



Energiforsk webinar – Vattenkraftens bergfrågor

Krångede – New Access Tunnel and Draft tube gates

(Ny tillfartstunnel och sugrörsavstängningar)

Marcus Hautakoski, Projektledare – Fortum Sverige AB

2020-11-25

Join the
change

 **fortum**

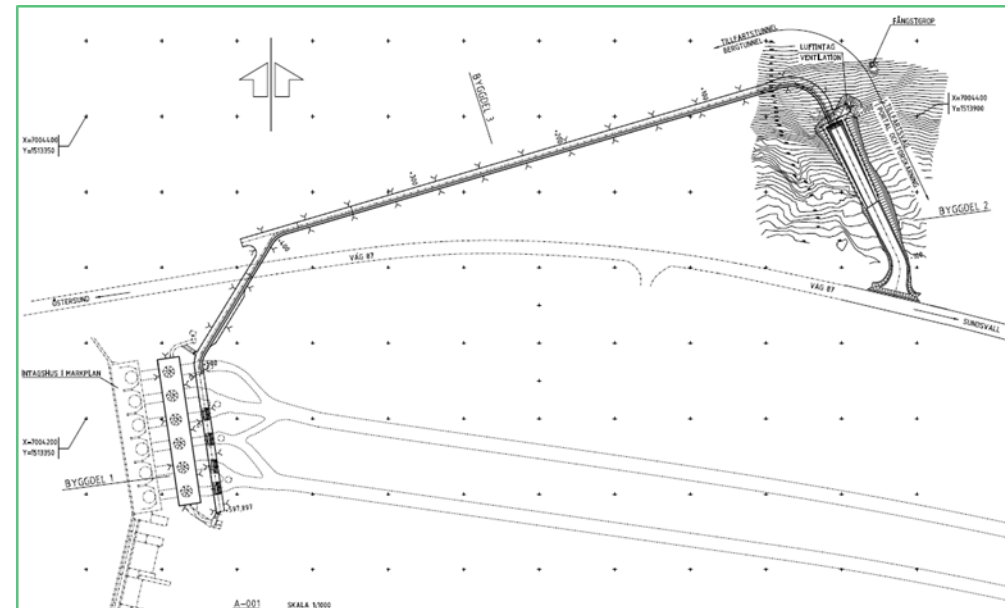
Sammanfattning

Vad skall göras?

- Ny tillfartstunnel och sugrörsavstängningar

Huvudsakligt syfte

- **Förbättra arbetsmiljön**
- Underlätta underhåll och tillgänglighet
- Minimera kostsamma stopptider/produktionsförluster
- **Komplicerat utförande**
- **Ett av de större tunnelprojekten inom svensk vattenkraftindustri under 2000-talet.**



Krångede kraftverk

- Beläget i Indalsälven i Ragunda kommun ungefär mittemellan Storsjön och havet, ca 8 mil från Östersund.
- Ägare: Fortum (90,8 %), Uniper (9,2 %)
- Kraftverk närmast uppströms: Stugun (Vattenfall)
- Kraftverk närmast nedströms: Gammelänge (Fortum)

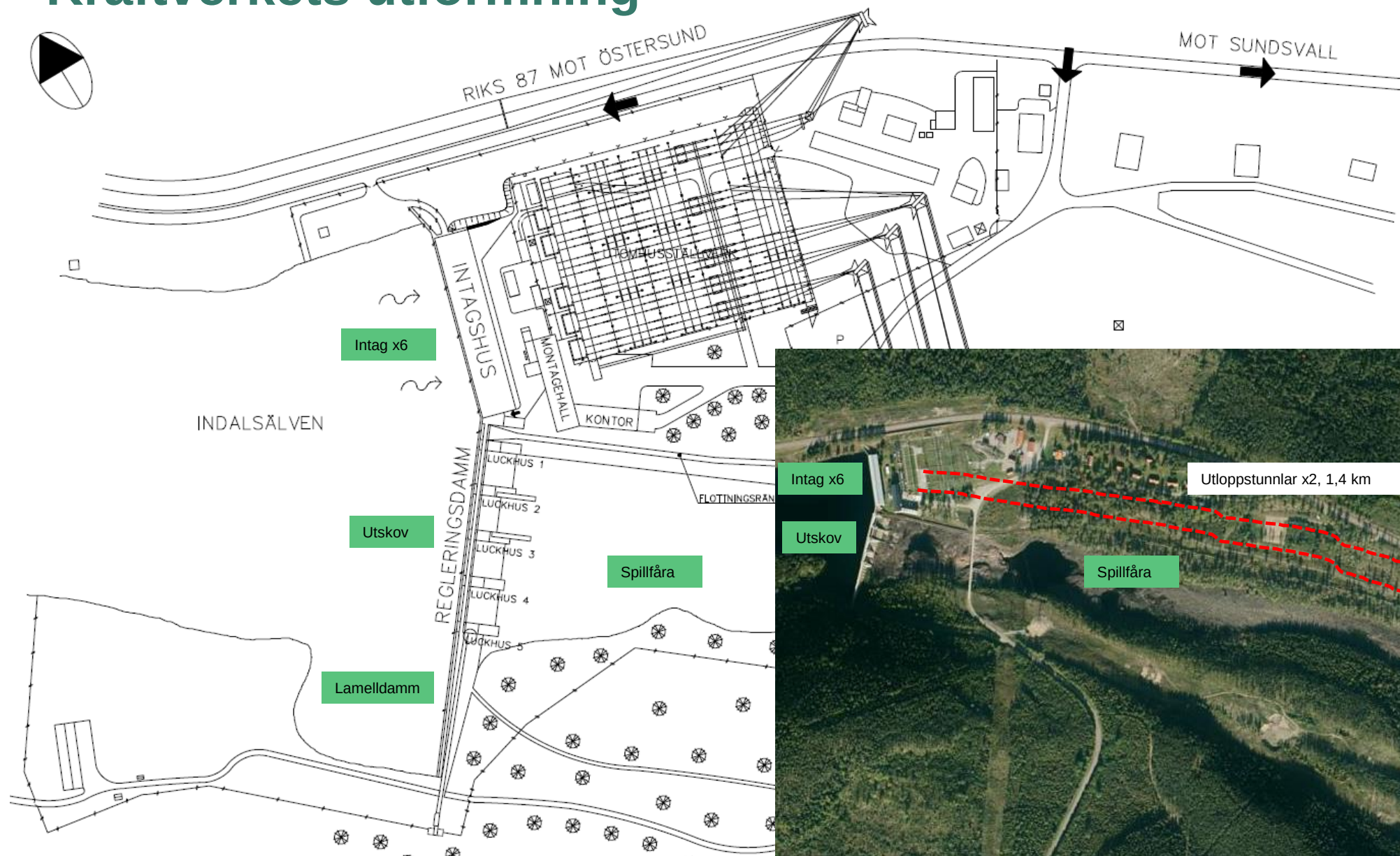


Krångede – Översiktlig information

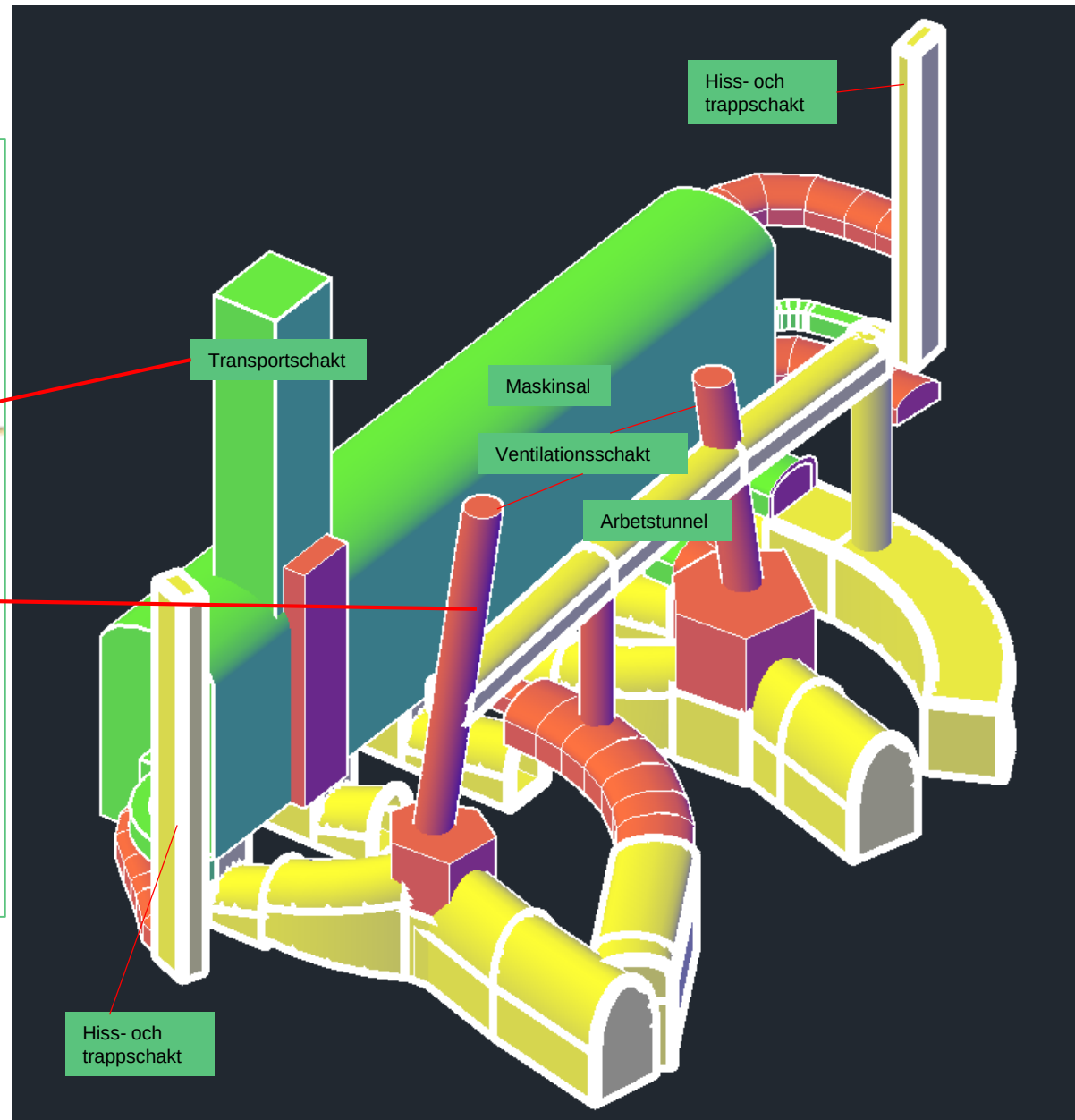
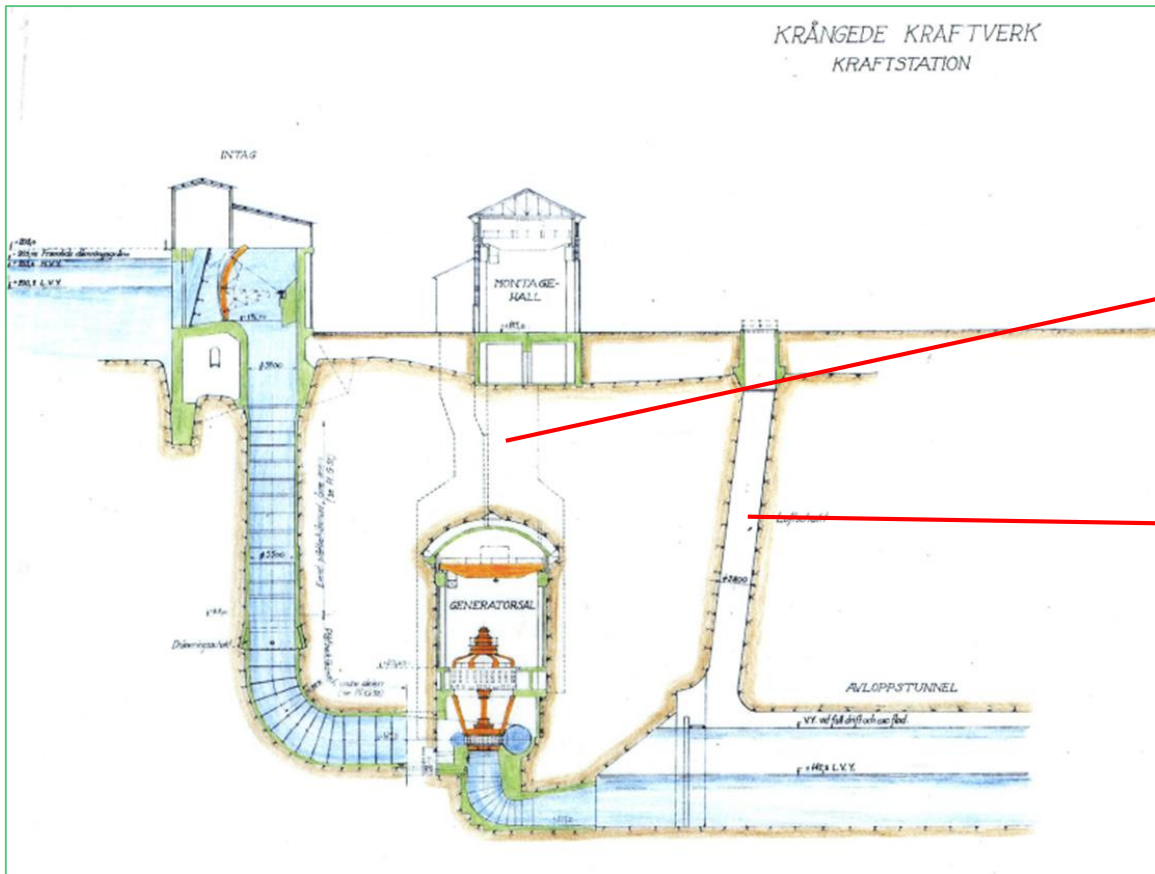
- Krångede kraftverk byggår: 1931-1936
- Underjordsstation, ca 40 m under marknivån. Fallhöjd 60 m
- Installerad effekt: 248 MW fördelat på 6 aggregat (Francis turbiner)
- Årsproduktion: 1680 GWh
- Utbyggnadsvattenföring: 500 m³/s
- Regleringsmagasin (Gesunden): 60 Mm³
- Kraftverket var det största vattenkraftverket i Sverige under 40-talet fram tills 1952 då Harsprånget stod färdigt.
- Idag är det Sveriges 5:e största vattenkraftverk sett till årsproduktion (effektmässigt nr 12) och står för ca 2,5 % av den totala vattenkraftproduktionen i landet.



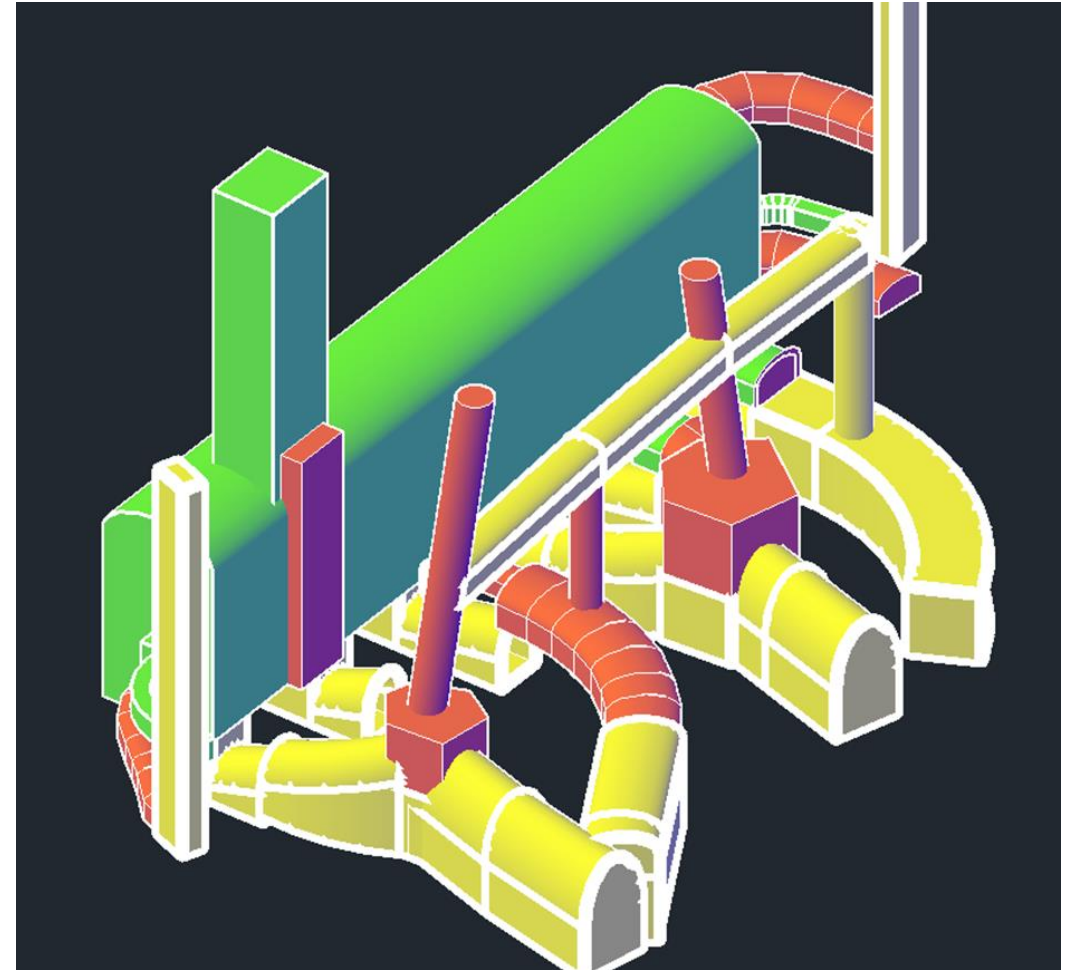
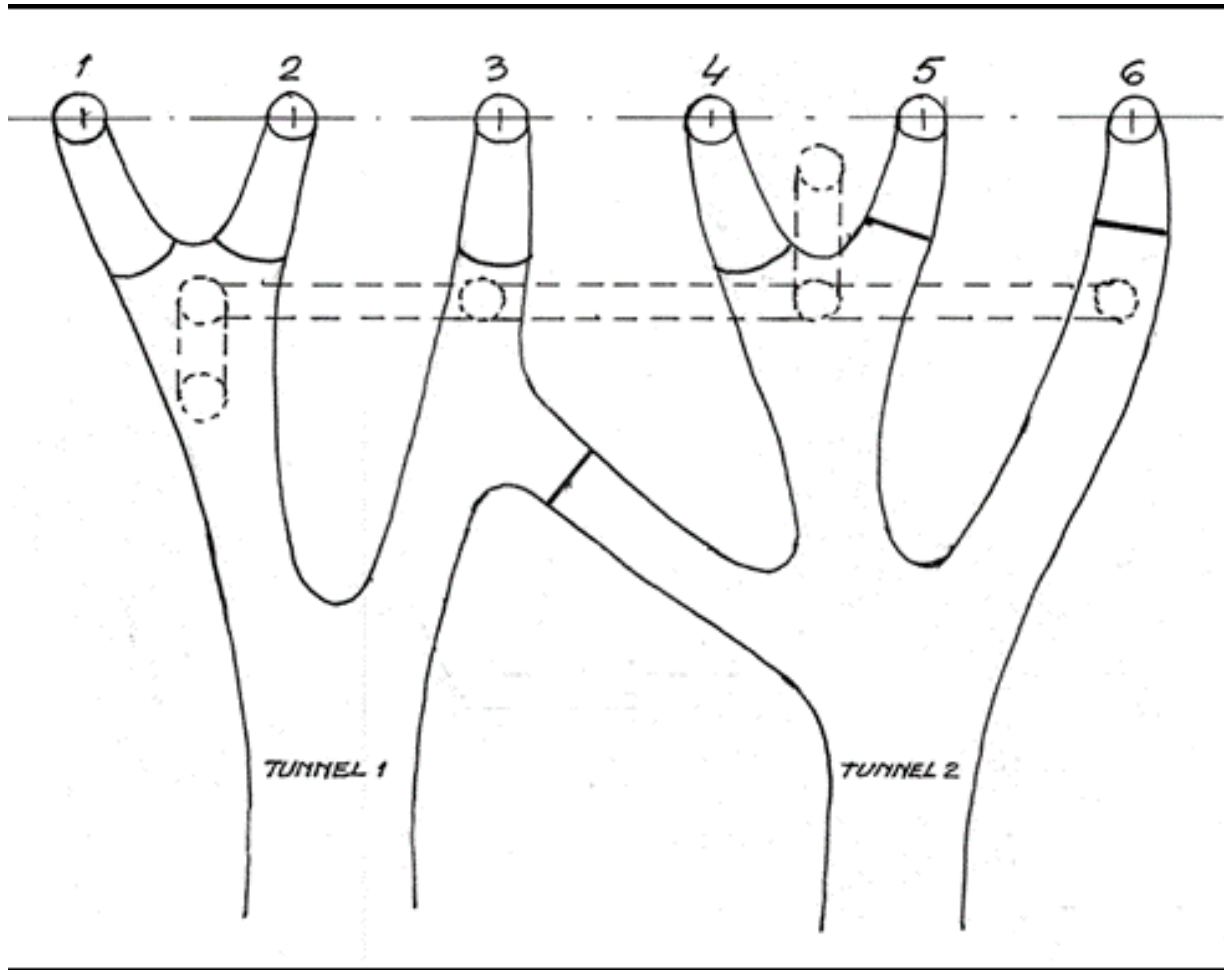
Kraftverkets utformning



Kraftverkets utformning



Kraftverkets utformning – Sugrör och utloppstunnlar



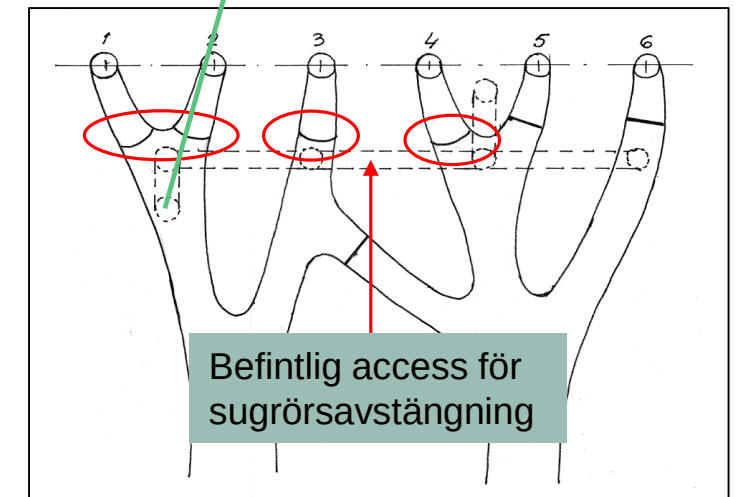
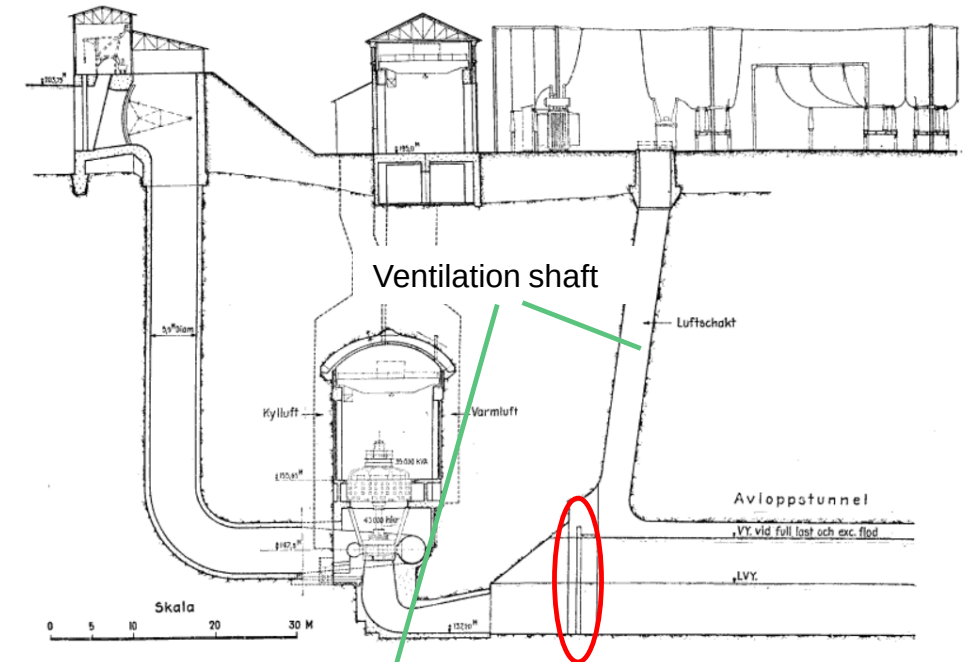
Historia - Arbetsmiljöproblem

- Bygget av Krångede var ett av de tidiga riktigt stora underjordskraftverken i landet.
- Bygget bedrevs i egen regi där varje arbetslag bestod av till hälften Ortsbor och till hälften erfarna kraftverksanläggare.
- Byggandet av Krångede kraftverk beskrivs ofta som ett dåtida under av modern ingenjörskonst men det framgår inte lika mycket att det ofta rörde sig om ett mycket svårt, tungt och farligt arbete utan både skyddsanordningar och säkerhetsutrustning överhuvudtaget.
- Det finns inga säkra uppgifter om antalet omkomna under bygget men under åren 1931-1936 (första utbyggnaden) skall det ha omkommit 14 personer enligt uppgift.
- **30-talets tänk kring arbetsmiljö präglar delvis hur kraftverket idag ser ut och det gäller nu att anpassa anläggningen till dagens regler och lagar.**

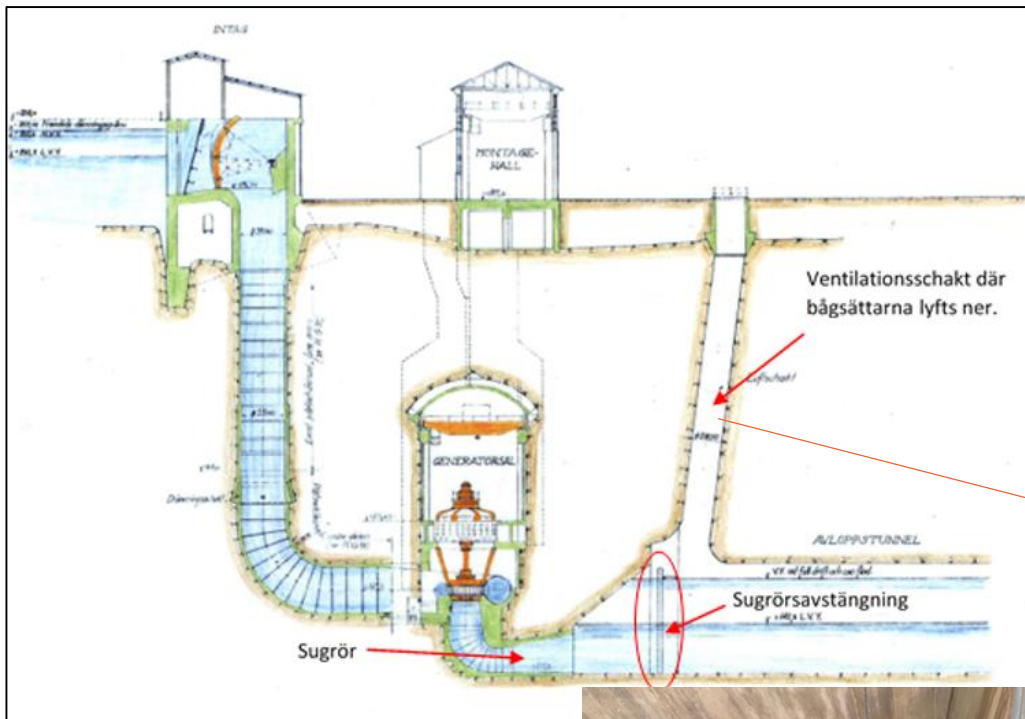


Komplicerad sugrörsavstängning vid underhållsarbeten och inspektioner

- Sugrörsavstängningen för G1-G4 består av bågsättar (72st om vardera 350kg).
- Riskabel installation med mycket manuell hantering vid lyft av bågsättarna genom ventilationsschakten.
- Dykarbeten krävs både vid montage och demontage.
- Arbetet är tidskrävande, ungefär 14 dagar inklusive förberedelser så som t.ex. bergsskrotning.
- För att stänga av ett sugrör måste även de två andra aggregaten som delar samma utloppstunnel stoppas, dels för att erhålla en arbetsmiljö som är säker och dels för att rent praktiskt kunna utföra arbetet.
- Halva kraftverket måste därmed stå stilla både vid montage och demontage, vilket innebär stora produktionsförluster.
- G5 och G6 har en något enklare avstängning med raka sättar som lagras direkt i anslutning till sugröret. Kräver dock även här dykarbete och stopp av intilliggande aggregat.



Komplicerad sugrörsavstängning vid underhållsarbeten och inspektioner



- Ventilationsschaktet är utrustat med en stege med fallskyddsutrustning, detta är den enda åtkomsten till plattformen från vilken arbetet med bågslättarna utförs för G1 och G2.
- Från ytan är det ca 50 m klättra ner till plattformen.
- Cirka 25 m under markytan finns det en horisontell arbetstunnel ovanför utloppen från aggregaten från vilka bågslättarna sänks ner till G3 och G4.



Ventilationsschakt ovanför G1 och G2



Arbetstunneln

Komplicerad sugrörsavstängning

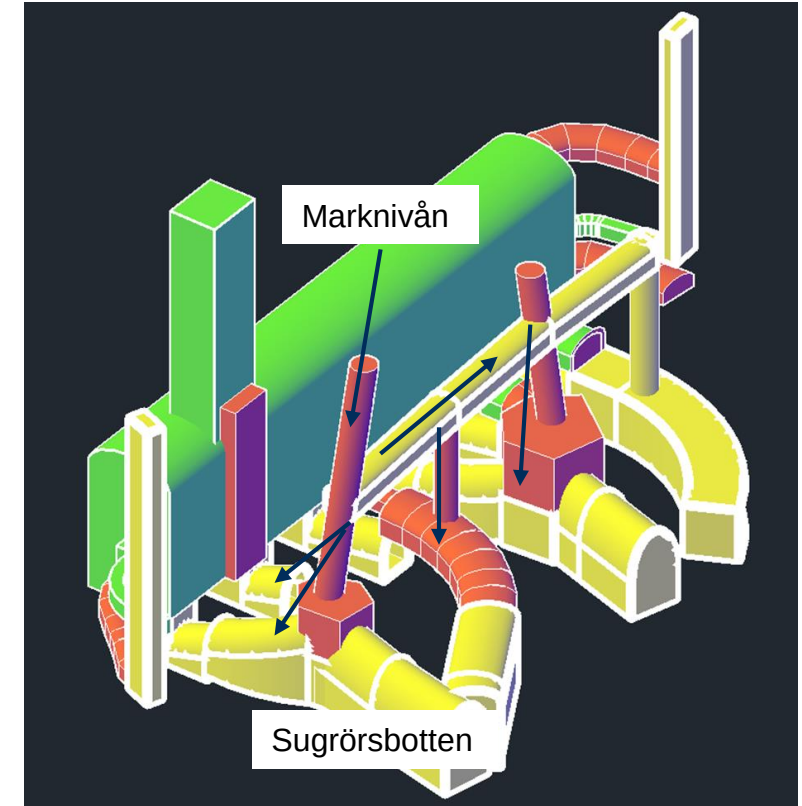


Vertikalschakt ovanför G4 och G5 där sättna lyfts ner från marknivå. Sättna kopplas om nere i sugröret för att sedan placeras i falsläget och tas emot av dykare.

- Arbetet är tidsödande och riskfyllt
- Incident har inträffat där sätt lossnat under lyft
- Skrotning krävs alltid innan påbörjande av arbeten med sättna.

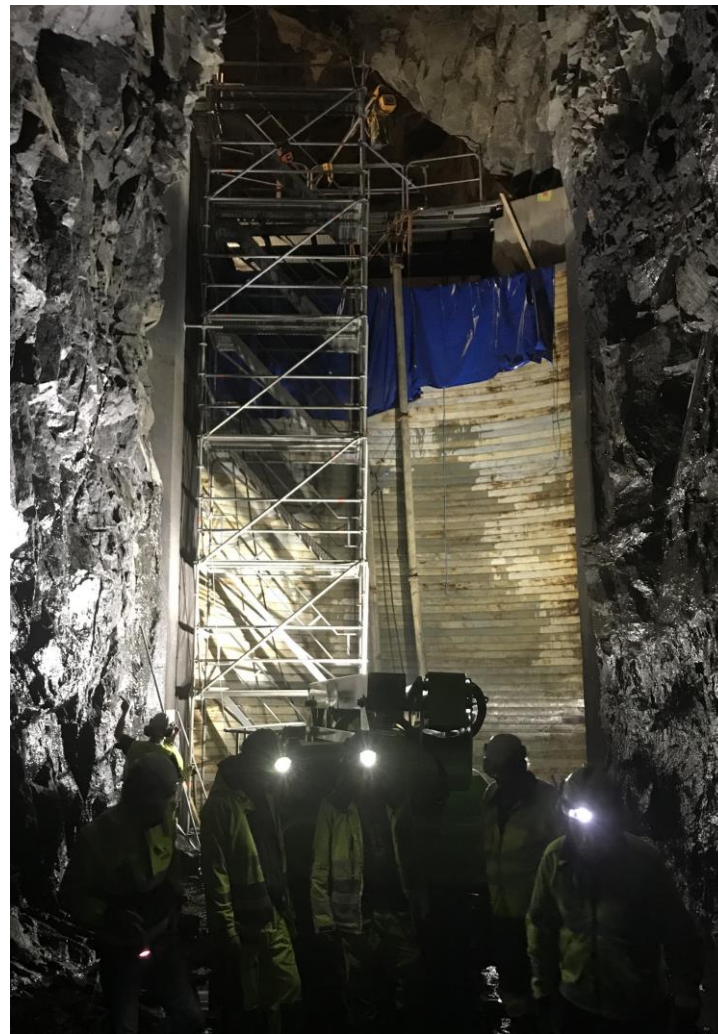


Skrotning pågår



Höjdskillnad mellan marknivå och sugrörsbotten ca 60 m

Komplicerad sugrörsavstängning

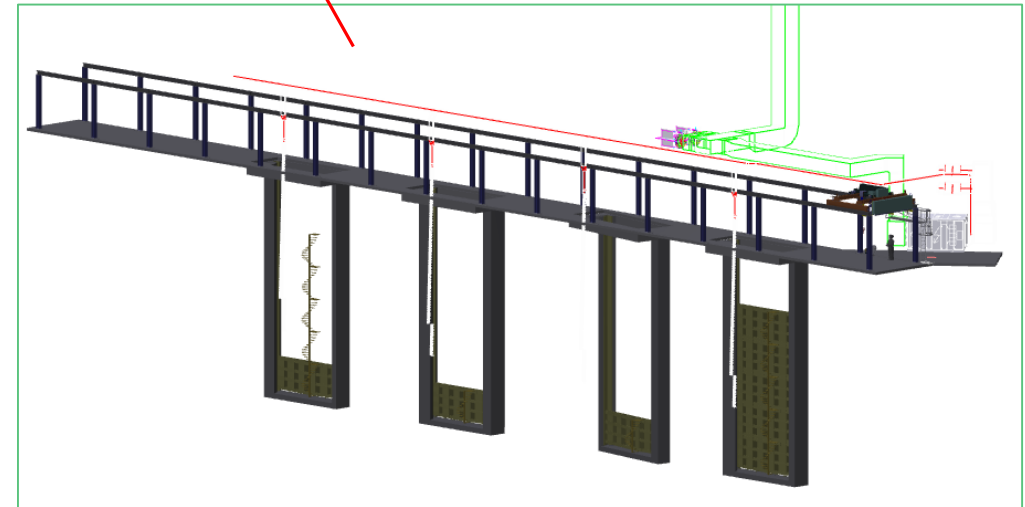
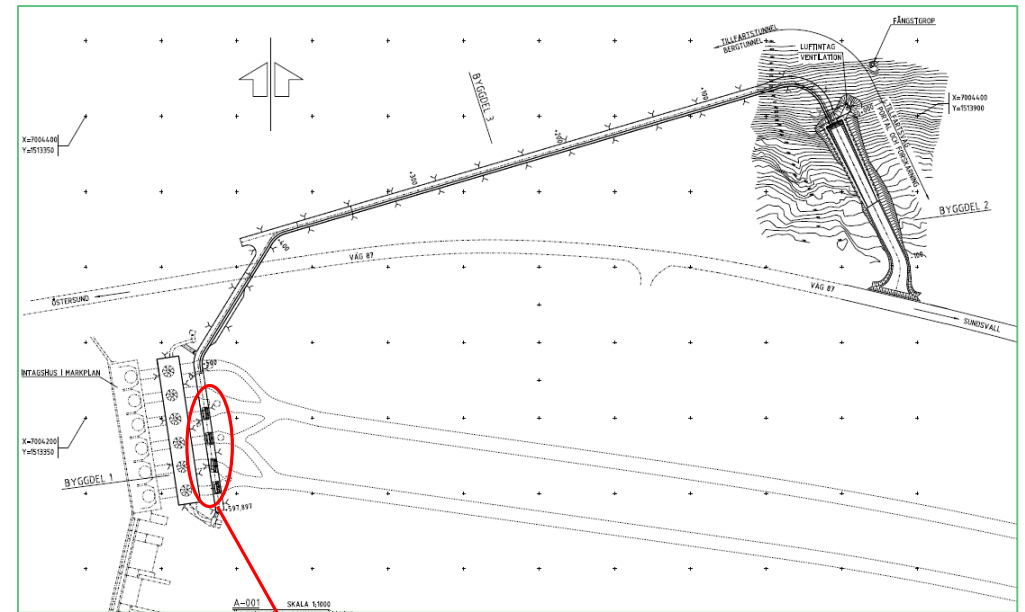


Projektets syfte

- Förbättra arbetsmiljön
- Underlätta underhåll och tillgänglighet
- Minimera kostsamma stopptider/produktionsförluster

Scope

- 500 m lång tillfartstunnel ner till nivån för maskinsalen (40 m under markytan)
- 100 m långt sugrörsgalleri som passerar ovanför varje sugrör.
- Fyra vertikala schakt från galleriet ner till sugrören för G1-G4.
- Inköp av sugrörsluckor i rostfritt stål. En omgång med fem luckor som placeras på varandra i något av de fyra sugrören.
- Installation av travers till sugrörsgalleriet för hantering av luckorna.
- Installationer av ventilation, el och brandlarm mm.
- Nya accessvägar/nödutgångar till befintlig maskinsal i form av en gångtunnel i anslutning till ett hisschakt och en större infart mellan G4 och G5.

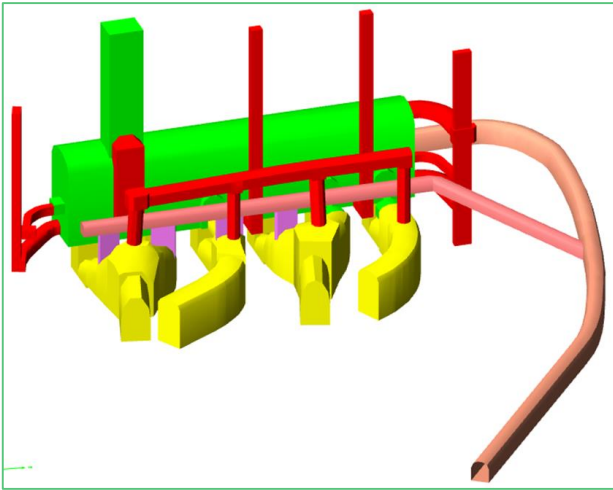


Projektet över tid

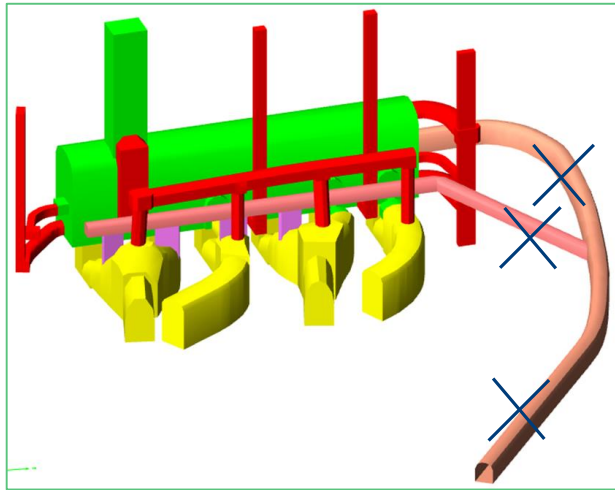
- 2012/2013: Frågan belystes frågan på allvar inom Fortum. Arbetsmiljöproblemen med sugrörsavstängningen har varit kända sedan länge men nu skapades det ett projekt.
- 2014-2015: Förstudier
- 2015-2017: Miljödomsprocess, förprojektering och upphandling av tunnelarbetena.
- 2018: Arbeten på site påbörjades
- 2025: Enligt nuvarande tidplan avslutas de sista momenten i projektet.

Förstudien

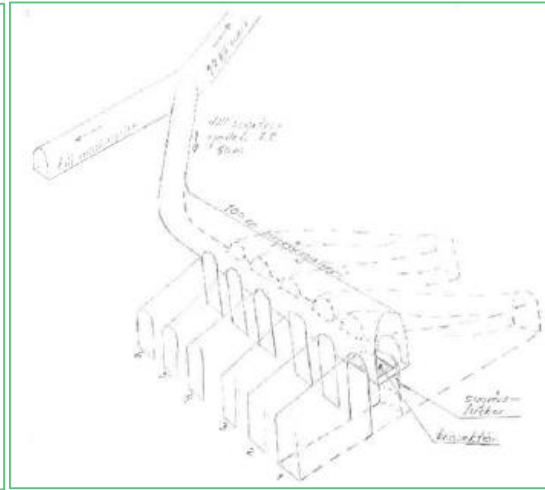
- Sweco studerade inledningsvis olika alternativ.
- Man började med att scanna utrymmen och skapa en 3D-modell av anläggningen så långt det var möjligt.
- 3-4 olika alternativ lyftes fram.
 1. Tillfartstunnel från marknivå till maskinsalen med avgrening till nytt sugrörsgalleri
 2. Nytt sugrörsgalleri med förbindelsegång från maskinsalen, ingen ny tillfartstunnel från markytan.
 3. Nytt sugrörsgalleri direkt ovanför befintliga sättavstängningar för enklare hantering av dessa.
 4. Hängande klaffluckor under vattnet vid sugrörens slut.



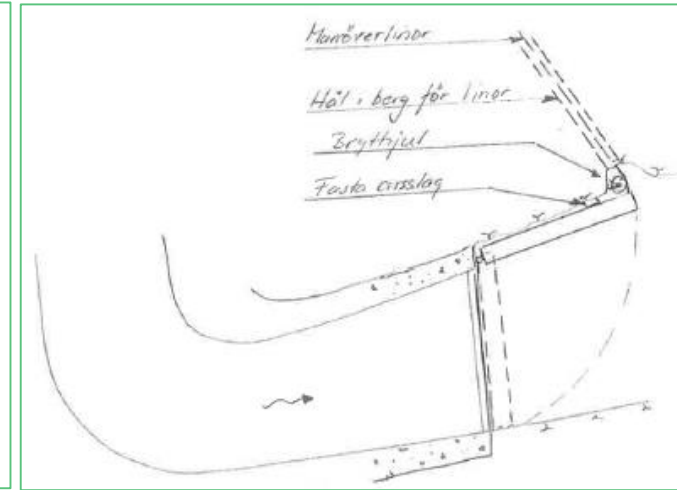
Alternativ 1



Alternativ 2



Alternativ 3

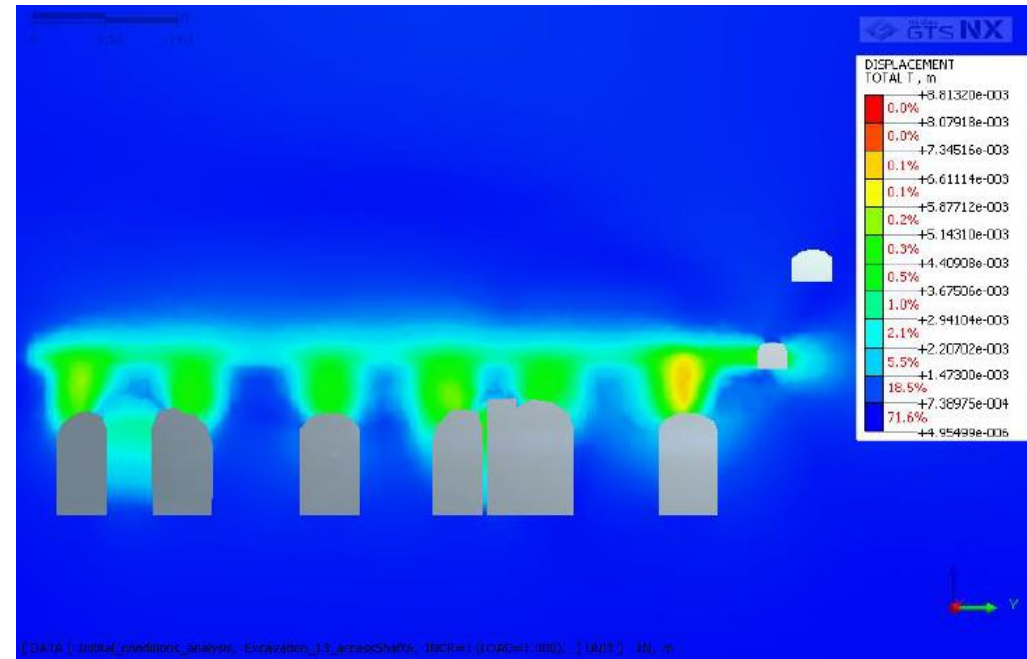
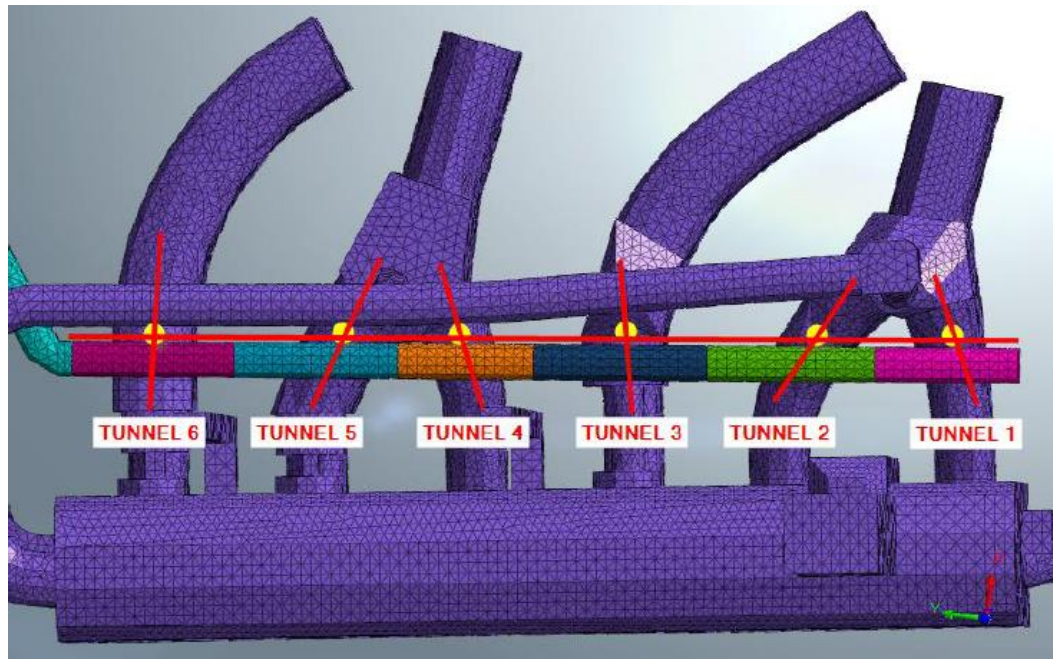


Alternativ 4

- Alt. 1 och 2 kräver inte torrläggning av tunnel för utförande.
- Alt. 2 skulle vara mycket svårt (omöjligt) att utföra med verksamhet i och alla bergtransporter genom maskinsalen.
- Alt. 3 nyttjar befintligt avstängningsläge men skulle vara svårt att utföra utan tömning av avloppstunnlar.
- Alt. 4 skulle också kräva tunneltömning för åtkomst och underhåll av klaffluckan.

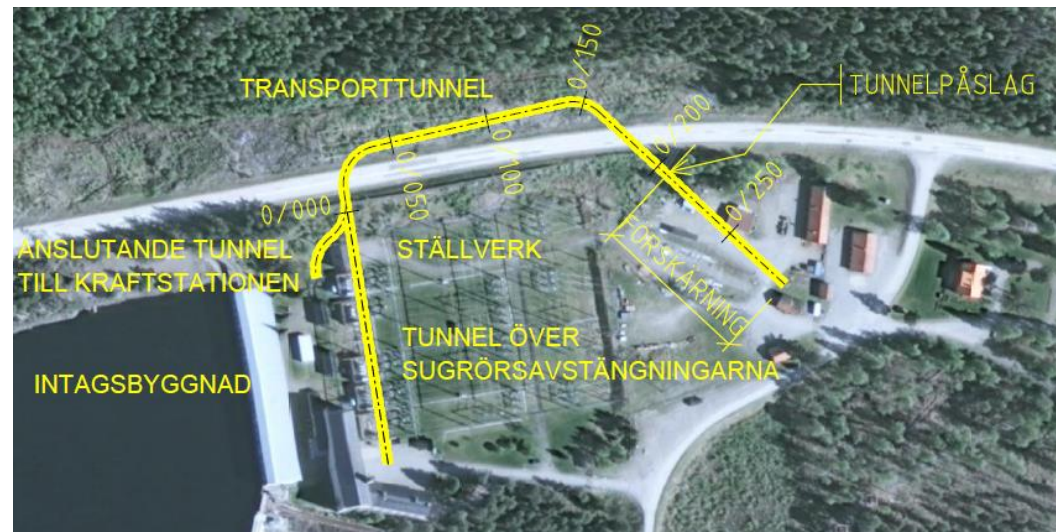
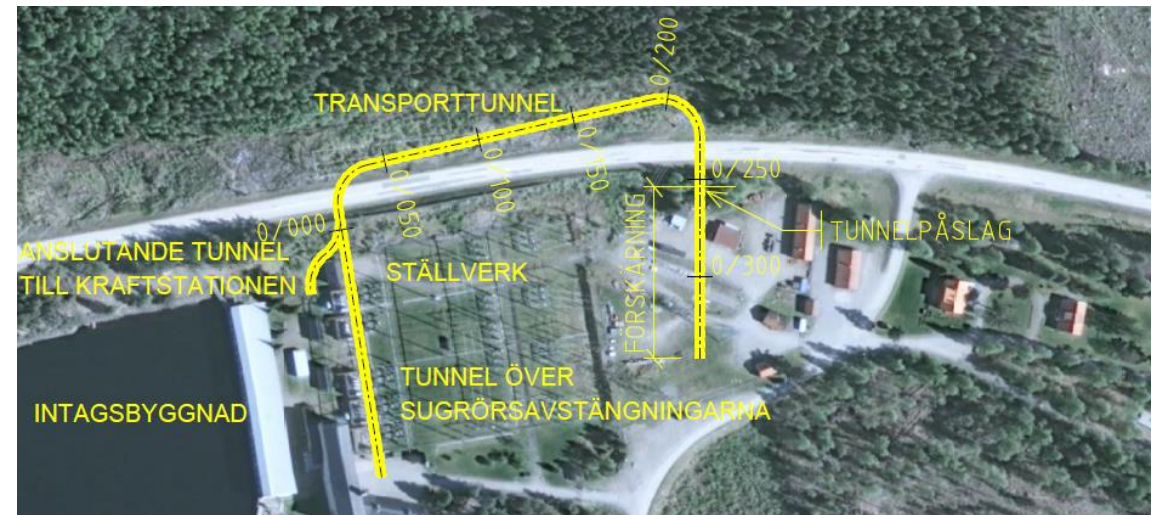
Förstudien

- Alternativ 1 - med tillfartstunnel från markytan valdes ut att gå vidare med. Alternativet med förbindning till ena kortsidan maskinsalen slopades dock senare av Fortum men har ersatts av en förbindning direkt från sugrörsgalleriet mellan G4 och G5.
- Det utfördes en bergmekanisk analys av förslaget (3D FEM simuleringar av Golder) som inte visade på några oacceptabla risker för deformationer eller spänningsförändringar.



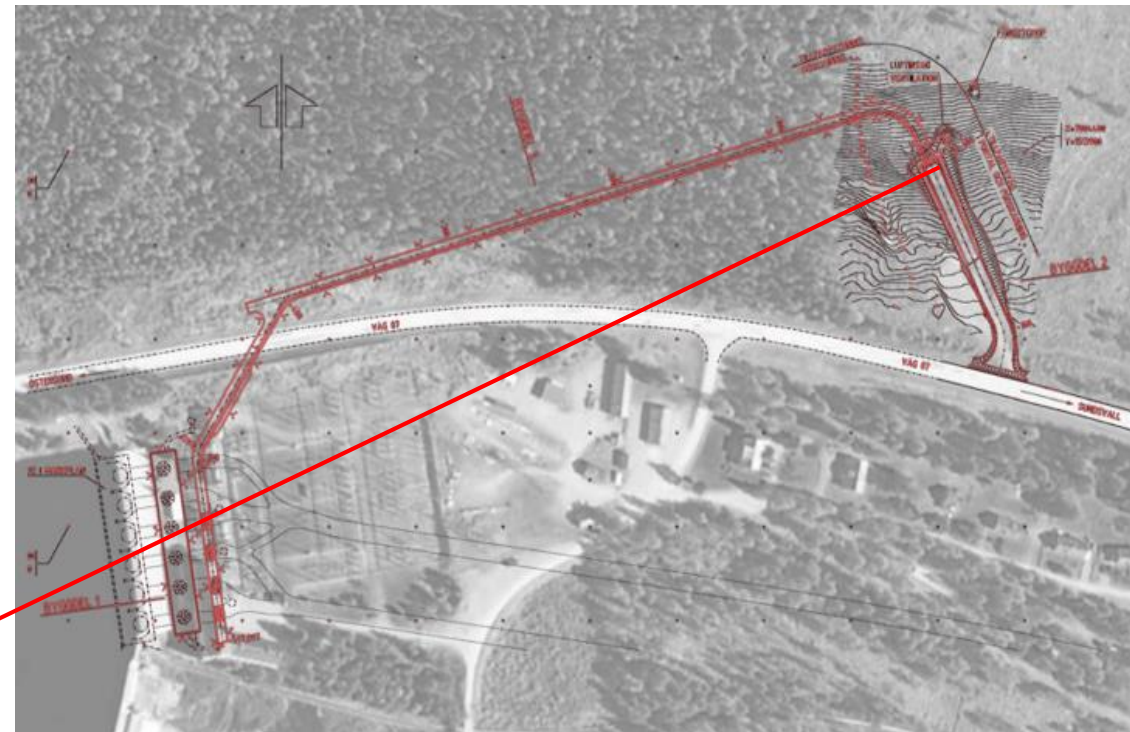
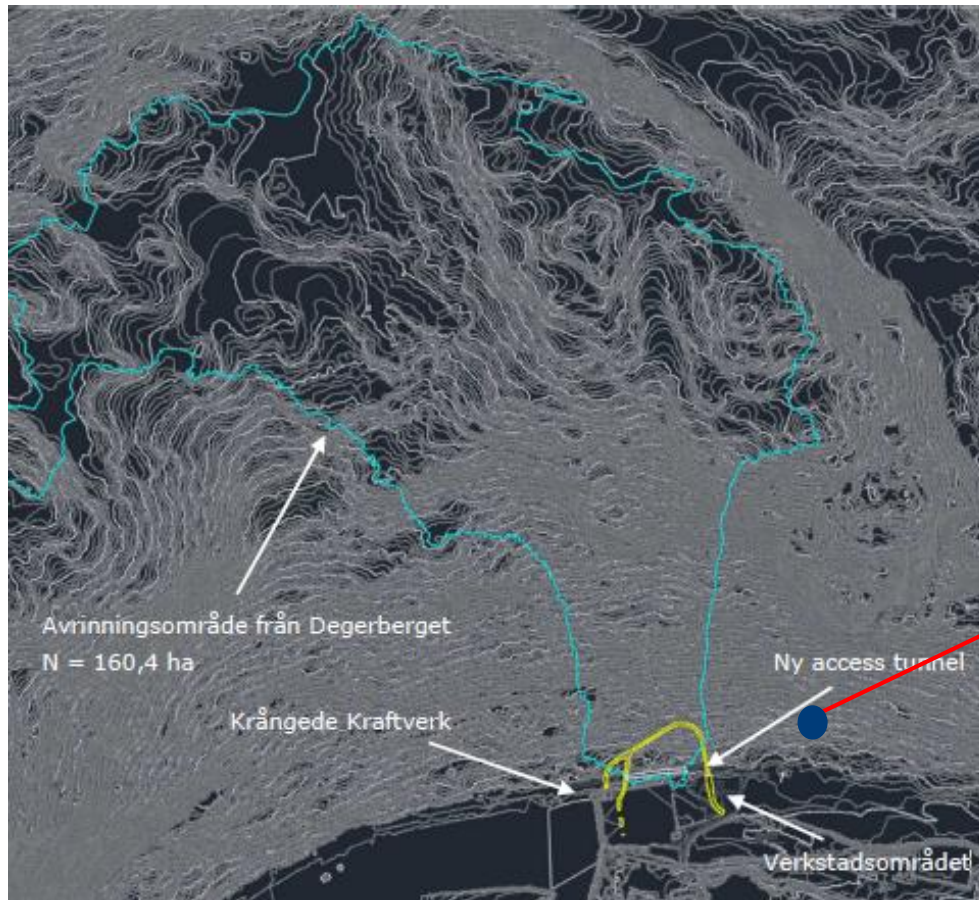
Projektering

- AFRY (ÅF) står för projektering.
- Det föreslogs alternativa tunnelsträckningar (ca 200-300 m tillfartstunnel) och placering av tunnelpåslag inom Fortums egna fastighet.



Projektering

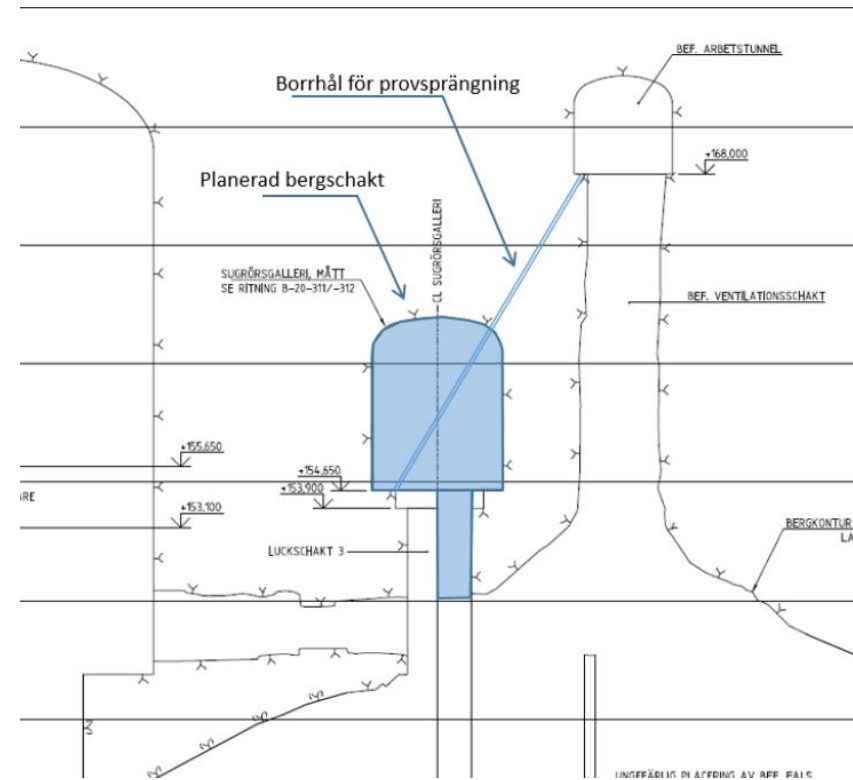
- Området vid föreslagna förskärningar är inom området för ett grundvattenmagasin inklusive dricksvattentäkt och beläget inom ett större avrinningsområde från berget norr om kraftverket.
- Grundvattennivån är i princip i nivå med befintlig marknivå.
- Då det ansågs kunna bli både dyrt och komplicerat att hantera speciellt grundvattnet så beslutades det att köpa loss en bit mark längre österut på andra sidan riksväg 87 och flytta tunnelpåslaget dit.



Projektering

För att få ett grepp om risken för skada befintliga installationer och eventuellt störa elproduktionen utfördes en provsprängning för att analysera vibrationsnivån och hur kraftverket kommer att påverkas.

- Hål borrades till det planerade sugrörsgalleriet från arbetstunneln.
- I hålet utfördes sju olika sprängningar från 0,1 kg upp till 2,0 kg laddning.
- Vibrationerna från varje explosion övervakades med 13 givare och de övervakades också på vibrationsmätarna monterade på aggregaten.
- Dessa värden användes sedan för att göra en regressionsanalys för att förutsäga hur sprängningen kommer att påverka det befintliga kraftverket.
- **Resultat OK!**



Situationen idag

- Att hantera de 72 bågsättarna är en väldigt ur arbetsmiljösynpunkt riskabel process.
 - **Ej i linje med dagens arbetsmiljökrav.**
- Att montera och demontera en sugrörsavstängning inklusive bergsskrotning på G1-G4 tar ca 2 + 2 veckor.
- De aggregat som delar samma utloppstunnel måste stoppas under dessa veckor vilket kostar 8-10 Mkr för fyra veckors underhåll.
- Arbetskostnaderna för att montera och demontera sättarna är höga (500-1000 Kkr).

Situationen efter åtgärder

- Stor förbättring av personsäkerhet/arbetsmiljö
 - Kraftigt förbättrad arbetsmiljö vid hantering av sugrörsavstängning
 - Bergsskrotning mm behöver inte utföras innan sugrörsavstängning.
- Total tid för att montera och demontera en sugrörsavstängning blir ca 1 + 1 dag.
- Produktionsförlusterna för varje underhållsarbete där avstängning krävs kostar 2-2,5 Mkr för fyra veckors underhåll (endast aggregatet som underhålls stoppas).
- Arbetskostnader för 2 personer, 2 dagar
- Nya utrymningsvägar från kraftverket vid brand. Räddningstjänsten får möjlighet till en säkrare access till kraftverket vid behov.
- Vid kommande underhållsarbeten blir transportmöjligheterna av material ut och in från kraftverket enklare än att använda dagens transportschakt (traverslyft från marknivån).



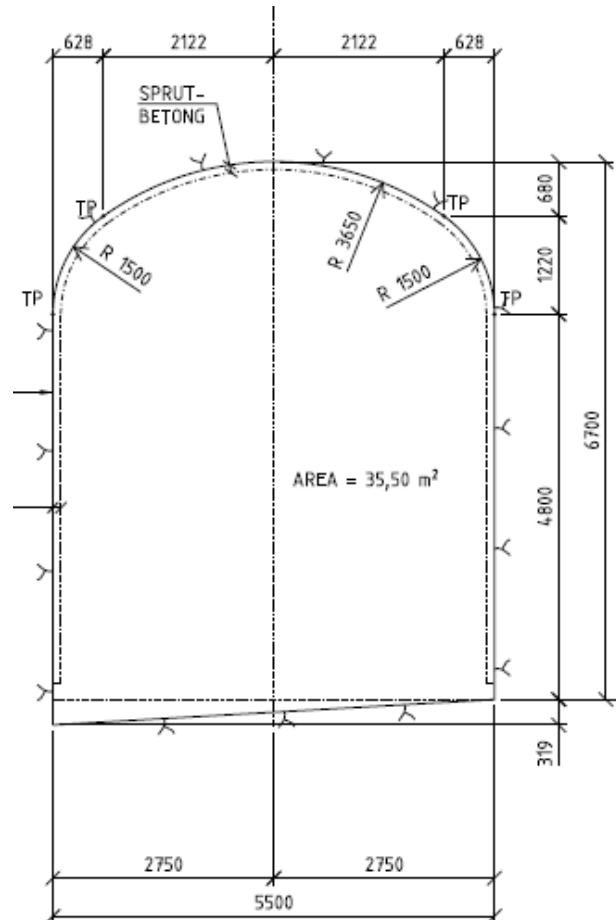
Byggstart - Tillfartstunnel

- YIT Sverige AB kontrakterade för tunnelarbeten.
- Byggstart april/maj 2018, klar sommaren 2019.
- Dåligt berg i förskärning/tunnelpåslag ledde till sänkning av påslaget med 3,2 meter samt att det flyttades 3,5 meter "längre in".



Tillfartstunnel 500 m, 35 m²

- Sonderingsborrning/injektering efter behov (samråd beställare entreprenör)
- Bergkartering/översiktlig Q-kartering sker löpande och förstärkningsklass väljs därefter
- Betongsprutning av hela taket och väggar efter förstärkningsklass
- Asfaltbelagd väg bana så småningom



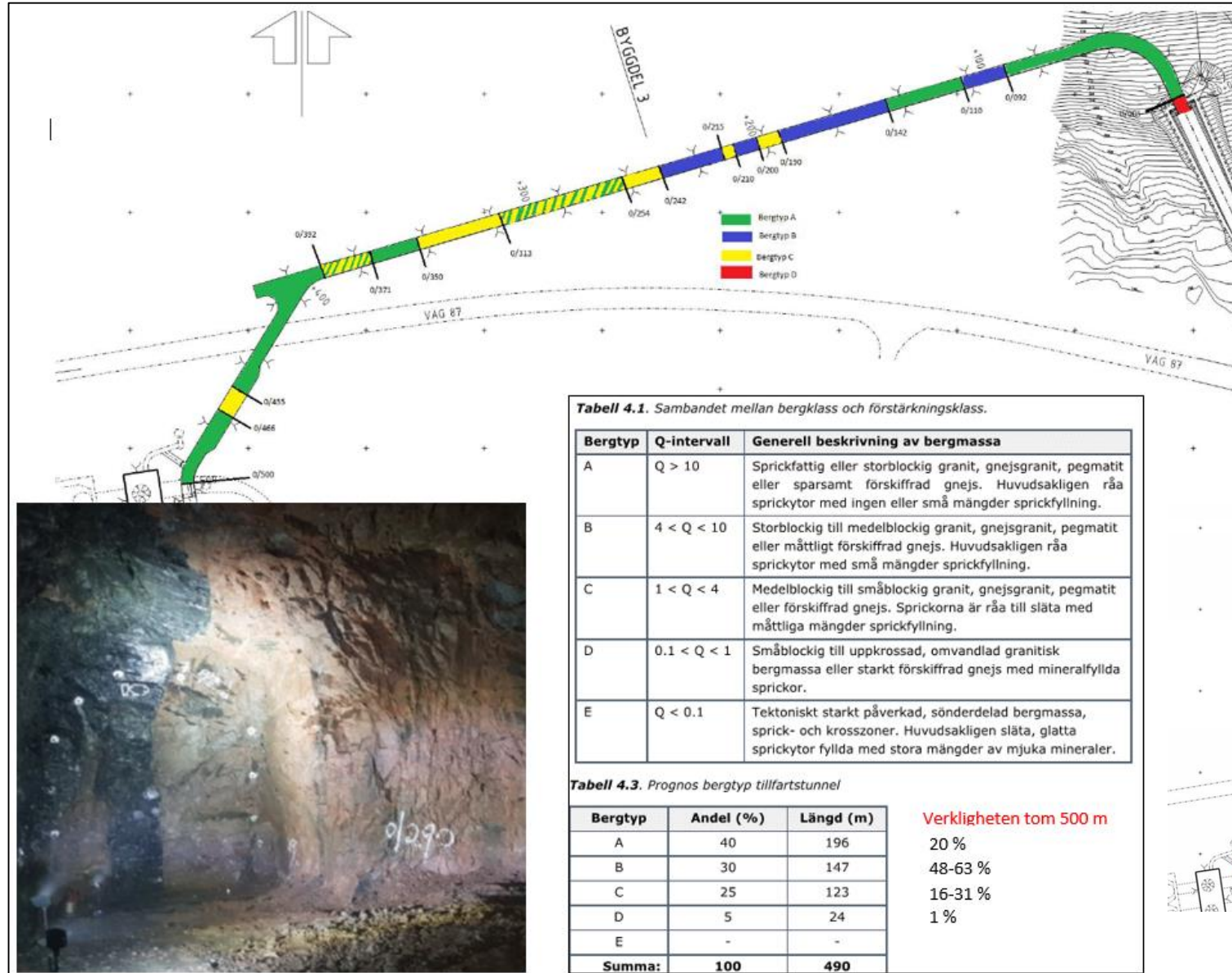
TYPFÖRSTÄRKNING FÖR TUNNELBREDD B ≤ 6 m

FÖRSTÄRKNINGSKLASS	Q-INTERVALL	OMRÅDE	FIBERARMERAD SPRUTBETONG TJOCKLEK, (mm)	BULTAVSTÅND, (m)	BULTLÅNGD, (m)
1A	Q > 10	TAK *)	50	2,1	2,4
		VÄGG	-	SELEKTIV	2,4
1B	4 < Q < 10	TAK *)	50	2,1	2,4
		VÄGG	50	SELEKTIV	2,4
1C	1 < Q < 4	TAK *)	75	1,7	2,4
		VÄGG	50	1,9	2,4
1D	0.1 < Q < 1	TAK *)	100	1,0	3
		VÄGG	100	1,3	3

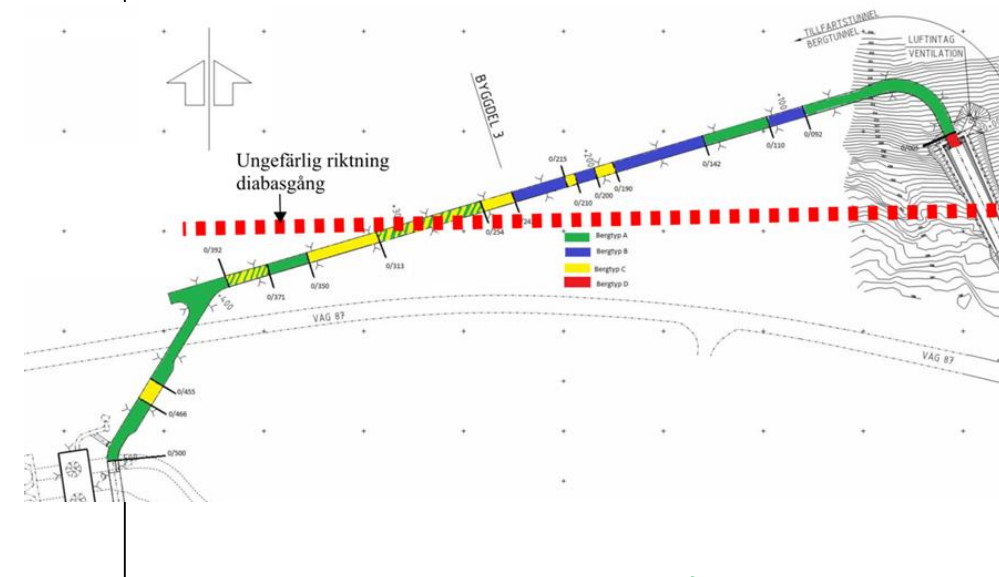
*) 1 m NED PÅ VÄGG



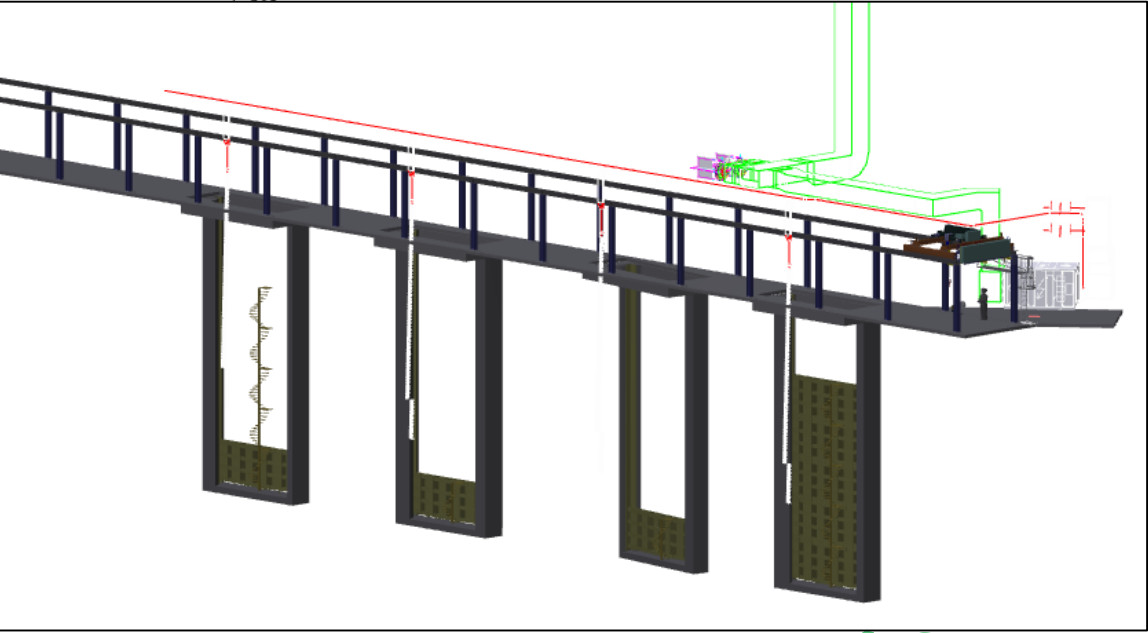
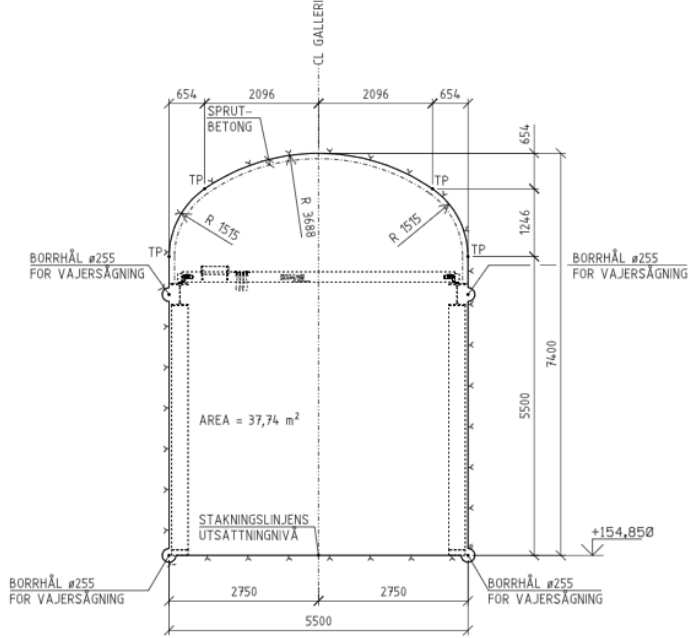
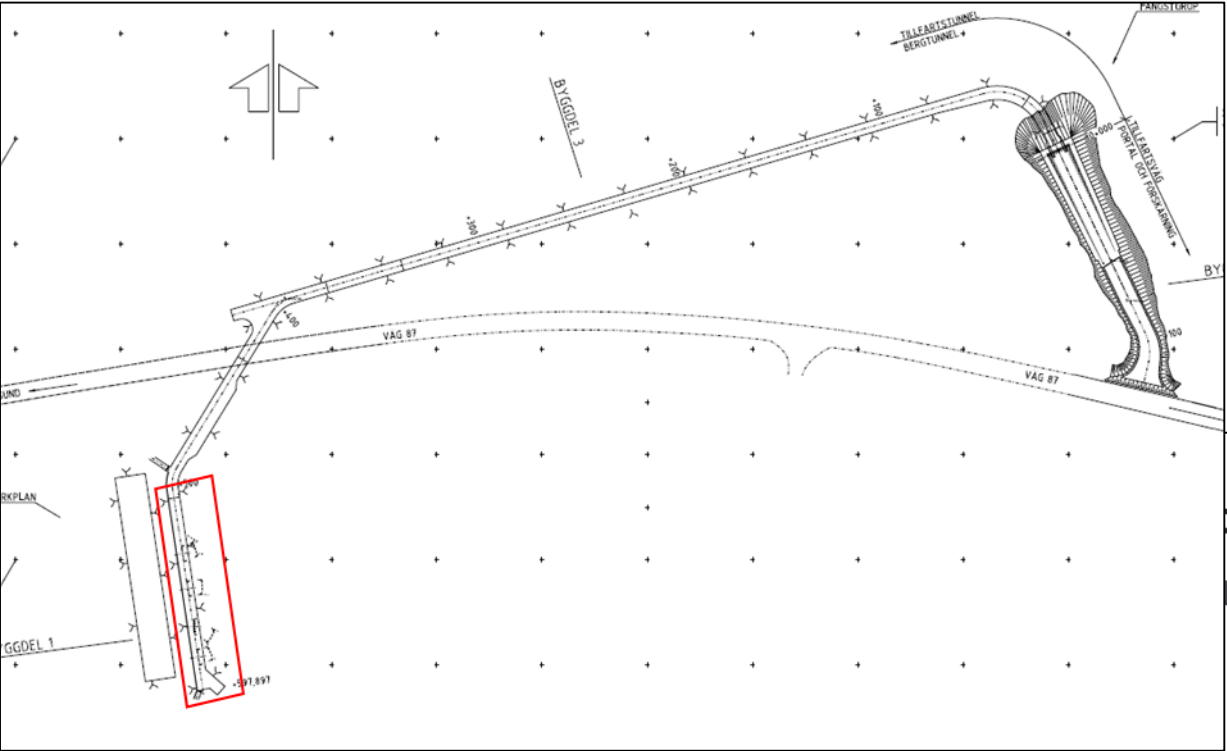
Tillfartstunnel - Bergkvalitet



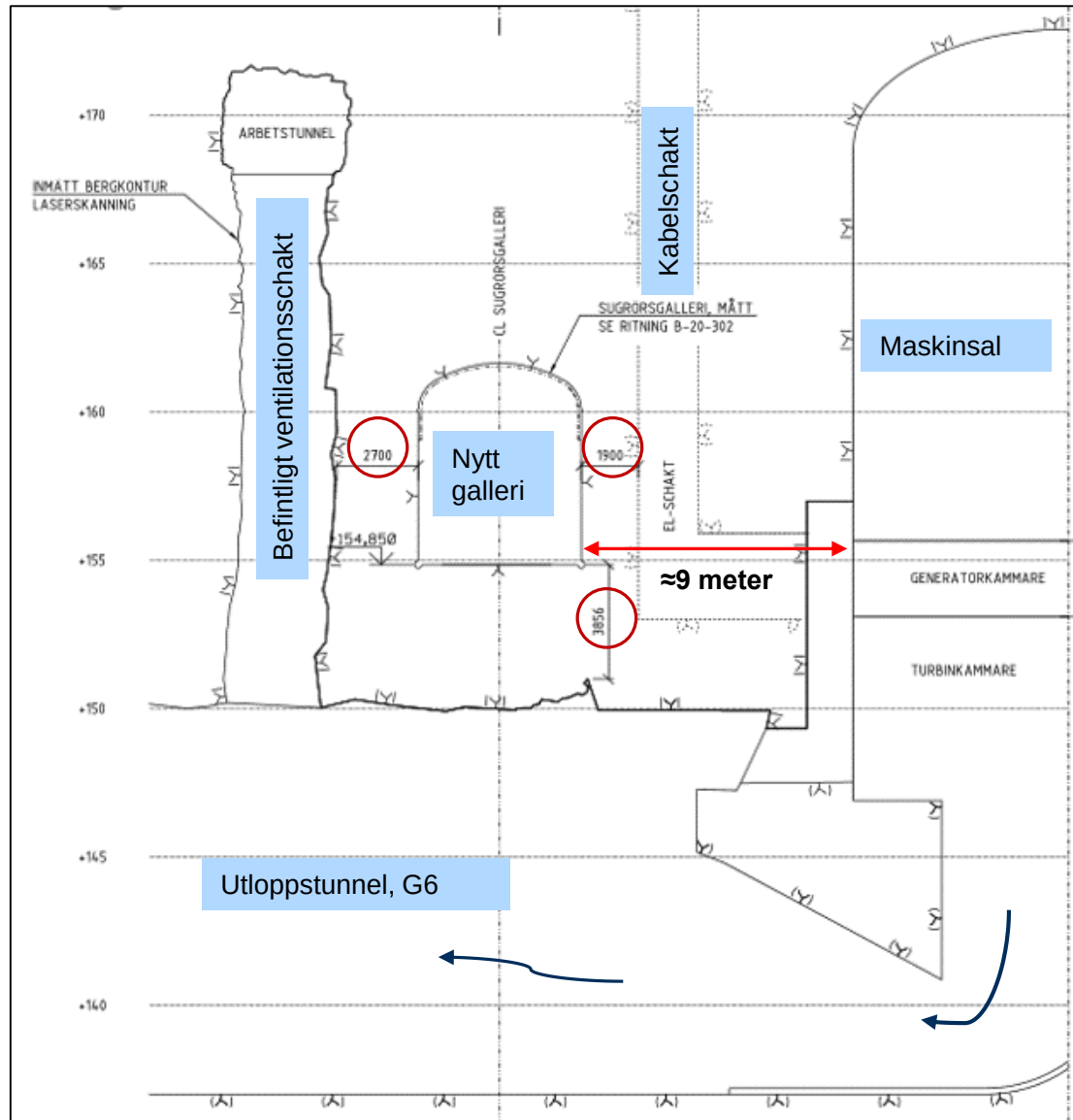
- Bergmassan – medelkornig, röd granit
- Brottstycken av diabas förekommer frekvent
- Tydliga subhorisontella bankningsplan
- Bra bergkvalitet men bitvis omfattande injektering



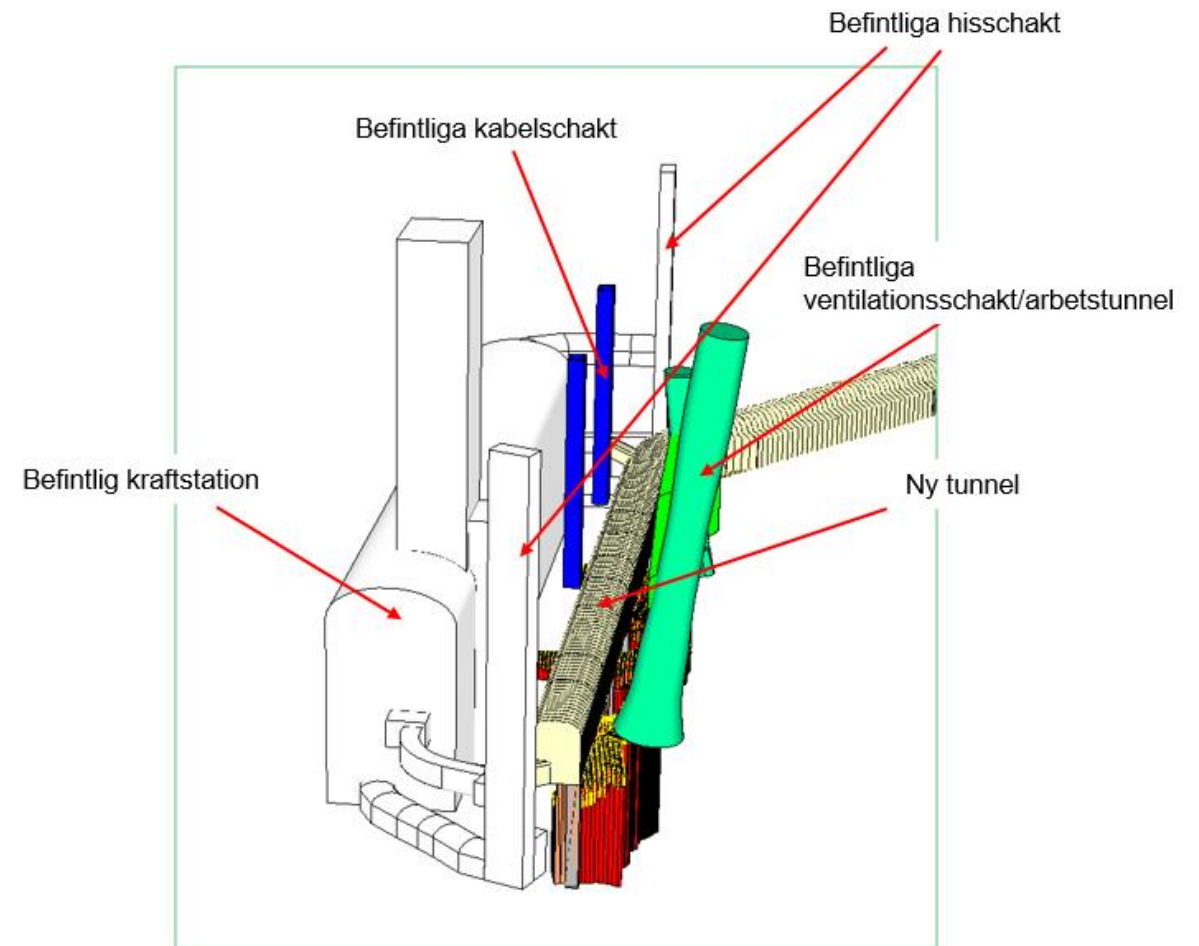
Sugrörsgalleri 100 m, 35 m²



Bergteknisk utmaning – att ta ut berget under drift av kraftverket

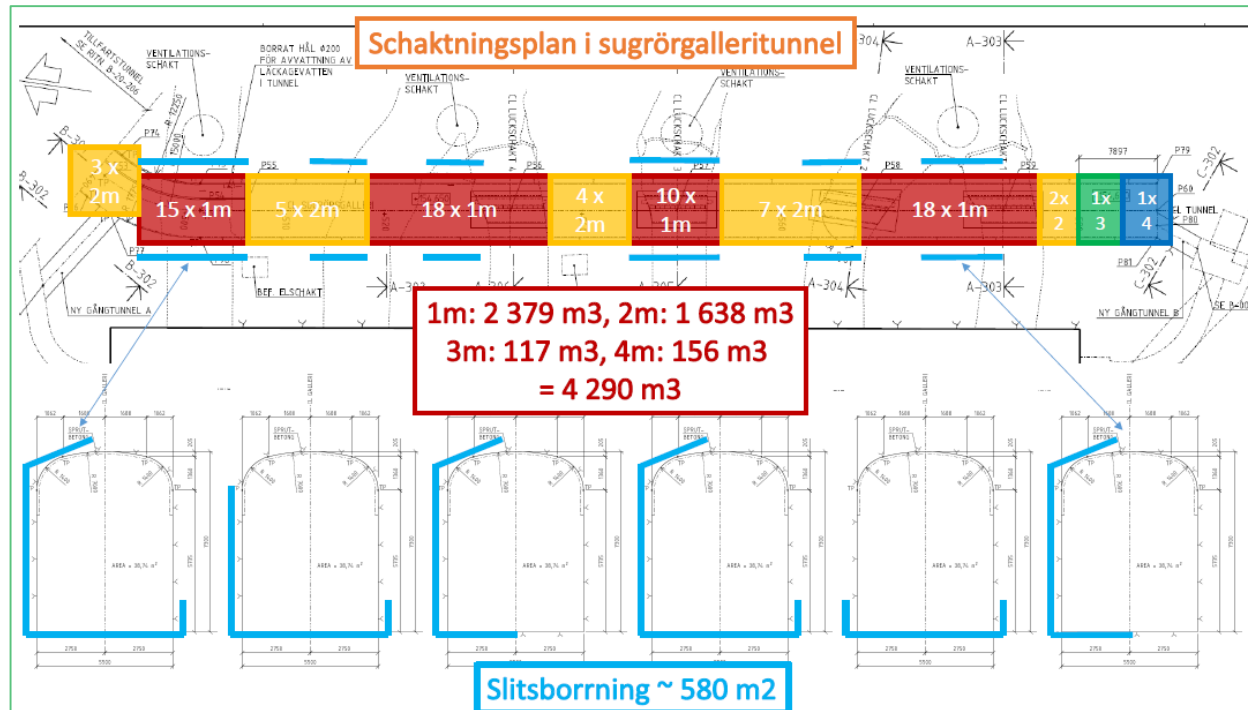


Exempel på avstånd mellan nya och existerande utrymmen i berget

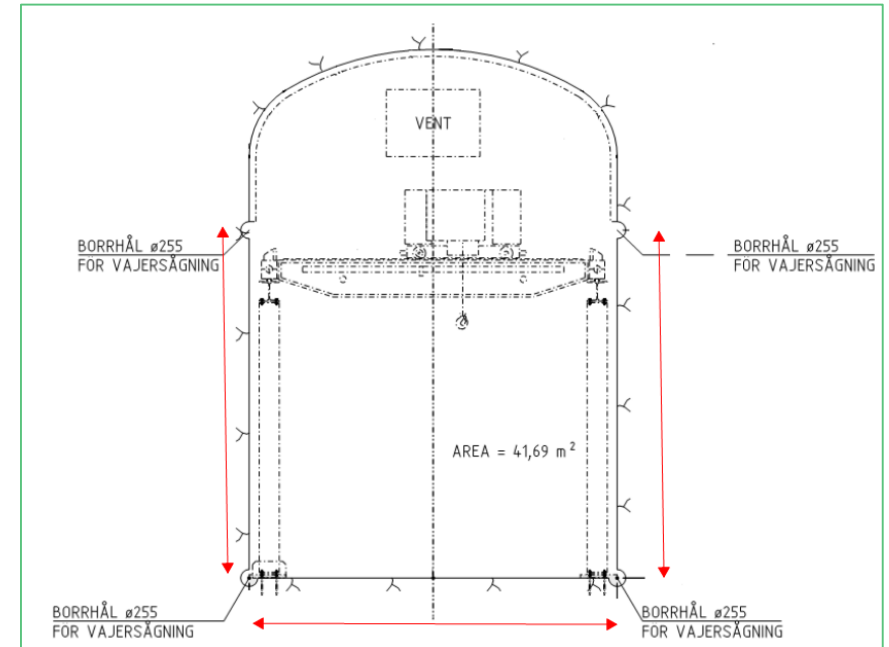


Metodik för sprängning av sugrörsgalleri

- Olika drivningsmetoder har varit aktuella, främst vadersågning av kontur eller slitsborrning av känsliga partier.
- Valet föll till slut på vadersågning av väggar och golv och tätsöm längs tak och anfang med förhoppningen om att detta skulle vara den bästa metoden för att undvika skadliga vibrationer eller större utfall där avstånden är små till befintliga utrymmen.

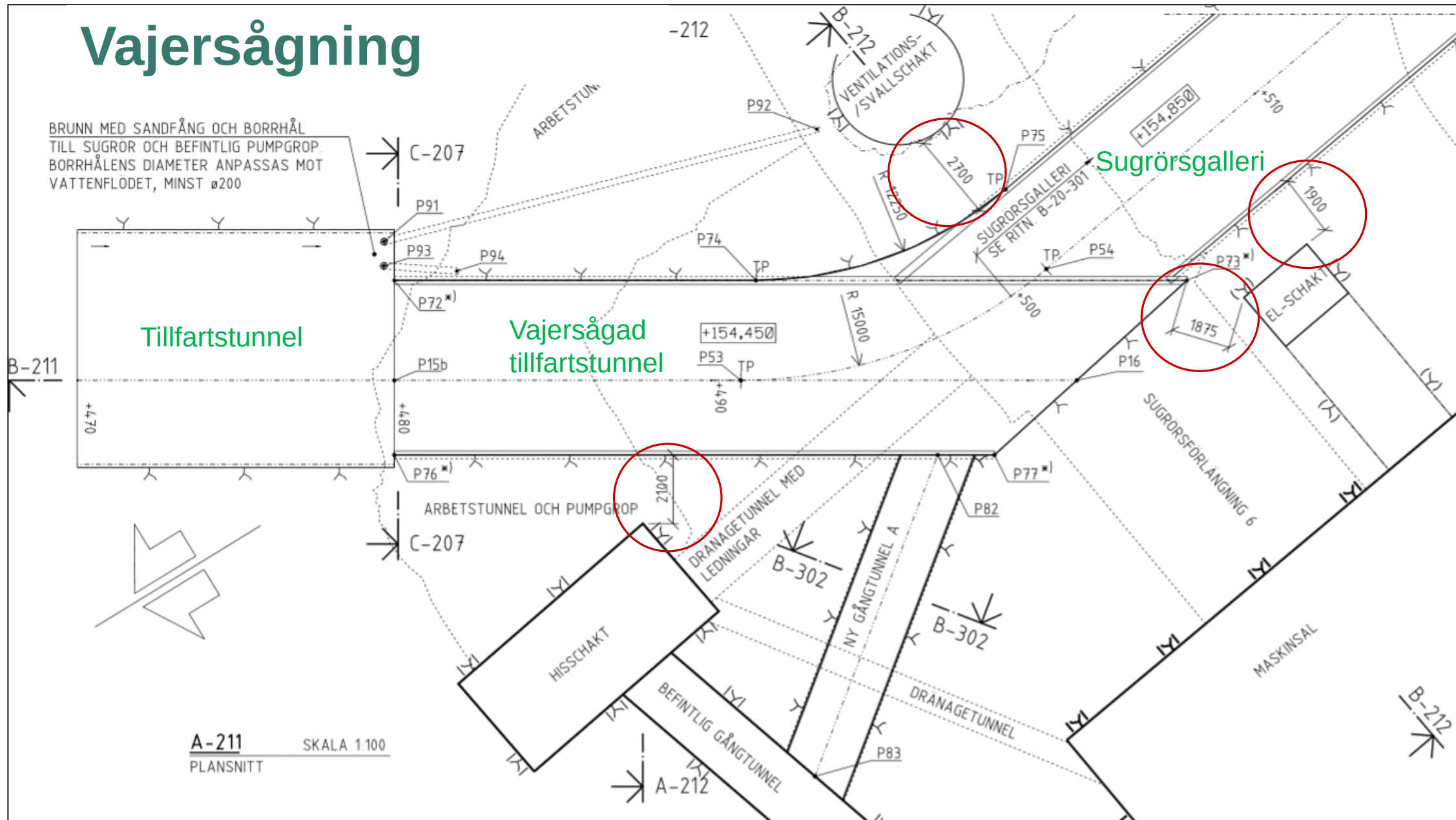


Slitsborrning av känsliga partier med olika salvlängder



Vadersågade snitt vid väggar och golv

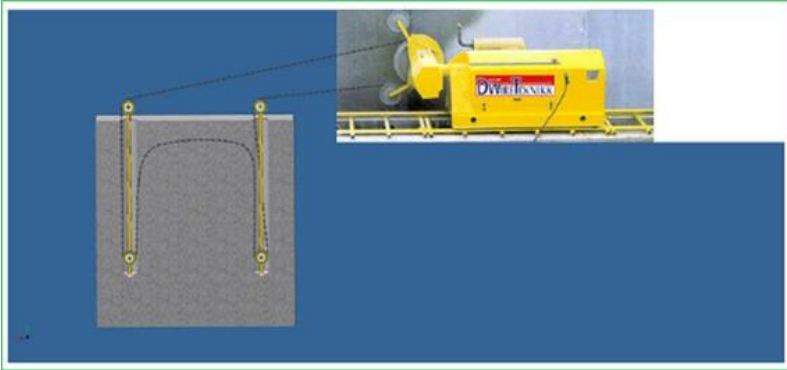
Vajersågning



Även de sista 20 metrarna av tillfartstunneln vajersågades

Vajersågning - hur går det till?

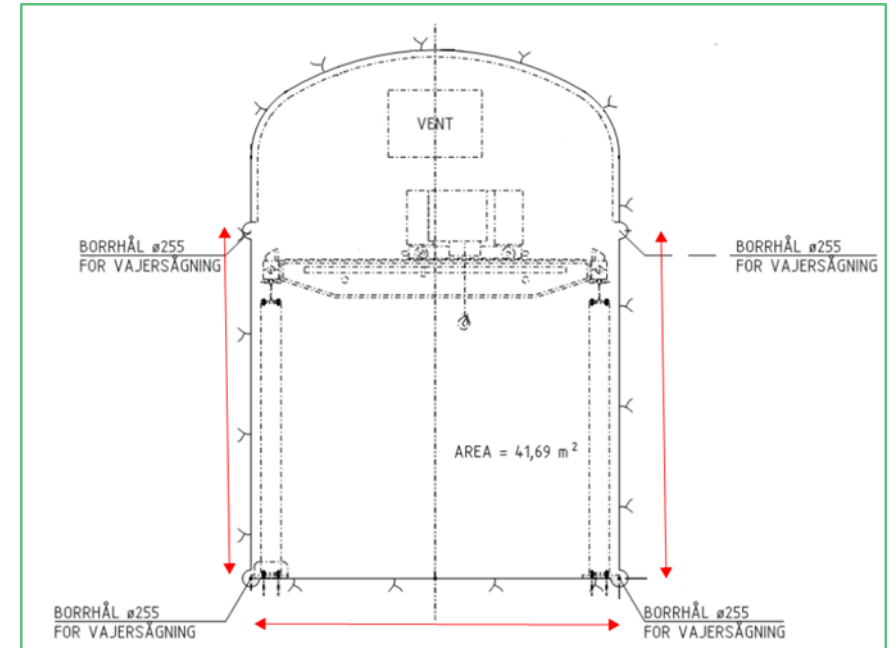
- 4 x 100 meter långa hål har kärnborrats med styrd borrar och upprymts i 3steg till $\varnothing 255$ mm.
- Metoden "Blind cut" används då vajern inte kan träs runt i ett annat utrymme.



Diamantwiren som sågar berget



Sågningsutrustningen inne i $\varnothing 255$ mm borrhål

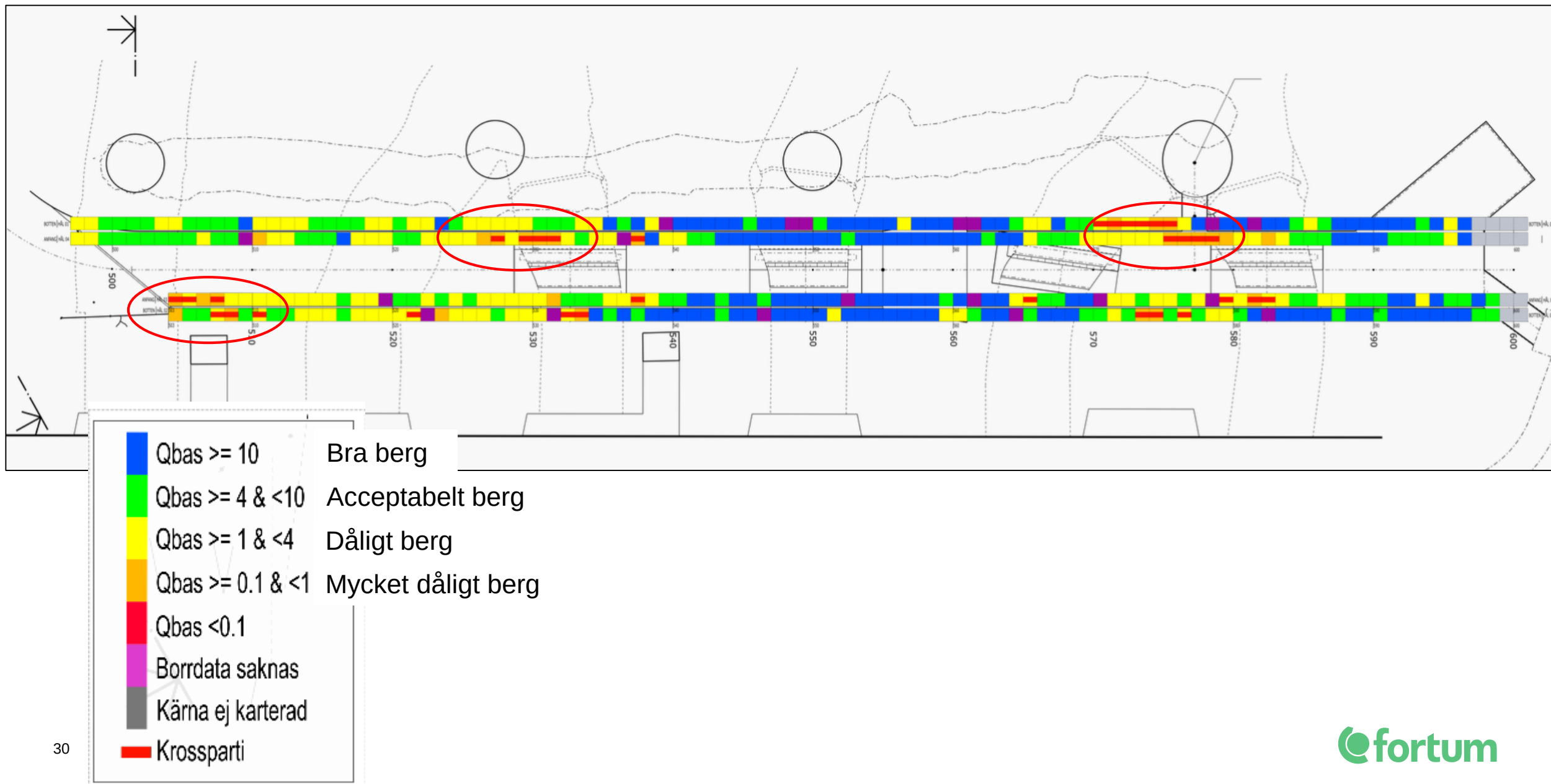


Sågsnitt för tunnelgolvet, någon cm brett

Sugrörsgalleriet/vajersågning erfarenheter

- Utifrån kontinuerlig vibrationsmätning har salvlängder och laddningar kunnat anpassas när fronten närmat sig maskinsalen och löpt parallellt med denna.
- Friläggningen med vajersågning i kombination med korta salvlängder har visat sig bra för att begränsa vibrationer.
- Kärnborrning 100 meter med styrd borrning relativt lyckat.
- Kärnborrningen har även bidragit till att vi kunnat kartera berget längs i princip hela galleritunneln.
- Upprymning av 100 meter har varit svårare att utföra i ett enda steg. Borrkronan har bitvis fastnat.
- Ambitionen var att såga ca 25 meter i taget. Detta var dock svårt i praktiken då vajern kilat fast och därmed har sågsnittet sällan blivit längre än 10 meter.
- Metoden är tidskrävande och kostsam.
- Fina ytskikt!

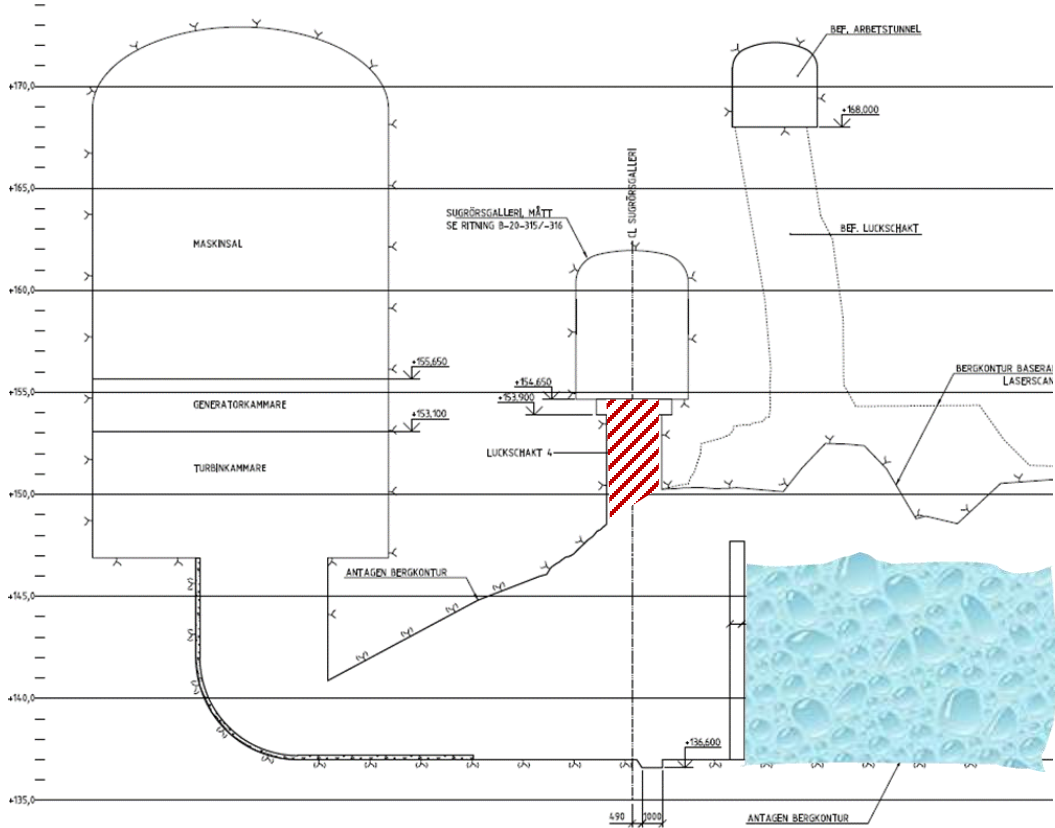
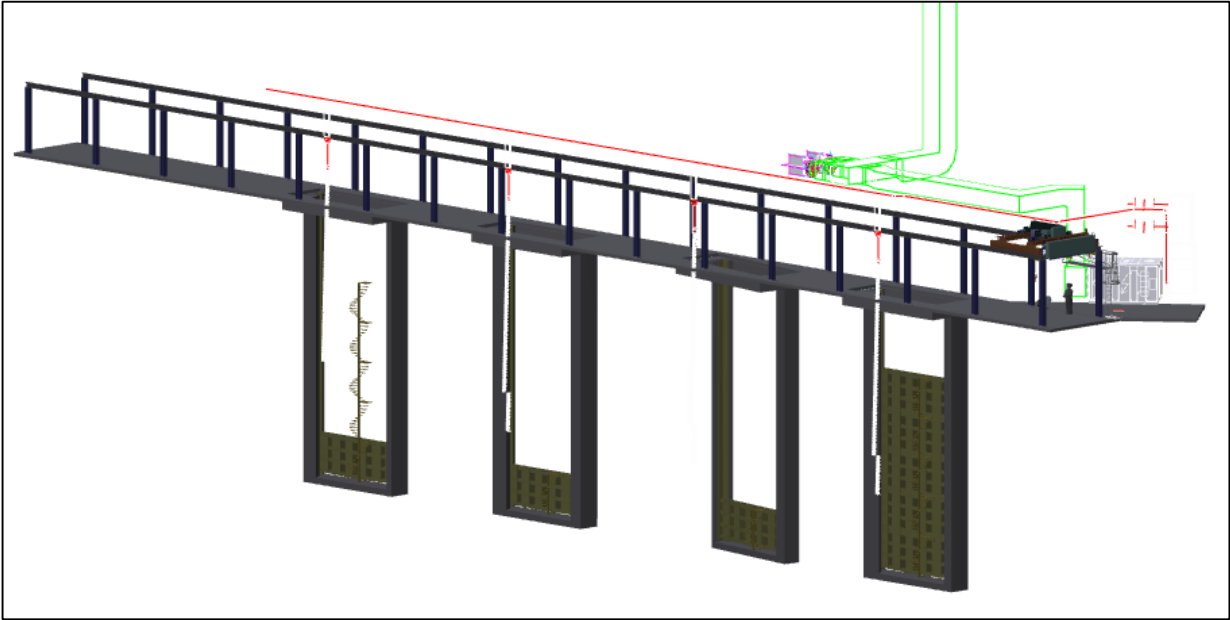
Bergkvalitet sugrörsgalleri, kartering av borrhärdar



Sugrörsgalleriet/vajersågning erfarenheter

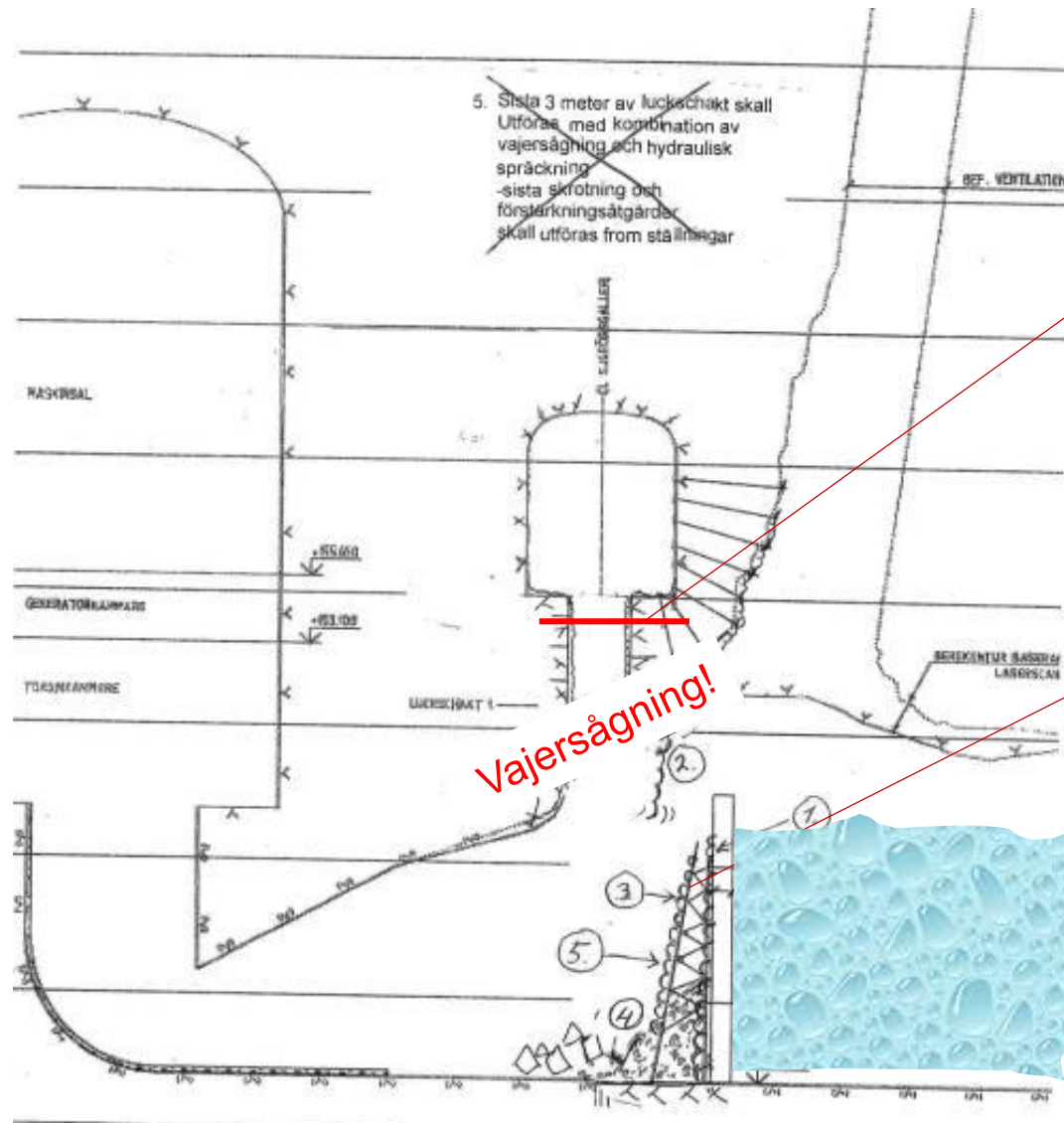


Luckschakt 1-4



Luckschakt 1-4

Arbetsmetoder, sprängning eller vajerågning?



Tidigare av YIT planerad metod var att spränga luckschakten i 2 etapper:

1. Spränga ner från galleriet och lämna en plugg.
2. När sättavstängning monterats sprängs pluggen försiktigt ut.

Val av metod har diskuterats ett flertal gånger under projektet.

Nackdel sprängning:

Risker med att spränga ut "pluggen" i nya luckschaktet som är 4-5 meter från läget för bågsättarna. Material för täckning av sättavstängningen måste till stor del lyftas ner genom arbetstunnel.

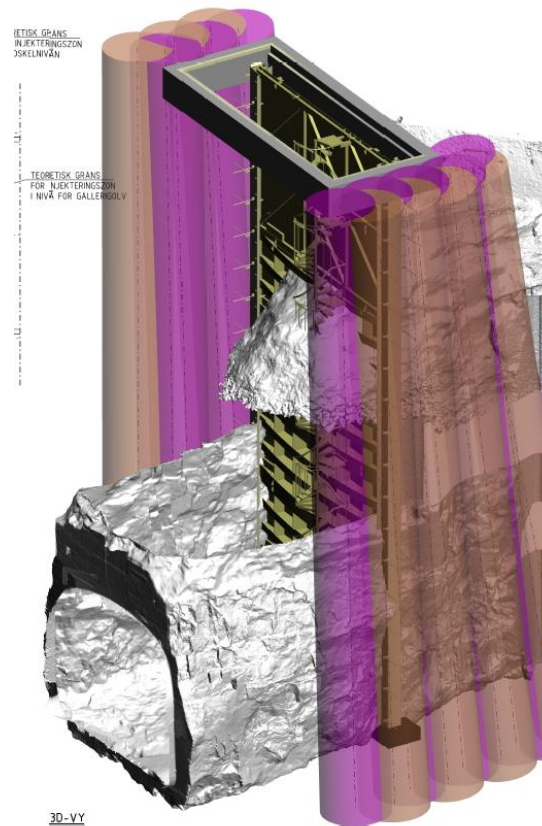
Tidskrävande moment som kräver längre avställning.

Luckschakt

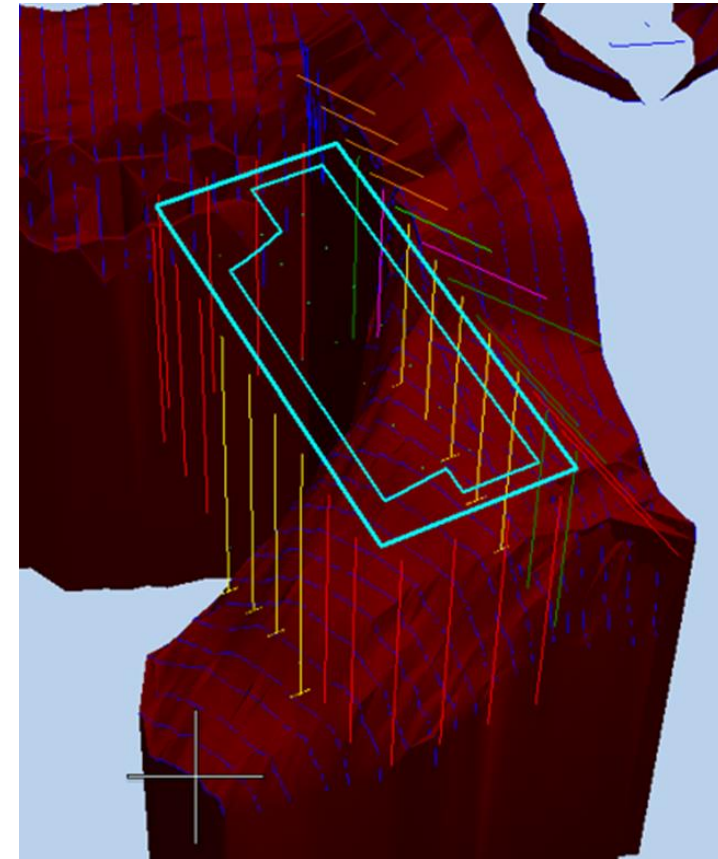
- **Vald metod vajersågning** - DWT (Norge) utför detta som UE till YIT.
- Berget friläggs genom sågning som lyfts upp i ca 1x1 m block i tre lager.
- Fördelar: Kan ta upp i princip allt berg ner till sugröret (vattenytan) under drift, mindre risker för bågsättarna, inga vibrationer.
- Nackdelar: Dyrt och tidskrävande, samt om berget ej gynnsamt sprickmässigt mm blir det svårt.
- Kärnborrning och kartering innan för att kunna anpassa förbultning och uttagsordning av blocken.

Arbetsordning

1. Ridåinjektering
2. Kärnborrning och kartering
3. Förbultning kring schakt och av block som skall lyftas upp
4. Kärnborrning av såghål delvis vinklade för att bilda kilformade block
5. Lyft av block
6. Avställning aggregat och installation av bågsättar (torrläggning)
7. Sågning av falslägen ner till botten
8. Lyft av block

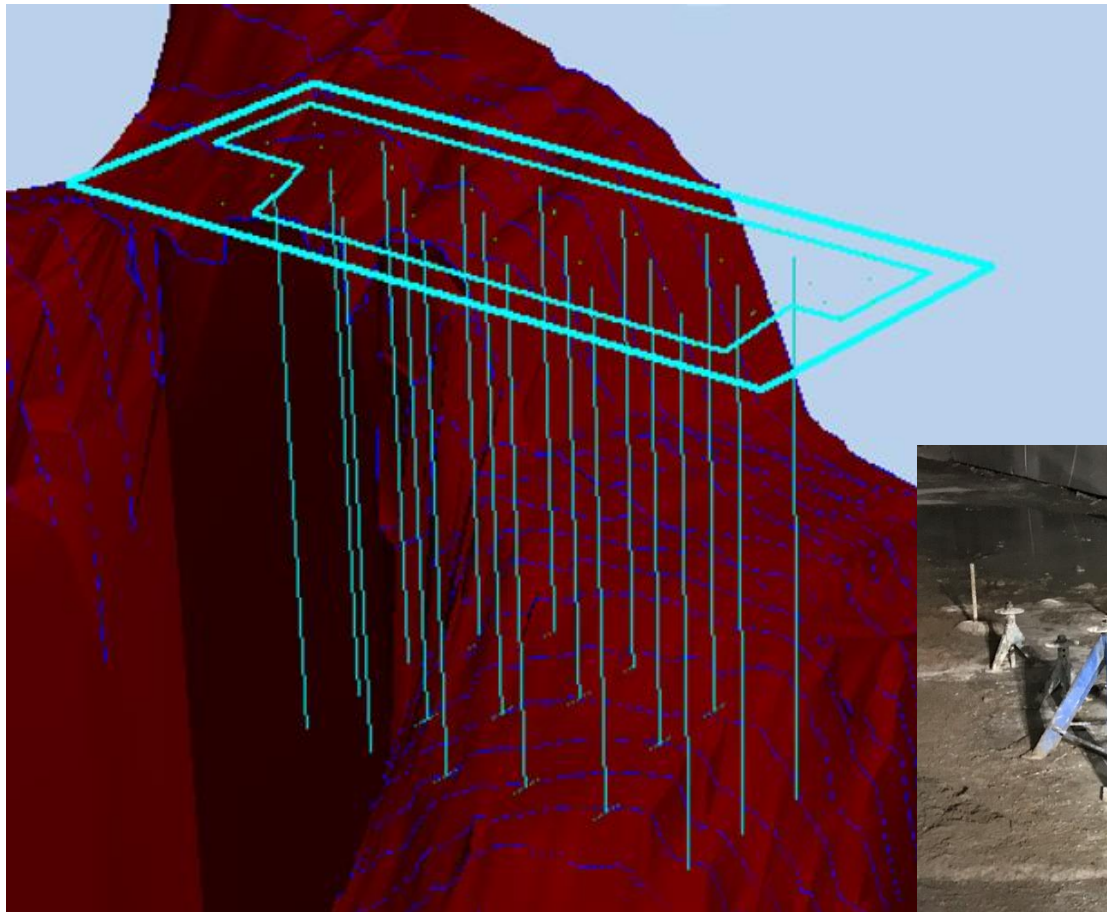


Ridåinjektering



Förbultning

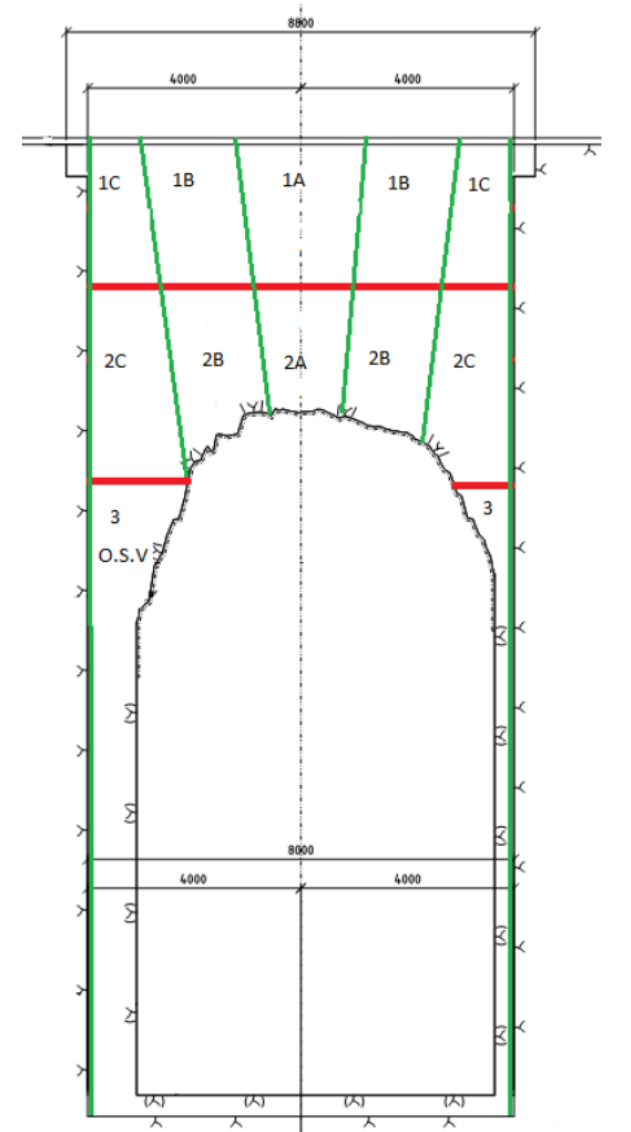
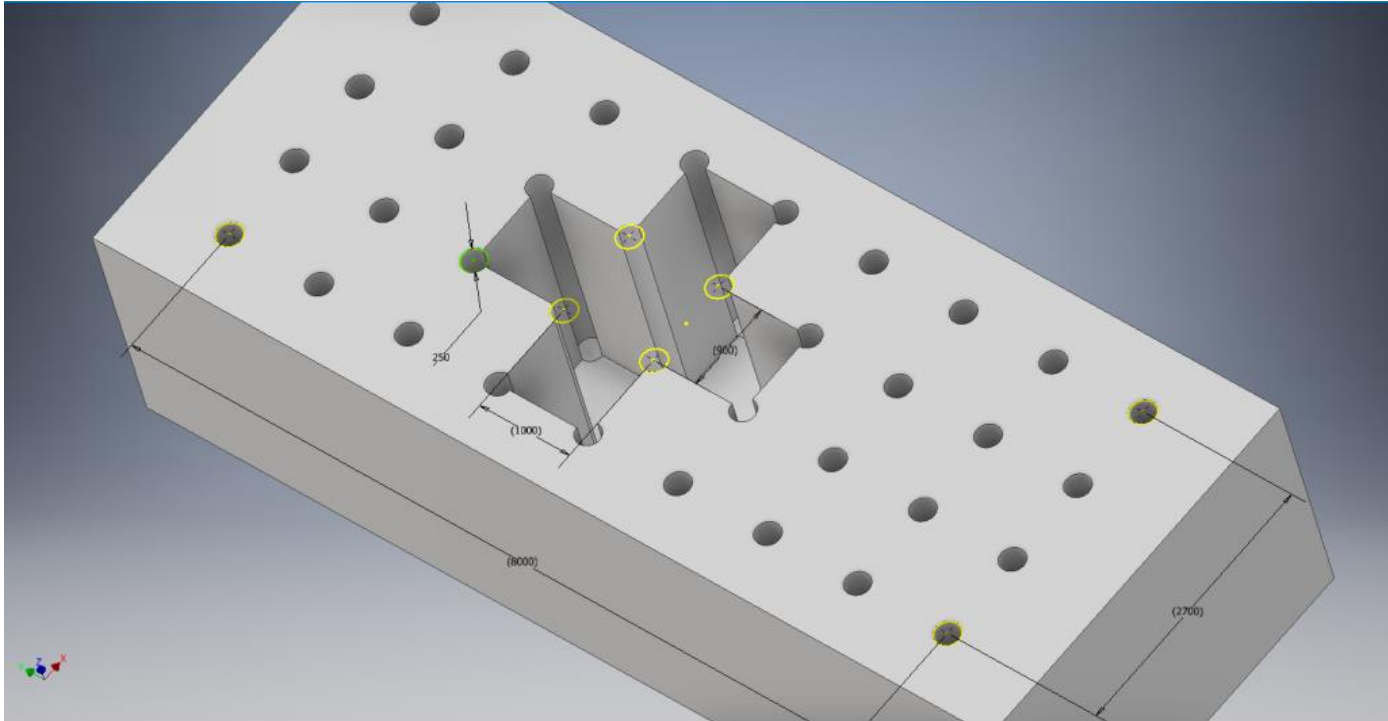
Bultning av blivande block innan de lyfts upp



Förspända bultar av blivande block som ska lyftas upp



Lyft av block



- Blocken lyfts i tre lager och avståndet mellan botten av galleriet och taket i sugröret varierar mellan ca 4,5 och 7 meter.
- Schaktets mått ca 8 x 3 meter

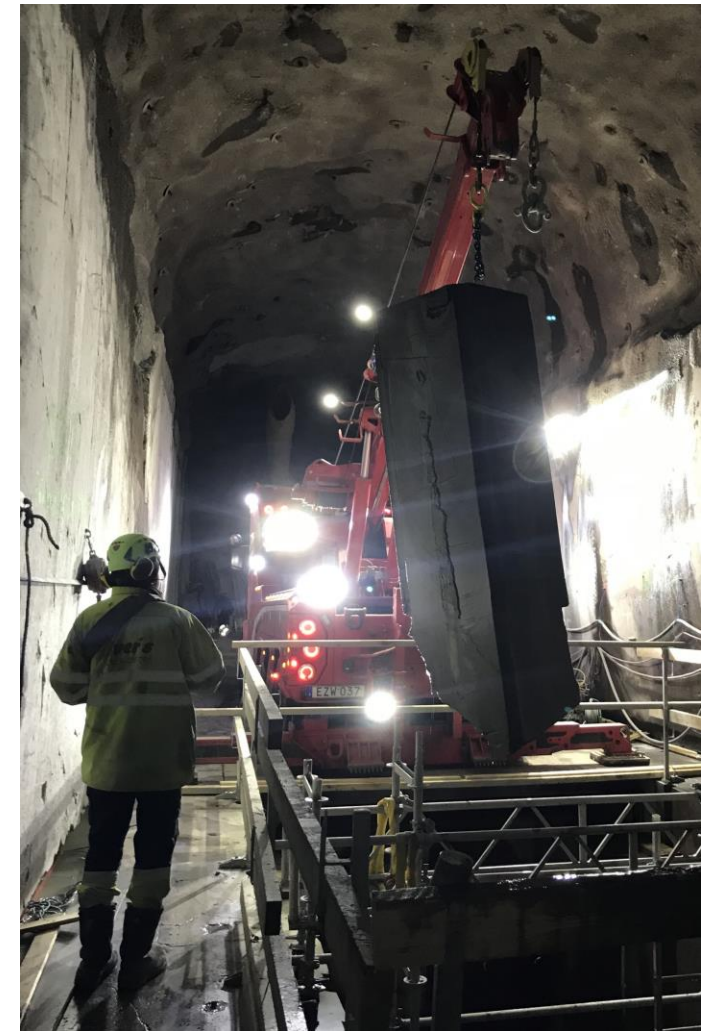
Schakt 4

Våren 2020

27 mars: Första
blocket lyfts i schakt 4

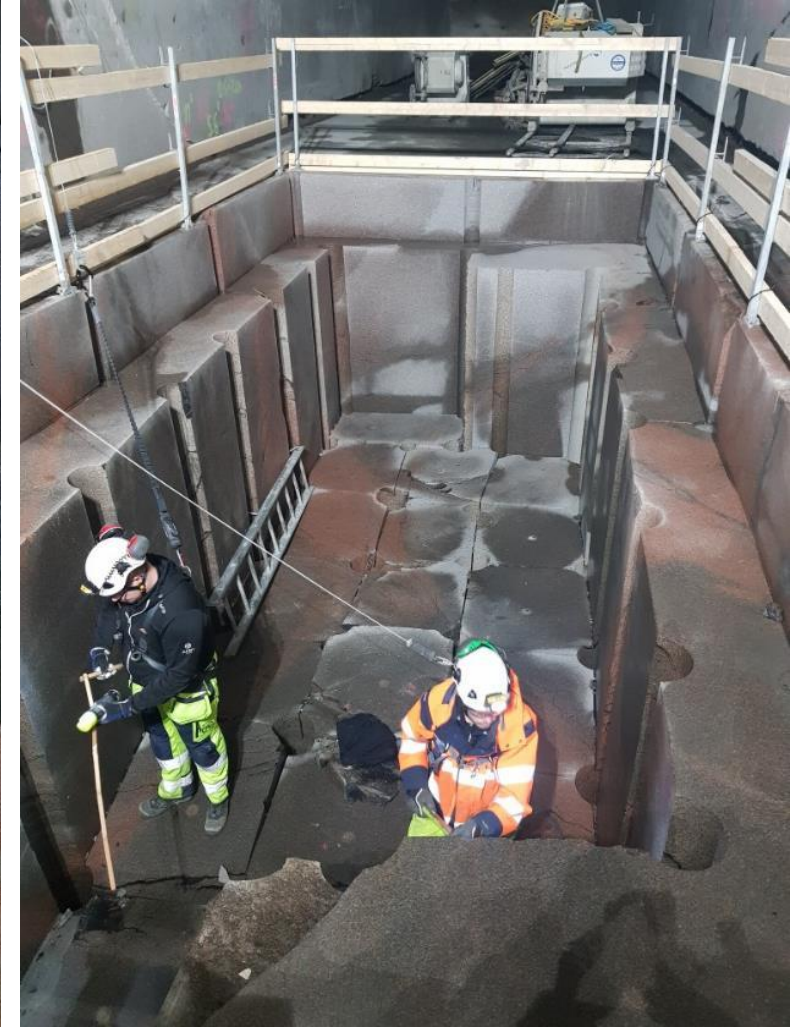


Blocklyft



Schakt 4

Våren 2020



I början sprack ett par block vilket gjorde att ändrad lyftmetod valdes

Inspektion och kartering av berget efter 1:a lagret lyfts upp

Uttagsnivå 3 - genomslag!



21 maj: Färdigt ner till vattenytan i sugröret Hängställning används för skrotning, inspektion mm.



Schaktet fotat från sugrörsbotten G4

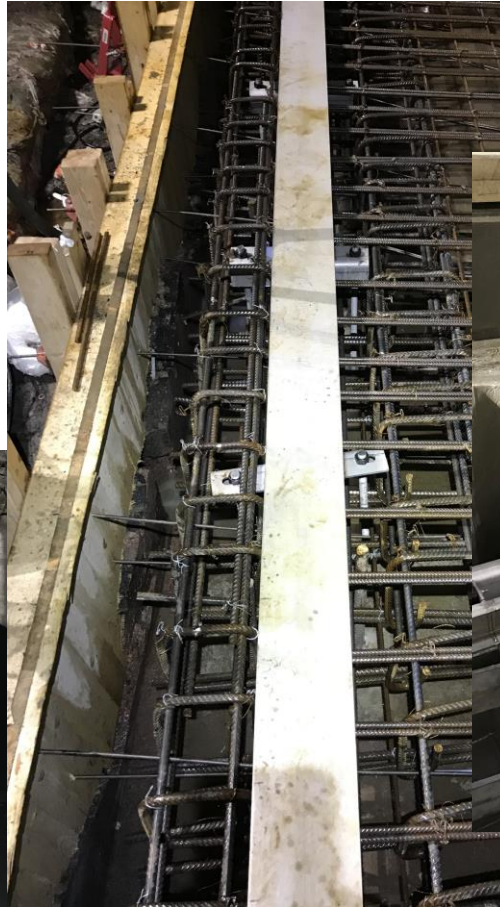
Schakt 4 – övriga arbeten



Sågning av falslägen och tröskellägen efter torrläggning. Kompletterande keminjektering har varit nödvändig för att underlätta betongarbeten



Skrotning, bultning och sprutbetonering av sugröret efter torrläggning

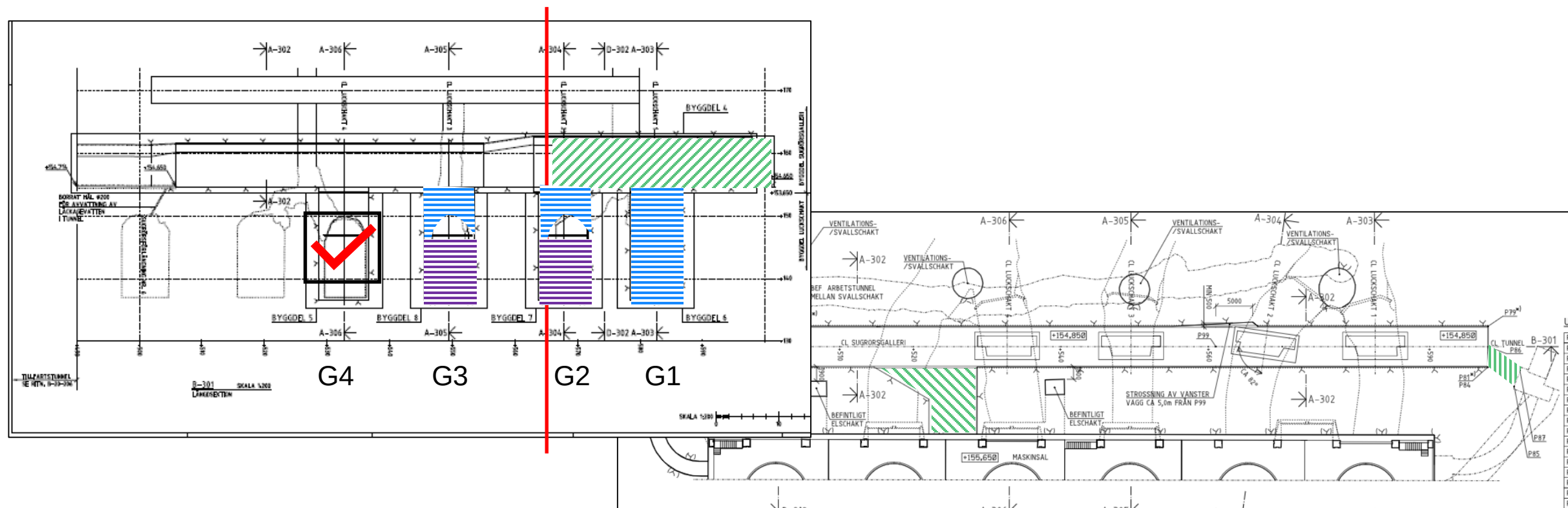


Gjutning av bottenplatta, tröskel och falsar



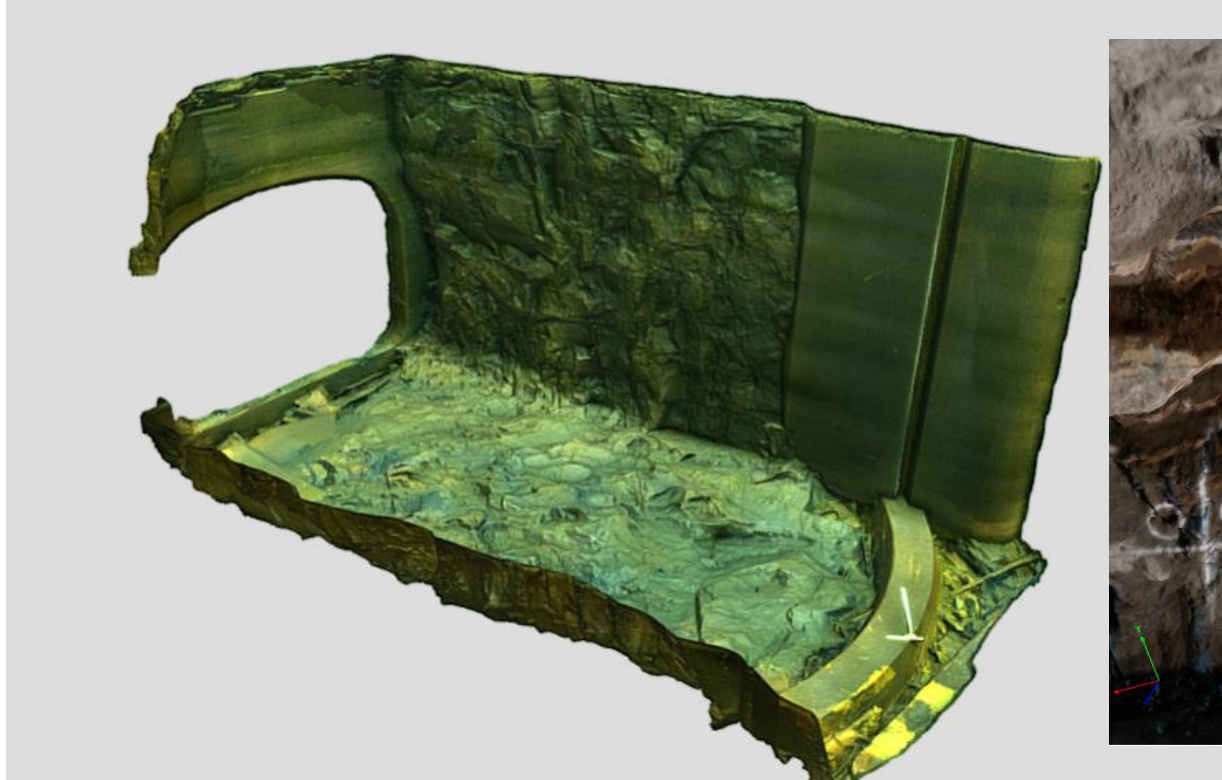
Provning av nya luckor, oktober 2020

Kvarstående moment i projektet



- 2020-2021: Färdigställande av 40 m sugrörsgalleri samt två anslutningar till maskinsalen, slutmontage av travers i galleri
- 2022-2023: Vajersågning av schakt 1-3 samt fals- och tröskelinstallationer mm i ett schakt.
- 2023-2025: Färdigställande av övriga två schakt, tunnelportal, asfaltering, el- och ventilationsarbeten.

Övrigt, erfarenheter/teknik mm



Undervattensfotogrammetri

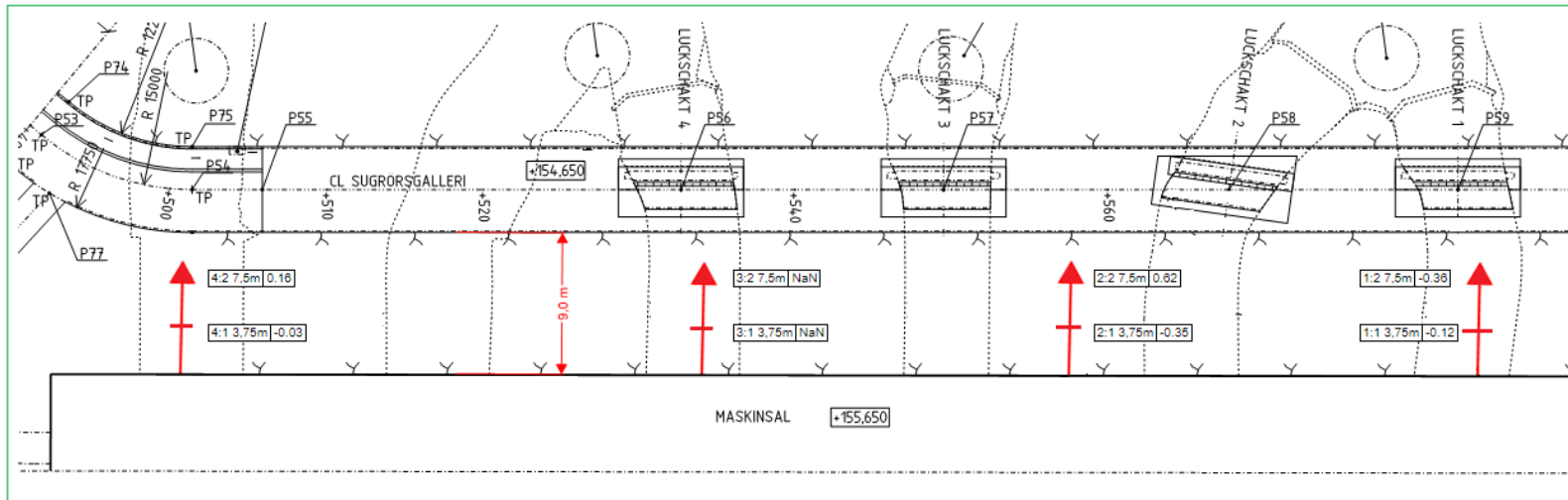


Fotogrammetri i tillfartstunnel

- Undervattensfotogrammetri har använts för att kunna säkerställa att vald luckbredd passar i samtliga sugrör. Den kompletterar också tidigare skanningar ovan vattnet.
- Geologisk kartering enligt mer traditionell metodik med inmätning av strukturer och mer detaljerad dokumentation utförs inte. Istället har en dokumentation av bergytor i tunneln utförts med fotogrammetri. Fortums byggledare fotar efter varje salva efter utförd skrotning men innan betongsprutning. AFRY processar bildmaterialet.

Vibrationsmätning, instrumentering

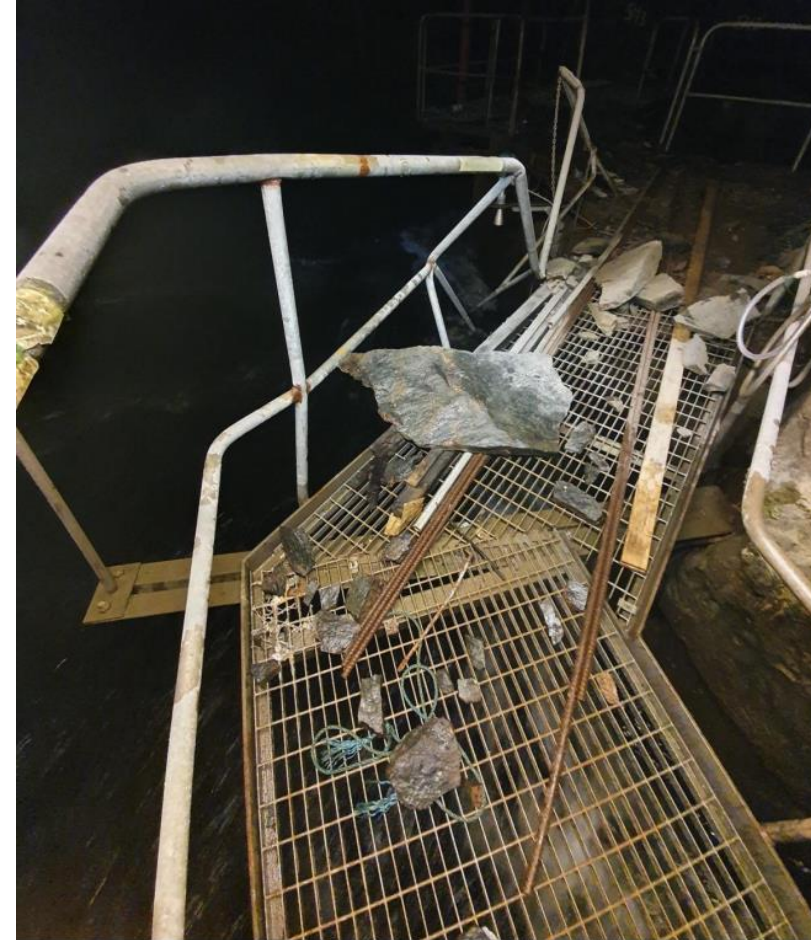
- Ett stort antal vibrationsmätare har varit installerade under projektet. Omfattningen har anpassats allt eftersom tunneln drivits framåt. I dagsläget sitter 16 mätare runt om i kraft- och ställverk uppsatta. Något mindre "övertramp" har lett till anpassad laddning och salvlängd.
- Rörelsemätning varje vecka under drivning av galleritunnel av traverspelare i maskinsal.
- Konvergensmätningar sugrörsgalleri
- Vertikaldeformation vid Riksväg 87
- 4 stycken extensometrar installeras i berget mellan maskinsal och galleritunnel (har uppvisat <1 mm rörelser)



Extensometrar i berg mellan maskinsal och galleri

Extensiometer monterad i berget.

Går allt som man har tänkt sig?



Hittills utförda arbeten, händelser, erfarenheter mm

EHS/Incidenter

- Efter ca 70 000 arbetade timmar i projektet har vi några få tillbud men inga personskador!
- Inga skador på befintlig kraftstation!



Tack för mig!

- Tack också till Magnus Svensson, Fortum som överlämnade detta intressanta projekt till mig!
- Tack även till Tomas Karlberg, AFRY som jag lånat några bra bilder av!