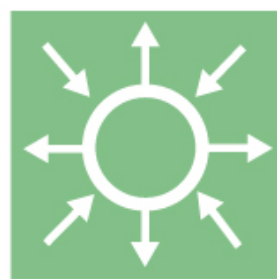




Risker för alkalisilikareaktion i dammar av betong med lågalkaliska cement och ballast från fjällbergarter

Undersökning av fyra dammar

Elforsk rapport 13:55



Mariusz Kalinowski, Ida Fossenstrand, Jan Trägårdh

Juni 2013

ELFORSK

Förord

Många stora konstruktioner inom vattenkraftindustrin består av betong. Att utveckla och effektivisera förvaltning av dessa är av största betydelse. Genom FoU-insatser ökar möjligheten att genomföra åtgärder vid rätt tid, till lägsta möjliga kostnad och till rätt kvalitet.

Vattenkraftföretagen*) har via Elforsk bedrivit forskning och utveckling inom det betongtekniska området sedan början av 90-talet.

Verksamheten syftar till att utveckla förvaltningen av vattenkraftens betongkonstruktioner för att minska produktionsbortfall orsakade av problem med betongkonstruktioner. Men det finns även en direkt koppling till dammsäkerhetstekniska krav på förvaltningen av betongkonstruktionerna.

Målet är att ta fram verktyg, riktlinjer, utförandebeskrivningar och teknik som fyller industrins behov. Målet är också att bygga kompetens. En uttalad ambition är att samarbeta med övrig industri och landets tekniska högskolor.

Under perioden 2010-2012 har tidigare inriktning mot kraftverkets yttre betongkonstruktioner kompletterats med aggregatnära betongkonstruktioner som utsätts för alltmer dynamisk belastning vid förändrade driftsätt och ökat reglerkraftbehov.

En styrgrupp prioriterar och beslutar om genomförande av projekt inom programmets ram samt stödjer projektverksamheten i genomförandet. Den har under 2010-2012 bestått av följande personer:

Mats Persson/Erik Nordström/Malte Cederström, Vattenfall Vattenkraft

Johanna Feldtman, E.ON Vattenkraft Sverige

Martin Hansson/Jan Liif, Statkraft Sverige AB

Robert Lundström/Markus Eriksson/Emma Sundelin, Skellefteå Kraft

Stefan Norberg/Karin Persson, Fortum

Marcus Hautakoski/Gunnar Sjödin, Vattenregleringsföretagen

Cristian Andersson/Marie Westberg Wilde, Elforsk AB

Stockholm juni 2013



Cristian Andersson

Elforsk

*)Vattenfall Vattenkraft AB, Fortum Generation AB, E.ON Vattenkraft Sverige AB, Statkraft Sverige AB, Skellefteå Kraft AB, Jämtkraft AB, Sollefteåforsens AB, Karlstads Energi AB, Jönköping Energi AB deltar i Betongtekniskt program vattenkraft 2010-2012.

Sammanfattning

Skador på dammkonstruktioner som är orsakade av alkalisilikareaktion (ASR) har generellt antagits vara något som Sverige förskonats från. Vid nybyggnation av dammar och vägar i fjällkedjan har ballastmaterial provats med avseende på alkalireaktivitet. Provningarna har då visat att alkalireaktiva bergarter är vanligt förekommande i fjällkedjan. Ballast som innehåller dessa bergarter kan orsaka en expanderande reaktion i betong, vilket i sin tur kan leda till skador på dammkonstruktioner.

Denna rapport innehåller resultat av en studie som syftar till att fastställa huruvida svenska dammar lokaliserade i fjällkedjan har ASR-skador samt hur långt gånga dessa är. Studien syftar även till att ligga till grund för framtida livslängdsberäkningar och fungera som stöd för tillståndsbedömningar med avseende på ASR. Studien omfattar besiktning av dammar i Ajaure, Gardikfors och Överuman som är belägna längs Umeälv samt betongpetrografiska analyser och tester av prover från dessa tre dammar och från Håckren, belägen vid Storån i Jämtland.

I samband med besiktning av dammarna på plats noterade vi förekomst av områden på betongkonstruktioners ytor som uppvisar ett krackeleringsmönster (se exempel i Figur 4 och 6, Bilaga 1). Liknande krackeleringsmönster kan vara orsakade av en expanderande reaktion i betongen, till exempel ASR. Betongpetrografisk analys av prover som gjordes i laboratorium visade dock att det observerade krackeleringsmönstret inte är orsakad av ASR och att det består av ytliga sprickor. Andra typer av sprickor som observerades i samband med besiktningen av dammar i Ajaure, Gardikfors och Överuman bedöms inte heller vara orsakade av alkalisilikareaktion. Mikrosprickfrekvensen i betongprovernas bindemedel och ballast är låg. Betongpetrografisk analys av prover har inte visat några tecken på att alkalisilikareaktion har inträffat i någon av de fyra undersökta dammarna. Vår bedömning är därför att ingen ASR har inträffat hittills i de undersökta konstruktionerna.

Betongprover tagna från pelare i Ajaure och prover från Gardikfors och Överumans regleringsdamm innehåller ballast som består av amfibolit. Amfiboliten innehåller små mängder av mylonitiska zoner med finkristallin kvarts som kan eventuellt vara långsamt reaktiva i högalkalisk miljö. Denna ballast är inte reaktiv i betong med ett lågalkaliskt cement som LH Limhamn och Degerhamn Anläggningscement.

Betongen från Håckren innehåller potentiellt alkalireaktiv ballast som består av gråvacka/lågmetamorf gråvacka (20 %) och finkornig skiffer (5 %). Betongprovet taget från nedströms ledmur i Ajaure innehåller potentiellt alkalireaktiv ballast som består av gråvacka (10 %) och finkorniga metasedimentära bergarter (10 %). Dessa bergarter är dock inte alkalireaktiva i betong med ett lågalkaliskt cement.

Resultat från provning av ballastens alkalireaktivitet i lågalkalisk fuktig miljö gav negativa resultat i avseende på expanderande reaktioner i betongerna. Inga expanderande trender som kan indikera alkalisilikareaktion har påvisats i prover från Ajaure, Gardikfors, Håckren och Överuman. Resultat från

provningen indikerar således att ballasten i betongproverna inte är reaktiv i den lågalkaliska miljö som LH Limhamn och Anläggningscement innebär.

Kemisk analys av cementpastor från betongprover tagna i Ajaure, Gardikfors, Håckren och Överuman gav $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv.}} = 0,2\text{-}0,5$ vikt%. Det innebär att cementen är lågalkaliska ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv.}} < 0,6$ vikt%) och indikerar att ingen inträngning och anrikning av alkalier utifrån har skett i de undersökta konstruktionerna.

Vår bedömning är att det inte finns någon risk för ASR-relaterade skador på de undersökta delarna av dammar i Ajaure (pelare), Gardikfors och Överuman. Risken för ASR-relaterade skador i den delen av dammen i Håckren som representeras av de undersökta proverna samt nedströms ledmurar i Ajaure som byggdes 2002 bedöms som mycket liten, även på lång sikt (50+ år). Detta gäller under förutsättning att det inte sker någon inträngning av alkalier utifrån och anrikning av de i betongen.

Summary

Damages due to alkali-silica reactions (ASR) in dam constructions are assumed as something that Sweden is spared from. During construction of new dams and roads in the Swedish mountain area, rock materials have been tested for alkali reactivity. Those tests showed that alkali reactive rocks are common in the Swedish mountain area. Concrete aggregate, which contains such rocks can cause an expanding reaction in the concrete, which in turn can lead to deterioration of a dam.

This report presents the results of a study designed to determine whether the Swedish dams located in the mountain area are exposed to ASR, and how far the reactions have gone. The study also aims to provide a basis for future lifespan calculations and to provide support for state assessments with respect to ASR. The study consists of an inspection of three dams located along the Ume River, at Ajaure, Gardikfors and Överuman, along with petrographic analyses and tests of concrete samples collected at those three dams and samples taken from regulatory dam at Håckren, located along Storån, in Jämtland.

During the inspection of the dams we noticed areas on the concrete surfaces that show a cracking pattern (see example in Fig. 4 and 6, Attachment 1). Similar type of cracking pattern can be caused by an expanding reaction in the concrete, e.g. ASR. The petrographic analyses of the concrete samples made in laboratory have however showed that the observed cracking pattern is not caused by ASR and that the cracks are only superficial. The other types of cracks in the concrete, which were observed during the field inspection of the dams in Ajaure, Gardikfors and Överuman are not either caused by alkali silica reaction. The abundance of the micro cracks in the concretes' binder and aggregate is low. The petrographic analysis of the concrete samples did not show any sign of ASR in any of the four investigated dams. Our conclusion is therefore that no alkali-silica reaction has occurred in the investigated parts of the dams.

The concrete samples collected from pillars at Ajaure and the samples from Gardikfors and Överuman's regulatory dam contain aggregate, which consists of the rock type called amfibolite. There are small amounts of mylonitic zones in the amfibolite. Those zones contain micro-crystalline quartz, which may be slow reactive in high-alkaline environment. The aggregate is however not reactive in a concrete with the low alkaline cements such as LH Limhamn and Degerhamn Anläggningscement.

The concrete samples from Håckren contain potentially alkali reactive aggregate, which consists of rocks such as greywacke/ low metamorphic greywacke (20 %) and fine-grained schist (5 %). The aggregate in the sample collected from a fender wall in Ajaure contains 10 % of greywacke och 10 % of fine-grained low metamorphic sedimentary rocks. This aggregate is however not reactive in a concrete with the low alkaline cement. The results from the tests of the aggregates' alkali reactivity under wet condition and in a low-alkaline environment did not indicate any expanding reaction in the concrete samples from Ajaure, Gardikfors, Håckren or Överuman's regulatory

dam. We interpret the outcome of the tests as the aggregates are not reactive in a concrete with a low alkaline cement such as LH Limhamn and Degerhamn Anläggningscement.

Analyses of the chemical composition of the cement pastes from samples collected at Ajaure, Gardikfors, Håckren and Överuman showed $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv.}} = 0,2\text{--}0,5$ weight %. This means that the cement pastes in the concretes can be regarded as low-alkaline according to the requirement of $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv.}} < 0,6$ weight-%. This also indicates that no influx and enrichment of alkali from outside have occurred in the concrete at the sampled sites.

Our estimation is that there is no risk for alkali-silica reaction in the investigated parts of the dams at Ajaure (the pillars), Gardikfors and Överuman. The risk for ASR-related damages on the part of the dam in Håckren, which is represented by the concrete samples, and the fender walls in Ajaure, which were build in 2002 is estimated to be very small, even in a long term such as 50+ years. Estimation for the dam at Håckren and the fender walls in Ajaure is however valid only under an assumption that no influx and enrichment of alkali from outside occurs in the concrete.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Mål och syfte	1
1.3	Avgränsningar	2
1.4	Läsinstruktioner	2
2	ASR i dammkonstruktioner	3
2.1	Alkalisilikareaktioner	3
2.1.1	Cement	3
2.1.2	Ballast	4
2.1.3	Miljö	5
2.2	Dammar	5
2.2.1	Symptom hos ASR-skadad betong	6
2.2.2	Konsekvenser	7
3	Val av undersökningsområde och objekt	8
3.1	Val av undersökningsområde	8
3.2	Val av dammar	9
3.2.1	Ajaure	10
3.2.2	Gardikfors	11
3.2.3	Överumans regleringsdamm	11
3.2.4	Häckren	12
3.3	Platsbesök	12
4	Metoder	13
4.1	Okulär besiktning av konstruktioner på plats	13
4.2	Provtagning och preparering	13
4.3	Betongpetrografisk analys i planslip och tunnslip	13
4.4	Petrografisk analys av ballast i planslip och tunnslip	14
4.5	Mikrostrukturanalys i SEM - alkalihalt i cementpastor	14
4.6	Provning av ballastens alkalireaktivitet	14
5	Resultat	16
5.1	Besiktning av betongkonstruktionerna på plats	16
5.1.1	Ajaure	16
5.1.2	Gardikfors	18
5.1.3	Överumans regleringsdamm	18
5.2	Petrografisk analys av ballast	19
5.2.1	Sammansättning hos ballast i prov A3 från Ajaure	20
5.2.2	Sammansättning hos ballast i prov A8 från Ajaure	20
5.2.3	Sammansättning hos ballast i prov G3 från Gardikfors	20
5.2.4	Sammansättning hos ballast i prov H1 från Häckren	20
5.2.5	Sammansättning hos ballast i prov K2 från Överuman	20
5.3	Betongpetrologisk undersökning i planslip	21
5.4	Betongpetrologisk undersökning i tunnslip	23
5.4.1	Betongpetrografisk beskrivning av prov A3 från Ajaure	23
5.4.2	Betongpetrografisk beskrivning av prov A8 från Ajaure	24
5.4.3	Betongpetrografisk beskrivning av prov G3 från Gardikfors	24
5.4.4	Betongpetrografisk beskrivning av prov H1(a) från Häckren	24
5.4.5	Betongpetrografisk beskrivning av prov H1(b) från Häckren	25
5.4.6	Betongpetrografisk beskrivning av prov K2 från Överuman	25
5.5	Kemisk analys av alkalihalten i cementpasta	26
5.6	Provning av ballastens alkalireaktivitet	26

6	Diskussion	29
6.1	Besiktning av konstruktioner på plats och betongpetrografisk analys i laboratorium	29
6.2	Ballastens sammansättning	30
6.2.1	Ajaure, Gardviken och Överuman	30
6.2.2	Håckren	30
6.3	Bindemedlets kemiska sammansättning	31
6.4	Provning av ballastens alkalireaktivitet	32
7	Slutsatser	33
7.1	Betongens nuvarande tillstånd i avseende på alkalisilikareaktion	33
7.2	Ballastens sammansättning	33
7.3	Ballastens alkalireaktivitet	33
7.4	Cementpastornas alkalihalt	34
7.5	Risker för alkalisilikareaktion i undersökta dammkonstruktioner	34
8	Referenser	35
Bilaga 1	(Bildbilaga)	36
Bilaga 2	(Bildbilaga)	47
Bilaga 3	(Bildbilaga)	55
Bilaga 4	(Bildbilaga)	58

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Alkalisilikareaktioner (ASR) kan sammanfattas med att alkalireaktiv ballast kommer i kontakt med alkalier som finns i cementpastans porlösning och bildar en mer eller mindre viskös gel. Gelen expanderar då den absorberar vatten, vilket kan resultera i att betongen spricker.

Alkalisilikareaktioner är vanligare på de södra breddgraderna där det finns större mängd av snabbreaktivt ballastmaterial. Italien är exempel på land där flinta och opal orsakat stora problem. Andra länder som har haft problem är Island, Japan och Nya Zeeland (vulkaniska glasiga till kryptokristallina bergarter), Danmark, England, Kanada, Tyskland, Belgien (silexprodukter), Portugal, Brasilien, USA, mm [1]. I Sverige är snabb- till mellanreaktiva bergarter relativt ovanliga. ASR-relaterade skador som är orsakade av långsamreaktiv ballast kan överskuggas av andra långsamt verkande och välkända skadeorsaker, som till exempel frost/tö-verkan. Det är således möjligt att det finns fall där man inte har upptäckt att den utlösande mekanismen hos skadeförloppet bestod av ASR-relaterad sprickbildning som försämrade betongens beständighet. Den förhållandevis svåra identifieringen av ASR som orsakas av långsamt reaktiv ballast kan förklara varför risker med ASR har uppmärksamats relativt sent i Sverige.

I fjällkedjan finns ett antal alkalireaktiva bergarter som har används som ballast i betong. Det kan därför misstänkas att flertal dammar i Sverige är byggda med betong som innehåller alkalireaktiv ballast. Risker med ASR-relaterade skador i betong med dessa bergarter och lågalkaliska cement är inte tillräckligt väl kända. För dammkonstruktioner med en extremt lång beräknad livslängd är det av yttersta vikt att kunna prediktera skador orsakade av ASR.

Den aktuella studien omfattar besiktning på plats av dammar i Ajaure, Gardikfors och Överumans regleringsdamm samt laboratorieundersökning av betongprover tagna från dammar i Ajaure, Gardikfors, Håckren och Överuman. Undersökningens syfte är att kontrollera om betongen innehåller alkalireaktiv ballast, om ASR har inträffat i betongen eller alternativt om det finns risk att ASR inträffar i betongen på lång sikt (50+ år) och i så fall vad blir reaktionens konsekvenser för dammkonstruktionerna. Samtliga konstruktioner som ingår i studien är byggda med lågalkaliska cement.

1.2 Mål och syfte

Syftet med denna studie är att utvärdera huruvida betongskador orsakade av alkalireaktiv ballast är ett reellt problem bland de svenska vattenkraftverken, främst i fjällregionen. Studien kommer även att ge information som kan ligga till grund för bättre tillståndsbedömningar och livslängdberäkningar på nya och gamla dammkonstruktioner i den svenska fjällmiljön.

1.3 Avgränsningar

Platsbesök kommer endast att göras inom ett geografiskt område, detta då budgeten är begränsad.

1.4 Läsarinstruktioner

Rapportens första del sammanfattar grundläggande teori angående alkalisilikareaktioner. Bakomliggande information till hur dammar och undersökningsområden valts redovisas också. Längre fram i rapporten presenteras resultat av undersökningen, följda av diskussion och slutsatser.

2 ASR i dammkonstruktioner

2.1 Alkalisilikareaktioner

Alkalisilikareaktioner beror i korta drag av att kalium-, natrium- och kalciumhydroxid reagerar med kiseldioxid från ballasten. Basisk porlösning från cement bryter ner kiseldioxiden varefter positiva kalium-, natrium- och kalciumjoner följer med hydroxyljonerna som bibehåller elektroneutraliteten. Kiseldioxid kan hittas i allt från stora kristaller till små amorfa korn. Ju mindre kornen är, desto större reaktivitet har de i betong. Detta beror av att den totala specifika ytan ökar då storleken på kornen minskar.

Alkalisilikagelen som bildas upptar större utrymme än den ursprungliga kiseldioxiden vilket trycksätter omkringliggande material. Vid upptagande av fukt expanderar gelen och trycket ökar. Expansionsförloppets styrparametrar är bara delvis kända, något som försvårar möjligheterna att göra livslängdsbedömningar men även att utveckla provningsmetoder som kan tydligt översättas till verkliga förhållanden för en konstruktion. Vid tillräckligt högt tryck spräcks materialet. Sprickan som bildas sprids inifrån ballastkornet ut till omkringliggande cementpasta.

Alkalisilikagel kan bildas utan att orsaka uppsprickning. Detta då fukttillgången är knapp eller då någon av de andra nödvändiga variablerna saknas. För att den skadliga reaktionen ska kunna äga rum krävs tillräckligt hög alkalihalt i cementen, fukt, reaktiv ballast och förmodligen även tillgång på kalciumhydroxid. Mängden gel och det genererade svälltrycket är beroende av temperatur, typ av reaktivt material, gelsammansättning, fukttillstånd och fukttransport i betongen [1].

2.1.1 Cement

Cementpastans alkalinitet är av största vikt för alkalisilikareaktionens förlopp. Ett högalkaliskt cement i kombination med reaktiv ballast genererar en snabbare reaktion än då ett lågalkaliskt cement använts i kombination med samma ballast. Alkaliinnehållet anges vanligen i form av natriumoxid-ekvivalent alkalihalt som beräknas enligt Ekvation 1.

$$(Na_2O)_{eq} = 0,66K_2O + Na_2O (\%) \quad (1)$$

Alkaliinnehållet för portlandcement ligger inom intervallet 0,2-1,5 %. För att motverka ASR får den natriumoxidekvivalenta alkalihalten inte överstiga 0,6 % av cementvikten [2]. Lågalkaliska cement definieras därför som cement med en natriumoxidekvivalent alkalihalt som är <0,6 vikt%. En låg alkaliinnehåll som är tillgänglig för reaktion med betongens ballast kan även uppnås genom att ta till ett blandcement som godkänts för sådan användning. Vanligen rör det sig om inblandning av slagg, flygaska eller annan pozzolan.

För byggnation av stora konstruktioner, exempelvis dammar, används med fördel ett LH-cement. I Sverige tillverkas dock inte LH-cement längre. Användande av Anläggningscement, som har måttlig värmeutveckling, har tillsammans med nya gjutmetoder ersatt LH-cement [2]. Anläggningscement är ett standard portlandscement med speciella egenskaper. Tillverkning sker av råmaterial med naturligt låg alkalihalt. Anläggningscement är således lågalkaliskt men även sulfatresistent tack vare en låg halt av C_3A .

Na_2O -ekvivalenta alkalihalten i cementsorten Limhamn LH är 0,4 vikt %. I cementsorten Degerhamn Anl Std P CEM I är $Na_2O_{ekv.} = 0,5$ vikt %. Båda cementsorterna klassificeras därför som lågalkaliska.

2.1.2 Ballast

Den svenska berggrunden kan grovt delas in i tre typer:

- o Ultrabasisk berggrund ($<45\% SiO_2$)
- o Basisk berggrund ($45-52\% SiO_2$)
- o Sur berggrund ($>63\% SiO_2$)

Till stor del består den Svenska berggrunden av äldre graniter, gnejser och vulkaniska bergarter [1]. Bland potentiellt alkalireaktiva bergarter som är vanliga i Sverige kan nämnas: ryolit, porfyr, tuff, hornfels, sandsten, gråvacka, vissa typer av gnejs, mylonit, breccia, flintaförande kalksten, vissa typer av finkorniga sedimentära bergarter, lerskiffer. De alkalireaktiva bergarternas mängd varierar mellan olika regioner och olika grustäkter/stenbrott. Vissa bergarters förekomst är helt regionalt begränsad, till exempel flintaförande kalksten som inom Sverige finns bara i Skåne.

Berggrunden i fjällkedjan består av många bergarter. Dessa bergarter har dock en sak gemensamt, de är alla mer eller mindre deformerade. Kraftigt deformerade bergarter kan innehålla så kallad "stressad kvarts" och kvartskrystaller med mycket oregelbundna korngränser (stor reaktionsyta) som reagerar relativt lätt med cementpastans alkaliska porlösningar. Tektonisk uppkrossade bergarter som till exempel mylonit innehåller finkornig kvarts som är långsamt reaktiv i betong. I fjällkedjan förväntas främst (ler)skiffer, sandsten, gråvacka, sparagmit och mylonitiserad gnejs vara de bergarter som är mest reaktiva [1].

Skillnaden mellan långsam-, mellan- och snabbreaktiv ballast hittas i hur stor del av ballasten som reagerar och i vilken utsträckning. Den kemiska reaktionen är densamma för alla de tre typerna av alkalireaktiv ballast. Långsamt reaktiv ballast ger inte upphov till synliga skador lika tidigt som mellan- och snabbreaktiv ballast gör. Långsamt alkalireaktiva bergarter antas allmänt inte ge upphov till skador i betong med lågalkaliska cement.

I fjälltrakten finns också en gråvacka (en sedimentär bergart) som innehåller amorf silika ("opal"). Ballast med amorf silika är snabbreaktiv och denna gråvacka har en struktur och mineralsammansättning som liknar bergarter undersökta av Stark [11]. Hans undersökning visade att sedimentära

bergarter med amorf silika kan ge en expanderande reaktion redan vid natriumoxidekvivalent alkalihalt som är <0,4 vikt%.

Ballastens alkalireaktivitet kan uppskattas med hjälp av petrografisk analys. I denna bör ingå en okulär besiktning samt tunnslipsanalys av stenmaterialet. Standardmetoder för provning av ballastens reaktionspotential genom expansionsmätning av betongprismor, till exempel RILEM AAR-metoderna, exponerar ballastmaterialet för högalkalisk miljö. Det är viktigt att påpeka att ett ballastmaterial som ger en expanderande alkalisilikareaktion i en sådan provning kan förbli "ofarlig" i en betong med ett lågalkaliskt cement. I dagens läge känner vi inte till någon enkel standardmetod som ger en tillförlitlig analys av ballastens reaktionspotential på lång sikt och i lågalkalisk miljö.

2.1.3 Miljö

Tillgång på fukt är en viktig parameter för att ASR ska kunna utvecklas. Dammar har en naturlig kontinuerlig fuktransport genom betongkroppen då uppströms sida ständigt är utsatt för vattentryck. Även temperatur spelar roll varför skillnad mellan en konstruktions syd- och norrsida förväntas, där sydsidorna är värre angripna än norrsidorna [1]. Den högre fukthalten på norrsidan är således inte ensam med att påverka reaktionshastigheten utan även temperatur- och fuktväxlingar på sydsidan kan spela minst lika stor roll.

2.2 Dammar

Betongdammar delas in i två grupper:

- Gravitationsdammar:
 - o Massivdammar: konstrueras så att dammens egenvikt motverkar stjälpning. Nackdelen med denna damm är att stora mängder betong krävs. Ingen av de större gravitationsdammarna i Sverige är byggda som massivdammar[3].
 - o Lamelldammar: för att minska materialåtgången förankras dammen i undergrunden. Det effektivaste är dock att vinkla uppströmssidan på så sätt att den nedåtriktade kraft vattnet bidrar med kan utnyttjas
- Valvdammar: principen för en valvdamm innefattar ett kraftöverförande av vattnets belastning till dammens anfang genom valvverkan. För att detta fysiskt ska fungera krävs god kvalitet på det berg dammens sidor vilar mot.

Svenska dammbeståndet (dammar>15m) domineras av gravitationsdammar (89%) varav lamelldammar står för 62 %. Valvdammar står således endast för en liten del, dvs 11 % [4].

För nybyggda betongkonstruktioner finns krav på slutprodukt och på de material som används, exempelvis är betongkvaliteten hos en damm kravsatt att klara lägst miljöklass B3, "måttlig betongaggressiv miljö". Detta innebär att ett täckskikt på minst 25mm krävs. För betong i vattentäta konstruktioner

och utsatt för frysning har den allmänna uppfattningen hittills varit att hålla ett vct som är högst 0,55 [4].

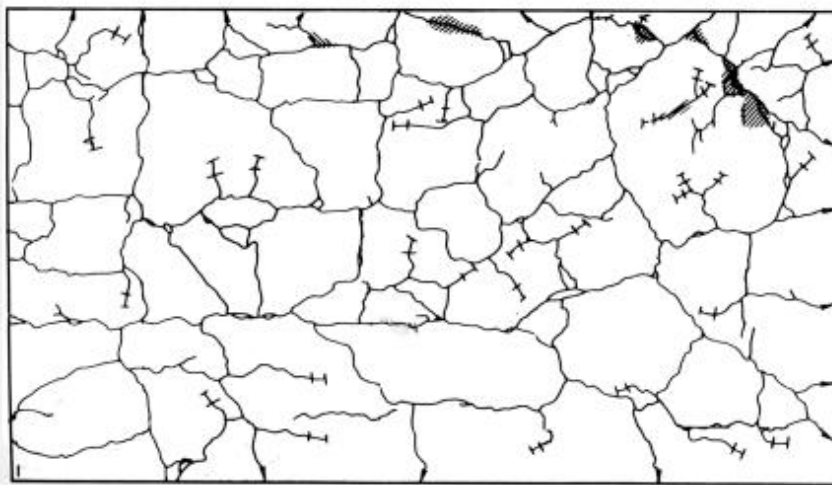
Dessa krav har inte alltid sett likadana ut. Dammar konstruerade på 1940-talet kunde exempelvis innehålla ersättningscement (E-cement). Dammar byggda efter 1950 förväntas dock vara av god kvalitet. Modern teknik för vattenbyggnadsbetong, kunskap om betongtillverkning och god praktisk utförandeteknik bör ha tillämpats. Betongen har i de flesta fall gjutits med långsamt hydratiserande cement (LH-cement), godkänd ballast, kontrollerat luft- och konsistensinnehåll samt inte minst kontrollerad stighastighet vid gjutningsmomentet [4].

Dammkonstruktioner i betong förutsätts vara beständiga. De ska dimensioneras och utföras så att de kan uppfylla ställda täthetskrav samt med god säkerhet tåla belastningar och deformationer utan att varken stabilitet, hållfasthet eller funktion brister. Därför måste betongen vara inert och sprickfri, vilket uppnås då cementpastan och ballasten samverkar på ett tillfredsställande sätt samt att konstruktionen utformats och uppbringats på ett korrekt tillvägagångssätt.

Vid dimensionering av dammkonstruktioner i betong läggs stor vikt på betongens vattentäthet, hållfasthet, frostbeständighet och motståndskraft mot kemiska angrepp. Betong skadad av ASR är varken inert eller sprickfri, detta bjuder in till sekundära skador, exempelvis frost- och armeringsskador.

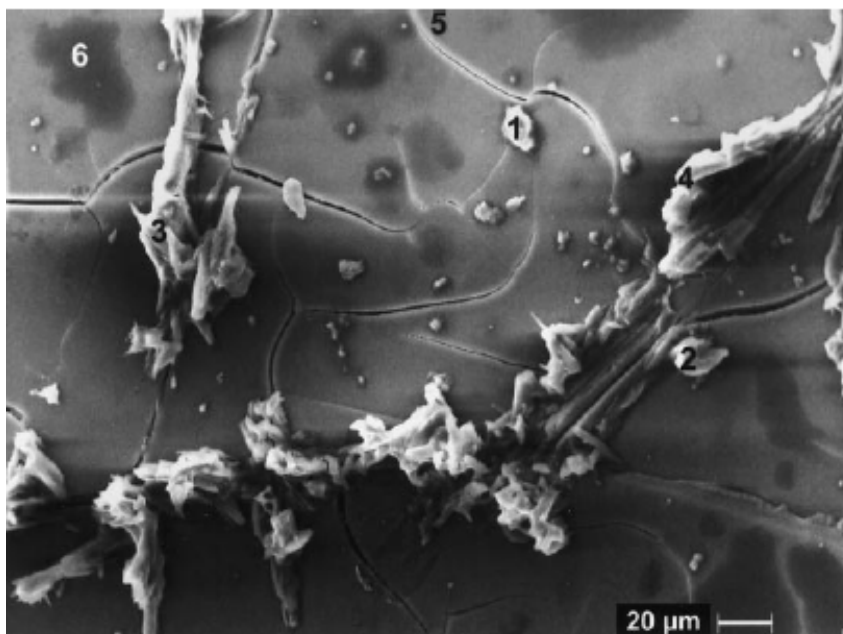
2.2.1 Symptom hos ASR-skadad betong

ASR-skadad betong uppvisar två olika typer av sprickmönster. Det ena är så kallade "pop-outs" varvid utsprängning har enbart skett i betongens yta. Det andra är ett sprickmönster (krackelering) där sprickorna bildar ett nätverksmönster vilket sträcker sig mer eller mindre djupt in i betongen (se Figur 1).



Figur 1 Krackeleringsmönster [5].

I enstaka fall kan man även observera utsprängd gel i sprickor på betongens yta (se Figur 2). Den utsprängda alkalisilikagelen som i början är flytande adsorberar med tiden kolsyra från luften och omvandlas till en fast vit beläggning [2].



Figur 2 Utsprängd alkalisilikagel i brasilianska Furnas dammen [6].

2.2.2 Konsekvenser

De negativa effekterna på betongkonstruktioner som alkalisilikareaktion har beror främst på den sprickbildning som uppkommer. Dessa sprickor underlättar för andra skadeprocesser att få fäste i betongen. Exempel på en sekundär beständighetsnedsättande skademekanism är frostsprängning. Mikrosprickor som har orsakats av expanderande ASR fylls av vatten som spränger upp betongen ytterligare då vattnet fryser. Betong innehållande alkalisilikagel är dessutom mer känslig mot frost jämfört med betong som inte är utsatt. Vid expansion av porvattnet vid frysning behövs en viss porvolym för att betongen inte ska spricka. Bildad alkalisilikagel ansamlas initialt i betongens porer och minskar därmed dess resistans mot frost.

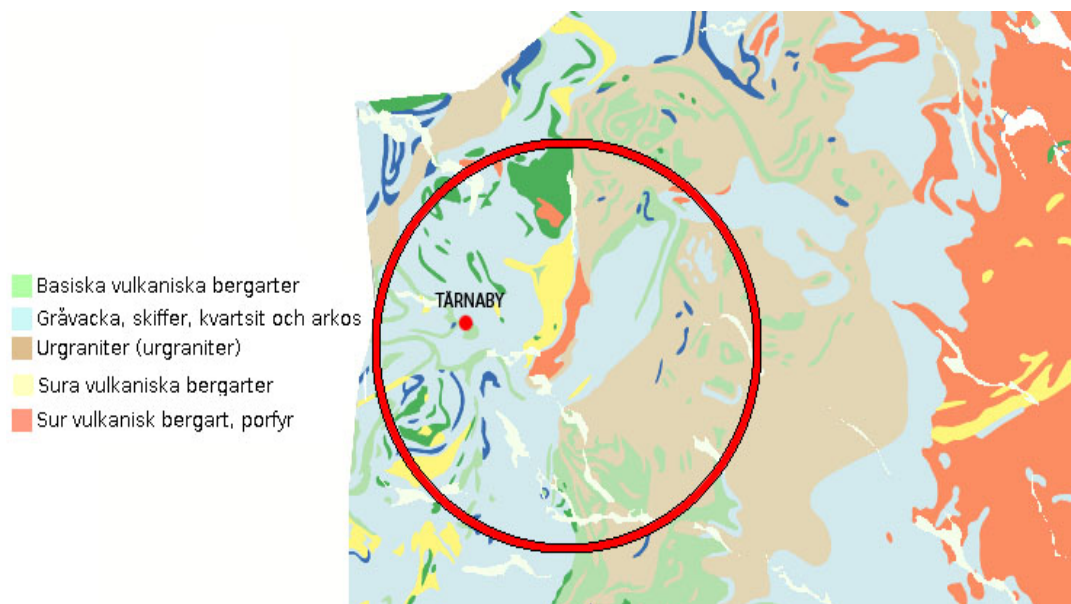
Propagerande ASR-skador genererar också rörelser i betongkonstruktionen vilket exempelvis kan orsaka att dammluckor fastnar. Detta kan medföra allvarliga konsekvenser om det inte upptäcks i tid. Grav sprickbildning kan i värsta fall leda till att konstruktioner får rivas helt [7].

3 Val av undersökningsområde och objekt

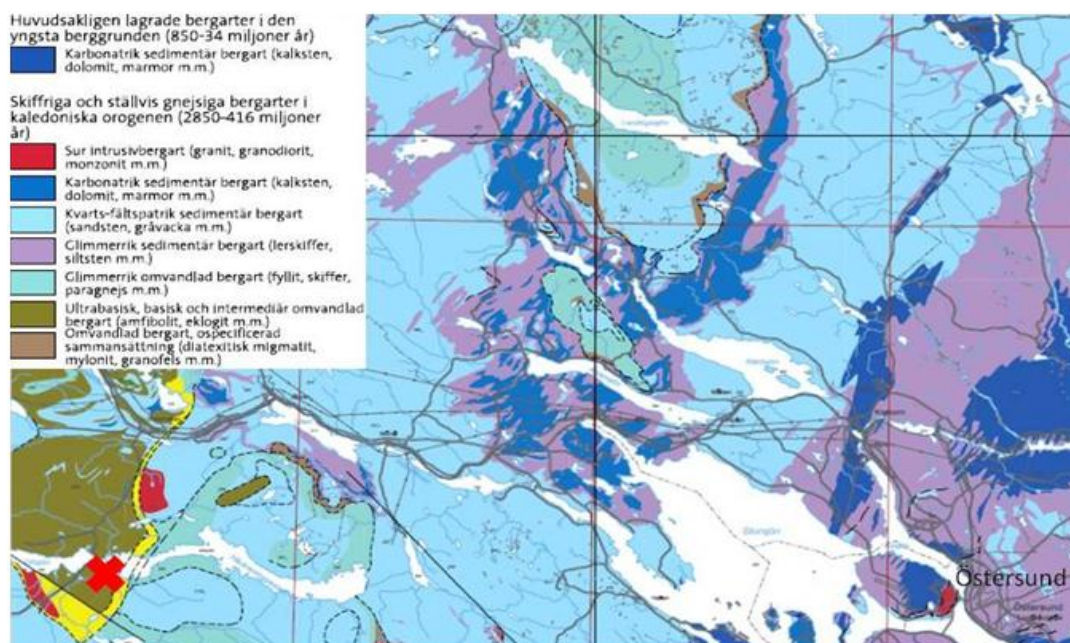
3.1 Val av undersökningsområde

Ett första steg var att identifiera områden i fjällkedjan där dammar var anlagda och där alkalireaktiva bergarter förekommer i berggrunden. Norra delen av Umeälven och norra Jämtland är två områden som har tidigare dokumenterats som intressanta med avseende på förekomst av alkalireaktiv ballast [8]. Berggrunden i fjällkedjan längs Umeälven består förenklat av urgraniter, gråvacka, skiffer, kvartsit, arkos och basiska vulkaniska bergarter (Figur 3). Ett antal grustäkter, till exempel runt Tärnaby har i tidigare provningar avvisats som konstruktionsmaterial för vägbyggen och dammbyggen pga potentiell alkalireaktivitet. I norra Jämtland finns alkalireaktiva bergarter som till exempel gråvackor och kvartsiter. En damm (Hotagens regleringsdamm) belägen ca 50 km norr om Östersund har tidigare rapporterats vara skadad pga alkalisilikareaktion som inträffade i ballast tagen från ett närbeläget grustag. Berggrundskarta över området kring Östersund presenteras i Figur 4.

Därefter söktes grustäkter med misstänkt reaktiv ballast som har använts vid uppförandet av närliggande dammar. Eftersom en detaljerad dokumentation om var de använda ballastmaterialen har tagits saknades har vi inte lyckats att identifiera några sådana grustäkter.



Figur 3 Del av Sveriges berggrund [9]. Röd ring markerar områden i fjällkedjan längs Umeälv där dammar är anlagda.



Figur 4 Berggrunden kring Östersund [9]. Rött kryss markerar läget för dammen i Håckren.

3.2 Val av dammar

Två områden i fjällkedjan identifierades som intressanta för denna studie, ett område längst norra Umeälven (se Figur 5) samt ett område kring Östersund. Tre dammar längs norra Umeälven (Ajaure, Gardikfors och Överumans regleringsdamm) valdes ut för platsbesök då de har ett relativt brett åldersspann, mellan 16-47 år och ligger inom ett relativt litet område. Från dammen i Håckren som är belägen vid Storån, ca 70 km väster om Östersund beställdes betongprover. Dammen undersöktes inte på plats.



Figur 5 Karta över intressanta anläggningar utmed Umeälven. Dammanläggningarna är markerade med vita ringar.

3.2.1 Ajaure

Ajauredammen är belägen ca 4 km nedströms sjön Ajaure och ca 30 km söder om Tärnaby. Regleringsmagasinet rymmer 200 miljoner m³ vatten (DTU, Ajaure kraftstation 2008) och omfattar sjöarna Ajaure och Gäutajaure. Byggandet av dammen färdigställdes 1970. Betongens tryckhållfasthetsklass varierar mellan K25 och K30. Enligt uppgift är ballasten i Ajaure tagen från utsprängning i samband med bygget av kraftstationen [10].

Betongutskovsdammen är grundlagt helt på berg. Berget består av glimmergnejs och glimmerskiffer. Utskovsdelen består av 2 uppåtgående segmentluckor a 5x10,4 m. Luckornas maximala avbördningskapacitet är 1000 m³/s. Utskovens tre pelare är fast inspända i bottenplattan samt i brobaneplattan. Byggtekniskt är den vänstra pelaren konstruerad som en fristående lamelldamm som avgränsas av dilatationsfog mot vänster anslutningsmonolit. Mittpelaren och höger pelare samverkar som en egen lamellkonstruktion då de är inbördes förenade både upptill och nedtill. Pelarna har en tjocklek på 1,5-2,1 m.

Under 2002 har förbättringsåtgärder vidtagits på dammen. Till exempel förhöjdes ledmuren, betongutskovsdammen har försetts med en ny injekteringsskärm och vänster anslutningsmonolit, vänster pelare och mittpelare har stabiliserats mot stjälpning och för att undvika dragspänningar i konstruktionernas uppströmsdel.



Figur 6 Ajauredammen.

3.2.2 Gardikfors

Gardikfors ligger ca 30 mil uppströms från Umeälvens mynning. Dammen kan genom fullständig reglering av magasinet gardviken, inneha en total magasinvolym på 871 miljoner m³. Byggandet av Gardikfors påbörjades 1959 och färdigställdes 1963. Dammen är uppförd som en lamelldamm och består av en jordfyllningsdamm som är 945 m lång och en betongdel. Betongdelen innefattar utskovs- och intagsparti. Utskovsdelen består av två uppåtgående segmentluckor vilka täpper till en öppning á 10 x 4,5 m vardera. Dammens högsta höjd är 25 m.

Betongens tryckhållfasthetsklass varierar mellan K25 och K30 med vct omkring 0,5. Cementet är av sorten Limhamns LH. Vanligtvis har man använt 260-270 kg/m³ cement och 50-60 kg trass i betongblandningen (FDU Gardiken år 2000).



Figur 7 **Översiktsbild av dammen i Gardikfors.**

3.2.3 Överumans regleringsdamm

Överumans regleringsdamm är uppförd som en lamelldamm med betongutskov. Dammen färdigställdes 1964. Utskovsdelen består av en uppåtgående segmentlucka och en planlucka. Från dammen löper en tillloppstunnel ner till Klippens kraftstation. Enligt FDU 2000 användes både Std och LH cement vid uppförandet av dammen. Prover togs i en del av utskovet som är byggd med betong innehållande LH cement.



Figur 8 **Översiktsbild av Överumans regleringsdamm.**

3.2.4 Håckren

Håckrens regleringsdamm är belägen vid Storån/Indalsälven, Åre kommun. Ett nytt utskov byggdes i Håckren år 2008. För byggnationen av det nya utskovet användes cement av sorten Degerhamn Anl Std P CEM I.

3.3 Platsbesök

Platsbesök på de tre utvalda dammarna i Umeälven gjordes mellan den 19-21 maj 2010. Deltagare var:

- o Ida Fossenstrand, Vattenfall Research & Development
- o Tomas Persson, Vattenfall Research & Development
- o Mariusz Kaliowski, CBI
- o Alberto León, CBI

Under platsbesöket inspekterades och fotograferades skador i dammarnas betongkonstruktioner som misstänktes kunna bero på ASR. Skador som dokumenterades var:

- o Sprickor i betongen (krackeleringssprickor, sprickor med vit utfällning, större sprickor)
- o Missfärgningar
- o Tecken på rörelser och förskjutningar i konstruktioner

4 Metoder

4.1 Okulär besiktning av konstruktioner på plats

Dammar i Ajaure, Gardikfors och Överuman besiktigades på plats av CBI. Man letade i första hand efter tecken på att alkalisilikareaktion har inträffat i betongen. Man har även gjort anteckningar om andra typer av skador på betongen om sådana fanns. Man har utfört mätning av sprickbredder på konstruktionens yta med hjälp av mätlupp på valda delar av konstruktionen. Mätning av sprickbredder gjordes i syfte att senare kunna beräkna storleken hos expansionen i betongen om det visade sig att ASR har inträffat i betongen. Eftersom man genom betongpetrografisk analys kunde konstatera att så är inte fallet har man inte någon användning av mätdata. Dammen i Håckren besiktigades inte i fält inom detta uppdrag.

4.2 Provtagning och preparering

Betongprover borrades ut från konstruktionsdelar som är gjutna av samma betong som huvuddelen av dammen bland annat pelare som dammluckor är fästa vid. Proverna består av borrhärdar med diameter 100 mm och varierande längd. Provernas längd och deras utseende framgår ur Bilaga 2.

Ställen som proverna har tagits från framgår ur Bilaga 1. Provtagningsställena i Ajaure visas i Figurer 1-3, Bilaga 1. Provtagningsställena i Gardikfors visas i Figurer 7-9, Bilaga 1. Prover från Överuman är tagna från ställen som visas i Figurer 13 och 14, Bilaga 1.

Betongprover från Håckren togs i Vattenfalls regi och skickades till CBI. Dessa prover består också av borrhärdar med diameter 100 mm.

Prover från dammarna har följande beteckningar:

Prover från Ajaure – A1-A8
Prover från Gardikfors – G1-G7
Prover från Håckren – H1-H7
Prover från Överuman – K1-K7

4.3 Betongpetrografisk analys i planslip och tunnslip

Från prover A3, A8, G3, H1 och K2 tillverkades planslip och tunnslip. Planslipen och tunnslipen är tillverkade av betong impregnerad med fluorescerande epoxi och består av snitt som är orienterade vinkelrätt mot betongens yta. Planslipens storlek är 100x200 mm. Planslipen omfattar djupområde i betongen 0-200 mm. Tunnslipens storlek är 30x50 mm och omfattar följande djup i betongen: prov A3 och K2 – 0-50 mm, prov A8 –

120-170 mm, prov G3 – 25-75 mm. Av prov H1 tillverkades två tunnslip som omfattar djupområden 0-50 mm och 100-150 mm.

Strukturanalys av betong från prover A3, A8, G3, H1 och K2 gjordes i planslip och tunnslip med hjälp av stereolupp (förstoring upp till 40 gånger) respektive polarisationsmikroskop (förstoring upp till 400 gånger) samt ljuskällor för vanligt och UV ljus.

4.4 Petrografisk analys av ballast i planslip och tunnslip

Petrografisk analys av betongens ballast gjordes genom okulär undersökning av planslip samt petrografisk analys av tunnslip med hjälp av polarisationsmikroskop och haltuppskattning av de olika ballastkomponenterna.

4.5 Mikrostrukturanalys i SEM - alkalihalt i cementpastor

Betongfragment med storlek 20x20 mm sågades ut från ett djup av 200 mm i prover A3, A8, G3, H1 och K2. Mikrostrukturanalys av betongen gjordes med hjälp av svepelektronmikroskop (SEM) utrustat med bakåtspridda elektrondetektor (BSE-detektor) och energidispersivt röntgenspektroskop (EDS). Analys av kemisk sammansättning hos cementpasta i proverna gjordes med hjälp av EDS. EDS-analysen omfattar grundämnen från och med atomnummer 11, dvs natrium eller tyngre. Resultaten från EDS-analyserna är omräknade till oxider och normaliserade till 100 vikt%.

4.6 Provning av ballastens alkalireaktivitet - mätning av expansion hos betongprover

Tre borrhärdar från varje damm användes för provning i laboratoriet av ballastens alkalireaktivitet. Från texten till Diagram 1-4 framgår, vilka prover användes till provningen. Mantelytor hos borrhärdar som valdes till provningen undersöktes först okulärt. Inget av de använda betongproverna uppvisade makrosprickor eller innehöll armeringsjärn. Proverna exponerades för fukt (rent vatten från det kommunala vattenledningssystemet) och temperatur på 38°C under en period av 12 månader. Under provningen användes samma utrustning som används för standardmetod RILEM AAR-3. Mätförfarandet följde denna standard.

Om man skall göra livslängdsbedömningar eller uppskatta risker för skador relaterade till ASR i befintliga konstruktioner med lågalkaliskt cement ger standardutförande för Rilem AAR metoder inte en korrekt utvärdering eftersom ballasten kommer i provningen utsättas för alkalihalter som är högre än 0,6 % sannolikt mycket högre än i verkligheten. Vi har valt att modifiera Rilem AAR 3 metoden som mäter expansion i en betongcylinder genom att inte tillsätta extra alkalier tillsammans med fukten, dvs använda rent vatten. På så sätt tror vi att betongen kommer att exponeras för en miljö som

närmast motsvarar den som råder i verkligheten. Detta innebär att man kommer se effekten av eventuell reaktion i snabbt reaktiv ballast som till exempel opalförande sandsten om det finns i betongen, utan att betongen utsätts för effekter av ASR i långsamt reaktiva bergarter.

5 Resultat

5.1 Besiktning av betongkonstruktionerna på plats

5.1.1 Ajaure

I samband med besiktning av konstruktionen på plats har vi inte kunnat identifiera några skador som har en tydlig koppling till ASR.

De skador i betongkonstruktioner vi kunde se under besiktningen består i huvudsak av sprickor i ledmurar på nedströmssidan (se Figurer 1 och 3-5, Bilaga 1). Sprickorna är genomgående. I en del av dessa sprickor finns vita utfällningar. Kemisk analys med EDS/SEM av en sådan utfällning visade att den består i huvudsak av kalciumkarbonat, dvs "kalk". Kalken är urlakat från betongens cementpasta på grund av fukttransport genom sprickan och indikerar att viss urlakning av cementpasta har skett i betongen. På enstaka ställen finns bruna utfällningar i anslutning till spricka (se Figur 5, Bilaga 1). Den bruna utfällningen består sannolikt av järnhydroxider som bildades i samband med korrosion av armeringsjärn i betongen. Det är möjligt att de genomgående sprickorna i ledmurarna är orsakade av rörelser i konstruktionens underlag. Det finns sprickor i rörelsefogar (Figurer 12 och 13). Dessa indikerar att det skedde rörelser i underlaget.

I vissa områden kunde man se ett krackeleringsmönster på betongens yta (se Figur 6, Bilaga 1). Sprickorna är smala, med bredder som uppskattningsvis inte överstiger 0,2 mm. Det finns inga utfällningar i anslutning till sprickorna. Uppkomst av ett sådant sprickmönster är typisk för sprickbildning relaterad till alkalisilikareaktion men kan också orsakas av andra mekanismer. När krackeleringen av betongytan är orsakad av ASR är det vanligt att se utfällningar av alkalisilikagel i sprickorna. Någon gel har inte kunnat identifieras i samband med besiktningen. Inga större skador, som till exempel avskalning eller vittring av betongen har iakttagits i områden med krackeleringsmönster.

En markant skillnad, både i färg och kvalitet, kunde ses mellan betongen från byggnation år 1970 och betongen från 2002 som finns i ledmurarna (Figur 14). Delar gjutna år 2002 har enligt uppgift gjutits med fabriksbetong från Storuman [11] vilket innebär en transporttid på ca 80min. Den övre gränsen för transport av betong i rotorbil är 90min. Betongen var i tydligt sämre kondition än delar som gjöts 1970. En orsak kan vara den långa transporten.



Figur 12 Sprickor i vänster fog



Figur 13 Närbild på vänster fog



Figur 14 Vita cirkeln visar skillnaden mellan den äldre och den yngre betongen där det mörkare partiet är gjutet 2002

5.1.2 Gardikfors

I samband med besiktning av konstruktionen på plats har vi inte kunnat identifiera några skador som har en tydlig koppling till ASR.

Skador på betongen som observerades i Gardikfors består av relativt breda sprickor i murar som kan vara genomgående (se Figurer 8 och 10, Bilaga 1). I anslutning till sprickorna finns ställvis rikliga vita utfällningar som sannolikt består av kalk.

I vissa områden kunde man se ett krackeleringsmönster på betongens yta (se Figur 11, Bilaga 1). Krackeleringsmönster var synligt i övre delen av dammens högra frontskiva, högra pelaren och pelaren längst ut till vänster. Sprickorna är smala, med bredder som uppskattningsvis inte överstiger 0,2 mm. Det finns inga utfällningar i anslutning till sprickorna. Dessa områden liknar de som finns i Ajaure.

På ett fåtal ställen observerades en ytlig avskalning av betong (se Figur 12, Bilaga 1). Avskalningen är inte djupare än några mm och omfattar områden på 10-20 cm. Vi har inte kunnat se någon korrelation mellan avskalning från betongens yta och förekomst av krackeleringsmönster. En trolig orsak till avskalningen är frost/tö-verkan på betongen, dvs det rör sig om frostsador.

5.1.3 Överumans regleringsdamm

Det finns ett fåtal sprickor i de tunna sidomurarna som kan vara orsakade av rörelser i underlaget eller i jord/stenmassorna som ligger mot murarna. På en del ställen finns rikliga vita utfällningar längst gjutfogar (se Figur 15, Bilaga 1). Dessa utfällningar består sannolikt av kalk och indikerar att viss urlakning av cementpasta har skett i betongen på grund av fuktbelastning.

I vissa områden kunde man se ett krackeleringsmönster på betongens yta (se Figurer 16 och 17, Bilaga 1). Sprickorna är smala, med bredder som uppskattningsvis inte överstiger 0,2 mm. Det finns inga utfällningar i anslutning till sprickorna. Dessa områden liknar de som observerades hos de två övriga dammarna.

I broplattan finns ett system av mer eller mindre horisontellt orienterade sprickor (se Figur 18, Bilaga 1). I anslutning till sprickorna finns vita utfällningar som troligen består av kalk. Ett sådant sprickmönster kan uppkomma på grund av ASR men kan även bero på andra expanderande reaktioner i betongen, till exempel frostverkan eller kraftig armeringskorrosion. På broplattans ovansida finns sprickor som är fyllda med bruna utfällningar (se Figur 20, Bilaga 1). Dessa utfällningar består av järnhydroxider och bildades troligen på grund av korrosion av betongens armering. Trots tecken på armeringskorrosion vill vi inte utesluta att den kraftiga sprickbildningen i broplattan är orsakad av ASR på basis av bara en okulär besiktning. I högra delen av Figur 18, Bilaga 1, ovanför området med den mest intensiva sprickbildningen, kan man se att broplattan har blivit lagad. På några ställen är betongen i anslutning till ingjutna stolpar till räckte kraftigt uppsprucken och det har skett avskalning av betong i kanten av broplattan (se Figur 19, Bilaga 1). De ingjutna stolparna är korroderade och vi

bedömer att orsaken till betongskadorna i anslutning till stolparna är sprängning på grund av korrosion av stålet i kombination med frostverkan.

I övrigt kan man se vittring av betongens yttre skikt i anslutning till gjutskarvar i murar (se Figur 15, Bilaga 1). Vittringen uppträder på murarnas överytor och kanter. Denna vittring är troligen frostrelaterad. I "skalpzonen" på uppströmssidan av dammen har det skett en mer omfattande vittring av betongen (se Figurer 21 och 22, Bilaga 1). Vittringsdjupet är överlag flera millimeter men det finns också områden där flera cm av betongen har eroderat bort. Denna vittring är troligen orsakad av frost, möjligen i kombination med mekanisk belastning från is.

5.2 Petrografisk analys av ballast

Tabell 1. Översikt av ballastens bergartssammansättning i prover A3, A8, G3, H1 och K2. För en detaljerad beskrivning av ballasten se text nedan.

Prov	Ballastens huvudbeståndsdelar	Potentiellt alkalireaktiva bergarter
A3	Amfibolit	Mylonitiska krosszoner i amfiboliten
A8	Metasedimentära bergarter, skiffer, kvartsit	Finkorniga och lågmetamorfa sedimentära bergarter
G3	Amfibolit	Mylonitiska krosszoner i amfiboliten
H1.1	Metasedimentära bergarter, skiffer, kvartsit, metabasit	Finkorniga och lågmetamorfa sedimentära bergarter
H1.2	Metasedimentära bergarter, skiffer, kvartsit, metabasit	Finkorniga och lågmetamorfa sedimentära bergarter
K2	Amfibolit	Mylonitiska krosszoner i amfiboliten

5.2.1 Sammansättning hos ballast i prov A3 från Ajaure

Amfibolit: ca 99-100 %, enstaka korn av grovkornig kvarts och fältspat i fraktionen 0-3 mm (en grov uppskattning av sammanlagd halt av kvarts och fältspat är ≤ 1 %). Det är möjligt att kornen av fältspat och kvarts utgörs av fragment av amfiboliten, då den innehåller ådror som består av dessa mineral.

5.2.2 Sammansättning hos ballast i prov A8 från Ajaure

Grovkornig gnejs: 30 %, metagråvacka: 30 %, kvartsit: 20 %, finkorniga metasedimentära bergarter: 10 %, gråvacka: 10 %.

5.2.3 Sammansättning hos ballast i prov G3 från Gardikfors

Amfibolit: ca 99-100 %, enstaka korn av grovkornig kvarts och fältspat i fraktionen 0-3 mm (en grov uppskattning av sammanlagd halt av kvarts och fältspat är ≤ 1 %). Det är möjligt att kornen av fältspat och kvarts utgörs av fragment av amfiboliten, då den innehåller ådror som består av dessa mineral. Ett korn av fältspat med diameter 7 mm och ett korn av kvartsrik skiffer (finkornig metasedimentär bergart) med diameter 30 mm observerades i planslipet.

5.2.4 Sammansättning hos ballast i prov H1 från Håckren

Metasedimentära bergarter: 45 %, gråvacka/lågmetamorf gråvacka: 20 %, kvartsit: 10 %, gnejs/högmetamorf gråvacka: 10 %, amfibolit: 5 %, kalksten/marmor: 5 %, finkornig skiffer: 5 %.

5.2.5 Sammansättning hos ballast i prov K2 från Överuman

Amfibolit: 99 %, gråvacka (kornstorlek upp till 2 mm): < 1 %, metagråvacka: < 1 %.

5.3 Betongpetrologisk undersökning i planslip

Tabell 2. Observationer gjorda genom okulär besiktning av planslip och borrhörnornas mantelytor. Makrosprickor är sprickor med sprickbredd >0,01 mm och längd på flera mm.

Prov	Mängd av makrosprickor	Ballastens huvudbeståndsdelar	Kompaktering
A1	Inga sprickor	Amfibolit	God
A2	Inga sprickor	Amfibolit	God
A3	Ytliga sprickor	Amfibolit	God
A4	Inga sprickor	Amfibolit	God
A4	Inga sprickor	Amfibolit	God
A5	Inga sprickor	Amfibolit	God
A6	Inga sprickor	Amfibolit	God
A7	Inga sprickor	Amfibolit	God
A8	Inga sprickor	Granitiska och metasedimentära bergarter	God
G1	Inga sprickor	Amfibolit	God
G2	Inga sprickor	Amfibolit	God
G3	Inga sprickor	Amfibolit	God
G4	Inga sprickor	Amfibolit	God
G5	Inga sprickor	Amfibolit	God
G6	Inga sprickor	Amfibolit	God
G7	Inga sprickor	Amfibolit	God

Tabell 2 (forts.). Observationer gjorda genom okulär besiktning av planslip och borrhörnornas mantelytor. Makrosprickor är sprickor med sprickbredd >0,01 mm och längd på flera mm.

H1	Tre sprickor	Granitiska och metasedimentära bergarter	God
H2	Inga sprickor	Granitiska och metasedimentära bergarter	God
H3	Inga sprickor	Granitiska och metasedimentära bergarter	God
H4	Inga sprickor	Granitiska och metasedimentära bergarter	God
H5	Inga sprickor	Granitiska och metasedimentära bergarter	God
H6	Inga sprickor	Granitiska och metasedimentära bergarter	God
H7	Inga sprickor	Granitiska och metasedimentära bergarter	God
K1	Inga sprickor	Amfibolit	Ganska god
K2	Ytliga sprickor	Amfibolit	Ganska god
K3	Inga sprickor	Amfibolit	Ganska god
K4	Inga sprickor	Amfibolit	Ganska god
K5	Inga sprickor	Amfibolit	Ganska god
K6	Inga sprickor	Amfibolit	Ganska god
K7	Inga sprickor	Amfibolit	Ganska god

Bilder tagna av planslip tillverkade av prover A3, A8, G3, H1 och K2 finns i Bilaga 3.

I planslip tillverkade av prover A3 och K2 finns ytliga sprickor som löper mer eller mindre vinkelrätt mot betongens yta till ett djup av några mm i betongen. I planslip tillverkat av prov H1 finns två makroskopiska sprickor (sprickbredd >0,01 mm) i betongens yttre skikt och en makroskopisk spricka på ett djup av ca 80 mm i betongen. De förstnämnda är orienterade mer eller mindre vinkelrätt mot betongens yta och löper till ett maximalt djup av 40 mm (se Figurer 4 och 5, Bilaga 3). Sprickan på 80 mms djup är orienterad parallellt med betongens yta. Sprickan löper genom borrhörnans hela bredd (se Figur 5, Bilaga 3). Vi har inte observerat några sprickor i planslip tillverkade av prover A8 och G3.

5.4 Betongpetrologisk undersökning i tunnslip

Tabell 3. Sammanfattning av resultat från utvärdering av tunnslip tillverkade av betongprover A3, A8, G3, H1 och K2. Tunnslipen H1.1 och H1.2 är tillverkade av betong från olika djup i prov H1.

Prov	Frekvens av mikrosprickor i cementpasta	Frekvens av mikrosprickor i ballast	Cement-ballast-reaktioner	Kemiska angrepp på cementpasta
A3	Låg	Låg	Inte observerade	Inte observerade
A8	Låg	Låg	Inte observerade	Inte observerade
G3	Låg	Låg	Inte observerade	Inte observerade
H1.1	Låg	Låg	Inte observerade	Inte observerade
H1.2	Låg	Låg	Inte observerade	Inte observerade
K2	Låg	Låg	Inte observerade	Inte observerade

Exempel på strukturer observerade i tunnslip tillverkade av betongproverna A3, A8, G3, H1 och K2 finns i Bilaga 4.

5.4.1 Betongpetrografisk beskrivning av prov A3 från Ajaure

Djup i betongen: 0-50 mm.

Inga tecken på cement-ballastreaktioner eller kemiska angrepp på cementpasta har observerats i tunnslipet. Betongen uppvisar inga tecken på urlakning av cementpasta.

Mikrosprickfrekvensen i betongens bindemedel är låg (se Figurer 1 och 2, Bilaga 4). Endast ett fåtal mikrosprickor observerades i tunnslipet.

Sprickmängden i betongens ballast kan benämnas som liten. Det finns normalt en viss mängd sprickor i bergarter som utgör ballast. Ballasten i provet uppvisar en låg sprickfrekvens jämfört med vad som kan betraktas som ett "genomsnittligt" ballastmaterial i Sverige (ofta gnejs).

Ballast består nästan helt av bergarten amfibolit. Det förekommer mylonitiska zoner i amfiboliten (se Figurer 3 och 4, Bilaga 4). Mylonitiska zoner består av mineral som är uppkrossade på grund av tektoniska rörelser i berggrunden.

5.4.2 Betongpetrografisk beskrivning av prov A8 från Ajaure

Djup i betongen: 120-170 mm.

Inga tecken på cement-ballastreaktioner eller kemiska angrepp på cementpasta har observerats i tunnslipet. Betongen uppvisar inga tecken på urlakning av cementpasta.

Mikrosprickfrekvensen i betongens bindemedel är låg, dock något högre än i tunnslip tillverkade av proverna A3, H1 och K2 (se Figurer 5 och 6, Bilaga 4). En del av mikrosprickorna i betongens bindemedel ser ut att vara orsakade av uttorkningskrympning. Sprickmängden i betongens ballast kan benämnas som liten. Ballasten innehåller >15 % av potentiellt alkalireaktiva bergarter som består av gråvacka (se Figurer 7 och 8, Bilaga 4) och finkorniga metasedimentära bergarter (se Figur 9, Bilaga 4). I några få ballastkorn som består av en finkornig metasedimentär bergarter observerades relativ stor mängd sprickor (se Figur 10, Bilaga 4). Ingen förekomst av alkalisilikagel eller andra tydliga tecken på alkalisilikareaktion kunde dock observeras i tunnslipet. Ingen av de observerade mikrosprickorna kunde således identifieras som ASR-relaterad. Generellt kan sägas att korn av de potentiellt alkalireaktiva bergarterna inte uppvisar en större mängd sprickor än den övriga ballasten.

5.4.3 Betongpetrografisk beskrivning av prov G3 från Gardikfors

Djup i betongen: 25-75 mm.

Inga tecken på cement-ballastreaktioner eller kemiska angrepp på cementpasta har observerats i tunnslipet. Betongen uppvisar tecken på fläckvis urlakning av cementpasta (se Figur 14, Bilaga 4).

Mikrosprickfrekvensen i betongens bindemedel är låg (se Figur 11, Bilaga 4). Endast ett fåtal mikrosprickor observerades i tunnslipet (se Figur 12, Bilaga 4). Sprickmängden i betongens ballast kan benämnas som liten. Den är dock något större jämfört med prov A3. Ballast består nästan helt av bergarten amfibolit. Det förekommer mylonitiska zoner i amfiboliten (se Figur 13, Bilaga 4).

5.4.4 Betongpetrografisk beskrivning av prov H1(a) från Håckren

Djup i betongen: 0-50 mm.

Inga tecken på cement-ballastreaktioner eller kemiska angrepp på cementpasta har observerats i tunnslipet. Betongen uppvisar inga tecken på urlakning av cementpasta.

Mikrosprickfrekvensen i betongens bindemedel är låg (se Figurer 15 och 16, Bilaga 4). Sprickmängden i betongens ballast kan benämnas som liten. Ballasten innehåller potentiellt alkalireaktiva bergarter mylonit (se Figur 17, Bilaga 4), gråvacka (se Figur 18, Bilaga 4) och finkorniga metasedimentära bergarter (se Figurer 19 och 20, Bilaga 4). Ingen förekomst av alkalisilikagel eller andra tecken på alkalisilikareaktion kunde dock observeras i tunnslipet. Ingen av de observerade mikrosprickorna kunde identifieras som ASR-

relaterad. Korn av de potentiellt alkalireaktiva bergarterna uppvisar inte en större mängd sprickor än den övriga ballasten.

Det finns en längre spricka i tunnslipet. Sprickan är mer eller mindre vinkelrätt mot betongens yta och löper till ett djup av 25 mm i betongen. Sprickans bredd är upp till 0,05 mm. Det finns utfällningar av kalciumkarbonat i sprickan. Sprickans utseende indikerar att den bildades tidigt, när betongen befann sig fortfarande i plastiskt tillstånd. Den bedöms inte vara orsakad av alkalisilikareaktion.

5.4.5 Betongpetrografisk beskrivning av prov H1(b) från Håckren

Djup i betongen: 100-150 mm.

Inga tecken på cement-ballastreaktioner eller kemiska angrepp på cementpasta har observerats i tunnslipet. Betongen uppvisar inga tecken på urlakning av cementpasta.

Mikrosprickfrekvensen i betongens bindemedel är låg (se Figurer 21 och 22, Bilaga 4). Endast ett fåtal mikrosprickor observerades i tunnslipet. Sprickmängden i betongens ballast kan benämnas som liten. Ballasten innehåller potentiellt alkalireaktiva bergarter mylonit och finkorniga metasedimentära bergarter. Ingen förekomst av alkalisilikagel eller andra tecken på alkalisilikareaktion kunde dock observeras i tunnslipet. Ingen av de observerade mikrosprickorna kunde identifieras som ASR-relaterad. Korn av de potentiellt alkalireaktiva bergarterna uppvisar inte en större mängd sprickor än den övriga ballasten (se exempel på ballastkorn av en finkornig metasedimentär bergart i Figurer 23 och 24, Bilaga 4).

5.4.6 Betongpetrografisk beskrivning av prov K2 från Överuman

Djup i betongen: 0-50 mm.

Inga tecken på cement-ballastreaktioner eller kemiska angrepp på cementpasta har observerats i tunnslipet. Betongen uppvisar inga tecken på urlakning av cementpasta.

Mikrosprickfrekvensen i betongens bindemedel är låg (se Figurer 25 och 26, Bilaga 4). Endast ett fåtal mikrosprickor observerades i tunnslipet. Sprickmängden i betongens ballast kan benämnas som liten. Ballast består nästan helt av bergarten amfibolit. Det förekommer mylonitiska zoner i amfiboliten.

5.5 Kemisk analys av alkalihalten i cementpasta

Analys av kemisk sammansättning hos cementpastor från prover A3 (Ajaure), G3 (Gardviken), H1 (Håckren) och K2 (Överuman) gjordes i syfte att ta fram natriumekvivalenta alkalihalterna. Analysen är gjord med hjälp av EDS/SEM. Analysområdenas storlek är 0,1x0,1 mm per enskilt analysområde och antalet analyser är minst tio per prov. Analysområdena är fördelade över en yta i betongen med storlek på nio cm². Medelvärden för de uppmätta halterna av natrium och kalium samt beräknade natriumekvivalenta alkalihalterna finns sammanställda i Tabell 4.

Tabell 4. Halter av natrium och kalium, omräknade till Na₂O och K₂O, samt natriumekvivalenta alkalihalterna i cementpastor från prover A3 (Ajaure), G3 (Gardviken), H1 (Håckren) och K2 (Överuman). Tabellen visar medelvärden av 10-14 analyser per prov.

Prov	A3	G3	H1	K2
Halt	(vikt%)	(vikt%)	(vikt%)	(vikt%)
Na ₂ O	0,2	0,3	0,1	0,2
K ₂ O	0,1	0,3	0,2	0,3
Ekvivalent Na ₂ O	0,3	0,5	0,2	0,4

5.6 Provning av ballastens alkalireaktivitet - mätning av expansion hos betongprover

Proverna från Ajaure, Gardikfors, Håckren och Överuman uppvisar ingen expanderande trend som kan indikera cement-ballastreaktioner i betongen.

Diagram 1-4 visar expansionskurvor för prover från Ajaure, Gardikfors, Håckren och Överuman baserade på längdmätningar av borrhärdar under en period på 12 månader. Observera att borrhärdarnas utvidgning under de två första veckorna inte är orsakad av expanderande cement-ballastreaktion. Denna utvidgningseffekt uppkommer alltid hos prover utborrade från en konstruktion, till skillnad från betongprover gjutna i laboratorium. En vanlig förklaring till detta fenomen som man finner i litteraturen är att det rör sig om relaxation av materialet på grund av tryckavlastning.

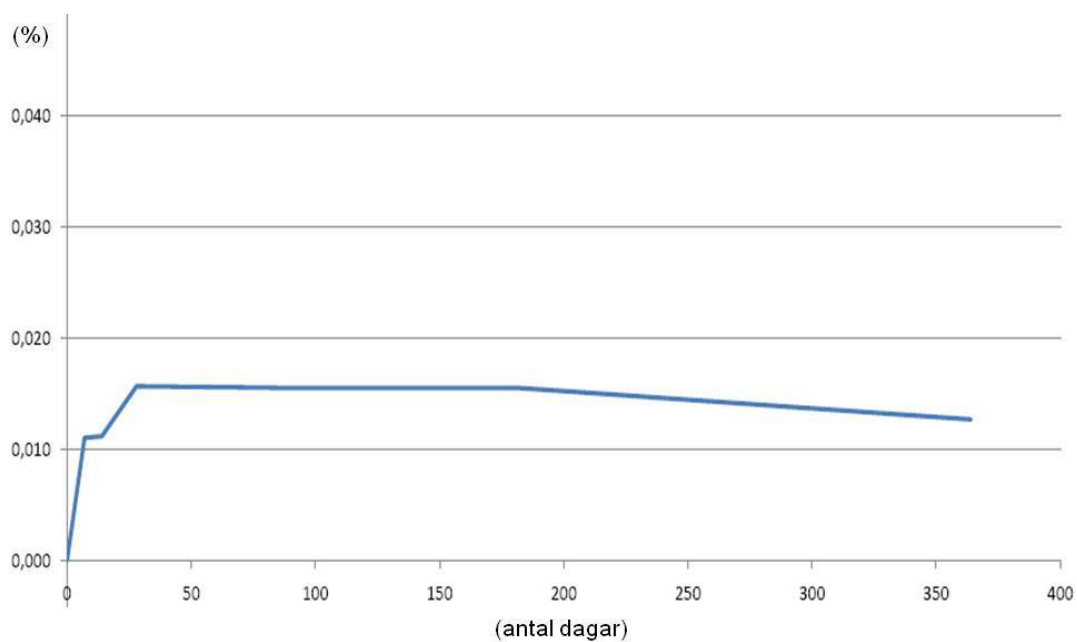


Diagram 1. Expansionsdiagram för prover från Ajaure. Kurvan representerar medelvärde för expansion i procent hos tre borrkärnor (prover A1, A2 och A6).

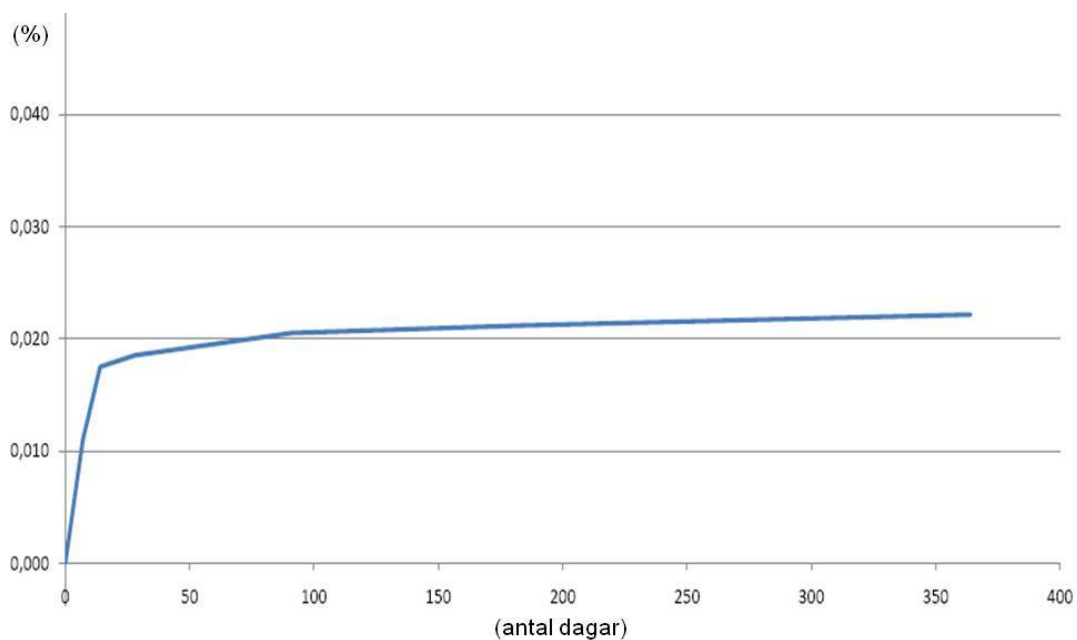


Diagram 2. Expansionsdiagram för prover från Gardikfors. Kurvan representerar medelvärde för expansion i procent hos tre borrkärnor (prover G1, G4 och G6).

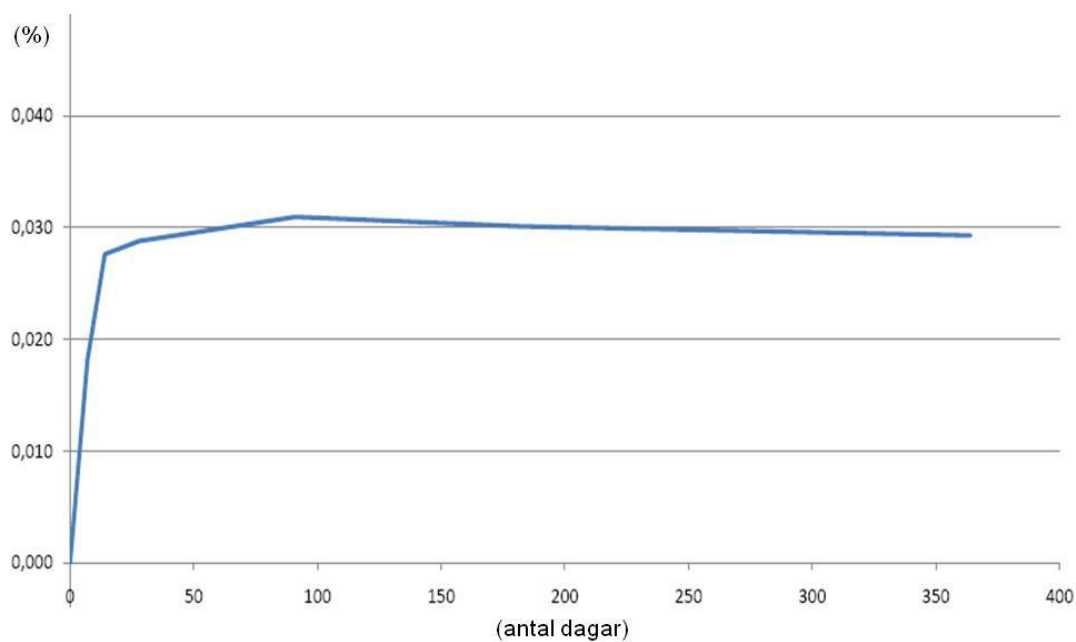


Diagram 3. Expansionsdiagram för prover från Håckren. Kurvan representerar medelvärde för expansion i procent hos tre borrhärdar (H2, H3 och H7).

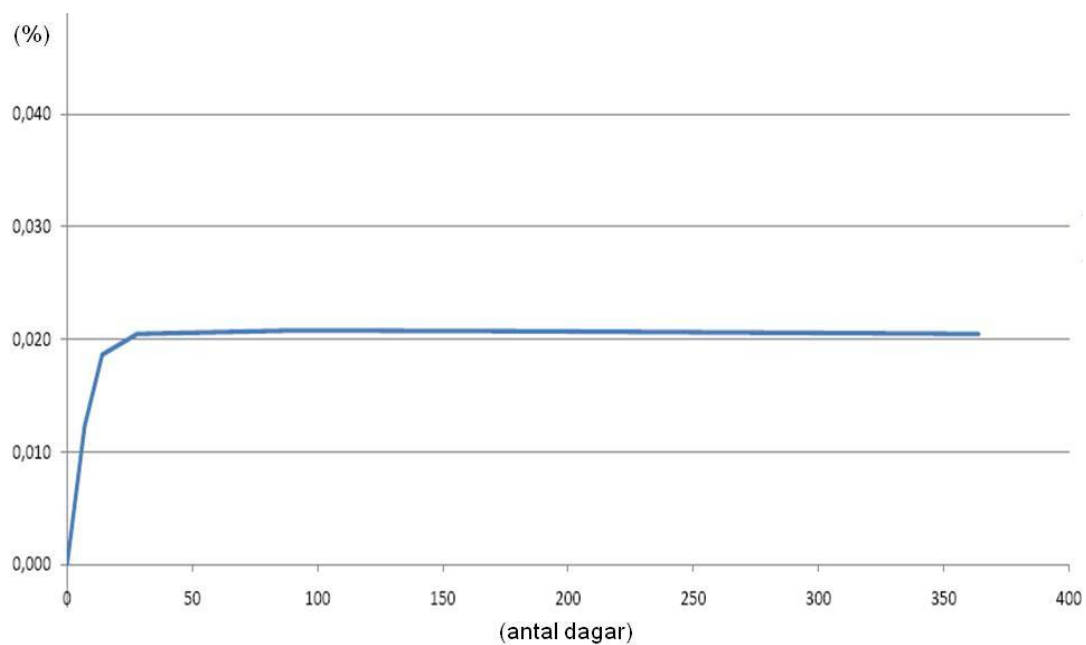


Diagram 4. Expansionsdiagram för prover från Överumans regleringsdamm. Kurvan representerar medelvärde för expansion i procent hos tre borrhärdar (prover K1, K3 och K4).

6 Diskussion

6.1 Besiktning av konstruktioner på plats och betongpetrografisk analys i laboratorium

I samband med besiktning av konstruktionen på plats har vi inte kunnat identifiera några skador som har en tydlig koppling till ASR. Undersökning av betongprover i laboratorium har inte heller visat på några tecken att alkalisilikareaktion har inträffat i betong från prover tagna i Ajaure, Gardikfors, Håckren eller Överuman.

Vid besiktning av dammarna på plats har vi bland annat observerat viss sprickbildning i betongen som uppträdde i form av krackeleringsmönster på betongens yta (se Figurer 6, 11, 16 och 17, Bilaga 1). Liknande sprickmönster kan uppkomma till exempel på grund av alkalisilikareaktion i betongens ballast eller någon annan svällande reaktion i betongen. Betongpetrografisk analys av prover från Ajaure, Gardikfors, Håckren och Överumans regleringsdamm visade dock att nämnda krackeleringsmönster beror endast på ytliga sprickor i betongen. Betongproverna uppvisar generellt en liten mängd sprickor i både ballast och bindemedel, och det finns inget som tyder på att någon sprickbildning på grund av cement-ballastreaktioner har ägt rum i de undersökta konstruktionerna. Ingen förekomst av alkalisilikagel som bildas i samband med alkalisilikareaktion har identifierats i betongproverna.

De ytliga sprickorna är troligen orsakade av omfördelning och urlakning av ämnen i cementpastan på grund av fuktbelastning på betongen och en cyklisk fuktning och uttorkning av betongens yttre skikt. På större djup i betongen observerades ett fåtal mikrosprickor. Merparten av dessa har ett utseende som är typiskt för sprickor som orsakas av uttorkningskrympning. Förekomst av en liten mängd av sådana mikrosprickor kan betraktas som normalt, särskilt i en betong med lågt vct.

Vår bedömning är att större, ibland genomgående sprickor i pelare som observerades i Gardikfors samt sprickor ledmurar i Ajaure (se beskrivning i Kap. 3.1) inte är orsakade av ASR. Dessa sprickor har troligen uppkommit på grund av en mekanisk belastning på konstruktionerna.

I prov H1.1 finns en makrospricka som är orienterad vinkelrätt mot betongens yta. Sprickan löper från betongens yta till ett djup av ca 30 mm. Sprickbredden är maximalt 0,05 mm. Sprickans morfologi indikerar att den bildades tidigt i en betong som fortfarande befann sig i ett (semi-)plastiskt tillstånd. Denna spricka är inte orsakad av ASR.

6.2 Ballastens sammansättning

6.2.1 Ajaure, Gardviken och Överumans regleringsdamm

Betongens ballast i prover som undersöktes i tunnslip uppvisar sprickmängder som kan betraktas som normala för de aktuella bergarterna. Vi har inte observerat någon förekomst av alkalisilikagel i proverna. Det finns således inga indikationer på att alkalisilikareaktion har inträffat i betongen.

Betongprover A1-A7 från Ajaure samt betongprover från Gardviken och Överuman innehåller ballast som består av bergarten amfibolit. Denna bergart innehåller generellt ingen eller liten mängd kvarts och betraktas därför som inte alkalireaktiv. I amfiboliten från aktuella prover finns dock mylonitiska krosszoner som innehåller finkornig kvarts. Kvartshaltig mylonit anses allmänt vara långsamt alkalireaktiv, vilket innebär att den medför risk för ASR-relaterade skador i högalkalisk miljö. Denna bergart skall dock inte innebära några risker för ASR-relaterade skador i betong med lågalkaliska cement. Detta bekräftas av petrografisk undersökning som inte har visat några tecken på att amfibolitballasten har reagerat i de aktuella konstruktionerna och expansionsprovning av betongen som inte har visat på någon expanderande reaktion (se Kap. 4.4).

Betongprov A8 som är tagen från nedströms ledmur i Ajaure innehåller en ballast som huvudsakligen består av granitiska, sedimentära och metasedimentära bergarter. Ballasten innehåller potentiellt alkalireaktiv ballast i form av 10 % finkorniga sedimentära bergarter och 10 % gråvacka. Finkorniga sedimentära bergarter som till exempel finkornig skiffer är långsamt reaktiva. Gråvackan kan vara snabbt reaktiv om den innehåller amorf silika. Petrografisk analys av prov A8 har inte visat några tecken på att cementballastreaktioner har inträffat i betongen, vilket indikerar att ballasten inte är reaktiv i den aktuella miljön.

6.2.2 Håckren

Betongens ballast i prov H1 som undersöktes i tunnslip uppvisar sprickmängder som kan betraktas som normala för de aktuella bergarterna. Sprickmängden i korn som består av potentiellt alkalireaktiva bergarter ser inte ut att vara större än i övriga ballastkorn. Vi har inte observerat någon förekomst av alkalisilikagel i provet. Inga mikrosprickor som finns i ballastkornen kunde identifieras som ASR-relaterade. Det finns således inga indikationer på att alkalisilikareaktion har inträffat i betongen.

Betong från Håckren innehåller potentiellt alkalireaktiv ballast. Det rör sig dels om långsamt reaktiva finkorniga sedimentära bergarter och dels om gråvacka. Halten av gråvacka och lågmetamorf gråvacka i ballasten uppskattas till ca 20 %. Det har inte varit möjligt att avgöra genom tunnslipsanalys om gråvackan innehåller amorf silika, dvs om den är av den snabbt reaktiva sorten. Eftersom expansionsprovning av prover från Håckren inte har visat på någon expanderande reaktion i betongen (se Kap. 4.4) är det troligt att gråvackan består av en långsamt eller inte reaktiv sort.

Övrig volyminstabil ballast:

I prov H1.1 observerades några få små korn av finkornig skiffer som har spruckit på grund av krympning i samband med betongens uttorkning. Det rör sig om små mängder av ballast av denna typ (<1%) och därför bedöms den uttorkningsrelaterade sprickbildningen inte ha någon negativ inverkan på betongens egenskaper.

6.3 Bindemedlets kemiska sammansättning

Enligt befintlig dokumentation användes cementsorterna Limhamn LH i betong till utskoven i Ajaure och Gardikfors. Till det nya utskovet i Håckren som byggdes 2008 och i Överumans regleringsdamm användes Degerhamn Anl Std P CEM I. Na_2O -ekvivalenta alkalihalten, som förkortas $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$, och som beräknas enligt formeln $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}} = \% \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \times \% \text{K}_2\text{O}$, i cementsorten Limhamn LH är 0,4 vikt %. I cementsorten Degerhamn Anl Std P CEM I är $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}} = 0,5$ vikt %. Ett lågalkaliskt cement definieras som ett cement med $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}} < 0,6$ vikt %. Båda cementsorterna klassificeras därför som lågalkaliska. Kemisk analys av cementpastor från betongprover tagna i Ajaure, Gardikfors, Håckren och Överuman visar att cementen är lågalkaliska och att ingen inträngning och anrikning av alkalier utifrån har skett i de undersökta konstruktionerna. Cementpastor som analyserades togs på 200 mms djup i en inte uppsprucken betongen för att utesluta eventuella effekter av anrikning eller urlakning av cementens ursprungliga alkalier som kan ske i samband med fuktrörelser i betongen. $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$ i analyserade cementpastor ligger inom intervallet 0,2-0,5 vikt%, med uppskattad mätosäkerhet på max. +/- 0,1 vikt%. Tabell 4 visar resultat av EDS-analyser av cementpastorna och de uppmätta alkalihalterna.

Långsamt alkalireaktiva bergarter antas allmänt inte vara reaktiva i cement med $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}} < 0,6$ vikt %. Vi kan därför anta att den potentiellt långsamt reaktiva bergarten mylonit som finns i Gardikfors, Överuman och i utskovets huvuddel i Ajaure samt andra potentiellt långsamt reaktiva bergarter som observerades i betongproverna, till exempel finkorniga skiffrar, inte innebär någon risk för uppkomst av ASR-relaterade skador. Detta under förutsättning att inga alkalier tillför betongen utifrån, till exempel på grund av saltning/avisning av broplattorna.

I fjälltrakten finns en gråvacka (en sedimentär bergart) som innehåller amorf silika ("opal"). Denna gråvacka har en struktur och mineralsammansättning som liknar bergarter undersökta av D. Stark [1980]. Hans undersökning visade att sedimentära bergarter med amorf silika kan ge en expanderande reaktion redan vid $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}} < 0,4$ %. Betongprover från Håckren och ledmur i Ajaure (prov A8) innehåller gråvacka. I betongen från Ajaure uppskattades halten av gråvacka i ballasten till 10 %, i betong från Håckren till 20 %. Identifiering av små mängder finfördelad amorf silika i en bergart med hjälp av petrografisk undersökning i tunnslip är svårt. Vi kan därför inte utesluta på basis av tunnslipsanalysen att gråvackor i betongprover från Ajaure och Håckren innehåller amorf silika. Resultat från provning av ballastens alkalireaktivitet i laboratoriet (se Kap. 4.4) visar dock att det inte sker någon expanderande reaktion i betong från Håckren, vilket i sin tur indikerar att det inte rör sig om en "opalförande" gråvacka.

6.4 Provning av ballastens alkalireaktivitet

Provning av ballastens alkalireaktivitet gjordes med modifierad provningsmetod Rilem AAR 3. I den aktuella provningen inga alkalier tillsattes vatten som borrhärnorna exponerades mot. På så sätt utsattes ballasten för en miljö som motsvarade verkliga förhållanden i avseende på alkalihalten i cementpastan. Expansion hos proverna mättes under en tidsperiod på 12 månader.

Proverna från Ajaure, Gardikfors, Håckren och Överuman uppvisar ingen expanderande trend som kan indikera cement-ballastreaktioner (se Diagram 1-4). Observera att borrhärnornas utvidgning under de tre första veckorna inte är orsakad av expanderande cement-ballastreaktion. Denna utvidgningseffekt uppkommer alltid hos prover utborrade från en konstruktion, till skillnad från betongprover gjutna i laboratorium. En vanlig förklaring till detta fenomen som man finner i litteraturen är att det rör sig om relaxation av materialet på grund av tryckavlastning.

Resultat från provningen indikerar att ballasten i betongproverna inte är reaktiv i den lågalkaliska miljö som LH Limhamn och Anläggningscement innebär.

7 Slutsatser

7.1 Betongens nuvarande tillstånd i avseende på alkalisilikareaktion

Sprickor i betongen som observerades vid besiktning av dammkonstruktioner på plats i Ajaure, Gardikfors och Överuman är inte orsakade av alkalisilikareaktion.

Petrografisk analys av prover från Ajaure, Gardikfors, Håckren och Överuman har inte visat några tecken på att alkalisilikareaktion har inträffat i betongerna. Mikrosprickfrekvensen i betongprovernas bindemedel och ballast är låg.

Vår bedömning är att ingen ASR har inträffat hittills i de undersökta konstruktionerna.

7.2 Ballastens sammansättning

Betongprover tagna från dammar i Ajaure (se Figur 1, Bilaga 1), Gardikfors och Överuman innehåller ballast som består av amfibolit. Amfiboliten innehåller små mängder av mylonitiska zoner med finkristallin kvarts som kan eventuellt vara långsamt reaktiva i högalkalisk miljö. Denna ballast är inte reaktiv i betong med ett lågalkaliskt cement som LH Limhamn och Degerhamn Anläggningscement.

Betongen från Håckren innehåller potentiellt alkalireaktiv ballast som består av gråvacka/lågmetamorf gråvacka (20 %) och finkornig skiffer (5 %). Betongprovet taget från nedströms ledmur i Ajaure (se Figur 3, Bilaga 1) innehåller potentiellt alkalireaktiv ballast som består av gråvacka (10 %) och finkorniga metasedimentära bergarter (10 %). Dessa bergarter är dock inte alkalireaktiva i betong med ett lågalkaliskt cement.

7.3 Ballastens alkalireaktivitet

Resultat från provning av ballastens alkalireaktivitet i lågalkalisk fuktig miljö gav negativa resultat i avseende på expanderande reaktioner i betongerna. Inga expanderande trender som kan indikera alkalisilikareaktion har påvisats i prover från Ajaure, Gardikfors, Håckren och Överuman (se Diagram 1-4). Resultat från provningen indikerar således att ballasten i betongproverna inte är reaktiv i den lågalkaliska miljö som LH Limhamn och Anläggningscement innebär.

7.4 Cementpastornas alkalihalt

Kemisk analys av cementpastor från betongprover tagna i Ajaure, Gardikfors, Håckren och Överuman gav $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv.}} = 0,2\text{-}0,5$ vikt%. Det innebär att cementen är lågalkaliska ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv.}} < 0,6$ vikt%) och indikerar att ingen inträngning och anrikning av alkalier utifrån har skett i de undersökta konstruktionerna.

7.5 Risker för alkalisilikareaktion i undersökta dammkonstruktioner

Vår bedömning är att det inte finns någon risk för ASR-relaterade skador på de undersökta delarna av dammar i Ajaure (utskovets pelare, se Figur 1, Bilaga 1), Gardikfors och Överuman. Risken för ASR-relaterade skador i den delen av dammen i Håckren som representeras av de undersökta proverna samt nedströms ledmur i Ajaure (se Figur 3, Bilaga 1) bedöms som mycket liten, även på lång sikt (100 år). Detta gäller under förutsättning att det inte sker någon inträngning av alkalier utifrån och anrikning av de i betongen.

8 Referenser

- [1] Lagerblad, B. & Trägårdh, J. *Alkalisilikareaktioner i svensk betong*. CBI, 4:92, 1992.
- [2] Ljungkrantz, C., Möller, G. & Petersons, N. *Betonghandbok Material*. Vol. 2. 1994: Svensk Byggtjänst.
- [3] Kuhlin. *Vattenkraft i sverige*.
- [4] Wiberg, U. E., H; Engström, Å. *Betongdammar*. 2001.
- [5] Grönlund, R. *Reparationsmetoder vid Alkalikiselsyra - skador i betongdammar*. Elforsk, 2000.
- [6] Kurtis, K. E., Monteiro, P. J. M., Brown, J. T. & Meyer-Ilse, W. *High resolution transmission soft X-ray microscopy of deterioration products developed in large concrete dams*. Journal of Microscopy, 1999. 196(3): 288-98.
- [7] Grönholm, R. *Hotagens regleringsdamm - analys av ASR-skador*. Elforsk, 2000.
- [8] Anonym. *Ballastkommitén*. 1950.
- [9] SGU. *Kartgenerator*.
- [10] Burstedh, K. *Muntlig kommunikation*.
- [11] Stark, D. *Alkali-Silika Reactivity: Some Reconsiderations*. Cement, Concrete and Aggregates, v.2, no. 2, 1980.

Bilaga 1



Figur 1. Provtagning i Ajaure.



Figur 2. Ajaure. Provtagningsställen för proverna A1-A7.



Figur 3. Ajaure. Provtagningsställe för prov A8 (se pil).



Figur 4. Ajaure. Sprickor i betongmur till nedströms utloppskanal.



Figur 5. Ajaure. Brunaktiga utfällningar kring en spricka i betongmuren.



Figur 6. Ajaure. Krackeleringsmönster på betongmur till nedströms utloppskanal.



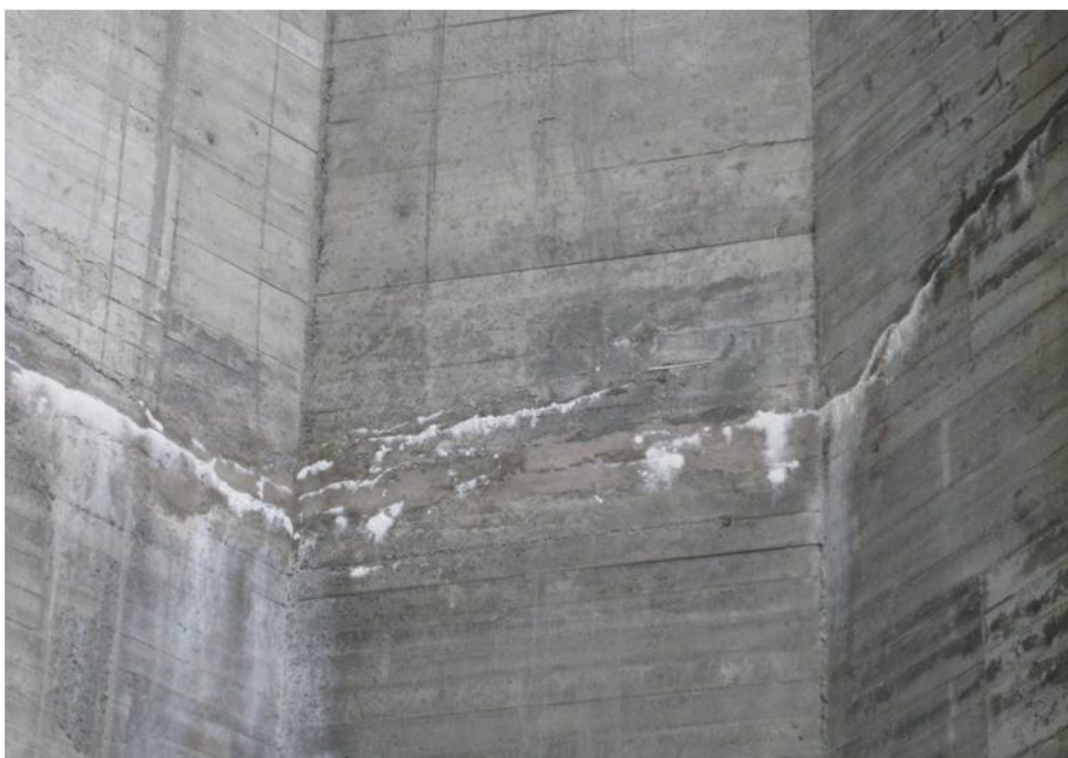
Figur 7. Gardikfors. Pilen markerar konstruktionsdelen som proverna har tagits från.



Figur 8. Gardikfors. Pilen markerar konstruktionsdelen som proverna har tagits från.



Figur 9. Gardikfors. Provtagningsställen för proverna G1-G6.



Figur 10. Gardikfors. Utfällningar av kalk kring sprickor.



Figur 11. Gardikfors. Krackeleringsmönster på betongens yta.



Figur 12. Gardikfors. Ytlig avskalning hos betong.



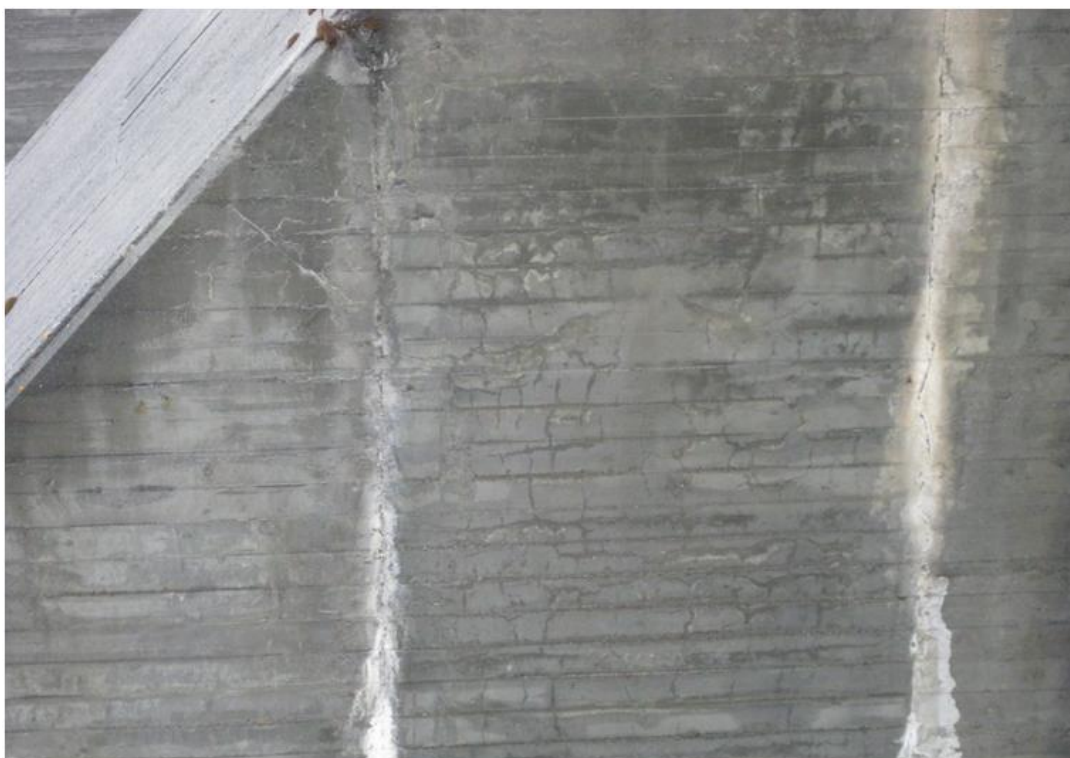
Figur 13. Överumans regleringsdamm. Pilen markerar konstruktionsdelen som proverna har tagits från.



Figur 14. Överumans regleringsdamm. Provtagningsställen för proverna K1-K6.



Figur 15. Överumans regleringsdamm. Utfällning av kalk längst gjutskarvar.



Figur 16. Överumans regleringsdamm. Krackeleringsmönster på betongens yta.



Figur 17. Överumans regleringsdamm. Krackeleringsmönster på betongens yta.



Figur 18. Överumans regleringsdamm. Sprickor och utfällningar av kalk i broplattan (se pil).



Figur 19. Överumans regleringsdamm. SprickFigurning kring stolpar i broplattan.



Figur 20. Överumans regleringsdamm. Brunaktiga utfällningar kring sprickor i broplattan.



Figur 21. Överumans regleringsdamm. Frostrelaterad vittring av betongen på uppströmssidan av dammen.

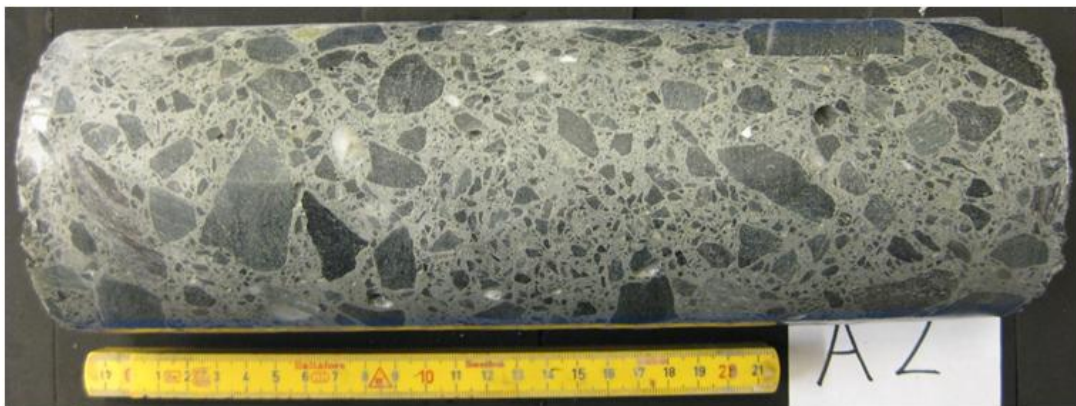


Figur 22. Överumans regleringsdamm. Närbild på vittrad betong på uppströmssidan av dammen.

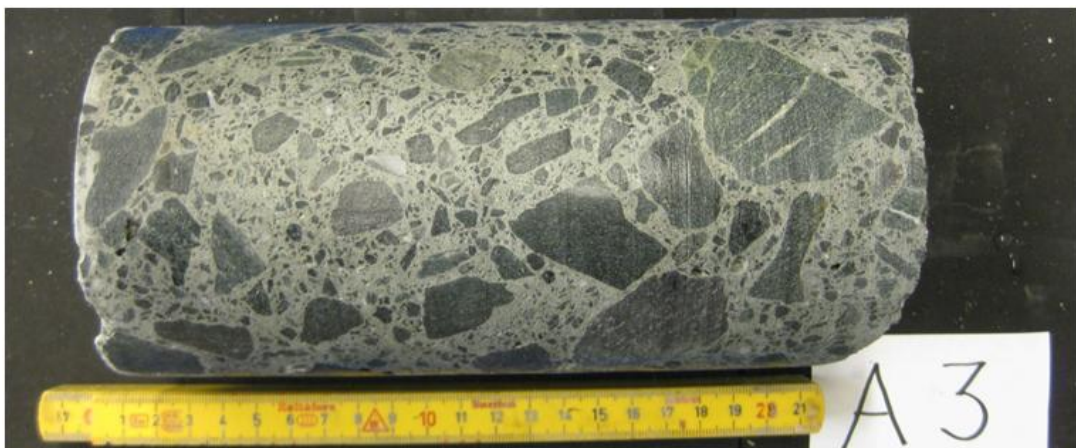
Bilaga 2



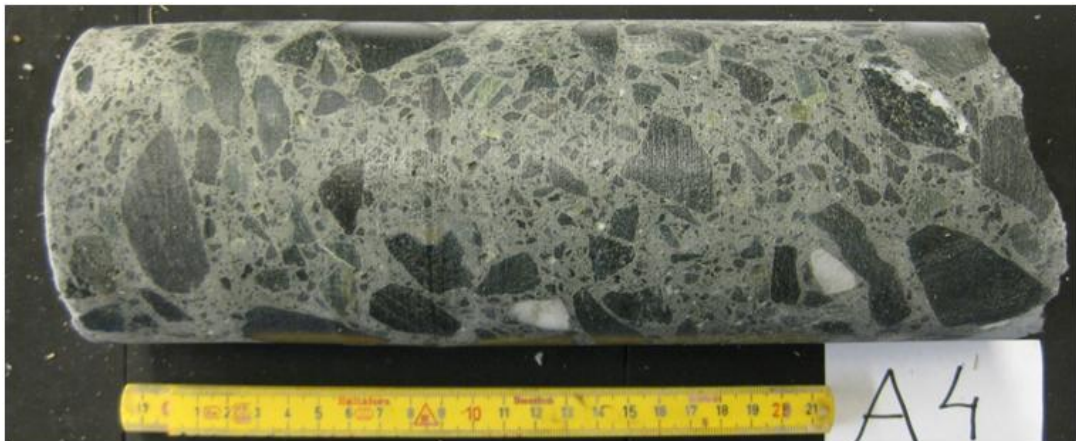
Figur 1. Prov A1.



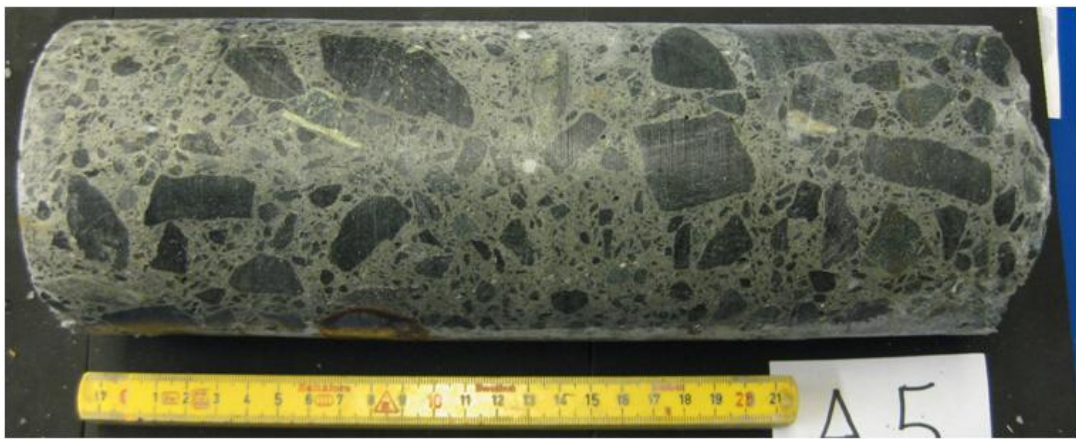
Figur 2. Prov A2.



Figur 3. Prov A3.



Figur 4. Prov A4.



Figur 5. Prov A5.



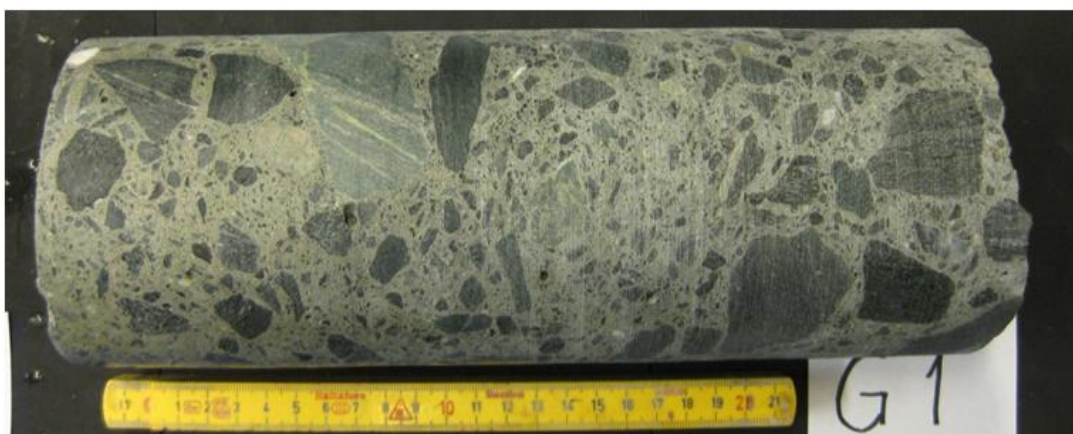
Figur 6. Prov A6.



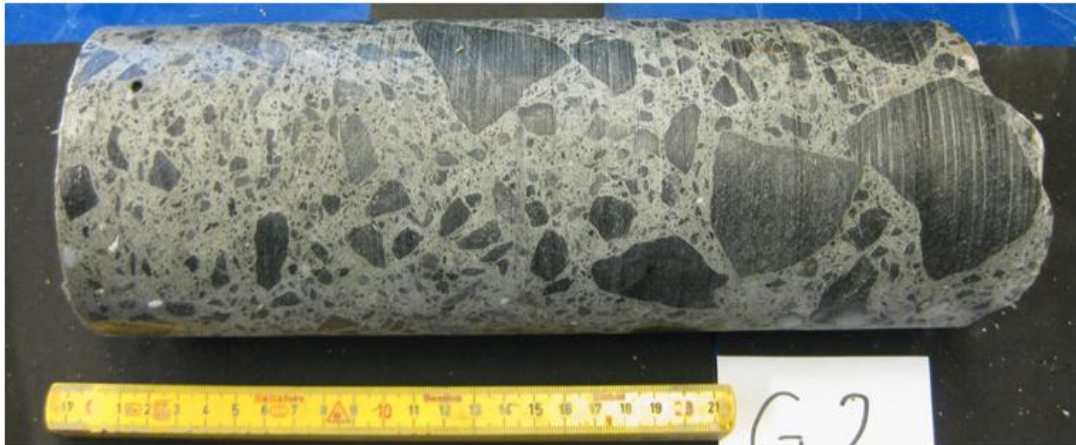
Figur 7. Prov A7.



Figur 8. Prov A8.



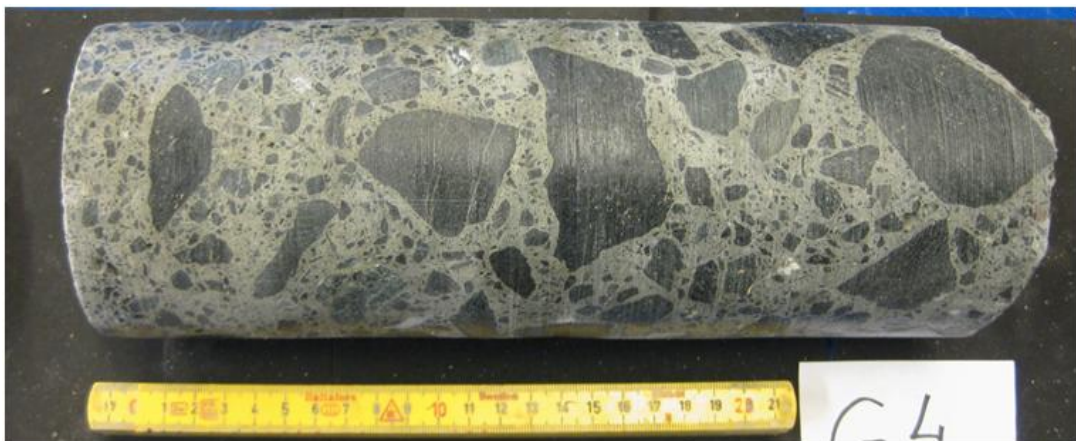
Figur 9. Prov G1.



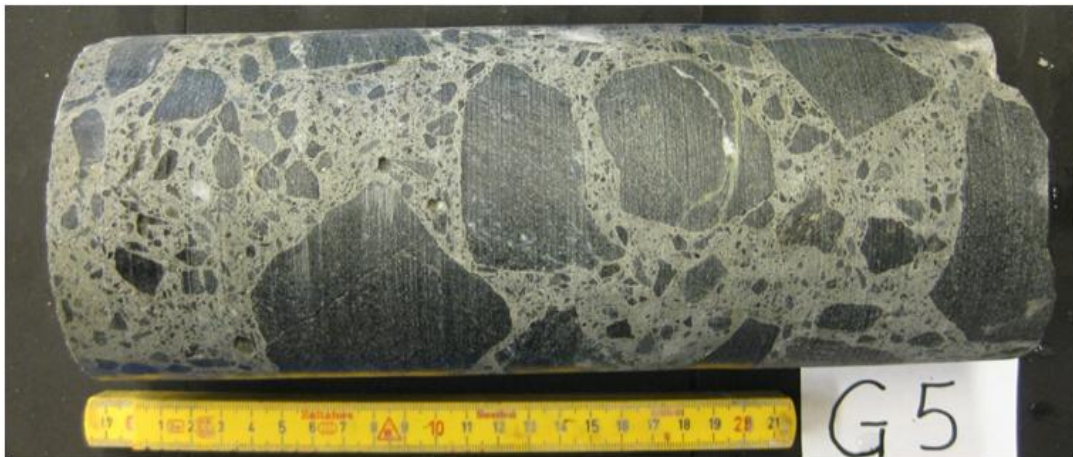
Figur 10. Prov G2.



Figur 11. Prov G3.



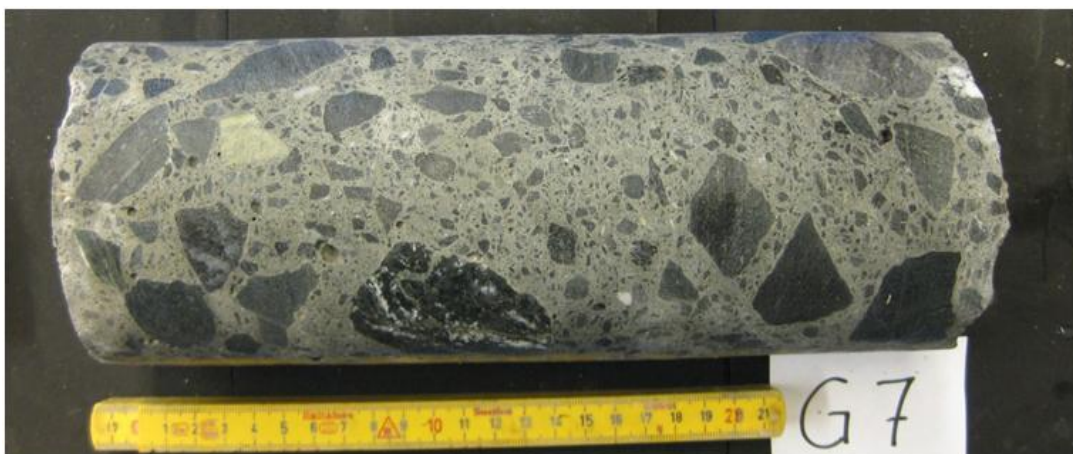
Figur 12. Prov G4.



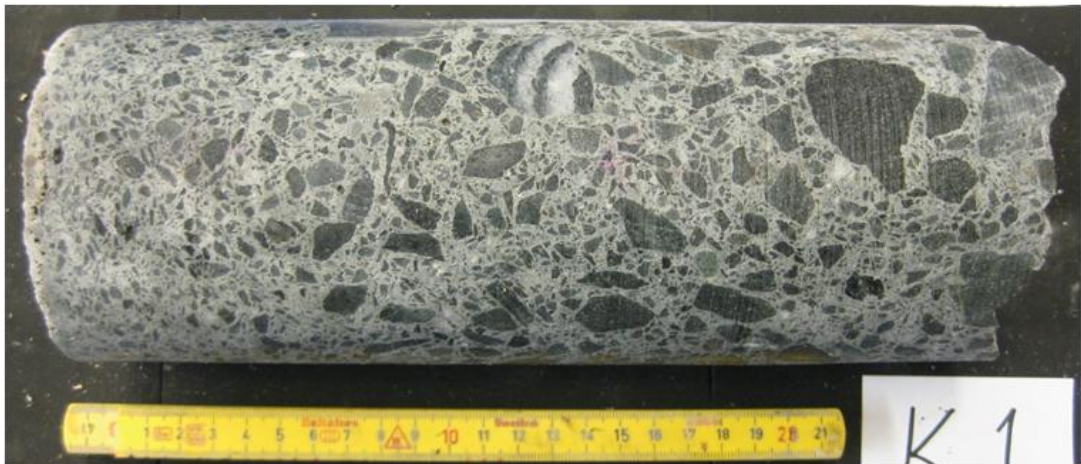
Figur 13. Prov G5.



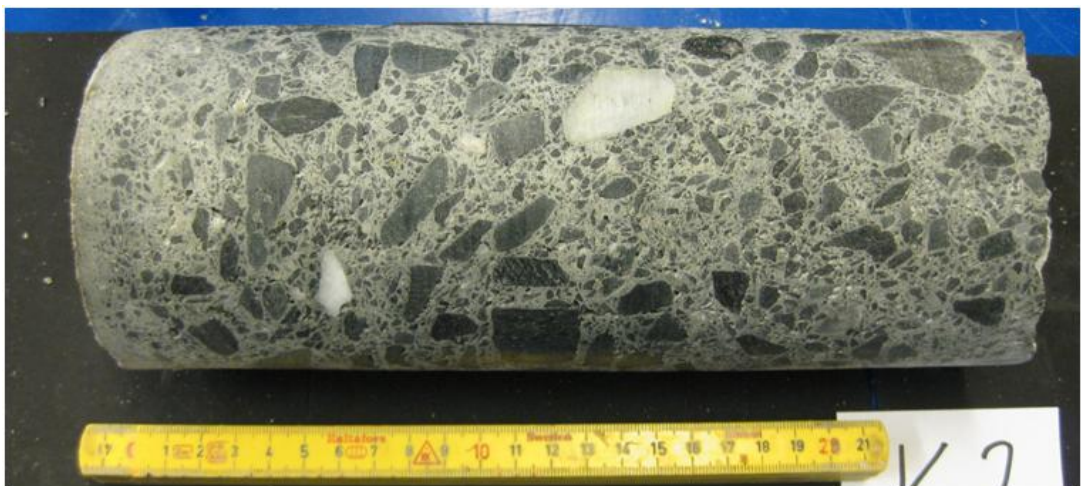
Figur 14. Prov G6.



Figur 15. Prov G7.



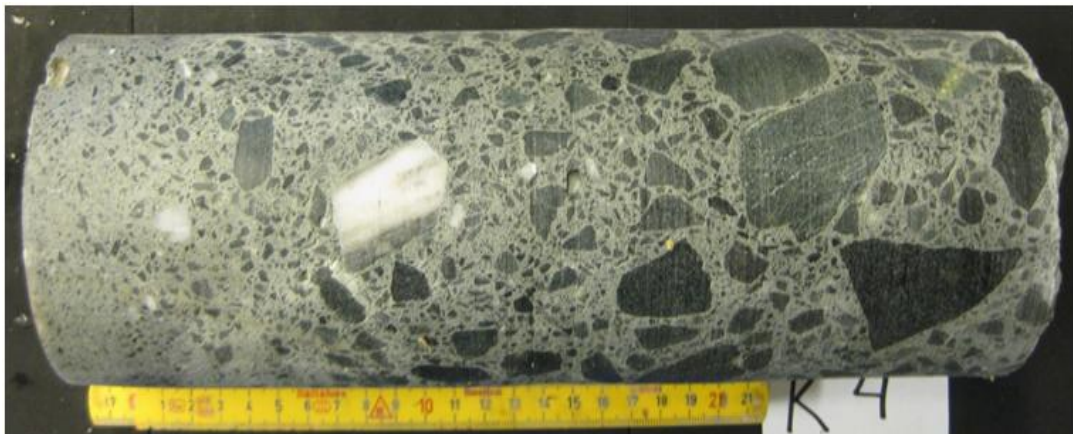
Figur 16. Prov K1.



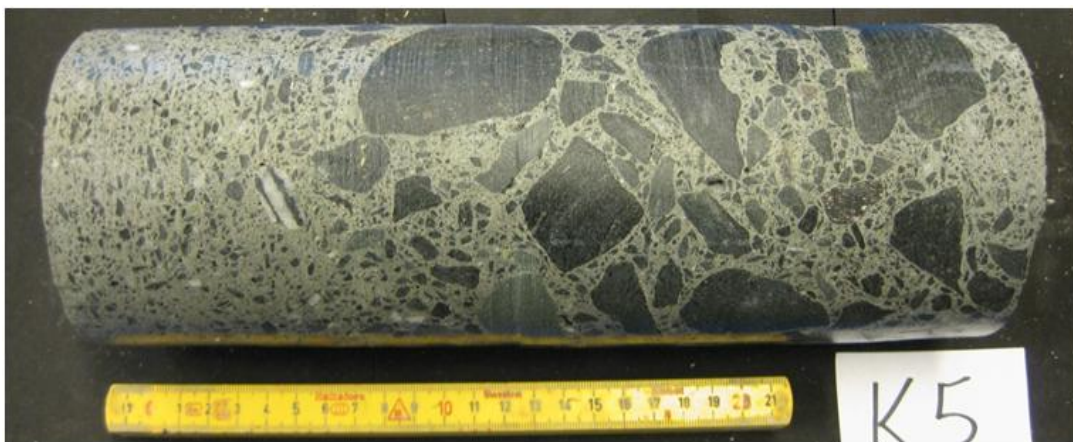
Figur 17. Prov K2.



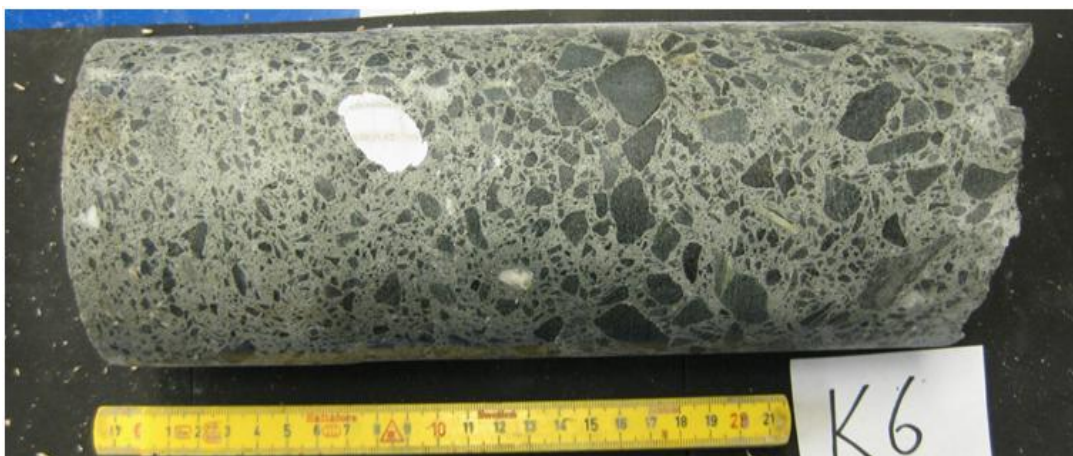
Figur 18. Prov K3.



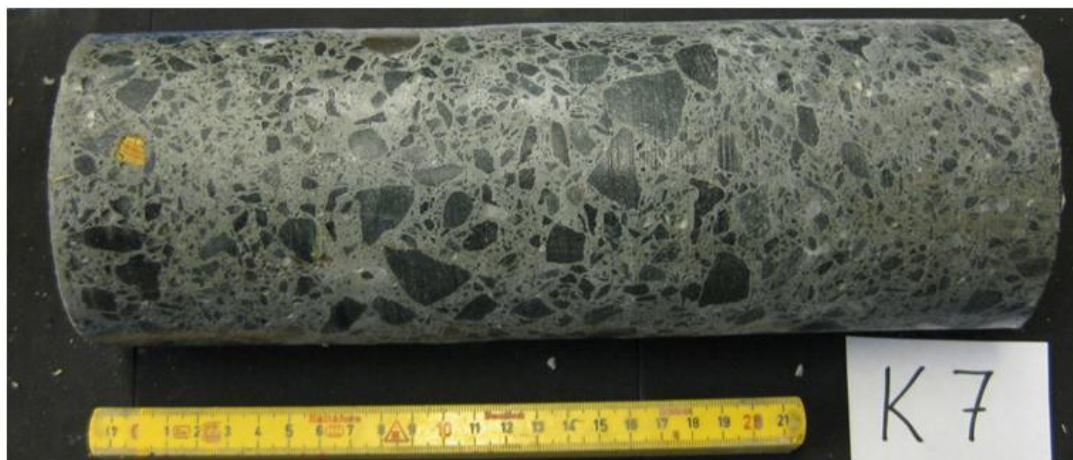
Figur 19. Prov K4.



Figur 20. Prov K5.

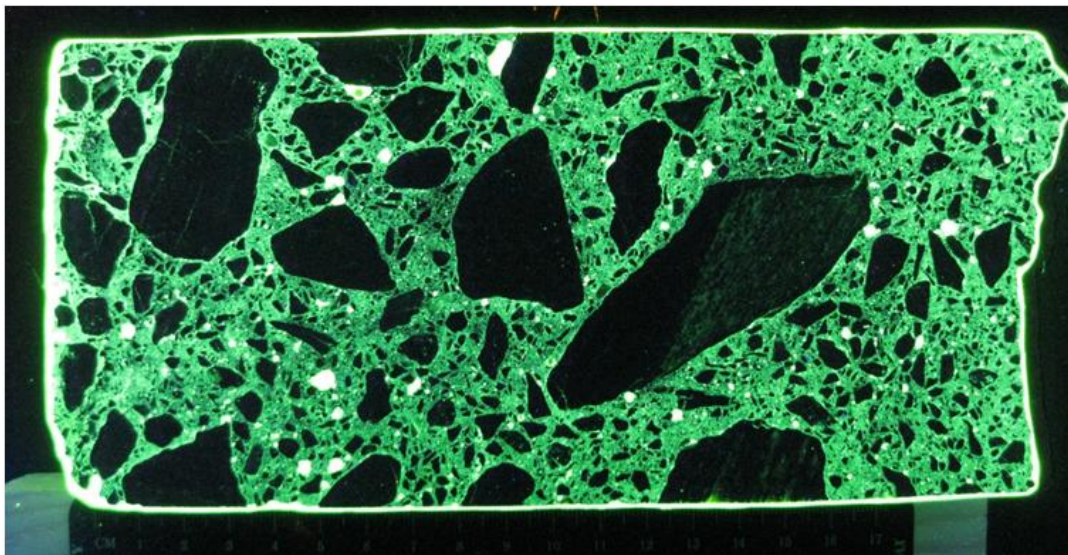


Figur 21. Prov K6.

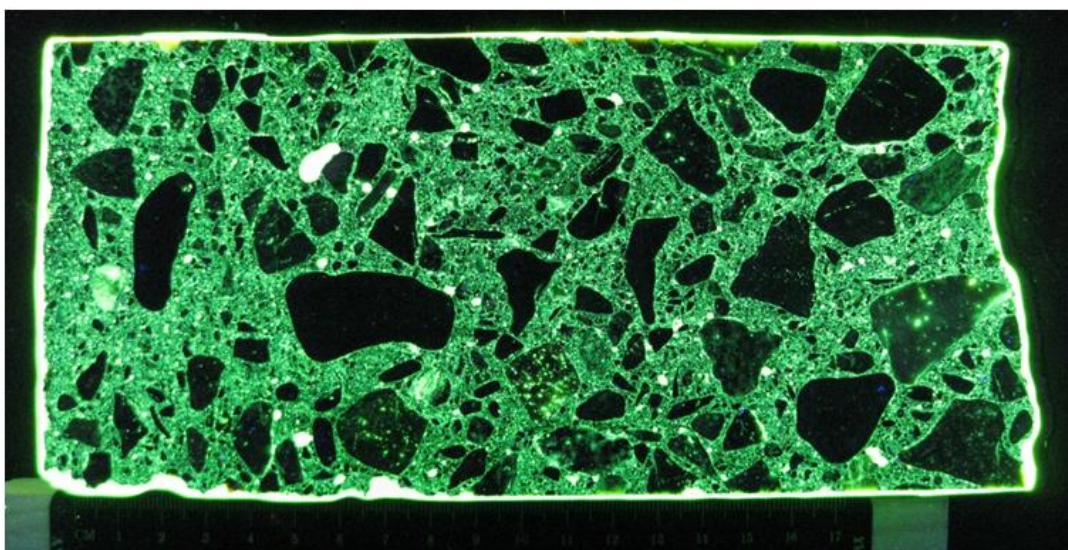


Figur 22. Prov K7.

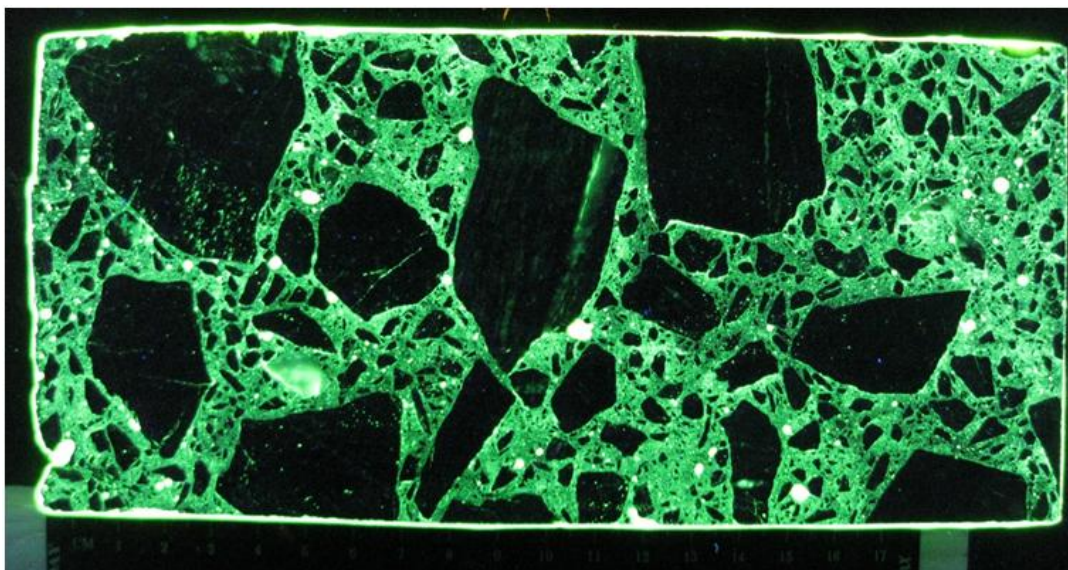
Bilaga 3



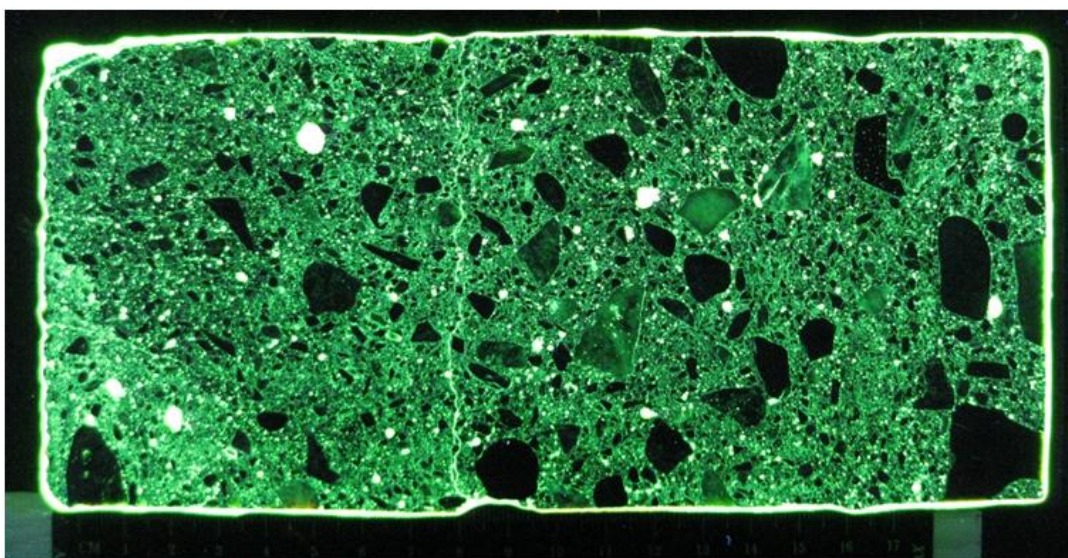
Figur 1. Prov A3, från Ajaure. Planslip belyst med UV ljus. Planslipets längd är 210 mm. Betongens yta finns till vänster i bilden.



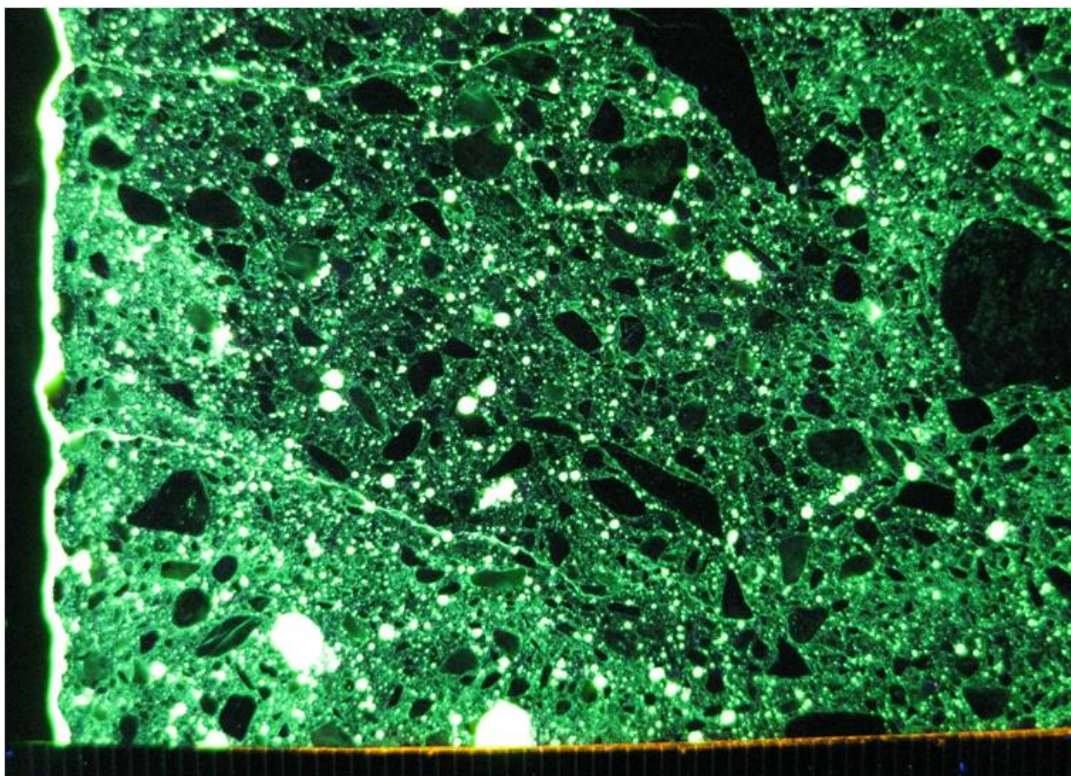
Figur 2. Prov A8, från Ajaure. Planslip belyst med UV ljus. Planslipets längd är 210 mm. Betongens yta finns till vänster i bilden.



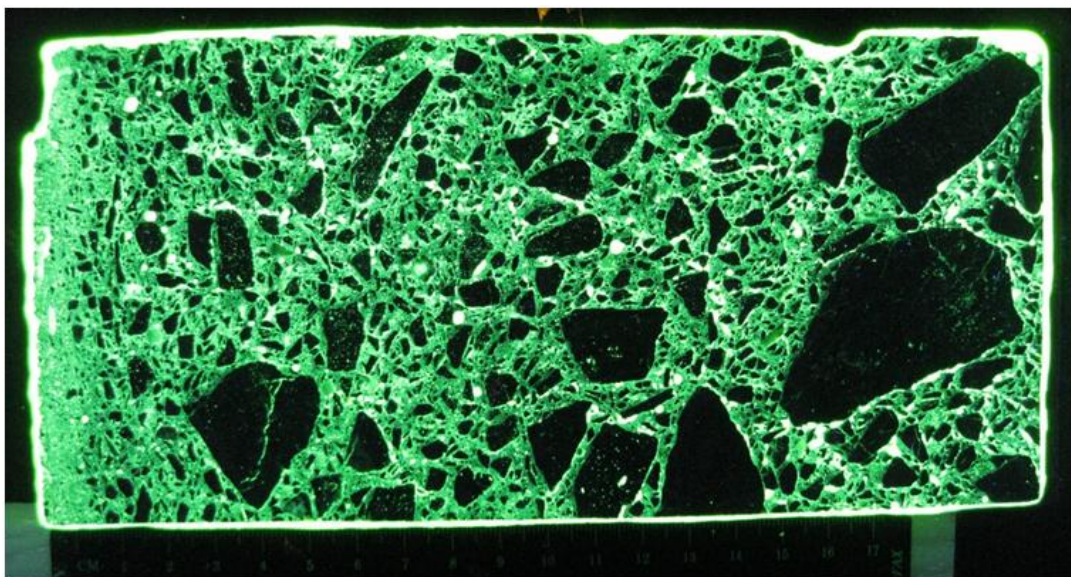
Figur 3. Prov G3, från Gardikfors. Planslip belyst med UV ljus. Planslipets längd är 210 mm. Betongens yta finns till vänster i bilden.



Figur 4. Prov H1, från Håckren. Planslip belyst med UV ljus. Planslipets längd är 210 mm. Betongens yta finns till vänster i bilden.

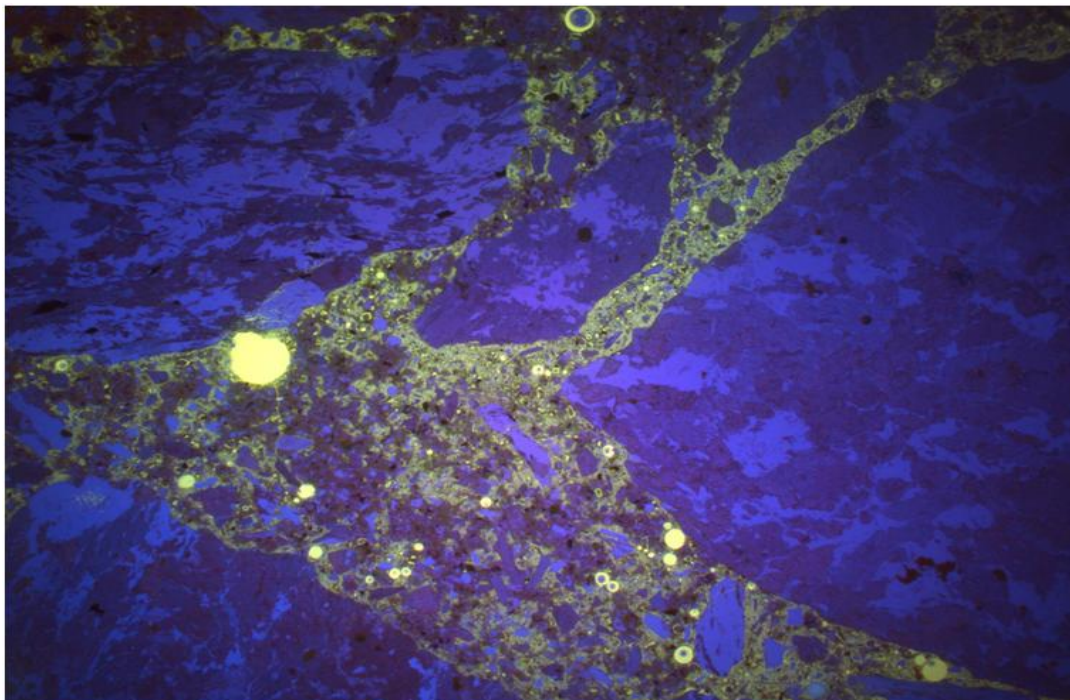


Figur 5. Prov H1, från Håckren. Planslip belyst med UV ljus. Närbild på betongens yttre del. Området i bilden är ca 60 mm brett.

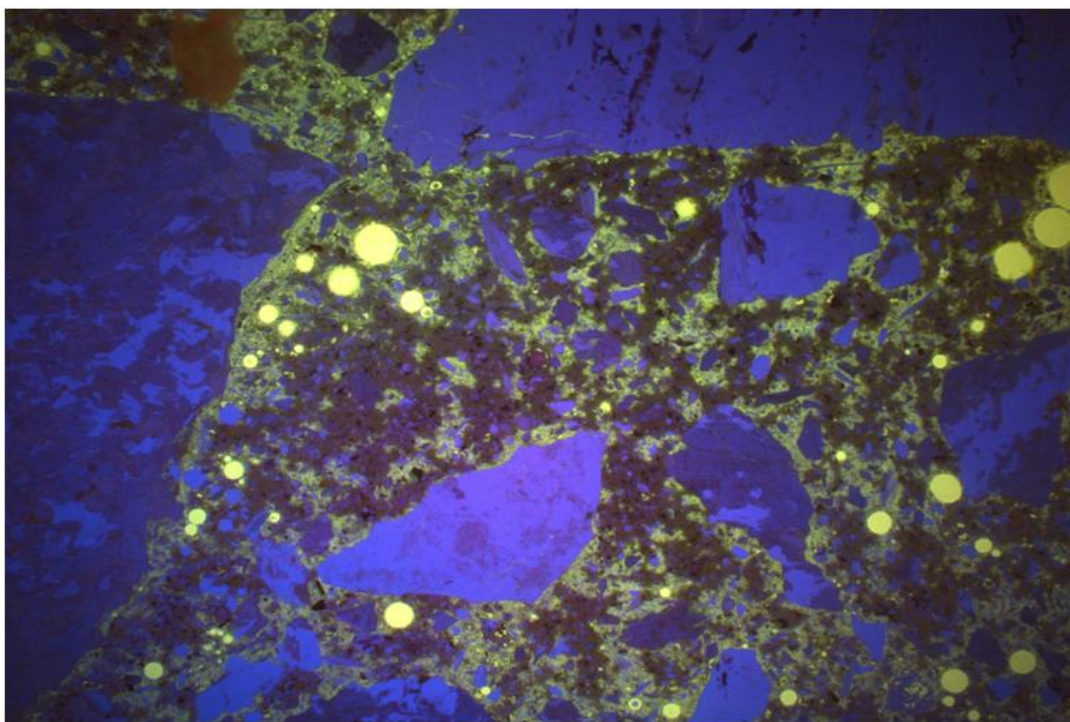


Figur 6. Prov K2, från Överumans regleringsdamm. Planslip belyst med UV ljus. Planslipets längd är 210 mm. Betongens yta finns till vänster i bilden.

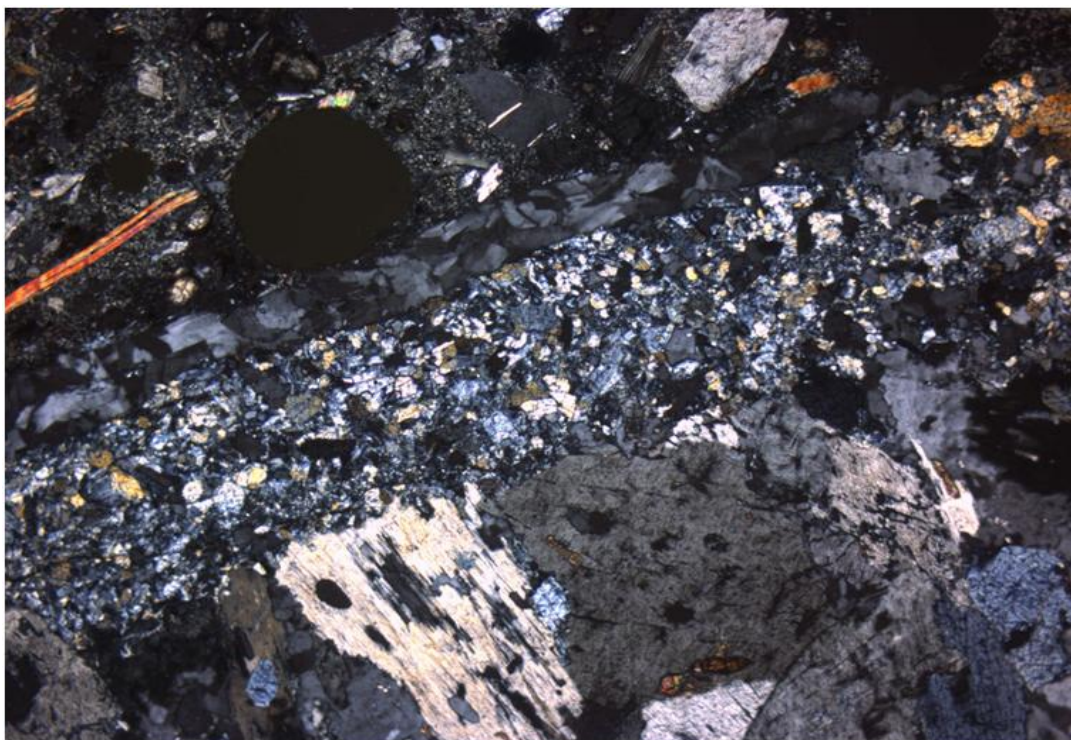
Bilaga 4



Figur 1. Prov A3, från Ajaure. Djup i betongen: 20 mm. Tunnslip, genomfallande UV ljus. Området i bilden är 6,7 mm brett.



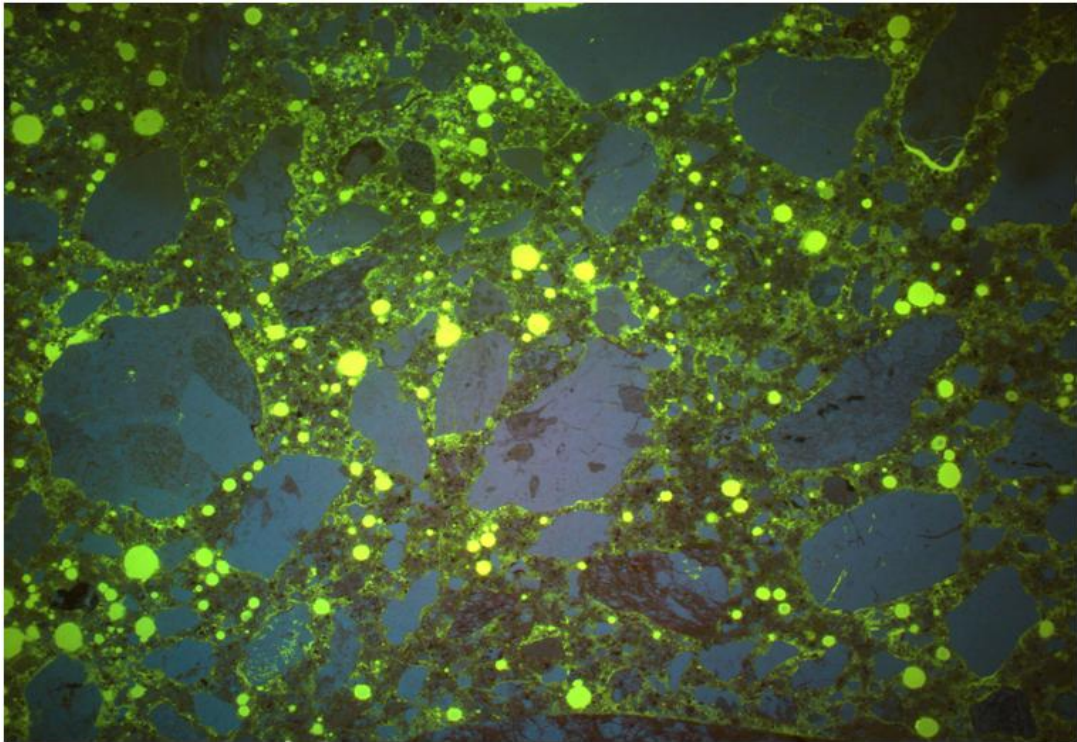
Figur 2. Prov A3, från Ajaure. Djup i betongen: 40 mm. Tunnslip, genomfallande UV ljus. Området i bilden är 6,7 mm brett.



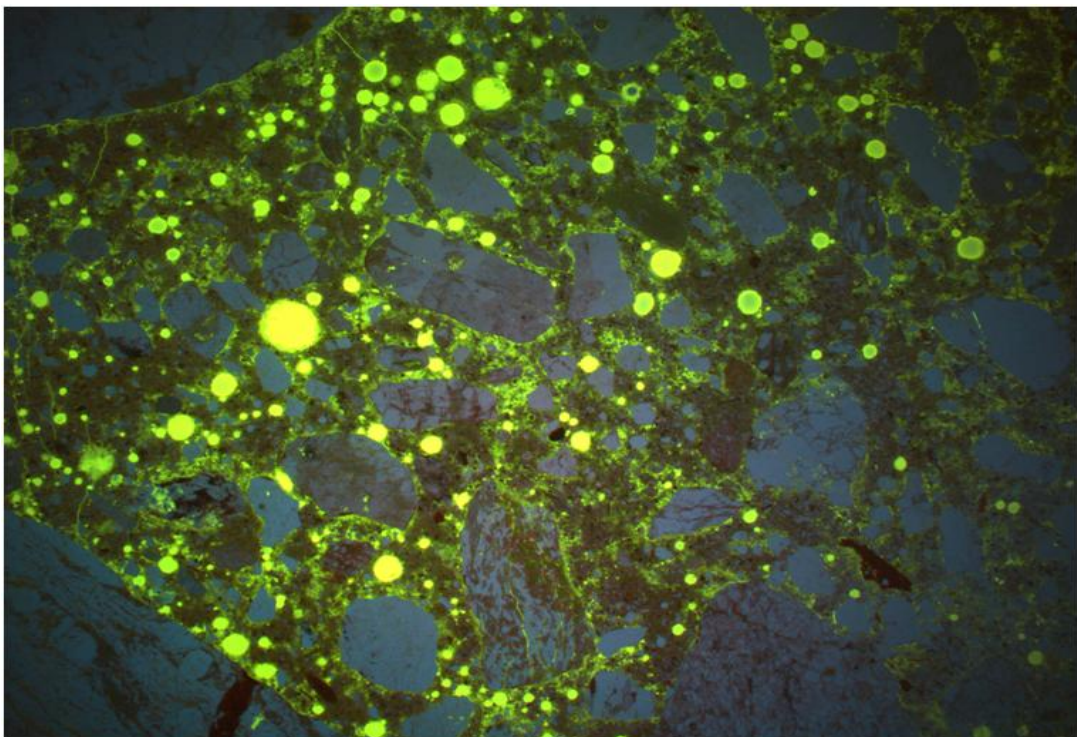
Figur 3. Prov A3, från Ajaure. Djup i betongen: 15 mm. Tunnslip, genomfallande polariserat ljus. Området i bilden är 1,7 mm brett.



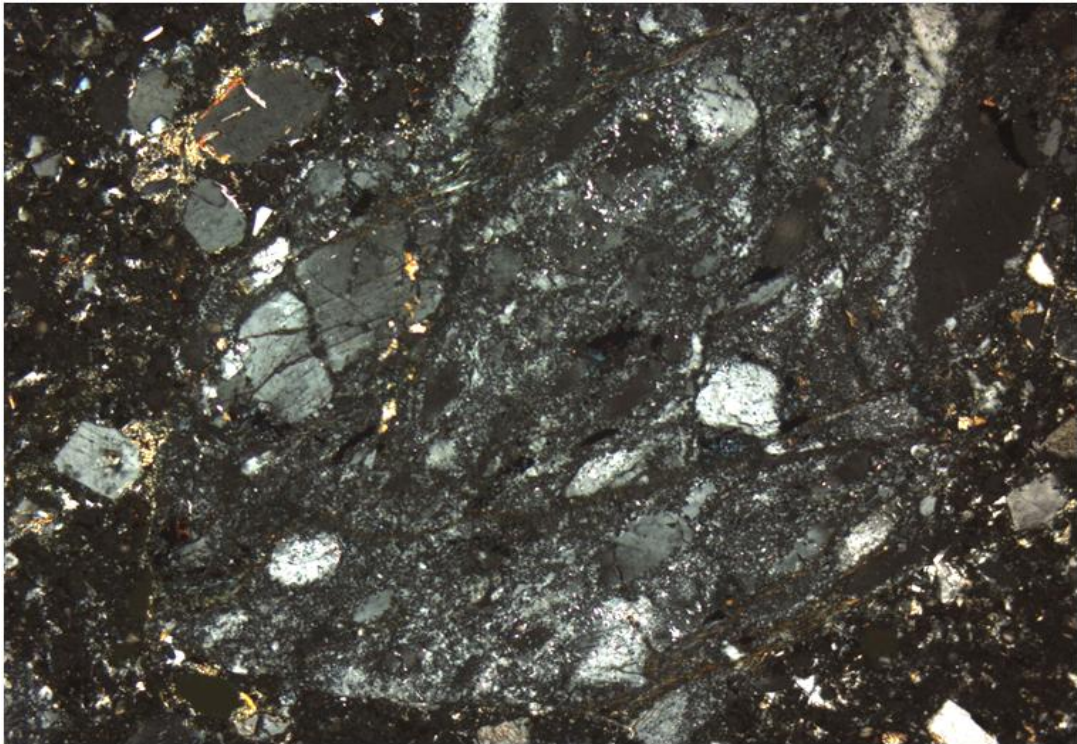
Figur 4. Prov A3, från Ajaure. Djup i betongen: 15 mm. Tunnslip, genomfallande polariserat ljus. Området i bilden är 1,7 mm brett.



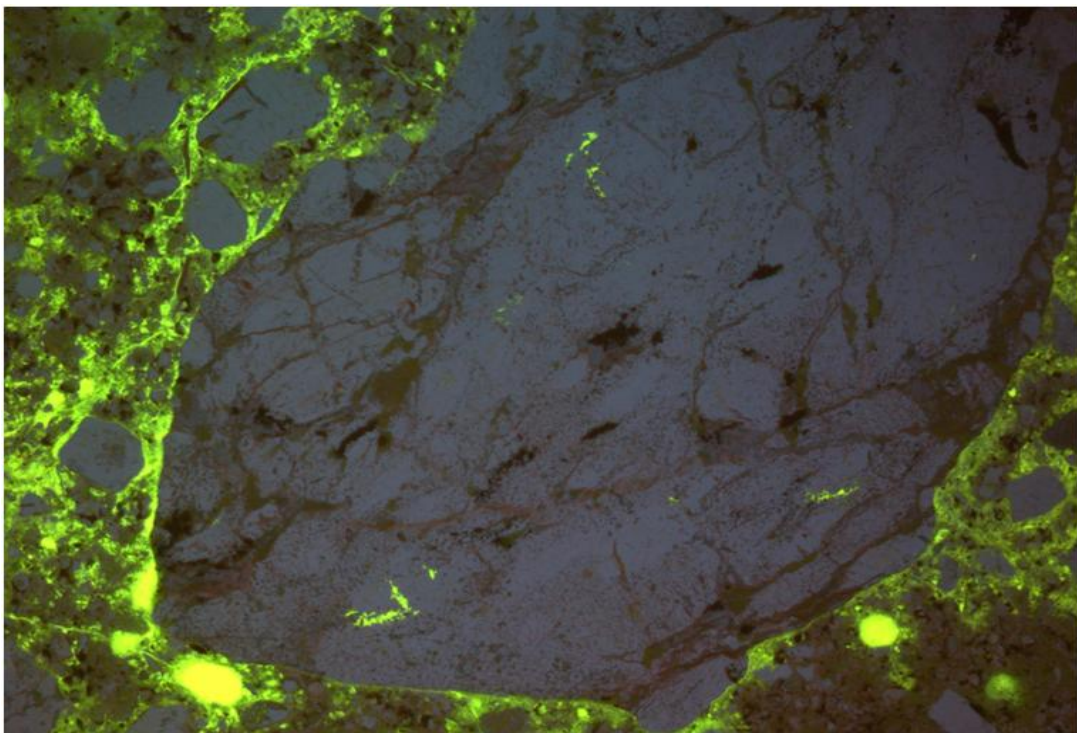
Figur 5. Prov A8, från Ajaure. Djup i betongen: 10 mm. Tunnslip, genomfallande UV ljus. Området i bilden är 6,7 mm brett.



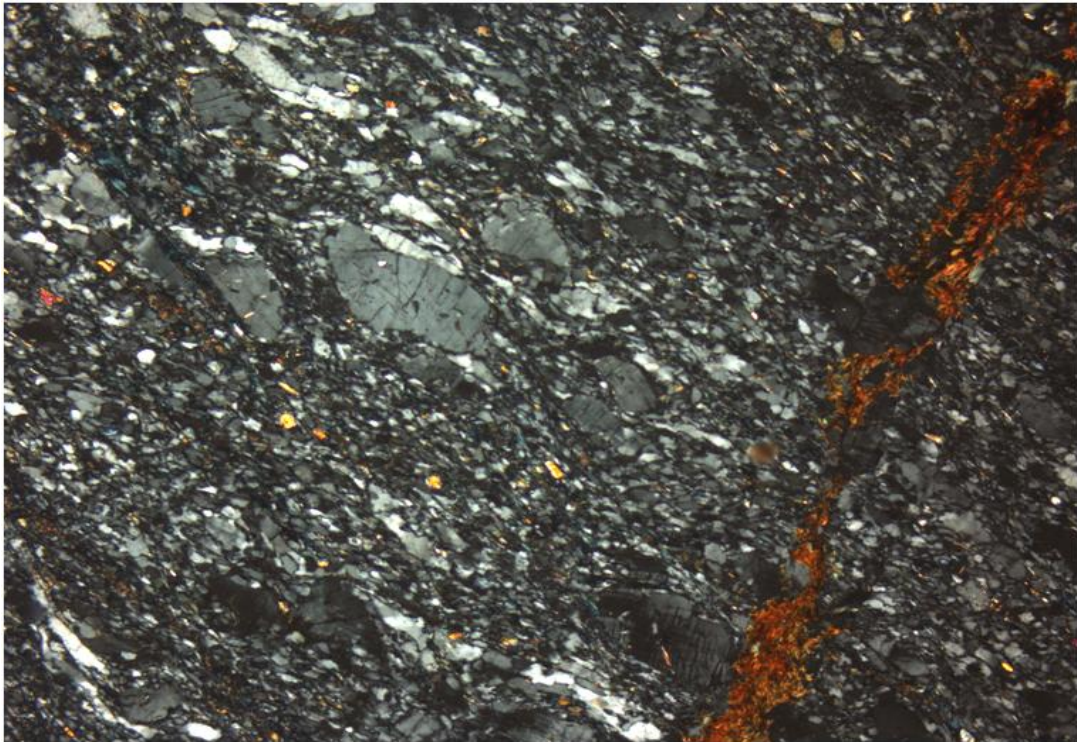
Figur 6. Prov A8, från Ajaure. Djup i betongen: 40 mm. Tunnslip, genomfallande UV ljus. Området i bilden är 6,7 mm brett.



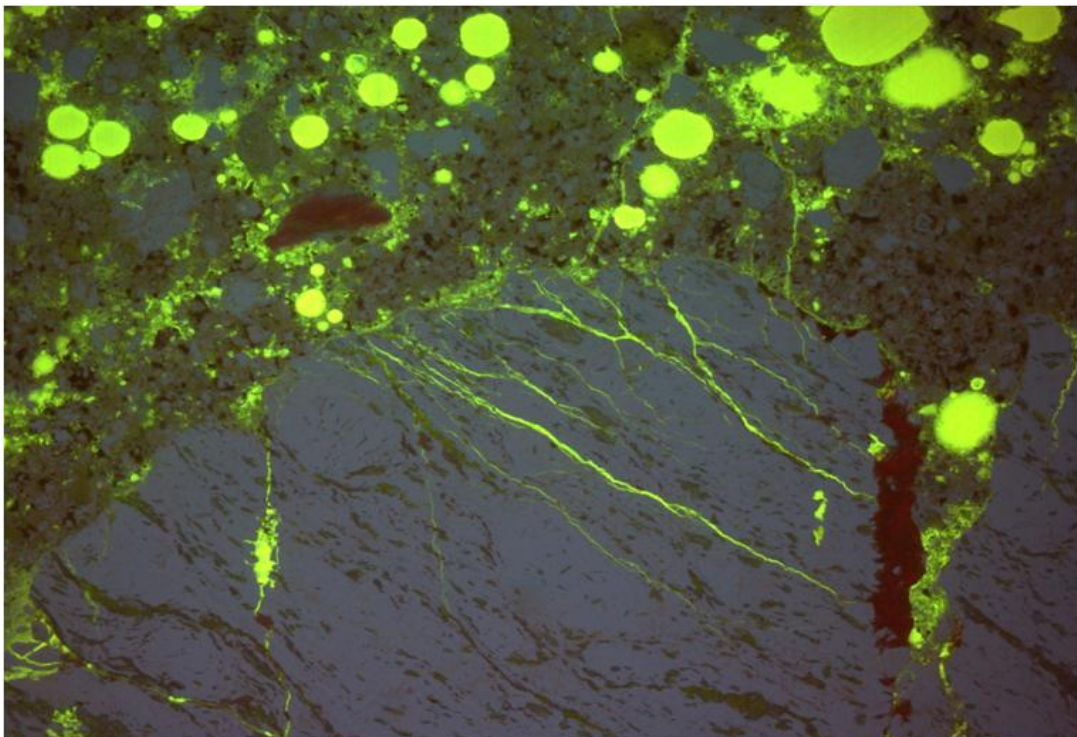
Figur 7. Prov A8, från Ajaure. Djup i betongen: 10 mm. Tunnslip, genomfallande polariserat ljus. Området i bilden är 1,7 mm brett.



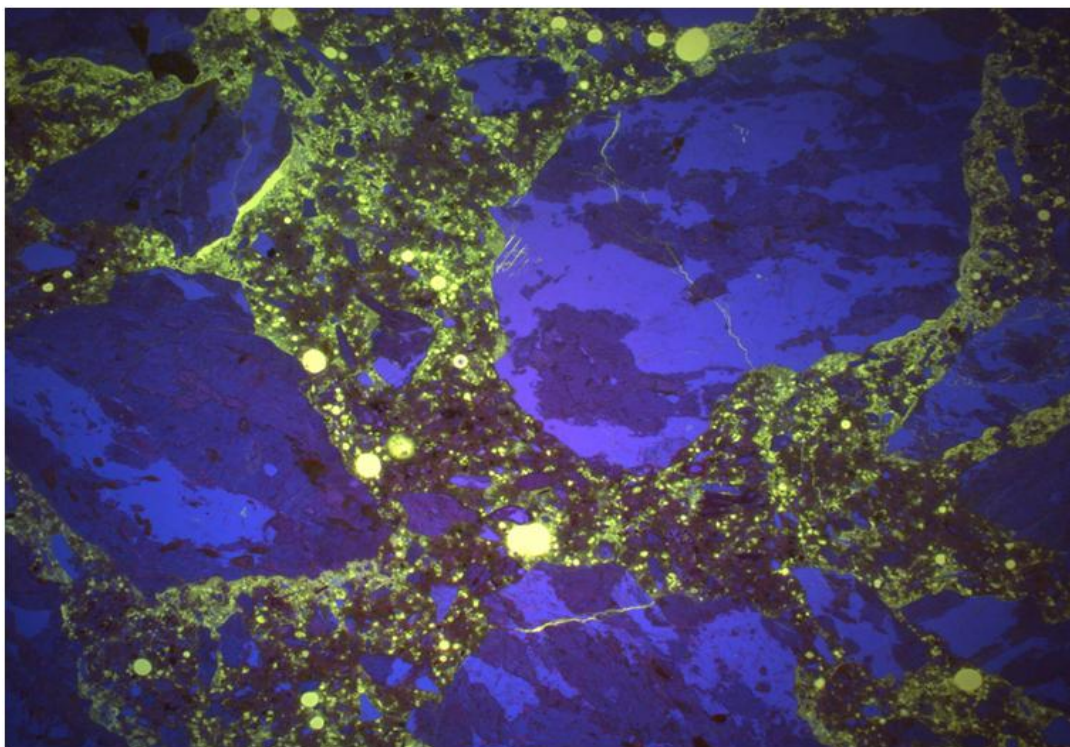
Figur 8. Prov A8, från Ajaure. Djup i betongen: 10 mm. Tunnslip, genomfallande UV ljus. Området i bilden är 1,7 mm brett.



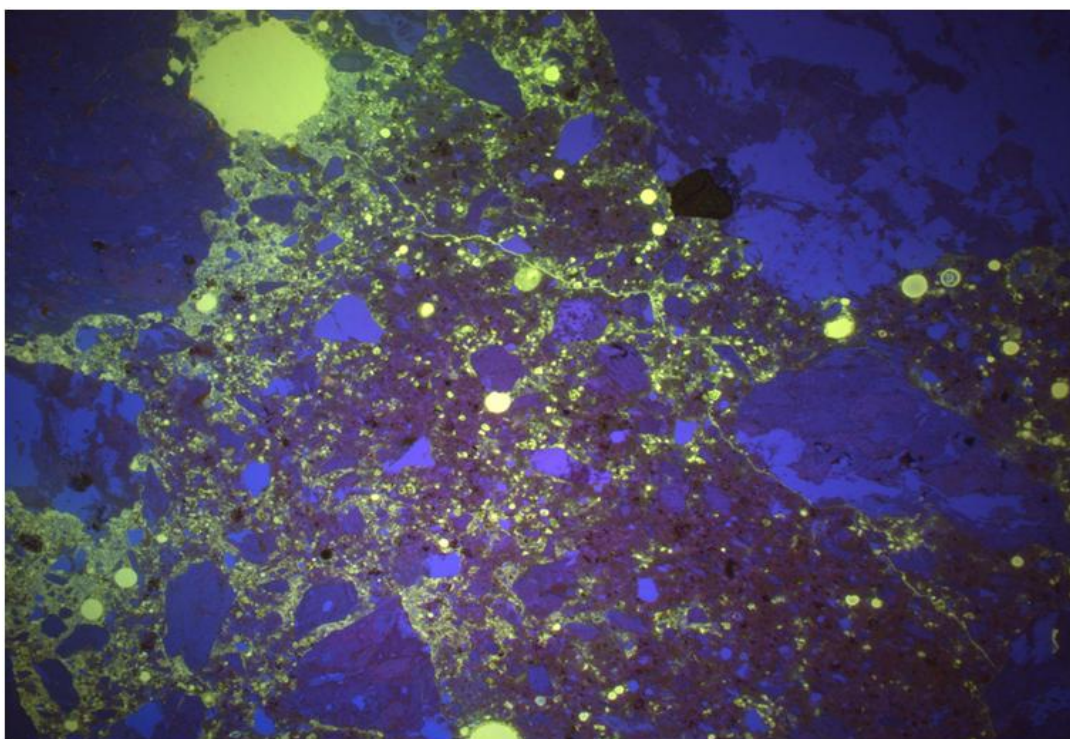
Figur 9. Prov A8, från Ajaure. Djup i betongen: 15 mm. Tunnslip, genomfallande polariserat ljus. Området i bilden är 1,7 mm brett.



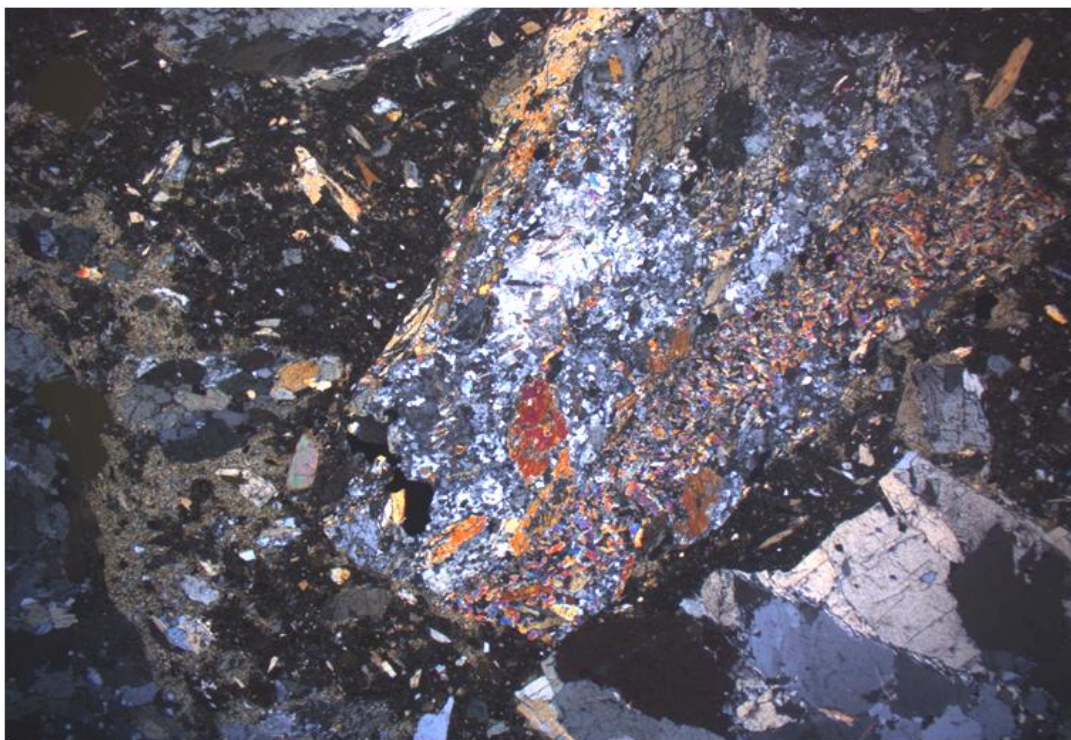
Figur 10. Prov A8, från Ajaure. Djup i betongen: 15 mm. Tunnslip, genomfallande UV ljus. Området i bilden är 1,7 mm brett.



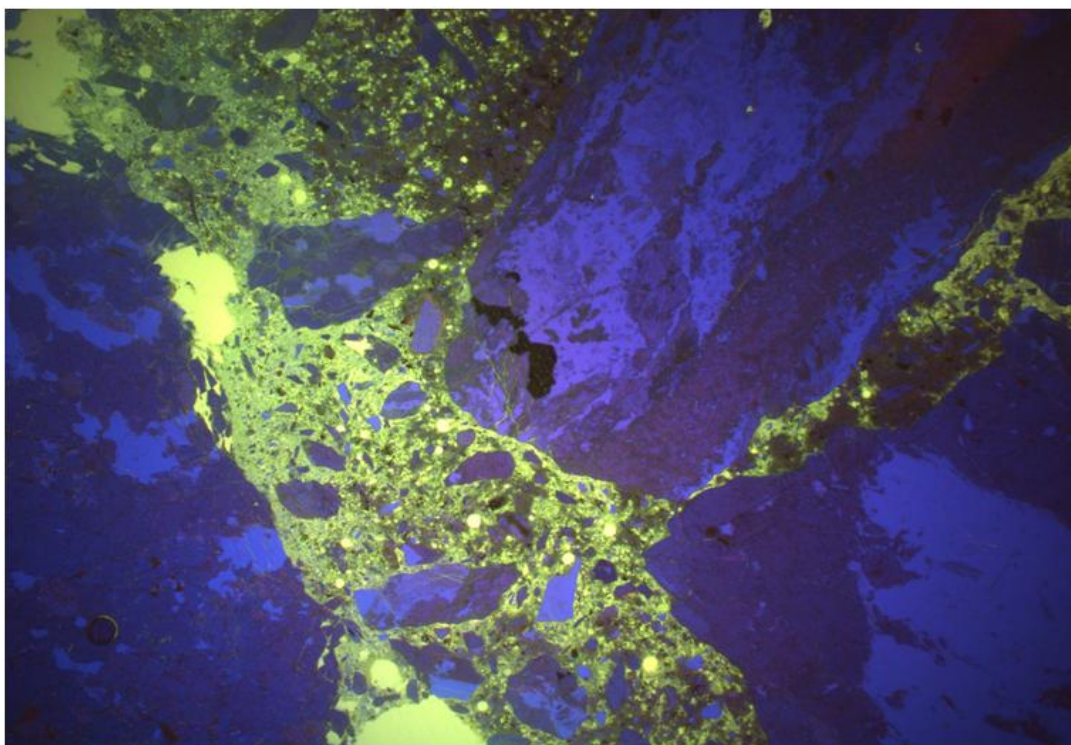
Figur 11. Prov G3, från Gardikfors. Djup i betongen: 20 mm. Tunnslip, genomfallande UV ljus. Området i bilden är 6,7 mm brett.



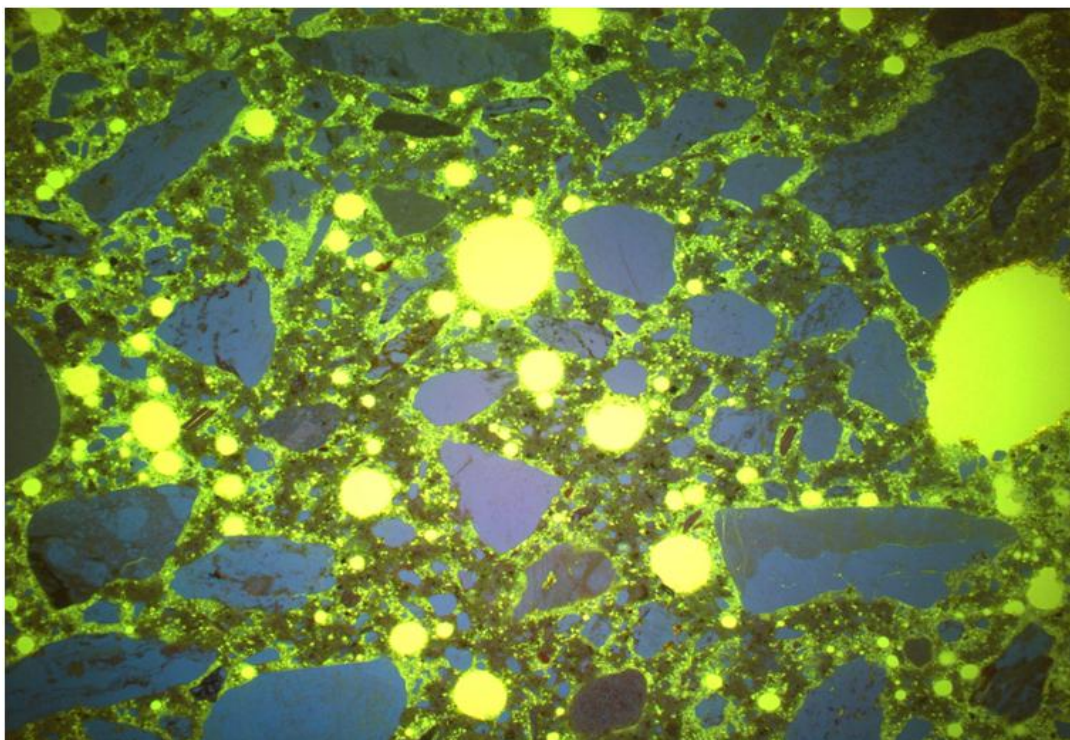
Figur 12. Prov G3, från Gardikfors. Djup i betongen: 40 mm. Tunnslip, genomfallande UV ljus. Området i bilden är 6,7 mm brett.



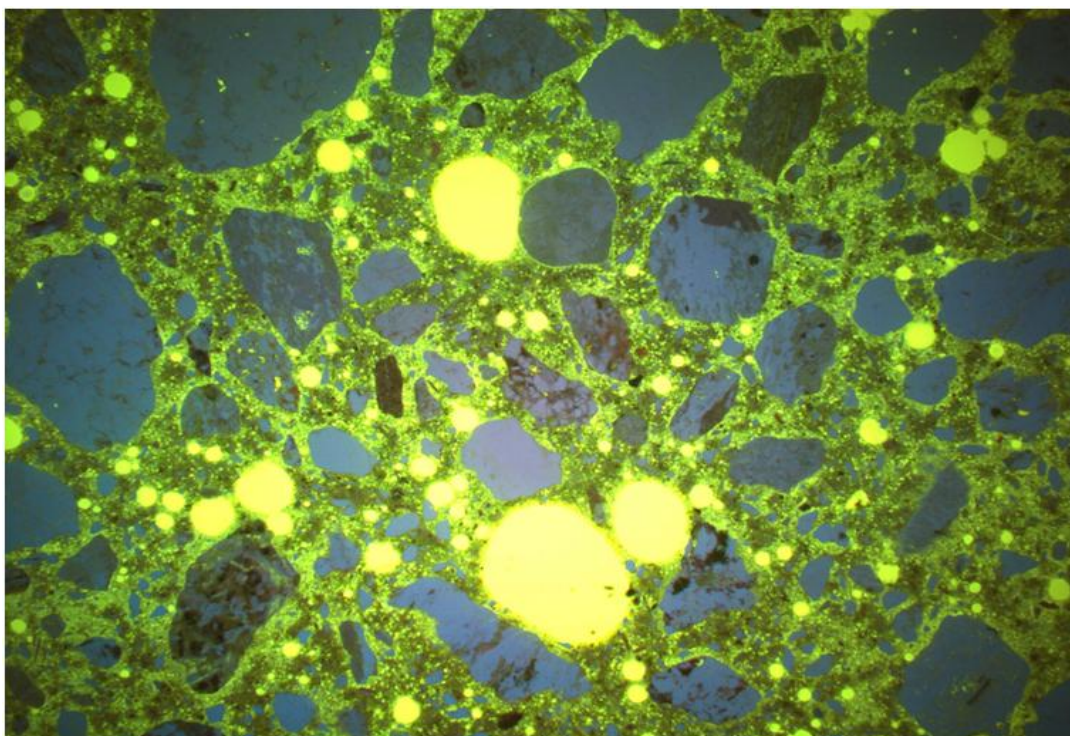
Figur 13. Prov G3, från Gardikfors. Djup i betongen: 40 mm. Tunnslip, genomfallande polariserat ljus. Området i bilden är 6,7 mm brett.



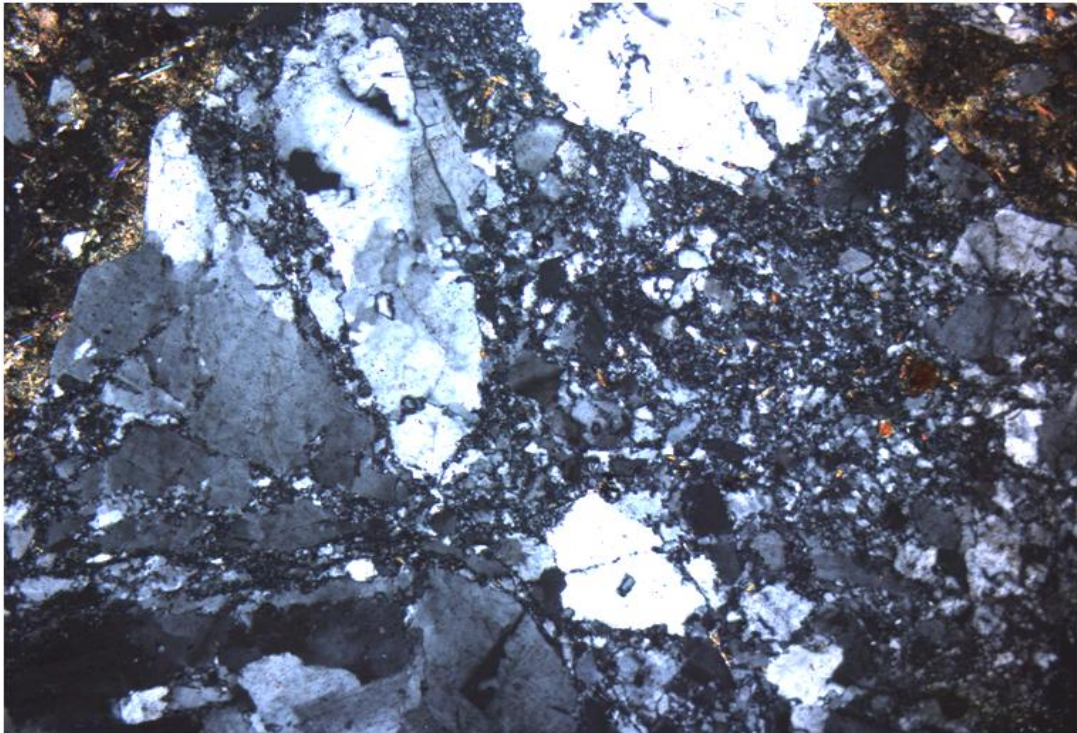
Figur 14. Prov G3, från Gardikfors. Djup i betongen: 40 mm. Tunnslip, genomfallande UV ljus. Området i bilden är 6,7 mm brett.



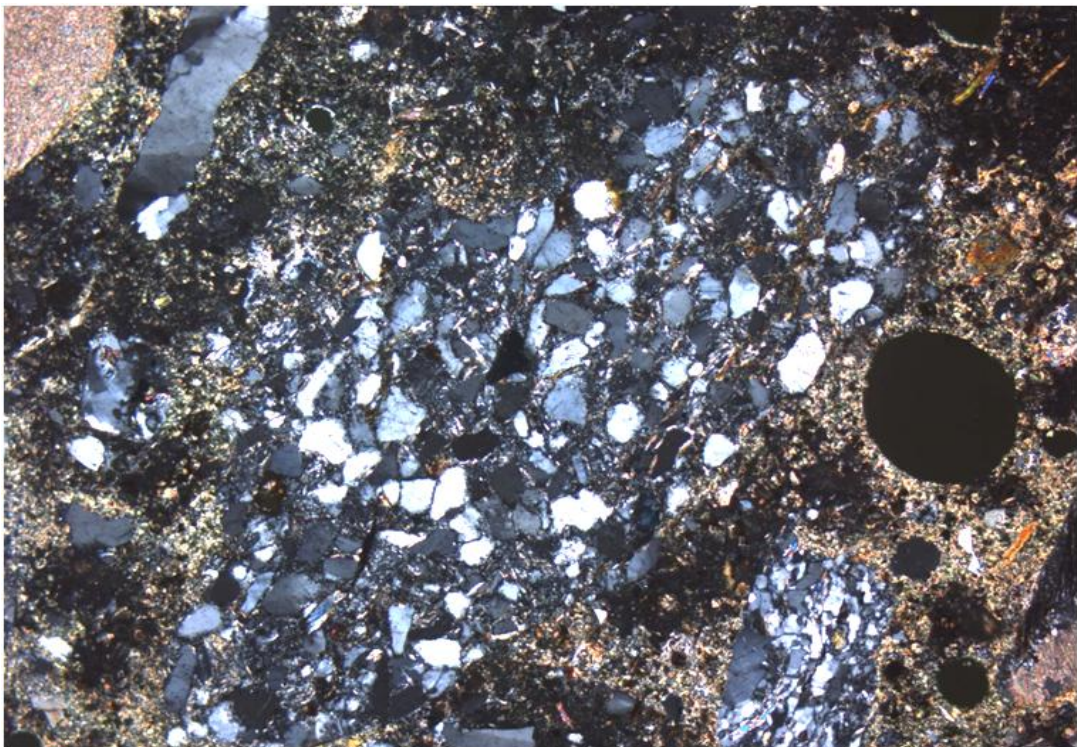
Figur 15. Prov H1.1, från Håckren. Djup i betongen: 10 mm. Tunnslip, genomfallande UV ljus. Området i bilden är 6,7 mm brett.



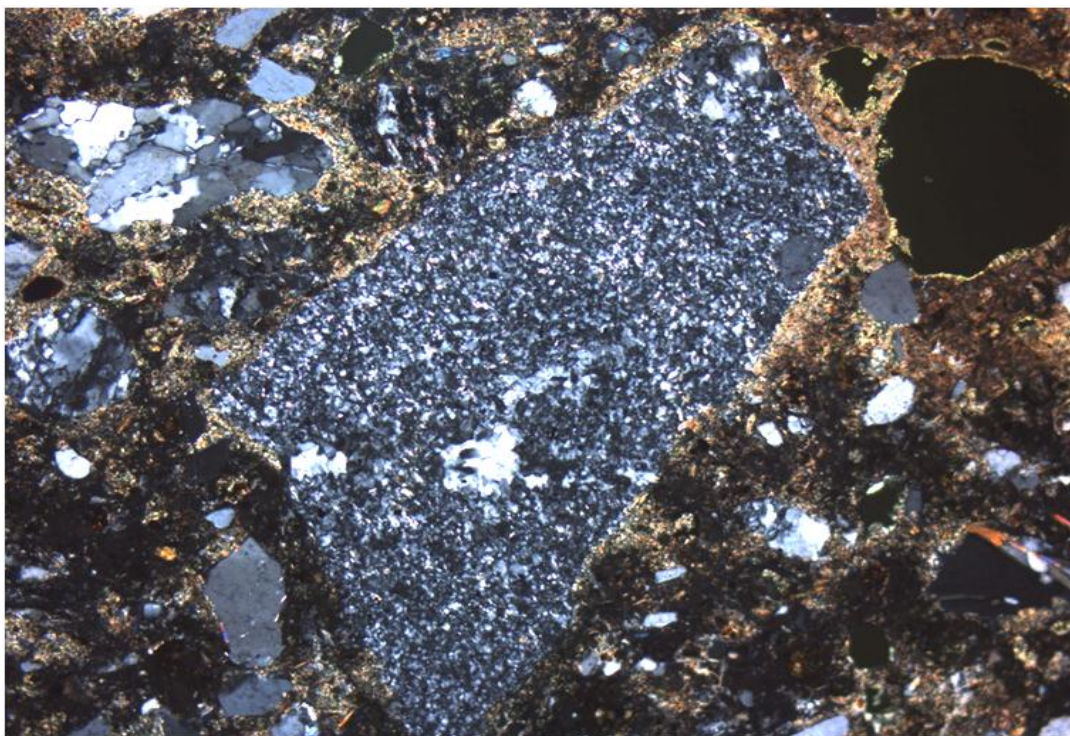
Figur 16. Prov H1.1, från Håckren. Djup i betongen: 40 mm. Tunnslip, genomfallande UV ljus. Området i bilden är 6,7 mm brett.



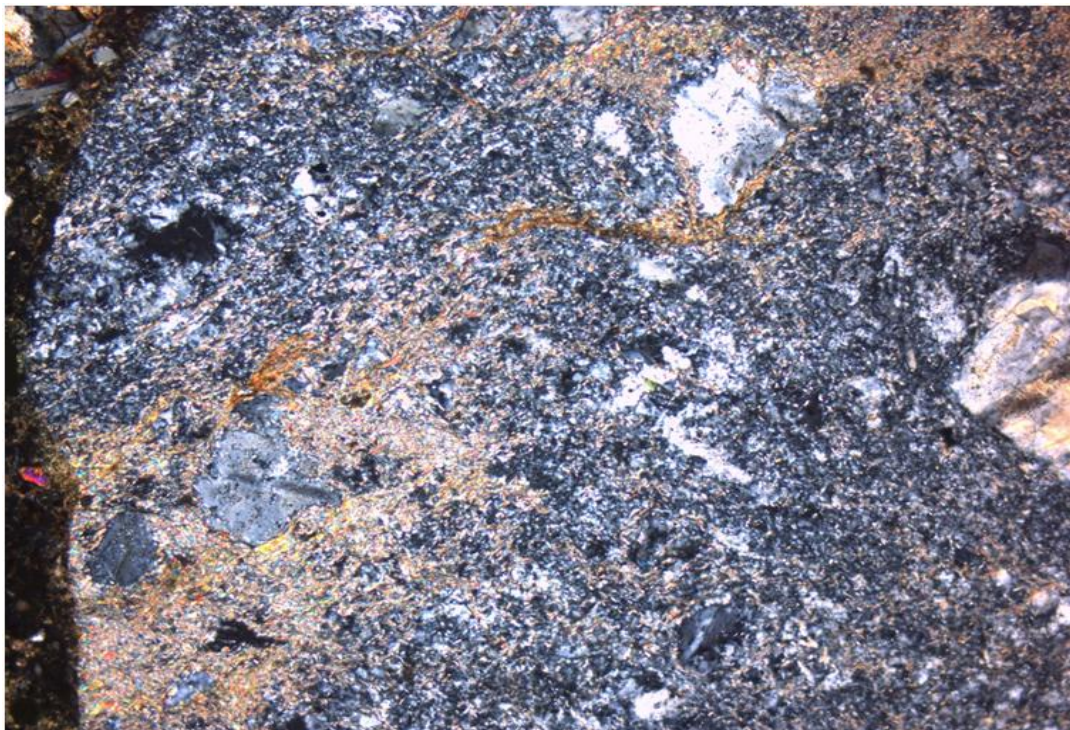
Figur 17. Prov H1.1, från Håckren. Tunnslip, genomfallande polariserat ljus. Området i bilden är 1,7 mm brett.



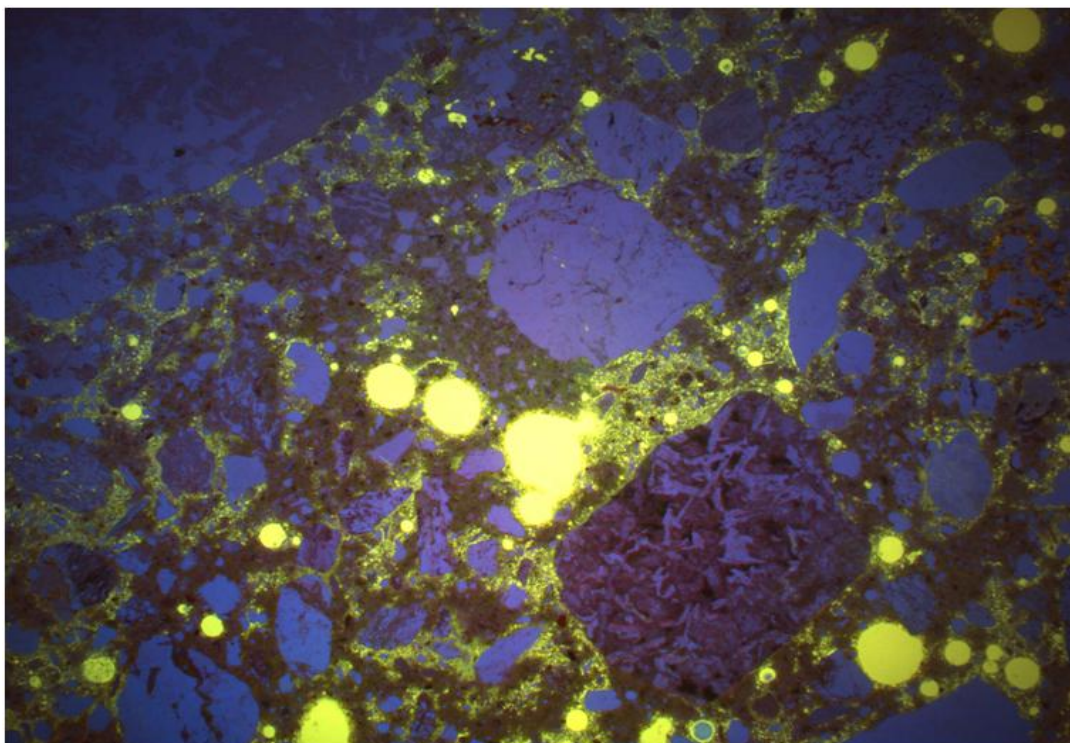
Figur 18. Prov H1.1, från Håckren. Tunnslip, genomfallande polariserat ljus. Området i bilden är 1,7 mm brett.



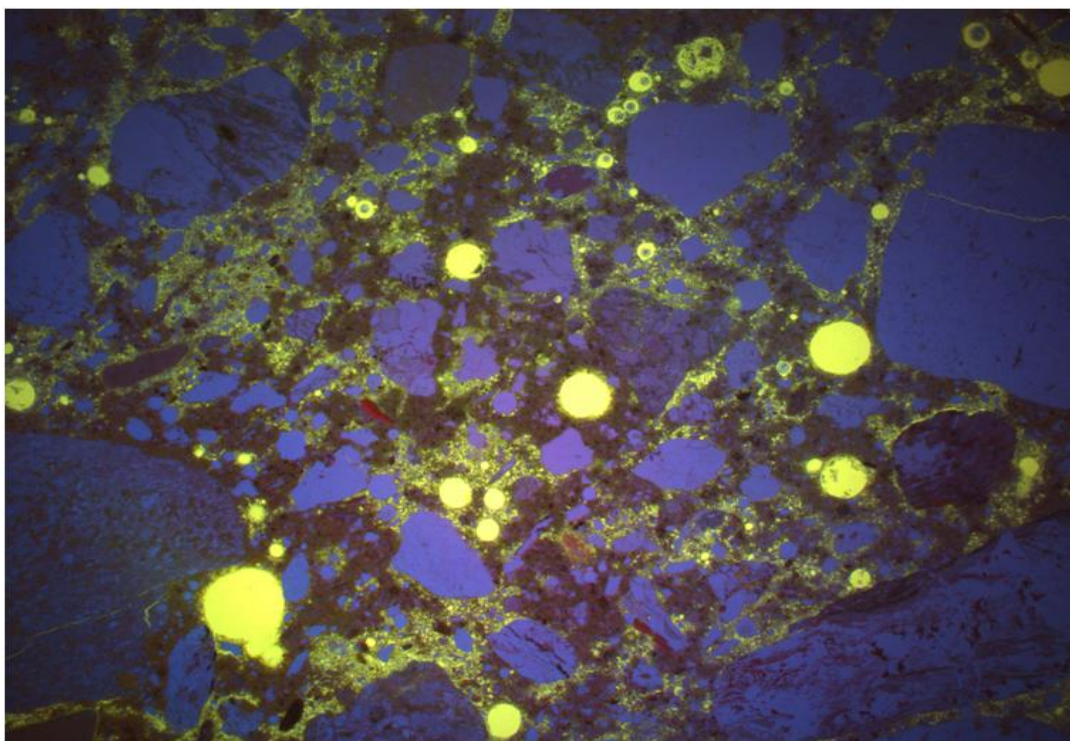
Figur 19. Prov H1.1, från Håckren. Tunnslip, genomfallande polariserat ljus. Området i bilden är 1,7 mm brett.



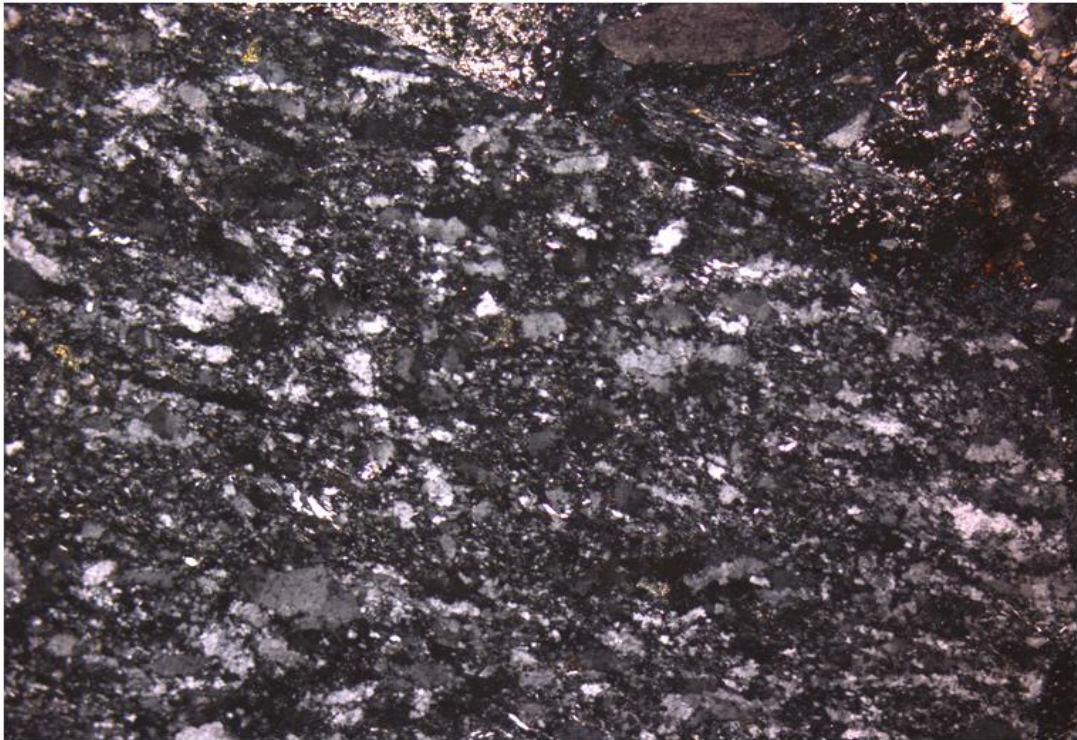
Figur 20. Prov H1.1, från Håckren. Tunnslip, genomfallande polariserat ljus. Området i bilden är 1,7 mm brett.



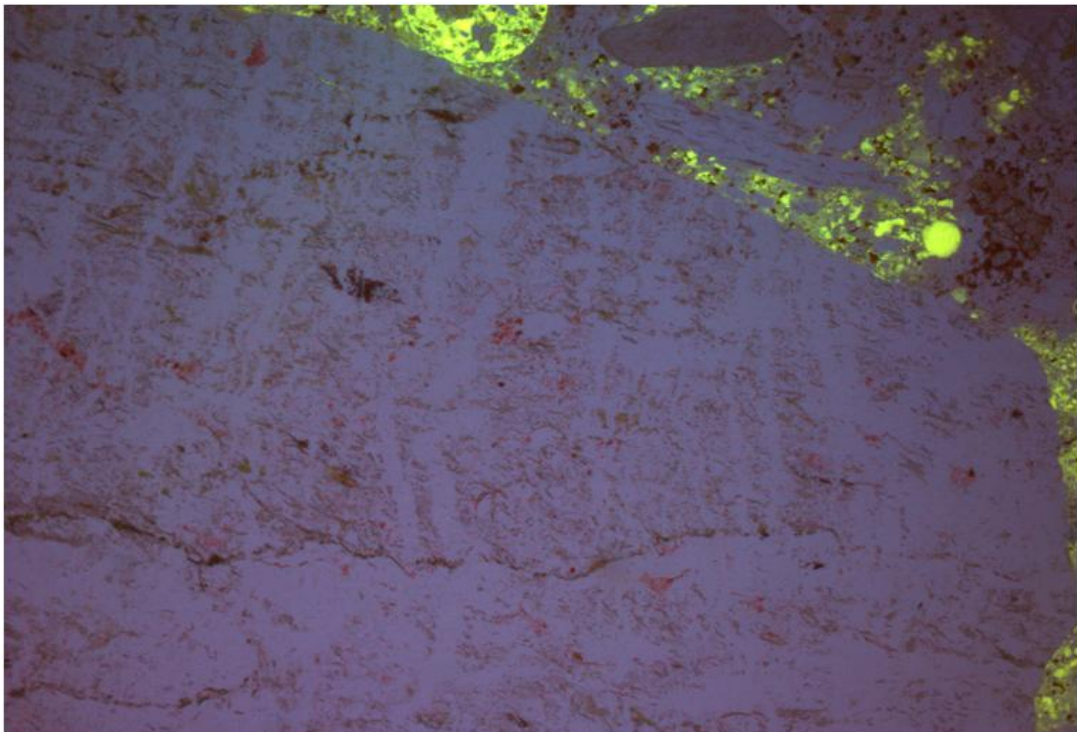
Figur 21. Prov H1.2, från Håckren. Djup i betongen: 10 mm. Tunnslip, genomfallande UV ljus. Området i bilden är 6,7 mm brett.



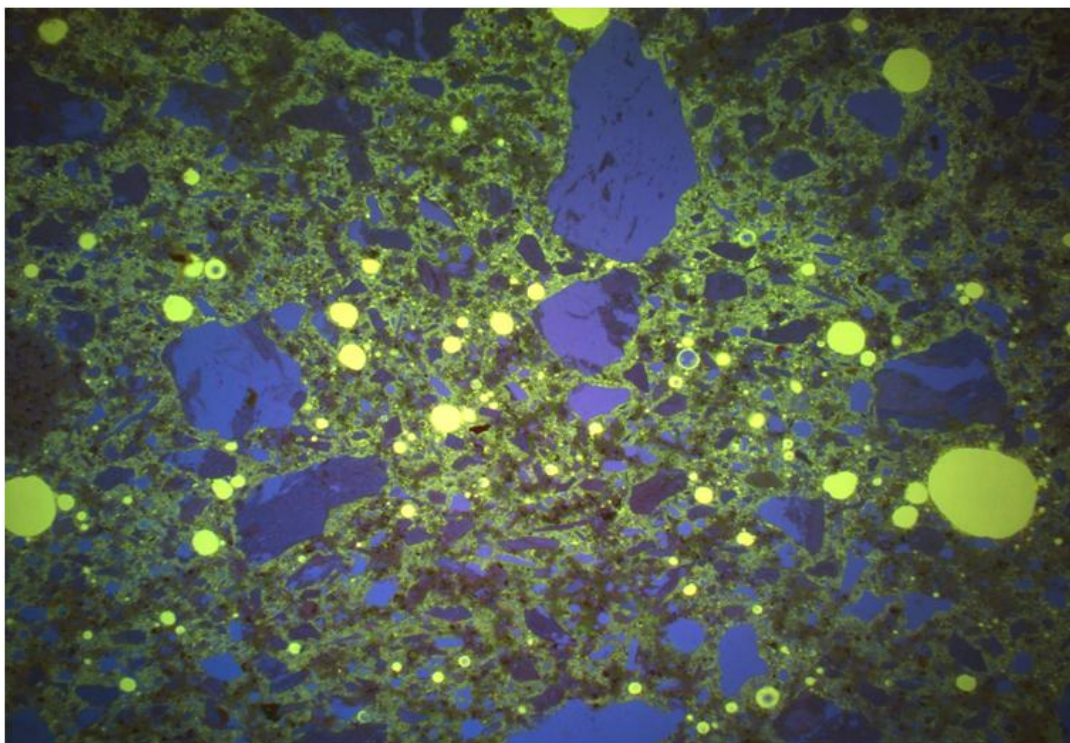
Figur 22. Prov H1.2, från Håckren. Djup i betongen: 40 mm. Tunnslip, genomfallande UV ljus. Området i bilden är 6,7 mm brett.



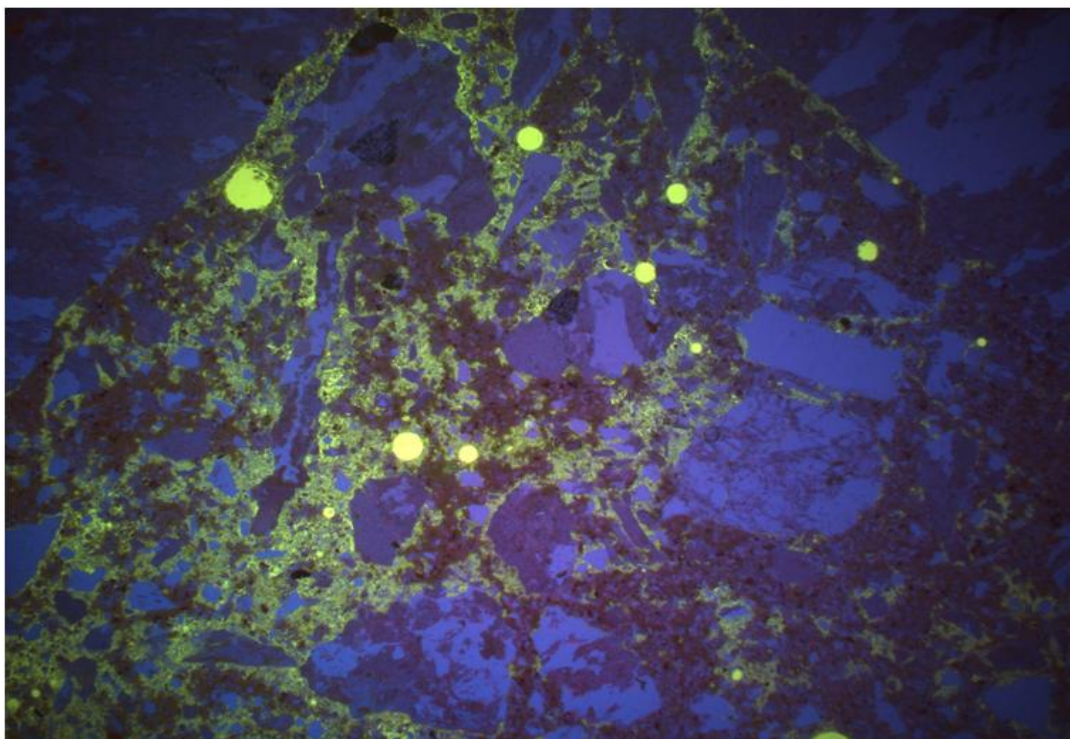
Figur 23. Prov H1.2, från Håckren. Djup i betongen: 10 mm. Tunnslip, genomfallande polariserat ljus. Området i bilden är 1,7 mm brett.



Figur 24. Prov H1.2, från Håckren. Djup i betongen: 10 mm. Tunnslip, genomfallande UV ljus. Området i bilden är 1,7 mm brett.



Figur 25. Prov K2, från Överumans regleringsdamm. Djup i betongen: 5 mm. Tunnslip, genomfallande UV ljus. Området i bilden är 6,7 mm brett.



Figur 26. Prov K2, från Överumans regleringsdamm. Djup i betongen: 45 mm. Tunnslip, genomfallande UV ljus. Området i bilden är 6,7 mm brett.

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30, Telefax: 08-677 25 35
www.elforsk.se