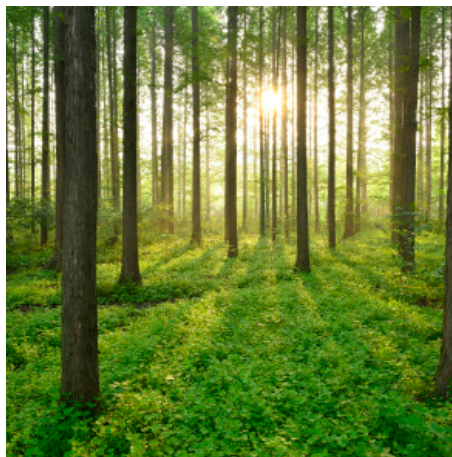
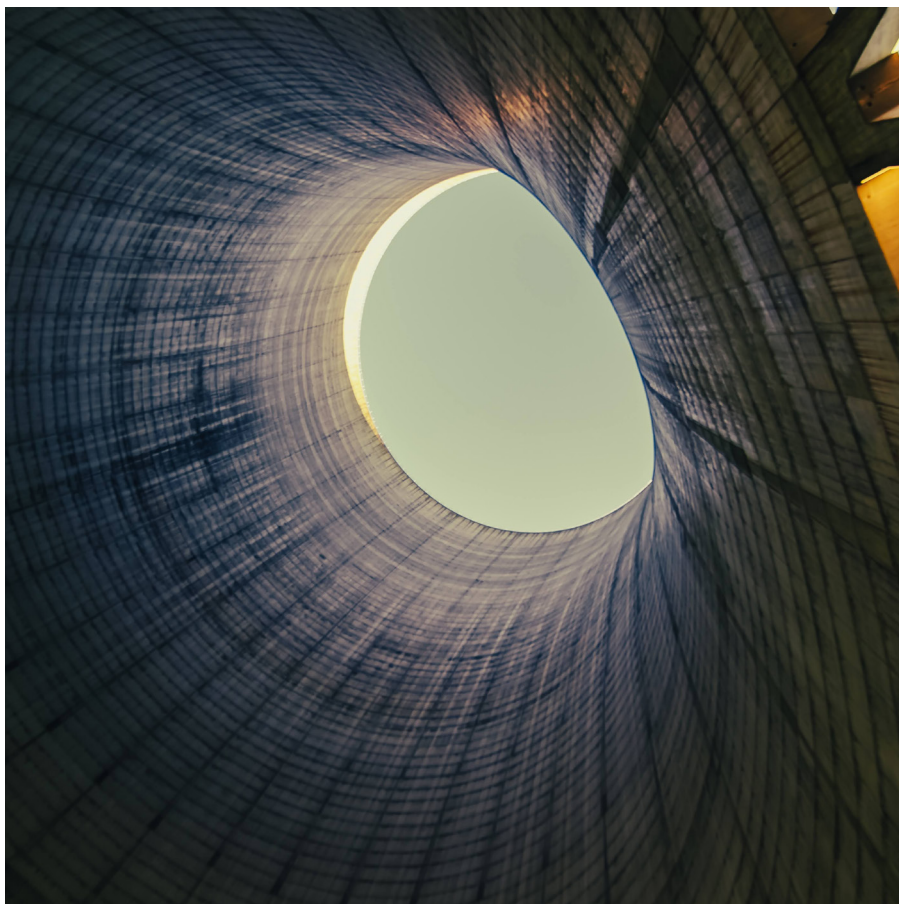


# YTBEHANDLING AV KÄRNTEKNISKA BETONGKONSTRUKTIONER

RAPPORT 2023:958



BETONGTEKNISKT PROGRAM  
KÄRNKRAFT



# Ytbehandling av kärntekniska betongkonstruktioner

YLVA EDWARDS

TOMMY THÖRN

ISBN 978-91-7673-958-7 | © Energiforsk oktober 2023

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

## Förord

**Ett kärnkraftverk består av ett stort antal betongkonstruktioner som är viktiga både ur säkerhets- och driftsperspektiv, t.ex. reaktorinneslutningen och reaktorbyggnaden. Majoriteten av ytorna i dessa konstruktioner har behandlats med t.ex. epoxifärg. Hanteringen av ytskydd på de olika verken utförs i dagsläget enligt särskilda tekniska bestämmelser, TBY (tekniska bestämmelser ytskydd).**

Syftet med den här studien är att kartlägga nuvarande utförande och samla erfarenheter från kraftverken för att se om det antingen finns problemområden inom kraftverken där TBY behöver utvecklas. Projektet tittar också på om det finns nya målningssystem eller system som uppdaterats som skulle kunna infogas i TBY.

Projektet har utförts av Ylva Edwars och Tommy Thörn verksamma inom Ytskyddsakademin. Erfarenheter har hämtats in från de svenska och finska anläggningarna.

Intressenterna bakom Betongtekniskt program kärnkraft är Vattenfall, Uniper, Fortum, Teollisuuden Voima Oy (TVO) i Finland, Skellefteå Kraft, Karlstads Energi samt Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) och Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB).

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

## Sammanfattning

**Den kartläggning som genomförts i projektet behandlar skador och skadeeffekter på betong och ytskydd för olika anläggningsdelar i kärnkraftverk. Här innefattas turbinbyggnader, reaktorinneslutningar, kylvattenintag/renshus och golv samt mer generellt även den inverkan som fukt och vatten har på betong och ytskyddsbehandling i kärnkraftverk.**

Av kartläggningen framgår att fukt och vatten är en stor bidragande orsak till en hel del av de skador som uppstår på betong och ytskydd i kärnkraftverk. Ett antal åtgärder rekommenderas för att minska denna påverkan och därmed även antalet skador.

Resultaten pekar också på en hel del problem relaterade till val och utförande av aktuella ytskydd. Problem som leder till onödiga skador på både betong och ytskydd.

Skador och skadeeffekter på betong och ytskydd som tas upp för olika anläggningsdelar i kärnkraftverken är: armeringskorrosion, bor, erosion, grundvatten och kylvatten, kemikalier, klorider, kondens, rengöringsmedel, slitage från trafik, sprickor, stötskador, temperatur, tryck, vatten och fukt samt vibrationer.

Armeringskorrosion har inrapporterats för samtliga konstruktionsdelar, med undantag för turbinbyggnader. Armeringskorrosionen har i förekommande fall observerats genom svartrost, bompartier och rostutfällning.

Skadad betong i anläggningarna har reparerats och underhåll av befintligt ytskikt har genomförts. Olika teknologier har använts med mer eller mindre gott resultat.

En del information till kartläggningen saknas. Arbetet bör därför fortsätta i ytterligare en etapp.

## Nyckelord

Betong, ytskydd, kärnteknik, risker, forsknings- och utbildningsbehov

## Summary

**The mapping carried out in the project deals with damage and damage effects on concrete and surface protection for various plant parts in nuclear power plants. This includes turbine construction, reactor enclosures, cooling water intakes and floors. More generally, also the impact that moisture and water have on concrete and surface protection treatment in nuclear power plants.**

The mapping shows that moisture and water are a major contributing factor to a lot of the damage that occurs to concrete and surface protection in nuclear power plants. A number of measures are recommended to reduce this impact and thus also the number of damages.

The results also point to a lot of shortcomings in terms of the selection and execution of current surface protection. Shortcomings that lead to unnecessary damage to both concrete and surface protection.

Damage and damage effects on concrete and surface protection that are addressed for various plant parts in the nuclear power plants are: reinforcement corrosion, boron, erosion, groundwater and cooling water, chemicals, chlorides, condensation, cleaning agents, wear from traffic, cracks, impact damage, temperature, pressure, water and moisture as well as vibrations.

Reinforcement corrosion has been reported for all structural parts except for turbine constructions. Reinforcement corrosion has, where applicable, been observed through black rust, boom sections and rust precipitation.

Damaged concrete in the facilities has been repaired and maintenance of the existing surface layer has been carried out. Different technologies have been used with more or less good results.

Some information for the mapping is missing. The work should therefore continue in an additional stage.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>8</b>
1.1	inledning	8
1.2	Ytskyddsbehandling för betong	8
1.2.1	Krav på ytskyddsprodukter	11
1.2.2	Olika typer av ytskyddsprodukter	13
1.3	syfte och mål	18
<b>2</b>	<b>Projektets genomförande</b>	<b>19</b>
2.1	Litteraturgenomgång	19
2.1.1	Kärntekniska betongkonstruktioner	19
2.1.2	Korta beskrivningar av medverkande kärnkraftverk	22
2.1.3	Tillståndsbedömning	25
2.1.4	Konstruktion och Material	26
2.1.5	Rivning <sup>27</sup>	
2.1.6	TBY Tekniska bestämmelser för ytskydd – valda delar för betong	27
2.2	workshop	31
2.3	kartläggningar	31
2.3.1	Turbinbyggnader	32
2.3.2	Reaktorinneslutningar	33
2.3.3	Kylvattenintag/renshus	35
2.3.4	Golv 37	
2.3.5	Utsatta anläggningsdelar där vatten och fukt skadar betongen	38
2.3.6	Sammanställning över skador och skadeeffekter	39
<b>3</b>	<b>Diskussion</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>44</b>
4.1	litteratur	44
4.1.1	TBY 44	
4.2	Kartläggningen	44
<b>5</b>	<b>Rekommendationer, forsknings- och utvecklingsbehov</b>	<b>46</b>
<b>Bilaga A:</b>	<b>Kartläggning – Uppdelning konstruktioner</b>	<b>48</b>
<b>Bilaga B:</b>	<b>Kartläggning – Golv</b>	<b>52</b>
<b>6</b>	<b>Referenslista</b>	<b>57</b>



# 1 Bakgrund

**Korta beskrivningar ges av ytbehandling för betongkonstruktioner inom olika användningsområden, inklusive kärnkraftverk. Fokus ligger främst på för- och nackdelar samt eventuella risker.**

## 1.1 INLEDNING

Ett kärnkraftverk består av ett stort antal betongkonstruktioner som är viktiga både ur säkerhets- och driftsperspektiv, t.ex. reaktorinneslutningen och reaktorbyggnaden. Majoriteten av ytorna i dessa konstruktioner har, enligt uppgift från deltagande parter i projektet, behandlats med t.ex. epoxifärg. Hanteringen av ytskydd på de olika verken utförs i dagsläget enligt särskilda tekniska bestämmelser, TBY (tekniska bestämmelser ytskydd).

En rad frågeställningar kring ytbehandlingen av betongkonstruktioner i de nordiska kärnkraftverken har i nuläget uppkommit. Det rör bl.a. frågor kring för- och nackdelar med att måla om befintliga konstruktioner samt metoder för att säkerställa fullgott resultat vid ommålning/målning. Även olika metoder för borttagning av ytbehandlingar under de specifika förutsättningar som föreligger i kärntekniska betongkonstruktioner har diskuterats.

## 1.2 YTSKYDDSBEHANDLING FÖR BETONG

Betongkonstruktioner påverkas av den omgivande miljön, och beständigheten kan äventyras genom interaktion med aggressiva egenskaper hos den yttre miljön. Exempel på aggressiva miljöer är saltexponering i marina miljöer och på saltade vägar/betongbroar, växlande temperaturförhållanden samt exponering för olika kemiska ämnen. De största beständighetsproblemen i Sverige är frostangrepp och armeringskorrosion.

Betongskador i ett äldre golv utan skyddsbeläggning kan se ut som i figur 1 nedan (1).





Figur 1 Betongskada i golv till följd av armeringskorrosion. Foto: Tor Powell

På marknaden finns en stor mängd ytskyddsprodukter med olika egenskaper och användningsområden. För att enklare kunna jämföra och välja produkter finns en EU-gemensam standard, SS EN 1504-2, som behandlar provning och CE-märkning. Med produkten ska det också följa en prestandadeklaration som visar vilka funktionstester som utförts. Prestandadeklarationen är därför viktig i valet av ytskydd.

En förutsättning för att ytskyddet ska fungera som förväntat är att det samverkar med betongkonstruktionen i fråga. Här spelar materialval och appliceringsmetod en avgörande roll. En bra utförandebeskrivning och ett väl genomfört utläggningsarbete, tillsammans med relevant kontrollprogram, är viktiga förutsättningar för att ytskyddet ska fungera tillfredsställande. Drift, skötsel och underhåll är också viktigt för ytskyddets funktion över tid.

Ytskydd indelas i hydrofobiska impregneringar, impregneringar och beläggningar (inklusive försegling). Det finns även förtillverkade ytskikt och betongtätning med hjälp av kristalliseringsteknik.

Ytskyddande impregnering används främst för att reducera betongytans porositet, och består oftast av oorganiska silikater som absorberas in i betongen där de bildar ett hårt kalciumsilikat-hydrat som reducerar inträngningen av vätskor, men är diffusionsöppet.

Man skiljer på hydrofobisk impregnering (vattenavvisande impregnering) som inte är filmbildande och impregnering som bildar ett kontinuerligt skikt i cementpastan.

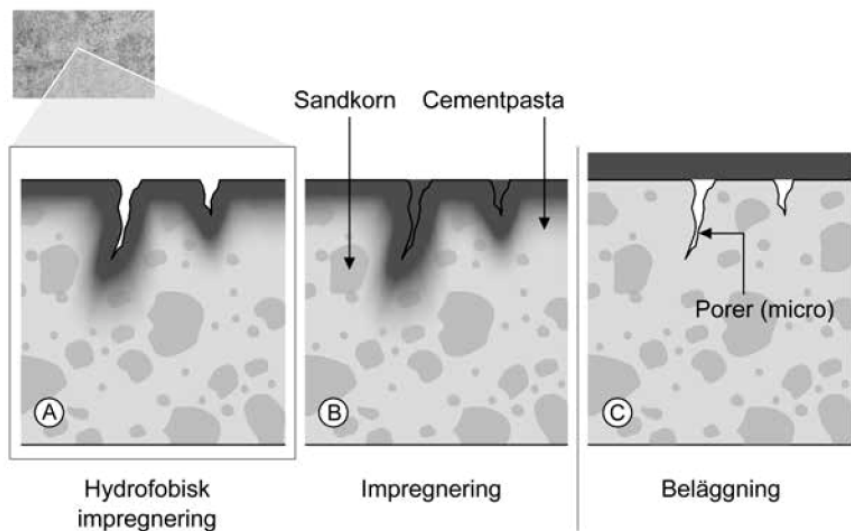
Hydrofobisk impregnering används främst om konstruktioner ska skyddas mot inträngning av vatten och klorider lösta i vatten, som tas upp via kapillär absorption.

Impregnering används i stor omfattning inom byggnadsindustrin, främst på betonggolv men även i grundkonstruktioner och mot ämnen som är skadliga för betongen.

Ytskyddande beläggningar kan variera kraftigt i tjocklek och bestå av olika typer av cementbaserade massor, härdplastbaserade system eller bitumenbaserade system.

Beläggningar/försegling används för att förbättra betongytans hållfasthetsegenskaper eller kemiska resistens, förändring av ytans struktur eller färg, skydd mot nedbrytande fysikaliska inverkningar, m.m.

Figur 2 visar den principiella skillnaden mellan hydrofobisk impregnering, annan impregnering och beläggning.



Figur 2 .Principiella skillnaden mellan hydrofobisk impregnering, annan impregnering och beläggning (2)

### 1.2.1 Krav på ytskyddsprodukter

I Betonghandboken Material Del II kapitel 30 finns en tabell (Tabell 30.3:1) som visar de vanligaste kraven som kan ställas på ytskydd av olika slag. Vid projektering av ett visst ytskydd ställs emellertid bara sådana krav som är relevanta för det aktuella fallet. Tabellen visas nedan. Den följs av mycket korta beskrivningar av epoxi, akryl, polyuretan och polyurea samt polyester. Cementbaserad massa inklusive kristalliseringsteknik kommer efter det.

Innehållet har i huvudsak hämtats från ovan nämnda del och kapitel i Betonghandboken (2).

Tabell 1. Krav som kan ställas på ytskydd för betong (2)

Krav	Egenskap
<i>Funktion</i>	
Utseende	Kulör, glans, struktur, kritningsbenägenhet, smutsavvisande förmåga, tvättbarhet
Halksäkerhet	I avseendet fullt färdigt ytskydd på golv
Skydd mot aggressiva gaser, t.ex. koldioxid	Täthet och resistens mot respektive gas
Skydd mot armeringskorrosion	Vattentäthet, förmåga att hindra betongens vattenabsorption, vattenånggenomsläpplighet. Täthet mot syre
Skydd mot vatten och i vatten lösta aggressiva ämnen, t.ex. klorider och syror	Vattentäthet, förmåga att hindra betongens vattenabsorption, täthet och resistens mot respektive ämne
Skydd mot frostangrepp	Vattentäthet, förmåga att hindra betongens vattenabsorption, vattenånggenomsläpplighet
Skydd mot cement-ballastreaktioner	Vattentäthet, förmåga att hindra betongens vattenabsorption, vattenånggenomsläpplighet
Skydd mot nötning	Nötningsmotstånd
Skydd mot slag	Slagtålighet
<i>Materialkrav</i>	
Vidhäftning	(Gäller ej för impregnering)
Vattenånggenomsläpplighet	
Resistens mot klimatpåverkan	
Resistens mot UV-ljus	UV-beständighet
Resistens mot alkalisk miljö	
Beständighet mot avrinning	(Gäller vid applicering på ej horisontella ytor)
Spricköverbyggande förmåga	(Gäller när skyddsfunktionen så kräver)
Kompatibilitet	(Gäller när ytskyddet ska kombineras med t.ex. ett ovanpå liggande annat material eller lager)
Skjuvhållfasthet	(Gäller om skjuvpåverkan ska förekomma på ytskyddet)
<i>Utförandekrav</i>	
Applicerbarhet	(På viss typ av underlag, med viss utrustning, appliceringsmetod, arbetsmiljö, appliceringsmetod, känslighet för klimatpåverkan, fuktförhållanden, tork- och härdningstider)
<i>Övriga krav</i>	
Brandmotstånd	Brandklassificering
Underhållsmöjligheter och/eller instruktion	T.ex. möjlighet till övermålning och reparerbarhet
Drift- och skötselinstruktion	Garantiåtagandet
<i>Krav på provning och dokumentation</i>	
Kontrollsystem	
Erhållna provningsresultat, utöver prestandadeklaration	
Utfört arbete (referensobjekt)	
Erhållen kvalitet hos färdigt ytskikt	

### 1.2.2 Olika typer av ytskyddsprodukter

Produkter och system som används kan vara baserade på en eller flera teknologier med plast/polymermaterial såsom akryl, epoxi, polyester, polyuretan, polyurea eller utgörs av bitumenbaserade material. Varje ytskyddsprodukt och -system måste därför vara testat och godkänt för just den kemiskt aggressiva miljö som avses vid den specifika användningen.

Bitumenbaserad massa och förtillverkade ytskyddsmaterial tas inte upp denna rapport.

#### *Epoxi*

Epoxiharts för ytskyddsändamål framställs som regel ur epiklorhydrin och bisfenol A. Låg molekylära hartser kan hanteras utan tillsats av lösningsmedel, och används i första hand till gjutningar och tjocka beläggningar. De högmolekylära hartserna löses som regel i organiskt lösningsmedel, och används till färg och lack. Det finns även vattenbaserad epoxi.

För att omvandla epoxiharts till epoxiplast tillsätts en härdare. För härdning kring rumstemperatur används som regel aminer eller amider. Reaktionen mellan epoxiharts och härdare är en exoterm irreversibel polyaddition. (Vid polyaddition sammanlänkas monomerer med dubbelbindningar genom att dessa bindningar bryts och i stället kopplas samman med andra monomerer.) Typen av härdare är avgörande för reaktionshastigheten (potlife). Som tumregel gäller att epoxi som härdar vid rumstemperatur behöver cirka 7 dygn vid +20 °C för att uppnå maximala egenskaper. Vid högre temperatur förkortas härdningstiden.

Det finns ett stort antal epoxihartser och härdare som i olika kombination kan resultera i ett mycket stort antal epoxiplastprodukter med varierande egenskaper.

Epoxi utmärks kanske främst av sin förmåga att verka som ett mycket starkt lim mot olika typer av underlag. Andra positiva egenskaper är vattentätthet, kemikalieresistens och mycket goda vidhäftningsegenskaper. Den spricköverbyggande förmågan är däremot som regel liten. Epoxi är starkt allergiframkallande, varför hudkontakt ska undvikas.

#### *Akryl*

Metylmetakrylater (MMA) akrylpolymerer och olika modifierade former av dessa används inom ytbehandling av olika slag. MMA är en färglös, flyktig och lättantändlig vätska med stark lukt som kan vara mycket irriterande för ögon, näsa och hals.

Till produktens starka sidor räknas hög reptålighet och slitstyrka, snabb härdningstid samt mycket god färgstabilitet. Till produktens svagare sidor brukar räknas: stark lukt, känslighet för höga temperaturer och fukt samt risken för krympspänningar.

MMA-produkten härdar genom tillsats av en peroxid. I ren form utvecklar akrylaten då endast koldioxid och vatten. Härdningstiden är kort men reaktionen kan inhiberas av fukt och luft. Eftersom flampunkten är låg (under 23 °C) betraktas produkten som brandfarlig i samband med applicering. Uppvärmning och kontakt med öppen eld ska således undvikas helt. Lämplig primerprodukt till MMA-beläggning är som regel MMA. Rekommenderad utläggnings-temperatur kan variera mellan 0 och 50 °C. Vissa akryler kan appliceras även vid minusgrader och härdar mycket snabbt vid låga temperaturer.

#### *Polyuretan och polyurea*

Uretaner kan kemiskt indelas i tre kategorier: polyuretan (PU), polyurea (PUA) och blandningskombinationer (PU-PUA hybrider). Samtliga system kan vara alifatiska, aromatiska eller både alifatiska och aromatiska. Pigment, filler, lösningsmedel och/eller additiv kan tillsättas. (Kolväten som inte innehåller en bensenring kallas alifatiska kolväten. De som innehåller en bensenring kallas aromatiska kolväten.)

**Polyuretan** framställs genom reaktion mellan en polyol (alkohol) och en isocyanat (en funktionell grupp med strukturformeln  $-N=C=O$ ). De flesta polyuretaner är gjorda från tre utgångsmaterial; långkedjiga polyoler, diisocyanat och en kedjeförlängare (härdare).

**Polyurea** fås när isocyanat reagerar med polyamin. Isocyanaten kan i sin tur vara monomerbaserad, vara en prepolymer, en polymer eller en blandning av dessa.

Standardprodukter av polyurea är generellt uttryckt hårda och flexibla, har hög smältpunkt och är som regel resistent mot nedbrytning av olika slag, kemisk attack och oxidation. Produkten härdar snabbt, även vid mycket låga temperaturer, och är inte fuktkänslig. Råmaterial som styr polyureans egenskaper är typ av isocyanat, typ av amin samt eventuella additiv. Aromatiska isocyanater är i allmänhet billigare och mer mångsidiga. Alifatiska isocyanater används om UV-stabilitet krävs, men är dyrare, reagerar långsammare och är potentiellt mer giftiga än aromatiska isocyanater.

Blandningsprocessen är viktig för sprutapplicerad polyurea. Blandningstiden är kort och produktens härdningshastighet mycket hög. Blandningen utförs därför under tryck och låg viskositet krävs vid appliceringstemperatur. Det finns en rad olika varianter av appliceringsutrustning för polyurea, beroende på typ av

applicering. Specialutbildad personal iförd anpassad skyddsutrustning är ett krav vid arbetsutförandet.

**PU/MMA** är en blandning av polyuretan och metylmetakrylat (cirka 50/50) som också finns på marknaden. Ingen mjukgörare krävs, utan polyuretankomponenten står för flexibiliteten hos produkten. Den härdar, liksom MMA, snabbt även vid låga temperaturer. Härdningen sker genom tillsats av katalysator (peroxid). Polyuretandelen är lufthärdande och påskyndas av reaktionen i MMA-delen.

#### *Polyester*

Polyester (esterplast) finns både som härdplast och som termoplast. Polyesterharts tillverkas genom kondensation och polymerisation av syror och polyoler. I konstruktioner där extra hög kemikalieresistens och/eller högre hållfasthet krävs används vinylester istället för polyester.

#### *Cementbaserad massa och Kristallisering*

Till cementbaserad massa räknas polymermodifierad betong, sprutbetong och hårdbetong samt ytterligare ett antal massabeläggningstyper för användning som ytskydd till betongkonstruktioner.

**Polymermodifierad betong** har en del av cementbindemedlet ersatt med någon typ av polymer.

**Sprutbetong** skapar skyddsskikt för ytligt liggande armering. Den principiella skillnaden mellan vanlig betong och våtsprutad betong är att sprutbetongen innehåller en tillstyvnadsaccelerator som blandas med betongen i sprutmunstycket.

**Hårdbetong** tillverkas med cement som bindemedel och kan vara armerad med ballast och fibrer av t.ex. akryl eller epoxi. Beläggningen läggs ut på vattenbehandlad betongyta som först primerbehandlats. Ytskydd av hårdbetong har högt nötningsmotstånd.

**Kristalliseringsteknik** för betongtätning, -skydd och förstärkning tas som redan nämnts också upp i detta avsnitt.

Kristalliseringsmaterialet består av Portlandcement, finmald kvarts och speciella tillsatser. Det kan appliceras på nygjuten betongyta eller blandas med vatten och anbringas på hårdnad yta. Materialet kan också blandas in direkt (admix) i den färska betongen. Betongen som ska tätas måste vara fuktig eller fuktas kontinuerligt under minst 3 dygn för att önskvärda kemiska reaktioner ska kunna äga rum.

Kristalliseringsmaterialet blandas med vatten och anbringas på den fuktiga betongytan. Ett hydratationsförlopp, liknande betongens normala hydratation, påbörjas. Kristaller bildas i betongens porsystem och gör detta tätare. Det blir emellertid inte helt tätt utan tillåter vattenånga och luft att i viss mån långsamt passera.

Kristalliseringsprocessen och inträngningen fortgår så länge det finns fukt närvarande. Efter slutförd behandling ligger kristaller vilande i konstruktionen och processen kan delvis återstarta vid nya fuktgenomslag. Kristalliseringsprocessen kan således endast fungera om betongens porsystem kan uppnå en tillräckligt hög fuktnivå och har öppen karaktär, vilket är typiskt för betong av lägre kvalitet.

Att betong som behandlats med kristallisationsteknik effektivt kan motstå hydrostatiskt tryck har visats i flera studier. Det har också genomförts studier med fokus på den tätande effekten av kristallisering liksom på hållbarhet hos betong med kristallint ytskydd eller inblandning av admix.

Det finns en rad tillverkare av kristallina tätande kemikalier. Samtliga tillverkares recept är emellertid patentskyddade. Det rekommenderas därför att varje produkt testas före användning för att styrka produktens vattentätande och kemiska egenskaper i aktuellt sammanhang.

Eftersom kristallin modifiering av betong inte kan förväntas skydda mot aggressiva vätskor (med högt eller lågt pH) används det ofta som ett extra skydd under ett annat skyddssystem.

#### Användningsområden

Vanligt förekommande användningsområden för ytskydd på betong listas nedan.

- Vattenavvisande impregnering. På ytor med god avrinning kan impregnering och försegling ge god önskad vattenavvisande effekt. Hydrofobiska impregneringar används på t.ex. brokonstruktioner. Syftet med skyddet är då att minska inträngningen av vatten och därmed risken för frysskador på betongen samt att minska inträngningen av klorider.
- Karbonatiseringsbromsande ytskydd. Karbonatisering sker när fukt/vatten tillsammans med koldioxid reagerar med kalken i cementen, och en sänkning av pH-värdet därmed uppstår, med risk för armeringskorrosion. Karbonatiseringens inträngning kan fördröjas genom att påföra ett koldioxidabsorberande skikt av cementputs eller sprutbetong. Ett polymerbaserat tätskikt som bromsar koldioxidens inträngning i betongen kan alternativt användas. Täta ytskydd skyddar bäst mot karbonatisering.



- Fuktspärr. Byggfukt och markfukt kan ge upphov till kostbara skador i samband med täta ytskikt på betong. Orsaken till skadorna är att fukt med hög alkalihalt ansamlas under ytbeläggningen. En fuktspärr ska gå att applicera på våt (RF 100 %) betong, och ska ha en vidhäftning som överstiger underlagets draghållfasthet. Vattenånggenomsläppligheten ska vara lägre eller lika med ytskiktets, även vid 100 % RF i betongen.
- Skydd mot aggressiva vätskor. Ytskydd krävs för en lång rad betongkonstruktioner i kemiskt aggressiv miljö. Ju aggressivare miljö desto mer begränsat blir utbudet av lämpliga material. Exempel på användningsområden i kemiskt aggressiv miljö är broar, garage, och parkeringsdäck, djurstallar, matavfallsanläggningar och virkestorkar.
- Klotterskydd. Klott (graffiti) är både svårt och dyrt att ta bort. Ett klotterskydd, som hindrar vatten och färg från att tränga in i underlaget, kan avsevärt underlätta och påskynda saneringen. Vaxprodukter har under lång tid varit den mest använda typen av offerskydd, och polyuretan det mest använda permanenta skyddet.
- Brobanor. Skador på betongbroar, främst till följd av kloridinducerad armeringskorrosion, är ett kostsamt problem. Den vanligast förekommande typen av tätskikt i Europa idag är polymermodifierade bitumenbaserade tätskiktssystem. Även flytapplicerade system med härdplast används i ökande omfattning. Erfarenheten av flytande/sprutapplicerade tätskiktssystem på betongunderlag i Sverige är dock begränsad. Tätskikts- och beläggningssystem med epoxiförsegling, tätskiktssystem och beläggningssystem av gjutasfalt ger troligtvis det säkraste och mest hållbara systemet.
- Parkeringshus. Kraven på ytskydd för ett parkeringshus är en kombination av de som gäller för ytskydd till broar och de som gäller för husbyggnader. Impregneringar, förseglingar och beläggningar av olika slag används för att stoppa eller minska kloridinträngning. Huvudtyperna utgörs av härdplast- eller bitumenbaserad beläggning samt hårdbetong av olika slag. Beläggningen utsätts för dubbdäcksslitage i svenska parkeringshus, vilket ställer krav på god slitstyrka.
- Golv. Betonggolv är ett stort område för ytbehandlingar av olika slag. Syftet kan vara att minska dammbildning, göra golvet mer hygieniskt och lättstädad, förbättra det estetiska utseendet, förbättra nötningsmotståndet och/eller skydda mot kemiska angrepp.

Hantering av ytskydd på de olika kärnkraftverken i Sverige utförs i dagsläget enligt särskilda tekniska bestämmelser, TBY (tekniska bestämmelser ytskydd). Som regel har ytskyddet utgjorts av epoxi.

### **1.3 SYFTE OCH MÅL**

Projektet ska sammanfatta kunskapsläget kring ytbehandlingar av betongkonstruktioner med fokus på kärntekniska förhållanden. Målet med projektet är att utifrån resultaten identifiera forsknings- och utvecklingsbehov inom området.

## 2 Projektets genomförande

Projektet har genomförts under 2022/2023 och kan indelas i följande huvuddelar:

- Kort litteraturgenomgång (utländsk litteratur ingår inte)
- Workshoppar för medverkande parter
- Kartläggningar

Dessa beskrivs nedan i avsnitten 2.1 – 2.3.

### 2.1 LITTERATURGENOMGÅNG

#### 2.1.1 Kärntekniska betongkonstruktioner

I en kärnkraftsanläggning finns två system (reaktorinneslutningen och kylvattensystemet) med armerade betongkonstruktioner och av säkerhetsmässig betydelse. Tillståndsbedömning av betongen i reaktorinneslutningen och i biologiska skärmen (den delen av betongstrukturen i reaktorinneslutningen närmast härden) är viktig för värdering av dess kondition relativt uppställda krav. Biologiska skärmen utsätts för de högsta exponeringsnivåerna av neutron- och  $\gamma$ -strålning, jämfört med samtliga övriga betongstrukturer i en inneslutning. Att strålning degraderar egenskaperna hos betong och armering är känt (3). Man vet emellertid inte om detta är eller kan bli ett problem för betongen i biologiska skärmen under anläggningarnas drifttid. Det är därför motiverat att genomföra tillståndsbedömningar av betongen närmast reaktorn.

Betongkonstruktioner inom kylvattensystemen exponeras för tempererat bräckt- eller saltvatten med turbulent strömning i vissa positioner. De exponeras också för biologisk tillväxt som i sin tur kan påverka betongen. Miljön inom kylvattensystemen är således väsentligt annorlunda jämfört med miljön i en reaktorinneslutning.

För reaktorinneslutningen gäller specifika krav på tryckupptagande förmåga, täthet och moderering av strålning. Reaktorinneslutningens tryckupptagande förmåga erhålls genom spännarmering och tätheten genom en injuten tätplåt. Moderering av strålning uppnås genom ökad vägg tjocklek. För att minimera risken för sprickbildning användes vid uppförandet s.k. långsamt hårdnande betong (LH-betong med silikatcement) i de tjocka konstruktionerna.

Jämförelser har historiskt visat att LH-cement minskar risken för sprickbildning (4).

De svenska reaktorinneslutningarnas väggar är uppbyggda med ett tunnare slakarmerat betongskikt (0,2-0,3 meter) på insidan av inneslutningens koncentriska

mantel. Detta betongskikt har som primär funktion att skydda tätplåten (4-8 mm tjock), som är belägen direkt utanför det inre betongskiktet, från korrosiva ämnen samt även hindra utsläpp av radioaktiva ämnen vid haveri. Direkt utanför tätplåten anligger ett tjockare betongskikt (0,7-1,2 meter) som ska verka lastbärande, i kombination med spännarmeringen, för det inre övertryck som kan uppstå vid ett stort rörbrott. Spännarmeringens funktion är att verka för att endast tryckspänningar ska råda i betongen vid stort rörbrott. En viss mängd slakarmering finns även i den yttre mantelns ytskikt. Betongen har även till uppgift att moderera strålningen så den inte kan tränga utanför inneslutningen.

En reaktortank av typ BWR står med en kjol mot en centrumpelare som i sin tur står på bottenplattan. Centrumpelaren har ingen tryckbärande säkerhetsfunktion, men bär upp reaktortanken samt utgör den första och primära skärmen för moderering av strålningen utanför reaktortanken. Centrumpelaren är konstruerad av slakarmerad betong.

Reaktorinneslutningarna är spännarmerade både i horisontal- och vertikalplanet. De olika delarna i reaktorinneslutningens inre delar samt vägg har olika funktion. Därmed blir betydelsen av påverkan från en eventuell degraderingsmekanism olika beroende på var i inneslutningen degraderingen pågår.

Kylvattenvägarna består av ett antal olika delar, med först någon form av kylvatteninlopp in till en intagsbyggnad som kan vara en bergtunnel eller bergtunnel med armerad sprutbetong eller en öppen kanal med vägg och botten av platsgjuten slakarmerad betong. Här finns ett filter för grovrensning. Inne i intagsbyggnaden sker finrensning och eventuell dosering för minskning av påväxt i systemet. Kylvattnet leds vidare från intagsbyggnaden till kondensorn via tunnlar och pumpstationer. Dessa delar består i huvudsak av platsgjutna slakarmerade betongkonstruktioner, alternativt bergtunnlar. Från kondensorn leds vattnet sedan ner till en kylvattenavloppstunnel via fallschakt. Från kylvattenavloppstunneln tas eventuellt uppvärmt vatten via hjälpkylvattenvägar till intagssidan för säkerställande av isfri miljö under vinterhalvåret. Dessa tunnlar utgörs av bergstunnlar med eller utan klädda (man menar troligtvis ytskyddade) golv, väggar och tak i armerad betong.

Vilka skador kan således uppstå på betong inom kärnkraft?

En generellt högre temperatur råder inom reaktorinneslutningen (jämfört med utomhustemperaturen) med högst värden kring rörgenomföringar. Luftfuktigheten är normal eller torr.

Utanför reaktorinneslutningen råder inomhustemperatur (BWR) alternativt utomhustemperatur (PWR) med normalvarierande luftfuktighet. Högsta nivåerna av fukt råder vid och i kylvattenkanalerna.

Utsidan av en reaktorinneslutning hos en BWR ligger inomhus, bortsett från bottenplattan. PWR-inneslutningar står utomhus. Dess utsida är målad.

Skyddslagren (målarfärgen) skyddar mot väder och vind, men koldioxid diffunderar igenom dessa skyddslager. Prover på karbonatiseringen visar på en försumbar inträngning och ingen påverkan på armering kan förväntas. Beroende på utformningen av dränage kring och under bottenplattan kommer den exponeras olika mycket för vatten, marksalter och klorider.

Kärnkraftsanläggningar ligger ofta nära havet och grundvattnet inom vissa regioner och nivåer består av en blandning av söt- och bräckt vatten eller havsvatten. Betongen kommer då exponeras för till exempel klorider.

Invändigt under drift är reaktorinneslutningen fylld med kvävgas. Gäller dock inte R3 och R4. De globala temperaturerna i de svenska inneslutningarna ligger i intervallet 20-60 °C, beroende på anläggning. Den temperaturen bedöms inte kunna påverka betongens mekaniska och kemiska egenskaper i någon större grad under driftstiden. Dock förekommer temperaturer som överstiger 100 °C och ända upp till 174 °C enligt industrins redovisningar.

För BWR är miljön i inneslutningarnas övre del, primärutrymmet, torr till skillnad mot den undre delen, sekundärutrymmet, där en pool finns. På insidan i primärutrymmet utsätts betongen också för en viss mängd strålning under drift. Dock väsentligen mindre jämfört med betongstrukturerna (centrumpelare och biologiska skärmen) närmast härden. Centrumpelaren och främst dess strålskärmar är den del av inneslutningens betongstruktur som utsätts för högst nivåer av strålning.

Som en kontinuerlig del i säkerhetsarbetet med reaktorer så genomförs återkommande trycktester (täthetsprovning) på inneslutningarna i syfte att säkerställa att inga läckage sker från reaktorinneslutningen. Man har i studier försökt utreda vilken mängd syre som kan transporteras fram till tätplåten i samband med dessa trycktester. Tillgång till syre är ju en viktig förutsättning för att en eventuell korrosionsprocess ska kunna uppstå. Resultat visar att gastransporten sker mycket långsamt för osprucken, relativt nybyggd betong, vilket beror på att betongens porvolym till stor del är fylld med vatten. När betongen efterhand torkar ut så minskar porvattenvolymen. Därmed ökar också gastransporten. Inverkan från potentiella skador påverkar gastransporten framför allt när betongen är relativt ny. I takt med att anläggningen åldras så blir den relativa skillnaden mellan transport i intakt betong och via sprickor dock mindre.

(5)

### 2.1.2 Korta beskrivningar av medverkande kärnkraftverk

**Ringhals** kärnkraftverk ingår i Vattenfall som är ett av Europas ledande energiföretag. Verket ligger på nordvästra delen av Väröhalvön, cirka 25 km norr om Varberg. Det har fyra tryckvattenreaktorer från tidigt 80-tal (Ringhals 3 och 4) samt två avställda reaktorer som dock inte ingår i kartläggningen. Figur 3 visar en bild på Ringhals kärnkraftverk.



Figur 3. Ringhals kärnkraftverk (bild tagen från Vattenfalls webbplats)

**Forsmarks** kärnkraftverk ägs av Forsmarks Kraftgrupp AB, där statliga Vattenfall AB är huvudägare. Verket ligger utanför bruksorten Forsmark i Östhammars kommun, Uppland. Det har tre kokvattenreaktorer från 1980-talet. Forsmark 1 togs i drift i december 1980 och Forsmark 2 i juli 1981. Forsmark 3 började användas först i augusti 1985. Figur 4 visar en bild på Forsmark kärnkraftverk.



Figur 4. Forsmark kärnkraftverk (bild tagen från Vattenfalls webbplats)

**OKG** äger tre kokvattenreaktorer: Oskarshamn 1, 2 och 3 vilka i dagligt tal kallas O1, O2 och O3. Idag är det endast O3 som producerar el. O3 är en av världens största kokvattenreaktorer, med driftstart 1985. O1 och O2 har stängts i förtid, och på dessa två anläggningar pågår idag nedmontering. Kärnkraftverket ligger i Simpevarp i Oskarshamns kommun i Småland, cirka 25 km från Oskarshamn. Figur 5 visar en bild på Oskarshamn kärnkraftverk.



Figur 5. Oskarshamn kärnkraftverk (bild tagen från OKG webbplats)

**TVO** (Industrins KraftAbp) driver Olkiluoto 1 och 2 som är Finlands två kärnkraftverk med kokvattenreaktor. De ligger på halvön Olkiluoto och driftstartade 1979 respektive 1982.

En ny reaktor, Olkiluoto 3, har just också börjat producera el i Finland. Reaktorn är av typ EPR (European Pressurized Water Reactor), d.v.s en tryckvattenreaktor med fyra cirkulationskretsar till reaktortanken. Förberedelserna för ytterligare en reaktor, Hanhikivi 1 avbröts 2022. Figur 6 visar bild på Olkiluoto.





Figur 6. Olkiluoto kärnkraftverk, med OL3 i bakgrunden (bild tagen från Wikipedia)

### 2.1.3 Tillståndsbedömning

Bedömning av tillståndet hos betongkonstruktioner är en central del i en säker förvaltning av kärntekniska anläggningar. De svenska anläggningarna blir äldre och många har gått eller är på väg att gå in i långtidsdrift vilket gör att tillståndet hos betongkonstruktionerna får allt större betydelse vid säkerhetsbedömningar av anläggningarna. Detta utgör bakgrund till en rapport om just tillståndsbedömningar av betongkonstruktioner inom kärnkraft (3). Informationen är inhämtad från böcker, utredningar och forskningsrapporter samt webbplatser. Syftet med forskningsprojektet har varit att utifrån en litteraturstudie sammanställa kunskap om lämpliga metoder för bedömning av tillståndet hos betongstrukturer i kärntekniska anläggningar. Detta för att uppnå hög kvalitet i säkerhetsbedömningar av befintliga anläggningar.

Rapporten fokuserar på de betongkonstruktioner som har störst säkerhetsmässig betydelse och som dessutom är utsatta för åldring, d.v.s. reaktorinneslutningen och kylvattensystem. Övriga byggnader i kärnkraftverk behandlas endast översiktligt. En översiktlig beskrivning av de olika konstruktionerna redovisas. I översikten ingår även miljö- och driftsförutsättningar.

Rapporten behandlar således huvudsakligen reaktorinneslutningar och kylvattenvägar. Man kommer fram till en rad degraderingsmekanismer med risk för konsekvenser på säkerheten. Dessa mekanismer är: korrosion i

reaktorinneslutningar samt erosion, kloridinträngning, korrosion, vittring och urlakning i kylvattenvägar. Man bedömer att dessa degraderingsmekanismer bör kunna identifieras med konventionella provningsmetoder så som t.ex. visuell kontroll, bomknackning, karbonatiserings- och kloridmätning, ultraljudprovning samt petrografi.

För en god tillståndsbedömning behöver följande frågor besvaras av personal med erforderlig kunskap och erfarenhet, menar man:

- Var och vilka betongytor ska avsynas, alternativt besiktigas? Förståelse för konstruktionens funktion och hur lasten tas upp i konstruktionen krävs, d.v.s. en genomgång av ritningar, beräkningsrapporter, inspektionsrapporter etc. ska göras innan inspektionen på plats kan påbörjas.
- Vilka degraderingsmekanismer eftersöks? Analys av degraderingsmekanismer med rimlig risknivå vid förekomst under lokala miljöförhållanden krävs.
- Vilken teknik ska tillämpas på specifikt konstruktionselement? Med kännedom om möjliga degraderingsmekanismer kan de mest lämpade teknikerna och metoderna väljas ut för identifiering av eventuell skada.
- Vid identifikation av skada, hur fortskriden degradering kan tillåtas? Toleransvillkor krävs för respektive konstruktionsdel och degraderingsmekanism. Nivåerna bör vara definierade innan inspektion på plats genomförs.

Man hänvisar i rapporten till Trafikverkets metodik vad gäller tillståndsbedömning för betongkonstruktioner (BaTMan). Metodiken går igenom och rekommenderas för vidareutveckling till ett system som passar för kärnkraftsindustrin.

I rapportens kapitel 5 beskrivs degraderingsmekanismer för betong (4 sidor). Dessa tas inte upp här.

#### 2.1.4 Konstruktion och Material

En sammanställning över konstruktion och material i svenska reaktorinneslutningar har tagits fram inför eventuella frågeställningar som kan inträffa i framtiden och som underlag för SKI:s bedömningar (6).

Man har besökt samtliga verk och i samband med besöken gått igenom den dokumentation som finns angående betongfrågor för de aktuella konstruktionerna. Verken har efter besöken sammanställt materialet som sedan översiktligt genomgått av författarna. Ytterligare material har samlats in genom en enkät och inarbetats i rapporten. Utvärdering av strukturell hållfasthet kopplad till krav på täthet har genomförts.

Utredningen visar att dokumentationen för betongkonstruktionerna till inneslutningskonstruktionerna i de svenska kärnkraftverken är tämligen komplett. Tyvärr saknas en del enkätsvar och andra uppgifter. Rapporten har som målgrupp ingenjörer och andra som önskar skapa sig en bild över hur reaktorinneslutningar av förspänd betong i de svenska kärnkraftverken är dimensionerade och utförda.

Syftet med forskningsprojektet har också varit att öka kunskapen om livslängdsfrågor för spännarmering i betongkonstruktioner, dels generellt, dels med inriktning mot svenska kärnkraftsreaktorer och svenska broar.

Ytskyddsmålning nämns emellertid endast i rapportens Appendix A, närmare bestämt i en tabellsammanställning över material, skador och provningar. Ytskydd finns med där under fortgående provning av vidhäftning för Oskarshamn I, II och III.

#### **2.1.5 Rivning**

När kärnkraftverk rivs handlar också mycket om betong (7). Majoriteten av betongen är inte radioaktiv men det finns ändå särskilda utmaningar med att riva betong i kärnkraftverk. Det kan finnas radioaktivitet i delar av betongen eller i ingjutna rör, och det gäller att separera detta från annat material för att undvika kontamination.

Vid rivning av kärntekniska anläggningar gäller först "sektiv rivning" för stora delar av byggnaderna. Eftersom flera delar i anläggningen måste rivas med precision och försiktighet, är det svårare och tar längre tid än helrivning. Några av de maskiner och verktyg som används är stålsåg, betongborr, wiresåg, klingsåg, rivningsrobot och vanliga handverktyg som skärbrännare, tigersåg och vinkelslip.

#### **2.1.6 TBY Tekniska bestämmelser för ytskydd – valda delar för betong**

Utgåvan avser en allmän revidering av utgåvorna 2 och 1 av hela dokumentet (8). Projektet startades 1995 där de svenska verken (BKAB, FKAB, OKGAB och RAB) och det finska verket (TVO) medverkat.

Syftet med TBY är att tillståndshavarna/anläggningsägarna ska använda bestämmelserna för ytbehandling vid upphandling av ytbehandling och underhållsarbeten. Inom kontrollerad zon förutsätts att byggnader i huvudsak är utförda i material av betong och kolstål för golv, väggar och tak.

Den ytskyddsteknologi för betong som avgjort mest nämns/förordas i TBY:n är epoxi.

Epoxi utmärks, som tidigare nämnts (se avsnitt 1.1.3) av sin förmåga att verka som ett mycket starkt lim, av vattentäthet, kemikalieresistens och sina mycket goda vidhäftningsegenskaper. Den spricköverbryggande förmågan är däremot som regel liten varför skador på epoxi som regel uppstår i form av sprickbildning följt av vidhäftningssläpp.

Avseende ytskydd på betong kan följande noteras.

Anläggningens utrymmen är med hänsyn till gammastrålning indelade i följande Strålningszoner Dosratnivå,  $\mu\text{Sv/h}$ :

- $0 < 2\mu\text{Sv/h}$
- Blå  $< 25 \mu\text{Sv/h}$
- Gul  $25 \mu\text{Sv/h} - 1000 \mu\text{Sv/h}$
- Röd  $> 1000 \mu\text{Sv/h}$

Anmärkning:

Dosraten beskriver hur stor dos människan får under en viss tid. Dosratens enhet är sievert per timme (Sv/h). Ifall hela kroppen exponeras för en mycket hög stråldos (över en sievert, det vill säga 1000 millisievert) under en kort tid, utvecklas strålsjuka. En stråldos på mer än 8 sievert under en kort tid leder med stor sannolikhet till döden.

Indelningen efter den uppskattade risken för radioaktiv kontaminering sker enligt nedan (Rumskategori Risker):

- A - Ingen risk för radioaktiv kontaminering
- B - Liten risk för radioaktiv kontaminering
- C - Potentiell risk för radioaktiv kontaminering men ej D eller E
- D - Innehåller komponenter med trycksatt reaktorånga
- E - Innehåller komponenter med varmt, trycksatt reaktorvatten före jonbytare

Under avsnitt 3.3 Utförandeföreskrifter (sidan 44) står följande om betongytor.

Målning av golv-, vägg- och takytor utförs enligt lokal- eller rumsbeskrivning samt anvisningar i detta kapitel med tillhörande specifikationer över behandlingstyper.

- Behandlingarna är anpassade till gällande miljö enligt Tabell 6- 1 och Tabell 6- 2.
- Ytfinishen skall motsvara respektive referensyta belägna i Oskarshamnsverket 3, se Tabell 3- 2.

Om behov finnes kan det i framtiden bli aktuellt att överföra referensytor till respektive kraftverk. I de fall referensyta saknas skall innan målningensarbetena påbörjas referensytor för respektive underlag och behandlingstyp uppmålas med godkända material visande olika arbetsstadier. Dessa skall utgöra en hel golv-, vägg - eller takyta för varje behandlingstyp. Likaså skall referensytor

uppmålas för golv-, tak-, väggvinkel, krysshörn vid golv och tak, utgående hörn, fasbredd, anslutning mot ståldörrkarm och ingjutningsgods.

- Färgskikt i ett och samma system skall normalt ha kulörskillnader. Färgskikt i ett och samma system skall målas med färgmaterial från en och samma leverantör där inte annat anges.
- Rengöring skall utföras mellan två färgappliceringar om de målade ytorna blivit nedsmutsade. Val av rengöringsmedel och metod skall anpassas efter den typ av föroreningar som skall avlägsnas och med hänsyn till färgtyp samt lokala förhållanden på arbetsplatsen. Se även 4.5 i kapitel 4.
- Avslipning skall, om ej annat föreskrives, utföras på underyta och på målade och spacklade ytor före nästa behandling.
- Rekommendationer från färgtillverkaren skall följas om ej annat anges i dessa anvisningar. Färgfabrikant eller entreprenör får inte ändra gällande anvisningar utan att skriftligt godkännande från respektive tillståndshavare/anläggningsägare föreligger.
- Applicering av färg skall ske på torra ytor, vilkas temperatur överstiger dagpunkten med minst +3 °C.
- Vid målning med två- eller flerkomponentsfärger får lufttemperaturen ej vara lägre än +15 °C och luftens relativa fuktighet ej överstiga 80 % RH. Vissa produkter kräver lägre relativ fuktighet och att avfuktningsslag användes.
- Målning med enkomponentsfärger får ej ske vid lufttemperatur under +5 °C och luftens relativa fuktighet får ej överstiga 85 % RH.
- Tvåkomponentsfärg får ej enbart rullas utan skall slätas med moddare omedelbart efter påläggning.
- En grundläggande princip vid bättringsmålning på betongytor skall vara att återställa skadat målningsskikt till samma kvalitet och finish som kringliggande yta. På synliga ytor bör målningen avslutas mot naturliga gränser. "Icke synliga" ytor bättringsmålas fläckvis med rätlinjiga avgränsningar och begränsas till så liten yta som möjligt.
- Spackling på betong, lättbetong och putsytor samt vävklstring skall vid nymålning utföras före uppsättning av foder, täcklistor, socklar och dylikt.
- Vid takvinklar neddrages takfärgen ca 6 mm. Detta gäller kontorsrum eller liknande rum.
- Tätspackling med skarvremor utförs på gipsskivor i takvinklar, hörn och i skarv mot betong och dylikt.
- Skyltar och dylikt får ej övermålas.
- Vid underhållsmålning skall tillses att skadade eller nedbrutna färgskikt avlägsnas i erforderlig omfattning för att det färdiga ytskiktet skall bli likvärdigt nymålade ytor.

Under avsnitt 3.3.1 anges kvalitetskrav för bland annat på färdiga färgskikt för byggnadsmålning av betong.

- All målning skall vara fackmannamässigt utförd.
- Kulör skall överensstämma med av respektive tillståndshavare/anläggningsägare föreskriven kulörlikare eller uppfylla angivna kulörvärden.
- Täckningen skall vara god och ha enhetlig kulör på kanter och fria ytor.
- Målningsskiktet skall vara utan rinningar, gardinbildning, sprickor, krokodilskinnstruktur, kristallisering, avflagnig, missfärgning, skäckbildning och friställen eller andra defekter.
- Blåsor, porer och kratrar i målningsskikt på betongytor och liknande får förekomma i högst det antal och i de storlekar som gäller för respektive referensyta.
- Apelsinskalsyta får förekomma i mindre omfattning.
- Sandpappersstruktur accepteras inte.
- De färdigmålade betongytorna skall överensstämma med referensytan.
- Ytdraghållfasthet/ Ytdraghållfasthet och vidhäftning skall uppfylla kraven i Tabell 3-1 Vidhäftning för respektive färgskikt (minsta medelvärden för 5 provkroppar placerade på en 50 x 50 cm yta).  
Vidhäftningsprov/ytdraghållfasthet utförs enligt 7.1.4.8. och tabell enligt nedan.

Underyta	Målningssklass	Min.medelvärde i MPa			Anmärkning
		Btg	Puts	Lagningsmaterial	
Golv	I, II, IV	2,0		2,0	För beh.typ G1-G4 3,0 MPa
Golv	III, V, VI	1,5		1,5	För beh.typ G1-G4 3,0 MPa
Väggar, Tak	I, II, IV	1,5	1,5	1,5	Även balkar och pelare
Väggar, Tak	III	1,0	1,0	1,0	Även balkar och pelare
Väggar, Tak	V	0,5	0,5	0,5	Även balkar och pelare

**Tabell 3- 1 Ytdraghållfasthetsvärden och vidhäftning mot underlag och mellan färgskikt**

Ytskyddsteknologier som nämns i TBY:n är:

- Epoxi (epoxi, zinkepoxfärg, epoxispackel, epoximassa, epoxibeläggning, epoxigrundfärg, epoxitäckfärg, epoxiklarlack, epoxiplast, epoxilim)
- Silikat (etylzinksilikatfärg)
- Polyuretan
- Akryl (akrylatlatexfärg akrylatlatexspackel, akrylsampolymerlatex)

Impregneringsvätska på kalivattenglas och impregnering med epoxi finns med.

Beteckningen hårdplast finns med för golv. Även kompositbelagda ytor nämns.

Varken polyurea, polyester eller vinylester nämns.

Härdbetong, sprutbetong och kristalliseringsteknik saknas också i dokumentet.

I TBY kapitel 3 Ytskydd inom byggnadsdelen anges att endast färgprodukter som uppfyller kraven i TBY får användas, och att dessa godkända färgprodukter definieras i ett speciellt dokument "Godkända Färgsystem för TBY, daterad 2008 (9). Färgsystem för byggnadsmålning finns under kapitel 2 i dokumentet, som har totalt nästan 300 sidor, bestående i huvudsak av produktdatablad och manualer från olika tillverkare.

## 2.2 WORKSHOP

Ett antal workshoppar/möten har inledningsvis genomförts i projektet med deltagare från Energiforsk, Vattenfall, OKG/Uniper, Ringhals, Forsmark, TVO (Finland) och Ytskyddsakademien.

Vid dessa tillfällen har i huvudsak kartläggningen med tillhörande instruktioner diskuterats och reviderats. Erfarenhetsutbyte har också ingått som ett viktigt inslag.

## 2.3 KARTLÄGGNINGAR

Kartläggningen avser betongkonstruktioner i kärnkraftverk. Frågeunderlaget till kartläggningen har arbetats fram av Ytskyddsakademien, i form av pdf och excelark, efter diskussioner som genomförts i projektets workshoppar.

Information och svar som tillförts kartläggningen har erhållits i mer eller mindre stor omfattning från deltagande kärnkraftverk.

De betongkonstruktioner som inledningsvis har kartlagts är turbinbyggnad, reaktorinneslutningar och kylvattenintag/renshus. Efter genomgång av denna inledande kartläggning har betongkonstruktionen golv lagts till, liksom en mer

generell kartläggning av den inverkan som fukt och vatten har på betong och ytskyddsbehandling i kärnkraftverk.

Avsnittet avslutas med en sammanställning över vilka skador som uppstår på betong respektive ytskydd i kärnkraftverk, följt av en del kommentarer till det som framkommit i kartläggningen.

Sammanställningar av svaren från kartläggningen har bilagts rapporten i två bilagor.

### 2.3.1 Turbinbyggnader

I ett kärnkraftverk kokas vatten så att ånga bildas som i sin tur driver en turbin. På turbinen sitter en generator som omvandlar rörelseenergin till elektricitet. Kärnbränsle används. Genom att klyva uranatomer i bränslet med hjälp av neutroner frigörs stora mängder energi som värmer vattnet. Att ta tillvara energin i det upphettade vattnet görs enligt två olika principer i de svenska reaktorerna: kokvattenprincipen och tryckvattenprincipen. (10) Turbin i Ringhals visas i figur 7.



Figur 7. Turbin, Ringhals

Informationen rörande betong i turbinbyggnader har erhållits från Ringhals och Oskarshamn, vars turbinbyggnader är cirka 40 år gamla.

Golv, pelare, tak och väggar ingår i kartläggningen. Både obehandlad och ytskyddad betong, utan spännarmering, finns med.

Miljöpåkänningar som anges är vatten, rengöringsmedel och vibrationer. Grundvatten och kylvatten från utsida tas upp.



Det finns även konstruktionsdelar som inte är utsatta för någon yttre miljöpåverkan.

Förekommande ytskydd är plastfärg, epoxi och akrylatfärg.

#### *Skador, inspektion och åtgärder*

Livslängden varierar, menar man, och ytskyddet har i vissa fall tagits bort och/eller påförts mer material av samma typ (samma teknologi) som det ursprungliga ytskyddet. Vidhäftningen kontrolleras genom dragprovning. Borttagning har skett genom slipning och fräsning. Kravet vad gäller dammutveckling vid borttagningsprocessen har varit 0 %.

Skador som uppstår på ytskyddet är vidhäftningsförluster och sprickbildning.

Inspektioner sker varje år (Forsmark) eller upp till vart femte år genom kontroll av fukt/vatten i betongen. Täcksiktets tjocklek kontrolleras liksom eventuell förekomst av armeringskorrosion.

På obehandlad betong sker genomlysning av konstruktionens karboniseringsdjup.

På golv, tak och väggar kan ytskyddet påverkas av fukt och vatten. Grundvatteninträning förekommer på lägre plan i byggnaden. Där har fuktskadade ytor belagts med keramiskt kompositmaterial. Grundvatten har trängt upp ur golvet på grund av otillräcklig dränering. Lokalt har man bilat upp skador och lagt kompositmaterial med epoxi som toppskikt. Det menar man har fungerat bra.

Kompositmaterialet består troligtvis av multifunktionell epoxi och förimpregnerade kerampartiklar. Utöver kompositmaterialet ingår också en primer som är fuktträngande som gör att belägningen får maximal vidhäftning och minimal påverkan från fukten i betongen.

### **2.3.2 Reaktorinneslutningar**

Se avsnitt 2.1.1.

Informationen rörande betong i reaktorinneslutningar har erhållits från Ringhals, Oskarshamn, Forsmark och finska OL3.

Golv, pelare, tak och väggar har kartlagts. Sju av åtta reaktorinneslutningar har ingen kontakt med någon form av media (såsom vatten eller annat). Lika många har spännarmering.

Samtliga reaktorinneslutningar är ytskyddade med bland annat epoxi. Ett av verken använder ett treskiktssystem bestående av Tecnopox aquafill 5900A, Tecnopox aquaprimer 5901A och Tecnopox aqua 5902A.

Tecnopox fill är en lösningsmedelsfri produkt baserad på epoxiharts, avsedd att användas för att stoppa upp gropiga stål- och porösa betongytor som utsätts för kraftig nötning. Tecnopox aquaprimer 5901A och Tecnopox aqua 5902A är tillhörande epoxiprimer respektive epoxifärg. (<https://www.teknos.com>)

Miljöpåkänningar som anges i kartläggningen är bor, kemikalier av olika slag, kondens, temperatur, tryck, vatten och vibrationer. Fukt i väggarna gör att ytskyddet degraderar, uppger man.

Bor förekommer i form av borsyrahaltigt vatten i bassänger för förvaring av utbränt kärnbränsle som en åtgärd för att bromsa neutronstrålning genom vattnet. Borsyra är emellertid en mycket svag syra som inte har någon nämnvärd inverkan på betong. Borhaltiga ämnen kan även blandas in i betongen för ökat motstånd mot neutronstrålning. Betongen kan då möjligen påverkas med avseende på gjutbarhet, tillstyvnads- och hårdnandeförlopp, hållfasthet (tryck, drag), deformationsegenskaper (E-modul, krypning) samt beständighet (kemisk påverkan, stålkorrosion). Någon negativ påverkan av ingjutna borföreningar på armering och eventuell tätplåt i bassängväggen är osannolik. (11)

#### *Skador, inspektion och åtgärder*

Livslängden varierar mellan 10 och 20 år eller i vissa fall upp till 40 år. För OL3 gäller 60 år.

Skador som uppstår på ytskyddet är vidhäftningsförluster, blåsbildning, slitage, sprickbildning och försvagad färgnyans. För tunt täcksikt tas också upp som en typ av skada.

Inspektioner sker årligen i sju av reaktorinneslutningarna och mer sällan i den åttonde inneslutningen. I de sju inneslutningarna har även underhåll av ytskyddet skett. Teknologier som använts är epoxi, silica modifierad akrylatsampolymer, Teknofloor primer och Tecnopox (se ovan).

Inspektionerna sker visuellt samt genom bomknackning och kontroll av fukt och vatten i betongen. Borrkärnor tas ut och tjockleken på täcksiktet kontrolleras.

Det är ytskyddet framförallt på väggarna som påverkas av fukt och vatten.

Vidhäftning kontrolleras med dragprovning.

Skador uppstår även vid de årliga revisioner som genomförs vid kärnkraftverk, för att anläggningen ska fortsätta fungera som planerat. Reaktorerna stängs då av och

en del av reaktorns bränslestavar byts ut. Vid revisioner arbetar många personer i anläggningen under lång tid och olika typer av skada uppstår till följd av den hårda trafikbelastningen.

Ytskyddande färg har tagits bort på sju av åtta reaktorinneslutningar. Borttagning av ytskyddet har skett genom skrapning, slipning och vattenblästring. Armeringskorrosion har åtgärdats. På frågan om eventuellt krav på 0 % dammutveckling vid borttagningsprocessen har inget enhälligt svar erhållits. (Man har med andra ord svarat både ja och nej.)

Ytskyddsmålning har också skett ovanpå ursprunglig ytskyddsbehandling.

### 2.3.3 Kylvattenintag/rencus

På ett kärnkraftverk används enorma mängder vatten för kylning i produktionsprocessen. En enda reaktor behöver cirka 40 000 liter vatten i sekunden. Därför är våra kärnkraftverk placerade vid kusterna.

Vid kylvattenintaget rensas fisk, musslor, maneter och tång bort regelbundet. De spolats tillbaka ut i havet eller komposteras. (12)

Informationen rörande betong i kylvattenintag har erhållits från Ringhals, Forsmark samt finska OL3 och O1/2.

Golv, tak och väggar har kartlagts. Tre av fyra kylvattenintag har spännarmering. Två av fyra intag är ytskyddade, och resterande två oskyddade.

Som miljöpåverkningar anges kondens, kemikalier, temperatur, tryck, saltvatten och erosion.

*Skador, inspektion och åtgärder*

Livslängden varierar, men två av intagen är över 40 år.

Skador på ytskyddet uppstår i form av blåsbildning och sprickbildning.

Det är framför allt i skvalpzonen som både betong och eventuellt ytskydd utsätts för fukt- och vattenpåverkan.

För ett verk anges att ytskyddsfärg tagits bort genom blästring och slipning. Inget krav på 0 % dammutveckling under borttagningsprocessen har förekommit. Betongen har sedan ytskyddats med Tecnopox Aqua V.

Vidhäftning kontrolleras med dragprovning.

För oskyddad betong har armeringskorrosion konstaterats. Armeringskorrosionen visar sig i form av svartrost eller som bomparter i betongen, och i vissa fall även

som rostutfällningar. Erosionsskador noteras där ballasten blivit synlig, liksom kalkutfällning på torr sida av kylvattenvägen. Ytbehandling av armeringen har tagits upp som en möjlig åtgärd för att skydda betongen mot skador till följd av armeringskorrosion.

Inspektioner sker som regel årligen, men också mer sällan, genom visuell bedömning och bomknackning. Borrkärnor tas ut och tjockleken på täcksiktet kontrolleras. Betonginspektion med hjälp av markradar (GPR, Ground Penetrating Radar) har också använts, med gott resultat.

Till kylvattenanläggningen (vid till exempel Ringhals kärnkraftverk) hör intagstunnlar, rens hus, svallbassänger och utloppstunnel. (11)

De kylvattentunnlar som leder till kärnkraftverkets reaktorer har visat sig vara en populär plats för musslor och annat havsliv. Det växande antalet ställer dock till problem. Därför måste musslorna årligen rensas bort. (13) Figur 8 visar bild från kylvattentunnel.



Figur 8. Den nedre delen av betongväggen är rengjord med vattenkanon. Foto: Ringhals

Informationen rörande betong specifikt i rens hus har erhållits endast från Ringhals.

Pelare och väggar ingår i kartläggningen.

Miljöpåkänningar som anges för betongen är kondens, temperaturvariationer, armeringskorrosion samt höga kloridhalter.

Betongen är ytskyddad och ommålad i omgångar under 40 års tid.

*Skador, inspektion och åtgärder*

Skador på ytskyddet uppstår främst till följd av erosion.

Inspektioner sker vart tredje år. Bomknackning genomförs, borrhärdar tas ut och tjockleken på täcksiktet kontrolleras. Betonginspektion med hjälp av markradar (GPR, Ground Penetrating Radar) har också använts, med gott resultat.

Det är framför allt i nedre delen av golvet som betongen utsätts för fukt- och vattenpåverkan.

**2.3.4 Golv**

Informationen rörande golv har erhållits från Oskarshamn och Forsmark.

Detta avsnitt har delats upp i olika golvavsnitt beroende på var i anläggningen som golvet är placerat.

*Godsmottagning*

Den största påkänningen som golvet i en godsmottagning utsätts för kommer från nötande trucktrafik.

Betonggolvet är ytskyddat sedan tio år tillbaka med epoxi. Skador i form av vidhäftningsförlust, sprickbildning och blåsbildning har uppstått på ytskyddet som därför tagits bort och ersatts med ny ytskyddsbehandling av epoxi.

Inspektion sker varje år varvid betongen kontrolleras med avseende på fukt- och vatteninnehåll. Täcksiktets tjocklek kontrolleras liksom eventuella skador till följd av armeringskorrosion.

*Förrådsbyggnad*

Skadade golvtytor av asfalt respektive betong i förrådsbyggnader har på försök åtgärdats med polyurea som ytskydd. Åtgärden utfördes 2019 för en framtida utvärdering. Resultatet har hitintills varit tillfredsställande.

*Reaktorhall*

Golv i reaktorhall är sedan 30 år tillbaka ytskyddat med epoxi. Skador som eventuellt kan uppstå blir till följd av slitage, menar man.

*Under mark – generellt*

Golv under mark ligger på berg eller bergdränage. Skador på ytskyddet uppstår i form av vidhäftningsförlust och blåsbildning.

Vid underhåll av ytskyddet skrapas befintlig färg bort och ersätts med ny enligt samma teknologiförfarande. Detta måste göras med jämna mellanrum.

#### *Turbinhall*

Golv i turbinhall ligger inte på mark utan mellan våningsplan.

Skador på golv uppstår på grund av mycket trafik. Utrymmen där många människor vistas under pågående revisionsarbete får lätt stötskador. Detta gäller framför allt turbin- och reaktorinneslutning.

För ett stort skadat parti görs ibland en större golvyta om, vilket kan vara problematiskt, speciellt under pågående revision, eftersom avspärrning krävs och revisionsarbetet påverkas negativt.

Skador på golv till följd av blåsbildning och sprickbildning anges också i kartläggningen.

Reparation sker genom skrapning och lagning med samma teknik som den befintliga.

#### **2.3.5 Utsatta anläggningsdelar där vatten och fukt skadar betongen**

Information angående vilka delar i en kärnkraftsanläggning som är speciellt utsatta för fukt och vatten har erhållits från Oskarshamn och Forsmark.

#### *Hjälpkylvattenschakt*

Schakten utsätts för ensidigt vattentryck från havsvatten.

Armeringskorrosion uppstår och betongen skadas. Ytskyddet släpper också från betongunderlaget.

Reparation som utförts 2022 tas upp i kartläggningen. Bilning och betonglagning har ingått i denna.

#### *Hjälpkylvattenkanal – utlopp*

Armeringskorrosion uppstår och betongen skadas.

Renovering har genomförts 2020 med ytskyddsprodukt Teknopur Polyurea 300-800 som är en tvåkomponent, lösningsmedelsfri elastomerbeläggning.

Beläggningen appliceras med spruta. Produkten är baserat på ren polyurea.

Resultatet ser bra ut enligt vidhäftningsprovning som utförts 2021, menar man.

*Väggar under marknivå*

Väggar under marknivå utsätts också för ensidigt vattentryck.

Grundvatten tränger in i betongen, ofta genom sprickor. Ytskyddet släpper och kalkutfällning uppstår.

Reparation genomförs med injektering som tätar betongen. I vissa fall tränger emellertid fukt sedan igenom på andra ställen i väggen.

*Reaktorinneslutning*

Sprinkling, som förekommer i en reaktorinneslutning, ger upphov till betongsläpp. (Gäller för Oskarshamn 3.)

Reparation har genomförts genom spackling och ytskydd med en Epirex Aqua Primer. Resultatet ser bra ut, menar man.

**2.3.6 Sammanställning över skador och skadeeffekter**

Sammanställningen baseras på de svar som erhållits i kartläggningen rörande betong som ingår i kärnkraftanläggningar vid kylvattenintag, reaktorinneslutningar, renshus, turbinbyggnad samt för golv.

I tabellen nedan listas de skador och skadeeffekter på betong och ytskydd som angivits i kartläggningen för olika anläggningsdelar.

Spännarmering ingår i reaktorinneslutningar och kylvattenintag.

Tabell 2. Skador och skadeeffekter på betong och ytskydd för olika anläggningsdelar i kärnkraftverk – enligt kartläggningen. Se nästa sida.

Skada och skadeorsak	Konstruktionsdelar som utsätts för denna skada	Effekter för betong och/eller ytskydd
Armeringskorrosion	Samtliga konstruktionsdelar utom turbinbyggnader	Svartrost, Bompatier, Rostutfällningar
Bor	Reaktorinneslutningar	Inga nämnvärda effekter
Erosion	Kylvattenintag/Renshus	Synlig ballast
Grundvatten och kylvatten	Turbinbyggnader, Väggar under marknivå	Vidhäftningssläpp, Sprickor, Blåsor
Kemikalier (ej specificerade)	Reaktorinneslutningar och kylvattenintag	Vidhäftningssläpp Sprickor, Blåsor
Klorider	Renshus	Armeringskorrosion
Kondens	Reaktorinneslutningar, Kylvattenintag/Renshus	Vidhäftningssläpp, Sprickor, Blåsor
Rengöringsmedel	Turbinbyggnader	Vidhäftningssläpp, Sprickor
Slitage från trafik	Reaktorinneslutningar, Golv	Slitage
Sprickor	Golv	Vatteninträngning
Stötskada	Golv	Tunnare täcksikt
Temperatur	Reaktorinneslutningar, Kylvattenintag/Renshus	Sprickbildning
Tryck	Turbinbyggnader, Reaktorinneslutningar, Kylvattenintag	Sprickbildning
Vatten och fukt	Golv, Hjälpkylvattenschakt, Tak, Väggar över eller under marknivå	Vidhäftningssläpp Sprickor, Blåsor
Vibrationer	Turbinbyggnader, Reaktorinneslutningar	Sprickbildning



### 3 Diskussion

Betongkonstruktioner påverkas av sin omgivning, och beständigheten påverkas genom interaktion med egenskaper hos den yttre miljön.

För betong och ytskydd i kärnkraftverk konstateras från kartläggningen att fukt och vatten i betongen ofta är orsak till de skador som uppstår. Skadorna uppstår på betongen som sådan, med armeringskorrosion som eventuell följd. Skador uppstår också på det eventuella ytskyddet som då släpper från underlaget, spricker eller får blåsor.

Armeringskorrosion har inrapporterats för samtliga konstruktionsdelar, utom för turbinbyggnader.

Armering som är ingjuten i betong har visserligen normalt sett en mycket låg korrosionshastighet, beroende på hög alkalinitet (höga pH-värde) hos betongen, men korrosion kan trots detta uppkomma under vissa betingelser.

Om betongen är torr sker ingen korrosion eftersom vatten behövs för korrosionsprocessen. Även när betongen är fuktmättad så sker i stort sett ingen korrosion eftersom den nödvändiga syrgasen inte kan transporteras tillräckligt snabbt till armeringen för att underhålla korrosionsprocessen.

När betong är utsatt för luft blir den "karbonatiserad", det vill säga kalciumhydroxiden omvandlas till kalciumkarbonat genom reaktion med koldioxid. Detta är en långsam process som bara påverkar det yttre skiktet i betongen, men som gör att pH-värdet sjunker, med påföljande risk för armeringskorrosion.

Betongen kring korroderad armering kan efter hand sprängas sönder på grund av armeringens ökande volym (korrosionsprodukterna kräver plats). Fukt och syre kan sedan tränga in genom sprickorna, vilket gör att armeringsjärnen blir ännu mer utsatta.

Kärnkraftsanläggningar ligger ofta nära havet. Grundvattnet inom vissa regioner och nivåer består av en blandning av söt- och bräckt vatten eller havsvatten. Betongen kommer då exponeras för t.ex. klorider.

Armeringskorrosion är generellt uttryckt allvarligt eftersom konstruktionens bärförmåga kan nedsättas och skadans omfattning inte alltid syns vid visuell yttre inspektion. I vårt fall har armeringskorrosionen observerats genom svartrost, bompartier, rostutfällning samt frilagd rostig armering.

Skadad betong i anläggningarna har reparerats och underhåll av befintligt ytskikt har genomförts. Olika teknologier har använts med mer eller mindre gott resultat. Skadade ytor har i något fall på försök åtgärdats med annan teknologi än den som anbefalls i TBY. Åtgärden har i sådant fall utförts för en framtida utvärdering.

#### *Ytskydd*

Skador i form av sprickbildning, i till exempel en ytskyddsfärg, kan uppstå om produkten i fråga har uppnått eller närmar sig sin livslängd. Om färgen utsätts för en miljö som den inte är resistent mot kan detta förkorta livslängden. Exempel på sådan miljö är kemikalier av olika slag eller den omgivande temperaturlastningen.

Sprickor som uppstår i ytskyddet till följd av sprickbildning i betongunderlaget kan undvikas genom val av en mer elastisk och hård ytskyddsteknologi.

Sprickor i betongen kan också bero på för långa intervaller mellan expansionsfogar, vilket gör att betongen inte kan expandera eller krympa fritt, utan spricker i stället.

Skador i form av försämrade vidhäftning kan bero på dåligt förarbete, fuktbelastning från betongen m m. Betonghuden på nygjuten betong måste förstas alltid avlägsnas.

Skador till följd av slitage från trafikbelastning och/eller mekanisk slagpåverkan av något slag kan reduceras genom val av en mer elastisk och hård ytskyddsteknologi.

Försvagad färgnyans (kulör) kan bero på att färgen åldrats eller inte är helt resistent mot sin omgivning. Fukt och/eller avsaknaden av dagsljus kan också påverka. Så kallad aminosvettning kan uppstå på ytskyddets ovanyta.

Blåsor kan bero på att fukt tränger upp till ytan eller att det finns porer i ytskyddsfärgen. Porerna ser ofta ut som ett nålstick, men är toppen på en por. Poren fylls inte upp av färgen och man får i stället en krater, eller blåsa, där luften i poren trycker upp färgskiktet.

Fukt och vatten är uppenbart en stor bidragande orsak till en hel del av de skador som enligt kartläggningen uppstår på betong och ytskydd i kärnkraftverk.

Det finns upplysningsvis teknologier idag för att skydda eller ta hand om den fukt och det vatten som finns i betongen, och därmed förhindra att eventuell armeringskorrosion uppstår över tid. Fukt och vatten tränger då inte heller upp till betongytan, vilket bidrar till bibehållen god vidhäftning mellan ytskydd och betong.

Olika typer av skada har enligt kartläggningen uppstått i de olika kärnkraftverken. Vid underhåll har man vid vissa kärnkraftverk inte använt ursprunglig typ av ytskyddsprodukt, utan valt annan modernare teknologi. Kunskap och erfarenhet från dessa åtgärder och val bör vara intressant att överföra mellan verken. Det har hänt mycket under de senaste 20 åren när det gäller ytskydd och troligen finns det nya teknologier, som inte används i kärnkraftverk idag, men som skulle kunna bidra till längre livslängd för ytskyddet och därmed också för betongen.

Det finns betong som inte ytskyddas alls i våra kärnkraftverk idag, men som kanske borde utrustas med ytskydd i en framtid. Andra verk (om möjligt även utomlands) bör då först konsulteras angående deras produkt- och teknologival för specifika betongkonstruktioner och miljöpåkänningar. Livslängden blir en avgörande faktor.

Underhåll av befintligt ytskydd på betong är mycket viktigt och sker vid våra kärnkraftverk som regel genom en strykning ovanpå befintlig ytskyddsfärg. Här bör kunskap och erfarenheter om lyckat och mindre lyckat utförande kommuniceras mellan verken för att gemensamt komma fram till vad som är viktigt och, inte minst, olämpligt vid utförandet. Resultaten från en sådan kommunikation sammanfattas lämpligen i en särskild rapport.

Beträffande förarbetet inför en ytskyddsbehandling på betong i kärnkraftverk så är det intressant att veta vilka arbetsmetoder som används. Används t. ex. robotar på väggar och/eller golv? Används vattenblästring med eventuell rening, pH-justering och återanvändning av vattnet? Används stål-kuleblästring, o. s. v.? Finns det med andra ord nya arbetsmetoder som kan spara tid och pengar åt kärnkraftverken? Dessa frågor har inte tagits upp i kartläggningen, men borde lyftas fram.

Ett annat område som inte heller tagits upp i kartläggningen rör utrustningar och konstruktioner i metall som renoverats och ytskyddats i kärnkraftverk under mer än 30 år. Det finns nämligen teknologier idag som inte fanns för 20 år sedan. Och då är frågan vilka av dessa nyare teknologier som eventuellt används och vilka som visat goda resultat med lång livslängd. Vissa kärnkraftverk står troligtvis inför renoveringar av utrustning och konstruktioner i metall, varför frågan om vad som passar bäst inom olika arbetsområden är viktig, inte minst ur ekonomisk synvinkel. När det gäller metall finns sedan cirka 10 år tillbaka både effektiva och dammfria förarbetsmetoder. Metoderna är också mycket kostnadseffektiva.

Ett annat högaktuellt arbetsområde rör dekontaminering, det vill säga avlägsnandet av radioaktiva ämnen på metallkonstruktioner och utrustningar så att dessa kan friklassas i stället för att slutförvaras. Det finns enligt uppgift specialutvecklade effektiva utrustningar och arbetssätt för denna hantering.

## 4 Slutsatser

### 4.1 LITTERATUR

Litteraturstudien visar att betongkonstruktioner påverkas av den omgivande miljön, och att beständigheten kan äventyras genom interaktion med aggressiva egenskaper hos den yttre miljön. Betongen behöver därför skyddas med hjälp av lämplig ytskyddsteknologi. Val av teknologi beror på en rad olika faktorer som behöver beaktas. Stöd för optimalt val av teknologi saknas i litteraturen.

#### 4.1.1 TBY

Hanteringen av ytskydd på de olika kärnkraftverken utförs enligt särskilda tekniska bestämmelser, TBY (tekniska bestämmelser ytskydd).

Varken polyurea, polyester eller vinylester ingår, liksom inte heller hårdbetong, sprutbetong eller kristalliseringsteknik. Dessa teknologier skulle efter genomförda studier och relevant förprovning, med tillfredsställande resultat, eventuellt kunna inkluderas i TBY:n.

### 4.2 KARTLÄGGNINGEN

Skador och skadeeffekter på betong och ytskydd som tas upp för olika anläggningsdelar i kärnkraftverken är: armeringskorrosion, bor, erosion, grundvatten och kylvatten, kemikalier, klorider, kondens, rengöringsmedel, slitage från trafik, sprickor, stötskador, temperatur, tryck, vatten och fukt samt vibrationer.

Följande konstateras:

- Fukt och vatten i betongen är ofta orsak till de skador som uppstår. Skadorna uppstår på betongen som sådan, med armeringskorrosion som eventuell följd. Skador uppstår också på det eventuella ytskyddet som då släpper från underlaget, spricker eller får blåsor.
- Armeringskorrosion har inrapporterats för samtliga konstruktionsdelar, med undantag för turbinbyggnader. Armeringskorrosionen har i förekommande fall observerats genom svartrost, bompartier och rostutfällning.
- Skadad betong i anläggningarna har reparerats och underhåll av befintligt ytskikt har genomförts. Olika teknologier har använts med mer eller mindre gott resultat.

Betong är inte vattentät, utan uppvisar bara ett mer eller mindre stort motstånd mot vatteninträning. Fukt och vatten tränger över tid in i betongen genom

sprickor, porer och andra håligheter. Det finns dock betong med stort motstånd mot vatteninträning.

Ytskydd krävs mot fukt och vatteninträning, och ytskyddet kräver i sin tur ett bra betongunderlag att fästa mot. Vidhäftningens styrka och beständighet varierar med betongens beskaffenhet (torr, ren...), typ av primer (epoxi, akryl...) och typ av ytskydd. Applicerings- och utläggningsarbetets kvalitet har också avgörande stor betydelse.

Skador på betong med eventuell armeringskorrosion som följd undviks således med ytskydd av lämpligt slag och väl utfört för- och appliceringsarbete.

Skador på ytskyddet kan bero på flera olika faktorer, så som dåligt förarbete, olämpligt val av produkt och dåligt utfört appliceringsarbete.

För epoxi, som enligt kartläggningen mest använts som ytskydd på betong i de aktuella kärnkraftsverken, utgörs skadorna oftast av sprickbildning i kombination med vidhäftningssläpp. Skador i form av sprickbildning och vidhäftningssläpp kan undvikas med annan typ av mer elastisk produkt.

## 5 Rekommendationer, forsknings- och utvecklingsbehov

Av den genomförda kartläggningen framgår att fukt och vatten är en stor bidragande orsak till en hel del av de skador som uppstår på betong och ytskydd i kärnkraftverk. Följande rekommenderas för att minska denna påverkan och därmed även antalet skador:

- Prova och utvärdera annan teknologi än den som anbefalls i TBY. Uppdatera TBY.
- Inhämta ny kunskap om ytskyddsprodukter och -system som bäst lämpar sig för betong i kärnkraftverk.
- Kommunicera kunskap och erfarenheter om lyckat och mindre lyckat utförande mellan verken för att gemensamt komma fram till vad som är viktigt och, inte minst, olämpligt vid olika typer av utföranden. En rapport över sådan kunskap och erfarenheter upprättas.
- Vid vissa kärnkraftverk har man inte använt ursprunglig typ av ytskyddsprodukt, utan valt annan modernare teknologi. Kunskap och erfarenhet från dessa åtgärder och val bör vara intressant att överföra mellan verken.
- Det finns betong som inte ytskyddas alls i våra kärnkraftverk idag, men som kanske borde utrustas med ytskydd i en framtid. Frågan borde tas upp och utredas.
- Beträffande förarbetet inför en ytskyddsbehandling på betong i kärnkraftverk så vore det intressant kartlägga vilka arbetsmetoder som används. Finns det nya arbetsmetoder som kan spara både tid och pengar? Dessa frågor har inte tagits upp i kartläggningen, men borde lyftas fram.

Resultat från den genomförda projektstudien visar på en hel del problem relaterade till val och utförande av ytskydd på betong i kärnkraftverk. Problem som leder till onödiga skador på både betong och ytskydd.

En hel del information till kartläggningen saknas. Vi föreslår därför att arbetet får fortsätta i en ny projektetapp. Exempel på information som saknas är val av arbetsmetoder, lyckade och mindre lyckade utföranden, mer information om vilka tekniker som använts på testtytor och hur dessa tester fallit ut.

En kompletterande mer omfattande och tydligare kartläggning och dokumentation av skador, skadeorsaker, utförande, arbetsmetoder, ytskyddsprodukter och -system i våra kärnkraftverk krävs. Detta kan göras med kompletterande frågor till de medverkande kärnkraftverken.

Att inhämta motsvarande information från kärnkraftverk i andra länder är också önskvärt för att kunna kartlägga vilka nya teknologier och arbetssätt som använts.

## Bilaga A: Kartläggning – Uppdelning konstruktioner

Bilaga A är en sammanställning över de svar som inkommit från personer som representerat de medverkande kärnkraftverken i projektet. Svaren har lagts in i ett excelark som sedan, för lästydlighetens skull, delats upp vertikalt i tre delar och överförts till ett worddokument. Frågor och svar rörande olika konstruktionsdelar redovisas i tabellerna nedan



1. Kärnkraftverk	4.1. ZON	4.2. Betongkonstruktion ( renshus, elbyggnad, kylvattenväg etc )	5. Yta/ytorsom kartagts	6. Någon spänning	7.1. Vilka påkänningar har betongen i dessa olika områden (golv, väggar, tak, pelare)	7.2. Ytterligare information dessa påkänningar	8. Betong i kontakt med media	9. Utan kontakt med media	10. Betongen är utskyddad med teknologi	11. Livslängd hittills	12.1. Inspektion av betongen har visat skador/nedbrytning på ytskyddet	12.2. Ytterligare information dessa påkänningar
Ringhals	Vit	Reaktorinneslutningsvägg (PWR) utomhus	Väggar	Ja	Temp, Övriga påkänningar	Övriga: Utomhusmiljö (regn, salta vindar etc.). Temp: Sol och kyla	Nej	Ja	Ja	ca 20 år då troligtvis bara ommålning på gammal ytbehandling	Spricker, Försvagad färgnyans	Större delen av sprickorna beror på att äsen betongen spruckit.
Ringhals	Röd, Gul, Blå	Reaktorinneslutning invändigt	Väggar, Pelare	Nej	Kemikalier %, Tryck, Temp	Kemikalie: exempelvis bor, Tryck: vid täthetsprovning, Temp: ca 40 gr, varmare vid vissa genomföringar.	Nej	Ja	Ja	ca 40 år	Vidhäftning, Försvagad färgnyans	Vadhäftning: fåtal prov under godkänt värde, majoriteten är godkända
Ringhals	Vit	Renshus över vattennivå	Väggar, Pelare	Nej	Temp, Övriga påkänningar	Hög halt av klorider, temperaturskillnader orsakar kondens	Nej	Ja	Ja	40 år, ommålat i omgångar	Erosion	Erosion ? - Främst mekaniska skador. Lokalt skador orsakat av höga kloridhalter.
Oskarshamn 3	Röd	Reaktorinneslutning rum A4.83	Golv	Ja	Tryck, Temp, Ånga		Nej	Nej	Epoxi	10 år	Spricker	-
Oskarshamn 3	Blå	Turbinbyggnad, D02.28, del mot kylvattenväg	Väggar, Tak	Ja	Kemikalier %, Övriga påkänningar	Skurmedel som påverkar ytskyddet, andra sidan av vägg finns kloridhaltigt vatten	Ja	Nej	Plastfärg	3 år	Vidhäftning, Släpp, Spricker	-
Oskarshamn 3	Gul	Turbinbyggnad, D1.04	Golv	Nej	Kemikalier %		Nej	Ja	Epoxi	5 år	Släpp, Spricker	
OKG Godsmottagning	Vit	Golv i godsmottagning	Golv	Nej	Tryck, Övriga påkänningar	Nötning från truckar	Nej	Nej	Epoxi	10 år	Vidhäftning, Släpp, Spricker, Blåsor	
Ringhals	Vit	Turbinbyggnad obehandlad	Golv, Väggar, Tak, Pelare	Nej	Media vatten	Grundvattnet och kylvattnet från utsidan	Ja	Nej	Nej			
Ringhals	Vit	Turbin, ytbehandlad	Golv, Väggar, Tak, Pelare	Nej	Övriga påkänningar	Vibrationer	Nej	Ja	Epoximassa PPG Nuklad, Akrylatfärg, Fuktackadade ytor har belagts med keramisk	ca 40 år på stora delar, målning på ursprungsbehandling	Spricker	Sprickor från vibrationer. Mekanisk påverkan främst.
Forsmark	Vit	Kylvattenvägar	Golv, Väggar, Tak	Nej	Media vatten, Tryck, Erosion	Saltvatten	Ja		Nej			
Forsmark	Röd	Väggar övre RI	Väggar	Ja	Temp, Övriga påkänningar	Hög strålning under drift. Under revisionsavställning är det väldigt trafikerat vilket orsakar de flesta skadorna.	Nej		Ja. Målat i tre svängar: 1 - Tecnopox aquafill 5900A, 2 - Tecnopox aquaprimer 5901A, 3 - Tecnopox aqua 5902A	Olika, på vissa ställen är färgen kvar från byggtiden (böjan av 1980-talet). Man gör punktinsatser och målar om där det är möjligt.	Vidhäftning, Släpp, Spricker, Blåsor, Försvagad färgnyans	Färgen är förgulnad
Forsmark	Röd	Väggar nedre RI	Väggar	Ja	Temp	Hög strålning under drift. Under revisionsavställning är det väldigt trafikerat vilket orsakar de flesta skadorna.	Nej		Ja. Målat i tre svängar: 1 - Tecnopox aquafill 5900A, 2 - Tecnopox aquaprimer 5901A, 3 - Tecnopox aqua 5902A	Sedan byggtiden. På vissa ställen där det är möjligt gör man punktinsatser och målar om vid behov.	Vidhäftning, Släpp, Spricker, Blåsor, Försvagad färgnyans	Förgulnad färg.
Forsmark	Röd	Vägg vid sluss in till nedre RI på Forsmark 3	Väggar	Ja	Övriga påkänningar	Fukt i väggar, orsak är inte helt klarlagt men ytskiktet har degraderat pga detta.	Ja	Ja	Ja		Sedan byggtiden. Eventuellt att man har bättrat på vissa punkter.	Vidhäftning, Försvagad färgnyans
OL1...3	Röd, Gul, Blå, Vit	kylvattenväg, invst bassäng	Golv, Väggar, Tak	Ja	Media vatten, Kemikalier %, Temp, Erosion	kondens	Ja	Ja, Nej	ja	varierar	Spricker, Blåsor	

1. Kärnkraftverk	4.1. ZON	4.2. Betongkonstruktion (renshus, elbyggnad, kylvattenväg etc)	5. Yta/ytorsom kartagts	13. Har något ytskydd tagits bort	14. Om ja vilken metod för att ta bort ytskyddet	15. Är kravet 0% damm	16. Har betongen ytskyddats igen där borttagning skett av det gamla ytskyddet	17. Om ja vilken teknologi	18. Vilka kontroller användes för att det nya ytskyddet skall ha tillräcklig vidhäftning	19. Oskyddad betong	20. Livslängd hittills
Ringhals	Vit	Reaktorinneslutningsvägg (PWR) utomhus	Väggar	Ja	Vattenblåstring	Nej	Ja	Nordsjö Stay Clean - silica modifierad akrylatasampolymer färg	Dragprov, (Ytan kontrollerades efter vattenblåstring - intakt yta, bra kvalitet på betongen)	Nej	ca 40 år
Ringhals	Röd, Gul, Blå	Reaktorinneslutning invändigt	Väggar, Pelare	Nej	-	Ja	Ja	Endast lokalt på de ställen där dragprov genomförts. Enligt TBY.	-	Nej	ca 40 år
Ringhals	Vit	Renshus över vattennivå	Väggar, Pelare	Nej	-	Nej	-	Vid ommålning (på gammal ytbehandling) - Vattenburen akrylatfärg	Endast uppföljande avsyning enligt underhållsplan.	Nej	ca 40 år
Oskarshamn 3	Röd	Reaktorinneslutning rum A4.83	Golv	Ja	Slipning	Ja	Ja	Epoxi	Dragprov	Nej	år 1985
Oskarshamn 3	Blå	Turbinbyggnad, D02.28, del mot kylvattenväg	Väggar, Tak	Ja	Slipning	Ja	Ja	Plastfärg	Dragprovning	Nej	år 1985
Oskarshamn 3	Gul	Turbinbyggnad, D1.04	Golv	Ja	Slipning	Ja	Ja	Epoxi	Dragprovning	Nej	1985
OKG Godsmottagning	Vit	Golv i godsmottagning	Golv	Ja	Blåstring	Ja	Ja	Epoxi	Dragprovning	Nej	1975
Ringhals	Vit	Turbinbyggnad obehandlad	Golv, Väggar, Tak, Pelare	-	-	-	-	-	-	Ja	ca 40 år
Ringhals	Vit	Turbin, ytbehandlat	Golv, Väggar, Tak, Pelare	Ja	Fräsning/Slipning	Ja	Ja	Samma som ovan (se 10)	Dragprov	Nej	ca 40 år
Forsmark	Vit	Kylvattenvägar	Golv, Väggar, Tak	-	-	-	-	-	-	Ja	1980, 1981 och 1985 (Driftsättningsår för Forsmark 1, 2 & 3)
Forsmark	Röd	Vägg övre RI	Väggar	Ja	Skrapning och slipning	Nej inte under revisionsavställning men man försöker hålla nere dammet i så hög utsträckning som möjligt med hjälp av dammsugare kopplade till maskinerna som används.	Ja	Samma som original	Dragprov görs varje år men inte i samband med nymålning.	Nej	1980 för Forsmark 1
Forsmark	Röd	Vägg nedre RI	Väggar	Ja	Skrapning och slipning.	Nej inte under revisionsavställning men man försöker hålla nere dammet i så hög utsträckning som möjligt med hjälp av dammsugare kopplade till maskinerna som används.	Ja	Samma som originalet.	-	Nej	1980 Forsmark 1
Forsmark	Röd	Vägg vid sluss in till nedre RI på Forsmark 3	Väggar	-	-	Nej	-	-	-	Nej	1985
OL1...3	Röd, Gul, Blå, Vit	kylvattenväg, invst bassäng	Golv, Väggar, Tak	Ja	blåstring, slipning	nej	Ja	Teknopox Aqua V	Dragprovning	Ja	verierar

1. Kärnkraftverk	4.1. ZON	4.2. Betongkonstruktion ( rensushus, elbyggnad, kylvattenväg etc )	5. Yta/ytor som kartlagts	21. Hur ser eventuella skador ut	22.1. Inspektion har skett genom	22.2. Ytterligare information dessa påkänningar	23. Vilka områden påverkas troligen av fukt/vatten i betongen	24. Inspektioner sker	25. Övrig information att lämna
Ringhals	Vit	Reaktorinneslutningsvägg (PWR) utomhus	Väggar, Pelare	Delaminering orsakad av amereringskorrosion. Tunnares täcksjikt än vad det skulle varit.	Borkämror skickade för kontroll av djupet nedbrytningen, identifikation amereringskorrosion	Borkämror med avseende på klorider och karbonatisering.	Övre delen av väggen i anslutning till kupol. Åtgärder har genomförts se pkt 25.	Mer sällan	Ommåning genomförd under 2022.
Ringhals	Röd, Gul, Blå	Reaktorinneslutning invändigt	Väggar, Pelare	Endast mekaniska skador.	Tjocklek täcksjikt	Tjocklek med avseende på ytbehandling kontrolleras i samband med vidhållningsprov. Annars visuell kontroll/avsyning.	Konstruktion i anslutning till reaktorbasäng om det finns täckage.	Ärigen	
Ringhals	Vit	Renshus över vattennivå	Väggar, Pelare	Lokala områden med amereringskorrosion.	Identifikation amereringskorrosion	Bomknackning och avsyning	Nedre delar mot golv.	Mer sällan	3 årsintervall på inspektioner.
Oskarshamn 3	Röd	Reaktorinneslutning rum A4.83	Golv	Finns inga	Borkämror skickade för kontroll av djupet nedbrytningen	-	-	Ärigen	-
Oskarshamn 3	Blå	Turbinbyggnad, D02.28, del mot kylvattenväg	Väggar, Tak		Kontroll fukt/vatten i betongen		Vägg och tak	Mer sällan	
Oskarshamn 3	Gul	Turbinbyggnad, D1.04	Golv	-	Kontroll fukt/vatten i betongen, Tjocklek täcksjikt			Mer sällan	
OKG Godsmottagning	Vit	Golv i godsmottagning	Golv	Trycksador	Kontroll fukt/vatten i betongen, Tjocklek täcksjikt, identifikation amereringskorrosion			Ärigen	
Ringhals	Vit	Turbinbyggnad obehandlad	Golv, Väggar, Tak, Pelare	Inga kända degraderingar. Finns kalkutfällningar	Identifikation amereringskorrosion	Avsyning av konstruktionen görs.	Tak, vägg och golv.	Mer sällan	Avsyning var tredje år. Genomlysning av konstruktionen har gjorts som identifierat behov av att förtydliga instruktioner och tydliggöra vilka väggar som har enkelsidigt vattentryck.
Ringhals	Vit	Turbin, ytbehandlat	Golv, Väggar, Tak, Pelare	Sprickor från vibrationer och mekaniskt slitage.		Avsyningar görs.	Grundvatteninträning på lägre plan i byggnaden.	Mer sällan	Avsyningar 3 år för marknivå och nedåt och 5 år över marknivå.
Forsmark	Vit	Kylvattenvägar	Golv, Väggar, Tak	Amereringskorrosion som visar sig genom svartrost eller bomparter i betongen (i vissa fall även rostutfällningar), erosions-skador där ballasten blivit synlig, kalkutfällning på torrsida av kylvattenvägen.	Tjocklek täcksjikt, Borkämror skickade för kontroll av djupet nedbrytningen, identifikation amereringskorrosion	Vanligaste inspektionsmetoden är okulär inspektion och bomknackning, radar har nyligen använts i ett projekt med gott resultat, borkämror kan tas för att bl.a. kolla kloridinträngningsdjup.	Skivzonen och nedåt är konstant blött. Problemen uppstår främst i skivzonen. Fuktig miljö i hela kanalen dock.	Mer sällan	Fråga från medarbetare: Vore det kanske intressant att ytbehandla rostfri i vattenvägar för att skydda betongen mot amereringskorrosion?
Forsmark	Röd	Vägar övre RI	Väggar			Okulär inspektion	Områden där man arbetat i närheten av vägg så att vatten har stänkt/runnit.	Ärigen	
Forsmark	Röd	Vägar nedre RI	Väggar			Okulär inspektion	Områden där man arbetat i närheten av vägg så att vatten har stänkt/runnit.	Ärigen	
Forsmark	Röd	Vägg vid sluss in till nedre RI på Forsmark 3	Väggar		Kontroll fukt/vatten i betongen, Borkämror skickade för kontroll av djupet nedbrytningen	Man har gjort okulär kontroll med bomknackning, fukt och temperaturmätningar och det togs borkämror för laboratorieprovning. Konstruktionen bedöms vara i gott skick men ytskyddet har degraderat p.g.a fukten.	Hela väggen	Ärigen	
OL1...3	Röd, Gul, Blå, Vit	kylvattenväg, invst bassäng	Golv, Väggar, Tak	erosion osv.	Tjocklek täcksjikt, Borkämror skickade för kontroll av djupet nedbrytningen		skyddsbetong	Ärigen, Mer sällan	

## Bilaga B: Kartläggning – Golv

Bilaga B är en sammanställning över de svar som inkommit från personer som representerat de medverkande kärnkraftverken i projektet. Svaren har lagts in i ett excelark som sedan, för lästydlighetens skull, delats upp horisontellt och vertikalt i fyra delar och överförts till ett worddokument. Frågor och svar rörande olika golv redovisas i tabellerna nedan.

1. Kärnkraftverk	2. Kontaktperson/ernamn	3. Kontaktperson/erenpost(*)	4.1. ZON	4.2. Betongkonstruktion (renshus, elbyggnad, kylvattenväg etc.)	5. Yta/ytorsom kartlagts	6. Någon spännarmening	7.1. Vilka påkänningar har betongen i dessa olika områden (golv, väggar, tak, pelare)	7.2. Ytterligare information dessa påkänningar	8. Betong i kontakt med media	9. Utan kontakt media	10. Betongen är ytskyddad med teknologi	11. Livslängd hittills	12.1. Inspektion av betongen har visat skador/nerdbrytning på ytskyddet	12.2. Ytterligare information dessa påkänningar	13. Har något ytskydd tagits bort	14. Om ja vilken metod för att ta bort ytskyddet
ave	Mirjana	mugosamirjana@gmail.com	avenu7		agdjldho	Nej	Temp									
Ringhals	Johanna Spåls, Tommy Svederberg	kontaktpersoner	Vit	Reaktorneslutning svägg (PWR) utomhus	Väggar, Pelare	Ja	Temp, Övriga påkänningar	Övriga: Utomhusmiljö (regn, salta vindar etc.), Temp: Sol och kyla	Nej	Ja	Ja	ca 20 år då troligtvis bara ommålning på gammal ytbehandling	Spricker, Försvagad färgnyans	Större delen av sprickor/nerborer på att även betongen spruckit.	Ja	Vattenblästring
Ringhals	Johanna och Tommy	-	Röd, Gul, Blå	Reaktorneslutning invändigt	Väggar, Pelare	Nej	Kemikalier %, Tryck, Temp	Kemikalier: exempelvis bor, Tryck: vid täthetsprovning, Temp: ca 40 gr, varmare vid vissa genomföringar.	Nej	Ja	Ja	ca 40 år	Vidhäftning, Försvagad färgnyans	Vadhaftning: fåtal prov under godkänt värde, majoriteten är godkända	Nej	-
Ringhals	Johanna och Tommy	-	Vit	Renshus över vattennivå	Väggar, Pelare	Nej	Temp, Övriga påkänningar	Hög halt av klorider, temperaturskillnader orsakar kondens	Nej	Ja	Ja	40 år, ommålat i omgångar	Erosion	Erosion? - Främst mekaniska skador. Lokalt skador orsakat av höga halter av klorider.	Nej	-
Oskarshamn 3	Ulrik Brandin, Jan Gustafsson	ulrik.brandin@okg.uniper.ergym	Röd	Reaktorneslutning rum A4.83	Golv	Ja	Tryck, Temp, Ånga		Nej	Nej	Epoxi	10 år	Spricker	-	Ja	Slipning
Oskarshamn 3	Ulrik Brandin, Jan Gustafsson	ulrik.brandin@okg.uniper.ergym	Blå	Turbinbyggnad, D02.28, del mot kylvattenväg	Väggar, Tak	Ja	Kemikalier %, Övriga påkänningar	Skurmedel som påverkar ytskyddet, andra sidan av vägg finns kloridhaltigt vatten	Ja	Nej	Plastfärg	3 år	Vidhäftning, Släpp, Spricker	-	Ja	slipning
Oskarshamn 3	Ulrik Brandin, Jan Gustafsson	ulrik.brandin@okg.uniper.ergym	Gul	Turbinbyggnad, D1.04	Golv	Nej	Kemikalier %		Nej	Ja	Epoxi	5 år	Släpp, Spricker		Ja	Slipning
OKG Godsmottagning	Ulrik Brandin, Jan Gustafsson	ulrik.brandin@okg.uniper.ergym	Vit	Golv i godsmottagning	Golv	Nej	Tryck, Övriga påkänningar	Nötning från truckar	Nej	Nej	Epoxi	10 år	Vidhäftning, Släpp, Spricker, Blåsor		Ja	Blästring
Ringhals	Johanna Spåls, Tommy Svederberg	Samma som ovan.	Vit	Turbinbyggnad obehandlad	Golv, Väggar, Tak, Pelare	Nej	Media vatten	Grundvatten och kylvatten från utsidan	Ja	Nej	Nej					
Ringhals	Johanna Spåls, Tommy Svederberg	Samma som ovan	Vit	Turbin, ytbehandlat	Golv, Väggar, Tak, Pelare	Nej	Övriga påkänningar	Vibrationer	Nej	Ja	Epoximassa PPG Nuklad, Akrylatfärg, Fuktskadade ytor har belagts med keramisk komposit.	ca 40 år på stora delar, målning på ursprungsbehandling	Spricker	Sprickor från vibrationer. Mekanisk påverkan främst.	Ja	Fräsning/Slipning

1. Kärnkraft- verk	2. Kontaktperson/er namn	3. Kontaktperson/er post(*)	4.1. ZON	4.2. Betongkonstruktion (renshusetbyggnad, kylvattenväg etc.)	5. Yta/ytorsom kartlagt	6. Någon spänning	7.1. Vilka påkänningar har betongen i dessa olika områden (golv, väggar, tak, pelare)	7.2. Ytterligare information dessa påkänningar	8. Betong i kontakt med media	9. Utan kontakt media	10. Betongen är yttskyddad med teknologi	11. Livslängd hittills	12.1. Inspektion av betongen har visat skador/ner därytning på yttskyddet	12.2. Ytterligare information dessa påkänningar	13. Har något yttskydd tagits bort	14. Om ja vilken metod för att ta bort yttskyddet
Forsmark	Thilda Jonsson	thilda.jonsson@vattenfall.com	Vit	Kylvattenvägar	Golv, Vägg, Tak	Nej	Media vatten, Tryck, Erosion	Saltvatten	Ja		Nej					
Forsmark	Thilda Jonsson	thilda.jonsson@vattenfall.com	Röd	Vägg övre RI	Vägg	Ja	Temp, Övriga påkänningar	Hög strålning under drift. Under revisionsavställningar är det väldigt trafikerat vilket orsakar de flesta skadorna.	Nej		Ja. Målet i tre svängar: 1 - Tecno-pox auafill 5900A, 2 - Tecno-pox aquaprimer 5901A, 3 - Tecno-pox aqua 5902A	Olika, på vissa ställen är färgen kvar från byggtiden (början av 1980-talet). Man gör punktsatsar och målar om där det är möjligt.	Vidhäftning, Släpp, Spricker, Blåsor, Försvagad färgnyans	Färgen är förgulnad	Ja	Skrapning och slipning
Forsmark	Thilda Jonsson	thilda.jonsson@vattenfall.com	Röd	Vägg nedre RI	Vägg	Ja	Temp	Hög strålning under drift. Under revisionsavställningar är det väldigt trafikerat vilket orsakar de flesta skadorna.	Nej		Ja. Målet i tre svängar: 1 - Tecno-pox auafill 5900A, 2 - Tecno-pox aquaprimer 5901A, 3 - Tecno-pox aqua 5902A	Sedan byggtiden. På vissa ställen där det är möjligt gör man punkt-insatser och målar om vid behov.	Vidhäftning, Släpp, Spricker, Blåsor, Försvagad färgnyans	Förgulnad färg.	Ja	Skrapning och slipning.
Forsmark	Thilda Jonsson	thilda.jonsson@vattenfall.com	Röd	Vägg vid sluss in till nedre RI på Forsmark 3	Vägg	Ja	Övriga påkänningar	Fukt i vägg, orsak är inte helt klart men ytskiktet har degraderat pga detta.	Ja		Ja	Sedan byggtiden. Eventuellt att man har bättrat på vissa punkter.	Vidhäftning, Försvagad färgnyans			
test aveny production	Mirjana	mugosamirjana@gmail.com	Gul	tests	Vägg	Nej	Temp			Ja	tests					
Test	Test	Test	Gul		Golv		Erosion		Nej		test		Vidhäftning,	test	Nej	
OL1...3	Jori Väillä	jori.vailia@vo.fi	Röd, Gul, Vit	kylvattenväg, inwst bassäng	Golv, Vägg, Tak	Ja	Media vatten, Kemikalier %, Temp, Erosion	kondens	Ja	Ja, Nej	ja	varierar	Spricker, Blåsor		Ja	blästring, slipning
Ringhals	Johanna och Tommy	Se ovan	Vit	Kylvattenväg R3/R4	Golv, Vägg, Tak	Nej	Media vatten, Tryck, Erosion	Saltvatten	Ja	Ja	Nej					

1. Kärnkraftverk	2. Kontaktperson/ernamn	3. Kontaktperson/erpost(*)	4. 1. ZON	15. Är kravet 0% damm	16. Har betongen ytskyddats igen där borttagning skett av det gamla ytskyddet	17. Om ja vilken teknologi	18. Vilka kontroller användes för att det nya ytskyddet skall ha tillräcklig vidhäftning	19. Osyddad betong	20. Livslängd hittills	21. Hur ser eventuella skador ut	22.1. Inspektion har skett genom	22.2. Ytterligare information dessa påkänningar	23. Vilka områden påverkas troligen av fukt/vatten i betongen	24. Inspektion sker	25. Övrig information att lämna
ave	Mirjana	mugosamirjana@gmail.com	avenu7												
Ringhals	Johanna Spåls, Tommy Svederberg	kontaktpersoner	Vit	Nej	Ja	Nordsjö Stay Clean - silica modifierad akrylat-asampolymer färg	Dragprov, (Ytan kontrollerades efter vattenblästring - intakt yta, bra kvalitet på betongen)	Nej	ca 40 år	Delaminering orsakad av armeringskorrosion. Tunare täckskikt ändrad det skulle varit.	Borkämorskickade för kontroll av djupet nedbrytningen. Identifieration armeringskorrosion	Borkämor med avseende på klorider och karbonatisering.	Öve delen av väggen i anslutning till kupol. Åtgärder har genomförts se pkt 25.	Mer sällan	Ommålning genomförd under 2022.
Ringhals	Johanna och Tommy	-	Röd, Gul, Blå	Ja	Ja	Endast lokalt på de ställen där dragprov genomförts. Enligt TB.Y.	-	Nej	ca 40 år	Endast mekaniska skador.	Tjocklek täckskikt	Tjocklek med avseende på ytbehandling kontrolleras i samband med vidhäftningsprov. Annars visuell kontroll/avsynning.	Konstruktion i anslutning till reaktorbas sång om det finns läckage.	Ärligen	
Ringhals	Johanna och Tommy	-	Vit	Nej		Vid ommålning (på gammal ytbehandling) - Vattenburen akrylatfärg	Endast uppföljande avsynning enligt underhållsplan.	Nej	ca 40 år	Lokala områden med armeringskorrosion.	Identifieration armeringskorrosion	Borknackning och avsynning	Nedre delar mot golvet.	Mer sällan	3 årsintervall på inspektioner
Oskarshamn 3	Ulrik Brandin, Jan Gustafsson	ulrik.brandin@okg.uniper.energi	Röd	Ja	Ja	Epoxi	Dragprov	Nej	år 1985	Finns inga	Borkämorskickade för kontroll av djupet nedbrytningen	-	-	Ärligen	-
Oskarshamn 3	Ulrik Brandin, Jan Gustafsson	ulrik.brandin@okg.uniper.energi	Blå	Ja	Ja	Plastfärg	Dragprov	Nej	år 1985		Kontroll fukt/vatten i betongen		Vägg och tak	Mer sällan	
Oskarshamn 3	Ulrik Brandin, Jan Gustafsson	ulrik.brandin@okg.uniper.energi	Gul	Ja	Ja	Epoxi	Dragprov	Nej	1985	-	Kontroll fukt/vatten i betongen, Tjocklek täckskikt			Mer sällan	
OKG Godsmottagning	Ulrik Brandin, Jan Gustafsson	ulrik.brandin@okg.uniper.energi	Vit	Ja	Ja	Epoxi	Dragprov	Nej	1975	Tryckskador	Kontroll fukt/vatten i betongen, Tjocklek täckskikt, Identifieration armeringskorrosion			Ärligen	
Ringhals	Johanna Spåls, Tommy Svederberg	Samma som ovan.	Vit					Ja	ca 40 år	Inga kända degraderingar. Finns kalkutfällningar	Identifieration armeringskorrosion	Aveyning av konstruktionen görs.	Tak, vägg och golvet.	Mer sällan	Aveyning var tredje år. Genomlysning av konstruktionen har gjorts som identifierat behov av att förtydliga instruktioner och tydliggöra vilka väggar som har enkelsidigt vattentryck.
Ringhals	Johanna Spåls, Tommy Svederberg	Samma som ovan	Vit	Ja	Ja	Samma som ovan (se 10)	Dragprov	Nej	ca 40 år	Sprickor från vibrationer och mekaniskt slitage.		Aveyningar görs.	Grundvattnet på lägre plan i byggnaden	Mer sällan	Aveyningar 3 år för marknivå och nedåt och 5 år över marknivå.

1. Kärnkraftsverk	2. Kontaktperson/ernamn	3. Kontaktperson/erpost(*)	4.1. ZON	15. Är kravet 0% damm	16. Har betongen ytskyddats igen där borttagning skett av det gamla ytskyddet	17. Om ja vilken teknologi	18. Vilka kontroller användes för att det nya ytskyddet skall ha tillräcklig vidhäftning	19. Oskyddad betong	20. Livslängd hittills	21. Hur ser eventuella skador ut	22.1. Inspektion har skett genom	22.2. Ytterligare information dessa påkänningar	23. Vilka områden påverkas troligen av fukt/vatten i betongen	24. Inspektioner sker	25. Övrig information att lämna
Forsmark	Thilda Jonsson	thilda.jonsson@vattenfall.com	Vit					Ja	1980, 1981 och 1985 (Driftsättningsår för Forsmark 1, 2 & 3)	Ameringskorrosion som visar sig genom svartrost eller bomparter i betongen (i vissa fall även rostutfällningar). Erosionsskador där ballasten blivit synlig, kalkutfällning på torr sida av kyvattenvägen.	Tjocklek täcksikt, Borkämorskickade för kontroll av djupet nedbrytningen, Identifikation ameringskorrosion	Vanligaste inspektionsmetoden är okulär inspektion och bomknackning, radär har nyligen använts i ett projekt med gott resultat, borkämors kan tas för att bl.a. kolla kloridinträningsdjup.	Skvalpzonen och nedåt är konstant blött. Problemen uppstår främst i skvalpzonen. Fuktig miljö i hela kanalen dock.	Mer sällan	Fråga från medarbetare: Vore det kanske intressant att ytbehandla rostfritt i vattenvägar för att skydda betongen mot ameringskorrosion?
Forsmark	Thilda Jonsson	thilda.jonsson@vattenfall.com	Röd	Nej inte under revisionsavställning men man försöker hålla nere dammet i så hög utsträckning som möjligt med hjälp av dammsugare kopplade till maskinerna som används.	Ja	Samma som original	Dragprov gör varje år men inte i samband med nymålning.	Nej	1980 för Forsmark 1		Okulär inspektion	Områden där man arbetat i närheten av vägg så att vatten har stänkt/runnit.	Ärligen		
Forsmark	Thilda Jonsson	thilda.jonsson@vattenfall.com	Röd	Nej inte under revisionsavställning men man försöker hålla nere dammet i så hög utsträckning som möjligt med hjälp av dammsugare kopplade till maskinerna som används.	Ja	Samma som originalet.		Nej	1980 Forsmark 1		Okulär inspektion	Områden där man arbetat i närheten av vägg så att vatten har stänkt/runnit.	Ärligen		
Forsmark	Thilda Jonsson	thilda.jonsson@vattenfall.com	Röd	Nej				Nej	1985	Kontroll fukt/vatten i betongen, Borkämorskickade för kontroll av djupet nedbrytningen	Man har gjort okulär kontroll med bomknackning, fukt och temperaturmätningar och det togs borkämors för laboratorieprovning. Konstruktionen bedöms vara i gott skick men ytskyddet har degraderat p.g.a fukten.	Hela vägen	Ärligen		
test aveny production	Mirjana	mugosamirjana@gmail.com	Gul												test 3
Test	Test	Test	Gul		Ja		test								
OL1...3	Jori Väilä	jori.valila@vo.fi	Röd, Gul, Blå, Vit	nej	Ja	Teknopox Aqua V	Dragprovning	Ja	varierar	erosion osv.	Tjocklek täcksikt, Borkämorskickade för kontroll av djupet nedbrytningen		skydds-betong	Ärligen, Mer sällan	
Ringhals	Johanna och Tommy	Se ovan	Vit					Ja	1981, 1983, konstruktionsdelar har även renoverats efter det	Ameringskorrosion som visar sig genom svartrost eller bomparter i betongen (i vissa fall även rostutfällningar), erosionsskador där ballasten blivit synlig, kalkutfällning på torr sida av kyvattenvägen.	Identifikation ameringskorrosion	Aveyning och kontroll genom bomknackning, Eventuellt även borkämors	Skvalpzonen och nedåt är konstant blött. Problemen uppstår främst i skvalpzonen. Fuktig miljö i hela kanalen dock.	Mer sällan	



## 6 Referenslista

- (1) CBI Rapport 1:2012, Beläggningssystem på betong i parkeringshus och garage – en översikt, Ylva Edwards, Tor Powell, 2012
- (2) Betonghandbok, material Del II, Kapitel 30 Ytskydd för betong, Svensk Byggtjänst, 2021
- (3) Tillståndsbedömningar av betongkonstruktioner inom kärnkraft – BEKON. Ljustell P., Hansson E. Inspecta / Stockholm, Forskning 2018: 10 [www.stralsakerhetsmyndigheten.se](http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se)
- (4) Energiforsk rapport 2018:481, Betongteknikens utveckling och betydelse för svensk vattenkraftsutbyggnad, Martin Rosenqvist, 2018
- (5) Energiforsk rapport 2021:786, Syretransport genom reaktorinneslutningar och korrosion av ingjutna tätplåtar, Richard Malm, Magnus Åhs. Manouchehr Hassanzadeh, 2021
- (6) SKI Rapport 02:59. Betonginneslutningar i svenska kärnkraftverk – En sammanställning över konstruktion och material. Thomas Roth, Johan Silfwerbrand, Håkan Sundquist. 2002. 118 s
- (7) Vattenfall, Malin Brikell 2020
- (8) TBY Tekniska bestämmelser för Ytskydd, Utgåva 3, 2013
- (9) Godkända färgsystem för TBY, Utgåva 3, 2008
- (10) Teknisk broschyr Ringhals, 2013
- (11) Elforsk rapport 10:62, Inverkan på betong av borsyrahaltigt vatten och ingjutna borföreningar, Göran Fagerlund, 2010
- (12) Miljökonsekvensbeskrivning – Ändrad drift vid Ringhals kärnkraftverk, Vattenfall, 2016
- (13) SVT Nyheter / Halland 2019

# YTBEHANDLING AV KÄRNTEKNISKA BETONGKONSTRUKTIONER

En kartläggning som behandlar skador och skadeeffekter på betong och ytskydd för olika anläggningsdelar i kärnkraftverk har genomförts. Av kartläggningen framgår att fukt och vatten är en stor bidragande orsak till de skador som uppstår. Ett antal åtgärder rekommenderas för att minska påverkan och därmed även antalet skador.

Resultaten pekar också på problem relaterade till val och utförande av aktuella ytskydd. Problem som leder till onödiga skador på både betong och ytskydd.

## 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 aktieföretag 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](http://energiforsk.se).

