som leder till sprickbildning.

Ytavskalning kan uppstå hos betongkonstruktioner som är utsatta för tösalter eller direkt stänk som innehåller tösalter samt frysning. Mekanismen är att tösalten sänker vattnets frystemperatur härmed förser betongytan med ofruset vatten under frysning och upptining. Det vatten som finns på betongens yta fyller det yttre skiktets porer. När det yttre skiktets vattenmättnadsgrad överskrider det kritiska vattenmättnadsgraden så spricker det under frysningen.

Ytavskalning kan uppstå i dammkonstruktioners vattenlinje. I kalla områden kan betongens yta under vattenytan nå frysgrader. På grund av vattnets strömning blandas vattnet och fryser inte och till följd härav når det låga temperaturer som +2 °C eller lägre. Det vatten som sugas i betongens yttre porer fryser och spränger ett tunt yttre skikt hos betongen. Detta fenomen samverkar med urlakningsprocessen. Vattnets förmåga att lösa kalciumhydroxid är störst vid låga vattentemperaturer vilket i kombination med det strömmande vattnet urlakar betongens yta. Urlakningen försvagar betongens yta. Det tomrum som uppkommer när kalciumhydroxiden urlakas fylls med vatten. När betongen fryser så avskalas betongens yta (Rosenqvist 2016; Hassanzadeh och Westberg Wilde 2016).

Inre frostangrepp leder till sprickbildning i större delen av det utsatta betongelementet och begränsas inte enbart i elementets ytskikt.

Termiska effekter

Termiska effekter kan leda till sprickbildning om materialets töjning förhindras. Töjningar uppstår på grund av materialets expansion respektive kontraktion vid temperaturhöjning respektive temperatursänkning. Inre tvång (som orsakas av temperaturgradienter i konstruktionselementet) och yttre tvång (som orsakas av

att konstruktionselementets rörelser förhindras av konstruktionens upplag och angränsande konstruktioner) begränsar betongens möjligheter till fria töjningar vilket leder till att dragspänningar uppstår i konstruktionselementet. Dragspänningarna leder till sprickbildning när de överstiger materialets draghållfasthet.

Sprickorna initieras normalt på elementets yta. Därefter, styrs sprickornas djup och riktning av temperaturfördelningen i betongelement. Sprickornas bredd och inbördes avstånd på elementets yta styrs av armeringens mängd och diameter, det täckande betongskiktets tjocklek, temperaturfördelning samt typ av tvång och dess storlek. En del av sprickor tränger inte längre än fram till armeringen.

Snabba temperaturvariationer såsom termochock kan leda till av avskalning av betongens yta. Skadorna påminner om avskalning, som orsakas av frostangrepp i närvaro av tössalter.

Saltkristallisering

Vissa salter expanderar när de kristalliserar i samband med uttorkning. I vatten lösta salter transporteras till betongens yta. Saltlösningen koncentreras i porerna i de yttre skikten. När saltkoncentrationen ökar p.g.a. vattenavdunstningen kristalliserar salterna. Kristalliseringen medför att lösningen upptar större volym jämfört med tillståndet före kristalliseringen. Processen kan jämföras med isbildning i samband med frysning av vatten. Saltets expansion leder till sprickbildning och avskalning av betongens yttre skikt. Saltkristallisering utgör inte något större beständighetsproblem för en normal betong. Däremot, utgör saltutfällningar på betongens yta stora estetiska problem. I armerade betongkonstruktioner kan korrosionsprodukter, som är salter, spränga det täckande betongskiktet.

Krympning

Betong kontraherar när den torkar ut. Om betongens kontraktion förhindras kan sprickor uppstå i betongen. Sprickbildningsprocessen liknar mekaniskt sett de termiska effekternas process.

Betongens krympning styrs av tre mekanismer; självuttorkning, uttorkning och karbonatisering.

Självuttorkning uppstår när cementet reagerar med och binder det inblandade vattnet. Krympning som orsakas av självuttorkning (autogenkrympning) är normalt försumbar vid höga vattencementtal ($vct > 0,45$). Självuttorkning sker samtidigt i hela betongvolymen och ingen fuktighetsgradient (töjningsgradient) uppstår i betongen. Däremot, kan ingjutna föremål (t.ex. armering) samt konstruktionens ränder och upplag orsaka dragspänningar i betongen (tvång) genom att motstå autogen krympning. Större delen av autogenkrympning uppstår i tidig ålder.

Uttorkningskrympning uppstår efter betongens hårdnande. Den är en långsam process som avstannar när betongens fuktighet ställer sig i jämvikt med omgivningens medelfuktighet. Processen kan pågå i flera år för en relativt tjock betongkonstruktion. Det yttre skiktet (ca 0,10 m) hos en betongkonstruktion i utemiljö uppnår inte jämviktsläge utan den följer utemiljöns fuktighetsvariationer.

Betong krymper när den karbonatiserar (Neville, 2008). Krympningens storlek styrs av betongens fuktighet. När betong är i jämvikt med 100 % eller 25 % RF (relativ fuktighet) krymper den inte p.g.a. karbonatisering. Anledningen är att betong inte karbonatiserar när den har hög fuktighet – eftersom koldioxiden inte når fram till kalciumhydroxiden – eller när den har låg fuktighet – eftersom det inte finns den vattenmängd som krävs för att reaktionen ska kunna äga rum. Den största krympningen uppstår när betongen är i jämvikt med 50 % RF.

Hos en betong som får karbonatisera samtidigt som den torkar ut från 100 % RF till 50 % RF är krympningen ca 50 % större än dito hos samma betong om den skyddas mot karbonatisering under uttorkningsprocessen. Krympningen fördubblas om betongen först torkas ut vid 50 % RF och därefter utsätts för karbonatisering.

De slumpmässigt fördelade rutnätssprickbildningar som kan observeras på gamla betongytor i utemiljöer är normalt orsakade av kombinerad uttorknings- och karbonatiseringskrympning. Det bör noteras att plastiska krympsprickor som uppstår före betongens hårdnande kan senare utvidgas p.g.a. uttorknings- och karbonatiseringskrympning.

Erosion och slitage

Erosion orsakas av att luft-/vattenburna partiklar kolliderar med betongens yta. Erosionen kan grovt indelas i två olika mekanismer: 1) friktion, 2) stöt. Vid friktion är partikelns bana nästan parallell med betongytan. Partikelns rörelseenergi överförs till ytan genom friktion eller med stötar mot ytans små ojämnheter. Stöt uppstår när partikels bana är vinkelrätt mot betongytan. Partikeln slår sönder ytans ojämnheter eller partiklar. I verkligheten verkar båda mekanismerna samtidigt, men deras dominans styrs av luft-/vattenflödets riktning samt eventuell turbulens som uppstår vid höga strömningshastigheter.

När vattenburna sand- och stenpartiklar hamnar i en virvelström orsakar de urgröpningar i betongen. Urgröpningarnas plan är ofta cirkelformade och deras storlek styrs bl.a. av partiklarnas storlek och virvelströmmens egenskaper.

Slitage är nedbrytning av betongens yta genom friktion som induceras av ett fast material såsom friktionen mellan bildäck, skor, mm och betongens yta. Is sliter betongens yta genom att skava mot betongens yta.

Kavitation

I vattenkraftsanläggningar förekommer kavitation. Kavitation uppstår när luftbubblor, som bildas p.g.a. att vattenflödet bromsas upp av ytans ojämnheter eller andra hinder mot flödet, spricker. Luftbubblan spricker när vattentrycket sjunker p.g.a. att flödes hastigheten några centimetrar efter hindret ökar igen. Processen tilldelar stötar mot betongens yta och eroderar den.

Hydrauliskt tryck mellan olika materialskikt

När övergångszonen mellan två materialskikt är poröst och svagt kan den bli vattenmättad om det mot vattnet exponerade skiktet är sprucket. Om det exponerade skiktet stoppar eller ändrar riktningen hos ett vattenflöde uppstår ett stagnationstryck över det exponerade skiktet. Stagnationstrycket fortplantas i övergångszonen

mellan materialskikten och utövar ett inre tryck i övergångszonen. Det exponerade skiktet kan avskalas om trycket är större än övergångszonens draghållfasthet.

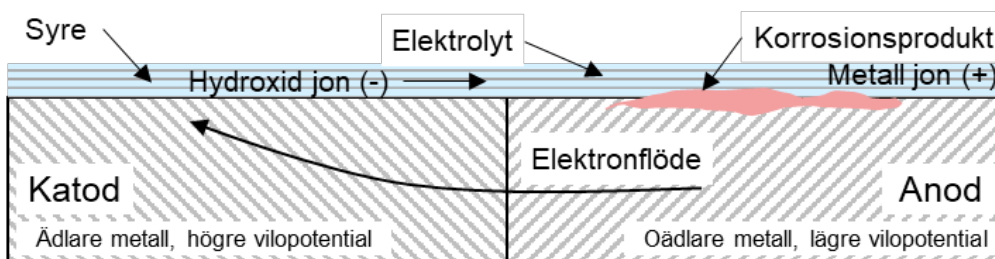
2.4.4 Armeringskorrosion

Korrosionsprocess

Galvanisk korrosion uppstår när två metaller är i kontakt med varandra samtidigt som följande villkor är uppfyllda:

1. Potentialskillnad mellan metallerna
2. En sammanhängande elektrolyt över metallernas yta
3. Tillgång till syre vid katoden

Figur 2-2 visar en korrosionscell bestående en anod (t.ex. en aluminiumplåt) och en katod (t.ex. en mässingsplåt). Aluminiumets vilopotential är lägre än mässingens vilopotential, således utgör aluminiumet anoden och mässingen katoden i den galvaniska korrosionscellen som presenteras i Figur 2-2. Elektronflödet är riktat från anoden till katoden. På katodens yta förenas elektronerna med luftens syre som bildar hydroxidjoner. Hydroxidjonerna transporteras via elektrolyten (t.ex. salthaltigt vatten) till anoden. På anodens yta reagerar hydroxidjonerna med anodmaterialet och korroderar det.



Figur 2-2 – Galvanisk korrosion.

I den process som beskrivs ovan är katod och anod särskiljbara eftersom de i det ovanstående exemplet utgörs av två olika metaller. En metall, t.ex. armeringsstång, som inte är i kontakt med ett annat material kan också korrodera, d.v.s. att både katod och anod kan förekomma på armeringsstångens yta. Man skiljer då mellan jämn/allmän korrosion och lokal korrosion (gropfrätning).

Vid jämn/allmän korrosion pågår korrosion i ett stort antal tätt placerade korrosionsceller på metallens yta, t.ex. röd rost som förekommer på kolstålets yta vid atmosfärisk korrosion och på armeringsstänger i en karbonatiserad betong.

Vid lokal korrosion (gropfrätning) sker korrosion endast i ett fåtal korrosionsceller placerade på metallens yta. Vid gropfrätning utgörs anoden i princip av materialytan inne i gropen. Katoden utgörs av materialytan utanför gropen.

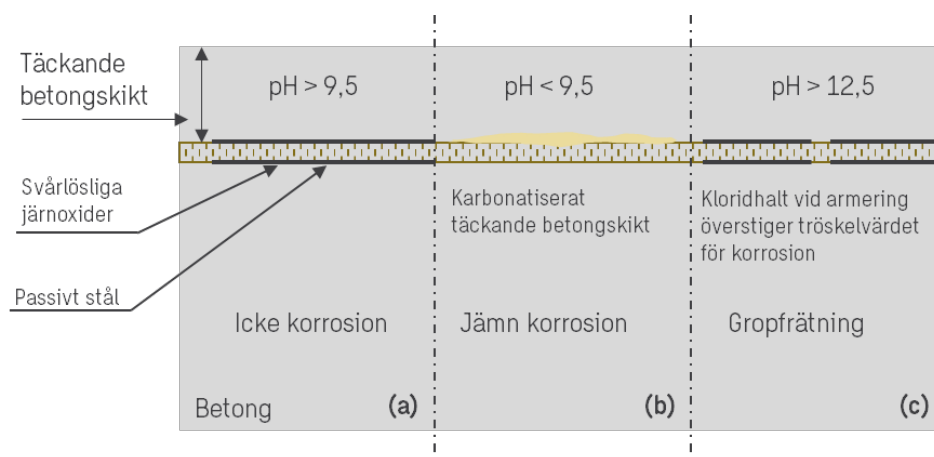
I en alkalisk miljö bildas på stålets (armeringsstång) yta ett tunt, tätt och svårlösligt oxidlager som skyddar stålet mot korrosion. Oxidlagret reducerar avsevärt korrosionshastigheten, Figur 2-3 (a).

Oxidlagret löses upp när pH reduceras till nivåer som 9,5 eller lägre. När det gäller ingjutna armeringsstänger skyddas de av betongens höga pH-värde, som är minst 12,5 hos en inte urlakad eller karbonatiserad betong. Sjunker betongens pH, t.ex. p.g.a. karbonatisering, till nivåer som är lägre än 9,5 försvinner betongens skyddande förmåga. I en armerad betongkonstruktion kan armeringen börja korrodera när det täckande betongskiktet karbonatiseras, Figur 2-3 (b).

Klorider kan bryta oxidlagret och medföra groppfrätning. Vid närvaro av klorider bryts oxidlagret även vid höga pH värden. Kloridhalten vid armeringens nivå är en avgörande parameter, Figur 2-3 (c). Den kritiska kloridhalten (tröskelvärde) beror bl.a. på betongens pH, fukthalt samt tillgången till syre.

Betong karbonatiseras genom att reagera med luftens koldioxid. Reaktionen sker skiktvis från den yta som vetter mot luften. En front av karbonatiserad betong bildas vars tjocklek ökar med tiden. När karbonatiseringsfronten når armeringen initieras korrosionsprocessen.

Betongrapport nr 12 presenterar modeller för beräkning av inträngning av karbonatiseringsfront och kloridprofiler i betong exponerad i olika miljöer. Betongrapporten anger även tröskelvärden för initiering av korrosion orsakad av klorider.



Figur 2-3 – Korrosion av armering i betong.

Läckströmmar i områden där elektrisk kraft produceras och transmittas kan teoretiskt sett förorsaka korrosion i armerade betongkonstruktioner. Rapportförfattaren har inte någon kunskap inom det området. Däremot, har rapportförfattaren varit med och tillståndsbedömt armerade betongkonstruktioner i anslutning till vattenpumpar i havsvattenmiljöer. Tillståndsbedömningen visade att pumpaggregaten utnyttjade betongens armering som offeranoder, eftersom aggregaten saknade offeranoder.

Skador

För att korrosionsprocessen ska kunna fortgå så krävs det att betongen kring armeringen är fuktig samtidigt som armeringen nås av luftens syre. Korrosion i en syrerik miljö (t.ex. i luft) leder till röd rost Fe_2O_3 , medan korrosion i en syrefattig miljö (t.ex. under vatten) leder till svart rost Fe_3O_4 . Korrosionsprodukterna har större volym än det ursprungliga icke korroderade stålet. Röd rost har mycket större volym än svart rost. I mycket fuktiga miljöer löses delar av den korroderade armeringen upp och transporteras bort. Det förekommer fall där betongens yta är helt sprickfri medan armeringens korrosionsprodukter har transporterats bort och lämnat ett tomrum efter sig. Betongrapport nr 12, presenterar modeller för beräkning av risken för sprickbildning i det täckande betongskiktet i samband med armeringskorrosion.

Karbonatisering och inträngning av klorider skadar inte betongen utan de leder till armeringskorrosion som i sin tur skadar betongen. Inträngning av fronten av karbonatiserad betong och skadliga kloridhalter påverkar konstruktionens återstående livslängd. Därför, vill man i vissa sammanhang bromsa processen genom förebyggande åtgärder som kräver någon typ av ytreparation. Av denna anledning klassas i denna rapport även karbonatisering och hög kloridhalt som skada.

3 Reparationsmetoder

3.1 PRINCIPER OCH METODER FÖR SKYDD OCH REPARATION

Betongreparationsstandarden SS-EN 1504–9 definierar nio principer för skydd och reparation av betongkonstruktioner, av vilka princip 1–6 är relaterade till betongdefekter och princip 7–9 är relaterade till armeringskorrosion, Tabell 3-1. Tabellen har sammanställts m.h.a. Tabell 1 i respektive standarderna SS-EN 1504–9:2008 och SS-EN 1504–10:2017.

Tabell 3-1 – Principer och metoder för skydd och reparation av betongkonstruktioner, SS-EN 1504–9.

Princip	Exempel på metoder	Relevant del av EN 1504
Principer och metoder relaterade till betongdefekter		
1. Skydd mot inträngning Metoderna uppfyller principen för att minska eller förhindra inträngning från skadliga ämnen, t ex vatten, andra vätskor, gaser som koldioxid, kemikalier som klorider och biologiska substanser.	1.1 Vattenavvisande (hydrofobisk) impregnering Denna metod innebär att påföra en produkt för att förhindra eller minska transporten av vatten genom att belägga ytporerna med material som har hydrofobiska egenskaper.	2
	1.2 Impregnering Denna metod innebär att påföra en produkt för att minska ytans porositet och förstärka ytan genom att delvis eller helt fylla porerna och kapillärerna.	2
	1.3 Beläggning Denna metod innebär att påföra en produkt på betongens yta för att förhindra att medel transporteras igenom.	2
	1.4 Lokal tejpförsegling	
	1.5 Spackling av sprickor	5
	1.6 Överföring av sprickor till fogar	
	1.7 Montering av yttre paneler ^a	
	1.8 Applicering av membran ^a	
2. Fuktkontroll Metoderna uppfyller principen att anpassa och hålla fukthalten i betongen inom ett specificerat spann av värden.	2.1 Vattenavvisande (hydrofobisk) impregnering Denna metod innebär att påföra en produkt för att minska inträngningen av vatten och andra ämnen i den behandlade betongen genom att belägga ytporerna med material som har hydrofobiska egenskaper.	2
	2.2 Impregnering Denna metod innebär att påföra en produkt för att minska ytans porositet och förstärka ytan genom att delvis eller helt fylla porerna och kapillärerna.	2
	2.3 Beläggning Denna metod innebär att påföra en produkt på betongens yta för att förhindra att vatten eller vattenånga transporteras igenom.	2
	2.4 Montering av yttre paneler	
	2.5 Elektrokemisk behandling	
3. Reparation av betong – Renovering av betong Metoderna uppfyller principen att återställa den ursprungliga betongen i ett	3.1 Handapplicerat bruk Denna metod innebär att manuellt påföra ett reparationsbruk på den förberedda betongytan.	3
	3.2 Om-/påjutning med betong eller bruk	3

Princip	Exempel på metoder	Relevant del av EN 1504
konstruktionselement till dess ursprungligen specificerade form och funktion. Renovering av betongkonstruktion genom att ersätta delar av den.	Denna metod innebär att reparera betong med metoden formsättning och gjutning.	
	3.3 Sprutning med betong eller bruk Denna metod innebär att reparera betong med sprutbetong eller sprutbruk.	3
	3.4 Ersättning av betongdelar/betongelement	
4. Förstärkning av bärförmåga Metoderna uppfyller principen att öka eller återställa den lastbärande förmågan hos ett betongelement.	4.1 Tillägg eller byte av ingjutna eller externt monterade armeringsstänger	
	4.2 Tillägg av armering förankrad i förtillverkade eller borrade hål	6
	4.3 Pålimmade plattor Denna metod innebär att fästa förstärkningsplattor på utsidan av en del av betongkonstruktionen.	4
	4.4 Tillägg av bruk eller betong Denna metod innebär att påföra ytterligare bruk eller betong på betongkonstruktionen.	3, 4
	4.5 Injektering av sprickor, hålrum eller springor Denna metod innebär att injektera betongen med lämpligt material i flytande form.	5
	4.6 Spackling av sprickor, hålrum eller springor	5
	4.7 Förspänning – (efterspänning)	
5. Ökning av fysikalisk motståndsförmåga Metoderna uppfyller principen att ökande motståndet mot ett fysikaliskt eller mekaniskt angrepp.	5.1 Beläggning Denna metod innebär att öka det fysikaliska motståndet med ytbeläggningar.	2
	5.2 Impregnering Denna metod innebär att öka det fysikaliska motståndet med impregnering.	2
	5.3 Tillägg av bruk eller betong Denna metod innebär att öka det fysikaliska motståndet genom tillägg av bruk eller betong.	3
6. Motståndsförmåga mot kemikalier Metoderna uppfyller principen att öka betongytans motstånd mot nedbrytning genom kemiskt angrepp. Minskning av inträngningen av kemikalier i behandlad betong för att förhindra eller minska nedbrytning på grund av kemiskt angrepp.	6.1 Beläggning Denna metod innebär att minska inträngningen av kemikalier i behandlad betong för att förhindra eller minska nedbrytning genom skyddande beläggning.	2
	6.2 Impregnering Denna metod innebär att öka motståndet hos betongen mot kemikalier genom impregnering.	2
	6.3 Tillägg av bruk eller betong Denna metod innebär att öka motståndet mot kemikalier genom tillägg av bruk eller betong.	3
Principer och metoder relaterade till armeringskorrosion		
7. Bevara och återställa passivitet Metoderna uppfyller principen att skapa kemiska förhållanden där armeringens yta bibehålls på eller återställs till ett passivt förhållande.	7.1 Ökning av täckande betongskikt med ytterligare bruk eller betong Denna metod innebär att öka täckande skikt eller förhindra inträngning av passiverande medel med lager av betong eller bruk.	3
	7.2 Ersättning av förorenad eller karbonatiserad betong Denna metod innebär att ersätta karbonatiserad betong med icke förorenat bruk eller betong.	3
	7.3 Elektrokemisk realkalisering av	

Princip	Exempel på metoder	Relevant del av EN 1504
	7.4 Återalkalisering av karbonatiserad betong genom diffusion	
	7.5 Elektrokemisk kloridutdrivning	
8. Ökning av resistiviteten Metoderna uppfyller principen att öka den elektriska resistiviteten hos betongen genom att minska fukthalten.	8.1 Vattenavvisande impregnering Detta är en metod för att minska vatteninträngningen i betongen och som en följd av detta öka betongens elektriska motstånd.	2
	8.2 Impregnering Denna metod innebär att påföra en produkt för att minska ytans porositet och förstärka ytan genom att delvis eller helt fylla porerna och kapilläerna.	2
	8.3 Beläggning Detta är en metod för att minska vatteninträngningen och som en följd av detta öka betongens elektriska motstånd.	2
9. Katodisk kontroll Följande metoder uppfyller principen att skapa förhållanden där potentiellt katodiska områden i armeringen inte kan driva på en anodisk reaktion.	9.1 Begränsning av syrehalten (vid katoden) genom vattenmättnad eller ytbeläggning Följande metoder uppfyller principen att skapa förhållanden där potentiellt katodiska områden i armeringen inte kan driva på en anodisk reaktion.	
^a Dessa metoder kan även vara tillämpliga i andra principer.		

3.2 REPARATIONSMETODER

3.2.1 Allmänt

De mekanismer som leder till ytskador verkar från konstruktionens yta till ett djup som kan variera mellan ett par millimetrar till några centimetrar bortom det innersta armeringsskiktet, d.v.s. ett totalt djup på ca 15 cm. Skador som når djupare än 15 cm betraktas inte i denna rapport som ytskador. Det bör, dock, noteras att skador inom ett begränsat område ($< 0,5 \text{ m}^2$), kan behandlas som ytskador även om de är djupare än 15 cm, eftersom reparation av den här typen av skador inte kräver stora insatser.

Inom det skadade djupet uppfylls inte de funktionskrav som ställs på materialet. Före en reparation måste gränsen mellan skadat och oskadat material bestämmas och det skadade materialet tas bort. Gränsen mellan skadat och oskadat material är sällan skarp och sällan parallell med den ursprungliga ytan. I nedanstående framställning antas att det går att definiera ett djup "gränsdjup" bortom vilket materialet uppfyller kraven för avsedd användning (funktionskraven). Således, är gränsdjupet avståndet mellan konstruktionens "ursprungliga yta" och "motgjutningsyta", det vill säga den yta som uppstår efter borttagning av det skadade skiktet. Gränsdjupet är lika med d_{skada} som definieras i avsnitt 2.3. Denna gräns visas med en rak streckprickadlinje i Figur 3-1.

Ursprunglig yta

Ursprunglig yta är konstruktionens yta vid färdigställandet (byggtiden). Ytans läge i ett godtyckligt koordinatsystem utgör nollnivån vid bestämning av skadans inträngningsdjup. Utgångstiden för den ursprungliga ytans mekaniska, kemiska och fysikaliska egenskaper är tiden då betongen uppnådde 28 dygns mognadsgrad.

Aktuell yta

Aktuell yta är den yta som är synlig. Den ligger mellan den ursprungliga ytan och gränsdjupet/motgjutningsytan. Materialet mellan den aktuella ytan och reparationsytan/motgjutningsytan uppfyller inte kraven för avsedd användning.

Motgjutningsyta

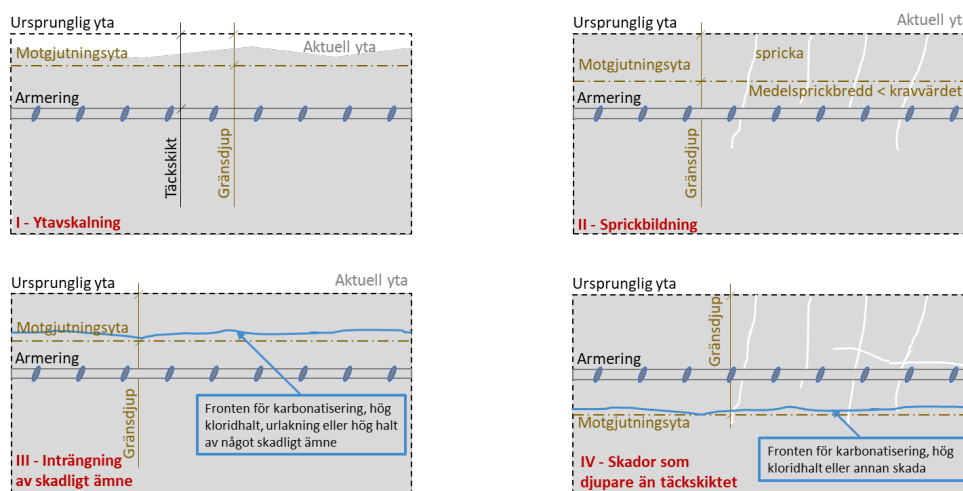
Motgjutningsyta är den yta som blir synlig efter det att det skadade materialet har tagits bort. Motgjutningsytan är sällan jämn och parallell med den ursprungliga ytan. Motgjutningsytans placering i djupled är lika med eller större än gränsdjupet. Materialet under motgjutningsytan antas uppfylla kraven för avsedd användning. Det bör noteras att trots att materialet under motgjutningsytan uppfyller kraven för avsedd användning kan dess tillstånd ändå ha försämrats i förhållande till utgångsläget vid konstruktionens färdigställande. Viktigast är, dock, att materialet uppfyller kraven för avsedd användning inklusive de krav som ställs för god samverkan med reparationsmaterialet.

3.2.2 Definition av skadetypfall

Metoder för reparation av ytskador kan vara baserade på en eller flera av de principer som har presenterats i avsnitt 3.1. Figur 3-1 visar några renodlade fall av ytskador och deras placering i förhållande till den ursprungliga ytan:

- I. Ytskiktets bortfall fram till gränsdjupet. Skadeorsaken kan vara en eller flera av de mekanismer som presenteras i avsnitt 2.4.
- II. Sprickbildning som enbart påverkar ytskiktets täthet och motstånd mot inträngning av fukt och skadliga ämnen. Sprickbredden under gränsdjupet antas att uppfylla kraven på sprickbredd för avsedd användning.
- III. Ytskikt som fram till gränsdjupet kan ha påverkats av någon eller kombinationen av några av följande mekanismer:
 - a. Karbonatisering
 - b. Kloridhalten överskrider en föreskriven nivå
 - c. Halten av något för betong/armering skadligt ämne överskrider en föreskriven nivå
 - d. Urlakning eller annan mekanism har försämrat materialets täthet mot inträngande skadliga ämnen och fukt
 - e. Urlakning eller annan mekanism har reducerat materialets hållfasthet för avsedd användning

- IV. Skador som når fram eller passerar armeringen/armeringsskiktet. Gränsdjupet är beläget under armeringen/armeringsskiktet. Det skadade skiktet uppvisar en eller flera av skadeformerna:
- Sprickbildning, avspjälkning och delaminering
 - Någon eller några av de skador som anges ovan, under punkt III
 - Armeringskorrosion och förlust av armeringsyta



Figur 3-1 – Ytskador och deras placering i förhållande till den ursprungliga ytan.

Det bör noteras att ovanstående framställning inte berör genomgående sprickbildning som orsakas bl.a. av förhindrade termiska töjningar och sättningar. Om genomgående sprickor inte ger upphov till stabilitets- och bärförmågeproblem utan enbart utgör estetiskt eller täthetsproblem kan de repareras med metoder som tillämpas för ytskador.

3.2.3 Borttagningsdjup

Gränsdjupet är en viktig parameter för valet och utförandet av en reparationsmetod. Gränsdjupet definierar gränsen mellan den betong som ska tas bort och den betong som ska lämnas kvar. Borttagningsdjupet är avståndet mellan den aktuella ytan och motgjutningsytan/gränsdjupet. Följande fall gäller:

$$\text{Borttagningsdjup} = 0; (d_{\text{skada}} = 0)$$

Man vill trots att den aktuella ytan och materialet därunder uppfyller kraven för avsedd användning vidta vissa åtgärder såsom

- applicera reparationsbetong
- behandla ytan med vattenavvisande medel, impregnera och belägga ytan eller
- en kombination av ovanstående åtgärder

för att

- återställa ytan
- förstärka ytan
- förbättra ytans motstånd mot inträngande fukt, koldioxid, klorider mm.

I detta fall är det inte nödvändigt att bort något betongskikt utan rengöring – eventuellt i kombination med någon typ av blästring som avlägsnar löst material och ökar ytans råhet – kan vara tillräckligt för att skapa ett bra underlag för reparationsåtgärderna. Det bör noteras att det förekommer torra produkter som benämns reparationsbruk eller reparationsbetong. I denna rapport inbegriper termen reparationsbetong även reparationsbruk om inte annat anges.

Borttagningsdjup > 0 ; ($d_{skada} > 0$)

Den aktuella ytan och materialet därunder uppfyller inte kraven för avsedd användning. I detta fall ska betongen mellan den aktuella ytan och motgjutningsytan tas bort. Det bör, dock, noteras att borttagningsdjupet kan i vissa fall bli större än gränsdjupet (d_{skada}), se Avsnitt A.5.1, Brounderhåll 2006:

”Om minst 30 % av armeringens omkrets är frilagd efter bilning till oskadad betong ska bilningsdjupet utökas. Fria avståndet mellan motgjutningsytan och närmaste intilliggande armering ska minst vara pågjutningsbetongens största stenstorlek plus 5 mm, dock minst 10 mm.

Även oskadad betong kan behöva bilas bort för att detta ska uppfyllas.

Armeringens friläggning bestäms som medelvärde på separata ytor med storleken 5 m².”

3.2.4 Reparationsmetodens utformning och delmoment

I. Förberedande åtgärder

Följande steg föregår valet av reparationsmetod:

- Skadans orsak och omfattning bestäms
- De ytor som ska repareras fastställs
- De krav som ställs på det reparationssystem som appliceras och på den konstruktion som repareras, både före och efter genomförd reparation, sammanställs.
- Borttagningsdjupet bestäms.

Nedan anges de mest förekommande reparationer inom vattenkraften, som i stort sett inkluderar de metoder som anges i principerna 1–6, Tabell 3-1. Det bör noteras att den indelning som nedan görs med hänsyn till ”borttagningsdjup” är baserad på det indelningsförslag som presenteras i avsnitt 2.3.

II. Reparationsmetoder när borttagningsdjup $= 0$; $d_{skada} \leq 2$ mm

Vanligen krävs inga åtgärder men applicering av vattenavvisande impregnering eller impregnering kan bli aktuella som förebyggande åtgärder.

Pågjutningar och förstärkningar kan beroende på konstruktionens typ, förändrade funktion eller krav bli aktuella.

III. *Reparationsmetoder när $0 < \text{borttagningsdjup} < \text{det täckande betongskiktet}$;*

Reparationsmetoden i detta fall inkluderar

- Borttagning av skadad betong
- Applicering av beläggning för $d_{skada} \leq 5 \text{ mm}$
- Pågjutning med reparationsbetong $d_{skada} > 5 \text{ mm}$.
 - Pågjutningen kan eventuellt kompletteras med någon metod enligt princip 1 eller 2.

IV. *Reparationsmetoder när $\text{borttagningsdjup} > \text{det täckande betongskiktet}$;*

$$d_{täck} < d_{skada} \leq d_{g,ytskada}$$

Reparationsmetoden i detta fall inkluderar

- Borttagning av skadad betong bortom det innersta armeringslagret
- Rengöring av befintlig armering och eventuellt tillägg av ny armering
- Eventuellt tillägg av dubbar/dymlingar för att förbättra vidhäftning mot underlaget
- Pågjutning med reparationsbetong genom någon metod enligt princip 3
 - Pågjutningen kan eventuellt kompletteras med någon metod enligt princip 1 eller 2.

V. *Reparation av ytsprickor när sprickorna inte når fram till armeringen*

- Sprickor som inte är parallella med ytan; inte har orsakats av delaminering, avskalning eller dylikt och dessutom inte når fram till armeringen kan repareras med någon av metoderna 1.1–1.5, i Tabell 3-1.
- Sprickor som är parallella med ytan, har orsakats av delaminering, avskalning eller dylikt ska inte repareras utan bilas bort.
 - Efter borttagning av det spruckna lagret kan ytan repareras enligt punkt III ovan.

VI. *Reparation av ytsprickor när sprickdjupet är större än det täckande betongskiktet men mindre än $d_{djupskada}$, se avsnitt 2.3.*

- Nedanstående punkter gäller inte för sprickor som är parallella med ytan och/eller har orsakats av delaminering, avskalning eller dylikt ska inte repareras utan bilas bort.
 - Efter borttagning av det spruckna lagret kan ytan repareras enligt punkt III ovan.
- Sprickfördelning och sprickbredd kartläggs
- Tillåten sprickvidd bestäms

- Sprickbreddens variation med avseende på tiden bestäms
 - i. Vilande/inaktiva sprickor vars bredd överstiger den tillåtna sprickbredden repareras enligt nedan:
 - Någon metod enligt princip 1 eller 2 kan användas för reparation av sprickorna. Reparationen inkluderar även sprickor med bredden mindre än den tillåtna.
 - Spackling enligt metod 4.6
 - ii. Aktiva sprickor med cyklisk varierande bredd – p.g.a. t.ex. säsongsberoende temperaturvariationer i konstruktionen – dock med konstant medelvärde kan repareras med de metoder som anges ovan i punkt i. Man bör, dock, välja reparationsmaterial med goda deformations- och flexibilitetsegenskaper.
 - iii. Aktiva sprickor vars bredd växer med tiden ska inte repareras enligt ovanstående metoder. Sprickorna ska repareras enligt principen för reparation av dilatationsfogar, (Non-structural cracks in concrete, 2010). Sprickan fylls med en flexibel fogmassa och dess yta tätas med ett töjbart membran. Det är viktigt att kunna uppskatta sprickbreddens framtida utveckling. Det bör noteras att denna metod sannolikt inte uppfyller kraven för strukturell reparation. Vidare, bör det noteras att sprickor med växande bredd alltid ska granskas/bedömas av en inspektör med hög kompetens inom strukturell reparation.

VII. *Reparation av sprickor när sprickdjupet är större än $d_{djupskada}$, se avsnitt 2.3.*

Sprickor djupare än $d_{djupskada}$ behandlas inte i denna rapport, men de kan ändå behandlas enligt punkt VI ovan om deras djup bedöms vara begränsat. Det är således en bedömningsfråga.

Djupa och genomgående sprickor – t.ex. sådana som uppstår vid avsvälning av betong vid tidig ålder – kan behandlas enligt punkt VI ovan.

VIII. *Reparation av ytor med utfällningar*

- Ytor som har utfällningar högtryckstvättas
- Läckande sprickor ska i princip behandlas som djupa sprickor. Denna typ av sprickor beaktas inte i denna rapport.

4 Krav på reparationssystem och material

4.1 REPARATIONSMATERIAL/PRODUKT

En produkt definieras som *”beståndsdel som tillverkats för reparation och skydd av betongkonstruktioner”*, SS-EN 1504-1. De krav som ställs på produkten styrs av reparationens syfte som definieras genom val av reparationsprincip enligt Tabell 3-1.

Som framgick i avsnitt 3.2.4 väljs reparationsprincipen med hänsyn till skadeorsak, skadeomfattning samt de krav som ställs för den avsedda användningen. Tabell 3-1 anger produktstandarder som korresponderar till några reparationsprinciper/metoder. Produktstandarderna presenterar *”prestandaegenskaper för avsedda användningar”*, d.v.s. att standarderna anger de materialegenskaper som styr produktens förmåga att uppfylla sin funktion. Prestandaegenskaperna så väl som *”Kraven”* för produktens materialegenskaper för avsedd användning anges i olika tabeller i respektive produktstandard.

Utöver ovanstående förekommer även krav som ingår i olika standarder och normer som tillämpas för betongkonstruktioner. Konstruktionens ägare/förvaltare kan också med hänsyn till egen avsedd användning ställa krav på reparationsprodukten.

4.2 REPARATIONSSYSTEM

SS-EN 1504-1 ger följande definition för begreppet *Reparationssystem*: *”Två eller flera produkter som används tillsammans eller efter varandra för att reparera eller skydda betongkonstruktioner.”*

De referenser för kravställande som presenterades i avsnitt 4.1 gäller även för reparationssystem.

4.3 REPARERAD YTA/KONSTRUKTION

En reparerad yta/konstruktion ska uppfylla kraven enligt

- SS-EN 1990 (EK0) – Eurokod Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk
- SS-EN 1991 (EK1) – Eurokod 1: Laster på bärverk
- SS-EN 1992 (EK2) – Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner
- EKS-11 – Boverkets konstruktionsregler
- SS-EN 206: Betong – Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse
- SS-EN 1370033 – Betong – Användning av SS-EN 206 i Sverige
- SS-EN 1504 – Betongkonstruktioner – Produkter och system för skydd och reparation: del 1 – del 10.

- AMA Anläggning 2023
 - AMA hänvisar till SS-EN 1504 standarderna. SS-EN 1504 standarderna är numera etablerade standarder vilka även produkttillverkare följer. Det rekommenderas att 1504-standarderna beaktas vid reparation av vattenkraftens anläggningar.

Vidare bör tilläggas att reparationsprodukten/-systemet efter genomförd reparation inte får påverka underlaget på sådant sätt att underlagets bärförmåga och beständighet försämras.

5 Reparationsmaterial

Detta avsnitt presenterar material för följande reparationsmetoder:

1. Vattenavvisande (hydrofobisk) impregnering
2. Impregnering av ytor
3. Beläggning på ytor
4. Injektering av sprickor, hålrum eller springor
5. Bruk och betong för pågjutning
6. Polymerbruk och polymerbetong

Det bör noteras att de olika reparationsmetoderna kan kombineras.

5.1 VATTENAVVISANDE (HYDROFOBISK) IMPREGNERING

5.1.1 Normer och standarder

Vattenavvisande impregnering definieras i SS-EN 1504–1:

”Behandling av betong för att ge en vattenavvisande yta. Porer och kapillärer fylls ej igen utan ges en beläggning på dess väggar. Ingen film skapas på betongytan. Behandlingen ger måttliga eller inga utseendeförändringar.”

AMA Anläggning 23 – LFB.311: Skyddsimpregnering av betongytor i bro mot inträngning av klorider och vatten, anger följande krav för material, produkt och utförande.

”MATERIAL- OCH VARUKRAV

Vattenavvisande impregneringsmedel

Produkter avsedda för vattenavvisande impregneringsmedel ska uppfylla kraven i SS-EN 1504–2, tabell 3, varvid klass I ska tillämpas för uttorkningskoefficienten och minst klass I för inträngningsdjup. Bekräftelseprocedur 2+ i annex ZA i ovan-nämnda standard ska tillämpas. För inverkan på betongens kloridupptagning ska vattenavvisande impregnering provas enligt NT Build 515 och uppvisa en filtereffekt (FE25) som är minst 0,60.

UTFÖRANDEKRAV

Utförande ska ske enligt SS-EN 1504–10.

Impregneringsmedel inklusive vattenavvisande impregneringsmedel ska vid varje behandling påföras enligt tillverkarens anvisningar.”

Vattenavvisande impregnering påverkar materialets uttorkningshastighet. Anledningen är att den kapillära fukttransporten inom det behandlade materialskiktet begränsas. Uttorkningskoefficienten – som är en produktspecifikation och ska inte förväxlas med krav på betongen i den aktuella konstruktionen – bestäms enligt SS-EN 13579 vilken är kvoten (beräknat i %) mellan uttorkningshastigheten [$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

hos provkroppar impregnerade med vattenavvisande medel och dito hos obehandlade provkroppar. Ju större kvot desto mindre inverkar behandlingen på materialets uttorkningshastighet. SS-EN 1504-2 anger två klasser för uttorkningskoefficienten; klass I: > 30 % respektive Klass II: > 10 %.

Inträngningsdjup – som är en produktspecifikation och ska inte förväxlas med krav på betongen i den aktuella konstruktionen – bestäms enligt SS-EN 1766. SS-EN 1504-2 anger två klasser för inträngningsdjupet; klass I: < 10 mm respektive Klass II: ≥ 10 mm.

AMA hänvisar till SS-EN 1504-2 gällande skydd av betongen mot kloridinträngning, vilket upprätthålls genom att betongens yttre skikt blir vattenavvisande, härav i vatten lösta klorider inte kan tränga in i betongen. Således, kan en vattenavvisande betongyta även skydda betongen mot vatteninträngning och öka ytskiktets frostbeständighet. Skydd mot vatteninträngning kan i allmänhet förbättra betongens beständighetsegenskaper eftersom fukt utgör en viktig komponent i många nedbrytningsprocesser.

5.1.2 Material till vattenavvisande impregnering

Majoriteten av vattenavvisande medel som används i Sverige är baserade på silaner och/eller siloxaner (Edwards, 2021). *”Silan är en oorganisk förening med den kemiska formeln SiH_4 medan Siloxane är en funktionell grupp som har Si-O-Si-bindningen. Huvudskillnaden mellan silan och siloxan är att silan är en kemisk förening medan siloxan är en funktionell grupp i organisk kisel”*, (Strepsonsays, 2024-01-04).

5.1.3 Val av material

Allmänt

Det förekommer olika produkter i marknaden. Produkternas sammansättning är vanligen företagets egen information och är inte tillgänglig. Därför, är det viktigt att sammanställa de prestandaegenskaper och krav som ställs på konstruktionen efter genomförd behandling/reparation innan man väljer material/produkt. I detta sammanhang ska man beakta rekommendationer som anges i SS-EN 1504 standarderna. SS-EN 1504-2, -9 och -10 kan vara till stor hjälp för sammanställning av prestandaegenskaper och krav.

Vid val av produkt bör man kontrollera om den är certifierad och typgodkänd samt att den uppfyller kraven för avsedda användningar enligt SS-EN 1504-2.

Egenskaper och krav som minst bör beaktas

Tabell 3 i SS-EN 1504-2 presenterar prestandakrav för vattenavvisande impregnering. Man bör gå genom samtliga krav och välja de krav som är relevanta för det aktuella reparationsobjektet.

Nedan anges de krav som minst bör beaktas när det gäller val av material för vattenkraftens konstruktioner:

- Uttorkningskoefficient

Klass I rekommenderas för konstruktionspartier utsatta för frostangrepp.

- Inträngningsdjup

Klass II ska tillämpas

- Vattenabsorption och alkalibeständighet

Prestandan bestäms enligt EN 13580. Materialet ska uppfylla följande krav:

- Absorptionsförhållande $<7,5\%$, jämfört med det obehandlade provet
- Absorptionsförhållande (efter nedsänkning i alkalilösning) $<10\%$.

5.1.4 Produktval

Exempel 5

Ett produktval ska föregås av

- Syftet med att behandla konstruktionens yta med vattenavvisande impregneringsmedel, den förväntade prestandan hos den behandlade ytan samt behandlings livslängd ska klarläggas och dokumenteras.
- Konstruktionsytans tillstånd – till förväntat inträngningsdjup – ska bestämmas.

Det är viktigt att före impregneringen klargöra om konstruktionens yta uppfyller kraven för avsedd användning under den föreskrivna livslängden samt att dess fukthalt medger ett bra impregneringsresultat. Det bör noteras att impregneringseffekten har en begränsad livslängd, som brukar vara väsentligt lägre än den livslängd som föreskrivs för konstruktionen.

Val och applicering av vattenavvisande impregneringsmedel ställer stora krav på de inblandade parterna – beställaren, konsulten, produkttillverkaren och entreprenören – i ett impregneringsprojekt. Det är, därför, viktigt att de inblandade parternas samverkan initieras vid ett tidigt skede av projektet.

När det gäller val av impregneringsmedel och dess prestanda är man ofta hänvisad till produkttillverkarens data och erfarenheter. Det bör, dock, noteras att det även finns oberoende specialister som kan anlitas. Man bör om möjligt även inhämta egen kunskap/information om ämnet.

Användning

Man ska noga kontrollera om tillverkaren rekommenderar produkten för det avsedda användningsområdet samt att produkten även uppfyller den funktion som reparationsprincipen enligt SS-EN 1504–9 föreskriver, se Tabell 3-1.

Kontrollera att produkten inte innehåller skadliga ämnen för konstruktionen och den miljö där konstruktionen befinner sig i.

Materialegenskap

- Typiska materialdata (exempel hämtat från ett produktblad)

Impregneringsmedel: Alkylalkoxysilan
 Innehåll: ca 99 %
 Anblick: Färglös vätska med låg viskositet

- Prestanda egenskaper (exempel hämtat från ett produktblad)

EN 1504–2: Klass II inträngningsdjup (>10 mm)
 Klass I uttorkningskoefficient
 Godkänd frostprovning i närvaro av tösalt

- Begränsningar

Applicera inte medlet på våta eller fuktiga underlag (detta kommer att resultera i minskat inträngningsdjup).

Applicera inte om regn förväntas inom fyra timmar efter appliceringen, eller om starka vindar eller andra förhållanden förhindrar en korrekt applicering.

För mer detaljerad information, se tillverkarens datablad.

För information relaterad till tillämpningen, se relevant metodbeskrivning.

5.2 IMPREGNERING AV YTOR

5.2.1 Normer och standarder

Impregnering definieras i SS-EN 1504–1:

"Behandling av betong för att minska betongytans porositet samt att öka dess hållfasthet. Porerna och kapillärerna fylls helt eller delvis.

ANM. 1 Denna behandling leder ofta till att en icke sammanhängande tunn film bildas på betongytan.

ANM. 2 Bindemedel kan t.ex. utgöras av organiska polymerer."

AMA Anläggning 2023 har inga anvisningar för impregnering avsedd för att minska betongytans porositet samt att öka dess hållfasthet.

Prestandakrav för impregnering anges i Tabell 4 i SS-EN 1504–2. De prestandakrav som minst bör beaktas för vattenkraftens anläggningar är:

- Permeabilitet för vattenånga

Permeabilitet mot vattenånga bestäms enligt EN-ISO 7783–1 och EN-ISO 7783–2 – tre klasser anges:

klass I $S_D < 5$ m (permeabel för vattenånga)

klass II $5 \text{ m} \leq S_D \leq 50$ m (inte tät mot vattenånga och inte permeabel för vattenånga, t.ex. invändig målning)

klass III $S_D > 50$ m (tät mot vattenånga)

S_D (m) är ekvivalent lufttjocklek – impregneringen medför att betongytan får ett ånggenomgångsmotstånd som S_D meter tjockt luftlager.

- Kapillär absorption och vattenpermeabilitet

Kapillär absorption och vattenpermeabilitet bestäms enligt SS-EN 1062-3 – insuget vatten w [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$] ska vara $< 0,1$.

- Hållfasthet – på referenssubstrat: C (0,70) enligt EN 1766, härdning i 7 dagar vid normala klimatförhållanden och åldring i 7 dagar vid 70 °C; i jämförelse med icke-impregnerat prov.

Hållfasthet bestäms enligt SS-EN 1542. Hållfasthetskrav för tre olika applicering/belastning anges:

	medelvärde [N/mm^2]
vertikal	$\geq 0,8$ (0,5)
horisontell utan trafikbelastning	$\geq 1,0$ (0,7)
horisontell utan trafikbelastning	$\geq 1,5$ (1,0)

Värdet inom parentes är det lägsta godtagbara värdet vid varje avläsning.

- Inträngningsdjup

mäts på 100 mm provningskuber av impregnerad betong C (0,70) enligt EN 1766 (inte C (0,45) såsom anges i EN 13579). Efter 28 dagars härdning enligt EN 1766 ska proverna förvaras enligt torrförfarandet i EN 1766. Behandlingen med impregnering ska utföras enligt tillverkarens anvisningar.

Inträngningsdjup ≥ 5 mm

5.2.2 Material till impregnering

Impregneringsmaterial som normalt används inom byggindustrin är olika alkalisilikater – natrium-, kalium och litiumsilikater (Edwards, 2021). Vid applicering, som sker från ytan, tränger alkalisilikaterna i betongens porer; reagerar med dess kalciumhydroxid och bildar någon typ av kalcium-silikat-hydrat (C-S-H) som är en hård och svårslöslig kristallstruktur. Reaktionsprodukten fyller det yttre skiktets porer vilket leder till att skiktet förstärks och förtätas.

Alkalisilikaterna är fasta föreningar som består av kisel, syre och något av de nämnda alkaliämnena. Föreningarnas egenskaper styrs av typ och mängd av alkalier i förhållande till kisel. När det gäller t.ex. natriumsilikat (vattenglas) ”bestämmer förhållandet mellan kiseldioxid, natrium och vatten vilken/vilka natriumsilikater som bildas och vilka egenskaper silikaten får. Förhållandet mellan SiO_2 och Na_2O används som ett uttryck för denna kvalitet. Hög halt SiO_2 ger mer glasbildning, hårdare och mer svårslöslig silikat, mer Na_2O ger lösligare och mer alkaliskt silikat, mer vatten ger mer lättflytande hydrater.”, (Natriumsilikat, 2024-01-09).

Natrium- och kaliumsilikater tränger bättre in i tätare betong jämfört med litiumsilikater – litiumsilikater uppnår däremot högre por- och sprickfyllnadsgrad i porösare betong. Vidare, har natrium- och kaliumsilikater längre reaktionstid, (Edwards, 2021).

Alkalisalterna reagerar med betongens kalcium – i första hand med den som bildar kalciumhydroxid. Därför, bör det urlakade eller det karbonatiserade skiktet avlägsnas före applicering av impregneringsmedlet. Betongskiktet kan konditioneras

genom tillförseln av alkalijoner i samband med tvättning. Reaktionerna kräver vatten för att äga rum. Impregneringsmaterialen kan appliceras med fördel på fuktig betong, men betongen får inte vara vattenmättad (Edwards, 2021).

Alkalisilikaterna fyller porerna och sprickorna med C-S-H som i stort sett har samma mekaniska egenskaper som C-S-H i en konventionell cementpasta. Därför, är alkalisilikater inte lämpliga för reparation och tätning av aktiva sprickor, d.v.s. sprickor vars bredd inte är konstant utan är alternerande, växande eller både och.

5.2.3 Val av material

Allmänt

Se avsnitt 5.1.3.

Egenskaper och krav som minst bör beaktas

Som framgick i avsnitt 5.2.1 presenterar Tabell 4 i SS-EN 1504–2 prestandakrav för impregnering. Man bör gå genom samtliga krav och välja de krav som är relevanta för det aktuella reparationsobjektet.

Nedan anges de krav som minst bör beaktas när det gäller val av material för vattenkraftens konstruktioner:

- Permeabilitet för vattenånga
- Klass I rekommenderas för konstruktionspartier utsatta för frostangrepp.
- Kapillär absorption och vattenpermeabilitet
- Kapillär absorption och vattenpermeabilitet $w < 0,1$ [kg/(m²·h^{0,5})].
- Hållfasthet
- Medelvärde $\geq 1,5$ rekommenderas för vattenkraftens konstruktioner.
- Inträngningsdjup
- Inträngningsdjup ≥ 5 mm

Se även avsnitt 5.1.4 – Produktval

5.3 BELÄGGNING PÅ YTOR

5.3.1 Normer och standarder

Beläggning definieras i SS-EN 1504–1:

”Behandling för att ge betongytan ett täckande skyddande lager.

ANM. 1 Normal tjocklek är 0,1 mm till 5,0 mm. Enskilda fall kan erfordra en grövre tjocklek än 5 mm.

ANM. 2 Bindemedel kan exempelvis utgöras av organiska polymerer, organiska polymerer med cement som filler eller hydraulisk cement modifierad med polymerdispersion.”

AMA Anläggning 2023 har enbart anvisningar för vattentäta skikt av tätskiktsmatta i bro. ”Tätskiktsmatta ska bestå av en armerande stomme med polymerbitumen på båda sidor. Stommen ska vara fullständigt genomimpregnerad med bitumen och vara

placerad i mattans övre del så att minst 3,0 mm utgör svetsbart bitumen under stommen.”, JBE.11.

Betongytan som ska beläggas med tätskiktsmatta kan vara oförseglad eller förseglad med antingen epoxi eller akrylat. När det gäller beläggningar hänvisar AMA Anläggning 2023 inte till SS-EN 1504.

Prestandakrav för beläggningar anges i Tabell 5 i SS-EN 1504–2. De prestandakrav som minst bör beaktas för vattenkraftens anläggningar är:

- Linjär krympning

Endast lämpligt för fasta system med appliceringstjockleken ≥ 3 mm
Den linjära krympningen bestäms enligt SS-EN 12617–1 och ska vara $\leq 0,3$ %.

- Tryckhållfasthet

Tryckhållfastheten bestäms enligt SS-EN 12190. SS-EN 1504–2 definierar två hållfasthetsklasser:

klass I: ≥ 35 N/mm² (för trafik med polyamidhjul)

klass II: ≥ 50 N/mm² (för trafik med stålhjul)

OBS: vid applicering av beläggningar i vattenkraftens anläggningar rekommenderas att klass II tillämpas för skibord och liknande konstruktionsdelar.

- Värmeutvidgningskoefficient

Endast för beläggningar med tjockleken ≥ 1 mm
Koefficienten bestäms enligt SS-EN 1770 och ska vara $\leq 30 \times 10^{-6}$ [K⁻¹] för fasta system för utomhustillämpning.

- Permeabilitet för vattenånga (se avsnitt 5.2.1)

- Kapillär absorption och vattenpermeabilitet (se avsnitt 5.2.1)

- Vidhäftning efter provning av beständighet mot temperaturförändringar

Referenssubstrat: CC (0,40) enligt SS-EN 1766.

Prestandaegenskaperna enligt Tabell 5 i SS-EN 1504–2 anpassas – även något förenklas – här till Vattenkraftens anläggningar.

För tillämpning utomhus utan tösalt: frostbeständighet i fuktig miljö utan tösalt (20 ×) bestäms enligt SS-EN 13687–3 samt upprepade hastiga nedkylningar (10 ×) bestäms enligt 13687–2.

Frostbeständighet enligt EN 13687–2 och EN 13687–3 utförs på samma prov som först provats med upprepade hastiga nedkylningar.

Efter frostbeständighetsprovning

- inga bubblor, sprickor eller delaminering
- hållfasthetsprovning (avser vidhäftningshållfasthet)

Medelvärde [N/mm²] $\geq 1,5$ för samtliga avsedda användningar.

- Vidhäftning mot våt betong

(Underlag: MC (0,40)), se vidare Tabell 5 i SS-EN 1504–2.

5.3.2 Material till beläggningar

Beläggningar omfattar olika materialkategorier. SS-EN 1504–1 definierar en beläggning som en ytfilm eller ett ytskikt som appliceras på ett materials yta. Enligt SS-EN 1504–1 är den normala tjockleken 0,1 mm till 5,0 mm. Enskilda fall kan erfordra en grövre tjocklek än 5 mm. Edwards (2021) indelar beläggningarna i tre grupper:

- Försegling (färg/lack); ett skikt som har till uppgift att binda damm, göra ytan lättstädad, slitstark och skydda den mot oljor, syror och baser.
- Tunnskiktsbeläggning; ett skikt med den normala tjockleken 0,3 mm till 1 mm som består av bindemedel och hårda fyllnadsmedel för att öka dess slitstyrka och har till uppgift att skydda betongens yta mot belastning som gångtrafik och/eller lätt rullande trafik. Beläggningen kan användas på både vertikala och horisontella ytor.
- Massabeläggningar; ett skikt med den normala tjockleken 3 till 5 mm. Massabeläggningar består av bindemedel, fyllnadsmedel/ballast och annat material, beroende på avsedd funktion. Massabeläggningar ska skydda betongens yta mot relativt stora mekaniska belastningar. Bindemedelshalten är omkring 35 %. Fyllnadsmaterialet/ballasten utgörs av kvartssand.

När det gäller stora mekaniska belastningar görs beläggningen tjockare.

Det finns olika typer av bindemedel för tunnskikts- och massabeläggningar. Bland organiska bindemedel kan epoxi, akryl och polyuretan nämnas. Cement kan användas som fyller för organiska bindemedel. Det finns även bindemedel som består av hydrauliskt cement med polymerdispersion, så kallad polymermodifierad betong.

5.3.3 Val av material

Allmänt

Se avsnitt 5.1.3.

Egenskaper och krav som minst bör beaktas

Som framgick i avsnitt 5.3.1 presenterar Tabell 5 i SS-EN 1504–2 prestandakrav för beläggningar. Man bör gå genom samtliga krav och välja de krav som är relevanta för det aktuella reparationsobjektet.

Nedan anges de krav som minst bör beaktas när det gäller val av material för vattenkraftens konstruktioner:

- Linjär krympning
För fasta system med appliceringstjockleken ≥ 3 mm ska den linjära krympningen vara $\leq 0,3$ %.

- Tryckhållfasthet
Klass II för skibord och vattenstrålens nedslagsområde; minst klass I för övriga konstruktioner.
- Värmeutvidgningskoefficient
För beläggningar med tjockleken ≥ 1 mm ska koefficienten vara $\leq 30 \times 10^{-6} [K^{-1}]$.
- Vidhäftning efter provning av beständighet mot temperaturförändringar
Produkten ska uppfylla kraven för tillämpning utomhus utan tösalt samt upprepade hastiga nedkylningar.
Medelvärdet av vidhäftningen ska vara $\geq 1,5 [N/mm^2]$ för samtliga avsedda användningar.
- Vidhäftning mot våt betong
Ska uppfylla kraven enligt Tabell 5 i SS-EN 1504–2.

Se även avsnitt 5.1.4 – Produktval

5.4 INJEKTERING AV SPRICKOR, HÅLRUM ELLER SPRINGOR

5.4.1 Normer och standarder

SS-EN 1504–5

Standarden omfattar:

”Denna europeiska standard anger krav och överensstämmelsekriterier för identifiering, prestanda (inklusive hållbarhetsaspekter) och säkerhet för injektionsprodukter för reparation och skydd av betongkonstruktioner som används för:

- *kraftöverförande fyllning av sprickor, hålrum och mellanrum i betong (kategori F, se 3.1);*
- *töjbar fyllning av sprickor, hålrum och mellanrum i betong (kategori D, se 3.1);*
- *svällande fyllning av sprickor, hålrum och mellanrum i betong (kategori S, se 3.1).”;* översatt från den engelska versionen av standarden.

Som framgår av den ovanstående listan omfattar standarden tre injekteringskategorier vilka bör beaktas när man ställer krav på en reparerad konstruktion; val av material och injekteringsmetod samt när man ställer krav för utförandet. Standarden är en produktstandard och mot bakgrund härav omfattar kravställandet enbart produkten och inte den reparerade konstruktionen.

Standarden omfattar två typer av produktgrupper:

1. injekteringsprodukt sammansatt av reaktivt polymerbindemedel (P) – produkt där härdningen är relaterad till härdningen av ett reaktivt

polymerbindemedel; den reaktiva delen av ett polymerbindemedel som är involverat i bindemedlets härdning är den funktionella gruppen.

2. Injekteringsprodukt sammansatt av hydrauliskt bindemedel (H) – produkt där härdningen är relaterad till hydratiseringsreaktionen av ett hydrauliskt bindemedel.

De hydrauliska produkterna är enbart avsedda för injekteringskategori (F) (kraftöverförande). De polymerbaserade produkterna är avsedda för samtliga kategorier.

Standarden innehåller 8 tabeller: Tabellerna 1, 2 och 3 listar prestandaegenskaperna för betonginjektionsprodukter som krävs för "alla avsedda användningar" eller "för vissa avsedda användningar" enligt "principerna" och "metoderna" som definieras i EN 1504–9, se Tabell 3-1. Tabellerna 4 och 5 anger identifieringskrav för injektionsprodukter baserade på polymera respektive hydrauliska bindemedel. Tabellerna 6, 7 och 8 anger prestandakrav för respektive injekteringskategori.

Vid val av en injekteringsprodukt bör man kontrollera om produkten uppfyller samtliga krav som ställs för den avsedda användningen. Nedan presenteras, dock, några utvalda delar av Tabellerna 6, 7 och 8 som minst bör beaktas vid injektering av vattenkraftens anläggningar – detta får inte tolkas som att de övriga delarna inte är viktiga/relevanta för vattenkraftens anläggningar.

Tabell 5-1 – Injekteringsprodukter för kraftöverförande fyllning av sprickor (F) – Prestandakrav, valda delar av Tabell 6 i SS-EN 1504-5.

Prestandaegenskap	Provningsmetod	Krav
Vidhäftningens draghållfasthet f_{ct} (H, P)	SS-EN 12618-2; betongtyp MC(040)	Princip 4 – förstärkning (H, P) F1: $f_{ct} \geq 3,0 \text{ N/mm}^2$ (2,5 N/mm²)^a F2: $f_{ct} \geq 2,0 \text{ N/mm}^2$ (1,5 N/mm²)^a om $f_{ct} \leq 3,5 \text{ N/mm}^2$ då brott i betong (P) om $f_{ct} > 3,5 \text{ N/mm}^2$ då vidhäftningsbrott eller brott i betong (P) För produkter endast avsedda för att fylla tomrum och mellanrum och enligt princip 1 för sprickor (H) F3: Angivet värde (H) a) Värdet inom parentes är det lägsta accepterade värdet av någon avläsning.
Kloridinnehåll (H)	SS-EN 196-2	< 0,2 %
Injekterbarhet i icke torrt medium – Sprickbredder 0,1 mm – 0,2 mm – 0,3 mm: bestämning av injekterbarhet och spräckhållfasthet (H, P)	SS-EN 1771	Injekterbarhetsklass Injekterbarhetsklass (P) 1: < 4 min (enbart kolonn) för sprickbredd 0,1 mm. 2: < 8 min (enbart kolonn) för sprickbredd 0,2 mm. 3: < 12 min (enbart kolonn) för sprickbredd 0,3 mm. Injekterbarhetsklass (H) 3: < 4 min + 20 ml överskott för sprickbredd 0,3 mm. Spräckhållfasthet > 7 N/mm² (P) > 3 N/mm² (H)
Kompatibilitet med betong (H,P) – Materialets beständighet i betong.	SS-EN 12618-2	F1: $f_{ct} \geq 3,0 \text{ N/mm}^2$ (2,5 N/mm²) (P)^a F2: $f_{ct} \geq 2,0 \text{ N/mm}^2$ (1,5 N/mm²) (P)^a Minskning av draghållfastheten med mindre än 30 % av de ursprungliga värdena (H). F3: Angivet värde (H) a) Värdet inom parentes är det lägsta accepterade värdet av någon avläsning.

Tabell 5-2 – Injekteringsprodukter för töjbar fyllning av sprickor (D) – Prestandakrav, valda delar av Tabell 7 i SS-EN 1504-5.

Prestandaegenskap	Provningsmetod	Krav
Vidhäftnings- och töjningsförmåga för töjbara injektionsprodukter (P)	SS-EN 12618-1	Vidhäftning: angivet värde Förlängning: > 10 %
Vattentäthet (P)	SS-EN 14068	Vattentät vid $2 \cdot 10^5$ Pa
Injekterbarhet i icke torrt medium – Sprickbredder 0,1 mm – 0,2 mm – 0,3 mm: bestämning av injekterbarhet (P) För sprickor > 0,3 hänvisas till standarden.	SS-EN 1771	Injekterbarhetsklass 1: < 4 min (enbart kolonn) för sprickbredd 0,1 mm. 2: < 8 min (enbart kolonn) för sprickbredd 0,2 mm. 3: < 12 min (enbart kolonn) för sprickbredd 0,3 mm.
Kompatibilitet med betong (P) – Materialets beständighet i betong.	SS-EN 12637-1	Ingen brott vid tryckprovning. Förlust av deformeringsarbetet < 20 % i förhållande till förlusten av deformeringsarbetet hos det med vatten beredda, luftlagrade provet.

Tabell 5-3 – Injekteringsprodukter för svällande fyllning av sprickor (S) – Prestandakrav, valda delar av Tabell 8 i SS-EN 1504-5.

Prestandaegenskap	Provningsmetod	Krav
Vattentäthet (P)	SS-EN 14068 Den provningsmetod som beskrivs i EN 14068 ska kompletteras med 500 cykler av tryckmodifieringar, varvid varje cykel ska vara utformad enligt följande: 15 min vid 75 % av maxtrycket – 15 min vid 25 % av maxtrycket. Efter applicering av det maximala deklarerade trycket i 7 dagar, enligt EN 14068, ska trycket sänkas till 50 % av det maximala deklarerade trycket, bibehållet 2 timmar vid detta tryck, innan cyklerna påbörjas.	Vattentät vid $2 \cdot 10^5$ Pa
Kompatibilitet med betong (P)	Provning utförs på prover enligt EN 14498, (konditioneringsregim A). Prov: 3 exemplar, vart och ett med 25 mm tjocklek. Konditionering: 3 prover ska konditioneras i mättad Ca(OH)_2 lösning. Konstant vikt uppnås för detta test när viktvariationen under 3 på varandra följande mätningar med 24 timmars intervall är mindre än 10 %.	Senast efter 28 dagar i lösning ska viktförändringen (svällningen) ha nått en konstant nivå och vara minst + 10 % av initialvikten.

AMA Anläggning 2023

EBJ.21 Injektering av sprickor vid reparation

MATERIAL- OCH VARUKRAV

Material för sprickinjektering ska väljas med hänsyn till sprickas art och om injekteringen ska vara både kraftöverförande och tätande eller enbart tätande.

Egenskaper för injekteringsmedel ska deklarerars enligt SS-EN 1504-5 och bekräftelseprocedur 2+ i bilaga ZA i standarden ska tillämpas.

UTFÖRANDEKRAV

Sprickor som påverkar konstruktionens bärförmåga eller beständighet ska injekteras.

Sprickor med bredd överstigande 0,2 mm ska injekteras med cementbruk, dock får sprickor med bredd $\leq 0,3$ mm injekteras med andra injekteringsmedel.

Spricka ska yttätas före injektering.

Betongyta ska rengöras över injekteringsområdet.

Nipplar, eller manschetter och slangar, ska appliceras på ett sådant sätt att injekteringsarbetet ger avsett resultat. Avstånd mellan nipplar och dylikt ska anpassas till sprickors omfattning. Avståndet ska dock inte vara större än 500 mm och inte större än konstruktionens tvärmått.

Avstånd mellan injekteringspunkter ska väljas till högst 200 mm vid en sprickbredd av högst 0,5 mm och högst 500 mm vid en sprickbredd av minst 1,5 mm. För mellanliggande sprickbredder interpoleras rätlinjigt.

Injektering ska påbörjas i sprickas lågpunkt. Om alla nipplar sitter på samma nivå ska injekteringen påbörjas där sprickbredden är som störst.

Nipplar, slangar och yttätning får inte tas bort förrän injekteringsmedel härdar.

Vid tillblandning och användning av injekteringsmedel ska tillverkarens anvisningar och gällande skyddsföreskrifter följas.

Injekteringstryck ska anpassas till aktuella betingelser och får normalt inte överstiga 0,3 MPa. Vid högre tryck krävs kontroll av att skador inte uppkommer på konstruktionen.

När injekteringsmedel trängt ut ur samtliga munstycken ska dessa efter hand tillslutas och injekteringstrycket bibehållas till dess att inget ytterligare injekteringsmedel går åt.

Erforderlig tid för eftertryckning ska anpassas till injekteringsmedlets härdningstid.

Injektering med cementbruk

Ett finmalet cement, så kallat injekteringscement, ska användas vid små sprickbredder.

Injekteringsarbete med cement får inte utföras vid lägre temperatur än 5 °C i konstruktionen eller i luften.

Spricka ska tvättas med vatten före injektering.

Injektering med andra injekteringsmedel

Injekteringsarbete med andra injekteringsmedel får inte utföras vid lägre temperatur än 10 °C i konstruktionen eller i luften.

Spricka ska före injektering yttätas med snabbhärdande cement, polyester, epoxispackel eller likvärdigt.

Vibrationer

Vid injektering och härdning får konstruktionen inte utsättas för vibrationer.

5.4.2 Material till injektering

Det finns både polymera och cementbaserade injekteringsmaterial som saluförs i marknaden. Produkterna har vanligen olika sammansättningar och tillsatser för att få specifika prestandaegenskaper.

För vilande/inaktiva sprickor – sprickor vars bredd inte nämnvärt förändras med tiden – används injekteringsmaterial som är baserat på cement, epoxiharts, polyesterharts eller syntetisk latex, varav epoxiharts uppvisar den bästa prestandan när det gäller inträngning i fina sprickor, hållfasthet och vidhäftning mot sprickväggen. De produkter som är baserade på syntetisk latex har låg hållfasthet och rekommenderas inte att användas i fuktiga förhållanden, (Non-structural cracks in concrete, 2010).

För levande/aktiva sprickor – sprickor vars bredd alternerar och/eller ökar med tiden – används injekteringsmaterial som är baserat på polyuretanharts, akrylgel och flexibel epoxiharts, (Non-structural cracks in concrete, 2010).

Polymerbaserade injekteringsmaterial

De polymerbaserade injekteringsmaterialens egenskaper styrs av polymerens egenskaper och de olika tillsatser och fyllmedel som blandas med polymeren. En materialtillverkare kan med samma typ av polymer producera injekteringsmaterial som är skräddarsydda för olika typer av tillämpningar. Produkternas sammansättning är vanligen företagets egen information och är inte tillgänglig. Nedan presenteras egenskaperna hos olika typer av polymerbaserade injekteringsmaterial. Åtta produkter från tre olika tillverkare presenteras. Produkterna är baserade på epoxi-, polyuretan- och akrylharts. Syftet är inte att jämföra olika produkter med varandra utan det är att visa skillnaderna mellan dem och prestandan hos de olika polymerhartserna. Det bör noteras att det har strävt efter att inte röja produktens och tillverkarens identitet.

Akrylbaserat injekteringsmaterial

Två akrylbaserade produkter anges i Tabell 5-4. Produkterna kan användas för vattentätning av sprickor med begränsade rörelser.

Tabell 5-4 – Sammanställning av olika polymerbaserade injekteringsmaterial.

	Produktbeskrivning	Användning	Egenskaper
1	Mycket lågvisköst, elastiskt polyakryl-injekteringsharts	• Injektering av sprickor och fogar • Tätning av vattenförande sprickor och hålrum. • Tätning av olika typer av byggnadsdelar i både fuktiga och vattenmätade markförhållanden • Tätning av läckage där begränsade rörelser förekommer.	• Ger en passiviserande miljö för ingjuten stålarmering. • Permanent elastisk, kan absorbera begränsade rörelser • Kan reversivt absorbera (svälla) och släppa ifrån sig (krympa) fukt. • Härdat material är olösligt i vatten och kolväten och beständig mot alkalier.
2	1-komponents polyakrylbaserat injekteringsharts i pulverform som aktiveras efter tillsats av vatten och ger ett mycket lågvisköst harts som härdar till en seg-elastisk gel.	• Reparation av skador på vattentätningsskikt (enski- eller tvåskiktssystem) genom injektering. • Injektering av injekteringslangar för att täta konstruktionsfogar. • Injektering av konstruktions- och expansionsfogar	• 1-komponents, allt i en produkt • Aktivering genom att bara tillsätta vatten • Mycket låg viskositet • Härdat material är olösligt i vatten och kolväten

Polyuretanbaserat injekteringsmaterial

Tre polyuretanbaserade produkter anges i Tabell 5-5. Produkterna kan användas för vattentätning av sprickor med begränsade rörelser.

Tabell 5-5 – Sammanställning av olika polyuretanbaserade injekteringsmaterial.

	Produktbeskrivning	Användning	Egenskaper
1	Mycket lågvisköst, flexibelt injekteringsharts som i kontakt med vatten bildar en homogen, sluten och därmed vattentät porstruktur. Strukturen är elastisk och flexibel.	• Materialet används för permanent vattentät försegling med viss flexibilitet för att absorbera begränsade rörelser i torra, fuktiga eller vattenfyllda sprickor och fogar i betong, murverk och natursten.	• Permanent flexibel, kan absorbera begränsade rörelser. • Ingen krympning i efterföljande torra förhållanden • Tack vare dess låga viskositet kan det penetrera sprickor med < 0,2 mm bredd. • Kan injekteras som 1-komponentssystem
2	Polyuretanbaserad injektionsharts, lågvisköst	• För slanginjektering • Förslutning, tätning och elastisk fyllning av sprickor i betong, sprickbredd: $\geq 0,1$ mm • sprickans fuktillstånd enligt EN 1504-5: torr, fuktig eller våt • lämplig för vattenförande sprickor enligt EN 1504-5	• Lång appliceringstid • Låg viskositet • Djup inträngning i sprickan • Hög töjbarhet

	Produktbeskrivning	Användning	Egenskaper
3	Ultrasnabbt hårdande, tvåkomponents polyuretanhartharts med flytande konsistens för injektering som förstärkning och vattentätning av konstruktioner som utsätts för vatteninträngning.	- Vattentätning av betongkonstruktioner och spruckna väggar som utsätts för vatteninträngning, även under tryck. - Reparation av betongkonstruktioner eller spruckna väggar som utsätts för vatteninträngning eller är mättade med fukt.	- Reaktionsprodukten är ett polyuretanskum med hög motståndskraft. - Tack vare sin höga flytbarhet kan materialet tränga igenom sprickor som endast är några mikron breda. Sprickorna tätas även om de utsätts för vatteninfiltration.

Epoxibaserat injekteringsmaterial

Tre epoxibaserade produkter anges i Tabell 5-6. Produkterna kan användas för vattentätning av sprickor med begränsade rörelser.

Tabell 5-6 – Sammanställning av olika epoxibaserade injekteringsmaterial.

	Produktbeskrivning	Användning	Egenskaper
1	2-komponents, lösningsmedelsfri och lågviskös injekteringsvätska baserad på höghållfast epoxiharts.	- Injekteringsharts med god vidhäftning till betong, bruk och sten som används för att fylla och täta hålrum och sprickor i konstruktioner såsom broar och andra anläggningar. - Det skapar inte bara en effektiv barriär mot inträngning av vatten och andra medier som kan orsaka korrosion, utan det sammanfogar också de olika betongdelarna konstruktivt.	- Lämplig för både torra och fuktiga förhållanden - För användning även i låga temperaturer - Krympfri hårdning - Hög mekanisk- och vidhäftningshållfasthet - Hård men inte spröd - Lågviskös - Injekterbar med 1-komponentspumpar
2	2-komponents injekteringsepoxi för grovre sprickor och brott	- Monolitisk limning av sprickor och brott p.g.a. överbelastning, påfrestningar, krympning, etc. - Limning och förstärkning vid injektering av sprickor och brott. - Försegling/tätning av sprickor och brott upp till 30 mm. - Används för sprickor som rör sig varje dag < 10 % eller 0,03 mm vid hårdningen	- Produkten har en speciell sammansättning som bidrar till hög kapilläraktivitet och fäster mycket bra på betong och stål. - Produkten har mycket hög mekanisk hållfasthet och fäster bra på betong, även under fuktiga förhållanden. - Produkten hårdar utan någon form av krympning. - Produkten innehåller filler-material som bidrar till att begränsa hårdningsvärmen vid större sprickor (sprickvolym). - Produkten kan injiceras i sprickor på 0,2 mm, både torra, fuktiga, våta och vid rinnande vatten.
3	2-komponents, lätt flytande, epoxibaserat injekteringsmedel	- Limning av bom i pågjutningar och spackelmassor - Försegling/tätning av sprickor och brott i bärlag och golv. - Är avsedd för kraftöverförande ifyllning av sprickor. - Används till sprickor som rör sig varje dag < 10 % eller 0,03 mm vid hårdningen	- Produkten har en speciell sammansättning som bidrar till hög kapilläraktivitet och fäster mycket bra på betong och stål. - Produkten har hög mekanisk hållfasthet och fäster bra på betong, även vid fuktiga förhållanden. - Produkten krymper mycket lite under hårdningen.

	Produktbeskrivning	Användning	Egenskaper
			Kan injekteras i sprickor på 0,1 mm, både torra, fuktiga, våta och vid rinnande vatten.

Cementbaserade injekteringsmaterial

Cementbaserade injekteringsmaterial är cement – som i Sverige produceras av samma klinker som Anläggningscement CEM I – med större finmaldhet än det cement som används för betonggjutning. Det förekommer två kategorier av injekteringscement: Injektering 30, med karaktäristisk korndiameter $D_{95} \leq 30 \mu\text{m}$, och Ultrafin som finns med $D_{95} \leq 20 \mu\text{m}$ och $D_{95} \leq 12 \mu\text{m}$.

Injekteringscementen är CEM I 52,5 N – SR3 LA. Cementens kompakt- respektive skrymdensitet är 3100 – 3200 kg/m³ respektive 800 – 1500 kg/m³. Den specifika ytan (BET) är 1355 m²/kg respektive 2200 m²/kg för Injektering 30 respektive Ultrafin.

Vid injektering blandas cementet med vatten och olika tillsatsmedel. Injekteringsbrukets egenskaper i färskt och hårdnat tillstånd samt dess injekterbarhet styrs av vattencementtalet och de tillsatsmedel som tillsätts blandningen, (Rosenqvist, 2011). För att uppnå hög hållfasthet och täthet hos injekteringen måste lågt vattencementtal (0,45 eller lägre) eftersträvas hos injekteringsbruket vilket kan inverka negativt på brukets injekterbarhet.

5.4.3 Val av material

Allmänt

Det förekommer olika produkter i marknaden. Produkternas sammansättning är vanligen företagets egen information och är inte tillgänglig. Därför, är det viktigt att sammanställa de prestandaegenskaper och krav som ställs på konstruktionen efter genomförd behandling/reparation innan man väljer material/produkt. I detta sammanhang ska man beakta rekommendationer som anges i SS-EN 1504 standarderna. SS-EN 1504–5, -9 och -10 och AMA Anläggning kan vara till stor hjälp för sammanställning av prestandaegenskaper och krav.

Vid val av produkt bör man kontrollera om den är certifierad och typgodkänd samt att den uppfyller kraven för avsedda användningar enligt SS-EN 1504–5 och AMA Anläggning.

Egenskaper och krav som minst bör beaktas

Tabellerna 6, 7 och 8 i SS-EN 1504–5 presenterar prestandakrav för injekteringsprodukter. Man bör gå genom samtliga krav och välja de krav som är relevanta för det aktuella reparationsobjektet.

Nedan anges de aspekter/egenskaper som minst bör beaktas vid valet av injekteringsmaterial/-produkt:

- Syftar injekteringen till att förstärka konstruktionen? Då ska injekteringsprodukter för kraftöverförande fyllning av sprickor (F) väljas. Man bör dessutom beakta följande egenskaper hos sprickan:

- Sprickbredd
- Sprickbreddens variationer: konstant, alternerande runt konstant medelvärde, alternerande med tilltagande medelvärde.
- Sprickans fuktillstånd: torrt, fuktigt, vattenfylld eller vattenförande
- Den spruckna betongens draghållfasthet
- De krav som ställs på injekteringsprodukten drag- och vidhäftningshållfasthet.

Cement- och epoxibaserade injekteringsmaterial är inte lämpliga för icke vilande sprickor. Vidare, kan det vara svårt att injektera tunna sprickor (sprickbredd < 0,2 mm) med cementbaserade injekteringsmaterial.

- Syftar injekteringen till att enbart tät konstruktionen? Då ska injekteringsprodukter för töjbar fyllning av sprickor (D) eller svällande fyllning (S) väljas. Den första produktkategorin medför en permanent tätning av sprickan som dessutom är töjbar och bibehåller sin tätande funktion ifall sprickbredden ökar med tiden. Den andra kategorin bildar gel, efter härdning, som upprepade gånger expanderar genom adsorption av vattenmolekyler. Den första kategorin kräver vidhäftning mot sprickväggen för att kunna täta en spricka vars bredd ökar med tiden medan den andra kräver ingen vidhäftning utan fyller spricka genom svällning. Man bör dessutom beakta följande egenskaper hos sprickan:
 - Sprickbredd
 - Sprickbreddens variationer: konstant, alternerande runt konstant medelvärde, alternerande med tilltagande medelvärde.
 - Sprickans fuktillstånd: torrt, fuktigt, vattenfylld eller vattenförande
 - Vattentrycket i sprickan

5.5 BRUK OCH BETONG FÖR PÅGJUTNING

5.5.1 Normer och standarder

SS-EN 1504–3

”Denna Europastandard fastställer kraven för identifiering, prestanda (även beständighet) och säkerhet för produkter och system som är avsedda för strukturell och icke-strukturell reparation av betongkonstruktioner.

Denna Europastandard omfattar reparation av murbruk och betong, som eventuellt används tillsammans med andra produkter och system, för att restaurera och/eller ersätta defekt betong och för att skydda armering, vilket är nödvändigt för att förlänga livslängden hos en betongkonstruktion som visar tecken på nedbrytning. De tillämpningsområden som omfattas i enlighet med ENV 1504–9 är följande:

<i>Princip 3 Betongrestaurering</i>	<i>Metod 3.1 Anbringande av murbruk för hand</i>
	<i>Metod 3.2 Omgjutning med betong</i>
	<i>Metod 3.3 Sprutning med murbruk eller betong</i>
<i>Princip 4 Strukturell förstärkning</i>	<i>Metod 4.4 Tillägg av murbruk eller betong</i>
<i>Princip 7 Bevarande eller återställande av passivitet</i>	<i>Metod 7.1 Ökad bestrykning av armering med murbruk eller betong</i>
	<i>Metod 7.2 Ersättning av förorenad betong</i>

SS-EN 1504-3 har tre tabeller

- Tabell 1 anger de prestandaegenskaper hos produkter för strukturell och icke-strukturell reparation som bör bestämmas för alla avsedda användningar samt vissa avsedda användningar. Tryckhållfasthet, kloridjonhalt, vidhäftning, återhållsam krympning/utvidgning och motstånd mot karbonatisering är de egenskaper som ska bestämmas för alla avsedda användningar. Produktens elasticitetsmodul ska även bestämmas om produkten är avsedd för "Strukturell förstärkning genom tillägg av murbruk eller betong" (4.4), Reparationsprincip 4, reparationsmetod 4.
- Tabell 2 anger egenskaper, provningsmetoder och krav (toleransgränser) som krävs för identifiering och typgodkännande av produkterna.
- Tabell 3 anger prestandaegenskaper, provningsmetod samt krav gällande produkter för strukturell och icke-strukturell reparation. Kraven indelas i fyra reparationsklasser R1 – R4 (stigande krav från R1 till R4) varav R1 och R2 är avsedda för icke-strukturell reparation medan R3 och R4 är avsedda för strukturell reparation. Läsaren hänvisas till standarden för detaljerad information om kraven.

AMA Anläggning 2023

EBE.12 Betonggjutning kategori A vid förbättring och reparation

Avsnittet är långt; här anges enbart material- och varukrav och en begränsad del av utförandekrav; läsaren uppmanas, dock, att beakta hela EBE.12 inför varje reparationsuppdrag.

MATERIAL- OCH VARUKRAV

Största kornstorlek i betong ska väljas med hänsyn till gjutningens tjocklek men får inte överstiga gjutskiktets halva tjocklek.

Om betong blandas på arbetsplatsen ska fabrikstillverkat torrbruk användas.

I de fall det finns behov av att motverka effekten av den färska betongens sättning får betong med sättningskompenserande tillsatsmedel (svällmedel) användas.

För betong med polymertillsats får endast tillsats av SBS-polymer eller akryl användas. Polymertillsatsens fabrikat, typ och dosering ska redovisas för beställaren.

Betongs täthet, beständighet och vidhäftning får ökas genom tillsättning av polymerer enligt tillverkarens anvisningar. Följande typer av polymerer får användas

- Styren-Butadien-Styren (SBS-polymer). Medlet kan vid blandning tillföra en viss mängd luft varför lufthalten ska kontrolleras
- Akryl (polyakrylat). Medlet kan ge retarderande effekt.

Mängden fast polymer ska högst uppgå till 15 procent av cementvikten. Vid beräkning av vct medräknas vattnet i polymerdispersionen.

Egenskaper för bruk för förbättring och reparation ska vara cementbaserat, CC enligt SS-EN 1504-1, och uppfylla kraven för metod 3.1, 3.2 och 3.3, krav för klass R4 samt kravet på beständighet vid temperaturförändring (frysning och upptining) enligt SS-EN 1504-3. Bekräftelseprocedur 2+ i bilaga ZA ska tillämpas.

Betong som ska motgutas

Betong som ska motgutas får inte vara urlakad, vittrad eller spjälkad i sådan omfattning att konstruktionens funktion är nedsatt. Bedömning ska utföras av en sakkunnig person som både ska ha provbilat och bomknackat.

Kloridhalt, uttryckt som den totala kloridjonhalten i procent av cementets vikt, ska vara mindre än 0,30 procent i nivå med armeringen i betong med ospänd armering. Motsvarande värde för spännarmerad betong är 0,10 procent.

Kloridjonhalt ska bestämmas genom att prov tas ut ur betongen. Provningsen kan utföras enligt SS-EN 14629.

Betongens tryckhållfasthet ska utvärderas enligt SS-EN 13791 och uppfylla kraven för angiven hållfasthetsklass.

Efter vattning på bearbetad yta får inte sprickor i mikroskala finnas i betongen.

Betong får inte vara karbonatiserad i nivå med armeringen.

Karbonatisering av betong ska bestämmas enligt SS 137242. Ett medelvärde av minst tre prov ska ligga till grund för bedömning av karbonatiseringsdjupet. Provningsen ska göras där maximal karbonatisering kan förväntas. Den får inte utföras då betongen är kraftigt uttorkad eller mycket våt.

Med hänsyn till armeringens förankring och skarvning ska det täckande betongskiktet vara minst lika med armeringsstångens diameter.

Betong ska uppfylla kravet för acceptabel frostbeständighet vid provning enligt SS 137244, metod A, förfarande III.

I broar byggda före 1988 ska betongen uppvisa god frostbeständighet i rent vatten. Detta ska påvisas genom provning enligt SS 137244, metod B, förfarande III.

UTFÖRANDEKRAV

Vid betongreparation ska arbetet utföras enligt SS-EN 1504–10.

Rengöring

Betongyta som ska motgutas får inte innehålla skadad betong och ska vara väl rengjord och fri från lösa betongrester, cementhud och föroreningar som damm, smuts, olja, blästermedel och dylikt.

Efter vattenbilning ska bilningsresterna snarast tas bort. Därefter ska motgjutningsytan omgående rengöras genom spolning med vatten med högt tryck och stort flöde innan slammet från bilningen hunnit torka.

Förvattning

Efter rengöring ska betongytan vattnas och hållas fuktig i minst två dygn före gjutning. Vatten som används vid förvattning ska uppfylla kraven enligt SS-EN 1008.

Gjutning

Blandning av betong med polymertillsats ska utföras på arbetsplatsen. Gjutning ska utföras inom 20 minuter efter blandning.

Motgjuten betongyta ska vara yttorr och svagt sugande. Fritt vatten får inte förekomma i gropar och liknande. Vid torr och varm väderlek ska ytan dimfuktas så att den blir mörk och matt men inte fuktglänsande.

Temperatur i betong som ska motgutas och i omgivande luft får inte understiga 5 °C.

Kontroll av vidhäftning

Pågjutning ska kontrolleras genom provning av vidhäftningshållfastheten. Ett prov ska utföras per gjutetapp, dock minst ett per 25 m² area som gjuts. Vid pågjutning av ovansidan på horisontal yta godtas att minst ett prov utförs per 50 m² area som gjuts. Totalt ska antalet prover uppgå till minst tre per objekt. Provning ska utföras av ett laboratorium som ackrediterats för aktuell metod enligt förordning (EG) nr 765/2008.

Provning ska antingen utföras på utborrade cylindrar enligt SS 137231 eller i färdig konstruktion enligt SS 137243.

Angivna provningsmetoder ska användas för kontroll av följande

$$m \geq f_v + 1,4 s$$

$$x \geq 0,8 f_v$$

Där

f_v = fordrad vidhäftningshållfasthet, minst lika med 1,0 MPa

s = standardavvikelse för samtliga mätvärden, dock minst 0,36

m = medelvärde för provserien

x = minsta enskilda värde

Alla enskilda värden och brottyper ska redovisas.

5.5.2 Material till pågjutning

Följande typer av bruk och betong för reparation förekommer:

- Hydrauliskt bruk och hydraulisk betong (CC):

"Bruk och betong som utgörs av ett hydrauliskt bindemedel som blandas med graderad ballast, och eventuellt med tillsatsmaterial och tillsatsmedel och som hydratiserar efter tillsättning av vatten.", SS-EN 1504-1.

Hydrauliska bindemedel

"Oorganiskt material som, när det kommer i kontakt med vatten, hydratiserar och bildar ett fast material

ANM. Utgörs vanligen av cement i enlighet med EN 197-1 eller EN 413-1, byggekalk i enlighet med EN 459-1 eller i kombination med andra cement.", SS-EN 1504-1.

- Polymermodifierade hydrauliska cementbruk eller betong (PCC):

"Hydrauliskt bruk/betong som modifieras genom tillsats av polymerer som tillsätts i erforderlig mängd för att ge specifika egenskaper

ANM. Allmänt använda polymerer är:

- *akrylat, metakrylat eller modifierade akrylhartser såsom återdispergerbara pulver eller vattendispersioner;*
- *vinyl, mono-, co- och terpolymerer, i form av återdispergerbara pulver eller vattendispersioner;*
- *styrenbutadiencopolymerer, endast som vattendispersioner;*
- *naturgummilatex;*
- *epoxi.", SS-EN 1504-1.*

- Polymerbruk och polymerbetong (PC):

"Blandningar av polymerbindemedel och graderad ballast som binder genom en polymerisation", SS-EN 1504-1.

Reaktiva polymera bindemedel

"Bindemedel som vanligtvis består av två komponenter, en reaktiv polymerharts och en härdare eller accelerator, som härdar i omgivande temperatur. Tillsatser kan även tillsättas

ANM. 1 Vattenånga i omgivningen kan fungera som en härdare/accelerator för några system.

ANM. 2 Vanliga bindemedel är t ex:

- epoxi;*
- polystrar;*
- tvärbundna akrylater;*
- en- eller tvåkomponent polyuretaner.", SS-EN 1504–1.*

Fiberarmerade reparationsbruk och reparationsbetong förekommer också.

5.5.3 Val av material

Det förekommer många olika produkter för olika applikationer. Det finns många parametrar/egenskaper, som kan utgöra en parameter för ett systematiskt indelning av produkterna. Som exempel för indelningsparametrar kan bindemedel, applikationsmetod, hållfasthet, täthet nämnas. Därför, är det viktigt att sammanställa de prestandaegenskaper och krav som ställs på konstruktionen efter genomförd behandling/reparation innan man väljer material/produkt. I detta sammanhang ska man beakta rekommendationer som anges i SS-EN 1504 standarderna. SS-EN 1504–3, -9 och -10 och AMA Anläggning kan vara till stor hjälp för sammanställning av prestandaegenskaper och krav.

Vid val av produkt bör man kontrollera om den är certifierad och typgodkänd samt att den uppfyller kraven för avsedda användningar enligt SS-EN 1504–3 och AMA Anläggning.

Egenskaper och krav som minst bör beaktas

Tabell 8 i SS-EN 1504–3 presenterar prestandakrav för pågjutningsprodukter. Man bör gå genom samtliga krav och välja de krav som är relevanta för det aktuella reparationsobjektet.

Nedan ges två tillämpningsexempel för val av pågjutningsprodukter som belyser de olika aspekter/egenskaper som minst bör beaktas vid val av pågjutningsprodukter.

Exempel 6: Tillämpning

En relativt slank pelares täckande betongskikt har skadats av armeringskorrosion orsakad av betongens karbonatisering. Pelaren är inte utsatt för snabba temperaturväxlingar eller låga temperaturer. Pelaren är placerad i en miljö vars ånghalt (kg/m^3) följer uteluftens ånghalt.

1. Betongens tryckhållfasthetsklass är C30/37.
2. Pelaren har ett lager huvudarmering placerade runt om tvärsnittet och byglar.
3. Det ursprungliga täckande betongskiktet är 30 mm.
4. Betong har bilats bort runt om och över hela pelarens höjd till ett djup motsvarande

$$d_{bilning} = d_{täck} + \phi_{arm} + \phi_{bygel} + d_{inre} = 30 + 20 + 8 + 30 = 88 \text{ mm}$$

$d_{bilning}$ = den totala bilningsdjupet från ursprunglig yta (mm)

$d_{täck}$ = den ursprungliga, icke skadade täckande betongsskiktets tjocklek (mm), 30 mm i detta exempel

ϕ_{arm} = huvudarmeringens diameter (mm), 20 mm i detta exempel

ϕ_{bygel} = bygelns diameter (mm), 8 mm i detta exempel

d_{inre} = $\phi_{arm} + 10$ bilningsdjup inåt efter huvudarmering (mm), 30 i detta exempel

ANM. 1 Man eftersträvar att dels armeringen får samma korrosionspotential, då måste hela armeringen vara ingjuten i reparationsbetongen, dels armeringen samverkar med reparationsbetongen längs med pelarens längdaxel, härav $\phi_{arm} + 10$, enligt Eurokod.

5. De korroderade armeringsstängerna har rensats och de stänger som har tappat mer än 20 % av sitt tvärsnitt har antingen ersatts med nya stänger eller kapats och skarvats med nya stänger.
6. Gjutform har byggts runt om pelaren. Avståndet mellan formens insida och betongen är 88 mm, se punkt 4.

Exempel 7: Tillämpning

En armerad betongvägg inomhus har fått en lokal skada.

1. Skadan har drabbat ca 0,5 m² av betongväggens yta med ett djup på 50 mm. Den skadade ytans storlek är försumbar i förhållande till betongväggen.
2. Väggen är armerad i två riktningar med Ø16 stänger – det täckande betongskiktet är 15 mm.
3. Betongens hållfasthetsklass är C20/25.
4. Betongen inom det skadade området har bilats bort till ett djup på 60 mm.
5. Eftersom reparationsområdet är litet kan reparationsbetongen appliceras för hand.

Exempel 6 är en strukturell reparation medan Exempel 7 kan betraktas som en icke-strukturell reparation.

a. Val av reparationsklass

Betongen i Exempel 6 har ett medeltryckhållfasthet (f_{cm}) respektive medel-draghållfasthet (f_{ctm}) på 38 MPa respektive 2,9 MPa – dess elasticitets modul (E_{cm}) är 33 GPa. För att få en bra mekanisk kompatibilitet mellan den ursprungliga betongen och reparationsbetongen bör reparationsbetongens tryck- respektive draghållfasthet överstiga den ursprungliga betongen. Vidare, bör vidhäftningen mellan reparationsbetongen och betong i allmänhet vara god. Det vidhäftningskrav som anges i AMA (*Kontroll av vidhäftning*), se avsnitt 5.5.1, kan tolkas som att vidhäftningens karakteristiska värde respektive medelvärde ska minst vara 1 MPa respektive 1,5 MPa. Elasticitetsmodul är en viktig mekanisk egenskap som ska beaktas, speciellt när det gäller knäckning av slanka pelare – i detta fall bilas dessutom ett tjockt lager av betong bort runt om pelaren som ersätts med reparationsbetong.

Genom att jämföra de ovanbeskrivna parametrarna och deras värden med de krav som ställs på parametrarna i SS-EN 1504–3 så blir självklart att man ska välja reparationsklass R4.

Betongen i Exempel 7 har ett medeltryckhållfasthet (f_{cm}) respektive medel-draghållfasthet (f_{ctm}) på 28 MPa respektive 2,2 MPa – dess elasticitets modul (E_{cm}) är 30 GPa. Eftersom, reparationen inte betraktas som en strukturell reparation ställs inte stora krav på reparationsbetongens mekaniska egenskaper – de gränsvärden som anges i SS-EN 1504–3 måste, dock, beaktas.

Både reparationsklass R1 och R2 är tillämpbara för betongväggen – klass R1 kan tillämpas eftersom väggen är inomhus. Här tillämpas, dock, klass R2 eftersom det var svårt att hitta en produkt för enbart reparationsklass R1, som är den lägsta klassen.

b. Val av reparationsprodukt

För pelaren i Exempel 6; ett kommersiellt bruk med följande – i produktbladet deklarerade – egenskaper kan vara lämpligt:

Ett pumpbart, cementbaserat torrbruk med ett blandningsförhållande på ca 1:4 av cement/välgraderad ballast på upp till 4,0 mm och med tillsatser som ger goda gjutresultat och arbetbarhet. Bruket behöver bara blandas med vatten. Om bruket ska sprutas, är det bättre att använda våtmetoden.

Bruket uppfyller kraven enligt EN 1504–9 och minimikraven enligt EN 1504–3 “Reparation för konstruktionsbruk av klass R4”.

Bruket kan användas i miljöer med följande exponeringsklassning (EN 206 – Tabell F.1): X0, XC4, XS1, XD2, XF3, XA1.

Tabell 5-7 visar produktens slutegenskaper enligt härdning definierad i testmetoderna i Tabell 3, SS-EN 1505–3.

Tabell 5-7 – Slutegenskaper enligt härdning definierad i testmetoderna i Tabell 3, SS-EN 1505-3.

Mekaniska egenskaper	Krav enligt SS-EN 1504-3 R4	Produktegenskap
Tryckhållfasthet (28 d)	$\geq 45 \text{ MPa}$	$> 60 \text{ MPa}$
E-modul vid kompression	$\geq 20 \text{ GPa}$	32 GPa
Vidhäftning till betong vid dragning	$\geq 2,0 \text{ MPa}$	$> 2,0 \text{ MPa}$
Kapillärsugning	$\leq 0,5 \text{ kg/m}^2\cdot\text{h}^{0,5}$	$0,09 \text{ kg/m}^2\cdot\text{h}^{0,5}$
Termisk kompatibilitet – frys-/töcykler med tösalter (50 cykler):	$\geq 2,0 \text{ MPa}$	$> 2,0 \text{ MPa}$
Karbonatiseringsmotstånd	Karbonatiseringsdjup $\leq$ än referens	uppfyller kraven

För väggen i Exempel 7; ett kommersiellt bruk med följande – i produktbladet deklarerade – egenskaper kan vara lämpligt:

Polymermodifierat cementbundet lagningsbruk (PCC)

Bruket kan användas som modellerbart bruk för renovering av betongkonstruktioner (betong, armerad betong och lättbetong) samt som finbruk (3–5 mm).

Produkten har följande egenskaper

- Mycket god vidhäftning på betongunderlag
- Mycket lättarbetad vid lagning av arbeten över huvud
- Mycket hög stabilitet
- Separat vidhäftare är inte nödvändig
- Snabbhärdande
- Snabbt överarbetningsbar
- Uppfyller villkoren enligt EN 1504-3
- Inte är lämplig för ytor med fordonstrafik
- Är lämplig för icke-strukturell reparation (klass R2)

Tabell 5-8 visar produktens slutegenskaper enligt härdning definierad i testmetoderna i Tabell 3, SS-EN 1505-3.

Tabell 5-8 – Slutegenskaper enligt härdning definierad i testmetoderna i Tabell 3, SS-EN 1505–3.

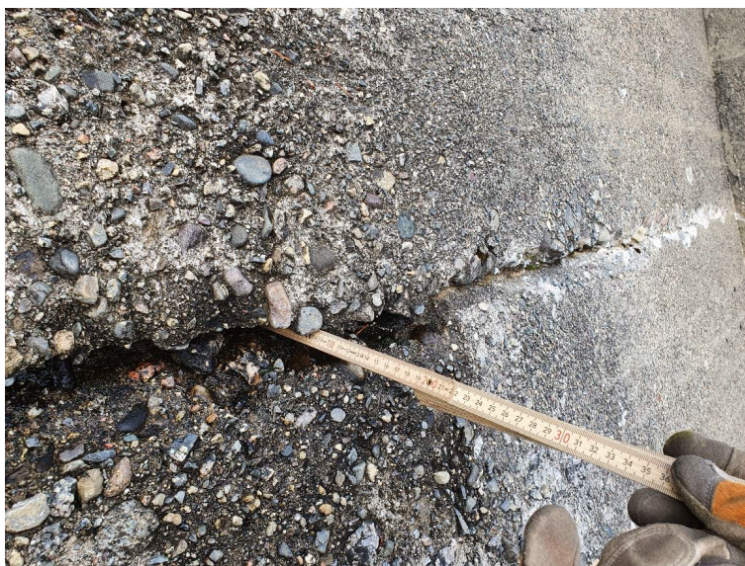
Mekaniska egenskaper	Krav enligt SS-EN 1504–3 R2	Produktegenskap
Tryckhållfasthet (28 d)	$\geq 15 \text{ MPa}$	$> 15 \text{ MPa}$
E-modul vid kompression	Inget krav	$> 6 \text{ GPa}$
Vidhäftning till betong vid dragning	$\geq 0,8 \text{ MPa}$	$> 0,8 \text{ MPa}$
Kapillärsugning	$\leq 0,5 \text{ kg/m}^2\cdot\text{h}^{0,5}$	Icke angivet
Termisk kompatibilitet – frys-/töcykler med tösalter (50 cykler):	$\geq 0,8 \text{ MPa}$	Icke angivet
Karbonatiseringsmotstånd	Karbonatiseringsdjup $\leq$ än referens	Icke angivet

6 Exempel från praktiken

6.1 EXEMPEL 8 – KRAFTIG URLAKNING AV GJUTFOGENS INRE YTOR OCH SKIBORDSYTOR

6.1.1 Beskrivning

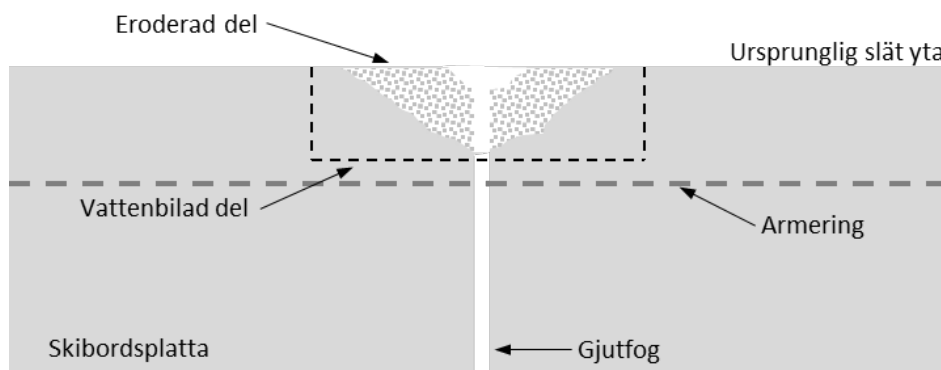
Läckande vatten på betongytor i kombination med frost leder till urlakning och avskalning av betongytor, Figur 6-1. Strömmande vatten eroderar de försvagade ytorna. Angreppen kan även skada gjutfogens inre ytor.



Figur 6-1 – Kraftig urlakning av gjutfog och ytor i dess närhet.

6.1.2 Reparationsmetod

Figur 6-2 visar en skiss av en gjutfog som har utsatts för urlakning. Skibordets ytor har också utsatts för urlakning. Urlakningen medför att cementpastan försvagas och skadas p.g.a. frostangrepp. Cementpastan eroderas även av det vatten som strömmar på skibordets yta. I det fall som visas i figuren har skadan inte nått armeringen vilket underlättar reparationen.



Figur 6-2 – Kraftig urlakning av gjutfogens inre ytor och skibordsytor i närheten av fogen.

Reparationen ska utföras enligt SS-EN 1504 del 3, 9 och 10 och inkludera följande steg:

1. Dålig och skadad betong tas bort genom vattenbilning eller högtrycksvattenblästring.
 - a. Genom att placera en rak och slät bräda vinkelrätt mot gjutfogen bestäms den nivå där reparationens överyta ska ligga.
 Reparationsområdets längd i den riktning som är vinkelrätt mot fogen bestäms. Längden ska motsvara summan av det eroderade områdets längd i den avsedda riktningen, plus 20 mm på vardera änden av det skadade området. Den totala längden ska minst vara 100 mm, d.v.s. 50 mm på vardera sidor av gjutfogen.
 - b. Betongen tas bort till det djup där betongen inte är skadad.
 - c. Avverkningsområdets längd i riktning som är parallell med gjutfogen bestäms av skadans utsträckning i den riktningen. Man ska se till att skibordsplattan har samma lutning före, över och efter gjutfogen.
 - d. Vattenbilningens kanter ska vara vinkelrätta mot skibordets yta. Lutande kanter/ytor ska undvikas.
2. Betongens yta rengörs.
3. Om avverkningsdjupet är mindre än 20 mm fylls gropan med det material som används för skyddande polymerskikt, avsnitt 6.1.3.
4. Om avverkningsdjupet är större än 20 mm fylls gruppen med ett polymerbaserat eller cementbaserat reparationsbruk, avsnitt 6.1.3, till den nivå som är 10 mm under den avsedda reparationsnivån.
 - a. Reparationsbruket skyddas mot uppvärmning och uttorkning under hårdnandet.
 - b. Ett skyddande polymerskikt appliceras på reparationsbrukets yta när bruket har uppnått föreskriven hållfasthet.

6.1.3 Material

Cementbaserade reparationsbruk

Det cementbaserade reparationsbuket ska uppfylla följande krav:

1. Klass R4 enligt Tabell 3 i SS-EN 1504-3
2. Lämplig för att bibehålla eller återställa passivitet (princip 7, metod 7.1 och 7.2 i SS-EN 1504-9).
3. Maxpartikelstorlek 4 mm.

Vid applicering ska materialtillverkarens anvisningar följas.

Polymerbaserade reparationsbruk

Det polymerbaserade reparationsbruk ska uppfylla följande krav:

1. Linjär krympning $\leq 0,3 \%$ (Tabell 5, SS-EN 1504-2)
2. Tryckhållfasthet ≥ 50 MPa (Klass II, Tabell 5, SS-EN 1504-2)
3. Permeabel för vattenånga (Klass I, Tabell 5, SS-EN 1504-2)
4. Vidhäftning till betongunderlag ≥ 2 MPa.
5. Applicerbar till fuktigt betongunderlag.
6. Termisk kompatibel med betong.

Vid applicering ska materialtillverkarens anvisningar följas.

Skyddande polymerskikt

Det skyddande skiktet ska uppfylla följande krav:

1. Linjär krympning $\leq 0,3 \%$ (Tabell 5, SS-EN 1504-2)
2. Tryckhållfasthet ≥ 50 MPa (Klass II, Tabell 5, SS-EN 1504-2)
3. Permeabel för vattenånga (Klass I, Tabell 5, SS-EN 1504-2)
4. Vidhäftning till betongunderlag ≥ 2 MPa.
5. Applicerbar till fuktigt betongunderlag.
6. Termisk kompatibel med betong.

Vid applicering ska materialtillverkarens anvisningar följas.

6.2 EXEMPEL 9 - BETONGAVSKALNING HAR NÅTT ARMERINGEN

6.2.1 Beskrivning

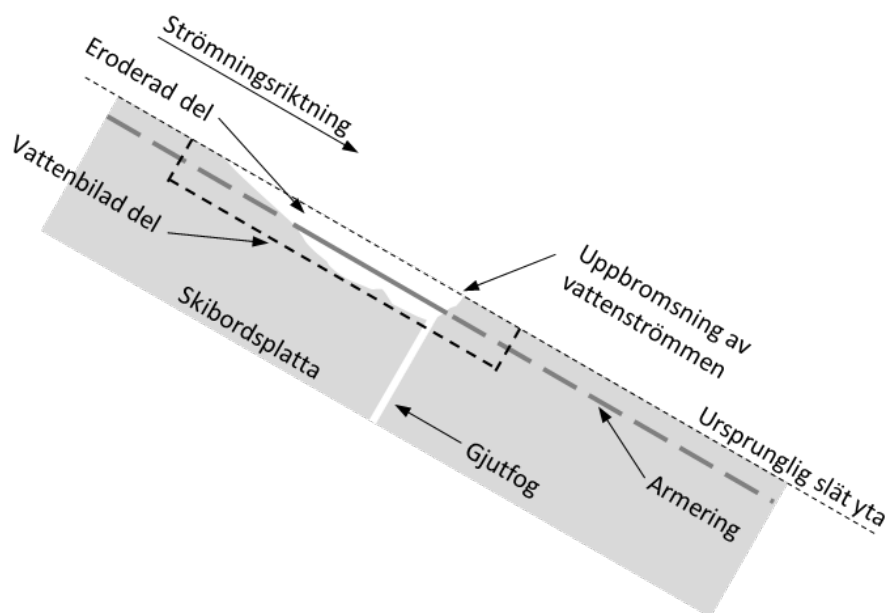
Vatten bromsas när det träffar skibordsplattans kant vid en gjutfog. Uppbromsningen och virvelbildningen medför att betongen eroderas. I vissa delar kan erosionen gå så långt att det täckande betongskiktet helt eroderas bort och armeringen avtäcks, Figur 6-3.



Figur 6-3 – Det täckande betongskiktet har avskalats och armeringen har avtäckts.

6.2.2 Reparationsmetod

Figur 6-4 visar en skiss av den övre delen av skibordsplattans vertikalsektion. Figuren visar eroderat täckande betongskikt med avtäckt armering. Vidare visar figuren gjutfog och principskiss av den del som ska vattenbilas.



Figur 6-4 – En skiss av den övre delen av skibordsplattans vertikalsektion, som visar avtäckat armering, eroderad delen av betongplattan och utformning av den vattenbilade delen.

Reparationen ska utföras enligt SS-EN 1504 del 3, 9 och 10 och inkludera följande steg:

1. Dålig och skadad betong tas bort genom vattenbilning.
 - a. Genom att placera en rak och slät bräda vinkelrätt mot gjutfogen bestäms den nivå där reparationens överyta ska ligga.
 Reparationsområdets längd i den riktning som är vinkelrätt mot fogen bestäms. Längden ska motsvara summan av det eroderade områdets längd i den avsedda riktningen, plus 20 mm på vardera änden av det skadade området. Den totala längden ska minst vara 100 mm, d.v.s. 50 mm på vardera sidor av gjutfogen.
 - b. Betongen tas bort till det djup där betongen inte är skadad, eller fram till det djup som ligger minst 10 mm – avverkningsdjupet styrs av olika faktorer som bör bestämmas för varje reparationsobjekt för sig – under armeringens underkant.
 - c. Avverkningsområdets längd i riktning som är parallell med gjutfogen bestäms av skadans utsträckning i den riktningen. Man ska se till att skibordsplattan har samma lutning före, över och efter gjutfogen.
 - d. Vattenbilningens kanter ska vara vinkelräta mot skibordets yta. Lutande kanter/ytor ska undvikas.
2. Armeringen rengörs genom högtrycksvattenblåstring.
3. Betongens yta rengörs.

4. Ny betong (cementbaserat reparationsbruk, se avsnitt 6.2.3) gjuts.
 - a. Reparationsbruket kan appliceras för hand, formgjutas eller sprutas.
 - b. Pågjutningens översta yta ska vara 6–10 mm under den avsedda reparationsytan.
 - c. Reparationsbruket skyddas mot uppvärmning och uttorkning under hårdnandet.
5. Ett skyddande polymerskikt, avsnitt 6.2.3, appliceras på reparationsbrukets yta när bruket har uppnått föreskriven hållfasthet.

6.2.3 Material

Cementbaserade reparationsbruk

Det cementbaserade reparationsbruket ska uppfylla följande krav:

4. Klass R4 enligt Tabell 3 i SS-EN 1504–3
5. Lämplig för att bibehålla eller återställa passivitet (princip 7, metod 7.1 och 7.2 i SS-EN 1504–9).
6. Maxpartikelstorlek 4 mm.

Vid applicering ska materialtillverkarens anvisningar följas.

Skyddande polymerskikt

Det skyddande skiktet ska uppfylla följande krav:

7. Linjär krympning $\leq 0,3$ % (Tabell 5, SS-EN 1504–2)
8. Tryckhållfasthet ≥ 50 MPa (Klass II, Tabell 5, SS-EN 1504–2)
9. Permeabel för vattenånga (Klass I, Tabell 5, SS-EN 1504–2)
10. Vidhäftning till betongunderlag ≥ 2 MPa.
11. Applicerbar till fuktigt betongunderlag.
12. Termisk kompatibel med betong.

Vid applicering ska materialtillverkarens anvisningar följas.

6.3 EXEMPEL 10 – MINDRE EROSIONSSKADOR KRING GJUTFOG

6.3.1 Beskrivning

Mindre erosion som orsakas av strömmande vatten i kombination med urlakning och frostangrepp, Figur 6-5.



Figur 6-5 – Mindre erosionsskador kring gjutfog.

6.3.2 Reparationsmetod

De skador som framgår av Figur 6-5 är ytliga. Med avseende på ingreppets djup, d.v.s. reparationsskiktets tjocklek, kan reparationsmetoden indelas i två grupper, nämligen tunna respektive tjocka reparationer:

1. Tunna reparationsskikt
 - a. De skadade ytorna blästras med högtrycksvattenblästring så att lösa skikt och partiklar tas bort.
 - b. På ytan appliceras ett skyddande polymerskikt, avsnitt 6.3.3. Skiktets tjocklek kan variera beroende på ytans ojämnhet (som styrs av skadeinverkan och betongens största partikelstorlek $D_{\max}$).
2. Tjocka reparationsskikt
 - a. Betong på de skadade ytorna tas bort (vattenbilning eller högttrycksvattenblästring) till ett djup som minst motsvarar storleken hos betongens största partikel. Om betongen har $D_{\max} = 22$ tas bort ett skikt som minst är 22 mm.
 - b. Den preparerade ytorna beläggs med ett skyddande polymerskikt, avsnitt 6.3.3.

Beständigheten hos de tunna reparationsskikten kan vara sämre än beständigheten hos de tjocka reparationsskikten. Anledningen är underlagets ythållfasthet, som ökar med ökad tjocklek hos det borttagna skiktet.

6.3.3 Material

Det skyddande skiktet ska uppfylla följande krav:

1. Linjär krympning $\leq 0,3 \%$ (Tabell 5, SS-EN 1504-2)
2. Tryckhållfasthet ≥ 50 MPa (Klass II, Tabell 5, SS-EN 1504-2)
3. Permeabel för vattenånga (Klass I, Tabell 5, SS-EN 1504-2)
4. Vidhäftning till betongunderlag ≥ 2 MPa.
5. Applicerbar till fuktigt betongunderlag.
6. Termisk kompatibel med betong.

Vid applicering ska materialtillverkarens anvisningar följas.

6.4 EXEMPEL 11 – REPARATION AV BOMPARTI PÅ UTSKOVSPELARE

6.4.1 Beskrivning

Vid Fördjupad Inspektion (FI) upptäcks ett bomparti på en utskovspelare, Figur 6-6. FI rekommenderar att "bombetong vattenbilas bort för att fastställa skadans utbredning sedan utförs betongreparation. Förslagsvis repareras flertalet skador vid ett och samma tillfälle.". FI fastställer inte skadeorsaken. I detta exempel antas det att bom har orsakats av armeringskorrosion. Om vattenbilningen visar att bom inte har orsakats av armeringskorrosion kan den reparationsmetod som beskrivs här, med undantag för åtgärder för armeringsstänger, användas för betongreparationen.



Figur 6-6 – Bomparti på en utskovspelare.

Armeringskorrosion kan orsakas av olika anledningar. De viktigaste är betongens karbonatisering och inträngning av klorider (avsningsalter) i betong. När det

gäller korrosion orsakade av karbonatiserad betong avverkas den karbonatiserade betongen och ny betong appliceras i stället för den karbonatiserade och borttagna betongen. Vid reparation av skador orsakade av kloridinitierade korrosion ska betongavverkningen utföras till det djup där kloridhalten understiger 0,3 % av cementvikten. FI anger ingen skadeorsak. I detta exempel antas det att den skadade delen inte har varit utsatt för klorider. Om man misstänker att klorider har orsakat armeringskorrosionen ska väggens kloridprofil bestämmas.

6.4.2 Rivning av skadad betong och kontroll av armering

Vattenbilning

Nedanstående tekniska beskrivning är från AMA Anläggning 20.

Rivning av skadad betong ska utföras genom vattenbilning.

Vattenbilning ska utföras av person med goda kunskaper om vattenbilning.

Vatten som används vid vattenbilning ska uppfylla krav enligt SS-EN 1008.

Vid vattenbilning ska bilningsvattnet ledas bort. Efter vattenbilning ska bilningsresterna tas bort och motgjutningsytan rengöras utan dröjsmål. Rengöring ska utföras genom spolning med vatten med högt tryck och stort flöde innan slammet från bilningen hunnit torka.

Vattenbilad yta ska undersökas genom okulär observation och knackning med hammare. Om ballastkorn lossnar i betydande mängd vid knackningen ska förnyad vattenbilning utföras.

Bilningskanter mot betong som bibehålls ska utföras med 60–90° vinkel mot armering och yttre begränsningsytor.

Kontroll ska utföras i utförandeklass 2 enligt SS-EN 1504–10.

Friläggning av armering

Om bomskiktet inte når armeringen ska armeringen inte friläggas.

Den bilade ytans samtliga kanter ska vara minst 150 mm längre än det bomområdet samt att ingen korrosion får förekomma närmare än 100 mm från de bilade kanterna.

Nedanstående tekniska beskrivning är från AMA Anläggning 20.

I de fall mer än 30 procent av armeringens omkrets är frilagd efter bilning till oskadad betong ska bilningsdjupet utökas så att det fria avståndet mellan kvarlämnad betong och närmast intilliggande armering blir minst pågjutningsbetongens största kornstorlek plus 5 mm, dock minst 10 mm.

Det bör noteras att det avstånd som anges ovan är det minsta avståndet. Vissa materialproducenter rekommenderar större avstånd än ovan. I sådana fall ska materialproducentens rekommendationer följas.

Armeringen rengörs genom högtrycksvattenblåstring, som ska genomföras i anslutning till betongavverkning och före renspolningen.

Kontroll av armering

Konstruktionen är armerad i vertikal och horisontell riktning. Den vertikala armeringens riktning sammanfaller med huvudbärningsriktningen. Armeringens areaförlust bestäms för varje riktning enligt följande procedur:

- Snittet med störst areaförlust på varje frilagd armeringsstång lokaliseras.
- Stängernas diameter vid snittet med störst areaförlust bestäms.
- Medelareaminskningen för armeringsstängerna inom den avverkade bredden (eller höjden) beräknas enligt nedan:

$$r = 100 \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\phi^2 - \phi_i^2}{\phi^2} \% \quad (1)$$

där

ϕ = de enskilda armeringsstängernas ursprungliga diameter

ϕ_i = de enskilda armeringsstängernas uppmätta diameter vid snittet med störst areaförlust.

n = antal armeringsstänger inom den avverkade bredden (eller höjden)

Det bör noteras att oskadade stänger, d.v.s. stänger med $\phi_i = \phi$, inom det avverkade området ska medräknas.

Inga åtgärder för armeringen krävs om $r \leq 20$ %.

Om $r > 20$ % ska armeringsförlusterna ersättas.

6.4.3 Pågjutning med reparationsbetong

Pågjutningen ska utföras enligt SS-EN 1504 del 3, 9 och 10 med ett cementbaserat bruk.

Det cementbaserade reparationsbruket ska uppfylla följande krav:

1. Klass R4 enligt Tabell 3 i SS-EN 1504-3.
2. Lämplig för att bibehålla eller återställa passivitet (princip 7, metod 7.1 och 7.2 i EN 1504-9).
3. Maxpartikelstorlek 4 mm.

Vid applicering ska materialtillverkarens anvisningar följas.

Appliceringsmetod väljs med hänsyn till materialproducentens rekommendationer. Ett tätt packat reparationsbruk ska eftersträvas.

6.4.4 Rekommendationer

Orsaken till bom har inte undersökts. Om det visar sig att det har orsakats av armeringskorrosion rekommenderas starkt att den bakomliggande mekanismen bestäms.

7 Rekommendationer för val av metod och material

I denna rapport behandlas enbart ytreparation av betongkonstruktioner i vattenkraftsanläggningar. Med ytreparation menas här olika förebyggande och/eller avhjälpande åtgärder som inte berör betongen djupare än nivå $d_{djupskada} = 150$ mm, se avsnitt 2.3. Inför varje reparationsprojekt bör först skadans typ, orsak, omfattning och djupverkan bestämmas. Därefter, bör gränsen mellan yt- och djupreparation definieras. Sedan, gå vidare med val av avhjälpande/reparationsåtgärder. Om det visar sig att både yt- och djupskador förekommer i en konstruktionsdel då måste man fatta beslut om att åtgärda både de djupa och ytliga skadorna eller gå vidare enbart med att åtgärda de ytliga skadorna. Beslutet, måste vara välgrundat eftersom det kan ha betydande konsekvenser med avseende på ekonomi, bärförmåga och livslängd.

Val av metod och material för reparation av betongkonstruktioner föregås av bedömning av skada och dess orsaker – avsnitt 4.3 i SS-EN 1504-9:

”En bedömning ska göras av fel i betongkonstruktionen, deras orsaker samt av betongkonstruktionens funktionsduglighet.

Bedömningen av konstruktionen ska omfatta, men inte begränsas, till följande:

- a) okulärbesiktning av den befintliga betongkonstruktionen,*
- b) provning för bedömning av betongens och armeringens tillstånd,*
- c) fastställande av ursprunglig konstruktionsmetod,*
- d) omgivande miljö, inklusive exponering av föroreningar,*
- e) betongkonstruktionens historik, inklusive miljöexponering,*
- f) omständigheter under användningstiden (exempelvis belastning eller andra aktiviteter),*
- g) krav på konstruktionens framtida användning.*

Typ av fel och orsaker till fel, inklusive kombinationer av orsaker, ska identifieras och dokumenteras.”

Efter att skadeorsaken har fastställts ska skadans djup och omfattning bestämmas. Reparationsmetoden bestäms enligt instruktioner i avsnitt 3.2.4.

För att i framtiden kunna bedöma reparationsmetodernas prestanda och bidra till utveckling av enklare, billigare och beständigare metoder bör reparationens utförande dokumenteras. Dokumentationen underlättar och effektiviserar även kommande reparationer.

Dokumentationen bör förslagsvis innehålla följande:

- Entreprenörens namn
- Information om reparationsmaterial, t.ex. produktblad

- Datum för utförandet
- Lufttemperatur vid utförandet och härdning
- Avvikelser vid utförandet
- Fotografering av utförandets olika moment, som avverkning, rengöring, applicering och slutresultat

8 Referenslista

- [1] Betongrapport nr 12, 2007. *Vägledning för livslängddimensionering av betongkonstruktioner*. Svenska Betongföreningen, Stockholm. betongforeningen.se.
- [2] Betongrapport nr 18, 2020. *ASR i svensk betong – vägledning för nya och befintliga konstruktioner*. Svenska Betongföreningen, Stockholm. betongforeningen.se.
- [3] Brounderhåll 2006. *Vägverkets allmänna tekniska beskrivning för underhåll av broar*. Publikation 2006:146 S.
- [4] Edwards, Y., 2021. *Ytskydd för betong*. Kapitel 30, Betonghandbok Material, Hårdnad betong, fysikaliska egenskaper och beständighet, Del II.
- [5] Fagerlund, G., 1990, *Betongkonstruktioners Beständighet – En översikt*, upplaga 2 1990, Cementa AB.
- [6] Hassanzadeh, M., Westberg Wilde, M., 2016. *Inventering av sprickor i vattenkraftens betongkonstruktioner*. Rapport 2016:257, Energiforsk, Stockholm, [Energiforsk.se](http://energiforsk.se).
- [7] Natriumsilikat 2024-01-09: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Natriumsilikat>.
- [8] Neville, A. M., 2008. *Properties of Concrete*, fourth edition. Pearson, Prentice Hall.
- [9] *Non-structural cracks in concrete*, 2010. Technical Report No. 22 – Fourth Edition, A Concrete Society Report.
- [10] Rombén, L., 1994, *Kemiskt angrepp*. Kap. 23 Betonghandbok - Material, Svensk Byggtjänst, utgåva 2 1994.
- [11] Rosenqvist, M., 2011. *Vägledning för cementinjektering av betongkonstruktioner – Projektering, utförande och kontroll*. Elforsk rapport 11:60.
- [12] Rosenqvist, M., 2016. Frost-induced deterioration of concrete in hydraulic structures – Interactions between water absorption, leaching and frost action. Report TVBM-1036, Division of Building Materials, Faculty of Engineering, Lund University, Lund.
- [13] SS-EN 1504–1:2005. *Betongkonstruktioner – Produkter och system för skydd och reparation – Del 1: Definitioner*. Swedish Standards Institute.
- [14] SS-EN 1504–9:2008. *Betongkonstruktioner – Produkter och system för skydd och reparation – Del 9: Allmänna principer för val av produkter och system*. Swedish Standards Institute.
- [15] SS-EN 1504–10:217. *Betongkonstruktioner – Produkter och system för skydd och reparation – Del 10: Utförande*. Swedish Standards Institute.
- [16] Strephonsays, 2024-01-04: <https://sv.strephonsays.com/silane-and-siloxane-13072>

REPARATIONSMATERIAL FÖR YTSKADOR

Ytskador repareras med produkter som finns i marknaden. Produkternas sammansättning är företagsinformation och är inte tillgängliga. Produkterna är däremot typgodkända och uppfyller standardernas krav för avsedda användningar. Produkternas prestandaegenskaper är bestämda enligt gällande standarder och deklarerade i produktbladen. Det är, därför, viktigt att ta fram konstruktionens exponeringsmiljö och de krav som ställs på den efter genomförd reparation innan valet av reparationsmetod och material genomförs. Denna rapport behandlar de frågeställningar som kan dyka upp under processen för val av reparationsmetod och material för att avhjälpa ytskador hos vattenkraftens betongkonstruktioner.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.

