

DOKUMENTATION AV TUNNELRAS I UTLOPPSTUNNEL

RAPPORT 2023:950



 VATTENKRAFT

VATTENKRAFTENS BERGFRÅGOR



Dokumentation av tunnelras i utloppstunnel

Erfarenheter från åtgärder i samband med utförande av
reparation

ALEXANDRA ÅLENIUS, STEFAN WELLERSHAUS,
JILL HOLMBERG, PATRICK HANSSON

ISBN 978-91-7673-950-1 | © Energiforsk juni 2023

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

Förord

Vattenfyllda utloppstunnlar i berg förekommer vid många vattenkraftanläggningar i Sverige. Dessa är svåra att inspektera och många har därför aldrig inspekterats. 2020 inträffade ett ras i en utloppstunnel vid ett vattenkraftverk i södra Sverige. I den här rapporten har erfarenheter från tunnelraset sammanställts i syfte att öka kunskapen om vilka riskfaktorer som kan leda till ras och vilka frågeställningar som kan uppstå när ett ras inträffar.

Projektet Dokumentation av tunnelras i utloppstunnel har utförts av Alexandra Ålenius, Stefan Wellershaus, Jill Holmberg och Patrick Hansson, konsulter med expertis inom bergfrågor på Sweco Energy AB. Projektet har finansierats av Energiforsk genom FoU-programmet Vattenkraftens bergfrågor, etapp 2020–2022. Vattenkraftens bergfrågor syftar till att ta fram verktyg, riktlinjer, utförandebeskrivningar och ny teknik så att förvaltningsåtgärder och investeringar kan genomföras kostnadseffektivt vid rätt tidpunkt och med rätt utförande. Programmets intressenter är Vattenfall, Fortum, Uniper/Sydkraft Hydropower, Statkraft, Skellefteå Kraft, Jämtkraft och Karlstads Energi. Projektets referensgrupp har utgjorts av programmets styrgrupp.

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Rapportförfattarna ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Under 2020 inträffade ett ras i en utloppstunnel ca 160 meter nedströms den underjordiska kraftstationen vid ett vattenkraftverk i södra Sverige. Raset omfattande en cirka 12 m lång sträcka av tunneln, krävde omfattande reparationsåtgärder och resulterade i ett totalt driftstopp på 21 månader.

Raset bedömdes bero på svällande material i berget och inträffade omkring trettio år efter idrifttagande av anläggningen. Reparationsåtgärder utfördes för att på ett säkert sätt lasta ut rasmassor, återställa tunneln till operativt skick samt säkerställa tunnelns långsiktiga stabilitet. Åtgärderna omfattade installation av rörspiling samt en betonginklädning i och på ömsom sidor av raset efter utlastning av rasmassor. För att erhålla en bättre bild av de geologiska förutsättningarna på plats utfördes bland annat sonderingsborrningar och uttag av borrhärdor från tunneln samt geofysiska undersökningar från markytan.

Utloppstunnlar i berg är förekommande också vid många andra vattenkraftsanläggningar i Sverige. Dessa är i likhet med den studerade utloppstunneln till stor del helt vattenfyllda och har varit så sedan de byggdes. De är således svåra att inspektera och många har inte blivit inspekterade sedan kraftverkens idrifttagning. Det finns därför en osäkerhet kring tunnarnas beständighet och långsiktiga funktion.

Historiskt har drifterfarenheterna varit i huvudsak mycket goda och endast ett fåtal fall av ras och incidenter i vattenkraftstunnlar finns redovisade i litteraturen. Syftet med denna rapport är att sammanställa erfarenheter även från detta fall. På så sätt kan man öka kännedomen ytterligare dels gällande vilka mekanismer och processer under drifttiden, såsom svällningsegenskaper i berget och degenerering av förstärkningar som potentiellt kan leda till eskalerande ras, dels vilka problemställningar som kan uppstå i samband med ett ras. Sådana problemställningar inbegriper till exempel tillstånd och markåtkomst samt lämpliga undersöknings- och reparationsmetoder.

Nyckelord

Vattenkraft, tunnel, utloppstunnel, ras, reparation, erfarenhet

Summary

During 2020 a failure occurred in the tailrace tunnel of a hydropower scheme in the south of Sweden. The failure that occurred approximately 160 m downstream the powerhouse was 12 m long and demanded extensive reparatory works which resulted in a total stop of 21 months.

The collapse was assessed to be due to swelling clay in the rock and occurred approximately thirty years after the commissioning of the hydropower plant. Repair measures to safely remove debris and ensure the long-term stability of the tunnel included the installation of a pipe canopy/umbrella and a concrete lining in and on either side of the collapse after unloading the debris. To get a better understanding of the geological conditions on site, probe drilling and drilling of core samples from the tunnel were carried out, as well as geophysical surveys from the ground surface.

Tailrace tunnels in rock are also found at many other hydropower plants in Sweden. These, like the studied tailrace tunnel, are often completely water-filled and have been so since they were built. They are thus difficult to inspect and the majority of them have not been inspected since the power plants were put into operation. There is therefore an uncertainty about the reliability and long-term functioning of tailrace tunnels.

Historically, the operating experiences have been largely very good and only a few cases of failures and incidents in hydroelectric tunnels in Sweden are reported in the literature. The purpose of this report is to compile experience from this case as well, to further raise awareness of the mechanisms and processes during the period of operation, such as time dependent characteristics of the rock mass and degenerating of tunnel reinforcement that could potentially lead to collapse, and also what problems that may arise in connection with a failure and repair works, such as permits and land access, and appropriate survey and repair methods.

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Syfte och mål	8
1.3	Rapportens upplägg	8
1.4	Avgränsningar	8
2	Orientering	9
2.1	Hylte vattenkraftverk	9
2.2	Utloppstunneln	10
3	Sammanfattad beskrivning och kronologi för händelser	13
3.1	Raset upptäcks	13
3.2	Tidiga/förberedande åtgärder	14
3.3	Tillfart till utloppstunneln	16
3.4	Utloppstunnel fram till rasområdet	22
3.5	Undersökning av rasområdet	23
3.6	Utlastning av rasmassor och förstärkning av rasområdet	24
3.6.1	Studerade metoder för att stabilisera rasområdet	24
3.6.2	Dimensionering och installation av temporär förstärkning	26
3.6.3	Permanent förstärkning	34
3.7	Återfyllning av tunnel och rivning av fångdamm	36
4	Geologiska förutsättningar vid rasområdet	37
4.1	Genomgång av kartmaterial från SGU	37
4.2	Arkiverat material	37
4.3	Undersökningar utförda i samband med reparationsåtgärder	42
4.3.1	Kärnbörning och kartering av borrhärdar	42
4.3.2	Geofysiska undersökningar – resistivitetsmätningar	42
4.3.3	Grundvatten	43
4.4	Potentiella rasorsaker	43
5	Sammanställning av erfarenheter	45
5.1	Från byggtiden	45
5.2	Från drifttiden	45
5.3	Från reparationstiden	46
5.4	Erfarenhetsåterföringsmöte	47
6	Referenslista	49

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Under 2020 inträffade ett ras i en utloppstunnel ca 160 meter nedströms den underjordiska kraftstationen vid ett vattenkraftverk i södra Sverige, se Figur 1 1. Raset omfattande en cirka 12 m lång sträcka av tunneln och krävde omfattande reparationsåtgärder. Raset resulterade i ett totalt driftstopp på 21 månader.



Figur 1-1 Aktuell tunnelsektion före och efter utlastning av rasmassor

Utloppstunnlar i berg är förekommande också vid många andra vattenkraftsanläggningar i Sverige. Dessa är i likhet med den studerade utloppstunneln till stor del helt vattenfyllda och har varit så sedan de byggdes. De är således svåra att inspektera och många har inte blivit inspekterade sedan kraftverkens idrifttagning. Det finns därför en osäkerhet kring tunnlarnas beständighet och långsiktiga funktion.

Historiskt har drifterfarenheterna varit i huvudsak mycket goda. En översiktlig litteraturstudie visar att endast ett fåtal fall av ras och incidenter i vattenkraftstunnlar finns redovisade i litteraturen. Kända svenska fall omfattar bland annat ras i tillloppstunneln vid Tåsan kraftverk (Håkansson, 2013), (Sundell, 1994) utloppstunneln vid Norränge kraftverk (Draganovic & Johansson, 2010), (Heiner & Stille, 1990), (Håkansson, 2013), tillloppstunneln vid Stensjöfallets kraftverk (Håkansson, 2013), (Sundquist, 1972) samt utloppstunneln vid Gidböle kraftverk (Draganovic & Johansson, 2010), (Hultman, et al., 1993).

En sammanställning av erfarenheterna även från detta fall kan bidra till utökad kännedom gällande vilka mekanismer och processer under drifttiden som kan ha inverkan på tunnlarnas långsiktiga stabilitet. Som exempel kan nämnas degradering av förstärkningar samt förekomst av lera med svällande egenskaper. En sammanställning av erfarenheter kan även bidra till ökad kännedom avseende vilka problemställningar som kan uppstå i samband med ett ras såsom till exempel

frågor avseende tillstånd och markåtkomst samt lämpliga undersöknings- och reparationsmetoder i rasområdet.

1.2 SYFTE OCH MÅL

Denna rapport har upprättats av Sweco på initiativ av Energiforsks FoU-program Vattenkraftens bergfrågor. Syftet med rapporten är att dokumentera erfarenheter från det aktuella tunnelraset. Erfarenheterna omfattar hela perioden från det att raset upptäcktes till dess att stationen åter tagits i drift.

Målsättningen med rapporten är att den ska kunna utgöra en erfarenhetsåterföring till olika intressenter som ställs inför liknande situationer. Detta omfattar såväl anläggningsägare som konsulter och entreprenörer.

1.3 RAPPORTENS UPPLÄGG

En översiktlig orientering av anläggningen baserat på dokumentation från byggtiden samt på nya observationer och undersökningar som utförts i samband med reparation av raset ges i Kapitel 2. En sammanfattande beskrivning och kronologi av händelser med koppling till raset samt studerade och tillämpade reparationsmetoder redovisas i Kapitel 3. I Kapitel 4 beskrivs de geologiska förutsättningarna och potentiella orsaker till raset diskuteras. Slutligen sammanfattas erfarenheter i Kapitel 5.

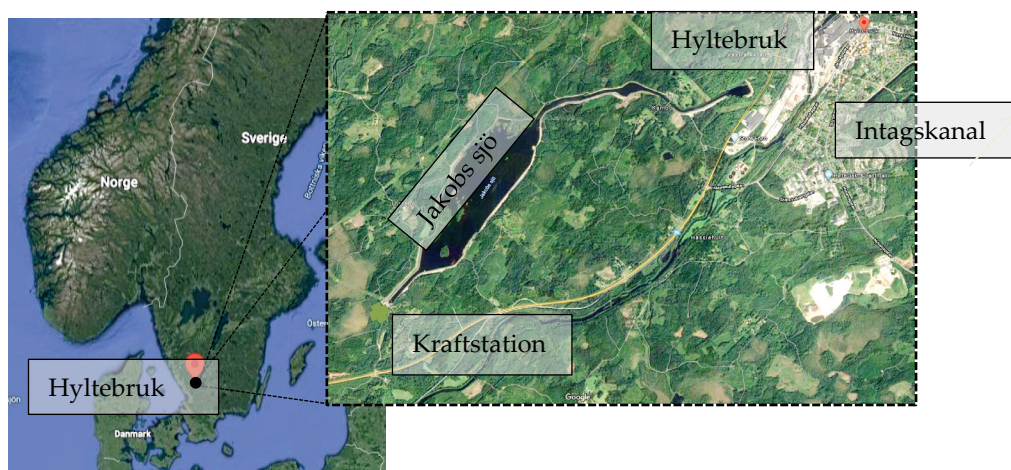
1.4 AVGRÄNSNINGAR

Denna rapport är inte ett design- eller konstruktionsdokument och beskriver således ej närmare hur detaljprojektering av olika åtgärder utförts.

2 Orientering

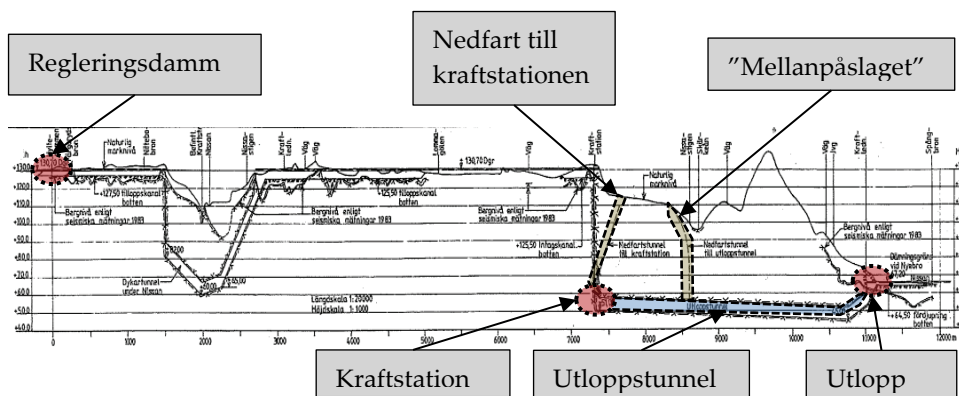
2.1 HYLTE VATTENKRAFTVERK

Hylte vattenkraftverk är beläget i Nissan mellan Hyltebruk och Rydöbruk, ca 6,5 mil från Halmstad längs Nissastigen. Kraftverkets läge framgår av Figur 2-1. Kraftverket togs i drift vid årsskiftet 1989 - 1990 och anläggningen ersatte två befintliga kraftverk byggda ca 70 år innan det nya kraftverket togs i drift. Berganläggningen byggdes i samband med det nya kraftverket. Projektet drevs av Sydkraft och byggnadsentreprenör var konsortiet Kraftverksbyggarna NCC/SIAB (Didriksson, et al., 1989). Anläggningen ägdes av Sydkraft fram till att det förvärvades av Statkraft år 2009.



Figur 2-1 Hylte kraftverk samt Hyltebruk (GOOGLE MAPS)

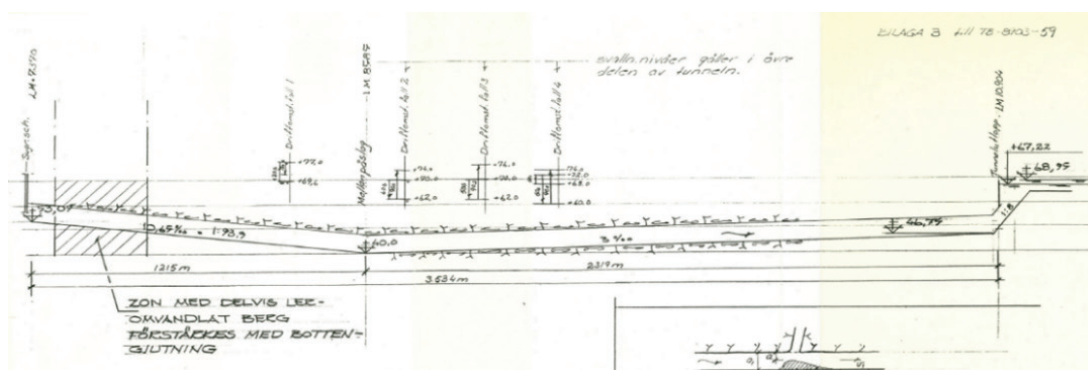
Vattenkraftsanläggningen består av en regleringsdamm som ansluter via kanaler och en tunnel, den så kallade dykartunneln under det närliggande samhället, till den konstgjorda sjön Jakobs sjö, se Figur 2-2. Härifrån förbinder ett vertikalt schakt Jakobs sjö med kraftstationen. Kraftstationen ligger nedsprängd 70 meter under mark och har 2 kaplanturbiner med en sammanlagd effekt av 26 MW. Utbyggnadsvattenföringen uppgår till 50 m³/s och fallhöjden är 63 m. Från kraftstationen går en utloppstunnel ner till Nissan vid Rydöbruk.



Figur 2-2 Längdprofil Hylte kraftverk

2.2 UTLOPPSTUNNELN

Utloppstunneln har en längd av 3 550 m och den teoretiska arean är ca 45 m². Enligt ritningar från byggtiden (dvs. slutet av 80-talet) har tunneln en lågpunkt cirka 1 215 m från sugrörsschaktet där den arbetstunnel som användes under byggtiden, det så kallade mellanpåslaget, ansluter, se Figur 2-3.

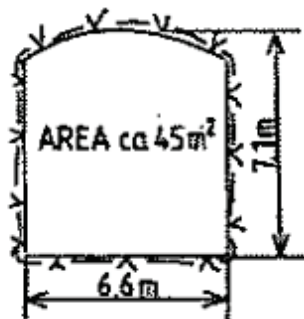


Figur 2-3 Längdprofil utloppstunnel

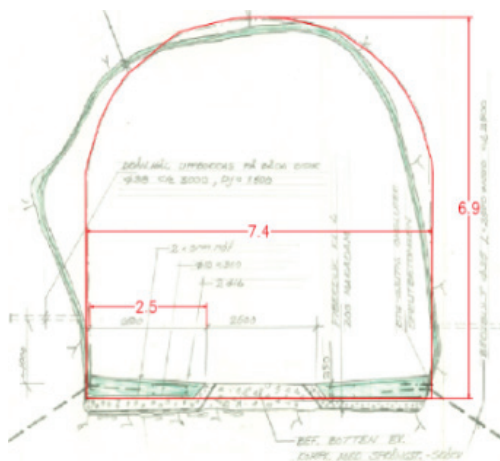
Arbetet med att driva utloppstunneln påbörjades i augusti 1987 samtidigt med nedfarten till kraftstationen (Didriksson, et al., 1989). Utloppstunneln drevs via det excentriskt placerade mellanpåslaget vilket medgav tvåfrontsdrift av ca 2,6 km tunnel samt enkelfrontsdrift av ca 1 km tunnel.

Inga måttritningar från byggtiden som visar tunnelns tvärsnitt har hittats men en sektion av tunneln vid längdmätning LM 2+000 m (dykartunnel) samt LM 8+000 m (utloppstunnel) redovisas på en översiktsritning av anläggningen. Under berganläggningens anläggande utgjordes längdmätningens nollpunkt av regleringsdammen. Enligt översiktsritningen uppgår tunnelns bredd till 6,6 m medan höjden från botten till hjässa uppgår till 7,1 m, se Figur 2-4. Vidare så redovisas en ej måttsatt sektion på en förstärkningsritning, se Figur 2-5, där tunnelns teoretiska bredd uppskattas till 7,4 m medan höjden uppgår till ca 6,9 m. De angivna måtten stämmer relativt väl överens med de mått som erhållits från de

inmätningar och inskanningar av tunneln som utförts i samband med reparationsåtgärderna.

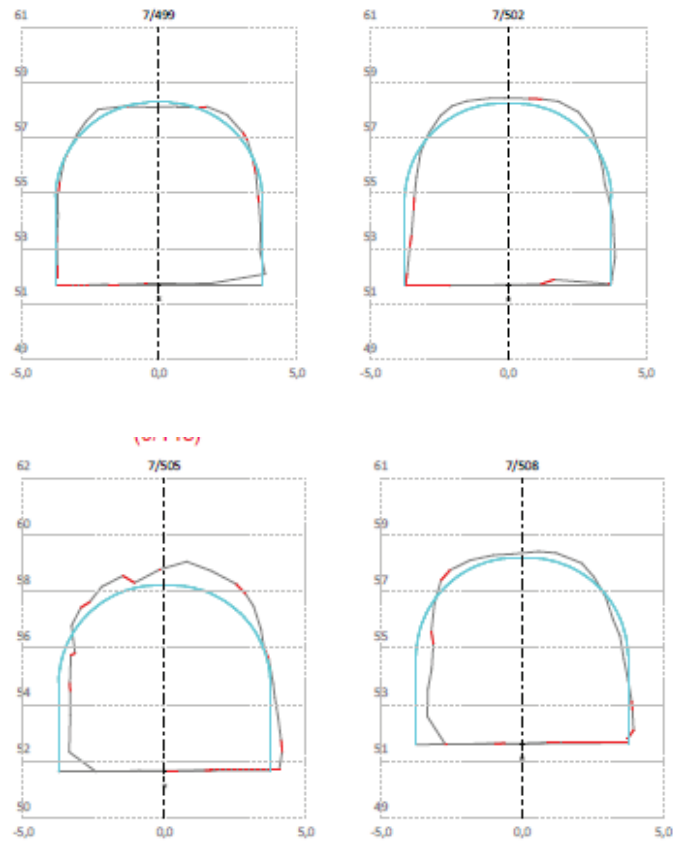


Figur 2-4 Sektion av tunneln vid längdmätning 2 000 m (dykartunnel) och 8 000 m (utloppstunnel) enligt översiktsritning från byggtiden (ej relationshandling)



Figur 2-5 Tvärsektion av utloppstunneln enligt Bilaga 1 till TB-8903-59 där teoretisk profil (röd markering) och faktiskt utfall kan observeras för okänd sektion.

I Figur 2-5 kan observeras att faktiskt utfall avviker något från teoretiskt tvärsnitt för redovisad (okänd) sektion. Både utfall och intrång mot teoretisk profil förekommer. Avvikelser mellan teoretiskt tvärsnitt och faktiskt utfall är också något som kunnat observeras i tunneln i samband med utförande av reparationsåtgärderna, se exempel i Figur 2-6. Dessa avvikelser tros i huvudsak bero på svårigheter att innehålla teoretisk profil vid anläggande av tunneln på grund av de geologiska förhållandena på plats.



Figur 2-6 Exempel på jämförelse mellan teoretisk (ljusblå) och uppmätt (svart) tvärsektion i tunneln (efter installation av ny förstärkning)

3 Sammanfattad beskrivning och kronologi för händelser

3.1 RASET UPPTÄCKS

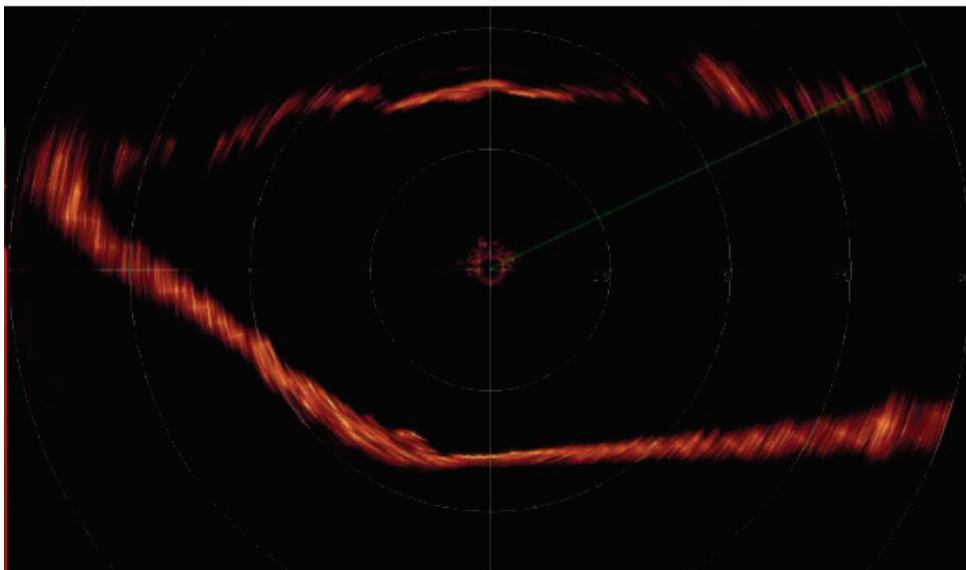
Vid tillsyn av kraftstation den 8 juni 2020 uppmärksammade driftpersonal att nedströmsvattenyta var onormalt hög och man hörde också att det "skvalade" ovanligt mycket i stationen. Driftcentralen kontaktades och kraftstationen stoppades då det misstänktes att det var ett stopp i utloppstunneln till följd av ett ras som orsakade den onormalt höga vattennivån.

I syfte att lokalisera ett eventuellt ras utfördes en inspektion med ROV (Remote Operated Vehicle). Inspektionen utfördes av Svensk Sjöentreprenad i Malmö AB (SSE AB) tillsammans med underentreprenör Ocean Modules i Åtvidaberg. Utrustningen som användes var en ROV V8Si med en Blueview sonar, en Tritech Superseaking sonar, 1 manipulator och en Typhoon färgvideokamera (SSE-AB, 2020).

Inspektionen påbörjades kvällen den 11 juni 2020 vid tunnelns utlopp. Dykningen varade i ca sex timmar och 1 900 meter av tunneln undersöktes utan att något ras lokaliserades (SSE, 2020). Nästa dyk utfördes den 12 juni 2020 från kraftstationen. Sugrörets luckschakt användes som sjösättningsplats och undersökningen utfördes i riktning nedströms.

Efter 160 m påträffades stoppet, se Figur 3-1 och Figur 3-2, vilket i SSE:s dokumentation från undersökningar beskrivs så här:

Tunneln är tilltäppt med vad som verkar vara sprängsten i fallande fraktion och har en släntlutning på ungefär 45°. Massorna går helt upp till taket. Det syns inga större utfall från själva tunneltaket (taknivån går inte märkbart uppåt här) utan det kan i så fall röra sig om mindre ras.



Figur 3-1 Sonarbild profil vid stopp, nedströmssida till höger, skala i meter, centrum i sonaren (SSE, 2020)



Figur 3-2 Bild på avlagrat material vid stopp (Bild SSE AB)

3.2 TIDIGA/FÖRBEREDANDE ÅTGÄRDER

NCC anlitas för att utföra förberedande åtgärder. De befann sig i de avslutande skedena av ett projekt gällande dammsäkerhetshöjande åtgärder på anläggningens

ovanjordsdelar (regleringsdamm och utskov) och var redan etablerade i närområdet. Förberedande åtgärder omfattade tillfartsvägar, en fångdamm vid utloppstunnelns utlopp samt tömning av tunneln på vatten. Samtidigt togs kontakt med berörda markägare samt Länsstyrelsen i Hallands län för frågor gällande markåtkomst för vägar och massupplag samt tillstånd för vattenverksamhet.

Vattenytan vid tunnelns utlopp ligger under nivån för anslutande vattendrag, se Figur 3-3. Detta innebär att tunneln alltid är vattenfylld i sin helhet. För att kunna tömma tunneln och nå området där raset inträffat anlades en fångdamm i utloppskanalen vid tunnelutloppet för att avskärma tunneln från Nissan. Då fångdammen anlades inom området där dammägaren redan innehar tillstånd för vattenverksamhet behövdes inget ytterligare tillstånd för fångdammen.



Figur 3-3 Utloppstunnelns mynning sedd från utloppskanalen (foto SWECO)

Sweco projekterade fångdammen som dimensionerades baserat på stabilitetskrav för dammsäkerhetsklass B och en flödessituation med $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$. Detta då arbete skulle pågå bakom dammen. Fångdammen anlades under juli-augusti 2021. För att förhindra spridning av grumlat vatten användes en siltgardin som avskärmade arbetsområdet i vattnet mot Nissan. Grumlingsmätning utfördes i vattendraget utanför siltgardinen.

Botten renades från sediment och organiskt material. Utloppskanalens slänter, som bestod av ordnad stenbeklädnad, revs upp för att erhålla god tätning av fångdammens anslutningar mot naturlig mark. Fångdammen byggdes i vatten som en morändamm av överskottsmassor från dammbygget i Hylte. Då moränen kom att svälla i vattnet blev dammens bottenbredd betydligt bredare och slänterna flackare än föreskrivit. Slänterna kläddes med övergångslager och erosionsskydd.

I samband med färdigställande av fångdammen och länsumpning av tunneln upptäcktes att inläckaget av grundvatten i tunneln var så stort att vattennivån på insidan om fångdammen började stiga. För att inte överströmma dammen anlades ett mindre dike i fångdammens krön för att jämna ut vattennivåerna till dess att arbetet med att pumpa ut vattnet från tunneln påbörjats. Det tog ca 3 veckor att nå en nivå som motsvarade 2 m under raset vilket gav en tillräcklig god marginal för arbete i torrhet. Länsumpning pågick därefter under hela projektet för att hålla vattenytan på rätt nivå.



Figur 3-4 Fångdammen vid utloppskanalens utlopp (foto SWEKO)

3.3 TILLFART TILL UTLOPPSTUNNELN

För att kunna nå in till rasområdet och utföra nödvändiga åtgärder var det nödvändigt att etablera en tillfartsväg fram till raset samt att säkerställa en säker arbetsmiljö i denna. Möjliga tillfarter som studerades var tunnelns utlopp, det så kallade mellanpåslaget som ansluter till utloppstunneln cirka 1200 m nedströms om kraftstationen och svalltunneln som ansluter till utloppstunneln strax nedströms om kraftstationen, se Figur 3-5.



Figur 3-5 Flygfoto över mellanpåslaget efter röjning (foto Ängelholms Geodesi).

På grund av rasets läge, skulle tillfart via utloppet ge en drygt 2 km lång väg fram till rasområdet. Detta långa avstånd medförde att tillfart via utloppet tidigt avfärdades som lämplig tillfartsväg till rasområdet. I stället planerades det initialt att använda det så kallade mellanpåslaget, arbetstunneln som ansluter till utloppstunneln vid längdmätning LM 1+215 km enligt den längdmätning som etablerades i samband med reparationsåtgärderna, för att nå rasområdet från nedströmssidan.

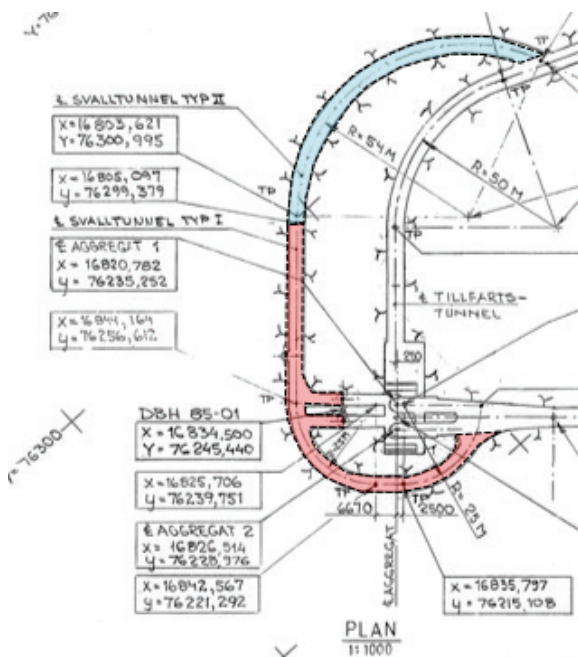
För att kunna säkra åtkomst till arbetstunneln under tiden som reparationsåtgärder pågick behövde en ny väg ovan mark anläggas. Den väg som anlades och användes i samband med uppförande av anläggningen var igenväxt och ej längre i drift. Efter att ha erhållit godkännande av berörd markägare kunde en väg börja anläggas för att ansluta till arbetstunneln. Samtidigt genomfördes arkivet på ritningar för att kunna bedöma lämpligheten i att använda arbetstunneln som tillfartsväg med hänsyn till dess geometri. Bland annat studerades radier och lutningar med hänsyn till de fordon och arbetsmaskiner som bedömdes nödvändiga för att kunna utföra reparationsåtgärder. En okulär besiktning av arbetstunneln utfördes för att bedöma dess status med hänsyn till bergkvalitet och förstärkning installerad under byggtiden.

Den okulära besiktningen av arbetstunnelns infart visade att denna bestod av oförstärkt och relativt dåligt berg. Vidare så visade ritningar från byggtiden att arbetstunneln ansluter vid utloppstunnelns lågpunkt. Detta innebär att utloppstunneln hade behövt tömmas på vatten i sin helhet och länsumpning hade behövt ske från denna punkt. Baserat på detta fattades ett nytt beslut om att i stället använda svalltunneln som tillfartsväg då det bedömdes vara mer fördelaktigt med hänsyn till både arbetsmiljö och kostnader. Tillfart via svalltunneln innebar en kortare väg fram till rasområdet. Dessutom behövdes en mindre del av tunneln tömmas på vatten. Vidare så nåddes svalltunneln från nedfarten till kraftstation vilket innebar att inga nya tillfartsvägar ovan mark behövdes anläggas, se Figur 3-6.

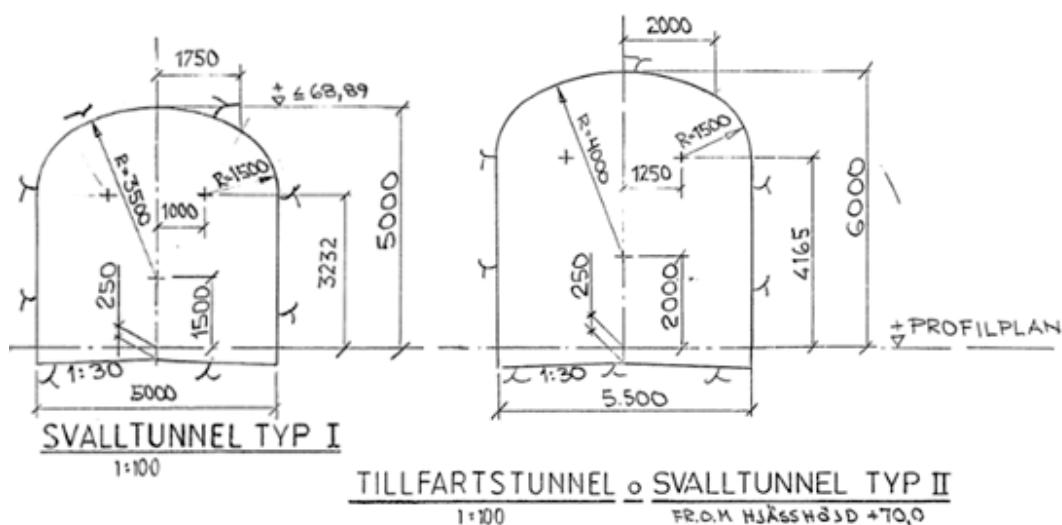


Figur 3-6 Portal till kraftstationens tillfartstunnel. Svalltunneln, som ansluter till tillfartstunneln, användes som tillfartsväg till rasområdet i samband med reparationsåtgärderna (foto SWECO)

Information om svalltunnelns storlek och orientering hämtades från byggritning då inga relationshandlingar fanns att tillgå, se Figur 3-7. Enligt ritningen är tunneln indelad i två olika delar med olika storlekar; typ I och typ II. Typ II är en förlängning av tunneltvärsnittet för tillfartstunneln medan typ I har ett något mindre tvärsnitt, se Figur 3-8.



Figur 3-7 Klipp från byggritning, svalltunnel plan (typ I indikerad i rött och typ II i blått)



Figur 3-8 Klipp från byggritning som visar tillfartstunneln (svalltunnel typ I) och svalltunnel typ II

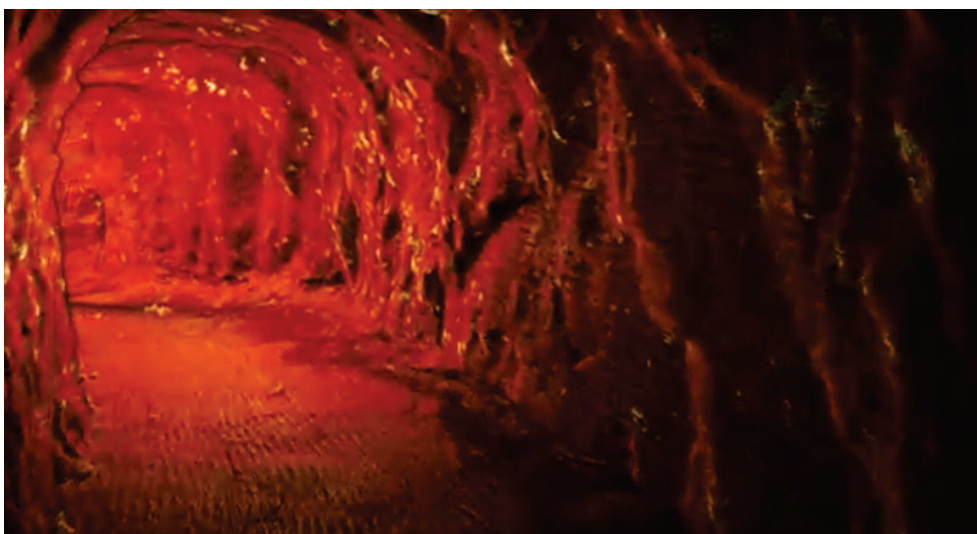
Svalltunnelns infart vid anslutning till tillfartstunneln var stängd med betongsättar och ingen känd inspektion hade utförts sedan idrifttagningen av kraftverket. Svalltunnelns nuvarande status var därför okänd. För att bedöma svalltunnelns status utfördes skanning och delvis filmning av svalltunneln med drönare, se Figur 3-9 till Figur 3-11, i kombination med platsbesök och visuell inspektion i september 2020. Utförda undersökningar indikerande att berget var i gott skick och att förstärkning installerad under byggtiden i huvudsak omfattande selektiv bultning.



Figur 3-9 Svalltunnel och uppströmsdelen av utloppstunneln, animering av skanning utförd med drönare (AMKVO i samarbete med Scior Geomanagement och Ängelholms Geodesi).



Figur 3-10 Anslutning mellan tillfartstunnel och svalltunnel, animering av skanning utförd med drönare (AMVKO i samarbete med Scior Geomanagement och Ängelholms Geodesi).



Figur 3-11 Svalltunneln, animering utförd med drönare (AMVKO i samarbete med Scior Geomanagement och Ängelholms Geodesi).

En bedömning av förstärkning installerad under byggtiden utfördes. Först kontrolleras mängd installerad förstärkning med hänsyn till bedömd bergkvalitet och aktuellt kunskapsläge avseende tunnelstabilitet. En bedömning utfördes också av installerad förstärknings status för att avgöra om det fanns behov av att reparera eller ersätta delar av förstärkningen.

Som underlag till detta arbete upprättade SWECO ett förstärknings-PM för svalltunneln i vilken metoder för kontroll av installerad förstärkning samt bedömning av kompletterande förstärknings-insatser redovisades. Det rekommenderade tillvägagångssättet för kontroll (och eventuell åtgärd) av installerad bergförstärkning var:

- Okulärbesiktning; kontroll av eventuell sprickbildning i sprutbetong, skador på bergbultar, bergned-/utfall, ingjutning bult, etcetera.
- Bomknackning (sprutbetong); utförs för att kontrollera om större sprutbetongpartier har släppt från underlaget. Detta moment utfördes med manuella handnära hammarslag.
- Om skadad förstärkning påträffas under kartering ersätts denna med ny förstärkning till tidigare installerad tjocklek (fiberarmerad sprutbetong) samt med kompletterande bultning.

För bedömning av förstärkningsbehov togs tre bergklasser med tillhörande förstärkning fram. Bergklasserna baserades på en bergkvalitet beskriven i enlighet med Q-metoden. För framtagning av förstärkning för respektive bergklass användes en kombination av empiriska och analytiska metoder. De framtagna bergklasserna utgjorde underlag för den förstärkning som anvisades utifrån kartering och bedömning av faktiska förhållanden i svalltunneln.



Figur 3-12 Platsbesök i svalltunneln under oktober 2020 (foto SWECO)

Parallellt med skrotning och bergkartering av svalltunneln byggdes en arbetsväg i tunneln genom att jämna av bergytan med makadam (32-64 mm), se Figur 3-13. De delar av tunneln där väggar och tak var täckta av alger och smuts tvättades.



Figur 3-13 Golvet i svalltunneln var väldigt ojämnt. För att man skulle kunna köra med arbetsmaskiner anlades en arbetsväg genom att fylla ut med makadam (foto SWECO).

Arbetena i svalltunneln startade under vecka 41 (2020). Utloppstunneln nåddes under vecka 45 utan större överraskningar. Den initialt bedömda goda statusen avseende tunnelns status bekräftades också av utförd bergkartering och kompletterande förstärkningsarbeten utgjordes endast selektiv bultning.

3.4 UTLOPPSTUNNEL FRAM TILL RASOMRÅDET

Svalltunneln ansluter till utloppstunneln ca 15 - 20 m nedströms om kraftstationen. Såsom beskrivs i Avsnitt 4 uppvisar utloppstunneln varierande bergkvalitet med stora och plötsliga variationer och flertalet identifierade svagare zoner med högt lerinnehåll i den aktuella tunnelsträckningen fram till raset. Utloppstunneln har dessutom varit vattenfylld sedan den togs i drift och i likhet med svalltunneln saknades tidigare kända inspektioner varvid även dess nuvarande status var okänt.

Under november 2020 utfördes ett platsbesök i syfte att studera utloppstunnelns status och bedöma behovet av förberedande arbeten. Baserat på observationerna i samband med platsbesöket, den tidigare utförda drönarskanningen och relationshandling 123560B, blad 10 och 11, bedömdes utloppstunneln fram till raset vara i till synes bra skick. Den aktuella tunnelsträckningen fram till rasområdet var delvis förstärkt. Den första delen av tunneln var oförstärkt/enbart förstärkt med bergbult medan resterande del av tunneln fram till raset var förstärkt med sprutbetong och en gjuten bottenplatta.

För att säkra en trygg arbetsmiljö genomfördes förstärkningar utifrån ett upprättat förstärkningsunderalg, med tre bergklasser baserat på Q-systemet och tillhörande typförstärkning:

- | | |
|-----|--|
| A1 | Ingen åtgärd (nuvarande förstärkning bedöms som tillräcklig) |
| A2 | Reparation av tidigare installerad bergförstärkning |
| B/C | Tillägg med kompletterande förstärkning krävs för att uppnå tillfredställande stabilitet |

Specifikt anvisades att området från 15 meter innan rasområdet och fram till raset skulle förstärkas med fiberarmerad sprutbetong, sprutbetongbågar med lösa armeringsjärn och systematisk bultning, se Figur 3-14.

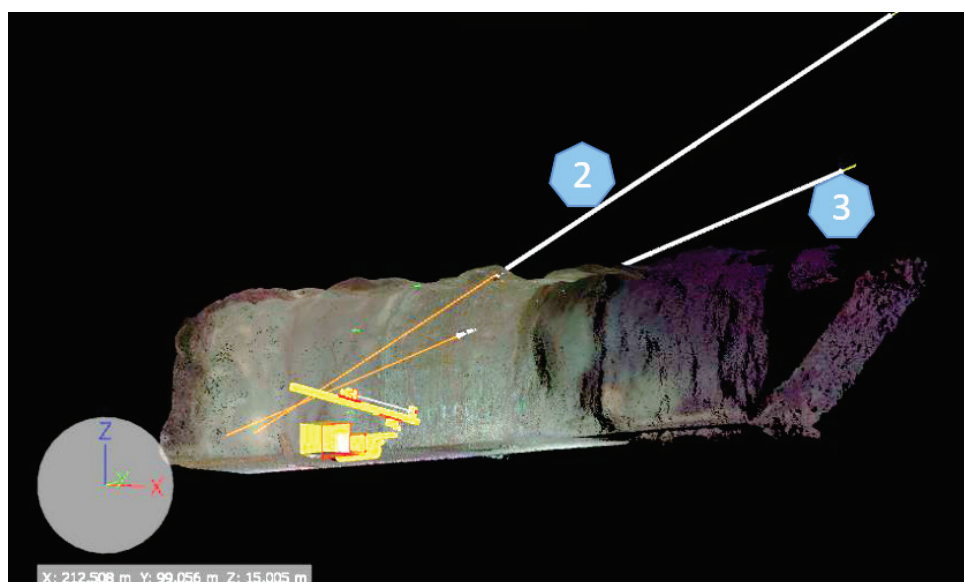


Figur 3-14 Utloppstunneln uppströms rasområdet efter installation av kompletterande förstärkning (foto SWECO)

3.5 UNDERSÖKNING AV RASOMRÅDET

Då rasområdet endast var tillgängligt från uppströmssidan var dess utbredning längs med tunnelsträckningen till en början okänd. Även rasets storlek i höjddled var okänd. För att kunna bedöma rasets omfattning och utvärdera lämpliga metoder för stabilisering av rasområdet, utlastning av rasmassor samt reparation

av tunneln utfördes sonderingsborrningar. Borrningar utfördes från två olika längdmätningar med olika lutningar för att täcka ett så stort område som möjligt, se Figur 3-15. Med hänsyn till sjunkhastighet och borrhax gjordes därefter en bedömning angående bergets kvalitet vilket också noterades i ett borrhprotokoll.



Figur 3-15 Utdrag från illustration av Ängelholms Geodesi efter första del av utförda sonderingshål. Raset är i denna illustration till höger i bild.

Följande kriterier sattes upp för sonderingsborrningarna:

- Vid hålrum, avbryts sonderingen.
- Vid bedömt passage av rasmassor, borrar dessa igenom tills 5 m i "bättre berg" verifierats.
- Om inga rasmassor passeras, avslutas sonderingen när borrlängden överskrider bedömt avstånd till ras med 10 m (borrhålsspets 10 m bortom synlig raskant).
- Sonderingsprotokoll skall upprättas som minst presenterar bedömd bergkvalitet och observationer kontinuerligt längs borrhålets fulla längd.

Gemensamt för all sondering var att borrningarna ansattes i eller under ett område som hade förstärkts och att personal under sonderingen hela tiden befann sig i en färdigförstärkt del av tunneln.

För att bedöma bergets kvalitet borrades kärnor ut uppströms om raset och karterades, och svaghetszonens orientering och storlek undersöktes med hjälp av geofysiska undersökningar utförda från markytan, se Avsnitt 4.3.2.

3.6 UTLASTNING AV RASMASSOR OCH FÖRSTÄRKNING AV RASOMRÅDET

3.6.1 Studerade metoder för att stabilisera rasområdet

Flera alternativ för att stabilisera det aktuella rasområdet i utloppstunneln, lasta ut rasmassorna och göra det säkert att fortsätta arbeta med permanent bergförstärkning för att återställa tunneln till operativt skick studerades av

projektören. Studerade alternativ diskuterades i kontinuerliga teknikmöten tillsammans med anläggningsägare och entreprenör för att bedöma bland annat byggbarhet och tidsmässiga aspekter. Alternativen omfattade bland annat:

- förbiledningstunnel,
- horisontell jetinjektering,
- frysning av rasområdet,
- användande av en skyddande stålsköld,
- rörspiling.

Förbiledningstunnel

En förbiledningstunnel, så kallad by pass-tunnel, kan vara ett alternativ för att passera ett komplicerat rasområde. Metoden är kostsam och tidskrävande att utföra då den kräver tunneldrivning inom eller i nära anslutning till den svaghetszonen där ras inträffat. Den har dock många gånger visat sig vara den enda applicerbara metoden för att åtminstone i en inledande fas öppna upp passage förbi ett rasområde. När väl förbiledningstunneln har utförts kan reparation och förstärkning av rasområdet utföras från både upp- och nedströms arbetsfronter. Alternativt används förbiledningstunneln som permanent lösning och access till rasområdet pluggas endast igen.

Då raset i den aktuella tunneln i upptäcktes endast ca 160 meter nedströms om kraftstationen skulle en förbiledningstunnel behöva ansluta med en relativ skarp vinkel till befintlig utloppstunnel för att skapa ett tryggt avstånd till rasområdet. Detta i sin tur skulle kunna inverka på tunnelns hydrauliska karaktär om förbiledningstunneln skulle användas som en permanent lösning. Vidare så fanns det stor osäkerhet gällande rasets utbredning i utloppstunnelns längdled. Det var därför oklart hur lång omloppstunnel som skulle behöva anläggas inom eller i nära anslutning till den svaghetszon där raset inträffat. Baserat på detta, bedömdes en förbiledningstunnel utgöra ett sistahandsalternativ ifall att övriga metoder ej gick att utföra.

Horisontell jetinjektering

Horisontell jetinjektering består i att horisontella skärmar av jetinjekterade pelare utförs för att stabilisera bergmassan varefter vidare tunnelschakt kan utföras. Metoden är relativt dyr och utförs vanligen vid utschaktning av nya tunnlar på europeiska kontinenten i mjukare bergarter. Med hänsyn till raset fanns det risk för att ett naturligt stopp inte skulle finnas för injekteringsbruket som skulle rinna in i tunneln. Metoden bedömdes som ej lämplig för de platsspecifika förhållandena.

Frysning

Frysning, dvs inbörning av kylrör som fryser ner kritiska partier med mycket dåligt berg för att sedan möjliggöra ett tunnelschakt igenom det. Utförs främst vid utschaktning av nya tunnlar. Rätt applicerad kan metoden vara mycket effektiv, men den är samtidigt dyr att utföra. Metoden bedömdes som ej lämplig för de platsspecifika förhållandena.

Skyddande sköld

Denna metod innebär att en skyddande stålsköld trycks genom rasmassorna samtidigt som dessa lastas ut inifrån skölden. Skölden tillverkas i sektioner och monteras i tunneln.

Metoden har använts tidigare för reparation av tunnelras, bland annat efter ras i Bolmentunnel (Ellison, et al., 2010), där skölden efter slutförd utlastning användes som gjutform för installation av permanent förstärkning i form av betonginklädning.

En viktig anledning till att detta alternativ valdes bort för den aktuella tunneln var osäkerheterna gällande tunnels faktiska tvärsnitt. Som framgår av Avsnitt 2.2 var avvikande sektioner samt intrång mot teoretisk sektion vanligt förekommande vilket skulle medföra svårigheter vid utformning av stålskölden.

Även logistiska skäl, såsom tid för tillverkning av skölden samt möjligheterna till transport och manövrering av skölden var en anledning till att detta alternativ valdes bort. Det ska noteras att den aktuella tunneln är av förhållandevis stor diameter jämfört med en del referensprojekt där metoden med skyddande sköld har utförts, till exempel är tunnelarean i Bolmentunneln 8 m² att jämföra med 45 m² för utloppstunneln i Hylte. Denna metod bedömdes också som mer osäker sett till arbetsmiljön.

Rörspiling

Rörspiling består i att en tät skärm av foderrör ("spilingrör") borrar in i en angiven vinkel i tunneltakets längdriktning, med start ett antal meter innan rasmassorna. Detta för att uppnå ett stabiliserande och skyddande valv där lasten primärt kan tas av mer kompetent berg efter raset och/eller tex. sprutbetongbågar innan raset. De installerade foderrören injekteras för att uppnå bästa skyddande konstruktion, och kan även kompletteras med ytterligare förstärkning för att få en högre böjstyvhet. Delvis överlappande skärmar används vid behov för att täcka en längre sträcka i tunnelns längdriktning om rasets utbredning är för långt för att förstärkas med enbart en skärm. Med en överliggande stabiliserande skärm utförs sedan progressiv urlastning av rasmassorna samt kontinuerlig ytterligare förstärkning.

Val av temporär förstärkning

Utifrån den tillgängliga informationen över rasområdets karaktär, lämpligheten i de olika möjliga metoderna med hänsyn till bland annat arbetsmiljö, kostnad och tid valdes rörspiling som åtgärdsmetod för temporär stabilisering av tunneln i rasområdet så att utlastning av rasmassor och installation av permanent förstärkning skulle kunna utföras.

3.6.2 Dimensionering och installation av temporär förstärkning

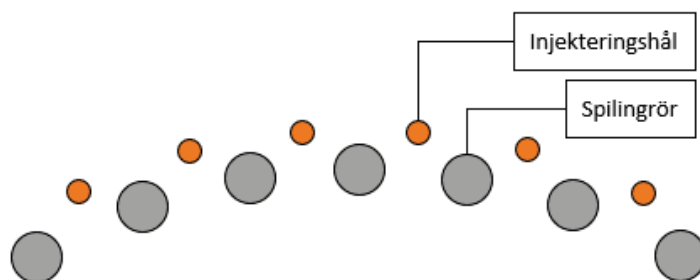
Utifrån utförda sonderingsborrningar med tillhörande karteringsprotokoll, se Avsnitt 3.5, gjordes en bedömning av rasområdets utbredning. Raset bedömdes ha en höjd på ca 11 m (ovan tunneltak) och vara ca 12 meter långt med en förväntad övergång till berg vid LM ca 0+165, dvs ca 20 m från det som ansattes som startpunkt/upplag för rörspilingen.

På grund av osäkerheter gällande rasets utbredning och bergets kvalitet efter rasområdet dimensionerades rörspilingen som en konsol där inget upplag i framkant från berget räknades med. Dock så antogs ett stöd från rasmassorna varvid konsolens längd antogs ha samma längd som vardera utlastningsrunda. Utlastningslängden begränsades till max 1,5 m och efter varje utschaktningsrunda installerades förstärkning i form av dubbelarmerade sprutbetongvalv (2 lager Ø 16 med c/c 200 mm i lager 1 och c/c 100 mm i lager två, sprutbetong 50+100+50 mm exkluderat utjämning) och systematisk bultsättning (c/c 1,5 m i båda riktningar) som skulle utgöra upplag för den "nya" konsolen. Installation av spilingrör påbörjades i mars 2021 efter att området uppströms om raset förstärkts i sin helhet, se Figur 3-16.



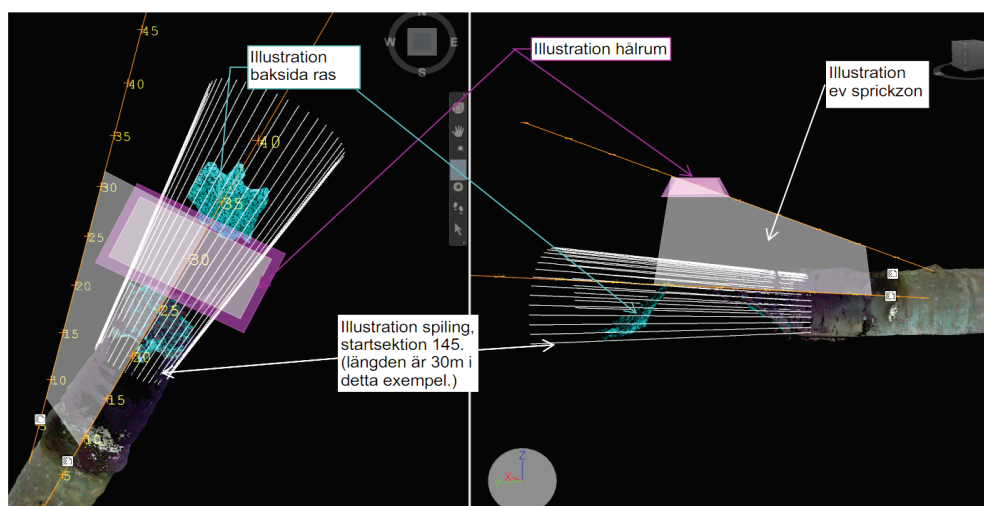
Figur 3-16 Installation av spilingrör påbörjades i mars 2021 (foto SWECO)

För att minska potentiella utfall mellan spilingrören installerades också självborrande stag av typen MAI R51N i ovankant i utrymmet mellan spilingrören, se Figur 3-17. För att ytterligare binda ihop ras/bergmassan utfördes kontinuerlig injektering i samband med installation av MAI-stagen.



Figur 3-17 Exempelskiss av spilingrör och injekteringshål

Information erhållen i samband med installation av spilingrören och stagen användes för att uppdatera prognosen gällande rasets omfattning och orientering, se Figur 3-18.



Figur 3-18 Illustration baserat på sonderingsresultat inkl resultat från borrhörningarna av spilingrören (Ängelholms Geodesi)

För att få en högre böjstyvhet fylldes samtliga spilingrör med injekteringsbruk innan utlastning av rasmassorna. Tre spilingrör, ett i hjässan och ett i vardera anfangen, fylldes dock inte. I dessa installerades i stället horisontella inklinometrar, se Figur 3-19. Inklinometrarna registrerade mätning med 2 meters avstånd och användes tillsammans konvergensmätningssektioner för att övervaka rörelser i tunneln i samband med utlastning av rasmassorna.

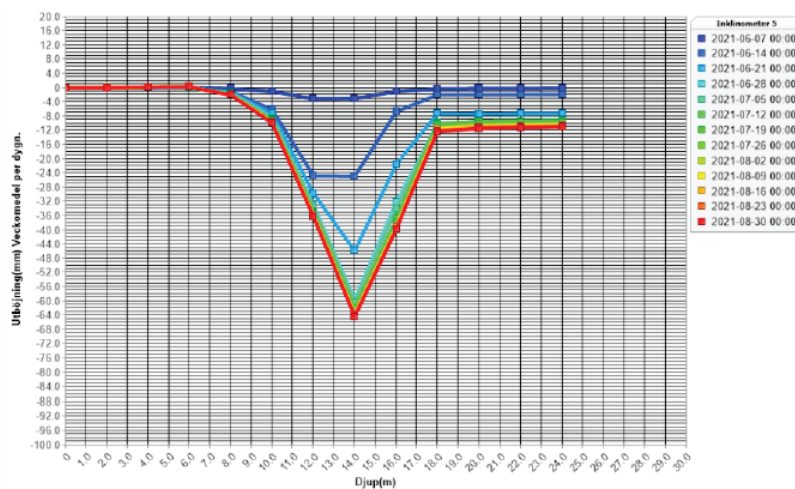
Konvergensmätningssektionerna följde förstärkningsfronten med 5 meters avstånd.



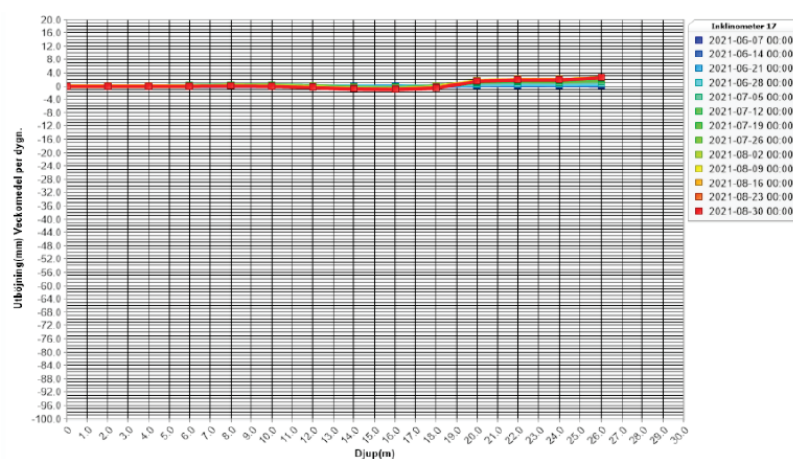
Figur 3-19 Foto som visar installerade spilingrör där inklinometrarna kan observeras i rör i hjässan och anfangen (foto SWECO)

Baserat på mätdata från inklinometrarna kunde spilingrörens nyttjandegrad efter varje utlastning bedömas. Baserat på detta kunde en anpassning av utlastningslängd och erforderlig förstärkning samt tid för installation utföras.

I Figur 3-20 och Figur 3-21 visas registrerad utböjning mot djupet på röret för inklinometrarna installerade i anfangen. Det kan i Figur 3-20, som redovisar utböjning för inklinometern installerad i vänster anfang, observeras hur utböjningen ökar vid utlastning av rasmassor för att därefter avstanna när förstärkning installeras. Vid nästa utlastning flyttas den punkt där maximal utböjning sker då den installerade förstärkningen utgör nytt upplag och spilingrörets fria längd flyttas. Figur 3-21, som redovisar utböjning för inklinometern installerad i höger anfang, bekräftar bedömningen som gjordes baserat på sonderings- och kärnborrningar om att berget var av bättre kvalitet på denna sida och att raset var koncentrerat till tak och vänster vägg. Med hjälp av uppmätt nedböjning kunde en god förståelse gällande rasområdets längd och orientering erhållas.



Figur 3-20 Uppmätt nedböjning mot djup på spilingröret i vänster anfang vid olika datum



Figur 3-21 Uppmätt nedböjning mot djup i spilingröret i höger anfang vid olika datum

Utlastning av rasmassor påbörjades i maj när samtliga spilingrör och MAI-stag samt förstärkning fram till rasmassornas uppströmskant installerats. Utlastningen utfördes i längder av ca 1,5 – 2 m innan ny förstärkning installerades och ny utlastning kunde ske, se Figur 3-22.



Figur 3-22 Installation av sprutbetong efter utlastning av rasmassor (foto SWECO)

För att kunna installera ny förstärkning ner till tunnelgolvet behövde rasmassorna ställas i en brant vinkel. För att stabilisera rasmassorna sprutades dessa med sprutbetong innan installation av förstärkningen utfördes, se Figur 3-23.



Figur 3-23 Kvarvarande rasmassor stabiliserade med sprutbetong efter utlastning (foto SWECO)

För en säker utlastning av massorna användes en gruvlastmaskin som transporterades till Hylte från Kiruna, se Figur 3-24. Arbetet med installation av sprutbetong och armering blev mer komplex och tidskrävande ju längre in i

rasområdet man kom på grund av tunnelns oregelbundna form. Även inläckande vatten försvårade installationen av sprutbetongen.



Figur 3-24 Utlastning av rasmassor (foto SWECO)

Sista utlastningen ägde rum i juli 2021. I Figur 3-25 visas rasområdet i början på juli då man för första gången kunde se bakom raset. I Figur 3-26 visas rasområdet efter utlastning av samtliga rasmassor och installation av temporär förstärkning men innan installation av permanent förstärkning. I Figur 3-27 visas upplaget med massorna som lastades ut från tunneln.



Figur 3-25 Rasområdet i juli 2021 (foto SWECO)



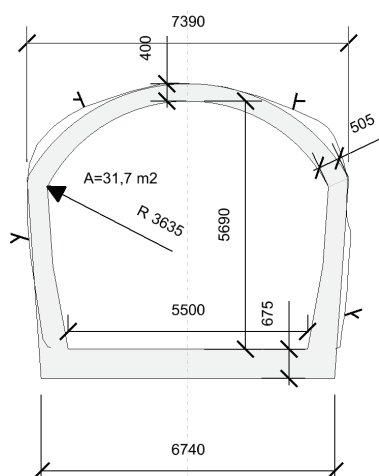
Figur 3-26 Rasområdet sett från uppströmssidan efter utlastning av rasmassor (foto SWECO)



Figur 3-27 Upplag med massor som lastats ut från tunneln (foto SWECO)

3.6.3 Permanent förstärkning

I rasområdet och cirka 5 m på ömse sidor utfördes en 22 m lång armerad betonginklädnad för att säkerställa utloppstunnelns långsiktiga funktion och stabilitet. Tunnelns oregelbundna form sedan byggtiden och även den temporära förstärkning som installerades i samband med utlastning av rasmassorna medförde vissa svårigheter i att välja en optimal form för betonginklädnaden som dimensionerades för att klara en last motsvarande lösa massor samt grundvattentryck upp till marknivå. För att minska fallförluster på grund av inklädnaden utökades erforderlig armeringsmängd till förmån av en slankare betongkonstruktion, se Figur 3-28.



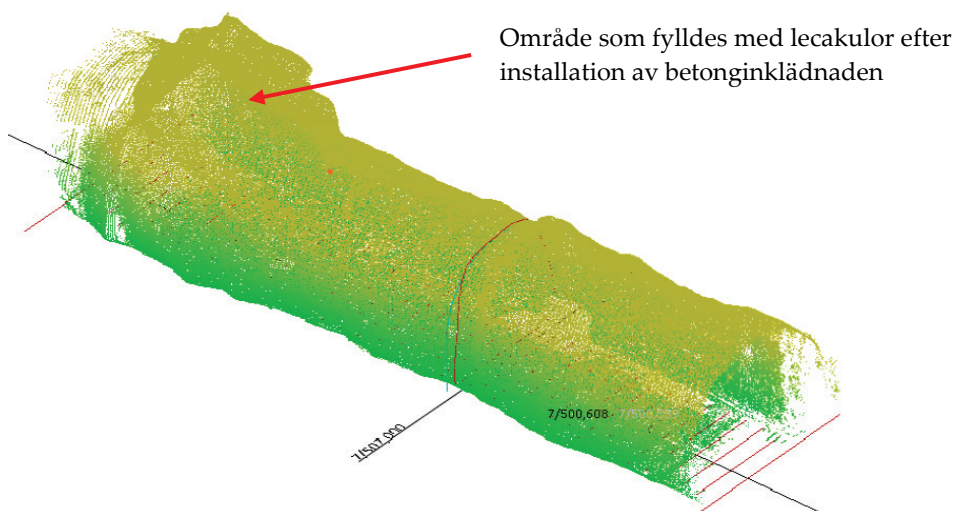
Figur 3-28 Sektion av betonginklädnad

Vid installation av inklädnaden togs befintligt golv i rasområdet som inte påverkats av själva raset bort under noggrann övervakning. En ny bottenplatta gjöts med ordentliga förtagningar för väggarna. Därefter gjöts väggarna i två etapper till anfang, se Figur 3-29. Vid partier där temporär förstärkning medförde intrång i betonginklädnad togs denna bort innan gjutning. En bedömning gjordes för varje specifikt fall. Slutligen gjöts taket och partierna uppströms och nedströms om betonginklädnaden kilades av med sprutbetong för att åstadkomma en jämn övergång och därmed minska fallförluster på grund av areaminskningen av tunneln som betonginklädnaden medförde.



Figur 3-29 Gjutning av nedre delen av väggen (foto SWECO)

Den hålighets som blev mellan betonginklädnad och ovanförliggande temporär förstärkning, se Figur 3-30, fylldes med lecakulor. Dessa blåstes upp i hålrummet från insidan av tunneln.

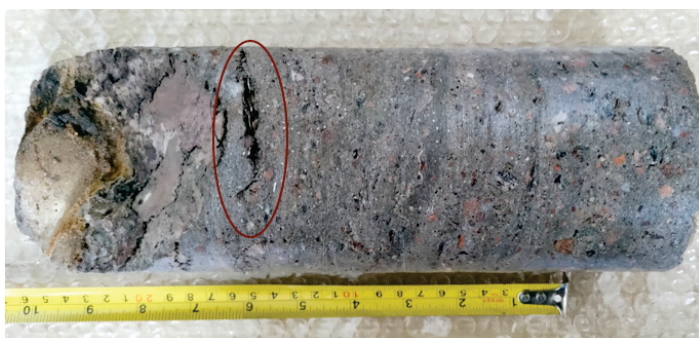


Figur 3-30 Inmätning av del utloppstunneln inklusive rasområdet efter installation av temporär förstärkning och utlastning av rasmassor. Skanning utförd av Ängelholms Geodesi.

I samband med installation av betonginklädnaden utfördes också inspektion och provtagning i tillgängligt område nedströms om raset. Bland annat bedömdes bergets kvalitet och den installerade förstärkningens omfattning och status på liknande sätt som utförts tidigare för området uppströms om raset, se Avsnitt 3.3 och Avsnitt 3.4. Baserat på undersökningarna identifierades områden där kompletterande förstärkning installerades.

Det är värt att notera att de sprutbetongprover som tagits nedströms om rasområdet är förstärkta med stålfiber, se Figur 3-31, medan inga fibrer har

observerats i prover tagna i och uppströms om rasområdet. I en artikel av (Didriksson, et al., 1989) nämns att det är dåligt, uppkrossat berg på en sträcka som börjar ca 600 m nedströms om maskinsalen och som fortsätter fram till ca 100 m nedströms om maskinsalen. Man har här tvingats att armera sprutbetongen "*mer eller mindre hela vägen*", dvs inom det område där raset inträffat. Då själva armeringsarbetet är tidskrävande har man, för att få så lite störning av tunneldriften som möjligt, tillämpat en variant om berget ej varit alltför dåligt. Man har i stället för att armera vid stufen sprutat det första lagret betong med stålfibertillsats och sedan väntat med armeringen till man har kunnat utföra den utan att störa själva drivningsarbetet. Att inga fibrer hittats i rasområdet skulle således kunna tolkas som att berget här bedömdes som alltför dåligt för att vänta med armeringen.



Figur 3-31 Kärnprov av sprutbetong från höger vägg nedströms om rasområdet

3.7 ÅTERFyllNING AV TUNNEL OCH RIVNING AV FÅNGDAMM

Efter installationen av den permanenta förstärkningen städades tunneln ur, bland annat togs golvet som installerades i de delar av tunneln där gjuten bottenplatta saknas bort. Tunneln vattenfylldes genom att de pumpar som forslat bort inläckande vatten avetablerades samt via anläggningens isutskov.

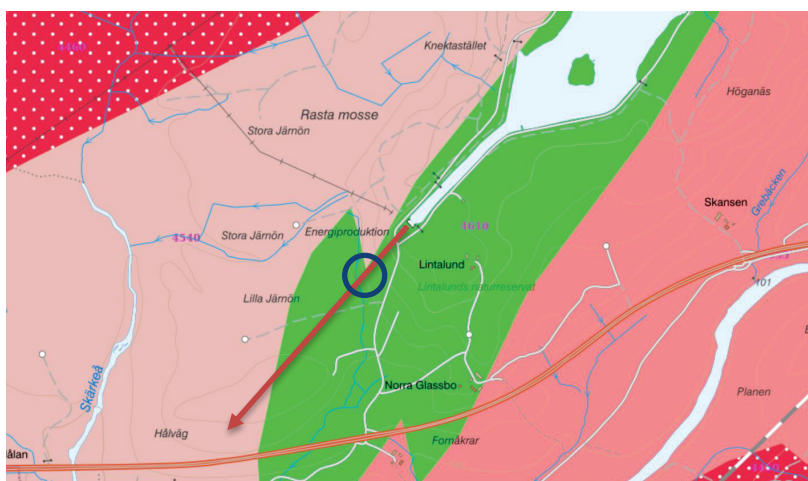
Rivning av fångdammen utfördes i mars 2022. För att undvika spridning av grumlat vatten installerades en siltgardin längs med fångdammens uppströms släntfot. Rivningsarbetet påbörjades genom schakt av krönet i torrhet. Efter att vattenfyllning av tunneln påbörjats, grävdes ett dike i fångdammens krön för att jämna ut vattenytorna på ömse sidor. Dammtå och stödfyllning av sprängsten schaktades i vatten innan hela fångdammen revs. Samtliga rivningsmassor sorterades för återanvändning i ett närliggande projekt. Erosionsskyddet längs utloppskanalens slänter återställdes med sten och block.

4 Geologiska förutsättningar vid rasområdet

I samband med planering och utförande av åtgärder efter raset studerades de geologiska förutsättningarna på plats. Detta gjordes baserat på tillgängliga handlingar från byggtiden. Även kompletterande undersökningar från tunneln och marköverytan utfördes. Handlingar från byggtiden återfanns i Statkrafts, Sweco samt Bergab:s arkiv och utgjordes i huvudsak av förundersökningsrapporter och geologiska prognoser

4.1 GENOMGÅNG AV KARTMATERIAL FRÅN SGU

I Figur 4-1 visas en utskrift från SGU:s kartvisare Berggrund 1:50 000-1:250 000 över aktuellt område. Det kan där observeras att berggrunden i de för anläggningen aktuella delarna utgör del av den sydvästsvenska gnejsregionen. Inom området kan i princip två olika bergarter urskiljas: gnejs och amfibolit. Detta stämmer väl överens med den geologiska prognosen från 1986, se Avsnitt 4.2.



Figur 4-1 Berggrundskarta över området för utloppstunneln. Röd pil visar ungefärligt tunnelläge medan blå cirkel indikerar ungefärligt läge för det inträffade raset. Källa: SGU – Kartgeneratoren

Det kan i Figur 4-1 också noteras att en kontaktzon mellan bergarterna indikeras vid det bedömda området för raset. Kontaktzoner mellan bergarter är ofta uppspruckna och skapar förutsättning för mer omfattande vittring och erosion. Detta är också en trolig anledning till att vissa partier längs tunnelns sträckning uppvisar sämre bergkvalitet.

4.2 ARKIVERAT MATERIAL

Flertalet undersökningar av förhållandena på plats utfördes i samband med projektering av kraftverket och en geologisk och bergteknisk prognos togs fram av BERGAB-Berggeologiska Undersökningar AB för dykartunneln, kraftstationen och utloppstunneln (BERGAB Berggeologiska Undersökningar AB, 1986). Huvuddelen av undersökningarna utfördes under 1986 av geologiska institutionen vid Lunds universitet och innefattade följande moment:

- Fältkartering
- Seismisk mätning
- Resistivitetsmätning
- Magnetometri
- VLF-mätning
- Jord-bergsondering (dykartunnel)
- Kärnborrning (dykartunnel och kraftstation)

Den upprättade prognosen redovisades på översiktsritning, plan och profilritningar samt i en textdel. På ritningarna har berggrunden klassificerats efter en speciell metod med en differentierad beskrivning av tektoniska zoner och mellanliggande berg. På plan och profilritningarna finns också tabeller i vilka bl.a. rubriken *Bergkvalitet* har införts. Berget har under rubriken *Bergkvalitet* indelats i tre klasser; bra, mindre bra och dåligt. Avsikten med indelningen var att ge en grov indelning av olika berggrundsavsnitt.

Den bedömda berggrundsuppbyggnaden (olika grad av sönderkrossning, leromvandling och grundvattenläckage) inom respektive avsnitt redovisas under rubriken *Bergklassificering*. Ytterligare en rubrik som återfinns i tabellen på prognosritningarna är *Förstärkningsbehov*. Behovet anges i form av en procentsats som beskriver det bedömda förstärkningsbehovet inom en viss sträcka, tex innebär angivelsen 50% att halva den angivna sträckan bedöms erfordra förstärkning. Enligt Bergab (BERGAB Berggeologiska Undersökningar AB, 1986) avses med förstärkning i första hand sprutbetong med eller utan bultning. Selektiv bultning av enstaka block och blockiga partier har således inte medräknats i den angivna förstärkningsinsatsen.

Ur textdelen för den geologiska och bergtekniska prognosen går för aktuell längdmätning (LM 7/500–8/000) att utläsa:

"Tunneln förmodas ha lämnat området med amfibolit och kommit in i en berggrund som huvudsakligen uppbyggdes av gnejs. Med förskiffringen konformt inlagrade amfibolitskivor/-linser kan dock förekomma, särskilt mot nordost ... Tunneln skär förskiffringsriktningen och även de dominerande brantstående sprickorna i en relativt trubbig vinkel som är fördelaktig för den sprickgeometriska stabiliteten. Den tidigare nämnda zonen i den förmodade bergartskontakten kan eventuellt fortsätta från 7/500 fram mot 7/550. Vidare förväntas omkring 7/560, 7/630 och 7/740 ytterligare avsnitt med blockigt - delvis sönderkrossat berg. De låga resistivitetsvärdena antyder lermineralisering och/eller vattenförande sprickor. Grundvattenföringen kan vara kraftig. Svaghetszonerna förväntas ha ett förstärkningsbehov mellan 50–100 %. I de mellanliggande delarna bedömes bergkvaliteten vara bättre. Grundvattenförande sprickor kan dock förekomma. Fram till 7/810 väntas förstärkningsbehovet vara omkring 25 %. Efter att dalen under Rasta mosse passerats förväntas bergkvaliteten vara bra med omkring 10 % förstärkningsbehov."

Under februari 1987 kompletterades tidigare utförda undersökningar med markgeofysisk profilmätning med slingram och magnetometer (Sveriges Geologiska AB, 1987). Dessa utfördes av Sveriges Geologiska AB (SGAB) i

anslutning till den projekterade utloppstunneln. Baserat på resultatet från undersökningarna uppdaterades den geologiska och bergtekniska prognosen (Sveriges Geologiska AB, 1987) (BERGAB Berggeologiska Undersökningar AB, 1987).

En uppdatering av plan- och profilritningarna utfördes också i samband med tunneldrivningen. Tabellerna kompletterades med faktiskt utfall gällande bl.a. förstärkning, bottengjutning, geologi, lerprover, sprickzoner, större vatteninläckage och veckoindrift, se Figur 4-2.

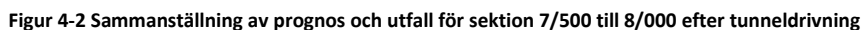
I den reviderade prognosen (Reviderad prognos 1987) beskrivs området där raset inträffat enligt följande:

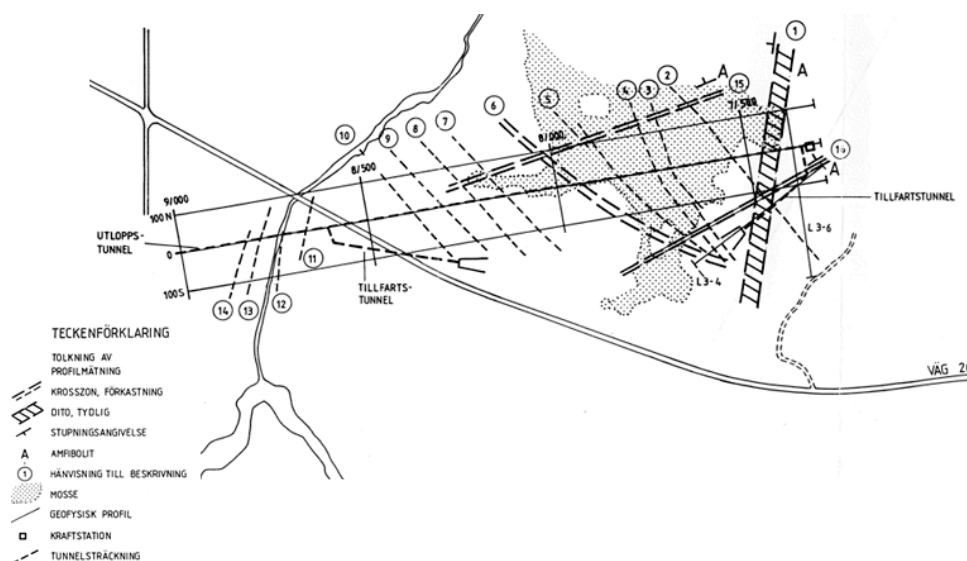
Omedelbart väster om kraftstationen bedömes en kraftig tektonisk zon vara utbildad parallellt med förskiffringen. Zonen antages ha en västlig stupning och skära tunneln omkring 7/465-7/515. Omfattande lermineralisering och kraftigt rinnande spolande grundvatteninläckning kan här förväntas. Zonen kan eventuellt vara utbildad i kontakten mellan amfibolit och gnejs.

Väster om denna zon följer ett större sammanhängande mossområde med mycket begränsat tolkningsunderlag. Inom området kan antagas förekomma flera zoner förmodligen parallella med ovan nämnda kraftiga tektoniska zon. På plan- och profilritningen har fem zoner markerats mellan 7/500 och 7/800. I dessa kan viss lermineralisering och kraftigt dropp – svagt rinnande grundvatteninläckning förväntas. Inom detta område kan amfibolitskivor uppträda. Zonerna kan eventuellt vara utbildade i kontakter mellan gnejs och amfibolit eller utgöras av tektoniserade amfiboliter.

Ur textdelen går också att utläsa att möjliga sprick- och krosszoner tolkats vid 7/550, 7/700, 7/740, 7/840 och vid 7/960 vilket antas motsvara cirka LM 0+190, 0+340, 0+380, 0+480 och 0+600, enligt den linjeberäkning som användes i samband med reparationsåtgärderna efter raset. En uppdaterad översiktsritning upprättades, se Figur 4-3.

I Swecos arkiv har karteringsblad för dykartunneln återfunnits, dock inte för utloppstunneln. Delar av karteringsbladen för utloppstunneln återfinns som bilaga till (BERGAB Berggeologiska Undersökningar AB, 1990); en rapport som togs fram av Bergab på uppdrag av SKB som en del av ett geohydrologiskt forskningsprojekt i anslutning till planeringen och utbyggnaden av Hylte kraftverk som utförts i flera etapper. Den zon som studeras i rapporten, där en jämförelse mellan prognos och faktiskt utfall utförs, ligger dock längre nedströms än det område där raset inträffat.





Figur 4-3 Uppdaterad översiktsritning geologisk och bergteknisk prognos

I arkivmaterialet från byggtiden finns också redovisning av analyser av prover tagna från utloppstunneln och från dykartunneln. Enligt resultat från analys av prov erhållet vid sektion 7/516 utgörs provet av leromvandlad och delvis krossad gnejs. Lermineralen beskrivs som: *Svällande blandskiktstyp mellan klorit och vermikulit och smektit (sväller alltid). Dessa två dominerar provet. Dessutom finns en hel klorit i fraktionen.* I samma dokument redovisas också resultat från analys av ett lerprov från kraftstationens påslag där provet har undersökts med avseende på svällningsegenskaper. Fri svällning uppskattades till 125 % vilket ansågs ligga inom intervallet för aktiva leror (100% - 170 %) och svälltrycket till 1,55 kp/cm² (kilopond per kvadratcentimeter).

Tabell 4-1 Sammanställning av resultat från leranalys under 1987 i samband med anläggande av tunneln (Soylum 1989)

<u>Utloppstunnel, sektion 7/516 (0+156)</u>	
Leromvandlad och delvis krossad gnejs.	
Fuktighet	: 11%
Lerhalt	: 5%
Lermineral	: Svällande blandskiktstyp mellan klorit och vermikulit och smektit (sväller alltid). Dessa två dominerar provet. Dessutom finns en hel del klorit i fraktionen.
<u>Utloppstunnel, sektion 7/775 (0+415)</u>	
Leromvandlad och delvis krossad gnejs.	
Fuktighet	: 6%
Lerhalt	: 5%
Lermineral	: Blandskiktstyp mellan klorit och vermikulit som dominerar lerfraktionen. Vidare finns det smektit i provet som sväller.

4.3 UNDERSÖKNINGAR UTFÖRDA I SAMBAND MED REPARATIONSÅTGÄRDER

4.3.1 Kärnbörning och kartering av borrhärdar

För att verifiera förväntad bergkvalitet och bedöma förstärkningsbehov har i samband med reparationsåtgärderna kartering av berget i tunneln utförts där möjligt. I områden där tunneln sedan byggtiden är förstärkt med sprutbetong har bergytan inte kunnat karteras. I stället har kärnor borrats ut och använts som underlag för att bedöma de geologiska förhållandena i området. Kärnorna har också använts för bedömning av befintlig sprutbetongs tjocklek och status.

I kärnorna som tagits uppströms om rasområdet har i huvudsak två bergarter identifierats, gnejs och amfibol. Dessa bergarter har generellt en god hållfasthet, men kan påverkas av omkringliggande geologi. Närmare rasområdet har leromvandlat berg med sämre hållfasthet blivit mer vanligt förekommande i kärnorna, se tex Figur 4-4.

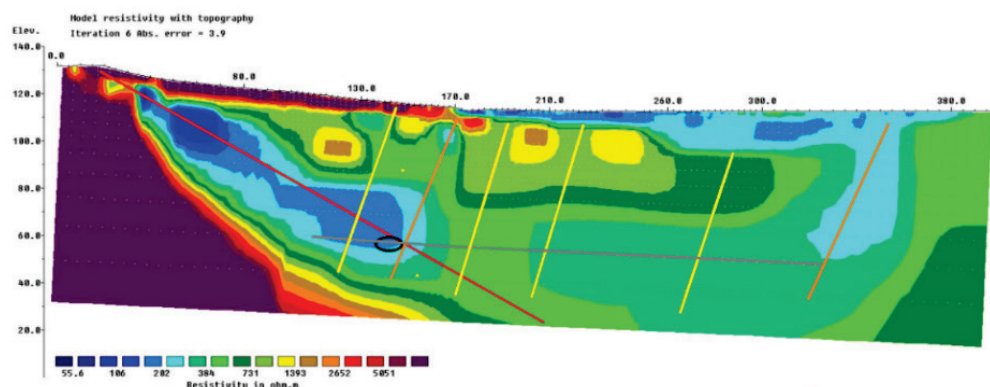


Figur 4-4 Exempel på borrhärdar tagen uppströms om rasområdet.

4.3.2 Geofysiska undersökningar – resistivitetsmätningar

Geofysiska undersökningar utfördes av SWECO från markytan ovan tunneln för att få en bättre förståelse för de geologiska förutsättningarna på plats samt om möjligt identifiera eventuella hålrum ovan rasområdet.

I Figur 4-5 visas en sektion av resultaten av de geofysiska undersökningarna som verifierar förekomsten av den zon som också prognostiserades inför och observerades i samband med anläggandet av tunneln.



Figur 4-5 Resultat från de geofysiska undersökningarna. Den identifierande svaghetszonen med en bedömd stupning på 45 grader som korsar utloppstunneln vid området för raset är markerat med en röd linje, utloppstunneln med en grå och raset med en svart (Nilsson, 2021)

4.3.3 Grundvatten

I samband med byggandet av dykartunneln uppstod problem med hårdning av injekteringen. Detta bedömdes under byggtiden bero på grundvattnets kvalitet, se (Knutsson, et al., u.d.). Beslut togs därför att utföra provtagning av grundvatten som läckte in i tunneln. Provtagningen visade inte på några avvikande värden som skulle kunna inverka på förstärkningens beständighet.

4.4 POTENTIELLA RASORSAKER

Potentiella rasorsaker i tunnlar utgörs generellt av otillräcklig förstärkning, degradering av förstärkning och/eller nedbrytningsprocesser i bergmassan.

Bergförstärkning inom rasområdet bedöms ha utgjorts av armerad sprutbetong då inga bultar har hittats i samband med utlastning av rasmassorna. Det är således sprutbetongens beständighet och bärförmåga som varit avgörande för tunnelns stabilitet. De sprutbetongprover som erhållits uppströms om rasområdet har generellt varit av god kvalitet och tjockleken har ofta varit över föreskriven tjocklek. Prover nedströms om rasområdet visade på något sämre kvalitet och separation, ofta kopplat till förekomst och koncentration av fibrer. Fibrer tros dock inte förekomma i rasområdet, se Avsnitt 3.6.3.

Dokumentation från byggtiden visar att raset inträffat i en zon med känd dålig bergkvalitet. Dokumentationen indikerar också förekomst av lera med svällande egenskaper. Leromvandlat berg har också påträffats i flertalet av de kärnor som tagits inom rasområde.

Förekomst av lera med svällande egenskaper är en vanlig möjlig orsak till flertalet av de ras som inträffat i vattenfyllda tunnlar flera år efter idrifttagande. I vissa fall kan en relativt liten mängd lera med svällande egenskaper orsaka stabilitetsproblem. Det kan vara tillräckligt att svällningstrycket spräcker upp sprutbetongen och således initierar en erosion av leran. Erosionen leder successivt till att berget i tunneltaket förlorar sin bärförmåga och orsakar ras. Det behöver emellertid inte enbart vara erosionen som orsakar att bergmassan förlorar sin

bärförmåga. En annan orsak kan vara att en minskning av skjuvhållfastheten i leran äger rum, exempelvis till följd av förändring av lerans vattenhalt, se till exempel (Draganovic och Johansson 2010).

En analys av potentiella idealiserade brottmoder indikerar att den installerade sprutbetongen torde vara tillräcklig för att bära lasten av ovanpåliggande berg genom valvverkan om en jämnt fördelad last antas. En mer lokal belastning kan dock ha uppstått på förstärkningen, tex genom utveckling av svälltryck i en lerzon eller genom glidning av bergmassa i en zon som med tiden tappat skjuvhållfastheten. Detta kan ha lett till att vidhäftningen mellan sprutbetongen och berget förlorats lokalt, vilket i sin tur kan resultera i att sprutbetongens momentupptagande förmåga överskrids och sprutbetongen spricker lokalt. En progressiv utveckling av brottområdet leder till att sprutbetongen förlorar sin bärkapacitet inom ett större område och ett stort ras inträffar. Då inga observationer av fallförluster inträffade tidigare än ca 2 månader innan raset antas det ha varit ett relativt snabbt brottförlopp även om själva uppsprickningen av sprutbetongen kan ha påbörjats tidigare.

5 Sammanställning av erfarenheter

5.1 FRÅN BYGGTIDEN

Raset har inträffat i område med kända svåra förhållanden redan under byggtiden med bland annat förekomst av lera med svällande egenskaper. För området projekterades specifik förstärkning i form av dubbelarmerade sprutbetongbågar.

Baserat på den litteraturgenomgång som utfördes i samband med reparationsarbeten är förekomst av lera med svällande egenskaper en vanlig möjlig orsak till flertalet av de ras som inträffat i vattenfyllda tunnlar flera år efter idrifttagande. Även analyser utförda i samband med reparationsåtgärderna indikerar på förekomst av lera med svällande egenskaper. Detta visar på svårigheten att upptäcka och bedöma risker för skador på grund av berg med svällande lera. Att den specifika förstärkning som projekterades för området inte var tillräcklig för att säkra tunnelns stabilitet under hela dess tänkta livslängd kan bero på att det även idag saknas vedertagna metoder för hur tunnelförstärkning ska utföras i vattenförande tunnlar vid förekomst av svällande lera.

Enligt dokumentation från byggtiden var de praktiska förhållandena vid kartering av tunneln dåliga vilket kan ha varit en bidragande faktor till svårigheten att utvärdera omfattningen av lerbeförekomsten och förstärkningsbehovet. Karteringen skulle passas in i den normala cykeln för tunneldrivningen vilket innebär att den gjordes efter varje salva, under borrh- och laddmomenten. Detta förde bland annat med sig följande olägenheter:

- för kort ostörd tid för karteringen
- dålig sikt pga. "rök och dimma" från de pågående aktiviteterna i tunneln
- dåligt ljus försämrade väsentligt observationsmöjligheterna
- ingen tillgång till skylift eller dylikt för detaljstudier av tak och anfang
- vattenläckage innebär blöta papper och svårigheter vid dokumentation

Dokumentation gällande undersökningar och geologiskt ramverk samt utfall under byggtiden var ovanligt god för denna typ av tunnel. Mycket av dokumentation har också kunnat återhittas efter arkivsökningar hos anläggningsägare samt ett flertal konsultbolag. Dock saknas det viss dokumentation från byggtiden, till exempel relationshandlingar som visar tunnelns faktiska geometri och förstärkning i mer detalj.

5.2 FRÅN DRIFTIDEN

Då tunneln varit vattenfylld och stationen i drift har inga inspektioner utförts av tunneln under drifttiden, något som är vanligt förekommande för vattenfyllda tunnlar i vattenkraftsanläggningar. Inte heller några fallförluster som skulle kunna indikera på mindre utfall finns registrerade tidigare än strax innan stoppet, dvs inga tidiga indikationer på ras har kunnat identifieras.

Under senare tid har inspektion av vattenfyllda tunnlar med undervattensfarkoster blivit vanligare, se till exempel (Hansson, 2020). I samband med reparationsåtgärderna har diverse metoder för fjärrstyrd inskanning och

inmätning av tunneln använts för att kunna bilda sig en uppfattning om rasets omfattning och läge, se Avsnitt 3. Driftstilleståndet nyttjades också till att inspektera dykartunneln samt tunneln nedströms om raset med ROV (Remotely Operated Vehicle).

Utifrån utförda undersökningar med ROV och drönare har tunnelnarnas geometri kunnat bestämmas, det stora rasets läge lokaliseras och förekomst av andra ras/större utfall uteslutas. I samband med att access erhöles till utloppstunneln gjordes en avstämning av ett par av de områden där sprickor kunde ses i tunneln mot inskanningen. Det kunde då konstateras att det är svårt att identifiera mindre skador, tex sprickbildning i sprutbetongen som skulle kunna utgöra ett tidigt förstadium till brott, om inte dess läge var känt i förväg. Samtidigt går utvecklingen mycket fort framåt, och nyttan av inspektion av vattenfyllda tunnlar med undervattensfarkoster ökar.

5.3 FRÅN REPARATIONSTIDEN

För Hylte kraftverk var dokumentation från byggtiden gällande geologiska förutsättningar ovanligt god även om det fanns en del oklarheter. Dessutom fanns ett antal artiklar om anläggningen publicerade vilka bidrog med ytterligare information om området där raset ägt rum. Dock så fanns inte all dokumentation samlad i anläggningsägarens arkiv. Det var därmed inte tillgängligt från start utan arkivsökningar hos tex Sweco och Bergab fick utföras parallellt med planering och utförande av åtgärder.

Vidare så saknades relationshandlingar vilket medförde stora osäkerheter gällande tunnelns geometri samt lämpliga tillfartsvägar till raset. De geometrier som presenterades på skisser i beräkningsrapporter etc. verkar dock stämma någorlunda med verkligheten- vilket gjorde att tillfart med de fordon och arbetsmaskiner som behövdes för att utföra arbetet kunde ske. Avvikelse hade dock kunnat medföra problem med tillfart för nödvändiga maskiner och försvåra reparationsarbetet. Bättre kunskap om tunnelnarnas geometri från början hade också underlättat vid val av tillfartsväg. Till exempel hade bättre kunskap om svalltunnelns utformning och status kunnat medföra att denna utgjort förstahandsvalet och på så sätt hade inte arbeten för att förbereda tillfart vid mellanpåslaget behövt utföras.

I befintliga handlingar fanns också uppgifter om hur förändringar av tunnelns inre area inverkar på fallförluster vilket utgjorde ett bra stöd vid val och dimensionering av åtgärder.

Inga tillstånd behövdes för de aktiviteter som utfördes i samband med reparationsåtgärderna vilket troligtvis sparade en hel del tid. Dock så behövde markåtkomst säkras vilket inte samtliga berörda markägare var positiva till. Detta löstes genom att välja andra alternativ men skulle kunna utgöra ett problem i de fall sådana alternativ inte finns.

Beroende på rasets läge kan förberedande arbeten för att nå rasområdet på ett säkert sätt vara tidskrävande. I det studerade fallet var raset "endast" 160 m

nedströms om kraftstationen och svalltunneln krävde begränsade åtgärder. Trots detta tog det flera månader innan området för själva raset nåddes.

Reparationsåtgärder valdes i nära dialog mellan anläggningsägare, entreprenör och projektör. Aspekter som diskuterades inkluderar syfte med åtgärd, byggbarhet och säkerhet. Utförda åtgärder utvärderades kontinuerligt och anpassades efter faktiskt utfall. Under hela tiden som arbete pågick i tunneln pågick också övervakning av berget och installerad förstärkning men också av vattennivån vid utloppet.

Åtgärder i rasområdet utfördes i två steg, först utfördes temporär förstärkning av området för att stoppa raset och säkra en säker utlastning av rasmassorna. Den temporära förstärkningen syftar till att säkra arbetsmiljön vid installation av permanent förstärkning som ska säkerställa tunneln funktion under anläggningens återstående livslängd.

Val av temporära och permanenta förstärkningsåtgärder behöver anpassas till den specifika situationen med hänsyn till bland annat geologiska förutsättningar på plats, rasets omfattning och orientering, samt rasets läge. Det är därför också svårt att förbereda alternativ innan ett ras inträffat. Det finns dock ett antal förberedande åtgärder som kan bidra till reducerad stopptid för anläggningen i samband med ett ras:

- All dokumentation om anläggningen sammanställs i anläggningsägarens arkiv så att den finns tillgänglig från start
- Om möjligt, identifieras områden som i samband med anläggande av tunneln bedömdes vara av sämre kvalitet inklusive installerad förstärkning
- Möjliga tillfartsvägar för olika områden av tunneln inklusive information om bland annat vägarnas skick, storlek, geometri samt vilka tillstånd/markåtkomst som eventuellt krävs för respektive tillfartsväg identifieras och dokumenteras
- Sammanställning av åtgärder som krävs för torrläggning av tunneln, till exempel lämpligt läge och tillståndskrav för anläggande av en fångdamm
- Information om minst acceptabel inre area för tunneln med hänsyn till fallförluster som underlag för dimensionering av förstärkning
- Framtagande av strategi/metodik för bedömning av tunnelns status med hänsyn till bergkvalitet och installerad förstärkning i syfte att säkra en säker arbetsmiljö.

5.4 ERFARENHETSÅTERFÖRINGSMÖTE

I samband med att arbetena med att reparera raset och åter ta utloppstunneln och kraftstationen i drift närmade sig ett slut hölls ett erfarenhetsåterföringsmöte där representanter för anläggningsägaren inklusive driften, entreprenören och projektören deltog. Syftet med mötet var att diskutera och dokumentera händelser och erfarenheter kopplade till rasets samtliga faser, från upptäckt till tidiga/förberedande åtgärder ända fram till att reparationsåtgärderna blivit genomförda. Vid tidpunkten för mötet hade inte tunneln tagits i drift än varvid erfarenheten från driftsättningen inte diskuterades.

Majoriteten av erfarenheterna från denna period relaterar till en säker arbetsmiljö samt vikten av ett öppet och lösningsorienterat arbetsklimat som viktiga för ett lyckat projekt.

En bra och öppen dialog mellan projektör, entreprenör och anläggningsägare bedömdes som nödvändig för utvärdering och val av åtgärder och lösningar med hänsyn till rätt aspekt såsom tid och kostnad. Även byggbarhet och logistik är viktiga aspekter att diskutera och samordna då de flesta ras utgör en unik situation med specifika begränsningar och det är svårt med standardlösningar.

6 Referenslista

- BERGAB Berggeologiska Undersökningar AB. (1986). *Hylte Kraftverk. Dykartunnel, Kraftstation och Utloppstunnel. Geologisk och bergteknisk prognos*. Bergab.
- BERGAB Berggeologiska Undersökningar AB. (1987). *Hylte kraftverk. Reviderad geologisk prognos*. Bergab.
- BERGAB Berggeologiska Undersökningar AB. (1990). *SKB. Hylteprojektet. Kartering av delsträcka i utloppstunneln. Resultat, erfarenheter samt jämförelse med prognos*. Bergab.
- Didriksson, V., Jönsson, L., & Brunnsäter, M. (1989). Tättningsproblem vid drivning av dykartunneln vid Hylte kraftverk. *Bergteknik (BK-Dagen)* (ss. 111-126). Svenska Bergteknikföreningen.
- Draganovic, A., & Johansson, F. (2010). *Svällande leror i bergtunnlar - Förstudie*. BeFo Rapport 101.
- Ellison, T., Lundqvist, C., & Bogdanoff, I. (2010). Åtgärder efter ras i Bolmentunneln. BeFo.
- Hansson, M. (2020). *Inspektion av vattenfyllda tunnlar*. Energiforsk.
- Heiner, A., & Stille, H. (1990). Ras i utloppstunneln vid Norränges kraftverk. *Bergmekanikdagen 1990, Föredrag och diskussioner*. BeFo.
- Hultman, R., Stille, H., & Söder, P.-E. (1993). *Ras i kraftverkstunnel, Gidböle*. Stockholm: BeFo.
- Håkansson, W. (2013). *Kraftverkstunnlars beständighet - En studie om åldringsfenomen och nedbrytningsprocesser*. Lund: Master Thesis, LTH.
- Knutsson, Alestem, & Brunnsäter. (u.d.). *Unconventional design and grouting methods used at Hylte hydro power station, Sweden*.
- Nilsson, P. G. (2021). *Resistivitetmätning Hylte*. Sundsvall: SWECO.
- Solyom, Z. (1989). *Redovisning av leranalyser från Hylte kraftverk*. Lund: Lunds Universitet, Geologiska Institutionen, Avd för mineralogi och petrologi.
- SSE. (2020). *ROV-undersökning av utloppstunnel på Hyltekraftverk. Med syfte att lokalisera eventuellt ras*. Malmö: Svensk Sjöentreprenad i Malmö AB.
- SSE-AB. (2020). *Tunnelinspektion med ROV vid Statkraft vattenkraftverk i Hylte*. Hämtat från <https://www.sse-ab.se/blog/2020/11/09/tunnelinspektion-med-rov-vid-statkraft-vattenkraftverk-i-hylte/> den 26 April 2023
- Sundell, B.-O. (1994). *Tunnelrenovering vid Tåsan kraftstation*. Bergmekanikdagen, BeFo.
- Sundquist, K.-J. (1972). *Raset i tillloppstunneln för Stensjöfallets kraftverk*. Stockholm: Bergmekaniskt diskussionsmöte: BeFo.
- Sveriges Geologiska AB. (1987). *Hylte. Utlåtande avseende geofysiska markprofilmätningar i anslutning till Hylte tunnelsträckning*. Sveriges Geologiska AB, Division Ingenjörsgologi.

DOKUMENTATION AV TUNNELRAS I UTLOPPSTUNNEL

Under 2020 inträffade ett ras i en utloppstunnel ca 160 meter nedströms den underjordiska kraftstationen vid ett vattenkraftverk i södra Sverige. Raset omfattande en cirka 12 m lång sträcka av tunneln, krävde omfattande reparationsåtgärder och resulterade i ett totalt driftstopp på 21 månader. Utloppstunnlar i berg förekommer också vid många andra vattenkraftsanläggningar i Sverige. De är i likhet med den studerade utloppstunneln till stor del helt vattenfyllda och har varit så sedan de byggdes. De är således svåra att inspektera och många har inte blivit inspekterade sedan kraftverken togs i drift. Det finns därför en osäkerhet kring tunnarnas beständighet och långsiktiga funktion. Syftet med den här rapporten är att sammanställa erfarenheter från detta fall. På så sätt kan man öka kännedomen ytterligare kring vilka mekanismer och processer under drifttiden, som svällningsegenskaper i berget och degenerering av förstärkningar, som potentiellt kan leda till eskalerande ras. Det är också viktigt att få fram vilka problemställningar som kan uppstå i samband med ett ras.

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