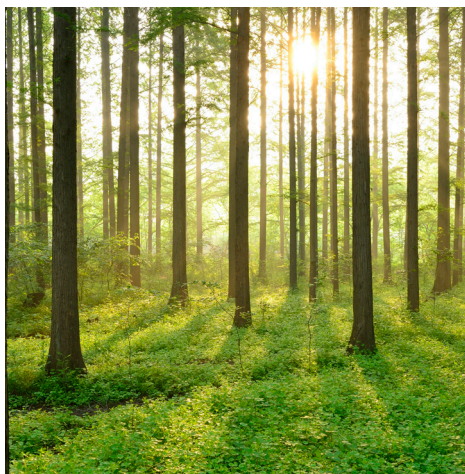


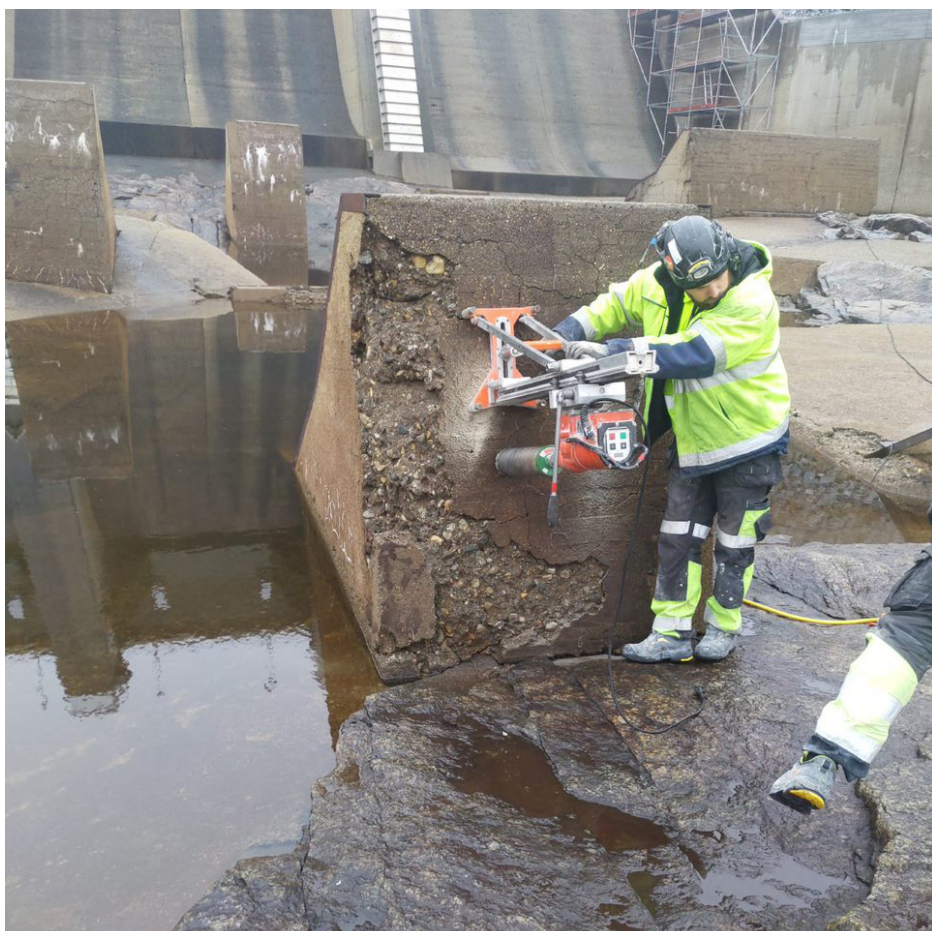
# ÅTERFYLLNING AV KÄRNBORRHÅL I BETONG

RAPPORT 2021:810



 VATTENKRAFT

BETONGTEKNISKT PROGRAM  
VATTENKRAFT





# Återfyllning av kärnborrhål i betong

Tester av bruk samt rekommendationer  
till krav på material och utförande

ERIK NORDSTRÖM  
PATRIC STRAND  
EINAR ISAKSSON

ISBN 978-91-7673-810-8 | © Energiforsk okt 2021

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



## Förord

**I samband med skadeutredningar tas ofta borrhärlar ut för att undersöka betongens egenskaper. Efter utbörning så återfylls hålen vanligtvis, men ofta saknas detaljerad beskrivning av hur detta ska göras. I bästa fall ställs det krav på exponeringsklass och att lagningsmaterialet ska vara krympfritt. Vid mindre väl utfört återfyllningsarbete finns det en risk att dessa platser blir svaga punkter där skador och nedbrytning kan initieras i framtid.**

Erik Nordström, Patric Strand och Einar Isaksson på Vattenfall Research och Development har i det här projektet tagit fram riktlinjer och metodbeskrivningar för hur utbörade hål i vattenkraftens betongkonstruktioner bör återfyllas, både i våta och torra tillämpningar. Projektet har genomförts inom Energiforsk Betongtekniskt program vattenkraft, med intressenterna Fortum Sverige, Jämtkraft, Karlstads Energi, Skellefteå Kraft, Statkraft Sverige, Svensk Kärnbränslehantering, Sydkraft Hydropower/Uniper, Tekniska Verken, Umeå Energi, Vattenfall Vattenkraft och Vattenfall Indalsälven.

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

## Sammanfattning

**Uttag av borrhärlor är en vanligt förekommande metod för att kontrollera betongens egenskaper i en befintlig konstruktion. Efter kärnborrning ställs ofta krav på att återställa betongkonstruktionen genom igengjutning/återfyllning av hålen. Materialkrav och utförande av återfyllningen är sällan lika väl beskrivet som arbetsutförandet vid nybyggnation eller större reparationer.**

Konsekvenserna av olämpliga återfyllnadsmaterial och ett dåligt utförande kan vara en risk för att svaga punkter skapas där initiering av skador och nedbrytning kan ske genom t.ex. inträngning av fukt och andra potentiellt aggressiva ämnen.

Syftet med projektet har varit att skapa förutsättningar för att återfyllningar ska få likvärdiga eller förbättrade egenskaper jämfört med ursprungsbetongen och inte bli en introduktion till nya problem eller förvärrande av eventuellt redan befintliga pågående nedbrytningsmekanismer.

Målsättningen med projektet har därför varit: Att beskriva skador och nedbrytning som kan kopplas samman med bristande beständighet hos återfyllningen i kärnborrhål genom bl.a. experimentella studier. Målet har även varit att definiera lämpliga krav på bruk samt utveckla anvisningar för hur arbetet praktiskt ska genomföras.

Dåligt utförande eller stor krympning av bruket kan skapa kaviteter eller spalter mot ursprungsbetongen vilka riskerar att vattenfyllas med tiden. Det kan orsaka förhöjd fukthalt i såväl återfyllningsbruket som i den omgivande konstruktionen med tiden. Kombinerat detta med nedfrysning finns en uppenbar risk för frostsador.

En serie med laboratorieförsök har genomförts där olika typer av bruksfunktion i samband med återfyllning av kärnborrhål i vattenbyggnadsbetong har studerats. Bruken har varit av typerna expanderbruk, undergjutningsbruk, reparationsbruk och grovbetong för att studera deras lämplighet för tillämpningen. Fokus har legat på bl.a. lämplighet i färskt tillstånd och gjutresultat i termer om hålutfyllnad och vattentäthet.

I sammanfattning kan sägas att de färskas brukens konsistens tillsammans med tidig expansion och liten uttorkningskrympning blir avgörande för ett gott slutresultat med hög hålutfyllnad och god vattentäthet. Även orienteringen på "horisontella" hål är sannolikt avgörande och det rekommenderas att hålen tas ut något lutande nedåt för att underlätta själva återfyllningen av kärnborrhålet.

En övergripande rekommendation av lämpliga krav på bruk och utförande finns angivna i rapporten för såväl återfyllning av kärnborrhål i torrhet och under vatten. Fortsatt studie för definition av lämpliga kravvärden på konsistens, tidig expansion och uttorkningskrympning med enhetliga metoder rekommenderas som komplement till de rekommendationer som föreliggande rapport innehåller.

## Summary

**Core drilling is commonly used to verify concrete properties in an existing structure. After core drilling a repair or restoring of the hole is required via refilling it with mortar. Commonly the requirements on materials and execution of the refilling are seldom as well described as for new concrete or major repairs.**

The consequence from use of improper refill material and poor execution can be a risk for creating weak zones where damages and degradation can occur via ingress of humidity and other potentially aggressive substances.

The scope of the project has been to create prerequisites for refills to reach similar or improved properties, in comparison to the original concrete, and not be a path for new problems or even worsen already ongoing degradation.

The goal with the project has therefore been to: Describe damages and degradation that can be connected to poor properties and durability of refills after core drilling by performing an experimental study. The goal has also been to define suitable requirements for mortars and develop a guideline for performing refills in a suitable way.

Poor execution or large shrinkage of the mortar can result in cavities or gaps adjacent to the original concrete that could be filled with water after time. That could give increased humidity levels in both the refill mortar and in the original concrete with time. This, combined with freezing will give an obvious risk for damages.

A series with laboratory tests has been performed where the suitability for different types of mortars used for refilling holes after core drilling in hydropower concrete has been studied. The mortars has been of the type expanding mortars, underpinning mortars, repair mortars and multipurpose mortars to study their suitability in the application. Focus has been on suitability for the fresh mortar properties and end result after pouring in terms of filling the hole and water-tightness.

In conclusion it can be said that the consistency of the fresh mortars together with early expansion and small drying-shrinkage are crucial for a good end result with high void-filling-ratio and good water-tightness. Also the orientation of the "horizontal" holes are likely to be decisive and it is strongly recommended that the cores are taken with a slight inclination downwards to facilitate the refilling of the hole.

An overall recommendation on suitable requirements on mortars and execution are given in the report for both refilling of holes above water and under submerged conditions. Further research for definition of suitable requirements on consistency, early expansion and drying-shrinkage with uniform methods are recommended as a complement to the ones given in this report.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Syfte och mål</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Kärnborrning</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Reparation av kärnborrhål</b>	<b>10</b>
4.1	Vanliga fel och potentiella beständighetsproblem	10
4.1.1	Kaviteter	10
4.1.2	Frostskador	11
4.1.3	Armeringskorrosion	11
4.1.4	Otäthet / Urlakning	11
4.2	Befintliga rekommendationer	12
4.2.1	AMA anläggning	12
4.2.2	Reparationsstandarden SS-EN 1504	14
<b>5</b>	<b>Laboratorieförsök</b>	<b>15</b>
5.1	Metod	15
5.1.1	Provkroppar	15
5.1.2	Kärnborrning	16
5.1.3	Testade bruk	16
5.1.4	Gjutning	17
5.1.5	Överborrning	18
5.1.6	Provning av vatteninträngning	19
5.1.7	Kontroll ifyllnadsgrad	20
5.2	Resultat	20
5.2.1	Egenskaper ursprungsbetong	20
5.2.2	Provgjutning	22
5.2.3	Återfyllning borrhål	26
5.2.4	Provning av vatteninträngning	29
5.2.5	Kontroll ifyllnadsgrad, horisontella hål	31
5.3	Analys av resultat	33
<b>6</b>	<b>Rekommendationer</b>	<b>34</b>
6.1	Materialkrav	34
6.2	Utförande	35
6.2.1	Vertikala borrhål	35
6.2.2	Horisontella borrhål	37
6.2.3	Gjutning under vatten	37
<b>7</b>	<b>Förslag på fortsatt arbete</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>Referenser</b>	<b>40</b>



# 1 Bakgrund

Uttag av borrkärnor är en vanligt förekommande metod för att kontrollera betongens egenskaper i en befintlig konstruktion. Kärnor tas ibland ut redan under byggskedet för att verifiera att betong med rätt kvalitet använts och ibland är syftet undersökning av betongens egenskaper i samband med t.ex.

skadeutredningar/livslängdsbedömningar eller inför en ombyggnation av en befintlig konstruktion. Ibland kan en verifiering av bärförmågan behövas genom att kontrollera betongens mekaniska egenskaper (t.ex. hållfasthet). Borrkärnor kan tas ut ur konstruktionerna såväl vertikalt som horisontellt både över och under vattenytan beroende på syfte och område av intresse.

Efter kärnborrning ställs ofta krav på att återställa betongkonstruktionen genom igengjutning/återfyllning av hålen. Vanligtvis återfylls hålen med någon typ av betong eller bruk som blandas på plats eftersom det är små mängder. Oftast används ett färdigt bruk på 20-25 kg säck, men även platsblandad betong/bruk förekommer ibland (cement+vatten+sand/grus).

Utförandet av återfyllningen är sällan lika väl beskrivet som arbetsutförandet vid nybyggnation eller större reparationer. I bästa fall ställs det krav på exponeringsklass och att lagningsmaterialet ska ha liten krympning. Konsekvenserna av olämpliga återfyllnadsmaterial och ett dåligt utförande kan vara en risk för att svaga punkter skapas där initiering av skador och nedbrytning kan ske genom t.ex. inträngning av fukt och andra potentiellt aggressiva ämnen.

## 2 Syfte och mål

Syftet med projektet är att höja och säkerställa jämn kvalitet på de återfyllningar som utförs efter utborrande av betongkärnor. Syftet är att återfyllningar ska få likvärdiga eller förbättrade egenskaper jämfört med ursprungsbetongen och inte bli en introduktion till nya problem eller förvärrande av eventuellt redan befintliga pågående nedbrytningsmekanismer.

Målsättningen med projektet har varit att:

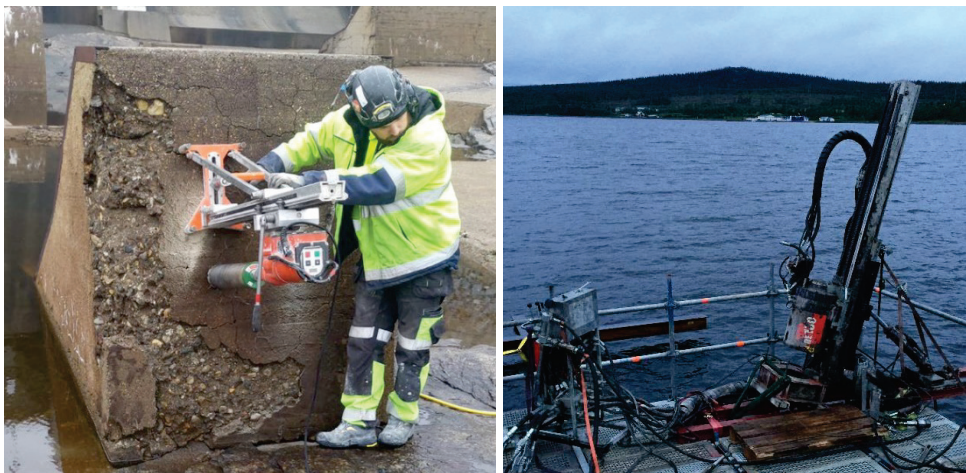
- beskriva vilka typer av skador och nedbrytning som kan kopplas samman med bristande beständighet hos återfyllningen i borrhål.
- utföra experimentella studier för att undersöka inverkan av bristande utförande vid återfyllning av borrhål.
- ta fram rekommendationer för vilka lägsta krav som bör ställas på ett lagningsbruk eller en reparationsbetong.
- utveckla anvisningar för hur vertikala respektive horisontella borrhål praktiskt ska återfyllas ovan respektive under vatten.

### 3 Kärnbörning

Kärnbörning görs, som angavs i kap. 1, av olika anledningar och därav kan det genomföras med olika diameter på kärnorna och till olika djup inne i konstruktionen. En vanlig ytterdiameter för borrkärneuttag inom vattenbyggnad är ca. 100-110 mm och det används oftast till kärnor med begränsad längd < 1-2 m. Då är syftet vanligen att få ett stickprov för att analysera betongens egenskaper på lite olika detaljeringsnivå. Det kan vara allt ifrån enkel kontroll av tryckhållfastheten till fördjupade analyser med tunn-/planslip och kemisk sammansättning.

Om syftet med kärnbörningen är att få en överblick av statusen i en större del av konstruktionen tas vanligen kärnor med mindre diameter (50-70 mm) men till större djup. Vanligen tas också flera långa borrkärnor i större konstruktioner. Om konstruktionen är stor kan kärnorna vara 10-tals meter långa och gå ända ner till, och in i, grundläggningsnivån. Vanligen karteras dessa kärnor enl. t.ex. karteringssystemet BETUT (Grönholm, 2000) och ibland tas stickprov ut från de långa kärnorna för kontroll av betongens egenskaper.

Kärnbörprov kan även tas under vatten med hydrauldriven borrarutrustning. Det vanligaste är att det görs för uttag av enstaka kortare kärnor.



Figur 3.1 (VÅ) Börning av kortare kärnbörprov för analys av ev. ASR. (HÖ) Börning av långa kärnor för kartering av betongkonstruktion.

## 4 Reparation av kärnborrhål

I vattenkraftkonstruktioner görs utborring av betongkärnor både över och under vattenytan. Hålen kan vara orienterade i både horisontal- och vertikalled. Varierande förutsättningar ställer därför höga krav på den som utför arbetet då återfyllningen bör erhålla sådan kvalitet att dess beständighet ej blir sämre än den omgivande betongens eller orsakar svagheter som ger nedbrytning på den undersökta konstruktionen.

En eftersökning av litteratur på området har inte gett några konkreta bidrag till erfarenheter på området gällande vanliga problem. Istället innehåller avsnittet egna erfarenheter och en diskussion kring vilka problem som skulle kunna initieras genom undermåliga reparationer av kärnborrhål. Även tankar kring potentiella följdskador efter återfyllning av kärnborrhål som inte utförts på rätt sätt eller med dåliga materialval.

Avsnittet innehåller också en liten genomlysning av några dokument som kan ha beröring till området.

### 4.1 VANLIGA FEL OCH POTENTIELLA BESTÄNDIGHETSPROBLEM

Den vanligaste risken som påtalas i samband med återfyllning är att lagningsmaterialet krymper och att det bildas en fin spalt som underlättar inträngning av fukt och andra, potentiellt aggressiva, ämnen in i konstruktionen.

Ev. kaviteter eller spalter som bildats t.ex. i krönet på ett horisontellt hål och/eller längst in i ett hål som inte fyllts ut helt riskerar att vattenfyllas med tiden. En förhöjd fukthalt i såväl återfyllningsbruket som den omgivande konstruktionen med tiden är en uppenbar risk. Vattnet kan härröra från nederbörd, skvalp eller genom ensidigt vattentryck. Om inte utrymmet fylls med vatten utan står i kontakt med luft kan man anta att luftens koldioxid lättare tar sig längre in i konstruktionen.

Nedbrytning av återfyllnadsmaterialet självt kan skapa en kavitet vid ytan i takt med att materialet lossnar, eller ökad genomsläpplighet med tiden vid nedbrytning som ökar materialets porositet. Därav följer att valet av återfyllningsbruk måste vara anpassat för aktuell exponeringsmiljö.

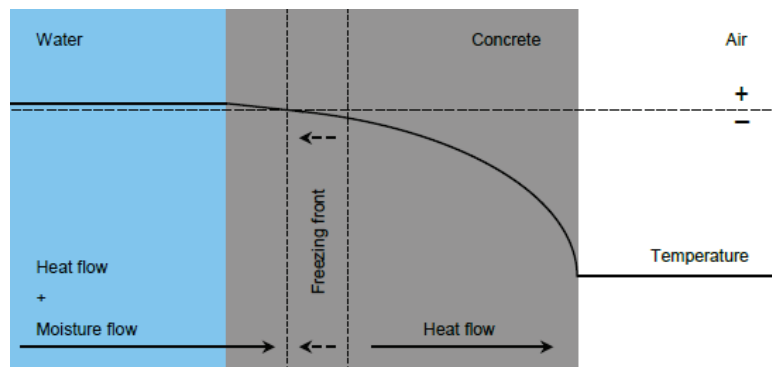
#### 4.1.1 Kaviteter

Konsekvensen av att återfyllnadsmaterial succesivt försvinner från ytan beror på var borrhål resp. lagning är placerad. I händelse av placering i en miljö med strömmande vatten som t.ex. skibord, pelarsida, energiomvandlande konstruktioner etc. kan oregelbundenheterna/ojämnheter som kaviteterna ger upphov till orsaka följdskador och fortskridande erosion även av ursprungsbetongen. För hål som borrhålls ner till grundläggningsnivå går det inte att utesluta ev. ökning av upptryck eller upplyft under betongkonstruktionen om läckage in i hålet från t.ex. reservoaren leds ner under konstruktionen.

#### 4.1.2 Frostskador

En generellt högre fukthalt i omgivande betong p.g.a. transportvägen via spalt eller kavitet riskerar med tiden orsaka att allt mindre luftporer succesivt fylls med vatten (både återfyllningsbruk och omgivande betong). Detta kombinerat med minusgrader riskerar generera frostskador i betongmaterialet om den kritiska vattenmättnadsgraden uppnås.

Det går inte heller att utesluta en risk för islinsbildning för borrhål med vattenfylld kavitet såväl ovanför eller i vattenlinjens närhet och via genomfrysning av t.ex. en oisolerad frontplatta. Även t.ex. en pelare som leder ner kyla till delar närmare vattenlinjen riskerar drabbas av detta. Inträngningen av vatten djupare in i konstruktionen kan därigenom lokalt förvärra eller t.om. initiera ett skadeförlopp genom att fukthalten höjs i ett område där betongen når minusgrader (freezing front) (se Figur 4.1).



Figur 4.1 Principbeskrivning för genomfrysning av frontplatta på lamelldamm (Rosenqvist, 2016)

#### 4.1.3 Armeringskorrosion

Om kärnborrhålet placeras så att armering kapas eller angränsar till hålet finns en förhöjd risk för lokal karbonatisering eller förhöjd fuktnivå. Vid ogynnsamma förhållanden kan då korrosion initieras trots att omgivande betongs täcksikt är bra och intakt. Eftersom det blir en lokal förändring bedöms det dock osannolikt att omfattande korrosion med spjälkning på någon större yta blir konsekvensen.

#### 4.1.4 Otäthet / Urlakning

För såväl korta som långa undersökningshål finns risken med förhöjd fuktnivå och ev. en initiering av läckagevägar vid undermålig återfyllning. Det är relativt vanligt att långa undersökningshål korsar sprickplan i konstruktionen. På så sätt kan ev. läckage längs hålet bli en väg för ökad vattentransport genom konstruktionen. För konstruktioner med omfattande sprickbildning eller porös betong kan det leda till ökad urlakning och nedbrytning av betongen. Utöver detta så kan själva läckaget öka genom konstruktionen, vilket kan bli en oangelägenhet i sig.

## 4.2 BEFINTLIGA REKOMMENDATIONER

### 4.2.1 AMA anläggning

I (AMA Anläggning, 2017) finns inga specifika krav just för återfyllning av kärnborrhål. Det finns dock förslag på krav för igjutning av räcesständer (avsnitt EBE.11711) och egenskapskrav på under- och ingjutningsbruket (bilaga EB/2). Det finns också lite, men dock krav på utförande av bergbult som kan vara av intresse (CDC.14). Nedan sammanfattas de viktigaste:

*EBE.11 – Betonggjutning kategori A vid nybyggnad*

Under avsnittet "Kontroll" anges krav för igengjutning efter uttag av cylindrar:

*Borrhål ska gjutas igen med betong som uppfyller materialkraven för aktuell konstruktion*

*EBE.11711 – Undergjutning och igjutning kategori A i bro*

Under utförandekrav skrivs för igjutning av kärnborrat hål för räcesständer följande:

*Motgjutningsytor ska behandlas så att en yta erhålls som har tätt förekommande ojämnheter med i genomsnitt minst 1 mm djup. Motgjutningsytor ska vara rengjorda.*

*Igjutning av kärnborrat hål för räcesständer ska utföras med betong som uppfyller krav för exponeringsklass XF4 eller med igjutningsbruk enligt bilaga AMA EB/2.*

I praktiken innebär kraven att man inte ska ha helt släta ytor vilket det ofta blir om man eftersträvar väldigt bra kärnor (utan vibrationer vid borring). Det ger viss motstridighet. För just räcesständer på bro förstår man att kravet på god frostbeständighet i en miljö som är mycket vattenutsatt och innehåller tösalter. Generellt är förstås valet av bruk som är anpassade till exponeringsklass viktigt.

*Bilaga EB/2 – Undergjutnings- och ingjutningsbruk*

Bilagan omfattar fyra sidor med krav uppdelat i avsnitten

- Ingående cement
- Krav på bruk
- Kontroll av färdig produkt
- Övervakande kontroll

Accepterade cement är CEM I eller CEM II med krav på sulfatresistens. Kraven på färskt och hårdnat bruk anges i tabell EB/2-1 med en hel mängd egenskaper som ska testas. De flesta egenskaperna har även ett angivet kravvärde efter test med angiven provningsmetod. Fokus ligger på egenskaper som kopplar till god utfyllnad, hållfasthet och beständighet. För t.ex. krympning testat på bruksprismor anges dock inget gränsvärde.

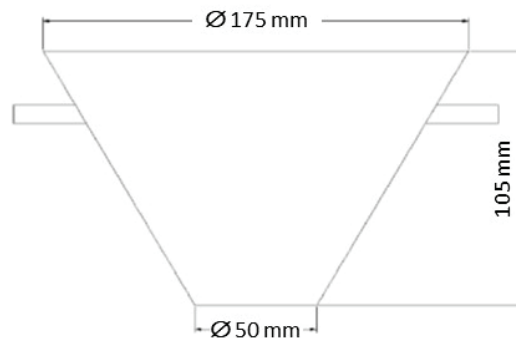
För kontroll av färdig produkt anges tester enligt Tabell 4.1 nedan, vilket skulle kunna ge inspiration till bruk för återfyllning. Angiven provningsfrekvens får dock anpassas till ändamålet. Metoderna är också primärt anpassade för bruk utan något större stenmax (typ < 8 mm).

**Tabell 4.1** Provning av egenskaper hos under- och ingjutningsbruk enl. (AMA Anläggning, 2017)

Egenskap	Provningmetod
Konsistens (flytförmåga)	Betonghandbok – Arbetsutförande 30.8.1
Vattenseparation	SS 137540
Volymändring	SS 137540
Tryckhållfasthet <sup>1)</sup> vid 1 och 28 d (3 och 28 d för köldbrytning)	SS-EN 196-1
Lufthalt	SS-EN 1015-7

<sup>1)</sup> Bruket hålls i formarna, ingen vibrering sker. Därefter utsätts proverna för en belastning på 5 MPa.

Enligt Tabell 4.1 ska konsistensen/flytförmågan provas med referens till (Betonghandbok Arbetsutförande, 1997) där metoden beskrivs i text och med en figur över den "tratt" som ska användas. Metoden finns inte som svensk standard, men ingår i en metoduppsättning som finns hos Vattenfall under beteckningen (VU-SC2, 2016) (se Figur 4.2).



**Figur 4.2** Utformning kon för konsistensprovning enl. (VU-SC2, 2016). (Diametermätt avser invändigt mått)

I EB/2 anges också att utfyllnadsförmågan för undergjutningsbruk kan provas enligt CBI-rapport 8155 vilken inte har gått att finna. Dock anges en metod i Betonghandboken Arbetsutförande avsnitt 30.8.1 som går ut på gjutning under en plexiglasskiva och sedan mätning av porfrekvens och maximal storlek på porer. Ger ett visst mått på utfyllnadsförmåga, men är primärt avsedd för undergjutningar och inte återfyllning av borrhål.

#### *CDC.14 – Bergförankring med ingjutna bultar utan förspänning*

Utöver kraven på själva bulten etc. anges att cementbruket ska ha ett vattencementtal, vct som är mindre än eller lika med 0,30. Vidare anges för själva utförandet att:

*Borrhålet ska fyllas med cementbruk från botten med slang. Efter det att bulten införts i det bruksfyllda hålet ska bruket helt fylla hålrummet mellan bult och berg.*

Sammanfattningsvis ställs helt enkelt ett krav på hög kvalitet (lågt vct) och god hålutfyllnad. För förspända bultar (CDC.111) anges att *"bult ska gjutas in enligt tillverkarens anvisningar"*.

#### 4.2.2 Reparationsstandarden SS-EN 1504

Reparationsprincip 3.2 som behandlar reparation av betong och omgjutning av betong eller bruk beskrivs i (SS-EN 1504-3, 2005) och där ställs krav på bl.a.:

- Tryckhållfastet
- Kloridjonhalt
- Vidhäftning
- Återhållsam krympning/utvidgning
- Beständighet (motstånd mot karbonatisering)
- Kapillär absorption (där så krävs)
- Arbetsbarhet - Flytvärde för betong

Kraven är dock ofta kopplade till mekaniska egenskaper och vidhäftning till substratet, vilket blir svårt att kontrollera för igengjutna kärnborrhål. I standarden finns inga kravvärden angivna för t.ex. *"återhållsam krympning/utvidgning"* eller *"arbetsbarhet – flytvärde för betong"*.



## 5 Laboratorieförsök

En del i projektet har varit att undersöka och experimentellt visa hur stor betydelse material och arbetsutförande kan ha för återfyllningens beständighet. Därför har ett antal vanligen förekommande lagningsmaterial valts ut för testning. I detta avsnitt beskrivs de genomförda laboratorieförsöken och hur utfallet av provgjutningar genomfördes och utvärderades. Dessutom redovisas resultaten och en analys därav.

### 5.1 METOD

Själva metodiken för genomförandet av den experimentella delen av projektet beskrivs nedan. Resultaten från genomförda experiment redovisas i avsnitt 5.2.

#### 5.1.1 Provkroppar

För att få någorlunda verklighetsliknande förhållanden för undersökningarna har större betongblock från en befintlig dammkonstruktion använts. I samband med ombyggnationen av Vattenfalls utskov i Stenkullafors sågades ett antal större betongblock ut från det gamla skibordet för att bl.a. undersöka åldrandet på ingjutna fogband av PVC. Den yta från vilken kärnbörningen gjordes är den betongyta som exponerats i dilatationsfogen. I Figur 5.1 visas de två betongblocken som användes för vertikala respektive horisontella kärnbörningar och senare återfyllning med bruk.



Figur 5.1 Provkroppar från Stenkullafors och placering av vertikala (VÅ) resp. horisontella (HÖ) kärnborrhål.

Betongblocken har sedan uttaget ifrån anläggningen i Stenkullafors (ca. år 2005) förvarats utomhus oskyddade från väder och vind men var vid okulär syn i gott skick utan synliga tecken på någon nedbrytning. Ursprungsbetongen är från anläggningens uppförande i början på 1980-talet. Det är till viss del oklart vilken cementtyp som använts vid byggandet eftersom det är under perioden i brytningen mellan att det vanliga Limhamn LH och det nya Anläggningscementet

användes. På ritningar finns angivet att även det slagginnehållande Massivcementet kan ha använts, även om det finns indikationer på att det också kan ha förekommit olika cement i olika delar av anläggningen.

### 5.1.2 Kärnborrning

Själva urborrningen av kärnor genomfördes med en krona som gav borrhärlor med diameter 94 mm och ett hål i betongen motsvarande ca. 101 mm. Totalt togs 12 st vertikala och 12 st horisontella kärnor ut inför återfyllningen. Borrhålsdjupet blev efter kärnuttag 32-42 cm.

### 5.1.3 Testade bruk

Till återfyllningen av borrhålen granskades flera olika typer av bruk. På marknaden finns en mycket stor mängd bruk där många är specialbruk för särskilda tillämpningar men även många mer generella bruk för mer odefinierade tillämpningar. En första grov indelning i olika typer av bruk blev:

- Expanderbetong
- Vinterbetong
- Reparationsbruk
- Grovbetong
- Undergjutningsbruk

Fokus blev primärt att granska bruk som klarade exponeringsmiljön XF3/XC4 eller bättre (SS-EN 206:2013, 2016) eller kraven i reparationsklass R4 enligt (SS-EN 1504-3, 2005). Ett 20-tal bruk granskades med hjälp av deras respektive produktblad för att undersöka lämpligheten i den aktuella tillämpningen med återfyllning. Andra parametrar som studerades i urvalet var:

- Typ av cement
- Stenmax
- Krympning
- Expansion
- Ev. uppfyllande av andra krav som AMA, P-märkning etc.

Primärt valdes bruken med fördelning mellan de olika typerna av bruk och därefter variationer i de specificerade egenskaperna ovan. Ett bruk av typen "Grovbetong" valdes för att simulera ett "vanligt" bruk utan specialegenskaper som även skulle kunna likna ett platsblandat bruk av cement, sand och grus.

Tabell 5.1 Grunddata för utvalda bruk

Brukstyp	Index	d <sub>max</sub> (mm)	vct	Cement- typ	Lufthalt (%)	Krympning*		Expansion (%)	Krav- profil
						Värde (‰)	Tid (d)		
Expander	EXP	4	0,35	Anlägggn.	3,0	1,2	231	0,5-2,5	AMA P-märkt
Reparation	REP1	12	0,35	Anlägggn.	5,0-8,0	-	-	-	-
Reparation	REP2	3	0,40	Anlägggn.	?	0,708	56	0,094	TRV
Reparation	REP3	1.5	-	Portland, HSR, LA	?	-	-	-	R4
Grovetong	GRO	12	-	Portland	5,0	-	-	-	-
Undergjutning	UND	4	0,32	Anlägggn.+ snabbcem.	2,0-5,0	<2	?	0-4	AMA P-märkt

\* Värden på krympning baseras på olika standards men anges ändå här som indikation

#### 5.1.4 Gjutning

##### Provgjutning

För att få en uppfattning om brukets färskas egenskaper och vilka konsistenser som kunde förväntas vid blandning enligt produktbladens rekommendationer gjordes en inledande provgjutning av alla bruken. Provkroppar tillverkades för att testa tryck- och spräckhållfastheten (SS-EN 12390-3, 2009) resp. (SS-EN 12390-6, 2009) samt vatteninträngningen (SS-EN 12390-8, 2019) i enbart bruket (utan att använda det som återfyllning). Även en kontroll av krympningen har gjorts enligt (SS 137215, 2000).

##### Återfyllning borrhål

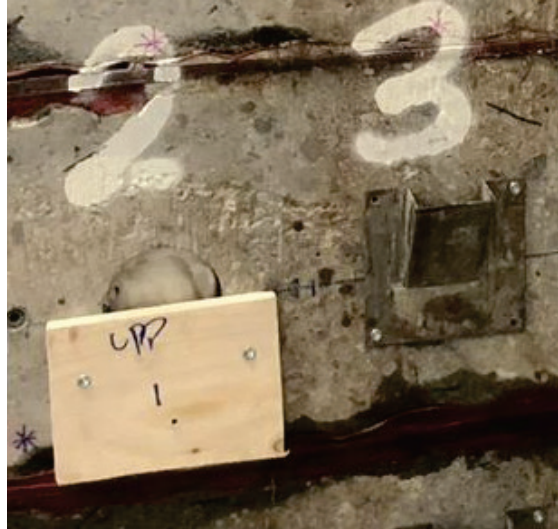
Samtliga hål preparerades på samma sätt inför gjutning, vilket innebar följande sekvens:

- Rengör från allt löst material
- Förvattna genom att fylla hål med vatten alt. blöta trasor (i horisontella hål med delvis täckt mynning, se (Figur 5.2) i minst ett dygn.
- Sug ut vatten alt. ta ut blöta trasor.
- Torka med trasa tills det är yttort men fortfarande mörk och matt yta.

Med ledning av resultaten från provgjutningen justerades vattentillsatsen något för ett par av bruken, men fortfarande inom ramen för vad som rekommenderades enligt produktbladen. Inför återfyllningen gjordes tester på konsistens med flytsättningsmått (SS-EN 12350-8, 2019) och sättmått (SS-EN 12350-2, 2019) beroende på vilken metod som var lämpligast i förhållande till förväntad konsistens.

Gjutmetodikerna för de horisontella hålen varierades beroende på om bruket enbart kunde hällas på plats (lättflytande) eller om mekanisk bearbetning krävdes för att fylla hålet med bruk (styvare konsistens). I huvudsak användes två olika formning av mynningen på de horisontella hålen för att passa brukets konsistens. I Figur 5.2 nedan visas exempel på de båda metoderna. Vertikala hål krävde ingen form.

1. Delform för mynningen.
2. Tratt/"brevlåda".



Figur 5.2 Formtyper för horisontella hål. (VÄ) Delform. (HÖ) Tratt/brevlåda

Direkt efter gjutning täcktes exponerade delar av återfyllningsbetongen med plast. Ett dygn efter gjutning lades även blöta trasor på bruken och täcktes åter med plast.

### 5.1.5 Överbörning

En dryg månad efter återfyllningen av borrhålen genomfördes en överborring med en kärnborr av diameter 240 mm för att få ut en provkropp med både originalbetongen och den återfyllda/igjutna betongen. På så sätt erhöles ett ca. 70 mm tjockt skikt med betong utanpå det återfyllda hålet med bruk.



Figur 5.3 Överbörning av horisontella hål.

### 5.1.6 Provning av vatteninträngning

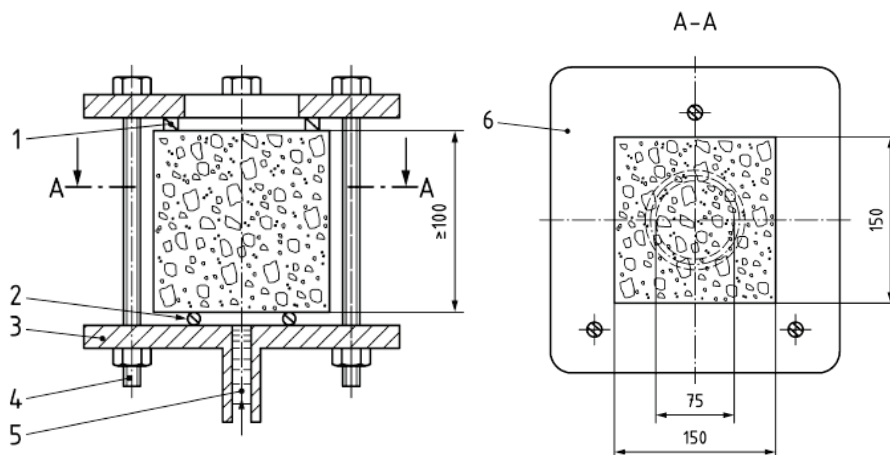
För att kontrollera vattentätheten hos den återfyllda konstruktionen genomfördes tre olika typer av tester. Grundprincipen för provning av vatteninträngningen följde standard (SS-EN 12390-8, 2019) men med anpassning till provkroppsformatet i de överborrade proverna. De tester som gjordes var:

1. Originalbetongen från Stenkullafors ( $\varnothing = 94$  mm)
2. Bruk från provgjutningen (150 mm kuber)
3. Överborrade kärnor med originalbetong och återfyllt bruk ( $\varnothing = 240$  mm)

De överborrade kärnorna sågades till en höjd av 195 mm för att få plats i riggen för provning av vatteninträngningen. Eftersom själva gjutytan blev något ojämn sågades ett tunt skikt av betong bort (ca. 10 mm) från överytan så att likvärdiga förhållanden kunde skapas.

Ett ensidigt vattentryck motsvarande 500 kPa (50 m vattenpelare) lades på provet under en tidsperiod av 72 timmar och vatteninträngningen redovisades sedan i mm in från ytan där vattentrycket applicerats. I Figur 5.4 visas provriggen schematiskt, och vattentrycket appliceras underifrån vid pkt 5. Tätningar mellan riggen och betongen ses i pkt 1 och 2. Se även foto i Figur 5.5.

Metoden säger främst något om härdningen av betongen, men här var också syftet att se ev. vatteninträngning längs med kontakten mellan originalbetong och bruk.



Figur 5.4 Principskiss för test av vatteninträngning (SS-EN 12390-8, 2019).



Figur 5.5 Test av vatteninträngning på överborrade kärnor (SS-EN 12390-8, 2019).

### 5.1.7 Kontroll ifyllnadsgrad

I samband med att resultatet från provningen av vatteninträngning skulle mätas så genomfördes även en kontroll av hur väl bruket fyllt ut och bibehållit kontakten med originalbetongen. Resultaten redovisas som uppmätt spaltvidd i mm vid den okulära kontrollen.

## 5.2 RESULTAT

### 5.2.1 Egenskaper ursprungsbetong

#### *Kartering borrhärlor*

Huvudsakligen var originalbetongen mycket homogen och av god kvalitet, och översiktsskivor redovisas i Figur 5.6 och Figur 5.7. I de horisontella kärnorna 4H och 10H kunde fina sprickor identifieras längs med kärnan/hålet.



Figur 5.6 Urborrade kärnor från vertikala hål.



Figur 5.7 Urborrade kärnor från horisontella hål.

#### Tryck- och spräckhållfasthet

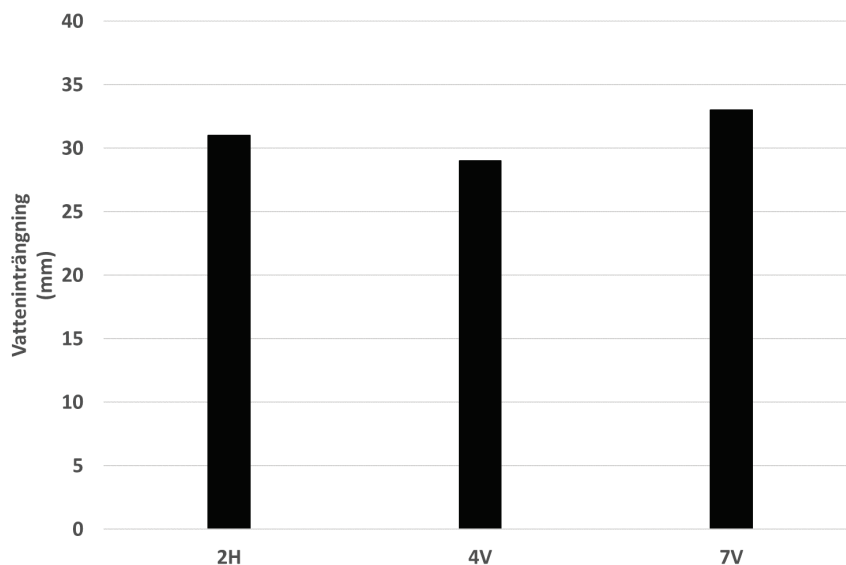
Tester på tryck- och spräckhållfasthet gjordes på betongen och de redovisas i Tabell 5.2. Medelhållfastheten var som förväntat relativt hög, vilket är vanligt på bra vattenbyggnadsbetong som hydratiserat i flera decennier. Spräckhållfastheten var också den i linje med förväntat (d.v.s. ca. 10% av tryckhållfastheten). Ett värde på spräckhållfastheten var något lägre, troligen beroende på någon enstaka spricka med ogynnsam orientering.

Tabell 5.2 Tryck- och spräckhållfasthet på horisontellt urborrade kärnor enl. (SS-EN 12390-3, 2009) och (SS-EN 12390-6, 2009)

Kärna	Tryckhållfasthet (MPa)	Spräckhållfasthet (MPa)
7H	51,2	5,15
8H	53,0	5,30
9H	57,0	4,60
Medelvärde	53,8	5,00

#### Vatteninträngning

Ett vanligt förekommande krav när det gäller test av vatteninträngning är 50 mm för att säkerställa vattentäthet (Betonghandboken, Betonghandboken Material, 1994). I Figur 5.8 redovisas resultatet för 3 urborrade kärnor ur originalbetongen (1 horisontell och 2 vertikala kärnor). Som framgår av figuren uppfyller alla tre ett krav om maximalt 50 mm inträngning.



Figur 5.8 Vatteninträning enl. (SS-EN 12390-8, 2019) för originalbetongen från Stenkullafors.

## 5.2.2 Provgjutning

### *Gjutbarhet och konsistens*

Erfarenheterna från de inledande blandningarna har sammanställts i Tabell 5.3 med laboratoriepersonalens visuella observationer i samband med provblandning och gjutning av kuber. Det blev tydligt att även de rekommenderade vattendoseringarna inte alltid ger exakt de önskade egenskaperna i färskt tillstånd. Några bruk blev för styva för att enkelt kunna fylla ut hålen och något blev synbart på gränsen till separation (för lösa) och även svåra att använda i de horisontella hålen. REP3 och GRO hade ett spann angivet, vilket ger en indikation på hur mycket vatteninnehållet kan justeras. Övriga bruk angav ett specifikt vatteninnehåll, sannolikt eftersom det angivna vattencementtalet baseras på en viss vattenmängd.

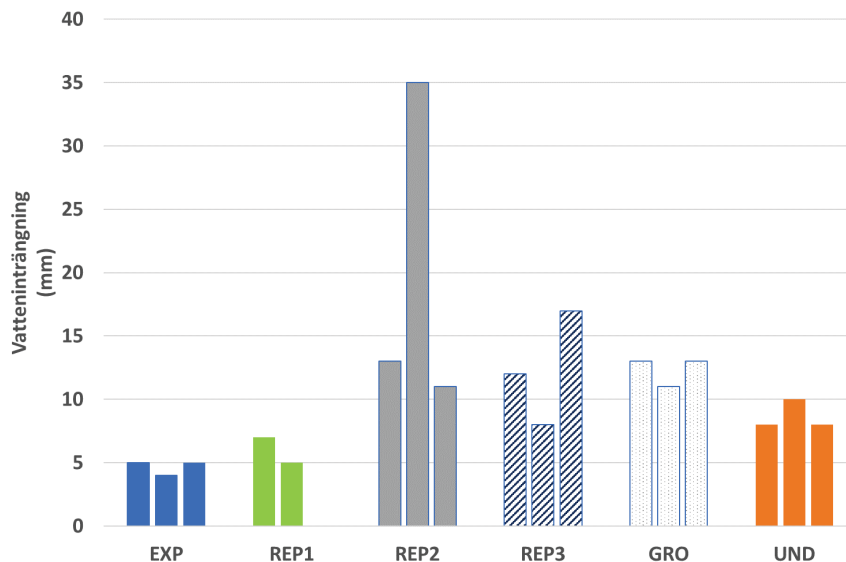
Tabell 5.3 Vattendosering, observationer och konsistensmätning vid provgjutning

Bruk	Vattendosering (liter/säck)		Okulärt intryck
	Rek.	Valt	
EXP	2.2	2.2	Först smidig, sedan seg, klibbig
REP1	1.4	1.4	Trög, klibbig, behöver vibreras
REP2	2.75	2.75	Klibbig, men smidig
REP3	3.1-4.0	3.75	Soppa, separation
GRO	2.5-2.9	2.7	Styv, behöver vibreras
UND	2.9	2.9	Lös, skummig, separation



### Vatteninträning

Av de kuber som gjöts vid provgjutningen användes tre av varje brukssort till vatteninträngningsprov. Som framgår av Figur 5.9 uppvisar samtliga bruk ett mycket bra motstånd mot vatteninträning, och förutom ett enstaka prov uppvisade alla en inträning som var lägre än 20 mm. Det verkar också rimligt eftersom alla bruken har ett mycket lågt vattencementtal (se Tabell 5.1).



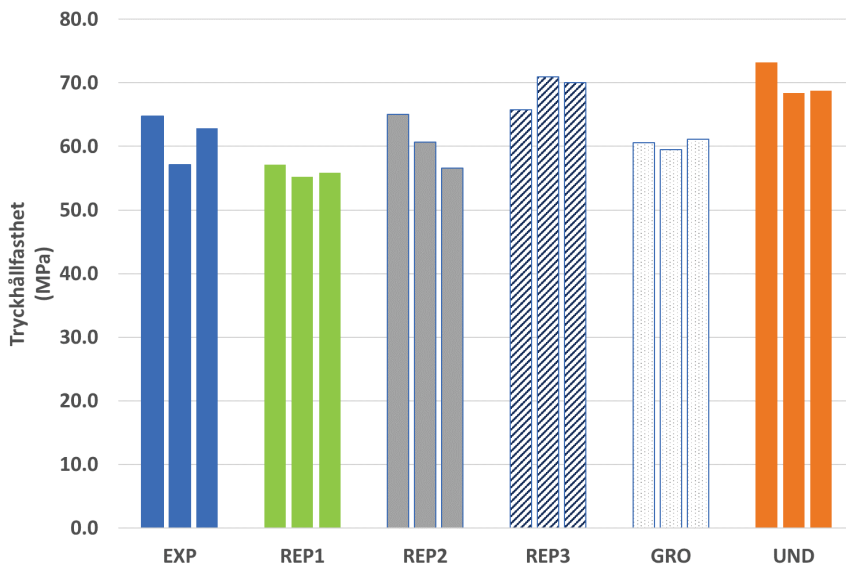
Figur 5.9 Vatteninträning enl. (SS-EN 12390-8, 2019) för bruk från provgjutningen.

### Tryck- och spräckhållfasthet

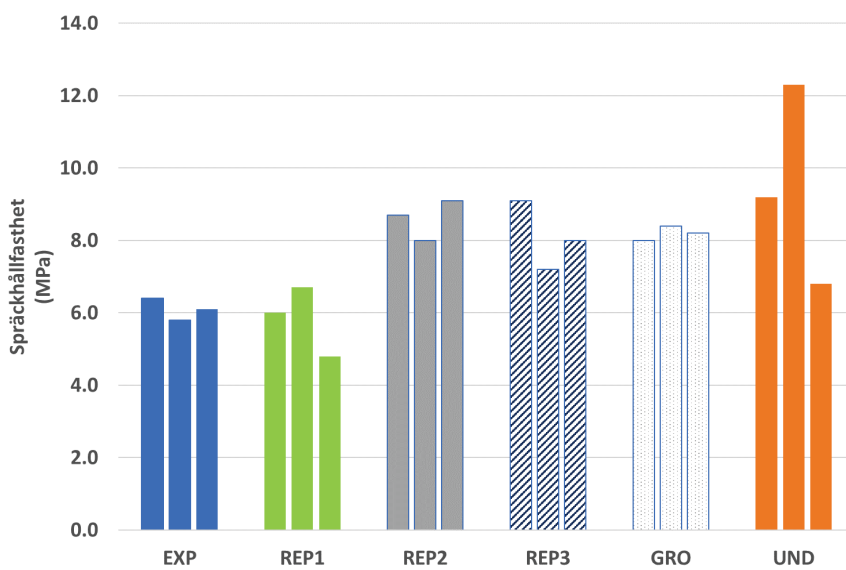
Mätningen av tryckhållfasthet gav generellt höga och mycket höga värden vilket kunde förväntas med tanke på de relativt låga vattencementtalen (0,35-0,40). Inte alla bruk hade dock vct redovisat. Samtliga bruk hade en medelhållfasthet över 55 MPa. I Figur 5.10 visas resultaten från samtliga tryckhållfasthetsprovningar.

Som förväntat uppvisar samtliga bruk också höga värden vid spräckhållfasthetsprovningen som redovisas i Figur 5.11. Att ha i åtanke är dock att provningen av spräckhållfasthet inte gjordes helt enligt standard eftersom det gjordes på prover från vatteninträngningsförsöken i samband med att de skulle spräckas. Det ojämna fuktillståndet beroende på vatteninträngningen har troligen påverkat resultatet och ska därför endast ses som en indikation på spräckhållfastheten.

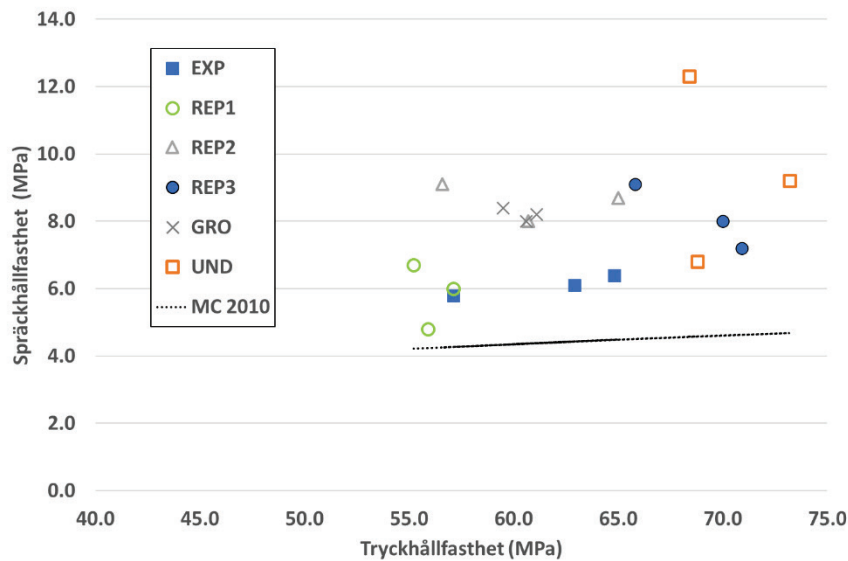
Relationen mellan tryck- och spräckhållfasthet samt vad den kunde förväntats vara jämfört med Model Code (Model Code, 2012) redovisas i Figur 5.12. Generellt är spräckhållfastheten betydligt över den förväntade, men som anges ovan får resultaten ses som indikativa och inte tolkas bokstavligt.



Figur 5.10 Tryckhållfasthet enl. (SS-EN 12390-3, 2009) på bruk vid provgjutning



Figur 5.11 Spräckhållfasthet huvudsakligen enl. (SS-EN 12390-6, 2009) på bruk vid provgjutning

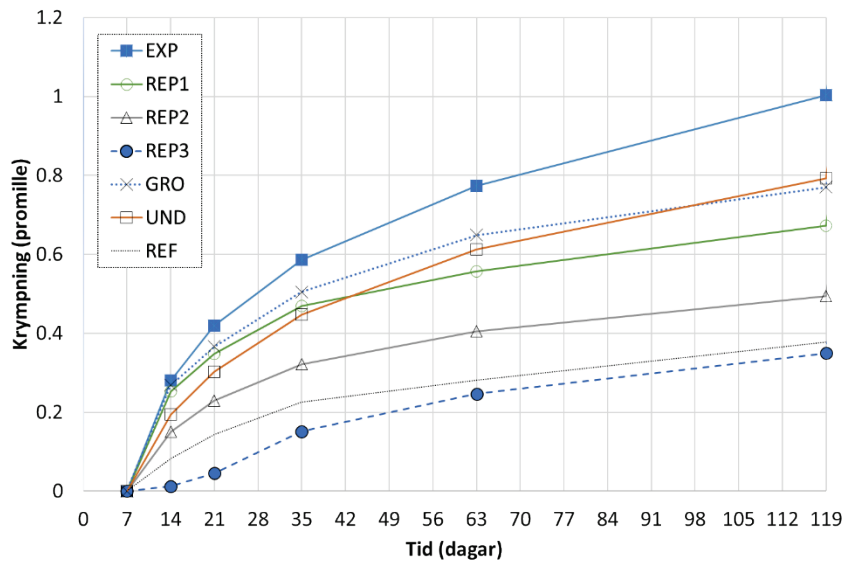


Figur 5.12 Relation mellan Model Code 2010 (Model Code, 2012) och uppmätt tryck- och spräckhållfasthet.

### Krympning

Resultaten från fri krympning enl. (SS 137215, 2000) redovisas i Figur 5.13. Här kan det konstateras att reparationsbruken (REP1-3) uppvisar lägst krympning i testet med fri krympning. Kan vid första anblick tyckas märkligt då de andra bruken (EXP och UND) som är avsedda för igjutningar krymper mer. En faktor som kan ha påverkat detta är det faktum att såväl expanderbruk som undergjutningsbruk oftast har en initial expansion för att fylla ut gjututrymmet fullständigt så att kontakt erhålls. På så sätt byggs också tryckspänningar upp i provet som ska ge marginal till den kommande kontraktionen p.g.a. uttorkningskrympningen. Vid gjutning av prismor avformas proverna inom ett dygn och därefter vattenlagras de fram till 7 dygn. Det mothåll som i vanliga fall finns vid återfyllning av borrhål och vid undergjutningar försvinner således vid avformning efter ett dygn. Sannolikt sker då ytterligare expansion p.g.a. de uppbyggda tryckspänningarna och därigenom får den tänkta gynnsamma effekten istället motsatt effekt med synbart större krympning. Det kan ha påverkat resultaten vid kontroll av fri krympning enl. (SS 137215, 2000). För jämförelse har även krympresultat från en traditionell vattenbyggnadsbetong lagts in under beteckningen REF ( $v_{ct}=0,5$ ;  $d_{max}=32$  mm)

På produktbladen för de olika bruken hänvisas till olika provningsmetoder för att mäta krympning. Den använda metoden (SS 137215, 2000) refereras för bruken EXP och UND, medan bruket REP2 refererar till metoden (SS-EN 12617-4, 2002). Metoderna skiljer sig i såväl provkroppsformat (balkar resp. små bruksprismor) som lagringsförhållanden (6 dygn vattenlagring följt av RH=50 respektive 27 dygn vattenlagring följt av RH=60%). Övriga bruk anger varken värde på förväntad krympning eller metod för test av detta.



Figur 5.13 Fri krympning på bruk från provgjutning enl. (SS 137215, 2000)

När resultaten i Figur 5.13 jämförs med utlovade prestanda enligt produktbladet (se även Tabell 5.1) så uppfyller REP2 detta om krympningen hade mätts med (SS 137215, 2000), men i produktbladet refereras till (SS-EN 12617-4, 2002). I relation till de andra bruken är dock krympningen låg. För EXP så anges krympvärdet vid 231 dygn vilket inte kunnat inkluderas i föreliggande rapportering (ca. 1 promille efter 119 dygn). För UND anges inte efter hur lång tid som den förväntade krympnivån mätts, men efter 119 dygn är det väsentlig lägre i vilket fall.

### 5.2.3 Återfyllning borrhål

#### *Gjutbarhet och konsistens*

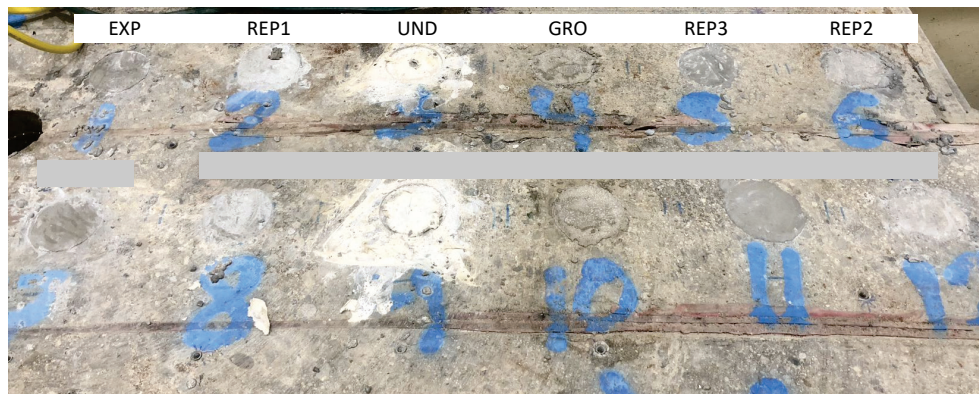
Resultaten från testerna av de reviderade blandningarna sammanfattas i Tabell 5.4 nedan. Konsistensmätningarna med värdet på T500 och flytsättningsmåt användes för de lättflytande bruken (EXP, REP3 och UND) och för dem fullföljdes användningen av tratt för att få bruket på plats i hålen vilket gick lätt. Bruken REP1 och REP2 var lite trögare och planen var att använda delform för att gjuta de horisontella hålen, men det fick ändras till tratt då bruket inte bedömdes kunna stanna kvar i hålet med delform. GRO funkade dåligt för tillämpningen och det var svårt att fylla både vertikala och horisontella hål med bruket. Även REP1 och REP2 var svåra att använda och krävde mekanisk bearbetning.

Tabell 5.4 Sammanställning av resultat från konsistenskontroll och gjutning

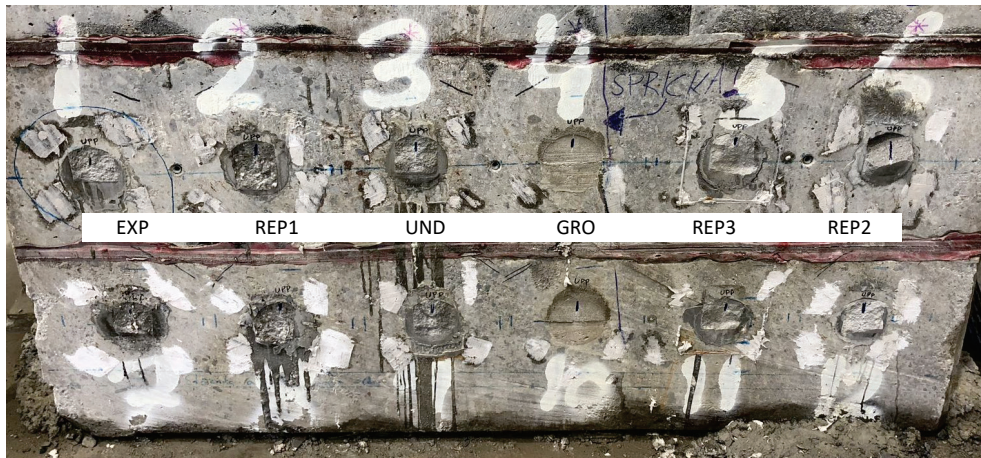
Bruk	Vatten-dosering (liter/säck)	Konsistens			Formtyp horisontella hål		Kommentar
		T500 (s)	Flytsättmätt (mm)	Sättmätt (mm)	Planerad	Slutgiltig	
EXP	2.2	3	650	-	Tratt	Tratt	Såg OK ut. Bearbetade med tumstock 2 ggr för avluftning.
REP1	1.6	21	510	-	Delform	Tratt	Bytte form under pågående gjutning Konsistens för lös för delform. Tumstock krävdes för att fylla hålen, oklart om de blev fulla.
REP2	2.75	-	-	40	Delform	Tratt	Löst och smidigt vid bearbetning. Bytte form till tratt. Tungjobbat, krävde slev och tumstock för att fylla hålen. Svårt att få till även de vertikala hålen.
REP3	3.3	1	>900	-	Tratt	Tratt	Såg mycket bra ut. Mycket bättre än i provgjutningen.
GRO	2.7	-	-	13	Delform	Delform	Svår att bearbeta, men styvt nog att packa i borrhålen. Även vertikala hålen behövde packas.
UND	2.8	<1	>900	-	Tratt	Tratt	Skummig, ljusbrun till färgen. Bruket i de vertikala hålen satte sig/blödde efter gjutningen.

*Okulär kontroll efter 28 dygn*

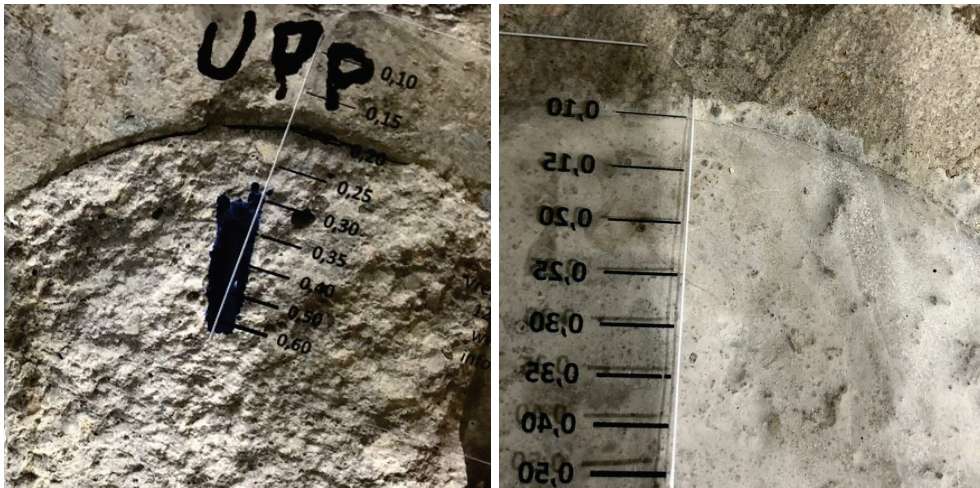
Efter härdning i en månad gjordes en inspektion av återfyllningen av de vertikala och horisontella borrhålen. För de horisontella hålen gjordes avformning och bortknackning av den kil som själva "brevlådan" gett utanför mynningen. Fokus vid den okulära synen var att kontrollera om några tecken på krympning eller undermålig gjutning gett någon spalt i kontakten mellan bruket och originalbetongen. I Figur 5.14 och Figur 5.15 ges en översikt över gjutresultatet samt en sammanfattning av observationerna i Tabell 5.5 och Tabell 5.6. En detalj på uppmätning av spalter visas också i Figur 5.16.



Figur 5.14 Samtliga vertikala återfyllda hål (Gråa fält täcker produktnamn).



Figur 5.15 Samtliga horisontella återfyllda hål, efter att utstick i brevlåda slagits bort.



Figur 5.16 Uppföljning av utfyllnad efter 28 dygn. Horisontellt hål (VÄ) och vertikalt hål (HÖ)

Tabell 5.5 Sammanställning okulära observationer vid ytan av de vertikala borrhålen efter 28 dygn

Bruk	Vertikala borrhål	
	Observationer	Spalt (mm)
EXP	Ingen synlig spalt. Bruket har svällt upp.	-
REP1	Antydning till krympning/sättning.	0.03
REP2	Antydning till spalt. Lite sårig överyta.	0.05-0.1
REP3	Ingen synlig spalt. Jämn överyta.	-
GRO	Synlig spalt. Lite sårig överyta. Bruket har satt sig ca 5 mm.	0.05
UND	Slam i överytan som krackelerat.	-

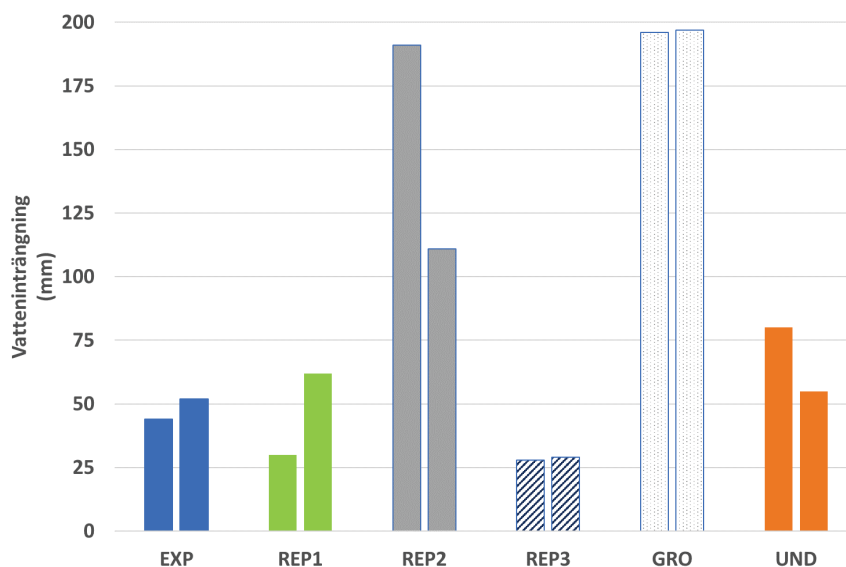
Tabell 5.6 Sammanställning okulära observationer vid ytan av de horisontella borrhålen efter 28 dygn

Bruk	Horisontella borrhål	
	Observationer	Spalt (mm)
EXP	Ingen synlig spalt/krympning.	-
REP1	Ingen synlig spalt/krympning.	-
REP2	Båda hålen har en gjutkada/ej utfyllt i överkant. Inget tecken på krympning i fylld del.	0.20
REP3	Inte helt uppfyllt i övre hålet och rel. stor spalt. Nedre hålet också en antydning till spalt i överkant.	0.60 / 0.15
GRO	Liten spalt i övre hålet, ej i nedre	0.10
UND	Ingen synlig spalt/krympning.	-

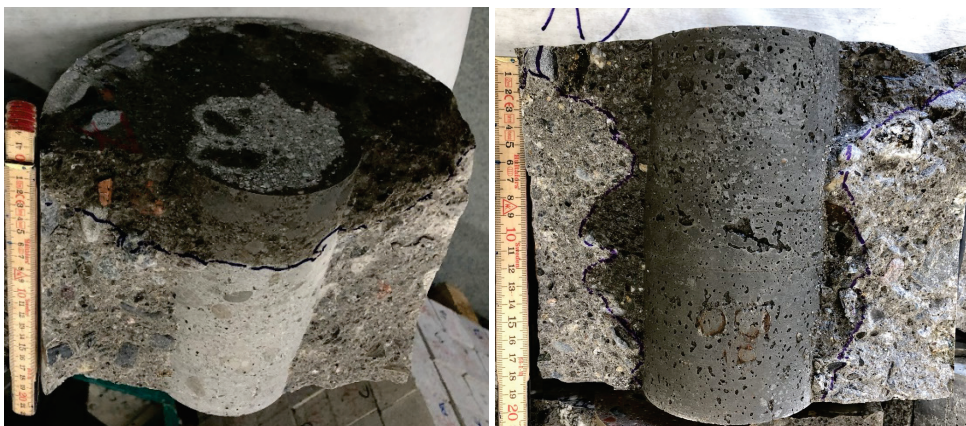
Generellt sett kan det konstateras att vid mynningen kunde det endast ses relativt tunna spalter i kontakten mellan bruk och betong, förutom för REP2 och REP3 där själva gjutningen inte lyckats fullt ut för att nå full utfyllnad.

#### 5.2.4 Provning av vatteninträngning

Vid provningen av vatteninträngning på de överborrade kärnorna uppvisade ett flertal prover direkt genomläckning p.g.a. spaltbildning mellan originalbetongen och återfyllningsbruket. I Figur 5.17 visas resultaten för de vertikala kärnorna som inte oväntat klarade sig bättre än de horisontella som redovisas i Figur 5.19. På de horisontella kärnorna uppmättes vatteninträngningen både i provets överkant och i underkant för att detektera ev. skillnader.



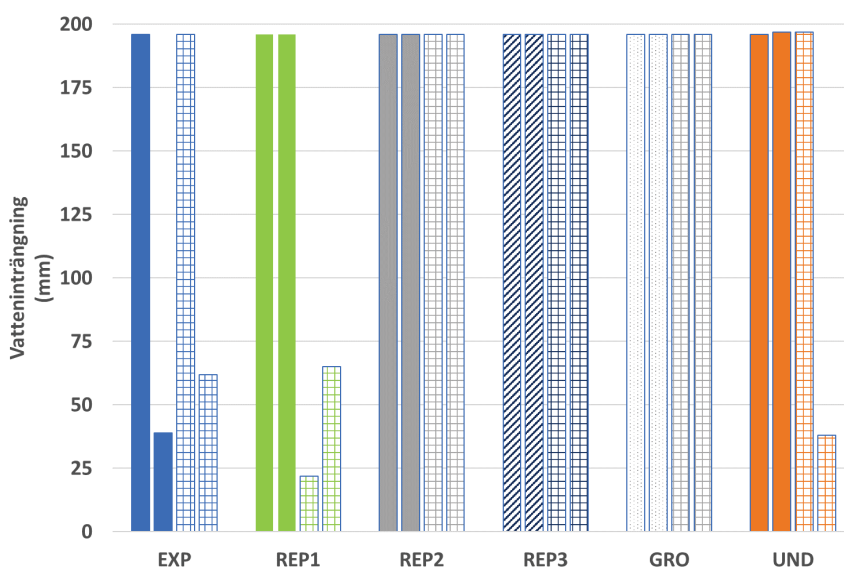
Figur 5.17 Vatteninträngning för överborrade kärnor provade enl. (SS-EN 12390-8, 2019) – Vertikala kärnor.



Figur 5.18 Vatteninträngning (de mörka områdena) för vertikal överborrad kärna enl. (SS-EN 12390-8, 2019). (VÅ) Bruk EXP. (HÖ) Bruk REP2

I Figur 5.18 visas två exempel på vatteninträngning för en vertikal överborrad kärna som återfyllts med bruk. Till vänster bruket EXP. I testet på enbart bruk EXP uppvisades en vatteninträngning om ca. 5 mm (se Figur 5.9) och originalbetongen ca. 30 mm (se Figur 5.8). Provet med återfyllt hål med EXP uppvisade en vatteninträngning runt 50 mm vilket var ett av tre exempel (övriga var REP1 och REP3) som faktiskt var i närheten av att klara det vanligen förekommande kravet på max 50 mm vatteninträngning (SS-EN 14487-1, 2005). I Figur 5.18 visas till höger ett typiskt mönster när vatteninträngningen gått längs med hela kontakten (ca. 196 mm) mellan originalbetong och återfyllningsbruk (exempel från återfyllning med REP2).

Som framgår av Figur 5.19 uppvisar nästan alla horisontella prover läckage i överkant av provet (ej EXP). I underkant prov spretar resultaten men REP1, UND och EXP är i några fall i närheten av kravuppfyllnad.



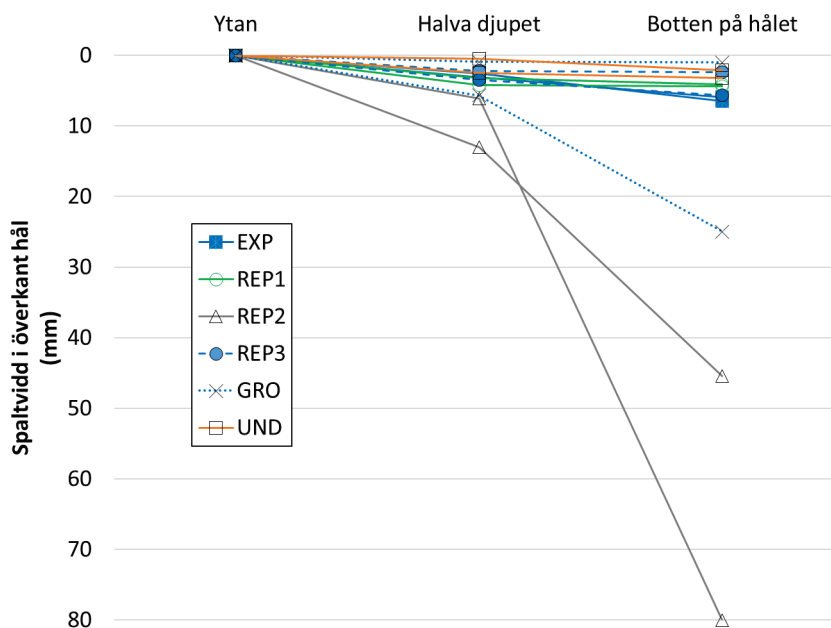
Figur 5.19 Vatteninträngning för överborrade kärnor provade enl. (SS-EN 12390-8, 2019) – Horisontella kärnor (Rutiga staplar avser underkant kärna, Övriga avser överkant kärna).



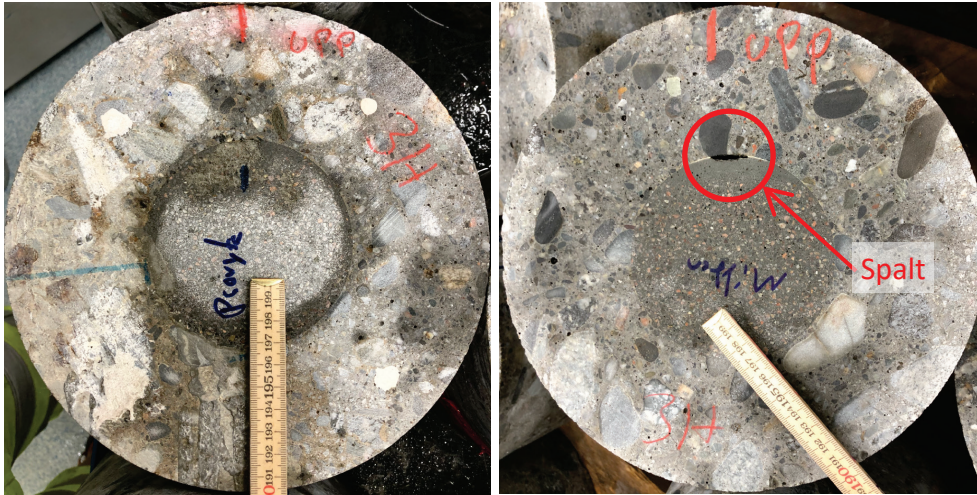
### 5.2.5 Kontroll ifyllnadsgrad, horisontella hål

Efter urborrning och spräckning/sågning längs med kärnan för de horisontella hålen gjordes en okulär syn av hur väl bruket fyllt ut hålet. I Figur 5.20 redovisas resultaten för de två horisontella hålen av varje bruk. Som framgår fyllde inget av bruken ut hela hålet fullständigt utan lämnade en spalt på ca. 1-7 mm i krönet av hålet längst in. Ju tunnare spalt desto mindre hålrum vid krönet.

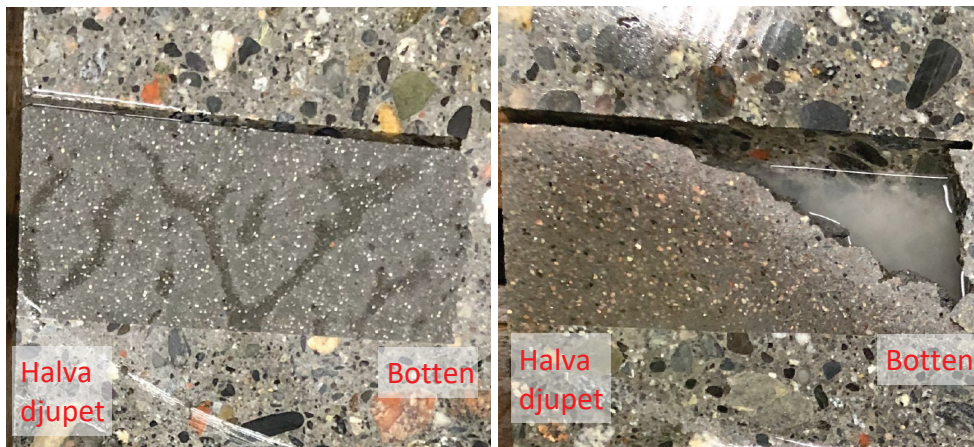
Reparationsbruken REP2 och GRO uppvisade sämst resultat med dålig hålfyllnad och hålrum längs in trots synbart fullt hål vid ytan. I Figur 5.21 visas ett exempel för bruket UND både på 1 cm djup från ytan och vid halva håldjupet där spalten i toppen av hålet syns som en kanal. I Figur 5.22 ses två exempel (REP2 och REP3) och dess olika utfyllnad längs hålets nedre halva.



Figur 5.20 Uppföljning av utfyllnad efter 28 dygn. Spaltvidd i överkant på olika djup i hålet för horisontella hål.



Figur 5.21 Uppföljning av utfyllnad efter 28 dygn för bruk UND. (VÅ) Vinkelrätt snitt på 1 cm håldjup. (HÖ) Vinkelrätt snitt på halva håldjupet, ca 3 mm spalt.



Figur 5.22 Kontroll av bruksutfyllnad på itusågad kärna (i längsled) efter återfyllning och härdning i 28 dygn. (VÅ) Bruk REP3. (HÖ) Bruk REP2.

### 5.3 ANALYS AV RESULTAT

Det är komplicerat att göra en sammanvägd bedömning av hur väl de olika bruken lämpar sig för återfyllning av borrhål. Ett flertal parametrar är kontrollerade, men i slutändan är god vattentäthet och bra hålutfyllnad utan spaltbildning kanske de viktigaste funktionskraven. Detta med förutsättningen att brukets hållfasthet och frostbeständighet är i linje med uppställda krav.

Inget av bruken uppfyllde dessa krav fullt ut, och en slutsats för de horisontella hålen är att det rekommenderas att kärnor tas ut med en liten lutning nedåt. Syftet är att luft ska kunna ta sig ut lättare i överkant av hålet medan hålet fylls med bruk och därigenom minska risken för spaltbildning och dålig kontakt med omgivande betong. Vanligtvis saknar det betydelse för de provningar och analyser som ska göras på borrhålen med en lätt lutning, men det skulle sannolikt underlätta återfyllningen av de horisontella hålen.

Det expanderande bruket EXP var det som uppvisade bäst prestanda med god gjutbarhet, liten spaltbildning och skaplig vattentäthet trots att hålfyllnaden inte blev optimal i de horisontella hålen. Där borde ett lutande hål kunna öka chanserna till fullgod hålutfyllnad.

Av reparationsbruken var det REP1 som gav bäst resultat, men dock med mer spaltbildning och därigenom sämre vattentäthet p.g.a. att hålfyllnaden var något sämre än EXP och att gjutbarheten var sämre än REP3. REP1 hade stenmax 12 mm och REP3 hade stenmax 1,5 mm och var fiberförstärkt. Även här kan de goda gjutegenskaperna på REP3 ha kommit bättre till nytta om lutande hål använts. REP3 hade också bäst resultat på vattentäthet vid återfyllning för de vertikala hålen. Reparationsbruken REP2 hade problem med gjutbarheten, liten spaltbildning men trots det ändå dålig vattentäthet både i horisontella och vertikala hål samt dålig utfyllnad i hålet. Möjligen hade en förbättrad konsistens ökat chanserna till bättre resultat.

Det expanderande undergjutningsbruken UND hade bra gjutegenskaper och väldigt liten spaltbildning, men ändå var vattentätheten i den horisontella hålen inte bra. I de vertikala hålen var vattentätheten god. Även detta bruk hade sannolikt uppvisat bättre prestanda med lutande "horisontella" hål.

Grovetongen GRO uppvisade både dålig vattentäthet och framförallt dålig fyllnadsgrad i de horisontella hålen. Brukets konsistens passade inte för tillämpningen. GRO syftade till att likna platsblandad betong och slutsatsen är att det bör undvikas.

Bruken hade stenmax i spannet 1,5 till 12 mm, men största stenstorleken verkar ha haft en underordnad betydelse då den färska konsistensen och ev. expansion/krympkompensation verkar ha haft större betydelse.

## 6 Rekommendationer

Vid val av bruk har det med all tydlighet framkommit att det utöver en beständighet som är anpassad för exponeringsmiljön även krävs goda egenskaper i färskt tillstånd som gör att fullständig utfyllnad av borrhålet kan erhållas både direkt vid gjutning, efter att bruket har hårdnat och efter lång tid. Nedan listas ett antal rekommendationer som ökar chansen att lyckas med återfyllningen av kärnborrhål.

### 6.1 MATERIALKRAV

Grundläggande krav på bruket som ska användas till återfyllning bör vara att de väljs för att funka i aktuell exponeringsmiljö. För vattenbyggnadskonstruktioner utomhus anges vanligtvis att exponeringsklass XF3/XC4 råder (SS 137003:2015, 2015). Det ger vidare en inriktning för krav på vct, cementtyp, frostbeständighet etc. Enligt standarden accepteras en stor mängd olika cement av typen CEM I och CEM II där CEM II är olika blandcement med ersättning av portlandcement med slagg, flygaska eller silika. Kravet på vattencementtal varierar mellan 0,45 och 0,55 för XF3/XC4 beroende på vilket cement som används, men också om konstruktionen är utsatt ständigt hög fuktbelastning. För frostbeständighet anges krav på lägsta lufthalt till 4,5-5 % beroende på stenmax.

I konventionell betong är det ett känt faktum att den största stenstorleken (stenmax) påverkar betongens krympning (utöver vct etc.). Desto större stenmax, desto mindre krympning. I studien hade stenmax en underordnad betydelse, men lika fullt bör stenmax anpassas till hålets diameter för att kunna erhålla goda gjutegenskaper. Dessutom har hålets längd betydelse, vilket kopplar till hur lång betongen behöver transporteras i hålet vid igengjutning. Ett förslag på rekommendation är att det för korta hål (<1 m) anges ett stenmax som är mindre än 1/10 av håldiametern. För långa hål (>1 m) bör inte stenmax vara större än 1/20 av håldiametern för att underlätta längre transport i hålet utan blockering.

Bruket bör vara expanderande och krympa så lite som möjligt, men föreliggande studie är för liten för att definiera gränsvärden på erforderlig expansion eller acceptabel krympning.

Brukets konsistens rekommenderas också vara mycket lättflytande och de bruk som hade ett flytsättningsmått enl. (SS-EN 12350-8, 2019) på 510 mm eller större hade bättre hålfyllnad. I samband med kontroll av flytsättningsmålet fås även ett mått på viskositeten uttryckt som T500 (tid i sekunder till viss utbredning) testad enl. (SS-EN 12350-8, 2019) uppmättes för de bästa bruken till ca. 20 sekunder eller lägre.

Sammanfattningsvis rekommenderas följande krav för exponeringsklass XF3/XC4 enl. (SS 137003:2015, 2015).

- Cement: CEM I eller CEM II (enl. tabell 8b)
- Vct: < 0,45
- Lägsta lufthalt för frostbeständighet: 5%
- Stenmax:                   Korta hål (<1 m) < 1/10 av håldiametern  
                                  Långa hål (>1 m) < 1/20 av håldiametern
- Expanderande bruk
- Flytsättningsmått=> 550 mm och viskositet uttryckt som T500 < 20 sekunder enl. (SS-EN 12350-8, 2019).<sup>1</sup>
- Låg krympning

För undervattensgjutningar måste bruk innehållande antiutvaskningsmedel användas alt. tillsättas enligt leverantörens rekommendationer så att bruket är sammanhållande vid gjutning under vatten.

## 6.2 UTFÖRANDE

### 6.2.1 Vertikala borrhål

#### *Vatten*

Till all rengöring, förvattning, brukstillverkning och efterbehandling skall rent vatten utan föroreningar eller ämnen som kan förändra brukets hydratationshastighet (t.ex. humus eller klorider) användas. Primärt bör dricksvatten eller motsvarande (t.ex. älvvatten fritt från humus) användas.

#### *Rengöring av hål och hålmynning*

Rengöring ska genomföras direkt efter avslutad borring och vid behov ytterligare en gång före återfyllning om tid gått mellan de två tillfällena.

1. Borrhålet rensas från botten tills klart vatten fritt från skräp, betongkax mm. tränger ut ur borrhålet.
2. Ytan runt borrhålet rengörs t.ex. med våtsug så att kontaminerat vatten inte rinner tillbaka i borrhålet. Säkerställ rengöring om ca. 1 m<sup>2</sup> runt hålet.

#### *Förberedelser av borrhål*

3. Om kärnborrhålet har gått igenom hela konstruktionen in i /ner i ev. fyllningsmaterial behöver förfyllning i botten av hålet göras. Förfyllningen görs med samma bruk som avses användas vid återfyllningen men med lägre vattentillsats för styvt bruk. Låt härda i minst 6 timmar.

<sup>1</sup> Angivna värden är preliminära och kan behöva underbyggas bättre

4. Förvattna hålet genom att fylla hålet helt med rent vatten.
5. Försegla mynningen för att förhindra avdunstning och att ev. skräp faller ner i hålet.
6. Låt vattnet stå i 12 timmar och kontrollera därefter ev. vattenförlust.
7. Vid stor vattenförlust (vattenytan sjunker snabbt, t.ex. >1 m/tim) behöver en bedömning göras om ev. injektering med tryck ska användas istället för återfyllning med bruk.
8. Före gjutning sugs stående vatten ur hålet ca. 2-3 timmar före planerad gjutning. Om begränsade mängder vatten rinner in i hålet efter tömning förkortas tiden till tömning ca. 5-15 minuter före gjutning. Vid större inflöde av vatten behöver injektering istället övervägas alt. val av bruk för undervattensgjutning.
9. Borrhålets yttersta delar (ca. 1 m) rentorkas med luddfria trasor t.ex. fasttejpade på ett bockat armeringsjärn eller liknande så att ytorna i hålet är yttorra utan fritt vatten. Vid kraftig nedsmutsning av trasor kan ny rengöring ev. behövas.

#### *Förberedelser för blandning och gjutning*

10. Gjutning bör undvikas om ursprungsbetongen har en temperatur under +5 C
11. Blandning av bruk ska göras enligt materialtillverkarens anvisningar med rent vatten (se inledningen). Mätkärl för vatten ska ha en noggrannhet om 0,1 liter.
12. Endast hela säckar (ej väga upp delar av) används för att säkerställa rätt blandningsproportioner.
13. Förberedelser så att trastorkning av hål är gjord och rätt antal säckar + mängd vatten för blandning och återfyllning är framtagen för alla borrhål som ska igengjutas inom 20 minuter.

#### *Gjutning*

14. Full stөрhöjd för bruket accepteras i vertikala hål
15. När bruk nått hålmynningen ska kontroll av ev. tecken på separation göras för ev. komplettering med ytterligare bruk av god kvalitet tills fullständig halfyllnad erhållits. Separerat bruk tas bort (sugs bort/bräddas ut).

#### *Efterbehandling och härdning*

16. Efter avslutad återfyllning rengörs ytan runt hålet och hålets mynning förseglas med tätslutande plast för att förhindra tidig uttorkning.
17. Okulär kontroll av ovanytan görs under de första timmarna för att se ev. tecken på bruksläckage inne i konstruktionen.

18. 5-12 timmar efter avslutad återfyllning påbörjas vattenhärdning t.ex. genom applicering av fuktade trasor, vid hålmynningen, under plasten.
19. Nästkommande dagar upprepas fuktning av trasor alt. kontinuerlig vattenbegjutning nästkommande 5 dagar för att uppnå ungefär 50% av 28-dygns hållfastheten och minska risken för tidig uttorkningskrympning.

### 6.2.2 Horisontella borrhål

I allt väsentligt genomförs gjutningarna av horisontella hål på samma sätt som för vertikala hål i 6.2.1. Punkt 4 i förberedelser av hål kan göras genom att montera en 90-graders gjuttratt/"brevlåda" vid hålmynningen för att möjliggöra vattenfyllning. Täthet mot utläckage av vatten eller bruk måste säkerställas.

### 6.2.3 Gjutning under vatten

I föreliggande studie har inte undervattensgjutningar specialstuderats. Generellt gäller dock många av de angivna stegen i utförandeprocessen, men för bättre läsbarhet återges gällande punkter med några mindre justeringar.

#### *Rengöring av hål och hålmynning*

Rengöring ska genomföras direkt efter avslutad borring och vid behov ytterligare en gång före återfyllning om tid gått mellan de två tillfällena.

1. Borrhålet rensas från botten tills klart vatten fritt från skräp, betongkax mm. tränger ut ur borrhålet.
2. Ytan runt borrhålet rengörs t.ex. högtrycksspolning så att skräp, betongkax m.m. inte faller ner i borrhålet. Säkerställ rengöring om ca. 1 m<sup>2</sup> runt hålet.

#### *Förberedelser av borrhål*

3. Om kärnborrhålet har gått igenom hela konstruktionen in i /ner i ev. fyllningsmaterial behöver förfyllning i botten av hålet göras. Förfyllningen görs med samma bruk som avses användas vid återfyllningen men med lägre vattentillsats för styvt bruk. Låt härda i minst 6 timmar.
4. Försegla mynningen för att förhindra att ev. skräp faller ner i hålet.

#### *Förberedelser för blandning och gjutning*

5. Bruk som är avsett för undervattensgjutning ska väljas och bör lämpligen innehålla antiutvaskningsmedel (AUV-medel).
6. Blandning av bruk ska göras enligt materialtillverkarens anvisningar med rent vatten (se inledningen). Mätkärl för vatten ska ha en noggrannhet om 0,1 liter.
7. Endast hela säckar (ej väga upp delar av) används för att säkerställa rätt blandningsproportioner.
8. Förberedelser så att hålförberedelser, rätt antal säckar och mängd vatten för blandning och återfyllning av hela borrhål inom 20 minuter ska göras.

*Gjutning*

9. Full stөрhöjd för bruket accepteras i vertikala hål
10. När bruk nått hålmynningen ska kontroll av ev. tecken på separation göras för ev. komplettering med ytterligare bruk av god kvalitet tills fullständig hålfyllnad erhållits.

*Efterbehandling och härdning*

11. Okulär kontroll av ovanytan görs under de första timmarna för att se ev. tecken på bruksläckage inne i konstruktionen.



## 7 Förslag på fortsatt arbete

Med önskvärd tydlighet har det framkommit att kombinationen av lämpliga färskaregenskaper i termer om konsistens (flytgräns+viskositet), tidig expansion och liten uttorkningskrympning efter tid samt ett gott utförande är viktiga parametrar för ett lyckat resultat. Detta utöver att kravprofilen för materialsammansättningen är uppfylld för att klara rådande exponeringsklass och därigenom ge fullgod beständighet på återfyllningsmaterialet självt.

Inom ramen för studien har det inte gått att utröna vilka lämpliga kravnivåer som bör definieras för konsistens, expansion och krympning för fullgod vattentäthet och minskad risk för följdproblem. Bruksleverantörer refererar till olika standarder och vid olika tidpunkter efter gjutning vilket gör jämförelsen mellan olika produkter svår. Därför föreslås att en provserie genomförs för att definiera lämpliga kravnivåer.

Inga tester med undervattensgjutning har gjorts för att kontrollera om kommersiella bruk uppfyller önskade prestanda eller om det finns behov av eventuella justeringar i rekommenderat förfarings sätt. Även här skulle en kompletterande försöksserie vara till nytta.

Ev. kan injekteringsbetong vara ett alternativ att utreda eftersom en väl utförd injekteringsbetong har mycket låg krympning och skulle kunna ge förutsättningar för god täthet efter återfyllning.

## 8 Referenser

- AMA Anläggning. (2017). *Allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten - AMA Anläggning 17*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.
- Betonghandboken. (1994). *Betonghandboken Material*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.
- Betonghandboken. (1997). *Betonghandbok Arbetsutförande*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.
- Grönholm, R. (2000). *Utvärdering av borrhärlor från betongkonstruktioner*. Stockholm: Energiforsk, rapport nr. 01:01.
- Model Code. (2012). *fib Model Code 2010*. Lausanne: fib - International Federation for Structural Concrete.
- Nordström, E., & Eriksson, D. (2019). *Inventering av inre vattenögsbesiktningar*. Stockholm: Energiforsk.
- Rosenqvist, M. (2016). *Frost-induced deterioration of concrete in hydraulic structures - Interaction between water absorption, leaching and frost action*. Lund, Sweden: Lund University of Technology, report TVBM-1036.
- SS 137003:2015. (2015). *Betong - Användning av SS-EN 206 i Sverige*. Stockholm: SIS.
- SS 137215. (2000). *Betongprovning - Hårdnad betong - Krympning*. Stockholm: SIS.
- SS-EN 12350-2. (2019). *Provning av färsk betong - Del 2: Sättmått*. Stockholm: SIS.
- SS-EN 12350-8. (2019). *Provning av färsk betong - Del 8: Själökompakterande betong - Flytsättmått*. Stockholm: SIS.
- SS-EN 12390-3. (2009). *Provning av hårdnad betong - Del 3: Tryckhållfasthet hos provkroppar*. Stockholm: SIS.
- SS-EN 12390-6. (2009). *Provning av hårdnad betong - Del 6: Spräckhållfasthet hos provkroppar*. Stockholm: SIS.
- SS-EN 12390-8. (2019). *Provning av hårdnad betong - Del 8: Vatteninträngning under tryck*. Stockholm: SIS.
- SS-EN 12617-4. (2002). *Betongkonstruktioner - Provning av produkter och system för skydd och reparation - Del 4: Krympning och svällning*. Stockholm: SIS.
- SS-EN 14487-1. (2005). *Sprutbetong - Del 1: Definitioner, specifikationer och kriterier för överensstämmelse*. Stockholm: SIS.
- SS-EN 1504-3. (2005). *Betongreparationer - Produkter och system för skydd och reparation - Del 3: Reparation*. Stockholm: SIS.
- SS-EN 206:2013. (2016). *Betong - Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse*. Stockholm: SIS.
- VU-SC2. (2016). *Provning av konsistens på expanderande undergjutningsbruk*. Älvkarleby: Vattenfall AB.

## Sökord

Borrhål, kärnborrhål, reparation, återfyllning, igengjutning, betong, vattenbyggnad

# ÅTERFYLLNING AV KÄRNBORRHÅL I BETONG

Uttag av borrhärlor är en vanlig metod för att kontrollera betongens egenskaper i en befintlig konstruktion. Efter kärnbörning ställs ofta krav på att de hål som uppstår ska återfyllas, men krav på material- och metodval saknas ofta. Med bristfälligt återfyllda hål skapas en ökad risk för att skador uppstår.

Syftet med detta projekt har varit att identifiera material och anvisningar för att återfyllningar ska få likvärdiga eller förbättrade egenskaper jämfört med ursprungsbetongen och därmed minska risken för att skador uppstår. Olika material och lagningsmetoder har undersökts i laboratorieförsök. En övergripande rekommendation av lämpliga krav på bruk och utförande finns angivna i rapporten för såväl återfyllning av kärnborrhål i torrhet och under vatten.

## Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)