

BILAGA 2 - TUNNELANSLUTNINGAR

1.0	2022-05-31	Utredning tunnelanslutningar	S. Bergqvist	C. Strand	M. Zetterlund
Version	Datum	Beskrivning	Upprättat	Granskat	Godkänt

Detta dokument är framtaget av Norconsult AB som del av det uppdrag dokumentet gäller.

Sammanfattning

En översiktlig bedömning avseende nya anslutningar till befintlig inloppstunnel har utförts. Befintlig inloppstunnel är enligt underlag ca 4–5 m bred, ca 4,5 m hög och orienterad i nordostlig-sydvästlig riktning inom det aktuella området. Tunnelns geometri och skick bör verifieras genom inmätning/scanning inför fortsatt projektering.

Inloppstunneln är vattenförande, och stundtals trycksatt med ett maximalt inre vattentryck motsvarande 15 m vattenpelare. Inom det aktuella området planeras även bergschakt. Läge och nivå för schaktväggar respektive schaktbotten är i dagsläget inte fastställt.

Nya tunnelanslutningar till befintlig inloppstunnel medför bergtekniska utmaningar. Dessa utmaningar är främst relaterade till det begränsade utrymmet mellan ny tunnel, ny schaktvägg och befintlig inloppstunnel. Det begränsade utrymmet kommer ställa höga krav på uttagssekvens, bergförstärkning samt tätning av bergmassan inför berggutttag. Det kommer även ställa krav på ett omfattande kontrollprogram. Kontrollprogram bör vara i bruk redan innan berggutttag påbörjas för att erhålla tillförlitliga referensvärden.

Beroende på hur ny tunnel, tunnelanslutningar samt schaktväggar utformas kan konsekvenserna av de bergtekniska utmaningarna bli mer eller mindre omfattande. Ett större avstånd mellan inloppstunnel och planerad schaktvägg kan medföra ett reducerat behov av bergförstärkningsåtgärder, reducera behovet av tätningsåtgärder i bergmassan samt medföra färre restriktioner avseende berggutttag och berguttagssekvens.

Då ny tunnel tagits i bruk ska underhållsarbeten utföras i befintlig inloppstunnel. För att säkra arbete i torrhet måste en tät konstruktion konstrueras en bit uppströms i inloppstunneln, i anslutning till den nya tunnelns genomslag. Fönstret för att uppföra en sådan konstruktion är begränsat och behöver anpassas till flödesnivåer i tunneln.

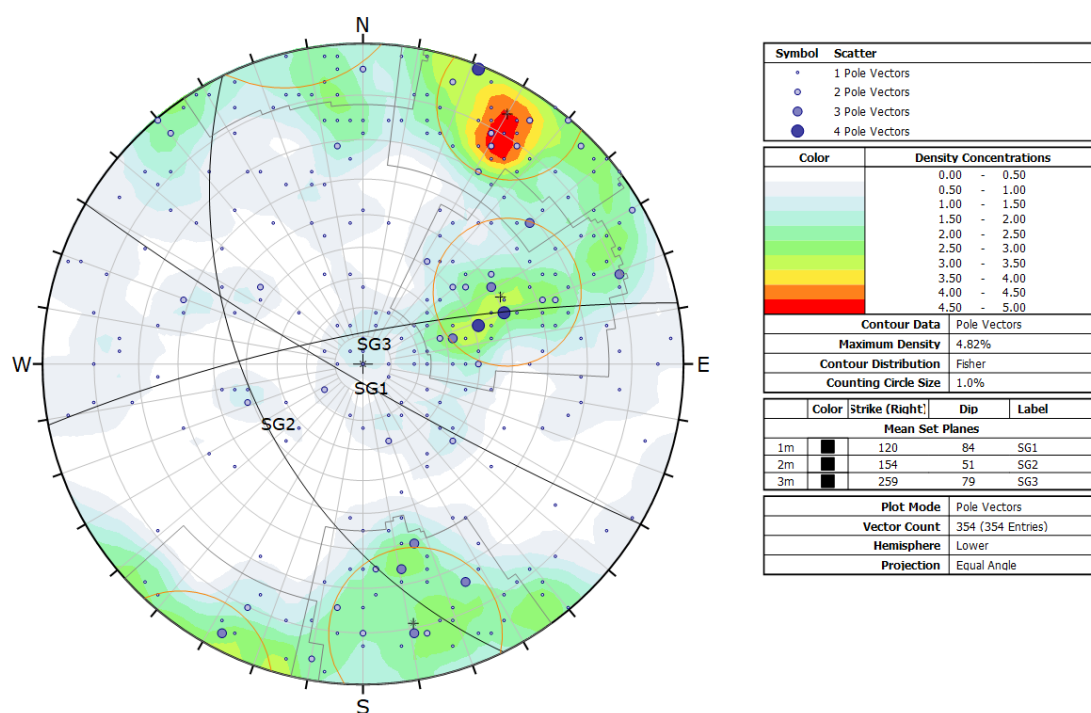
Observera att innehåll och bilder i rapporten är tänkt som ett diskussionsunderlag i det fortsatta arbetet med att ta fram en lösning för genomslaget.

1 Förutsättningar bergarbeten

1.1 Strukturgeologi

Bergmassan i området utgörs generellt av en storblockig, medelkornig, granitisk gnejs. Baserat på tidigare sprickkarteringar samt nu utförda karteringar på borrhälsar har tre huvudsprickgrupper identifierats i området, se Tabell 1. I tillägg har sprickor med stupning mot sydost observerats i delar av området.

För en mer utförlig beskrivning av områdets geologi, se *Geologisk rapport Rya 1, förstudie Nya Rya*, daterad 2022- 05-31.



Figur 1. Identifierade huvudsprickgrupper, sammanställning baserad på yt- och väggkartering utförd av Tyréns 2014 samt karterade borrhälsar från KBH1, KBH2 & KBH4 2022. Orange cirkel visar variabilitetskon för 1 standardavvikelse (68,2 % sannolikhet att en polpunkt inom aktuell sprickgrupp återfinns inom detta intervall).

Tabell 1. Identifierade huvudsprickgrupper. Orientering enligt högerhandsregeln. Väderstreck inom parentes.

Orientering	Strykning [°]	Stupnings- riktning [°]	Stupning [°]	Variabilitet (68,27%) [°]	Variabilitet (95,44%) [°]
SG1	120 (SO-NV)	210 (SV)	84	15	25
SG2	154 (SO-NV)	244 (SV)	51	25	35
SG3	259 (V-Ö)	349 (NNV)	79	20	30

1.2 Befintlig pumpstation, finrensbyggnad etc.

Planerade arbeten utförs nära befintliga konstruktioner, både ovan och under jord. Installationer och kanaler i området förutsätts vara känsliga vilket medför restriktioner avseende vibrationer och

luftstöttvåg. Restriktioner påverkar val av metod för berguttag samt berguttagssekvens. Ett kontrollprogram ska upprättas.

1.3 Bergschakt

Bergschakt kommer att utföras inom aktuellt område, se Figur 2. Preliminär placering, orientering och geometri för schaktväggar i anslutning till inloppstunnel redovisas i Figur 2 och Tabell 2. Befintlig arbetstunnel kommer att tas ur bruk och schaktas bort.

Avstånd mellan planerad tunnel, inloppstunnel och schaktväggar bedöms ha stor inverkan på den storskaliga stabiliteten i området samt hur omfattande förstärkningsåtgärder samt tätningsåtgärder som blir nödvändiga.

Enligt önskemål från beställare placeras schaktvägg en tunnelbredd från befintlig inloppstunnel. En generell rekommendation, för att påverka befintlig tunnel i så liten utsträckning som möjligt, är dock att placera schaktväggen ca tre tunnelbredder från befintlig inloppstunnel, dvs ca 15 m.

För en mer utförlig beskrivning av schaktväggarnas stabilitet, se *Bilaga 1 - PM Bergmekanik Pumpstation IN*, daterad 2022-05-31.



Figur 2. Preliminär orientering schaktväggar redovisas med röd linje, inloppstunnel redovisas med vit linje. Schaktväggens avstånd till inloppstunnel påverkar stabilitetsförhållandena för inloppstunnel samt planerade tunnelanslutningar.

Tabell 2. Preliminär orientering och geometri schaktväggar.

Slänt	Strykning [°]	Stupnings- riktning [°]	Stupning [°]	Nivå, [m.ö.h]	Nivå [m.ö.h]	Höjd [m]	Längd [m]
N1	95	185	84,3	+ 8	- 20	28	22
V2	35	125	84,3	+ 8	- 10	18	32

1.4 Befintlig inloppstunnel

Befintlig inloppstunnel är enligt underlag ca 4–5 m bred, ca 4,5 m hög och orienterad i nordostlig-sydvästlig riktning. I söder ansluter inloppstunneln till en arbetstunnel orienterad i nordlig-sydlig riktning samt till äldre pumpstation i öster. Inloppstunneln är belägen på nivå ca -8 (tak) t.o.m. nivå -12 (sula) i anslutning till befintlig pumpstation. Bergövertyta bedöms ligga på nivå ca +8, vilket medför ca 16 m bergtäckning.

Vid berguttag i anslutning till inloppstunneln kommer spänningsfältet i bergmassan att påverkas. Planerade bergarbeten bedöms primärt medföra reducerad inspänning vinkelrätt inloppstunnelns kontur, men bedöms även kunna ge upphov till spänningskoncentrationer på andra ställen. En reducerad inspänning vinkelrät tunneln kan medföra stabilitetsproblem, dels i form av enstaka blockutfall, dels i form av större utfall till följd av försämrade valvverkan ovan tunneltak.

För att reducera risken för stabilitetsproblem bör bergarbeten utföras på ett sådant avstånd från befintlig tunnel att det horisontella stödet för valvverkan bibehålls, alternativt bör kvarvarande bergmassa förförstärkas vid berguttag. Vid begränsat utrymme mellan befintlig inloppstunnel, planerad tunnel och planerad schaktvägg kan behovet av förstärkning bli omfattande.

Tunneln är generellt vattenförande och stundtals trycksatt med ett maximalt inre vattentryck motsvarande 15 m vattenpelare. Uppgifter om genomsnittligt vattenflöde har inte erhållits. Vid förekomst av sprickor i bergmassan finns risk för läckage, dels till ny tunnel, dels till planerat bergschakt. Läckage kan reduceras genom förinjektering av bergmassan. Injektering bör utföras på ett sådant sätt så att inläckage till inloppstunnel undviks. Vid översam förinjektering (exempelvis till följd av avlastning av bergmassan vid berguttag) eller vid stora läckage kan en tät betongskärm behöva gjutas och förankras i berget i anslutning till inloppstunnel/bergschakt.

Är inloppstunneln trycksatt och avstånd mellan befintlig och ny konstruktion begränsat, finns det även risk att block i inloppstunnelns vägg trycks/glider ut i schaktet. För att säkerställa stabilitet i inloppstunnelns väggar bör nya konstruktioner placeras på ett sådant avstånd att tillräckligt mothåll uppnås, alternativt förförstärks bergmassan vid berguttag.

Inloppstunneln ansluter i söder, via en T-korsning, till arbetstunneln. Bergets inspänning över korsningen bedöms generellt vara lägre än för övriga delar av inloppstunneln. Ett nytt genomslag till inloppstunnel avses utföras i anslutning till detta område. För att inte reducera inspänningen över T-korsningen ytterligare, är ett alternativ att göra genomslaget via befintlig arbetstunnel, ett annat alternativ är att förlägga genomslaget på ett sådant avstånd från T-korsningen att spänningsfältet inte påverkas. Befintlig arbetstunnel kan eventuellt nyttjas för att förförstärka bergmassan i anslutning till korsningen och/eller gjuta stödjande konstruktioner i anslutning till T-korsningen.

1.5 Planerad tunnel

Planerad tunnel antas ha ungefär samma dimensioner som inloppstunneln. Tunnelns längd beror på dess placering och samt avstånd mellan inloppstunnel och planerat bergschakt. Området i vilket planerad tunnel kan ansluta till inloppstunneln är begränsat, bland annat på grund av hydrauliska orsaker.

Tunnel, som ska leda vatten till de nya rensvallarna, antas ansluta till inloppstunneln i nordlig-sydlig riktning enligt önskemål från Beställare, se Figur 3. Orientering kan eventuellt behöva justeras för att minska genomslaget bredd.

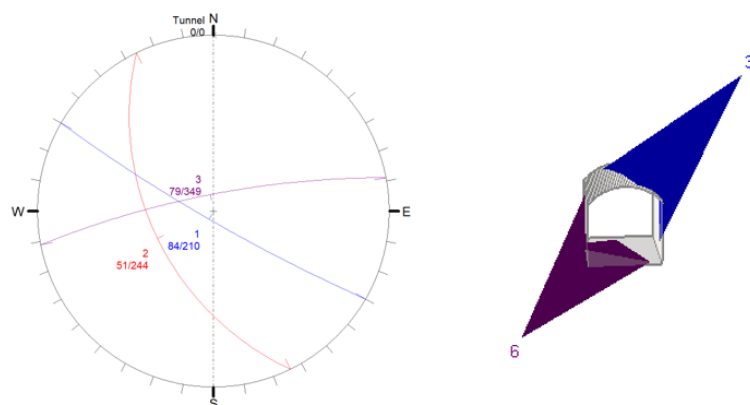
Anslutningen som avser leda vatten tillbaka till den äldre pumpstationen kan antingen ansluta via befintlig arbetstunnel, eller via en ny anslutning som förläggs längre västerut.

Potentiell kilbildning vid tunnelanslutning till följd av huvudsprickgrupper redovisas i Figur 4.

För och nackdelar med olika anslutningsalternativ redovisas i bilaga 1.



Figur 3. Skiss tunnelanslutning & schaktgeometri baserat på önskemål från Beställare, ny tunnelanslutning redovisas i vitt. Preliminärt läge för schaktvägg redovisas med röd linje. Fördelar och utmaningar med ovan beskrivna geometri redovisas i bilaga.



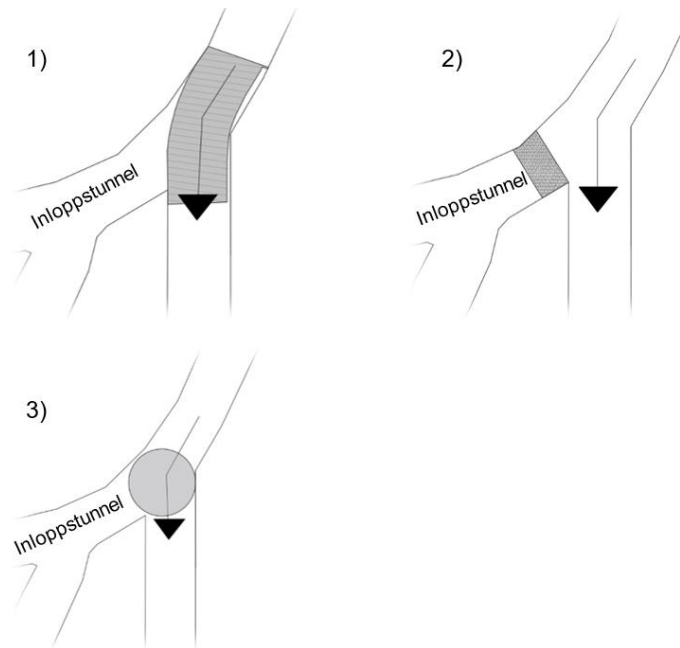
Figur 4. Möjlig kilbildning för tunnelanslutning orienterad i nordlig-sydlig riktning. Potential för utfall i höger vägg/tak (vy mot norr).

Vid genomslag till inloppstunnel kommer vatten från inloppstunneln strömma in i den nya tunneln, vilket måste beaktas vid hantering av genomslaget. En möjlig lösning kan vara att såga ut den sista bergpluggen i etapper, från tunneltak och nedåt, och lasta ut massorna via den nya tunneln. Denna lösning förutsätter ett lågt vattenflöde. Eventuella kvarvarande mindre block kan fångas upp av rengallren förutsatt att beredskap finns för att omhänderta dem.

Då ny tunnel tagits i bruk ska underhållsarbeten utföras i befintlig inloppstunnel. För att säkerställa arbete i torrhet måste en tät konstruktion uppföras en bit uppströms i inloppstunneln, i anslutning till den nya tunnelns genomslag. Fönstret för att uppföra en sådan konstruktion är begränsat och behöver anpassas till flödesnivåer i tunneln.

Möjliga lösningar för att säkerställa torra förhållanden i den befintliga inloppstunneln redovisas i punktform samt i figur. Hydrauliska konsekvenser vid implementering av dessa förslag har inte beaktats.

- 1) Prefab-element, vilka leder vattnet till ny tunnel, installeras vid genomslag. En tät konstruktion måste säkerställas mellan prefab-element och tunnelvägg i inloppstunnel.
- 2) En plugg konstrueras i den befintlig inloppstunneln i anslutning till genomslag. Pluggen måste konstrueras på ett sådant sätt att en tät konstruktion säkerställs inom angivet tidsfönster. Alternativa material, vilka uppnår en hög hållfasthet utan betydande härdningstid, behöver utvärderas.
- 3) Ny tunnel ansluter till befintlig inloppstunnel underifrån, vilket medför ett naturligt flöde till ny tunnel i stället för tidigare inloppstunnel. Risk kvarstår dock att vatten leds in i befintlig inloppstunnel vid stora vattenflöden.



Figur 5. Möjliga lösningar för att säkerställa torra arbetsförhållanden i inloppstunnel

2 Utvärdering av alternativ

Nya tunnelanslutningar till befintlig inloppstunnel medför bergtekniska utmaningar. Dessa utmaningar är främst relaterade till det begränsade utrymmet mellan ny tunnel, ny schaktvägg och befintlig inloppstunnel. Det begränsade utrymmet kommer ställa höga krav på uttagssekvens, bergförstärkning samt tätning av bergmassan inför bergguttag. Det kommer även ställa krav på ett omfattande kontrollprogram. Kontrollprogram bör vara i bruk redan innan bergguttag påbörjas för att erhålla tillförlitliga referensvärden.

Generellt kan sägas att ett större avstånd mellan inloppstunnel och planerad schaktvägg kan medföra ett reducerat behov av bergförstärkningsåtgärder, reducera behovet av tätningsåtgärder i bergmassan samt medföra färre restriktioner avseende bergguttag och bergguttagssekvens. Ett större avstånd mellan inloppstunnel och planerad schaktvägg innebär även att arbetet med tunnelanslutningar till den norra respektive södra delen av inloppstunneln kan utföras mer "oberoende" av varandra, vilket medför att risken för längre stopp i produktionen reduceras.

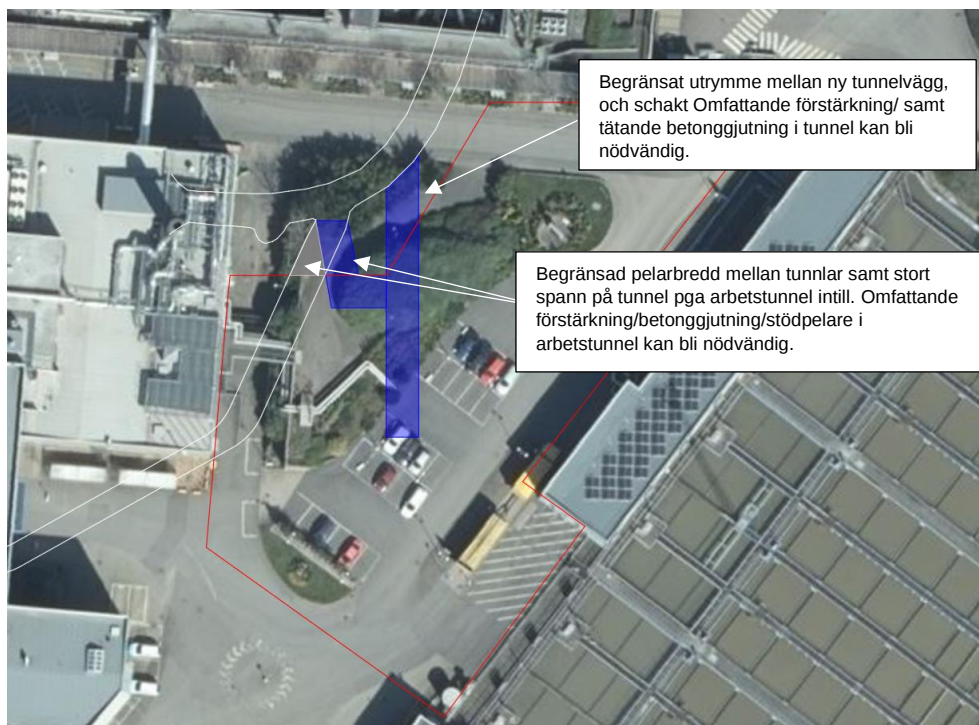
Utvärderade alternativ presenteras i bilaga 1. Alternativen bör ses som ett diskussionsunderlag då ett flertal parametrar som är avgörande för anslutningarnas slutliga placering är okända, exempelvis storlek och placering av ny pumpstation, styrande hydrauliska villkor etc.

Bilaga

Alternativ – En tunnelbredd mellan befintlig inloppstunnel & bergschakt



Figur 6. Exempel, en tunnelbredd (5 m) mellan schakt och befintlig tunnel. Anslutning via nisch.



Figur 7 Exempel, en tunnelbredd (5 m) mellan schakt och befintlig tunnel. Anslutning genom befintlig arbetstunnel

Fördelar	Utmaningar
+ Mer utrymme för bergschakt → Area bergschakt ca 3795 m² + Ny avledning till äldre pumpstation kan ansluta via befintlig nisch alternativt genom befintlig arbetstunnel. (Dock svåra partier där tunnlar korsar varandra) + Förförstärkning av delar av bergmassa kan eventuellt utföras inifrån arbetstunnel. + Befintlig arbetstunnel kan tas ur bruk, vilket medför större arbetsyta i sydvästra delen av området + Relativt kort sträcka som tunnel ska drivas	- Endast liten bergpelare, motsvarande 1 tunnelbredd, lämnas mellan befintlig inloppstunnel och schaktvägg - Risk att block i bergmassa mellan inloppstunnel/ny tunnel och schakt trycks ut i bergschakt vid höga vattentryck i tunnel. → Krav på förstärkning & uttagssekvenser. Exempelvis förspända stag/linor, ingjutna bultar samt förankrad betonggjutning. - Avstånd mellan befintlig tunnel och schaktvägg ogynnsamt m.a.p stabilitet. Krav på förstärkning & uttagssekvenser. → Krav på förstärkning & uttagssekvenser. Exempelvis förspända stag/linor, ingjutna bultar samt förankrad betonggjutning. - Avstånd mellan befintlig tunnel och schaktvägg ogynnsamt m.a.p vibrationer vid berggutttag. → Krav på förstärkning & uttagssekvenser. - Avstånd mellan befintlig tunnel och schaktvägg ogynnsamt m.a.p läckage. → Stort behov av förinjektering, troligtvis även behov av förankrad betonggjutning längs schaktvägg. - Ny avledning till äldre pumpstation ansluter till befintlig tunnelkorsning eller till nisch. Osäkra stabilitetsförhållanden. → Befintlig arbetstunnel kan behöva förförstärkas och/eller gjutas igen för ökad stabilitet. - Ny avledning till äldre pumpstation passerar inte nya rensgaller - Ny avledning till äldre pumpstation är svår att anpassa map vinkel, lutning och anslutningsnivå. - Viktigt att riskminimera under arbetsskede (e.g. geologisk uppföljning, restriktioner i berggutttag etc.) Felaktigheter under utförande eller oväntade bergförhållanden kan medföra att befintlig inloppstunnel blir obrukbar samt längre stopp i produktion.

Alternativ - Tre tunnelbredder mellan befintlig inloppstunnel & bergschakt



Figur 8. Exempel, tre tunnelbredd (15 m) mellan schakt och befintlig tunnel. Anslutning via nisch.



Figur 9. Exempel, tre tunnelbredd (15 m) mellan schakt och befintlig tunnel. Anslutning via tidigare arbetstunnel.

Fördelar	Utmaningar
+ Strörre bergpelare, motsvarande 3 tunnelbredd, lämnas mellan befintlig inloppstunnel och schaktvägg jmf med alt. 1. + Ny avledning till äldre pumpstation kan ansluta via befintlig nisch alternativt genom befintlig arbetstunnel. (Dock svåra partier där unnlar korsar varandra) + Förförstärkning av delar av bergmassa kan eventuellt utföras inifrån arbetstunnel. + Befintlig arbetstunnel kan tas ur bruk, vilket medför större arbetsyta i sydvästra delen av området + Lägre risk att block i bergmassa mellan inloppstunnel/ny tunnel och schakt trycks ut i bergschakt vid höga vattentryck jmf med alt. 1. Lägre risk till följd av naturligt mothåll av omgivande bergmassa mindre risk för genomgående sprickplan. + Avstånd mellan befintlig tunnel och schaktvägg något mer gynnsamt avseende stabilitet jmf med alt. 1. Krav på förstärkning & uttagssekvenser kvarstår men sannolikt i mindre omfattning. Exempelvis förspända stag/linor och ingjutna bultar för storskalig stabilitet i schaktväggar. + Avstånd mellan befintlig tunnel och schaktvägg mer gynnsamt jmf med alt. 1 m.a.p vibrationer vid berggutttag. → Krav på förstärkning & uttagssekvenser kvarstår. + Avstånd mellan befintlig tunnel och schaktvägg mer gynnsamt m.a.p läckage jmf med alt. 1. → Behov av förinjektering kvarstår.	- Mindre utrymme för bergschakt → Area bergschakt ca 3225 m² - Något längre sträcka som ny tunnel ska drivas i berg. - Ny avledning till äldre pumpstation ansluter till befintlig tunnelkorsning eller till nisch. Osäkra stabilitetsförhållanden. → Befintlig arbetstunnel kan behöva förstärkas och/eller gjutas igen för ökad stabilitet. - Ny avledning till äldre pumpstation passerar inte nya rensgaller - Ny avledning till äldre pumpstation är svår att anpassa map vinkel, lutning och anslutningsnivå. - Viktigt att riskminimera under arbetsskede (e.g. geologisk uppföljning, restriktioner i berggutttag etc.) Felaktigheter under utförande eller oväntade bergförhållanden kan medföra att befintlig inloppstunnel blir obrukbar samt längre stopp i produktion.