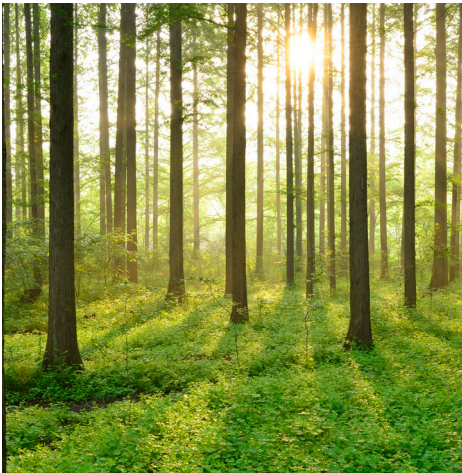


BETONG VID DILATATIONSFOGAR

RAPPORT 2022:884



 VATTENKRAFT

BETONGTEKNISKT PROGRAM
VATTENKRAFT



Betong vid dilatationsfogar

Fältstudie av dilatationsfog i skibord

LARS-ELOF BRYNE & ERIK NORDSTRÖM

ISBN 978-91-7673-884-9 | © Energiforsk nov 2022

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

Förord

Dilatationsfogar i vattenkraftens dämmande betongkonstruktioner ska både medge rörelser och vara vattentäta. Funktionerna ska upprätthållas över tid trots variationer i omgivande temperatur och vattentryck. Denna komplexa kravbild förutsätter god beständighet hos tätningsband och betong i fogens närområde, samt att montage och kringgjutning har utförts korrekt i byggskedet. Läckage i dilatationsfogar är dock ett vanligt förekommande fenomen vid många dammanläggningar.

I det här projektet har betong från Stenkullafors kraftverk använts för att studera materialegenskaper i anslutning till en dilatationsfog. Betongen kommer från ett ombyggt skibord. Tätningsbandet är av typen PVC-band. Betongen har studerats med målet att öka kunskapen om eventuella skillnader i betongens egenskaper beroende på avståndet från tätningsbandet. Utförare av projektet är Lars-Elof Bryne och Erik Nordström vid Vattenfall Research & Development i Älvkarleby.

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

Betong vid dilatationsfog i ett skibord.

Vattenkraftsanläggningar i Sverige är i regel utsatta för stora temperaturvariationer, låga temperaturer, höga fuktnivåer samt högt hydrostatiskt tryck. I vissa konstruktionsdelar samverkar dessa faktorer, vilket kan resultera i: frostangrepp, erosion, urlakning samt stora spänningar i de material som ingår i konstruktionen som ytterligare banar vägen för vattenläckage vid uppsprickning eller försämrade egenskaper hos betongmaterialet.

I betongdamms- och kraftverkskonstruktioner förekommer såväl gjutfogar (stumma fogar) som dilatationsfogar (rörelsefogar). Om fogarna befinner sig i vattentäta konstruktioner skall båda fogtyperna utformas så att dessa uppfyller sin funktion av att vara täta eller täta samt flexibla. En felaktigt utformad eller ej fungerande fog kan äventyra delar av eller hela damm- och/eller kraftverkskonstruktionens funktion och säkerhet genom sprickbildning och/eller skador.

En liten fältstudie har utförts genom att jämföra samma egenskaper i betong från dilatationsfogar i en befintlig konstruktion. I studien har betong från Stenkullafors kraftverk använts. De har förvarats utanför Vattenfalls betonglaboratorium i Älvkarleby sedan 2005. I betongstyckena finns tätningsband av typ PVC.

Dilatationsfogen som studerades i projektet är en mer eller mindre horisontell fog i ett skibord och inte utsatt för vatten på samma sätt som en vertikal rörelsefog mellan två monoliter i dämmande funktion av vattnet. Vattnets verkan på dessa två huvudsakliga typer av rörelsefogar har med all sannolikhet olika påverkanssätt.

Föreliggande projekt syftar till att undersöka betongens kvalitet i och runt dilatationsfogar i dämmande konstruktioner. Målet är att öka kunskapen kring bakomliggande orsaker till läckande dilatationsfogar.

Fuktmekaniska förutsättningar och parametrar som kan påverka eventuell nedbrytning av frost eller urlakning undersöks genom analys av betongens kapillaritet, vattenmättnadsgrad, karaktärisering av luftsystemet. I tillägg har även struktur- och kemanalyser gjorts på tunnslipsprover av betong.

Några av resultaten visar att förhållandet mellan cementpastan och ballasten är något högre i de provbitar som ligger direkt mot fogbandsytan. Detta kan tyda på någon form av separationsprocess, t.ex. bruksseparation, har skett vid gjutningen. Det föreligger även ett förhöjt antal sprickor, både mikro och vidhäftningsprickor i det studerade materialet. Det kan bero på frostsador.

Nyckelord

Dilatationsfog, rörelsefog, fogband, gjutningsförfarande, vatteninträngning, kapillaritet, vattenabsorption, bruksseparation, skibord.

Summary

Expansion-joint in a spillway.

Hydro power facilities in Sweden are in general exposed to large temperature variations, low temperatures, high moisture levels and high hydrostatic pressure. In some construction details these factors co-operate which can result in degradation according to frost action, erosion, leaching and tensions within different constructions details that can aggravate the leakage of water and further degradation and cracking of the concrete material in the applications.

In concrete dams and hydro power stations different kind of joints, no expansion (firm) and expansion-joints are common. However the both types of joints in the end has to be constructed so they are both water sealed/tightened and flexible. A joint that is not well constructed with a good performance can jeopardize the dam safety for a hydro power facility.

A small field-study of concrete from an expansion-joint has been performed in this project. The studied material is taken from a larger concrete slab from a spillway of a hydro power station (Stenkullafors). The concrete slab has been stored at Älvkarleby concrete laboratory since 2005. The waterstop material is PVC.

The expansion-joint that has been studied is a horizontal joint from a spillway and has not been exposed to water in such way as a joint in a dam construction. The water exposure on the two different joints are certainly of varied characteristics.

The scope of the project is to study the characteristics of the concrete quality around these kind of expansion joints. The goal is to learn more about the mechanisms behind the degradation and leaking of expansion joints.

Moisture mechanical prerequisites and other parameters that could influence degradation by frost action or leaching have been investigated by analysis of capillarity, degree of saturation, characterization of the air void system. Finally, also structural and chemical analysis is performed on thin sections and concrete samples.

Some of the results from the study indicate that the content of cement is higher in parts close to the waterstop surface compared with concrete taken from 100 mm distance from the joint surface. This could be a consequence of separation of the concrete during casting. There are also a slightly higher amount of micro cracks in the concrete which could be caused by frost action.

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Syfte och mål	7
1.3	Avgränsningar	8
2	Karakterisering av betongmaterialet	9
2.1	Vattenbyggnadsbetong generellt	9
2.2	Rörelsefogar	9
2.3	Ursprungsmaterial Stenkullafors	13
2.4	Uttag av borrkärnor och beredning av provkroppar	15
2.5	Metoder för karakterisering	17
2.5.1	Vattengenomträngning	17
2.5.2	Kapillaritet vid vattenabsorption	18
2.5.3	Planslip	18
2.5.4	Tunnslip	18
2.5.5	Kemisk analys	19
3	Resultat och diskussion	20
3.1	Vatteninträngning	20
3.2	Kapillaritet vid vattenabsorption	21
3.3	Plan- och tunnslip	22
3.4	Kemisk analys	26
3.5	Sammanställning resultat	28
3.6	Diskussion	28
4	Slutsats och fortsatt arbete	30
5	Referenslista	32
6	Bilaga A	34

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Vattenkraftsanläggningar i Sverige är i regel utsatta för stora temperaturvariationer, låga temperaturer, höga fuktnivåer samt högt hydrostatiskt tryck. I vissa konstruktionsdelar samverkar dessa faktorer vilket kan resultera i: frostangrepp, erosion, urlakning samt stora spänningar i de material som ingår i konstruktionen som ytterligare banar vägen för vattenläckage vid uppsprickning eller försämrade egenskaper hos betongmaterialet.

Generellt sett uppskattas livslängden på vattenkraftsbranschens betonganläggningar, som utsätts för ensidigt vattentryck, till mellan 50-160 år (Bernstone, 1998). Detta innebär att en signifikant andel av de svenska vattenkraftverken och betongdammar börjar nå eller befinner sig i detta livslängdsintervall, vilket innebär att betydande reparations- samt uppgraderingsinsatser kommer att krävas framöver.

I betongdamms- och kraftverkskonstruktioner förekommer såväl gjutfogar (stumma fogar) som dilatationsfogar (rörelsefogar). Om fogarna befinner sig i vattentäta konstruktioner skall båda fogtyperna utformas så att dessa uppfyller sin funktion av att vara täta eller täta samt flexibla. En felaktigt utformad eller ej fungerande fog kan äventyra delar eller hela damm- och kraftverkskonstruktionens funktion och säkerhet genom sprickbildning och/eller skador.

En liten fältstudie har utförts genom att jämföra samma egenskaper i betong från dilatationsfogar i en befintlig konstruktion. I studien har betongstycken från Stenkullafors kraftverk använts. De har förvarats utanför Vattenfalls betonglaboratorium i Älvkarleby sedan 2005. I betongstyckena finns tätningsband av typ PVC, vilka undersöktes i Energiforsk 2016:240.

Dilatationsfogen som studerades i projektet är en mer eller mindre horisontell fog i ett skibord och inte utsatt för vatten på samma sätt som en vertikal rörelsefog mellan två monoliter i dämmande funktion av vattnet. Vattnets verkan på dessa två huvudsakliga typer av rörelsefogar har med all sannolikhet olika påverkanssätt.

Detta projekt utgör en del i en serie där ett av de framtida projekten kommer att behandla bitumenrelaterade frågeställningar.

1.2 SYFTE OCH MÅL

Föreliggande projekt syftar till att undersöka betongens kvalitet i och runt dilatationsfogar i dämmande konstruktioner. Målet är att öka kunskapen kring bakomliggande orsaker till läckande dilatationsfogar.

1.3 AVGRÄNSNINGAR

Att beskriva hur egenskaperna för tätningband av olika typer ändras vid åldring omfattas ej av detta projekt. Detsamma gäller beskrivning av överväganden som kan göras vid förvaltning eller reparation av dämmande betongkonstruktioner med läckande dilatationsfogar.

2 Karakterisering av betongmaterialet

2.1 VATTENBYGGNADSBETONG GENERELLT

För att betongen som används inom vattenbyggnad ska uppfylla kraven och bibehålla en god beständighet ska betongen ha vissa generella egenskaper. Några av de viktiga och önskade egenskaper hos den hårdnande betongen är med fokus på täthet, hållfasthet, frostbeständighet, beständighet mot urlakning och erosionsbeständighet.

Låg permeabilitet hos betongen är önskvärt då konstruktionens betong påverkas av ett ensidigt vattentryck och gynnar vissa skademekanismer om diffusion genom betongen tillåts. Detta motverkas genom hög täthet i betongen. Vattencementtalet (v_{ct}) beskriver förhållandet mellan andelen vatten och andelen cement i betongblandningen där ett lågt vattencementtal ger en liten utspädning av bindemedlet (cementen) och därmed lägre porositet och högre täthet på betongen.

Enligt RIDAS (2019) ska betong med ekvivalent vattencementtal $v_{ct_{ekv}} \leq 0.55$ användas för att klara kraven på vattentäthet.

Betongens hållfasthet beror primärt av styrkan i cementpastan. För betongdammar rekommenderar RIDAS (2019) minst hållfasthetsklass C25/30.

För att öka frostbeständigheten adderas luftporbildande medel så att lägsta lufthalten blir 4 vol-% i betongblandningen. Genom att tillsätta luftporbildande medel skapas en jämn luftporstruktur i cementen. Förutom att en luftporstruktur måste skapas i cementen ska även ballast > 4 mm vara frostbeständig.

Betongens beständighet mot urlakning har mycket att göra med betongens täthet. Urlakning beror på att vatten strömmar genom porerna i betongen, genom sprickor eller vattenmättar ytan på betongen och löser upp cementen vilket leder till en porösare betong med lägre hållfasthet. För att stå emot urlakning krävs en tät betong d.v.s. med lågt v_{ct} . Hög motståndskraft mot urlakning erhålls när v_{ct} är mindre än ca. 0.55 och kallas således för – vattentät betong (Fagerlund, 1989).

Enligt Rosenqvist (2018) är det strömmande vatten i kombination med frostangrepp och urlakning som bidrar till erosions-skador i betongen. Detta innebär att risken för erosions-skador minskar om betongen har god beständighet mot frost och urlakning. Motståndsförmågan mot erosion i betongens ytparti kan förbättras genom sänkt v_{ct} som ökar nötstyrkan, sänkt v_{ct} i betongytan genom så kallad vakuumbehandling, hårdare ballast och hög ballasthalt.

2.2 RÖRELSEFOGAR

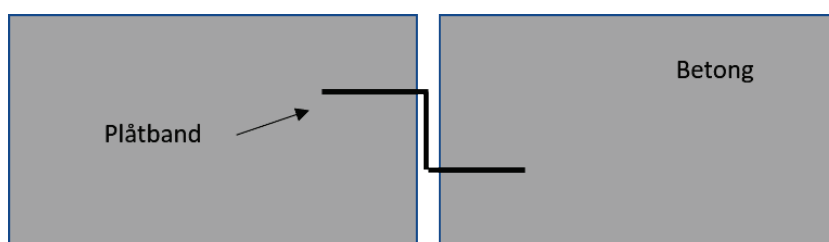
Läckande dilatationsfogar (rörelsefogar) är ett förekommande problem vid dammanläggningar. Läckage av olika omfattning påträffas i de flesta dämmande betongkonstruktioner, såsom damm, utskov och intag.

Dilatationsfogar förväntas medge säsongsberoende rörelser i konstruktionen. Beträffande dämmande konstruktioner ska dilatationsfogen även vara vattentät över tid. Nämnade krav innebär att det i dilatationsfogen ingjutna tätningsbandet

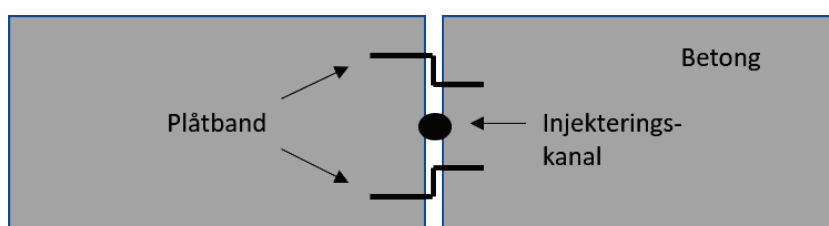
ska uppfylla en komplex kravbild där bandet ska medge rörelser samtidigt som det kan utsättas för stora variationer i vattentryck och temperatur.

I tidigare rapporter av Bernstone (1998) och Thorsell (2004) presenteras en sammanställning av REMR-programmet, i syfte av kunskapsöverföring. Efter genomgång av arkivmaterial från cirka 2000 rapporter har över 10 000 rapporterade skador registrerats för vattenbyggnadskonstruktioner. I genomsnitt uppvisade varje anläggning 17 skador. Skadorna delades in i 8 olika typer: sprickor (39%), läckage (20%), avskalning (19%), vridning/rörelser (75%), erosion (6%), delaminering (4%), konstruktionsfel (2%) och fogskador (2%). 2 % fogskador kan verka lågt, men dessa skador är förhållandevis komplicerade att reparera. För dammkonstruktioner är det huvudsakliga problemet att konstruktioner ligger delvis under vattenytan och dessutom är fogbandet ingjutet i konstruktionen. Utöver detta kan fogarna även bestå av komplicerade geometrier.

Praktiska erfarenheter har visat att enstegstätande fogar, se figur 2.1, har varit otäta, varför dilatationsfogar i dammkonstruktioner ofta utformas med dubbla tätningsanordningar, se figur 2.2 (Thorsell, 2004). Utöver de dubbla tätningsbanden förses vanligtvis dilatations-fogarna med ett ytterligare tätningskomplement, en asfaltfylld kanal som vanligtvis är placerad mellan banden, se figur 2.2. Denna kanal kan antingen vara trycksatt och/eller uppvärmd, vid behov.



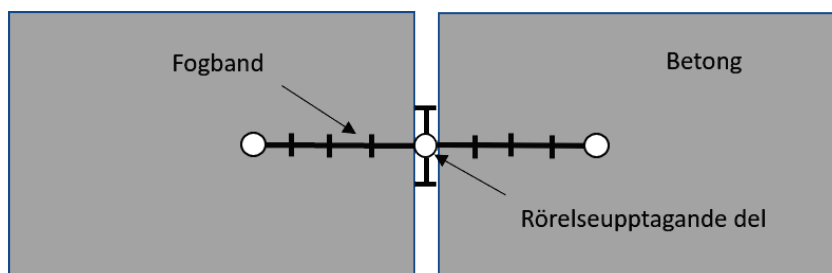
Figur 2.1. Schematisk bild på ett Z-bockat plåtband vid enstegstätning av godtycklig konstruktion. Bildkälla Thorsell (2004).



Figur 2.2. Schematisk bild på fogtätning med dubbel Z-bockade plåtband och injekteringskanal med asfalt (Bitumen). Bildkälla Thorsell, 2004. Figurens vy är sedd uppifrån.

Utvecklingen av rörelsefogars tätande förmåga, tex. i USA, beskrivs av Harrison & Heppler (2019). Fogband har haft en undanskymd roll i de tidigaste riktlinjedokumenterna men har med åren blivit en nödvändig applikation då vattentätet krävs.

Inom den svenska betongdammspopulationen används primärt två huvudtyper av fogband, rostfria plåt- och PVC-fogband. Ett exempel på ett polymerbaserat fogband kan ses i figur 2.3.



Figur 2.3. Schematisk bild på användning av polymerbaserat fogband i godtycklig konstruktion t.ex. mellan monoliter i en damm eller fog i ett utskovs skibord. Bildkälla Thorsell (2004).

I Elforsk-rapport 10:74, sammanställd av Stojanović (2010), beskrivs olika typer av tätningsband tillverkade främst av PVC och rostfritt stål. Men även vanligt förekommande utformningar av dilatations-fogar. Vidare listades tänkbara orsaker till uppkomsten av läckage. Dessa var bl.a. bristfälligt utförande vid montage av tätningsbanden och arbetsutförande vid kringgjutning av tätningsbanden, vilket resulterat i betong av lokalt sämre kvalitet – högre vattencementtal, högre porositet, högre vattengenomsläpplighet som vidare leder till frostnedbrytning av betong med förmodat högt fukttinnehåll i kombination med frysning vintertid.

Dålig betong i fogområdet kan uppstå genom ett otillfredsställande gjutningsförfarande, betongen blir stenfattig och får ett högre vattencementtal, p.g.a. en kombination av vatten-, sten-, och/eller bruksseparation. Detta medför att betongen får en lägre hållfasthet, högre porositet samt permeabilitet, förhöjd urlakning och försämrad frostbeständighet. Förutom ovanstående gjutningsproblem, kan hålrum i fogområdet uppstå p.g.a. undermåligt komprimerad och vibrerad betong. Nedbrytning av betongen i fogområdet p.g.a. kallt klimat kan senare utsätta betongen för ytterligare frostangrepp så som isnötning samt frostsprängning. Dessutom sker en åldring över tid av de polymerbaserade tätningsband, främst PVC, vilket resulterat i försprödning och krympning av materialet.

Graden, samt fortskridandet av detta skade-och åldringsscenario, är troligtvis beroende av gjutningsförfarandet i enlighet med ovanstående resonemang.

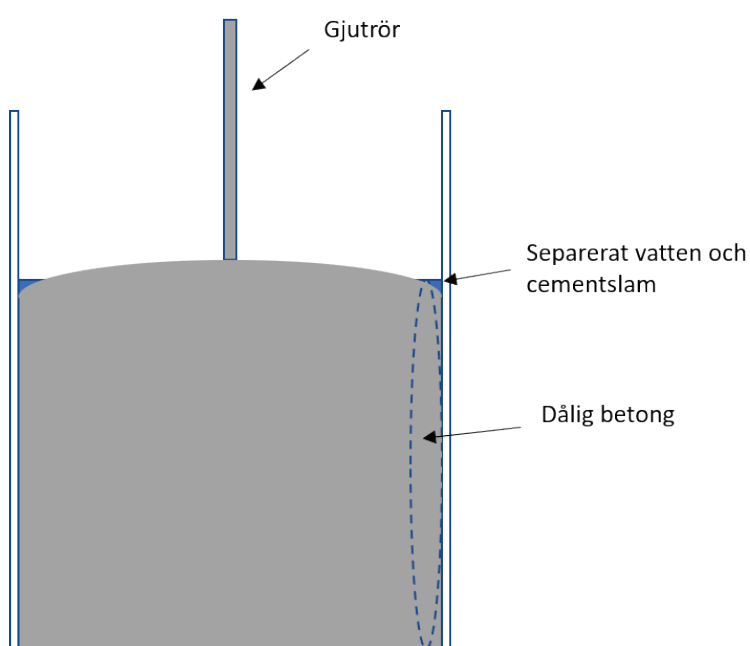
I Elforsk-rapport 2013:39 konstaterade Blomfeldt och Bergsjö (2013) att det huvudsakligen är nedbrytning och migration av mjukgöraren i PVC-band som leder till försprödning, samt vikt förlust och krympning. Jacobson m.fl. (2016) konstaterade i uppföljande Energiforsk-rapport 2016:240 att PVC-band behöll sin draghållfasthet efter exponering i alkalisk miljö medan brottöjningen minskade.

Fokus hittills har varit att undersöka tätningsband av PVC. Faktum är att läckage också förekommer i dilatationsfogar med tätningsband av rostfritt stål, varför problematiken inte enbart kan kopplas till typen av tätningsband. Följaktligen är

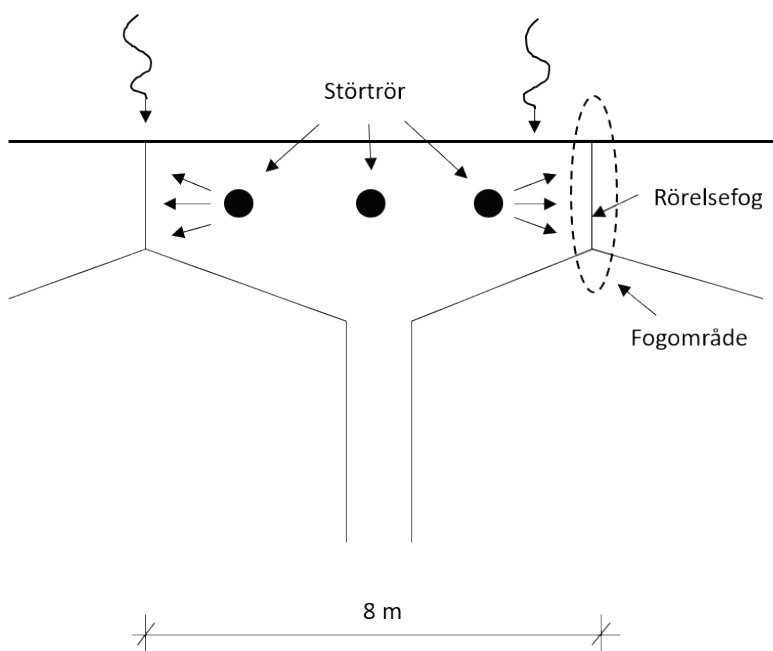
det relevant att också undersöka betongens beskaffenhet i och runt läckande dilatationsfogar, både för polymerbaserade och rostfria fogband.

I konstruktioner utsatta för ensidigt vattentryck har placering och utformning av fogar stor betydelse. Med hänsyn till arbetsutförande, gjutkapacitet och risk för sprickbildning uppdelas vanligen betong-konstruktioner i mindre partier genom fogar. Vanliga avstånd mellan fogar i dammbyggnader är 8-15 meter.

Ett exempel på gjutningsförfarande som leder till en sämre betong i rörelsefogsområdet visas i figur 2.4-5.



Figur 2.4: Schematisk bild på gjutförfarande med försämrat fogområde. Bildkälla Thorsell (2004).



Figur 2.5. Schematisk bild på ett gjutningsförfarande med störtrör. Bildkälla Thorsell (2004). Figurens vy är sedd uppifrån.

2.3 URSPRUNGSMATERIAL STENKULLAFORS

Betongmaterialet som använts i föreliggande studie har studerats i tidigare Elforskprojekt (Hassanzadeh, 2010), vilket behandlade frostbeständighet i utskovsbetong. I samband med uppgraderings-arbete av Stenkullaforsdammen i Åsele kommun under våren 2005 sänktes tröskeln till utskovet genom att skibordet avverkades och gjöts på nytt med lägre höjd. Några betongblock skickades till Älvkarleby på begäran av Vattenfall R&D AB. Betongblocken förvarades utanför laboratoriet, i den fria luften, fram till hösten 2021. Skibordet byggdes i början av 80-talet med dåvarande krav på frost- och erosionsbeständighet. Det bedömdes värdefullt att studera en naturlig åldrande betongs frostbeständighet.

Ett projekt från tidigare i år som behandlade igengjutning av borrhål, Energiforsk-rapport 2021: 810 (Nordström m.fl., 2021) har också haft dessa utrivna betongblock som utgångspunkt.



Figur 2.6. Utrivet betongblock där borkärnor uttagits för fogbandsstudie.



Figur 2.7. Studerat fogband, höger och vänster sida.

Efter ett visst efterforskande är troligtvis borrhålarna för denna studie tagna ur undersidan av skibordet, de mindre borrhålen i betongblocket som visas i figur 2.6. Det är alltså betongen i underkant på det nedre fogbandet som har studerats. Och det är även horisontella fogband som studerats. Fogbandens svagt böjda utförande, se figur 2.7, kan vara ett sätt att undvika att luft- och vattenfickor bildas under horisontella fogband vid gjutning. Fogbanden uppstogades före gjutning med najtråd som fästes i ett överliggande armeringsjärn; najtråden kapades efter ingjutningen av fogbandet. Det kan även vara ett fall av felaktigt monterade fogband där fogbandsflänsen blivit hängande på ett närliggande armeringsjärn vid montering (se figur 92 s. 213 i Vattenfalls betonghandbok, 1972).

På ett betongblock från samma projekt (Stenkullafors) ser man tydligt att den ena sidan har en slätare yta och där en tydlig kurvatur framträder, se figurer 2.8-9, vilket troligt är skibordsytan. Överfört till det block som använts i detta projekt är det denna yta som är ned mot marken. Kurvaturen ger också en indikation att det är en längsgående rörelsefog som studeras.



Figur 2.8. I den övre bilden ser man att ytan är relativt slät och den nedre bilden visar betongblocket ovanifrån. En tydlig kurvatur kan uppfattas.



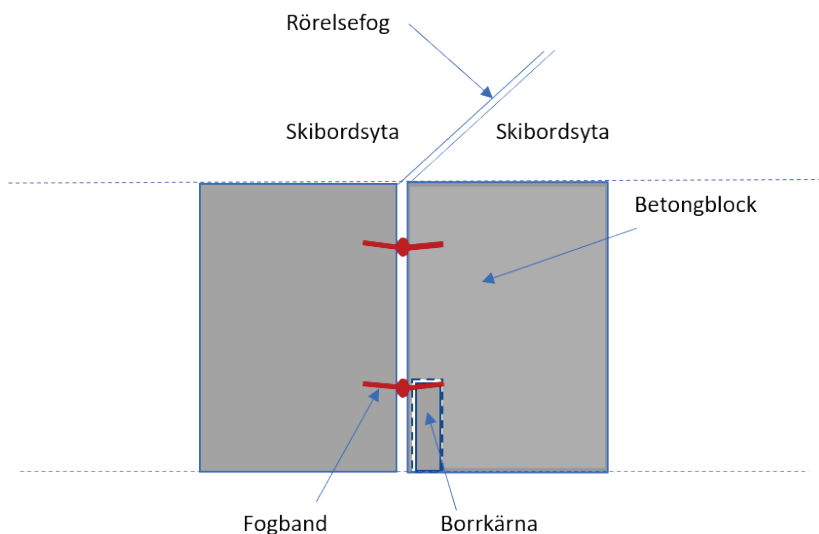
Figur 2.9. Kurvatur syn tydligt i bilden.

2.4 UTTAG AV BORRKÄRNOR OCH BEREDNING AV PROVKROPPAR

Figurerna 2.10-11 visar hur borrkärnorna är tagna ur betongblocken. Ytan från vilken borrkärnorna är tagna är också mycket grov där man fortfarande ser reliefen av formvirket, se figur 2.10, och troligtvis skibordets undre sida. Figur 2.11 försöker schematiskt visa betongblockets ursprungliga placering i skibordet.

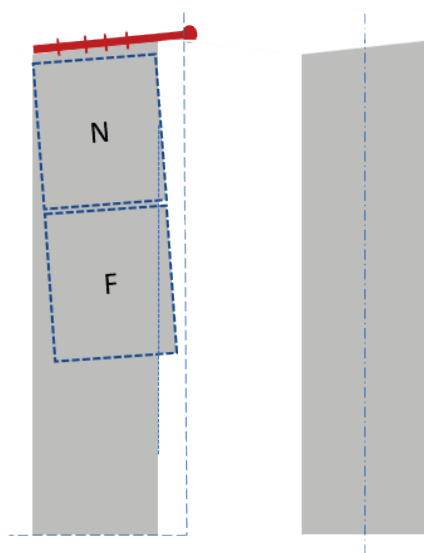


Figur 2.10. Urborrning av kärnor från skibordets underkant. Kärnor 1, 3 och 5 används till plan- och tunnslip, vattenabsorption samt kemiska analys. Kärnor 2, 4 och 6 används till vatteninträngning.



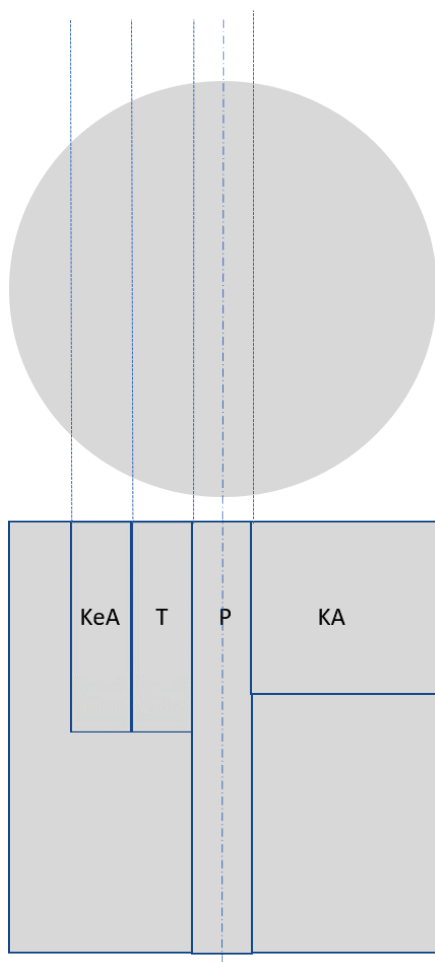
Figur 2.11. Schematisk bild över var borrkärnorna är tagna, med stor sannolikhet i underkant av det nedre fogbandet.

Proverna är tagna ur borrkärnan med en viss vinkel gentemot kärnans längdaxel p.g.a. att fogbandsflänsen har en vinkel mot fogväggen, se figur 2.12 . Detta, troligtvis, p.g.a. ovan nämnda uppstagning för att undvika luftfickor. Betongblocket är placerat med skibordsidan nedåt, överkanten där borrkärnorna är borrade är alltså skibordets underkant på gjutformen då skibordet gjöts en gång i tiden. Vi studerar alltså betongen på undersidan av det nedersta fogbandet av två horisontellt gående fogband, se figur 2.11.



Figur 2.12 Provmaterialbitarnas läge i borrkärnan och förhållande till fogbandet. N (Nära) och F (Fjärr) fogbandsytan.

Figur 2.13 visar hur de olika provkropparna sågats ur borrkärnorna. De tester som utförts är: Kapillär analys (KA), Planslip (P), Tunnslip (T) och Kemisk analys (KeA). De kärnor som inte har något delningsmönster har använts till vatteninträningstester.

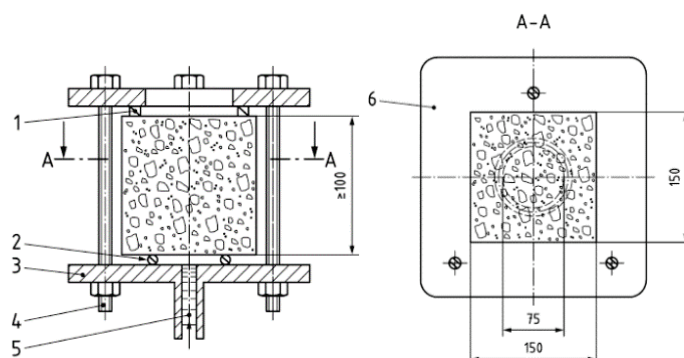


Figur 2.13 De olika provbitarnas läge i den större provmaterialbiten från borrkärnan. Kapillär analys (KA), Planslip (P), Tunnslip (T) och Kemisk analys (KeA). Borrkärnans diameter är 94 mm.

2.5 METODER FÖR KARAKTERISERING

2.5.1 Vattengenomträngning

Grundprincipen för provning av vatteninträningen följde standarden (SS-EN 12390-8, 2019). Ett ensidigt vattentryck motsvarande 500 kPa (50 m vattenpelare) lades på provet under en tidsperiod av 72 timmar och vatteninträningen redovisades sedan i mm in från ytan där vattentrycket applicerats. I Figur 2.14 visas provriggen, schematiskt, och vattentrycket appliceras underifrån vid pkt 5. Tätningar mellan riggen och betongen ses i pkt 1 och 2.



Figur 2.14 Principskiss för test av vatteninträngning (SS-EN 12390-8, 2019).

2.5.2 Kapillaritet vid vattenabsorption

För att få en uppfattning om de olika betongkärnornas fuktmekaniska egenskaper har s.k. kapillarsugningsförsök genomförts. Försöken ger svar på vilken fuktnivå som kapillärmättnad uppnås och även ett mått på vilken vattenmättnadsgrad det motsvarar. Proceduren följer till stor del rutiner beskrivna i (Janz, 1996). Efter att provkroppar borrats ut och sågats genomfördes följande steg:

- Konditionering i 20°C och 65% RH i ca. 1 dygn.
- Invägning och mätning av prover – startvikt, längd, bredd och höjd.
- Kapillarsugningsförsök med upprepade vägning av prover tills kapillärmättnad med säkerhet kan noteras. Täta intervall i början, och succesivt längre efter tid.
- Torkning i 65°C tills viktminskning upphör.

Stor möda lades ner på att genomföra vägning under kapillarsugning på exakt samma sätt för alla provkroppar och vid varje tillfälle. För att standardisera proceduren lyftes varje provkropp upp från vatten-bädden och "torkades av" på undersidan genom en avstrykning med en bit vattenmättad Wettex-trasa som före avstrykningen fick droppa av i ca. 5 sekunder. Direkt därefter vägdes provet och lades sedan tillbaka på vattenbädden. Mätintervallet var från början tätt och stegrades sedan succesivt upp till längre och längre intervall. Under första timmen mätes 1 ggr/10 min, därefter 1 ggr/30 min fram till 3 timmar följt av 1ggr/dag, 1 ggr/2 dagar, 1 ggr/vecka. Mätningarna avslutades till slut efter ca. 1 månads mätningar.

2.5.3 Planslip

För att kartlägga hur luftporsystemet i den hårdnade betongen blivit genomfördes planslipanalyser på prover från betongplattorna. I huvudsak genomfördes analysen enligt SS-EN 480-11: 2005.

2.5.4 Tunnslip

Den mikrokemiska analysen genomfördes på ett prov ur varje platta som ska studeras. Vid en strukturanalys/tunnslipsanalys analyseras en ca. 25 μm tjock betongskiva med ett polarisationsmikroskop. I detta s.k. tunnslip studeras komponenter vilka bygger upp betongen. Analysen ger information om potentiella förändringar i cementpastan (kemiska angrepp, reaktiva ballastpartiklar,

urlakning, karbonatisering, brandskador mm) och deras effekter på betongens beständighet. Tunnslipet är impregnerat med fluorescerande epoxi för att uppskatta vct och kontrollera cementpastans täthet samt sprickor.

Uppskattning av vct-ekvivalent gjordes med hjälp av referenstunnslip tillverkade av betong med byggcement och olika vct (0.35-0.70 med ett intervall på 0.05). Vct-ekvivalent är ett mått på nuvarande kapillärporositet i betongens bindemedel. Uppskattningens noggrannhet är ± 0.05 . Metoden tar inte hänsyn till betongens ålder eller eventuell förekomst av hydrauliska tillsatsmedel som t.ex. silikastoft.

2.5.5 Kemisk analys

Den mikrokemiska analysen genomfördes på ett prov ur varje borrhärna som exponeras. Analysen gjordes på den "motbit" som speglar provet för tunnslipsanalys. Analysen gjordes med svepelektronmikroskop försett med detektor för mikrokemisk analys (SEM/EDS). Analysen gjordes som punktanalyser som mätte cirka $1.5 \times 1.5 \text{ mm}^2$. Halter på 0.1 och 0.2 procent ligger på detektionsgränsen för metoden och är osäkra. Kompletta resultat visas i Bilaga A.

3 Resultat och diskussion

3.1 VATTENINTRÄNGNING

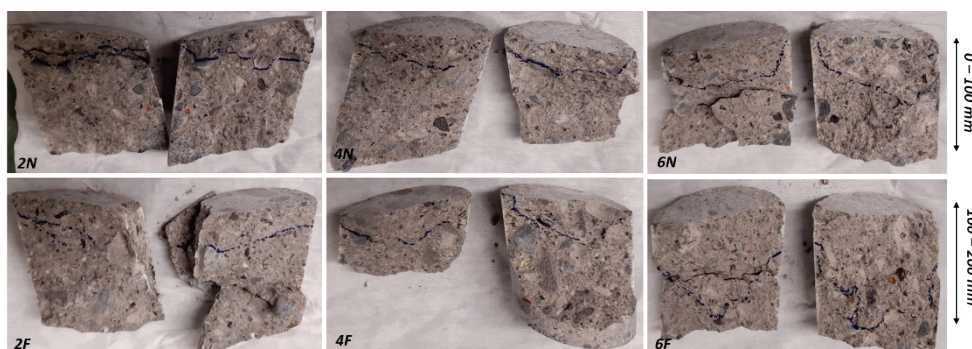
Resultaten visas i tabell 3.1. Där kan man se att endast en kärna inte klarar inträngningsdjupet 50 mm, ett vanligt förekommande krav när det gäller test av vatteninträngning för att säkerställa vattentätthet (Betonghandboken, Betonghandboken Material, 1994). Tabellen är även kompletterad med värden från en annan studie utförd under året Energiforsk-rapport 2021:810, (Nordström m.fl., 2021). Prov-materialet är även i denna studie tagna ur betongblock från Stenkullafors.

Tabell 3.1. Inträngningsdjupet för de olika provkropparna. Värdena för provkropparna 2H, 4V och 7V är tagna ur Energiforskrapport 2021:810 Återfyllning av kärnborrhål i betong.

Vatteninträngning	
Kärna	mm
2N	29
2F	38
4N	29
4F	38
6N	44
6F	87
2H*	31*
4V*	29*
7V*	33*

*Från Nordström m.fl., (2021)

I Figur 3.1 visas de testade kärnorna i detta projekt.



Figur 3.1 Vatteninträngning enl. (SS-EN 12390-8, 2019) för originalbetongen från Stenkullafors.

Proverna närmast fogbandet har lite mindre vattengenomträngning än de som är placerade ca 100 mm från fogbandet. Detta är inte vad vi väntat oss, dock så är

borrkärnorna tagna ganska nära betongens ena kant, dvs fogytan och det kan ju vara så att hela den ytzone har sämre betong p.g.a. bruksseparation nära gjutväggen. Det blir alltså svårt att urskilja den bruksseparation som sker p.g.a. väggeffekten och den separation som sker vid fogbandsytan. Provbiter för det prov som ska vara distanserat från fogbandsytan skulle ha tagits bredvid, ca 500 mm lateralt från den provbiten nära fogen. Dock medgav inte det ursprungliga betongblocket det p.g.a. geometrin. Och andra sidan hade det ändå varit svårt att urskilja de bägge eventuella separations-processerna för provbiten nära fogbandet. Vid en framtida studie med egna gjutna provkroppar ska man tänka på det, och man kan kanske urskilja de båda separationsprocesserna.

Provkropparna för nr 2 och 4 är helt identiska medan nr 6 har högre värden där även den F märkta provkroppen har högre än tillåtet, 50 mm. Detta kan eventuellt förklaras med att den kärnan är tagen i hörnet på betongblocket, se figur 2.10, och kan vara påverkad från två håll, man måste ha i åtanke att betongblocken förvarats utomhus utsatta för väder och vind, vilket kan ha påverkat betongblockets gavel, en sågad yta. De andra två borrkärnorna är troligtvis endast påverkade från fogytan. Om man jämför med de kärnor från den andra Energiforsk-studien (Nordström m.fl., 2021) (2H, 3V och 7V) ligger värden i samma härad som för kärnorna 2N och 4N. Var i blocken de tidigare kärnorna är tagna är okänt.

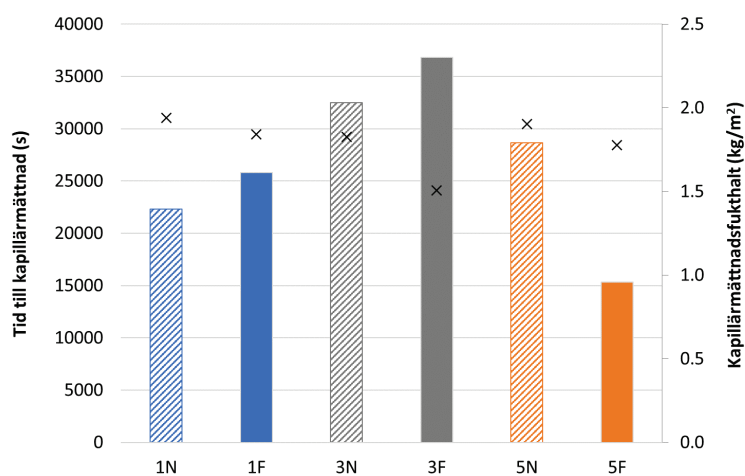
3.2 KAPILLARITET VID VATTENABSORPTION

Resultaten från försöken visas sammanställda i Tabell 3.2. Som ett referensvärde kan nämnas från Energiforskrapport 2021: 768 (Nordström & Bryne, 2021) ett värde på W_k mellan 1.8-2.0 på en nyligen gjuten vattenbyggnadsbetong.

Tabell 3.2 Kapillärmättnadsfukthalt och tid till kapillärmättnad.

Kapillaritet					
Kärna	Kärna	Area (m ²)	Höjd (m)	t_k (s)	W_k -uppmätt (kg/m ²)
1	1N	0.00093	0.020	22287	1.939
	1F	0.00090	0.018	25775	1.840
3	3N	0.00093	0.020	32483	1.825
	3F	0.00089	0.019	36820	1.507
5	5N	0.00093	0.019	28658	1.904
	5F	0.00089	0.019	15310	1.778

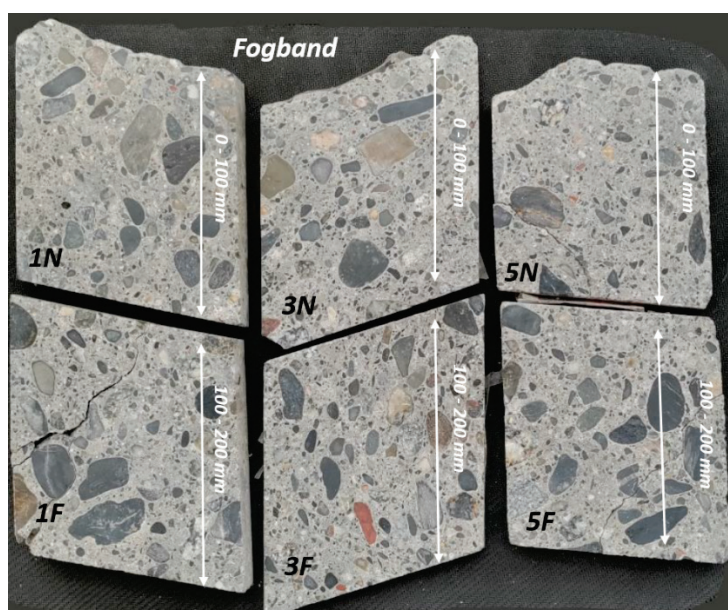
Figur 3.2 visar tid till kapillärmättnad i sekunder för den studerade betongen från Stenkullafors. För samma mätning för den ovan nämnda referensbetongen ligger värdena för tid till kapillärmättnad på drygt 200 000 s, dock var provbitshöjden 30 mm, 10 mm högre än i detta fall. En kompensationsräkning för vårt fall ger ett värde för t_k på ca 100 000 s, i princip en faktor 5 mindre än referensbetongen.



Figur 3.2 Tid till kapillärmättnad (staplar) och kapillärmättnadsfukthalt (kryss).

3.3 PLAN- OCH TUNNSLIP

Bild av planslipsproverna visas i figur 3.3. Resultaten från analyserna av både plan- och tunnslipsproven redovisas nedan och sammanfattas i tabellerna 3.3 och 3.4.



Figur 3.3. Bilden visar planslipsproverna i vanligt ljus.

Tabell 3.3 Tunnslipsanalyser.

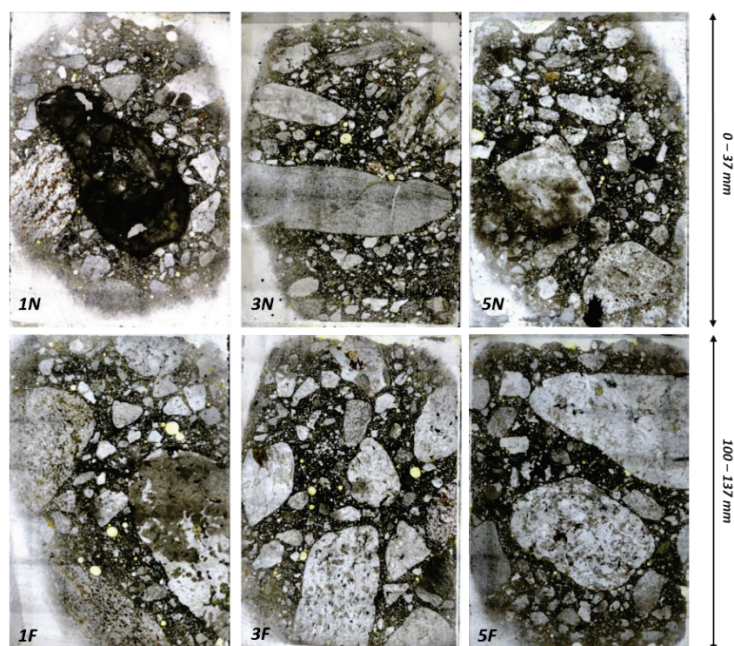
Tunnslipsanalyser								
Kärna	Förhöjt antal sprickor			Sprickbredd max (mm)	Luftporsystem	Lufthalt %	vct _{ekv}	
	Antal sprickor/mm ²							
	Mikro		Vidhäftning					
	ytparallella	vinkelräta mot ytan						
1N	0.7	0.6	0.3	<0.01	Delvis agglomererade*	2.9	0.35	
1F	0.4	0.3	0.4	<0.01	Delvis agglomererade	1.8	0.35	
3N	0.7	0.4	0.3	<0.01	x	1.8	0.35	
3F	0.4	0.3	0.2	<0.01	x	0.9	0.35	
5N	0.5	0.3	0.3	<0,01	x	1.7	0.35	
5F	0.4	0.1	0.2	<0.01	x	1	0.35	

*luftporerna sitter ihop i kluster istället för att vara jämnt fördelade i cementen

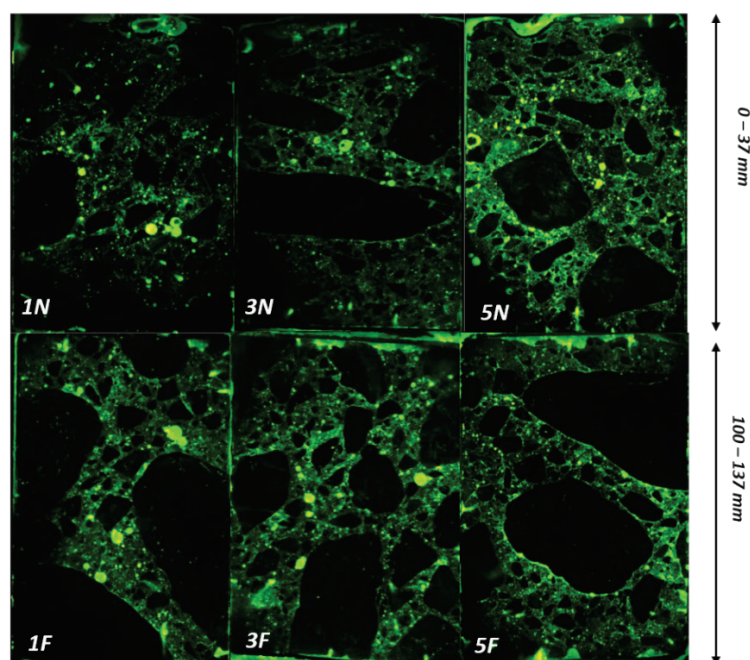
Tabell 3.4 Betongsammansättning och luft i volym-%.

Sammansättning								
	Cementpasta	Ballast		Luft	Sprickfyllningar		Porfyllningar	
		icke-reaktiv	långsam-reaktiv		Pasta	Vidhäftning	helt	delvis
1N	34.1	57.2	5.8	2.9	Inga	Kalcit	Inga	Portlandit
1F	25.9	68.7	3.6	1.8	Inga	Inga	Inga	Inga
3N	34.5	52.5	11.3	1.8	Inga	Kalcit	Inga	Portlandit
3F	28.8	55	15.4	0.9	Inga	Inga	Inga	kalcit
5N	32.6	58.5	7.2	1.7	Inga	Kalcit	Inga	Kalcit
5F	25.9	68	5.1	1	Inga	Kalcit	Inga	Kalcit

Bilder av tunnslipsproverna i vanligt respektive fluorescerande ljus visas i figur 3.4 och 3.5.



Figur 3.4 Bilden visar tunnslipsproverna i vanligt ljus.



Figur 3.5 Bilden visar tunnslipsproverna i fluorescensljus. Luftporer och sprickor syns i ljusare grön färg. Provets yta är uppåt i bilden.

1N:

Planslipet visar inga tecken på pågående nedbrytnings-mekanismer. Lufthalten i planslipet uppskattas till 2%. Luftporerna i planslipet har en ojämn fördelning.

Antalet mikro- och vidhäftningssprickor är förhöjt i tunnslipsprovet. Det finns något fler ytparallella sprickor än vertikala. Största uppmätta sprickbredd i

tunnslipsprovet är 0.01 mm. Mängden potentiella alkalisilikareaktiva ballastpartiklar beräknades till 5.8%. Ingen alkalisilikareaktion observerades. Lufthalten beräknades till 2.9% i tunnslipsprovet. Luftporerna i tunnslipsprovet är delvis agglomererade. Det finns inte många luftporer mot ytan av provet, d.v.s. mot fogbandet. Vct-ekvivalent uppskattas till 0.35 ± 0.05 . Förhållandet av Si/Ca och Al/Ca ligger på 0.29-0.52 vikt-% respektive 0.1-0.17 vikt-%.

1F:

Planslipsprovet består av tre bitar p.g.a. en vertikal spricka som går något diagonalt genom provet. Det finns mörka ringar runt några ballastpartiklar. Annars visar planslipsprovet inga tecken på pågående nedbrytningsmekanismer. Lufthalten i planslipet uppskattas till 1-2%.

Antalet mikro- och vidhäftningssprickor är förhöjt i tunnslipsprovet. Antalet är mindre än i prov 1N. Det finns något fler ytparallella sprickor än vertikala. Största uppmätta sprickbredden i tunnslipsprovet är 0.01 mm. Mängden potentiella alkalisilikareaktiva ballastpartiklar beräknas till 3.6%. Ingen alkalisilikareaktion observerades. Lufthalten beräknades till 1.8% ($\pm 1\%$) i tunnslipsprovet. Luftporerna i tunnslipsprovet är delvis agglomererade. Vct-ekvivalent ligger på 0.35 ± 0.05 . Förhållandet av Si/Ca och Al/Ca ligger på 0.29-0.52 vikt-%, se tabell 3.5.

3N:

Planslipsprovet har en spricka som är vertikal mot provets yta. Sprickan ligger på ett djup av 90-100 mm. Annars visar planslipsprovet inga tecken på pågående nedbrytningsmekanismer. Lufthalten i planslipet uppskattas till 1%. Några elongerade ballastpartiklar är parallellt orienterade med provets yta. Antalet mikro- och vidhäftningssprickor är förhöjt i tunnslipsprovet. Det finns fler ytparallella sprickor än vertikala. Största uppmätta sprickbredden i tunnslipsprovet är 0.01 mm. Mängden potentiella alkalisilikareaktiva ballastpartiklar beräknades till 11.3%. Ingen alkalisilikareaktion observerades. Lufthalten beräknades till 1.8% ($\pm 1\%$) i tunnslipsprovet. Det finns inte många luftporer mot ytan av provet, d.v.s. mot fogbandet. Vct-ekvivalent ligger på 0.35 ± 0.05 . Förhållandet av Si/Ca och Al/Ca ligger på 0.46-0.7 vikt-% respektive 0.06-0.17 vikt-%, se tabell 3.5.

3F:

Planslipsprovet visar inga tecken på pågående nedbrytningsmekanismer. Lufthalten i planslipet uppskattas till 1-2%. Några elongerade ballastpartiklar är vertikalt orienterade mot provets yta. Antalet mikro- och vidhäftningssprickor är förhöjt i tunnslipsprov 3F. Antalet är mindre än i prov 3N. Det finns fler ytparallella sprickor än vertikala. Störst uppmätta sprickbredden i tunnslipsprovet är 0.01 mm. Mängden potentiellt alkalisilikareaktiv ballastpartiklar beräknades till 15.4%. Ingen alkalisilikareaktion observerades. Lufthalten beräknades till 0.9% ($\pm 1\%$) i tunnslipsprovet. Vct-ekvivalent ligger på 0.35 ± 0.05 . Förhållandet av Si/Ca och Al/Ca ligger på 0.38-0.45 vikt-% respektive 0.04-0.1 vikt-%, se tabell 3.5.

5N:

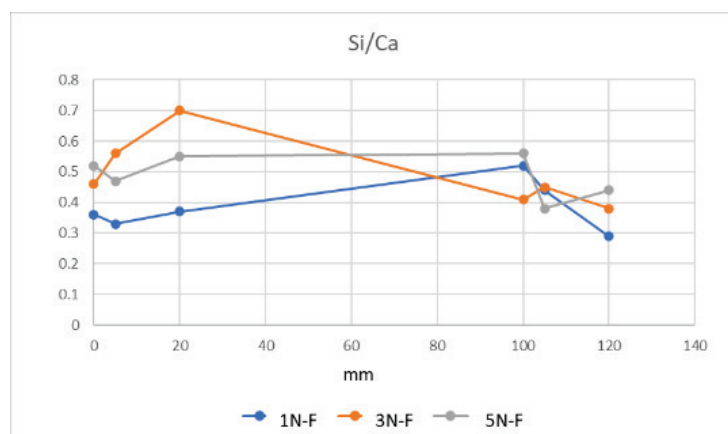
Planslipsprov 5N består av tre bitar på grund av två diagonala sprickor som går genom provet. Dessa sprickor går delvis genom ballastpartiklarna. Det finns en ballastpartikel som är porös/upsprucken. Ballastpartikeln är sedimentär och ligger längs med en av de diagonala sprickorna som delar provet. Annars visar planslipsprov 5N inga tecken på pågående nedbrytningsmekanismer. Lufthalten i planslip 5N uppskattas till 1%. Antalet mikro- och vidhäftningssprickor är förhöjt i tunnslipsprov 5N. Det finns något fler ytparallella sprickor än vertikala. Största uppmätta sprickbredd i tunnslipsprovet är 0.01 mm. Mängden potentiellt alkalisilikareaktiva ballastpartiklar beräknades till 7.2%. Ingen alkalisilikareaktion observerades. Lufthalten beräknades till 1.7% ($\pm 1\%$) i tunnslipsprov 5N. Det finns inte många luftporer mot ytan av provet, d.v.s. mot fogbandet. Vct-ekvivalent ligger på 0.35 ± 0.05 . Förhållandet av Si/Ca och Al/Ca ligger på 0.47-0.55 vikt-% respektive 0.05-0.07 vikt-%, se tabell 3.5.

5F:

Planslipsprovet består av två bitar på grund av en diagonal spricka som går genom provet. Nämda sprickor går delvis genom ballastpartiklar. Annars visar planslipsprovet inga tecken på pågående nedbrytningsmekanismer. Lufthalten i planslipet uppskattas till 1%. Antalet mikro- och vidhäftningssprickor är förhöjt i tunnslipsprovet. Antalet är mindre än i prov 5N. Det finns något fler ytparallella mikrosprickor än vertikala. Största uppmätta sprickbredden i tunnslipsprovet är 0.01 mm. Mängden potentiellt alkalisilikareaktiva ballastpartiklar beräknades till 5.1%. Ingen alkalisilikareaktion observerades. Lufthalten beräknades till 1.0% ($\pm 1\%$) i tunnslipsprovet. Vct-ekvivalent ligger på 0.35 ± 0.05 . Förhållandet av Si/Ca och Al/Ca ligger på 0.38-0.56 vikt-% respektive 0.07-0.09 vikt-%, se tabell 3.5.

3.4 KEMISK ANALYS

De kemiska analyserna är utförda på en "motbit" till tunnslipet, se schematisk bild i figur 2.12. Resultat återges i figur 3.6 och tabell 3.5.



Figur 3.6 Bilen visar Si/Ca förhållandet (y-axel) vid olika djup (x-axel) i analyserade prov.

Tabell 3.5 Sammanfattning kemisk analys. Resultaten i tabellen är i medelvärde i vikt-%. Avstånd till fogband i kolumn två.

Kemisk analys													
	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
1N													
0 mm	0.21	0.81	2.56	24.20	1.22	0.2	0.26	67.56	0.2	2.8	100	0.04	0.36
5 mm	0.26	0.7	3.20	22.17	1.29	0.19	0.32	67.72	0.3	3.87	100	0.05	0.33
20 mm	0.41	0.71	5.14	23.43	2.31	0.47	0.39	64.25	0.16	2.73	100	0.08	0.37
1F													
100 mm	1.46	1.95	9.36	27.54	1.26	0.44	1.35	55.3	0.3	1.04	100	0.17	0.52
105 mm	0.5	0.67	3.37	27.45	1.84	0.44	0.64	63.38	0.16	1.54	100	0.1	0.44
120 mm	0.35	1.12	6.94	18.68	1.36	0.38	0.5	68.15	0.15	2.37	100	0.1	0.29
3N													
0 mm	0.59	1.18	3.86	27.82	1.31	0.12	0.47	61.3	0.2	3.17	100	0.06	0.46
5 mm	0.51	1.27	5.32	30.82	1.61	0.19	0.59	56.38	0.27	3.03	100	0.1	0.56
20 mm	0.96	1.73	8.65	34.86	1.35	0.31	0.62	50.4	0.31	0.82	100	0.17	0.7
3F													
100 mm	0.37	0.87	6.07	24.73	1.48	0.18	0.58	61.13	0.36	4.23	100	0.1	0.41
105 mm	0.47	0.76	2.97	27.85	1.83	0.13	0.47	62.26	0.17	3.09	100	0.05	0.45
120 mm	0.3	0.75	2.92	24.53	1.61	0.16	0.32	65.52	0.3	3.58	100	0.04	0.38
5N													
0 mm	0.82	0.73	3.95	30.03	1.9	0.2	0.79	59.47	0.2	1.9	100	0.07	0.52
5 mm	0.74	1.55	4.33	27.81	1.73	0.14	0.60	59.39	0.2	3.48	100	0.07	0.47
30 mm	0.64	1.02	3.14	30.08	1.6	0.12	0.55	59.10	0.22	3.53	100	0.05	0.55
5F													
100 mm	0.96	1.08	4.75	30.14	1.52	0.3	0.89	57.75	0.2	2.4	100	0.09	0.56
105 mm	0.36	0.99	4.92	24.07	1.82	0.24	0.46	63.43	0.3	3.45	100	0.08	0.38
120 mm	1.03	0.87	3.93	25.70	1.57	0.21	0.46	62.73	0.24	3.27	100	0.07	0.44

3.5 SAMMANSTÄLLNING RESULTAT

Tabell 3.6 ger en sammanfattning av de viktigaste resultaten i arbetet.

Tabell 3.6 sammanfattande tabell över de viktigaste resultaten i arbetet.

Sammanfattande tabell	
Tester	
Vatteninträngning	5 av 6 provkroppar klarade kravet < 50mm.
Kapillaritet	Kapillärmättnadshalt mellan 1.5-1.9 för alla prover, högre för de provbitar närmast fogbandsytan.
Mikrosprickor	Förhöjt antal mikrosprickor, både parallella och vinkelräta mot ytan i provbitar närmast fogbandsytan.
Kemisk analys	Förhållandet mellan cementpastan och ballasten är högre i provbitar närmast fogbandsytan.

3.6 DISKUSSION

Resultaten från kapillärförsöken visas sammanställda i Tabell 3.2. Som ett referensvärde kan nämnas från Energiforskrappport 2021: 768 (Nordström & Bryne, 2021) ett värde på kapillärmättnadsfukthalten mellan 1.8-2.0 på en nyligen gjuten vattenbyggnadsbetong. Figur 3.2 visar tid till kapillärmättnad i sekunder för den studerade betongen från Stenkullafors. För samma mätning hos den för den ovan nämnda referens betongen ligger värdena på drygt 200 000 s, i princip en faktor 10 större, med kompensationsräkning en faktor 5. Vad som är förklaringen bakom den stora skillnaden i tid mellan de uppmätta värdena i detta projekt jämfört med referensbetongen (Nordström & Bryne, 2021) är inte helt enkelt att förstå. Den skattade vct-värdet är dock mycket lågt, ca. 0.35, vilket pekar på låg porositet och därigenom större täthet. Det kan betyda att det finns en större andel porer som är mindre i storlek än kapillärporer.

Resultaten visar att antalet mikrosprickor och vidhäftningssprickor är förhöjda i samtliga prov. Antalet sprickor är högre i prov 1N, 3N och 5N än i prov 1F, 3F och 5F. I alla prov finns något fler ytparallella sprickor än vertikala. Det finns några sprickor i planslip 1F, 3N, 5N och 5F som har delat proverna. Dessa sprickor går delvis genom ballastpartiklarna.

Lufthalterna varierar mellan 0.9 % (prov 3F) och 2.9 % (prov 1N). Detta betyder att samtliga prov (1N, 3N, 5N, 1F, 3F och 5F) teoretiskt har en begränsad frostbeständighet och risken för frostsador borde vara hög. Mikrosprickorna som observerats i alla prov bedöms därför kunna vara orsakade av frost. I planslipprov finns en sedimentär ballastpartikel som är porös och uppsprucken. Porösa ballastpartiklar är frostkänslig och kan orsaka sprickbildning. Sprickorna som syns i planslipsproverna och går genom ballastpartiklarna kan vara orsakade av frost, men är troligen uppkommit av annan orsak.

Utförd kemisk analys visar att förhållandet av Si/Ca är förhöjt (>0.35) på olika djup i prov 1F, 3N, 3F, 5N, 5F och delvis 1N. Enligt analysen betyder detta att cementpastan i nämnda proverna är urlakade, se Figur 3.5. Dessa analyser är utförd med ett referensmaterial baserat på byggcement, se Bilaga A (SWECO-rapport). Liknande kemiska analyser från ett annat, ovan nämnt arbete (Nordström & Bryne, 2021) utförd på den, icke urlakad, referensbetongen gav Si/Ca förhållanden på 0.2-0.5. Betongen med värdet 0.2 är normal. Vid okulär besiktning av betongblocket från Stenkullafors upplevdes betongen inte som urlakad. Även medelvärden på 53.7 MPa för tryckhållfastheten från samma betong indikerade på bra betong.

Urlakning uppkommer då vatten strömmar genom porerna i betongen, eller vattenmättat ytan på betongen och löser upp cementen vilket leder till porösare betong med lägre hållfasthet. Det skulle då ha funnits någon form av gradient över fogbandet. Provkropparna är tagna från den understa fogbandets undre betong, d.v.s. den betong som i princip är längst ifrån skibordsytan. Men vatten skulle ändå tagits sig förbi första och detta (det andra), fogbandet. Ursprungsblocket har å andra sidan förvarats utomhus, utsatt för väder och vind sedan 2005, 15 år. Men att regnvatten, eller snö skulle gett upphov till en gradient som skapat strömmande vatten i porerna är svårt att härleda. Regnvatten kan för all del vattenmättat ytan, men då analyserna visar att betongen har en lufthalt på mellan 0.9 – 2.9% , en mycket tät betong, är detta också svårt att finna som orsak till urlakning.

Alla prover visar en oregelbunden karbonatisering i hela provet. Karbonatisering följer luftporer, vidhäftningszoner mellan cementpasta och ballastpartiklar samt sprickor. Karbonatiseringen medför att pH-värdet i cementpastans porlösning troligen är sänkt och betongens armeringsskyddande egenskaper är försämrade i dessa områden. Några elongerade ballastpartiklar i prov 3N och 3F är parallellt orienterade mot varandra. Detta fenomen kan tyda på komplikationer i samband med gjutningen

Enligt RIDAS ska betong med ekvivalent vattencementtal $v_{ct_{ekv}} \leq 0.55$ användas för att klara kraven på vattentäthet. Tabell 3.3 presenterar delar av tunnslipsanalyser och där redovisas ett värde för det ekvivalenta vattencementtalet $v_{ct_{ekv}} = 0.35$.

4 Slutsats och fortsatt arbete

Slutsats

Förhållandet mellan cementpastan och ballasten är något högre i de provbitar som ligger direkt mot fogbandsytan (N) jämfört med de provkroppar som är tagna ca. 100 mm ifrån fogbandsytan (F). Detta trots att båda provbitarna är tagna ur samma borrkärna med samma distans från betongblockets fogvägg. Detta tyder på någon form av separationsprocess, t.ex. bruksseparation, har skett vid gjutningen.

Resultaten från de kapillära försöken visar att det råder förhållandevis liten skillnad på provernas kapillärmättnadshalt, mellan 1.5-1.9 för samtliga provbitar. Dock ett något högre värde för de provbitar närmast fogbandet för respektive kärna. Som ett referensvärde kan nämnas från Energiforskrapport 2021:768 ett värde mellan 1.8-2.0 på en nyligen gjuten vattenbyggnadsbetong. Tid till kapillärmättnad i sekunder för den studerade betongen från Stenkullafors ligger på ca. 15 000-35 000 s. För samma mätning hos den för ovan nämnda referensbetongen, ligger värdena på drygt 200 000 s (80 000-100 000 s med kompensationsräkning), för en nygjuten vattenbyggnadsbetong, i princip en faktor 5 större. Detta kan vara en följd av att betongen är mycket tät och har låg porositet, men en större andel porer som är mindre än kapillärporer.

Det föreligger ett förhöjt antal sprickor, både mikro och vidhäftnings-sprickor i det studerade materialet. Det kan bero på frostsador.

Sammantaget så är betongen i detta fall av ganska bra kvalitet och dessutom tät. Det finns information som kan härledas till viss tendens av bruksseparation av betongen vid fogbandsytan och lite frostskadepåverkan.

Det har varit ett laborativt arbete med material från fältet, i detta fall från ett skibord. Det skulle vara intressant att studera material från någon dämmande konstruktion. I ett eventuellt fortsatt projekt bör dock huvuddelen ligga på rent laborativt arbete.

Fortsatt arbete

En kompletterande litteraturstudie eller ritnings-inventering för att finna olika fogbandslösningar i olika konstruktioner kan utföras för att kanske få fram fler detaljer om olika fogbandslösningar som kan beskriva ytterligare potentiella effekter av ett bristfälligt utförande vid montage och kringgjutning av tätningsbandet. Ett annat exempel är att fogbandet viker sig vid ingjutning, eller att fogbandet hamnar för nära den ena ytan, d.v.s. långt från centriskt. Fokus bör dock ligga på hur betongens egenskaper påverkas runt fogen och vilken betydelse detta har för betongens beständighet.

Förslagsvis utförs en laboratoriestudie där kringgjutning av olika typer av tätningsband genomförs på ett korrekt respektive bristfälligt sätt. Korrekt sätt avser där betongen förs ned i formen intill tätningsbandet och därefter vibreras. Ett bristfälligt sätt kan exempelvis vara att betongen förs ned i formen en bit ifrån tätningsbandet och genom vibrering förflyttas till tätningsbandet.

Hur förfarandet vid kringgjutning påverkar betongens egenskaper i och runt tättningsbandet undersöks genom jämförelse med egenskaper hos korrekt gjuten betong från samma blandningstillfälle. Egenskaper att undersöka kan vara betongens vattencementtal, cementhalt, lufthalt, frostbeständighet, kapillärmättnadsgrad vid vattenmättnad och vattengenomsläpplighet (vatteninträngning).

En studie som klargör om eller hur separationseffekten skiljer sig från en ren fogvägg och hur effekten ter sig vid ett fogband skulle också vara intressant.

Olika belastningsfall för vattentryck, dels vattentryck vid dämmande konstruktioner men även strömmande vatten över rörelsefog i t.ex. ett skibord i utskovskonstruktion skulle även det vara av intresse.

Olika fogbandstypers inverkan av utformning av tätningar, fogbandens utformnings huvudsakliga uppgift gällande t.ex. att erhålla bra mekanisk låsning (friktion mellan betong och fogbandsyta) i betongen. Detta kanske försämrar betongens förmåga att komma runt och nära fogbandet, en utskiljning av cementbruk, stenar får inte plats mellan flänsarnas alla rillor, etc. Intill rostfria släta plåtytor har betongen lättare att komma nära, betongen förblir intakt utan eventuell stenseparation som följd.

5 Referenslista

- Bernstone, C. (1998). Kunskapsåterföring på betongområdet från det amerikanska REMR-programmet. Stockholm: Elforsk rapport nr. 1998:33.
- Betonghandboken. (1994). Betonghandboken Material. Stockholm: Svensk Byggtjänst.
- Blomfeldt, T. & Bergsjö, P. (2013). Utvärdering av egenskaperna hos fogband i mjukgjord PVC för betongkonstruktioner – Korrelation mellan acceleread åldring, långtidsexponering och fogband i drift. Stockholm: Elforsk rapport nr. 2013:39.
- Fagerlund, G. (1989). ISBN 91-87334-04-6, CEMENTA AB, Danderyd, Stockholm
- Harrison, J. & Hepler, T. (2019). Spillway Chute Joints – the Devil’s in the Details. The Journal of Dam Safety, Volume 16, Issue 3, 2019. ISSN 1944-9836 – Association of State Dam safety Officials
- Hassanzadeh, M. (2010). Utskovsbetongs frostbeständighet – Provning av utskovsbetong från Stenkullafors. Stockholm: Elforsk rapport nr. 2010:78.
- Jacobson, K., Nordänger, S. & Lukes, D. (2016). m.fl. (2016) Provning och analys av nya och åldrade fogband – Fogband bestående av PVC och/eller elastomer. Stockholm: Energiforsk-rapport 2016:240.
- Janz, M. (1996). Utvärdering av fukttransportkoefficienter från en svit av kapillärsugningsförsök. Lund: Lunds tekniska högskola, rapport nr. TVBM-3071.
- Nordström, E. & Bryne, L.-E. (2021). Långtidsexponering av vattenbyggnadsbetong med SCM – Planering och tillverkning av provkroppar. Stockholm: Energiforsk rapport nr. 2021:768.
- Nordström, E., Strand, P. & Isaksson, E. (2021). Återfyllning av kärnborrhål i betong -Tester av bruk samt rekommendationer till krav på material och utförande. Stockholm: Energiforsk rapport nr. 2021:810.
- RIDAS. (2019). Energiföretagens riktlinjer för dammsäkerhet. Energiföretagen Sverige. Stockholm: Energiföretagen Sverige.
- Rosenqvist, M. (2018). Betongteknikens utveckling och betydelse för svensk vattenkraftsutbyggnad. Stockholm: Energiforsk, rapport nr. 2018:481.
- SS-EN 12390-8. (2019). Provning av hårdnad betong – del 8: Vatteninträngning under tryck. Stockholm: SIS.
- SS-EN 480-11. (2005). Tillsatsmedel till betong, bruk och injekteringsbruk – Provning – Del 11: Luftporkarakteristika i hårdnad betong. Stockholm: SIS.
- Stojanović, B. (2010). Skador på och reparationer av dilatationsfogar i dammkonstruktioner En sammanställning av kunskaper och nationella insatser. Stockholm: Elforsk, rapport nr 2010:74.

Thorsell, P-E. (2004). Fogar och fogreparationer. Stockholm: Elforsk rapport nr. 2004:23.

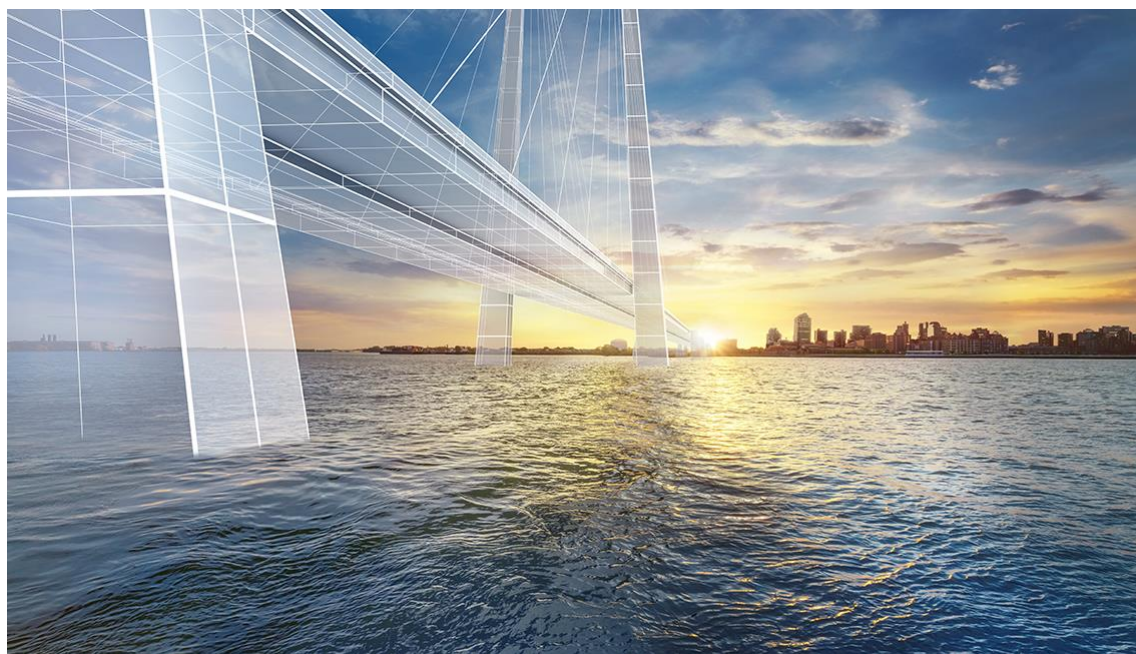
Vattenfalls betonghandbok (1972). Anvisningar för utförande och kontroll av betongarbeten. ISBN 91-7186-003-7. Boktryckeri AB Thule, Stockholm, 1972

RAPPORT

VATTENFALL AB

BETONGANALYS AV SKIBORDET, STENKULLAFORS KRAFTVERK

UPPDRAGSNUMMER 30026519-016, 2181-24



2021-09-22

VATTENKRAFT & DAMMAR MALMÖ

BIRGIT FREDRICH

1 Inledning

På uppdrag av Vattenfall AB analyserade Sweco Energy AB sex tunnslip, sex motbitar till tunnslipen och sex planslip från skibordet, Stenkullafors Kraftverk. Samtliga prov är tillverkade på Vattenfalls laboratorier i Älvkarleby. Proverna har märkts 1N, 3N, 5N, 1F, 3F respektive 5F. Kemisk analys har utförts på Lunds Universitetet av Sweco Sverige.

1.1 Syfte

Undersökningen är gjord i syfte att fastställa betongens tillstånd. Slutsatser gäller endast för de undersökta proverna.

1.2 Metod – kemisk analys

Den mikrokemiska analysen gjordes med svepelektronmikroskop försett med detektor för mikrokemisk analys (SEM/EDS). Analysen gjordes som punktanalyser som mätte cirka 1,5x1,5 mm². Detektionsgränsen ligger på 0,1 och 0,2 procent. Halter som ligger på eller under 0,1 till 0,2 % är därför osäkra.

1.3 Metod – tunnslip

Vid en strukturanalys/tunnslipsanalys analyseras en ca 25 µm tjock betongskiva med ett polarisationsmikroskop. I detta så kallade tunnslip studeras komponenter vilka bygger upp betongen. Analysen ger information om potentiella förändringar i cementpastan (kemiska angrepp, reaktiva ballastpartiklar, urlakning, karbonatisering, brandskador mm.) och deras effekt på betongens beständighet. Tunnslipet är impregnerat med fluorescerande epoxi för att uppskatta vct och kontrollera cementpastans täthet samt sprickor.

Uppskattning av vct-ekvivalent gjordes med hjälp av referenstunnslip tillverkade av betong med byggcement och olika vct (0,35–0,70 med intervall på 0,05). Vct-ekvivalent är ett mått på nuvarande kapillärporositet i betongens bindemedel. Uppskattningens noggrannhet är +/- 0,05. Metoden tar inte hänsyn till betongens ålder eller eventuell förekomst av hydrauliska tillsatsmedel som till exempel silikastoft.

2 Resultat

Resultaten från analyserna redovisas i tabell 1 till 21. Bild av planslipsproven visas i figur 2 och bild av tunnslipsproven visas i figur 3 och 4.

1N:

Planslipsprovet visar inga tecken på pågående nedbrytningsmekanismer. Lufthalten i planslipet uppskattas till 2 %. Luftporerna i planslipet har en ojämn fördelning. Antalet mikro- och vidhäftningssprickor är förhöjt i tunnslipsprovet. Det finns något fler ytparallella sprickor än vertikala. Största uppmätta sprickbredden i tunnslipsprovet är 0,01 mm. Mängden potentiellt alkalisilikareaktiva ballastpartiklar beräknades till 5,8 %. Ingen

alkalisilikareaktion observerades. Lufthalten beräknades till 2,9 % ($\pm 1\%$) i tunnslipsprovet. Luftporerna i tunnslipsprovet är delvis agglomererade. Det finns inte många luftporer mot ytan av provet, dvs. mot fogbandet. Vct-ekvivalent uppskattas till $0,35 \pm 0,05$. Förhållandet av Si/Ca och Al/Ca ligger på 0,33–0,37 vikt-% respektive 0,04–0,08 vikt-%, se tabell 1.

1F:

Planslipsprovet består av tre bitar på grund av en vertikal spricka som går något diagonal genom provet. Det finns mörka ringar runt några ballastpartiklar. Annars visar planslipsprovet inga tecken på pågående nedbrytningsmekanismer. Lufthalten i planslipet uppskattas till 1–2 %. Antalet mikro- och vidhäftningssprickor är förhöjt i tunnslipsprovet. Antalet är mindre än i prov 1N. Det finns något fler ytparallella sprickor än vertikala. Största uppmätta sprickbredden i tunnslipsprovet är 0,01 mm. Mängden potentiellt alkalisilikareaktiva ballastpartiklar beräknades till 3,6 %. Ingen alkalisilikareaktion observerades. Lufthalten beräknades till 1,8 % ($\pm 1\%$) i tunnslipsprovet. Luftporerna i tunnslipsprovet är delvis agglomererade. Vct-ekvivalent ligger på $0,35 \pm 0,05$. Förhållandet av Si/Ca och Al/Ca ligger på 0,29 – 0,52 vikt-% respektive 0,1–0,17 vikt-%, se tabell 1.

3N:

Planslipsprovet har en spricka som är vertikal mot provets yta. Sprickan ligger på ett djup av 90–100 mm. Annars visar planslipsprovet inga tecken på pågående nedbrytningsmekanismer. Lufthalten i planslipet uppskattas till 1 %. Några elongerade ballastpartiklar är parallell orienterade med provets yta. Antalet mikro- och vidhäftningssprickor är förhöjt i tunnslipsprovet. Det finns något fler ytparallella sprickor än vertikala. Största uppmätta sprickbredden i tunnslipsprovet är 0,01 mm. Mängden potentiellt alkalisilikareaktiva ballastpartiklar beräknades till 11,3 %. Ingen alkalisilikareaktion observerades. Lufthalten beräknades till 1,8 % ($\pm 1\%$) i tunnslipsprovet. Det finns inte många luftporer mot ytan av provet, dvs. mot fogbandet. Vct-ekvivalent ligger på $0,35 \pm 0,05$. Förhållandet av Si/Ca och Al/Ca ligger på 0,46–0,7 vikt-% respektive 0,06–0,17 vikt-%, se tabell 1.

3F

Planslipsprovet visar inga tecken på pågående nedbrytningsmekanismer. Lufthalten i planslipet uppskattas till 1–2 %. Några elongerade ballastpartiklar är vertikal orienterade mot provets yta. Antalet mikro- och vidhäftningssprickor är förhöjt i tunnslipsprov 3F. Antalet är mindre än i prov 3N. Det finns något fler ytparallella sprickor än vertikala. Största uppmätta sprickbredden i tunnslipsprovet är 0,01 mm. Mängden potentiellt alkalisilikareaktiva ballastpartiklar beräknades till 15,4 %. Ingen alkalisilikareaktion observerades. Lufthalten beräknades till 0,9 % ($\pm 1\%$) i tunnslipsprovet. Vct-ekvivalent ligger på $0,35 \pm 0,05$. Förhållandet av Si/Ca och Al/Ca ligger på 0,38 – 0,45 vikt-% respektive 0,04–0,1 vikt-%, se tabell 1.

5N:

Planslipsprov 5N består av tre bitar på grund av två diagonala sprickor som går genom provet. Dessa sprickor går delvis genom ballastpartiklarna. Det finns en ballastpartikel som är porös/upsprucken. Ballastpartikeln är sedimentär och ligger längs med en av de diagonala sprickorna som delar provet. Annars visar planslipsprov 5N inga tecken på pågående nedbrytningsmekanismer. Lufthalten i planslip 5N uppskattas till 1 %. Antalet mikro- och vidhäftningssprickor är förhöjt i tunnslipsprov 5N. Det finns något fler ytparallella sprickor än vertikala. Största uppmätta sprickbredden i tunnslipsprovet är 0,01

mm. Mängden potentiellt alkalisilikareaktiva ballastpartiklar beräknades till 7,2 %. Ingen alkalisilikareaktion observerades. Lufthalten beräknades till 1,7 % ($\pm 1\%$) i tunnslipsprov 5N. Det finns inte många luftporer mot ytan av provet, dvs. mot fogbandet. Vct-ekvivalent ligger på $0,35 \pm 0,05$. Förhållandet av Si/Ca och Al/Ca ligger på 0,47–0,55 vikt-% respektive 0,05–0,07 vikt-%, se tabell 1.

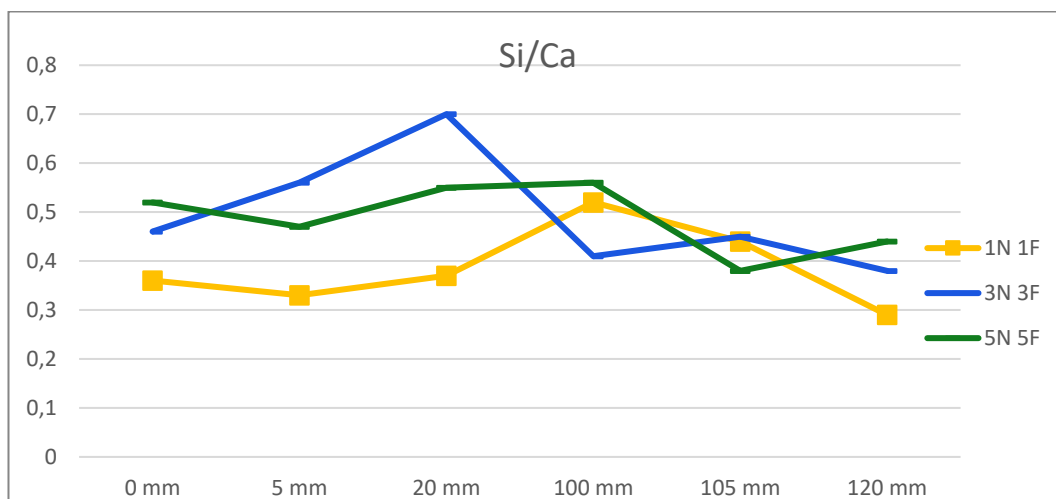
5F:

Planslipsprovet består av två bitar på grund av en diagonal spricka som går genom provet. Nämda sprickan går delvis genom ballastpartiklar. Annars visar planslipsprovet inga tecken på pågående nedbrytningsmekanismer. Lufthalten i planslipet uppskattas till 1 %. Antalet mikro- och vidhäftningssprickor är förhöjt i tunnslipsprovet. Antalet är mindre än i prov 5N. Det finns något fler ytparallella mikrosprickor än vertikala. Största uppmätta sprickbredden i tunnslipsprovet är 0,01 mm. Mängden potentiellt alkalisilikareaktiva ballastpartiklar beräknades till 5,1 %. Ingen alkalisilikareaktion observerades. Lufthalten beräknades till 1,0 % ($\pm 1\%$) i tunnslipsprovet. Vct-ekvivalent ligger på $0,35 \pm 0,05$. Förhållandet av Si/Ca och Al/Ca ligger på 0,38 – 0,56 vikt-% respektive 0,07–0,09 vikt-%, se tabell 1.

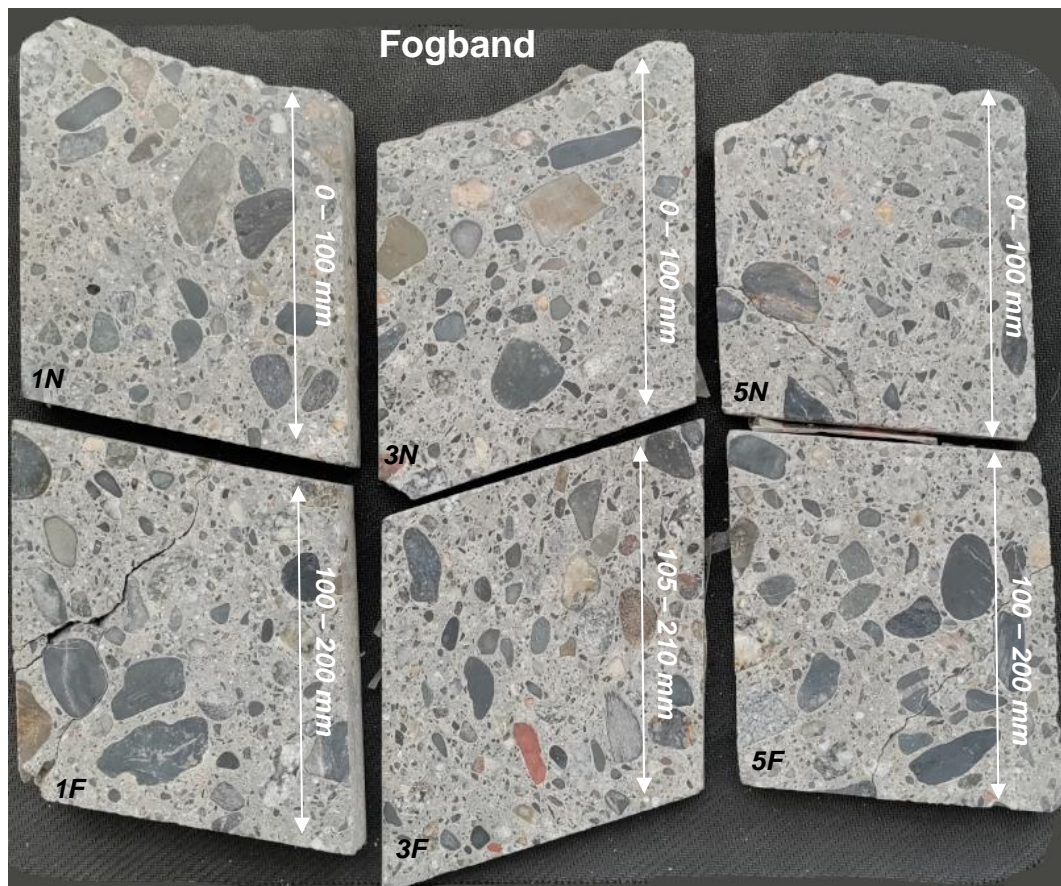
Tabell 1: Sammanfattning kemisk analys. Resultaten i tabellen är i medelvärde i vikt-%.

Avstånd till fogband													
1N	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
0 mm	0,21	0,81	2,56	24,20	1,22	0,2	0,26	67,56	0,2	2,8	100	0,04	0,36
5 mm	0,26	0,7	3,20	22,17	1,29	0,19	0,32	67,72	0,3	3,87	100	0,05	0,33
20 mm	0,41	0,71	5,14	23,43	2,31	0,47	0,39	64,25	0,16	2,73	100	0,08	0,37
1F	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
100 mm	1,46	1,95	9,36	27,54	1,26	0,44	1,35	55,3	0,3	1,04	100	0,17	0,52
105 mm	0,5	0,67	3,37	27,45	1,84	0,44	0,64	63,38	0,16	1,54	100	0,1	0,44
120 mm	0,35	1,12	6,94	18,68	1,36	0,38	0,5	68,15	0,15	2,37	100	0,1	0,29
3N	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
0 mm	0,59	1,18	3,86	27,82	1,31	0,12	0,47	61,3	0,2	3,17	100	0,06	0,46
5 mm	0,51	1,27	5,32	30,82	1,61	0,19	0,59	56,38	0,27	3,03	100	0,1	0,56
20 mm	0,96	1,73	8,65	34,86	1,35	0,31	0,62	50,4	0,31	0,82	100	0,17	0,7
3F	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
100 mm	0,37	0,87	6,07	24,73	1,48	0,18	0,58	61,13	0,36	4,23	100	0,1	0,41
105 mm	0,47	0,76	2,97	27,85	1,83	0,13	0,47	62,26	0,17	3,09	100	0,05	0,45
120 mm	0,3	0,75	2,92	24,53	1,61	0,16	0,32	65,52	0,3	3,58	100	0,04	0,38
5N	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
0 mm	0,82	0,73	3,95	30,03	1,9	0,2	0,79	59,47	0,2	1,9	100	0,07	0,52
5 mm	0,74	1,55	4,33	27,81	1,73	0,14	0,60	59,39	0,2	3,48	100	0,07	0,47
30 mm	0,64	1,02	3,14	30,08	1,6	0,12	0,55	59,10	0,22	3,53	100	0,05	0,55

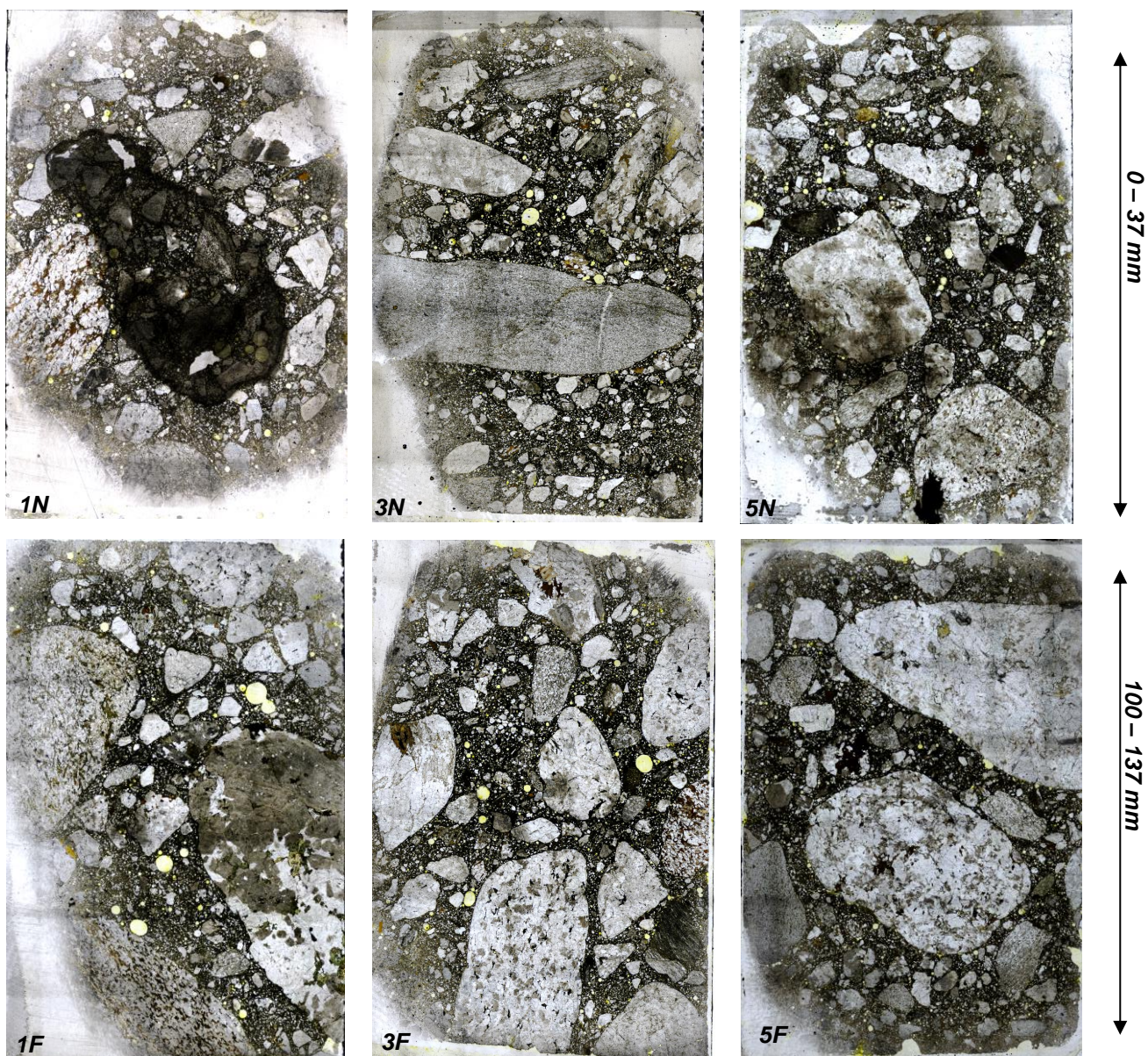
5F	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
100	0,96	1,08	4,75	30,14	1,52	0,3	0,89	57,75	0,2	2,4	100	0,09	0,56
105	0,36	0,99	4,92	24,07	1,82	0,24	0,46	63,43	0,3	3,45	100	0,08	0,38
120	1,03	0,87	3,93	25,70	1,57	0,21	0,46	62,73	0,24	3,27	100	0,07	0,44



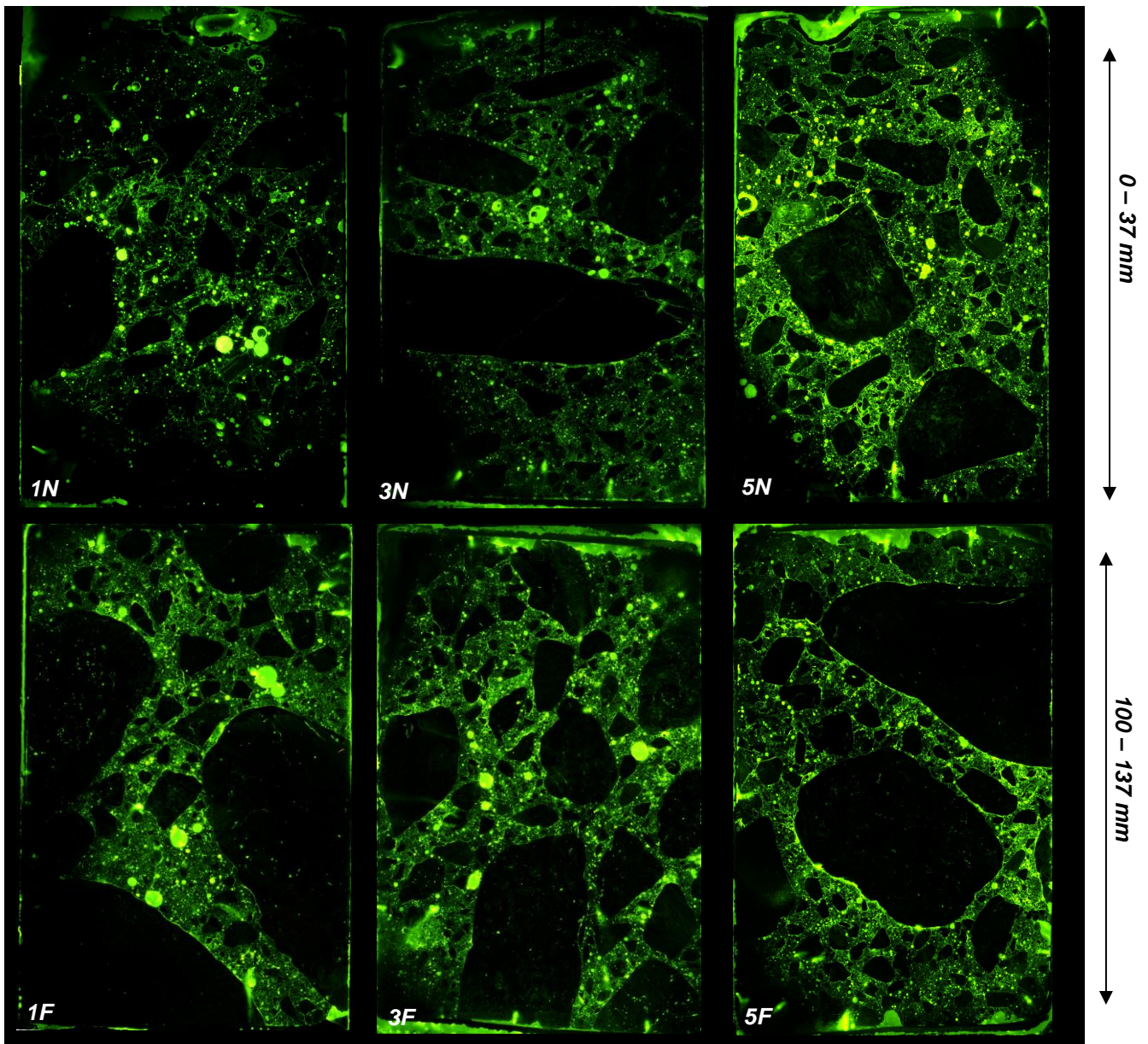
Figur 1 Bilden visar Si/Ca förhållandet vid olika djup i analyserade prov.



Figur 2 Bilden visar planslipsproverna i vanligt ljus.




Figur 3 Bilden visar tunnslipsproverna i vanligt genomfallande ljus. Provets yta är uppåt i bilden.



Figur 4 Bilden visar tunnslipsproverna i fluorescensljus. Luftporer och sprickor syns i ljusare grön färg. Provets yta är uppåt i bilden.

Analys prov 1N

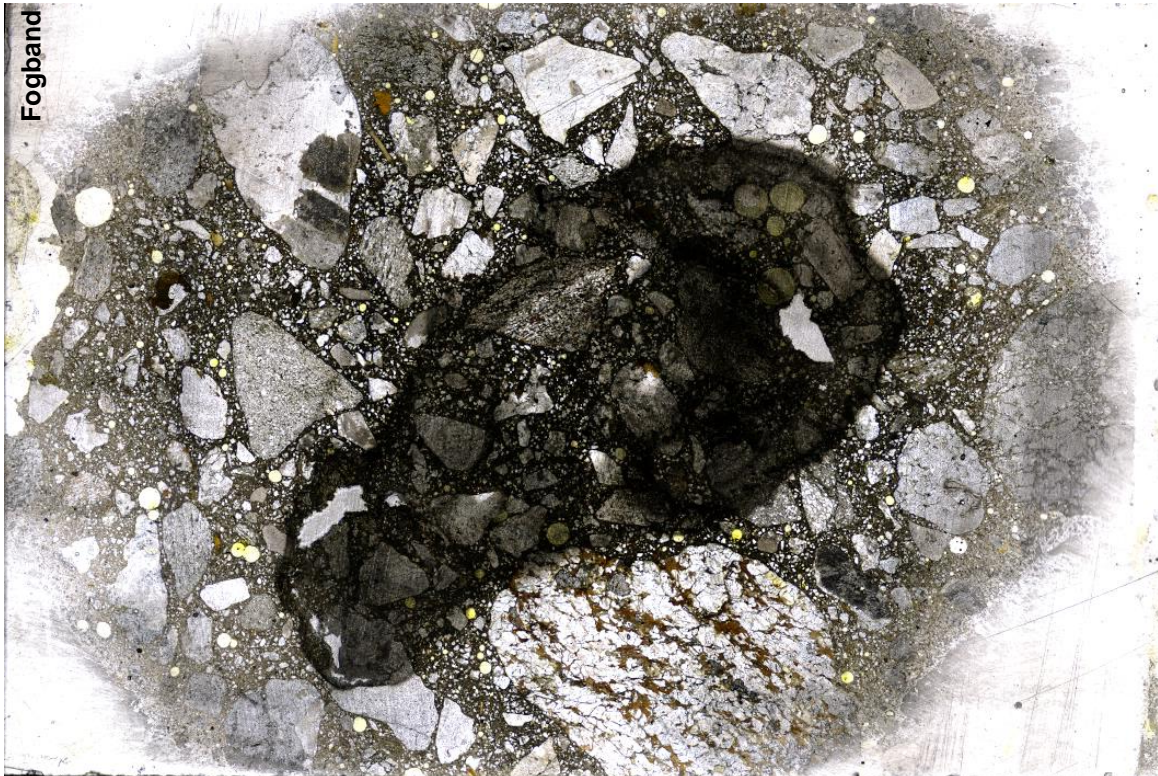
Tabell 4: Analysprotokoll, planslipsprov 1N.

Projekt#	30026519-016
Datum	27.09.2021
Prov-id	1N Planslip
Fogband	
Föroreningar	Inga
Grov ballast	
Typ	Granitisk gnejs, kvartsrika bergarter, sedimentära bergarter
Stenmax	33 mm
Kornform	Kubisk subangulär, ofta rundad
Orientering	Ingen
Fördelning	Jämn
Ballastreaktioner	Inga
Sprickor >0,1 mm	
Orientering	Ingen. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor
Ytparallella sprickor	Inga. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor
Öppna sprickor från ytan	Inga. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor

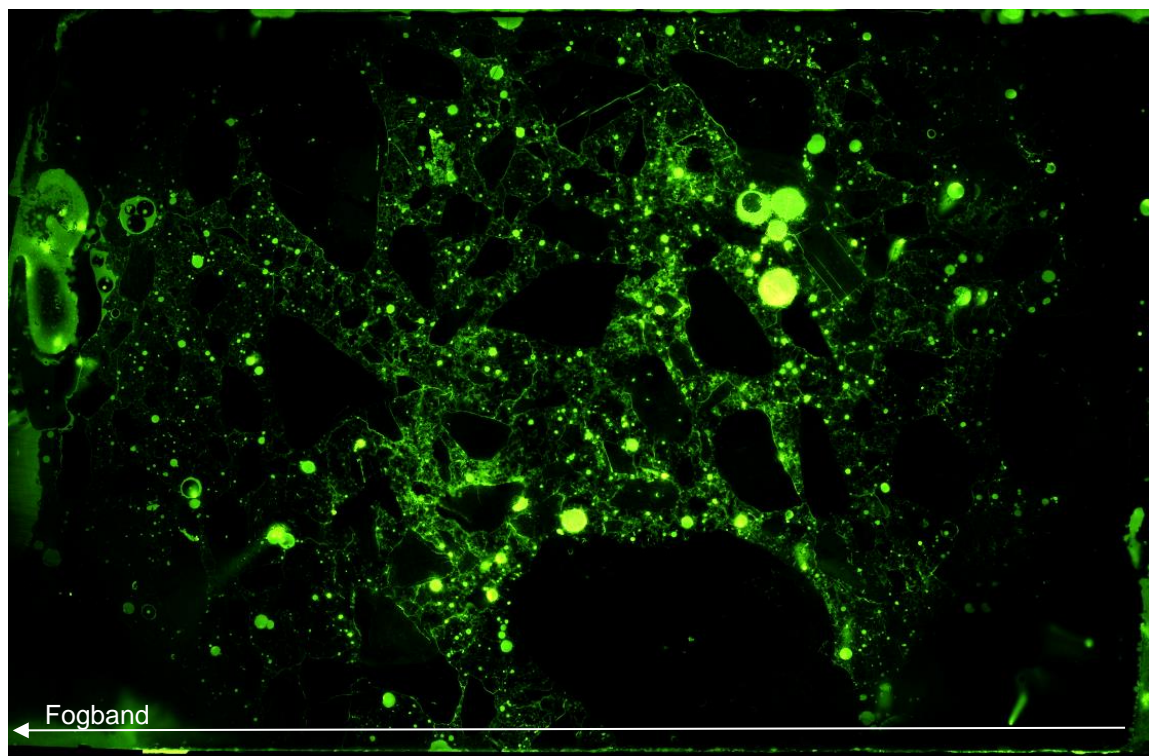
Vidhäftningssprickor >0,1mm	Inga. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor
Max sprickvidd	Inget grövre än 0,01 mm. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor

Betongyta	
Förändrad porositet	Provet innehåller ingen fluorescensfärg
Porer	Inga fyllningar
Färgändring	Ingen
Kommentar	Lufthalt uppskattas till 2%
	Något oregelbunden fördelning av luftporer – färre mot fogbandet

Tabell 5: Analysprotokoll, tunnslipsprov 1N.

Projekt#	30026519-016			
Datum	22.09.2021			
Prov-id	1N			
Fogband				
Ballast				
Sten (>2 mm)	Granitisk gnejs delvis glimmer- och granatförande, kvartsrika bergarter (delvis med mikrokristallin kvarts), sandsten			
Sand (≤2 mm)	Kvarts, fältspat, glimmer			
Kornform	Subangulär delvis rundad			
Potentiell reaktiv	Granitisk gnejs, kvartsrika bergarter (delvis med mikrokristallin kvarts), sandsten			
Sammanställning		Mängd	Punkter	Mätosäkerhet
	Cementpasta	34,1 %	331	±3 %
	Ballast (icke-reaktiv)	57,2 %	555	±3 %
	Ballast (långsamreaktiv)	5,8 %	56	±1 %
	Luft	2,9 %	28	±1 %
Sprickor				
Sprickor som är vinkelräta mot ytan	In till 10 mm			
Sprickor som är ytparallella	Flera			
Vidhäftningssprickor	Några			
Max. sprickbredd	0,01 mm			

Sprickor; kvantitativ analys	Antal sprickor/mm ²
Mikrosprickor, ytparallella	0,7
Mikrosprickor, vinkelräta mot ytan	0,6
Fina/grova sprickor, ytparallella	0
Fina/grova sprickor, vinkelräta mot ytan	0
Vidhäftningssprickor	0,3
Por- och sprickfyllningar	
Pastasprickor	Inga
Vidhäftningssprickor	Kalcit
Helt fyllda porer	Inga
Delvis fyllda porer	Portlandit
Lufthalt	2,9 %
Vct-ekvivalent	0,35 ± 0,05
Karbonatiseringsdjup	0 mm, men fläckvis runt luftporer, längs med sprickor och i vidhäftningszonen med ballastpartiklar
Kommentar	Ingen porositetsförändring



Figur 5 Bilden visar prov 1N i fluorescensljus. Luftporer och sprickor syns i ljusare grön färg.

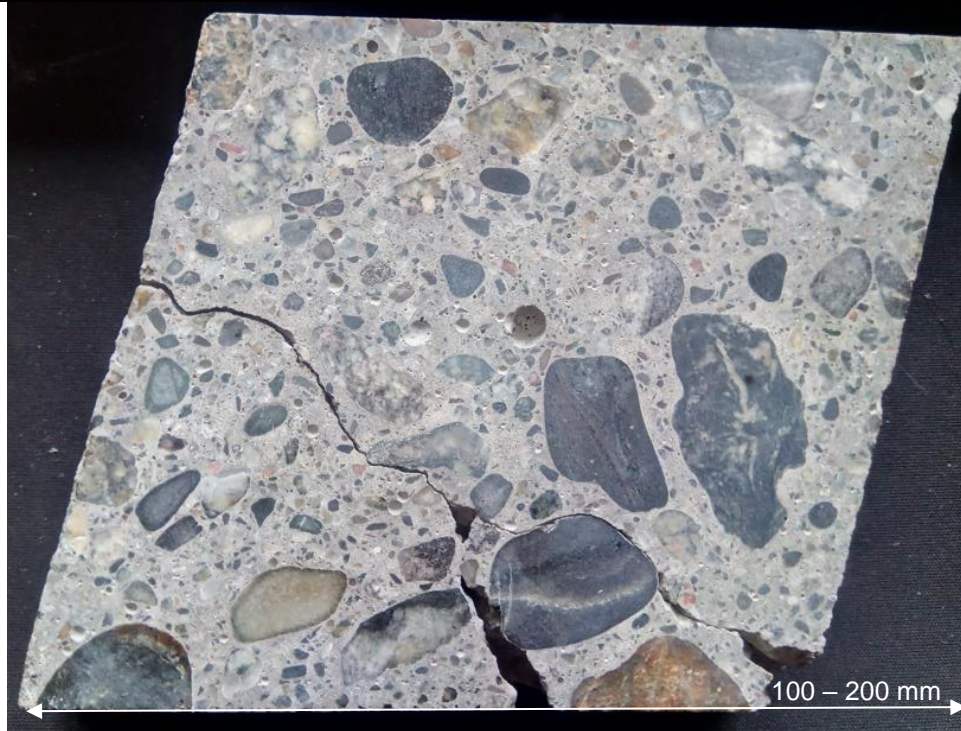
Tabell 6: Kemisk Analys, 1N. Resultaten är i vikt-%.

0 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	0,26	0,37	1,90	25,19	1,39	0,18	0,44	67,04	0,31	2,93	100	0,03	0,38
Spektrum 2	0,24	0,56	5,07	19,35	1,99	0,16	0,33	67,67	0,22	4,42	100	0,07	0,29
Spektrum 3	0,14	0,93	2,29	25,78	0,35	0,26	0,18	65,42	0,56	4,09	100	0,04	0,39
Spektrum 4	0,12	1,98	2,44	13,48	1,70	0,28	0,21	76,30	0,31	3,19	100	0,03	0,18
Spektrum 5	0,21	0,64	1,84	29,33	0,43	0,05	0,28	63,44	0,31	3,48	100	0,03	0,46
Spektrum 6	0,18	0,29	1,74	27,78	1,14	0,11	0,34	66,41	0,00	2,01	100	0,03	0,42
Spektrum 7	0,29	0,80	1,70	27,11	1,36	0,15	0,24	66,63	0,06	1,64	100	0,03	0,41
Spektrum 8	0,07	1,09	1,70	29,35	0,26	0,16	0,07	65,04	0,18	2,08	100	0,03	0,45
Spektrum 9	0,26	0,41	2,34	24,95	1,83	0,18	0,42	67,54	0,10	1,98	100	0,03	0,37
Spektrum 10	0,18	0,64	6,61	20,55	1,94	0,11	0,08	68,50	0,00	1,38	100	0,10	0,30
Spektrum 11	0,39	1,31	2,57	17,20	1,81	0,45	0,36	71,72	0,19	4,02	100	0,04	0,24
Spektrum 12	0,21	0,31	1,25	28,38	0,70	0,33	0,31	66,17	0,37	1,97	100	0,02	0,43
Spektrum 13	0,16	1,16	1,79	26,16	0,92	0,21	0,13	66,42	0,27	2,78	100	0,03	0,39
5 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	0,50	1,16	1,51	25,86	0,77	0,24	0,31	67,24	0,34	2,09	100	0,02	0,38
Spektrum 2	0,33	0,54	2,50	21,81	1,87	0,00	0,49	65,94	0,00	6,51	100	0,04	0,33
Spektrum 3	0,36	0,60	1,94	28,43	0,70	0,15	0,41	63,41	0,65	3,35	100	0,03	0,45
Spektrum 4	0,22	0,28	8,63	16,48	1,34	0,25	0,19	69,93	0,02	2,66	100	0,12	0,24
Spektrum 5	0,17	0,66	2,92	19,34	1,58	0,19	0,22	63,19	0,51	11,22	100	0,05	0,31
Spektrum 6	0,31	0,42	2,60	23,76	2,28	0,18	0,40	66,96	0,34	2,76	100	0,04	0,35
Spektrum 7	0,33	0,41	2,20	25,64	2,28	0,21	0,28	66,62	0,21	1,83	100	0,03	0,38
Spektrum 8	0,10	0,62	1,37	8,10	0,94	0,16	0,18	84,09	0,16	4,27	100	0,02	0,10
Spektrum 9	0,20	0,29	1,94	27,88	1,27	0,29	0,54	65,38	0,00	2,21	100	0,03	0,43
Spektrum 10	0,19	1,08	2,32	25,55	0,71	0,19	0,26	65,30	0,31	4,08	100	0,04	0,39
Spektrum 11	0,13	1,27	9,14	17,02	1,03	0,14	0,19	67,05	0,43	3,61	100	0,14	0,25
Spektrum 12	0,29	1,05	1,38	26,23	0,69	0,29	0,42	67,50	0,32	1,83	100	0,02	0,39
20 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	0,28	0,36	2,43	25,62	2,71	0,24	0,51	65,43	0,00	2,42	100	0,04	0,39
Spektrum 2	0,37	0,59	3,97	22,67	3,76	0,47	0,23	65,17	0,36	2,41	100	0,06	0,35
Spektrum 3	0,73	1,34	2,98	25,85	0,87	0,63	0,62	60,05	0,10	6,83	100	0,05	0,43
Spektrum 4	0,17	0,14	19,85	2,11	4,72	0,20	0,31	70,22	0,16	2,11	100	0,28	0,03
Spektrum 5	0,48	1,93	2,51	29,92	1,68	0,41	0,45	59,16	0,13	3,33	100	0,04	0,51
Spektrum 6	0,23	0,49	2,91	23,58	3,52	0,34	0,28	66,13	0,23	2,29	100	0,04	0,36
Spektrum 7	0,53	0,84	1,91	29,97	1,09	0,23	0,51	63,14	0,21	1,58	100	0,03	0,47
Spektrum 8	0,31	0,26	2,63	25,09	2,06	0,42	0,32	65,70	0,06	3,13	100	0,04	0,38
Spektrum 9	0,33	0,38	3,00	29,60	2,02	0,13	0,28	61,67	0,13	2,44	100	0,05	0,48
Spektrum 10	0,15	1,08	2,40	27,73	0,99	0,47	0,05	63,76	0,42	2,95	100	0,04	0,43
Spektrum 11	0,47	0,58	14,45	11,57	2,68	1,91	0,36	65,75	0,11	2,11	100	0,22	0,18
Spektrum 12	0,87	0,51	2,64	27,41	1,60	0,18	0,73	64,83	0,05	1,18	100	0,04	0,42
Spektrum 13	0,41	0,71	5,14	23,43	2,31	0,47	0,39	64,25	0,16	2,73	100	0,08	0,37

Analys prov 1F

Tabell 13: Analysprotokoll, planslipsprov 1F.

Projekt#	30026519-016
Datum	27.09.2021
Prov-id	1F Planslip




Föroreningar	Inga
Grov ballast	
Typ	Granitisk gnejs, kvartsrika bergarter, sedimentära bergarter
Stenmax mm	35 mm
Kornform	Kubisk subangulär, ofta rundad
Orientering	Ingen
Fördelning	Jämn
Ballastreaktioner	Det finns mörka ringar runt några ballastpartiklar.

Sprickor >0,1 mm	
Orientering	En vertikal spricka. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.
Ytparallella sprickor	Inga fina/grova sprickor. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.
Öppna sprickor från ytan	En grövre spricka som går genom provet (provet består därför av 3 bitar).

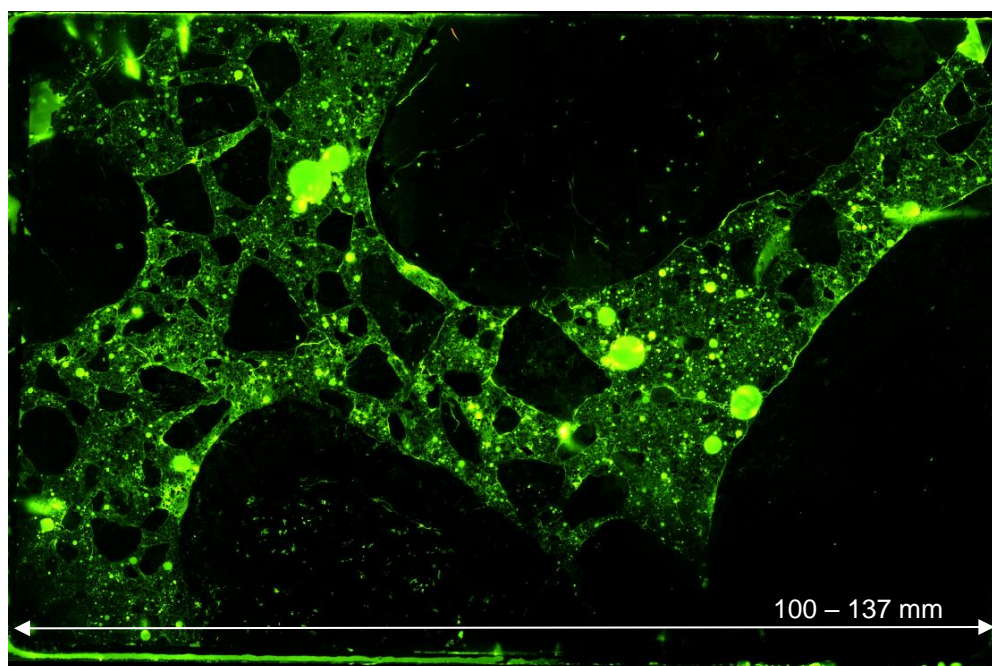
Vidhäftningssprickor >0,1mm	I samband med den grövre spricka som går genom hela provet. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.
Max sprickvidd	Sprickan som delade provet är troligen $\geq 0,1$ mm bred. Sprickbredden kan vara påverkad av provberedning.

Betongyta	
Förändrad porositet	Provet innehåller ingen fluorescensfärg
Porer	Inga fyllningar
Färgändring	Ingen
Kommentar	Lufthalt uppskattas till 1–2%

Tabell 14: Analysprotokoll, tunnslipsprov 1F.

Projekt#	30026519-016			
Datum	22.09.2021			
Prov-id	1F			
				
Ballast				
Sten (>2 mm)	Granitisk gnejs delvis glimmerförande, kvartsrika bergarter (delvis med mikrokristallin kvarts), diabas			
Sand (≤2 mm)	Kvarts, fältspat, glimmer			
Kornform	Kubisk, subangulär			
Potentiell reaktiv	Granitisk gnejs, kvartsrika bergarter (delvis med mikrokristallin kvarts)			
Sammansättning		Mängd	Punkter	Mätosäkerhet
	Cementpasta	25,9 %	266	±3 %
	Ballast (icke-reaktiv)	68,7 %	705	±3 %
	Ballast (långsamreaktiv)	3,6 %	37	±1 %
	Luft	1,8 %	18	±1 %
Sprickor				
Sprickor som är vinkelräta mot ytan	In till 1 mm			
Sprickor som är ytparallella	Några			
Vidhäftningssprickor	Några			
Max. sprickbredd	0,01 mm			

Sprickor; kvantitativ analys	Antal sprickor/mm ²
Mikrosprickor, ytparallella	0,4
Mikrosprickor, vinkelräta mot ytan	0,3
Fina och grova sprickor, ytparallella	0
Fina/grova sprickor, vinkelräta mot ytan	0
Vidhäftningssprickor	0,4
Por- och sprickfyllningar	
Pastasprickor	Inga
Vidhäftningssprickor	Inga
Helt fyllda porer	Inga
Delvis fyllda porer	Inga
Lufthalt	1,8 %
Vct-ekvivalent	0,35 ± 0,05
Karbonatiseringsdjup	Oregelbunden, fläckvis genom provet
Kommentar	Ingen porositetsförändring



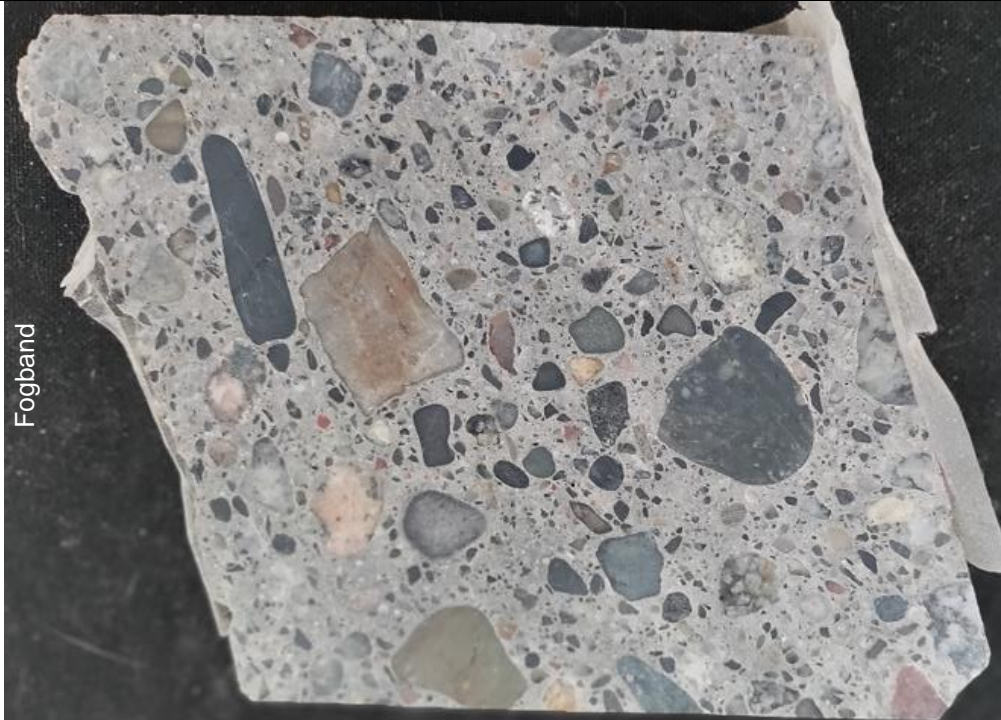
Figur 6 Bilden visar prov 1F i fluorescensljus. Luftporer och sprickor syns i ljusare grön färg.

Tabell 15: Kemisk Analys, 1F. Resultaten är i vikt-%.

100 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	1,17	0,61	5,35	29,55	1,34	0,28	1,42	58,65	0,00	1,62	100	0,09	0,50
Spektrum 2	1,83	1,66	3,36	40,66	0,78	0,09	1,28	47,73	0,76	1,85	100	0,07	0,85
Spektrum 3	2,13	0,86	3,34	24,73	1,74	0,05	1,52	64,56	0,10	0,97	100	0,05	0,38
Spektrum 4	0,76	2,68	23,13	8,33	0,10	0,32	1,09	61,52	0,48	1,60	100	0,38	0,14
Spektrum 5	1,55	1,25	5,77	26,22	1,82	0,58	1,23	60,37	0,07	1,15	100	0,10	0,43
Spektrum 6	0,55	0,65	18,22	13,58	2,33	0,95	0,84	61,62	0,47	0,79	100	0,30	0,22
Spektrum 7	1,12	1,50	18,98	22,31	0,35	0,55	1,24	51,38	0,37	2,20	100	0,37	0,43
Spektrum 8	1,41	0,77	3,02	43,67	0,91	0,19	1,34	46,85	0,74	1,09	100	0,06	0,93
Spektrum 9	1,57	0,68	4,40	23,31	1,83	0,32	1,31	65,33	0,42	0,81	100	0,07	0,36
Spektrum 10	2,04	0,42	2,73	34,20	1,24	0,00	1,99	56,83	0,07	0,47	100	0,05	0,60
Spektrum 11	1,73	2,13	4,99	39,92	1,35	0,83	1,65	46,32	0,00	1,08	100	0,11	0,86
Spektrum 12	1,62	10,73	8,17	30,60	1,58	0,53	1,72	44,61	0,09	0,36	100	0,18	0,69
Spektrum 13	1,87	0,37	4,46	36,84	1,18	0,17	1,38	53,59	0,00	0,14	100	0,08	0,69
Spektrum 14	1,09	2,95	25,14	11,58	1,02	1,30	0,86	55,04	0,62	0,41	100	0,46	0,21
105 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	0,36	0,82	4,37	24,05	2,93	0,10	0,69	64,35	0,00	2,34	100	0,07	0,37
Spektrum 2	0,51	0,56	2,51	31,68	1,28	0,25	0,45	60,68	0,18	1,89	100	0,04	0,52
Spektrum 3	0,38	0,20	2,18	29,92	1,86	0,54	0,45	63,31	0,12	1,04	100	0,03	0,47
Spektrum 4	0,71	0,44	3,34	34,15	1,24	0,62	0,99	56,26	0,32	1,93	100	0,06	0,61
Spektrum 5	0,57	0,66	2,31	28,29	2,10	0,56	0,56	63,04	0,26	1,66	100	0,04	0,45
Spektrum 6	0,35	1,81	7,22	17,24	1,01	0,21	0,32	70,50	0,09	1,25	100	0,10	0,24
Spektrum 7	0,62	0,45	2,60	32,58	1,49	0,30	0,97	59,36	0,32	1,32	100	0,04	0,55
Spektrum 8	0,51	0,42	2,43	21,73	2,80	0,93	0,67	69,56	0,02	0,93	100	0,03	0,31
120 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	0,36	0,82	1,72	30,20	0,62	0,25	0,59	63,21	0,31	1,92	100	0,03	0,48
Spektrum 2	0,25	1,42	1,69	28,79	1,02	0,25	0,20	63,59	0,36	2,44	100	0,03	0,45
Spektrum 3	0,06	0,03	22,07	1,05	0,17	0,21	0,18	75,00	0,08	1,15	100	0,29	0,01
Spektrum 4	0,32	5,38	2,73	11,79	0,93	0,50	0,34	75,42	0,32	2,28	100	0,04	0,16
Spektrum 5	0,58	0,42	4,14	22,90	1,81	0,10	1,00	65,51	0,14	3,40	100	0,06	0,35
Spektrum 6	0,52	0,42	2,87	25,56	2,35	0,93	0,75	65,26	0,00	1,34	100	0,04	0,39
Spektrum 7	0,17	0,12	18,51	1,28	2,54	0,20	0,18	72,36	0,00	4,63	100	0,26	0,02
Spektrum 8	0,55	0,37	1,80	27,87	1,43	0,58	0,76	64,85	0,02	1,75	100	0,03	0,43


Analys prov 3N

Tabell 7: Analysprotokoll, planslipsprov 3N.

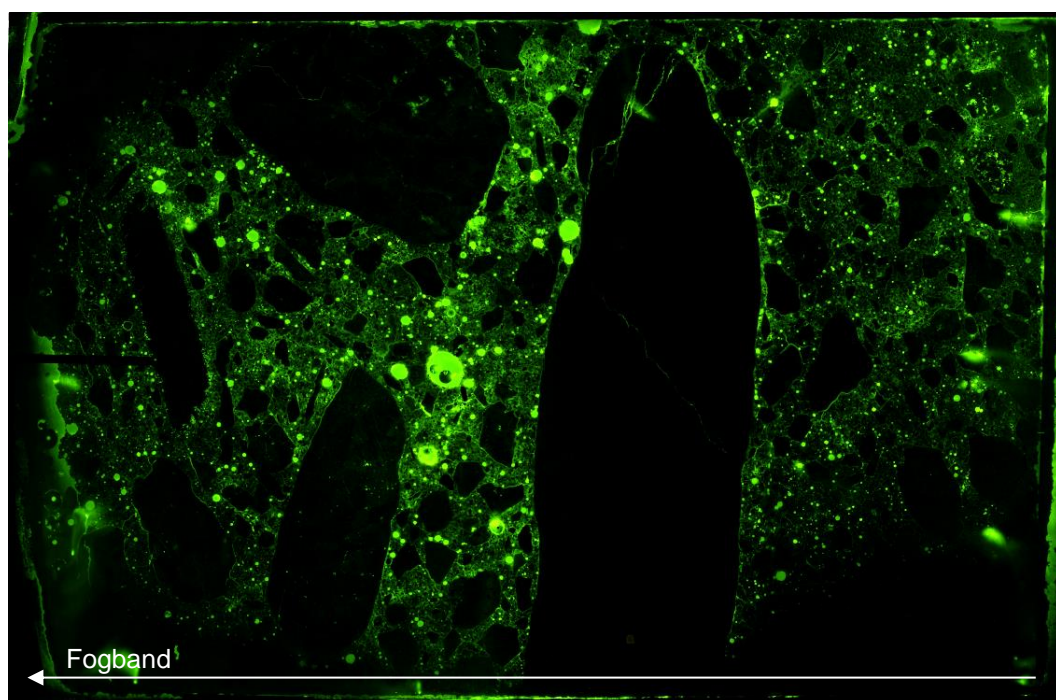
Projekt#	30026519-016
Datum	27.09.2021
Prov-id	3N Planslip
	
Föroreningar	Inga
Grov ballast	
Typ	Granitisk gnejs, kvartsrika bergarter, sedimentära bergarter
Stenmax mm	30 mm
Kornform	Kubisk subangulär, ofta rundad
Orientering	Några elongerade ballastpartiklar har en orientering som är parallell med provets yta.
Fördelning	Jämn
Ballastreaktioner	Inga
Sprickor >0,1 mm	
Orientering	Ingen
Ytparallella sprickor	Inga fina/grova sprickor. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.
Öppna sprickor från ytan	Inga fina/grova sprickor. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.
Vidhäftningssprickor >0,1mm	En vidhäftningsspricka (vid ett djup på 90–100 mm). Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se

	mikrosprickor.
Max sprickvidd	Inget >0,1 mm. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.
Betongyta	
Förändrad porositet	Provet innehåller ingen fluorescensfärg
Porer	Inga fyllningar, mestadels
Färgändring	Ingen
Kommentar	Lufthalt uppskattas till 1 %

Tabell 8: Analysprotokoll, tunnslipsprov 3N.

Projekt#	30026519-016			
Datum	22.09.2021			
Prov-id	3N			
Fogband				
Ballast				
Sten (>2 mm)	Granitisk gnejs delvis glimmerförande, kvartsrika bergarter (delvis med mikrokristallin kvarts)			
Sand (≤2 mm)	Kvarts, fältspat, glimmer			
Kornform	Kubisk delvis elongerad, subangulär			
Potentiell reaktiv	Granitisk gnejs, kvartsrika bergarter (delvis med mikrokristallin kvarts)			
Sammansättning		Mängd	Punkter	Mätosäkerhet
	Cementpasta	34,5%	352	±3 %
	Ballast (icke-reaktiv)	52,5%	535	±3 %
	Ballast (långsamreaktiv)	11,3%	115	±2 %
	Luft	1,8%	18	±1 %
Sprickor				
Sprickor som är vinkelräta mot ytan	In till 4 mm			
Sprickor som är ytparallella	Några			
Vidhäftningssprickor	Några			
Max. sprickbredd	0,01 mm			

Sprickor; kvantitativ analys	Antal sprickor/mm ²
Mikrosprickor, ytparallella	0,7
Mikrosprickor, vinkelräta mot ytan	0,4
Fina och grova sprickor, ytparallella	0
Fina/grova sprickor, vinkelräta mot ytan	0
Vidhäftningssprickor	0,3
Por- och sprickfyllningar	
Pastasprickor	Inga
Vidhäftningssprickor	Kalcit
Helt fyllda porer	Inga
Delvis fyllda porer	Portlandit
Lufthalt	1,8 %
Vct-ekvivalent	0,35 ± 0,05
Karbonatiseringsdjup	0 mm, men fläckvis i provet
Kommentar	Ingen porositetsförändring




Figur 7 Bilden visar prov 3N i fluorescensljus. Luftporer och sprickor syns i ljusare grön färg.

Tabell 9: Kemisk Analys, 3N. Resultaten är i vikt-%.

0 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	0,27	0,88	3,95	30,54	1,60	0,28	0,28	58,12	0,17	3,90	100	0,07	0,53
Spektrum 2	0,20	1,75	2,43	34,87	0,79	0,00	0,34	57,99	0,03	1,60	100	0,04	0,60
Spektrum 3	0,32	0,71	2,86	31,42	2,04	0,19	0,47	59,13	0,35	2,52	100	0,05	0,53
Spektrum 4	0,64	1,31	4,01	23,58	1,51	0,11	0,35	63,93	0,00	4,54	100	0,06	0,37
Spektrum 5	0,32	2,27	2,99	17,64	0,66	0,08	0,53	72,65	0,47	2,38	100	0,04	0,24
Spektrum 6	0,29	3,42	7,77	18,82	0,83	0,14	0,16	57,13	0,11	11,33	100	0,14	0,33
Spektrum 7	0,63	1,14	2,01	27,33	0,96	0,08	0,52	65,93	0,00	1,40	100	0,03	0,41
Spektrum 8	0,11	0,78	5,87	24,82	0,87	0,02	0,41	59,11	0,39	7,63	100	0,10	0,42
Spektrum 9	0,48	0,58	3,47	31,57	1,47	0,00	0,75	60,21	0,32	1,14	100	0,06	0,52
Spektrum 10	0,59	0,63	1,65	31,13	0,68	0,18	0,79	63,14	0,23	0,99	100	0,03	0,49
Spektrum 11	0,41	2,36	4,18	26,69	2,30	0,07	0,69	59,34	0,35	3,61	100	0,07	0,45
Spektrum 12	3,46	0,38	7,18	34,29	1,74	0,09	0,20	51,28	0,00	1,38	100	0,14	0,67
Spektrum 13	0,36	0,32	2,16	26,15	1,60	0,51	0,56	67,39	0,27	0,68	100	0,03	0,39
Spektrum 14	0,54	0,69	4,38	29,29	0,87	0,05	0,84	60,65	0,31	2,37	100	0,07	0,48
Spektrum 15	0,21	0,41	2,94	29,14	1,68	0,00	0,08	63,47	0,00	2,06	100	0,05	0,46
5 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	0,53	3,17	12,73	16,87	1,26	0,16	0,70	57,44	0,26	6,88	100	0,22	0,29
Spektrum 2	0,61	0,67	7,41	24,51	1,70	0,26	1,05	61,53	0,15	2,11	100	0,12	0,40
Spektrum 3	0,38	0,59	3,74	27,40	1,79	0,28	0,59	61,14	0,28	3,80	100	0,06	0,45
Spektrum 4	0,36	1,18	3,09	36,90	0,62	0,14	0,36	53,70	0,48	3,18	100	0,06	0,69
Spektrum 5	0,41	0,59	2,93	34,82	1,42	0,10	0,54	57,49	0,00	1,69	100	0,05	0,61
Spektrum 6	0,17	0,93	3,16	33,19	2,31	0,00	0,41	57,32	0,27	2,24	100	0,06	0,58
Spektrum 7	0,44	1,12	4,20	28,27	1,83	0,26	0,44	60,49	0,33	2,60	100	0,07	0,47
Spektrum 8	0,39	1,55	3,99	35,07	1,91	0,29	0,41	52,84	0,38	3,16	100	0,08	0,66
Spektrum 9	1,27	1,63	6,66	40,39	1,67	0,23	0,83	45,48	0,26	1,58	100	0,15	0,89
20 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	0,47	1,43	8,79	26,70	2,27	0,13	0,23	56,97	0,62	2,38	100	0,15	0,47
Spektrum 2	0,62	3,52	14,41	27,29	1,74	0,07	0,67	51,53	0,00	0,14	100	0,28	0,53
Spektrum 3	1,02	1,14	3,30	43,82	0,53	0,05	0,93	48,57	0,04	0,60	100	0,07	0,90
Spektrum 4	1,55	1,68	10,71	33,62	0,11	1,32	0,91	49,65	0,45	0,00	100	0,22	0,68
Spektrum 5	0,40	1,48	7,53	35,34	1,97	0,09	0,37	51,28	0,00	1,54	100	0,15	0,69
Spektrum 6	1,68	1,14	7,14	42,36	1,48	0,18	0,61	44,40	0,77	0,25	100	0,16	0,95

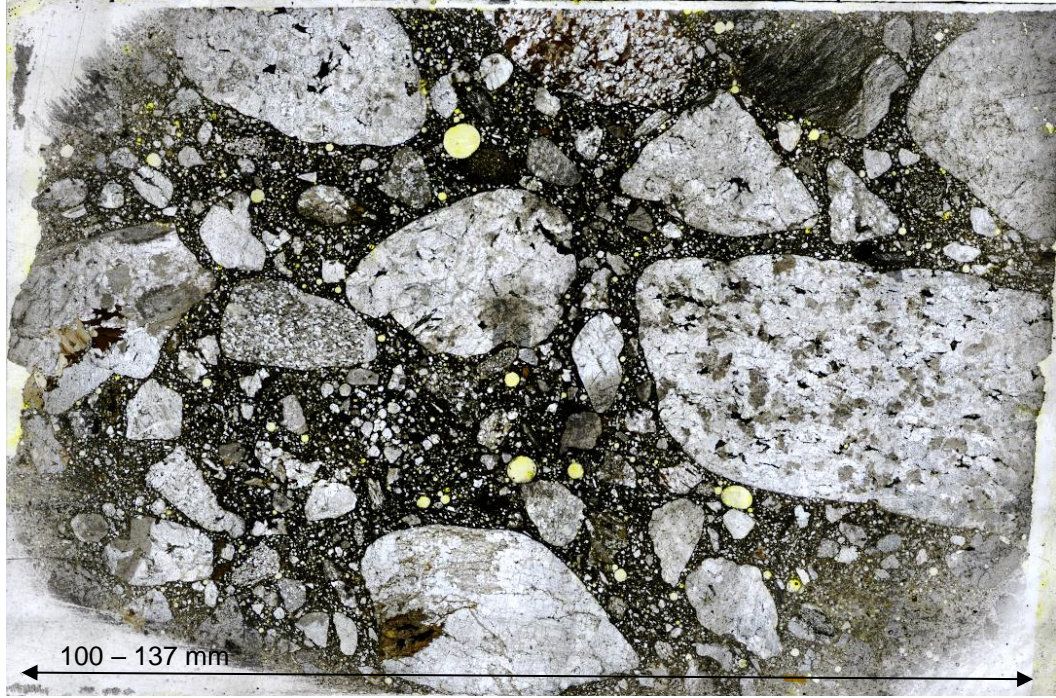
Analys prov 3F

Tabell 16: Analysprotokoll, planslipsprov 3F.

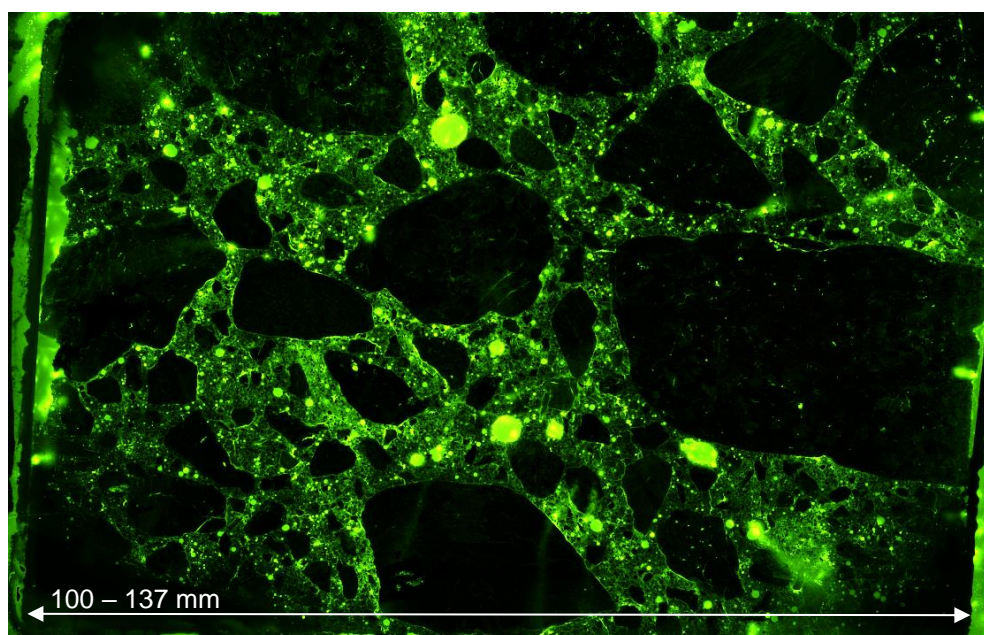
Projekt#	30026519-016
Datum	27.09.2021
Prov-id	3F Planslip
	
Föroreningar	Inga
Grov ballast	
Typ	Granitisk gnejs, kvartsrika bergarter, sedimentära bergarter
Stenmax mm	24 mm
Kornform	Kubisk subangulär, ofta rundad
Orientering	Några elongerade ballastpartiklar är orienterade; ungefär vertikal mot provets yta
Fördelning	Jämn
Ballastreaktioner	Inga
Sprickor >0,1 mm	
Orientering	Ingen. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.
Ytparallella sprickor	Inga. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.

Öppna sprickor från ytan	Inga. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.
Vidhäftningssprickor >0,1mm	Inga. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.
Max sprickvidd	Inget >0,1 mm. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.
Betongyta	
Förändrad porositet	Provet innehåller ingen fluorescensfärg.
Porer	Inga fyllningar
Färgändring	Ingen
Kommentar	Lufthalt uppskattas till 1–2 %

Tabell 17: Analysprotokoll, tunnslipsprov 3F.

Projekt#	30026519-016			
Datum	22.09.2021			
Prov-id	3F			
				
Ballast				
Sten (>2 mm)	Granitisk gnejs delvis glimmerförande, kvartsrika bergarter (delvis med mikrokristallin kvarts, delvis porfyrtextur), sandsten			
Sand (≤2 mm)	Kvarts, fältspat, glimmer			
Kornform	Subangulär delvis rundad			
Potentiell reaktiv	Granitisk gnejs, kvartsrika bergarter (delvis med mikrokristallin kvarts, delvis porfyrtextur)			
Sammansättning		Mängd	Punkter	Mätosäkerhet
	Cementpasta	28,8 %	303	±3 %
	Ballast (icke-reaktiv)	55 %	579	±3 %
	Ballast (långsamreaktiv)	15,4 %	162	±2 %
	Luft	0,9 %	9	±1 %
Sprickor				
Sprickor som är vinkelräta mot ytan	In till 1 mm			
Sprickor som är ytparallella	Några			
Vidhäftningssprickor	Några			
Max. sprickbredd	0,01 mm			

Sprickor; kvantitativ analys	Antal sprickor/mm ²
Mikrosprickor, ytparallella	0,4
Mikrosprickor, vinkelräta mot ytan	0,3
Fina och grova sprickor, ytparallella	0
Fina/grova sprickor, vinkelräta mot ytan	0
Vidhäftningssprickor	0,2
Por- och sprickfyllningar	
Pastasprickor	Inga
Vidhäftningssprickor	Inga
Helt fyllda porer	Inga
Delvis fyllda porer	Kalcit
Lufthalt	0,9 %
Vct-ekivalent	0,35 ± 0,05
Karbonatiseringsdjup	Oregelbunden, fläckvis
Kommentar	Ingen porositetsförändring
	Inga alkalisilikareaktioner




Figur 8 Bilden visar prov 3F i fluorescensljus. Luftporer och sprickor syns i ljusare grön färg.

Tabell 18: Kemisk analys; 3F. Resultaten är i vikts-%.

100 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	0,29	0,43	3,05	23,62	2,25	0,20	0,60	62,64	0,39	6,53	100	0,05	0,38
Spektrum 2	0,47	0,66	4,83	22,51	2,72	0,09	0,72	60,58	0,48	6,95	100	0,08	0,37
Spektrum 3	0,10	0,45	1,51	31,46	0,36	0,23	0,24	63,43	0,38	1,84	100	0,02	0,50
Spektrum 4	0,17	1,38	2,23	29,19	1,02	0,27	0,34	63,09	0,15	2,16	100	0,04	0,46
Spektrum 5	0,34	0,34	8,62	27,19	1,62	0,09	2,68	56,32	0,19	2,62	100	0,15	0,48
Spektrum 6	0,33	0,56	4,94	18,74	2,45	0,26	0,26	63,31	0,40	8,76	100	0,08	0,30
Spektrum 7	0,17	0,36	7,92	23,48	1,88	0,07	0,30	63,05	0,12	2,66	100	0,13	0,37
Spektrum 8	0,41	1,93	3,07	26,18	0,34	0,17	0,40	64,33	0,52	2,65	100	0,05	0,41
Spektrum 9	0,06	0,64	16,06	6,30	0,64	0,00	0,13	67,91	0,38	7,88	100	0,24	0,09
Spektrum 10	1,39	1,48	5,96	36,06	0,77	0,09	1,29	50,60	0,56	1,81	100	0,12	0,71
Spektrum 11	0,35	0,94	3,35	27,46	2,39	0,08	0,19	62,34	0,24	2,46	100	0,05	0,44
Spektrum 12	0,27	1,64	13,28	14,81	0,65	0,37	0,25	60,48	0,66	7,59	100	0,22	0,24
Spektrum 13	0,40	0,46	4,15	34,45	2,10	0,20	0,20	56,66	0,26	1,13	100	0,07	0,61
105 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	0,32	0,54	4,05	21,46	2,51	0,05	0,40	63,82	0,00	6,84	100	0,06	0,34
Spektrum 2	1,14	1,36	2,93	31,99	1,66	0,04	0,75	57,42	0,16	2,56	100	0,05	0,56
Spektrum 3	0,38	0,49	2,76	30,06	1,67	0,14	0,49	62,03	0,00	1,98	100	0,04	0,48
Spektrum 4	0,27	0,75	3,40	26,23	2,53	0,10	0,44	63,00	0,00	3,28	100	0,05	0,42
Spektrum 5	0,46	0,75	3,22	28,73	1,53	0,15	0,77	62,14	0,03	2,21	100	0,05	0,46
Spektrum 6	0,36	0,55	3,72	24,13	3,19	0,15	0,29	63,27	0,20	4,13	100	0,06	0,38
Spektrum 7	0,82	0,87	3,39	27,53	1,24	0,17	0,63	61,49	0,10	3,74	100	0,06	0,45
Spektrum 8	0,12	0,20	1,29	30,38	1,09	0,09	0,17	64,07	0,41	2,18	100	0,02	0,47
Spektrum 9	0,43	1,20	2,50	28,54	1,29	0,29	0,46	61,78	0,50	3,02	100	0,04	0,46
Spektrum 10	0,59	0,37	3,22	26,82	2,85	0,14	0,38	63,61	0,09	1,92	100	0,05	0,42
Spektrum 11	0,28	1,26	2,18	30,51	0,57	0,12	0,32	62,23	0,39	2,14	100	0,03	0,49
120 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	0,74	0,64	2,89	27,99	1,70	0,00	0,88	63,16	0,02	1,99	100	0,05	0,44
Spektrum 2	0,18	1,81	3,47	18,36	2,50	0,16	0,30	66,01	0,13	7,08	100	0,05	0,28
Spektrum 3	0,80	0,44	2,53	24,42	1,73	0,08	0,70	66,02	0,14	3,15	100	0,04	0,37
Spektrum 4	0,19	0,68	1,55	29,50	0,66	0,34	0,19	64,39	0,49	2,01	100	0,02	0,46
Spektrum 5	0,28	0,28	2,26	23,23	2,51	0,32	0,32	68,62	0,10	2,09	100	0,03	0,34
Spektrum 6	0,20	0,69	2,83	23,30	2,04	0,30	0,35	67,96	0,00	2,33	100	0,04	0,34
Spektrum 7	0,20	0,72	2,64	25,99	0,71	0,03	0,15	65,17	0,64	3,76	100	0,04	0,40
Spektrum 8	0,37	0,37	2,63	26,09	1,93	0,03	0,17	65,79	0,00	2,61	100	0,04	0,40
Spektrum 9	0,08	0,66	3,28	24,28	2,13	0,05	0,37	61,92	0,49	6,74	100	0,05	0,39
Spektrum 10	0,25	0,80	2,84	25,45	0,53	0,27	0,18	64,80	0,73	4,15	100	0,04	0,39
Spektrum 11	0,30	1,57	2,93	22,77	2,16	0,25	0,22	66,63	0,55	2,61	100	0,04	0,34
Spektrum 12	0,13	0,58	2,42	23,28	1,85	0,18	0,17	67,90	0,13	3,35	100	0,04	0,34
Spektrum 13	0,17	0,47	5,70	24,29	0,48	0,10	0,23	63,43	0,53	4,60	100	0,09	0,38


Analys prov 5N

Tabell 10: Analysprotokoll, planslipsprov 5N.

Projekt#	30026519-016
Datum	27.09.2021
Prov-id	5N Planslip
Fogband	
Föreningar	Inga
Grov ballast	
Typ	Granitisk gnejs, kvartsrika bergarter, sedimentära bergarter (delvis porös)
Stenmax mm	26 mm
Kornform	Kubisk subangulär, ofta rundad
Orientering	Ingen
Fördelning	Jämn
Ballastreaktioner	Inga
Sprickor >0,1 mm	
Orientering	Två diagonala sprickor genom provet. Därför består provet av 3 delar. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.

Ytparallella sprickor	Provet innehåller ingen fluorescensfärg
Öppna sprickor från ytan	Inga. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.
Vidhäftningssprickor >0,1mm	I samband med diagonala sprickorna. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.
Max sprickvidd	Sprickorna som delade provet är $\geq 0,1$ mm bred. Sprickbredden kan vara påverkad av provberedning.
Betongyta	
Förändrad porositet	Provet innehåller ingen fluorescensfärg.
Porer	Inga fyllningar
Färgändring	Ingen
Kommentar	Lufthalt uppskattas till 1 %
	Uppsprucken ballastpartikel

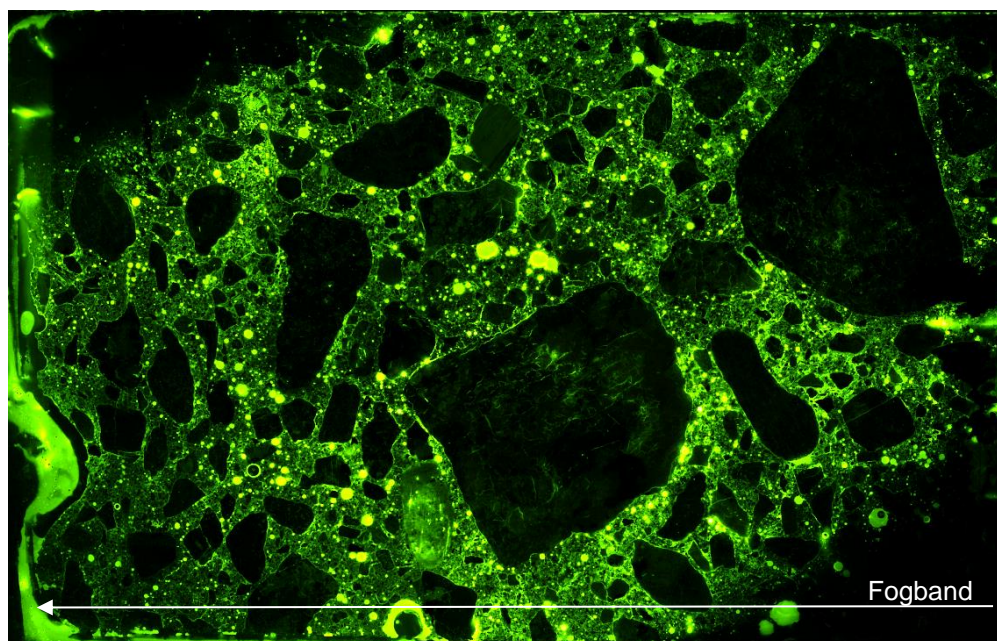
Tabell 11: Analysprotokoll, tunnslipsprov 5N.

Projekt#	30026519-016			
Datum	22.09.2021			
Prov-id	5N			
Fogband				
Ballast				
Sten (>2 mm)	Granitisk gnejs delvis glimmerförande, kvartsrika bergarter (delvis med mikrokristallin kvarts), sandsten			
Sand (≤2 mm)	Kvarts, fältspat, glimmer			
Kornform	Subangulär delvis rundad			
Potentiell reaktiv	Granitisk gnejs, kvartsrika bergarter (delvis med mikrokristallin kvarts), sandsten			
Sammansättning		Mängd	Punkter	Mätosäkerhet
	Cementpasta	32,6 %	343	±3 %
	Ballast (icke-reaktiv)	58,5 %	616	±3 %
	Ballast (långsamreaktiv)	7,2 %	76	±2 %
	Luft	1,7 %	18	±1 %
Sprickor				
Sprickor som är vinkelräta mot ytan	In till 5 mm			
Sprickor som är ytparallella	Några			
Vidhäftningssprickor	Några			
Max. sprickbredd	0,01 mm			

Sprickor; kvantitativ analys	Antal sprickor/mm ²
Mikrosprickor, ytparallella	0,5
Mikrosprickor, vinkelräta mot ytan	0,3
Fina och grova sprickor, ytparallella	0
Fina/grova sprickor, vinkelräta mot ytan	0
Vidhäftningssprickor	0,3

Por- och sprickfyllningar	
Pastasprickor	Inga
Vidhäftningssprickor	Kalcit
Helt fyllda porer	Inga
Delvis fyllda porer	Kalcit

Lufthalt	1,7 %
Vct-ekvivalent	0,35 ± 0,05
Karbonatiseringsdjup	1 mm
Kommentar	Ingen porositetsförändring




Figur 9 Bilden visar prov 5N i fluorescensljus. Luftporer och sprickor syns i ljusare grön färg.

Tabell 12: Kemisk Analys, 5N. Resultaten är i vikt-%.

0 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	1,61	1,11	4,85	30,83	0,80	0,00	1,41	56,50	0,27	2,62	100	0,09	0,55
Spektrum 2	0,60	0,91	1,99	39,78	0,53	0,24	0,14	53,22	0,40	2,18	100	0,04	0,75
Spektrum 3	0,69	1,11	3,96	36,42	1,83	0,12	1,25	51,92	0,17	2,52	100	0,08	0,70
Spektrum 4	0,58	0,68	5,31	23,83	3,93	0,20	0,26	59,75	0,38	5,08	100	0,09	0,40
Spektrum 5	0,42	0,72	2,43	30,97	1,92	0,17	0,52	61,30	0,22	1,35	100	0,04	0,51
Spektrum 6	0,62	0,72	5,98	19,99	1,24	0,27	0,68	68,17	0,32	2,02	100	0,09	0,29
Spektrum 7	0,43	0,92	5,42	27,67	1,80	0,10	1,45	58,86	0,28	3,07	100	0,09	0,47
Spektrum 8	0,96	0,64	3,11	37,24	2,39	0,05	0,77	53,59	0,03	1,22	100	0,06	0,69
Spektrum 9	0,79	0,40	2,54	33,15	1,00	0,20	0,64	61,27	0,00	0,00	100	0,04	0,54
Spektrum 10	1,11	0,18	6,11	30,55	1,66	0,10	1,09	58,67	0,22	0,30	100	0,10	0,52
Spektrum 11	1,23	0,56	4,17	33,73	0,68	0,03	0,64	58,31	0,35	0,29	100	0,07	0,58
Spektrum 12	0,35	1,14	2,85	27,91	3,23	0,25	0,45	61,78	0,22	1,82	100	0,05	0,45
Spektrum 13	0,64	0,22	2,97	18,65	4,12	0,00	0,64	71,11	0,42	1,23	100	0,04	0,26
Spektrum 14	1,44	0,91	3,62	29,72	1,44	1,13	1,08	58,16	0,22	2,30	100	0,06	0,51
5 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	0,66	0,70	2,87	29,98	1,63	0,00	0,40	60,86	0,30	2,59	100	0,05	0,49
Spektrum 2	0,57	0,43	2,43	32,40	1,73	0,15	0,77	58,80	0,17	2,55	100	0,04	0,55
Spektrum 3	0,94	0,47	2,82	33,27	1,53	0,12	0,80	55,79	0,34	3,94	100	0,05	0,60
Spektrum 4	0,67	0,67	3,04	26,17	1,63	0,11	0,80	64,52	0,29	2,10	100	0,05	0,41
Spektrum 5	0,49	0,71	2,98	33,58	2,06	0,05	0,39	58,21	0,10	1,44	100	0,05	0,58
Spektrum 6	2,00	0,62	4,35	32,36	1,70	0,08	0,77	56,52	0,00	1,60	100	0,08	0,57
Spektrum 7	0,38	6,69	4,22	25,57	2,09	0,17	0,50	56,50	0,20	3,69	100	0,07	0,45
Spektrum 8	0,50	0,81	5,45	22,91	2,87	0,19	0,50	58,12	0,37	8,26	100	0,09	0,39
Spektrum 9	0,54	1,37	1,97	28,41	0,73	0,42	0,46	65,05	0,00	1,04	100	0,03	0,44
Spektrum 10	0,65	3,94	14,20	13,30	1,25	0,16	0,35	59,80	0,27	6,08	100	0,24	0,22
Spektrum 11	0,79	0,69	3,29	28,01	1,84	0,03	0,87	59,16	0,30	5,02	100	0,06	0,47
30 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	0,63	1,21	3,41	44,53	0,46	0,23	0,81	46,54	0,18	2,01	100	0,07	0,96
Spektrum 2	0,65	0,76	3,03	13,46	2,22	0,51	0,54	76,30	0,19	2,35	100	0,04	0,18
Spektrum 3	0,61	1,00	3,52	12,16	1,95	0,08	0,80	76,00	0,18	3,71	100	0,05	0,16
Spektrum 4	0,39	1,64	4,58	27,25	1,76	0,00	0,28	54,59	0,43	9,08	100	0,08	0,50
Spektrum 5	0,41	0,41	2,45	26,70	2,25	0,21	0,46	58,68	0,29	8,14	100	0,04	0,46
Spektrum 6	0,70	0,56	2,52	37,57	0,78	0,00	0,31	54,89	0,36	2,31	100	0,05	0,68
Spektrum 7	0,95	1,40	3,02	40,03	1,35	0,03	0,57	51,33	0,05	1,28	100	0,06	0,78
Spektrum 8	0,91	1,79	3,11	33,00	2,48	0,00	0,68	56,11	0,15	1,77	100	0,06	0,59
Spektrum 9	0,49	0,44	2,58	36,00	1,14	0,05	0,56	57,45	0,15	1,14	100	0,04	0,63

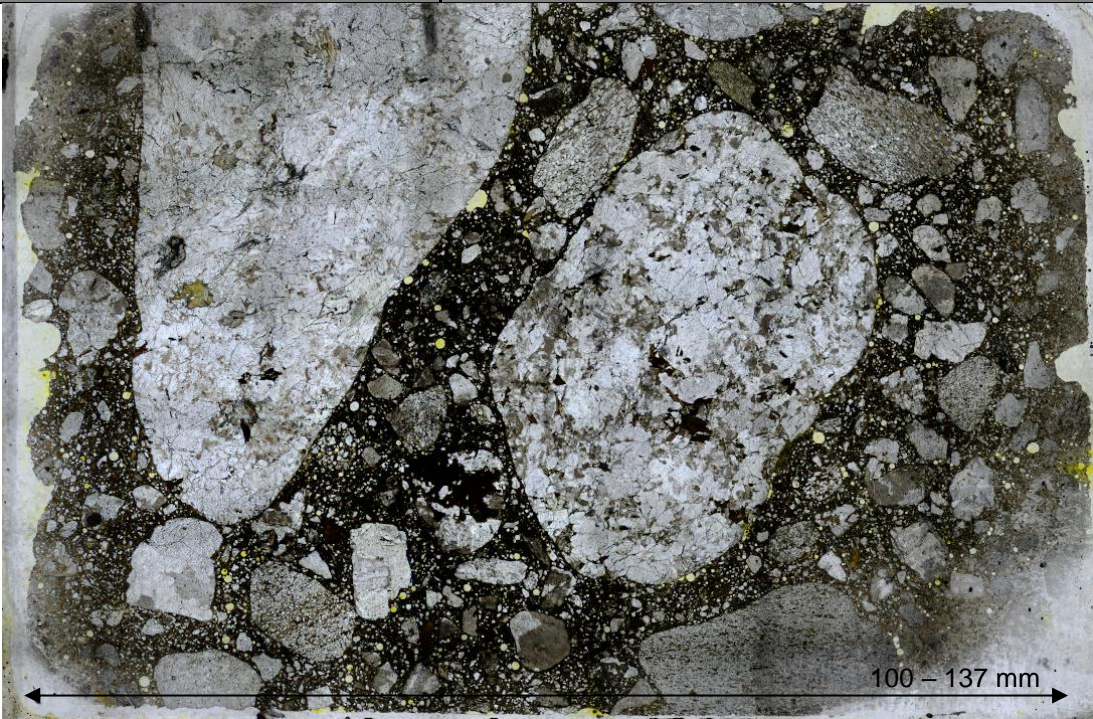
Analys prov 5F

Tabell 19: Analysprotokoll, planslipsprov 5F.

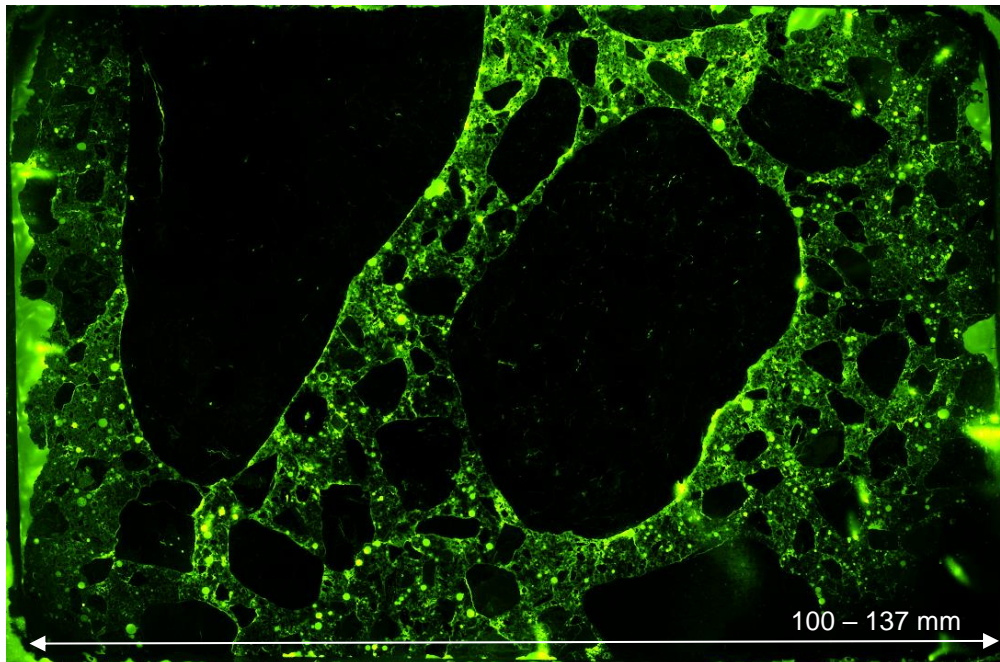
Projekt#	30026519-016
Datum	27.09.2021
Prov-id	5F Planslip
	
Föroreningar	Inga
Grov ballast	
Typ	Granitisk gnejs, kvartsrika bergarter, sedimentära bergarter
Stenmax mm	26 mm
Kornform	Kubisk subangulär, ofta rundad
Orientering	Ingen
Fördelning	Jämn
Ballastreaktioner	Inga
Sprickor >0,1 mm	
Orientering	En spricka som går diagonal genom provet. Sprickan går genom ballastpartiklar. Provet är därför delat i två delar. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.

Ytparallella sprickor	Inga. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.
Öppna sprickor från ytan	Inga. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.
Vidhäftningssprickor >0,1mm	Bara i samband med diagonala sprickan. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.
Max sprickvidd	Sprickan som delade provet är $\geq 0,1$ mm bred. Sprickbredden kan vara påverkad av provberedning. Provet innehåller ingen fluorescensfärg för att kunna se mikrosprickor.
Betongyta	
Förändrad porositet	Provet innehåller ingen fluorescensfärg
Porer	Inga fyllningar
Färgändring	Ingen
Kommentar	Lufthalt uppskattas till 1%

Tabell 20: Analysprotokoll, tunnslipsprov 5F.

Projekt#	30026519-016			
Datum	22.09.2021			
Prov-id	5F			
				
Ballast				
Sten (>2 mm)	Granitisk gnejs delvis glimmerförande, kvartsrika bergarter (delvis med mikrokristallin kvarts)			
Sand (≤2 mm)	Kvarts, fältspat, glimmer			
Kornform	Subangulär delvis rundad			
Potentiell reaktiv	Granitisk gnejs, kvartsrika bergarter (delvis med mikrokristallin kvarts)			
Sammansättning		Mängd	Punkter	Mätosäkerhet
	Cementpasta	25,9 %	269	±3 %
	Ballast (icke-reaktiv)	68 %	705	±3 %
	Ballast (långsamreaktiv)	5,1 %	53	±1 %
	Luft	1,0 %	10	±1 %
Sprickor				
Sprickor som är vinkelräta mot ytan	In till 5 mm			
Sprickor som är ytparallella	Några			
Vidhäftningssprickor	Några			

Max. sprickbredd	0,01 mm
Sprickor; kvantitativ analys	Antal sprickor/mm²
Mikrosprickor, ytparallella	0,4
Mikrosprickor, vinkelräta mot ytan	0,1
Fina och grova sprickor, ytparallella	0
Fina/grova sprickor, vinkelräta mot ytan	0
Vidhäftningssprickor	0,2
Por- och sprickfyllningar	
Pastasprickor	Inga
Vidhäftningssprickor	Kalcit
Helt fyllda porer	Inga
Delvis fyllda porer	Kalcit
Lufthalt	1,0 %
Vct-ekivalent	0,35 ± 0,05
Karbonatiseringsdjup	Oregelbunden, fläckvis, nästan genom hela provet
Kommentar	Ingen porositetsförändring



Figur 10 Bilden visar prov 5F i fluorescensljus. Luftporer och sprickor syns i ljusare grön färg.

Tabell 21: Kemisk analys av 5F. Resultaten är i vikts-% (normaliserad).

100 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	0,66	1,46	4,26	22,60	2,08	0,18	0,98	64,35	0,34	3,09	100	0,07	0,35
Spektrum 2	1,02	0,37	2,51	24,38	1,09	0,48	1,68	66,95	0,00	1,52	100	0,04	0,36
Spektrum 3	0,39	0,66	2,86	26,65	2,78	0,26	0,15	64,86	0,03	1,35	100	0,04	0,41
Spektrum 4	0,66	0,57	3,62	35,63	0,74	0,76	2,58	53,22	0,44	1,79	100	0,07	0,67
Spektrum 5	0,41	0,89	2,84	28,35	2,43	0,31	0,56	62,34	0,20	1,65	100	0,05	0,45
Spektrum 6	0,27	0,37	4,07	20,49	1,38	0,08	0,30	70,28	0,54	2,22	100	0,06	0,29
Spektrum 7	0,88	0,79	5,32	36,38	1,72	0,22	0,67	51,94	0,27	1,80	100	0,10	0,70
Spektrum 8	0,51	0,69	3,16	28,96	1,70	0,23	0,46	63,07	0,00	1,21	100	0,05	0,46
Spektrum 9	0,52	4,46	14,97	23,90	0,92	0,28	0,23	45,85	0,00	8,87	100	0,33	0,52
Spektrum 10	0,34	0,65	4,76	26,40	1,29	0,37	1,91	60,48	0,08	3,72	100	0,08	0,44
Spektrum 11	4,96	0,64	8,16	48,15	1,31	0,04	0,58	35,55	0,00	0,62	100	0,23	1,35
Spektrum 12	0,45	2,08	4,33	38,68	0,58	0,31	0,39	50,07	0,05	3,06	100	0,09	0,77
Spektrum 13	1,12	0,71	2,47	39,25	1,61	0,07	0,67	52,25	0,57	1,28	100	0,05	0,75
Spektrum 14	1,24	0,75	3,23	22,05	1,64	1,00	1,29	67,29	0,51	0,99	100	0,05	0,33
105 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	0,26	0,69	2,59	23,36	2,07	0,24	0,32	60,58	0,11	9,78	100	0,04	0,39
Spektrum 2	0,41	0,76	2,83	27,85	2,29	0,23	0,26	63,40	0,05	1,92	100	0,04	0,44
Spektrum 3	0,18	0,67	1,66	33,44	0,72	0,15	0,42	60,55	0,27	1,95	100	0,03	0,55
Spektrum 4	0,66	0,44	2,86	29,68	1,26	0,26	0,72	60,78	0,38	2,96	100	0,05	0,49
Spektrum 5	0,43	0,46	2,80	26,68	2,11	0,38	0,56	65,22	0,00	1,37	100	0,04	0,41
Spektrum 6	0,30	5,24	4,32	24,18	2,69	0,31	0,34	58,89	0,16	3,56	100	0,07	0,41
Spektrum 7	0,12	0,28	21,21	4,34	0,43	0,05	0,18	70,21	0,15	3,03	100	0,30	0,06
Spektrum 8	0,56	0,56	2,65	27,63	1,47	0,10	0,69	63,57	0,00	2,79	100	0,04	0,43
Spektrum 9	0,32	0,62	7,71	22,63	1,46	0,32	0,71	63,97	0,00	2,25	100	0,12	0,35
Spektrum 10	0,24	0,24	7,94	20,21	2,57	0,19	0,31	64,67	0,23	3,40	100	0,12	0,31
Spektrum 11	0,14	1,58	3,01	18,92	2,33	0,22	0,25	69,65	0,11	3,79	100	0,04	0,27
Spektrum 12	0,66	0,59	4,00	26,48	2,27	0,33	0,86	62,71	0,15	1,94	100	0,06	0,42
Spektrum 13	0,42	0,88	2,14	32,18	1,35	0,27	0,45	59,70	0,55	2,07	100	0,04	0,54
Spektrum 14	0,30	1,74	5,38	17,61	1,85	0,33	0,21	61,50	1,58	9,49	100	0,09	0,29
Spektrum 15	0,47	0,10	2,76	25,92	2,37	0,18	0,60	66,09	0,11	1,40	100	0,04	0,39
120 mm	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Total	Al/Ca	Si/Ca
Spektrum 1	0,13	0,29	4,57	18,27	2,78	0,19	0,32	68,04	0,05	5,38	100	0,07	0,27
Spektrum 2	5,61	0,22	9,05	36,77	1,36	0,07	0,40	44,85	0,05	1,62	100	0,20	0,82
Spektrum 3	0,42	0,60	3,12	26,15	1,02	0,26	0,42	62,26	0,49	5,26	100	0,05	0,42
Spektrum 4	0,29	0,14	2,85	21,50	2,62	0,19	0,61	69,65	0,19	1,97	100	0,04	0,31
Spektrum 5	0,36	3,94	3,25	24,47	0,87	0,16	0,74	62,11	0,44	3,67	100	0,05	0,39
Spektrum 6	0,25	1,19	3,55	22,04	0,92	0,29	0,19	64,14	0,48	6,94	100	0,06	0,34
Spektrum 7	0,34	0,23	2,25	26,87	1,95	0,33	0,60	64,57	0,28	2,59	100	0,03	0,42
Spektrum 8	0,24	0,23	1,65	13,67	1,73	0,23	0,38	80,35	0,00	1,51	100	0,02	0,17
Spektrum 9	0,29	0,33	2,86	26,64	2,52	0,31	0,38	64,77	0,03	1,87	100	0,04	0,41
Spektrum 10	0,26	0,63	2,72	26,84	0,89	0,18	0,49	62,90	0,45	4,63	100	0,04	0,43
Spektrum 11	3,97	0,28	9,21	39,13	1,05	0,19	0,65	43,90	0,17	1,45	100	0,21	0,89
Spektrum 12	0,23	2,30	2,04	26,06	1,13	0,11	0,29	65,19	0,26	2,38	100	0,03	0,40

3 Slutsats

Resultaten visar att antalet mikrosprickor och vidhäftningssprickor är förhöjda i samtliga prov. Antalet sprickor är högre i prov 1N, 3N och 5N än i prov 1F, 3F och 5F. I alla prov finns något fler ytparallella sprickor än vertikala. Det finns några sprickor i planslip 1F, 3N, 5N och 5F som har delat proverna. Dessa sprickor går delvis genom ballastpartiklar.

Lufthalten varierar mellan 0,9 % (prov 3F) och 2,9 % (prov 1N). Detta betyder att samtliga prov (1N, 3N, 5N, 1F, 3F och 5F) har en begränsad frostbeständighet och risken för frostsador är hög. Mikrosprickorna som observerades i alla prov bedöms därmed vara orsakade av frost. I planslipsprov finns en sedimentär ballastpartikel som är porös och uppsprucken. Porösa ballastpartiklar är frostkänslig och kan orsaka sprickbildning. Sprickorna som syns i planslipsproverna och går genom ballastpartiklarna kan vara orsakade av frost, men är troligen uppkommit av annan orsak.

Utförd kemiska analys visar att förhållandet av Si/Ca är förhöjt ($>0,35$) på olika djup i prov 1F, 3N, 3F, 5N, 5F och delvis 1N. Detta betyder att cementpastan i nämnda proverna är urlakade, se figur 1.

Alla prover visar en oregelbunden karbonatisering i hela provet. Karbonatiseringen följer luftporer, vidhäftningszoner mellan cementpasta och ballastpartiklar samt sprickor. Karbonatiseringen medför att pH-värdet i cementpastans porlösning troligen är sänkt och betongens armeringsskyddande egenskaper är försämrade i dessa områden.

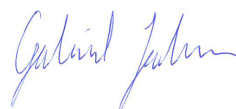
Mängden potentiellt reaktiva ballastpartiklar beräknades och resultatet varierar mellan 3,6 % och 15,4 %. Bara prov 3F med 15,4 % ligger över gränsvärdet som är 15 %. Mängden potentiellt reaktiv ballast i nämnda provet är högt på grund av några större ballastpartiklar som är belägna mitt i provet. Samma typ av potentiellt reaktiva ballastpartiklar finns också i alla andra prov. Mängden potentiellt reaktiva ballastpartiklar bedöms därför som lokalt för högt. Risk för allvarliga skador på grund av ASR betraktas som lågt i samtliga prov. Det finns mörka ringar runt några ballastpartiklar i prov 1F som kan tyda på en pågående alkalisilikareaktion. Ingen alkalisilikagel eller uppspruckna ballastpartiklar som är potentiellt reaktiva observerades dock i något av de undersökta proven.

Några elongerade ballastpartiklar i prov 3N och 3F är parallell orienterade mot varandra. Detta fenomen kan tyda på komplikationer i samband med gjutningen.



Birgit Fredrich

Betongpetrograf, Geolog M.Sc.



Gabriel Johansson

Betongspecialist, M.Sc.

BETONG VID DILATATIONSFOGAR

I betongdamms- och kraftverkskonstruktioner förekommer dilatationsfogar (rörelsefogar). Om fogarna befinner sig i vattentäta konstruktioner skall fogen utformas så att dessa uppfyller sin funktion av att vara täta eller täta samt flexibla. En felaktigt utformad eller ej fungerande fog kan äventyra delar eller hela damm- och kraftverkskonstruktionens funktion och säkerhet genom sprickbildning och/eller skador.

Dilatationsfogen som studerades i projektet är en mer eller mindre horisontell fog i ett skibord och inte utsatt för vatten på samma sätt som en vertikal rörelsefog mellan två monoliter i dämmande funktion av vattnet. Vattnets verkan på dessa två huvudsakliga typer av rörelsefogar har med all sannolikhet olika påverkanssätt.

Några av resultaten visar att förhållandet mellan cementpastan och ballasten är något högre i de provbitar som ligger direkt mot fogbandsytan. Detta kan tyda på någon form av separationsprocess, t.ex. bruksseparation, har skett vid gjutningen. Det föreligger även ett förhöjt antal sprickor, både mikro och vidhäftnings-sprickor i det studerade materialet. Det kan bero på frostsador.

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